

به نام خداوندِ جان و خِرَد

طرح ریزی واحدهای صنعتی



تألیف
ساندریش هیراگو

ترجمه
دکتر رضا زنجیرانی فراهانی
عضو هیئت علمی دانشگاه صنعتی امیرکبیر

دکتر نسرین عسگری
گروه پژوهشی مدیریت زنجیره تأمین
مهندس محمدعلی موفق پور

دیباچه

چرا ما باید از واژگان پارسی پشتیبانی
ما هیچ قصدی در سره سازی زبان فارسی نداریم

بخش دوم :

خط کنونی که از آن بهره می جویم به شوند های زیر بدون بهره است
وات های برابر لاتین
نکته های خیلی مهم در کاربرد واگروه لاتین
زمان در زبان فارسی
چگونگی افزودن žš - žš to âš to به ماکروساف آفیس
درخواست نگارنده ی این مقاله

با درود

دریغ است که ایران ویران شود *** کنام پلنگان و شیران شود -فردوسی
بجوئیم و بیاییم کهن گمشده ها را وز این خانه برانیم به زور آمده ها را -حافظ

برابری زن و مرد را باید در زبان ها دید، انسان اندیشه را می سازد و آن را با زبان اش بیان می کند و با کردارش انجام می دهد .

دیباچه :

گفتمان درباره ی سره نویسی زبان پارسی پیشینه ای دراز دارد، و دوستان و دشمنانی نیز دارد ولی باید این نکته را بازگو کرد که مهم تر از سره-نویسی ، پاسداشت دستور زبان پارسی و گفتمان داغ تر از آن خط نوشتن زبان پارسی(الف، ب، پ، ...) است که مشکل هایی را بر سر راه زبان پارسی گشوده است. نباید زبان را سره کرد ولی این را هم نباید فراموش کرد که نباید زبان را از فرهنگ و ادب اش دور کرد. گرچه کشورهایی چون ژاپن حتا واژه اتم و پروتن و ... را به ژاپنی معادل سازی کرده اند ! شما با خواندن این نوشت می توانید از یک دستور پایه برای فینگلیش بهره بجوید و از هرج و مرج زندگانی ایرانی بکاهید و یاری فرهنگی ممتازی به زبان و ادب کشورتان بکنید و گام های بسوی پیشرفت را بلندتر با همگان برداریم .

چرا ما باید از واژگان پارسی پشتیبانی کنیم و از ورود واژگان انیرانی به هر گونه و به هر راه پیشگیری کنیم ؟

1- اگر از ورود واژگان بیگانه پیشگیری نکنیم پس از چند دهه، بیشتر نوشته های کهن مان از یاد ها می رود و خواندن آن برای یک فرد با سواد میانه سخت می شود و این خود یک شوندی (علتی) می شود که نسل نو از ادبیات کهن دوری گزینند که پیامد های گوناگونی می تواند داشته باشد که یکی از آن ها سست شدن بنیه ی میهن پرستی می باشد . (مانند زمان کنونی).

2- با ورود واژگان بیگانه به زبان پارسی ، کم کم دستور زبان بیگانه نیز وارد زبان پارسی می شود که پایه های زبان پارسی را سست می کند . (مانند بهره بردن از جمع مکسر در زبان پارسی ، یا بکار بردن فعل پس از فاعل که دستور زبان انگلیسی می باشد).

3- با استقرار واژگان بیگانه در زبان پارسی و زندانی کردن واژگان پارسی که به نابودی واژگان پارسی می انجامد دیگر نمی توان گفت زبان پارسی بلکه باید بگویم لهجه ی پارسی به زبان (مانند اکنون که برخی ها واژگان گفتگوی آن ها تازی می باشد و تنها یک ال و چند نکته ی دستوری تازی کم دارند . که به این زبان زبان تازی به لهجه ی پارسی می گویند).

4- کم شاهنامه ی فردوسی که شناسنامه ی ایرانیان است مانند کتاب اوستا (کهن ترین سروده های ایرانی و کتاب سپند ایرانیان) به شوند آشنا نبودن به واژگان آن (که خواندن آن را سخت می کند) به دست فراموشی سپرده می شود .

5- ورود واژگان بیگانه سبب نابودی واژگان پارسی و جابه جایی دستور زبان ها می شود که سنگ بزرگی پیش روی پارسی دوستان می گذارد و از گسترش و آموزش آن جلو گیری می کند و هرچه فرهنگ واژه های آموزشی (مانند لانگ من یا آکسفورد) را برای ایرانیان (غیرایرانیان) چاپ کنند پس از مدتی بی ارزش می شود .

6- دستور زبان پارسی آسان ترین دستور زبان را دارد که با ورود واژگان بیگانه آسیب می بیند .

7- به گفته ی "دانشمند حسابی" ، با ورود واژگان بیگانه ، دیگر نمی توان از زبان پارسی بنام زبان علمی بهره جست و برای هر مفهومی چند واژه درست می شود و برای هر واژه ای چند مفهوم درست می شود. (و راه را برای یاهو گوئی باز می کند)

8- نتوانستن گردآوری یک فرهنگ فراگیر علمی زبان پارسی به دلیل فراوانی واژگان و دستورهای بیگانه (برای نمونه فرهنگ دهخدا بیش از 50 جلد و یا معین)

9- با ورود واژگان بیگانه دستور زبان پارسی {دستور زبان یک پایه ی اساسی در زبان ها است} ناملموس می شود و راه را به دستور زبان بیگانه باز می گذارد.

10- واژگان پارسی معنی خود را از دست می دهند و به اشتباه برای مفهوم دیگری به کار برده می شود.

11- با آمدن واژگان بیگانه ، واژگان پارسی به یک معنی می گروند و ارزش ادبی خود را از دست می دهند {کاهش ارزش ادبی زبان}، مانند واژگان "بیم، ترس، هراس" که همگی به یک معنی بکار می رود.

جا دارد که از استاد معین به خاطر وفاداری به زبان پارسی که فرزندان مغول و عرب را نکوهش می کرد از کاربرد واژگان تازی و روانشاد دهخدا که برتری زبان پارسی را در دستور زبان اش می دانست ولی اکنون چه برخی به عقده ی حقارت از واژگان لاتین و برخی ها برای جانماز آب کشیدن از واژگان عربی بهره می جویند. ...
برای به کاربردن واژه ها از بن مایه های زیر می توان یاری گرفت :

1- اوستا

2- پهلوی نسک ها

3- شاهنامه

4- پارسی سره

از واژه هایی که در اوستا روان و آسان هستند و از شاهنامه و کتاب های باقی مانده از زبان پهلوی نیز باید بهره جست و در گونه ی نبودن واژه مورد خواست به ساختن واژه پردازیم .
باید کلمات از بین رفته ی اوستا یا پهلوی را زنده کرد . مادر زبان ما می تواند «اوستا» و «شاهنامه» باشد . زیرا کهن ترین کتاب ایرانیان اوستا است و پیشینه ی فرهنگشان می باشد .

قدیمی ترین اثر از آثار آریایی اوستا است . بخش «گات» اوستا نزدیک به 2000 سال پیش از میلاد بر می گردد. برخی ها می گویند واژگان کهن را نباید استفاده کرد چون مانند ابزار های کهن می باشند و می گویند اگر به زبان فردوسی یا اوستا سخن بگوییم مانند این است که یک ماشین کهن را به یک بازی ماشین رانی ببریم و یا برای میدان جنگ یکی از گرزهای رستم را ببریم .

این افراد نتوانسته اند استدلالی درست برای خود در نگر بگیرند که به مغالطه روی می آورند . به چم این که اگر کسی به چوب جنگ خیابانی ، گرز بگوید نمی تواند با فرد روبرویش را مبارزه کند و یا کسی که در بازی ماشین سواری شرکت می کند اگر به ماشین کار car نگوید و به زمین بازی پیسته بازی نگوید می بازد .
دکتر پرویز خانلری به این نکته به خوبی اشاره می کند و می گوید: "س" هیچ ایرانی در این روزگار کلمات برگستوان، فتراک، خفتان، موزه، مقنعه، قریوس و صد ها لغت دیگر را از این دست در زندگانی عادی خود به کار نمی برد. اما شاید در قرن پنجم هجری این کلمات برای هر فرد ایرانی بسیار مانوس بوده و هر کس آن ها را روزانه بارها بر زبان می آورده است. علت این امر آن است که این الفاظ بر چیزهایی دلالت می کند که از لوازم

زندگانی آن زمان بوده است و چون امروز دیگر کسی خفتان نمی پوشد و با گرز جنگ نمی کند تا آن را به فتراک زین خود بیاویزد، ناچار به نام این چیزها هم احتیاجی ندارد تا آن ها را بیاموزد و در گفتار به کار ببرد.

این گونه کلمات تنها هنگامی که با تاریخ قرون پنجم و ششم سر و کار داریم و آثار و نوشته های مربوط به آن زمان ها را مطالعه می کنیم به کار می آید."

مشکل دیگر خط نوشتن است که در نوشته ای فراگیر در آینده نزدیک آن را باز می کنیم تنها این مورد را بازگو کنم که جنبشی نادانسته تیشه به ریشه پارسی می زند و واژگان تازی را به واج های پارسی بنام می نویسند مانند مصرف:مسرف - قوری:غوری - اینان باید تنها واژگان پارسی را به واج های بنام پارسی بنویسند مانند صد:سد - شصت:شست . که بزرگان پارسی با این دور اندیشی در گذشته راه را برای پاک سازی زبان پارسی گشوده اند برای نمونه اگر واژگان پارسی نیز از ع بهره می جستند هم اکنون نمی توانستیم بگوییم که تمامی واژگان ع دار تازی هستند و به کار نبریم .

فرهنگ واژه هایی هستند که واژه های بیگانه به پارسی را دربردارند که یکی از آنها که تازه ترین چاپ است : فرهنگ نامه پارسی آریا جلال الدین کزازی (مقدمه)، جواد دانشیار (گردآورنده) انتشارات فرهنگ مردم -اصفهان

می باشد
و اگر در خرید ناپیروز شدید در تارکده (internet) هم چندین تارنمایی پارسی دوست مانند تارنمای

پارسیمان http://www.paarsimaan.com/index.php?option=com_frontpage&Itemid=1

آریا ادیب <http://aryaadib.blogfa.com/cat-18.aspx>

هست که واژگان بیگانه به پارسی را گردآوری کرده اند .

بخش دوم :

ما هیچ قصدی در سره سازی زبان فارسی نداریم تنها خواهان زنده کردن واژگان دریند هستیم تا زبانی پر بارتر و گیراتر و تواناتر داشته باشیم. ما از واژگان تازی نیز بهره می جویم ولی **تنها باید این نکته ی خیلی مهم را در نظر داشت که دستور زبان پارسی را باید و بناگیزر استفاده کنیم تا از فرهنگ و ادب زبان پارسی و نیز علمی بودن زبان دور نشویم و از هرج و مرج زبان دوری کنیم .** اسم فاعل ، اسم مفعول، جمع مکسر عربی و هرچه مربوط به دستور زبان بیگانه است باید به دور ریخته شود که یک از آرزوهای دهخدا (روانش شادباد) بود.

« میزآقا خان کرمانی»: اساساً استفاده از «خط عربی» برای نوشتن « زبان فارسی» یکی از عوامل عقب افتادگی ما ایرانیان بوده است.و بسیاری دیگر هم ،چنین نگری دارند.

الفبایی که برای زبان سامی و تصریفی عربی کارآمد و مناسب است وقتی به خدمت زبان هندوایرانی فارسی در می آید هم کارآیی یش را از دست می دهد، هم باعث پوشیده و پنهان ماندن ویژه گی های دستوری و آوایی زبان میزبان می گردد. ایرج کابلی-نشر این تریکتی مقاله ی چاپ شده در آدینه ی شماره ی 72، سال 1371

خط کنونی که از آن بهره می جویم به شوند های زیر بدون بهره است :

- 1- بیزاری از خواندن سروده های پارسی (به شوند ایهام در نشانه های حرکتی و در نتیجه چند تلفظی آن و آشفتگی در وزن شعر و در نهایت از بین رفتن وزن شعر و نا ملموس بودن آن برای خواننده).
- 2- چند تلفظی شدن واژگان در نتیجه از بین رفتن وحدت کلمه .
- 3- دگرگونی در تلفظ واژگان مرکب و در نتیجه مشکل شدن کار زبان شناسان و نوآموزان .مانند کلمه ی سَرایدار =سَرای+دار ،درست شده که سَرایدار متداول شده است .
- 4- عدم بیان کردن لهجه های شهرهای گوناگون با دبیره ی کنونی .
- 5- بسیار سخت شدن آموزش زبان پارسی که نمونه ی آن را می توانید در نمرات پایین درست نویسی (دیکته یا املا) نوآموزان در پایه ی ابتدایی و هتا در پایه های بالاتر چون راهنمایی و یا دبیرستان دید که این مشکل کابوس نوآموزان می باشد.
- 6- بی علاقه گی نوآموزان به کتاب خواندن، که یکی از ریشه های بیسوادی هازمان ایرانی می باشد.

- 7- کاهش توانایی در آموزش زبان پارسی در رویه ی جهانی.
- 8- توانایی پایین در هماهنگی با پیشه و رایانه .

برای دگرگونی دبیره ی عربی دو راه وجود دارد :

- 1- انتخاب دبیره ی اوستایی که فراگیر ترین دبیره ی موجود است و 44 واج دارد.
- 2- انتخاب دبیره ی لاتین که کشورهای بسیاری از آن بهره می جویند و 26 واج دارد.

سودها و زیان های گزیدن دبیره ی اوستایی :

سودها :

- 1- ورود واژگان بیگانه به زبان پارسی را به پایین ترین سطح خود می رساند.
- 2- واج ها به یکدیگر نمی چسبند و جدا جدا می نویسند.

زیان ها :

- 1- ارتباط فرهنگی زبانی با دیگران از بین می رود.
- 2- به شَوَنَد (دلیل) زیاد بودن واج ها (44 واج) یادگیری آن سخت خواهد شد.
- 3- آموزش جهانی آن به دلیل هیچ آشنایی دیگران چون اروپاییان کاهش می یابد.
- 4- نوشتن واج های آن کمی سخت است .

سودها و زیان های گزیدن دبیره ی لاتین :

سودها:

- 1- افزایش چشمگیر آموزش زبان پارسی چه در درون ایران و چه در رویه جهانی .
- 2- برقراری ارتباط فرهنگی زبانی که به شوند نبود تولید علم تنها گیرنده هستیم.
- 3- آشنا بودن نسل جوان و باسواد که رواج آنرا را بسیار آسان می کند.
- 4- واج ها به یکدیگر نمی چسبند و جدا جدا می نویسند.

زیان ها:

- 1- ورود واژگان بیگانه به زبان پارسی را به بالاترین سطح خود می رساند.

ما اگر بخواهیم الگوبرداری علمی داشته باشیم و بدون هیچ تعصبی به پیشرفت فکر کنیم باید واتگره لاتین را بپذیریم و باید این نکته را هم در نگر داشته باشیم که برای هر آوایی یک واج بهره بجویم که آموزش را آسان کند.

استادان بسیاری دگرگونی دبیره ی عربی را به سنجش (نقد) کشانده اند ولی برای آگاهی های بیشتر می توانید به نوشته های **دکتر پرویز ناتل خانلری** نگاهی بیاندازید که همه ی نگر های استادان را سنجیده است. شاید اگر نسل جوان پیش از انقلاب 2538 (1979-1357)، سواد نسل جوان کنونی را داشتند در آن سال ها این دگرگونی ایجاد شده بود و ما یک پله جلوتر بودیم. ولی چه افسوس که دولت کنونی به شدت با این کار مخالف است چرا که بنی از تازیان دارند. ولی ما با آگاهی و دانشی که نسل کنونی دارد و مانند سال 2538 به وعده های پوشالی گوش فرا نخواهند داد و پالون را بر پشت نمی نهند در راه دانش و سرافرازی ایران کوشش خواهیم کرد. و همگان را سفارش به اندیشه کردن در این کار و اگر خواهان بودند این کار را دنبال کنند. دنبال کردن کارها چون ایجاد تارنگار و یا تارنما (website or weblog) به زبان لاتین و پاسداشتن تمام دستور زبان پارسی . و نکته ی مهم دیگر بهره جویی در گوشی همراه یا رایانامه (ایمیل) .

شاید پاکسازی واژگان پیش آید که باید آن واژگانی که ریشه در فرهنگ و با ادب پارسی دارد را بپذیریم و از آن رویگردان نشویم ولی دستور زبان پارسی را باید به هر روی پاسداریم. برای نمونه "دلیل" واژه ی عربی است ولی باید برای جمع آن از دستور زبان پارسی بهره بجویم و "دلیل ها" بگویم نه "دلایل" و یا اسم فاعل و مفعول هم همین گونه باید از دستور زبان پارسی بهره بجویم.

برای دگرگونی واتگروه (الفبا) عربی سه گام باید به اجرا برسد :

- 1- درست کردن اشتباه های دستوری زبان پارسی که کاری بسیار مهم است.
- 2- ارایه ی یک فرهنگ فراگیری چون "فرهنگ معین" که بیان واژگان را به لاتین نوشته باشد.
- 3- ارایه دستور نو که در دگرگونی واتگروه پیش آمده.

ما طی این نوشته ی کوتاه کوشش بر آن داریم که افزون بر فراگیر بودن آسان و چکیده باشد.

برای دگرگونی واج ها هر آوایی را به یک واج گمارش می دهیم. و شمار واتگروه (الفبا) به 30 می رسد که به گونه ی زیر است. که واج های افزوده شده : ŽŠĀ هستند. Z صدای "ز" می دهد. Š صدای "ش" می دهد. Ā صدای "آ" می دهد. ' صدای "ع" می دهد.

وات های برابر لاتین :

1	A a	آ مانند آبر	abr
2	Ā ā	آ مانند آب	āb
3	B b	ب مانند باد	bād
4	C c	چ مانند چوب	cub
5	D d	د مانند دیوار	divār
6	E e	إ مانند امروز	emruz
7	F f	ف مانند فردا	fardā
8	G g	گ مانند گوش	guš
9	H h	ه ، ح مانند هنر	honar
10	I i	ای مانند ایران	irān
11	J j	ج مانند جوراب	jurāb
12	K k	ک مانند کاهو	Kāhu
13	L l	ل مانند لب	lab
14	M m	م مانند مادر	mādar
15	N n	ن مانند نمک	namak
16	O o	أ مانند اُردک	ordak
17	P p	پ مانند پدر	pedar
18	Q q	غ ، ق مانند قند	qand
19	R r	ر مانند راست	rāst
20	S s	س مانند سرکه	serke
21	Š š	ش مانند شاه	šāh
22	T t	ت مانند توپ	tup
23	U u	او مانند داوود یا درود	dāvud-dorud
24	V v	و مانند واغ واغ	vāqvāq
25	W w	آوی مانند نو	now
26	X x	خ مانند خر	xar
27	Y y	ی مانند یار	yār
28	Z z	ز، ض، ظ، ذ مانند زرتشت	zartošt
29	Ž ž	ژ مانند ژاله	žāle
30	‘ - ع	ع مانند سعدی-و یا صدای همزه بی حرکت در واژگان مانند انشاء = enšā’	sa'di

ما در این پژوهش کوشش در آن داریم که دستورزبان اصلاح شده ی پارسی نیز بکار بندیم.

سخنیدن ایرانی نیازی ندارد مانند انگلیسی زبانان را به نوک دندان بنزیم و یا مانند عربان از ته دهان گفتگو کنیم و یا مانند آمریکاییان با بادمجانی در گلو صحبت کنیم و یا مانند فرانسویان ژیر ژیز کنیم و یا مانند ژرمن ها کخ زیخ کنیم، زبان ایرانی زبانی بوده که پویایی خود را حفظ کرده و طی دوران چند هزارساله اش از زمان هخامنشیان گرفته تا به امروز گامی برای آسانی برداشته ، و در آسانی یادگیری حرفی برای گفتن دارد .

چکیده ای از دستور زبان پارسی :

گونه ی جمله :

نهاد + جمله + فعل

از ویژگی دستور زبان "فاعل" در صورت بودن باید در ابتدای جمله باشد، و "فعل" در انهای جمله و جایگاه قیدها بر اساس اهمیتشان پس از نهاد است .

مانند : من در تمام تابستان با تمام گرمایش سرسختانه یکروز در میان ورزش می کردم .

Man dar tamām e tābestan bā tamām e garmāy aš sarsaxtāne yekruz dar miyān varzeš mikardam.

نکته های خیلی مهم در کاربرد واگره لاتین :

1- کسره ی میان واژه به گونه ی e یا ye و جدای از واژگان نوشته می شود.

اگر آخر واژه a , e , u , o , ā بود از ye بهره می جویم .

مانند : کتاب آبی ی من = ketāb e ābi ye man

2- صفات ملکی و شناسه های فعل جداگانه نوشته می شود ولی تمامی واژگان سرهم نوشته می شود. تنها واژگان سرهم نوشته می شود و شناسه های آنان جدا نوشته می شود.

مانند : من با آن همه مهربانیش هیچگاه نتوانستم خودم را خشنود به جداییش کنم.

Man bā ān hame mehrabāni aš, hicgāh natavānest am xod am ra xošnud be jodāyi aš konam.

3- اسم مفعول و اسم فاعل ، صفت مفعولی سرهم نوشته می شود .

برای نمونه :

شکسته = šekaste * هدایتگر = hedāyatgar * خوابیده = xābide * آهنگر = āhangar

4- "ه" آخر واژگان که برای جایگاه همزه ی بین دو واژه می باشد بدلیل دگرگونی واگره پاک می

شود. واژگانی که با واج آوا دار به اتمام می رسند برای کسره ه می گیرند و سپس همزه، که به دلیل نا بسامانی زبان، "ه" ها ماندگار شدند.

مانند : پادشا که برای کسره ه می گیرد و برای نمونه "پادشاه ی ایران" می شود. که گونه ی "پادشا ایران" دیده نمی شود و با بیان هجایی نیز تداخل دارد.

برای نمونه ناصر خسرو در بیتی از کاربرد "ه" صرف نظر کرده یا درست آن را نوشته:

پادشا بر کامهای دل که باشد پارسا*** پارسا شو تا شوی بر هر مرادی پادشا

مانند : نخستین پادشاه ی ایران که به لقب بزرگ دست یافت ، کورش هخامنشی بود.

Noxostin padešāh e irān ke be laqab e bozorg dast yaft, kuroš e haxāmaneši bud.

همانگونه که در مثال می بینید "پادشاه" نیازی به "ی" "ye" ندارد .

مدرسه = madrese - مدرسه ی من = madrese ye man

کاشانه = kāšāne - کاشانه ی من = kāšāne ye man

که madreseh و kāšāneh می باشد

ولی اگر "ه" برای کسره نباشد پاک نمی شود و از e بهره می جویم . مانند :

پادشاه ، پادشاه ی ایران = padešāh, padešāh e irān

دانشگاه، دانشگاه ی تهران = dānešgah, dānešgah e tehrān

5- "ه" که برای کسره آخر واژگان در دبیره تازی-پارسی آمده بودند تمامی آنها پاک می شوند .

مانند:

خانه : xāne

خانگی: xānegi

6- نشان جمع چسبیده به واژه و تنها از "ان" و یا "ها" بهره می‌جویم و به هیچ روی جمع مکسر عربی نباید استفاده شود.

مانند:

درختان یکی از مهمترین پاک‌کننده‌های هوا هستند.

Deraxtān yeki az mohem tarin pakkonandehā ye havā hast and.

7- به غیر از نشان جمع و نشان اسمی (ی نکره) و اسم سازها (مانند گر، تر، بر، گاه، ...) به واژگان چیزی نمی‌چسبد.

صفت برتری :

پیکان ارزانتر از بنز است .

peykān arzan tar az benz ast .

مهمترین بخش بدن مغز است.

Mohem tarin baxš e badan, maqz ast .

در کشورهای جهان سومی کمترین سود در تولید است.

Dar kešvarhā ye jahān sevomi kam tarin sud dar tolid ast

آرین بلندتر از سارا است .

āriyan boland tar az sārā ast .

8- بهره‌ن‌جستن از کارواژه‌های یاور (فعل کمکی) مانند "کرد" :

فعل کمکی برای واژگان بیگانه به کار می‌رود که باید به پایین‌ترین رویه‌ی کاربردی در زبان پارسی برسد. که این مشکل بزرگی برای نوآموزان است.

برای نمونه واژه‌ی "تناول" که عربی می‌باشد برای کاربرد "تناول کرد" می‌گویند و به نادرستی فعل‌های کمکی را برای واژگان پارسی هم بکار می‌برند.

نمونه: "ناله کرد" نادرست می‌باشد و باید گفت نالید.

بجای "زاری کرد" باید "زارید" گفت.

بجای "زنگ زد" باید "زنگید" گفت.

بجای "زنگ بز" باید "بزنگ" گفت.

9- بکار بردن اسم مفعول (کرده شده) به جای اسم فاعل (کننده) .

مانند :

برای نمونه می‌گویند "این خوابیده کیست" که نادرست است باید بگویند "این خوابنده کیست"، خوابیده اسم مفعول است ولی بنادرستی بجای اسم فاعل آمده.

10- بکار بردن درست زاب‌ها (صفتها) در جمله‌ها، بگونه‌ای که برای آگاهی درستی ضد آنرا بیان کنید و

ببینید معنی می‌دهد یا نه .

برای نمونه:

نگویید آب کند می‌رود، بگویید آب آهسته می‌رود. چرا که مخالف "کند"، "تیز" است و آب "تیز" نمی‌شود و مخالف "آهسته"، "تند" است که آب "تند" هم می‌رود.

معنی هر زاب آنست که آخشیج یا برابر آن دانسته شود، و من اینک برخی از آنها را در پایین می‌آورم:

راست * دروغ ، چپ ، کج

درست * غلط ، کمتر ، شکسته ، بیمار

سفت * نرم ، شول

سخت * سست

دشوار * آسان

بلند * پست ، آهسته

دراز * کوتاه

کلفت * باریک

تنگ * فراخ

بالا * پایین

تند * آهسته

تیز * کند

زود* دیر
کم* بیش
فراز* نشیب
دور* نزدیک
درشت* هموار
بزرگ* خرد کوچک
نیک* بد
پشت* رو
زیر* زیر
پس* پیش
شاد* اندوهناک
خشنود* ناخشنود، گله مند

11- نابودی یک مشکل :

"خرم" مشخص نیست مفهوم "خر من" را می رساند یا "من خرم" را و ما برای از بین بردن این مشکل برای ضمیر اسمی "آم" ، "Am" ، "کتایم" ، "Ketāb am" از ویژگی زبانی اسپهان بهره می جویم و از "ام" ، "em" ، "کتایم" ، "Ketāb em" بهره می جویم و یک از آک های (ایرادات) خط را از بین می بریم. گرچه در بیان تفاوتی ندارد ولی در نوشتن نکته ی مهمی است .

12- ضمیر مالکیت جدا از واژگان نوشته می شود .

am	آم	am	إمان	emân
at	آت	at	إتان	etân
aš	آش	aš	إشان	ešân
ketâb am	کتایم	ketâb am	کتایمان	ketâb emân
ketâb at	کتابت	ketâb at	کتابتان	ketâb etân
ketâb aš	کتایش	ketâb aš	کتایشان	ketâb ešân

em- at- aš * emân- etân- ešân**

مانند :

کتاب ام- کتاب ات- کتاب اش کتاب مان- کتاب تان- کتاب شان

Ketāb em – ketāb at – ketāb aš *** ketāb emân - ketāb etân - ketāb ešân

Am- at- aš *** emân- etân- ešân مان – تان – شان ام – ات – اش

کتایم را بدین جهت ketâb em می نویسم که با ketâb am (به معنی من کتایم) ندهد .

13- شناسه ی کارواژه (فعل) جدا نوشته می شود ولی پیشوند فعلی مانند "می" ، "ب" ، "چسبان نوشته می شود.

ام	am	ایم	im
ای	i	اید	id
یا اد .	ad یا 0	اند	and
xord im	خوردیم	xord am	خوردم
xord id	خوردید	xord i	خوردی
xord and	خوردند	xord	خورد
bâs im	باشیم	bâs am	باشم
bâs id	باشید	bâs i	باشی
bâs and	باشند	bâs ad	باشد

am- i- 0=ad- * im- id- and**

مانند :

خورد ام-خورد ای-خورد *** خورد ایم خورد اید خورد اند

Xord am- xord i- xord *** xord im- xord id- xord and

Am- i- 0- *** im- id- and ایم – اید – اند

نکته: برای "باش" سوم شخص "آد" می نویسیم به جای "0".
 باشم-باشی-(باش)باشد*باشیم-باشید-باشند
 بن ماضی : بیان فعل برای سوم شخص مفرد .مانند: رفت.گفت.ساخت.خورد.زد.خرابید.خراشید.
 بن مضارع :برابر "بن ماضی+ن" می باشد که ریشه ی فعلی بشمار می رود.

زمان در زبان فارسی :

- 1-13 گذشته ساده: بن ماضی+شناسه فعلی =سیما گفت.simâ goft
- 2-13 گذشته ادامه-دار: می+گذشته ی ساده = سیما می گفت.Simâ migoft
- 3-13 گذشته دور : صفت مفعولی(بن ماضی+ه) +بود+شناسه فعلی =
سیما گفته بود.Simâ gofte bud
- 4-13 گذشته ادامه-دار ناتمام: داشت + شناسه فعلی + گذشته ادامه-دار =
سیما داشت می گفت.Simâ dâst migoft
- 5-13 گذشته بیانی (گذشته نزدیک یا گذشته کامل) : صفت مفعولی+شناسه فعلی=
سیما گفته است.Simâ gofte ast
- 6-13 گذشته التزامی : صفت مفعولی+باش+شناسه فعلی =
سیما گفته باشد.Simâ gofte bâs ad
- **باش" برای سوم شخص بگونه ی "باشد" نوشته می شود.
- 7-13 اکنون بیانی(مضارع اخباری) :می+بن مضارع+شناسه فعلی=سیما می گوید.Simâ miguy ad
- 8-13 اکنون ادامه-دار : دار+شناسه فعلی+اکنون بیانی = سیما دارم می گوید.simâ dâr ad miguy ad
- 9-13 اکنون التزامی : ب+بن مضارع+شناسه فعلی = سیما بگوید .simâ beguy ad
- 10-13 آینده : خواه+شناسه فعلی+بن ماضی(یا مصدر مرخم)=
سیما خواهد گفت.Simâ xâh ad goft

(a) سیما گفت.simâ goft
 (b) سیما می گفت.Simâ migoft

- (c) سیما گفته بود. Simâ gofte bud.
 (d) سیما داشت می گفت. Simâ dâst migoft.
 (e) سیما گفته است. Simâ gofte ast.
 (f) سیما گفته باشد. Simâ gofte baš ad.
 (g) سیما می گوید. Simâ miguy ad.
 (h) سیما داردمی گوید. simâ dâr ad miguy ad.
 (i) سیما بگوید. simâ beguy ad.
 (j) سیما خواهد گفت. Simâ xâh ad goft.

- (a) من گفتم . man goft am
 (b) من می گفتم. man migoft am
 (c) من گفته بودم. man gofte bud am.
 (d) من داشتم می گفتم. man dâst am migoft am.
 (e) من گفته ام. man gofte am.
 (f) من گفته باشم. man gofte bâš am.
 (g) من می گویم. man miguy am.
 (h) من دارم می گویم. man dâr am miguy am.
 (i) من بگویم. man beguy am.
 (j) من خواهم گفت. man xâh am goft.

14- کاربرد فعل "بود" در جمله ها .
 "بودن ، هستن " دو فعلی هستند که در فارسی کاربرد بسیاری دارند و بیشتر در نوشتن و گفتن چکیده می شود، برای نمونه "من خوب هستم" را "من خویم" می گوئیم و ما باید در نوشتن آن را جدا بنویسیم چراکه یک فعل بشمار می آید، بدین گونه "من خوب آم" و در برگردان آن به لاتین "man xub am" نوشته می شود.

علی و ساسان در خانه بودند .. **bud and** ali va sâsân dar xâne
 علی و ساسان هنوز از خانه نرفته بودند . **bud and** ali va sâsân hanuz az xâne naraft

- 15- به هیچ روی از "ال" ، "توین" ، و هر نشانه ی زبان بیگانه بهره نمی جوئیم .
 16- برای نمایاندن واژه سر خط یا پس از نقطه ، وات نخستین آن را بزرگ می نویسیم .
 17- نشان های خطی مانند ویرگول ، ؛ را چسبیده به واژه و پس از آن یک فاصله می گزاریم.
 18- برای واژه های ترکیبی پیچیده ی طولانی از خط تیره (-) بهره می جوئیم .

19- "ی" پایانی : "مردی" چه معنایی دارد ؟

مرد هستی ؟
 یک مرد .
 مردی (ویژگی مردان) .
 ما با دگرگونی واگروه (الف ب پ ث ...) این مشکل را از بین می بریم .

مرد^ای (مرد هستی) mard i
 مردی (یک مرد) mard ey
 مردی (ویژه گی مردان) mardi

مرد^ای (مرد هستی) مردی (یک مرد) مردی (ویژه گی مردان)

1*** "ی" شناسه فعلی : به جای "ی" چسبان در واژگان از "ا" بهره می جوئیم و به گونه ی جداگانه می نویسیم .

مانند :
 مردی (مرد هستی) : mard i
 خوبی (خوب هستی) : xub i
 کجایی (کجا هستی) : kojây i

***2 "ی" نسبت : "ی" که پس از واژگان آید و نسبت را بدان واژه می رساند. برای نمونه "آهنی" به معنای "از جنس آهن" می باشد. و یا "تبریزی" که "اهل تبریز" را می رساند. و یا "قرمزی" به چم "به رنگ قرمز" می باشد. ما برای این "ی" نسبت از "آ" بهره می جویم و آن را به واژه می چسبانیم .

مانند :

آهنی: āhani

تبریزی: tabrizi

خوزستانی: xuzestāni

"ی" نسبت پس از واژگانی که "ی" دارند : ما برای این واژگان نیز از "آ" بهره می جویم گرچه در دبیره تازی از "ئ" بهره می جستیم مانند "کهربائی" ، "طباطبائی" که با دگرگونی واتگروه دیگر نیازی نیست.

طباطبائی : tabātabāyi

کهربائی: kahrobāyi

***3 "ی" نشانه وحدت و نشانه نکره :

در پارسی به دلیل یکسان بودن سخنگو و شنونده بسیاری از دستور زبان های پیچیده عربی و فرانسوی را ندارد .

ما برای "ی" نکره مانند "اسبی" (یک اسب) و "ی" وحدت مانند "کتابی" (یک کتاب) از "ey" به گونه ی جداگانه بهره می جویم که از وارون کردن آن "ye" بدست می آوریم و سازگار است.

استفاده ی "ی" نکره در زبان پارسی خوشبختانه رو به فراموشی است که آن را می توان به فال نیک گرفت چراکه یکی از دستور زبان ها کم می شود . امروزه کمتر از "ی" نکره و یا "ی" وحدت بکاربرده می شود که به جای آن "ی" پایانی را به ابتدای واژه می آورند، برای نمونه نمی گویم : "کتابی خریدم" می گویم "یک کتاب خریدم" ، "ی کتاب خریدم".

Ketāb ey xaridam = ye ketāb xaridam.

20- در پیش گفتیم که تمامی واژگان سرهم نوشته می شود ولی در دبیره تازی مشکل هایی را بوجود می آورد برای نمونه در دبیره تازی نمی توان این واژگان را سرهم نوشت :
"هممیهن هماندازه یککلام یکاندازه تکآور بیپشت و بیپناه نامهها" ولی با دگرگونی این مشکل و یا آک زبانی از بین می رود .

Hammihan-hamāndaze-yekkalām-yakandāze-takāvar-bipošt-bipanāh-nāmehā

برای نمونه چم این جمله چیست :

او هم میهن اش را به هم میهن اش ترجیح داد.

U ham mihan aš rā be hammihan aš tarjih dad.

آن ساختمان چندطبقه چند طبقه دارد؟

Ān sāxtemān e candtabaqe cand tabaqe darad?

در دبیره تازی دوبار جمله را باید خواند یکبار فهمید و یکبار بخورد زبان داد، ولی با دبیره لاتین اینگونه نیست . مهم ترین حاصل این شیوه آسان شدن کار سوادآموزی است زیرا با به کار بردن آن شکل آشنای واژه های دراز همیشه ثابت می ماند و در ترکیب هر دم به شکلی در نمی آید، و زبان آموز _ و همین طور کامپیوتر _ یکبار که آن را شناخت دیگر همیشه به آسانی باز می شناسد.

سرهم نویسی به نویسندگان هم این اجازه را می دهد که بی واهمه از بدخوانده شدن نوشته شان هر چه می خواهند واژه های ترکیبی بسازند. این خود یعنی باز شدن راه باروری زبانی که به پیدایش واژه های ترکیبی تازه سخت نیازمند است.

سرهم نویسی با دبیره تازی همانگونه که در پیش گفتیم مشکل هایی را در بردارد و همانگونه که در پیش گفتیم دبیره تازی شکل بیان واژه را از بین می برد برای نمونه :

"شست و شو و گفت و گو و جست و جو" که پس از سرهم نویسی به "شستشو، گفتگو، جستجو" در آمده و بیان واژگان که میان آنان "او" بوده به "ا" دگرگون شده و راه را برای بررسی فنی-علمی زبان را بروی زبان شناسان می برد . ولی با واتگروه لاتین به شوند (دلیل) نگاهداشتن آواها از دگرگونی بیان واژگان پیشگیری می کند .

برای افزودن ŽŠĀ 'Ž صدای "ژ" می دهد. Š صدای "ش" می دهد. Ā صدای "آ" می دهد. ' صدای "ع" می دهد (در نرم افزار ماکروسافت (میکروسافت برای ورود به زبان پارسی ماکروسافت می شود) آفیس (m.office) از برنامه ی "Keyboard Layout Manager" می تواند بهره جست و رویه-کلید رایانه را با واژه های نو، (Ā Š Ž) هماهنگ کرد. و یا از دبیره ی (font) ساخته شده بهره بجوید . و یا کار آسان دیگری می توان انجام داد که بدین ترتیب است :

چگونگی افزودن ÅŽ-âšŽ به ماکروساف آفیس :

- 1- ماکروساف آفیس را آغاز کرده
- 2- سیاهه ی جایگزین(insert) را در نوار ابزار انتخاب می کنیم.(select insert)
- 3- نشانه ی نماد(symbol) را انتخاب می کنیم.(select symbol Ω)
- 4- برگه ی نماد symbols را انتخاب می کنیم.\ insert \ symbol
- 5- نشانه ی Å را از لیست پیدا می کنیم و آن را انتخاب و کلید میانبر... shortcut key را انتخاب می کنیم.
- 6- در کادر: press new shortcut key: Alt را نگه می داریم و سپس کلید A را فشار می دهیم و در پایان گزینه ی assign را انتخاب می کنیم و به همین ترتیب برای Å از alt+s و برای Ž از alt+z بهره می جویم . اکنون اگر کلید alt را همزمان با a فشار دهیم Å را می نویسد .

سخن پایانی :

درخواست نگارنده ی این مقاله :

تا کی نشستن تا به کی امید و حسرت تا کی به آرزو زندگی کردن به گفته ی شاعر

به راه یادیه رفتن به از نشستن باطل***وگر مُراد نیام ، به قدر وسع بکوشم

خواهشمندم اگر از وات های لاتین در رایانامه (ایمیل) یا در گوشی همراه در پیام-نویسی بهره می جوید از دستور زبان بالا پیروی کنید تا دارای یک پایه ی استوار باشد. برای نمونه در گوشی همراه به جای "ä" ، از @ بهره جوید و بجای "sh" از \$ بهره جوید
Å=@ , ch=c , sh=\$, gh=q , kh=x

از دوستان خواهشمندم که در این کار فرهنگی نهایت کوششان را بکنند و به باربردن زندگانی نشینند. ما می توانیم اگر بخواهیم .

خرده-گیری ای که می توان بدین نوشت چسباند این است که دیگر تفاوتی میان واژگان ایرانی و نیرانی(انیرانی یا غیر ایرانی) نیست (ع-ق-ظ-ض-ص-ط-ث-ح...)و پاسخ آن این است که در دوره ای زندگی می کنیم که فرهنگ واژگان چند میلیون واژه ای را در یک لوح نرم-افزار جای میدهند ؛ فردوسی را غم سوختن شاهنامه نیست ♠ و با مراجعه به این فرهنگ واژگان به آسانی می توان واژه بیگانه را شناخت و نمایاندن واژگان بیگانه به عهده ی زبان-آموز بیچاره نیست .

و در پایان شایسته می دانم بگویم که در جهت آک زدایی از این نوشت خواهان نگر های شما هستیم و خرده-گیری شما را در جهت پربارشدن این نوشت روی چشم می گذاریم.

بدرود

کیارش پارسا

keeyarash@gmail.com

به نام خداوندِ جان و خِرَد

طرح ریزی واحدهای صنعتی



تألیف
ساندریش هیراگو

ترجمه
دکتر رضا زنجیرانی فراهانی
عضو هیئت علمی دانشگاه صنعتی امیرکبیر

دکتر نسرین عسگری
گروه پژوهشی مدیریت زنجیره تأمین
مهندس محمدعلی موفق پور

سرشناسه : هیراگو، ساندریش Heragu, Sunderesh S.
 عنوان و پدیدآور : طرح‌ریزی واحدهای صنعتی / تألیف ساندریش هیراگو؛ ترجمه رضا زنجیرانی
 فراهانی، نسرین عسگری، محمدعلی موفق‌پور.
 مشخصات نشر : تهران: دانشگاه صنعتی امیرکبیر (پلی تکنیک تهران)، ۱۳۸۵.
 مشخصات ظاهری: ۷۱۴ ص.: مصور، جدول.
 شابک : 964-463-312-1
 یادداشت : فیپا.
 یادداشت : عنوان اصلی: Facilities Design
 یادداشت : کتابنامه: ص. [۶۷۳] - ۶۹۴.
 یادداشت : واژه‌نامه.
 موضوع : کارخانه‌ها -- طرح و ساختمان.
 موضوع : کارخانه‌ها -- طرح و برنامه‌ریزی.
 شناسه افزوده : زنجیرانی فراهانی، رضا، ۱۳۵۳ - مترجم.
 شناسه افزوده : عسگری، نسرین، ۱۳۵۴ -
 شناسه افزوده : موفق‌پور، محمدعلی.
 شناسه افزوده : دانشگاه صنعتی امیرکبیر (پلی تکنیک تهران).
 رده‌بندی کنگره : TS۱۷۷/۵۴ ط ۴ ۱۳۸۵
 رده‌بندی دیویی : ۶۵۸/۲۳
 شماره کتابخانه ملی : ۸۵-۳۵۰۰۰ م

این کتاب در جلسه مورخ ۸۵/۶/۲۸ شورای چاپ و
 نشر دانشگاه صنعتی امیرکبیر به تصویب رسید.



انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر
 (پلی تکنیک تهران)

عنوان کتاب : طرح‌ریزی واحدهای صنعتی
 تألیف : ساندریش هیراگو
 ترجمه : دکتر رضا زنجیرانی فراهانی - دکتر نسرین عسگری - مهندس محمدعلی موفق‌پور
 ناشر : انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر (پلی تکنیک تهران)
 لیتوگرافی، چاپ و صحافی : انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر (پلی تکنیک تهران)
 چاپ اول : زمستان ۱۳۸۵
 تیراژ : ۵۰۰ نسخه
 قیمت (به همراه CD) : ۷۰۰۰ تومان
 شابک : ۹۶۴-۴۶۳-۳۱۲-۱
 تلفن مرکز پخش: ۶۶۲۹۸۸۶۸
 ISBN: 964-463-312-1

آدرس: خیابان ولی‌عصر، روبروی خیابان بزرگمهر، فروشگاه کتاب مرکز نشر دانشگاه صنعتی امیرکبیر (پلی تکنیک تهران)
 حق چاپ برای ناشر محفوظ است

فهرست مطالب

صفحه	عنوان
.....	پیشگفتار مترجمان
.....	پیشگفتار مؤلف
.....	مقدمه‌ای بر طراحی تسهیلات
.....	۱-۱ مقدمه
.....	۲-۱ مدل‌ها
.....	۳-۱ الگوریتم‌ها
.....	۴-۱ ابزارآلات عمومی مدل‌سازی
.....	۱-۴-۱ رویکرد برنامه‌ریزی ریاضی
.....	۲-۴-۱ تئوری و رویکرد شبکه‌ای صف
.....	۳-۴-۱ رویکرد شبیه‌سازی
.....	خلاصه

تحلیل محصول و تجهیزات.....	۱۷
۱-۲ مقدمه.....	۱۷
۲-۲ انواع مسائل و مشکلات مربوط به چیدمان.....	۲۰
۱-۲-۲ مسائل چیدمان سیستم‌های خدماتی.....	۲۲
۲-۲-۲ مسائل چیدمان بخش‌های تولیدی.....	۲۷
۳-۲-۲ مسائل چیدمان انبار.....	۲۸
۴-۲-۲ مسائل چیدمان غیرسنتی.....	۳۰
۳-۲ تحلیل محصول.....	۳۱
۱-۳-۲ فهرست مواد.....	۳۲
۲-۳-۲ نمودار مونتاژ.....	۳۲
۳-۳-۲ نقشه مهندسی.....	۳۵
۴-۳-۲ برگه مسیر تولید.....	۳۶
۵-۳-۲ نمودار فرآیند عملیات.....	۳۸
۴-۲ انتخاب تجهیزات.....	۴۰
۱-۴-۲ مدل سنتی.....	۴۲
۲-۴-۲ مدل برنامه‌ریزی خطی.....	۴۴
۵-۲ تحلیل احتیاجات پرسنل.....	۵۳
۶-۲ فضای مورد نیاز و دردسترس.....	۵۵
خلاصه.....	۵۷
تحلیل فرآیند و جریان مواد.....	۶۷
۱-۳ مقدمه.....	۶۷
۲-۳ داده‌های مورد نیاز برای تصمیم‌گیری در مورد چیدمان.....	۶۷
۱-۲-۳ الگوی جریان.....	۶۸
۳-۲-۲ نمودار فرآیند جریان	۷۴

۷۷	۳-۲-۳ نمودار جریان
۷۸	۴-۲-۳ داده‌های مربوط به جریان
۸۳	۵-۲-۳ محاسبه فاصله
۸۹	۶-۲-۳ معیار ارزیابی چیدمان
۹۲	۳-۳ ابزارهایی برای ارائه طرح‌های چیدمان
۹۲	۱-۳-۳ نقشه‌ها
۹۳	۲-۳-۳ شابلون‌ها
۹۵	۳-۳-۳ مدل‌های فیزیکی سه‌بعدی
۹۶	۴-۳-۳ ابزارهای CAD
۹۷	۴-۳ راهبردهایی برای تهیه و توسعه داده‌ها
۹۷	۱-۴-۳ جمع‌آوری داده‌های پایه‌ای و اساسی
۱۰۱	۲-۴-۳ استخراج داده‌های مرتبط
۱۰۳	۳-۴-۳ تولید داده با قالب مطلوب
۱۰۶	۴-۴-۳ اشتراک‌گذاری داده‌های اولیه و دریافت بازخور اطلاعاتی
۱۰۶	۵-۴-۳ مستندسازی داده‌ها
۱۰۶	۵-۳ مطالعه موردی: کاربرد متدولوژی ارائه شده در یک شرکت تولیدی
۱۱۲	خلاصه

۱۲۳	رویکردهای سنتی برای چیدمان تسهیلات
۱۲۳	۱-۴ مقدمه
۱۲۶	۲-۴ برنامه‌ریزی سیستماتیک چیدمان
۱۳۳	۳-۴ پروژه برنامه‌ریزی اداری برای یک شرکت امداد املاک
۱۴۲	۴-۴ رویکرد مهندسی مساله طراحی
۱۴۹	خلاصه
۱۵۵	ضمیمه

۱۶۱.....	مدلهایی برای مسائل چیدمان.....
۱۶۱.....	۱-۵ مقدمه.....
۱۶۵.....	۲-۵ مدلی برای مسائل چیدمان یک‌رديفی.....
۱۶۷.....	۱-۲-۵ ABSMODEL 1.....
	۳-۵ مدل‌هایی برای مسائل چیدمان چندرديفی با تسهیلاتی دارای مساحت
۱۷۶.....	یکسان.....
۱۷۶.....	۱-۳-۵ QAP.....
۱۸۶.....	۲-۳-۵ ABSMODEL 2.....
	۴-۵ مدل‌هایی برای مسائل چیدمان چندرديفی با تسهیلاتی دارای مساحت
۱۹۳.....	غیریکسان.....
۱۹۴.....	۱-۴-۵ ABSMODEL 3.....
۱۹۷.....	۵-۵ بحث درباره انواع مدل‌ها.....
۱۹۹.....	۶-۵ مدل‌های اعداد صحیح مختلط خطی برای مسائل چیدمان یک‌رديفی.....
۲۰۱.....	۱-۶-۵ LMIP 1.....
۲۰۶.....	۲-۶-۵ LMIP 2.....
	۷-۵ تبدیل ABSMODEL 2 به مدل‌های خطی، غیرخطی و عدد صحیح مختلط
۲۱۰.....	معادل با آن.....
۲۱۱.....	۱-۷-۵ LMIP 3.....
۲۱۲.....	۲-۷-۵ NLP 1.....
۲۲۰.....	۸-۵ تبدیل ABSMODEL 3 به مدل خطی عدد صحیح مختلط معادل با آن.....
۲۲۰.....	۱-۸-۵ LMIP 4.....
۲۲۲.....	خلاصه.....
۲۳۱.....	الگوریتم‌های پایه در مساله استقرار.....
۲۳۱.....	۹-۱ مقدمه.....

۲۳۳	۲-۶ الگوریتم‌های ابداعی.....
۲۳۳	۱-۲-۶ الگوریتم‌های ساخت.....
۲۴۷	۲-۲-۶ الگوریتم‌های اصلاحی.....
۲۶۵	۳-۲-۶ الگوریتم‌های پیوندی (هیبرید).....
۲۷۴	۳-۶ نرم‌افزارهایی برای مدل‌سازی چیدمان.....
۲۷۵	۱-۳-۶ Factory CAD.....
۲۷۵	۲-۳-۶ FactoryPLAN.....
۲۷۶	۳-۳-۶ FactoryFLOW.....
۲۷۹	۴-۶ مسائل چیدمان در سیستم‌های تولیدی مدرن.....
۲۸۵	خلاصه.....

۲۹۱	الگوریتم‌های پیشرفته برای مسائل چیدمان.....
۲۹۱	۱-۷ مقدمه.....
۲۹۱	۲-۷ الگوریتم‌های بهینه.....
۲۹۳	۱-۲-۷ الگوریتم شاخه‌وحد.....
۳۰۶	۲-۲-۷ الگوریتم تجزیه بندرز.....
۳۲۹	۳-۷ الگوریتم‌های ابتکاری.....
۳۳۰	۱-۳-۷ تغییر یافته الگوریتم جریمه.....
۳۳۷	۲-۳-۷ الگوریتم شبیه سازی تبرید.....
۳۴۸	۳-۳-۷ الگوریتم SA ترکیبی.....
۳۵۲	۴-۳-۷ جستجوی تابو.....
۳۵۷	۵-۳-۷ الگوریتم ژنتیک.....
۳۶۴	۶-۳-۷ رویکردی بر اساس نظریه گراف.....
۳۷۴	۴-۷ مسائل چیدمان چندضابطه‌ای.....
۳۷۷	خلاصه.....

۴۵۹.....	۵-۲-۹ بهره‌برداری از ماشین.....
۴۶۰.....	۶-۲-۹ می‌نیمم کردن هزینه.....
۴۶۲.....	۷-۲-۹ زمان‌بندی شغل‌ها در سلول‌های فردی.....
۴۶۲.....	۸-۲-۹ ماکزیمم کردن نرخ عملکرد.....
۴۶۲.....	۳-۹ پروژه‌ای برای گروه‌بندی و چیدمان ماشین‌آلات.....
۴۸۰.....	۴-۹ رویکرد بهینه‌یابی برای حل مسائل طراحی CMS.....
۴۸۱.....	۱-۴-۹ توضیح مدل.....
۴۸۶.....	۲-۴-۹ الگوریتم حل: تجزیه بندرز.....
۴۹۱.....	۳-۴-۹ مثال عددی.....
۴۹۴.....	خلاصه.....
۴۹۷.....	مقدمه‌ای بر تئوری صف.....
۴۹۹.....	انتقال مواد.....
۴۹۹.....	۱-۱۱ مقدمه.....
۵۰۵.....	۲-۱۱ طرح واحد بار.....
۵۰۸.....	۳-۱۱ شیوه‌های گوناگون انتقال مواد.....
۵۰۹.....	۱-۳-۱۱ نقاله‌ها.....
۵۲۵.....	۲-۳-۱۱ پالت پرکن‌ها.....
۵۲۵.....	۳-۳-۱۱ ابزارهای بلند کردن پالت‌ها.....
۵۲۷.....	۴-۳-۱۱ بارکش‌ها (تراک).....
۵۳۰.....	۵-۳-۱۱ ربات‌ها.....
۵۳۳.....	۶-۳-۱۱ وسایل نقلیه هدایت خودکار (AGV).....
۵۳۶.....	۷-۳-۱۱ بالابرها، جرثقیل‌ها و بازوهای جرثقیلی.....
۵۴۰.....	۸-۳-۱۱ وسایل انتقال مواد انبارها.....

۵۴۰	۴-۱۱ سیستم‌های انتقال مواد در عمل
۵۴۳	۵-۱۱ سیستم‌های وسایل نقلیه هدایت خودکار
۵۴۷	۶-۱۱ مدل‌هایی برای طراحی سیستم انتقال مواد
۵۴۹	۱-۶-۱۱ روش قطعی
۵۵۷	۲-۶-۱۱ روش احتمالی
۵۶۱	۳-۶-۱۱ روش پایه‌گذاری شده دانش
۵۶۶	۷-۱۱ ملاحظات کاربردی سیستم انتقال مواد
۵۶۶	۱-۷-۱۱ روش‌های قطعی
۵۷۲	۲-۷-۱۱ روش احتمالی
۵۷۶	۸-۱۱ کاربرد شبیه‌سازی در چیدمان‌ها و سیستم‌های دستی
۵۹۲	خلاصه

ذخیره‌سازی و انبارداری..... ۵۹۹

۵۹۹	۱-۱۲ مقدمه
۶۰۱	۲-۱۲ کارکردهای انبار
۶۰۳	۳-۱۲ جابجایی مواد و سیستم‌های ذخیره‌سازی مورد استفاده در انبارها
۶۰۴	۱-۳-۱۲ وسایل ذخیره‌سازی
۶۱۱	۲-۳-۱۲ سیستم‌های ذخیره‌سازی و بازیابی
۶۱۸	۴-۱۲ سیستم‌های ذخیره‌سازی و بازیابی خودکار در عمل
۶۲۶	۵-۱۲ طراحی انبار
۶۲۶	۱-۵-۱۲ مکان‌یابی انبار
۶۲۷	۲-۵-۱۲ چیدمان کلی انبار
۶۲۸	۳-۵-۱۲ مکان‌یابی و چیدمان باراندازها
۶۳۰	۴-۵-۱۲ طراحی قفسه
۶۳۴	۵-۵-۱۲ انبارش بلاکی

۶۳۶	سیاست‌های ذخیره‌سازی	۱۲-۵-۶
۶۴۹	مدل‌های زمان سفر	۱۲-۵-۷
۶۵۲	عملیات مربوط به انبار	۱۲-۶
۶۵۳	مسئله توالی برداشت سفارش	۱۲-۶-۱
۶۵۷	الگوریتم ابتکاری بدنه محدب	۱۲-۶-۲
۶۶۰	خلاصه	
۶۷۳	مراجع	
۶۹۵	واژه‌نامه	
۷۰۷	فهرست راهنما	

پیشگفتار مترجمان

مهندسی صنایع به صورت کلاسیک و سنتی برای استفاده بهینه از منابع در امور تولید ایجاد شد. به عبارت دیگر، گرایش "تولید صنعتی" مهندسی صنایع امروزی در دانشکده‌های مهندسی صنایع، وارث همان توسعه مهندسی صنایع اصیل و سنتی است. لیکن بعدها به دلیل گسترده‌تر شدن زمینه‌های به‌کارگیری دانش مهندسی صنایع و ایجاد تکنیک‌ها و ابزارهای جدیدتر و موثرتر در زمینه‌های مختلف از قبیل تحلیل سیستم‌ها، سیستم‌های اطلاعاتی، تحقیق در عملیات و شبیه‌سازی، گرایش دیگری را در این رشته به نام "تحلیل سیستم‌ها" پدید آورد. شاید اگر بخواهیم سنتی‌ترین و محوری‌ترین موضوع مرتبط با رشته مهندسی صنایع را که در همه گرایش‌های این رشته به صورت اجباری وجود دارد، برگزینیم، آن انتخاب، موضوع "طرح‌ریزی واحدهای صنعتی" باشد. این درس در کشورهای پیشرفته (که طبیعتاً این زمینه در آنجا تدوین گردیده است) با نام "طراحی تسهیلات"¹ شناخته شده و در کشور ما با نام "طرح‌ریزی واحدهای صنعتی" مصوب وزارت علوم، تحقیقات و فناوری بوده و به عنوان یک درس سه‌واحدی در اواخر دوره کارشناسی مهندسی صنایع تدریس می‌گردد. بعضاً قسمت‌هایی از این بحث در درس "طراحی سیستم‌های صنعتی" به عنوان یک درس سه‌واحدی اجباری دوره کارشناسی ارشد مهندسی صنایع ارائه می‌گردد. رشته‌های مدیریت صنعتی، مهندسی مکانیک، مهندسی برق و مهندسی شیمی هم در طراحی

سازمان‌هایی که فرآیند تولید آن با رشته‌های مذکور همخوانی دارد از کاربران این موضوع هستند. به علاوه، این موضوع به صورت عملی و اغلب در کارخانه‌ها و بعضاً سازمان‌های خدماتی مورد استفاده فراوانی دارد.

شاید هیچ‌کس در جهان در زمینه "طرح‌ریزی واحدهای صنعتی" به اندازه میوتر^۲ مشهور نباشد. در کشور ما هم این زمینه با نام وی و متدولوژی مشهور "برنامه‌ریزی چیدمان سیستماتیک"^۳ او وارد شد. هرچند بعدها بزرگان دیگری مانند رید^۴ و ندلر^۵ هم در این زمینه تلاش فراوانی کردند، لیکن بعدها هیچ‌کس به اندازه پروفیسور جیمز اپل^۶ این زمینه را ارتقا نداد.

سرانجام در ۱۰ سال اخیر، تقریباً در تمامی دانشگاه‌های معتبر جهان، حداقل یکی از دو کتاب ذیل مرجع درس "طرح‌ریزی واحدهای صنعتی" یا "طراحی کارخانه" بوده است: یکی کتاب حاضر به تالیف پروفیسور هیراگو و دیگری کتاب "برنامه‌ریزی تسهیلات"^۷ متعلق به پروفیسور جیمز تامکینز و همکاران^۸. از آنجا که کتاب تامکینز قبلاً توسط یکی از مترجمان این کتاب (رضا زنجیرانی فراهانی) ترجمه شده و به چاپ رسیده است و به دلیل تفاوت‌های قابل ملاحظه‌ای که در سبک نگارش این دو کتاب وجود دارد، تصمیم بر این شد تا این کتاب هم ترجمه شده و تقدیم دانشگاهیان و اهل صنعت گردد.

این کتاب دارای خواصی است که آن را در بین رقبای دیگر خود متمایز می‌کند: اول، مدل‌های ریاضی و بهینه‌سازی مربوط به کلیه مباحث طراحی کارخانه و مکان‌یابی را در بر دارد؛ دوم، مدل‌های هیوریستیک بسیاری در طراحی کارخانه و مکان‌یابی را پوشش می‌دهد؛ سوم، حاوی نرم‌افزار BLOCPLAN و راهنمای آن است و به عبارت دیگر، تنها کتاب این زمینه در کشور است که چنین خواصی را دارد. ضمناً، در سال‌های اخیر، این کتاب مرجع درس "طرح‌ریزی واحدهای صنعتی" و "طراحی سیستم‌های صنعتی" در چند دانشگاه معتبر کشورمان بوده و هست.

2. Muter
3. Systematic Layout Planning
4. Reed
5. Nadler

6. James Apple
7. Facilities Planning
8. James Tompkins et al.

ویرایش انگلیسی این کتاب اولین بار در سال ۱۹۹۷ به چاپ رسیده است. این کتاب طی سال‌های گذشته تا امروز برای چندمین بار در جهان به چاپ رسیده و مورد استفاده واقع شده است و ویرایش جدیدتری ندارد (مرجع: www.amazon.com). در آدرس اینترنتی فوق‌الذکر می‌توانید نظرات اساتید بزرگ جهان را از بدو چاپ اول تاکنون در مورد این کتاب ببینید؛ این کتاب ۴/۵ ستاره از ۵ ستاره را دریافت کرده است. به هر حال سابقه تدریس این درس در دانشگاه‌های صنعتی امیرکبیر و شریف طی حدود ۹ سال توسط تیم مترجمین، تجارب حرفه‌ای آنها در این زمینه، چاپ مقالات بین‌المللی در مجلات معتبر جهانی IJAMT, EJOR, JJPR و AMC و طراحی سوالات کنکور کارشناسی ارشد مهندسی صنایع در ۴ سال اخیر باعث حصول اطمینان ایشان از مفید بودن این کتاب برای جامعه علمی و صنعتی کشور می‌گردد.

ویرایش انگلیسی کتاب در برگیرنده ۱۴ بخش بوده است، ولی با توجه به سرفصل مصوب وزارت علوم برای درس طرح‌ریزی واحدهای صنعتی و با در نظر گرفتن توصیه مؤلف کتاب برای حجم مطالب مناسب برای یک دوره آموزشی یک ترمه در مقطع کارشناسی، از آوردن بخش‌های ۱۰، ۱۳ و ۱۴ در اینجا خودداری شده است. بخش ۱۰ در برگیرنده مقدمه‌ای بر نظریه صف است که انتظار می‌رود دانشجویان قبلاً با نظریه صف در سایر درس‌ها آشنا شده باشند. بخش‌های ۱۳ و ۱۴ هم در مورد مکان‌یابی تسهیلات هستند؛ از آنجا که مدل‌های مکان‌یابی تسهیلات به‌طور مفصل در درس طراحی سیستم‌های صنعتی (به عنوان یک درس اجباری ۳ واحدی دوره کارشناسی ارشد مهندسی صنایع) مورد بحث قرار می‌گیرند، از آوردن این دو بخش در ترجمه فارسی این کتاب خودداری شده است. خوانندگان علاقه‌مند به مبحث مکان‌یابی تسهیلات می‌توانند به مراجع تخصصی در این مراجعه نمایند.

به هر حال، امید است که این اثر گامی در راستای درک بهتر مباحث مرتبط با "طرح‌ریزی واحدهای صنعتی" یا "طراحی کارخانه"، پیچیدگی‌های حاکم بر آن و ملزومات پیاده‌سازی آن باشد. از آنجا که ترجمه، ویرایش و حروف‌چینی این کتاب توسط مترجمین صورت گرفته است، آنها خود را مسئول بروز هر گونه اشتباه در آن می‌دانند.

مترجمان امیدوارند که این کتاب گامی هر چند کوچک در راستای شناساندن بیشتر این موضوع به دانشجویان و اهل صنعت کشورمان باشد. در هر حال مترجمان خود را مسئول بروز هر گونه خطا و اشتباه در کتاب می‌دانند و از نظرات سازنده خوانندگان استقبال نموده و بازخور آن را در ویرایش‌های آتی اعمال خواهند نمود.

پیشگفتار مؤلف

شرکت‌های فعال در زمینه تولید و خدمات مقدار قابل توجهی از زمان و پول خود را صرف فعالیت‌های طراحی یا بازطراحی تسهیلات می‌نمایند. این کارکرد بسیار مهم باید قبل از اینکه کالاها تولید شوند و یا اینکه خدمات ارائه شوند، باید مشخص گردد. یک طراحی ضعیف برای تسهیلات می‌تواند پرهزینه باشد و منجر به ضعف کیفیت محصولات، روحیه ضعیف کارکنان و عدم رضایت مشتریان گردد. این کتاب طراحی مناسب، چیدمان و مکان‌یابی تسهیلات را در بر می‌گیرد.

بخش ۱ خواننده را با مشکلات طراحی و برنامه‌ریزی‌ای که در سیستم‌های تولیدی و خدماتی رخ می‌دهد آشنا می‌کند. از آنجا که مدل‌ها و الگوریتم‌های ریاضی برای مدل کردن و حل کردن مسائل طراحی تسهیلات به کار می‌روند، بخش ۱ همچنین یک معرفی را برای سه ابزار مدل‌سازی عمومی و یک بحث مختصر در مورد الگوریتم‌های حل را در بر می‌گیرد. در بخش ۲ انواع مختلفی از مسائل چیدمان بحث می‌شوند. این بخش شامل یک بحث پیرامون تحلیل محصول و انتخاب تجهیزات است و همچنین تحلیل نیازمندی‌های پرسنلی و فضایی است. در حالی که بخش ۲ به تولید و انتخاب تجهیزات تخصیص داده شده است، بخش ۳ تحلیل فرایند و جریان مواد را در بر می‌گیرد. این بخش نوع احتیاجات داده‌ای برای فرایند و تحلیل جریان مواد و یک روش برای توسعه و تولید داده را با جزئیات آنها تشریح می‌کند. این بخش همچنین ابزارهای معمول که برای ارائه چیدمان‌های طراحی شده به کار می‌روند را در کنار یک

مطالعه موردی برای توسعه و تولید داده از دنیای واقعی را ارائه می دهد.

از ۷ بخشی که به طراحی تسهیلات تخصیص داده شده است، دو بخش ۴ و ۵ به مسئله مدل سازی چیدمان تخصیص داده شده اند. بخش ۴ مدل های سستی طراحی چیدمان، شامل مدل معروف برنامه ریزی سیستماتیک چیدمان^۱ (SLP) را با جزئیات بررسی می کند. این بخش در برگیرنده یک پروژه چیدمان است که مدل SLP را به همراه سایر مدل هایی که پیشینه بیشتری دارند، در بر می گیرد. بخش ۵ به طور خاص دربرگیرنده مدل های ریاضی برای مسئله چیدمان است. هر چند ممکن است مدرسین زیادی بخش ۴ را برای دانشجویان مقطع کارشناسی و مقطع تحصیلات تکمیلی مناسب بدانند ولی ممکن است بخش ۵ را از برنامه درسی دانشجویان مقطع کارشناسی حذف کنند. اینکه بخش ۵ از برنامه درسی دانشجویان مقطع کارشناسی حذف شود یا نه، بستگی زیادی به پیش زمینه ذهنی دانشجویان در مورد درس تحقیق در عملیات دارد.

بخش های ۶ و ۷ فقط با روش های حل یا الگوریتم های مربوط به مسئله چیدمان سروکار دارند. از آنجا که برخی تکنیک های جدیدتر و پیشرفته تر در بخش ۷ پوشش داده می شوند، این بخش می تواند فقط برای دانشجویان مقطع تحصیلات تکمیلی مناسب باشد. برنامه FORTRAN نوشته شده برای برخی الگوریتم های ارائه شده در بخش های ۶، ۷ و ۹ به همراه کتاب فراهم شده اند. این برنامه ها برای معرفی مباحث طرح شده در بخش های ۵، ۶، ۷ و ۹ مفید هستند. به علاوه نرم افزار BLOCKPLAN که همراه کتاب آورده شده است می تواند برای نمایش ایده های حل مسائل چیدمان نمونه به اندازه حل مسائل مروری مفید باشد.

بخش های ۸ و ۹ ایده تکنولوژی گروهی را در سطوح ابتدایی و پیشرفته پوشش می دهند. بسته به آمادگی دانشجویان، مدرسین می توانند بخش ۹ را تدریس کنند یا نکنند. زیرا بخش ۹ شامل یک پروژه گروه بندی ماشین آلات و چیدمان است که بر اساس یک مطالعه موردی بیان شده در بخش ۳، شکل گرفته است. مدرسین می توانند این بخش را در برنامه درسی دانشجویان کارشناسی بگنجانند.

مدل های صف تحلیلی و صف شبکه ای در بخش ۱۰ بحث شده اند. نرم افزار RAQS که می توان آن را به سادگی از اینترنت دانلود کرد و می تواند در هنگام بحث برای جواب مدل های صف به کار رود در این بخش توضیح داده شده است. از آنجا که

^۱ . systematic layout planning

بسیاری از مطالب پایه‌ای در زمینه نظریه صف می‌توانند در سایر درس‌های دوره کارشناسی مطرح شوند، از آوردن آنها در اینجا خودداری شده است. بحث در مورد برخی مدل‌ها برای مقاله‌ها در بخش ۱۱ در صورتی می‌تواند بیشتر معنی‌دار باشد که برخی مدل‌های پایه‌ای صف در بخش ۱۰ مرور شوند.

بخش ۱۱ به موضوع انتقال مواد می‌پردازد. این بخش دربرگیرنده یک دسته از الگوریتم‌ها و مدل‌های طراحی و برنامه‌ریزی است. این بخش همچنین به موضوع شبیه‌سازی که می‌تواند برای بررسی انتقال مواد و چیدمان تسهیلات به‌کار رود، نیز می‌پردازد. علاوه بر تجهیزات توضیح داده شده در بخش ۱۱ که برای ذخیره و بازیابی به‌کار می‌روند، بخش ۱۲ پیرامون مدل‌ها و الگوریتم‌های مورد استفاده در طراحی و عملیات انبارها پرداخته است.

بخش ۱۳ و ۱۴ به موضوع مکان‌یابی تسهیلات و مدیریت لجستیک با تاکید بر روی مدل‌های ریاضی پرداخته‌اند. بخش ۱۳ مدل‌های ساده‌تر در مکان‌یابی را مطرح می‌کند در حالی که بخش ۱۴ مدل‌های پیچیده‌تر را مورد توجه قرار می‌دهد که می‌توانند به صورت ابتدایی برای دانشجویان تحصیلات تکمیلی مفید باشند.

یک دوره آموزشی یک ترمه در مقطع کارشناسی می‌تواند شامل بخش‌های ۱، ۲، ۳، ۴، ۶، ۸، ۱۱، ۱۲ و ۱۳ باشد. ما این کتاب را برای دانشجویان مقطع تحصیلات تکمیلی با تاکید بر بخش‌های ۱، ۲، ۳، ۵، ۷، ۹، ۱۰، ۱۱ و ۱۴ استفاده کردیم. سایر ترکیبات ممکن برای دانشجویان کارشناسی و تحصیلات تکمیلی بستگی به علاقه مدرسین و آمادگی قبلی دانشجویان دارد.

تشکر و قدردانی

در واقع این بخش سخت‌ترین قسمت کتاب برای نوشتن بود. چرا که انسان‌های زیادی بودند - که من نمی‌توانم از همه آنها در اینجا یاد کنم - که من برای نوشتن این کتاب باید از آنها سپاسگزار باشم. در هر حال غفلت خواهد بود اگر باز هم مراتب سپاس خود را از این اعضای خانواده‌ام ابراز ندارم: همسر Rita برای صبر، پشتیبانی و تشویقش؛ والدینم Seethamma و Sesharanga Iyengar برای همه خردی که به من آموختند و بالاتر از همه، عشقی که تا به امروز به من ورزیده‌اند؛ خواهرم Vijaya، همسرش Sitaram، فرزندانشان Anila و Asha که فضای عالی‌ای را برای من در زمان

انجام تحقیق دکترای من فراهم کردند (که قسمتی از آن به عنوان این کتاب پیش روی شما قرار دارد)؛ برادر من Srinath؛ و خواهر دیگرم Shrimathi و همسرش Venkatesh Malur که به من کمک کردند تا بتوانم برای تعقیب تحصیلاتم به امریکای شمالی بیایم. من همچنین از اینکه با دو تن از همقطارانم -Bob Graves و Charlie Malmberg- در دپارتمان DSES مرتبط بودم بسیار خوش بختم، چرا که ایشان در زمینه طراحی تسهیلات خبره بودند و توصیه‌های خوبی را در مورد کتاب علی‌الخصوص ایجاد تعادل میان طراحی و بهینه‌سازی پیشنهاد کردند. Jim Tien که در طول این پروژه پشتیبانی کننده بود و منابع کامپیوتری و سایر منابع را برای برخی بخش‌های حیاتی تهیه نمود. من همچنین از تعدادی رساله و کتب مرجع در این زمینه استفاده کردم، به‌خصوص کتاب‌های McGinnis and White and Tompkins, Francis, Askin and Standridge, Trevino و Tanchoco, Frazelle, Bozer, White, و خصوصی ایالات متحده و خارج -Karen Auguston, Jerry Crucetti, Charles Tim, Ronald Mantel, Mark Lattimore, Rick Korchak, Les Gould, Donaghey و M.A. van der Lande, John Usher, Doug Stone, Detlef Spee, O'Donnell و Dick Ward- که مطالب مفیدی را فراهم آوردند که در کتاب قرار داده شده‌اند؛ از آنها صمیمانه تشکر و قدردانی می‌شود. همچنین از کسانی که در بازخوانی متن کمک کردند: M.Louis, Margaret Brandeau, Yavuz Bozer, Han Bao, Sadashiv Adiga, Jeff, Marc Goetschalckx, Charles Donaghey, Mike Diesenroth, Bernnan Ed McDowell, Panos Kouvelis, Bill Kennedy, Manjunath Kamath, Goldberg John و Joe Svestka, Nanua Singh, Roderick Reasor, Udatta S. Palekar, و Usher و پیشنهادات باارزشی را ارائه کردند که محتوا، سطح و سازماندهی کتاب را تحت تأثیر قرار داد.

Debbie Winchell که زحمت تایپ حجم عظیمی از دستنوشته‌ها را بر عهده داشت و همچنین همکاری وی را قدر می‌نهم. همچنین از دانشجویان حاضر و قبلی‌ام Srini, Chris Lucarelli, Jasmit Kochhar, Siva Kakuturi, Ja-Shen Chen و Rajagopablagan و Srini Ramaswamy برای کمک‌شان برای قسمت‌هایی از کتاب.

از Omer Demirel, Fawzy Bukhari, Osman Anli و سایر دانشجویان در استانبول که

درس "مدل‌هایی در برنامه‌ریزی تسهیلات و انتقال مواد" را گذراندند و صبورانه

غلط‌های متن اولیه را بررسی کردند تا در نسخه نهایی تعداد کمتری از این خطاها باشد. من خالصانه صبر و پیشنهادات ایشان را اجر می‌نهم. ناشران این کتاب چندین بار عوض شدند تا این‌که قرارداد آن در چند سال پیش امضا شد و من از حمایت‌های و پشتیبانی ویراستاران قبلی —Mike Slaughter و Peter Gordon— و استادم Chandra Das سپاسگذارم. پیشنهادات ارزشمند ایشان ارج نهاده می‌شود. من همچنین از شرکت Numerical Recipes Software که امکان استفاده از برخی کدهای نوشته‌شده‌شان در این کتاب را فراهم آوردند تشکر می‌کنم و از کارکنان انتشارات PWS و Professional Book Center علی‌الخصوص Jennifer Ballentine و Andrea Goldman و Jonathan Plant که امکان چاپ سریع این کتاب را فراهم آوردند تشکر می‌کنم.

علی‌رغم همه تلاشم برای عاری ساختن کتاب از اشتباهات، ممکن است خوانندگان کتاب برخی از آنها را بیابند. مسئولیت همه غلط‌ها و از قلم افتادگی‌ها بر عهده من است. در هر حال مطمئنم که شما کتاب را به‌عنوان مرجعی خوب، به‌روز و مفید برای مطالعه مدل‌سازی و تحلیل طراحی تسهیلات، چیدمان، مکان‌یابی، انتقال مواد و مسائل انبارداری/ذخیره خواهید یافت. من پذیرای غلط‌ها و از قلم افتادگی‌هایی که توسط خوانندگان یافته شوند هستم، و خوانندگان می‌توانند آنها را از طریق e-mail (herags@rpi.edu)، فاکس (518-276-8227) یا تلفن (518-276-6856) به من برسانند.

ساندریش هیراگو

انستیتوی پلی‌تکنیک رسندلر

مقدمه‌ای بر طراحی تسهیلات

۱-۱ مقدمه

تسهیلات به‌طور کلی به ساختمان‌ها و مکان‌هایی اطلاق می‌شود که افراد، مواد و ماشین‌آلات برای رسیدن به هدف مشخصی-که معمولاً تولید محصول معین و یا ارائه خدمات است- در این مکان‌ها گرد هم می‌آیند. به‌دلیل وجود فشارهای داخلی و خارجی، تسهیلات در عین حال که اهداف متعددی را برآورده می‌کنند، برای دستیابی به هدف از پیش تعیین شده‌شان باید به درستی مدیریت شوند. از جمله این اهداف تولید محصول یا ارائه خدمات با هزینه کمتر، کیفیت بالاتر، با استفاده از حداقل منابع طبیعی است. برای اداره کردن این تسهیلات به منظور دستیابی به اهدافی که اغلب با یکدیگر مغایرت دارند، فرد باید از مشکلات اساسی تصمیم‌گیری که در چنین سیستم‌هایی با آن برخورد می‌کند آگاهی داشته باشد.

در سال‌های اخیر، صنایع تولیدی-خدماتی به‌دلیل رشد کیفی و کمی سیستم‌های خودکار، شاهد پیشرفت‌های چشمگیری بوده‌اند، هرچند این پیشرفت‌ها مشکلات مربوط به طراحی سیستم‌های خودکار را نیز به همراه داشته است. هرچه مشکلات مربوط به طراحی پیچیده‌تر شود، طراحان و استفاده‌کنندگان سیستم‌های خودکار مجبورند ابزارآلات جدیدی را برای فائق آمدن بر این مشکلات توسعه دهند. طراحی سیستم‌های تولیدی-خدماتی شامل مشکلات عدیده‌ای است. این فعالیت پیچیده

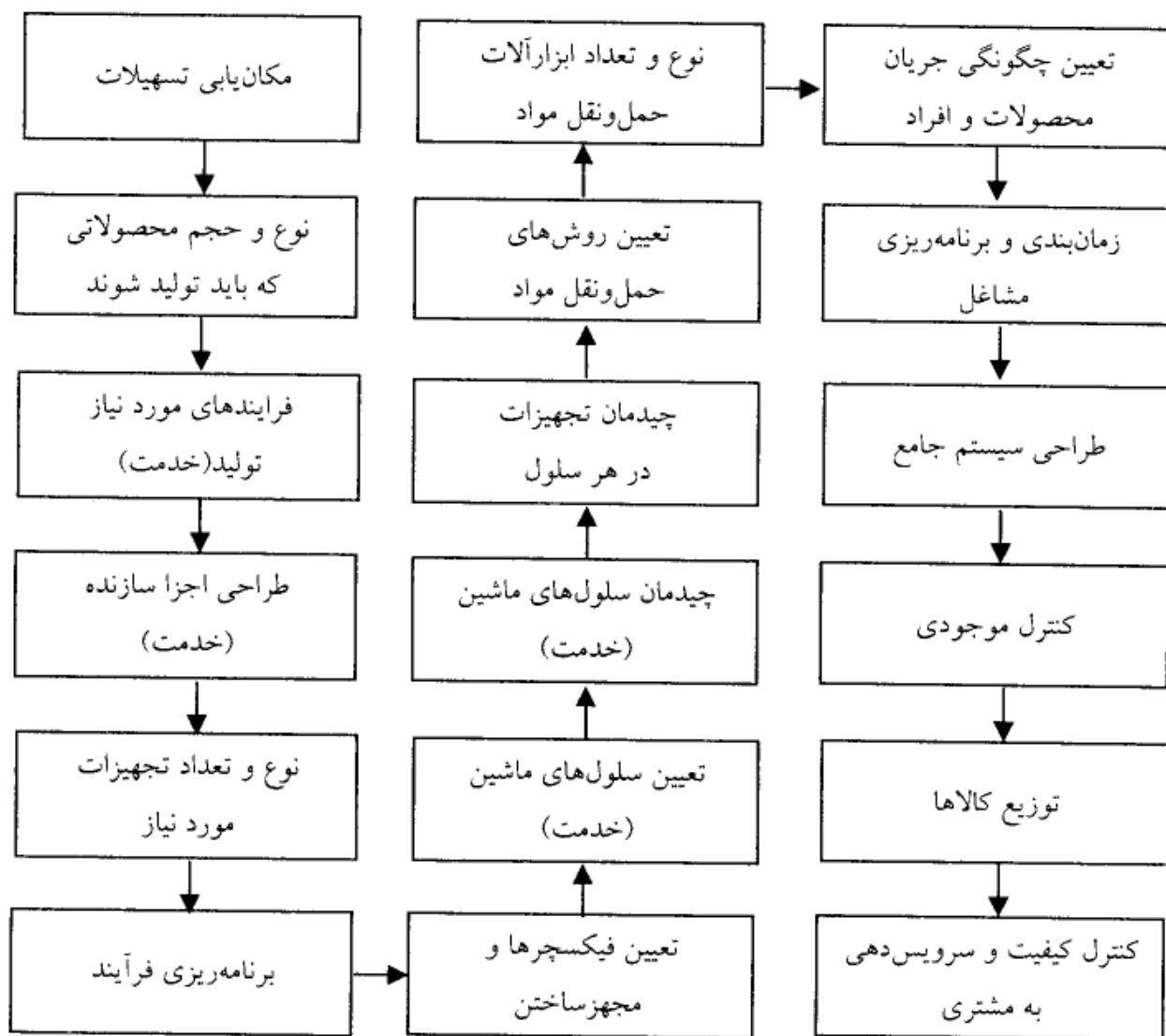
(طراحی سیستم‌های تولیدی-خدماتی) شامل حل مسائل مربوط به طراحی و برنامه‌ریزی است که به صورت سلسله مراتبی مرتب شده‌اند. این مسائل شامل موارد ذیل است: تعیین محصولاتی که باید ساخته شوند؛ تعیین خدماتی که باید ارائه شوند؛ تعیین فرآیندهای تولیدی-خدماتی مورد استفاده و تعیین کیفیت و کمیت تجهیزاتی که قادر به اجرای فرآیندهای مورد نیاز باشند. به علاوه سوالات مهمتری که در رابطه با طراحی، نیاز به عنوان شدن دارند عبارتند از: توسعه مقدماتی برنامه‌ریزی فرآیندها، تعیین ابزارآلات و فیکسچرهای مورد نیاز، تعیین چیدمان ماشین‌آلات و سلول‌های ساخت و تولید، تعیین روش‌های انتقال مواد، تعیین تعداد و نوع ابزارهای انتقال مواد با توجه به نیازهای حرکتی مواد. حل مسائل مربوط به چیدمان سلول‌ها و یا تعیین سلول‌های تولیدی معمولاً برای سیستم‌های تولیدی که از تعداد زیادی اجزاء تشکیل شده‌اند و یا برای فعالیت‌های تولیدی که می‌توانند به سلول‌های مستقل تقسیم شوند کاربرد دارد. برای سیستم‌های تولید انبوه و یا تولید پیوسته، معمولاً این‌گونه مسائل مطرح نمی‌شود.

مسائل مربوط به برنامه‌ریزی و طراحی که در شکل ۱-۱ نشان داده شده است جامع نیست و مسائل نباید حتماً با نظمی که در این شکل نمایش داده شده است حل شوند. اغلب برگشت به عقب و یا تکرار بین دو یا چندین مرحله ضروری به نظر می‌رسد. مسلماً، تصمیمات اخذ شده باید دیگر مشکلات نظیر مسائل مربوط به بازاریابی تبلیغات، بسته‌بندی، انبارداری و مالی را نیز مد نظر داشته باشند. همه مسائل باید در آن واحد برای رسیدن به یک تصمیم منطقی بررسی شوند؛ متأسفانه، حل هر یک از این مسائل به تنهایی و بدون در نظر گرفتن مسائل دیگر، کار دشواری است. از این رو رایج‌ترین روش، حل کردن مشکلات به‌طور متوالی و پشت سر هم است (ابتدا مسائل مربوط به طراحی و سپس مسائل مربوط به برنامه‌ریزی). بعضی اوقات لازم است که بین دو یا چند مسئله چندین بار تکرار صورت گیرد و حرکت رفت و برگشتی داشته باشیم چون ممکن است تصمیمی که روی یکی از مسائل گرفته می‌شود تاثیر روی دیگری و بالعکس داشته باشد. تصمیمات مربوط به طراحی نسبتاً به ندرت انجام

می‌گیرد. 

اعمال تغییر و اصلاح تصمیم در طراحی هزینه زیادی در بردارد. به عنوان مثال، وقتی

که یک کارخانه در محل مشخصی ساخته می‌شود، نقل و انتقال آن به محلی دیگر بعد از فقط یک یا دو سال بسیار مشکل است؛ چراکه هزینه‌های ثابت مربوط به کارخانه هنوز در این زمان کوتاه به‌طور کامل پوشانده نشده‌است.



شکل ۱-۱. مسائل مربوط به طراحی معمول در سیستم‌های ساخت و تولید خودکار

به‌طور مشابه، اگر جانمایی مربوط به ماشین‌آلات چندمنظوره و پرکار در یک کارخانه مشخص شود، این چیدمان باید برای حداقل سه تا پنج سال بدون تغییر باقی بماند؛ زیرا تغییر چیدمان اینگونه تسهیلات، بسیار وقت‌گیر و هزینه‌بر است. ما نمی‌توانیم تصمیمات مربوط به طراحی را زودبه‌زود تغییر دهیم؛ بنابراین در این‌گونه تصمیم‌گیری‌ها باید تاثیر بلندمدت تغییرات و فعالیت‌های تولیدی یا خدماتی کوتاه‌مدت

و بلندمدت (هر دو) مد نظر قرار گیرد.

از طرف دیگر، تصمیم‌گیری در مورد مسائل و مشکلات مربوط به برنامه‌ریزی، معمولاً به‌طور مکرر انجام می‌شود زیرا تغییر و اصلاح چنین تصمیماتی (تصمیمات مربوط به برنامه‌ریزی) به اندازه ایجاد تغییر در تصمیمات مربوط به طراحی، پرهزینه نیست. به عنوان مثال، زمان‌بندی فعالیت‌هایی که در یک کارگاه صورت می‌گیرد و یا برنامه‌ریزی و کنترل موجودی می‌تواند به‌طور مکرر هر هفته یک بار انجام شود -البته اگر ضرورتی داشته باشد. با وجود اینکه تصمیمات در بعضی از مسائل مربوط به برنامه‌ریزی، روزانه یا هفتگی گرفته می‌شود در بعضی مسائل دیگر نیز ماهانه یا فصلی اخذ می‌شود. بنابراین برنامه زمان‌بندی‌شده برای تصمیمات مربوط به برنامه‌ریزی می‌تواند کوتاه‌مدت یا میان‌مدت باشد.

این کتاب بر روی مسائل مربوط به طراحی از جمله چگونگی و محل قرار گرفتن، جمع‌آوری و چیدمان تسهیلات متمرکز شده است. همچنین چگونگی اداره و ذخیره محصولات و تولیدات نیز مد نظر قرار می‌گیرد و هر جا که ضرورت داشته از مدل‌های ریاضی استفاده شده است. با وجود اینکه مدل‌ها در تعدادی از فصول تاکید شده‌اند، به تنهایی نمی‌توانند برای طراحی، مکان‌یابی یا چیدمان تسهیلات استفاده شوند. اغلب، این مدل‌ها از آن جهت استفاده می‌شوند که این مسائل قابل حل شوند و در آنها ممکن است عوامل قابل مشاهده^۱ در نظر گرفته نشود؛ در صورتی که این عوامل تاثیر به‌سزایی بر روی عملکرد مناسب تسهیلات دارند. اگر عوامل قابل مشاهده را نادیده بگیریم و تصمیماتی که در رابطه با طراحی گرفته می‌شود تنها بر پایه عوامل^۲ ذهنی باشد، با خطر نامطلوب بودن طراحی مواجه خواهیم شد. پس هیچ یک از فاکتورها و عوامل نباید نادیده گرفته شوند و رویکرد کاملاً کیفی و یا کاملاً کمی نباید در تصمیمات مربوط به طراحی یا برنامه‌ریزی اتخاذ شود. برای مثال، رویکرد مدلسازی ریاضی (رویکرد کمی) ممکن است به نتایج و راه‌حل‌های اولیه‌ای دست یابد که منجر به راه‌حلهای مناسب‌تر از طریق رویکرد کیفی شود. با این تذکر، در ادامه، در مورد مدل‌ها، تکنیک‌ها و الگوریتم‌های حل مسائل بحث خواهد شد و تعدادی از ابزارهای عمومی مدلسازی

عنوان می‌شود.

۱-۲ مدل‌ها

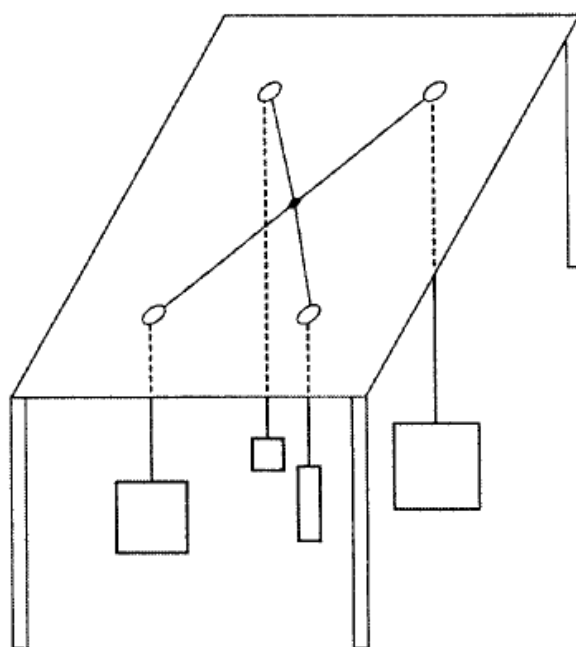
مدل‌ها به سه دسته مدل‌های فیزیکی، ریاضی و قیاسی طبقه‌بندی می‌شوند. خواننده احتمالاً مدل‌های فیزیکی مربوط به ساختمان‌ها، سدها، استادیوم‌ها، تئاترها و یا هواپیماها در تونل‌های بادی را دیده است. این مدل‌ها شکل و ظاهری مشابه با سیستم واقعی دارند، اما عموماً از نظر اندازه، کوچکتر هستند. مدل‌های قیاسی لزوماً مشابه سیستم واقعی نیستند، اگرچه اطلاعاتی درباره سیستم ارائه می‌دهند. برای مثال، نموداری که افزایش روزافزون جمعیت را نشان می‌دهد یک مدل قیاسی است. مثال دیگر، قرار گرفتن واحد جدید در شبکه تسهیلات موجود است.

دو مثال ذیل را در نظر بگیرید:

- برای به حداقل رساندن هزینه‌های عملیاتی، شرکت RENT-ME که حوزه فعالیتش در خصوص اجاره دادن اتومبیل در شیکاگو است، در نظر دارد تسهیلات جدیدی برای ارائه خدمات خود (مثل تعویض روغن، نگهداری، کنترل و بررسی منظم و تعمیرات مختصر و جزئی) به ماشین‌هایش در پنج شهر و دو ایستگاه هواپیمایی ایجاد کند. بین تسهیلات خدماتی و تعداد ماشین‌های هر محل رابطه وجود دارد. شرکت RENT-ME خواهان تعیین موقعیت مطلوب و بهینه تسهیلات خدماتی برای به حداقل رساندن کل مسافتی است که به وسیله ماشین‌ها برای گرفتن سرویس پیموده می‌شود.
- با توجه به بودجه تصویب شده، به یک استان محلی مجوز ساخت یک آتش‌نشانی جدید، داخل یا نزدیک به پنج شهر در آن استان داده شده است. فرض شده که تقاضا در هر شهر برای خدمات آتش‌نشانی به‌طور مستقیم متناسب با جمعیت شهر است. مسئولین استان باید یک محل مطلوب برای آتش‌نشانی پیدا کنند.

یک مدل قیاسی برای حل این دو مسئله ممکن است از میزهایی که سوراخ‌هایی بر روی آن وجود دارد استفاده کند که هر سوراخ متناظر است با محل تسهیلات موجود. یک طنابی که وزنه‌ای به انتهایش متصل است از هر سوراخ عبور می‌کند. وزنه، نمایش

دهنده رابطه متقابل بین تسهیلات مفروض و تسهیلات جدید است. سر دیگر طناب‌ها در یک گره به هم وصل شده‌اند و در روی میز نشان داده می‌شود. همان‌طور که در شکل ۱-۲ نشان داده شده است محل گره، نشان دهنده مکان تسهیلات جدید است. اگر ما قرقره‌ای در هر سوراخ قرار دهیم، لغزش طناب روی قرقره برای به حداقل رساندن اصطکاک در هر سوراخ، باعث بالا رفتن گره و آزاد کردن آن می‌شود و طناب‌ها (که به آنها وزنه‌هایی متصل است) و گره کم‌کم به وضعیت تعادل می‌رسند و در آن موقعیت مستقر می‌شوند. این موقعیت موقعیت گره که در آن وزنه‌ها در تعادل‌اند - محل تسهیلات جدید را مشخص می‌کند. طول هر طناب، نمایش دهنده فاصله تسهیلات فعلی مربوط به هر طناب با تسهیلات جدید است. بنابراین طناب‌ها با فاصله‌ها و موقعیت گره با محل تسهیلات جدید قابل قیاس است. خواننده می‌تواند آزمایش وزنه و طناب را با استفاده از برنامه کامپیوتری SINGFAC.EXE، که در دیسکت همراه کتاب آمده، شبیه‌سازی کند.



شکل ۱-۲. مدل قیاسی مربوط به مسئله چیدمان یک ماشین

خواننده هم چنین با مدل‌های ریاضی آشناست. برای مثال، ما می‌دانیم که فاصله d

در این کتاب از مدل‌های ریاضی برای حل مسائل چیدمان به‌طور گسترده استفاده

می‌شود و کل بعضی فصول به مدل‌های ریاضی اختصاص داده شده است. مدل‌های ریاضی را می‌توان به مدل‌های توصیفی^۱ و تجویزی^۲ طبقه‌بندی کرد. با توجه به فرض وجود مقادیر مشخص برای یک دسته از متغیرهای تصمیم‌گیری، مدل‌های توصیفی عملکرد سیستم را پیش‌بینی می‌کنند. از طرف دیگر مدل‌های تجویزی به یک دسته از متغیرهای تصمیم‌گیری مقدار اختصاص می‌دهند. بنابراین، یک رویکرد منطقی برای طراحی سیستم شامل توسعه یک مدل تجویزی است که مقادیری را برای متغیرهای تصمیم‌گیری اصلی مشخص می‌کند و به دنبال آن استفاده از این مقادیر متغیرها برای به‌کارگیری مدل توصیفی است که می‌تواند عملکرد سیستم را ارزیابی کند. در عمل، مراحل مختلف مدل‌سازی اغلب نادیده گرفته می‌شود. شرکت‌ها اغلب در مدل‌سازی مسائل مربوط به طراحی تسهیلات تخصص ندارند، و مدیریت رده بالا معمولاً از کاهش هزینه‌هایی که در اثر بهبود طراحی تسهیلات "نسبتاً بهینه" ایجاد می‌شود آگاهی ندارند. اغلب مدیران در بسیاری از شرکت‌ها آن‌قدر درگیر مسائل دیگر هستند که تصور می‌کنند وقت کافی برای رویارویی با مشکلات مربوط به طراحی و برنامه ریزی تسهیلات را ندارد. در این کتاب ما مثال‌های واقعی ارائه می‌دهیم که اهمیت تحلیل این مسائل را به‌طور کامل روشن می‌سازد.

تقریباً در همه فصل‌ها چگونگی کمک گرفتن از مدل‌های ریاضی در تحلیل و حل مشکلات مربوط به طراحی و برنامه ریزی تسهیلات نشان داده‌ایم. بعد از مطالعه و بررسی این کتاب، خواننده باید نه تنها از اهمیت طراحی تسهیلات و مسائل برنامه‌ریزی بلکه از مزیت‌های به‌کارگیری مدل‌های ریاضی برای تحلیل این مسائل آگاه می‌شود.

۱-۳ الگوریتم‌ها

بعد از ایجاد مدل، باید به دنبال تکنیک‌های حل آن بود. تکنیک‌های حل و رویه‌ها، معمولاً/الگوریتم نامیده می‌شوند. اگر یک الگوریتم مفروض بتواند حداقل یک راه حل بهینه تولید کند (زمانی که چندین راه حل بهینه وجود دارد)، آن الگوریتم، یک الگوریتم بهینه نامیده می‌شود، در غیر این صورت الگوریتم ابتکاری، یا به‌طور ساده یک ابتکار

نامیده می‌شود. باید توجه کرد که یک الگوریتم ابتکاری خوب ممکن است برای بسیاری از مسائل به سرعت جواب بهینه پیدا کند اما نمی‌توان ثابت کرد که این جواب به‌دست آمده، بهینه است. الگوریتم انشعاب و تحدید از نوع الگوریتم‌های ابتکاری است که جواب بهینه را به سرعت پیدا می‌کند اما کامپیوتر نیاز به زمان زیادی برای بررسی بهینگی دارد.

حل بیشتر مسائل مربوط به برنامه‌ریزی و طراحی تسهیلات مشکل است. برای مثال، مسئله تخصیص نمایی^۱ (QAP) که برای فرموله کردن مسائل چیدمان استفاده می‌شود، به صورت یک NP کامل^۲، شناخته شده است. برای فهم اصطلاح NP کامل، ما نیاز به داشتن اطلاعاتی درباره توابع پیچیدگی زمان^۳ (TCF) داریم. TCF یک الگوریتم عبارت است از بیشترین زمانی که این الگوریتم برای حل مسئله مفروض نیاز دارد. برای مثال، اگر TCF یک الگوریتم چیدمان بهینه n باشد، آن وقت زمان لازم برای حل یک مسئله چیدمان با وجود ۱۰ تسهیلات توسط الگوریتم، ۱۰ برابر زمان لازم برای حل یک مسئله چیدمان با وجود ۱۰۰ تسهیلات توسط کامپیوتر است. از طرف دیگر اگر TCF الگوریتم دیگری^۴ ۲ باشد و یک ثانیه طول بکشد تا یک مسئله‌ای که ۲۰ تسهیلات دارد را حل کند، برای حل مسئله‌ای با وجود ۶۰ تسهیلات حدود ۳۶۶ قرن طول خواهد کشید! مثال‌های دیگر در جدول ۱-۱ داده شده است. اولین الگوریتم نشان داده شده نیاز به زمان چندجمله‌ای^۵ دارد، در حالی که دومین الگوریتم نیاز به زمان غیر چندجمله‌ای^۶ (نمایی) دارد. اگر ما بدانیم که مسئله، یک NP کامل است، در آن صورت می‌توان فهمید که الگوریتم شناخته شده‌ای که بتواند از طریق سری‌های زمانی چندجمله‌ای آن را حل کند وجود ندارد. بنابراین هیچ الگوریتم شناخته شده‌ای نمی‌تواند مسائل مربوط به چیدمان و یا تخصیص نمایی را از طریق سری‌های زمانی حل کند (به‌طوری که به جواب بهینه برسد). این موضوع در فصل ۷ مجدداً مورد بررسی قرار می‌گیرد. برای کسب اطلاعات بیشتر درباره NP کامل‌ها به Garey and

1. Quadratic Assignment Problem

2. Non-deterministic Polynomial- Complete

3. Time Complexity Functions

4. Polynomial Time

5. Non-Polynomial Time

6. Exponential

Jonson (1979) مراجعه شود.

جدول ۱-۱. مقایسه زمان محاسباتی مورد نیاز الگوریتم‌های چندجمله‌ای و NP

TCF	اندازه مسئله				P-Complete یا NP-Complete
	۱۰	۲۰	۴۰	۶۰	
n	۰/۰۰۱ ثانیه	۰/۰۰۲ ثانیه	۰/۰۰۴ ثانیه	۰/۰۰۶ ثانیه	P-Complete
n^3	۰/۰۰۱ ثانیه	۰/۰۰۸ ثانیه	۰/۰۶۴ ثانیه	۰/۲۱۶ ثانیه	P-Complete
2^n	۰/۰۰۱ ثانیه	۱/۰ ثانیه	۱۲/۷ روز	۳۶۶ قرن	NP-Complete

۱-۴ ابزارآلات عمومی مدل‌سازی

در این بخش تعدادی از ابزارهای عمومی که برای مدل‌سازی مسائل برنامه‌ریزی و طراحی در دسترس هستند معرفی می‌شود. هیچ یک از ابزارهای مدل‌سازی در همه شرایط و موقعیت‌ها بر دیگر ابزارها برتری ندارد. با این وجود سه مورد از ابزارهای مدل‌سازی - برنامه‌ریزی ریاضی، تئوری و مدل شبیه‌سازی - زمانی که به ترتیب صحیحی استفاده شوند، به تصمیم‌گیرندگان اجازه می‌دهند که سطوح مختلف اطلاعاتی را با هم ترکیب کرده تا به راه حل‌های خوب و منطقی برای مسائل و مشکلات مربوط به طراحی و برنامه‌ریزی دست یابند.

برنامه‌ریزی ریاضی یک ابزار ایستا است که عموماً به داده‌های قطعی برای ورودی نیاز دارد. این ابزار نمی‌تواند بسیاری از جنبه‌های پویا و دینامیک مسائل مربوط به طراحی و برنامه‌ریزی سیستم از جمله تداخل کاری اپراتور-ماشین که در مدل‌های صف در نظر گرفته می‌شود را در نظر گیرد. با این وجود، برخلاف مدل‌های صف، برنامه‌ریزی خطی یک ابزار مناسب برای بهینه‌سازی عملکرد سیستم است (در حالی که مدل‌های صف، ابزار ارزیابی عملکرد سیستم هستند). با مفروض بودن محدودیت‌ها - مثل محدودیت ظرفیت و یا نیازهای تولید - برنامه‌ریزی خطی می‌تواند تعداد بهینه ماشین‌آلاتی که باید از فهرست کاندید شده انتخاب شوند را به ما اعلام کند.

این مقادیر بهینه که توسط مدل‌های برنامه‌ریزی ریاضی برای متغیرهای تصمیم به دست می‌آید باید به عنوان جواب اولیه‌ای که بعداً توسط مدل‌های شبیه‌سازی و صف بهبود می‌یابد در نظر گرفته شوند. برای مثال، مسئله تصمیم‌گیری در مورد تعیین تعداد

و نوع وسایل تولیدی مورد نیاز را در نظر بگیرید. ما می‌توانیم از مدل‌های ریاضی برای تخمین تعداد تجهیزات و وسایل تولیدی مورد نیاز استفاده کنیم. سپس با استفاده از مدل‌های تئوری، می‌توان این تخمین را از طریق تولید اطلاعاتی درباره معیارهای عملکرد^۱ برای طرح اولیه، آزمایش آن و ارائه پیشنهاداتی برای تغییر در طرح اولیه که معیارهای عملکرد را بهبود دهد، تصحیح کنیم. برای مثال، یک مدل تئوری مناسب ممکن است که برای امتحان راه حل اولیه‌ای (طراحی سیستم) که بوسیله مدل ریاضی ایجاد شده، استفاده شود و عملکردش را با توجه به معیارها و شاخص‌های مختلفی از جمله میزان موجودی محصولات نیمه‌ساخته، میزان استفاده از ماشین‌آلات، میزان نرخ تولید و جریان زمان شغلی^۲ تحلیل کند. بر اساس تحلیل عملکرد، طراح سیستم ممکن است که تغییراتی در طراحی اعمال کند؛ مانند خرید ماشین‌آلات جدید، حذف بعضی دیگر از ماشین‌آلات و غیره. با استفاده از طرح اصلاح شده، طراح سیستم می‌تواند یک مدل شبیه‌سازی را توسعه داده و سیستم طراحی شده و ویژگی‌های عملیاتی‌اش را تحلیل کند.

۱-۴-۱ رویکرد برنامه‌ریزی ریاضی

روش برنامه‌ریزی ریاضی تلاش می‌کند تا یک تابع هدف کمی را بهینه کند به طوری که مجموعه محدودیت‌ها نیز در نظر گرفته شود. عموماً تابع هدف، به دنبال کمترین هزینه و یا بیشترین سود است و محدودیت‌ها، تعیین‌کننده جواب‌های شدنی هستند. پس از تعیین جواب‌های شدنی با توجه به محدودیت‌ها، راه‌حلی که تابع هدف را بهینه کند انتخاب می‌شود. یک مدل برنامه‌ریزی ریاضی شامل متغیرهای تصمیم و پارامترهاست. ما به دنبال تعیین مقادیر متغیرهای تصمیم هستیم به طوری که تابع هدف را برای مقادیر از قبل تعیین شده پارامترها بهینه کند. اگر بعضی از محدودیت‌ها یا قسمتی از تابع هدف در مورد متغیرهای تصمیم غیرخطی باشد (مثلاً یک محدودیت شامل ضرب دو متغیر تصمیم‌گیری یا مجذور یکی از متغیرها باشد)، آن مدل، مدل غیرخطی نامیده می‌شود. برعکس اگر همه محدودیت‌ها و تابع هدف نسبت به

1. Performance measures

2. Job flow time

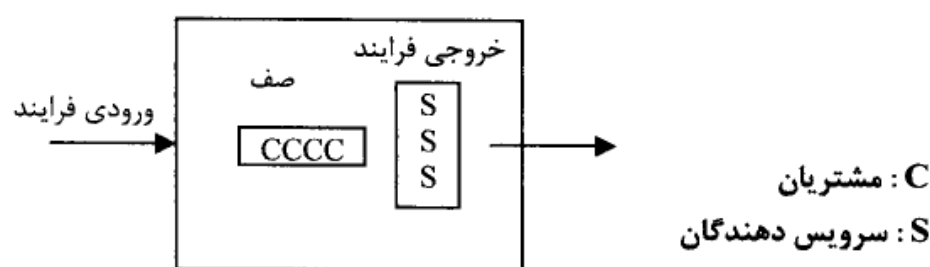
متغیرهای تصمیم خطی باشند، آن مدل یک مدل خطی نامیده می‌شود. اگر در مدل ساخته‌شده، محدودیت عدد صحیح بودن همه و یا تعدادی از متغیرها وجود داشته باشد، این مدل یک مدل خطی یا غیرخطی عدد صحیح محض یا عدد صحیح مختلط^۱ نامیده می‌شود. عموماً پیدا کردن راه‌حل مطلوب برای مدل‌های خطی آسان‌تر از مدل‌های غیرخطی یا مدل‌هایی با محدودیت عدد صحیح است. حل کردن مدل‌هایی که متغیرهای تصمیم آن فقط مقادیر صفر و یک را قبول می‌کنند از حل مدل‌های برنامه‌ریزی عدد صحیح دشوارتر است. این موضوع بار دیگر در فصل ۵ توضیح داده خواهد شد.

۱-۴-۲ تئوری و رویکرد شبکه‌ای صف

وجود صف‌ها یا خطوط انتظار در مجموعه‌های مختلفی که شامل سیستم‌های تولیدی یا خدماتی هستند بسیار مرسوم است. کاهش طول یا زمان سپری شده در یک صف به وسیله بخشی از سیستم تولیدی منجر به صرفه‌جویی در موجودی انبار می‌شود. به‌طور مشابه، کاهش طول یا زمان سپری شده در یک صف به وسیله یک مشتری در سرویس خدماتی به معنای ارائه سریع‌تر خدمت است. با استفاده از یکی از روش‌های ذیل می‌توان به سطح موجودی پایین‌تر و ارائه سرویس سریع‌تر دست یافت. برای مثال، خرید تجهیزات بیشتر، افزودن تعداد سرویس‌دهندگان و یا طراحی مجدد فرآیندهای خدماتی یا تولیدی. هر کدام از این گزینه‌ها، مستلزم صرف زمان، پول، انرژی و منابع است. ما باید گزینه‌ای را انتخاب کنیم که حداکثر بهبود را با کمترین هزینه ایجاد کند. تئوری صف یک تکنیک تحلیل ریاضی است که می‌تواند متغیرهای ذیل را در سیستم خط انتظار تخمین بزند:

- تعداد قطعات (مشتریان) که در یک صف منتظر می‌مانند.
- زمانی که یک قطعه (مشتری) در صف منتظر می‌ماند.
- احتمال بیکار بودن یک ماشین (سرویس‌دهنده).
- احتمال پر شدن ظرفیت یک صف.

با استفاده از این تخمین‌ها، می‌توان بهترین گزینه برای بهبود عملکرد سیستم را انتخاب کرد. در یک سیستم صف، مشتریان از طرق مختلف به مکان سرویس‌دهی می‌رسند و منتظر اولین سرویس‌دهنده در دسترس می‌مانند. برای تعمیم این مثال به قسمت‌های تولیدی، قطعات نقش مشتری را بازی می‌کنند و ماشین‌ها، روبات‌ها و وسایل جابه‌جایی مواد نقش سرویس‌دهنده را ایفا می‌کنند. در فضای خدماتی، اتومبیل‌ها نقش مشتری و ایستگاه‌های شستشوی اتومبیل نقش سرویس‌دهندگان را ایفا می‌کنند. زمانی که سرویس‌دهنده در دسترس باشد، یک مشتری با توجه به قانون صف برای سرویس‌دهی انتخاب می‌شود. سرویس به وسیله یک خروجی کامل می‌شود و مشتری سیستم را ترک می‌کند. فرآیندهای ورودی و ارائه خدمت تصادفی فرض می‌شوند. شکل ۱-۳ یک سیستم صف ساده را نشان می‌دهد.



شکل ۱-۳. یک سیستم صف

سیستم‌های خدماتی و تولیدی، عموماً شامل بیش از یک سیستم صف هستند. در حقیقت، بسته به فازهای مختلف سرویس‌دهی، سیستم‌های صف زیادی می‌توانند تشکیل شبکه دهند. تجزیه و تحلیل شبکه‌های صف اطلاعات مفیدی را فراهم می‌سازد.

۱-۴-۳ رویکرد شبیه‌سازی

شبیه‌سازی، یک ابزار مدل‌سازی و ارزیابی عملکرد مرسوم است که به صورت گسترده در سیستم‌های تولیدی و غیرتولیدی مورد استفاده قرار می‌گیرد. این رویکرد قدرتمند برای تحلیل سیستم‌های تصادفی پیچیده و همچنین مدل‌کردن سیستم‌هایی استفاده می‌شود که نمی‌توان آنها را از طریق روش‌های برنامه‌ریزی ریاضی و یا تئوری صف

مدل کرد. رویکرد شبیه‌سازی به علت اینکه می‌تواند تعداد محدودی از پیچیدگی‌ها را در یک سیستم بپذیرد، قابل توجه است. در حقیقت، مدل شبیه‌سازی می‌تواند دقیقاً

واقعیت را منعکس کند. دقت و صحت آنها تنها به وسیله زمان‌ها و هزینه‌هایی که از طریق سخت‌افزارها و نرم‌افزارهای کامپیوتری اعمال می‌شود، محدود می‌گردد. همان‌طور که HO (1987) بیان می‌کند، روش شبیه‌سازی قدرت خارق‌العاده‌ای است که به وسیله کامپیوتر، از طریق آزمایش و خطا سیستم واقعی را مدل می‌کند. مدل شبیه‌سازی عملکرد یک سیستم را تقلید می‌کند و ما را قادر می‌سازد که زمان خود را فشرده یا گسترده کنیم. به عنوان مثال، ما می‌توانیم الگوی ورود و سرویس‌گیری مشتریان بانک در مدت زمان یک سال را از طریق شبیه‌سازی توسط کامپیوتر در چند دقیقه مدل کنیم. سپس می‌توانیم متوسط زمان انتظار مشتری (یا دیگر معیارهای عملکرد) را بررسی کرده و ایده مناسب در مورد چگونگی عملکرد سیستم در جهان واقعی کسب کنیم.

یک مدل شبیه‌سازی جواب بهینه برای معیارهای عملکرد ایجاد نمی‌کند. بیشتر، نمونه‌هایی که نماینده معیارهای عملکرد هستند تولید می‌کند و از این نمونه‌ها برای تخمین میانگین عملکرد استفاده می‌کند. روش شبیه‌سازی می‌تواند با بسیاری از سیستم‌ها سازگاری داشته و تخمین‌های وسیعی از معیارهای عملکرد ارائه دهد مهم‌تر از همه، می‌تواند رفتار وابسته به زمان را نیز ارزیابی کند.

در روش شبیه‌سازی نواقصی نیز وجود دارد. تئوری آمار اعلام می‌کند که هرچه اندازه نمونه بزرگتر باشد تخمین دقیق‌تر و بهتر خواهد بود؛ اما هرچه اندازه نمونه بزرگتر باشد، مدل طولانی‌تری باید در کامپیوتر اجرا شود. به علاوه، توسعه یک مدل شبیه‌سازی یک امر زمان‌بر است. با این وجود، شبیه‌سازی، ابزار مدل‌سازی مطلوبی است زیرا امکان به تصویر کشیدن عملیات یک سیستم و تحلیل "چه می‌شود-اگر" را به ما می‌دهد؛ همچنین نیاز به آزمایش کردن مدل در سیستم واقعی نیز وجود ندارد. بر خلاف روش‌های تحلیلی که تا به حال مطالعه شد، خروجی که به وسیله مدل شبیه‌سازی فراهم می‌شود یک تخمین آماری است و مقدار دقیقی از معیار عملکرد که به دنبال آن بوده‌ایم به ما نمی‌دهد.

مدل شبیه‌سازی شامل سه ماهیت است: منابع، تبادلات^۲ و صف‌ها. در فضای

تولیدی، ماشین‌ها و یا سیستم‌های حمل‌ونقل مواد، منابع را تشکیل می‌دهند. اگر قطعه‌ای مجبور به منتظرماندن برای تبادل یا انتقال شد، باید در صف منتظر بماند. ویژگی‌های یک منبع، تبادل یا صف، وضعیت سیستم را مشخص می‌کند. این وضعیت هر زمانی که رخدادی اتفاق بیفتد تغییر می‌کند. از آنجا که این رخدادهای در نقاط گسسته‌ای از زمان، اتفاق می‌افتند مدل‌های شبیه‌سازی را معمولاً مدل‌های شبیه‌سازی گسسته می‌نامند. زبان‌های شبیه‌سازی زیادی برای توسعه و بهبود مدل‌های شبیه‌سازی در دسترس قرار دارد. به دلیل اینکه این‌گونه مدل‌ها در فصل ۱۱ توضیح داده می‌شود، در اینجا جزئیات بیشتر در رابطه با شبیه‌سازی یا زبان‌های شبیه‌سازی ارائه نمی‌شود. در مجموع، شبیه‌سازی یک ابزار چندکاره و پر قدرت است و تنها عیب آن این است که برای گسترش‌دادن، معتبرکردن و تست مدل، نیاز به تلاش و پشتکار زیادی دارد. بنابراین، شبیه‌سازی تنها باید برای ارائه تحلیل جزئی بعد از اینکه تحلیل ابتدایی با استفاده از برنامه‌ریزی خطی و تئوری صف انجام شد، استفاده شود.

خلاصه

در این فصل، مسائل مربوط به طراحی و برنامه‌ریزی تسهیلات معرفی شد. همچنین به‌طور مختصر، تعداد محدودی از مدل‌ها و الگوریتم‌هایی که برای حل و فرموله کردن بسیاری از مسائل طراحی که در این کتاب آمده و استفاده خواهد شد، معرفی شدند. سه راه‌کار عمومی مدل‌سازی برنامه‌ریزی ریاضی، تئوری و شبیه‌سازی نیز توضیح داده شد.

سوالات و تمرینات دوره‌ای

۱- مسائل مربوط به برنامه‌ریزی و طراحی را مقایسه کنید و توضیح دهید که چرا حل کردن این دو مسئله به‌طور هم زمان مطلوب‌تر از حل کردن آنها به‌طور متوالی است.

۲- طبقه‌بندی مدل‌ها را به‌صورت جزئی‌تر توسعه دهید. در صورت ضرورت به منابع

دلیل در کتابخانه مراجعه کنید. هر کدام از انواع مدل‌ها را در یک یا دو جمله تعریف کنید.

۳- نقش مدل‌ها و الگوریتم‌ها را در حل مسائل توضیح دهید.

۴- فرق اساسی بین الگوریتم‌های بهینه و ابتکاری در چیست؟ سه مثال از هر کدام بیاورید. (توجه: شما می‌توانید به کتاب درسی تحقیق در عملیات برای تهیه فهرستی از الگوریتم‌هایی که یاد گرفته‌اید مراجعه کنید.)

۵- اگر برای حل یک مدل، هم الگوریتم بهینه‌سازی و هم ابتکاری در اختیار داشته باشید کدام یک را ترجیح می‌دهید؟ جواب خود را توضیح دهید.

۶- مزایا و معایب هر یک از رویکردهای مختلف ذیل برای مدل‌سازی را بیان کنید:

- برنامه‌ریزی ریاضی
- تئوری
- شبیه‌سازی

تحلیل محصول و تجهیزات

۲-۱ مقدمه

در فصل اول تعدادی از مسائل مربوط به طراحی تسهیلات در سیستم‌های تولید خودکار را عنوان کردیم. مساله مهم در طراحی سیستم‌های تولیدی و یا خدماتی نحوه چیدمان و جانمایی تجهیزات است. مطالعاتی که در سیستم‌های تولیدی انجام شده است نشان می‌دهد که ۷۵٪-۳۰٪ هزینه محصولات، ناشی از مخارج سیستم‌های انتقال مواد است (Sule, 1991). Tompkins and White (1984) معتقدند که هزینه فعالیت‌های مربوط به انتقال مواد، ۵۰٪-۲۰٪ کل بودجه عملیاتی یک شرکت تولیدی را در بر دارد. در نتیجه اگر تسهیلات به مناسب‌ترین شکل چیده شوند، تولیدکنندگان می‌توانند هزینه‌های محصولات را کاهش داده و موقعیت رقابتی خود را بهبود بخشند (منظور از مناسب‌ترین چیدمان این است که هیچ چیدمان بهتری نمی‌تواند با توجه به معیار انتخاب شده موجود باشد. از طرفی، بقیه طرح‌ها ممکن است به همین میزان خوب باشند ولی هیچکدام بهتر نیستند. در این حالت چندین طرح به عنوان مناسب‌ترین طرح موجود است و جواب بهینه چندگانه خواهیم داشت). در سیستم‌های تولیدی واژه تسهیلات شامل ماشین‌آلات، کارگاه‌ها، ایستگاه‌های بازرسی، مکان‌های شستشو، کمد لباس‌ها، استراحتگاه‌ها و دیگر تجهیزات پشتیبانی مشابه است. در سیستم‌های خدماتی، تسهیلات شامل دفترخانه‌ها، استراحتگاه‌ها و رستوران‌هاست.

منظور از چیدمان فیزیکی، تخصیص تجهیزات به مکان‌های مشخص در کارخانه است. چیدمان تسهیلات به نحوی که حرکت پرسنل و مواد را حداقل کرده و در نتیجه هزینه انتقال مواد را کاهش دهد، کارایی و بهره‌وری سیستم را افزایش می‌دهد. در عمل، علاوه بر حداقل کردن هزینه مربوط به حرکت بین تسهیلات، فاکتورهای دیگری نیز بایستی مد نظر قرار گیرند. بعضی از این فاکتورها که برای چیدمان فیزیکی بایستی در نظر گرفته شوند عبارتند از:

- کاهش تراکم و ازدحام ماشین‌آلات برای جریان روان افراد و مواد.
- استفاده از فضای در دسترس به‌صورت کارآمد و مؤثر.
- تسهیل ایجاد ارتباط و نظارت.
- فراهم کردن یک محیط مطلوب و ایمن برای پرسنل.

در هنگام تهیه چیدمان تجهیزات، طراحان باید به موارد ذیل توجه کنند:

- بعضی از تسهیلات که به‌صورت جفت هستند بایستی به دلایل ایمنی و بدون توجه به میزان حرکت مواد بین آنها، در مکان‌های همجوار قرار گیرند. یک مثال برای این مورد، محل کوره ذوب و عملیات حرارتی است. با توجه به خطر آتش‌سوزی، این دو جایگاه باید در کنار یکدیگر قرار گیرند، حتی اگر قطعات کمی بین این دو ایستگاه رد و بدل شوند.
- بعضی از تسهیلات که به‌صورت جفت هستند باید در مکان‌های غیرمجاور قرار گیرند. گاهی اوقات دلایل تکنولوژیکی ایجاب می‌کند که تعداد دو یا بیشتر از تجهیزات نزدیک یکدیگر قرار نگیرند، حتی اگر تعداد زیادی از قطعات بایستی بین این دو ایستگاه رد و بدل شوند. مثلاً به دلیل اینکه بخش جوشکاری ایجاد جرقه کرده و احتمال دارد که باعث شعله‌ور شدن حلال‌های قابل اشتعال در بخش رنگرزی شود، این دو قسمت باید در مکان‌های غیرمجاور، در دورترین حالتی که امکان دارد، قرار گیرند، حتی اگر تبادل زیادی بین آنها در میان باشد.
- بعضی از تسهیلات، بایستی در مکان‌های خاص و مشخص قرار گیرند. این مثال

اولی را در نظر بگیرید. یک تولیدکننده زایل‌شوی و اسفنج‌سنتی یک دستگاه

دریل-پرس دارد که از سقف کارخانه بلندتر است. برای تعبیه این دریل، یک

حفره در سقف کارخانه ایجاد کرده است، اگر کارخانه بخواهد تغییری در طرح اعمال کند نمی‌تواند مکان این دستگاه را تغییر دهد.

- قوانین دولتی محلی، استانی و مرکزی و قوانین بیمه خطرات کارخانه، باید در نظر گرفته شود. طبق اصول آتش‌نشانی ممکن است چندین در خروجی اضطراری احتیاج باشد. اداره امنیت و سلامت شغلی^۱ (OSHA) با توجه به تعداد کارکنان و دیگر فاکتورها، اتاق‌های استراحت مجزا برای مردان و زنان مقرر کرده است. دیگر قوانین OSHA شامل راه‌های ورود و خروج به تسهیلات تولیدی، معیارهای امنیت و سلامتی، شرایطی قرارگیری فرایندها و تجهیزات خطرناک (طوری که برخورد کارکنان با آنها حداقل شود) و از این قبیل است. همچنین OSHA میزان روشنایی و نور لازم برای افراد و اینکه یک کارمند چه میزان صدا را می‌تواند بدون استفاده از تجهیزات ایمنی تحمل کند تعیین می‌کند.

حتی زمانی که شرکت‌ها به اهمیت طراحی یک چیدمان کارآمد برای تسهیلات پی می‌برند، خیلی از آنها (به‌خصوص کارخانجات کوچک) جمع‌آوری و پیدا کردن داده‌های مورد نیاز برای حل مسئله را بسیار مشکل و وقت‌گیر می‌یابند. این مساله دو سؤال در ذهن ایجاد می‌کند: اطلاعات و داده‌های مورد نیاز چه چیزهایی هستند؟ و چرا به‌دست آوردن آنها مشکل است؟ سؤال اول به تفصیل در این فصل و فصل آینده پاسخ داده می‌شود. سؤال دوم با شرح کمتر در فصل دوم و سوم توضیح داده خواهد شد. ولی با توجه به جواب سؤال اول خواننده می‌تواند جواب سؤال دوم را نیز به‌دست آورد.

دو نوع تحلیل (تحلیل محصول و تحلیل فرآیند) برای به‌دست آوردن اطلاعات لازم جهت حل مسائل مربوط به طراحی و چیدمان تسهیلات لازم است. تحلیل محصول، توالی ماشین‌آلاتی که یک قطعه باید از بین آنها عبور کند - با توجه به حجم تولید - را تعیین می‌کند. این مبحث در این فصل مورد بررسی قرار می‌گیرد. تحلیل احتیاجات پرسنل و تجهیزات (که تصمیمات ساخت یا خرید را نیز پوشش می‌دهد)، تصمیمات مربوط به ظرفیت تولید، بررسی فضای تولید و بررسی احتیاجات کارکنان نیز در این

فصل مطرح می‌شود. در فصل ۳ تحلیل فرآیند با توجه به تحلیل جریان مواد شرح داده خواهد شد. قبل از این مباحث، خواننده باید انواع مسائل و مشکلات مختلف مربوط به چیدمان را که در سیستم های تولیدی و غیرتولیدی با آن مواجه می‌شود، بشناسد.

۲-۲ انواع مسائل و مشکلات مربوط به چیدمان

طراحان نه تنها هنگامی که می‌خواهند یک سیستم تولیدی و یا خدماتی ایجاد کنند با مشکلات و مسائل مربوط به چیدمان مواجه می‌شوند، بلکه در هنگام توسعه، ادغام و یا اصلاح سیستم موجود نیز این مسئله مورد توجه قرار می‌گیرد. حتی کارخانجات تولیدی تاسیس شده هم احتیاج دارند که هر دو یا سه سال چیدمان تجهیزات خود را تغییر دهند (Nicol and Hollier, 1983). تعدّد تغییر چیدمان در دهه گذشته - قسمتی از آن - به این دلیل است که ترکیبات تولید در فواصل زمانی کوتاه‌تری نسبت به گذشته تغییر کرده است. مشتریان، تغییرات پیوسته در مدل و کارایی را خواستار هستند. به این مثال‌ها توجه کنید:

- یک تولیدکننده، نظریه تولید به‌هنگام^۱ را اجرا می‌کند و باید سلول‌های ماشین‌آلات را شناسایی کرده و جایگاه این سلول‌ها در کارخانه را بداند. به‌علاوه جایگاه خود ماشین با توجه به سلول‌ها نیز بایستی تعیین شود.
- فعالیت‌های تولیدی یک کارخانه تولیدکننده لوازم خانگی در دو سال اخیر دو برابر شده است و هیچ فضای اضافی برای توسعه وجود ندارد. یک مشاور مهندس صنایع توصیه کرده است که ماشین‌های قدیمی که به ندرت استفاده می‌شوند دور ریخته شوند و ماشین‌های باقیمانده به‌گونه‌ای، مجدداً چیده شوند به‌طوری که فضایی کمتری اشغال کنند. با تغییر چیدمان، فضای لازم برای تجهیزات جدید تولیدی با ظرفیت بالا فراهم می‌شود که می‌تواند افزایش تقاضا را جواب‌گو باشد.
- با توجه به ادغام دو بانک، رفت‌وآمد مشتریان به‌طور قابل توجهی افزایش یافته، به‌طوری که بانک می‌خواهد در مکان فعلی خود گسترش یابد.

- یک تولیدکننده تجهیزات باغبانی که دو مکان مجزا برای تولید و مونتاژ دارد، ۸۰۰۰۰ فوت مربع زمین خریداری کرده و می‌خواهد فعالیت‌های خود را از دو محل به محل جدید سوّم منتقل کند.
 - شرکت بیمه‌ای، یک ساختمان اداری چند طبقه اجاره کرده است و می‌خواهد دفتر مرکزی خود را به آنجا منتقل کند. این شرکت باید فضای داخلی هر طبقه را به ادارات، اتاق انتظار، استراحتگاه، محل کار و اتاق کنفرانس تقسیم کند.
 - بخش تحقیق و توسعه یک تولیدکننده تجهیزات دفاعی، سرمایه‌گذاری روی یک تکنولوژی "دوکاربره"^۱ را تجویز کرده است و این شرکت، با موفقیت به سمت تولید کالای مصرفی سوق داده شده است. این کارخانه، برای اضافه کردن یک سیستم جدید تولید خودکار نیاز به توسعه دارد. تجهیزات مورد نیاز شامل ماشین‌های کنترل عددی^۲ (NC) و باربران خودکار^۳ (AGVs) است.
 - با توجه به تغییر قوانین، همچنین توافقات بازرگانی، یک کارخانه تولید اتومبیل خارجی تصمیم گرفته است که فرآیند مونتاژ را به کارخانه‌ای در آمریکا منتقل کند و باید یک خط مونتاژ جدید طراحی کند.
 - یک تولیدکننده کالاهای مصرفی، بودجه و یا فضای کافی برای توسعه ندارد و می‌بایست از فضای موجود برای نگهداری محصول نهایی استفاده کند.
 - یک خرده‌فروش بزرگ، فروش یک دسته از کالاها را متوقف کرده و فعالیت بر روی دسته‌ای جدید از اجناس را به‌طور فعال ارتقاء داده است و باید محل‌های عرضه کالا را دوباره در تمام قسمت‌های اداره، مجدداً طراحی کند.
- این مثال‌ها نشان می‌دهد که مسائل چیدمان در کارخانجات تولیدی و همین‌طور در سازمان‌های خدماتی، هم در جهت طراحی تسهیلات جدید و هم بهبود تسهیلات موجود اتفاق می‌افتد. در کل مسائل چیدمان به چهار طبقه تقسیم می‌شوند:
- مسائل چیدمان سیستم‌های خدماتی.
 - مسائل چیدمان سیستم‌های تولیدی.

- مسایل چیدمان انبار.
- مسایل چیدمان غیرسستی.

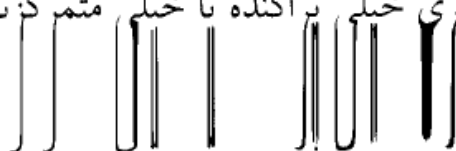
۲-۲-۱ مسائل چیدمان سیستم‌های خدماتی

با وجود اینکه این کتاب بیشتر بر روی طراحی تسهیلات و مسائل چیدمان در سیستم‌های تولیدی تمرکز دارد، مسائل طراحی در سیستم‌های خدماتی هم به همین میزان اهمیت دارد. چیدمان میزها، آشپزخانه و محل نوشیدنی‌ها در یک رستوران، دفتر بیمه، دفتر نام‌نویسی در دانشگاه، باند هوایی در فرودگاه، تجهیزات اورژانس در بیمارستان‌ها، ادارات دولتی و کتابخانه عمومی مثال‌هایی از مسائل طراحی تسهیلات در سیستم‌های خدماتی هستند.

برای بهبود چیدمان در سیستم‌های خدماتی، طراحان باید تعداد اشیاء یا تسهیلاتی که بایستی مستقر شوند، محل‌هایی که احتمالاً توسط هر کدام اشغال می‌شود، روابط بین تسهیلات و برخی محدودیت‌های چیدمان برای هر یک از انواع تجهیزات را بدانند. تجهیزات و تسهیلات در یک دفتر نام‌نویسی در دانشگاه می‌تواند شامل دفتر منشی، دفتر ثبت نام، اتاق انتظار، دفترهای سایر پرسنل شاغل در این محل و اتاق انبار فایل‌ها باشد. در یک رستوران، تجهیزات می‌تواند شامل محل ارائه انواع نوشیدنی‌ها، آشپزخانه، محل صرف غذا، میز دریافت پول، محل تحویل غذا به بیرون (اگر موجود باشد)، اتاق‌های انتظار، محل قرار دادن لباس و محل انبار مواد باشد. نحوه چیدمان یک سیستم خدماتی خاص - یک مطب دندانپزشکی - در شکل ۲-۱ نشان داده شده است.

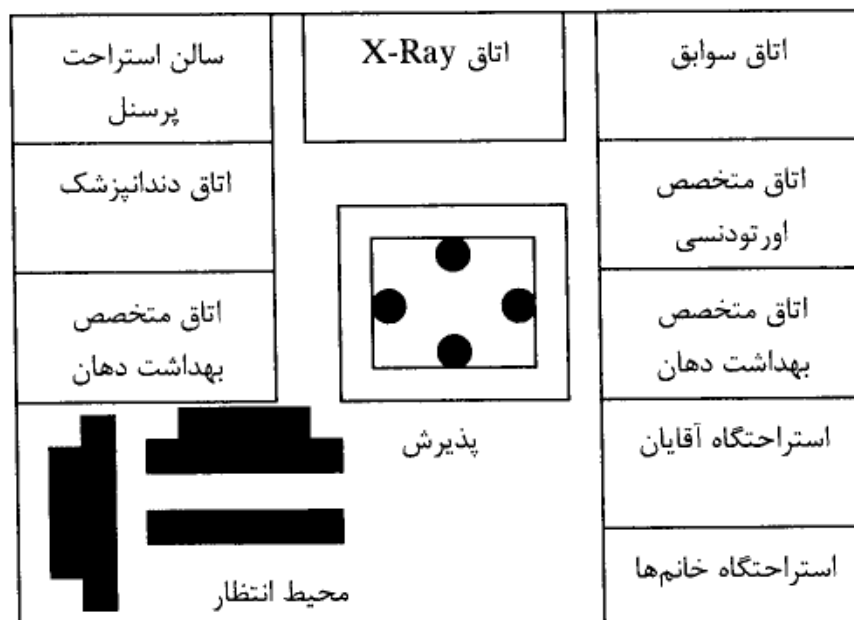
برای تغییر در چیدمان موجود یک سیستم خدماتی، بایستی دلایل قانع‌کننده‌ای وجود داشته باشد. در نتیجه، پاسخ به سؤالات ذیل ضروری است (Suskind 1989):

- آیا سیستم یا شرکت، فضای موجود را افزایش می‌دهد؟
- آیا فضای موجود خیلی گران است؟
- آیا ساختمان در جای مناسب قرار دارد؟
- چیدمان جدید چگونه تولیدات و خدمات را تحت تاثیر قرار می‌دهد؟
- آیا فعالیت‌های دفتری خیلی بر اکنده یا خیلی متمم‌کنند؟



- آیا چیدمان با تصویر شرکت سازگاری دارد یا نه؟

- آیا ساختار دفاتر، اهداف بلندمدت سازمان را پشتیبانی می‌کند؟



شکل ۱-۲. چیدمان تسهیلات در یک مطب دندانپزشکی

همان‌گونه که قبلاً گفته شد، چیدمان باید اهداف ذیل را در نظر داشته باشد:

- حداقل کردن رفت و آمد غیرضروری پرسنل در ساختمان.
- تسهیل روابط و رعایت حوزه خصوصی افراد.
- مطابق بودن با قوانین سازمان.
- تامین امنیت و سلامت افراد سازمان.

به‌علاوه، دقت نظر روی مسائل زیباشناختی چیدمان سیستم‌های خدماتی نیز باید مد نظر قرار گیرد چون در این سیستم‌ها ارتباط مستقیم بیشتری نسبت به بخش‌های تولیدی با مشتری وجود دارد. تحویل گیرنده خدمات (برای مثال مشتری) به‌طور عادی در فرآیند خدمت‌دهی شرکت، حضور دارد. بنابراین وجود یک محیط مطلوب اهمیت پیدا می‌کند. برای مثال، مطب‌های دندانپزشکی معمولاً تلویزیون، آکواریوم و یا تصاویر رنگی در اتاق‌های انتظار دارند؛ گاهی ممکن است آینه و یا پنجره‌های بزرگ نیز داشته باشند. وجود این موارد نه تنها ظاهر مطب را بهبود می‌بخشد بلکه انتظار کشیدن بیمار را قابل تحمل‌تر می‌کند. به‌طور مشابه بعضی از بازارهای خرید، در محل‌های مهم و استراتژیک، آبشارهای کوچک برای بازدیدکنندگان و کارکنان خود قرار می‌دهند. در

حال حاضر، چیدمان مدرن ادارات از طرح‌های سنتی که اتاق‌های مربع یا مستطیل شکل در طول یک راهروی بلند در نظر می‌گرفت، تبعیت نمی‌کند. در عوض، انعطاف‌پذیری در چیدمان یک اداره بسیار مورد تاکید قرار گرفته است. دیوارهای متحرک که برای تقسیم‌بندی فضا استفاده می‌شوند، نه تنها می‌توانند محدوده خصوصی -در موارد لزوم- ایجاد کنند بلکه در هنگام تغییر چیدمان نیز به راحتی می‌توانند جابه‌جا شوند. تا حد امکان بخش‌های مختلف ادارات بایستی طوری تقسیم‌بندی شوند که هر اتاق حداقل یک پنجره داشته باشد. در حقیقت معماران، مدل ساختمان را طوری بهبود می‌بخشند که به هر اتاق یک پنجره مجزاً تخصیص داده شود. مطلب دیگر این است موادی که در ساختمان‌ها استفاده می‌شود نباید به محیط زیست لطمه وارد کند. چیدمان نهایی، باید با تصورات سازمان هم‌خوانی داشته باشد. برای مثال، اگر هدف بانک ارائه خدمت به مشتریان خود در محیط کاری مطلوب باشد، طراحان چیدمان باید تا جایی که امکان دارد ایوان و فضای باز برای مشتریان ایجاد کنند.

در حالت کلی ساختار ادارات به چهار دسته تقسیم می‌شوند که در شکل‌های ۲-۲ تا ۲-۵ نشان داده شده است:

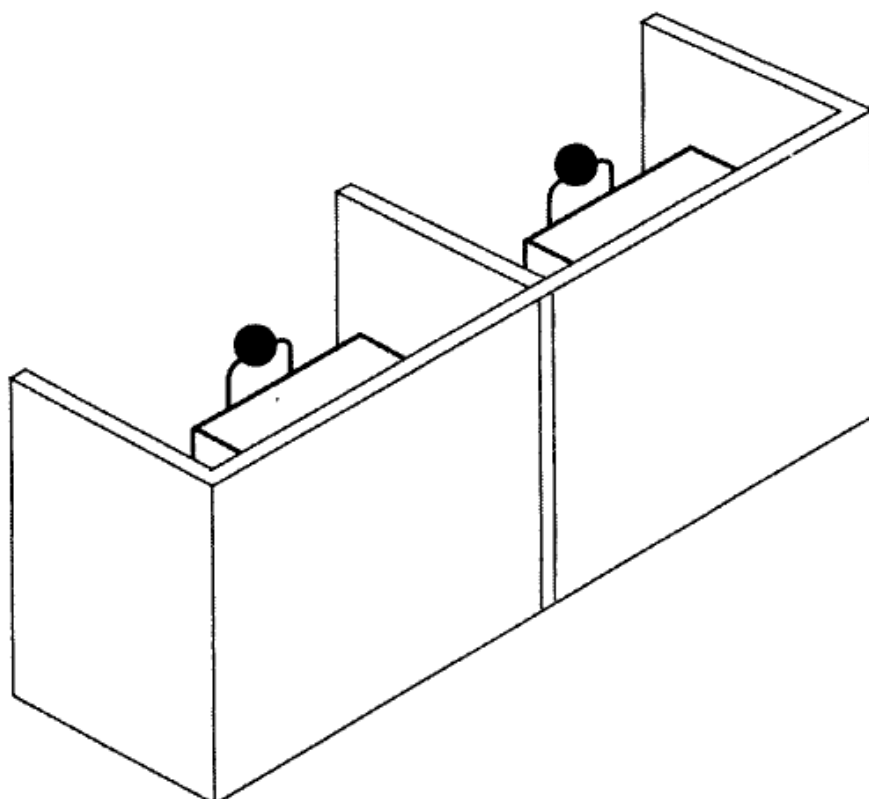
- ساختار بسته.
- ساختار نیمه بسته.
- ساختار باز.
- ساختار نیمه‌باز.

در ساختار بسته، ایجاد فضای خصوصی مورد توجه است؛ بنابراین بخش‌های مختلف با دیوارهای مات که حداقل ۷ فوت بلندی دارند از هم جدا می‌شوند (شکل ۲-۲). همچنین ممکن است دیوارها از زمین تا سقف ادامه داشته باشند. دیوارهای مات در اداره‌های پست، محلی که جمع‌آوری نامه‌ها و طبقه‌بندی آنها از باجه فروش تمبر جدا می‌شود، موجود است.

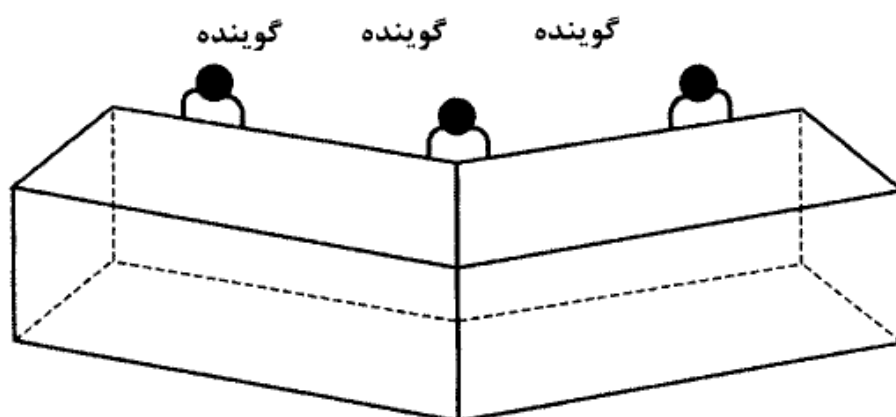
در ساختار نیمه بسته، معمولاً دیوارهای کوتاه (اکثراً مات) وجود دارد تا مشتری‌ها را از سرویس‌دهندگان جدا کند. در بانک‌ها، مغازه‌های خشک‌شویی، فروشگاه‌های ارائه

للهه غلالی سریع و ادارات پست این گونه ساختار وجود دارد همان گونه که در شکل

۳-۲ نشان داده شده است، ساختار نیمه بسته هر دو جنبه -نیاز به ایجاد ارتباط و وجود محدوده خصوصی- را برآورده می‌کند.



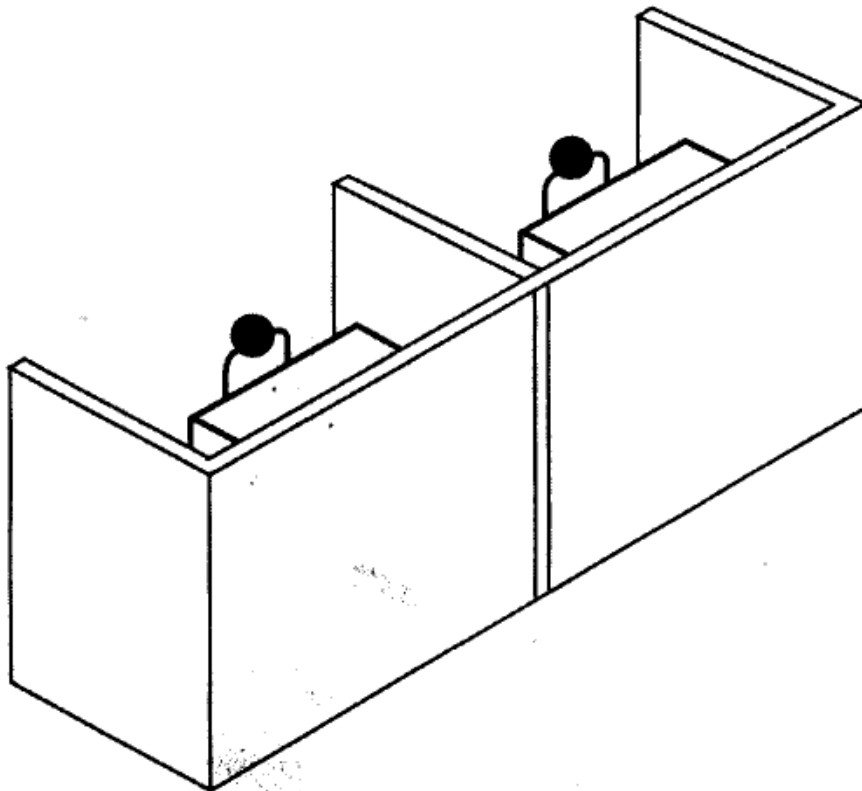
شکل ۲-۲. ساختار بسته



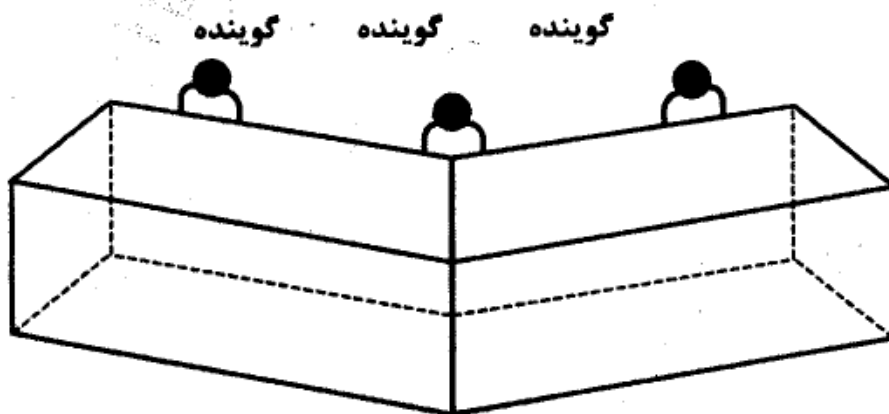
شکل ۳-۲. ساختار نیمه بسته

در ساختار باز هیچ‌گونه جداکننده‌ای بین قسمت‌ها وجود ندارد. برای مثال، هیچ جداکننده‌ای بین میزهای یک رستوران، متصدی بانک‌ها و یا بین قسمت‌های مختلف فروشگاه‌های بزرگ وجود ندارد. با وجود اینکه طبقه‌های ویتترین در فروشگاه‌ها مانند

۳-۲ نشان داده شده است، ساختار نیمه بسته هر دو جنبه - نیاز به ایجاد ارتباط و وجود محدوده خصوصی - را برآورده می‌کند.



شکل ۲-۲. ساختار بسته



شکل ۳-۲. ساختار نیمه بسته

در ساختار باز هیچ‌گونه جداکننده‌ای بین قسمت‌ها وجود ندارد. برای مثال، هیچ جداکننده‌ای بین میزهای یک رستوران، متصدی بانک‌ها و یا بین قسمت‌های مختلف فروشگاه‌های بزرگ وجود ندارد. با وجود اینکه طبقه‌های ویت‌رین در فروشگاه‌ها مانند

جداکننده عمل می‌کنند، اما نقش اصلی آنها نمایش دادن و انبار کردن تجهیزات است. ساختار باز که در شکل ۲-۴ نشان داده شده است، یک طرح ممکن برای کارگاه‌های کامپیوتر و دیگر لوازم مشترک (پرینتر و پلاتر) در تسهیلات آموزشی و تحقیقاتی است.



شکل ۲-۴. ساختار باز. چیدمان تسهیلات در یک واحد تحقیقاتی-آموزشی



شکل ۲-۵. ساختار نیمه باز

در ساختارهای نیمه باز، بخش‌ها، با دیوارهای شفاف از هم جدا می‌شوند. برای مثال دفاتر مامورین وام در بانک‌ها، میزهای مسئولان بیمه در شرکت‌های بیمه و فضای کاری

در لایه‌های چاپ عکس معمولاً با دیوارهای شفاف از هم جدا می‌شوند. وجود این دیوارها سبب می‌شود گفتگو در یک قسمت اداره، فعالیت در دیگر قسمت‌ها را مختل نکند. این دیوارها ممکن است فواید دیگری نیز داشته باشند؛ مثل بالا بردن روحیه کارکنان، تامین نور طبیعی یا افزایش دید. یک مغازه فروش عینک طبی که ساختار نیمه‌باز را برای قسمت‌های آماده‌سازی لنز و بخش‌های مربوط به نگهداری اسباب و لوازم به کار می‌برد در شکل ۲-۵ نشان داده شده است.

۲-۲-۲ مسائل چیدمان بخش‌های تولیدی

زمانی که یک سیستم تولیدی دوباره طراحی می‌شود، توسعه می‌یابد و یا برای اولین بار طراحی می‌شود، طراحی چیدمان ضرورت پیدا می‌کند. چیدمان تولیدی از چیدمان اداری متفاوت است چون فاکتورهای فهرست شده در بخش ۲-۱ اهمیت‌های متفاوتی دارند. برای مثال طراحان چیدمان ادارات تاکید زیادی بر روی راحت بودن روابط دارند و کمتر به کاهش ازدحام توجه می‌کنند زیرا کاهش ازدحام یک امر اساسی در چیدمان اداری محسوب نمی‌شود. در طراحی چیدمان بخش‌های تولیدی، حداقل کردن هزینه انتقال مواد و تامین یک محیط کاری امن برای کارکنان یک امر مهم و اساسی تلقی می‌شود. مسائل چیدمان در یک سیستم تولیدی شامل تعیین مکان ماشین‌آلات، ایستگاه‌های کاری و تجهیزات دیگر برای دستیابی به اهداف ذیل است:

الف. کمینه کردن هزینه انتقال مواد خام، تجهیزات، قطعات، محصول نیمه‌ساخته و تکمیل شده بین تجهیزات.

ب. تسهیل جریان رفت و آمد.

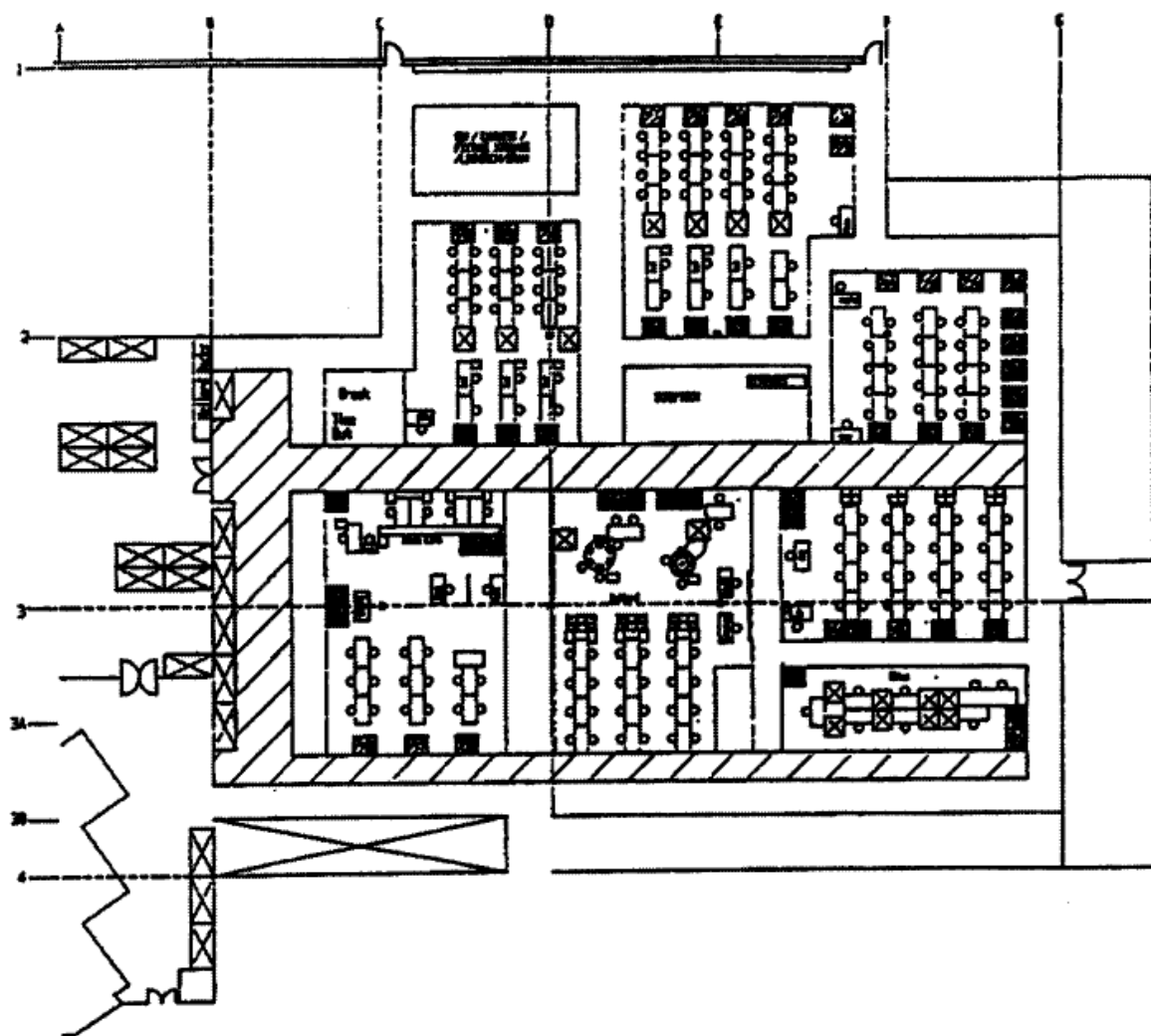
ج. بالا بردن روحیه کارکنان.

د. حداقل کردن ریسک صدمه دیدن پرسنل و خراب شدن دارایی و

ه. تامین ایجاد روابط رودررو و نظارت در موارد مورد نیاز

تسهیلات در یک سیستم تولیدی فقط شامل ماشین‌آلات و کارگاه‌ها نمی‌شوند بلکه مواردی از قبیل استراحتگاه‌ها، ایستگاه‌های بازرسی، اتاق‌های شستشو، ایستگاه‌های عملیات حرارتی، دفتر مدیر و ناظر و اتاق تجهیزات را نیز شامل می‌شود. شکل ۲-۶

چیدمان تجهیزات و ابزارآلات مونتاژ و دیگر تسهیلات را در یک سالن تولیدی نشان می دهد.



شکل ۲-۶. چیدمان ابزارآلات مونتاژ در یک سالن تولیدی

۲-۳- مسائل چیدمان انبار

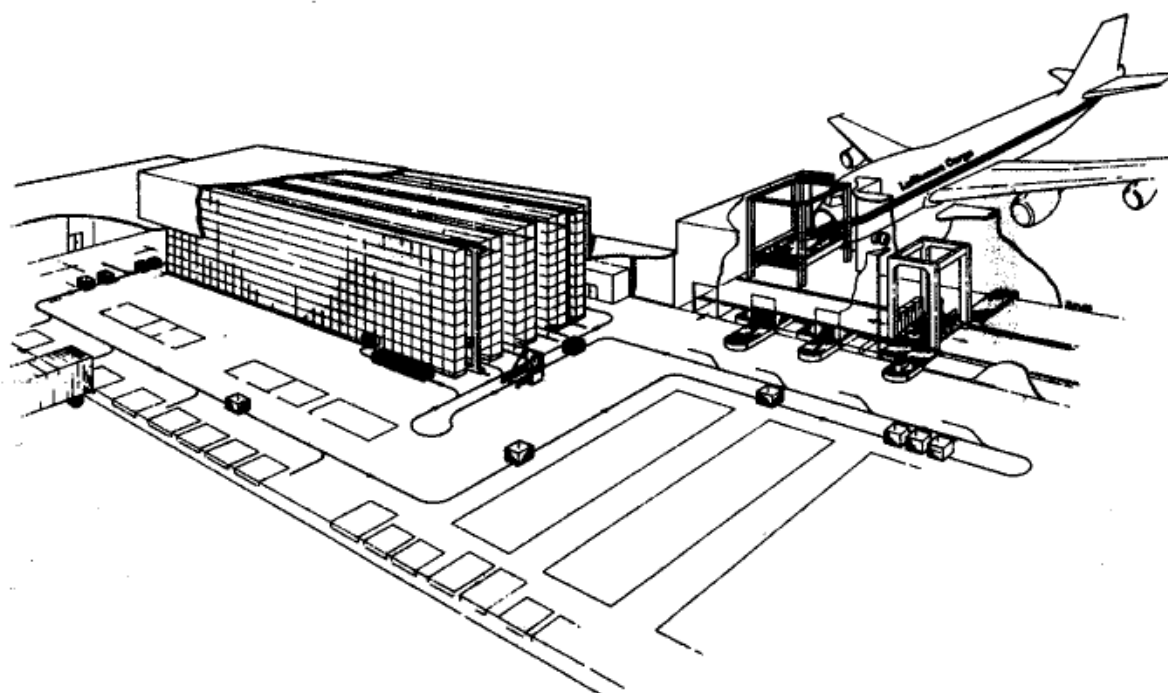
چیدمان انبار برای مالک تسهیلات یک مسئله مهم است چون قیمت اجاره، رهن یا خرید ملک در آمریکا روزبه روز در حال افزایش است. یک چیدمان انبار در شکل ۲-۷ نشان داده شده است. مانند چیدمان ماشین آلات، یک چیدمان خوب انبار، باید از فضای موجود به بهترین شکل استفاده کند تا هزینه انبارداری و انتقال مواد را به حداقل

برساند. بعضی از فاکتورهایی که باید در طراحی یک انبار در نظر گرفته شوند عبارتند از شکل و اندازه راهروی بین قفسه ها، ارتفاع انبار، محل و جهت مکان های بارگیری،

نوع قفسه‌هایی که برای انبارکردن مورد استفاده قرار می‌گیرد و میزان خودکار بودن انبارداری و بازیابی اجناس.

شکل و اندازه راهروی بین قفسه‌ها به دو عامل بستگی دارد:

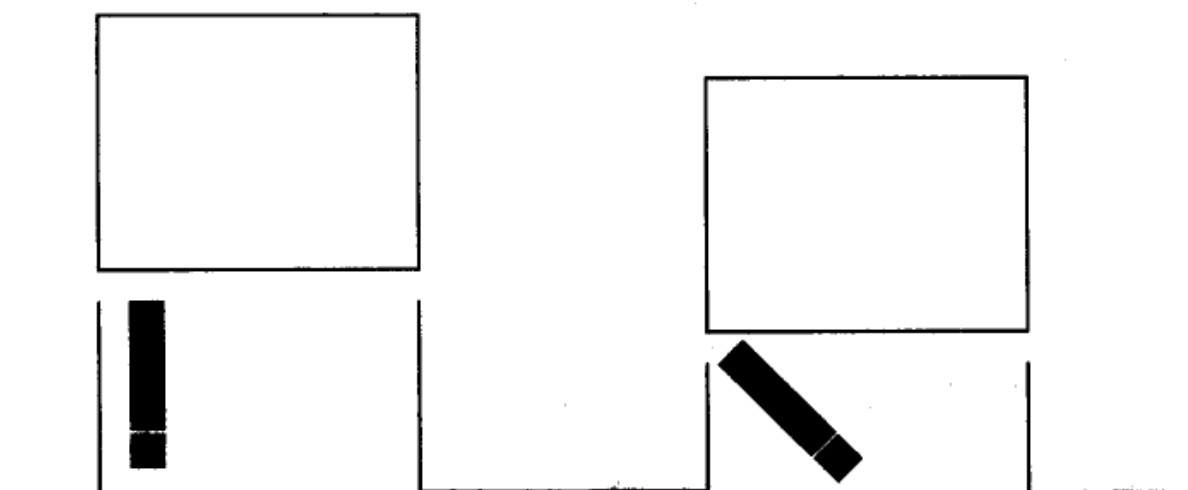
- نوع وسیله‌ای که برای انتقال مواد استفاده می‌شود.
- نوع قفسه‌هایی که برای انبارکردن استفاده می‌شود.



شکل ۲-۷. چیدمان انبار

اگر یک لیفتراک برای جابه‌جایی مواد مورد استفاده قرار گیرد، راهروهای باریک مورد اهمیت هستند. در حالی که اگر یک تراکتور استفاده شود، راهروی پهن مورد نیاز است؛ چون لیفتراک بهتر از تراکتور می‌تواند در راهروهای باریک مانور دهد. اگر از قفسه‌های دوسویه^۱ (به‌طوری که از هر دو جهت بتوان به مواد دسترسی پیدا کرد) استفاده شود هر قفسه از دیگر قفسه‌ها به راحتی جدا می‌شود تا ذخیره‌سازی و بازیابی مواد آسان شود. این نوع چیدمان، فضای راهروها را افزایش داده ولی محل ذخیره‌سازی را کاهش می‌دهد. در حالت دیگر اگر از قفسه‌های یک‌سویه^۲ (که از یک طرف بسته است و فقط

از یک سمت به مواد دسترسی داریم) برای ذخیره مواد استفاده شود، یک جفت از قفسه‌ها باید در کنار هم قرار گیرند تا آن طرف قفسه‌ها که بسته است پشت به هم باشند. این نوع چیدمان، فضای ذخیره‌سازی را افزایش داده و فضای راهرو را کاهش می‌دهد.



شکل ۸-۲ خیابان‌های عریض‌تر دسترسی را آسان‌تر می‌کنند و خیابان‌های باریک‌تر امکان ساخت انبارهای بیشتری به ما می‌دهند.

محل بارگیری به فاکتورهایی مانند محل خیابان‌های مجاور، نحوه ورود و خروج به نزدیک‌ترین جاده اصلی، کل فضای در دسترس انبار، اندازه محل پارکینگ و پهنای خیابان‌های ورودی بستگی دارد. معمولاً کارخانجات، علاقمند به ایجاد خیابان‌های ورودی باریک‌تر هستند چون باعث افزایش فضای انبار می‌شود. همان‌طور که در سمت راست تصویر ۸-۲ نشان داده شده است نحوه چیدمان محل بارگیری، فضای کمتری برای ورود (و به همین دلیل فضای بیشتری برای انبار) نسبت به سمت چپ تصویر استفاده کرده است.

۲-۲-۴ مسائل چیدمان غیرسنتی

مسائل چیدمان در خیلی از موارد دیگر، متفاوت از آنچه تا به حال بحث شد، اتفاق می‌افتد. مسئله چیدمان یک صفحه کنترل در طراحی یک صفحه کامپیوتر را در نظر

بگیرید. این مسئله شامل مواردی از این قبیل است: قراردادن قطعات کامپیوتر (که به یکدیگر با یک یا چند سیم متصل هستند) در صفحه به طوری که طول سیم‌های مورد استفاده برای اتصالات در کوتاه‌ترین حالت خود باشد و یا چیدمان کلیدها روی صفحه کلید کامپیوتر. مطالعات نشان داده است که کارآیی صفحه کلید و کلیدها در مناسب‌ترین حالت چیده شده، به طور قابل توجهی افزایش می‌یابد. دسته‌ای دیگر از مسائل چیدمان به مسئله قراردادی خطی ماشین یا تخصیص فضای یک‌بعدی معروف است که عبارتست از تعیین مناسب‌ترین ترتیب خطی تجهیزات که هزینه کل جابه‌جایی بین آنها را حداقل کند. برخی از موارد استعمال چنین مسائلی، چیدمان ماشین‌آلات یک‌ردیفه^۱ است (Heragu and Kusiak, 1991). مثل آرایش کتاب‌ها در یک طبقه، تخصیص فایل‌ها در صفحه استوانه‌ای (Picard and Queyranne, 1981)، تخصیص هواپیما به خطوط هوایی در یک فرودگاه (Suryanarayanan, Golden and Wang, 1991) یا چیدمان ماشین‌آلات به صورت گرد یا خط مستقیم در یک محوطه تولیدی. این کاربردها به تفصیل در فصل ۵ توضیح و نشان داده خواهند شد.

۲-۳ تحلیل محصول

محصولات تولید شده توسط یک کارخانه، اطلاعات زیادی را در اختیار قرار می‌دهد. از جمله این اطلاعات عبارتند از فرآیندها و تجهیزات مورد نیاز، سیستم‌ها و تجهیزات انتقال و جابه‌جایی مواد و چیدمان تجهیزات یدکی تولید و تسهیلات خدماتی. قبل از شروع به طراحی تسهیلات، تحلیل‌گر باید علاوه بر دانستن نوع محصولاتی که تولید می‌شود، حجم تولید آنها را هم بداند. هر دوی این موارد روی چیدمان نهایی تاثیر دارند. همان‌گونه که در فصل ۳ بحث خواهیم کرد، حجم تولید (علاوه بر فاکتورهای دیگر)، نوع چیدمان را تعیین می‌کند. حال توضیح می‌دهیم که چگونه داشتن اطلاعات در مورد محصولات در به دست آوردن داده‌های مورد نیاز برای توسعه چیدمان کمک می‌کند.

۲-۳-۱ فهرست مواد

برای نشان دادن این مطلب، محصولی را که توسط یک کارخانه تولیدکننده تجهیزات پزشکی تهیه می‌شود در نظر می‌گیریم. این وسیله که توسط پزشکان برای شنوایی‌سنجی افراد استفاده می‌شود، اتوسکوپ هالوژنی ۳/۵ ولتی پنوماتیک نام دارد. یک فهرست چندین قسمتی از موادی که برای این محصول مورد نیاز است در شکل ۲-۹ نشان داده شده است (بعضی از اطلاعات این بخش طوری تنظیم شده که نظرات کارخانه را تامین کند).

توجه داشته باشید که بالاترین سطح مونتاژ با عدد ۱ در اولین ستون شکل نشان داده شده است. زیرمونتاژهای سطح دوم با عدد ۲ و سطح سوم با عدد ۳ و به همین ترتیب نشان داده شده است. در ضمن شماره فنی قطعات، شرح و ضریب مصرف آنها در واحد محصول نهایی نشان داده شده است. برای قطعات خریداری شده، شماره قطعه‌ای که با حرف M یا رقم ۹ شروع شده در نظر گرفته شده است.

۲-۳-۲ نمودار مونتاژ

برای درک جریان مواد در کارخانه، تحلیل‌گر چیدمان از انواع جداول و نمودارها استفاده می‌کند. نمودار مونتاژ، به‌صورت ضمیمه، تکمیل‌کننده فهرست مواد است. این نمودار نشان می‌دهد که چگونه زیرمونتاژها و سازه‌هایی که به‌طور جداگانه در بخش‌های گوناگون تولید شده و مونتاژ می‌شوند تا محصول نهایی را به‌وجود آورند. یک نمودار مونتاژ برای دستگاه کامپیوتر در شکل ۲-۱۰ آورده شده است. فهرست مواد برای دستگاه کامپیوتر نیز در شکل ۲-۱۱ موجود است. توجه داشته باشید که این اشکال نشان می‌دهد که یک دستگاه کامپیوتر از سه زیرمونتاژ تشکیل شده است: مونتاژ صفحه‌کلید، واحد CPU اصلی و دستگاه مانیتور. هر زیرمونتاژ هم از یک یا تعداد بیشتری قطعه خریداری شده، تولید شده و زیرمونتاژ تشکیل شده است. برای مثال دستگاه مانیتور رنگی از یک زیرمونتاژ تولید شده صفحه‌مدار- و یک صفحه نمایشگر خریداری شده، تشکیل شده است.

9/14/93 7:33:02 PRODUCT_STRUCTURE_INQUIRY C/N 100 WAMS RKPSTQ02

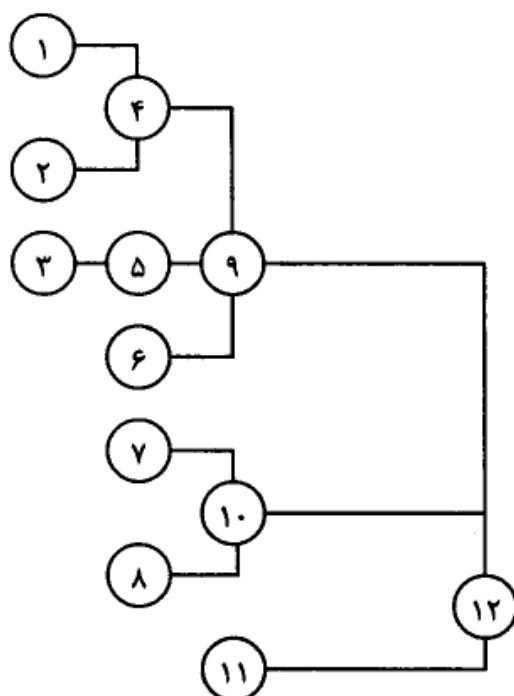
MULTI LEVEL EXPLOSION

Part Number 21701 U/M EA Select Date 9/14/93 Select Alternate

3.5V HAL OPER OTOS W/O SPECS Planner.... 401 Select Display . .

S LEVEL	IO	Part Number	Description	Qty/Per	UM	A
1		A01786	21700 ALIGNMENT	.000	EA	Y
1		900202	#2 BOX-5 X 2 3/4 X 1 7/8	1.000	EA	Y
1		900242-6	LABEL W/ADHESIVE	1.000	EA	Y
1		217001-501	BODY ASSY	1.000	EA	Y
.2		M30445	HAR-TECH HTL-15 COMPOUND	.000	DR	Y
.2		M30452	3/8 F-50 MASS FINISHING MEDIA	.000	LB	Y
.2		M30454	3/4 F-50 MASS FINISHING MEDIA	.000	LB	Y
.2		M30458	3/4 F-20 MASS FINISHING MEDIA	.000	LB	Y
.2		M31412	EASY FLOW 45	.000	TO	Y
.2		M31418	ULTRA-FLUX	.000	LB	Y
.2		217002-2	BASE	1.000	EA	Y
.3		M01052	BRASS ROD ROUND	.276	LD	Y
.2		217003	POST	1.000	EA	Y
.3		M01062	BRASS ROD ROUND	.049	LB	Y
.2		217016	LENS HOLDER STUD	1.000	EA	+
.3		M01032	BRASS ROD ROUND	.004	LB	Y
.2		217017-1	SOLDER PREFORM	1.000	EA	Y
1		217024-1	LIGHT PIPE ASSY	1.000	EA	Y
.2		M30445	HAR-TECH HTL-15 COMPOUND	.000	DR	Y
.2		M30446	HAR-TECH HTL-980 COMPOUND	.000	DR	Y
.2		M30454	3/4 F-50 MASS FINISHING MEDIA	.000	LB	Y
.2		217024-501N	LIGHT PIPE ASSY	1.000	EA	Y
.3		A00296	USEABLE LIGHT OUTPUT TEST	.000	EA	Y
.3		M30241	3469 HARDENER	.000	GL	Y
.3		M30244	RE-2038 RESIN	.000	GL	Y
.3		202017-1N	FLARED TUBE	.500	EA	Y
.4		M04424-1	STAINLESS STEEL TUBE ROUND	.350	FT	Y
.3		31200958-119	FIBER BUNDLE	.023	EA	Y
1		209026-501	LENS HOLDER ASSY-BLACK	1.000	EA	Y
.2		209024-1	LENS HOLDER-BLACK	1.000	EA	+
.2		209009	OTOSCOPE LENS	1.000	EA	Y
1		217005	TOP COVER	1.000	EA	Y
1		203010	LENS HOLDER WASHER	2.000	EA	Y
.2		203010N	LENS HOLDER WASHER	.010	EA	Y
.3		M04467	STAINLESS STEEL STRIP	.020	LB	Y
1		203009	LENS HOLDER SPRING WASHER	1.000	EA	Y
.2		M02032	BERYLLIUM COPPER STRIP	.002	LB	Y
1		209012	LENS HOLDER SCREW	1.000	EA	Y
1		217009	LOCKNUT	1.000	EA	Y
.2		M01049	BRASS ROD ROUND	.067	LB	Y
.2		M30438	HIGH DENSITY POLY MEDIA-ROTO	.000	LB	Y
1		217010-1	LOCK RING	2.000	EA	Y
1		209025-1	SPEC HOLDER	1.000	EA	Y
.2		209025	SPEC HOLDER	1.000	EA	Y
1		106008	PRISM SCREW	1.000	EA	+
.2		106008N	PRISM SCREW	.010	EA	Y
.3		M01023	BRASS ROD ROUND	.040	LB	Y
1		250004	LAMP COLLAR	1.000	EA	Y
1		031100-503	031 LAMP ASSY	1.000	EA	Y
1		M30322	GE RTV-103 BLACK	.000	TB	Y
1		217013	2-56 X 3/16 LG SET SCREW	1.000	EA	Y
1		M30338	LOCTITE 242	.000	BT	Y
.2		A01880	SPEC F/HANDLING LOCTITE MATL	.000	EA	Y
1		M11044	LANOLIN	.000	JR	Y

شكل ۲-۹. فهرست مواد



شکل ۲-۱۰. نمودار مونتاژ برای یک دستگاه کامپیوتر

- 12 Computer Device
- 11 Keyboard Assembly (Purchased)
- 10 Color Video Display Device
- 8 Video Panel (Purchased)
- 7 Circuit Board
- 9 Main CPU Unit
- 6 Power Supply Kit (Purchased)
- 5 PC Board Assembly
- 3 Main PC Board (Purchased)
- 4 Disk Drive Unit
- 2 Floppy Drive
- 1 Hard Drive

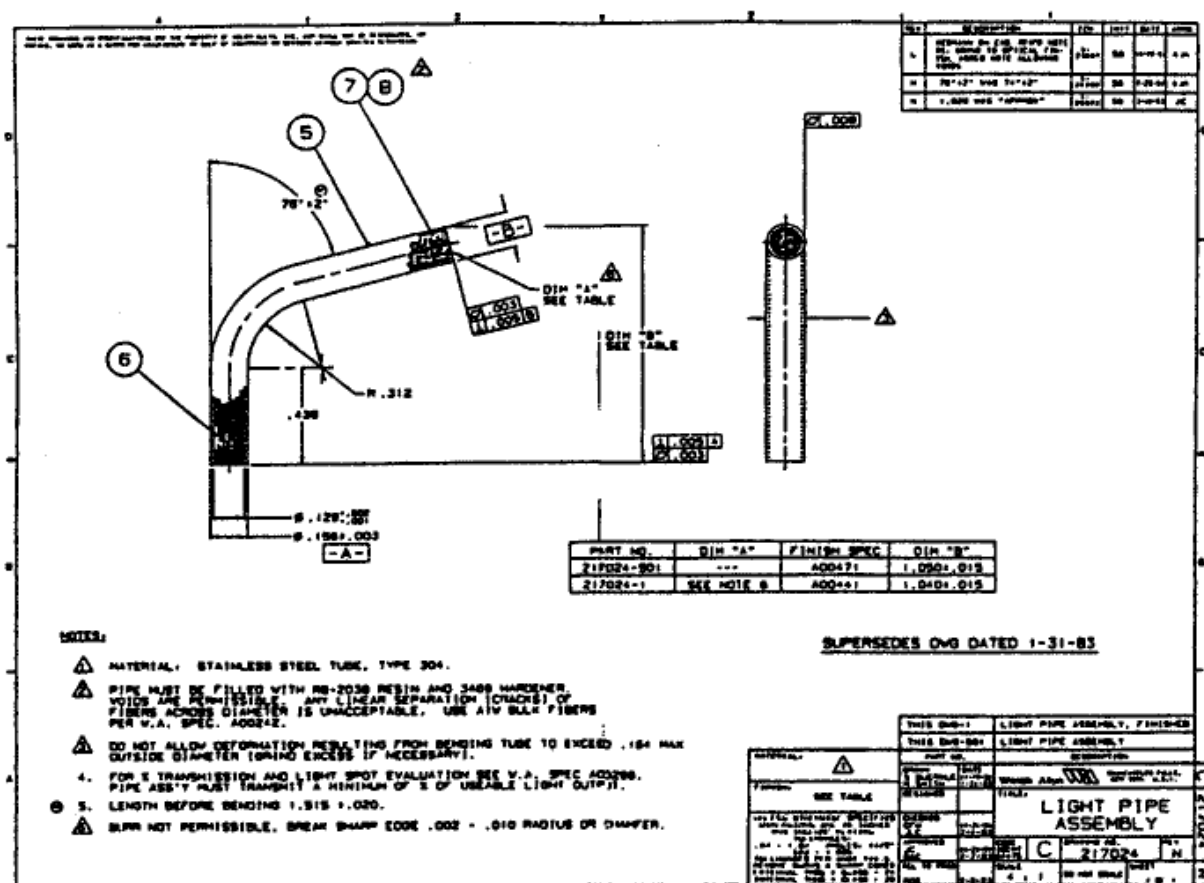
شکل ۲-۱۱. فهرست مواد برای یک دستگاه کامپیوتر

نمودار مونتاژ برای زمان بندی فعالیت های تولید نیز سودمند است. اگر موعد تحویل یک محصول نهایی و زمان لازم برای فراهم کردن یا تولید یک سازه یا زیرمونتاژ معلوم باشد، تحلیل گر می تواند از موعد تحویل، برعکس حرکت کرده و زمانی را که هر سازه باید سفارش داده یا تولید شود تعیین کند. زمانی که لازم است تا یک سازه تولید یا خریداری شود یعنی از زمانی که سفارش تولید یا خرید داده می شود تا هنگامی که جزء

در خواست شده تحویل گرفته می شود مدت تحویل نامیده می شود

۳-۳-۲ نقشه مهندسی

در این بخش برخی از جزئیات مونتاژ یک اتوسکوپ هالوژنی ۳/۵ ولت که در بخش ۱-۳-۲ معرفی شد بررسی می‌شود. نقشه مهندسی یکی از مونتاژهای اتوسکوپ (مونتاژ لوله نور به شماره کد ۱-۲۴۰۲۱۷) در شکل ۲-۱۲ نشان داده شده است. این نقشه مهندسی به مهندسان فرآیند یا تولید کمک می‌کند تا فرآیندهای مورد نیاز برای تولید محصول را تعیین کنند. به علاوه این نقشه توضیحات اضافی (در شکل نشان داده نشده است) برای عملیات مختلف را نیز در بر دارد که با اعداد، درون دایره معلوم شده‌اند. این توضیحات در خصوص تolerانس‌های مخصوص، مواد مصرفی، حداقل ظرفیت کاری محصول نهایی (برای مثال لوله نور مونتاژ شده باید حداقل ۸۰٪ از نور استفاده شده را منتقل کند)، مواد آکنه‌ای که باید استفاده شوند (اگر موجود باشد)، حداقل ابعاد، قبل از انجام دادن یک سری عملیات مشخص مثل خم‌کاری و اینکه چه



شکل ۲-۱۲. نقشه مهندسی یک قطعه

کاری در هنگام تغییر شکل یا شکست باید انجام شود (رد کردن، دوباره‌کاری و یا عملیات تصحیحی است. نقشه، همچنین اطلاعاتی در مورد اینکه قطعات کجا، کی و توسط چه کسی ساخته شده‌اند در اختیار قرار می‌دهد؛ علاوه بر اینکه شماره فنی قطعات را نیز مشخص می‌کند.

علاوه بر نقشه مهندسی و فهرست قطعات، تحلیل‌گر چیدمان، ممکن است نقشه انفجاری محصول نهایی را نیز داشته باشد. این نقشه همان اطلاعاتی که توسط فهرست مواد نشان داده شده بود را به صورت تصویری نمایش می‌دهد. چنین نقشه‌هایی برای قطعاتی که زیرمونتازهای کمتری دارند بسیار سودمند است. با اضافه شدن زیرمونتازها و مونتاژها، خواندن نقشه انفجاری که تمام اجزاء را نشان دهد مشکل می‌شود.

۲-۳-۴ برگه مسیر تولید

برگه مسیر تولید علاوه بر اینکه عملیات مورد نیاز یک قطعه را مشخص می‌کند، توالی ماشین‌آلاتی که برای انجام این عملیات مورد نیاز است را نیز تعیین می‌کند. برگه مسیر تولید همچنین ممکن است زمان آماده‌سازی هر عمل (زمان فرآیند و زمان کارگر) بر روی هر یک از ماشین‌آلات را نیز تعیین کند. برگه مسیر تولید برای مونتاژ بدنه که در بخش ۲-۳-۳ به آن اشاره شد در شکل ۲-۱۳ نشان داده شده است. اطلاعات برگه مسیر تولید ممکن است از شرکتی به شرکت دیگر اندکی تفاوت کند ولی در هر حال شامل دو نوع اطلاعات کلیدی است: ماشین‌های مورد نیاز و توالی که ماشین‌ها (یا عملیات) در آن قرار می‌گیرند.

برای مثال، برگه مسیر تولید در شکل ۲-۱۳ نشان می‌دهد که دسته پروب دنس‌پلای^۱ (شماره قطعه #H6709) هفت عملیات را طی می‌کند که در آن ماشین‌آلات ۱۲۲۶، ۲۰۵۳، ۳۰۲۹، ۳۱۰۵، ۳۰۰۵ و ۳۰۰۷ به ترتیب برای عملیات اولیه، سوراخ‌کاری، برجسته کردن، ساب‌زنی، روکش کشیدن، صیقل دادن و برجسته کردن حباب‌های شیشه‌ای قرار گرفته‌اند. این برگه مسیر تولید همچنین زمان راه‌اندازی، زمان عملیات ماشین‌ها و زمان عملیات کارگری و فاکتورهای گروهی برای هر کدام از این عملیات را نیز نشان می‌دهد.

MASTER ROUTING LIST											
---PART NUMBER---		---DESCRIPTION---		DATE	ALT CODE	BUYER/PLANNER		DRAWING REVISION			
H6709		HANDLE, DENSPLY PROBE		6/25/92	B	239		G			
OPER	WORK	OPER	SETUP	CREW	MACH	---TOOLING REF---	NUMBER	---SETUP---	---MACHINE---		
& ALT	CENTER	CODE	CODE	FACTOR	GROUP	NUMBER		HOURS	HOURS		
10	01226		1.0	01226	T9330			12.000	336.880		
PARTIAL AHEAD QTY		---ROUTING DESCRIPTIONS---						4	1000		
MAKE @ AUTO 804843P											
C 804843P B											
A A02247 A											
15	02053		1.0	02053	T9712			1.500	41.670		
PARTIAL AHEAD QTY		---ROUTING DESCRIPTIONS---						4	1000		
DRILL & TAP 804843P1											
B 804843P1 A											
20	02053		1.0	02053	T9713			1.500	8.330		
PARTIAL AHEAD QTY		---ROUTING DESCRIPTIONS---						4	1000		
KNURL OD											
30	03029		1.0					.000	33.330		
PARTIAL AHEAD QTY		---ROUTING DESCRIPTIONS---						4	1000		
SCOTCHBRITE/BELT											
40	03105		1.0	03105				.000	3.000		
PARTIAL AHEAD QTY		---ROUTING DESCRIPTIONS---						4	1000		
PASSIVATE											
50	03005		1.0					.000	54.170		
PARTIAL AHEAD QTY		---ROUTING DESCRIPTIONS---						4	1000		
BUFF											
60	03007		1.0	03007				.000	50.000		
PARTIAL AHEAD QTY		---ROUTING DESCRIPTIONS---						4	1000		
GLASSBEAD KNURL/ SHIP											

شكل ۲-۱۳. برگه مسير توليد يك قطعه

۲-۳-۵ نمودار فرآیند عملیات

نمودار فرآیند عملیات نیز مانند نمودار مونتاژ است با این تفاوت که شامل جزئیات بیشتری است. این نمودار شامل اطلاعات مورد نیاز فرآیندهای هر جزء و زمان مورد نیاز برای هر کدام است. در این نمودار از نمادهای جامعه مهندسی مکانیک آمریکا^۱ (ASME) استفاده می‌شود. پنج فعالیت اصلی در تولید و نمادهای آنها در شکل ۲-۱۴ فهرست شده است.

نماد	نام
●	عملیات
■	بازرسی
➡	حمل و نقل
▼	ذخیره سازی
◐	تأخیر

شکل ۲-۱۴. نمادهای مربوط به پنج فعالیت اصلی ساخت

عملیات^۲ به فعالیتی اطلاق می‌شود که در آن یکی از ویژگی‌های شیء تغییر کند. مثال‌هایی که موجود هستند عبارتند از: سوراخ کردن یک قطعه و یا تکمیل کردن یک فرم درخواست. **بازبینی یا بازرسی**^۳ همان‌گونه که از نام آن پیداست به عملی گفته می‌شود که طی آن ویژگی‌های یک شیء با استانداردهای تعیین شده مقایسه می‌شود. چک کردن قطر سوراخ برای اینکه ببینیم در تolerانس مجاز قرار دارد یا نه و یا بررسی یک فرم درخواست از مثال‌های بازرسی هستند. **حمل و نقل**^۴ شامل حرکت مواد از یک محل به محل دیگر است. **انبار کردن**^۵ به فعالیتی اطلاق می‌گردد که طی آن شیء در یک مکان از قبل تعیین شده نگهداری می‌شود تا زمانی که دستوری برای حرکت آن داده شود. برای مثال ابزارها در اتاق ابزار نگهداری می‌شوند و مواد اولیه در مکان تحویل، انبار می‌شود تا دستورات جهت فرستادن آنها به سالن تولید دریافت شود. **زمان تأخیر**^۶ زمانی است که در آن شیء برای انجام فعالیت تعیین شده بعدی منتظر می‌ماند. اقلامی

2. American Society of Mechanical Engineering

3. Operation

4. Inspection

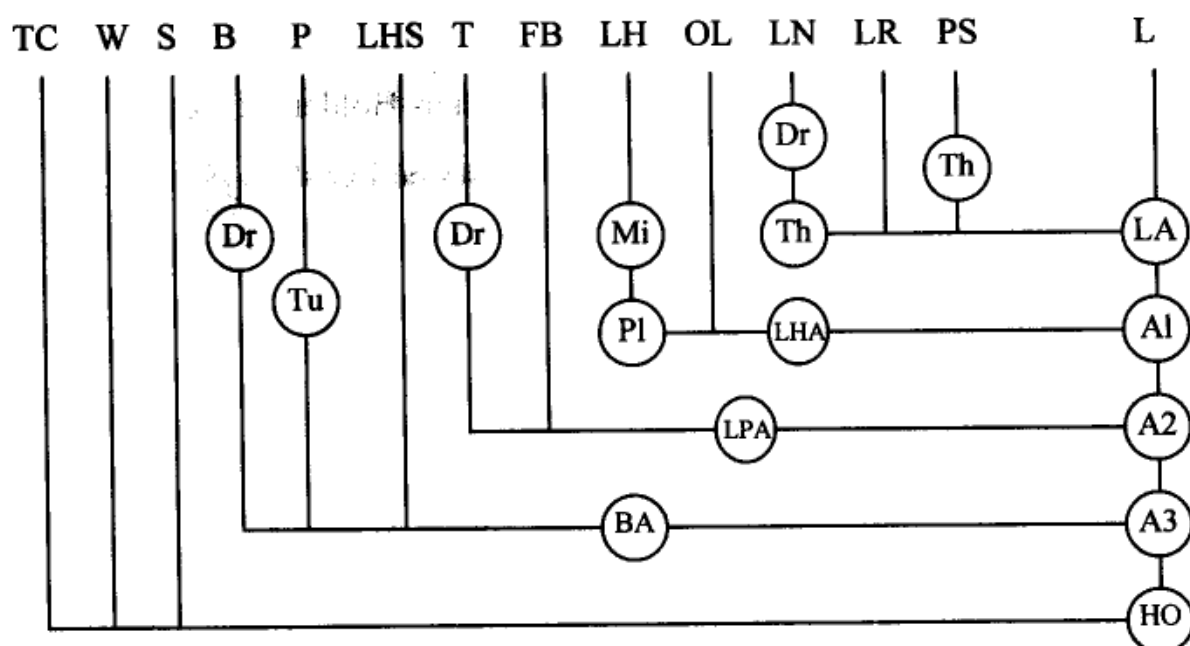
1. Transportation

2. Storage

3. Delay

که از تامین‌کننده دریافت می‌شوند ممکن است زمانی را در اسکله (یا هر توقف‌گاه دیگری) منتظر بمانند تا فردی بسته‌بندی‌ها را چک کرده و از درستی کمیت و کیفیت آنها اطمینان حاصل کند. چمدانی که روی نوارنقاله فرودگاه حرکت می‌کند تا صاحبش آن را بر دارد مثال دیگری برای عمل تأخیر است.

نمودار فرآیند عملیات برای یک اتوسکوپ هالوژنی پنوماتیک ۳/۵ ولت (فهرست مواد آن در شکل ۲-۹ نمایش داده شد) در شکل ۲-۱۵ نشان داده شده است.



شکل ۲-۱۵. نمودار فرآیند عملیات برای یک اتوسکوپ هالوژنی ۳/۵ ولت

بعضی از قطعات خریداری شده و یا مونتاژهای موجود در شکل ۲-۹ در نمودار فرآیند عملیات شکل ۲-۱۵ منظور نشده است. گره‌هایی که در شکل با A1 تا A3 نشان داده شده است مراحل مختلف مونتاژ را نشان می‌دهند. علامت‌هایی که روی شکل نشان داده شده اند عبارتند از:

Dr : سوراخ‌کاری (Drilling)

Tu : تراش‌کاری (Turning)

Mi : فرزکاری (Milling)

Pl : صفحه‌تراشی (Planing)

Th : حیده‌کاری (Threading)

- Tc : پوشش رویی (Top Cover)
 W : واشر (Washer)
 S : پیچ (Screw)
 B : پایه (Base)
 P : چسب (Post)
 LHS : گل میخ نگهدارنده لنز (Lens Holder Stud)
 T : تیوب (Tube)
 FB : دسته فیبر (Fiber Bundle)
 LH : نگهدارنده لنز (Lens Holder)
 OL : لنز اتوسکوپ (Otoscope Lens)
 LN : مهره ضامن دار (Lock Nut)
 LR : حلقه ضامن دار (Lock Ring)
 PS : پیچ هرمی (Prism Screw)
 L : لامپ (Lamp)
 LA : مونتاژ لامپ (Lamp Assembly)
 LHA : مونتاژ نگهدارنده لنز (Lens Holder Assembly)
 LPA : مونتاژ لوله نور (Light Pipe Assembly)
 BA : مونتاژ بدنه (Body Assembly)
 HO : اتوسکوپ هالوژنی^۱ (محصول نهایی)

با وجود اینکه اطلاعات دیگری نظیر زمان هر عملیات، تعداد سوراخ‌ها، تراشکاری‌ها و یا دیگر فعالیت‌ها نمایش داده نشده است، اما یک نمودار فرآیند عملیات می‌تواند شامل این اطلاعات نیز باشد.

۲-۴ انتخاب تجهیزات

قبل از تصمیم‌گیری در مورد چیدمان، تحلیل‌گر باید تعداد و نوع تجهیزات مورد نیاز



انتخاب تجهیزات صحبت می‌شود. برای تعیین اینکه چه نوع تجهیزاتی مورد نیاز است، در ابتدا فرد باید از انواع فرآیندهای تولیدی مورد نیاز (مانند ذوب، قالب‌گیری، ریخته‌گری، فلززدایی، تراشیدن، سوراخ‌کاری، رنده‌کردن، جلا دادن سطوح و غیره) آگاهی داشته باشد و سپس تجهیزات موجود را با این فرآیندها تطبیق دهد. برای مثال، کوره برای عملیات ذوب‌کردن استفاده می‌شود؛ ماشین‌های ریخته‌گری با فشار یا غلتک‌های سرد برای شکل دادن استفاده می‌شود؛ ماشین‌های دنده‌زنی برای عملیات برش چرخ‌دنده مناسب هستند؛ آهن‌برهای مکانیکی و پرس‌های پانچ که از نوع ماشین‌های کنترل عددی هستند برای عملیات شکل‌دهی فلزات مناسب هستند؛ برای بزرگ‌کردن سوراخ‌ها از پرس‌های شعاعی و یا ماشین‌های داخل‌تراش، برای صافی سطوح از صفحه‌تراش، برای پرداخت‌کاری از ماشین‌های سنگ‌زنی، سنباده‌زنی و از این قبیل، برای براده‌برداری از ماشین‌های فرز و برای انواع فلززدایی (مثل روکش‌کاری) از آسیاب استفاده می‌شود. تجهیزات تولید به‌ویژه بر اساس کارکردشان به انواع مختلف طبقه‌بندی می‌شوند. برخی از انواع تجهیزات عبارتند از: ماشین‌های تراش، ماشین‌های فرز افقی، ماشین‌های فرز عمودی، رنده‌ها و صفحه‌تراش‌ها، ماشین‌آلات شکل‌دهنده و سری‌تراش‌های عمودی.

منظور از تعداد تجهیزات تولیدی، تعداد مورد نیاز از هر نوع وسیله است که برای اهداف تولید در اختیار است. یک کارخانه ممکن است سه دستگاه تراش، چهار دستگاه فرز افقی، دو فرز عمودی، یک رنده، یک ماشین قالب‌گیری، و دو دستگاه سری‌تراش عمودی داشته باشد. همین‌طور ممکن است هر نوع از تجهیزات، تعدادی وسیله پشتیبانی نیاز داشته باشد. برای مثال، کوره ذوب به ایستگاه عملیات حرارتی و رنگریزی به دستگاه خشک‌کن نیاز دارد. تعداد و نوع تجهیزات پشتیبانی و کمکی با توجه به نوع تجهیزات تولیدی تعیین می‌شود. در واقع بعضی از تجهیزات تولید با تجهیزات یدکی و فرعی فروخته می‌شوند.

با اینکه دانستن تعداد دقیق تجهیزات لازم نیست ولی یک تحلیل‌گر طرح، باید حداقل یک تخمین کلی در مورد نوع ماشین‌آلاتی که توانایی برآورده کردن نیازهای فرآیند را دارند داشته باشد و اینکه چه تجهیزات جانبی و تجهیزات فرعی مورد نیاز

است و باید تقریباً تعداد مورد نیاز را هم بداند. تجهیزات تولیدی خودکار با اینکه قادرند عملیات مختلفی را انجام دهند ولی معمولاً گران هستند.

در نتیجه مسئله انتخاب تجهیزات تولیدی در طراحی سیستم بسیار سرنوشت‌ساز است. با تعیین دقیق و درست تعداد و نوع تجهیزات، یک کارخانه می‌تواند به منفعت‌های ذیل برسد (Heragu and Kusiak, 1987):

- استفاده بهینه از بودجه‌ای که برای خرید تجهیزات در نظر گرفته شده است.
- استفاده بهینه از بودجه تخصیص داده شده به نگهداری تجهیزات.
- افزایش کاربری ماشین‌آلات.
- استفاده بهینه از فضای موجود، برای آنکه تجهیزات کمتری برای برآورده کردن نیاز تولید، در زمان حال و آینده، خریداری شوند.

۲-۴-۱ مدل سنتی

مدل‌های مختلفی برای تعیین نوع و تعداد تجهیزات تولیدی مورد نیاز وجود دارد. در این بخش رویکردهای سنتی از جمله رویکرد برنامه‌ریزی خطی را مورد بررسی قرار می‌دهیم.

رویکردهای سنتی بسیار ساده هستند. با توجه به تعداد محصولات، نرخ دلخواه تولید، راندمان تجهیزات که برای تولید محصولات مورد نیاز است، زمان استاندارد فرآیند برای عملیات مورد نیاز و زمان‌های در دسترس ماشین‌آلات، یک فرمول ساده می‌تواند تعداد تجهیزات مورد نیاز تولید را تعیین می‌کند. چنین فرمولی در ذیل عنوان می‌شود (Shubin and Madeheim, 1951). نمادهایی که در فرمول استفاده می‌شوند عبارتند از:

P : میزان تولید دلخواه بر حسب واحد در روز.

η : راندمان ماشین.

τ : زمانی که ماشین‌آلات در روز در دسترس هستند بر حسب ساعت.

t : زمان مورد نیاز برای انجام کار بر روی محصول توسط ماشین بر حسب ساعت.

NM : تعداد ماشین‌های مورد نیاز فرآیند

فرمول ذیل تعداد ماشین آلات مورد نیاز را محاسبه می‌کند، با فرض اینکه فقط یک محصول از این ماشین تهیه می‌شود:

$$NM = [tP/\tau\eta] \quad (1)$$

به طوری که [.] کوچک‌ترین عدد صحیح بزرگ‌تر یا مساوی است.

تحلیلی که مطرح شد، به راحتی می‌تواند برای زمانی که بیش از یک مرحله تولید وجود دارد نیز بسط داده شود (Miller and Schmidt, 1984). یک تحلیل معکوس، نرخ دلخواه تولید در هر مرحله را تعیین می‌کند. بر اساس تعداد واحدهای سالمی که در خروجی مرحله آخر تولید مورد نیاز است می‌توانیم تعداد واحدهایی که باید به مرحله آخر وارد شوند را پیدا کنیم. این عدد به درصد ضایعات اجرایی آخرین مرحله تولید بستگی دارد. برای مثال، اگر S_l میزان ضایعات در مرحله l که به صورت درصد نشان داده شده است، N_{ol} تعداد واحدهای سالم مورد نیاز در خروجی مرحله l و N_{il} تعداد واحدهای مورد نیاز در ورودی مرحله l باشد آنگاه تعداد واحدهای سالم مورد نیاز در خروجی مرحله l برابر $N_{ol} = N_{il} - S_l N_{il}$ می‌شود؛ یعنی تعداد ورودی منهای میزان ضایعات. از اینجا داریم:

$$N_{il} = N_{ol} / (1 - S_l) \quad (2)$$

با یک بررسی معکوس برای هر مرحله از عملیات، می‌توانیم میزان مواد خام مورد نیاز برای تولید تعداد دلخواه محصول نهایی را به دست آوریم. فرمول (۲) فرض می‌کند که اگر یک محصول در تولرانس مجاز قرار نگیرد، قابل استفاده نیست و جزء ضایعات به حساب می‌آید. در بسیاری از مواقع، بر روی واحدهایی که با مشخصات تولید مطابقت ندارند، دوباره کاری انجام می‌شود. در این حالت فرمول (۲) برای دوباره کاری بسط داده می‌شود. تمرین ۱۵ در انتهای این بخش در همین مورد است. با اینکه رویکرد سنتی، ساده است بی‌تردید نقص‌هایی نیز دارد. برای مثال، زمانی که بیش از یک محصول در یک ماشین یا کارگاه تولید می‌شود کنترل مسئله مشکل می‌گردد. همچنین رویکرد سنتی محدودیت‌های مربوط به بودجه، اضافه کاری، فضای زمین و از این قبیل را در نظر نمی‌گیرد. وقتی چنین محدودیت‌هایی وجود دارد رویکرد برنامه‌ریزی خطی کاربرد پیدا می‌کند.

۲-۴-۲ مدل برنامه‌ریزی خطی

برنامه‌ریزی خطی، برای حل مسئله انتخاب تجهیزات، بسیار استفاده می‌شود. یک بررسی، طبقه‌بندی و مقایسه مفصل در (Miller and Davis, 1977) آورده شده است. مثال‌هایی از این مدل‌ها به صورت ذیل هستند (Kusiak and Heragu, 1987a):

- مدل تخصیص منابع پویا (Miller and Davis, 1978).
- مدل خرید ماشین‌آلات (Murty, 1983).
- مدل برنامه‌ریزی تولید تلفیقی و مدل برنامه‌ریزی احتیاجات ماشین‌آلات (Behnezhad and Khoshnevis, 1988).

در این بخش چهار نوع فرموله کردن برنامه‌ریزی عدد صحیح را معرفی می‌کنیم. مدل M1 هزینه خرید و عملیات ماشین‌آلات و سیستم انتقال مواد را با توجه به محدودیت بودجه و از این قبیل حداقل می‌کند. (Kusiak and Heragu, 1987).

نمادها

- O_i : نوع عملیات نام؛ $i = 1, 2, \dots, o$
- M_i : نوع نام از تجهیزات تولیدی؛ $i = 1, 2, \dots, m$
- P_i : قطعه نام؛ $i = 1, 2, \dots, p$
- MH_i : سیستم انتقال مواد نوع نام؛ $i = 1, 2, \dots, n$
- c_{ij} : هزینه انجام عملیات O_i با تجهیزات تولیدی نوع M_i ؛ $i = 1, 2, \dots, n$
- h_{ij} : هزینه انتقال قطعه نوع P_i با استفاده از سیستم انتقال MH_i
- t_{ij} : زمان مورد نیاز برای انجام عملیات O_i با تجهیزات نوع M_i
- s_{ij} : زمان مورد نیاز برای انتقال قطعه مدل P_i با استفاده از وسیله انتقال نوع MH_j
- τ_j : زمان موجود برای تجهیزات تولیدی نوع M_j
- σ_j : زمان موجود برای وسیله انتقال مواد نوع MH_j
- NO_i : تعداد عملیات O_i که باید انجام شود.
- NP_i : تعداد واحدهای نوع P_i که باید تولید شود.
- C_j : هزینه تجهیزات تولیدی نوع M_j
- H_j : هزینه سیستم انتقال مواد نوع MH_j

B : کل بودجه در دسترس.

متغیرهای تصمیم

- x_{ij} : تعداد عملیات O_i که باید به وسیله تجهیزات نوع M_j انجام شود.
 y_{ij} : تعداد واحدهای نوع P_i که باید توسط سیستم انتقال مواد نوع MH_j منتقل شود.
 NM_i : تعداد تجهیزات تولیدی مورد نیاز از نوع M_j که انتخاب شده است.
 NMH_j : تعداد مورد نیاز از سیستم انتقال مواد نوع MH_j که انتخاب شده است.

چهار قسمت تابع هدف مدل M1، هزینه عملیات و حمل و نقل قطعات تولید شده و هزینه تهیه تجهیزات انتقال و تولید مواد را حداقل می‌کند. توجه کنید که h_{ij} در این مرحله فقط به صورت سرانگشتی تخمین زده می‌شود چون هزینه انتقال مواد به چیدمان تجهیزات تولید بستگی دارد و این چیدمان هنوز برای ما شناخته شده نیست. چیدمان، هنوز مشخص نیست چون ما هنوز نوع و تعداد تجهیزات تولیدی که در کارخانه استفاده خواهد شد را نمی‌دانیم! این مدل، زمان راه‌اندازی، زمانی که ممکن است تجهیزات تولیدی و حمل و نقل برای رسیدن قطعات منتظر بمانند و فاکتورهایی از این قبیل را در نظر نمی‌گیرد. نوع و تعداد تجهیزات مورد نیاز که از طریق حل به دست می‌آید در مراحل بعدی بازنگری خواهد شد؛ راه‌حل ارائه شده، پاسخ اولیه‌ای است که تحلیل گران می‌توانند بعدها از آن در تصمیم‌گیری استفاده کنند. مدل به این گونه است:

$$\text{Minimize } \sum_{i=1}^o \sum_{j=1}^m c_{ij} x_{ij} + \sum_{i=1}^p \sum_{j=1}^n h_{ij} y_{ij} + \sum_{i=1}^m C_i NM_i + \sum_{i=1}^n H_i NMH_i \quad (3)$$

s.t.

$$\sum_{j=1}^m x_{ij} \geq NO_i \quad i = 1, 2, \dots, o \quad (4)$$

$$\sum_{j=1}^o t_{ij} x_{ij} \geq \tau_j NM_j \quad j = 1, 2, \dots, m \quad (5)$$

$$\sum_{j=1}^n y_{ij} \geq NP_i \quad i = 1, 2, \dots, p \quad (۶)$$

$$\sum_{i=1}^p s_{ij} y_{ij} \geq \sigma_j NMH_j \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (۷)$$

$$\sum_{i=1}^m C_i NM_i + \sum_{j=1}^n H_j NMH_j \leq B \quad (۸)$$

$$x_{ij} \geq 0 \quad \text{عدد صحیح و} \quad i = 1, 2, \dots, o; \quad j = 1, 2, \dots, m \quad (۹)$$

$$y_{ij} \geq 0 \quad \text{عدد صحیح و} \quad i = 1, 2, \dots, p; \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (۱۰)$$

$$NM_j \geq 0 \quad \text{عدد صحیح و} \quad j = 1, 2, \dots, m \quad (۱۱)$$

$$NMH_j \geq 0 \quad \text{عدد صحیح و} \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (۱۲)$$

محدودیت (۴) انجام تعداد عملیات مورد نیاز را تضمین می‌کند. محدودیت (۶) برای اطمینان حاصل کردن از این مطلب است که تعداد مورد نیاز از قطعات، جابه‌جا شوند. توجه کنید که N_{oi} به تعداد واحدهای هر نوع از قطعه تولید شده و تعداد عملیات O_i که برای هر نوع از قطعه مورد نیاز است بستگی دارد. محدودیت‌های (۵) و (۷) برای این است که زمان در دسترس برای هر ماشین و سیستم انتقال مواد از حد مشخص بیشتر نشود. این مدل زمان‌های انتظار و راه‌اندازی را در نظر نمی‌گیرد. محدودیت (۸) برای رعایت محدودیت بودجه است. محدودیت‌های (۹) تا (۱۲) باعث می‌شوند که نتیجه حتماً عدد صحیح باشد. برای اینکه یک راه‌حل تقریباً بهینه برای مدل به دست آوریم می‌توانیم محدودیت اعداد صحیح بودن x_{ij} و y_{ij} را برداشته و مدل را حل کنیم و سپس جواب نهایی را به نزدیک‌ترین عدد صحیح بالایی یا پایینی گرد کنیم. البته باید توجه کنیم که این گرد کردن هیچکدام از محدودیت‌ها را نقض نکند.

اگر میزان بودجه معلوم نباشد مدل M1 بدون محدودیت (۸) می‌تواند پاسخگوی مساله انتخاب تجهیزات انتقال باشد. اصلاحات دیگری که مدل M1 را برای شرایط مختلف مساله هماهنگ کند نیز امکان‌پذیر است. برای مثال، اگر انتخاب تجهیزات تولیدی و وسایل انتقال مواد به دو مسئله مجزاً تقسیم شوند مدل M1 می‌تواند طوری

اصلاح شود که هر کدام از مسائل را حل کند. مدل‌های M2 و M3 در ذیل آورده شده‌اند.

مدل M2 به گونه‌ای است که وسایل انتقال را تعیین می‌کند، با این فرض که وسایل تولیدی قبلاً خریداری شده‌اند. بنابراین متغیرهای NM_i و x_{ij} (در مدل M1)، پارامتر هستند.

$$\text{Minimize } \sum_{i=1}^p \sum_{j=1}^n h_{ij} y_{ij} + \sum_{i=1}^n H_i NMH_i \quad (13)$$

s.t.

$$\sum_{i=1}^n H_i NMH_i \leq B \quad (14)$$

و محدودیت‌های (۶)، (۷)، (۱۰) و (۱۲). این محدودیت‌ها مانند مدل M1 هستند و هیچ توضیح اضافی دیگری نمی‌خواهند. بودجه موجود B ، برای خرید تجهیزات انتقال مواد است.

مدل M3 برای زمانی است که در مورد تجهیزات انتقال تصمیم گرفته شده باشد و فقط تجهیزات تولیدی را بررسی می‌کند. در نتیجه پارامترهای NM_i ، x_{ij} و متغیرهای y_{ij} ، NMH_i در مدل M2 اکنون به ترتیب متغیر و پارامتر هستند. پارامتر B در این مدل نشان دهنده بودجه خرید تجهیزات تولیدی است.

$$\text{Minimize } \sum_{i=1}^o \sum_{j=1}^m c_{ij} x_{ij} + \sum_{i=1}^m C_i NM_i \quad (15)$$

s.t.

$$\sum_{i=1}^n C_i NM_i \leq B \quad (16)$$

و محدودیت‌های (۴)، (۵)، (۹) و (۱۱).

مدل M4 یکی دیگر از انواع مدل M1 است که در آن نیازهای عملیات برای هر قطعه بررسی شده است. این مدل از نمادهای اضافی ذیل استفاده می‌کند:

r_{ik} : تعداد دفعاتی که فرآیند O_i روی قطعه نوع P_k انجام می‌شود.

c_{ijk} : هزینه انجام عملیات O_i روی قطعه P_k توسط تجهیزات نوع M_j

t_{ijk} : زمان مورد نیاز برای انجام عملیات O_i روی قطعه P_k با استفاده از تجهیزات

نوع M_j

x_{ijk} : تعداد کل عملیات O_i انجام شده روی قطعه نوع P_k با استفاده از تجهیزات

تولیدی نوع M_j

c_j : هزینه خرید تجهیزات تولیدی نوع M_j که در زمان برنامه ریزی سرشکن شده است.

$$\text{Minimize } \sum_{i=1}^o \sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^p c_{ijk} x_{ijk} + \sum_{i=1}^m CM_j NM_j \quad (17)$$

s.t.

$$\sum_{j=1}^m x_{ijk} = r_{ik} NP_k \quad i = 1, 2, \dots, o; \quad k = 1, 2, \dots, p \quad (18)$$

$$\sum_{i=1}^o \sum_{k=1}^p t_{ijk} x_{ijk} \geq \tau_j NM_j \quad j = 1, 2, \dots, m \quad (19)$$

$$x_{ijk} \geq 0 \quad \text{عدد صحیح و} \quad i = 1, 2, \dots, o; \quad j = 1, 2, \dots, m \quad (20)$$

$$k = 1, 2, \dots, p$$

$$NM_j \geq 0 \quad \text{عدد صحیح و} \quad j = 1, 2, \dots, m \quad (21)$$

متغیر x_{ijk} به NP_k تعداد واحدهای تولید شده از قطعه نوع k و r_{ik} تعداد دفعاتی که عملیات i روی قطعه نوع k انجام می شود وابسته است تابع هدف (۱۷) هزینه خرید و هزینه عملیات ماشین آلات را کمینه می کند. محدودیت (۱۸) برای اطمینان حاصل کردن از این است که عملیات به تعداد مورد نیاز روی ماشین آلات انجام می شود. محدودیت (۱۹) محدودیت زمان در دسترس بودن برای هر نوع ماشین را مد نظر قرار می دهد و به عنوان محدودیت ظرفیت مطرح است. محدودیت ها (۲۰) و (۲۱) محدودیت مثبت و عدد صحیح بودن را اعمال می کند. مدل M1 را می توان مانند مدل M4 با برداشتن محدودیت صحیح بودن x_{ijk} حل نموده و بعد جواب نهایی را به نزدیکترین عدد صحیح گرد کرد.

همچنین تحلیل گر باید اطلاعات اولیه راجع به انواع روش های انتقال مواد که احتمالاً استفاده خواهند شد را داشته باشد. این اطلاعات انواع و تعداد تجهیزات مورد نیاز برای انتقال مواد را تا حدودی مشخص می کند. گرچه انتخاب تجهیزات انتقال مواد در مرحله انتخاب تجهیزات تولیدی باید تا حدی مورد مطالعه قرار گیرد ولی جزئیات

را زمانی می توان به دست آورد که مسیر جریان و چیدمان اولیه تهیه شد.

اکنون برای نمایش طرز استفاده مدل M1 برای حل مسئله انتخاب تجهیزات یک مثال کوچک حل می‌کنیم.

مثال

یک کارخانه تولیدکننده سیلندر اتومبیل که برای یک کارخانه چندملیتی، موتورهای با دقت بالا تولید می‌کند، برنامه‌ریزی کرده است که چندین نوع سیلندر تولید کند. این کارخانه برای اهداف برنامه‌ریزی شده، تولیدات ذیل را در نظر دارد: یک سیلندر موتور پایه، یک مدل با تکنولوژی بالا، یک سیلندر موتور برای ماشین‌های مسابقه و یک سیلندر برای ماشین‌های لوکس. بخش بازاریابی، برای هر کدام از این ۴ نوع، پیش‌بینی تقاضا را انجام داده است. معلوم شده است که به ترتیب تعداد ۲۰۰۰، ۱۵۰۰، ۱۸۰۰ و ۱۰۰۰ واحد به ترتیب از سیلندره‌ای پایه، سیلندرها با تکنولوژی بالا، سیلندره‌ای مسابقه‌ای و سیلندره‌ای لوکس در شش ماه آینده مورد تقاضا است. هر کدام از انواع مختلف مدل‌های سیلندر، یک یا بیشتر از سه عملیات O_1 ، O_2 و O_3 را نیاز دارند. سه نوع ماشین‌آلات و دو نوع سیستم انتقال مواد برای انجام این عملیات و انتقال‌ها موجود است که به ترتیب با M_1 ، M_2 ، M_3 و MH_1 و MH_2 نشان داده شده‌اند. با توجه به خرابی‌ها، در دسترس نبودن کارگرها و دیگر فاکتورها، پیش‌بینی می‌شود که ماشین‌آلات و سیستم انتقال در ۹۰٪ اوقات، مهیا برای کار باشند. هزینه ماشین‌آلات M_1 ، M_2 و M_3 به ترتیب ۲۳۰۰۰۰، ۲۵۰۰۰۰ و ۳۱۰۰۰۰ دلار است. هزینه تجهیزات انتقال مواد MH_1 و MH_2 نیز به ترتیب ۹۰۰۰۰ و ۱۳۰۰۰۰ دلار است. دو ماتریس ذیل، c_{ij} و h_{ij} را نشان می‌دهد که به ترتیب، هزینه انجام عملیات O_i روی تجهیزات مدل M_j و هزینه حمل‌ونقل قطعه P_i با استفاده از سیستم انتقال مواد MH_j هستند.

$$c_{ij} = \begin{bmatrix} 6 & 12 & 8 \\ 4 & 20 & 4 \\ 12 & 10 & 5 \end{bmatrix}, \quad h_{ij} = \begin{bmatrix} 10 & 5 \\ 12 & 6 \\ 18 & 9 \\ 6 & 3 \end{bmatrix}$$

زمان مورد نیاز برای انجام عملیات O_i به وسیله تجهیزات M_j با هزینه مربوطه نسبت عکس دارد و با استفاده از ماتریس سمت چپ و فرمول $t_{ij}=10/c_{ij}$ به دست می‌آید. به‌طور مشابه، زمان مورد نیاز برای انتقال قطعه P_i با سیستم انتقال مواد MH_j با هزینه مربوطه نسبت عکس دارد و از ماتریس سمت راست و فرمول $s_{ij}=1/h_{ij}$ به دست می‌آید. تعداد مورد نیاز برای هر نوع عملیات عبارتست از ۶۰۰۰ برای O_1 ، ۶۰۰۰ برای O_2 و ۴۵۰۰ برای O_3 . کل زمان موجود برای ماشین‌آلات و سیستم انتقال مواد ۳۳۳ واحد است. یک مدل مانند M1 تهیه کرده و آن را با استفاده از نرم‌افزار برنامه‌ریزی اعداد صحیح مختلط که در دسترس است حل کنید. نوع و تعداد هر یک از تجهیزات مورد نیاز تولید و انتقال مواد را به دست آورید.

جواب. فایل‌های ورودی و خروجی مدل با استفاده از LINDO در ادامه آمده است
(Schrage, 1986).

```
MIN      230000 NM1 + 250000 NM2 + 310000 NM3 + 90000 NMH1
+ 130000 NMH2 + 6 X11 + 12 X12 + 8 X13 + 4 X21 + 20 X22
+ 4 X23 + 12 X31 + 10 X32 + 5 X33 + 10 Y11 + 5 Y12 + 12 Y21
+ 6 Y22 + 18 Y31 + 9 Y32 + 6 Y41 + 3 Y42
SUBJECT TO
C1)      X11 + X12 + X13 >= 6000
C2)      X21 + X22 + X23 >= 6000
C3)      X31 + X32 + X33 >= 4500
C4)      - 300 NM1 + 1.67 X11 + 2.5 X21 + 0.83 X31 <= 0
C5)      - 300 NM2 + 0.833 X12 + 0.5 X22 + X32 <= 0
C6)      - 300 NM3 + 1.25 X13 + 2.5 X23 + 2 X33 <= 0
C7)      Y11 + Y12 >= 2000
C8)      Y21 + Y22 >= 1500
C9)      Y31 + Y32 >= 1800
C10)     Y41 + Y42 >= 1000
C11)     - 300 NMH1 + 0.1 Y11 + 0.0833 Y21 + 0.056 Y31 + 0.167 Y41 <= 0
C12)     - 300 NMH2 + 0.2 Y12 + 0.167 Y22 + 0.11 Y32 + 0.33 Y42 <= 0
C13)     230000 NM1 + 250000 NM2 + 310000 NM3 + 90000 NMH1 + 130000 NMH2 <= 10000000
```

END

GIN 5

LP OPTIMUM FOUND AT STEP 107

OBJECTIVE VALUE = 10028725.0

SET NM1 TO >= 13 AT 1, BND= -.1009E+08 TWIN= -.1006E+08 120
 SET NM2 TO <= 26 AT 2, BND= -.1017E+08 TWIN= -.1024E+08 130
 SET NM2 TO >= 26 AT 3, BND= -.1017E+08 TWIN= -.1000E+31 130
 SET NM1 TO >= 14 AT 4, BND= -.1022E+08 TWIN= -.1017E+08 132
 SET NM1 TO <= 14 AT 5, BND= -.1022E+08 TWIN= -.1000E+31 132
 SET NMH1 TO >= 2 AT 6, BND= -.1022E+08 TWIN= -.1000E+31 139

NEW INTEGER SOLUTION OF 10220410.0 AT BRANCH 16 PIVOT 139

BOUND ON OPTIMUM: .1006044E+08

DELETE NMH1 AT LEVEL 6
 DELETE NM1 AT LEVEL 5
 FLIP NM1 TO <= 13 AT 4 WITH BND= -10168480.
 SET NM3 TO >= 1 AT 5, BND= -.1030E+08 TWIN= -.1000E+31 141
 DELETE NM3 AT LEVEL 5
 DELETE NM1 AT LEVEL 4
 DELETE NM2 AT LEVEL 3
 DELETE NM2 AT LEVEL 2
 FLIP NM1 TO <= 12 AT 1 WITH BND= -10060442.
 SET NM2 TO >= 28 AT 2, BND= -.1011E+08 TWIN= -.1010E+08 153
 SET NM1 TO <= 11 AT 3, BND= -.1013E+08 TWIN= -.1026E+08 162
 SET NM2 TO >= 29 AT 4, BND= -.1017E+08 TWIN= -.1022E+08 164
 SET NM2 TO <= 29 AT 5, BND= -.1017E+08 TWIN= -.1000E+31 164
 SET NM1 TO >= 11 AT 6, BND= -.1028E+08 TWIN= -.1000E+31 169
 DELETE NM1 AT LEVEL 6
 DELETE NM2 AT LEVEL 5
 FLIP NM2 TO <= 28 AT 4 WITH BND= -10217916.
 SET NM1 TO >= 11 AT 5, BND= -.1022E+08 TWIN= -.1000E+31 169
 DELETE NM3 AT LEVEL 6
 DELETE NM1 AT LEVEL 5
 DELETE NM2 AT LEVEL 4
 DELETE NM1 AT LEVEL 3
 FLIP NM2 TO <= 27 AT 2 WITH BND= -10103654.
 SET NM1 TO >= 12 AT 3, BND= -.1010E+08 TWIN= -.1000E+31 170
 SET NM2 TO >= 27 AT 4, BND= -.1010E+08 TWIN= -.1000E+31 170
 SET NM3 TO >= 1 AT 5, BND= -.1032E+08 TWIN= -.1000E+31 171
 DELETE NM3 AT LEVEL 5
 DELETE NM2 AT LEVEL 4
 DELETE NM1 AT LEVEL 3
 DELETE NM2 AT LEVEL 2
 DELETE NM1 AT LEVEL 1
 ENUMERATION COMPLETE. BRANCHES= 23 PIVOTS= 171

LAST INTEGER SOLUTION IS THE BEST FOUND

RE-INSTALLING BEST SOLUTION...

VARIABLE	VALUE	REDUCED COST
NM1	14.000000	227516.312500
NM2	26.000000	247181.562500
NM3	.000000	307161.781250
NMH1	2.000000	90000.000000
NMH2	.000000	105454.546875
X11	210.420853	.000000
X12	5789.579102	.000000
X13	.000000	.000000
X21	45.438900	.000000
X22	5954.561035	.000000
X23	.000000	2.954324
X31	4500.000000	.000000
X32	.000000	.523254
X33	.000000	5.049840
Y11	2000.000000	.000000
Y12	.000000	11.363637
Y21	1500.000000	.000000
Y22	.000000	7.663636
Y31	1800.000000	.000000
Y32	.000000	.000000
Y41	1000.000000	.000000
Y42	.000000	24.000002

ROW	SLACK OR SURPLUS	DUAL PRICES
C1)	.000000	-19.825859
C2)	.000000	-24.697395
C3)	.000000	-18.871534
C4)	.000000	8.278957
C5)	.000000	9.394789
C6)	.000000	9.460688
C7)	.000000	-10.000000
C8)	.000000	-12.000000
C9)	.000000	-18.000000
C10)	.000000	-6.000000
C11)	7.249995	.000000
C12)	.000000	81.818184
C13)	100000.000000	.000000

NO. ITERATIONS= 174

BRANCHES= 23 DETERM.= 1.000E 0

همان‌طور که قبلاً نیز گفته شد، مقادیر X_{11} , X_{12} , X_{21} و X_{22} را می‌توان به بالا یا پایین گرد کرد به‌طوری که همه محدودیت‌ها برقرار باشند؛ جواب گرد شده را می‌توان به عنوان یک جواب ابتکاری خوب استفاده نمود.

۲-۵ تحلیل احتیاجات پرسنل

به موازات مسئله انتخاب تجهیزات تولید و انتقال مواد، یک مسئله دیگر هم باید در نظر گرفته شود و آن، نیازهای کارمندان است. مدل‌های ساده‌ای وجود دارند که تعداد کارمندان مورد نیاز فعلی را بر اساس فاکتورهایی چون نیروهای کارگری (اعم از اینکه اتحادیه باشند یا خیر)، درجه اتوماسیون، نرخ تولید، سیاست‌های مدیریت برای قراردادهای و زمان اضافه‌کاری، میزان حقوق، نرخ بیمه عمر و قوانینی که توسط OSHA گذاشته شده است، تعیین می‌کند.

تعداد کارمندان مورد نیاز برای تسهیلات جدید با حجم و تنوع محصول نسبت مستقیم دارد. برای مثال اگر نمادهای ذیل را در نظر بگیرید:

n : تعداد انواع عملیات.

O_i : مجموع تعداد عملیات نوع i که برای تمام محصولات فرضی (یا حقیقی) که در روز تولید می‌شود مورد نیاز است.

T_i : زمان استاندارد مورد نیاز برای یک فرآیند معمولی O_i .

H : کل زمان موجود تولید در روز.

η : راندمان تولید فرضی کارخانه.

سپس تعداد کارمندان مورد نیاز از رابطه ذیل به دست می‌آید:

$$N = \sum_{i=1}^n \frac{T_i O_i}{\eta H} \quad (22)$$

فاکتور η در رابطه (۲۲)، زمان تولید موجود را طوری تنظیم می‌کند که زمان هدر رفته برای مواردی از قبیل نگهداری یا خرابی ماشین و یا تعمیرات و در دسترس نبودن کارگر/مواد/ماشین‌آلات و موجود نبودن سیستم انتقال مواد را در نظر بگیرد. خیلی از فرضیاتی که در معادله (۲۲) در نظر گرفته شده ممکن است در واقعیت موجود نباشد.

برای مثال مدل به طور ضمنی فرض می کند که عملیات مشابه، هر روز انجام می شود و زمان راه اندازی ماشین آلات به حجم تولید بستگی دارد. از سوی دیگر، این مدل فقط تعداد کارکنان مورد نیاز در خط تولید را تعیین می کند و کارکنان اداری و غیرتولیدی را در نظر نمی گیرد. به طور کلی هر چه فعالیت های تولیدی افزایش یابند تعداد کارکنان مورد نیاز برای کارهای غیرتولیدی و اداری هم افزایش می یابد؛ زیرا کارخانجاتی که نیروی کاری زیاد دارند باید خدمات اضافی از جمله نگهداری، سرایداری، غذا، تفریحات فیزیکی، دفتردار و غیره را مهیا کنند. برای ارائه چنین خدماتی باید ادارات مجزایی از جمله اداره نگهداری، مرکز اطلاعات دهی به بازدیدکنندگان، رستوران و مرکز سرایداری شکل گرفته و به میزان کافی پرسنل به آنها اختصاص داده شود. معمولاً تعداد پرسنل پشتیبانی به صورت سرانگشتی تخمین زده می شود. مثلاً برای هر ۲۰ کارگر یک منشی و برای هر یک مدیر یک منشی لازم است.

تصمیم گیری ها در مورد پرسنل، طراحی تسهیلات پشتیبانی از جمله تعداد پارکینگ ها، اتاق های استراحت، اتاق کمد ها و رستوران را تحت تاثیر قرار می دهند. قوانین دولتی و سیاست های کارخانه نیز در تعیین تعداد و انواع این تسهیلات پشتیبانی و خدماتی نقش دارند. برای مثال، ممکن است قوانین دولتی محلی، استانی یا مرکزی تعداد خاصی مکان برای پارکینگ، راه خروجی در هنگام آتش سوزی و استراحتگاه تعیین کند. در تعیین وجود یا عدم وجود رستوران، هزینه و بهره وری بایستی در نظر گرفته شود. با وجود اینکه ممکن است کارخانه برای ارائه خدمات غذایی و ایجاد رستوران هزینه ثابت بیشتری متحمل شود (با توجه به فرآیندهای گرمایش و نگهداری)، ولی این کار می تواند باعث بالا رفتن میزان تولید شود؛ چون کارکنان در یک محل غذا خورده و می توانند در مورد مسائل مربوط به کار با یکدیگر تبادل نظر کنند. وجود رستوران در کارخانه می تواند زمان مورد نیاز برای غذا خوردن را کاهش دهد و مسائل مربوط به دیر برگشتن کارکنان بر سر کار یا مسموم شدن آنها را حداقل کند.

۲-۶ فضای مورد نیاز و در دسترس

فاکتور دیگری که برای توسعه یک چیدمان باید در نظر گرفته شود، میزان فضای در دسترس و مورد نیاز است. با دانستن میزان جریان بین ماشین آلات و عملیات متقابل بین تسهیلات، یک طراح می‌تواند فضای لازم برای قرار دادن ماشین آلات را تعیین کند. در حالت کلی شکل، اندازه و فضای مورد نیاز برای هر کدام از تسهیلات با اندازه‌گیری دقیق ابعاد و اطلاعات راجع به فضای مورد نیاز از طریق پرسنل مجرب کارخانه به دست می‌آید. برای پیدا کردن ابعاد لازم جهت پی‌ریزی یک ماشین می‌توان از نرم‌افزار CAD^۱ استفاده کرد.

بعد از تعیین فضای مورد نیاز برای قرار دادن تسهیلات، تحلیل‌گر باید فضایی برای حرکت متصدی، بارگیری و تخلیه دستگاه، محل انبار مواد ورودی و قطعات نیمه‌ساخته و قفسه‌هایی برای نگهداری ابزارها و ضمام دستگاه در نظر بگیرد. دوباره یک حساب سرانگشتی ساده برای تعیین فضای اضافی مورد نیاز، انجام می‌شود. در برخی از کارخانجات ۳ یا ۴ فوت به طول و عرض هر ماشین یا ایستگاه کاری اضافه می‌کنند. در بعضی دیگر فضای اضافی با در نظر گرفتن درصدی از کل مکان اشغال شده توسط ابزار تعیین می‌شود که حدود ۲۰۰٪ تا ۳۰۰٪ است.

بهترین روش برای تعیین فضای اضافی این است که فضای مورد نیاز برای ایستگاه کاری، ابزار آلات جانبی و کمکی، فضای متصدی، فضای مورد نیاز برای مواد ورودی و قطعات نیمه‌ساخته و دیگر فضاهای اضافی (مانند محل بارگیری و تخلیه، فاصله ایمنی، تجهیزات انتقال مواد) تک‌تک محاسبه شده و این مقادیر، جمع شده تا فضای کلی مورد نیاز به دست آید. این روش برای قسمتی از فضای تولیدی در شکل ۲-۱۶ نشان داده شده است. اصولاً برای هر قسمت (نام قسمت‌ها در ستون یک نوشته شده است)، نام تجهیزات مورد نیاز و کد آن در ستون‌های ۲ و ۳ نوشته شده است. همچنین طول و عرض هر کدام از تجهیزات در ستون‌های ۴ و ۵ نوشته شده و این اطلاعات برای محاسبه فضای مورد نیاز دستگاه در ستون ۶ استفاده شده است. بعد از آن در ستون‌های ۷، ۸ و ۹ فضای مورد نیاز برای تجهیزات کمکی و جانبی مربوطه، متصدی‌ها و مواد تعیین شده است و این مقادیر در ستون ۱۰ جمع شده است. فضای

قطعات نیمه‌ساخته در اوج کاری، فضای مورد نیاز برای انجام عملیات نگهداری و یا افزایش حجم تولید در آینده نزدیک منظور شوند. در پایان، مساحت کلی مورد نیاز برای هر نوع از ماشین‌آلات که در ستون ۱۲ آورده شده است محاسبه می‌شود. ضرب این عدد در تعداد ماشین‌آلات از هر نوع (در ستون ۱۳)، کل فضای مورد نیاز برای هر نوع ماشین را تعیین می‌کند.

طراحان باید مباحث توسعه و گسترش در آینده را نیز منظور کنند. در حالت کلی تعیین اینکه آیا توسعه و رشد صورت می‌گیرد و اگر صورت می‌گیرد چه وقت است، مشکل است. در شرایط صنعتی کنونی آمریکا، بسیاری از کارخانجات، فعالیت‌های تولیدی، تجهیزات و پرسنل خود را کاهش داده‌اند. به هر حال اگر در نظر گرفتن فضا برای توسعه هزینه‌بر است، رشد فعالیت‌های تولیدی که به دنبال خود افزایش پرسنل و تسهیلات را به همراه دارند نیز هزینه‌زاست. البته در نظر گرفتن فضای زیاد برای گسترش ممکن است ضررهای دیگری از جمله سرمایه‌گذاری بیشتر و هزینه‌های کاذب از جمله هزینه سرمایش و گرمایش را موجب شود. در نتیجه یک طراح تسهیلات باید بین در نظر گرفتن فضای بیش از حد از یک طرف و فضای بسیار کم از طرف دیگر، برای توسعه و گسترش، تعادل برقرار کند.

با اینکه بیشتر صحبت‌های این بخش روی فضای افقی متمرکز بود ولی تعیین فضای عمودی مورد نیاز هم به همین میزان اهمیت دارد؛ مخصوصاً اگر تجهیزات انتقال مواد بالاسری باشند یا انبار کردن کالاها در فضا و بلندی صورت گیرد.

خلاصه

در این فصل انواع مختلف چیدمان در سیستم‌های خدماتی و تولیدی را مورد بررسی قرار دادیم. در ضمن اهمیت تحلیل محصول و موارد مورد استفاده آن در تعمیم بعضی از اطلاعات پایه‌ای مورد نیاز برای طراحی تسهیلات را بررسی کردیم (بقیه اطلاعات مورد نیاز در فصل بعدی مورد بررسی قرار می‌گیرد). با اینکه ممکن است بعضی از این مباحث به چیدمان بخش‌های اداری یا طراحی ساختمان‌های خدماتی مربوط نباشد، فاکتورهایی که باید قبل از طراحی نهایی مد نظر قرار گیرند را مطرح می‌کند. نقشه‌های مهندسی و فهرست مواد، فرآیندهای مورد نیاز را اعلام می‌کنند. با استفاده از ابزار

تحلیل‌گری مثل نمودار مونتاز، نمودار فرآیند عملیات و برگه مسیر تولید به یک ایده کلی راجع به مسیر جریان مواد دست پیدا می‌کنیم. با دانستن اینکه به‌طور کلی چه فرآیندهای تولیدی مورد نیاز است، تعداد و نوع ابزارآلات تولیدی را می‌توان تعیین کرد. برای این هدف، از مدل‌های ریاضی استفاده می‌شود. به‌علاوه، راجع به روش‌های تعیین فضای مورد نیاز برای تولید و تجهیزات اضافی و کمکی به بحث پرداختیم. مدل‌های ساده‌ای برای برآورد تعداد نیروی کاری مورد نیاز نیز ارائه شد.

علاوه بر رویکردهای سنتی و روش برنامه‌ریزی خطی برای تخمین نیروی کاری و تجهیزات و ابزارهای مورد نیاز، از تئوری صف نیز می‌توان استفاده کرد. برای مثال، از تئوری صف می‌توان برای تعیین تعداد نیروی کاری که باید برای تکمیل سفارشات در قسمت بارگیری کشتی استخدام شوند، استفاده کرد. گاهی اوقات ممکن است به دست آوردن اطلاعات مورد نیاز برای مدل صف خیلی وقت‌گیر باشد یا طراحان تسهیلات از مدل‌های تحلیلی آگاهی نداشته باشند؛ در چنین حالاتی استفاده از فرمول‌هایی که در بخش ۲-۶ عنوان شد و همین‌طور استفاده از حساب سرانگشتی، توصیه می‌شود. بیشتر کارخانجات کم‌کم به اهمیت مدل‌های تحلیلی پی می‌برند و این روش‌ها به آرامی در صنعت مورد قبول واقع می‌شود.

تمرینات و پرسش‌های دوره‌ای

۱- معیارهایی که به‌طور معمول برای ارزیابی چیدمان تسهیلات استفاده می‌شود را نام برده و هر کدام را توضیح دهید.

۲- تعدادی از محدودیت‌هایی که یک تحلیل‌گر در واقعیت برای توسعه یک چیدمان تسهیلات به آن بر می‌خورد را نام برده و توضیح دهید.

۳- به بخش مراجع کتابخانه یا نزدیک‌ترین اداره کار مراجعه کرده و جدیدترین راهنمای OSHA در مورد قوانین نور، صدا و غیره را که در طراحی تسهیلات مد نظر

۴- چند نوع از مسائل مربوط به چیدمان تسهیلات را نام برده و کاربردی برای هر کدام بیان کنید.

۵- تفاوت چیدمان تسهیلات با چیدمان ماشین آلات، چیدمان کارخانه و چیدمان اداری چیست؟

۶- از ادارات مختلف ذیل دیدن کنید و خلاصه‌ای از فعالیت‌های هر یک ارائه دهید. در صورت لزوم از منابع دیگر نیز مانند Suskind (1989) استفاده کنید.

الف. بانک محلی خودتان.

ب. فروشگاه خواروبارفروشی.

ج. فروشگاه مورد علاقه خودتان.

د. یک نمایشگاه اتومبیل.

ه. بخش خدماتی یک نمایشگاه ماشین یا تعمیرگاه ماشین خودتان.

و. بخش اداری موتورهای وسایل نقلیه.

ز. مطب دکتر.

ح. مشاور املاک.

ط. اداره سرپرستی امنیت ملی.

ی. فرودگاه.

ک. اداره پست.

۷- حداقل سه مثال برای انواع هر یک از چیدمان‌های اداری ذیل را نام ببرید.

الف. ساختار بسته.

ب. ساختار نیمه‌بسته.

ج. ساختار باز.

د. ساختار نیمه‌باز.

۸- در صورت امکان، نقشه مهندسی و فهرست مواد یک محصول از یک کارخانه تولیدی را تهیه کنید. از این اطلاعات برای تهیه اسامی مونتاژها و زیرمونتاژهایی که در ذیل آمده‌اند استفاده کنید:

الف. آنهایی که در کارخانه تولید می‌شوند.

ب. آنهایی که از یک فروشگاه خارجی یا تامین‌کننده کارخانه خریداری می‌شوند.
برای هر مونتاژ و زیرمونتاژ تولید شده در کارخانه، یک برگه مسیر تولید تهیه کنید. تمام اطلاعات مربوط به طراحی چیدمان را حذف کنید و فقط اطلاعات مربوط به ماشین‌آلات و توالی آنها برای هر مونتاژ و زیرمونتاژ را ثبت کنید.

۹- یک نمودار مونتاژ برای محصولات ذیل رسم کنید.

الف. فن پایه‌دار.

ب. آویز شلنگ باغچه.

ج. دوچرخه.

د. دستگاه ضبط و پخش استریو.

ه. میز کامپیوتر.

و. چراغ پایه‌بلند.

۱۰- فهرست مواد برای موارد نامبرده در تمرین ۹ را تهیه کنید.

۱۱- با استفاده از مراجع موجود در کتابخانه (مانند Groover, 1996)، چند فرآیند تولیدی و نوع تجهیزات مورد نیاز برای هر کدام را نام ببرید (مانند ماشین دندانه زدن، دریل یا دریل پرسی و یا ماشین هاب).

۱۲- چگونه می‌توان بین انتخاب تجهیزات و مسائل مربوط به چیدمان تسهیلات ارتباط برقرار کرد؟ توضیح دهید.

۱۳- شرکت هاسریل^۱ -تولیدکننده قرقره شلنگ پلاستیکی حیاط- در حال بررسی خرید یک مدل جدید دستگاه تزریق برای تولید محصول نهایی است -با خرید این دستگاه، عملیات یا دستگاه دیگری مورد نیاز نیست. شرکت می‌خواهد ۱۰۰۰ واحد محصول در روز تولید کند و راندمان ماشین هم ۹۹٪ است. با فرض اینکه هر قرقره در مدت ۵۷ ثانیه تولید شود، تعیین کنید که چه تعدادی از وسایل جدید باید خریداری شود اگر هر روز فقط یک شیفت ۸ ساعته کار شود.

۱۴- مثال ۱۳ را در نظر بگیرید. با این تفاوت که نرخ خرابی دستگاه ۱۰٪ است آیا جواب مساله تغییر می‌کند؟ اگر نه چگونه و چرا؟ محاسباتی برای تأیید جوابتان ارائه دهید.

۱۵- مثال ۱۴ را در نظر بگیرید. با این فرض که ۳۰٪ "ضایعات" با استفاده از ماشین دیگر دوباره‌کاری شده و به محصول قابل استفاده تبدیل می‌شوند. فرمول ۲ در بخش ۲-۴-۱ را طوری تنظیم کنید که تعداد قطعات مورد نیاز را محاسبه کند. آیا جواب به‌دست آمده نسبت به جواب مسئله ۱۴ تغییر کرده است؟ توضیح دهید.

۱۶- برگه مسیر تولید برای یک گیره که در یک وسیله تشخیص پزشکی استفاده می‌شود آورده شده است. در ضمن خروجی مورد نیاز در هر ساعت و نرخ خرابی هر ماشین هم داده شده است.

شرکت مدیکوپ کو^۲

تهیه شده توسط: SSH		نام قطعه: دسته		
نرخ خرابی	خروجی مورد	نام ماشین	کد ماشین	کد عملیات
۵٪	۱۰۳	تراشکاری	۲۰۵۳	۱۰
۸٪	۱۰۰	دریل	۱۲۲۶	۲۰
۱۲٪	۱۰۰	شیاردهی	۳۰۲۹	۳۰
۱۰٪	۱۰۰	صیقل دادن	۳۰۰۷	۴۰

با فرض اینکه راندمان تولید هر ماشین ۹۰٪ است، میزان ورودی و تعداد مورد نیاز از هر مدل دستگاه برای شرکت را تعیین کنید و معلوم کنید چه تعداد از هر دستگاه باید خریداری شود اگر میزان تولید در بخش‌های تراشکاری، دریل، شیاردهی و صیقل دادن به ترتیب ۶، ۱۰، ۱۵ و ۱۸ واحد در ساعت باشد.

۱۷- کارخانه شکلات‌سازی پریس^۱ تولید یک تافی جدید را مد نظر دارد. تافی جدید فرآورده‌های A، B، C و D را به ترتیب نیاز دارد. انواع دستگاه‌هایی که برای انجام این فرآورده‌ها لازم است در کارخانه موجود است ولی مدیریت مطمئن نیست که آیا باید قطعات اضافی خریداری شود یا نه. اطلاعات ذیل موجود هستند.

- چهارقطعه از تجهیزات (یکی برای هر نوع) راندمان ۵۰٪ دارد.
 - کارخانه یک شیفت ۸ ساعته در روز و ۲۵۰ روز در سال کار می‌کند.
 - اگر کارخانه تصمیم به تولید تافی داشته باشد، باید نصف روز صرف تهیه تافی و نیمه بعدی را برای تهیه شکلات اختصاص دهد.
- زمان مورد نیاز برای راه‌اندازی، تمیز کردن و نگهداری تجهیزات و زمان عملکرد و "میزان خرابی" (سرریز، محصولات که از نظر شکل و میزان استانداردهای کارخانه را ندارند و باید دور ریخته شوند) - به ثانیه - برای هر فرآورده در جدول آمده است.

	فرآورده/تجهیزات			
	A	B	C	D
راه‌اندازی، تمیز کردن و نگهداری	۱۸۰۰	۲۷۰۰	۶۰۰	۱۰۰۰
زمان پردازش بر واحد	۲۵	۴	۲	۴
نرخ خرابی	٪۱۰	٪۵	٪۱	٪۱

- الف. تقاضا برای تافی ۱۰۰۰۰۰۰ در سال تخمین زده می‌شود. برای برآورده کردن این تقاضا میزان ورودی و خروجی هر فرآورده را تعیین کنید.
- ب. مشخص کنید که آیا کارخانه می‌تواند تافی جدید با تجهیزات موجود تهیه کند. اگر نه چه تعداد وسیله جدید باید خریداری شود (همراه با محاسبات)؟

ج. کارخانه می‌تواند یک نیمه شیفت اضافه با استفاده از ۱۵ کارگر که اضافه کاری برابر ۲۰ دلار در ساعت می‌گیرند اضافه کند. احتمال استفاده کردن و نکردن از تجهیزات اضافی مساوی است. هزینه‌های بالاسری ۱۰۰۰۰ دلار تخمین زده می‌شود و هزینه ماشین‌آلات فرآیندهای A، B، C و D به ترتیب ۵۰۰۰۰، ۲۰۰۰۰۰، ۱۰۰۰۰۰ و ۱۰۰۰۰۰ دلار است. آیا اضافه کردن شیفت اضافه کاری به صرفه است یا نه؟ توضیح دهید.

۱۸- یک کارخانه ۵ نوع قطعه با استفاده از ۴ نوع ماشین تولید می‌کند. هر قطعه ممکن است یک و یا تعداد بیشتری عملیات نیاز داشته باشد و کلاً ۸ عملیات بر روی این ۴ قطعه انجام می‌شود. دو وسیله حمل و نقل برای حرکت مواد بین ماشین‌آلات استفاده می‌شود. شکل ۲-۱۷ ماتریسی است که هزینه (زمان) انجام عمل i روی ماشین j را نشان می‌دهد. در سمت راست، ماتریس هزینه (زمان) حمل و نقل واحد i توسط حامل i حجم تولید تعیین شده و توالی عملیات برای هر قطعه نمایش داده شده است. علامت “-” در ردیف i و ستون j نشان می‌دهد که عمل i توسط ماشین j انجام نمی‌شود و قطعه i توسط حامل j نمی‌تواند حمل شود. فرض کنید که برای هر ماشین ۵۰۰۰ دقیقه در اختیار است و بودجه موجود ۸۵۰۰۰۰ دلار است.

Part #	MH 1	MH 2	حجم تولید	توالی عملیات
Part 1	50(50)	55(55)	20	01-02-03
Part 2	65(70)	70(70)	15	02-03-05-06
Part 3	65(35)	—	20	04-07-08
Part 4	—	60(60)	10	04-06-08
Part 5	50(25)	50(50)	15	02-04-05

شکل ۲-۱۷. داده‌های مسئله ۱۸ (ادامه دارد)

	M/C 1	M/C 2	M/C 3	M/C 4
Oper 1	20(18)	15(17)	40(12)	—
Oper 2	21(15)	—	—	—
Oper 3	12(4)	—	35(19)	—
Oper 4	12(8)	—	25(12)	—
Oper 5	—	—	10(10)	8(5)
Oper 6	—	8(8)	—	5(12)
Oper 7	—	12(20)	—	—
Oper 8	—	15(15)	—	8(12)

شکل ۲-۱۷. (ادامه)

اگر ۴ نوع ماشین و دو وسیله حمل‌ونقل به ترتیب ۱۴۰۰۰۰، ۱۹۲۰۰۰، ۸۵۰۰۰، ۲۶۰۰۰۰، ۱۰۰۰۰ و ۱۲۰۰۰۰ هزینه داشته باشد، مدلی مانند مدل M1 در بخش ۲-۴-۲ تهیه کنید که تعداد عملیات انجام شده از هر نوع روی هر مدل از ماشین‌آلات و تعداد واحدهای منتقل شده از دو حامل را تعیین کند.

۱۹- فرض کنید که مدیر کارخانه در مسئله ۱۸ تعداد دقیق ماشین‌آلاتی را که می‌تواند با توجه به محدودیت بودجه بخرد را نمی‌داند. بنابراین محدودیت بودجه را نادیده گرفته است. با این فرض، مدل را حل کنید. آیا نتیجه به‌دست آمده با مسئله ۱۸ متفاوت است؟ توضیح دهید.

۲۰- مسئله ۱۸ را در نظر بگیرید. بدون در نظر داشتن اطلاعات مربوط به ماشین‌آلات، مدلی مانند M2 در بخش ۲-۴-۲ تهیه کنید و مسئله را با نرم‌افزار LINDO یا نرم‌افزارهای موجود دیگر حل کنید.

۲۱- مسئله ۲۰ را در نظر بگیرید و اطلاعات مربوط به تجهیزات انتقال مواد را نادیده گرفته و مدلی مانند M3 در بخش ۲-۴-۲ به‌دست آورید و با استفاده از نرم‌افزار

LINDO یا دیگر نرم‌افزارهای موجود، آن را حل کنید.

۲۲- کمپانی سل من^۱ سه سلول تولیدی دارد که در هر کدام تجهیزات مختلفی وجود دارد. در یک سلول ۶ ماشین وجود دارد که در ذیل فهرست آن آورده شده است. الف. ۱۰ فوت به هر طرف دو ماشین اول و ۸ فوت به اطراف بقیه ماشین‌ها اضافه کنید تا فضای مورد نیاز برای دسترسی متصدی، وسیله انتقال مواد، انبار قطعات نیمه‌ساخته و از این قبیل به دست آید. کل فضای مورد نیاز را تعیین کنید.

نوع ماشین	طول	عرض	تعداد
ماشین‌های دنده‌زنی	۱۰	۵	۱
پرس‌های پانچ	۱۰	۱۰	۱
تجهیزات تزریق	۲۰	۱۰	۲
قالب‌گیری تزریقی	۱۰	۱۰	۳
صفحه‌تراش	۵	۵	۴
سنگ‌زنی	۱۰	۱۰	۲

ب. یک جدول مانند شکل ۲-۱۶ برای هر یک از انواع تجهیزات با فرضیات ذیل تهیه کنید:

- ابعاد تجهیزات کمکی ۱۰٪ تجهیزات اولیه است.
- مساحت مورد نیاز برای اپراتور، ۸٪ مجموع مساحت مورد نیاز برای تجهیزات اولیه و اضافی است.
- مساحت مورد نیاز برای انبار مواد اولیه، ۲۰٪ مساحت اشغال شده برای تجهیزات اولیه است.
- میزان فضای اضافی در نظر گرفته شده، ۸۰٪ مجموع مساحت تعیین شده در ۱، ۲، ۳ و مساحت مورد نیاز برای تجهیزات اولیه است.

تحلیل فرآیند و جریان مواد

۳-۱ مقدمه

تحلیل فرآیند و جریان مواد، فرآیندها و تجهیزات مورد نیاز و چگونگی جریان عمومی مواد را تعیین می‌کند. در بخش ۲ پیرامون برخی مؤلفه‌های تحلیل فرآیند (مثلاً تعیین نوع و تعداد تجهیزات فرآیند و محاسبه احتیاجات فضا) بحث شد؛ به‌علاوه در همان بخش به تحلیل محصول و اهمیت آن در گسترش برخی از داده‌های مورد نیاز برای طراحی تسهیلات پرداخته شد.

در این فصل، تمرکز اصلی بر تحلیل جریان مواد و چگونگی توسعه داده‌ها و اطلاعات در مورد جریان‌ها و فواصل است که از موارد لازم‌الاجرا در ایجاد چیدمان هستند. در ضمن ابزاری برای ارائه طرح‌های چیدمان معرفی شده و در مطالعه موردی، چگونگی تولید داده‌های مورد نیاز برای چیدمان، بحث خواهد شد.

۳-۲ داده‌های مورد نیاز برای تصمیم‌گیری در مورد چیدمان

از آنجا که چیدمان خوب، هزینه حرکت مواد و ابزار را به حداقل می‌رساند، داشتن داده‌های ذیل در برنامه‌ریزی چیدمان، به طراح کمک خواهد کرد:

- تعداد سفرها و یا میزان جریان مواد و یا برخی معیارهای دیگر در رابطه با اثرات متقابل میان تسهیلات.

- فضای موجود کف کارخانه.
- محدودیت‌های مکانی برای تسهیلات.
- میزان همسایگی بین هر جفت از تسهیلات.

داشتن بعضی از این داده‌ها ضروری نیست (مانند محدودیت‌های مکانی برای تسهیلات)، اما شناخت تعداد سفرهای موجود بین تسهیلات و نیز شکل و اندازه تسهیلات جهت تعیین چیدمان اولیه، لازم است. تعداد سفرها میان تسهیلات به منظور تعیین اثر متقابل بین هر جفت از تسهیلات به کار می‌رود. چنانچه داده‌های مربوط به تعداد سفرها موجود نباشد، طراح باید حداقل یک‌سری اطلاعات ذهنی و تخمینی پیرامون رفت‌وآمد یا شدت جریان میان تسهیلات داشته باشد. در حقیقت، همان‌طور که بعداً در این فصل بحث خواهد شد در نمودار رابطه فعالیت‌ها از معیارهای کیفی جهت تعیین نزدیکی مطلوب میان تسهیلات استفاده می‌شود. طراحان باید ابعاد هر یک از تسهیلات و به دنبال آن فضای مورد نیاز هر یک را بدانند. چنانچه تسهیلات شامل ماشین‌ها و ایستگاه‌های کاری باشد باید فضای معینی بین تسهیلات مختلف و نیز فضایی برای راهرو در نظر گرفته شود.

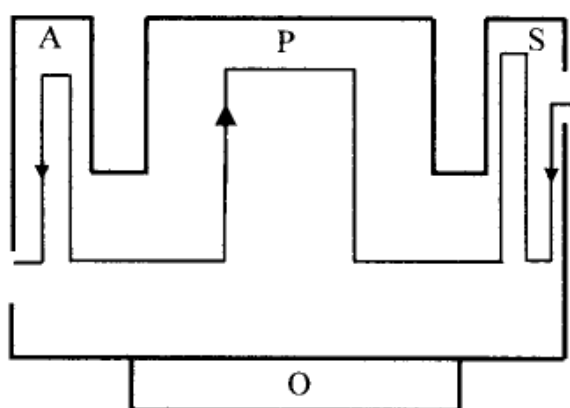
۳-۲-۱ الگوی جریان

اولین مرحله در طراحی تسهیلات تولیدی، تعیین الگوی جریان کلی مواد، قطعات نیمه‌ساخته و از این قبیل است. الگوی جریان به یک الگوی کلی اطلاق می‌شود که در آن سفر محصول از ابتدا تا انتها یعنی از زمان تبدیل آن از مواد خام به محصول نیمه‌ساخته (در مرحله ساخت) تا تبدیل به محصول کامل (در مرحله مونتاژ) نمایش داده می‌شود. یک شرکت ساخت موتور نیسان^۱ واقع در نزدیکی اسمیرنا^۲ در شکل ۳-۱ نشان داده شده است (Dilworth, 1989). گرچه در صورت لزوم الگوی جریان قابل تغییر است، با این حال پایه و اساسی برای گسترش چیدمان محسوب می‌شود. وجود محدودیت مساحت برای استقرار ماشین‌آلات، بر روی الگوی جریان نیز تاثیر می‌گذارد. برای مثال چنانچه محدودیت فضا وجود نداشته باشد می‌توان به راحتی

1. Nissan Motor Manufacturing Company

2. Smyrna

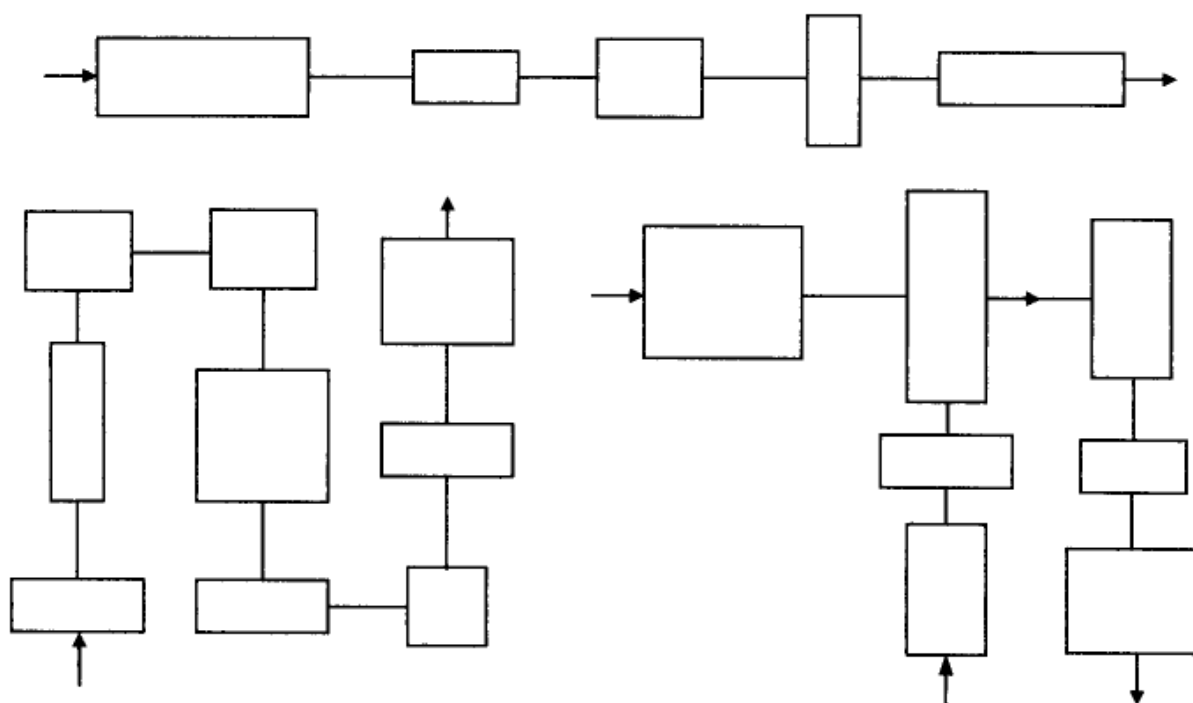
الگوهای جریان U، S یا Z شکل را نیز انتخاب کرد. Francis, McGinnis and White (1992) عنوان کرده‌اند که الگوهای جریان به تعداد حروف الفبا متنوعند. شکل ۱-۳ یکی از انواع الگوهای جریان E- شکل - را نشان می‌دهد.



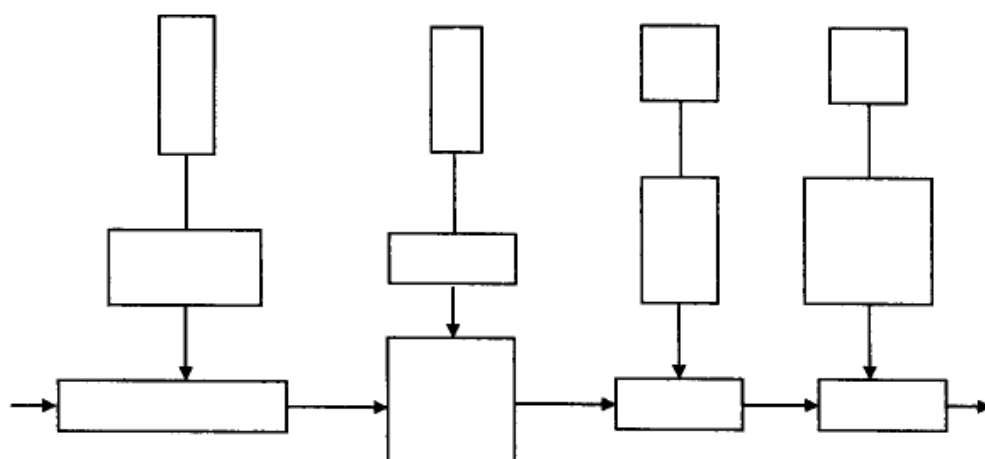
شکل ۱-۳. الگوی جریان در یک کارخانه تولید نیسان

الگوهای جریان معمول و متداول

برخی از الگوهای جریان که معمولاً در شرکت‌ها و کارخانجات استفاده می‌شوند در شکل‌های ۲-۳، ۳-۳ و ۴-۳ نشان داده شده است. در این اشکال، مستطیل و مربع، ایستگاه‌های کاری و خطوط میان ایستگاه‌ها، جریان مواد را نمایش می‌دهند. فلش‌ها، محل آغاز و پایان جریان را مشخص می‌کنند.

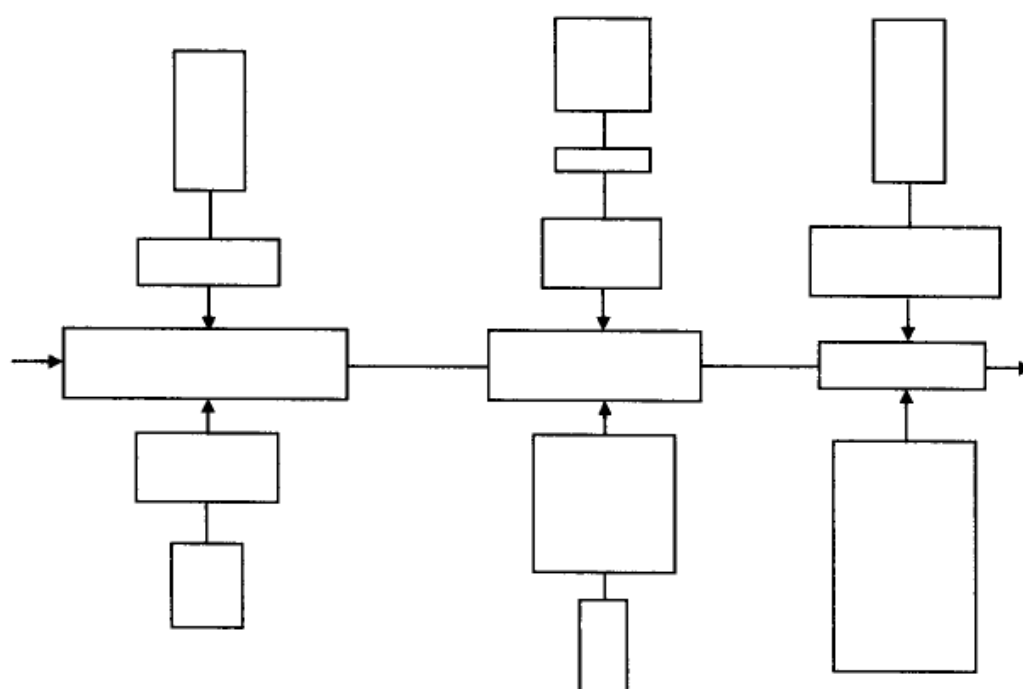


شکل ۲-۳. انواع الگوهای جریان



شکل ۳-۳. الگوی جریان دندریتی

الگوی جریان در شکل ۳-۳ به عنوان الگوی دندریتی^۱ برای انجام عملیات مونتاژ مناسب است. هر خط عمودی به عنوان خط فرعی مونتاژ- زیرمونتاژ- و هر خط افقی به عنوان خط اصلی مونتاژ به حساب می‌آید. خطوط فرعی مونتاژ به ترتیبی قرار گرفته‌اند که زیرمونتاژها را به درستی به خط مونتاژ اصلی هدایت کنند. می‌توان الگوی دندریتی را طور دیگر نیز تصور کرد. مثلاً یک خط اصلی که خطوط فرعی از دو طرف به آن وصل می‌شود (شکل ۳-۴).



شکل ۳-۴. الگوی جریان ستون فقراتی

پنج نوع چیدمان

اولین مرحله از توسعه چیدمان‌ها، تعیین الگوی جریان مواد است. سپس طراحان باید نوع چیدمان مورد استفاده را تعیین کنند. در این قسمت پنج نوع کلی از چیدمان‌ها بررسی می‌شود. اگرچه مباحث و بررسی‌ها در این کتاب پیرامون سیستم‌های ساخت و تولید است اما این پنج نوع چیدمان در مواردی غیر از ساخت (خدماتی) نیز کاربرد دارند:

- چیدمان بر اساس محصول.
- چیدمان بر اساس فرآیند.
- چیدمان بر اساس مکان ثابت.
- چیدمان بر اساس تکنولوژی گروهی.
- چیدمان ترکیبی.

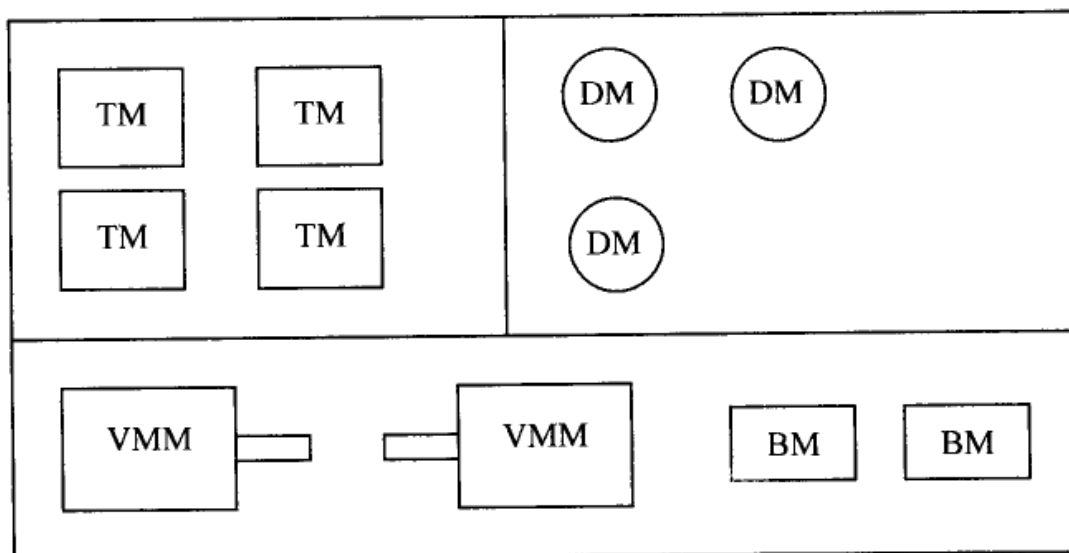
چیدمان بر اساس محصول

چیدمان بر اساس محصول از طریق عناوینی مثل چیدمان خط جریان، چیدمان خط تولید، چیدمان خط مونتاژ و چیدمان از طریق محصول، شناخته می‌شود. در چیدمان بر اساس محصول، دستگاه‌ها و ایستگاه‌های کاری در طی مسیر تولید مطابق با ترتیب عملیاتی که محصول طی می‌کند قرار می‌گیرند. اگر یک محصول به ترتیب، عملیات فرزکاری، مته‌کاری، مونتاژ و بسته‌بندی را طی نماید آنگاه دستگاه‌های فرزکاری عمودی، دستگاه‌های مته‌کاری، تجهیزات مونتاژ و بسته‌بندی باید یکی پس از دیگری در یک خط قرار گیرند. عموماً چیدمان بر اساس محصول به وسیله شرکت‌هایی مورد استفاده قرار می‌گیرد که یک یا چند قطعه به مقادیر زیاد، تولید می‌کنند (تولید انبوه)، مانند کارخانه مونتاژ اتومبیل. مزایای چیدمان بر اساس محصول عبارتست از کاهش زمان جابه‌جایی مواد، کاهش زمان فرآیند و تسهیل برنامه‌ریزی و کنترل. ضعف اصلی این روش، عدم انعطاف‌پذیری آن است. زمانی که چیدمانی بر اساس محصول صورت بگیرد، تغییر آن هزینه بسیار زیادی در بر خواهد داشت. در نتیجه این نوع چیدمان برای شرکت‌هایی که دائماً محصولات خود را تغییر می‌دهند مناسب نیست. خواننده می‌تواند

سایر ضعف‌های این چیدمان را در تمرین شماره ۳ در انتهای فصل عنوان کند. شکل ۳-۱ نمونه‌ای از چیدمان بر اساس محصول است.

چیدمان بر اساس فرآیند

همان‌طور که از نام این چیدمان پیداست دستگاه‌ها و ایستگاه‌های کاری بر اساس نوع عملیاتی که انجام می‌دهند، قرار می‌گیرند. بنابراین تمام دستگاه‌های فرزکاری در یک بخش، تمام دستگاه‌های تراشکاری در بخش دیگر و به همین ترتیب قرار داده می‌شوند. در شکل ۳-۵ نمونه‌ای از یک چیدمان بر اساس فرآیند نشان داده شده است. همان‌طور که مشخص است تمام دستگاه‌های تراشکاری (TM) در قسمت بالا در گوشه سمت چپ قرار دارند، تمام دستگاه‌های مته‌کاری، سوراخ‌کاری و فرزکاری عمودی در مکان‌های خود به ترتیب در قسمت بالا سمت راست، گوشه پایین سمت راست و پایین سمت چپ نشان داده شده است. اسامی دیگر چیدمان بر اساس فرآیند عبارتست از چیدمان کارگاهی و یا چیدمان فرآیندی. چیدمان بر اساس فرآیند برای شرکت‌هایی مفید است که از تنوع محصول زیادی برخوردارند؛ از طرف دیگر حجم تولیدشان نیز کم است. همچنین فرآیندهای کاری مشابه نیز به ندرت به چشم می‌خورد.



شکل ۳-۵. چیدمان بر اساس فرآیند

در چیدمان بر اساس فرآیند انعطاف‌پذیری زیاد است و پرسنل قادرند در یک فرآیند خاص تخصص پیدا کنند. این نوع چیدمان ضعف‌هایی نیز دارد؛ مثل افزایش هزینه جابه‌جایی مواد، ازدحام رفت‌وآمد، پیچیدگی در برنامه‌ریزی و کنترل و کاهش بهره‌وری.

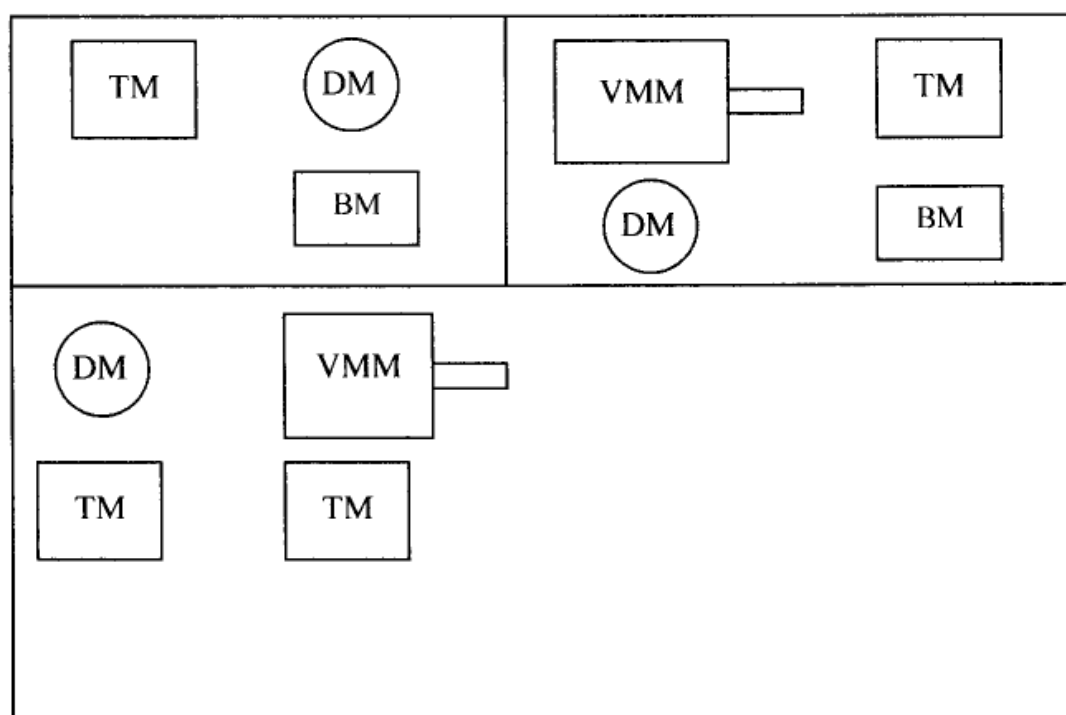
چیدمان بر اساس مکان ثابت

در این چیدمان، محصول از یک محل به محل دیگر جابه‌جا نمی‌شود بلکه فرایندها و تجهیزات، جهت ساخت محصول به مکان استقرار محصول آورده می‌شوند. این چیدمان معمولاً هنگامی مورد استفاده قرار می‌گیرد که محصول ساخته شده بزرگ باشد و نتوان آن را جابه‌جا کرد و یا آنکه به سختی جابه‌جا شود؛ مثل ساخت یا تعمیر کشتی، هواپیما، سد، جاده و خانه. اخیراً کارخانجات ساخت اتومبیل (مثل نیسان) که خودروهای مدل بالا تولید می‌کنند (مانند اینفینیتی)^۱ به دلیل نیازهای کیفی و فرایندهای ساختی که برای تولید این اتومبیل‌ها لازم است - چیدمان مکان ثابت برای محصولات خود انتخاب می‌کنند. مزایای این نوع چیدمان این است، محصولی که معمولاً بزرگ و گران قیمت است، از محلی به محل دیگر حرکت داده نمی‌شود؛ لذا احتمال وارد آمدن خسارت به آن کمتر بوده و هزینه حمل‌ونقل محصول کاهش می‌یابد؛ از طرف دیگر افزایش چشمگیری در هزینه حمل‌ونقل تجهیزات مشاهده می‌شود. هنگامی که تجهیزات به محل کار آورده می‌شوند تا زمانی که تمام کار در آن محل انجام شود، باید در آنجا باقی بمانند. به عنوان مثال، اغلب مشاهده می‌کنیم که تجهیزات بزرگ و حجیم در محل ساخت جاده‌ها، بدون استفاده قرار می‌گیرند. اگر چه این تجهیزات ممکن است فقط به مدت چند روز به طور متناوب استفاده شوند اما باید تا زمانی که کار ساخت جاده به اتمام برسد در آن محل بمانند.

چیدمان بر اساس تکنولوژی گروهی

اصول چیدمان بر اساس تکنولوژی گروهی و چگونگی استفاده از آن جهت توسعه یک سیستم ساخت سلولی به‌طور کامل در فصل‌های ۸ و ۹ بررسی خواهد شد. در این

بخش اطلاعات کلی و اساسی پیرامون این نوع چیدمان ارائه می‌شود. در اواخر دهه ۱۹۶۰ و به‌ویژه در دهه اخیر، متخصصان دریافتند که برنامه‌ریزی و کنترل بر روی عملیات، در سیستم‌های کوچک -در مقایسه با سیستم‌های بزرگ- کلی‌تر و سهل‌تر است. در نتیجه تصمیم گرفته شد که سیستم‌های تولیدی بزرگ یا متوسط به دو یا چند زیرسیستم مستقل تقسیم شوند. در چنین شرکت‌هایی تعداد زیادی از اجزاء (معمولاً ۱۰۰۰ جزء) توسط تعداد زیادی از دستگاه‌ها (معمولاً ۱۰۰ ها دستگاه) ساخته می‌شود. برای تقسیم چنین سیستم بزرگی به زیرسیستم‌های کوچک‌تر، برنامه‌ریزان نخست باید تقسیم‌بندی دستگاه‌ها و قطعات تولید شده توسط آنها را مشخص نمایند. در نتیجه، دستگاه‌ها طبقه‌بندی شده و محصولات نیز خانواده‌بندی می‌شوند. با تعیین سلول‌های ماشین‌آلات و خانواده قطعات که از هم مستقل هستند، برنامه‌ریزان، سیستم‌های فرعی کوچک‌تر جهت کنترل و برنامه‌ریزی آسان‌تر به وجود می‌آورند. مزایای این روش در فصل‌های ۸ و ۹ ارائه خواهد شد. پایه و اساس روش تکنولوژی گروهی که در سیستم‌های تولید استفاده می‌شود عبارتست از خانواده‌بندی قطعات و محصولات و همچنین گروه‌بندی ماشین‌آلات و قرار دادن ماشین‌آلات یک گروه در یک سلول برای تولید یک دسته از محصولات. چیدمان تکنولوژی گروهی برای دستگاه‌های موجود در شکل ۳-۵، در شکل ۳-۶ نمایش داده شده است.

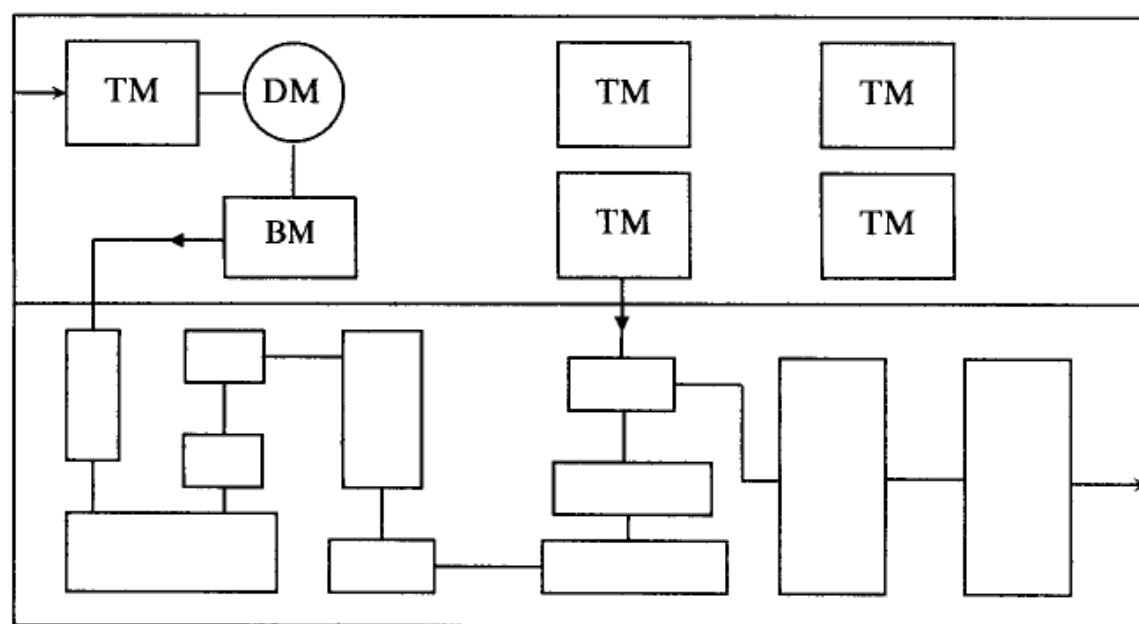


شکل ۳-۶. چیدمان تکنولوژی گروهی (چیدمان ساخت سلولی)

به تفاوت‌های موجود بین این دو شکل توجه کنید. الزاماً ماشین‌آلاتی که در یک سلول قرار گرفته‌اند نمی‌بایست توانایی‌های فرآیندی یکسانی داشته باشند. تراکم و ازدحام، رفت‌وآمد، هزینه‌های انتقال مواد، موجودی کالای نیمه‌ساخته و دورریز و ضایعات، عمدتاً در چیدمان بر اساس تکنولوژی گروهی کاهش می‌یابد؛ چرا که کار بر روی قطعات در یک خانواده، تقریباً انجام می‌شود.

چیدمان ترکیبی

تقریباً هیچ شرکتی نمی‌تواند چیدمان خود را فقط با یک نوع از انواع چیدمان‌های گفته شده، تطبیق دهد. وقتی یک شرکت با افزایش نوع محصولات و حجم تولید، گسترش می‌یابد، ممکن است دریابد که هیچ یک از انواع چیدمان‌های گفته شده نمی‌تواند نیازهای تولیدش را برآورده کند - مثلاً برای بعضی از محصولاتش، چیدمان بر اساس محصول گزینه مناسب است برای بعضی دیگر، چیدمان بر اساس مکان ثابت و به همین ترتیب. در چنین مواقعی، شرکت‌ها به استفاده از چیدمان ترکیبی روی می‌آورند و ترکیبی از چیدمان‌های گفته شده را در کارخانه خود به کار می‌برند. شکل ۳-۷ نمونه‌ای از چیدمان ترکیبی را نشان می‌دهد که در آن سه نوع چیدمان تکنولوژی گروهی، فرآیندی و خط مونتاژ (محصول) استفاده شده است.



شکل ۳-۷. چیدمان ترکیبی

در این شرکت با چنین چیدمانی، سه سلول ساخت وجود دارد که سه زیرمونتاز اصلی در این سلول‌ها انجام می‌شود. علاوه بر این سه سلول، این شرکت یک بخش ماشین‌کاری نیز دارد که برای زیرمونتازهای با حجم تولید کمتر مورد استفاده قرار می‌گیرد. همچنین خط مونتاژ و بخش تکمیل نیز وجود دارد. این شرکت ترکیبی از چیدمان تکنولوژی گروهی در سلول‌های ساخت و تولید، چیدمان بر اساس محصول در منطقه مونتاژ و چیدمان بر اساس فرآیند در بخش‌های ماشین‌کاری و تکمیل، استفاده کرده است.

۳-۲-۲ نمودار فرآیند جریان

نمودار فرآیند جریان در برخی موارد با نام نمودار برنامه‌ریزی چیدمان نیز مطرح می‌شود (Reed, 1963). با ترسیم این نمودار، مراحل مختلفی که یک محصول از دریافت تا ارسال طی می‌نماید، شرح داده می‌شود. در این نمودار، عملیات توسط علائم استاندارد ASME نمایش داده می‌شود، همچنین در صورت لزوم زمان استاندارد برای انجام هر عمل و نیز تعداد قطعات و چگونگی حرکت آنها نیز نشان داده می‌شود. این نمودار می‌تواند شامل اطلاعات بیشتری از جمله تعداد اپراتورهای مورد نیاز برای هر عمل، بخشی که عملیات در آنجا انجام می‌شود، نوع و تعداد تجهیزات مورد نیاز، نوع و تعداد تجهیزات انتقال مواد، انواع فرآیندهای بهبود دهنده و اطلاعات دیگری نیز باشد. شکل ۳-۸ نمودار فرآیند جریان یک دپارتمان پرس را نشان می‌دهد. در این نمودار اطلاعات کلی و جامع در یک جدول خلاصه نشان داده شده است.

همان‌طور که مشاهده می‌شود، این جدول شامل اطلاعاتی نظیر تعداد عملیات، بازرسی‌ها، حمل‌ونقل‌ها و از این قبیل است. با استفاده از این جدول، برنامه‌ریزان می‌توانند راه‌هایی برای افزایش کارایی فرآیند بیابند. به عنوان مثال برخی فعالیت‌های بی‌ارزش از قبیل بازرسی، تأخیر و حمل‌ونقل ممکن است کاهش یافته و یا اینکه دو یا چند عملیات با هم تلفیق شده و به صورت یک عملیات اجرا شوند. بهبودهایی که در فرآیندها ایجاد می‌شود در یک نمودار فرآیند جریان جدید مستندسازی شده و در یک جدول خلاصه برای آن، ستونی اضافه می‌شود که تعداد همه فعالیت‌ها را قبل و بعد از بهبود مقایسه می‌کند. یک نوع نمودار فرآیند جریان که بیش از یک محصول را فهرست

می‌کند، نمودار جریان چندمحصوله نامیده می‌شود. نمودار جریان چندمحصوله معمولاً فقط برای خطوط محصول اصلی توسعه داده می‌شود در غیر این صورت ستون‌های بسیار زیاد موجود در این نمودار باعث می‌شود که انجام یک تحلیل بصری روی آنها کار پرزحمت و طاقت‌فرسایی باشد.

FLOW PROCESS CHART

Subject Charted TB03100 Face Panel

Chart No. 112XAG

Drawing No. Part No.

Chart of Method Precision

Chart Begins Receiving

Charted By N.L.

Chart Ends Steel Dept.

Date Feb. 5/90 Sheet 1 of 1

Dist. (ft)	Time	Chart Symbol	Oper ID	Dept ID	M/C ID	# of pieces	How moved	Process Description
	02	1 ▼	A1	S&R		100	Truck	Received material 0 022 wcs (51" x 102")
220	02	1 ▣	H2	MF1		100	Forklift	To crane bay area
		2 ▼		WIP1		100		Stored temporarily
20	02	2 ▣	H2	MF1		100	Conveyor	To hydra shear
	01	1 ●	M1	MF1	HS1	100		Cut to length (front panel)
50	02	3 ▣	H3	MF2	13G 142	95	Forklift	To machine #13G (100 ton press) or Komatsu (machine 142) or to HYMAC 101 (7" & over neck)
	01	2 ●	M2	MF2	101	95		Necking operation (punch hole)
160	03	4 ▣	H3	MF2		95	Forklift	To machine # 136
	03	3 ●	M2	MF2	136	95		Punch holes
240	01	5 ▣	H1	MF3		95	Forklift	To machine #155 or machine #104 or machine #111
	05	4 ●	M2	MF3	155	95		Braking operation
260	01	6 ▣	H1	WIP2		94	AGV	To marshalling area
		3 ▼		S&R		94		Temporary storage
150	01	7 ▣	H3	WIP3		94	AGV	To steel dept.

Summary

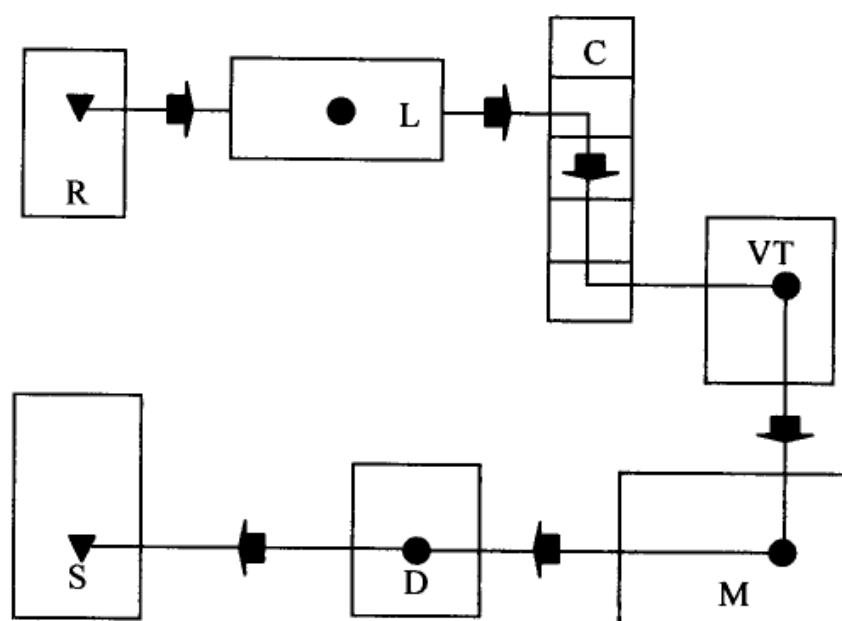
Event	Total	Time	Distance
● Operations	4		
▣ Inspections			
▣ Transportations	8		(min.) 1100 ft.
▼ Storages	3		
▣ Delays			

شکل ۳-۸ نمودار فرآیند جریان

۳-۲-۳ نمودار جریان

نمودار جریان شامل نشانه‌ها، علائم عملیات و توالی آنها در مورد یک چیدمان رایج و یا پیشنهاد شده است. یک نمودار جریان در شکل ۳-۹ نشان داده شده است. به ترتیب C, D, L, M, R, S و VT در این شکل بیانگر نقاله، دریل، دستگاه تراش، فرز، بخش

دریافت، بخش ارسال و دستگاه تراش عمودی است. با استفاده از نمودار فرآیند جریان و نمودار چیدمان، تحلیل‌گر می‌تواند تعیین کند که آیا در فرآیند موجود، عملیات و یا حمل‌ونقل‌های غیرضروری وجود دارند یا خیر.



شکل ۳-۹. نمودار جریان

علاوه بر موارد فوق، طراحان تسهیلات به دو دسته اطلاعات دیگر نیز نیاز دارند که عبارتند از داده‌های مربوط به فواصل و داده‌های مربوط به جریان.

۳-۲-۴ داده‌های مربوط به جریان

در این قسمت به بررسی این مطلب می‌پردازیم که چگونه تاثیر متقابل بین تسهیلات را می‌توان اندازه‌گیری نمود. این تاثیر ممکن است با استفاده از معیارهای ذهنی و یا شاخص‌های واقعی تعیین گردد.

داده‌های کیفی جریان

همان‌طور که اشاره شد برای برخی از شرکت‌های کوچک، فراهم آوردن تمام داده‌های کمی مورد نیاز جهت طراحی چیدمان، مشکل و دشوار است. زیرا اطلاعات، به حد کافی کامپیوتری نشده است و یا شرکت هیچگونه تغییر اساسی در ترکیب محصول نداشته است (بنابراین نیازی به ثبت مسیر، فهرست مواد و یا اطلاعات دیگر نبوده

است) و یا اینکه دارای پرسنل کافی یا کمیته مدیریتی جهت جمع‌آوری داده‌ها نیست. در چنین مواردی، یک طراح تسهیلات، باید با داده‌های اصلی که مشخص‌کننده تاثیرات متقابل و جریان بین هر جفت از دستگاه‌ها (ماشین‌ها) است، کار کند. Muther (1973) روشی را طراحی کرد که به واسطه آن تحلیل‌گران باتجربه تسهیلات، می‌توانستند اطلاعات رابه‌طور ذهنی به دست آورند. این روش، برنامه‌ریزی سیستماتیک چیدمان^۱ (SLP) نامیده می‌شود که در فصل ۴ بررسی خواهد شد. در ادامه، چگونگی توسعه اطلاعات مورد نیاز برای طراحی چیدمان‌ها توضیح داده می‌شود.

نمودار رابطه فعالیت‌ها

Muther (1973) اولین کسی بود که از یک روش کیفی سیستماتیک برای حل مساله چیدمان تسهیلات استفاده کرد. روش او در وهله اول بر اساس روابط نزدیکی برای هر جفت از تسهیلات است. کدهای حرفی که در ذیل نشان داده شده است بر اساس میزان دوری و نزدیکی تسهیلات به یکدیگر تعیین می‌شود:

A کاملاً ضروری^۲

E اهمیت ویژه^۳

I مهم^۴

O معمولی^۵

U غیرمهم^۶

X نامطلوب^۷

این علائم نشان‌دهنده اهمیت نزدیکی و همسایگی هر جفت از تسهیلات نسبت به یکدیگر است. به عنوان مثال وقتی رتبه A برای دو واحد در نظر گرفته می‌شود، به این معناست که این دو واحد باید حتماً در کنار هم قرار گیرند. به‌طور مشابه وقتی میزان نزدیکی دو واحد را با E نمایش می‌دهیم به این معناست که نزدیکی این دو واحد

1. Systematic Layout Planning

2. Absolutely necessary

3. Especially important

4. Important

5. Ordinary

6. Unimportant

7. Not desirable

اهمیت ویژه‌ای دارد (البته تا جایی که مانع نزدیکی دو واحد که با A نمایش داده شده‌اند نشود). همچنین اگر واحد i دارای روابط A با بسیاری از تسهیلات دیگر است، از طرف دیگر اگر نتوان همه این واحدها را کنار واحد i قرار داد، باید سعی کرد تا این واحدها تا حد امکان نزدیک به واحد i قرار گیرند. به همین جهت باید سعی شود تا تعداد روابط A از حداکثر ۵٪ کل روابط موجود، تجاوز نکند. نحوه فهرست‌بندی رده‌ها و کدها بر اساس اهمیت آنهاست؛ البته به غیر از X که همانند A اولویت زیادی دارد و درست همانند جفت‌های تسهیلات با رده‌بندی A، که باید نزدیک هم باشند، تسهیلاتی که رده‌بندی X (نامطلوب) دارند تحت هیچ شرایطی نباید نزدیک هم قرار گیرند.

کدهای حرفی، جهت رده‌بندی نزدیکی می‌توانند به راحتی به مقادیر عددی تبدیل شوند. برخی از الگوریتم‌های چیدمان مانند کورلپ^۱ (که در بخش ۶ توضیح داده خواهد شد) به کاربر اجازه می‌دهد تا مقادیر عددی برای رده‌بندی نزدیکی به کار گیرد.

تهیه نمودار رابطه فعالیت‌ها

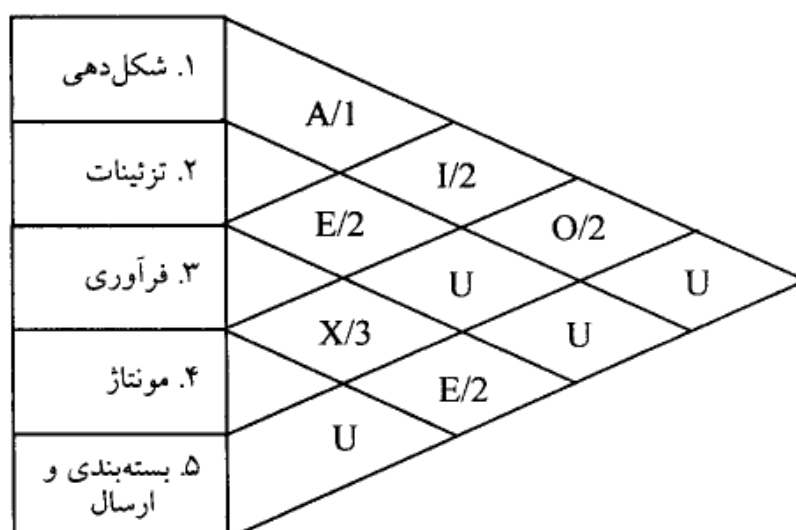
به‌طور کلی نمودار رابطه فعالیت‌ها تنها زمانی مورد نیاز است که فاکتورهای علاوه بر جریان، بر روی تصمیم‌گیری در زمینه چیدمان تاثیر بگذارند. اکثر مسائل و مشکلات عملی چیدمان، دارای فاکتورهای دیگر جریان هستند. لذا تقریباً تهیه نمودار رابطه فعالیت‌ها ضروری به نظر می‌رسد. شکل ۳-۱۰ نمونه‌ای از یک نمودار رابطه فعالیت‌هاست. توجه داشته باشید که فعالیت‌ها (بخش‌ها یا تسهیلات) در سمت چپ قرار گرفته‌اند، در هر سطر یک فعالیت، و روابط بین جفت فعالیت‌ها در سمت راست نوشته شده است. برای یافتن کد رابط، باید محل تقاطع دو خط رو به بالا و دو خط رو به پایین مربوط به دو فعالیت را پیدا کرده و داخل لوزی که تشکیل می‌شود رابطه مربوطه را خواند. به عنوان مثال رابطه بین فعالیت‌های ۱ و ۴ به صورت O تعریف شده است، حروف در داخل لوزی نشان‌دهنده نوع رابطه بین تسهیلات و اعداد، نشان‌دهنده علت تخصیص این کد هستند. جدول ترسیم شده در سمت راست، علت تخصیص هر کد را با شماره نمایش می‌دهد. مثلاً به فعالیت‌های ۳ و ۴ به دلایل ایمنی رابطه X تخصیص داده شده است؛ چرا که قراردادن بخش عملیات حرارتی در کنار بخش مونتاژ

که کارگران در فضای باز کار می کنند، به لحاظ ایمنی خطرناک است. طبق Muther (1973) همچنین می توان برای حروف، کدهای رنگی تعریف کرد تا به آسانی قابل تشخیص و شناسایی باشند (جدول ۳-۱).

جدول ۳-۱. کدهای رنگی برای نشان دادن میزان همسایگی

کد روابط	A	E	I	O	U	X
رنگ	قرمز	نارنجی یا زرد	سبز	آبی	بی رنگ	قهوه ای

در نمودار رابطه فعالیت ها، بهتر است تعداد استفاده از هر کد محدود باشد؛ مثلاً ۲ تا ۵٪ برای A، ۳ تا ۱۰٪ برای E، ۵ تا ۱۵٪ برای I، ۱۰ تا ۱۵٪ برای O و ۲۵ تا ۶۰٪ برای کد U. در مورد کد X تعداد، بستگی به مشکلات چیدمان دارد. برای تهیه نمودار رابطه فعالیت ها، همان گونه که در شکل ۳-۱۰ نشان داده شده است تحلیل گر باید ابتدا تمامی فعالیت های موجود در پروژه چیدمان از جمله بخش ها و دپارتمان ها، مناطق کاری، ادارات، اتاق کمد ها و سایر تسهیلات را تعیین کند. سپس



کد	دلیل
۱	مواد حجیم
۲	راحتی نظارت
۳	امنیت

شکل ۳-۱۰. نمونه ای از نمودار رابطه فعالیت ها

این اطلاعات به مدیران و سرپرستان ارائه می‌شود برای اینکه نقطه نظرات خود را اعلام کنند تا اطمینان حاصل گردد که هیچ فعالیتی باقی نمانده و تقسیم‌بندی‌ها درست صورت گرفته است. وقتی تعداد فعالیت‌ها و روابط بین آنها زیاد باشد استفاده از کامپیوتر برای نمایش آنها ضروری است. به عنوان مثال، در نمودار رابطه فعالیت‌ها برای ۴۵ فعالیت به تعداد $[(45-1)/2]$ ۴۵ رابطه تعریف می‌شود. بنابراین تحلیل گران باید اغلب، فعالیت‌های مناسب را در گروه‌هایی تلفیق کنند. بالاترین حد عملی را که می‌توان در مورد تعداد فعالیت‌ها در نظر گرفت ۲۰ تا است که این ۲۰ فعالیت منجر به ۱۹۰ رابطه می‌شود.

مرحله دوم جهت تهیه نمودار رابطه فعالیت‌ها، فهرست‌بندی تمامی فعالیت‌های موجود در نمودار است و مرحله سوم تعیین روابط (کد حرفی) برای هر جفت از تسهیلات است. تحلیل گران، نمودار رابطه فعالیت‌ها را با تکیه به دانش خود، بازدید دقیق از کارخانه، صحبت با پرسنل تولیدی و بحث و گفتگو با مدیران و سرپرستان و از این قبیل، تکمیل می‌کنند. این موضوع بسیار حائز اهمیت است که هر گونه رابطه ایجاد شده برای هر جفت از تسهیلات باید منشاء و علتی داشته باشد. ممکن است بازبینی جدید، منجر به ایجاد تغییراتی کوچک در نمودار رابطه فعالیت‌ها شود. برای مثال، در مراحل اولیه امکان دارد تحلیل گران از رابطه A بسیار استفاده کرده باشند که بعداً در بازبینی‌ها، تعداد آنها کاهش یابد. بهتر است که نمودار رابطه فعالیت تهیه شده، به مدیران و سرپرستان ابلاغ شود و نظر آنها برای بهبود نمودار خواسته شود و در پایان از آنها تأیید گرفته شود.

داده‌های کمی جریان

محاسبات جریان، بیانگر میزان تعاملات میان هر جفت تسهیلات است. این موضوع کاملاً بدیهی است تسهیلاتی که بین آنها جریان مواد بیشتر است و تعاملات بیشتری با یکدیگر دارند باید نسبت به تسهیلاتی که روابط محدود و کمی با هم دارند نزدیک‌تر به هم قرار بگیرند. این ملاحظات باید در مورد همه جفت تسهیلات صورت گیرد. البته، در صورت به‌کارگیری اثرات متقابل و میزان جریان به عنوان راهنمایی جهت

مکان‌یابی تسهیلات، تحلیل گران باید مساحت، شکل و احتیاجات فضایی تسهیلات را نیز مد نظر قرار دهند.

یکی از انواع محاسبات کمی جریان که معمولاً تحلیل گران مورد استفاده قرار می‌دهند عبارتست از تناوب سفرهای موجود میان تسهیلات. چنانچه سیستم‌های انتقال مواد برای جابه‌جایی مواد مورد استفاده قرار گیرند، سفرهای ایجاد شده توسط چنین سیستم‌هایی نیز باید مورد توجه قرار گیرند. در صورتی که افراد، مواد را حرکت داده و یا در میان تسهیلات حرکت کنند، سفرهای به وجود آمده به وسیله افراد نیز باید در محاسبات وارد شوند. جهت دستیابی به تناوب سفرهای موجود میان تسهیلات، دو نوع ماتریس ذیل به کار می‌روند:

- ماتریس از-به تناوب سفرها.

- ماتریس تناوب سفرها بین تسهیلات.

همان‌طور که از نام هر ماتریس پیداست ماتریس اول بیانگر تعداد مسافرت‌ها و سفرها از یک ماشین به ماشین دیگر است. در حالی که ماتریس دوم نشان دهنده تعداد سفرهایی است که به وسیله افراد و یا وسایل انتقال مواد، بین تسهیلات صورت می‌گیرد. بنابراین ماتریس از-به، تعداد سفرهای موجود در هر جهت را برای هر جفت از تسهیلات نشان می‌دهد و ماتریس‌های میانی دو جهت را تلفیق کرده و تعداد کل سفرها میان هر جفت را نشان می‌دهد. ماتریس میانی، یک ماتریس متقارن بوده در حالی که ماتریس از-به متقارن نیست (شکل‌های ۳-۱۱ و ۳-۱۲ را ملاحظه نمایید و توجه داشته باشید که داده‌های موجود در شکل ۳-۱۱ جهت تهیه ماتریس شکل ۳-۱۲ مورد استفاده قرار گرفته است).

۳-۲-۵ محاسبه فاصله

برخی از معیارهای فاصله‌ای که در عمل کاربرد زیادی دارند عبارتند از:

- فاصله اقلیدسی.
- فاصله مجذور اقلیدسی.
- فاصله چبی شف.
- فاصله مستطیلی.

- فاصله راهرویی.
- همسایگی.
- کوتاه‌ترین مسیر.

	Facility 1	Facility 2	Facility 3	Facility 4	Facility 5	Facility 6
Facility 1	—	12	3	3		
Facility 2	21	—				
Facility 3	4	5	—	8	8	8
Facility 4				—	4	4
Facility 5	1	2	2	15	—	19
Facility 6	4	9		7	19	—

شکل ۳-۱۱. ماتریس از-به تناوب سفرها

	Facility 1	Facility 2	Facility 3	Facility 4	Facility 5	Facility 6
Facility 1	—	33	7	3	1	4
Facility 2	33	—	5		2	9
Facility 3	7	5	—	8	10	8
Facility 4	3		8	—	19	11
Facility 5	1	2	10	19	—	38
Facility 6	4	9	8	11	38	—

شکل ۳-۱۲. ماتریس تناوب سفرها بین تسهیلات

روشی که برای محاسبه فاصله به کار می‌رود بستگی به میزان تبخّر فرد، زمان در دسترس برای جمع‌آوری داده و نوع سیستم انتقال مواد که مورد استفاده قرار می‌گیرد، دارد. مثلاً برای وسایل انتقال مواد بالاسری که در طول ریل‌های عمودی در حال حرکت هستند به نظر می‌رسد روش اندازه‌گیری مستطیلی روشی مناسب باشد. چنانچه موادی با کمک باربران خودکار^۱ (AGV) حرکت کنند، روش راهرویی برای محاسبه

مناسب‌تر است. به‌طور کلی، فاصله از مرکز یک واحد به مرکز واحد دیگر اندازه‌گیری می‌شود، گرچه ممکن است محاسبه فاصله میان نقاط بارگیری و تخلیه هر جفت از تسهیلات، موضوعی قابل قبول تر باشد. محاسبات و اندازه‌های میان این مراکز به تحلیل‌گران این امکان را می‌دهد تا از مدل‌های ریاضی ساده‌تری استفاده نمایند.

فاصله اقلیدسی

در این روش، مراکز تسهیلات به وسیله خط مستقیم به هم وصل می‌شوند و این فاصله اندازه‌گیری می‌شود. با اینکه در برخی موارد این روش ممکن است صحت نداشته باشد اب‌طور عمده مورد استفاده قرار می‌گیرد؛ چون برای درک مدل‌سازی مفید و آسان است (کوتاه‌ترین فاصله میان دو نقطه عبارت است از یک کران پایین از فاصله بین آنها است). روش اقلیدسی برای بعضی از انواع نقاله‌های خاص و شبکه‌های حمل‌ونقل و توزیع، کاربرد وسیعی دارد. عموماً این روش اندازه‌گیری بیشتر برای مسائل مربوط به مکان‌یابی تسهیلات استفاده می‌شود تا مسائل مربوط به جانمایی و چیدمان. به عنوان مثال اگر بخواهیم یک انبار جدید در میان شبکه انبارهای موجود داشته باشیم استفاده از فاصله اقلیدسی برای محاسبه فواصل مناسب به نظر می‌رسد. از طرف دیگر، استفاده از این روش برای محاسبه فاصله طی شده به وسیله یک جرثقیل سقفی ممکن است مناسب نباشد؛ زیرا جرثقیل سقفی در مسیر عمودی حرکت می‌کند.

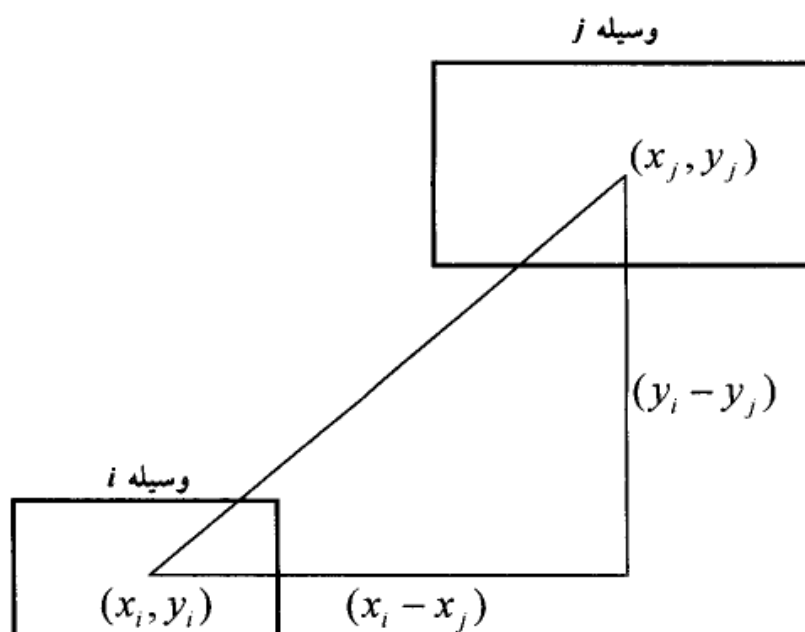
برای محاسبه فاصله اقلیدسی از علائم و پارامترهایی استفاده شده که در ذیل توضیح داده می‌شوند:

x_i : مختصات x مربوط به مرکز وسیله i .

y_i : مختصات y مربوط به مرکز وسیله i .

d_{ij} : فاصله بین مراکز تسهیلات i و j (تحت مقیاس‌های مختلف).

تحت فاصله اقلیدسی $d_{ij} = [(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2]^{0.5}$ به وسیله خط مستقیمی که مراکز تسهیلات i و j را به هم وصل می‌کند تعریف می‌شود. شکل ۳-۱۳ این مطلب را نشان می‌دهد.



شکل ۳-۱۳. محاسبات مربوط به فاصله

فاصله مجذور اقلیدسی

همان‌گونه که از نام آن پیداست در این روش اندازه‌گیری، فاصله به‌دست آمده، مجذور فاصله محاسبه شده توسط روش اقلیدسی است. در این روش، به تسهیلاتی که از هم دور هستند وزن بیشتری نسبت به تسهیلات نزدیک به هم داده می‌شود. با اینکه کاربرد روش مجذور اقلیدسی بسیار کم است، گاهی برای حل برخی مسائل به‌خصوص مسائل مکان‌یابی - مورد استفاده قرار می‌گیرد. در روش مجذور اقلیدسی فاصله از رابطه $d_{ij} = [(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2]$ به‌دست می‌آید.

فاصله مستطیلی

این مقیاس با نام‌های منهاتان^۱، زاویه قائمه یا روش اندازه‌گیری مستطیلی نیز خوانده می‌شود. این روش بسیار مورد استفاده قرار می‌گیرد زیرا از نظر محاسباتی و فهم بسیار ساده است و برای حل بسیاری از مسائل نیز کاربرد دارد (مثلاً فاصله بین دو نقطه در یک شهر، فاصله بین تسهیلات که به‌وسیله تجهیزات انتقال مواد طی می‌شوند و فقط می‌توانند به‌صورت مستطیلی حرکت کنند). مقیاس مستطیلی که در شکل ۳-۱۳

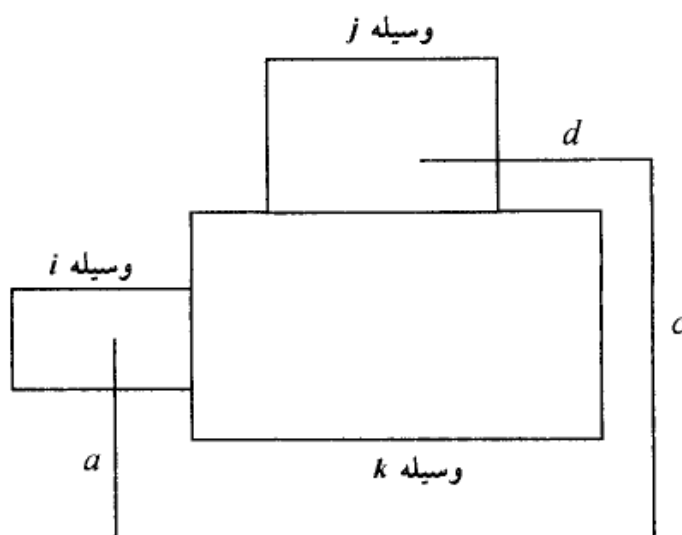
به صورت مجموع طول خطوط عمودی و افقی بین مراکز دو وسیله i و j نشان داده شده است برابر $d_{ij} = |x_i - x_j| + |y_i - y_j|$ است.

فاصله چبی شف

حرکت مواد در یک کارخانه با کمک جرثقیل‌های مجهز به دو موتور که یک موتور باعث حرکت در جهت محور x ها و دیگری حرکت در جهت محور y ها می‌گردد، را در نظر بگیرید. زمان لازم برای رسیدن به مرکز وسیله j از مرکز وسیله i ، به بزرگترین فاصله x و y بستگی دارد. بنابراین، این مقیاس به صورت $d_{ij} = \max (|x_i - x_j|, |y_i - y_j|)$ محاسبه می‌شود. چنانچه فرض کنیم فاصله افقی بین مراکز تسهیلات i و j بزرگ‌تر از فاصله عمودی باشد در آن صورت خط افقی شکل ۳-۱۳ نمایش‌گر فاصله چبی شف خواهد بود. این روش در مسائل انتخاب سفارش^۱ نیز کاربرد دارد. اگر در بعد سوم نیز حرکتی وجود داشته باشد مثل جرثقیلی که سه موتور مجزا برای حرکت در سه محور x ، y و z دارد - فاصله چبی شف به صورت $d_{ij} = \max (|x_i - x_j|, |y_i - y_j|, |z_i - z_j|)$ ذیل خواهد بود.

فاصله راهرویی

فاصله راهرویی با تمامی روش‌های دیگر متفاوت است زیرا در این روش، فواصل واقعی که در طول راهروها به وسیله تجهیزات انتقال مواد طی می‌شود، محاسبه می‌گردد. در شکل ۳-۱۴، فاصله راهرویی بین تسهیلات i و j عبارتست از حاصل جمع فواصل a ، b ، c و d . در این مثال اگر از روش مستطیلی استفاده کنیم ممکن است فاصله به دست آمده، کمتر از حد واقعی خود برآورد شود. کاربرد اصلی این روش، در مسائل چیدمان بخش‌های تولیدی است. چون مسیر و تجهیزات انتقال مواد در مراحل اولیه طراحی هنوز مشخص نشده است، این روش فقط در مراحل ارزیابی و برنامه ریزی مورد استفاده قرار می‌گیرد.



شکل ۳-۱۴. محاسبه فاصله به روش راهرویی و همسایگی

همسایگی

از آنجا که این روش نشان‌دهنده همسایه بودن یا نبودن تسهیلات است به این نام شناخته می‌شود. اشکال عمده این روش آنست که میان تسهیلات غیرمجاور تفاوت قائل نمی‌شود. برای مثال اگر تسهیلات i و j از هم ۵ فوت فاصله داشته باشند و همجوار نباشند، از طرفی دیگر تسهیلات i و k از هم ۱۰۰ فوت فاصله داشته باشند و غیرهمجوار باشند، از نظر این روش هیچ تفاوتی با هم ندارند و این روش، ارزش ۰ را برای d_{ij} و d_{ik} در نظر می‌گیرد. در شکل ۳-۱۴ و $d_{ik}=d_{ik}=1$ و $d_{ij}=0$ زیرا جفت تسهیلات i, k و j, k همجوارند ولی جفت تسهیلات i و j همجوار نیستند. این نوع روش اندازه‌گیری برای محاسبه امتیاز هر چیدمان از طریق تکنیک SLP مورد استفاده قرار می‌گیرد.

کوتاه‌ترین مسیر

در مسائل مکان‌یابی شبکه‌ای، روش کوتاه‌ترین مسیر برای تعیین فاصله بین دو گره مورد استفاده قرار می‌گیرد. یک شبکه، از گره‌ها و یال‌هایی تشکیل شده است که گره‌ها، تجهیزات و یال‌ها مسیر بین هر جفت از تسهیلات را نشان می‌دهد. معمولاً بر روی هر یال، وزنی نوشته شده است که نشان‌دهنده فاصله، زمان یا هزینه حرکت بین دو گره‌ای است که توسط این یال به هم وصل شده‌اند. چون معمولاً بیش از یک مسیر بین هر دو

جفت گره وجود دارد، کوتاه‌ترین مسیر مورد توجه قرار می‌گیرد. مسائل توزیع و مکان‌یابی را می‌توان به صورت شبکه نمایش داد و کوتاه‌ترین مسیر در این گونه مسائل استفاده می‌شود.

۳-۲-۶ معیار ارزیابی چیدمان

برای ارزیابی دسته‌ای از چیدمان‌ها، تحلیل‌گر ابتدا باید معیارهایی را که طبق آنها چیدمان مورد قضاوت قرار می‌گیرد، تعیین کند. معیارهای کمی و کیفی متعددی در فصل دو ارائه شد. در این قسمت یکی از کاربردی‌ترین معیارهای کمی که برای ارزیابی چیدمان‌ها استفاده می‌شود معرفی می‌گردد. این معیار در فرمول ذیل گنجانده شده است:

$$\sum_i \sum_j c_{ij} f_{ij} d_{ij} \quad (1)$$

که در آن داریم،

c_{ij} : هزینه حرکت واحد بار مواد در واحد مسافت بین تسهیلات i و j

f_{ij} : تعداد سفرهای مورد نیاز بین تسهیلات i و j

d_{ij} : فاصله بین تسهیلات i و j

واضح است که f_{ij} ها و d_{ij} ها بین جفت تسهیلات مختلف، متغیرند. اما این که c_{ij} ها نیز متغیرند، مشخص نیست. معمولاً هزینه حرکت یک واحد بار بین تسهیلات به نوع وسیله حمل و نقل استفاده شده بستگی دارد. مثلاً، هزینه نقاله‌ها کمتر از AGV های پیچیده است. فرض می‌شود c_{ij} شامل هزینه‌های متغیر و ثابت است که هزینه وسایل و تجهیزات انتقال مواد، هزینه‌های کارکرد، هزینه‌های اپراتور و هزینه موجودی حین انتقال را نیز در بر دارد. در عمل، تعیین c_{ij} بسیار زمان‌بر و هزینه‌زا است چون معمولاً بیش از یک نوع وسیله انتقال مواد برای حمل و نقل بین ایستگاه‌های کاری استفاده می‌شود. مثلاً جعبه‌های محصولات تکمیل شده توسط نقاله به ناحیه مرکزی انتقال داده می‌شوند و سپس توسط لیفتراک‌های چنگکی به انبارهای موقت فرستاده می‌شوند. دلیل دیگری که تعیین دقیق c_{ij} را مشکل می‌سازد این است که تعیین اندازه یا حجم متوسط واحد بار بین ماشین‌ها مشکل است. همچنین، هزینه‌های کارکرد و نگهداری هر یک از انواع وسایل و تجهیزات انتقال مواد ممکن است در دسترس نباشد. از آنجا که تعیین ارزش دقیق c_{ij} ها برای هر جفت از ایستگاه‌های کاری مشکل است تحلیل‌گران سعی بر

تعیین هزینه‌های نسبی در مقابل هزینه‌های واقعی دارند. بنابراین اگر تجهیزات مشابه برای انتقال مواد استفاده شود (مانند گاری دستی)، آن وقت c_{ij} ها همه با هم برابر خواهند بود. هنگامی که تجهیزات انتقال مواد متفاوتی استفاده شود، هزینه‌های نسبی حمل واحد بار در واحد مسافت تخمین زده می‌شود.

فرمولی که برای تعیین c_{ij} ارائه می‌شود، با فرمولی که در نرم‌افزار FactoryFlow برای چیدمان استفاده می‌شود مشابه است (Tamashuns, Labban and Sly, 1990) (این نرم‌افزار در فصل ۶ مورد بحث قرار می‌گیرد). در این فرمول فرض می‌شود که تنها یک نوع وسیله انتقال مواد (MHD) بین هر جفت ماشین استفاده می‌شود و زمان بارگیری و تخلیه، به نوع MHD بستگی دارد نه به مواد منتقل شده.

نمادها

r : تعداد/انواع MHD.

M : تعداد ماشین‌ها.

f_{ijk} : تعداد سفرهایی که برای انتقال مواد از ماشین i به ماشین j توسط MHD نوع k لازم است.

d_{ij} : فاصله (به فوت) از ماشین i به ماشین j برای یک چیدمان معلوم.

TL_k : درصد متوسط زمان حمل MHD نوع k با بار.

$LULT_k$: متوسط زمان بارگیری و تخلیه (به دقیقه) بر حرکت MHD نوع k با سرعت متوسط (به فوت بر دقیقه)

S_k : متوسط سرعت MHD نوع k (به فوت بر دقیقه)

Y_{ijk} : برابر ۱ است اگر از MHD نوع k برای انتقال مواد از ماشین i به ماشین j استفاده شود؛ در غیر این صورت برابر صفر.

N_k : تعداد واحدهای موجود MHD نوع k .

C_k : هزینه سرمایه‌گذاری یا اجاره MHD نوع k در سال.

OP_k : هزینه نیروی انسانی و غیرانسانی (سوخت، نیرو، نگهداری) جهت کارکرد MHD نوع k در دقیقه.

T_{ijk} : زمان (به دقیقه) انتقال مواد از ماشین i به ماشین j توسط MHD نوع k در هر سفر.

MHC_{ijk} : کل هزینه انتقال مواد از ماشین i به ماشین j توسط MHD نوع k
 MHR_{ijk} : هزینه انتقال مواد در واحد فاصله بر سفر از ماشین i به ماشین j توسط MHD نوع k

$$T_{ijk} = LUL T_k Y_{ijk} + \frac{d_{ij} Y_{ijk}}{S_k TL_k} \quad (۲)$$

$$MHC_{ijk} = N_k C_k \left(\frac{T_{ijk} f_{ijk}}{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m T_{ijk} f_{ijk}} \right) + T_{ijk} f_{ijk} OP_k \quad (۳)$$

$$MHR_{ijk} = \frac{MHC_{ijk}}{f_{ijk} d_{ij}} \quad (۴)$$

با استفاده از این توضیحات، می‌توان T_{ijk} را با اضافه کردن زمان بارگیری و تخلیه برای MHD نوع k و زمان حمل، همان‌طور که در تساوی (۲) نشان داده شده است، به‌دست آورد. در قسمت دوم طرف راست تساوی (۲) که زمان حرکت بین یک جفت ماشین را نشان می‌دهد، فاصله طی شده به سرعت MHD تقسیم شده و حاصل آن برای زمانی که MHD بدون بار برای رسیدن به ایستگاه کاری i جهت بارگیری حرکت می‌کند در نظر گرفته شده است. تعیین مقدار دقیق TL_k نیز مشکل است و باید تخمین زده شود. تساوی (۳)، زمانی که MHD نوع k به ماشین i و j سرویس می‌دهد را تعیین می‌کند (که با عبارات درون براکت در قسمت اول طرف راست نشان داده شده) و آن، در هزینه اجاره یا سرمایه‌گذاری سالیانه ضرب می‌شود تا هزینه ثابت MHD نوع k تعیین شود که به هزینه انتقال مواد بین ایستگاه‌های کاری i و j بخش می‌شود. قسمت دوم طرف راست تساوی (۳) هزینه متغیر کارکرد MHD نوع k بین ایستگاه‌های کاری i و j را محاسبه می‌کند و OP_k شامل هزینه‌های کارگر، سوخت، نیرو و نیز هزینه نگهداری است. تساوی (۴) با تقسیم کل هزینه‌های متغیر و ثابت انتقال مواد بین

ایستگاه‌های کاری i و j به فاصله زمانی تعداد حمل‌های بین آن دو، هزینه انتقال مواد بر سفر بر واحد فاصله، محاسبه می‌کند. از آنجا که فرض شده است که تنها یک نوع MHD بین هر جفت ماشین استفاده می‌شود، c_{ij} هزینه حرکت یک واحد بار طی یک واحد فاصله بین تجهیزات i و j برابر است با MHR_{ijk} .

۳-۳ ابزارهایی برای ارائه طرح‌های چیدمان

تاکنون داده‌های اولیه مورد نیاز برای تصمیم‌گیری در مورد چیدمان تهیه شدند. مدل‌ها و تکنیک‌های حل که از این داده‌ها برای تعیین محل ماشین‌آلات استفاده می‌کنند در فصل‌های ۵، ۶ و ۷ توضیح داده خواهند شد. پس از اینکه محل قرارگیری ماشین‌آلات تعیین شد، گام بعدی بهبود طرح چیدمان است. ابزارهای ذیل که برای بهبود و ارائه طرح‌های چیدمان مورد استفاده قرار می‌گیرند در این بخش مورد بحث قرار می‌گیرند:

- نقشه‌ها.
- شابلون‌ها.
- مدل‌های فیزیکی سه‌بعدی.
- مدل‌های CAD.

در گذشته تحلیل‌گران، کل طرح‌های چیدمان را تنها با استفاده از ابزارهایی چون شابلون‌ها و نقشه‌های دستی تهیه می‌کردند. مثلاً با حرکت دادن و جایگزینی شابلون‌ها، طرح‌های چیدمان متفاوتی ایجاد می‌کردند و سپس یکی از آنها را بر اساس میل شخصی انتخاب می‌نمودند. آنها جریان مواد یا دیگر فاکتورها را در نظر نمی‌گرفتند. هم‌اکنون نیز بسیار تعجب‌آور است که تعداد زیادی از شرکت‌ها هنوز از این روش استفاده می‌کنند. بخش ۴-۱ را برای جزئیات بیشتر در این مورد ملاحظه نمایید.

۳-۳-۱ نقشه‌ها

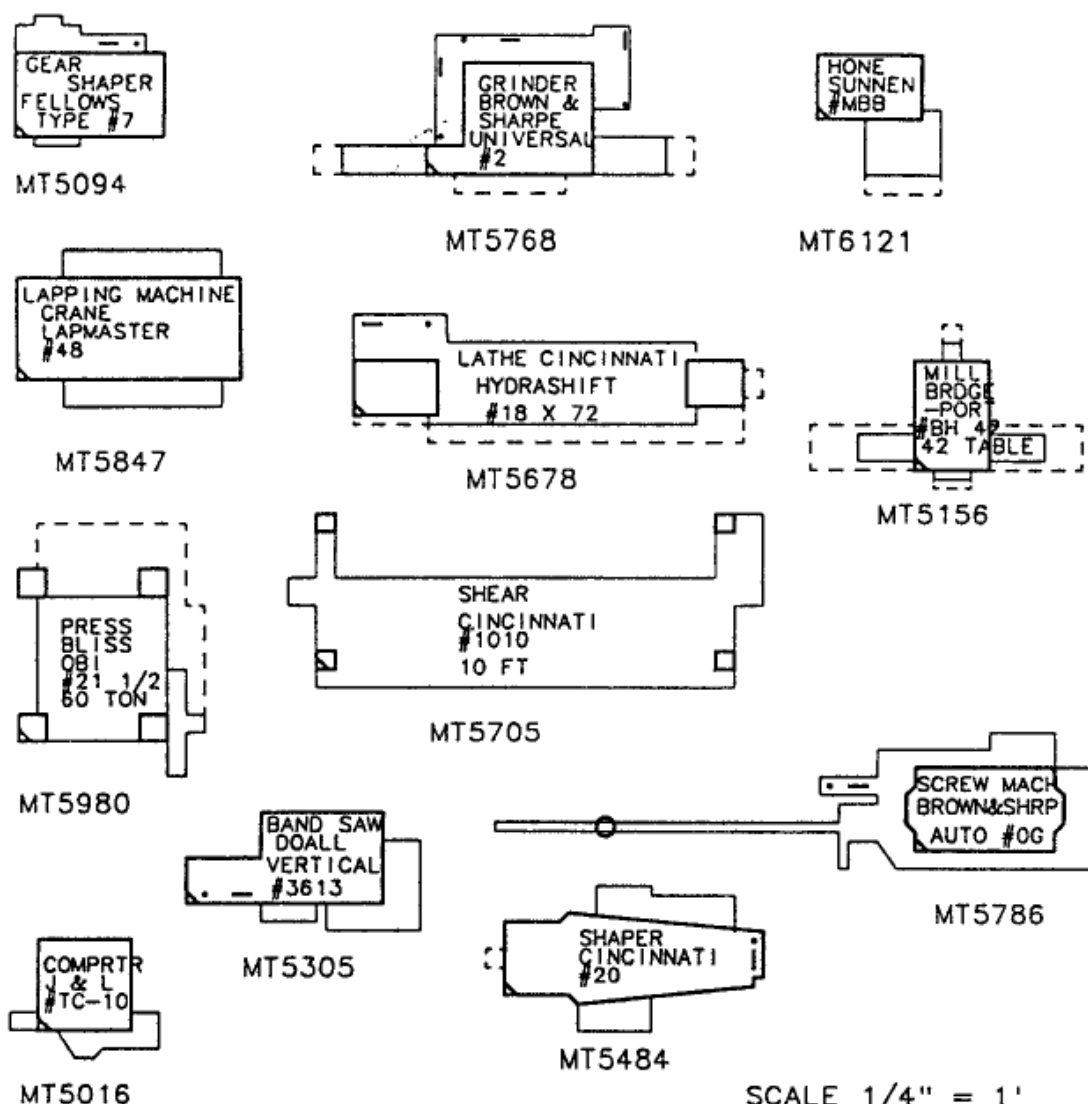
نقشه‌ها به صورت دستی یا توسط فایل کامپیوتری (CAD)، از طریق پلاتر یا پرینتر تهیه می‌شوند. شکل ۶-۲ نقشه CAD یک واحد مونتاژ دستی را نشان می‌دهد. امروزه، با توجه به استفاده روز افزون از کامپیوترها و نرم‌افزار CAD در شرکت‌ها، نقشه‌های

دستی کمتر مورد توجه قرار می‌گیرند. چون تهیه این نقشه‌ها بسیار زمان‌بر است و اگر

تغییراتی رخ دهد، باید دوباره کشیده شوند. عموماً تغییرات زیادی قبل از اینکه طرح نهایی به وجود آید، رخ می‌دهد؛ در نتیجه نقشه‌های دستی طرح‌های چیدمان، ترجیح داده نمی‌شوند.

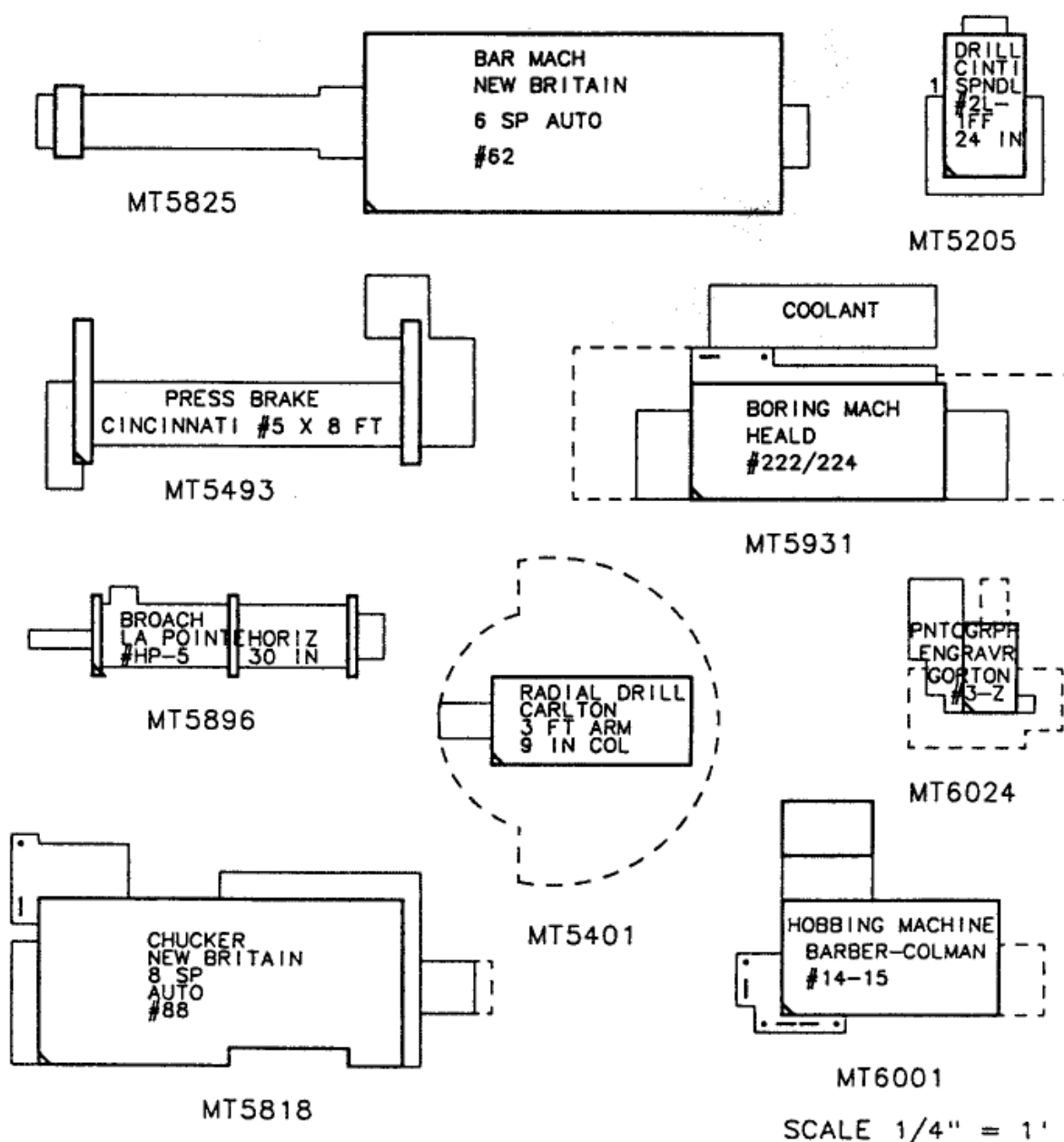
۳-۲-۳ شابلون‌ها

شابلون‌ها نیز مانند نقشه‌ها می‌توانند دستی یا کامپیوتری تهیه شوند (ورقه‌های پلاستیکی، فلزی، چوبی یا کاغذی). شابلون‌های تجاری ماشین‌آلات نیز معمولاً در اندازه‌های مختلف در دسترس قرار دارند (شکل ۳-۱۵). شابلون‌ها معمولاً بر روی



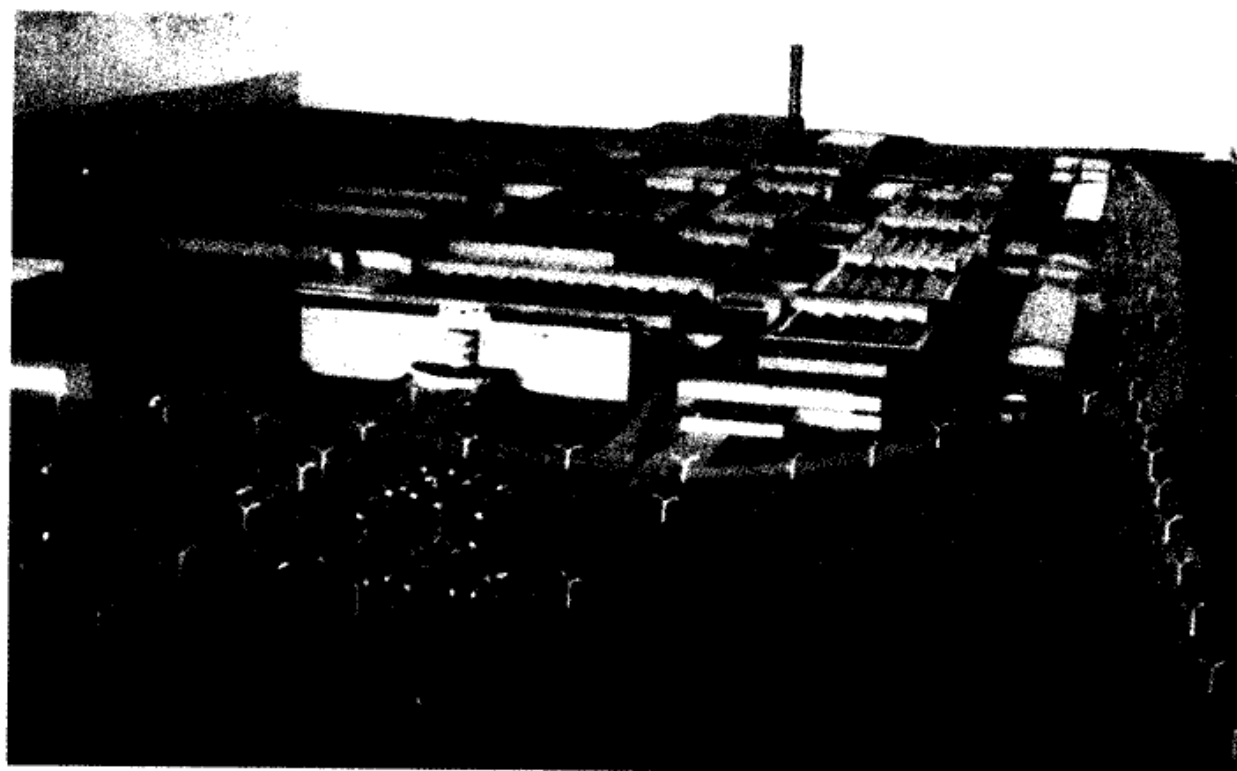
شکل ۳-۱۵. نمایشی از قطعات مختلف یک ماشین (ادامه در صفحه بعد)

صفحاتی که جنسشان سبک است ساخته می‌شوند تا محل ماشین‌آلات، ایستگاه‌ها و دیگر تجهیزات جانبی را مشخص کنند. نوارچسب‌ها برای نشان دادن جریان مواد همچنین راهروها یا مسیرهای حرکت وسایل انتقال مواد استفاده می‌شوند. نوارچسب‌ها که در رنگ‌ها و ضخامت‌های مختلفی وجود دارند در ارائه یک چیدمان به خوبی کمک می‌کنند.



۳-۳-۳ مدل‌های فیزیکی سه‌بعدی

این مدل‌ها، مانند شابلون‌ها هستند با این تفاوت که در سه بعد گسترش یافته‌اند. این مدل‌ها علاوه بر اینکه همه اطلاعاتی که شابلون‌ها منتقل می‌کنند را دارا هستند، شامل اطلاعات اضافی دیگری نیز هستند. مثلاً اگر جرثقیل سقفی برای حمل و نقل قطعات و مواد استفاده می‌شود، این مدل‌ها، به تحلیل‌گر در تصور مسیرهای حرکت و حمل و نقل بین ماشین‌ها کمک کند. از آنجا که معمولاً توصیه می‌شود که قطعات از بالای تجهیزات بلند مثل پرس‌های پانچ^۱ عمودی و یا فرزهای عمودی عبور نکنند، تحلیل‌گران لازم است بدانند که کدام یک از راه‌ها موجه و شدنی هستند و کدام غیرموجهند. شکل ۳-۱۶ مدل سه‌بعدی یکی از کارخانجات اپل^۲ -تولید کننده خودرو- در نزدیکی دورتموند آلمان^۳ را نشان می‌دهد.



شکل ۳-۱۶. مدل سه‌بعدی از یک کارخانه اتومبیل‌سازی

1. punch press
2. OPEL
3. Dortmund, Germany

۳-۳-۴ ابزارهای CAD

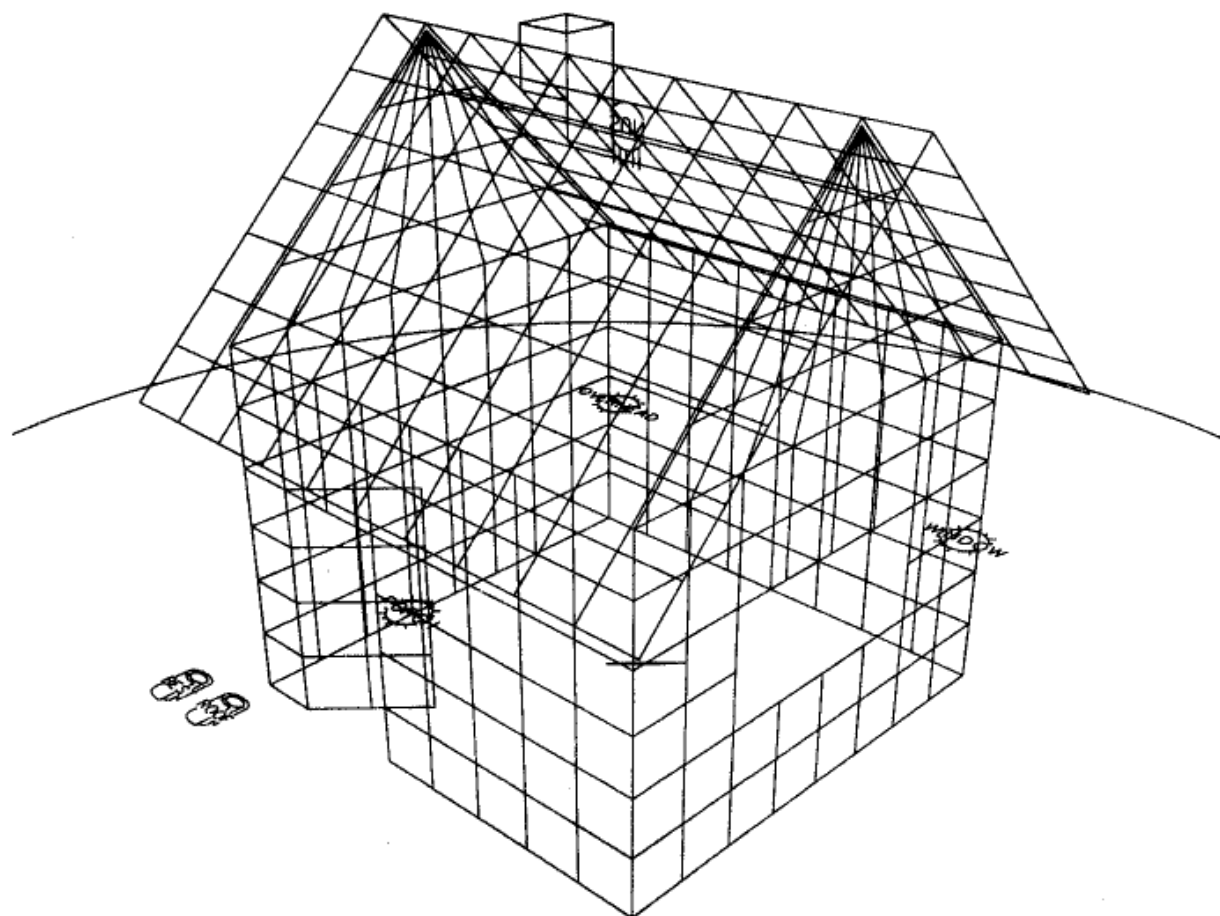
طراحی به کمک کامپیوتر، یکی از انواع روش‌های معمول و مؤثر برای آماده‌سازی و ارائه طرح‌های چیدمان است. سیستم‌های CAD، سیستم‌های کامپیوتری‌اند که مجموعه‌ای از زیرسیستم‌های عملیاتی نظیر نرم‌افزارهای کاربردی، ابزارهای گرافیکی، پایگاه داده، مدل و ابزارهای ورودی و خروجی را شامل می‌شوند. کاربر به کمک سیستم CAD می‌تواند اندازه نقشه‌ها را تغییر داده و به‌طور کلی توسعه دهد. کلیه نقشه‌ها را می‌توان توسط CAD رسم کرد؛ مانند نقشه قطعات ساخته‌شده، چیدمان و طرح صفحه مدار چاپی، چیدمان معمارانه یک ساختمان، تئاتر، سد و یا دیگر تاسیسات بزرگ و طرح‌های هنرمندانه.

سیستم‌های CAD به کاربران این اجازه را می‌دهد تا نقشه‌های دوبعدی و یا سه‌بعدی ترسیم کنند. گسترش روزافزون استفاده از سیستم‌های CAD به دلیل افزایش سرعت و حافظه کامپیوترهای شخصی و همچنین در دسترس بودن نرم‌افزارهای دوبعدی و سه‌بعدی CAD، باعث محبوبیت این نرم‌افزار شده است. بیشترین قابلیت این نرم‌افزار، سرعت بالای آن برای اضافه کردن، حذف کردن و به‌طور کلی ایجاد هر گونه تغییر در نقشه‌ها و ایجاد نقشه جدید است. همچنین این امکان به کاربر داده می‌شود تا روی قسمتی از نقشه متمرکز شده و تمام جزئیات را از جهت دلخواه مشاهده کند. با وجود اینکه بیشتر ابزارهای CAD برای طراحی و کشیدن قطعات استفاده می‌شوند، بسیاری از آنها را می‌توان برای توسعه چیدمان تسهیلات به‌کار برد. در فصل ۷، چهار نوع بسته نرم‌افزاری بر پایه CAD توضیح داده خواهد شد (FactoryFlow, FactoryCAD, FactoryPLAN, FactoryOPT) که همه آنها به ما اجازه توسعه طرح‌های چیدمان توسط کامپیوترهای شخصی را می‌دهند. نمایی از یک خانه که توسط نرم‌افزار AutoCad ترسیم شده است در شکل ۳-۱۷ نشان داده شده است.

۳-۴ راهبردهایی برای تهیه و توسعه داده‌ها

در این بخش، روشی گام‌به‌گام برای جمع‌آوری داده‌های مربوطه و دسته‌بندی آنها در قالب مناسب برای توسعه چیدمان ارائه می‌شود. این روش برای مسائل چیدمان واحدهای صنعتی مورد استفاده قرار می‌گیرد. گام‌های لازم عبارتند از:

- جمع‌آوری داده‌های پایه‌ای و اساسی.
- استخراج داده‌های مرتبط.
- تولید داده‌ها در قالب مورد نیاز.
- ارائه داده‌های به‌دست آمده به افراد مربوطه و گرفتن بازخور از آنها.
- مستندسازی داده‌ها.



شکل ۳-۱۷. نقشه سه‌بعدی یک خانه

۳-۴-۱ جمع‌آوری داده‌های پایه‌ای و اساسی

اطلاعات پایه‌ای و اساسی که برای حل بیشتر مسائل چیدمان تولیدی نیاز است، معمولاً در اختیار پرسنل تولیدی کارخانه-مدیران تولید، سرپرستان و مهندسان فرآیند-است.

در بسیاری از شرکت‌ها، نیاز به داده‌ها از طریق سیستم اطلاعات مدیریت^۱ (MIS) تامین می‌شود. به خاطر اینکه چیدمان جدید برای آینده است، داده‌های جمع‌آوری شده باید با فعالیت‌های تولیدی که در زمان آینده انتظار اتفاق افتادن آن می‌رود، مطابقت داشته باشد. برای مثال، اطلاعات مربوط به مسیر قطعات و ماشین‌آلات باید تهیه شود که در طول سال‌هایی که چیدمان، طرح‌ریزی شده، تولید و استفاده خواهند شد. منظور این است که تحلیل‌گران باید قادر به پیش‌بینی میزان و ترکیب تولید و همچنین فرآیندها و تجهیزات مورد نیاز برای تولید باشند. معمولاً اعتبار و دقت پیش‌بینی‌ها، هنگامی که به آینده دورتر موكول می‌شوند کاهش می‌یابد. اگر پیش‌بینی برای مدت زمان کوتاهی انجام شود، ممکن است چیدمان‌ها مکرراً طراحی مجدد شوند، که این کار بسیار وقت‌گیر است و مقرون به صرفه نیست. بنابراین باید موازنه و تعادلی بین افق زمانی که پیش‌بینی صورت می‌گیرد و هزینه‌ای که صرف می‌شود وجود داشته باشد. تصمیم‌گیری به مقدار زیادی به طبیعت صنعت بستگی دارد. برای مثال، در صنایع با تکنولوژی بالا، افراد توانایی پیش‌بینی کردن برای مدت زمان طولانی را ندارند، در حالی که شرکت‌های تولیدی معمولاً قادر به پیش‌بینی‌های معقول برای تعیین ترکیب و میزان تولید به مدت دو یا سه سال هستند. در این قسمت داده‌ها و اطلاعات مورد نیازی که برای مسائل طراحی چیدمان لازم است را فهرست کرده و در مورد هر یک توضیح داده می‌شود.

نام و کد هر قطعه. شرکت‌ها عموماً برای هر قطعه یک نام و یک کد الفبایی یا عددی منحصر به فرد دارند. این اطلاعات برای شناسایی قطعاتی که تولید خواهند شد مورد نیاز است.

نام و کد هر ماشین. مانند قطعات، ماشین‌ها نیز نام و کد منحصر به فرد دارند. در شرکت‌های کوچکتر، ممکن است به ماشین‌هایی از یک نوع، یک کد تخصیص داده شود، برای مثال، همه ماشین تراش‌ها ممکن است کد MATSURA011 داشته باشند. در آن صورت کد منحصر به فردی باید برای هر ماشین وجود داشته باشد؛ مانند MATSURA011A، MATSURA011B و از این قبیل.

برگه مسیر تولید هر قطعه. هر قطعه یک برگ مسیر تولید دارد که نشان‌دهنده توالی عملیاتی است که بر روی قطعه انجام می‌شود. این برگه همچنین برای تعیین توالی ماشین‌آلاتی که برای تولید قطعه مورد استفاده قرار می‌گیرد، استفاده می‌شود. اگر برگ مسیر تولید تنها فهرست ماشین‌های استفاده شده را مشخص کند (نه توالی را)، برای مسئله چیدمان مفید نخواهد بود. برگ مسیر تولید ممکن است شامل هزینه و زمان عملیات و دیگر اطلاعات باشد. گرچه بسیاری از این اطلاعات ممکن است برای تصمیمات مربوط به برنامه‌ریزی مفید باشند، اما برای توسعه چیدمان که تصمیم‌گیری در مورد طراحی است نیاز نیست.

ظرفیت و حجم تولید هر قطعه. تعداد هر نوع قطعه که باید تولید شود، ممکن است در برگه مسیر تولید قید نشده باشد. در این صورت معمولاً پرسنل برنامه‌ریزی تولید می‌توانند این اطلاعات را فراهم کنند.

ابعاد ماشین‌آلات و احتیاجات فضا. اگر ماشین‌آلاتی که در فعالیت‌های تولیدی آینده، انتظار استفاده از آنها می‌رود، شناخته شده باشند، ابعاد جای‌گیری^۱ آنها را به یکی از چهار طریق ذیل می‌توان به دست آورد:

- از طریق کاتالوگ‌های تجهیزات (ماشین‌آلات).
- از طریق فایل‌ها و یا کپی‌های سخت‌افزاری نقشه‌ها (اگر نقشه‌هایی با مقیاس مناسب وجود داشته باشد).
- از طریق نقشه‌های CAD.
- از طریق اندازه‌گیری ابعاد واقعی ماشین‌آلات.

از بین این چهار روش، روش اول و دوم نیاز به حداقل زمان دارند. علاوه بر ابعاد جای‌گیری ماشین‌آلات، تحلیل‌گران می‌بایست فضای اضافی لازم برای هر دستگاه را نیز با تخمین فضای مورد نیاز اپراتور، فضای تجهیزات انتقال مواد و تجهیزات ذخیره‌سازی را به صورتی که در شکل ۱۶-۲ نشان داده شده است، تعیین کنند.

هزینه جابجایی واحد بار مواد بین هر جفت از تجهیزات. همان‌طور که قبلاً گفته شد، این هزینه معمولاً به حمل‌کننده انتقال مواد که احتمالاً برای حمل قطعه به کار می‌رود، بستگی دارد. به عنوان مثال، اگر یک AGV برای جابجایی قطعات به کار می‌رود، هزینه جابجایی برای هر واحد بار از هزینه مربوط به نقاله بیشتر خواهد بود. هزینه مربوط به هر جفت ماشین را می‌توان با استفاده از معادله (۴) یافت. در عین حال، چنانچه به دست آوردن مقدار برخی پارامترهای معادله (۴) مشکل باشد، آنگاه واحد بار و هزینه جابجایی برای واحد مسافت برای هر جفت دستگاه می‌تواند توسط پرسنل با تجربه تخمین زده شود. در بسیاری از مسائل چیدمان، بار واحد و هزینه جابجایی واحد مسافت این‌گونه به دست می‌آید.

محدودیت‌های موقعیت خاص یا اطلاعات مجاورت. کارخانه‌ها معمولاً تعدادی دستگاه یا تجهیزات دارند که نمی‌توان آنها را از موقعیت کنونی‌شان به جای دیگری برد. موارد ذیل مثال‌هایی از این حالت هستند:

- هزینه یا میزان مشکل‌زا بودن تخصیص مجدد دستگاه به مکانی جدید بیش از حد زیاد باشد.

- خدمات پشتیبانی کمکی خاص (مانند تجهیزات شارژ باتری) تنها در موقعیت مکانی فعلی موجود است و بنابراین دستگاه نمی‌تواند تغییر مکان دهد.

- ارتفاع پرس پانچ از ارتفاع ساختمان بیشتر باشد و اگر قرار باشد پرس به مکان جدیدی منتقل شود، باید سوراخ دیگری در سقف در مکان جدید ایجاد شود.

اطلاعاتی در مورد چنین محدودیت‌ها و دلایل مربوطه که جفت دستگاه‌های معینی باید یا نباید مجاور هم واقع شوند را می‌توان از پرسنلی که از دانش خاصی در زمینه محصولات، فرایندها و وسایل کار برخوردارند، کسب کرد.

اطلاعات کیفی دیگر. اطلاعات کیفی دیگری که باید هنگام طراحی چیدمان تجهیزات در نظر گرفت شامل محدودیت‌های ساختمانی و ساخت و موقعیت مکانی خطوط برق و مواد خنک‌کننده است به عنوان مثال، موقعیت مکانی تم‌های یخ‌ساز ممکن است مکان برخی تجهیزات را تعیین کند و یا ممکن است بهتر باشد برخی تجهیزات به دلیل

سروصدا، بو، ظاهر یا سایر ملاحظات زیبایی در نزدیکی یکی پذیرش یا دفتر کار یا غذاخوری نباشند. عموماً تحلیل گران می‌توانند چنین اطلاعاتی را تنها با چند بار بازدید مکان به دست آورند. بازدیدهای مکرر از کارخانه و به اشتراک گذاشتن داده‌های جمع‌آوری شده با پرسنل مرتبط کارخانه غالباً اطلاعات کیفی را فاش می‌کند که قابل در نظر گرفتن در مدل نیستند اما باید هنگام طراحی چیدمان نهایی در نظر گرفته شود.

۳-۴-۲ استخراج داده‌های مرتبط

در این نقطه اطلاعات کیفی، ترجیحاً در قالب فایل متنی استاندارد^۱ (ASCII) (یعنی فایل متنی قابل خواندن برای کامپیوتر)، به دست آمده‌اند. با افزایش قابلیت پردازش کامپیوترهای شخصی و وجود ابزارهای نرم‌افزاری چون سیستم‌های پایگاه داده و برنامه‌های جداسازی فایل^۲، حتی فایل‌های داده بزرگ را نیز می‌توان بر روی یک کامپیوتر شخصی پردازش کرد. البته پیش از آنکه تحلیل گران بتوانند داده‌های دارای قالب مطلوب را تولید کنند باید اطلاعات اولیه به دست آمده را مورد بررسی قرار داده و داده‌هایی را که به مسأله چیدمان ارتباطی ندارند را حذف کنند. نمونه یک برگه مسیریابی^۳ برای یک کارخانه در شکل ۳-۱۸ نشان داده شده است. توجه داشته باشید که بیشتر از اطلاعات موجود در شکل متنی است و به مسأله چیدمان ارتباطی ندارد. ما به اطلاعات زمان‌های راه‌اندازی، نیروی کار و دستگاه‌ها و نیز اسامی دستگاه‌ها و عملیات نیازی نداریم. در حقیقت، تنها اطلاعات لازم فهرست مرتب شده‌ای از شماره قطعات و شماره دستگاه‌های مربوطه‌ای که به ترتیب از آنها گذر می‌شود، است. شکل ۳-۱۹ این اطلاعات را که از برگه مسیریابی شکل ۳-۱۸ استخراج شده است را نشان می‌دهد. داده‌های مرتبط به مسأله باید برای هر قطعه استخراج شوند.

1. ASCII

2. file splitting programs

---PART NUMBER---		-----DESCRIPTION-----				DATE	ALT CODE	BUYER/PLANNER		DRAWING REVISION	
99396-1		LAMP BASE				0/00/00		305			
PER	WORK	SETUP	CREW	MACH	--TOOLING REF--	--SETUP--	-----STANDARD-----		TIME	MOVE	
ALT	CENTER	CODE	FACTOR	GROUP	NUMBER	HOURS	LABOR	I/O	BASIS	TIME	
11	01205		1.0	01205	T4231	2.000	HOURS		CDE/-QTY-	-DAYS-	-----EFFECTIVE-----
ARTIAL AHEAD QTY						2.000	3.640		4	1000	FROM TO
							7.280			.000	0/00/00 99/99/99
-----ROUTING DESCRIPTIONS-----											
MAKE/AUTO 99396-1P											
22	03038		1.0	03038		.000	2.420		4	1000	0/00/00 99/99/99
ARTIAL AHEAD QTY							5.260				
-----ROUTING DESCRIPTIONS-----											
ROTO FINISH											
41 A	03105		.0	03105		.000	.350		4	1000	0/00/00 99/99/99
ARTIAL AHEAD QTY							.350				
-----ROUTING DESCRIPTIONS-----											
IRRIDITE/SHP											
43 B	08003		1.0			.000	.540		4	1000	0/00/00 99/99/99
ARTIAL AHEAD QTY							.000				
-----ROUTING DESCRIPTIONS-----											
PLATING INSPE /SHP											

999396-1

01205

03038

03105

شکل ۳-۱۹. توالی ماشین‌هایی که توسط قطعه 1-999396# ملاقات می‌شوند

۳-۴-۳ تولید داده با قالب مطلوب

به‌طور کلی می‌توان با داده‌های در قالب ماتریسی به سادگی کار کرد. این بخش به تولید داده در قالب ماتریس‌های مختلف می‌پردازد. برای ساخت یک ماتریس فراوانی سفرها، تحلیل‌گران باید ابتدا یک ماتریس اطلاعات مسیر قطعه را، که نشانگر دستگاه‌های لازم برای انجام عملیات بر روی هر قطعه و نیز توالی این عملیات است، بسازند. تعداد سطرهای این ماتریس به تعداد قطعات موجود است. در تمام این فصل ما به جای نوع قطعه صرفاً لفظ قطعه را به کار می‌بریم. تعداد ستون‌ها به تعداد ماشین‌ها بستگی دارد.

ما به هر ماشین یک نوع خاص شماره منحصر به فردی تخصیص می‌دهیم و بنابراین با هر ماشین واحد برای مقاصد تولید داده به عنوان یک نوع منحصر به فرد برخورد می‌شود. چنانچه دو یا بیشتر نوع قطعه نیاز به پردازش بر روی یک نوع ماشین که از آن چند تا موجود است داشته باشند، آنگاه ممکن است فرض آنکه همه واحدهای انواع قطعه به سمت یکی از آن چند ماشین سیر می‌کنند، معقول باشد. به‌عنوان مثال، اگر قطعات ۲ و ۴ نیازمند پردازش بر روی ماشین نوع ۳ (مثلاً ۳a و ۳b) ایجاد کرده و فرض کرد که هر واحد از قطعه ۲ بر روی اولین ماشین نوع ۳ (یعنی ۳a) پردازش می‌شود و هر واحد از قطعه ۴ بر روی دومین ماشین (۳b) پردازش می‌گردد. در برخی موارد ممکن است این فرض موجه نباشد. به‌عنوان مثال، ممکن است که ۲۰٪ از واحدهای قطعه نوع ۲ از ماشین ۳a و ۸۰٪ از ماشین ۳b گذر کنند. اگر این‌گونه باشد، تحلیل‌گران باید بدانند که چه درصدی از واحدهای یک قطعه به سوی هر یک از کپی‌های یک نوع ماشین سیر می‌کند و نیز باید متغیرهای اضافی‌ای تعریف کرده و سپس در جهت محاسبه فرکانس رفت و آمدهای بین ماشین‌ها تلاش کنند. ما این مسأله را به تمرین ۹، بخش g موکول کردیم.

هر درایه ماتریس اطلاعات مسیر قطعه از عدد صحیح تشکیل شده است. (یک ماتریس مسیر قطعه در شکل ۳-۲۱ نشان داده شده است). درایه k در سطر i و ستون j

ماتریس نشان می‌دهد که قطعه i تحت عملیات k بر روی ماشین j قرار می‌گیرد. اگر ماشین j دو یا چند عملیات متوالی (مثلاً عملیات ۳ و ۴ و ۵) را بر روی قطعه i انجام دهد، آنگاه سه درایه در سطر i و ستون j وجود خواهد داشت یعنی ۳، ۴ و ۵. چنانچه یک ماشین عملیات غیرمتوالی را بر روی یک قطعه انجام دهد، آنگاه این اطلاعات با اضافه کردن ستون‌های مجازی برای این ماشین، لحاظ می‌شود. جهت اطلاعات بیشتر به (Heragu and Kakuturi 1997) مراجعه کنید. به‌طور کلی، این امر که یک ماشین عملیات غیرمتوالی را بر روی یک قطعه انجام دهد مطلوب نیست، چرا که زمان راه‌اندازی را افزایش می‌دهد. پیشنهاد ما این است که قطعه مورد طراحی مجدد قرار گیرد یا برنامه (مسیریابی) فرایند تغییر کند طوری که چندین عملیاتی که توسط یک ماشین بر روی یک قطعه انجام می‌گیرند، متوالی شوند.

ماتریس اطلاعات مسیر قطعه می‌تواند از روی فهرست مرتب شده ماشین‌هایی که هر قطعه از آنها گذر می‌کند به‌وسیله هر زبان برنامه‌نویسی مانند C، FORTRAN، PASCAL یا QBASIC و VISUAL BASIC یا حتی توابع ماکرویی در محیط نرم‌افزارهای صفحه گسترده مانند LOTUS 1-2-3 ساخته شود. ممکن است دو ستون جهت ارائه حجم تولید و اندازه دسته هر قطعه اضافه گردد. اندازه دسته مشخص می‌کند که چند واحد از یک قطعه می‌توانند در یک سفر به‌وسیله حمل‌کننده جابجایی مواد جابجا شوند. اطلاعات حجم تولید و اندازه دسته هر قطعه برای تعیین تعداد سفرهای مورد نیاز بین هر جفت از ماشین‌ها جهت جابجایی مواد، استفاده می‌شوند. این اعداد با هم ترکیب و جمع می‌شوند تا تعداد کل سفرهای جابجایی مواد بین هر جفت از ماشین‌ها تعیین شود و مقدار عددی سطح روابط دو جانبه بین هر جفت از ماشین‌ها مشخص گردد. گرچه ممکن است بیش از یک نوع حمل‌کننده جابجایی مواد وجود داشته باشد، این رویه مطلقاً فرض را بر این می‌گذارد که هر قطعه با استفاده از یک دستگاه جابجایی مواد معین جابجا می‌گردد. بطور کلی این امر حقیقت دارد. اگر چنین نباشد، برای تعیین تعداد سفرهای بین هر جفت از ماشین‌های مورد نیاز هر قطعه، تحلیل‌گر باید:

- به تعداد انواع مختلف و سایر واحدها که در دسترس است، اضافه کند.

- حساب این را که کدام دستگاه در چه مرحله‌ای از جابجایی به کار می‌رود را داشته باشد.

این امر برای تمرین ۱۵ گذاشته شده است.

از روی ماتریس اطلاعات مسیر قطعه، ماتریس جریان یا ماتریس فرکانس سفرها با نوشتن کد دیگری که از فرمول ذیل استفاده می‌کند، ساخته می‌شود:

$$f_{ij} = \sum_{k=1}^m F_{ij}^k \quad (5)$$

به‌طوری‌که:

$$F_{ij}^k = \begin{cases} \left(\frac{D_k}{B_k} \right) & \text{اگر } |R_{ki} - R_{kj}| = 1 \text{ و } R_{ki} - R_{kj} > 0 \\ 0 & \text{در غیر این صورت} \end{cases} \quad (6)$$

نمادها:

f_{ij} : تعداد سفرهای مورد نیاز بین ماشین‌های زون

m : تعداد قطعات

D_k : تقاضای مورد انتظار برای قطعه k

B_k : اندازه دسته قطعه k

R_{ki} شماره عملیات برای عملیات انجام شده بر روی قطعه k توسط ماشین i

توجه داشته باشید که F_{ij}^k تنها برای عملیات متوالی تعریف می‌شود. از آنجایی که ما در پی تعیین تعداد سفرهایی هستیم که بین ماشین‌های i و j صورت می‌گیرد، B_k در مخرج معادله (۶) قرار گرفته است. از روی ماتریس جریان ماتریس هزینه جابجایی واحد بار ساخته می‌شود. این ماتریس هزینه جابجایی یک واحد بار مواد به اندازه واحد مسافت را بین هر جفت از ماشین‌ها نشان می‌دهد. همان‌طور که قبلاً گفته شد، فرمول معادله (۴) می‌تواند برای تولید عناصر این ماتریس استفاده شود. نهایتاً، یک ماتریس رابطه نشانگر آنکه آیا دو ماشین باید کنار هم قرار گیرند یا نه باید ساخته شود. این ماشین‌ها سه شاخص دارد: A ، X و O . A و X که به روابط مجاورت تعریف شده در Muter (1973) برمی‌گردند و در بخش ۲-۳ شرح داده شده‌اند. O در ماتریس نشان

می‌دهد که هیچ الزام خاصی برای مجاورت جفت ماشین مربوطه وجود ندارد و در نتیجه قرارگیری نسبی آنها به وسیله الگوریتم چیدمان تعیین می‌گردد. آخرین بخش اطلاعات ابعاد هر ماشین است که می‌تواند از چندین راه که قبلاً گفته شده است، به دست آید. یک منبع ابعاد جای‌گیری از روی کپی کاغذی^۱ نقشه است. اگر چیدمان با استفاده از یک بسته نرم‌افزاری CAD تولید شده باشد، مختصات نقاط گوشه‌ای ابعاد جای‌گیری ماشین را به دست می‌هند این ابعاد جهت تخمین فضای مورد نیاز هر ماشین به کار می‌رود و فضای اضافی کافی برای اپراتور، انبارش مواد، دسترسی به حمل‌کننده جابجا کننده و سایر فاکتورها نیز در آن گنجانده شده‌اند.

۳-۴-۴ اشتراک‌گذاری داده‌های اولیه و دریافت بازخور اطلاعاتی

همین‌که مجموعه داده‌های اولیه جمع‌آوری شد، تحلیل‌گران باید داده‌های تولیدی را با پرسنل مرتبط (مدیران میانی، سرپرستان و سایرین) به اشتراک بگذارد و بازخور اطلاعاتی آنان را بگیرد. این کار می‌تواند پرده از غلظت‌های صورت گرفته در جمع‌آوری داده و قدم‌های تولید داده و نیز فرض‌های اشتباه بردارد. زمان چک کردن اینکه آیا هیچ اطلاعات خاص دیگری که در گام‌های قبلی در نظر گرفته نشده است، لازم است یا نه، نیز همین وقت است. چنین اطلاعاتی معمولاً ذاتی کیفی دارند.

۳-۴-۵ مستندسازی داده‌ها

گام آخر مرتب‌سازی تمام داده‌های تولید شده و قرار دادن آنها در یک فایل الکترونیکی است. از آنجایی که ممکن است کاربردهای مختلفی برای این داده‌ها وجود داشته باشد، بهتر است که این فایل در قالب متنی استاندارد باشد.

۳-۵ مطالعه موردی: کاربرد متدولوژی ارائه شده در یک شرکت تولیدی

در این بخش، مراحل مختلف جمع‌آوری اطلاعات که در قسمت قبل اشاره شد، در یک شرکت تولیدی پیاده می‌شود. شرکت Welch Allyn Medical Division مورد

مطالعه نام دارد که در ایالت نیویورک واقع شده است. Welch Allyn یک سازنده وسایل تشخیص پزشکی مانند اتوسکوپ، آندوسکوپ و تجهیزات دیگری است که پزشکان برای معاینه چشم، بینی و مشکلات حلق و گلو از آنها استفاده می‌کنند. فعالیت‌های تولیدی به سه بخش اصلی تقسیم می‌شوند: (۱) بخش ماشین‌کاری عمومی که در آنجا قسمت عمده‌ای از عملیات انجام می‌شود، (۲) ایستگاه پرداخت‌کاری یا تکمیل که قطعات ماشین‌کاری در بخش اول به آنجا می‌روند، و (۳) ایستگاه مونتاژ که در آنجا محصول نهایی مونتاژ می‌شود. هدف، تعیین نحوه چیدمان ماشین‌آلات تنها در بخش‌های پرداخت‌کاری و ماشین‌کاری عمومی است. مدیر تولید، به دلیل مشکل بودن شکل‌دهی وسایل در بخش مونتاژ، حرکت مواد بین ایستگاه‌های پرداخت‌کاری و ماشین‌کاری و مونتاژ را نادیده گرفته است.

شرکت‌ها معمولاً از کامپیوترهای ریزپردازنده مرکزی یا کوچک برای پردازش اطلاعات مربوط به فهرست مواد، برگ مسیر تولید قطعات و مراکز کاری استفاده می‌کنند. هرچند داده‌ها را می‌توان در قالب مورد نیاز (مانند ماتریس اطلاعات قطعه-مسیر) تولید نمود، داشتن دپارتمان MIS جهت نوشتن برنامه‌های کامپیوتری روی ابرکامپیوترها^۱ برای تولید این داده‌ها، وقت‌گیر است و بازدهی زیادی ندارد؛ مگر اینکه از آنها به‌طور مکرر استفاده شود. در اینجا از داده‌های اصلی مربوط به فهرست مسیر تولید قطعات که به‌طور روزمره به وسیله دپارتمان MIS در Welch Allyn تهیه می‌شود استفاده خواهیم کرد. این داده‌های خام می‌تواند به آسانی در قالب فایل متنی استاندارد تهیه شده و به کامپیوترهای شخصی منتقل شود. داده‌های مربوط به بخش مونتاژ در فهرست مسیرهای اصلی وجود ندارد. توجه شود که بسیاری از داده‌ها در این فهرست (مثلاً مسیر حرکت قطعات، توالی مراکز کاری که قطعات از آنجا عبور می‌کنند) برای تهیه ماتریس حاوی اطلاعات مسیر تولید قطعات ضروری است در حالی که بسیاری از اطلاعات باقی‌مانده (مانند زمان راه اندازی، ساعت‌های مورد نیاز برای کارکردن ماشین و کارگر در هر عملیات و از این قبیل) برای حل مسائل چیدمان نیاز نیست. بنابراین می‌توان بسیاری از اطلاعاتی که در برگه مسیر تولید قطعات آمده، کنار گذاشت و تنها با

اطلاعات مورد نیاز خود کار کرد. اطلاعات جمع آوری شده در دیسکت از طریق نرم افزار Word و Excel قابل استفاده هستند و این اطلاعات در شکل ۳-۲۰ آورده شده اند.

9993961	LAMP BASE A	(Part #1)
01204		(Machine # 1)
03029		(Machine #8)
03105		(Machine #10)
08003		(Machine #11)
999441	WEDGE TERMINAL A	(Part #2)
01204		(Machine #1)
03001		(Machine #7)
03105		(Machine #10)
9994413	WEDGE TERMINAL B	(Part #3)
01204		(Machine #1)
03029		(Machine #8)
03105		(Machine #10)
9994414	WEDGE TERMINAL C	(Part #4)
01204		(Machine # 1)
03105		(Machine #10)
08003		(Machine # 11)
9994422	LAMP INSULATOR	(Part #5)
01204		(Machine #1)
03001		(Machine #7)
999459	LAMP BASE B	(Part #6)
01204		(Machine #1)
01204		(Machine # 1)
03029		(Machine #8)
03105		(Machine #10)
H6709	HANDLE, DENSPLY PROBE	(Part #7)
01217		(Machine #2)
02053		(Machine #6)
02053		(Machine #6)
03029		(Machine #8)
03105		(Machine #10)
03001		(Machine #7)
03001		(Machine #7)
H33421	STAND OFF	(Part #8)

شکل ۳-۲۰. فهرست سفارش قطعات و ماشین آلات مورد نیاز

01204		(Machine #1)
02053		(Machine #6)
H3888	KNOB	(part #9)
01204		(Machine # 1)
02053		(Machine #6)
02053		(Machine #6)
03029		(Machine #8)
H255	GUIDE, BLOCK	(Part #10)
02048		(Machine #5)
02053		(Machine #6)
03037		(Machine #9)
H28832	BENDING NECK WASHER A	(Part #11)
02035		(Machine #4)
02053		(Machine #6)
03001		(Machine #7)
H29121	BENDING NECK WASHER B	(Part #12)
02035		(Machine #4)
02053		(Machine #6)
03001		(Machine #7)
H30761	BENDING NECK WASHER C	(Part #13)
02035		(Machine #4)
02053		(Machine #6)
03001		(Machine #7)
H33972	BENDING NECK WASHER D	(Part #14)
02035		(Machine #4)
02053		(Machine #6)
03001		(Machine #7)
02028		(Machine #3)
H3513	HANDLE	(Part #15)
02048		(Machine #5)
02053		(Machine #6)
02053		(Machine #6)
03105		(Machine #10)
03001		(Machine #7)

شکل ۲۰-۳ ادامه

همان‌طور که مشاهده می‌شود تنها اطلاعات مورد نیاز جمع‌آوری شده‌اند. به هر قطعه و ماشین‌کدی اختصاص داده شده است که در داخل پرانتز نوشته شده‌اند. برای حل مسائل چیدمان، باید حجم تولید سالیانه و اندازه دسته هر قطعه مشخص باشد (هر دوی این اطلاعات برای تعیین تعداد سفرهای مورد نیاز سالانه بین هر جفت از ماشین‌آلات ضروری است). همه مواد به‌صورت دستی حمل می‌شوند. همچنین می‌دانیم که همه

قطعات تقریباً هم اندازه هستند و در یک بار رفت یا برگشت ۱۰ قطعه حمل می شود. اطلاعات مربوط به تقاضای هر قطعه از طریق سرپرستان -کسانی که برنامه تولید را تنظیم می کنند- به دست می آید. این اطلاعات به همراه اندازه دسته در دو ستون آخر شکل ۳-۲۱ نشان داده شده است.

با استفاده از فرمول های (۵) و (۶) می توان به راحتی ماتریس جریان را -که در شکل ۳-۲۲ نشان داده شده- تهیه کرد. برای مثال نحوه محاسبه میزان جریان بین ماشین های ۱ و ۷ در ماتریس جریان به این نحو است: $F_{17}^2=300$ ، $F_{17}^5=200$ و در مورد بقیه $F_{17}^k=0$. در نتیجه جریان بین ماشین های ۱ و ۷ یا f_{17} برابر ۵۰۰ است. چون همه قطعات به صورت دستی بین ماشین آلات جابه جا می شوند، هزینه های حمل واحد بار در واحد مسافت، بین هر جفت از ماشین آلات با هم برابرند. در این مسئله، تنها محدودیت مکانی برای دو جفت از تسهیلات ذیل وجود دارد: ۱۲۰۴ (ماشین ۱)، ۲۰۳۵ (ماشین ۲) و ۲۰۳۵، ۲۰۴۸ (ماشین ۵). جفت اول به دلایل ایمنی باید مجاور هم قرار گیرند اما جفت دوم به دلایل تکنولوژیکی نباید در کنار هم باشند.

	ماشین											اندازه تقاضای	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	قطعه	دسته
1	1	2	0	0	0	0	0	2	0	3	4	2000	10
2	1	0	0	0	0	0	2	0	0	3	0	3000	10
3	1	0	0	0	0	0	0	2	0	3	0	1000	10
4	1	0	0	0	0	0	0	0	0	2	3	3000	10
5	1	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	2000	10
6	1,2	0	0	0	0	0	0	3	0	4	0	1000	10
7	0	0	0	0	0	2,3	6,7	4	0	5	0	2000	10
قطعه 8	1	1	0	0	0	2	0	0	0	0	0	1000	10
9	1	0	0	0	0	2,3	0	4	0	0	0	1000	10
10	0	0	0	0	1	2	0	0	3	0	0	2000	10
11	0	0	0	1	0	2	3	0	0	0	0	3000	10
12	0	0	0	1	0	2	3	0	0	0	0	1000	10
13	0	0	0	1	0	2	3	0	0	0	0	1000	10
14	0	0	4	1	0	2	3	0	0	0	0	3000	10
15	0	0	0	0	1	2,3	5	0	0	4	0	1000	10

شکل ۳-۲۱. ماتریس اطلاعات مسیریابی قطعه

فرض کنید که این اطلاعات به‌طور جداگانه از پرسنل دپارتمان تولید به دست آمده است. اطلاعات در قالب ماتریس رابطه فعالیت‌ها در شکل ۳-۲۳ نشان داده شده است.

		ماشین										
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
ماشین	1	0	0	0	0	0	200	500	400	0	300	0
	2	0	0	0	0	0	200	0	0	0	0	0
	3	0	0	0	0	0	0	300	0	0	0	0
	4	0	0	0	0	0	800	0	0	0	0	0
	5	0	0	0	0	0	300	0	0	0	0	0
	6	200	200	0	800	300	0	800	300	200	100	0
	7	500	0	300	0	0	800	0	0	0	600	0
	8	400	0	0	0	0	300	0	0	0	600	0
	9	0	0	0	0	0	200	0	0	0	0	0
	10	300	0	0	0	0	100	600	600	0	0	500
	11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	500	0

شکل ۳-۲۲. ماتریس جریان محاسبه شده

		ماشین										
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
ماشین	1	0	0	0	A	0	0	0	0	0	0	0
	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	4	A	0	0	0	X	0	0	0	0	0	0
	5	0	0	0	X	0	0	0	0	0	0	0
	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

شکل ۳-۲۳. ماتریس روابط ماشین‌آلات

از طریق نقشه تهیه شده توسط CAD برای چیدمان فعلی می توان ابعاد ماشین آلات را به دست آورد. همچنین محلی به اندازه ۱ فوت برای بارگیری و تخلیه قطعات و انبار وسایل، به هر یک از ابعاد ماشین آلات اضافه می شود. ابعاد ماشین آلات (با اضافه کردن ۱ فوت به طول و عرض) در شکل ۳-۲۴ فهرست شده است. شکل ۳-۲۵ حاوی یک فایل اطلاعاتی برای این مسئله است که توسط شکل های ۳-۲۱، ۳-۲۳ و ۳-۲۴ (با اضافه کردن ماتریس هزینه حمل واحد بار در واحد مسافت) تهیه شده است. در بخش ۹، نحوه استفاده از این فایل اطلاعاتی برای تعیین و توسعه چیدمان ها ارائه می شود.

شماره ماشین	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱
طول	۱۰	۱۰	۲۰	۲۰	۱۰	۲۰	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰
عرض	۲۰	۱۰	۲۰	۱۰	۱۰	۲۰	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰

شکل ۳-۲۴. ابعاد ماشین آلات (به فوت) با محاسبه یک فوت اضافی به هر یک از ابعاد

خلاصه

در این فصل، در خصوص تحلیل جریان مواد و همچنین فواید استفاده از آن در توسعه داده های مربوط به جریان و مسافت بحث شد. داشتن این داده ها برای حل مسائل طراحی چیدمان تسهیلات ضروری است. همچنین الگوهای عمومی جریان مواد و پنج نوع چیدمان توضیح داده شد. انواع اطلاعات و نحوه استفاده از آنها برای توسعه چیدمان و انتخاب چیدمان برتر از بین گزینه های موجود نیز ارائه شد. مثلاً نمودار فرآیند عملیات، نمودار جریان، داده های کیفی و کمی جریان و اطلاعات مسافت. نمودار رابطه فعالیت که جریان را به صورت کیفی نشان می دهد در تکنیک طراحی چیدمان SLP در فصل بعدی بحث خواهد شد. جریان کمی و اطلاعات مربوط به فواصل، همچون معیارهای کیفی ارزیابی چیدمان، در مدل ها و الگوریتم های چیدمان در فصل های ۵ تا ۷ بحث خواهد شد.

چهار ابزار برای ارائه طرح های چیدمان و راهنمایی برای جمع آوری اطلاعات جهت حل مسائل طراحی چیدمان ارائه شد. سپس از راهنمایی های ارائه شده برای حل مسئله

چیدمان در یک شرکت تولیدی استفاده شد.

ماتریس اطلاعات مسیریابی قطعه ماشین												اندازه دسته	تقاضای قطعه
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11		
قطعه	1	1	0	0	0	0	0	2	0	3	4	2000	10
	2	1	0	0	0	0	2	0	0	3	0	3000	10
	3	1	0	0	0	0	0	2	0	3	0	1000	10
	4	1	0	0	0	0	0	0	0	2	3	3000	10
	5	1	0	0	0	0	2	0	0	0	0	2000	10
	6	1,2	0	0	0	0	0	3	0	4	0	1000	10
	7	0	1	0	0	0	2,3	6,7	4	0	5	2000	10
	8	1	0	0	0	0	2	0	0	0	0	1000	10
	9	1	0	0	0	0	2,3	0	4	0	0	1000	10
	10	0	0	0	0	1	2	0	0	3	0	2000	10
	11	0	0	0	1	0	2	3	0	0	0	3000	10
	12	0	0	0	1	0	2	3	0	0	0	1000	10
	13	0	0	0	1	0	2	3	0	0	0	1000	10
	14	0	0	4	1	0	2	3	0	0	0	3000	10
	15	0	0	0	0	1	2,3	5	0	0	4	1000	10

ماتریس هزینه حمل واحد بار در واحد مسافت ماشین												ماشین	قطعه
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11		
ماشین	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1		
	2	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1		
	3	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1		
	4	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1		
	5	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1		
	6	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1		
	7	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1		
	8	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1		
	9	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1		
	10	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0		
	11	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		
ماشین	12	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		
	13	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		

شکل ۳-۲۵. فایل داده‌های ورودی چیدمان (ادامه دارد)

		ماتریس روابط ماشین آلات ماشین										
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
ماشین	1	0	0	0	A	0	0	0	0	0	0	0
	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	4	A	0	0	0	X	0	0	0	0	0	0
	5	0	0	0	X	0	0	0	0	0	0	0
	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

ابعاد ماشین‌ها (شامل فراخی اضافی فضا)											
شماره ماشین	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱
طول	۱۰	۱۰	۲۰	۲۰	۱۰	۲۰	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰
عرض	۲۰	۱۰	۲۰	۱۰	۱۰	۲۰	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰

شکل ۳-۲۵. (ادامه)

در بخش‌های ۲ و ۳ نحوه جمع‌آوری صحیح اطلاعات برای طراحی چیدمان بحث شد. وقتی طرحی از چیدمان انتخاب شده و اجرا گشت، تبدیل آن به چیدمان دیگر بسیار گران و زمان‌بر است. در نتیجه مدیران نمی‌توانند به راحتی تغییرات در چیدمان‌ها ایجاد کنند. به همین دلیل، یک چیدمان باید به درستی و با دقت برنامه‌ریزی شود، مورد بحث قرار گیرد و جزئیات آن تحلیل شود- قبل از آن‌که اجرا شود- در فصل بعد، تعدادی از تکنیک‌های سنتی طراحی تسهیلات که هنوز هم مورد استفاده بسیاری از تحلیل‌گران است توضیح داده خواهد شد.

تمرینات و پرسش‌های دوره‌ای

۱- فهرستی از انواع اطلاعات و داده‌های مفید برای حل مسائل طراحی تسهیلات تهیه کنید. نحوه تهیه هر یک از اطلاعات را در یک پاراگراف یا کمتر توضیح دهید.

۲- فهرستی از انواع الگوهای جریان تهیه کرده و مزایای هر یک در موقعیت‌های مختلف را مشخص کنید.

۳- شش مورد از مزایا و معایب هر یک از انواع چیدمان‌های تولیدی را عنوان کرده و در صورت لزوم از منابع دیگر نیز اطلاعات جمع‌آوری کنید:

- چیدمان بر اساس محصول.
- چیدمان بر اساس فرآیند.
- چیدمان بر اساس تکنولوژی گروهی.
- چیدمان بر اساس مکان ثابت.
- چیدمان ترکیبی.

۴- از یک کارگاه ماشین‌آلات بازدید کرده و برای یکی از قطعاتی که در این کارگاه تولید می‌شود، نمودار برنامه‌ریزی چیدمان تهیه کنید.

۵- یک نمودار جریان برای محصول انتخاب شده در تمرین ۴ رسم کنید.

۶- از یک کارخانه محلی بازدید کنید و یک نمودار فرآیند جریان مشابه با شکل ۳-۸ تهیه کنید. تعداد عملیات، بازرسی‌ها، حمل‌ونقل‌ها، انبارش‌ها و تاخیرها را به صورت خلاصه مشخص کنید. در صورت امکان، بعضی از فعالیت‌ها را حذف کرده یا چند فعالیت را با هم ادغام کنید. سپس یک نمودار فرآیند جدید تهیه کرده و با قبلی مقایسه کنید.

۷- از مکان‌های ذیل در دانشگاه خود بازدید به عمل آورید و همه تسهیلات آنجا را فهرست کنید. سپس یک نمودار رابطه فعالیت رسم کنید. بر اساس مشاهده خود، کدهای مربوطه به انواع رابطه‌ها را به هر جفت از تسهیلات اختصاص دهید و دلیل اختصاص هر کد به هر جفت از تسهیلات را مشخص کنید.

- کتاب‌فروشی.
- رستوران.
- دفتر نام‌نویسی.
- کتابخانه.
- مرکز کامپیوتر.
- مرکز اطلاعات.
- محل تربیت بدنی.
- بهداری.

۸- یک اداره در یکی از شلوغ‌ترین مناطق شهری قرار گرفته است. این اداره فقط یک طبقه به ابعاد ۲۰×۶۰ فوت در اختیار دارد. محل پارکینگ که پشت ساختمان است دارای ابعاد ۲۰×۶۰ فوت است. چهار کارمند و یک منشی در این اداره مشغول به کار هستند. این ساختمان باید چهار دفتر برای کارمندان، محل برای ارائه اطلاعات، محل نشستن مشتریان، اتاق استراحت، اتاق کپی، اتاق کنفرانس و اتاق چندمنظوره با توجه به احتیاجات فضاهای ذیل داشته باشد.

اتاق	مساحت مورد نیاز (فوت مربع)
دفتر افسر	۱۲۵
پذیرش و اطلاعات	۲۰۰
اتاق آقایان	۳۵
اتاق خانم‌ها	۳۵
اتاق فتوکپی	۸۰
اتاق کنفرانس	۲۰۰
اتاق چند منظوره	۱۵۰

الف. برای این تسهیلات یک نمودار روابط تهیه کنید.

ب. با استفاده از این نمودار روابط و جدول مساحت مورد نیاز، یک نمودار بلاکی^۱ مشابه چیدمان مطب دندانپزشک در شکل ۲-۱، رسم کنید.

۹- برگه مسیر تولید سه نوع قطعه الکتریکی که در یک شرکت تولیدی تهیه می‌شود در شکل ۳-۲۶ آمده است.

الف. انواع تولیدات به همراه کدهای آن را فهرست کنید.

ب. انواع تجهیزات به همراه کدهایشان را فهرست کنید.

ج. به هر نوع از قطعات الکتریکی کد عددی (۱، ۲ و ۳) و به هر یک از تجهیزات کد حرفی (A، B، C و از این قبیل) اختصاص دهید.

د. یک نرم‌افزار صفحه گسترده تهیه کنید به‌طوری که قادر به انجام فعالیت‌های ذیل باشد:

- همه اطلاعات مربوط به برگ مسیر تولید به جز اطلاعات مربوط به انواع تجهیزاتی که قطعات الکتریکی از آن استفاده می‌کنند و توالی آنها را حذف کند.
- اطلاعات مرتبط را در یک فایل صفحه گسترده دیگر ذخیره کند.
- یک صفحه گسترده دیگر تهیه کنید به‌طوری که از اطلاعات قسمت (د) استفاده کرده و ماتریس اطلاعات قطعه-مسیر را مشخص کند. این ماتریس را در یک فایل دیگر ذخیره کنید. از اطلاعات مربوط به تقاضا و اندازه دسته در جدول ذیل استفاده کنید.

نوع قطعه الکتریکی	تقاضای سالانه	تعداد قطعاتی که در یک سفر حمل می‌شود
۱	۱۰,۰۰۰	۱۰
۲	۱۴,۵۰۰	۵
۳	۸,۰۰۰	۲۰

6/25/92	10:10:01	WEEDJETS MANUFACTURING INTERNATIONAL C/N 100	PAGE 1	HRIBICK	RRPT01
---PART NUMBER---	999441	MASTER ROUTING LIST	DATE	ALT CODE	BUYER/PLANNER
		WEEDJET 1	0/00/00	400	
OPER MACH OPER SETUP CREW	---TOOLING REF---	---SETUP---	---STANDARD---	---I/O BASIS---	---EFFECTIVE---
& ALT CODE CODE CODE FACTOR	NUMBER	HOURS	HOURS	CDE/-QTY-	TIME
10 01204	1.0 T10190	4.000	2.325	4 1000	0.000 0/00/00 99/99/99
	---ROUTING DESCRIPTIONS---				
	FORM & CUT OFF BROWN & SHARPE 00				
30 03001	.0	.000	1.000	4 1000	0.000 0/00/00 99/99/99
	---ROUTING DESCRIPTIONS---				
	TUNBLE/RAMPE				
40 03101	.0	.000	1.500	4 1000	0.000 0/00/00 99/99/99
	---ROUTING DESCRIPTIONS---				
	FLASH BARREL NI/SHIP				
6/25/92	10:10:01	WEEDJETS MANUFACTURING INTERNATIONAL C/N 100	PAGE 1	HRIBICK	RRPT01
---PART NUMBER---	9994413	MASTER ROUTING LIST	DATE	ALT CODE	BUYER/PLANNER
		WEEDJET 2	0/00/00	400	
OPER MACH OPER SETUP CREW	---TOOLING REF---	---SETUP---	---STANDARD---	---I/O BASIS---	---EFFECTIVE---
& ALT CODE CODE CODE CODE FACTOR	NUMBER	HOURS	HOURS	CDE/-QTY-	TIME
10 01204	1.0 T2909	3.000	.910	4 1000	0.000 0/00/00 99/99/99
	---ROUTING DESCRIPTIONS---				
	MK & AUTO 9994413P				
15 03022	1.0	.000	.250	4 1000	0.000 0/00/00 99/99/99
	---ROUTING DESCRIPTIONS---				
	DEGREASE				
31 03101	1.0	.000	.030	4 1000	0.000 0/00/00 99/99/99
	---ROUTING DESCRIPTIONS---				
	BARREL NICKEL / SHP				
6/25/92	10:10:01	WEEDJETS MANUFACTURING INTERNATIONAL C/N 100	PAGE 1	HRIBICK	RRPT01
---PART NUMBER---	9994414	MASTER ROUTING LIST	DATE	ALT CODE	BUYER/PLANNER
		WEEDJET 3	0/00/00	400	
OPER MACH OPER SETUP CREW	---TOOLING REF---	---SETUP---	---STANDARD---	---I/O BASIS---	---EFFECTIVE---
& ALT CODE CODE CODE CODE FACTOR	NUMBER	HOURS	HOURS	CDE/-QTY-	TIME
10 01204	1.0 T6624	5.000	.520	4 1000	0.000 0/00/00 99/99/99
	---ROUTING DESCRIPTIONS---				
	MAKE/AUTO 9994414P				
30 A 03101	.0	.000	.750	4 1000	0.000 0/00/00 99/99/99
	---ROUTING DESCRIPTIONS---				
	NICKEL PLATE / SHIP				
40 B 08003	1.0 T6625	.000	.500	4 1000	0.000 0/00/00 99/99/99
	---ROUTING DESCRIPTIONS---				
	PLATING INSP / SHIP				

شکل ۳-۲۶. برگ مسیر تولید برای سه نوع قطعه الکتریکی

و. از فایل ها و اطلاعات قسمت ه) استفاده کرده و یک صفحه گسترده دیگر شامل ماتریس فراوانی سفرها بین ماشین آلات تهیه کنید. این اطلاعات را در فایل سوم

داخیره کنید.

ز. فرض شود که دو تا از ماشین نوع ۰۱۲۰۴ وجود دارد که ۳۰٪ همه قطعاتی که به این نوع ماشین نیاز دارند از ماشین اول و ۷۰٪ بقیه از ماشین دوم می‌گذرند. یک ماتریس جدید فراوانی سفرها تهیه کنید.

ح. از ماتریس تهیه شده در قسمت ه) استفاده کرده و ماتریس از-به سفرها را تهیه کنید.

۱۰- یک تولید کننده بین‌المللی که در زمینه تولید قطعات الکتریکی فعالیت می‌کند، از پنج نوع تجهیزات (که در تمرین ۹ اشاره شد) استفاده می‌کند که در شکل ۳-۲۷ نشان داده شده است. مختصات پنج ماشین A, B, C, D و E به ترتیب (10, 7.5)، (20, 20)، (60, 12.5)، (35, 7.5) و (5, 20).

الف. ابعاد هر یک از تجهیزات را محاسبه کنید.

ب. جواب‌های حاصل از قسمت الف) و اطلاعات تمرین ۹ را جمع‌آوری کرده و فایل شبیه به شکل ۳-۲۵ تهیه کنید.

ج. با استفاده از نرم‌افزار صفحه گسترده، فاصله بین هر یک از ماشین‌آلات را به روش‌های ذیل محاسبه کنید:

- اقلیدسی.

- مجذور اقلیدسی.

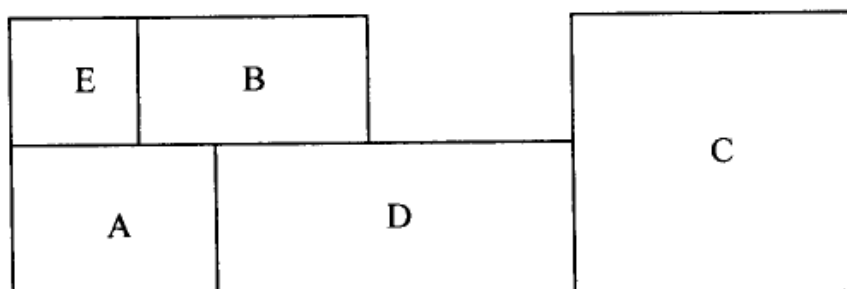
- مستطیلی.

- چبی شف.

د. با استفاده از فواصل محاسبه شده در قسمت ج) و ماتریس سفر که در قسمت و) تمرین ۹ تهیه شد، مجموع جریان و فواصل بین هر جفت تجهیزات (برای تک‌تک روش‌های اندازه‌گیری) را محاسبه کنید.

ه. با روش آزمون و خطا، طرح چیدمان شکل ۳-۲۷ را اصلاح کنید و طرح جدیدی ایجاد کنید به‌طوری که فواصل را نسبت به مقادیر محاسبه شده در قسمت د)

حداقل ۱۰٪ کاهش دهد. می‌توانید محل تجهیزات را تغییر دهید اما طول، پهنا و یا مساحت را نمی‌توانید تغییر دهید.



شکل ۳-۲۷. چیدمان فعلی کارخانه تولید قطعات الکتریکی

۱۱- مختصات x و y مرکز شش تا از تسهیلات به شرح ذیل است:

$$(x_1, y_1) = (26, 40)$$

$$(x_2, y_2) = (0, 23)$$

$$(x_3, y_3) = (26, 12)$$

$$(x_4, y_4) = (0, 0)$$

$$(x_5, y_5) = (15, 20)$$

$$(x_6, y_6) = (41, 0)$$

با استفاده از یک نرم‌افزار صفحه‌گستر، فاصله مراکز بین هر جفت از تسهیلات را به روش‌های ذیل تعیین کنید:

- اقلیدسی.
- مجذور اقلیدسی.
- مستطیلی.
- چبی شف.

۱۲- از مختصات x و y در تمرین ۱۱ برای رسم یک نمودار بلاکی استفاده کنید به‌طوری‌که:

- الف. تسهیلات ۲ و ۴ از طریق مرزهای افقی‌اشان با هم همسایه باشند.
- ب. تسهیلات ۲ و ۵، ۳ و ۵، و ۳ و ۶ از طریق مرزهای عمودی‌اشان با هم همسایه باشند.

فرض کنید که تسهیلات مربع یا مستطیلی شکل هستند. طول و عرض‌ها باید طوری تعیین شوند که تسهیلات روی هم نیفتند و همچنین شرایط الف) و ب) نیز رعایت شود. مشخص کردن یک چیدمان کافی است؛ گرچه ممکن است بیش از یک جواب شدنی وجود داشته باشد.

۱۳- ماتریس فراوانی سفرهای بین تسهیلات در شکل ۳-۱۲ را در نظر بگیرید. با توجه به فواصل محاسبه شده (با هر یک از روش‌ها) در تمرین ۱۱، فواصل زمانی جریان برای هر جفت از تسهیلات را محاسبه کنید. این مقادیر را جمع کرده و مشخص کنید که کدام یک از روش‌های اندازه‌گیری فاصله، کمترین مجموع فاصله زمانی جریان را اندازه می‌گیرد. شکلی که در تمرین ۱۲ به دست آورده بودید را تصحیح کنید به طوری که تسهیلات به هم نزدیک‌تر باشند و طرح بلاکی جدید، موجه و شدنی باشد. زمانی که محل تسهیلات را تعیین می‌کنید، سعی کنید فواصلی که همپوشانی دارند را تا ۱۵٪ کاهش دهید. توجه داشته باشید که باید شکل، طول و عرضی که در تمرین ۱۲ فرض کرده بودید را رعایت کنید. همچنین توجه داشته کنید که باید طرح‌های بلاکی متفاوت برای هر یک از روش‌های اندازه‌گیری تهیه کنید. محاسبات خود را با استفاده از بسته‌های نرم‌افزاری صفحه گسترده انجام دهید.

۱۴- تعیین کنید که استفاده از هر یک از ابزارهای ذیل برای ارائه چیدمان در چه موقعیت‌هایی مناسب‌تر است:

- نقشه‌های دستی.
- شابلون‌ها.
- مدل‌های فیزیکی سه بعدی.
- نقشه‌های CAD.

۱۵- ماتریس اطلاعات مسیر-قطعه در شکل ۳-۲۱ را در نظر بگیرید. فرض کنید که دو نوع وسیله انتقال مواد -لیفتراک چنگکی و AGV- برای انتقال مواد استفاده می‌شوند. همچنین فرض کنید که AGV می‌تواند ۲۰ واحد از هر نوع قطعه را انتقال دهد در

حالی که لیفتراک می تواند تنها ۱۰ واحد را منتقل کند. AGV برای انتقال همه قطعات به / از ماشین ۶ استفاده می شود. لیفتراک برای انتقال مواد و قطعات باقی مانده استفاده می شود. ماتریس جدید فراوانی سفرها را محاسبه کنید. ماتریس جدید را با ماتریس شکل ۳-۲۲ مقایسه کنید.

۱۶- پروژه: دیسکت ضمیمه حاوی داده های مربوط به مسیر-قطعه، مشابه با اطلاعات شکل ۳-۱۸ است. از یک بسته نرم افزاری صفحه گسترده برای ایجاد این اطلاعات استفاده کنید:

الف. فهرست منظمی از قطعات و ماشین هایی که استفاده می شوند (مانند شکل ۳-۲۰).

ب. یک ماتریس اطلاعات مسیر-قطعه (مقادیر منطقی برای میزان تقاضای قطعات و اندازه دسته فرض کنید).

ج. ماتریس جریان.

رویکردهای سنتی برای چیدمان تسهیلات

۴-۱ مقدمه

در مورد اینکه مسائل چیدمان و مکان‌یابی جزء مسائل طراحی قرار می‌گیرد یا بهینه‌سازی، بحث‌هایی صورت گرفته است. (Simon (1975 پیشنهاد کرده است که مسائل چیدمان جزء مسائل طراحی به حساب آورده شود و مسائل مکان‌یابی جزء مسائل بهینه‌سازی. برای مسائل طراحی هیچ‌گونه راه‌حل یا راه‌حل‌های بهینه‌ای به‌درستی تعریف نشده است (همان‌طور که در فصل ۱ اشاره شد، یک راه‌حل برای یک مساله در صورتی بهینه است که هیچ راه‌حل ممکن دیگری با در نظر گرفتن همه ضوابط و معیارهای انتخاب شده، از آن بهتر نباشد). طراحان در پی یافتن نه فقط یک راه‌حل بهینه بلکه راه‌حل‌های قابل قبول هستند. مسائل طراحی اغلب به وسیله ترکیب عناصر تصمیم‌گیری‌ای حل می‌شوند که برگزیده، جامع و تجربی باشند (Simon, 1975). بنابراین اختلاف در طرح‌ها نه تنها به طراحان بستگی دارد بلکه به برنامه و روش رسیدن به طرح نهایی نیز وابسته است. در این بخش در مورد استراتژی‌های متداول طراحی تسهیلات که به این اختلافات نیز اشاره می‌کند، بحث می‌شود. از طرف دیگر، برای مسائل بهینه‌سازی، راه‌حل یا راه‌حل‌های تعریف شده بهینه وجود دارد. برای این‌گونه مسائل -یا به‌طور دقیق‌تر، حداقل برای نمونه‌های کوچکی از این قبیل مسائل- برنامه‌ها یا تکنیک‌های تعریف شده می‌توانند حداقل یک راه‌حل بهینه ارائه دهند.

Francis, McGinnis and White (1992) معتقدند که باید با مسائل مکان‌یابی هم مانند مسائل طراحی برخورد شود، زیرا برخی خصوصیات مسائل طراحی در آنها به چشم می‌خورد. برای مسائل چیدمان تسهیلات، طراح همواره به دنبال بهترین چیدمان است؛ به‌طور مشابه، مسائل مکان‌یابی تسهیلات نیز در جستجوی بهترین مکان برای تسهیلات هستند. به نظر Francis, McGinnis and White (1992) هرچند ممکن است مسائل مکان‌یابی دقیق‌تر از مسائل چیدمان فرمول‌بندی شوند باز هم نباید مسائل مکان‌یابی را به‌عنوان مسائل بهینه‌سازی در نظر گرفت. در حقیقت، بسیاری از فاکتورهای کیفی در فرمول‌بندی ریاضی نادیده گرفته می‌شوند؛ به همین دلیل است که معمولاً طراحان مختلف به طرح‌های متفاوتی می‌رسند.

به نظر نویسنده کتاب، مسائل چیدمان و مکان‌یابی هر دو، شامل عناصری از طراحی و همچنین عناصری از بهینه‌سازی هستند. در نتیجه هیچ‌کدام از آن دو را نمی‌توان جزء مسائل صرفاً طراحی یا صرفاً بهینه‌سازی دسته‌بندی کرد. برای نشان دادن این موضوع، مثالی از دنیای واقعی ارائه می‌شود. در یک کارخانه، تحلیل‌گران تسهیلات وظیفه داشتند یک واحد تولیدی مکانیزه جدید را طراحی مجدد کنند. آنها ماشین‌ها و ایستگاه‌های کاری را بر اساس اندازه - بزرگ، کوچک و متوسط - دسته‌بندی کردند. طرح نهایی که توسط بالاترین سطح مدیریت تصویب شد، ماشین‌های بزرگ در قسمتی معین از زمین کارخانه مستقر شدند. ماشین‌های متوسط در همسایگی آنها قرار داده شدند و ماشین‌های کوچک را نزدیک ماشین‌های متوسط قرار دادند. هیچ توجهی به جریان مواد و یا ضوابط فهرست شده در بخش ۱-۲ نشده بود! حال اگر مساله چیدمان، فقط به عنوان یک مساله طراحی مد نظر قرار گیرد، این طرح قابل قبول خواهد بود، اما پر واضح است که چنین طرحی موجب به‌وجود آمدن مشکلاتی از قبیل ازدحام در رفت‌وآمد و وقفه‌های طولانی در جابه‌جایی مواد خواهد شد. از طرف دیگر، اگر به مساله چیدمان، فقط به عنوان یک مساله بهینه‌سازی نگاه شود که در آن هدف، یافتن محل بهینه ماشین‌ها و ایستگاه‌های کاری باشد به‌طوری‌که هزینه‌های جابه‌جایی مواد حداقل شود، باز هم طرح پیشنهادی نادرست خواهد بود؛ زیرا در این طرح بعضی از فاکتورهای مهم دیگر در نظر گرفته نخواهد شد. برای فرمول‌بندی مساله چیدمان (و حل آن) با روش‌های ریاضی، تحلیل‌گران، محدودیت‌هایی در مدل ریاضی قرار

می‌دهند و از فاکتورهایی که به سختی به مدل ریاضی تبدیل می‌شوند چشم‌پوشی می‌کنند. برای مثال، مساله تخصیص نمایی^۱ (QAP) که اغلب برای فرمول‌بندی مسائل چیدمان به کار می‌رود، تسهیلات را مربع‌هایی با مساحت برابر فرض می‌کند.

بنابراین مسائل چیدمان و مکان‌یابی -هر دو- شامل عناصری از طراحی و عناصری از بهینه‌سازی هستند. برای درک این مطلب، در اینجا روش حل مسائل طراحی و بهینه‌سازی مورد بررسی قرار می‌گیرد. معمولاً در هر دو مورد، با طی دو مرحله، دستیابی به طرح نهایی میسر می‌شود. در مرحله اول، مساله، به عنوان یک مساله بهینه‌سازی فرمول‌بندی می‌شود (پس از در نظر گرفتن فرض‌هایی که به وسیله آنها بتوان مساله را فرمول‌بندی کرد و مهم‌تر از آن، بتوان مساله را به وسیله یک الگوریتم مناسب حل کرد)؛ سپس چند راه‌حل اولیه به کمک تکنیک‌های بهینه‌سازی تولید می‌شود. در مرحله دوم فاکتورهایی که در مدل در نظر گرفته نشده بودند را وارد کرده مدل اولیه اصلاح می‌شود. سپس طراح، طرح رضایت‌بخش را انتخاب می‌کند. از آنجا که این مرحله بیشتر حالت ارضاء‌کننده دارد تا حالت بهینه‌سازی، دارای مشخصات مسائل طراحی است. خلاصه اینکه مسائل چیدمان و مکان‌یابی، دارای هر دو مشخصه طراحی و بهینه‌سازی هستند.

در عمل، تحلیل‌گران علاقه دارند به مساله چیدمان مانند یک مساله طراحی صرف، نگاه کنند. در این فصل، از بین رویکردهای اساسی مختلف، سه رویکردی مورد بررسی قرار می‌گیرد که به مساله چیدمان، از دید طراحی نگاه می‌کنند. امید است پس از مطالعه این کتاب، خواننده متوجه شود که مسائل چیدمان و مکان‌یابی -هر دو- شامل عناصری از طراحی و عناصری از بهینه‌سازی هستند، و با این مسائل به درستی برخورد کند. در این بخش، مساله چیدمان به عنوان یک مساله طراحی و در بخش‌های ۵، ۶ و ۷ به عنوان یک مساله بهینه‌سازی مورد مطالعه قرار می‌گیرد.

در اینجا، در مورد دو روش طراحی تسهیلات به تفسیر بحث خواهد شد. روش اول، برنامه‌ریزی سیستماتیک چیدمان نامیده می‌شود، که تا به حال عملاً معروف‌ترین روش بوده است. با وجود اینکه این روش در سال‌های ۱۹۶۰ رواج پیدا کرده است،

حتی امروزه هم بسیار مورد استفاده قرار می‌گیرد! نرم‌افزارهایی نیز وجود دارند که این روش را پشتیبانی می‌کنند (مثل Factory PLAN). این روش بر اساس دو روشی است که، توسط Reed (1961) و Apple (1977) پایه‌ریزی شده است. این روش‌ها در دوره‌های مختلف، بسیار مورد استفاده قرار گرفته‌اند که در ضمیمه این بخش مختصراً توضیح داده شده‌اند. روش دوم، روش مهندسی طراحی است، که مسائل طراحی چیدمان را شامل می‌شود.

۴-۲ برنامه‌ریزی سیستماتیک چیدمان^۱

دلیل اصلی که سبب شده است برنامه‌ریزی سیستماتیک چیدمان (SLP) با گذشت بیش از ۳۰ سال هنوز هم مورد استفاده قرار گیرد، رویکرد گام به گام و مرحله‌ای آن برای طراحی تسهیلات است. این روش شامل ۴ مرحله است که در شکل ۴-۱ به تصویر کشیده شده است.

مرحله ۱: تعیین محل استقرار تسهیلات

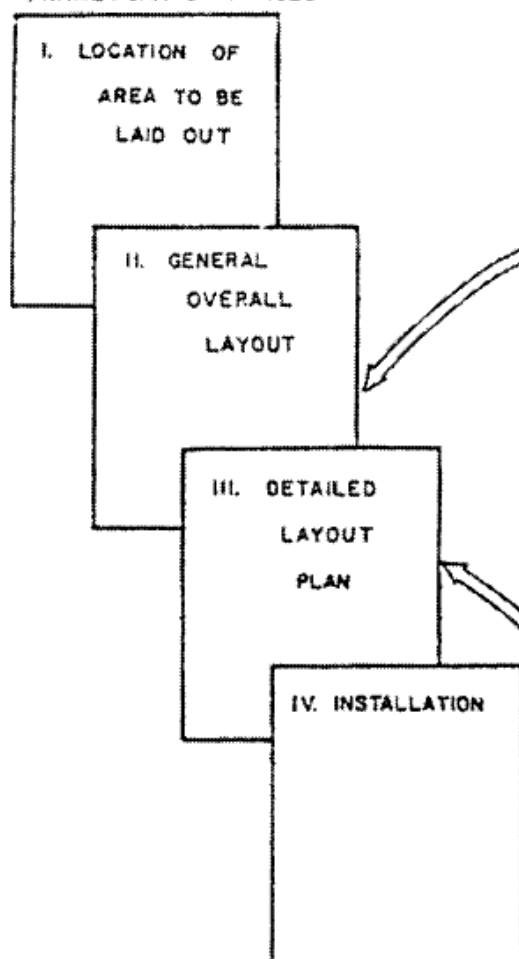
در مرحله ۱، باید محل تسهیلات مشخص شود. مثلاً، تعیین می‌شود که ماشینی باید در قسمت شمالی ساختمان، در قسمت شرقی، یا در یک ساختمان جدید در نزدیکی ساختمان اصلی قرار گیرد. این مرحله، آسان‌ترین مرحله است.

مرحله ۲: تعیین طرح کلی چیدمان

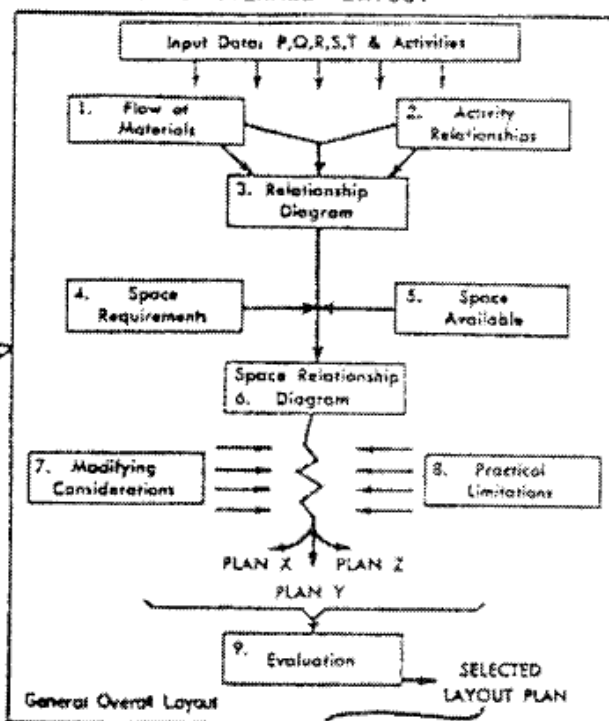
در این مرحله، طراح با تعیین جریان مواد بین تسهیلات، نیازهای همسایگی بخش‌ها نسبت به هم، فضای مورد نیاز برای هر یک از تسهیلات، هماهنگ کردن آن با فضای در دسترس، وارد کردن محدودیت‌های عملی (مثلاً، بودجه، امنیت) و بالاخره تولید حداکثر پنج گزینه برای برنامه چیدمان درگیر است. پس از تعیین موارد فوق، گزینه‌ها از نظر هزینه و سایر ملاحظات دیگر ارزیابی شده و یکی از آنها انتخاب می‌شود.

SLP PATTERN
IN PHASES

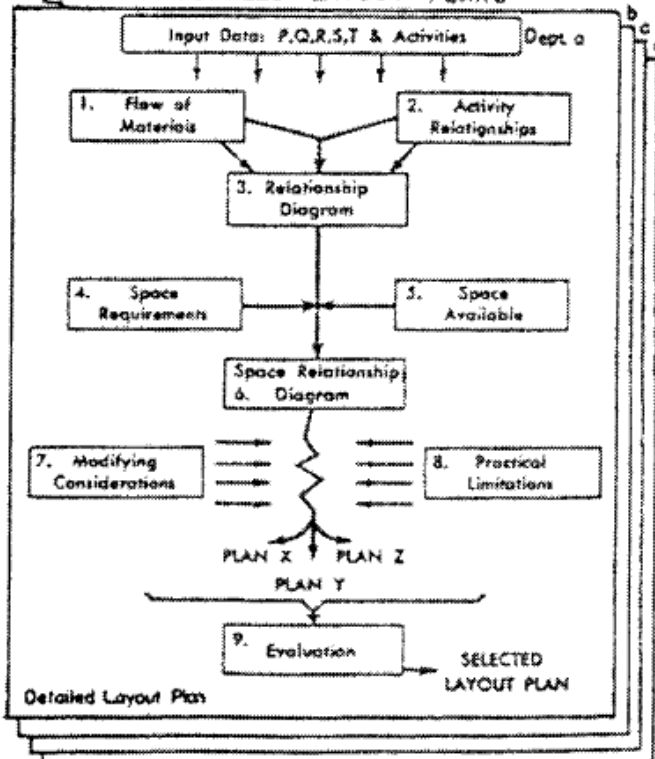
FRAMEWORK OF PHASES



II. GENERAL OVERALL LAYOUT



III. DETAILED LAYOUT PLANS



Systematic Layout Planning in phase. The pattern of procedures followed to plan the General Overall Layout is essentially repeated to plan the Detailed Layout Plan—once for each area or department involved. This pattern fits into the framework of four phases as Phases II and III.

شکل ۴-۱. ارائه تصویری از چگونگی تکنیک SLP

منبع با اجازه از (Muther 1973)

مرحله ۳: تعیین جزئیات برنامه چیدمان

با تعیین موقعیت‌های نسبی دپارتمان‌ها در مرحله ۲، در این مرحله جزئیات مربوط به چیدمان و محل هر کدام از ماشین‌ها، تجهیزات کمکی، خدمات پشتیبانی، از جمله استراحتگاه‌ها، نشیمنگاه‌ها، ایستگاه‌های بازرسی و اتاق‌های شارژ باتری تعیین نمی‌شود. چیدمان دپارتمان‌ها و خدمات پشتیبانی در مرحله ۳ همراه با جزئیات تهیه می‌شود. رویه کار برای تهیه چیدمان‌های مختلف در این مرحله درست مانند مرحله ۲ است با این تفاوت که در مرحله ۲ چیدمان دپارتمان‌ها تعیین می‌شد، در حالی که در مرحله ۳ با چیدمان ماشین‌ها و سایر تجهیزات جانبی در هر دپارتمان سرو کار داریم.

مرحله ۴: نصب چیدمان منتخب

چیدمان انتخاب شده با همه جزئیاتش باید توسط تمام افراد مربوطه، کارکنان زیربط، سرپرستان و مدیران تأیید شود. سپس چیدمان نهایی آماده می‌شود. نقشه‌ها باید تمام جزئیات ممکن را نشان بدهند، زیرا در آینده از آنها در پیاده‌سازی تسهیلات جدید استفاده می‌شود. در مرحله ۴ سرمایه و زمان کافی برای پیاده‌سازی چیدمان جدید تخصیص داده می‌شود و جابه‌جایی دقیق ماشین‌آلات صورت می‌گیرد.

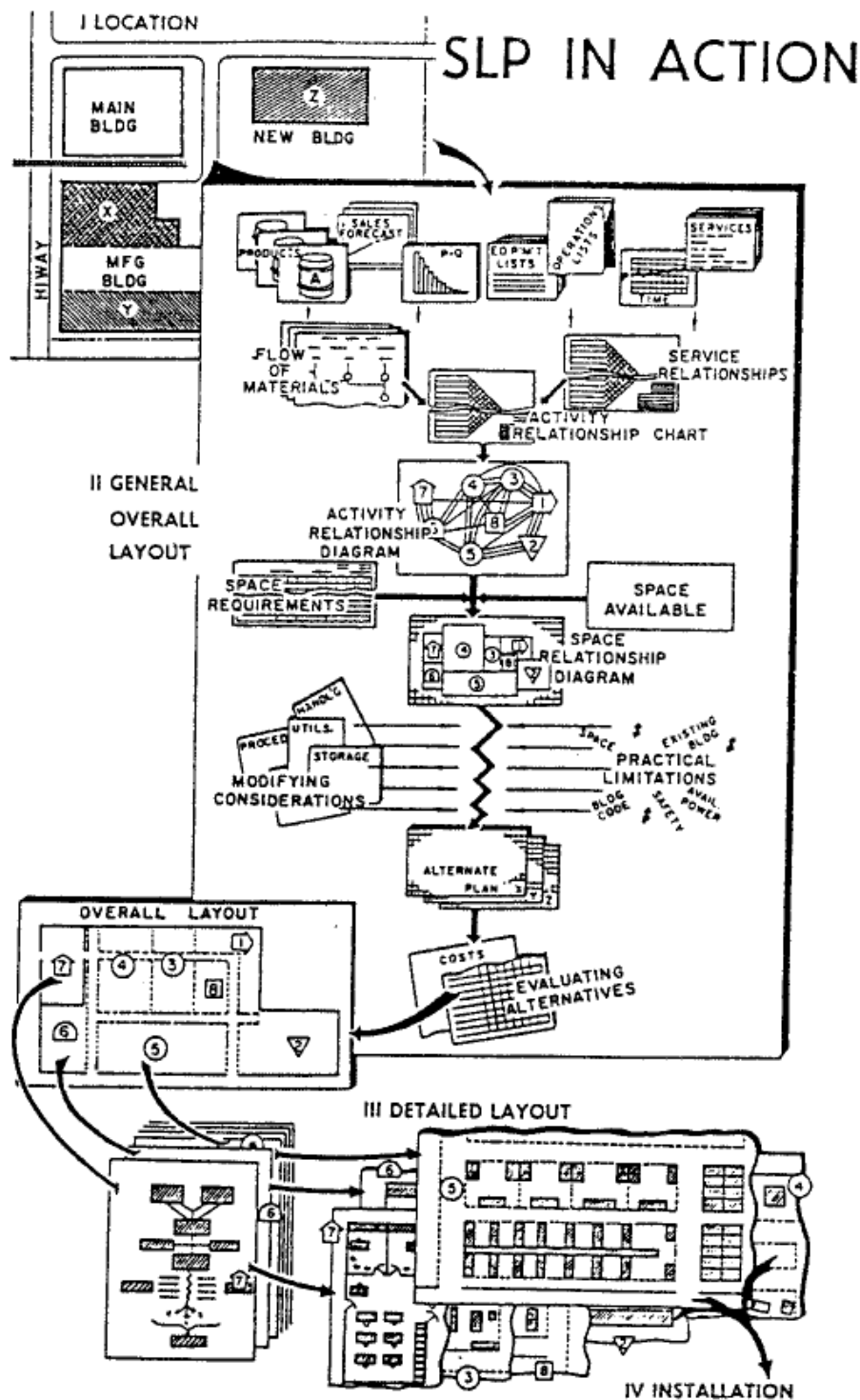
زمانی که تکنیک SLP توضیح داده می‌شود، نحوه انجام مراحل ۲ و ۳ به دلیل اهمیت، بیشتر مشخص خواهد شد. همان‌طور که اشاره شد، در مرحله ۱ محل تسهیلات تعیین می‌شود. مرحله ۴، شامل حرکت دادن تسهیلات به محل جدید است. رویه‌ای که در SLP وجود دارد تا چیدمان کلی و جزئی در مراحل ۲ و ۳ را به وجود آورد، در شکل ۴-۲ به تصویر کشیده شده است. داده‌های ورودی مورد نیاز در SLP به دسته ذیل طبقه‌بندی می‌شوند:

محصول^۱ (P). نوع محصولاتی که قرار است تولید شوند.

کمیت^۲ (Q). تعداد و حجم تولید هر نوع از قطعات.

مسیریابی^۳ (R). توالی عملیات برای تولید هر نوع قطعه.

خدمات^۱ (S). خدمات پشتیبانی، کمدها، ایستگاههای بازرسی و از این قبیل.
 زماندهی^۲ (T). هر نوع قطعه در چه زمانی تولید شود؟ در این زمان چه ماشینی
 مورد استفاده قرار می گیرد؟



شکل ۴-۲. مراحل چهارگانه تکنیک SLP منبع با اجازه از (Muther 1973)

زمانی که تکنیک SLP توضیح داده می‌شود به شکل ۴-۱ رجوع کنید. با داشتن داده‌های P-Q-R، ماتریس از-به جریان ساخته می‌شود (مستطیل ۱). این ماتریس میزان جریان مواد بین هر جفت از ماشین‌آلات را نشان می‌دهد. همچنین با داشتن داده‌های P-Q-S، نمودار رابطه فعالیت‌ها به دست می‌آید (مستطیل ۲). سپس نمودار روابط، از روی ماتریس جریان و نمودار رابطه فعالیت‌ها کشیده می‌شود. همان‌طور که در بخش ۳ اشاره شد، این نمودار به تحلیل گر کمک می‌کند تا روابط بین ماشین‌آلات مختلف را درک کند. از روی داده‌های کمی جریان و روابط کیفی، ماشین‌ها با خطوطی به هم وصل می‌شوند به‌طوری که تعداد و ضخامت خطوط، با توجه به میزان همسایگی جفت ماشین‌ها تعیین می‌شود. مثلاً چهارخط هنگامی بین دو ماشین کشیده می‌شود که دو بخش یا با هم ارتباط A داشته باشند و یا جریانی در حدود ۱۰٪ بیشترین جریان بین بخش‌ها در جدول از-به داشته باشند. سه‌خط برای زمانی است که دو ماشین ارتباط نوع E داشته و یا جریانی بین ۱۰٪ تا ۳۰٪ بیشترین مقدار جریان در جدول از-به را داشته باشند. البته این درصدها بسته به نیاز، ممکن است تغییر کنند. همچنین به جای استفاده از ۲، ۳ یا ۴ خط می‌توان به ترتیب از خطوط نازک یا کلفت یا خیلی کلفت استفاده نمود.

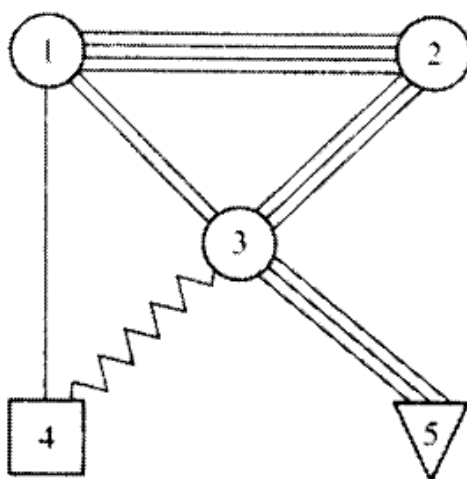
به غیر از درصدها و یا ضخامت و نازکی خطوط ارتباط، آنچه مهم است ترکیب اطلاعات ماتریس از-به جریان و نمودار رابطه فعالیت‌ها برای تهیه نمودار روابط است. با وجود اینکه این نمودار، چیدمان نهایی را تولید نمی‌کند می‌تواند اطلاعات اولیه‌ای در مورد اینکه کدام بخش‌ها باید (کدام یک نباید) نزدیک هم قرار گیرند و اینکه ماشین‌ها چگونه در کنار هم قرار گیرند در اختیار می‌گذارد؛ در نتیجه، می‌توان یک چیدمان خوب ارائه داد.

با وجود اینکه پیشنهاد شده که نمودار روابط از روی ماتریس از-به جریان مواد و نمودار رابطه فعالیت‌ها تهیه شود، در بحث بعدی فقط از نمودار رابطه فعالیت‌ها فعالیت‌های شکل ۳-۱۰ استفاده شده تا نمودار روابط شکل ۴-۳ تهیه شود. توجه کنید که خطوط در نمودار روابط، نشان‌دهنده میزان نزدیکی مطلوب بین دپارتمان‌هاست. اگر

یک جفت از بخش‌ها ارتباط A داشته باشند، با چهار خط به هم ارتباط می‌یابند

همین‌طور در صورتی که ارتباط آنها از نوع E، I و O باشد به ترتیب به وسیله ۲، ۳ و

۱ خط به هم وصل می‌شوند. تسهیلاتی که ارتباط نوع U دارند، اصلاً به هم وصل نمی‌شوند (مثل تسهیلات ۴ و ۵)؛ آنهایی که ارتباط نوع X دارند، با خطوط زیگزاگ به هم وصل می‌شوند. همچنین علائم ASME که در شکل ۲-۱۴ نشان داده شده‌اند برای مشخص کردن فعالیت‌ها (دپارتمان‌ها یا تسهیلات) در نمودار روابط نیز به کار می‌روند.



شکل ۴-۳. نمودار روابط پنج فعالیت (برگرفته از نمودار رابطه فعالیت شکل ۳-۱۰)

دانستن میزان فضای در دسترس و احتیاجات فضا، برای ساختن یک چیدمان معنی‌دار، ضروری است. بنابراین تعیین آنها گام بعدی است (مستطیل ۴). سپس باید فهرستی از کل ماشین‌آلات و دپارتمان‌ها تهیه کرده و فضای مورد نیاز برای هر یک را محاسبه نمود. البته همان‌طور که در بخش ۲ بحث شد، باید فضای مورد نیاز برای اپراتورها، فضای مورد نیاز برای مواد، وسایل حمل‌ونقل و تجهیزات جانبی را نیز در نظر گرفت. یک نمونه از این فهرست را در شکل ۴-۴ می‌توانید مشاهده کنید.

گام بعدی در تکنیک SLP مشخص کردن فضای در دسترس، تعیین محدودیت‌های استفاده از بخش‌های مختلف فضا (مثلاً اگر در جایی ستون وجود دارد و اجازه استفاده از کل فضا را نمی‌دهد) و هر فاکتور دیگری است که باید در رابطه با فضا در نظر گرفت (مستطیل ۵). مستطیل‌های ۴ و ۵ و نمودار روابط در مرحله بعد برای تهیه نموداری به نام نمودار روابط فضایی^۱ استفاده می‌شوند (مستطیل ۶). یک نمونه از نمودار روابط فضایی در شکل ۴-۷ نشان داده شده است.

نام ماشین	کد ماشین	مساحت واقعی = طول × عرض	تجهیزات کمکی = طول × عرض	مساحت ابراتور = طول × عرض	مساحت مواد = طول × عرض	زیرمجموع	فراخی اضافی = %۱۰۰	کل مساحت بر ماشین	تعداد ماشین ها	کل مساحت بر نوع ماشین
تراش	۱۲۰۴	$۱۵ \times ۲ = ۳۰$	$۲ \times ۲ = ۴$	$۶ \times ۲ = ۱۲$	$۳ \times ۳ = ۹$	۵۵	۵۵	۱۱۰	۲	۲۲۰
سنگ زن	۱۲۰۵	$۲۰ \times ۵ = ۱۰۰$	$۴ \times ۴ = ۱۶$	$۱۵ \times ۳ = ۴۵$	$۴ \times ۴ = ۱۶$	۱۷۷	۱۷۷	۳۵۴	۱	۳۵۴
دریل	۲۰۰۵ L	$۹ \times ۹ = ۸۱$	$۳ \times ۳ = ۹$	$۳ \times ۳ = ۹$		۹۹	۹۹	۱۹۸	۲	۳۹۶
فرز	۲۰۰ ST	$۹ \times ۱۱ = ۹۹$	$۲ \times ۶ = ۱۲$	$۲ \times ۶ = ۱۲$	$۲ \times ۲ = ۴$	۱۲۷	۱۲۷	۲۵۴	۱	۲۵۴
پرس سوراخ کن	۲۰۰۸	$۲ \times ۵ = ۱۰$		$۲ \times ۵ = ۱۰$		۲۰	۲۰	۴۰	۴	۱۶۰
									مساحت کل	۱۳۸۴

شکل ۴-۴. برگ احتیاجات فضای ایستگاه کاری (مساحت بر فوت مربع)

در شکل ۴-۶ نمودار روابط فعالیت آن نیز رسم شده است. توجه کنید که این نمودار علاوه بر نشان دادن همسایگی جفت ماشین‌ها، فضای مورد نیاز را نیز تعیین می‌کند. بعد از در نظر گرفتن مسائل دیگر (مثلاً روش‌های انتقال مواد، تجهیزات انبارداری و از این قبیل) و محدودیت‌های موجود (مثلاً هزینه، میزان انرژی در دسترس، ساختار ساختمان‌های موجود و ستون‌ها و کارکنان و تجهیزات ایمنی و از این قبیل) و به حساب آوردن آنها، نمودار روابط فضایی تصحیح شده، حدود پنج گزینه برای چیدمان تولید می‌کند. تولید گزینه‌های بیشتر وقت‌گیر است و این اطلاعات و ایده جدیدی به ما نخواهد داد. سپس این گزینه‌ها از نظر هزینه و دیگر فاکتورهای نامحسوس بررسی شده و بهترین آنها انتخاب می‌شود.

در مرحله ۳ همین روند دنبال می‌شود به جز اینکه حالا با جزئیات سروکار خواهیم داشت. در انتهای مرحله ۳ چیدمانی خواهیم داشت که مکان‌های همه بخش‌ها به همراه جزئیات آنها را در بر دارد. این اطلاعات برای تهیه نقشه اجزاء و جزئیات که برای تعیین مکان تک‌تک تسهیلات لازم است، استفاده می‌شود.

۴-۳ پروژه برنامه‌ریزی اداری برای یک شرکت امداد املاک^۱

در این بخش، درباره یک پروژه چیدمان اداری که بسیاری از ایده‌های تکنیک SLP در آن استفاده شده است صحبت می‌کنیم. برنامه متعلق به یک شرکت رهنی متوسط (از نظر اندازه) به نام مورت امریکا^۲ است. معمولاً چهار مرحله اساسی در برنامه‌ریزی اداری دخیل هستند:

- ارزیابی.
- برنامه‌ریزی.
- انتخاب محل.
- طراحی و چیدمان.

ارزیابی. این مرحله در ابتدا شامل تصمیم‌گیری در مورد هزینه ساختمان، اجاره، و

دکوراسیون داخلی و اثاثیه است. به علاوه مسائلی از قبیل خدمات مشتری، بازاریابی، عملیات و نقشه کلی ارزیابی می‌شوند. اولین گام ضروری، بازنگری عملیات اداره است، چرا که مشخص می‌شود که نقشه جدید اداره خوب و مناسب است یا خیر. سوالاتی در این مرحله مطرح می‌شوند که در بخش ۲ بحث شد و دوباره در اینجا تکرار می‌شود.

- آیا این فضا برای سازمان کافی است؟
 - آیا فضای در دسترس گران قیمت است؟
 - آیا ساختمان در محل مناسبی واقع شده است؟
 - چیدمان جدید چه تاثیری روی سازمان دارد؟
 - عملیاتی که در سازمان انجام می‌شوند متمرکز هستند یا خیر؟
 - آیا ساختار اداری از برنامه استراتژیک سازمان پیروی می‌کند؟
 - آیا چیدمان اداری با تصورات شرکت هم‌خوانی دارد و هماهنگ است؟
- برای شرکت اجاره املاک، چهار سوال ذیل مطرح هستند:
- الف) آیا به‌طور مشخص عملیات کمک‌رسانی به املاک در این شرکت در حال افزایش است؟

- ب) آیا هزینه اجاره دادن یا بازسازی فضای داخلی بسیار بالا است؟
- ج) مشکلی با محل فعلی وجود دارد یا خیر؟ برای مثال:
- فضای کافی برای توسعه وجود ندارد.
 - مسائل دیگری در رابطه با شرکت نظیر موسسات مالی و یا رستوران در نزدیکی شرکت وجود ندارد.
 - فضای لازم برای پارکینگ وجود ندارد.
 - ترافیک بسیاری وجود دارد.
- آیا تغییر محل اداره کار را بهبود می‌دهد یا خیر؟

برنامه‌ریزی. برنامه‌ریزی مهمترین مرحله پروژه است؛ زمان‌برترین مرحله نیز است. در

طول این مرحله رمال ریادلی صرف می‌سود. همچنین کلیت طرح‌ها و چیدمان در مرحله ۴ بستگی زیادی به دقت و برنامه‌ریزی مرحله ۲ دارد. مرحله ۲ از چهار گام

جداگانه تشکیل می‌شود:

الف) مرور موارد استفاده از فضای فعلی. در این قسمت، موجودی فضای فعلی با مشاهده هر دپارتمان در شرکت تعیین می‌شود. مثلاً در این اداره، دپارتمان‌ها عبارتند از:

- خدمات مشتری.
- بازاریابی.
- کنترل اعتبار.
- عملیات / ممیزی.
- مدیریت ارشد.

علاوه بر دپارتمان‌ها، خدمات پشتیبانی نیز باید در نظر گرفته شوند؛ مثل اتاق استراحت، فضای انتظار مشتری، اتاق‌های کنفرانس و از این قبیل. مساحت واقعی از فضای مورد نیاز (با در نظر گرفتن راهروها و دیوارها) برای همه بخش‌ها و خدمات پشتیبانی باید محاسبه شود.

ب) مشخص کردن طرح فضا. این قسمت نیز کار حساسی است. برنامه استراتژیک یک شرکت باید در طراحی احتیاجات فضا در نظر گرفته شود چون دیدگاه خوبی از اینکه سازمان در آینده به کجا کشیده خواهد شد به ما می‌دهد؛ ضمناً برای ما مشخص کند که چه نوع ساختار سازمانی باید در این سازمان وجود داشته باشد. ممکن است برای ما مشخص کند که در آینده تاکید بر کدام بخش‌ها خواهد بود، کدام بخش‌ها نقش کمتری خواهند داشت، کدام بخش‌ها در آینده توسعه پیدا می‌کنند، کدام یک کوچک می‌شوند و کدام بخش‌ها با یکدیگر ادغام می‌شوند. از روی ساختار سازمانی برنامه‌ریزی شده، صف و ستاد مشخص می‌شوند. کمک گرفتن از مدیریت ارشد در این مرحله بسیار ضروری است زیرا آنها کسانی هستند که با توجه به آینده شرکت تصمیمات استراتژیک را خواهند گرفت.

برای پیش‌بینی احتیاجات نیروی انسانی باید کلیه طبقات نیروی انسانی را فهرست کرد و تعداد افراد هر طبقه را مشخص نمود. گام بعدی تصمیم‌گیری در مورد فضای مورد نیاز برای این کارکنان است. یک نرم‌افزار صفحه‌گسترده برای تخمین فضای مورد نیاز برای این کارکنان بسیار مفید است. جدول ۴-۱ صفحه‌گسترده شرکت مورت آمریکا است. توجه کنید که این جدول، احتیاجات فضای فعلی برای کارکنان را نیز

فهرست کرده است.

جدول ۴-۱. احتیاجات فضای فعلی و پیش بینی شده برای کل کارکنان در مورت امریکا (ادامه در صفحه بعد)

طبقات کارکنان و تعداد در هر طبقه						
نام دپارتمان	احتیاجات فعلی / آینده	اجرایی ارشد	ستادی ارشد	ستادی	منشی / دفتری	فضای خالص مورد نیاز
فضای ناخالص، ٪۱۵۰ فضای خالص						
خدمات مشتری (CS)	فضا/کارکنان فعلی	۱۵۰	۱۰۰	۷۵		
	تعداد کارکنان	۱	۴	۱		
	کل فضا/ طبقه فعلی	۱۵۰	۴۰۰	۷۵		۶۲۵
	فضا/کارکنان آینده		۱۲۰	۷۵		
	تعداد کارکنان		۶	۱		
	فضا/ طبقه آینده		۷۲۰	۷۵		۷۹۵
	۱۱۹۳					
پردازش رهن / بازاریابی (MP/M)	فضا/کارکنان فعلی	۲۰۰	۱۰۰	۷۵		
	تعداد کارکنان	۲	۱۰	۲		
	کل فضا/ طبقه فعلی	۴۰۰	۱۰۰۰	۱۵۰		۱۵۵۰
	فضا/کارکنان آینده	۲۵۰	۲۰۰	۷۵		
	تعداد کارکنان	۱	۱۵	۱		
	فضا/ طبقه آینده	۲۵۰	۲۰۰	۷۵		۲۰۲۵
	۳۰۳۸					
کنترل اعتبار (CC)	فضا/کارکنان فعلی		۱۰۰	۷۵		
	تعداد کارکنان		۱۰	۱		
	کل فضا/ طبقه فعلی		۱۰۰۰	۷۵		۱۰۷۵
	فضا/کارکنان آینده		۸۰			
	تعداد کارکنان		۵			
	فضا/ طبقه آینده		۴۰۰			۴۰۰
	۶۰۰					
عملیات / ممیزی (O/A)	فضا/کارکنان فعلی	۲۰۰	۱۰۰	۹۰	۷۵	
	تعداد کارکنان	۲	۴	۱۵	۵	
	کل فضا/ طبقه فعلی	۴۰۰	۴۰۰	۱۳۵۰	۳۷۵	۲۵۲۵
	فضا/کارکنان آینده	۲۵۰	۱۰۰	۱۰۰	۷۵	
	تعداد کارکنان	۳	۴	۲۰	۲	
	فضا/ طبقه آینده	۷۵۰	۴۰۰	۲۰۰۰	۱۵۰	۳۳۰۰
	۴۹۵۰					

جدول ۴-۱. (ادامه)

طبقات کارکنان و تعداد در هر طبقه						
نام دپارتمان	احتیاجات فعلی / آینده	اجرایی ارشد	ستادی ارشد	ستادی دفتری	منشی / دفتری	فضای خالص مورد نیاز
مدیریت ارشد (TM)	فضا/کارکنان فعلی	۲۵۰	۲۰۰	۱۰۰		
	تعداد کارکنان	۵	۲	۵		
	کل فضا/ طبقه فعلی	۱۲۵۰	۴۰۰	۵۰۰		۲۱۵۰
	فضا/کارکنان آینده	۱۲۵۰	۲۰۰	۱۰۰		
	تعداد کارکنان	۵	۴	۸		
	فضا/ طبقه آینده	۱۲۵۰	۸۰۰	۸۰۰		۲۸۵۰
	اختتام/ تایید (C/U)		۱۸۵	۱۰۰		
	تعداد کارکنان	۱	۱	۳		
	کل فضا/ طبقه فعلی	۱۸۵	۱۸۵	۳۰۰		۵۸۵
	فضا/کارکنان آینده	۱۸۵	۱۰۰	۱۰۰		
	تعداد کارکنان	۱	۱	۳		
	فضا/ طبقه آینده	۱۸۵	۱۸۵	۳۰۰		۵۸۵
کل فضای فعلی		۱۶۵۰	۱۵۳۵	۴۰۵۰	۱۲۷۵	۸۵۱۰
کل فضای آینده		۲۲۵۰	۱۵۸۵	۴۹۲۰	۱۲۰۰	۹۵۵۹

هنگامی که در مورد احتیاجات فضا (برای حال یا آینده) تصمیم می‌گیریم باید فرضیات به‌خصوصی برای انواع ادارات در نظر بگیریم. برای مثال، بخش اجرایی و مافوق آنها عموماً ترجیح می‌دهند که ساختار نیمه‌بسته داشته باشند. در صورتی که برای منشی‌ها معمولاً ساختار باز مطلوبیت دارد.

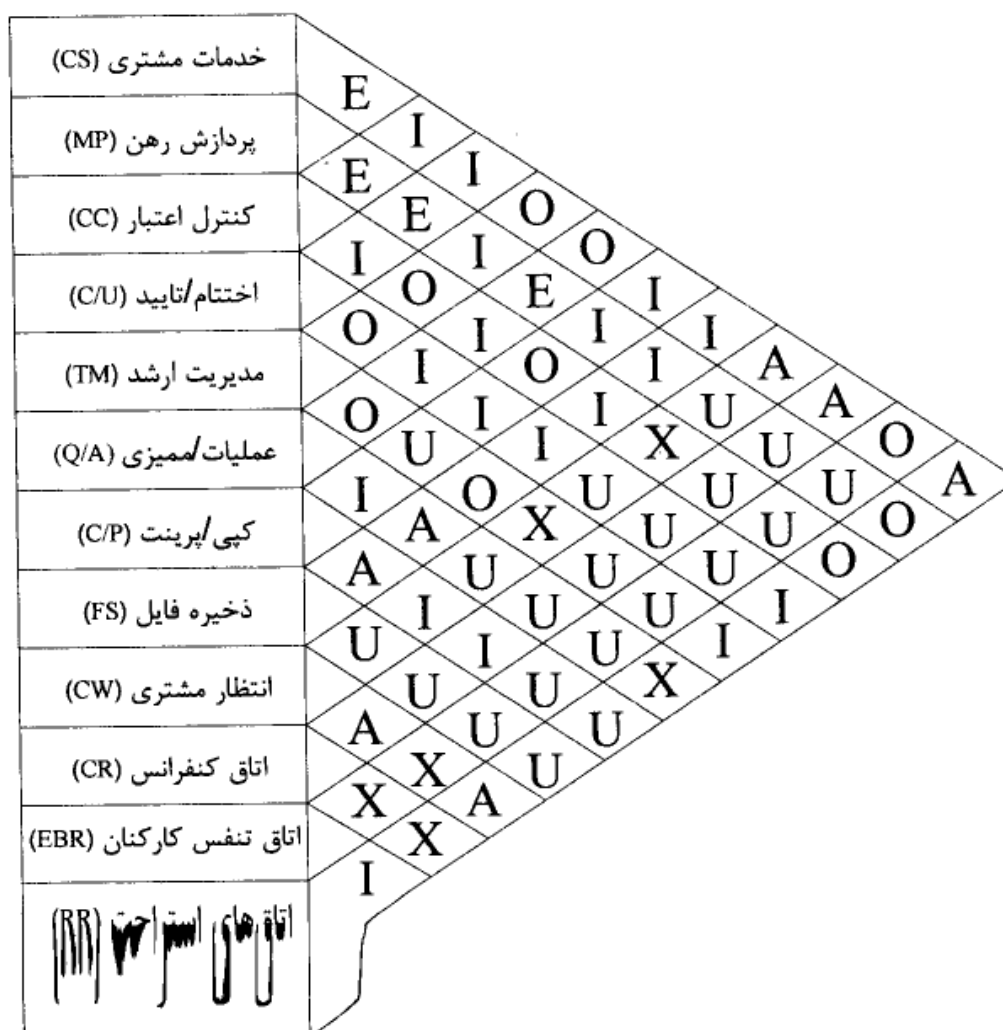
درست شبیه احتیاجات فضا که برای کارکنان محاسبه شد، باید برای خدمات پشتیبانی نیز تحلیل مشابهی صورت گیرد (جدول ۴-۲). برای شرکت مورت آمریکا خدمات پشتیبانی ذیل منظور شده‌اند:

- فضای کپی و پرینت.
- اتاق‌های ذخیره فایل (بایگانی).
- سالن انتظار مشتری.
- اتاق‌های کنفرانس

- اتاق‌های تنفس (استراحت موقت) کارکنان.
- اتاق‌های استراحت.

جدول ۴-۲. احتیاجات فضایی خدمات پشتیبانی فعلی و آینده (مساحت به فوت مربع)

محوطه خدمات پشتیبانی	فضای خالص فعلی	فضای ناخالص فعلی، ۱۵۰٪ فضای خالص	فضای خالص آینده	فضای ناخالص آینده، ۱۵۰٪ فضای خالص
محوطه کپی / پرینت (C/P)	۳۰۰	۴۵۰	۴۶۵	۷۰۰
اتاق‌های ذخیره فایل (FS)	۳۰۰	۴۵۰	۸۰	۱۲۰
سالن انتظار مشتری (CW)	۳۰۰	۴۵۰	۸۰۰	۱۲۰۰
اتاق‌های کنفرانس (CR)	۵۰۰	۷۵۰	۱۰۰۰	۱۵۰۰
اتاق تنفس کارکنان (EBR)	۲۰۰	۳۰۰	۸۵۰	۱۲۷۵
اتاق‌های استراحت (RR)	۲۰۰	۳۰۰	۵۰۰	۷۵۰
کل	۱۸۰۰	۲۷۰۰	۳۶۹۵	۵۵۴۵



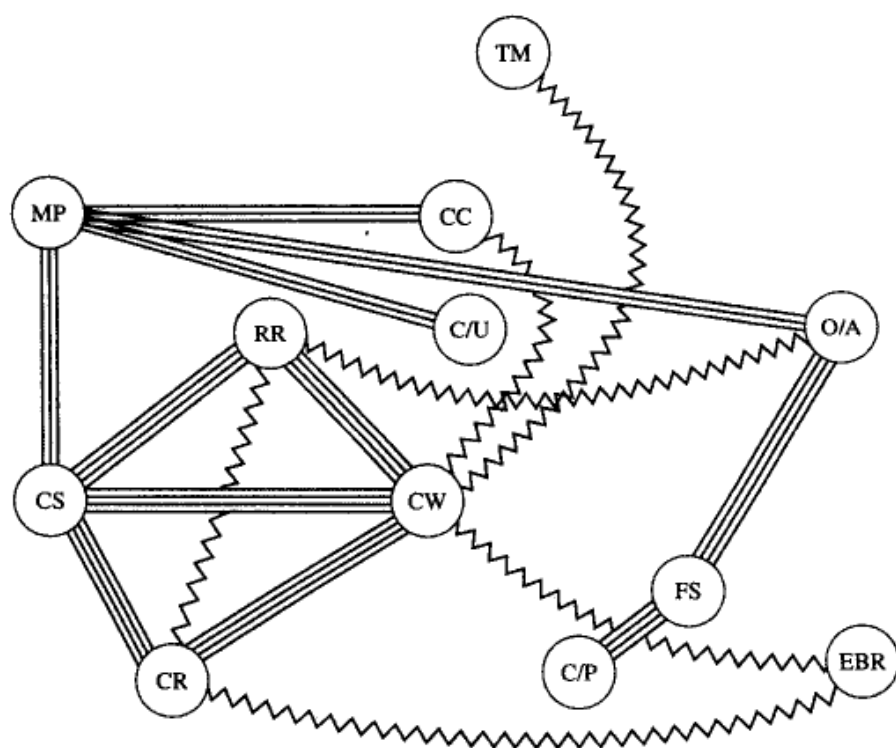
شکل ۴-۵. نمودار رابطه فعالیت‌ها برای مورت امریکا

ج) **تعیین روابط بین دپارتمان‌ها.** در این گام حساس تلاش می‌شود که سطوح روابط بین بخش‌ها و خدمات پشتیبانی به‌طور کمی و کیفی محاسبه شود. از آنجایی که کمی کردن این اطلاعات برای شرکت مورت آمریکا (در کل برای همه شرکت‌ها) زمان‌بر و هزینه‌زا است، روابط به‌صورت کیفی مطرح شده‌اند و در یک نمودار رابطه فعالیت‌ها که در بخش ۳ بحث شد وارد می‌شوند (شکل ۴-۵).

د) **تعیین ملاحظات ویژه و خاص.** در این مرحله، فاکتورهای دیگر در نظر گرفته می‌شود؛ مانند فواصل منطقی از دفاتر وکالت، رستوران، اختصاص فضای وسیع برای نمایش لوگوی شرکت و از این قبیل.

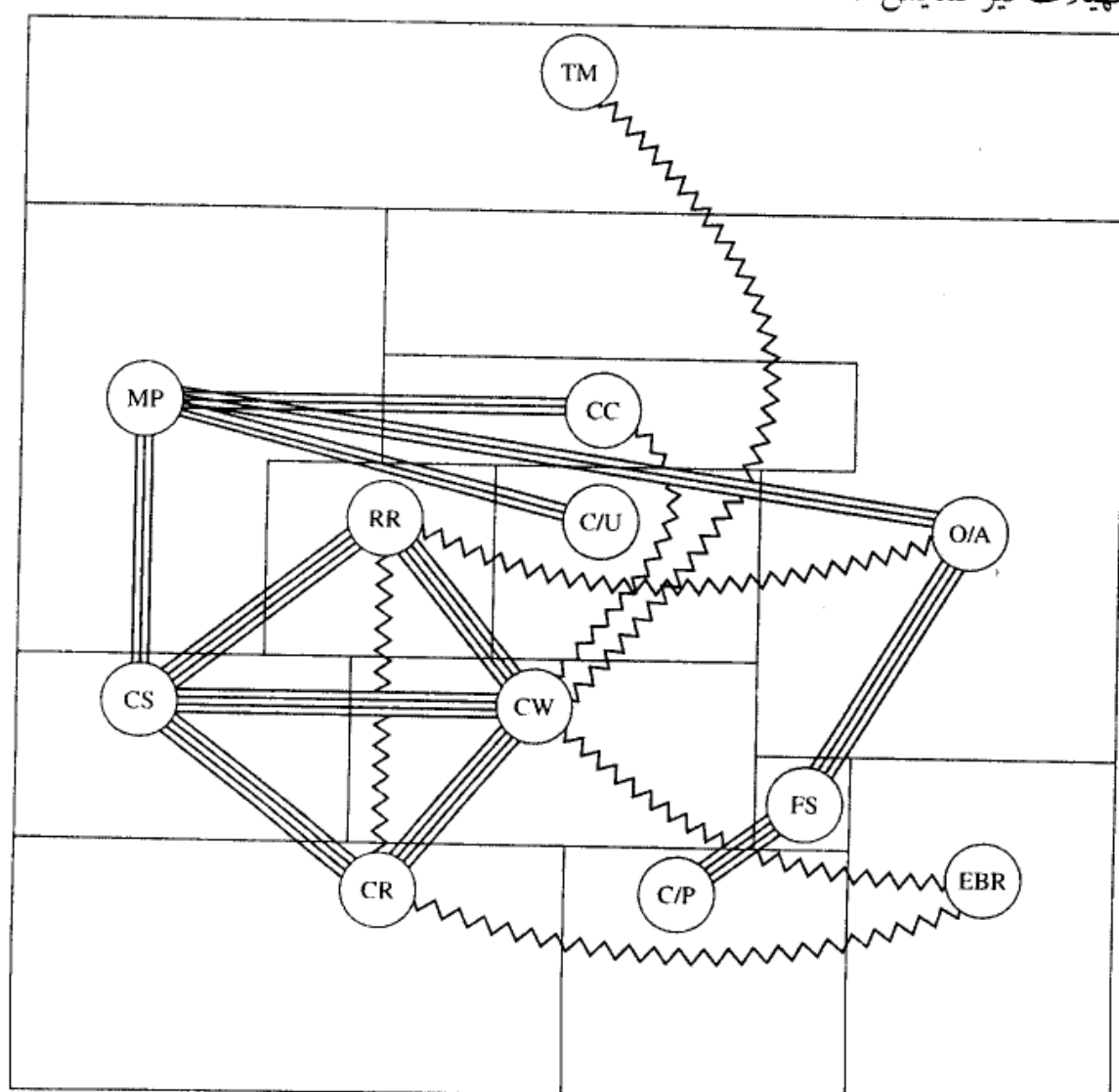
انتخاب محل. انتخاب محل زمین ساختمان، موضوع جغرافیایی است که در مباحث مکان‌یابی به آن پرداخته می‌شود.

طراحی و چیدمان. با استفاده از نمودار روابط و جداول احتیاجات فضا می‌توان نمودار روابط فعالیت‌ها، نمودار روابط فضا و چیدمان اولیه را همان‌طور که در شکل‌های ۴-۶، ۴-۷ و ۴-۸ نشان داده شده است، ترسیم کرد.

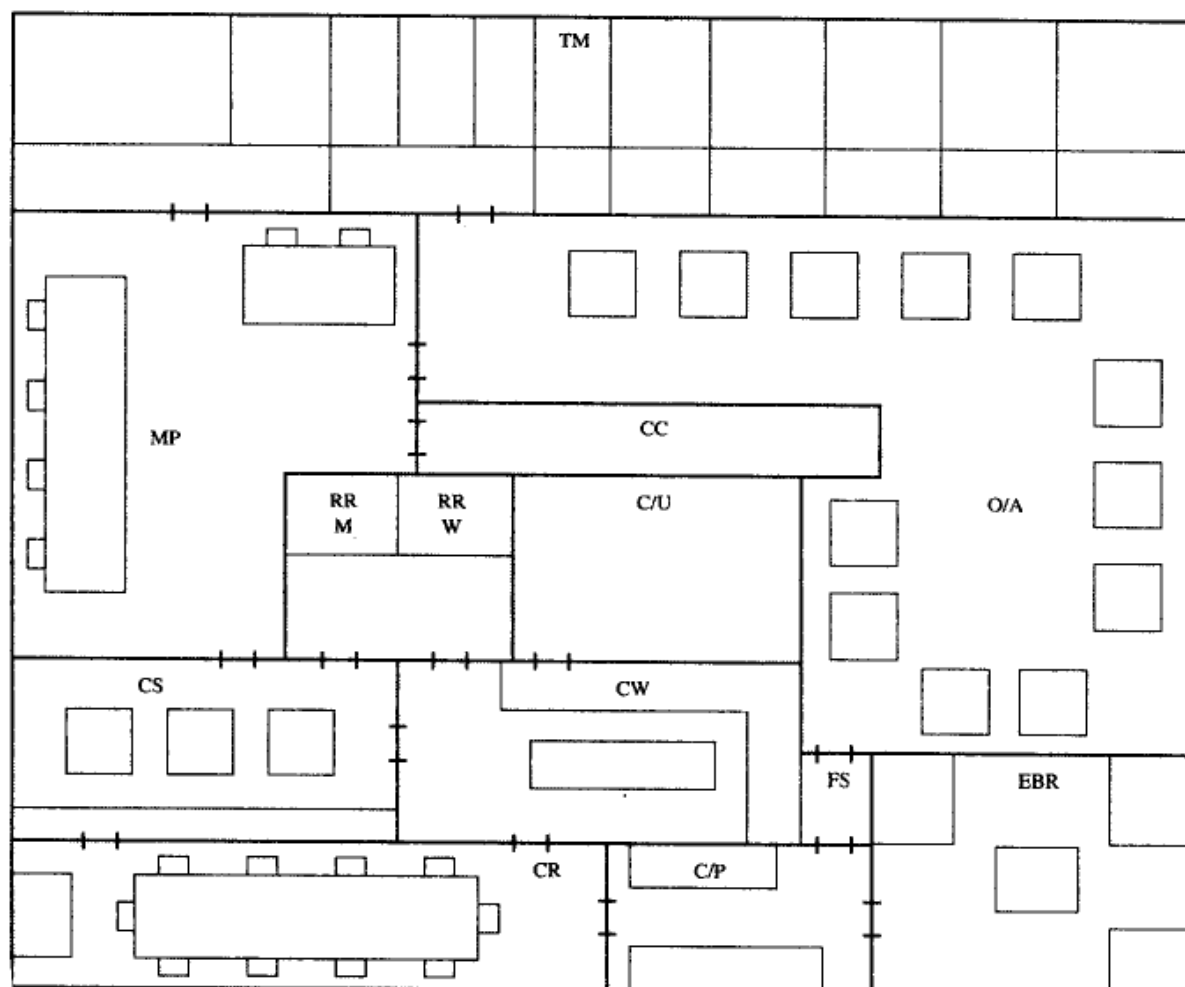


شکل ۴-۶. نمودار روابط فعالیت‌ها برای شرکت مورت آمریکا

در نمودار روابط فعالیت شکل ۴-۶، روابط بین تسهیلات (از نظر سطح تبادلات) توسط خطوط مشخص شده است. جفت تسهیلاتی که با یکدیگر رابطه A دارند توسط چهار خط، آن دسته که روابط E دارند با سه خط نشان داده شده‌اند. جفت تسهیلاتی که رابطه U دارند، هیچ خطی به آنها وصل نشده و آن دسته که رابطه X دارند با خط زیگزاگ نمایش داده شده‌اند. برای اینکه شکل واضح‌تر باشد و از شلوغی جلوگیری شود، روابط O و I (که معمولاً به وسیله یک یا دو خط نشان داده می‌شوند)، نمایش داده نشده‌اند. در نمودار رابطه فعالیت‌ها، فضای بخش‌های مختلف در نظر گرفته نشده است؛ در نتیجه گام بعدی، نمایش نمودار روابط فضا است که در شکل ۴-۷ نشان داده شده است. در این شکل، نه تنها روابط بین تسهیلات با استفاده از خطوط (همان‌طور که در شکل ۴-۶ آمده است) نشان داده شده است، بلکه فضا و مرز هر یک از تسهیلات نیز نمایش داده شده است.



شکل ۴-۷. نمودار روابط فضایی تهیه شده با استفاده از نمودار رابطه فعالیت‌ها در شکل ۴-۶



شکل ۴-۱ چیدمان پیش معماری

با استفاده از اطلاعات نمودار روابط فضا، می‌توان در مورد محل تسهیلات مرتبط با هم تصمیم گرفت به‌طوری که تسهیلات با ارتباط نوع A، نزدیک به هم قرار می‌گیرند، آنهایی که ارتباط نوع X دارند از هم دور در نظر گرفته می‌شوند (ترجیحاً از نظر فاصله)، آنهایی که ارتباط نوع E دارند تا جایی که ممکن است نزدیک هم قرار می‌گیرند و به همین ترتیب. معمولاً تعیین محل تسهیلات با توجه به نوع ارتباطشان با یکدیگر، به روش سعی و خطا انجام می‌گیرد.

یک چیدمان و ترتیب قابل قبول و خوب برای شرکت مورت آمریکا در شکل ۴-۷ دیده می‌شود. هنگامی که چیدمان اولیه را توسعه می‌دهیم (شکل ۴-۸)، دیوارها و دیگر جنبه‌هایی را که تا به حال در طراحی چیدمان در نظر گرفته نشده بودند را نیز به حساب می‌آوریم. تسهیلاتی که به شکل مربع یا مستطیل درآمدی بودند ممکن است به شکلهای مناسب‌تری تبدیل شوند تا تمام تسهیلات با توجه به شکل ساختمان در ابعاد

آن بگنجند. در این مرحله نیاز به طراح تسهیلاتی است که خلاق باشد و گزینه‌های مختلفی از طرح‌های متفاوت ارائه دهد که هر کدام فواید و ضررهای خاص خود را دارند.

توجه کنید که چیدمان شکل ۴-۸ برای شرکت مورت آمریکا فضای مورد نیاز برای کارکنان و خدمات پشتیبانی را از جداول ۴-۱ و ۴-۲ محاسبه کرده است؛ به‌علاوه راهروها و اتاق‌های کاری تک‌نفره کارکنان را نشان می‌دهد. اگر طراح خلاق باشد می‌تواند برای دفاتر، اتاق‌ها و راهروها اشکال مختلفی ارائه دهد. بسته‌های نرم‌افزاری CAD می‌توانند به طراح در این مورد کمک زیادی کنند و این امکان را به او بدهند که چندین طرح اولیه چیدمان به دست آورده و آنها را در صورت نیاز اصلاح کند.

۴-۴ رویکرد مهندسی مساله طراحی

رویکردی که در این بخش بحث می‌شود بر روش‌های مهندسی حل مساله که به زمان ارتباط دارند پایه‌ریزی شده است. به‌طور کلی هر مساله مهندسی را می‌توان با استفاده از چهار گام ذیل حل کرد (شکل ۴-۹):



شکل ۴-۹. هفت گام برای رویکرد مهندسی مسایل طراحی

الف) تشخیص (تعریف) مساله.

ب) جمع‌آوری داده‌های مورد نیاز.

ج) فرمول‌بندی یک مدل برای مساله.

د) تعریف یک الگوریتم برای مدل و حل آن.

ه) تولید راه‌حل‌های (گزینه‌های) مختلف، ارزیابی و انتخاب آنها.

و) اجرای راه‌حل.

ز) بازنگری مستمر پس از اجرا.

تعریف مساله. اولین گام برای حل مساله، تعریف درست مساله است. تحلیل‌گران بی‌تجربه فکر می‌کنند که نشانه‌های یک مشکل، خود مشکل و مساله است. برای فهمیدن این موضوع اجازه دهید آن را در قالب طراحی چیدمان توضیح دهیم. مدیر یک کارخانه متوجه می‌شود که حجم زیادی از مواد و قطعات، از مسیر رو به جلوی خود منحرف شده و حرکت رو به عقب دارند. در نتیجه این موضوع، ترافیک در مسیرها به وجود می‌آید که در مقابل، احساس مسئولیت کارکنان را کم کرده و کیفیت قطعات را پایین آورده بود. مدیر تولید همچنین متوجه شده بود که این مشکل از وقتی بروز کرده که شرکت تغییرات اساسی در رابطه با توالی تولید قطعات مختلف و ظرفیت هر یک به وجود آورده بود. سه پیشنهاد برای حل مشکل ارائه شده بود: ۱) اخراج اپراتورهایی که با ماشین‌آلات کار می‌کنند و استخدام و آموزش نیروی جدید. ۲) خرید ماشین‌آلات جدیدتر، مکانیزه‌تر و به کارگیری نیروی انسانی متخصص و متبحر. ۳) طراحی مجدد چیدمان که در نتیجه آن دستگاه‌هایی که قطعات بیشتری با یکدیگر ردوبدل می‌کنند، نزدیک به هم قرار گیرند. در این جا تنها پیشنهاد سوم است که به مساله و مشکل اشاره دارد و هر دو پیشنهاد دیگر به نشانه‌های مشکل توجه کرده‌اند. در اینجا مساله این است که یک چیدمان جدید طراحی شود به طوری که جریان مواد در مراکز کاری به طور مناسبی صورت گیرد، ترافیک کم شود و احساس مسئولیت و کیفیت کاری بالا رود. توجه شود که چگونه به راحتی می‌توان روی یک مساله و مشکل، به اشتباه و غلط تمرکز کرد و در نتیجه آن، زمان و هزینه زیادی را متحمل شد.

جمع‌آوری داده‌های مورد نیاز مساله. در دنیای صنعتی امروز، جمع‌آوری حجم زیادی از داده‌ها و اطلاعات، بسیار معمول است. هر دپارتمانی (مانند برنامه‌ریزی، کنترل کیفیت، چیدمان کارخانه، پیش‌بینی و حسابداری) بنا به وظایف خود، اطلاعات زیادی

لازم دارد؛ بنابراین در زمان کوتاهی، شرکت اطلاعات زیادی جمع‌آوری می‌کند. پیشرفت سریع تکنولوژی کامپیوتر (سخت‌افزار و نرم‌افزار) این کار را بسیار راحت کرده است و حتی انسان را به این کار تشویق می‌کند. در انجام پروژه‌های بزرگ مثل طراحی چیدمان، ما باید فقط اطلاعات لازم را جمع‌آوری کنیم (اطلاعات معمول مورد نیاز برای طراحی چیدمان، در فصول ۲ و ۳ اشاره شده‌اند). مثلاً تعداد و تنوع محصولات، خدمات، تجهیزات کمکی برای تسهیلات، فضای مورد نیاز آنها، کل فضای در دسترس و آنچه که در طراحی چیدمان به کار گرفته می‌شود، اطلاعاتی هستند که داشتن آنها برای طراحی چیدمان ضروری است. برای به‌دست آوردن این اطلاعات، ممکن است مجبور باشیم فایل‌های اطلاعاتی مربوط به مسیر قطعه و یا فایل داده‌های مربوط به ماشین‌آلات تک‌تک مراکز کاری را بیابیم. این داده‌ها حاوی اطلاعات ضروری برای چیدمان کارخانه هستند، اما ممکن است شامل اطلاعات دیگری نیز باشند که در این زمینه به آنها نیازی نداریم. برای مثال، یک برگ مسیر تولید معمولی ترتیب و توالی عملیات را نشان می‌دهد اما ممکن است شامل زمان راه‌اندازی ماشین، زمان عملیات، زمان بارگیری و تخلیه و اطلاعاتی از این قبیل نیز باشد. این اطلاعات برای برنامه‌ریزی تولید ممکن است مفید باشند اما برای چیدمان کمکی نمی‌کنند. بنابراین، تحلیل‌گر تسهیلات باید در جمع‌آوری اطلاعات دقت کافی داشته باشد. اغلب تحلیل‌گران، بیشتر از حد مورد نیاز، اطلاعات جمع‌آوری می‌کنند و سپس خودشان با اطلاعاتی که جمع‌آوری کرده‌اند سردرگم می‌شوند. در چنین وضعیتی، فقط اطلاعات کلیدی باید در نظر گرفته شوند.

فرمول‌بندی یک مدل برای مساله. بیشتر تمرکز در این بخش از کتاب بر روی توسعه و گسترش مدل‌های مناسب برای حل مساله چیدمان است. همان‌طور که در بخش ۴-۱ بحث شد مساله چیدمان هم یک مساله بهینه‌سازی است و هم یک مساله طراحی. در نتیجه، در بعضی مراحل حل مساله باید یک مدل برای مساله ارائه شود؛ به‌دنبال آن می‌توان با استفاده از تکنیک‌ها و الگوریتم‌های مناسب، راه‌حل‌های اولیه برای حل مساله ارائه داد. مطمئناً این راه‌حل‌ها نباید مستقیماً اجرا شوند چون مدل، کاملاً شرایط مساله

را نشان نمی‌دهد. به همین خاطر است که به راه‌حل‌های مدل، راه‌حل‌های اولیه و

ابتدایی گفته می‌شود. باید روی مدل‌های اولیه و ابتدایی کار زیادی صورت گیرد تا به مرحله پیاده‌سازی و اجرا برسند. ولی در هر صورت گاهی مجبوریم که از چیدمان جزئی شروع کرده، پیش برویم. اگر کارمان را با یک راه‌حل ابتدایی تصادفی شروع کنیم و از آن برای توسعه طرح چیدمان استفاده کنیم، مساله اصلی که تعریف شده بود کم‌رنگ می‌شود و مشکلاتی به وجود می‌آید. خلاصه اینکه مدل‌سازی در فرآیند طراحی چیدمان گام اولیه و مهمی محسوب می‌شود. پیش از توسعه رویکرد و روش‌های ریاضی، مسائل چیدمان با مدل‌های فیزیکی دوبعدی و سه‌بعدی حل می‌شد؛ به این صورت که تسهیلات و وسایل انتقال مواد و دستگاه‌ها با آیکون‌هایی نشان داده می‌شدند و تحلیل‌گر این آیکون‌ها را روی ماکت کارخانه حرکت می‌داد تا اینکه یک چیدمان قابل قبول به‌دست آورد (Francis, McGinnis and White, 1992) (شاید این موضوع باعث شد که بعضی از محققین قدیمی، مساله چیدمان را یک مساله طراحی تعریف کنند). از آنجا که این نوع توسعه چیدمان بسیار ذهنی است و از مدل‌های دیگر در دسترس‌تر هستند، امروزه کمتر از این مدل استفاده می‌شود - معمولاً فقط وقتی استفاده می‌شود که بخواهیم مدل را ارائه دهیم. در عمل اهمیت مدل‌های ریاضی برای مساله طراحی چیدمان هنوز به‌طور کامل درک نشده است؛ بنابراین اغلب تمایل به چشم‌پوشی از این نوع مدل‌سازی وجود دارد.

تهیه یک الگوریتم برای مدل و حل آن. همان‌طور که در فصل ۱ اشاره شد یکی از مدل‌هایی که برای فرمول‌بندی مساله چیدمان تسهیلات استفاده می‌شود به NP کامل شناخته شده است. بنابراین حل مساله چیدمان برای رسیدن به جواب بهینه بسیار دشوار است. بنابراین باید روش‌ها و الگوریتم‌های ابتکاری توسعه داده شود تا در کوتاهترین زمان بتواند یک جواب نزدیک به بهینه برای مسائل در مقیاس متوسط تا بزرگ ارائه دهد. به سه دلیل اساسی، به‌دست آوردن جواب نزدیک به بهینه برایمان مورد قبول است. اولاً، برای اینکه مساله چیدمان یک مساله پیچیده و دشوار است؛ از طرفی، راه‌حل و تکنیک مناسب و کارایی که بتواند جواب بهینه برای مسائل بزرگ پیدا کند، وجود ندارد. ثانیاً، مدل گسترش یافته در گام قبلی یک مدل ناقص برای مساله واقعی است. بنابراین حتی پیدا کردن یک جواب بهینه دقیق برای مدل ناقص، دلیلی بر بهینه

بودن آن برای مساله اصلی نیست. ثالثاً اطلاعات تولید شده مدام در حال تغییرند و در نتیجه از آنجا که هر راه‌حلی دستخوش بعضی تغییرات می‌شود، ما فقط یک جواب نزدیک بهینه را جستجو می‌کنیم.

روش حل باید محاسبات کامپیوتری کمی نیاز داشته باشد زیرا مدت زمانی که می‌توان با کامپیوتر کار کرد (به‌ویژه در ابرکامپیوترها و ایستگاه‌های کاری) در بیشتر شرکت‌ها بسیار محدود است. از سوی دیگر، معمولاً قبل از اینکه تعدادی از راه‌حل‌های منتخب را بپذیریم، راه‌حل‌های زیادی را تولید می‌کنیم. اگر تولید هر راه‌حل وقت زیادی برای محاسبه بگیرد، کل زمانی که برای تجزیه و تحلیل و انتخاب راه‌حل‌های اولیه صرف می‌شود، حتی بیشتر و گران‌تر خواهد شد.

در تمام این کتاب به مسائل در مقیاس کوچک با کمتر از ۱۲ ماشین اشاره می‌شود. مسائلی با بیشتر از ۱۲ و کمتر از ۳۰ ماشین، مسائل در مقیاس متوسط در نظر گرفته می‌شوند و مسائلی با بیشتر از ۳۰ ماشین، مسائل در مقیاس بزرگ به حساب می‌آیند. همچنان که در فصول ۶ و ۷ بحث خواهد شد، تکنیک‌های شاخه و حد، برنامه‌ریزی پویا و دیگر استراتژی‌های جواب بهینه، تنها قادر به حل مسائل در مقیاس کوچک هستند. برای حل مسائل متوسط و بزرگ معمولاً از تکنیک‌های ابتکاری استفاده می‌شود؛ تکنیک‌هایی که بهترین جواب را تضمین نمی‌کنند اما کیفیت خوب و جواب نسبتاً سریع نزدیک به بهینه را تامین می‌کنند.

تکنیک‌های حل متعددی برای مسائل چیدمان وجود دارد و بسته‌های نرم‌افزاری بعضی از آنها نیز موجود است. این روش‌ها در فصول ۶ و ۷ با جزئیات بحث خواهند شد. چون این الگوریتم‌ها به راحتی در دسترس قرار دارند، شرکت‌ها نیاز ندارند که وقت زیادی برای تولید و توسعه آنها صرف کنند. اکثر تکنیک‌های حلی که وجود دارد، جواب بهینه یا نزدیک به بهینه برای مدل‌ها را در قالب طرح بلاکی^۱، که موقعیت نسبی تسهیلات را نشان می‌دهد و در مقیاس خاصی کشیده شده است، ارائه می‌دهند. همان‌طور که در شکل ۴-۱۰ نشان داده شده است، به وسیله رسم خطوط در مرزهای هر یک از تسهیلات، می‌توان تسهیلات مختلف را از هم جدا کرد (چیدمانی که برای

تسهیلات در این شکل نمایش داده شده است از نرم افزار کرافت^۱ استفاده شده که در فصل ۶ توضیح داده خواهد شد.

4	4	4	8	8	7	7	1	1	1	1	0	1	0	2	2	2	5	5	3	3
4	4	4	8	8	7	7	1	1	1	1	0	1	0	2	2	2	5	5	3	3
1	1	6	6	6	9	9	1	2	1	2	1	2	1	2	2	2	5	5	3	3
1	1	6	6	6	9	9	1	2	1	2	1	2	1	2	3	3	3	3	3	3
1	1	6	6	6	9	9	1	2	1	2	1	2	1	2	3	3	3	3	3	3
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	2	1	2	3	3	3	3	3	3
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	2	1	2	3	3	3	3	3	3
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	2	1	2	3	3	3	3	3	3
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	2	1	2	3	3	3	3	3	3

شکل ۴-۱۰. چیدمان بلاکی تهیه شده توسط کرافت

تولید راه حل های مختلف، ارزیابی و انتخاب آنها. تکنیک ها برای حل مسائل چیدمان در تهیه راه حل های اولیه (طرح های بلاکی) بسیار مفیدند، به طوری که با استفاده از این راه حل ها می توان چیدمان هایی با جزئیات زیاد، طراحی کرد. از آنجا که مدل ها قادر نیستند همه فاکتورهای مهم در مسائل چیدمان را در نظر بگیرند، بنابراین همیشه لازم است که در راه حل اولیه تجدید نظر شود و در صورت لزوم، تغییراتی بر روی آن انجام شود. برای ارائه طرح و اخذ تائید، همچنین برای سهولت در جابه جایی تسهیلات و چین آنها طبق چیدمان جدید، ضروری است که نقشه چیدمان پیشنهادی با جزئیات تهیه شود به طوری که شکل تسهیلات، راهروها، محل تخلیه و بارگیری هر کدام از تسهیلات و در صورت امکان مسیر جریان، نمایش داده شود. یک برنامه کامپیوتری و ریاضی که بتواند چیدمان جزئی را از طرح بلاکی توسعه دهد در (Montreuil 1988) آورده شده است. بیشتر شرکت ها تمایلی به استفاده از تکنیک های پیچیده بهینه یابی برای توسعه چیدمان جزئی از طرح های بلاکی ندارند اما این کار بعضی اوقات به صورت دستی انجام می شود.

در این مرحله، چیدمان جزئی برای هر یک از طرح های بلاکی انتخاب شده تهیه می شود. سپس هر یک از آنها برای گرفتن بازخور و تائید، به مدیریت ارشد و دیگر

افراد مربوطه ارائه می‌شود. برای ارائه و نمایش طرح‌ها، می‌توان هر یک از ابزارهایی که در فصل ۳ عنوان شد -نقشه‌های دستی، شابلون‌ها، نقشه‌های CAD، مدل‌های سه‌بعدی- استفاده کرد، اما معمول‌ترین وسیله‌ای که برای ارائه طرح‌های چیدمان استفاده می‌شود شابلون‌ها و نقشه‌های CAD هستند و ترجیح با این است که سایر گزینه‌ها -نقشه‌های دستی، مدل‌های سه‌بعدی- استفاده نشوند، زیرا در این مرحله ممکن است بر روی طرح تغییرات زیادی اعمال شود که اعمال تغییرات با استفاده از این ابزارها، هزینه‌زا و زمان‌بر است. ارائه طرح توسط شابلون و بهتر از آن توسط نقشه‌های CAD، بسیار ساده است. از آنجا که اکثر کارخانجات تولیدی بسته نرم‌افزاری CAD را دارند، نقشه‌های CAD در آینده پرمصرف‌ترین و کارآمدترین ابزار برای ارائه طرح چیدمان خواهند بود.

تحلیل‌گر در مورد هر یک از قسمت‌های مختلف طرح، با افراد مربوطه بحث می‌کند و نقطه نظرات آنها را جویا می‌شود تا نقاط مثبت و منفی طرح مشخص شود. در این بحث‌ها، دیگر کارکنان نیز ممکن است به نکاتی اشاره کنند که از دید تحلیل‌گر مخفی مانده است. همچنین ممکن است سوالاتی در مورد طرح چیدمان جدید پرسیده شود. بعد از مشورت‌هایی که با دپارتمان‌های سرپرستی، مدیریت ارشد و دیگر کارکنانی که مرتبط هستند انجام شد، طرحی که بیشتر افراد از آن رضایت دارند، انتخاب می‌شود. مسلم است که این فرآیند تصمیم‌گیری تا حدودی ذهنی است. مثلاً ممکن است چیدمانی که صرفه‌جویی بیشتری در هزینه‌های انتقال مواد دارد رد شده و چیدمانی با صرفه‌جویی کمتر در هزینه‌ها به چیدمانی که صرفه‌جویی بیشتری دارد ترجیح داده شود؛ چون کارکنان با چیدمان با صرفه‌جویی بیشتر، مخالف بوده و در مقابل آن مقاومت می‌کنند. فاکتورهای ذهنی نیز همانند فاکتورهای شهودی باید قبل از اینکه طرح چیدمان پذیرفته شود، به دقت در نظر گرفته شوند.

اجرای راه‌حل. پس از اینکه چیدمان انتخاب شد، گام بعدی، اجرای آن است. همان‌طور که Muther (1973) اشاره کرده است، بهتر است که فرد تحلیل‌گر، مسئولیت توسعه و اجرای چیدمان را در حین پیاده‌سازی آن داشته باشد. پرواضح است که کارکنان معمولاً در مقابل هرگونه تغییر از خود مقاومت نشان می‌دهند، اما از طرف

دیگر برای اینکه بتوان طرح چیدمان را اجرا کرد باید از جانب کارکنان حمایت شد. اولین گام برای به دست آوردن حمایت کارکنان، صحبت کردن در مورد تغییرات به صورت واضح و روشن و البته به موقع است. باید به کارکنان، علت و ضرورت تغییرات، همچنین زمان ایجاد تغییرات و چگونگی انجام آنها، گام‌هایی که در دوره انتقال انجام خواهد شد و مزایا و معایب چیدمان جدید توضیح داده شود. گام‌های دیگر مانند برنامه‌ریزی انتقال به چیدمان جدید و تخصیص مسئولیت‌ها همراه با جزئیاتشان در (Muther (1973 آمده است.

بازنگری مستمر پس از اجرا. گاهی اوقات چیدمان جدید ممکن است با خود تغییرات برنامه‌ریزی شده را به همراه نداشته باشد. با وجود تجزیه و تحلیل دقیق، وجود ارتباطات مناسب و برنامه‌ریزی دقیق، ممکن است در چیدمان جدید ایجاد مشکل کند. مسائل و مشکلات ایجاد شده باید مورد مطالعه و اندازه‌گیری قرار گیرند و راهکارهایی برای حل آنها ارائه شود. در نتیجه لازم است تا کنترل مستمر بر روی تغییرات اعمال شده بر چیدمان، انجام شود. اگر هر گونه انحرافی (خوشایند یا ناخوشایند) بین نتایج فعلی و نتایج مورد انتظار مشاهده شد باید دلایل آن مشخص شده و بررسی گردد. اگر انحراف ایجاد شده ناخوشایند باشد باید برای اصلاح موقعیت، به سرعت اقدامی صورت گیرد. اما اگر انحراف خوشایند باشد باید آن را تحلیل کرد تا در دیگر قسمت‌های کارخانه بتوان آن را تکرار کرد.

خلاصه

در مساله چیدمان هر دو مسأله طراحی و بهینه‌سازی وجود دارد. در این فصل ابتدا به عنوان یک مسأله طراحی با آن برخورد شد و درباره دو رویکرد متداول برای طراحی تسهیلات بحث شد. دو رویکرد دیگر در ضمیمه این فصل آمده است. رویکردهای سنتی، داده‌ها را به اندازه‌های کیفی که روابط بین دپارتمان‌ها با موجودیت‌های چیدمان را بیان می‌کند، تبدیل می‌کنند. سپس از این اندازه‌های کیفی برای ساختن یک چیدمان مناسب استفاده می‌شود. در حین انجام این کار، سعی می‌کنند تا روابط بین موجودیت‌های چیدمان را تا آنجا که ممکن است تسهیل سازند. رویکردهای سنتی

برای تهیه چیدمان، بر روش‌های جستجوی عینی تکیه دارند؛ این روش‌ها فقط برای حل مسائل کوچک که دپارتمان‌ها و موجودیت‌های محدودی دارند، قابل استفاده است. برای مسائل بزرگتر، به روش‌های جستجوی سیستماتیک و کامپیوتری برای چیدمان‌ها نیاز داریم.

در رویکرد مهندسی مسائل طراحی، استفاده از مدل‌های ریاضی و الگوریتم‌ها برای این هدف پیشنهاد می‌شود (مدل‌های ریاضی مختلف و تکنیک‌های ابتکاری متناظر با آن و الگوریتم‌های بهینه‌ای که می‌تواند برای مسائل چیدمان استفاده شوند در سه فصل آینده بحث خواهند شد). مدل‌ها و الگوریتم‌های مناسبی باید استفاده شوند، چرا که مساله چیدمان یک مساله بهینه‌سازی است همان‌طور که یک مساله طراحی هم هست. هنگامی که مدل‌سازی انجام شده و حل گردید، یک یا چند راه‌حل اولیه برای مساله چیدمان فراهم می‌شود. سپس باید سعی کنیم با استفاده از این چیدمان‌ها یک چیدمان کامل طراحی کنیم. رویکردهایی نظیر Reed, Apple و SLP یا FactoryFLOW, FactoryCAD و دیگر بسته‌های نرم‌افزاری (که در فصل ۶ آمده است) برای چنین اهدافی مناسبند. همچنین این رویکردها مکانیزم مؤثری برای تهیه داده‌های کیفی دارند، که مدل‌های ریاضی قادر به این کار نیستند. واضح است که هر روشی مزایا و معایبی دارد. خواننده می‌تواند چهار رویکرد را مقایسه کرده، مزایا و معایب هر کدام را فهرست کند (تمرین ۱۱).

تمرینات و پرسش‌های دوره‌ای

۱- مفهوم دو عبارت مساله طراحی و مساله بهینه‌سازی چیست؟ آیا طراحی تسهیلات یک مساله بهینه‌سازی است یا طراحی؟ بحث کنید.

۲- از دو عبارت طراحی تسهیلات و چیدمان تسهیلات چه می‌فهمید؟ آن دو را با هم مقایسه کنید. درباره محدودده هر کدام بحث کنید.

۳- برگ احتیاجات فضا در شکل ۴-۴ را در نظر بگیرید. پنج دپارتمان به طول و عرض هر یک از مراکز کاری در شکل اضافه کنید. فرض کنید فضای مورد نیاز برای

تجهیزات کمکی، اپراتور و مواد به ترتیب ۳۵٪، ۱۰٪ و ۲۰٪ است. کل فضای کاری که برای هر مرکز کاری مورد نیاز است را محاسبه کنید. از اطلاعاتی نظیر فراخی و تعداد ماشین‌های شکل ۴-۴ استفاده کرده و برگ جدید احتیاجات فضا برای مراکز کاری را تهیه کنید. برای این منظور از نرم‌افزار صفحه‌گسترده استفاده کنید.

۴- نمودارهای روابط که در تمرین ۷ فصل سوم طراحی کرده بودید را در نظر بگیرید. برای هر کدام از موارد کتاب‌فروشی، رستوران، دفتر نام‌نویسی، کتابخانه، مرکز کامپیوتر، مرکز اطلاعات و محل تربیت‌بدنی، نمودار روابط فضای متناظر با آن را طراحی کنید.

۵- تمرین ۸ فصل سوم را در نظر بگیرید. با استفاده از تکنیک SLP، چیدمانی برای آن تهیه کنید.

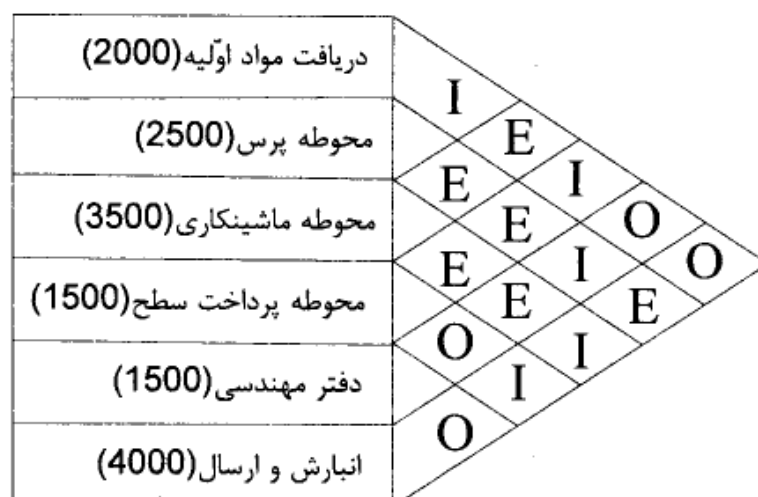
۶- تمرین‌های ۹ و ۱۰ فصل سوم را در نظر بگیرید.

الف. ماتریس از-به سفرها را به نمودار رابطه فعالیت تبدیل کنید به نحوی که درصد هر یک از روابط A, E, I, O و U در نمودار حدوداً ۵٪، ۱۰٪، ۱۵٪، ۲۵٪ و ۴۵٪ باشد. فرض کنید که هیچ دو تسهیلاتی با هم رابطه X ندارند. واضح است که تعداد روابط A, E, I, O و U باید با نمودار از-به سفرها متناظر باشند.

ب. از نمودار روابط فعالیت در قسمت الف) و مساحت‌های به‌دست آمده در تمرین ۱۰ فصل سوم استفاده کرده و چیدمانی به کمک تکنیک SLP تهیه کنید.

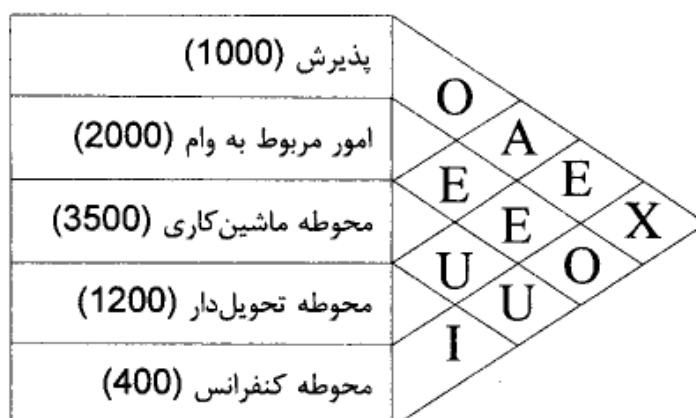
ج. چیدمانی که در قسمت ب) به‌دست آورده‌اید را با چیدمان تهیه شده در فصل ۳ مقایسه کنید.

۷- کد روابط و مساحت‌های (به فوت مربع) شش دیپارتمان یک واحد تولیدی، در شکل ۴-۱۱ نشان داده شده است. با استفاده از تکنیک SLP، چیدمانی مناسب تهیه کنید.



شکل ۴-۱۱. نمودار رابطه فعالیت‌ها بین دپارتمان‌ها در یک واحد تولیدی کوچک

۸- کد روابط و مساحت‌ها (به فوت مربع) برای پنج تا از تسهیلات در یک بانک منطقه‌ای در شکل ۴-۱۲ نشان داده شده است. با استفاده از این اطلاعات و تکنیک SLP، چیدمانی مناسب تهیه کنید.



شکل ۴-۱۲. نمودار رابطه فعالیت‌ها بین تسهیلات در یک بانک منطقه‌ای

۹- کد روابط و ابعاد ۱۲ ماشین (به فوت) در یک واحد تولیدی در شکل ۴-۱۳ نشان داده شده است. با استفاده از این اطلاعات و تکنیک SLP، چیدمانی مناسب ارائه دهید. ابعاد هر ماشین شامل فراخی برای دسترسی اپراتور، محل ذخیره مواد، ذخیره ابزار و محل بارگیری و تخلیه مواد نیز هست. هنگام تهیه چیدمان نمی‌توانید شکل و فرم ماشین‌آلات را عوض کنید.

ضمیمه

رویکرد Apple. این رویکرد شامل ۲۰ گام است که فهرست آنها در جدول ۳-۴ آورده شده است (Apple, 1977). از این گام‌ها فقط به عنوان راهنما استفاده می‌شود و چنانچه شرایط متفاوت باشد، ممکن است تغییر کنند؛ ممکن است لازم باشد گام‌های مختلف آن در اکثر پروژه‌های چیدمان، جابه‌جا شوند. از سوی دیگر، چون هیچ دو پروژه‌ای مثل هم نیستند، گام‌ها به گونه‌ای اصلاح شده‌اند تا متناسب با فعالیت‌های در دست باشند (Reed, 1961; Apple, 1977).

رویکرد Reed. رویکرد Reed (1961) شبیه به رویکرد Apple است با این تفاوت که گام‌های کمتری در برنامه‌ریزی چیدمان دارد. بعضی از گام‌های رویکرد Apple در رویکرد Reed ادغام شده است. فهرست این گام‌ها در جدول ۴-۴ آورده شده است.

جدول ۳-۴. گام‌های رویکرد Apple در طراحی تسهیلات (ادامه در صفحات بعد)

تهیه داده‌های پایه. داده‌هایی که باید فراهم شوند شامل پیش‌بینی فروش، اقلام تولید و مقدارشان، برنامه زمان‌بندی تولید، سیاست ذخیره موجودی (خط‌مشی موجودی)، نقشه مهندسی قطعات و فهرست آنها، مسیریابی تولید، فهرست عملیات، روش‌های اولیه تولید، زمان استاندارد تولید، درصد ضایعات، چیدمان فعلی (در صورت وجود)، نقشه ساختمان‌ها، محدودیت‌های بارگذاری سقف و کف و از قبیل است.

تحلیل داده‌های پایه. این گام شامل تحلیل داده‌های جمع‌آوری شده در گام قبلی و آماده‌سازی برای استفاده در گام‌های برنامه‌ریزی آتی است. برای مثال تهیه نمودار مونتاژ (همان‌طور که در فصل ۲ بحث شد، مونتاژ و زیرمونتاژهایی که برای ساختن یک محصول لازم است را نشان می‌دهد) می‌تواند در تحلیل داده‌های مربوط به جریان مواد کمک کند.

طراحی فرآیند تولید. زمانی که داده‌های مورد نیاز تحلیل شده در قالب‌های مورد نیاز تهیه شدند، گام بعدی مشخص کردن فرآیندها و عملیات مورد نیاز برای هر قطعه است. سپس این اطلاعات در قالب مسیر تولید در می‌آیند.

رسم الگوی جریان مواد. هدف از این گام، ترسیم الگوی جریان مواد است که از روی نمودار مونتاژ و نمودار فرآیند عملیات به دست می‌آید. الگوی جریان نهایی باید عواملی چون محصولاتی که باید تولید شوند، حرکت‌های مورد نیاز مواد، روش‌های انتقال مواد، فرآیندهای تولید، اندازه و شکل ساختمان، ویژگی‌های مکان، امنیت و دیگر ملاحظات مرتبط با انسان را در نظر بگیرد. این نقشه

جدول ۴-۳. گام‌های رویکرد Apple در طراحی تسهیلات (ادامه در صفحات بعد)

باید آن‌قدر انعطاف‌پذیر باشد که تغییرات احتمالی در آینده را بتوان اعمال کرد.

تعیین برنامه عمومی انتقال مواد. در این گام، موثرترین روش برای انتقال مواد در تمام مسیر، از دریافت مواد طی مراحل مختلف تولید تا وقتی که کالای نهایی بیرون برده شود، مشخص می‌گردد.

برآورد تجهیزات مورد نیاز. اگرچه تصمیمات اولیه‌ای که نیازهای تجهیزات را در نظر می‌گیرد باید در مراحل قبلی اتفاق می‌افتاد، این گام روی تصمیم نهایی تمرکز می‌کند؛ تصمیمی که تعداد دقیق هر یک از تجهیزات را مشخص می‌کند. که با استفاده از آن می‌توان برنامه‌ریزی ایستگاه‌های کاری را انجام داد و احتیاجات فضا را به‌طور دقیق‌تر مشخص کرد.

برنامه‌ریزی محوطه‌های کاری منفرد. در این مرحله، برنامه‌ریزی همه عملیات و ایستگاه‌های کاری، مساحت‌ها و فرایندها به‌صورت جزئی‌تری مورد نظر است. نوع وسیله انتقال مواد که در محیط کاری مورد استفاده قرار می‌گیرد، فضا و تجهیزات مورد نیاز برای ذخیره مواد و تجهیزات حمل‌ونقل برای حرکت قطعات نیمه‌ساخته باید مشخص شوند.

انتخاب تجهیزات مشخط برای انتقال مواد. در گام قبلی، یک برنامه عمومی و کلی برای انتقال مواد مشخص شد. بنابراین بعضی تصمیمات اولیه برای روش انتقال و تجهیزات مورد نیاز اتخاذ می‌شود. در این گام روش‌های خاص انتقال برای هر ماده‌ای باید مشخص گردد.

هماهنگی گروه‌های عملیات مرتبط. ممکن است برخی از این هماهنگی‌ها در برنامه‌ریزی جریان مواد و مراکز کاری به‌صورت جداگانه انجام شده باشد؛ در این گام، محل‌های کاری، مراکز تولید، ایستگاه‌های کاری و فرایندها هماهنگ و یکپارچه می‌شود. از نمودار برنامه‌ریزی چیدمان و نمودار جریان (هر دو در فصل ۳ بحث شده‌اند) برای انجام این مرحله استفاده می‌شود.

طراحی رابطه فعالیت‌ها. در این مرحله فعالیت‌هایی را که باید در مجاورت هم یا به دور از هم انجام شوند، مشخص می‌گردد. این اطلاعات در نمودار رابطه فعالیت‌ها و نمودار روابط ثبت می‌شوند (در فصول ۳ و ۴ توضیح داده شده‌اند). محدودیت‌های خاص مکانی نیز در این مرحله در نظر گرفته می‌شود.

تعیین احتیاجات ذخیره‌سازی. در این مرحله، بار دیگر ملاحظات مربوط به احتیاجات دقیق فضا برای همه فعالیت‌ها در نظر گرفته می‌شود. میزان فوت مربع یا فوت مکعب فضای لازم برای هر فعالیت، انبارهای میانی مواد خام و قطعات نیمه‌ساخته، قفسه‌های نگهداری ابزارها و فضای اپراتور و فضای لازم برای انتقال مواد به منظور تخلیه و یا بارگیری مواد و قطعات، محاسبه می‌شود.

برنامه‌ریزی فعالیت‌های خدماتی و کمکی. تا اینجا تاکید بر روی تعیین فضای لازم برای تک‌تک ایستگاه‌های کاری در یافتن ارتباطات میان آنها بوده است. در این مرحله لازم است تا برای وسایل جانبی از قبیل منابع آب، قفسه‌های لباس، درهای خروج در مواقع آتش‌سوزی و تابلوها، برنامه‌ریزی صورت گیرد.

تعیین احتیاجات فضا. گرچه تعیین اولیه احتیاجات فضا قبلاً انجام شده است این مرحله برای آخرین بار تکرار می‌شود؛ زیرا در مرحله قبل فعالیت‌های جانبی و خدمات اضافی نیز در نظر گرفته شدند. برای اجرای این مرحله، دو برگ به نام‌های برگ احتیاجات فضای تولید و برگ احتیاجات کل فضا به کار گرفته می‌شود. بعد از آنکه فضای لازم برای تجهیزات تولیدی مشخص شد (شکل ۴-۴)، تحلیل مشابهی جهت محاسبه احتیاجات فضا برای فعالیت‌های جانبی و خدماتی نیز انجام می‌شود. با استفاده از اطلاعات موجود در برگ برنامه‌ریزی فضای تجهیزات تولیدی و فعالیت‌های جانبی و خدماتی، کل احتیاجات فضا برآورد شده و آن در برگ دیگر به نام برگ کل احتیاجات فضا ثبت می‌شود.

تخصیص محوطه‌های فعالیت به کل فضا. در این مرحله کل فضای در نظر گرفته شده، به هر یک از فعالیت‌ها تخصیص داده می‌شود. برای این منظور معمولاً از مقیاس‌هایی نظیر $1/4$ اینچ = ۱ فوت استفاده می‌شود

در نظر گرفتن انواع ساختمان. نوع ساختمان، ساخت، شکل، تعداد طبقات، محدودیت‌های ساختاری و دیگر عوامل در این مرحله در نظر گرفته می‌شوند.

تهیه چیدمان اصلی. این مرحله نتیجه تمام اقدامات مربوط به جمع‌آوری اطلاعات، تحلیل و ساخت آنهاست که در مراحل قبلی انجام شده است. با به کارگیری الگوها، نوارها و دیگر ابزارها، چیدمانی که تمام تجهیزات تولیدی، خدماتی و جانبی را با مقیاس مناسب نشان دهد، تهیه می‌شود. ارزیابی، تنظیم و چک کردن چیدمان با کارکنان مناسب. از آنجا که این مرحله آخرین فرصت تحلیل‌گران برای ارزیابی و تصحیح خطاها در طراحی آنهاست، باید آنها به دقت طرح چیدمان تولید شده را تحلیل و ارزیابی کنند. باید به کارکنان و عوامل داوری که ممکن است در مراحل قبل نادیده گرفته شده باشند، توجه خاص معطوف شود.

اخذ تائید. بعد از آماده شدن طرح، باید از افراد مربوطه و مدیریت ارشد سازمان - به خصوص از کسانی که دانش تخصصی کارخانه و عملیات را دارند - تائید گرفته شود.

پیاده‌سازی چیدمان. از آنجا که تحلیل‌گران چیدمان، از گام اول مسئول چیدمان تولید شده هستند، خود آنها باید پیاده‌سازی طرح چیدمان را مدیریت نمایند. تغییرات در این گام باید حداقل شود، اما هر تغییر لازم به خاطر خطاهای تشخیص داده شده در این گام باید کاملاً تحلیل شود؛ البته اگر آن تغییرات به تائید کارکنان آگاه و مجرب برسد بعد از پیاده‌سازی، تصحیح خطاها حتی گران‌تر و در نتیجه غیرعملی‌تر خواهد بود.

پیگیری در مورد اجرای چیدمان جدید. این مرحله گام مهمی است، زیرا علی‌رغم برنامه‌ریزی‌های دقیق، ممکن است مواد آنچنان که مورد نظر بوده است جریان پیدا نکنند، مواد برای حمل و نقل زمان طولانی را انتظار بکشند و یا مشکلات دیگری بروز کند. مدیران و دیگر کارکنان باید مراقب هرگونه انحراف از برنامه باشند؛ اگر انحراف نامطلوبی رخ داد علت به وجود آمدن آن را شناسایی

کرده و برای رفع آن تلاش کنند و اگر انحراف مطلوب بود مشخص شود که چرا این تغییر به وجود آمده است و چگونه می‌توان آن را تکرار کرد.

جدول ۴-۴. گام‌های رویکرد Reed در طراحی تسهیلات (ادامه در صفحه بعد)

تحلیل محصولی که باید ساخته شود. اولین گام، تهیه فهرستی کامل است از نقشه‌های مهندسی و طرح‌های مونتاژ قطعاتی که در آینده تولید خواهد شد. سپس برای هر قطعه یک نمودار مونتاژ که برای تهیه چیدمان نهایی ضروری است، تهیه می‌شود. این نمودار، توالی قرار دادن زیرمونتاژها و مونتاژها در کنار یکدیگر برای تهیه محصول نهایی را نشان می‌دهد.

تعیین فرآیندهای ساخت. این گام، شامل تهیه برگ مسیر تولید و نمودار فرآیند عملیات، برای هر یک از قطعات و مونتاژهاست. برگ مسیر تولید، شامل توالی عملیات به‌طور کامل است در حالی که نمودار فرآیند عملیات به ما این امکان را می‌دهد تا اطلاعات نمودار مونتاژ و برگ مسیر تولید را با هم ترکیب کرده و به‌صورت گرافیکی مشاهده کنیم. جزئیات بیشتر در مورد تجهیزات مورد نیاز، در گام بعدی تعیین می‌شود.

تهیه نمودار برنامه‌ریزی چیدمان. در این مرحله که یکی از مهمترین مراحل است اطلاعات مربوط به فرآیند جریان، زمان استاندارد فرآیندها، تصمیمات مربوط به انتخاب ماشین‌آلات، نیازهای کارکنان، روش‌های انتقال مواد، اندازه و شکل قطعات و نیازهای مربوط به وسایل انتقال مواد و تولید قطعات برای تهیه نمودار برنامه‌ریزی چیدمان با هم ترکیب می‌شوند (رجوع به فصل ۳). اگر این نمودار به درستی تهیه شود، طراحی چیدمان (همراه با جزئیاتش) بسیار ساده خواهد بود. مسلّم است که وقتی نمودار برنامه‌ریزی چیدمان تا حدودی تهیه شد اجرای سه مرحله بعد از آن ضروری است.

تعیین مراکز کاری. با استفاده از طرح تجهیزات تولیدی و اطلاعات مربوط به احتیاجات فضای تجهیزات، اپراتورها و مواد، فضای لازم برای هر فعالیت تعیین می‌شود.

استقرار راهرو با کمترین پهنا. در این مرحله، فضای خالی لازم بین هر یک از مراکز و ایستگاه‌های کاری مشخص می‌شود که این فضاها را اضافی بین ایستگاه‌های کاری به فضای مورد نیاز برای دسترسی اپراتور، وسیله انتقال مواد و رفت‌وآمد کارکنان بستگی دارد.

در نظر گرفتن فضاهای مورد نیاز غیرتولیدی (دفاتر). فضای مورد نیاز برای فعالیت‌های غیرتولیدی باید بر اساس ملاحظات تعیین شوند. باید فضا برای دفتر سرپرستان و مدیران، دفتر کارمندان، اتاق‌های کنفرانس، ملاقات و اتاق انتظار برای ملاقات‌کنندگان در نظر گرفته شود.

در نظر گرفتن خدمات و تسهیلات کارمندی. فضا برای اتاق کمد، رستوران، کمک‌های اولیه، تسهیلات پارکینگ و اتاق‌های استراحت باید در نظر گرفته شوند.

بررسی خدمات کارخانه. خدمات کارخانه شامل خدمات مورد نیاز نگهداری، تعمیرات و محافظت

مدلهایی برای مسائل چیدمان

۵-۱ مقدمه

قبلاً در مورد پنج نوع از انواع چیدمان در فصل ۳ بحث شد. اگر چه اهداف مختلفی در توسعه یک چیدمان وجود دارد ولی ابتدایی‌ترین هدف این است که هزینه یا زمان درگیر در موارد ذیل کمینه شود:

- حرکت کارکنان و مواد بین بخش‌ها در چیدمان یک اداره؛
- حمل و نقل محصولات نیم‌ساخته، محصولات نهایی، مواد و ابزار بین ماشین‌ها و ایستگاه‌های کاری در چیدمان ماشین‌آلات؛ یا
- برداشتن قطعات از انبار در چیدمان یک انبار.

همان‌طور که در بخش چهار بحث شد، برای بهبود و توسعه راه‌حلی (چیدمانی) که هزینه‌های حمل و نقل مواد را کمینه کند، نیاز به مدل‌سازی مسائل چیدمان است. مدل‌های ریاضی با رشد روزافزونی برای این هدف استفاده می‌شوند. سپس این مدل‌ها با استفاده از یک الگوریتم مناسب حل می‌شود. تمرکز این فصل بر روی مدل‌های ریاضی است که در حل مسائل چیدمان تسهیلات استفاده می‌شوند. برای نمایش فواید این مدل‌ها، چند مساله چیدمان با استفاده از نرم‌افزارهای موجود حل شده و نشان داده شده که چگونه یک چیدمان اولیه بهبود یافته است.

به منظور مدل‌سازی، مطلوب است که مسائل چیدمان در دو گروه طبقه‌بندی شوند:

- مسائل چیدمان یک‌ردیفی.
- مسائل چیدمان چندردیفی.

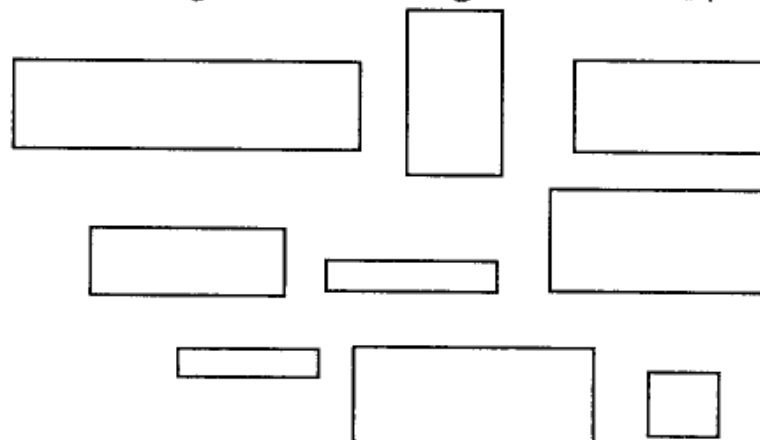
مسائل چیدمان یک‌ردیفی و چندردیفی، گاهی مسائل تخصیص فضا به صورت یک‌بعدی و دوبعدی نیز نامیده می‌شوند (Simons, 1969). همان‌طور که از اسمشان پیداست در مسائل چیدمان یک‌ردیفی، تسهیلات به صورت خطی در یک ردیف، همانند شکل ۱-۵۵ چیده می‌شوند. در مسائل چندردیفی، تسهیلات به صورت خطی در دو ردیف یا بیشتر قرار می‌گیرند. با توجه به تعریف ارائه شده برای چیدمان چندردیفی، ضرورتی ندارد که تسهیلات در طول ردیف‌های کاملی قرار بگیرند. برای مثال، همان‌طور که در شکل ۲-۵ نشان داده شده است مرکز تسهیلات مستطیل شکلی که در ردیف بالا قرار گرفته‌اند، همگی در یک سطح افقی یکسان قرار دارند در صورتی که در ردیف‌های دیگر این‌طور نیست. کلمه تسهیلات در زمینه تولید شامل ماشین‌آلات، ایستگاه‌های کاری، ایستگاه‌های بازرسی، ایستگاه‌های شستشو، اتاق کمد‌ها و مکان‌های استراحت است. در یک سیستم خدماتی، تسهیلات می‌تواند شامل دفاتر، مبلمان راحتی، اتاق‌های استراحت و رستوران باشد.



شکل ۱-۵. چیدمان یک‌ردیفی

یک مثال ساده از مساله چیدمان یک‌ردیفی، قراردادن کتاب‌ها در یک قفسه است به نحوی که آنهایی که بیشتر استفاده می‌شوند به راحتی قابل دسترس باشند. اگر ما کتاب‌ها را مانند تسهیلات فرض کنیم، یک مساله چیدمان یک‌ردیفی خواهیم داشت! البته اگر کتاب‌ها در بیشتر از یک قفسه قرار بگیرند، یک مساله چیدمان چندردیفی خواهیم داشت. نوع دیگری از مسائل چیدمان یک‌ردیفی، چیدمان ماشین‌آلات در یک سمت مسیرهای عبور برای باربران خودکار (AGV) روی زمین کارخانه و تخصیص هواپیماهای در حال نزدیک شدن به ورودی‌های فرودگاه است (Suryanarayanan,

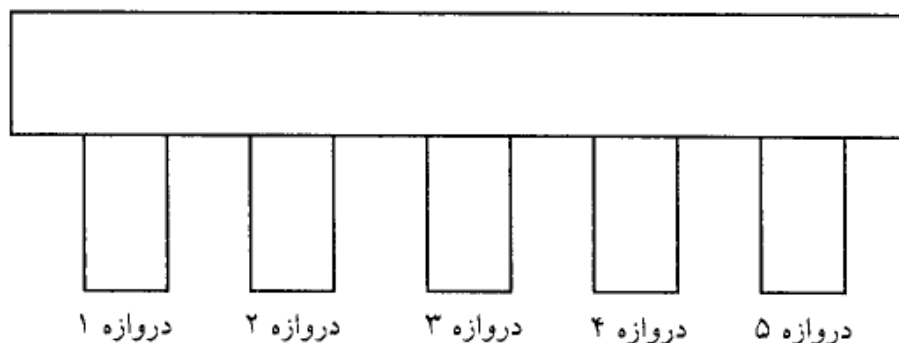
(Golden and Wang, 1991). برای درک اینکه چگونه تخصیص ورودی‌های فرودگاه می‌تواند مانند مساله چیدمان یک ردیفی باشد، به مثال ذیل توجه کنید.



شکل ۵-۲. چیدمان چندردیفی

فرض کنید که فرودگاه اوهار شیکاگو^۱ به عنوان مرکزی برای خطوط هوایی ایالات متحده آمریکا، خدمت ارائه می‌دهد. ایالات متحده آمریکا از ترمینال C این فرودگاه به ورودی‌ها دسترسی دارد. در طول یک دوره دوساعته، پروازهای شرکت‌های مختلف وارد شده و به شهرهای مختلف سفر می‌کنند. بیشتر مسافران خطوط هوایی آمریکا از مبدا خود به اوهار شیکاگو می‌آیند و از این طریق به مقصد نهایی خود می‌روند؛ برای بقیه، اوهار شیکاگو مقصد نهایی است. یکی از اهداف واحد مدیریت خطوط هوایی، کمینه کردن مسافتی است که مسافران برای سوار شدن به هواپیمای خود باید بپیمایند. ایالات متحده باید ورود و خروج هواپیماها را به درهای مشخصی در یک دوره دوساعته به منظور کم کردن نارضایتی‌های کلی مسافران مشخص کند. به عبارت دیگر، باید کل مسافت پیموده شده توسط مسافران در طول فرودگاه را با تخصیص مناسب پروازها به ورودی‌ها کم کند. معمولاً فاصله بین هر دو جفت ورودی همسایه یکسان است (شکل ۵-۳ را ببینید). هنگام تعیین فاصله بین ورودی‌ها (d_{ij}) فقط باید به فاصله پیموده شده توسط مسافران در داخل ترمینال‌ها توجه شود. ما می‌توانیم طول مسیرهایی که فضای سوار شدن به هواپیما را به ترمینال مرتبط می‌کند، نادیده بگیریم. زیرا معمولاً طول این مسیرها برای هر ورودی، همان‌طور که در شکل ۵-۳ نمایش داده شده، یکسان است. این مساله می‌تواند به عنوان یک مساله چیدمان یک‌ردیفی مدل شود که در

آن همه تسهیلات طول یکسانی دارند.



شکل ۵-۳. تخصیص هواپیماها به دروازه‌های یک فرودگاه

این فصل بر روی بهبود و توسعه مدل‌های ریاضی استفاده شده برای حل مسائل چیدمان متمرکز است. برای توسعه مدل‌هایی که بتوان آنها را در یک زمان منطقی به وسیله الگوریتم‌های تخصصی یا عمومی حل کرد، فرض‌های ساده کننده مورد نیاز است. در بسیاری موارد، چنین فرضیاتی قابل قبول هستند زیرا راه حل نهایی به دست آمده را می‌توان به راحتی اصلاح کرد تا شرایط واقعی را منعکس کند و این اصلاحات موجب تغییرات اساسی در شاخص‌های استفاده شده برای اندازه‌گیری اثربخشی و کارایی چیدمان نمی‌شود. برای مثال، در بعضی مسائل، جایی که تسهیلات مساحت نامساوی دارند، فرض می‌شود که تمام تسهیلات به شکل مربع یا مستطیل هستند. تصور کنید با توجه به این فرض، یک مدل ریاضی مناسب تهیه می‌شود و یک چیدمان به وسیله حل مدل به دست می‌آید؛ سپس با اصلاح شکل تسهیلات در چیدمان نهایی، اشکال واقعی آنها (بدون تغییر دادن مکان‌های نسبی آنها) در نظر گرفته می‌شود. این اصلاحات موجب تغییر فاصله میان تسهیلات خواهد شد و به دنبال آن مقدار تابع هدف^۱ (OFV) واقعی متفاوتی محاسبه خواهد شد^۲. معمولاً این تغییر قابل ملاحظه نیست. بنابراین شکل فرضی ما ممکن است موجّه جلوه کند. اما در بعضی موارد، اصلاح جواب برای نمایش شرایط واقعی، می‌تواند به تغییرات اساسی در مقدار تابع هدف منجر شود که این فرض در مدل ممکن است اشتباه و غیرقابل قبول باشد. از

1. Objective Function Value

۲. فرض کنید OFV مجموع ضرب جریان و فاصله محاسبه شده برای هر جفت تسهیلات است.

این‌رو قبل از کاربرد هر مدلی که در این فصل بحث می‌شود، خواننده باید با دقت در نظر داشته باشد که فرضیات مدل، در صورت مساله اختلالی ایجاد نکند. در ادامه چندین مدل خطی و غیرخطی برای مسائل چیدمان یک‌رديفی و چندرديفی ارائه می‌شود.

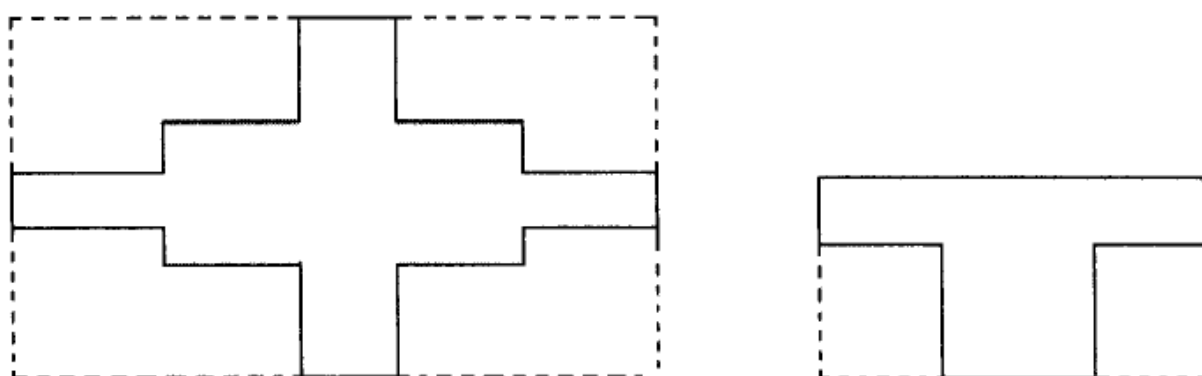
۵-۲ مدلی برای مسائل چیدمان یک‌رديفی

فهم مسائل چیدمان یک‌رديفی و چندرديفی نسبتاً آسان هستند ولی به‌دست آوردن جواب بهینه برای آنها بسیار مشکل است. همان‌طور که در فصل ۱ اشاره شد مدل‌های هر دو مساله، به‌عنوان NP کامل شناخته می‌شوند (Beghin-Picavet and Hansen, 1982; Sahni and Gonzalez 1976). مدل‌هایی برای این دو نوع مساله ارائه می‌شود. این مدل‌ها که ABSMODEL 1، ABSMODEL 2 و از این قبیل نامیده می‌شوند دارای عبارات قدرمطلق در تابع هدف، محدودیت‌ها یا هر دو هستند. هرچند این مدل‌ها خطی نیستند اما می‌توان آنها را با اضافه کردن متغیرهای حقیقی و صحیح، خطی نمود. در مورد این تبدیلات بحث خواهیم کرد. ابتدا در مورد یک مدل غیرخطی برای مساله چیدمان یک‌رديفی (یک خطی) بحث می‌کنیم - ABSMODEL 1. فرضیات این مدل عبارتند از:

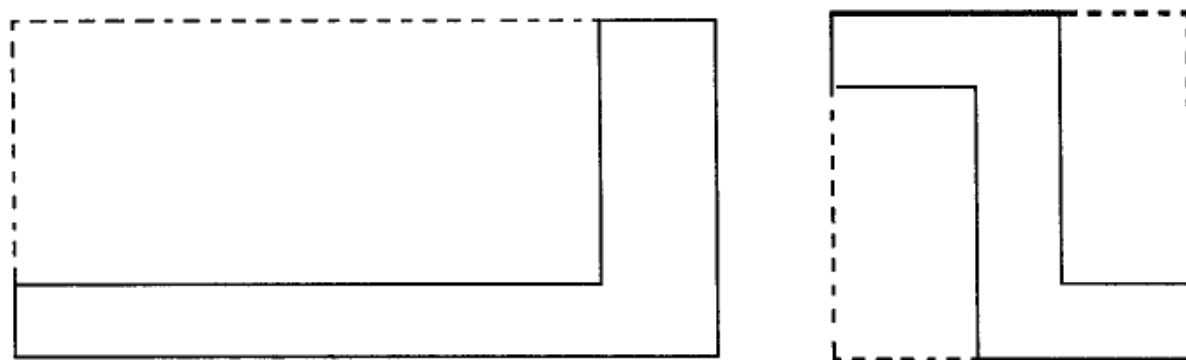
- تسهیلات مربع یا مستطیل شکل هستند و شکل آنها از قبل مشخص شده است.
- تسهیلات همان‌طور که در شکل ۵-۱ نشان داده شده است در طول یک خط راست چیده می‌شوند.
- جهت و موقعیت تسهیلات از قبل مشخص شده است.
- هیچ محدودیتی در مورد شکل ساختمانی که تسهیلات در آن واقع می‌شوند وجود ندارد.

ممکن است ادعا شود که اولین فرض، واقع‌بینانه نیست چرا که همه تسهیلات یا ایستگاه‌های کاری مربع یا مستطیل شکل نیستند. گرچه بازبینی جزئی خیلی از مسائل چیدمان مشخص می‌کند تسهیلاتی که دقیقاً مربع یا مستطیل نیستند اغلب ممکن است به‌طور تقریبی مربع یا مستطیل شکل در نظر گرفته شوند. شکل ۵-۴ چگونگی تقریب‌زدن اشکالی که دقیقاً مربع یا مستطیل نیستند را نشان می‌دهد. البته اگر شکل‌هایی

که خیلی دور از مربع یا مستطیل هستند نیز به این صورت فرض شوند (به صورت شکل ۵-۵)، جواب‌هایی که با حل مدل به دست می‌آیند خوب نخواهند بود. خوشبختانه تسهیلات به‌ندرت شکل‌هایی شبیه شکل ۵-۵ دارند و از لحاظ بهینه‌سازی خیلی به مشکل بر نمی‌خوریم. اگر اشکالی را که دقیقاً مربع یا مستطیل نیستند (مانند شکل ۴-۵) مانند مربع یا مستطیل کامل در نظر بگیریم، این‌گونه تقریب‌ها عمدتاً فرمول‌بندی فرآیند و در نتیجه حل آن را آسان می‌کند.



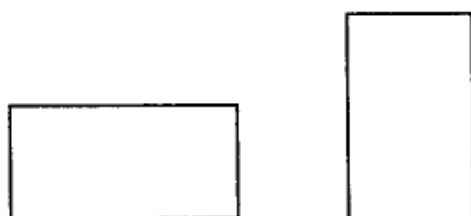
شکل ۴-۵. تخمین شکل تسهیلاتی که دقیقاً مربع یا مستطیل نیستند



شکل ۵-۵. نحوه برخورد با تسهیلات L شکل و Z شکل به صورت تسهیلات مربع و مستطیل شکل

فرض دومی که برای ABSMODEL 1 در نظر گرفته شده، واضح است و نیازی به توضیح ندارد. فرض سوم و چهارم نیاز به کمی بحث دارند. جهت و موقعیت تسهیلات مستطیل‌شکل مشخص می‌کند که آیا طول بزرگتر تسهیلات به صورت افقی در کارخانه (ساختمان) قرار گیرد یا طول کوچکتر (شکل ۵-۶). فاصله بین تسهیلات مستطیل‌شکل به جهت قرارگیری آنها بستگی دارد. در بسیاری از سیستم‌های ساخت برای آسان کردن بارگیری و تخلیه قطعات، ماشین‌ها به گونه‌ای جهت داده می‌شوند که نقاط بارگیری و

تخلیه، روبروی راهرو قرار گیرند. از آنجا که این نقاط برای یک ماشین ثابت هستند، در نتیجه موقعیت و جهت آنها از پیش تعیین شده است. برای تسهیلات مربع شکل، موقعیت و جهت، مشکلی ایجاد نمی کند زیرا فاصله بین تسهیلات در تمام جهات استقرار یکسان است. در مورد فرض چهارم بعداً صحبت می کنیم.



شکل ۵-۶. دو جهت ممکن برای تسهیلات مستطیل شکل

۵-۲-۱ ABSMODEL 1

علائمی که در ABSMODEL 1 استفاده می شوند عبارتند از:

پارامترها

n : تعداد تسهیلات مساله

c_{ij} : هزینه جابه جایی واحد بار در واحد فاصله بین تسهیلات i و j

f_{ij} : تعداد سفرهای بین تسهیلات i و j

l_i : طول وجه افقی وسیله نوع i

d_{ij} : حداقل فاصله بین تسهیلات i و j تا آن دو به صورت افقی از هم جدا شوند

H : طول افقی طرح زمین مورد نظر

متغیر تصمیم

x_i : فاصله بین مرکز ماشین i و خط مرجع عمودی

پارامترها و متغیرهای تصمیم وابسته به مساله چیدمان یک ردیفی در شکل ۵-۷ نشان داده شده اند. از آنجا که تنها مسائل چیدمان یک ردیفی مورد نظر است، بعد عمودی نقشه زمین و ماشین آلات مهم نیست و در نتیجه به حساب آورده نمی شوند.

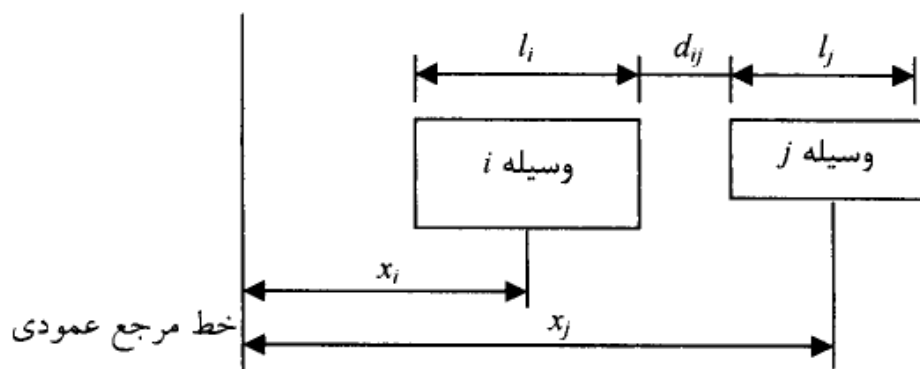
مدل 1 ABSMODEL به صورت ذیل است:

$$\text{Minimize} \quad \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n c_{ij} f_{ij} |x_i - x_j| \quad (1)$$

s.t.

$$|x_i - x_j| \geq \frac{1}{2}(l_i + l_j) + d_{ij} \quad i = 1, 2, \dots, n-1; \quad j = i+1, \dots, n \quad (2)$$

ABSMODEL 1 می‌تواند برای فرمول‌بندی مسائل چیدمان تسهیلات با طول‌های برابر یا نابرابر استفاده شود. تابع هدف (۱) در مدل، مجموع هزینه سفر بین تسهیلات را کمینه می‌کند. محدودیت (۲) تضمین می‌کند که هیچ دو وسیله‌ای در چیدمان همپوشانی نخواهند داشت. شکل ۵-۷ نشان می‌دهد که چگونه محدودیت (۲) مانع از همپوشانی تسهیلات می‌شود. گرچه محدودیت‌های غیرمنفی بودن متغیرها برای این مدل ضروری نیست، اما اگر کاربر جوابی می‌خواهد که در آن همه x_i ها مثبت باشند مدل می‌تواند آنها را نیز شامل شود. در آن صورت خط مرجع عمودی^۱ از مبدا (یا سمت راست مبدا) عبور می‌کند. محدودیت‌های غیرمنفی بودن متغیرها، چه در مدل بیابند یا نه، جواب ABSMODEL 1 (مثلاً نحوه قرارگیری تسهیلات) و مقدار تابع هدف تغییر نخواهد کرد؛ مگر اینکه مساله جواب‌های بهینه چندگانه داشته باشد. اگر مساله جواب بهینه یگانه داشته باشد دو جوابی که از حل مساله در دو حالت با محدودیت‌های غیرمنفی و بدون آنها به دست آمده‌اند، ممکن است از نظر مقدار عددی تفاوت داشته باشند اما نحوه قرارگیری تسهیلات و مقدار تابع هدف آنها یکسان خواهد بود.



شکل ۵-۷. نمایش پارامترها و متغیرهای تصمیم برای مسائل چیدمان یک‌بعدی

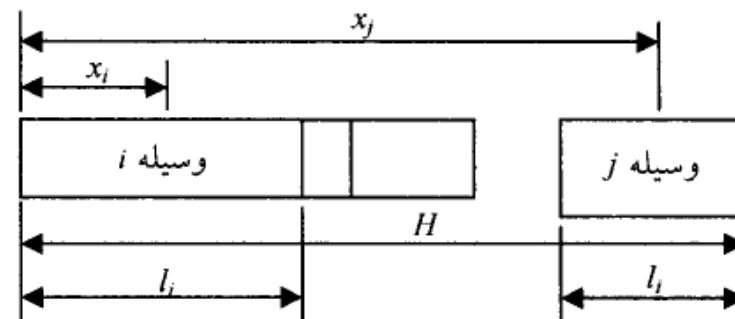
بدون در نظر گرفتن محدودیت همپوشانی تسهیلات در بعد عمودی، به‌طور ضمنی فرض شده که مختصات عمودی مراکز همه تسهیلات و یا ماشین‌آلات یکی هستند. بنابراین جواب بهینه، یک چیدمان یک ردیفی ارائه می‌دهد. به‌علاوه، محدودیت‌های شکل و اندازه ساختمان و زمین (چهارمین فرض بالا) در نظر گرفته نمی‌شود.

بنابراین به‌طور ضمنی فرض شده است که ساختمان، مساحت نامحدودی دارد که می‌توان تسهیلات را در آن مستقر کرد. البته چون هدف، کمینه کردن هزینه حرکت در فاصله بین تسهیلات است، تسهیلات در جواب بهینه اولاً به‌طور افقی در طول یک خط و ثانیاً تا آنجا که ممکن است نزدیک به یکدیگر چیده خواهند شد. گرچه اندازه ساختمان در مدل، نامحدود در نظر گرفته شود تسهیلات در جواب بهینه خیلی دور از هم و پراکنده قرار نخواهند گرفت. اگر اندازه افقی ساختمان داده شود و کاربر بخواهد همچنین این محدودیت را که تسهیلات در محدوده افقی مستقر شوند در مدل بیاورد محدودیت ذیل هم باید به مدل اضافه شود:

$$H - \frac{1}{2}l_i \geq x_i \geq \frac{1}{2}l_i \quad i=1,2,\dots,n \quad (3)$$

به‌خاطر اینکه x_i به فاصله بین مرکز وسیله i ام و خط مرجع عمودی اشاره می‌کند، محدودیت (۳) ارضاء خواهد شد، حتی اگر وسیله در منتهی‌الیه چپ یا راست قرار گیرد. این مطلب را می‌توان با بررسی شکل ۵-۸ بررسی کرد. توجه شود که محدودیت (۳) باعث می‌شود که خط مرجع عمودی با انتهای سمت چپ تسهیلات که در منتهی‌الیه سمت چپ قرار می‌گیرد منطبق شود. در شکل ۳-۳، H - اندازه افقی نقشه زمین - مجموع طول همه تسهیلات در نظر گرفته می‌شود که حداقل اندازه مورد نیاز برای توسعه یک چیدمان شدنی است. البته ما فاصله افقی خالی بین هر جفت از تسهیلات مجاور را صفر در نظر گرفته‌ایم. اگر این مورد نباشد، H باید آن فاصله را شامل شود. توجه کنید اضافه کردن محدودیت (۳) واقعاً ضروری به‌نظر نمی‌رسد، چون تابع هدف مدل، فاصله بین تسهیلات (و بنابراین هزینه حمل‌ونقل مواد) را کمینه می‌کند. حتی بدون در نظر گرفتن آن محدودیت، یک چیدمان به‌هم فشرده (متمرکز) به دست می‌آید. اگر H بزرگ‌تر یا حداقل مساوی با مجموع طول همه تسهیلات به‌علاوه فاصله خالی مورد نیاز بین تسهیلات باشد، تسهیلات به‌صورت خودکار در محدوده

ساختمان قرار می‌گیرند. محدودیت (۳) برای شناساندن محدودیت‌های "تسهیلات در داخل ساختمان" به خواننده، در اینجا آورده شده است که در مدل چند ردیفی چیدمان ضروری است.



خط مرجع

شکل ۵-۱ یک چیدمان شدنی یک‌ردیفی برای مساله‌ای که تسهیلات طول برابری ندارند

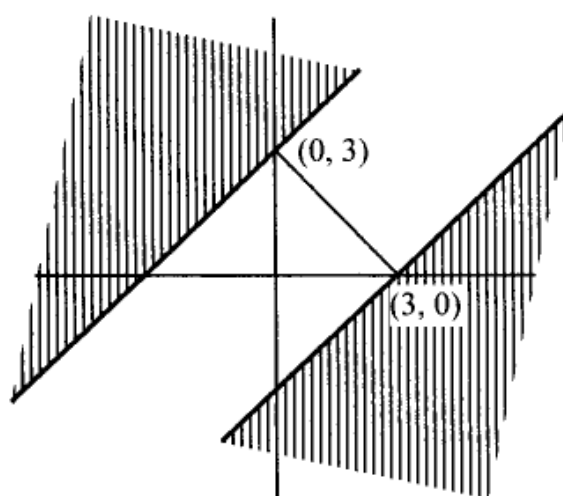
عموماً پیدا کردن جواب‌های بهینه برای مسائل برنامه‌ریزی غیرخطی (NLP)^۱ کار سختی است. برای درک این مطلب خواننده باید با تئوری‌های پایه‌ای NLP آشنا شود. در اینجا اطلاعات اولیه ارائه می‌شود تا به دانشجویان که با آنها آشنایی ندارند کمک کند. برخلاف مسائل برنامه‌ریزی خطی^۲ (LP)، ناحیه شدنی برای مسائل غیرخطی لزوماً یک مجموعه محدب^۳ نیست. حتی اگر منطقه شدنی محدب باشد جواب بهینه مساله NLP (بر خلاف مساله LP) لزومی ندارد که بر یک نقطه گوشه‌ای در منطقه شدنی منطبق باشد. بنابراین، یافتن یک جواب بهینه برای یک مساله غیرخطی عموماً ممکن است نشدنی باشد. از طرف دیگر در برخی موارد خاص، پیدا کردن جواب بهینه برای یک مساله غیرخطی نسبتاً آسان است. از جمله این گونه مسائل، مسائل غیرخطی بدون محدودیت است که در آنها تابع هدف مقعر و از نوع بیشینه‌سازی یا محدب و از نوع کمینه‌سازی است. در برخی از مسائل غیرخطی، تابع هدف مقعر و از نوع بیشینه‌سازی و یا محدب و از نوع کمینه‌سازی است و محدودیت‌ها یک مجموعه محدب تشکیل می‌دهند و در واقع منطقه شدنی محدب می‌شود. در مورد اخیر، اگر هر محدودیت تابعی خطی یا محدب باشد مجموعه محدب خواهد شد. متأسفانه شرط محدب بودن

1. Non-Linear Programming

2. Linear Programming

۳. یک مجموعه محدب مجموعه‌ای است که تمام نقاط روی پاره‌خطی که هر دو نقطه دلخواهی از مجموعه را به هم وصل می‌کند در داخل آن مجموعه باشد. برای اطلاعات بیشتر به Winston (1994) مراجعه کنید.

مجموعه در 1 ABSMODEL و یا دیگر مدل‌های غیرخطی ارائه شده در این فصل ارضاء نمی‌شود. به عنوان مثال، یک مساله چیدمان یک‌ردیفی ساده با دو ماشین را در نظر بگیرید که در آن دو ماشین به ترتیب دارای طول‌های ۲ و ۴ واحد هستند. محدودیت این مساله می‌تواند به صورت $|x_1 - x_2| \geq 3$ نوشته شود. مجموعه همه نقاطی که در این محدودیت صدق می‌کنند در شکل ۵-۹ هاشور زده شده است. به وضوح خطی که نقاط $(0, 3)$ و $(3, 0)$ را به هم وصل می‌کند - با وجود اینکه هر دو نقطه در منطقه شدنی قرار دارند - به طور کامل در منطقه شدنی قرار نمی‌گیرند. در نتیجه بنا به تعریفی که برای مجموعه محدب ارائه شده بود، این مجموعه محدب نیست. از آنجا که این مساله چیدمان خصوصیت مجموعه محدب یا هر خصیصه دیگری که به دست آوردن جواب بهینه را آسان می‌سازد، ندارد ما مجبوریم که از تکنیک‌های جستجوی بهینه محلی و ابتکاری استفاده کنیم که در بسته‌های نرم‌افزاری تجاری مانند GINO موجود است. این مطلب در مثال بعد نشان داده شده است.



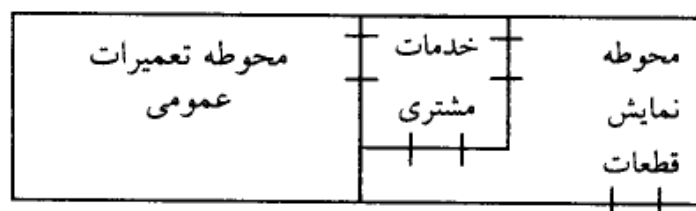
شکل ۵-۹. مجموعه نقاطی که محدودیت‌ها را در یک مساله چیدمان ارضاء می‌کنند

مثال ۱

در طول سال‌ها کسب و کار، تعمیرگاه TVCR، که دستگاه‌های تلویزیون و VCRها را تعمیر می‌کند، رشد چشمگیری داشته است. هم‌اکنون TVCR، سایر وسایل الکترونیکی مشتریان مانند مایکروویو، کامپیوتر و وسایل جانبی آن و سیستم‌های صوتی را علاوه بر دستگاه تلویزیون و VCR تعمیر می‌کند. TVCR همچنین لوازم و قطعات یدکی را

برای دستگاه‌های الکترونیکی که در رابطه با آنها خدمات ارائه می‌دهد، می‌فروشد. در طول سال گذشته، مالک مغازه شکایات زیادی را درباره ازدحام رفت‌وآمد، جابه‌جا گذاشتن قطعات و سفارشات تعمیر و پایین بودن کیفیت کار کارگران دریافت نموده است. مالک مغازه از یک شرکت مشاوره برای مطالعه شرایط و ارائه راه‌کار دعوت نمود. شرکت مشاوره پیشنهاد کرد که TVCR باید از طریق ساخت یک طبقه دیگر گسترش یابد اما مالک TVCR متقاعد نشد که این پیشنهاد پرهزینه، کارا باشد. او قویاً اعتقاد داشت که با قرارگیری مجدد تسهیلات در فضای موجود، مسائل مربوط به ازدحام رفت‌وآمد و کیفیت می‌توانند حل شود. او چهار دانشجوی مهندسی صنایع را از یک دانشگاه محلی مهندسی برای مطالعه مسائل TVCR و پیشنهاد یک چیدمان برای حل این مشکلات، استخدام نمود. پس از بازدید از TVCR، تیم دانشجویی مقداری اطلاعات جمع‌آوری نمود و این مطالب را عنوان کرد:

- شرکت یک تکنسین تعمیرکار برای دستگاه‌های تلویزیون و VCRها، یکی برای اجاق مایکروویو، سوئی برای سیستم‌های صوتی و چهارمی برای کامپیوترها دارد.
- هرچند تکنسین‌ها به صورت مشارکتی با تجهیزات کار می‌کنند، بسیاری از تجهیزات فقط توسط یک نفر استفاده می‌شود.
- ابعاد ساختمان ۷۵×۱۵ فوت است.
- چیدمان موجود در شکل ۵-۱۰ نشان داده شده است.



شکل ۵-۱۰. چیدمان فعلی TVCR

تیم مطالعه دانشجویی پیشنهاد کرد که TVCR، پنج اتاق کار ایجاد نماید - برای هر تکنسین یک اتاق و یک اتاق هم برای نمایش قطعات و لوازم و پرداخت پول. همچنین پیشنهاد شد که در مقابل هر اتاق تعمیر، یک پنجره ارائه خدمت به مشتری تعبیه شود تا مشتری که مشکل تعمیر مشخصی دارد مستقیماً به تکنسین مربوطه‌اش مراجعه کند.

به‌علاوه تجهیزات در بخشی نگهداری شوند که بیشترین استفاده را دارند. برای نمونه، اگر قسمتی از تجهیزات تست توسط تکنسین تعمیر تلویزیون و VCR بیشتر استفاده می‌شود، باید در اتاق آن تکنسین نگهداری شود. تیم دانشجویی رفت‌وآمد و تعامل بین هر جفت از اتاق‌ها را در یک روز کاری واقعی مشاهده کردند. رفت‌وآمدها به این بستگی داشت که هر چند وقت یک‌بار یک تکنسین (مثلاً تکنسین صوتی) به یکی از تجهیزاتی که قبلاً توسط دیگری (مثلاً تکنسین تلویزیون) استفاده شده است نیاز دارد. رفت‌وآمدها در ماتریس سفر $[f_{ij}]$ شکل ۵-۱۱ نشان داده شده است. تیم دانشجویی ابعاد هر یک از اتاق‌ها را بر پایه تجهیزات مورد استفاده در هر اتاق و فضای کاری مورد نیاز برای هر تکنسین مشخص نمودند. این ابعاد در شکل ۵-۱۱ همراه با نام و شماره هر اتاق مشخص شده است. اکنون این تیم باید یک مدل چیدمان یک ردیفی برای TVCR ایجاد نماید.

		اتاق				
		1	2	3	4	5
$[f_{ij}] =$	1	-	12	8	20	0
	2	12	-	4	6	2
	3	8	4	-	10	0
	4	20	6	10	-	3
	5	0	2	0	3	-

شماره اتاق	نام اتاق	ابعاد (فوت)
۱	تلویزیون / ویدئو	۲۰×۱۰
۲	صوتی	۱۰×۱۰
۳	مایکروویو	۱۰×۱۰
۴	کامپیوتر	۲۰×۱۰
۵	قطعات	۱۵×۱۰

شکل ۵-۱۱. ماتریس سفر و ابعاد برای ۵ اتاق

جواب. موقعیت و جهت تسهیلات باید به‌گونه‌ای باشند که بلندترین وجه آنها با طول ساختمان موازی باشد. به‌دلیل اینکه ماتریس جریان متقارن است هیچ تغییری در آن ضروری نیست. هزینه رفت‌وآمد افراد به‌طور مستقیم متناسب است با فاصله‌ای که آنها می‌پیمایند. هیچ نیازی به فاصله خالی بین اتاق‌ها وجود ندارد.

فرمول‌بندی ABSMODEL برای مساله بالا تهیه شد. یک پرینت کامپیوتری از فایل ورودی تهیه شده برای GINO در ادامه آورده شده است.

MODEL:

- 1) $\text{MIN} = 12 * \text{ABS}(X1 - X2) + 8 * \text{ABS}(X1 - X3) + 20 * \text{ABS}(X1 - X4) + 4 * \text{ABS}(X2 - X3) + 6 * \text{ABS}(X2 - X4) + 2 * \text{ABS}(X2 - X5) + 1 * \text{ABS}(X3 - X4) + 3 * \text{ABS}(X4 - X5) ;$
 - 2) $\text{ABS}(X1 - X2) > 15 ;$
 - 3) $\text{ABS}(X1 - X3) > 15 ;$
 - 4) $\text{ABS}(X1 - X4) > 20 ;$
 - 5) $\text{ABS}(X1 - X5) > 17.5 ;$
 - 6) $\text{ABS}(X2 - X3) > 10 ;$
 - 7) $\text{ABS}(X2 - X4) > 15 ;$
 - 8) $\text{ABS}(X2 - X5) > 12.5 ;$
 - 9) $\text{ABS}(X3 - X4) > 15 ;$
 - 10) $\text{ABS}(X3 - X5) > 12.5 ;$
 - 11) $\text{ABS}(X4 - X5) > 17.5 ;$
 - 12) $X1 > 10 ;$
 - 13) $X2 > 5 ;$
 - 14) $X3 > 5 ;$
 - 15) $X4 > 10 ;$
 - 16) $X5 > 7.5 ;$
 - 17) $X1 < 65 ;$
 - 18) $X2 < 70 ;$
 - 19) $X3 < 70 ;$
 - 20) $X4 < 65 ;$
 - 21) $X5 < 67.5 ;$
- END

اگر مدل با استفاده از نرم افزار GINO حل شود خروجی کامپیوتری به صورت شکل ذیل خواهد بود. مقدار تابع هدف این جواب ۱۶۵۷/۵۰ است. توجه شود که مقدار هر متغیر، مختصه افقی مرکز تسهیلات را نسبت به خط مرجع عمودی نشان می‌دهد. چیدمان یک‌ردیفی مطابق با نتایج به دست آمده در شکل ۵-۱۲ نشان داده شده است.



شکل ۵-۱۲. چیدمان یک‌ردیفی برای TVCR

SOLUTION STATUS: OPTIMAL TO TOLERANCES. DUAL CONDITIONS: SATISFIED.

OBJECTIVE FUNCTION VALUE

1)	1657.500000	
VARIABLE	VALUE	REDUCED COST
X1	10.000000	.000000
X2	25.000000	.000000
X3	35.000000	.000000
X4	50.000000	.000000
X5	67.500000	.000000
ROW	SLACK OR SURPLUS	PRICE
2)	.000000	-40.000000
3)	10.000000	.000000
4)	20.000000	.000000
5)	40.000000	.000000
6)	.000000	-40.000000
7)	10.000000	.000000
8)	30.000000	.000000
9)	.000000	-38.000000
10)	20.000000	.000000
11)	.000000	-5.000000
12)	.000000	.000000
13)	20.000000	.000000
14)	30.000000	.000000
15)	40.000000	.000000
16)	60.000000	.000000
17)	55.000000	.000000
18)	45.000000	.000000
19)	35.000000	.000000
20)	15.000000	.000000
21)	.000000	.000000

وقتی که مدل استفاده شده در اینجا بدون محدودیت‌های نامنفی بودن یا محدودیت‌های تسهیلات درون ساختمان (مثل محدودیت‌های ردیف‌های ۱۲ تا ۲۱) حل می‌شوند همان چیدمان تسهیلات و مقدار تابع هدف به دست می‌آید. در هر حال مقدار متغیرها به این صورت خواهند شد: $X_1=32.66$, $X_2=47.66$, $X_3=57.66$, $X_4=72.66$ و $X_5=90.16$.

در نظر گرفتن فاکتورهایی نظیر محل خروجی‌های اضطراری، مسیرهای فرار و محل پارکینگ برای کارمندان و مشتریان در مدل ریاضی آن را پیچیده می‌کند و حل آن را مشکل می‌نماید. بنابراین این فاکتورها در مدل در نظر گرفته نشده‌اند هرچند که در

طرح نهایی باید در نظر گرفته شوند. جوابی که از طریق GINO به دست می‌آید باید طوری اصلاح شود تا با قوانین آتش‌نشانی محلی مطابقت داشته باشد و فاکتورهایی که در مدل در نظر گرفته نشده‌اند، اعمال شوند. برای مثال راهروی طولی که در شکل ۵-۱۲ نشان داده شده، ممکن است برای فرار اضطراری استفاده شود و همین‌طور ممکن است یک درب اضطراری در قسمت انتهایی راهرو قرار گیرد و یک درب نیز در انتهای دیگر راهرو برای استفاده معمولی تعبیه شود. فضای پارکینگ باید در صورت امکان نزدیک به درب خروجی قرار گیرد.

۵-۳ مدل‌هایی برای مسائل چیدمان چندردیفی با تسهیلاتی دارای مساحت یکسان

مساله چیدمان پانل‌های کنترل، چیدمان ماشین‌آلات در یک سیستم تولید خودکار، طراحی صفحه کلید برای تایپ و مساله چیدمان دفتر کار، بعضی از نمونه مسائل چیدمان چندردیفی هستند (Burkard, 1984). بسیاری از این نمونه‌ها در بخش ۳ مورد بحث قرار گرفتند. مدل‌هایی مانند مساله تخصیص نمایی^۱ (Koopmans and QAP) (Beckmann, 1957)، مدل عدد صحیح مختلط خطی^۲ (Love and Wong, 1976)، مدل پوشش مجموعه نمایی^۳ (Bazaar, 1975) و مدل غیرخطی با مقادیر قدرمطلق در تابع هدف و محدودیت‌ها (Heragu, 1992) برای فرمول‌بندی این مسائل مورد استفاده قرار می‌گیرند. در این فصل QAP و مدل غیرخطی با عبارات قدرمطلق ارائه می‌شود.

۵-۳-۱ QAP

مساله تعیین مکان تسهیلات با در نظر گرفتن جریان مواد بین آنها، اولین بار به صورت نمایی توسط (Koopmans and Beckmann, 1957) در یک مساله چیدمان تسهیلات که n تسهیلات باید به n مکان مفروض تخصیص داده شوند، مدل شد. منظور از تخصیص این است که هر یک از تسهیلات منطبق بر یک مکان شود و بالعکس. در QAP لازم است تعداد تسهیلات و مکان‌ها برابر باشد. اگر تعداد تسهیلاتی که باید به n

1. Quadratic Assignment Problem
2. Linear mixed integr programming mode
3. Quadratic set covering model

مکان اختصاص داده شود از n کمتر (مثلاً m تا) باشد، آنگاه برای استفاده از فرمول بندی تخصیص نمایی، تعداد $n-m$ تسهیلات مجازی در نظر می گیریم و بین هر کدام از اینها (تسهیلات فرضی) و بقیه تسهیلات جریان صفر منظور می کنیم. اگر تعداد مکانها کمتر از تعداد تسهیلات باشند، آنگاه مساله ناشدنی خواهد بود.

همانطور که از نام آن پیداست، QAP مساله تخصیصی است که تابع هدف آن یک تابع درجه دوم نسبت به متغیرهاست به این معنی که مساله، حاصل ضرب دو متغیر است. محدودیتها توابع خطی از متغیرها هستند. نمایش ۴ مکان، ۴ وسیله و تخصیص هر یک از تسهیلات به مکان خاص در شکل ۵-۱۳ آورده شده است.

1	2	a	b	$b,1$	$d,2$
3	4	c	d	$c,3$	$a,4$

شکل ۵-۱۳. محل ۴ تسهیلات و تخصیص هر یک از تسهیلات به مکانها

از علائم ذیل استفاده می شود:

نمادها

n : تعداد کل تسهیلات و مکانها

a_{ij} : درآمد خالص حاصل از فعالیت وسیله i در مکان j

f_{ik} : جریان مواد از وسیله i به وسیله k

c_{jl} : هزینه حمل یک واحد از مواد از مکان j به مکان l

متغیر تصمیم

$$x_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{اگر وسیله } i \text{ در مکان } j \text{ قرار گیرد} \\ 0 & \text{در غیر این صورت} \end{cases}$$

در QAP این چهار فرض وجود دارد:

- a_{ij} شامل درآمد ناخالص منهای هزینه ورودیهای اولیه است ولی شامل هزینه

حمل مواد بین تسهیلات نیست.

- f_{ik} مستقل از مکان تسهیلات است.
- c_{jl} مستقل از تسهیلات است.
- حمل مواد به‌طور مستقیم از وسیله i به k ارزان‌تر از استفاده از یک محل سوّم است.

مدل QAP به‌صورت ذیل است.

$$\text{Maximize} \quad \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n a_{ij} x_{ij} - \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \sum_{\substack{k=1 \\ i \neq k}}^n \sum_{\substack{l=1 \\ j \neq l}}^n f_{ik} c_{jl} x_{ij} x_{kl} \quad (4)$$

s.t.

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} = 1 \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (5)$$

$$\sum_{i=1}^n x_{ij} = 1 \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (6)$$

$$x_{ij} \in \{0, 1\} \quad i, j = 1, 2, \dots, n \quad (7)$$

تابع هدف عبارتست از بیشینه کردن حاصل تفاضل درآمد ناخالص از ورودی‌های اولیه و هزینه جابه‌جایی مواد بین تسهیلات. هزینه جابه‌جایی مواد تابعی است از حجم جریان جابه‌جایی بین هر جفت تسهیلات و فاصله‌ای است که آنها از هم دارند. محدودیت‌های (۵) و (۷) باعث می‌شوند هر وسیله i تنها به یک مکان تعلق گیرد. مشابه قبل محدودیت‌های (۶) و (۷) با هم تضمین می‌کنند که به هر مکان j دقیقاً یکی از تسهیلات تخصیص یابد. با تعریف مجدد a_{ij} به‌عنوان هزینه ثابت قرارگیری وسیله i در مکان j می‌توانیم QAP را به‌صورت ذیل درآوریم:

$$\text{Maximize} \quad \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n a_{ij} x_{ij} + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \sum_{\substack{k=1 \\ i \neq k}}^n \sum_{\substack{l=1 \\ j \neq l}}^n f_{ik} c_{jl} x_{ij} x_{kl} \quad (8)$$

s.t.

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} = 1 \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (5)$$

$$\sum_{i=1}^n x_{ij} = 1 \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (6)$$

$$x_{ij} \in \{0, 1\} \quad i, j = 1, 2, \dots, n \quad (7)$$

در شرایط خاص اگر a_{ij} ها مساوی صفر باشند آنگاه تابع هدف به صورت ذیل در می آید:

$$\text{Minimize} \quad \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \sum_{\substack{k=1 \\ i \neq k}}^n \sum_{\substack{l=1 \\ j \neq l}}^n f_{ik} c_{jl} x_{ij} x_{kl} \quad (9)$$

مدل تخصیص نمایی شامل محدودیت‌های (۵) تا (۷) و تابع هدف (۹)، یکی از پرکاربردترین مدل‌ها برای مساله چیدمان تسهیلات است. دو مورد خاص از QAP، مساله تخصیص خطی^۱ (LAP) و مساله فروشنده دوره گرد^۲ (TSP) است. LAP درگیر با این مساله است که اجزاء مجموعه‌ای از اشیاء را طوری به مجموعه دیگر با اندازه برابر تخصیص دهد به طوری که کل هزینه تخصیص کمینه شود. بنابراین در مورد تخصیص انسان-ماشین، زمانی که هزینه تخصیص هر اپراتور به هر ماشین مشخص است ما با تخصیص هر اپراتور به یک ماشین و برعکس برای کمینه کردن کل هزینه تخصیص سروکار داریم. حال به یک TSP می‌رسیم: فرض کنید n شهر داریم و فاصله دو به دو هر یک از شهرها نیز مشخص است. کوتاه‌ترین مسیر را طوری پیدا کنید که از یک شهر شروع و به همان شهر ختم شود به طوری که همه شهرهای دیگر فقط یکبار از آنها عبور شود. این مساله، یک مساله معمول است که یک فروشنده دوره گرد با آن مواجه است! بنابراین حتی در TSP نیز با تخصیص هر کدام از n شهر به یکی از n مکان موجود در مسیر مواجه هستیم به طوری که کل مسافت پیموده شده را کمینه کند.

همانند QAP، LAP و TSP به تعدادی اشیاء در دو مجموعه نیاز دارد؛ اگر این‌طور نباشد، ما باید اشیاء مجازی در مجموعه مناسب قرار دهیم.

با اینکه QAP معمولاً برای مدل کردن مساله چیدمان تسهیلات به‌کار می‌رود، نمی‌توان آن را برای فرمول‌بندی همه انواع مسائل چیدمان به‌کار برد. مساله چیدمان ماشین‌آلات را در نظر بگیرید. واضح است که همه ماشین‌آلات شکل یا مساحت یکسانی ندارند؛ بنابراین فاصله بین مکان‌ها را نمی‌توان از قبل تعیین کرد زیرا خود مکان‌ها شناخته شده نیستند! در واقع مساله‌ای که می‌خواهیم حل کنیم مساله بزرگی است! این‌گونه مسائل را نمی‌توان به‌عنوان یک QAP فرمول‌بندی نمود. فاصله بین مکان‌ها در شکل ۵-۱۴ را در نظر بگیرید. مسافت‌ها بین هر دو مکان یا موقعیت به نحوه قرارگیری سایر ماشین‌ها بستگی دارد. بنابراین فاصله بین هر دو مکان ممکن است در چیدمان‌های مختلف متفاوت باشد. در شکل ۵-۱۴ توجه کنید که فاصله بین مکان ۱ و ۳ در چیدمان اول بیشتر از دومی است. این مورد در مسائل چیدمانی که همه تسهیلات اندازه برابری دارند (به‌خاطر اینکه مکان‌ها همه مساحت یکسانی دارند) و در نتیجه فاصله بین هر دو مکان مستقل از تسهیلات تخصیص داده‌شده به آنهاست، به‌چشم نمی‌خورد. به‌خاطر اینکه فاصله بین مکان‌ها با تغییر نحوه قرارگیری تغییر نمی‌کند، استفاده از QAP برای فرمول‌بندی این‌گونه مسائل چیدمان اشکالی ایجاد نمی‌کند. خواننده می‌تواند این بحث را در مساله ۱۰ در آخر این فصل بررسی کند.

۱	۲	۳
۱	۲	۳

شکل ۵-۱۴. فاصله بین مکان‌ها بستگی به نحوه تخصیص تسهیلات به مکان‌ها دارد

مثال ۲

بنابر استراتژی تهاجمی در بازاریابی، یک بانک منطقه‌ای (Loan Bank Inc.) اخیراً مشاهده کرده است فرم‌های درخواست وام که در این موسسه در دست بررسی است افزایش پیدا کرده است. بنابراین مدیر این بانک منطقه‌ای تصمیم بر ایجاد یک مرکز ارائه وام در نزدیکی یکی از شعب خود گرفته است. چهار دفتر مربع شکل با مساحت

برابر در ساختمان مربع شکل جدید باید مستقر شود. مساله را به صورت یک QAP فرمول‌بندی کنید. از اطلاعات شکل ۵-۱۵ که شامل سفرهای تولید شده توسط کارکنان بانک و مشتریان بین هر دو اداره است استفاده کنید. مکان‌هایی در ساختمان که ممکن است تسهیلات به آنها تخصیص یابد در شکل ۵-۱۶ نشان داده شده است.

		دفتر			
		1	2	3	4
دفتر	1	[f _{ij}] =			
	2	[f _{ij}] =			
	3	[f _{ij}] =			
	4	[f _{ij}] =			

شکل ۵-۱۶. چهار محل در ساختمان

شکل ۵-۱۵. ماتریس از به سفر

جواب. ماتریس از به سفر در شکل ۵-۱۵ متقارن نیست. با این وجود می‌توانیم آن را به ماتریس بین سفری^۱ تبدیل کرده و متقارن کنیم. ماتریس [f_{ij}] در شکل ۵-۱۵ را می‌توان به ماتریس [f'_{ij}] تبدیل نمود به طوری که f'_{ij} = f_{ij} + f_{ji} طبق شکل ۵-۱۷. فاصله مستقیم بین مکان‌های مختلف شکل ۵-۱۶، در شکل ۵-۱۸ نمایش داده شده است. از آنجا که همه مکان‌ها مساحت یکسانی دارند مساحت هر مکان را یک فوت در نظر می‌گیریم. فرض می‌شود هزینه سفر بین هر جفت از مکان‌ها با فاصله بین مکان‌ها ارتباط مستقیم دارد. فرمول‌بندی QAP برای این مساله را می‌توان با استفاده از نرم‌افزار GINO حل نمود. توجه شود که ما محدودیت عدد صحیح بودن بر روی متغیر x_{ij} را با گذاشتن محدودیت x_{ij}(1 - x_{ij}) = 0 اعمال کرده‌ایم. برخلاف اغلب بسته‌های نرم‌افزاری برنامه‌ریزی خطی، GINO محدودیت عدد صحیح بودن را نمی‌پذیرد. با اینکه این روش به ما اجازه می‌دهد از این محدودیت‌های GINO اجتناب کنیم برخی نتایج سوء نیز در بر دارد. نه تنها تعداد محدودیت‌ها را افزایش می‌دهد، بلکه این محدودیت‌ها خطی نیستند و منطقه شدنی دیگر یک مجموعه محدب نیست. در ادامه مدل ورودی دقیقاً همان‌طور که در GINO لازم است آورده می‌شود.

$$[f'_{ij}] = \begin{matrix} & \text{دفتر} \\ & \begin{matrix} 1 & 2 & 3 & 4 \end{matrix} \\ \begin{matrix} \text{دفتر} \\ 1 \\ 2 \\ 3 \\ 4 \end{matrix} & \begin{bmatrix} - & 17 & 12 & 11 \\ 17 & - & 12 & 4 \\ 12 & 12 & - & 4 \\ 11 & 4 & 4 & - \end{bmatrix} \end{matrix}$$

شکل ۵-۱۸. ماتریس فواصل بین مکان‌ها

$$[d_{ij}] = \begin{matrix} & \text{مکان} \\ & \begin{matrix} 1 & 2 & 3 & 4 \end{matrix} \\ \begin{matrix} \text{مکان} \\ 1 \\ 2 \\ 3 \\ 4 \end{matrix} & \begin{bmatrix} - & 1 & 1 & 2 \\ 1 & - & 2 & 1 \\ 1 & 2 & - & 1 \\ 2 & 1 & 1 & - \end{bmatrix} \end{matrix}$$

شکل ۵-۱۷. ماتریس سفر بین دفاتر

MODEL:

```

1) Min= 17 * x11 * x22 + 17 * x11 * x23 + 34 * x11 * x24
+ 17 * x12 * x21 + 34 * x12 * x23 + 17 * x12 * x24 + 17 * x13 * x21
+ 34 * x13 * x22 + 17 * x13 * x24 + 34 * x14 * x21 + 17 * x14 * x22
+ 17 * x14 * x23 + 12 * x11 * x32 + 12 * x11 * x33 + 24 * x11 * x34
+ 12 * x12 * x31 + 24 * x12 * x33 + 12 * x12 * x34 + 12 * x13 * x31
+ 24 * x13 * x32 + 12 * x13 * x34 + 24 * x14 * x31 + 12 * x14 * x32
+ 12 * x14 * x33 + 11 * x11 * x42 + 11 * x11 * x43 + 22 * x11 * x44
+ 11 * x12 * x41 + 22 * x12 * x43 + 11 * x12 * x44 + 11 * x13 * x41
+ 22 * x13 * x42 + 11 * x13 * x44 + 22 * x14 * x41 + 11 * x14 * x42
+ 11 * x14 * x43 + 17 * x21 * x12 + 17 * x21 * x13 + 34 * x21 * x14
+ 17 * x22 * x11 + 34 * x22 * x13 + 17 * x22 * x14 + 17 * x23 * x11
+ 34 * x23 * x12 + 17 * x23 * x14 + 34 * x24 * x11 + 17 * x24 * x12
+ 17 * x24 * x13 + 12 * x21 * x32 + 12 * x21 * x33 + 24 * x21 * x34
+ 12 * x22 * x31 + 24 * x22 * x33 + 12 * x22 * x34 + 12 * x23 * x31
+ 24 * x23 * x32 + 12 * x23 * x34 + 24 * x24 * x31 + 12 * x24 * x32
+ 12 * x24 * x33 + 4 * x21 * x42 + 4 * x21 * x43 + 8 * x21 * x44
+ 4 * x22 * x41 + 8 * x22 * x43 + 4 * x22 * x44 + 4 * x23 * x41
+ 8 * x23 * x42 + 4 * x23 * x44 + 8 * x24 * x41 + 4 * x24 * x42
+ 4 * x24 * x43 + 12 * x31 * x12 + 12 * x31 * x13 + 24 * x31 * x14
+ 12 * x32 * x11 + 24 * x32 * x13 + 12 * x32 * x14 + 12 * x33 * x11
+ 24 * x33 * x12 + 12 * x33 * x14 + 24 * x34 * x11 + 12 * x34 * x12
+ 12 * x34 * x13 + 12 * x31 * x22 + 12 * x31 * x23 + 24 * x31 * x24
+ 12 * x32 * x21 + 24 * x32 * x23 + 12 * x32 * x24 + 12 * x33 * x21
+ 24 * x33 * x22 + 12 * x33 * x24 + 24 * x34 * x21 + 12 * x34 * x22
+ 12 * x34 * x23 + 4 * x31 * x42 + 4 * x31 * x43 + 8 * x31 * x44
+ 4 * x32 * x41 + 8 * x32 * x43 + 4 * x32 * x44 + 4 * x33 * x41

```

```

+ 8 * X33 * X42 + 4 * X33 * X44 + 8 * X34 * X41 + 4 * X34 * X42
+ 4 * X34 * X43 + 11 * X41 * X12 + 11 * X41 * X13 + 22 * X41 * X14
+ 11 * X42 * X11 + 22 * X42 * X13 + 11 * X42 * X14 + 11 * X43 * X11
+ 22 * X43 * X12 + 11 * X43 * X14 + 22 * X44 * X11 + 11 * X44 * X12
+ 11 * X44 * X13 + 4 * X41 * X22 + 4 * X41 * X23 + 8 * X41 * X24
+ 4 * X42 * X21 + 8 * X42 * X23 + 4 * X42 * X24 + 4 * X43 * X21
+ 8 * X43 * X22 + 4 * X43 * X24 + 8 * X44 * X21 + 4 * X44 * X22
+ 4 * X44 * X23 + 4 * X41 * X32 + 4 * X41 * X33 + 8 * X41 * X34
+ 4 * X42 * X31 + 8 * X42 * X33 + 4 * X42 * X34 + 4 * X43 * X31
+ 8 * X43 * X32 + 4 * X43 * X34 + 8 * X44 * X31 + 4 * X44 * X32
+ 4 * X44 * X33 ;
2) X11 + X12 + X13 + X14 = 1 ;
3) X21 + X22 + X23 + X24 = 1 ;
4) X31 + X32 + X33 + X34 = 1 ;
5) X41 + X42 + X43 + X44 = 1 ;
6) X11 + X21 + X31 + X41 = 1 ;
7) X12 + X22 + X32 + X42 = 1 ;
8) X13 + X23 + X33 + X43 = 1 ;
9) X14 + X24 + X34 + X44 = 1 ;
10) X11 * (1 - X11) = 0 ;
11) X12 * (1 - X12) = 0 ;
12) X13 * (1 - X13) = 0 ;
13) X14 * (1 - X14) = 0 ;
14) X21 * (1 - X21) = 0 ;
15) X22 * (1 - X22) = 0 ;
16) X23 * (1 - X23) = 0 ;
17) X24 * (1 - X24) = 0 ;
18) X31 * (1 - X31) = 0 ;
19) X32 * (1 - X32) = 0 ;
20) X33 * (1 - X33) = 0 ;
21) X34 * (1 - X34) = 0 ;
22) X41 * (1 - X41) = 0 ;
23) X42 * (1 - X42) = 0 ;
24) X43 * (1 - X43) = 0 ;
25) X44 * (1 - X44) = 0 ;

```

END

LEAVE

به‌خاطر اینکه مکان‌ها متقارن هستند، مهم نیست که کدام یک از تسهیلات به مکان ۱۱ تعلق می‌گیرد. وقتی یک واحد به این مکان تعلق گرفت از این به بعد مهم است که تسهیلات باقی‌مانده چگونه به سایر مکان‌ها تخصیص یابند. ما می‌توانیم از این خاصیت برای کاهش تعداد متغیرها و محدودیت‌ها در مدل مذکور استفاده کرده و در

نتیجه سریع تر به جواب بهینه برسیم. برای کاهش اندازه مدل، عدد یک را به یکی از متغیرها، مثلاً X_{11} تخصیص می‌دهیم و تابع هدف را با استفاده از X_{11} و همین‌طور محدودیت‌های دارای X_{11} را ساده می‌نماییم. برای مثال $17 \cdot X_{11} \cdot X_{22}$ به صورت $17 \cdot X_{22}$ نوشته شده و $X_{11} + X_{12} + X_{13} + X_{14} = 1$ حذف می‌شود زیرا X_{11} مساوی یک است. البته اگر $X_{11} = 1$ باشد آنگاه $X_{12} = X_{13} = X_{14} = X_{21} = X_{31} = X_{41} = 0$ برقرار خواهد بود؛ در غیراین صورت محدودیت‌های در سطر دوم و ششم مدل ارضاء نخواهند شد. چون ما ارزش شش متغیر دیگر را می‌دانیم، تابع هدف و محدودیت‌ها را می‌توان با حذف $X_{12}, X_{13}, X_{14}, X_{21}$ و X_{31} ساده‌تر کرد. مدل حاصل و خروجی حل آن در ادامه آورده شده است. توجه کنید که ما جملات مشابه در تابع هدف را جمع کرده‌ایم برای مثال $4 \cdot X_{22} \cdot X_{44} + 4 \cdot X_{22} \cdot X_{44}$ به صورت $8 \cdot X_{22} \cdot X_{44}$ نوشته می‌شود.

MODEL:

- 1) $\text{MIN} = 34 \cdot X_{22} + 34 \cdot X_{23} + 68 \cdot X_{24} + 24 \cdot X_{32} + 24 \cdot X_{33} + 48 \cdot X_{34} + 22 \cdot X_{42} + 22 \cdot X_{43} + 44 \cdot X_{44} + 48 \cdot X_{22} \cdot X_{33} + 24 \cdot X_{22} \cdot X_{34} + 48 \cdot X_{23} \cdot X_{32} + 24 \cdot X_{23} \cdot X_{34} + 24 \cdot X_{24} \cdot X_{32} + 24 \cdot X_{24} \cdot X_{33} + 16 \cdot X_{22} \cdot X_{43} + 8 \cdot X_{22} \cdot X_{44} + 16 \cdot X_{23} \cdot X_{42} + 8 \cdot X_{23} \cdot X_{44} + 8 \cdot X_{24} \cdot X_{42} + 8 \cdot X_{24} \cdot X_{43} + 16 \cdot X_{32} \cdot X_{43} + 8 \cdot X_{32} \cdot X_{44} + 16 \cdot X_{33} \cdot X_{42} + 8 \cdot X_{33} \cdot X_{44} + 8 \cdot X_{34} \cdot X_{42} + 8 \cdot X_{34} \cdot X_{43} ;$
- 2) $X_{22} + X_{23} + X_{24} = 1 ;$
- 3) $X_{32} + X_{33} + X_{34} = 1 ;$
- 4) $X_{42} + X_{43} + X_{44} = 1 ;$
- 5) $X_{22} + X_{32} + X_{42} = 1 ;$
- 6) $X_{23} + X_{33} + X_{43} = 1 ;$
- 7) $X_{24} + X_{34} + X_{44} = 1 ;$
- 8) $X_{22} \cdot (1 - X_{22}) = 0 ;$
- 9) $X_{23} \cdot (1 - X_{23}) = 0 ;$
- 10) $X_{24} \cdot (1 - X_{24}) = 0 ;$
- 11) $X_{32} \cdot (1 - X_{32}) = 0 ;$
- 12) $X_{33} \cdot (1 - X_{33}) = 0 ;$
- 13) $X_{34} \cdot (1 - X_{34}) = 0 ;$
- 14) $X_{42} \cdot (1 - X_{42}) = 0 ;$
- 15) $X_{43} \cdot (1 - X_{43}) = 0 ;$
- 16) $X_{44} \cdot (1 - X_{44}) = 0 ;$

END

SOLUTION STATUS: OPTIMAL TO TOLERANCES. DUAL CONDITIONS: SATISFIED.

OBJECTIVE FUNCTION VALUE

1) 152.000000

VARIABLE	VALUE	REDUCED COST
X22	.000000	.000000
X23	1.000000	.000000
X24	.000000	.000000
X32	.000000	.000000
X33	.000000	.000000
X34	1.000000	.000000
X42	1.000000	.000000
X43	.000000	.000000
X44	.000000	.000000

ROW	SLACK OR SURPLUS	PRICE
2)	.000000	-86.000000
3)	.000000	-72.000000
4)	.000000	-62.000000
5)	.000000	.000000
6)	.000000	32.000000
7)	.000000	10.000000
8)	.000000	28.000280
9)	.000000	19.999800
10)	.000000	.000000
11)	.000000	.000000
12)	.000000	.000000
13)	.000000	17.999820
14)	.000000	-15.999840
15)	.000000	.000000
16)	.000000	.000000

بنابر حلی که GINO ارائه داده، می‌توان چیدمان را همان‌طور که در شکل ۵-۱۹ نشان داده شده، توسعه داد.

۱	۴
۲	۳

شکل ۵-۱۹. چیدمان چهار اداره در یک بانک

ABSMODEL 2 ۲-۳-۵

ABSMODEL 1 برای فرمول‌بندی مسائل چیدمان تسهیلات یک ردیفی استفاده می‌شود. معمولاً نیاز است تا تسهیلات در دو یا چند ردیف چیده شوند و گاهی اوقات حتی ردیف‌ها به صورت مستقیم هم نیستند. هر کدام از مدل‌های QAP یا مدل تغییر شکل یافته خطی معادل با آن را می‌توان برای مدل کردن مسائل مورد استفاده قرار داد. QAP در بخش ۱-۳-۵ مطالعه شد. در این بخش ABSMODEL 2 را مطالعه می‌کنیم؛ این مدل برای فرمول‌بندی مسائل چیدمانی تسهیلات آن به شکل مربع‌هایی با مساحت یکسان هستند استفاده شود. این مدل بر اساس ایده‌ای است که در چیدمان یک‌ردیفی ABSMODEL 1 ارائه شد. علاوه بر c_{ij} و f_{ij} که در مدل قبلی تعریف شد علائم ذیل نیز مورد استفاده قرار می‌گیرند:

متغیرهای تصمیم

x_i : فاصله افقی بین مرکز وسیله i و محور افقی مرجع

y_i : فاصله عمودی بین مرکز وسیله i و محور عمودی مرجع

این متغیرهای تصمیم و محورهای مرجع افقی و عمودی در شکل ۵-۲۰ نمایش داده شده‌اند. تابع هدف ABSMODEL 2 مانند تابع هدف ABSMODEL 1 است و کل هزینه جابه‌جایی بین تسهیلات را کمینه می‌کند. در ادامه، تابع هدف و محدودیت‌ها آمده است.

$$\text{Minimize} \quad \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n c_{ij} f_{ij} (|x_i - x_j| + |y_i - y_j|) \quad (10)$$

s.t.

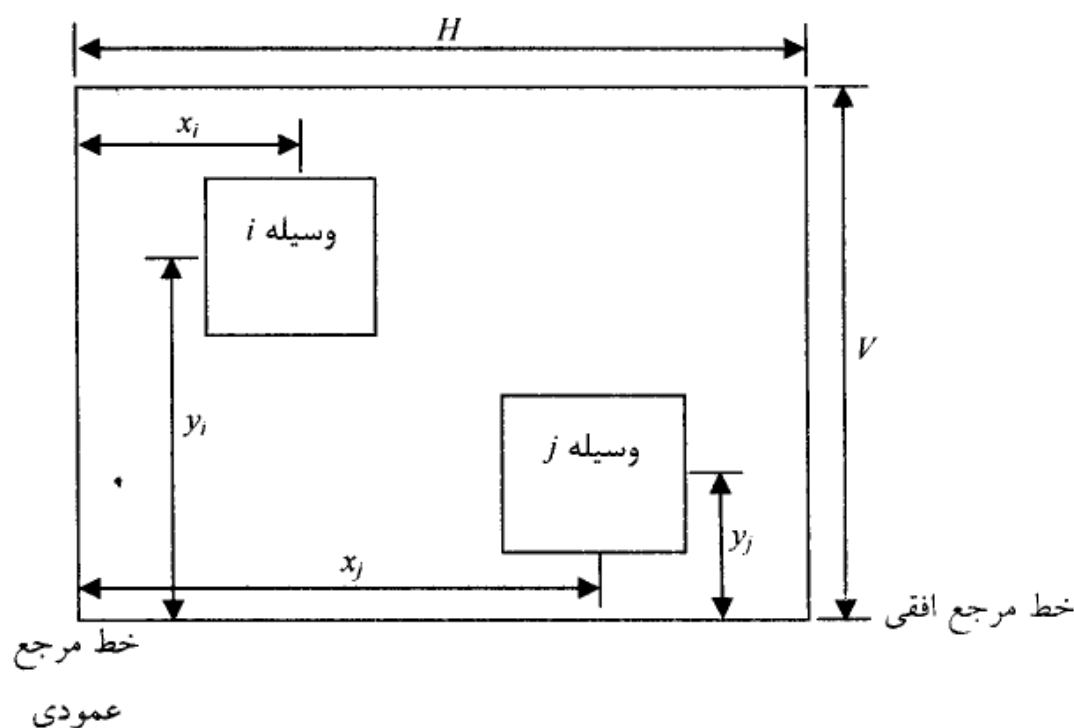
$$|x_i - x_j| + |y_i - y_j| \geq 1 \quad i = 1, 2, \dots, n-1; \quad j = i+1, \dots, n \quad (11)$$

$$x_i, y_i \text{ عدد صحیح} \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (12)$$

فرض می‌شود بین تسهیلات، فاصله خالی وجود ندارد و تسهیلات دارای بعد واحدی هستند، یعنی طول و عرضشان یک واحد است (طرف راست محدودیت (۱۱)

را ببینید). از آنجا که تسهیلات مربع‌هایی با مساحت یکسان هستند فرض واحد بودن

بعد، مشکلی ایجاد نمی‌کند و مدل می‌تواند برای مساله چیدمان با تسهیلات مربع شکل با هر اندازه‌ای به کار رود، به این شرط که همه تسهیلات مساحت یکسانی داشته باشند. محدودیت‌های (۱۱) و (۱۲) ما را از این موضوع مطمئن می‌کنند که هیچ دو وسیله‌ای در چیدمان همپوشانی ندارند. به علاوه، محدودیت (۱۲) یکپارچگی را ایجاد می‌کند.



شکل ۵-۲۰. نمایش متغیرهای تصمیم و خطوط مرجع برای مسائل چیدمان چندردیفی تسهیلات با مساحت برابر

هدف اصلی از اضافه کردن محدودیت (۱۲) به مدل، حصول اطمینان از عدد صحیح بودن x_i و y_i نیست بلکه اطمینان از عدم تداخل جفت‌های تسهیلات است. برای فهم بهتر این موضوع، فرض کنید که مدل بدون محدودیت (۱۲) حل شود. یک جواب ممکن برای α_i , β_i و γ_i می‌توان مقادیر ۰/۵، ۰/۰، ۰/۰، ۰/۵ را داشته باشد. با اینکه این مقادیر محدودیت (۱۱) را ارضاء می‌نمایند ولی یک جواب قابل استفاده برای مساله چیدمان به دست نمی‌دهد زیرا تسهیلات i و j همپوشانی دارند. اگر محدودیت صحیح بودن برای متغیرها اعمال شود همیشه یک جواب شدنی خواهیم داشت.

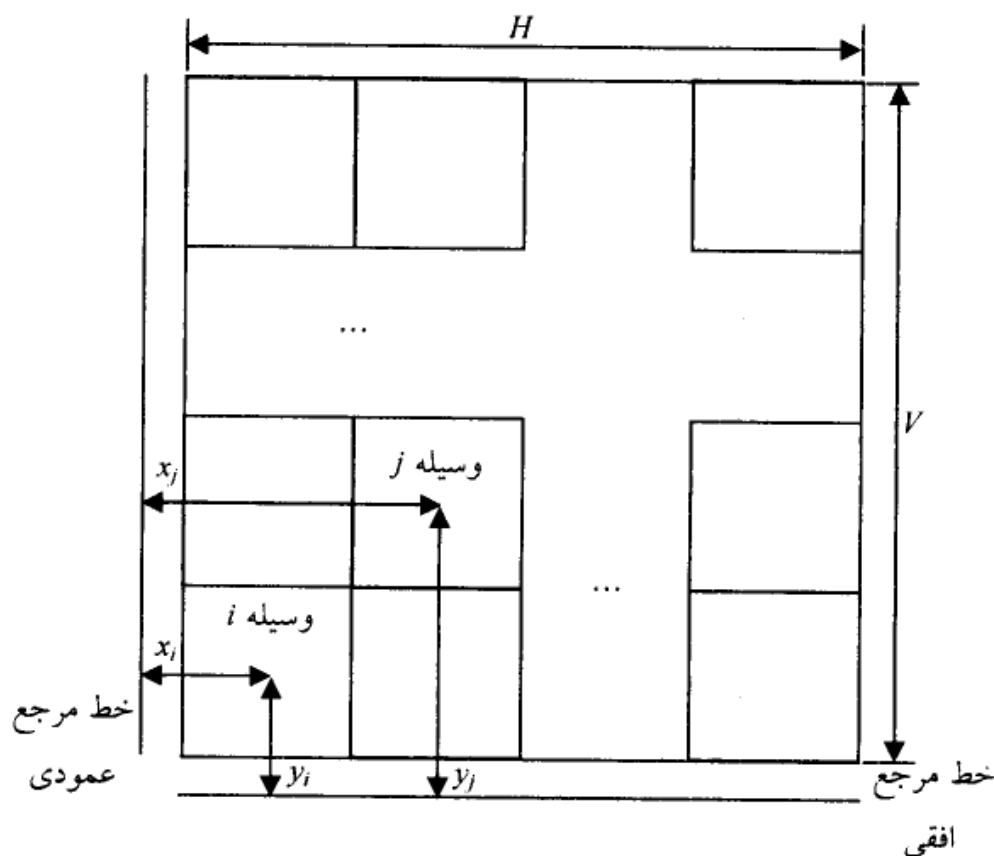
اگر ابعاد افقی و عمودی زمین با H و V نام‌گذاری شوند، آنگاه با اضافه کردن محدودیت‌های (۱۳) و (۱۴) می‌توانیم از قرار گرفتن تسهیلات در داخل مرزهای زمین

مطمئن شویم.

$$H \geq x_i \geq 1; \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (13)$$

$$V \geq y_i \geq 1; \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (14)$$

همان‌طور که از شکل ۵-۲۱ مشاهده می‌شود، این محدودیت‌ها حتی وقتی یکی از تسهیلات در گوشه‌ای از چیدمان هم باشد ارضاء می‌شوند. فاصله افقی از منتهی‌الیه چپ وسیله تا منتهی‌الیه راست آن برابر H است یعنی برابر طول افقی زمین کارخانه. به طور مشابه، فاصله عمودی از پائین‌ترین نقطه هر وسیله تا بالاترین نقطه آن برابر V است که همان عرض زمین است. توجه کنید محدودیت‌های (۱۳) و (۱۴) ما را از اینکه خطوط مرجع افقی و عمودی نیم واحد از چپ و پائین‌ترین مرزهای ساختمان فاصله دارند مطمئن می‌سازند. برای رسیدن به یک چیدمان چندردیفی در ABSMODEL 2، باید محدودیت‌های (۱۳) و (۱۴) اضافه شود؛ در غیر این صورت، با حل مدل ممکن است یک چیدمان یک‌ردیفی ایجاد شود.



شکل ۵-۲۱. چیدمان چندردیفی با تسهیلات دارای مساحت یکسان در موقعیت‌های قطری مقابل هم

مثال ۳

با استفاده از داده‌های مثال ۲، مساله را به صورت 2 ABSMIDEL فرمول‌بندی کنید و آن را حل کنید. فرض کنید ساختمان مربع شکل است و ابعاد آن 2×2 است. جواب. مدل این مساله به شرح ذیل است:

MODEL:

- 1) $\text{MIN} = 17 * (\text{ABS}(X1 - X2) + \text{ABS}(Y1 - Y2)) + 12 * (\text{ABS}(X1 - X3) + \text{ABS}(Y1 - Y3)) + 11 * (\text{ABS}(X1 - X4) + \text{ABS}(Y1 - Y4)) + 12 * (\text{ABS}(X2 - X3) + \text{ABS}(Y2 - Y3)) + 4 * (\text{ABS}(X2 - X4) + \text{ABS}(Y2 - Y4)) + 4 * (\text{ABS}(X3 - X4) + \text{ABS}(Y3 - Y4)) ;$
- 2) $\text{ABS}(X1 - X2) + \text{ABS}(Y1 - Y2) > 1 ;$
- 3) $\text{ABS}(X1 - X3) + \text{ABS}(Y1 - Y3) > 1 ;$
- 4) $\text{ABS}(X1 - X4) + \text{ABS}(Y1 - Y4) > 1 ;$
- 5) $\text{ABS}(X2 - X3) + \text{ABS}(Y2 - Y3) > 1 ;$
- 6) $\text{ABS}(X2 - X4) + \text{ABS}(Y2 - Y4) > 1 ;$
- 7) $\text{ABS}(X3 - X4) + \text{ABS}(Y3 - Y4) > 1 ;$

END

قبل از اینکه مدل را حل کنیم توجه کنید که برخلاف مثال ۲، ما جریان بین تسهیلات را دو بار محاسبه نمی‌کنیم؛ بنابراین مقدار تابع هدف در این فرمول‌بندی نصف مقدار تابع هدف در QAP است. همچنین توجه کنید که محدودیت‌های عدد صحیح بودن با اینکه مورد نیاز هستند ولی اضافه نشده‌اند زیرا نرم‌افزار GINO محدودیت‌های عدد صحیح بودن را قبول نمی‌کند. آن‌طور که در راهنمای کاربران نرم‌افزار GINO پیشنهاد شده است کاربران می‌توانند مساله را بدون محدودیت عدد صحیح حل کنند، مقادیر متغیرها را امتحان کنند و آن دسته‌ای را که به مقادیر صحیح نزدیک هستند تثبیت کنند. ما این فرآیند را آن‌قدر تکرار می‌کنیم تا به یک جواب کاملاً صحیح برسیم و همه متغیرها، صحیح شوند. مطمئناً راه‌حل نهایی که به آن می‌رسیم، امکان دارد بهینه نباشد. وقتی مدل، بدون محدودیت عدد صحیح بودن حل می‌شود، حل ذیل را به دست می‌آوریم:

SOLUTION STATUS: OPTIMAL TO TOLERANCES. DUAL CONDITIONS: SATISFIED.

OBJECTIVE FUNCTION VALUE

1) 98.000000

VARIABLE	VALUE	REDUCED COST
X1	.748322	.000000
X2	1.175506	.000000
Y1	.438221	.000000
Y2	1.011037	.000000
X3	1.587099	.000000
Y3	1.599444	.000000
X4	2.087099	.000000
Y4	2.099444	.000000

ROW	SLACK OR SURPLUS	PRICE
2)	.000000	-40.000000
3)	1.000000	.000000
4)	2.000000	.000000
5)	.000000	-39.000000
6)	1.000000	.000000
7)	.000000	19.000000

به خاطر آنکه X4 و Y4 به ۲ بسیار نزدیک هستند می توانیم مقادیر آنها را با اضافه کردن دو سطر ذیل به مدل در مقدار ۲، ثابت نگه داشته و مدل را دوباره حل کنیم.

$$8) X4 = 2 ;$$

$$9) Y4 = 2 ;$$

SOLUTION STATUS: OPTIMAL TO TOLERANCES. DUAL CONDITIONS: SATISFIED.

OBJECTIVE FUNCTION VALUE

1) 98.000000

VARIABLE	VALUE	REDUCED COST
X1	.655050	.000000
X2	1.175506	.000000
Y1	.344950	.000000
Y2	.824494	.000000
X3	1.587099	.000000
Y3	1.412901	.000000
X4	2.000000	.000000
Y4	2.000000	.000000

ROW	SLACK OR SURPLUS	PRICE
2)	.000000	-40.000000
3)	1.000000	.000000
4)	2.000000	.000000
5)	.000000	-39.000000
6)	1.000000	.000000
7)	.000000	-19.000000
8)	.000000	.000000
9)	.000000	.000000

به خاطر اینکه X_1 به ۱ نزدیک است می‌توانیم آن را برابر ۱ در نظر بگیریم و مدل را به صورت ذیل حل کنیم:

10) $X_1 = 1$;

SOLUTION STATUS: OPTIMAL TO TOLERANCES. DUAL CONDITIONS: SATISFIED.

OBJECTIVE FUNCTION VALUE

1) 98.000000

VARIABLE	VALUE	REDUCED COST
X1	1.000000	.000000
X2	1.175506	.000000
Y1	.000000	.000000
Y2	.824494	.000000
X3	1.587099	.000000
Y3	1.412901	.000000
X4	2.000000	.000000
Y4	2.000000	.000000

ROW	SLACK OR SURPLUS	PRICE
2)	.000000	-40.000000
3)	1.000000	.000000
4)	2.000000	.000000
5)	.000000	-39.000000
6)	1.000000	.000000
7)	.000000	-19.000000
8)	.000000	.000000
9)	.000000	.000000
10)	.000000	.000000

با تکرار فرآیندی مشابه، جواب کاملاً عدد صحیح ذیل را به دست می‌آوریم.

SOLUTION STATUS: OPTIMAL TO TOLERANCES. DUAL CONDITIONS: UNSATISFIED.

OBJECTIVE FUNCTION VALUE

1) 83.000000

VARIABLE	VALUE	REDUCED COST
X1	1.000000	.000000
X2	2.000000	.000000
Y1	1.000000	.000000
Y2	1.000000	.000000
X3	1.000000	.000000
Y3	2.000000	.000000
X4	2.000000	.000000
Y4	2.000000	.000000

ROW	SLACK OR SURPLUS	PRICE
2)	.000000	6.000000
3)	.000000	.000000
4)	1.000000	.000000
5)	1.000000	.000000
6)	.000000	7.000000
7)	.000000	-4.000000
8)	.000000	-11.000000
9)	.000000	-22.000000
10)	.000000	-34.000000
11)	.000000	-24.000000
12)	.000000	-35.000000

چیدمان حاصل از راه حل ارائه شده در شکل ۵-۲۲ نشان داده شده است. همان طور که قبلاً اشاره شد، مقدار تابع هدف به دست آمده برابر ۸۳ است و مقدار تابع هدف به دست آمده از روش QAP برابر ۱۶۶ است. توالی فرآیندی انجام شده (که هر بار مقدار متغیری که نزدیک به عدد صحیح بود را ثابت می گرفتیم) منجر به این شد که به جواب بهینه نرسیم. در فصل ۷، روش جدیدی برای حل ارائه می دهیم که جواب نزدیک به بهینه^۱ را برای مساله محاسبه می کند.

۳	۴
۱	۲

شکل ۵-۲۲. نحوه چیدمان چهار اداره در یک بانک با استفاده از ABSMODEL 2

۴-۵ مدل‌هایی برای مسائل چیدمان چندردیفی با تسهیلاتی دارای مساحت غیریکسان

در ABSMODEL 2 فرض شد که تسهیلات، مربع‌هایی با مساحت مساوی هستند. برای بسیاری از مسائل کاربردی چیدمان، این فرض چندان واقعی نیست. در این بخش، مسائل چیدمانی که مورد بررسی قرار می‌گیرند فاقد هرگونه محدودیت مربوط به شکل و مساحت تسهیلات هستند. مدل غیرخطی ABSMODEL 3 نیز همانند مدل‌های ABSMODEL 1 و ABSMODEL 2 شامل عبارات قدرمطلق در تابع هدف و محدودیت‌هاست. در ABSMODEL 3 فرض می‌شود که تسهیلات به شکل مربع یا مستطیل هستند و جهت فیزیکی تسهیلات از قبل تعیین شده است. همان‌طور که قبلاً بحث شد فرضیات در مورد شکل تسهیلات، مشکلات جدی را باعث نمی‌شود، زیرا شکل بیشتر تسهیلات را می‌توان با یک مربع یا مستطیل تقریب زد. فرض جهت تسهیلات ممکن است مشکل ایجاد کند زیرا در هر حال به ساختار زیربنایی راهرو بستگی دارد. اگر ساختار راهرو معلوم باشد، معمولاً یک ماشین می‌تواند فقط در یک جهت قرار بگیرد؛ جهتی که به ماشین اجازه می‌دهد نقطه بارگیری یا تخلیه بار در روبرو یا نزدیک‌ترین قسمت به راهرو باشد. از آنجا که تا بعد از تعیین چیدمان، ساختار این راهرو معلوم نیست (و ما هنوز چیدمان را مشخص نکرده‌ایم) بنابراین نمی‌توانیم جهت ماشین یا تسهیلات را ثابت در نظر بگیریم. در هر حال، اگر این فرض را آزاد کرده و در نظر نگیریم، مجبور خواهیم بود تا متغیرها و محدودیت‌های بیشتری را معرفی کرده و حتی مدل را پیچیده‌تر نماییم. باید تعادلی بین داشتن دقت بسیار زیاد در مدل و توانایی ما در حل مدل، ایجاد شود. در این فصل پیشنهاد می‌شود فرض مربوط

به جهت ماشین باقی بماند و در صورت نیاز، جهت اولیه را به‌طور مناسبی تغییر داده و اصلاح کنیم تا بتوانیم مدل را دوباره حل کنیم. این مراحل می‌تواند تکرار شود تا وقتی که به چیدمانی برسیم که در آن تمام ماشین‌ها دارای جهت "قابل قبول" باشند. در برخی مسائل، این کار ممکن است خسته‌کننده باشد اما حذف محدودیت جهت ماشین‌آلات، به پیچیده شدن مدل منجر می‌شود به‌طوری که حل مسائل با بیش از شش یا هفت ماشین (به‌دلیل اضافه شدن متغیرها و محدودیت‌های عدد صحیح زیاد) غیرممکن خواهد شد.

۵-۴-۱ ABSMODEL 3

علاوه بر علائم استفاده شده c_{ij} , f_{ij} , x_i و y_j در ABSMODEL 2، این پارامترها نیز معرفی می‌شوند:

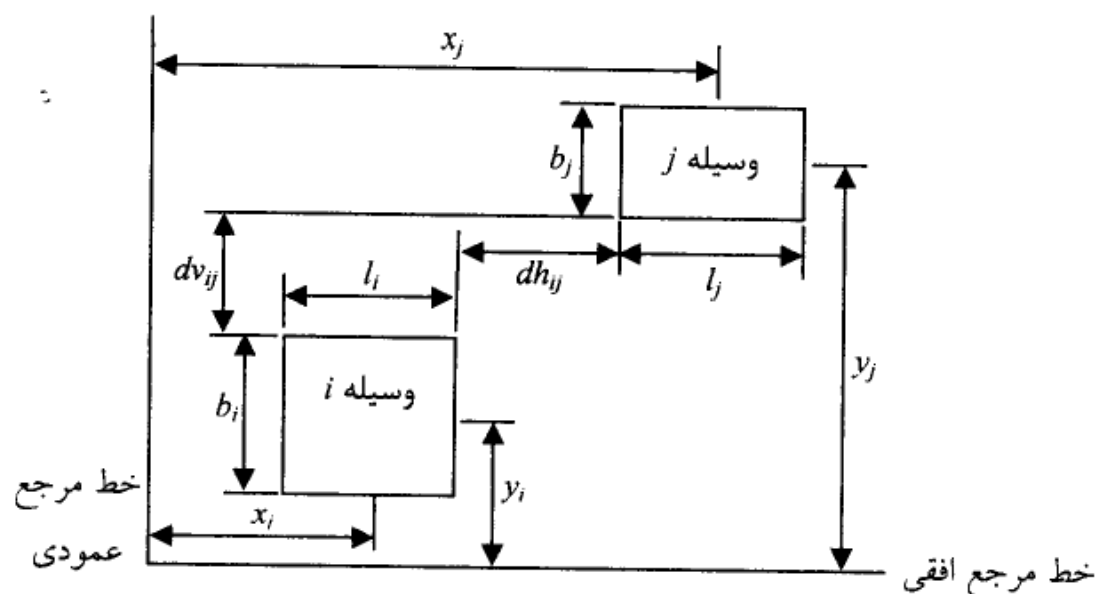
l_i : طول وجه افقی واحد i

b_i : طول وجه عمودی واحد i

dh_{ij} : فاصله خالی افقی بین تسهیلات i و j

dv_{ij} : فاصله خالی عمودی بین تسهیلات i و j

توجه کنید که l_i و b_i نه به طول و عرض تسهیلات بلکه وجه افقی و عمودی تسهیلات مربوط هستند. از آنجا که l_i و b_i پارامتر هستند، ارزش آنها باید معلوم باشد؛ اما زمانی می‌توان ارزش آنها را تعیین کرد که جهت تسهیلات از قبل مشخص باشند. به این دلیل است که این فرض را در ABSMODEL 3 قرار می‌دهیم. پارامترها، متغیرهای تصمیم و خطوط مرجع عمودی و افقی مربوط به این مدل در شکل ۵-۲۳ نشان داده شده است. برای نمایش ساده‌تر، فرض شده است که فواصل خالی افقی و عمودی بین تسهیلات یکسان هستند. در صورت نیاز، این فرض را می‌توان حذف کرد. مانند سایر مدل‌های ارائه شده در این فصل، تابع هدف ABSMODEL 3 عبارتست از کمینه کردن کل هزینه ناشی از انجام سفرهای لازم بین تسهیلات.



شکل ۵-۲۳. نمایش متغیرهای تصمیم و پارامترهای مسئله چیدمان چندردیفی با تسهیلات دارای مساحت غیر یکسان

$$\text{Minimize} \quad \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n c_{ij} f_{ij} (|x_i - x_j| + |y_i - y_j|) \quad (15)$$

s.t.

$$|x_i - x_j| + Mz_{ij} \geq \frac{1}{2}(l_i + l_j) + dh_{ij} \quad i = 1, 2, \dots, n-1; \quad j = i+1, \dots, n \quad (16)$$

$$|y_i - y_j| + M(1 - z_{ij}) \geq \frac{1}{2}(b_i + b_j) + dv_{ij} \quad i = 1, 2, \dots, n-1; \quad j = i+1, \dots, n \quad (17)$$

$$z_{ij}(1 - z_{ij}) = 0 \quad i = 1, 2, \dots, n-1; \quad j = i+1, \dots, n \quad (18)$$

محدودیت‌های (۱۶)، (۱۷) و (۱۸) تضمین می‌کنند که تسهیلات در جهت افقی یا عمودی هم‌پوشانی ندارند. محدودیت (۱۸) تضمین می‌کند که z_{ij} فقط صفر یا یک باشد و در عوض تضمین می‌کند که فقط یکی از دو محدودیت (۱۶) و (۱۷) برقرار می‌شود. از این‌رو لازم نیست که محدودیت‌های عدد صحیح بودن برای متغیرهای x_i و y_j اعمال شود (مانند 2 ABSMODEL). همان‌طور که قبلاً بحث شد، به هر حال این محدودیت‌ها به محدب ماندن ناحیه شدنی کمکی نمی‌کند. همانند 2 ABSMODEL اگر ابعاد نقشه زمین مشخص باشد، می‌توان با افزودن محدودیت‌های مناسب، اطمینان حاصل کرد که تسهیلات را می‌توان طوری قرار داد که در داخل مرزهای زمین قرار گیرند (تمرین ۲۰).

مثال ۴

یک شرکت بیمه می‌خواهد مکان پنج اتاق استراحت کارکنان خود را که ابعاد مختلفی دارند در طبقه بالای دفتر مرکزی تعیین کند. این دفاتر هیچ‌گونه ارتباطی با دفاتر در سایر طبقات ندارند. یک گروه مطالعه زمان، اخیراً کار نمونه‌گیری و تخمین تعداد سفرهای انجام‌شده به وسیله کارکنان بین این پنج واحد در یک دوره دوازده ماهه را رهبری کرد. این سفرهای تخمین زده شده و ابعاد دفاتر در شکل ۵-۲۴ آورده شده‌اند. از 3 ABSMODEL برای فرمول‌بندی مساله استفاده کنید.

		دفتر				
		1	2	3	4	5
ابعاد (فوت)	دفتر	$[f_{ij}] = \begin{bmatrix} - & 10 & 15 & 20 & 0 \\ 10 & - & 30 & 35 & 10 \\ 15 & 30 & - & 10 & 20 \\ 20 & 35 & 10 & - & 15 \\ 0 & 10 & 20 & 15 & - \end{bmatrix}$				
۲۵×۲۰	۱					
۲۵×۲۰	۲					
۳۵×۳۰	۳					
۳۰×۲۰	۴					
۳۵×۲۰	۵					

شکل ۵-۲۴. ماتریس سفرها و ابعاد هر یک از دفاتر

جواب. مفروضات بدین شرح هستند:

- هزینه جابه‌جایی در واحد مسافت بین هر جفت از تسهیلات برابر است.
 - فاصله خالی بین تسهیلات در هر دو بعد صفر است.
 - تسهیلات در جهتی قرار می‌گیرند که وجه بلندترشان افقی باشد.
- در ادامه 3 ABSMODEL برای این مساله آورده شده است.

Minimize $10(|x_1-x_2|+|y_1-y_2|)+15(|x_1-x_3|+|y_1-y_3|)+20(|x_1-x_4|+|y_1-y_4|)+$
 $30(|x_2-x_3|+|y_2-y_3|)+35(|x_2-x_4|+|y_2-y_4|)+10(|x_2-x_5|+|y_2-y_5|)+10(|x_3-x_4|+$
 $|y_3-y_4|)+20(|x_3-x_5|+|y_3-y_5|)+15(|x_4-x_5|+|y_4-y_5|)$
 subject to
 $|x_1-x_2| + Mz_{12} \geq 1/2(25+25)$
 $|y_1-y_2| + M(1-z_{12}) \geq 1/2(20+20)$
 $|x_1-x_3| + Mz_{13} \geq 1/2(25+35)$
 $|y_1-y_3| + M(1-z_{13}) \geq 1/2(20+30)$
 $|x_1-x_4| + Mz_{14} \geq 1/2(25+30)$
 $|y_1-y_4| + M(1-z_{14}) \geq 1/2(20+20)$
 $|x_1-x_5| + Mz_{15} \geq 1/2(25+35)$
 $|y_1-y_5| + M(1-z_{15}) \geq 1/2(20+20)$
 $|x_2-x_3| + Mz_{23} \geq 1/2(25+35)$
 $|y_2-y_3| + M(1-z_{23}) \geq 1/2(20+30)$
 $|x_2-x_4| + Mz_{24} \geq 1/2(25+30)$
 $|y_2-y_4| + M(1-z_{24}) \geq 1/2(20+20)$
 $|x_2-x_5| + Mz_{25} \geq 1/2(25+35)$
 $|y_2-y_5| + M(1-z_{25}) \geq 1/2(20+20)$
 $|x_3-x_4| + Mz_{34} \geq 1/2(35+30)$
 $|y_3-y_4| + M(1-z_{34}) \geq 1/2(30+20)$
 $|x_3-x_5| + Mz_{35} \geq 1/2(35+35)$
 $|y_3-y_5| + M(1-z_{35}) \geq 1/2(30+20)$
 $|x_4-x_5| + Mz_{45} \geq 1/2(30+35)$
 $|y_4-y_5| + M(1-z_{45}) \geq 1/2(20+20)$
 $z_{12}(1-z_{12}) = 0$
 $z_{13}(1-z_{13}) = 0$
 $z_{14}(1-z_{14}) = 0$
 $z_{15}(1-z_{15}) = 0$
 $z_{23}(1-z_{23}) = 0$
 $z_{24}(1-z_{24}) = 0$
 $z_{25}(1-z_{25}) = 0$
 $z_{34}(1-z_{34}) = 0$
 $z_{35}(1-z_{35}) = 0$
 $z_{45}(1-z_{45}) = 0$

حل این مساله با استفاده از الگوریتم‌های برنامه‌ریزی غیرخطی در بیشتر بسته‌های نرم‌افزاری، جواب ضعیفی ارائه می‌دهد. در فصل ۷ در مورد الگوریتم دیگری بحث خواهد شد و از یک برنامه کامپیوتری (MULROW.EXE) برای حل این مدل استفاده می‌شود.

۵-۵ بحث درباره انواع مدل‌ها

یک تفاوت اساسی بین QAP و ABSMODEL‌ها این است که در QAP باید موقعیت

مکان‌ها در ابتدا شناخته شود در حالی که ABSMODEL ها این گونه نیستند. در ABSMODEL ها مراکز تسهیلات توسط مختصات X و Y شان مشخص می‌شوند، از این رو داشتن موقعیت مکان‌ها ضروری نیست. بنابراین ABSMODEL ها کلی‌تر و عمومی‌تر هستند. می‌توان نشان داد که ABSMODEL برای مسائل چیدمان چندردیفی با تسهیلات دارای مساحت یکسان با QAP برابر است (تمرین ۱۴). معمولاً QAP برای فرمول‌بندی مسائل چیدمان استفاده می‌شود اما به این دلیل که لازم است موقعیت تسهیلات معلوم باشد، باعث عدم جذابیت آن در برخی شرایط می‌شود. به علاوه باید تسهیلات دارای مساحت یکسان نیز باشند. وقتی تسهیلات مساحت یکسانی ندارند مدل باید به‌طور مناسبی تغییر کند که ارائه آن بسیار پیچیده‌تر خواهد شد. نتایج محاسبات کامپیوتری QAP نشان می‌دهد که حتی برای پیدا کردن جواب بهینه مسائل کوچک -مانند یک مساله با ۱۵ وسیله- بیش از یک ساعت زمان CPU در یک ابرکامپیوتر نیاز خواهد شد (Burkard, 1984). حتی ریزپردازنده‌های سریع در دسترس، قادر نیستند مسائلی با ۱۷ وسیله یا بیشتر را به‌طور بهینه حل کنند.

ABSMODEL ها را می‌توان با استفاده از تکنیک‌های ابتکاری ساده حل کرد. این مدل توسط محققانی چون Heragu and Kusiak, (1991), Tam and Li (1991) و van Camp, Carter and Vannelli (1992) با روش لاگرانژ یا روش‌های جریمه حل شده است. همچنین Heragu and Alfa (1992) دسترسی به راه‌حل موفقی را گزارش داده‌اند که شامل استفاده از جریمه و الگوریتم‌های شبیه‌سازی تبرید^۱ است. آنها از آن، برای حل مسائل بزرگ استفاده کرده‌اند (یک مساله با ۹۰ وسیله). الگوریتم جریمه در فصل ۶ و الگوریتم شبیه‌سازی تبرید در فصل ۷ آمده است.

ABSMODEL ها مورد توجه بسیاری محققان قرار گرفته است. Tam and Li (1991) و van Camp, Carter and Vannelli (1992) توسعه‌هایی از مدل‌های پایه ABSMODEL را ایجاد کرده و محدودیت‌های اضافی را در توسعه چیدمان تسهیلات لحاظ کرده‌اند. برای مثال، مدل Tam and Li (1991) فرض می‌کند نسبت طول تسهیلات به عرض آنها مشخص است و جهت آنها ثابت نیست. van Camp, Carter and Vannelli (1992) ابعاد ساختمانی که تسهیلات در آن قرار می‌گیرند را نیز لحاظ

می‌کند.

ABSMODEL‌هایی که در این فصل ارائه شده‌اند بر مبنای توسعه اخیر هستند و می‌توانند برای مسائل چیدمان با تسهیلاتی که مساحتشان یکسان نیست استفاده شوند. یک ضعف این مدل‌ها آن است که تسهیلات باید فقط مربع یا مستطیل شکل باشند. همچنین فرض شده است که جهت تسهیلات نیز مشخص است. این محدودیت‌ها ممکن است به خاطر پیچیده‌تر شدن مدل در نظر گرفته نشوند. همان‌طور که در فصل ۷ بحث خواهد شد استفاده از الگوریتم‌های خاص با این مدل‌ها، راه‌حل‌هایی با کیفیت خوب تولید می‌کند.

تمام مدل‌هایی که تا به حال ارائه شدند غیرخطی بودند. می‌توان به راحتی مدل را به مدل‌های کوچک‌تر تقسیم کرده و جواب بهینه آنها را محاسبه نمود؛ اما جواب به دست آمده ممکن است از جواب بهینه فاصله زیادی داشته باشد. از این رو در ادامه این فصل، مدل‌های دیگری مورد بحث قرار می‌گیرد - که در بسیاری از آنها، فرمول‌بندی ABSMODEL‌ها با اعداد صحیح مختلط است. این مدل‌ها ممکن است با استفاده از روش شاخه و کران، تجزیه بندرز^۱ و دیگر تکنیک‌های معمول موجود برای حل مسائل اعداد صحیح مختلط، به طور بهینه حل شوند. یک نوع خاص از تکنیک شاخه و کران و روش تجزیه بندرز در فصل ۷ بحث می‌شود.

۵-۶ مدل‌های اعداد صحیح مختلط خطی برای مسائل چیدمان یک‌ردیفی

برای گسترش مدل برنامه‌ریزی خطی اعداد صحیح مختلط برای مساله چیدمان یک‌ردیفی، این علائم را برای متغیرهای تصمیم معرفی می‌کنیم:

$$x_{ij}^+ = \begin{cases} (x_i - x_j) & \text{اگر } (x_i - x_j) > 0 \\ 0 & \text{در غیر این صورت} \end{cases} \quad (19)$$

$$x_{ij}^- = \begin{cases} (x_j - x_i) & \text{اگر } (x_i - x_j) \leq 0 \\ 0 & \text{در غیر این صورت} \end{cases} \quad (20)$$

$$z_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{اگر } x_i > x_j \\ 0 & \text{در غیر این صورت} \end{cases} \quad (21)$$

از تعاریف بالا به راحتی می توان نتیجه گرفت که:

$$|x_i - x_j| = x_{ij}^+ + x_{ij}^- \quad (22)$$

$$x_i - x_j = x_{ij}^+ - x_{ij}^- \quad (23)$$

برای تبدیل کردن 1 ABSMODEL به مدل خطی، $|x_i - x_j|$ ممکن است به $x_{ij}^+ + x_{ij}^-$ تغییر یابد، همان طور که در معادله (۲۲) فرض شده است. در ادامه این مطلب نشان داده شده است:

$$\text{Minimize} \quad \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n c_{ij} f_{ij} (x_{ij}^+ + x_{ij}^-) \quad (24)$$

s.t.

$$x_{ij}^+ + x_{ij}^- \geq \frac{1}{2}(l_i + l_j) + d_{ij} \quad i = 1, 2, \dots, n-1; \quad j = i+1, \dots, n \quad (25)$$

$$x_i - x_j = x_{ij}^+ - x_{ij}^- \quad i = 1, 2, \dots, n-1; \quad j = i+1, \dots, n \quad (26)$$

برای این که این مدل با 1 ABSMODEL برابر شود، یکی از x_{ij}^+ یا x_{ij}^- باید صفر شوند. با توجه به اینکه آیا x_{ij}^+ مطلقاً مثبت است یا x_{ij}^- بزرگتر از x_j خواهد بود و یا x_j بزرگتر از x_i ؛ این محدودیت نشان می دهد که وسیله i در سمت راست و یا در سمت چپ وسیله j قرار می گیرد. متأسفانه این ضرورت ها به صورت خودکار در مدل بالا ارضاء نمی شوند (تمرین ۲۲). برای حصول اطمینان از اینکه یکی از x_{ij}^+ یا x_{ij}^- مساوی صفر است یا به عبارت دیگر برای تضمین اینکه وسیله i در سمت چپ یا راست وسیله j قرار می گیرد، متغیرها و محدودیت های دیگری باید وجود داشته باشند که در مدل برنامه ریزی خطی عدد صحیح مختلط ذیل نشان داده شده است (1 LMIP). بخش هایی که به مدل اضافه شده است حل آن را مشکل تر می سازد اما در عوض جواب بهینه را ارائه می دهد.

LMIP 1 ۱-۶-۵

$$\text{Minimize} \quad \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n c_{ij} f_{ij}(x_{ij}^+ + x_{ij}^-) \quad (27)$$

s.t.

$$x_i - x_j + Mz_{ij} \geq \frac{1}{2}(l_i + l_j) + d_{ij} \quad i=1,2,\dots,n-1; \quad j=i+1,\dots,n \quad (28)$$

$$-(x_i - x_j) + M(1 - z_{ij}) \geq \frac{1}{2}(l_i + l_j) + d_{ij} \quad i=1,2,\dots,n-1; \quad j=i+1,\dots,n \quad (29)$$

$$x_{ij}^+ - x_{ij}^- = x_i - x_j \quad i=1,2,\dots,n-1; \quad j=i+1,\dots,n \quad (30)$$

$$x_{ij}^+, x_{ij}^- \geq 0 \quad i=1,2,\dots,n-1; \quad j=i+1,\dots,n \quad (31)$$

$$z_{ij} \in \{0,1\} \quad i=1,2,\dots,n-1; \quad j=i+1,\dots,n \quad (32)$$

$$x_i > 0 \quad i=1,2,\dots,n-1; \quad j=i+1,\dots,n \quad (33)$$

از آنجا که z_{ij} یک متغیر صفر یا یک است، فقط یکی از محدودیت‌های (۲۸) و (۲۹) برقرار می‌شود. به این معنی که در جواب بهینه، وسیله i در طرف راست یا چپ وسیله j خواهد بود. به علاوه، تسهیلات باید طوری قرار گیرند که همپوشانی نداشته باشند و فضای خالی مورد نیاز بین آنها نیز در نظر گرفته شود. محدودیت (۳۰) مشابه محدودیت (۲۶) است. محدودیت (۳۱) غیرمنفی بودن را برای متغیرهای x_{ij}^+ و x_{ij}^- اعمال می‌کند. محدودیت (۳۲) متغیر z_{ij} را محدود می‌کند تا فقط مقدار صفر یا یک بگیرد. می‌توان محدودیت غیرخطی بعدی را اضافه کرده و متغیر صحیح z_{ij} را حذف نمود تا مدلی با متغیرهای پیوسته داشت. همان‌طور که در 1 ABSMODEL بحث شد، اضافه کردن محدودیتی که در آن تمام متغیرهای x_i بزرگتر از صفر باشند (محدودیت ۳۳) مساله را تغییر نمی‌دهد. این محدودیت را در LMIP 1 با استفاده از خاصیت مکمل کمبود برای حل مدل به کمک الگوریتم تجزیه بندرز آورده‌ایم. این مطلب با جزئیات بیشتر در فصل ۷ توضیح داده می‌شود.

$$x_{ij}^+ \cdot x_{ij}^- = 0 \quad i=1,2,\dots,n-1, \quad j=i+1,2,\dots,n$$

در مدل‌هایی که در ادامه این فصل ارائه می‌شوند، M به عنوان یک مقدار مثبت بزرگ خواهد بود. مثال بعدی تشریح می‌کند چگونه LMIP 1 را می‌توان برای فرمول‌بندی مساله چیدمان استفاده نمود.

مثال ۵

یک سازنده لوازم خانگی عملیاتش را گسترش داده است و ۵ ماشین جدید خریده که در یک سازمان بازسازی شده جدید که مجاور واحد موجود است قرار خواهند گرفت. به دلیل شکل ساختمان و نوع فرآیند، سازنده تصمیم گرفته است که ماشین‌ها را به صورت یک ردیفی بچیند. هزینه جابه‌جایی متوسط بار در واحد مسافت برابر یک دلار است. ابعاد ماشین‌آلات در شکل ۵-۲۵ فهرست شده‌اند. همچنین فاصله افقی خالی مورد نیاز بین هر جفت از ماشین‌آلات (به فوت) و همچنین فراوانی تعداد سفرهای تخمین زده شده در طول سال نیز آورده شده است. ماشین‌آلات باید به گونه‌ای چیده شوند که وجوه بلندترشان با راهرو موازی باشد. یک مدل برنامه‌ریزی خطی شبیه LMIP 1 فرمول‌بندی کنید و آن را با استفاده از یک نرم‌افزار برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح مختلط حل نمایید.

ابعاد ماشین	
۲۵×۲۰	۱
۳۵×۲۰	۲
۳۰×۳۰	۳
۴۰×۲۰	۴
۳۵×۳۵	۵

ماتریس فواصل خالی افقی بین

	1	2	3	4	5
1	—	3.5	5.0	5.0	5.0
2	3.5	—	5.0	3.0	5.0
3	5.0	5.0	—	5.0	5.0
4	5.0	3.0	5.0	—	5.0
5	5.0	5.0	5.0	5.0	—

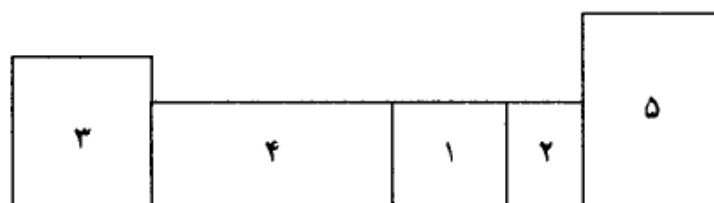
ماتریس جریان

	1	2	3	4	5
1	—	25	35	50	0
2	25	—	10	15	20
3	35	10	—	50	10
4	50	15	50	—	15
5	0	20	10	15	—

شکل ۵-۲۵. داده‌های مثال ۵

جواب. برای این مساله از LMIP 1 استفاده شده و با استفاده از LINDO حل شده است. در ادامه، ورودی و حل خروجی کامپیوتری آن آورده شده است. توجه کنید که متغیرهای به ترتیب با x_{ij} ، z_{ij} ، x_i^+ و x_i^- با X_{ij} ، Z_{ij} ، X_i^+ و X_i^- جای‌گزین شده‌اند.

برخی نکات در ادامه آورده شده است. اولاً M مساوی ۹۹۹ قرار داده شد زیرا LINDO فقط مقادیر عددی برای پارامترها قبول می‌کند. دوم اینکه LINDO عدد سمت راست نامساوی‌هایی که علامت منفی دارند را به نامساوی‌هایی تبدیل می‌کند که عدد سمت راست آنها علامت مثبت داشته باشد. برای مثال ردیف $C2$ که در اصل به صورت $999Z12 - X1 - X2 \geq -965.5$ بوده به نامساوی $999Z12 + X1 - X2 \leq 965.5$ تبدیل شده است. سوم اینکه محدودیت صفر یا یک بودن روی متغیرهای Z_{ij} توسط قرار دادن حد بالایی یک روی این متغیرها و دستور $INTE\ Z_{ij}$ اعمال شده است. با استفاده از مقادیر داده شده برای X_i, Z_{ij}, X_{Pij} و X_{Nij} می‌توان به راحتی چیدمان بهینه نشان داده شده در شکل ۵-۲۶ را تولید کرد. فاصله خالی بین ماشین‌ها در نظر گرفته شده است اما نشان داده نشده‌اند.



شکل ۵-۲۶. چیدمان بهینه ماشین‌آلات در یک شرکت ساخت با تسهیلات جدید

Data input for problem in Example 5

```
MIN      25 XP12 + 35 XP13 + 50 XP14 + 10 XP23 + 15 XP24
        + 20 XP25 + 50 XP34 + 10 XP35 + 15 XP45 + 25 XN12 + 35 XN13
        + 50 XN14 + 10 XN23 + 15 XN24 + 20 XN25 + 50 XN34 + 10 XN35
        + 15 XN45
```

SUBJECT TO

```
C1)      999 Z12 + X1 - X2 >= 33.5
C2)      999 Z12 + X1 - X2 <= 965.5
C3)      999 Z13 + X1 - X3 >= 32.5
C4)      999 Z13 + X1 - X3 <= 966.5
C5)      999 Z14 + X1 - X4 >= 37.5
C6)      999 Z14 + X1 - X4 <= 961.5
C7)      999 Z15 + X1 - X5 >= 35
C8)      999 Z15 + X1 - X5 <= 964
C9)      999 Z23 + X2 - X3 >= 37.5
C10)     999 Z23 + X2 - X3 <= 961.5
C11)     999 Z24 + X2 - X4 >= 40.5
```

```

C12)    999 Z24 + X2 - X4 <= 958.5
C13)    999 Z25 + X2 - X5 >= 40
C14)    999 Z25 + X2 - X5 <= 959
C15)    999 Z34 + X3 - X4 >= 40
C16)    999 Z34 + X3 - X4 <= 959
C17)    999 Z35 + X3 - X5 >= 37.5
C18)    999 Z35 + X3 - X5 <= 961.5
C19)    999 Z45 + X4 - X5 >= 42.5
C20)    999 Z45 + X4 - X5 <= 956.5
C21)    - XP12 + XN12 + X1 - X2 = 0
C22)    - XP13 + XN13 + X1 - X3 = 0
C23)    - XP14 + XN14 + X1 - X4 = 0
C24)    - XP15 + XN15 + X1 - X5 = 0
C25)    - XP23 + XN23 + X2 - X3 = 0
C26)    - XP24 + XN24 + X2 - X4 = 0
C27)    - XP25 + XN25 + X2 - X5 = 0
C28)    - XP34 + XN34 + X3 - X4 = 0
C29)    - XP35 + XN35 + X3 - X5 = 0
C30)    - XP45 + XN45 + X4 - X5 = 0

```

END

```

SUB      Z12      1.00000
INTE     Z12
SUB      Z13      1.00000
INTE     Z13
SUB      Z14      1.00000
INTE     Z14
SUB      Z15      1.00000
INTE     Z15
SUB      Z23      1.00000
INTE     Z23
SUB      Z24      1.00000
INTE     Z24
SUB      Z25      1.00000
INTE     Z25
SUB      Z34      1.00000
INTE     Z34
SUB      Z35      1.00000
INTE     Z35
SUB      Z45      1.00000
INTE     Z45

```

OBJECTIVE FUNCTION VALUE

1) 13575.00

VARIABLE	VALUE	REDUCED COST
Z12	1.000000	74925.000000
Z13	.000000	
Z14	.000000	-134865.000000
Z15	1.000000	.000000
Z23	.000000	.000000

Z24	.000000	.000000
Z25	1.000000	44955.000000
Z34	1.000000	104895.000000
Z35	1.000000	.000000
Z45	1.000000	.000000
XP12	.000000	50.000000
XP13	77.500000	.000000
XP14	37.500000	.000000
XP23	111.000000	.000000
XP24	71.000000	.000000
XP25	.000000	40.000000
XP34	.000000	100.000000
XP35	.000000	20.000000
XP45	.000000	30.000000
XN12	33.500000	.000000
XN13	.000000	70.000000
XN14	.000000	100.000000
XN23	.000000	20.000000
XN24	.000000	30.000000
XN25	40.000000	.000000
XN34	40.000000	.000000
XN35	151.000000	.000000
XN45	111.000000	.000000
X1	77.500000	.000000
X2	111.000000	.000000
X3	.000000	.000000
X4	40.000000	.000000
X5	151.000000	.000000
XP15	.000000	.000000
XN15	73.500000	.000000

ROW	SLACK OR SURPLUS	DUAL PRICES
C1)	932.000000	.000000
C2)	.000000	75.000000
C3)	45.000000	.000000
C4)	889.000000	.000000
C5)	.000000	-135.000000
C6)	924.000000	.000000
C7)	890.500000	.000000
C8)	38.500000	.000000
C9)	73.500000	.000000
C10)	850.500000	.000000
C11)	30.500000	.000000
C12)	887.500000	.000000
C13)	919.000000	.000000
C14)	.000000	45.000000
C15)	919.000000	.000000
C16)	.000000	105.000000
C17)	810.500000	.000000
C18)	113.500000	.000000

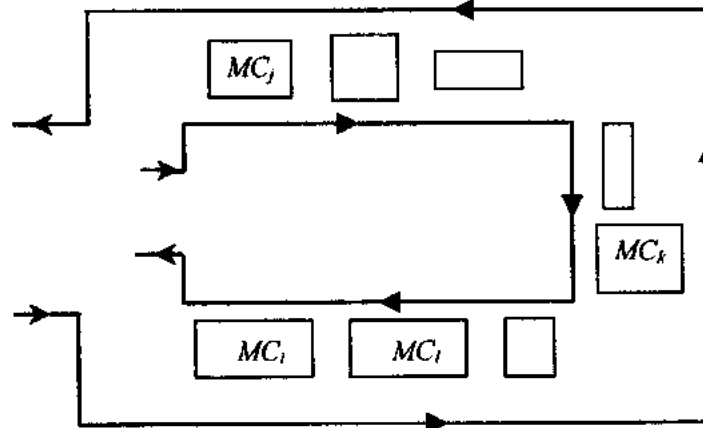
C19)	845.500000	.000000
C20)	68.500000	.000000
C21)	.000000	-25.000000
C22)	.000000	35.000000
C23)	.000000	50.000000
C24)	.000000	.000000
C25)	.000000	10.000000
C26)	.000000	15.000000
C27)	.000000	-20.000000
C28)	.000000	-50.000000
C29)	.000000	-10.000000
C30)	.000000	-15.000000

NO. ITERATIONS= 1325
 BRANCHES= 96 DETERM.= 1.000E 0

LMIP 2 ۲-۶-۵

در این قسمت 1 LMIP را تغییر می‌دهیم تا مساله چیدمانی که معمولاً در محیط‌های تولید خودکار پیش می‌آید را فرمول‌بندی کنیم -مسائل مربوط به چیدمان حلقوی^۱ (LLP). شامل تعیین چیدمان بهینه ماشین‌آلات یا ایستگاه‌های کاری در اطراف یک حلقه است. مواد، ممکن است در طول یک حلقه یا دو حلقه حمل‌شوند که در شکل ۲۷-۵ نشان داده شده است. یک چیدمان حلقوی معمولی یک نقطه بارگیری و تخلیه دارد که آنجا همه قطعات وارد سیستم و یا از سیستم خارج می‌شوند. با توجه به توالی فرآیند قطعات و حجم تولیدشان، LLP سعی می‌کند برای تعیین چیدمان ایستگاه‌های کاری، کل هزینه‌های مربوط به انتقال مواد را کمینه کند. معمولاً فقط حلقه درونی و داخلی برای انتقال مواد استفاده می‌شود و آن با سیستم انتقال مواد مطابقت دارد -برای مثال، نقاله‌های حلقوی، خطوط بکسلی، سیم‌های تکریل هوایی و باربران خودکار با مسیرهای سیم‌کشی شده (Kouvelis and Kim, 1992). با توجه به نوع وسیله انتقال مواد استفاده شده، حرکت مواد ممکن است یک‌طرفه^۲ و یا دو طرفه^۳ باشد. مطالعه‌ای در بیش از ۵۰ سیستم تولیدی انعطاف‌پذیر در ژاپن نشان داد که چیدمان‌های حلقوی یک‌طرفه در انتقال مواد ترجیح داده می‌شود (Jaikumar, 1984) اگرچه

سیستم‌های دوطرفه انعطاف‌پذیری بیشتری در انتقال مواد دارند ولی به راحتی می‌توان تشخیص داد که به کنترل‌های گران و پیچیده‌تر و سرمایه‌گذاری بیشتری نیاز دارند.



شکل ۵-۲۷. چیدمان حلقوی در سیستم‌های ساخت

مدل‌های دیگری برای LLP موجود است؛ در هر صورت آنها گسسته هستند. در این مدل‌ها فرض می‌شود که مکان‌های کاندید برای ایستگاه‌های کاری مشخص هستند و سعی در یافتن یک جایگشت از این ایستگاه‌های کاری است تا تابع هدف را تحت یک استراتژی عملیاتی مشخص شده، کمینه کند. به عنوان نمونه، به رویکردی بر پایه QAP در (Houshyar and McGinnis (1990 و Kim and Kouvelis (1992 مراجعه کنید. در این رویکردها به طول ایستگاه‌های کاری توجهی نمی‌شود. در بعضی رویکردها اندازه ایستگاه کاری و شکل آن پس از مشخص شدن توالی بهینه در نظر گرفته می‌شود (برای نمونه به (Leung (1992 مراجعه کنید). چون فرض شده است مکان‌های کاندید برای ایستگاه‌های کاری مشخص هستند مدل‌های موجود تلویحاً فرض می‌کنند که تمام ایستگاه‌های کاری دارای مساحت و شکل یکسان هستند. در غیر این صورت محل‌های کاندید برای هر چیدمان متفاوت بوده و از این‌رو نامعلوم خواهند بود! در حقیقت این عیب اساسی، بسیاری از محققان را مجبور به کاربرد QAP برای مسائل چیدمان کارخانه کرده است.

2 LMIP به‌طور کلی از دو جنبه متفاوت است. اولاً این فرض را که مکان‌های کاندید از ابتدا مشخص هستند را ندارد. متغیر کلیدی (x_i) در LMIP 2 پیوسته است و با دقت بیشتری فاصله میان مراکز ایستگاه‌های کاری را نشان می‌دهد. بنابراین مقدار تابع هدف با دقت بیشتری نسبت به دیگر مدل‌ها، محاسبه می‌شود. دوّم اینکه برخلاف

دیگر مدل‌ها، LMIP 2 برای استراتژی‌های عملیاتی متفاوتی مانند جریان‌های یک طرفه، جریان‌های دوطرفه و جریان‌هایی با مجاز بودن برگشت به عقب و یا مجاز نبودن برگشت به عقب، مناسب است.

برای اهداف مدل‌سازی، فرض می‌کنیم که LLP با یک مساله چیدمان یک‌ردیفی معادل است. بنابراین، "انحنای" در شکل ۵-۲۷ را برداشته و یک چیدمان حلقوی را به چیدمان خط مستقیم تبدیل می‌کنیم. اگر حرکت مواد یک‌طرفه باشد، LLP با یک مساله چیدمان یک‌ردیفی معادل است که در آن برگشت به عقب مجاز نیست.

به دلیل اینکه در حال تبدیل یک چیدمان حلقوی به خط مستقیم هستیم مدل اجرا شده در این بخش را می‌توان برای چیدمان L شکل و U شکل نیز استفاده نمود. در مدل LMIP 2 که در ادامه ارائه شده است از علائم ذیل استفاده شده و فرض می‌کنیم که حرکت مواد در یک جهت از پیش تعیین شده اتفاق می‌افتد.

L : طول حلقه

d_{ij}^- : حداقل فاصله افقی که هر یک از ایستگاه‌های کاری i و j باید از هم جدا باشند.
 d_{ij}^+ : حداکثر فاصله افقی که هر یک از ایستگاه‌های کاری i و j می‌توانند از هم جدا باشند.

h_{ij} : مسافت پیموده شده توسط وسایل انتقال مواد برای رسیدن به ماشین j از ماشین i

$$\text{Minimize} \quad \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n c_{ij} f_{ij} h_{ij} \quad (34)$$

s.t.

$$h_{ij} + M(1 - y_{ij}) \geq x_j - x_i \quad \forall i, j \leq n, \quad i \neq j \quad (35)$$

$$h_{ij} + My_{ij} \geq L - (x_i - x_j) \quad \forall i, j \leq n, \quad i \neq j \quad (36)$$

$$x_i - x_j + My_{ij} \geq d_{ij}^- \quad \forall i, j \leq n, \quad i \neq j \quad (37)$$

$$-x_i + x_j - My_{ij} \geq d_{ij}^- - M \quad \forall i, j \leq n, \quad i \neq j \quad (38)$$

$$x_i - x_j - My_{ij} \leq d_{ij}^+ \quad \forall i, j \leq n, \quad i \neq j \quad (39)$$

$$-x_i + x_j + My_{ij} \leq d_{ij}^+ + M \quad \forall i, j \leq n, \quad i \neq j \quad (40)$$

$$\begin{aligned} y_{ij} \in \{0, 1\} \quad h_{ij} \geq 0 \quad \forall i, j \leq n, \quad i \neq j \end{aligned} \quad (41)$$

$$x_i > 0 \quad \forall i \leq n \quad (42)$$

تابع هدف، کل هزینه انتقال مواد را کمینه می‌کند زیرا فقط یکی از محدودیت‌های (۳۵) و (۳۶) باید برای هرجفت ایستگاه‌کاری برقرار باشند. ما این را با استفاده از متغیر صفر و یک y_{ij} و یک عدد مثبت دلخواه بزرگ M اعمال می‌کنیم. متغیر صفر و یک y_{ij} به صورت ذیل تعریف می‌شود:

$$y_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{اگر } x_i \leq x_j \\ 0 & \text{در غیر این صورت} \end{cases} \quad \forall i, j \leq n, \quad i \neq j \quad (43)$$

همچنین $L - (x_i - x_j)$ حداکثر فاصله‌ای است که وسایل انتقال مواد می‌پیمایند تا از ماشین i به ماشین j برسند و این وقتی اتفاق می‌افتد که ماشین i بعد از ماشین j قرار بگیرد و جهت حرکت در جهت عقربه‌های ساعت باشد. این مساله می‌تواند توسط خوانندگان بررسی شود با فرض اینکه سفر در حلقه خارجی ممنوع است. برداشتن انحنای در شکل ۵-۲۲۷ و اندازه‌گیری فاصله پیموده شده توسط وسیله حمل و نقل مواد بین ایستگاه‌های کاری i, j اجازه داده نشده است. علاوه بر آن به جای اینکه فرض کنیم M یک عدد مثبت بزرگ است می‌توانیم آن را مساوی بگیریم با:

$$\sum_i l_i + \varepsilon$$

به راحتی می‌توان دید که این مقدار برای M تضمین می‌کند که هر کدام از محدودیت‌های (۳۵) یا (۳۶) برای هر جفت از ایستگاه کاری i و j برقرار هستند. محدودیت‌های (۳۷) تا (۴۰) یک حد بالا و پایین روی فاصله بین مراکز جفت ایستگاه‌های کاری فراهم می‌کنند. محدودیت (۴۱) نیازی به توضیح ندارد. با توجه به محدودیت (۴۲)، اگرچه محدودیت‌های نامنفی بودن برای متغیرهای x لازم نیست، از لحاظ راه‌حل، محدودیت‌های نامساوی مناسب است زیرا ما می‌توانیم از خواص مکمل متغیرهای کمبود در حل دوگانش با استفاده از شیوه تجزیه بندرز که به تفصیل در فصل ۷ توضیح داده شده است، استفاده کنیم.

همچنین مشخص است که حدود پایین برای d_{ij}^+ و d_{ij}^- به وسیله معادلات مفروض است. این حدود پایین با فرض اینکه هیچ فاصله خالی بین ایستگاه‌های کاری وجود ندارد، یعنی هر ایستگاه‌کاری چسبیده به ایستگاه‌های مجاورش است، گذاشته شده‌اند.

$$d_{ij}^- = \frac{1}{2}(l_i + l_j) \quad \forall i, j \leq n, \quad i \neq j \quad (44)$$

$$d_{ij}^+ = \sum_{i=1}^n l_i - \frac{1}{2}(l_i + l_j) \quad \forall i, j \leq n, \quad i \neq j \quad (45)$$

این مدل می‌تواند برای فرمول‌بندی مساله چیدمان U شکل و L شکل یا حلقوی یک‌طرفه استفاده شود. وقتی که مدل حل شد، مختصه x مراکز ماشین‌ها و همین‌طور توالی قرارگیری‌شان به دست می‌آید. سپس ماشین‌ها به شکل L, U یا به شکل حلقوی بر پایه توالی تعیین شده قرار می‌گیرند. البته زمانی که حرکت مواد در هر دو جهت اجازه داده شود، مثل شکل ۵-۲۷، LMIP 1 به طور مستقیم می‌تواند استفاده شود.

۵-۷ تبدیل ABSMODEL 2 به مدل‌های خطی، غیرخطی و عدد صحیح مختلط با آن

در قسمت ۵-۶ مدل‌هایی برای مسائل چیدمان تسهیلات در یک بعد ارائه شدند. اکنون مدل‌هایی را می‌توان بسط داد که در آنها چیدمان تسهیلات در هر دو بعد انجام شود. دوباره در ابتدا فرض می‌شود که تمام تسهیلات مساحت برابری دارند (مواردی که مساحت بخش‌ها نابرابرند در بخش بعدی بحث می‌شود).

برای تبدیل ABSMODEL 2 به یک مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط، متغیرهای تصمیم ذیل را علاوه بر متغیرهای x_{ij}^+ و x_{ij}^- در LMIP 1 معرفی می‌کنیم:

$$y_{ij}^+ = \begin{cases} y_i - y_j & \text{اگر } (y_i - y_j) > 0 \\ 0 & \text{در غیر این صورت} \end{cases} \quad (46)$$

$$y_{ij}^- = \begin{cases} -(y_i - y_j) & \text{اگر } (y_i - y_j) \leq 0 \\ 0 & \text{در غیر این صورت} \end{cases} \quad (47)$$

همانند گذشته به آسانی اثبات می‌شود که:

$$|y_i - y_j| = y_{ij}^+ + y_{ij}^- \quad (48)$$

$$(y_i - y_j) = y_{ij}^+ - y_{ij}^- \quad (49)$$

اکنون LMIP 3 را ارائه می‌دهیم.

LMIP 3 ۱-۷-۵

$$\text{Minimize } \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n c_{ij} f_{ij} (x_{ij}^+ + x_{ij}^- + y_{ij}^+ + y_{ij}^-) \quad (50)$$

$$\text{Subject to } x_i - x_j + Mp_{ij} + Mq_{ij} \geq 1 \quad i = 1, 2, \dots, n-1 \quad (51)$$

$$j = i + 1, 2, \dots, n$$

$$-(x_i - x_j) + Mp_{ij} + M(1 - q_{ij}) \geq 1 \quad i = 1, 2, \dots, n-1 \quad (52)$$

$$j = i + 1, 2, \dots, n$$

$$y_i - y_j + M(1 - p_{ij}) + Mq_{ij} \geq 1 \quad i = 1, 2, \dots, n-1 \quad (53)$$

$$j = i + 1, 2, \dots, n$$

$$-(y_i - y_j) + M(1 - p_{ij}) + M(1 - q_{ij}) \geq 1 \quad i = 1, 2, \dots, n-1 \quad (54)$$

$$j = i + 1, 2, \dots, n$$

$$x_i - x_j = x_{ij}^+ - x_{ij}^- \quad i = 1, 2, \dots, n-1 \quad (55)$$

$$j = i + 1, 2, \dots, n$$

$$y_i - y_j = y_{ij}^+ - y_{ij}^- \quad i = 1, 2, \dots, n-1 \quad (56)$$

$$j = i + 1, 2, \dots, n$$

$$x_{ij}^+, x_{ij}^-, y_{ij}^+, y_{ij}^- \geq 0 \quad i = 1, 2, \dots, n-1 \quad (57)$$

$$j = i + 1, 2, \dots, n$$

$$p_{ij}, q_{ij} = 0 \text{ or } 1 \quad i = 1, 2, \dots, n-1 \quad (58)$$

$$j = i + 1, 2, \dots, n$$

محدودیت‌ها در این مدل نیز بسیار شبیه به محدودیت‌های مدل LMIP 1 هستند، علاوه‌براینکه اکنون هر دو بعد افقی و عمودی نیز در نظر گرفته شده‌اند. محدودیت‌های (۵۱) و (۵۲) تضمین می‌کند که واحد i در یکی از طرفین راست یا چپ واحد j قرار می‌گیرد، محدودیت‌های (۵۳) و (۵۴) تضمین می‌کنند که واحد i در بالا یا زیر واحد j مستقر می‌شود. بنابراین دو حالت به‌وسیله محدودیت‌های (۵۱) تا (۵۴) برای هر یک از

دو تسهیلات مشخص شده است:

- در طرف راست یا چپ یکدیگر باشند؛ یا
- در بالا یا پایین یکدیگر باشند.

بنابراین محدودیت‌های (۵۱) تا (۵۴) تضمین می‌کند که هیچکدام از دو تسهیلات در چیدمان همپوشانی ندارند. زیرا p_{ij} و q_{ij} متغیرهای صفر یا یک هستند (محدودیت ۵۸)، فقط یکی از محدودیت‌های (۵۱) تا (۵۴) به حد خود می‌رسد. فقط یکی از دو محدودیت فهرست‌شده در بالا ممکن است برای برخی از جفت تسهیلات به‌صورت تساوی درآیند اما برای بقیه تسهیلات هر دو شرط ممکن است برقرار باشند. محدودیت‌های (۵۵) و (۵۶) برای ایجاد تساوی $x_i - x_j$ و $y_i - y_j$ به $x_{ij}^+ - x_{ij}^-$ و $y_{ij}^+ - y_{ij}^-$ قرار گرفته‌اند. محدودیت (۵۷) نامنفی بودن را تضمین می‌کند.

NLP 1 ۲-۷-۵

مدل برنامه‌ریزی غیرخطی ذیل، که معادل با LMIP 3 است، با استفاده از معادلات غیرخطی، محدودیت‌های عدد صحیح بودن را در بردارد.

$$\text{Minimize } \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n c_{ij} f_{ij} (x_{ij}^+ + x_{ij}^- + y_{ij}^+ + y_{ij}^-) \quad (59)$$

Subject to

$$x_i + x_j + Mz_{ij} \geq 1 \quad i = 1, 2, \dots, n-1 \quad (60)$$

$$j = i + 1, 2, \dots, n$$

$$y_{ij}^+ + y_{ij}^- + M(1 - z_{ij}) \geq 1 \quad i = 1, 2, \dots, n-1 \quad (61)$$

$$j = i + 1, 2, \dots, n$$

$$x_{ij}^+ x_{ij}^- = 0 \quad i = 1, 2, \dots, n-1 \quad (62)$$

$$j = i + 1, 2, \dots, n$$

$$y_{ij}^+ y_{ij}^- = 0 \quad i = 1, 2, \dots, n-1 \quad (63)$$

$$j = i + 1, 2, \dots, n$$

$$x_i - x_j = x_{ij}^+ - x_{ij}^- \quad i = 1, 2, \dots, n-1 \quad (64)$$

$$j = i + 1, 2, \dots, n$$

$$y_i - y_j = y_{ij}^+ - y_{ij}^- \quad i = 1, 2, \dots, n-1 \quad (65)$$

$$j = i + 1, 2, \dots, n$$

$$z_{ij}(1 - z_{ij}) = 0 \quad i = 1, 2, \dots, n-1 \quad (66)$$

$$j = i + 1, 2, \dots, n$$

$$x_{ij}^+, x_{ij}^-, y_{ij}^+, y_{ij}^- \geq 0 \quad i = 1, 2, \dots, n-1 \quad (67)$$

$$j = i + 1, 2, \dots, n$$

$$x_i, x_j \geq 0 \quad i = 1, 2, \dots, n-1 \quad (68)$$

توجه کنید که محدودیت‌های (۶۰) و (۶۱) و (۶۶) با هم، جایگزین محدودیت‌های (۵۱) تا (۵۴) و (۵۸) در LMIP 3 می‌شوند و تضمین می‌کنند که هیچ‌یک از دو تسهیلات در چیدمان، همپوشانی ندارند. محدودیت (۶۶) تضمین می‌کند که فقط یکی از محدودیت‌های (۶۰) یا (۶۱) برقرار است. محدودیت‌های (۶۲) و (۶۳) تضمین می‌کنند که حداقل یکی از دو متغیرهای تصمیم x_{ij}^+, x_{ij}^- و یکی از y_{ij}^+, y_{ij}^- همیشه صفر است. محدودیت‌های (۶۷) و (۶۸) محدودیت‌های نامنفی هستند. همانند گذشته اگر ابعاد نقشه زمین داده شده باشد، محدودیت‌های مناسب می‌توانند اضافه شوند تا تسهیلات در داخل نقشه زمین قرار گیرند. این مطلب به عنوان تمرین (تمرین‌های ۳۰ و ۳۱) برای خواننده گذاشته شده است.

مثال ۶

یک سازنده محصولات نظافتی (مثل سطل و زمین‌شوی) چهار سلول اصلی دارد که قرار است در یک زمین شبکه‌بندی شده 22×22 چیده شوند. هر سلول به مساحت یکسانی احتیاج دارد. تاثیر متقابل بین سلول‌ها از روی اطلاعات مربوط به مقادیر تولید و مسیر تولید مشخص شده است که به صورت ماتریس در شکل ۵-۲۸ نشان داده شده است. چیدمانی برای این مساله ارائه دهید به طوری که کل هزینه حمل و نقل مواد را کمینه کند. فرض کنید که وسایل یکسانی برای حمل قطعات بین هر جفت از سلول‌ها

استفاده می شود. بنابراین هزینه حمل و نقل مستقیماً متناسب است با تعداد دفعات سفرها در مسافت بین مراکز هر سلول. یک مدل مشابه با LMIP 3 ارائه دهید و آن را با استفاده از نرم افزار برنامه ریزی عدد صحیح مختلط حل کنید.

$$\begin{bmatrix} - & 15 & 5 & 15 \\ 15 & - & 20 & 25 \\ 5 & 20 & - & 10 \\ 15 & 25 & 10 & - \end{bmatrix}$$

شکل ۵-۲۸. ماتریس فراوانی سفرها

جواب. در اینجا داده های مساله در LINDO و خروجی تولید شده به وسیله نرم افزار آورده شده است.

مدل تولید شده در LINDO فقط محدودیت های بزرگ تر یا مساوی را شامل می شود برای مثال، $x_i - x_j + Mp_{ij} + Mq_{ij} \geq 1$ برای این مساله محدودیت هایی از نوع کوچک تر یا مساوی ضروری نیستند زیرا راه حل این مدل مانند این است که سلول ها به صورت متراکم چیده شوند. مشخصه اعداد صحیح بودن، بعد از اینکه جواب بهینه LP مشخص شد اعمال می شود که نشان داده نشده است.

مسئله LP آزاد سازی شده یک ارزش تابع هدف صفر دارد. توجه کنید که مقادیر q_{ij} و p_{ij} در راه حلی که محدودیت های عدد صحیح بودن در نظر گرفته نشده است به گونه ای است که محدودیت ها ارضاء شده اند حتی وقتی که $x_{ij}^+, x_{ij}^-, y_{ij}^+, y_{ij}^-$ مساوی با صفر باشند. چون اینها تنها متغیرهایی هستند که در تابع هدف آورده شده اند. جای تعجب نیست که q_{ij} و p_{ij} مقادیر کسری کوچکی در راه حل دارند (بدون در نظر گرفتن عدد صحیح بودن). خواننده باید متوجه باشد که الگوریتم شاخه و کران در بیشتر بسته های نرم افزاری (که LINDO هم جزء آنها است) فقط می توانند مسائل کوچک مثل مثال ۶ را حل کنند. بنابراین الگوریتم هایی با این هدف خاص باید گسترش یابند. یک چنین الگوریتمی در فصل ۷ آورده شده است.

برای مساله فوق، ساختن چیدمانی تنها با استفاده از مقادیر نهایی p_{ij} و q_{ij} بسیار آسان است. برای مثال، واضح است که $y_1 - y_2 \geq 1$ زیرا p_{12} و p_{12} صفر و یک هستند. این یعنی $y_1 < y_2$ و به طور مشابه $x_2 > x_4$, $x_3 > x_1$, $y_3 > y_2$, $y_1 > y_4$. با استفاده از این اطلاعات می توان به راحتی چیدمانی که در شکل ۵-۲۹ نشان داده شده است را تهیه کنید.

۱	۳
۴	۲

شکل ۵-۲۹. چیدمان تهیه شده با توجه به مقادیر متغیرها از حل بهینه به دست آمده توسط LINDO

Data input for problem in Example 6

```

MIN      15 XP12 + 5 XP13 + 15 XP14 + 20 XP23 + 25 XP24
        + 10 XP34 + 15 XN12 + 5 XN13 + 15 XN14 + 20 XN23 + 25 XN24
        + 10 XN34 + 15 YP12 + 5 YP13 + 15 YP14 + 20 YP23 + 25 YP24
        + 10 YP34 + 15 YN12 + 5 YN13 + 15 YN14 + 20 YN23 + 25 YN24
        + 10 YN34

SUBJECT TO
C1)    X1 - X2 + 999 P12 + 999 Q12 ≥ 1
C2)    X1 - X2 - 999 P12 + 999 Q12 ≤ 998
C3)    - Y1 + Y2 + 999 P12 - 999 Q12 ≤ 998
C4)    Y1 - Y2 + 999 P12 + 999 Q12 ≤ 1997
C5)    X1 - X3 + 999 P13 + 999 Q13 ≥ 1
C6)    X1 - X3 - 999 P13 + 999 Q13 ≤ 998
C7)    - Y1 + Y3 + 999 P13 - 999 Q13 ≤ 998
C8)    Y1 - Y3 + 999 P13 + 999 Q13 ≤ 1997
C9)    X1 - X4 + 999 P14 + 999 Q14 ≥ 1
C10)   X1 - X4 - 999 P14 + 999 Q14 ≤ 998
C11)   - Y1 + Y4 + 999 P14 - 999 Q14 ≤ 998
C12)   Y1 - Y4 + 999 P14 + 999 Q14 ≤ 1997
C13)   X2 - X3 + 999 P23 + 999 Q23 ≥ 1
C14)   X2 - X3 - 999 P23 + 999 Q23 ≤ 998
C15)   - Y2 + Y3 + 999 P23 - 999 Q23 ≤ 998
C16)   Y2 - Y3 + 999 P23 + 999 Q23 ≤ 1997
C17)   X2 - X4 + 999 P24 + 999 Q24 ≥ 1
C18)   X2 - X4 - 999 P24 + 999 Q24 ≤ 998
C19)   - Y2 + Y4 + 999 P24 - 999 Q24 ≤ 998
C20)   Y2 - Y4 + 999 P24 + 999 Q24 ≤ 1997
C21)   X3 - X4 + 999 P34 + 999 Q34 ≥ 1
C22)   X3 - X4 - 999 P34 + 999 Q34 ≤ 998

```

```

C23) - Y3 + Y4 + 999 P34 - 999 Q34 ≤ 998
C24) Y3 - Y4 + 999 P34 + 999 Q34 ≤ 1997
C25) X1 - X2 - XP12 + XN12 = 0
C26) X1 - X3 - XP13 + XN13 = 0
C27) X1 - X4 - XP14 + XN14 = 0
C28) X2 - X3 - XP23 + XN23 = 0
C29) X2 - X4 - XP24 + XN24 = 0
C30) X3 - X4 - XP34 + XN34 = 0
C31) Y1 - Y2 - YP12 + YN12 = 0
C32) Y1 - Y3 - YP13 + YN13 = 0
C33) Y1 - Y4 - YP14 + YN14 = 0
C34) Y2 - Y3 - YP23 + YN23 = 0
C35) Y2 - Y4 - YP24 + YN24 = 0
C36) Y3 - Y4 - YP34 + YN34 = 0

END
SUB P12 1.00000
SUB P13 1.00000
SUB P14 1.00000
SUB P23 1.00000
SUB P24 1.00000
SUB P34 1.00000
SUB Q12 1.00000
SUB Q13 1.00000
SUB Q14 1.00000
SUB Q23 1.00000
SUB Q24 1.00000
SUB Q34 1.00000

```

Data output for problem in Example 6

LP OPTIMUM FOUND AT STEP 6

OBJECTIVE FUNCTION VALUE

OBJECTIVE 0.000000000E+00

VARIABLE	VALUE	REDUCED COST
X1	0.000000	0.000000
X2	0.000000	0.000000
X3	0.000000	0.000000
X4	0.000000	0.000000
Y1	0.000000	0.000000
Y2	0.000000	0.000000
Y3	0.000000	0.000000
Y4	0.000000	0.000000
XP12	0.000000	15.000000
XP13	0.000000	5.000000
XP14	0.000000	15.000000
XP23	0.000000	20.000000
XP24	0.000000	25.000000

XP34	0.000000	10.000000
XN12	0.000000	15.000000
XN13	0.000000	5.000000
XN14	0.000000	15.000000
XN23	0.000000	20.000000
XN24	0.000000	25.000000
XN34	0.000000	10.000000
YP12	0.000000	15.000000
YP13	0.000000	5.000000
YP14	0.000000	15.000000
YP23	0.000000	20.000000
YP24	0.000000	25.000000
YP34	0.000000	10.000000
YN12	0.000000	15.000000
YN13	0.000000	5.000000
YN14	0.000000	15.000000
YN23	0.000000	20.000000
YN24	0.000000	25.000000
YN34	0.000000	10.000000
P12	0.001001	0.000000
P13	0.000000	0.000000
P14	0.001001	0.000000
P23	0.001001	0.000000
P24	0.001001	0.000000
P34	0.000000	0.000000
Q12	0.000000	0.000000
Q13	0.001001	0.000000
Q14	0.000000	0.000000
Q23	0.000000	0.000000
Q24	0.000000	0.000000
Q34	0.001001	0.000000

ROW	SLACK OR SURPLUS	DUAL PRICES
C1)	0.000000	0.000000
C2)	998.999756	0.000000
C3)	997.000000	0.000000
C4)	1996.000000	0.000000
C5)	0.000000	0.000000
C6)	997.000000	0.000000
C7)	998.999756	0.000000
C8)	1996.000000	0.000000
C9)	0.000000	0.000000
C10)	998.999756	0.000000
C11)	997.000000	0.000000
C12)	1996.000000	0.000000
C13)	0.000000	0.000000
C14)	998.999756	0.000000
C15)	997.000000	0.000000
C16)	1996.000000	0.000000

C17)	0.000000	0.000000
C18)	998.999756	0.000000
C19)	997.000000	0.000000
C20)	1996.000000	0.000000
C21)	0.000000	0.000000
C22)	997.000000	0.000000
C23)	998.999756	0.000000
C24)	1996.000000	0.000000
C25)	0.000000	0.000000
C26)	0.000000	0.000000
C27)	0.000000	0.000000
C28)	0.000000	0.000000
C29)	0.000000	0.000000
C30)	0.000000	0.000000
C31)	0.000000	0.000000
C32)	0.000000	0.000000
C33)	0.000000	0.000000
C34)	0.000000	0.000000
C35)	0.000000	0.000000
C36)	0.000000	0.000000

NO. ITERATIONS= 6
 LP OPTIMUM FOUND AT STEP 11
 OBJECTIVE VALUE = 0.000000000E+00

NEW INTEGER SOLUTION OF 115.000000 AT BRANCH 12 PIVOT 103

OBJECTIVE FUNCTION VALUE

OBJECTIVE 115.000000

VARIABLE	VALUE	REDUCED COST
P12	1.000000	34965.000000
P13	0.000000	-4995.000000
P14	1.000000	0.000000
P23	1.000000	24975.000000
P24	0.000000	-49950.000000
P34	0.000000	0.000000
Q12	0.000000	34965.000000
Q13	1.000000	-4995.000000
Q14	0.000000	0.000000
Q23	1.000000	24975.000000
Q24	0.000000	-49950.000000
Q34	0.000000	0.000000
X1	0.000000	0.000000
X2	1.000000	0.000000
X3	1.000000	0.000000
X4	0.000000	0.000000
Y1	1.000000	0.000000

Y2	0.000000	0.000000
Y3	1.000000	0.000000
Y4	0.000000	0.000000
XP12	0.000000	30.000000
XP13	0.000000	10.000000
XP14	0.000000	0.000000
XP23	0.000000	10.000000
XP24	1.000000	0.000000
XP34	1.000000	0.000000
XN12	1.000000	0.000000
XN13	1.000000	0.000000
XN14	0.000000	30.000000
XN23	0.000000	30.000000
XN24	0.000000	50.000000
XN34	0.000000	20.000000
YP12	1.000000	0.000000
YP13	0.000000	0.000000
YP14	1.000000	0.000000
YP23	0.000000	40.000000
YP24	0.000000	50.000000
YP34	1.000000	0.000000
YN12	0.000000	30.000000
YN13	0.000000	10.000000
YN14	0.000000	30.000000
YN23	1.000000	0.000000
YN24	0.000000	0.000000
YN34	0.000000	20.000000

ROW	SLACK OR SURPLUS	DUAL PRICES
C1)	997.000000	0.000000
C2)	1998.000000	0.000000
C3)	0.000000	35.000000
C4)	997.000000	0.000000
C5)	997.000000	0.000000
C6)	0.000000	5.000000
C7)	1997.000000	0.000000
C8)	998.000000	0.000000
C9)	998.000000	0.000000
C10)	1997.000000	0.000000
C11)	0.000000	0.000000
C12)	997.000000	0.000000
C13)	1997.000000	0.000000
C14)	998.000000	0.000000
C15)	997.000000	0.000000
C16)	0.000000	25.000000
C17)	0.000000	-50.000000
C18)	997.000000	0.000000
C19)	998.000000	0.000000
C20)	1997.000000	0.000000
C21)	0.000000	0.000000

C22)	997.000000	0.000000
C23)	999.000000	0.000000
C24)	1996.000000	0.000000
C25)	0.000000	-15.000000
C26)	0.000000	-5.000000
C27)	0.000000	15.000000
C28)	0.000000	10.000000
C29)	0.000000	25.000000
C30)	0.000000	10.000000
C31)	0.000000	15.000000
C32)	0.000000	5.000000
C33)	0.000000	15.000000
C34)	0.000000	-20.000000
C35)	0.000000	-25.000000
C36)	0.000000	10.000000

NO. ITERATIONS= 103

BRANCHES= 12 DETERM.= 99.800E 4

BOUND ON OPTIMUM: 0.0000000E+00

LAST INTEGER SOLUTION IS THE BEST FOUND AFTER 19786 ITERATIONS

RE-INSTALLING BEST SOLUTION...

۵-۸ تبدیل ABSMODEL 3 به مدل خطی عدد صحیح مختلط معادل با آن

در میان مدل‌های غیرخطی ارائه شده تا به حال، ABSMODEL 3 ممکن است از بقیه عمومی‌تر باشد زیرا از آن برای تسهیلاتی با مساحت نامساوی می‌توان استفاده کرد. ما اکنون یک مدل خطی عدد صحیح مختلط که تبدیل یافته ABSMODEL 3 - LMIP 4 است را ارائه می‌دهیم.

۵-۸-۱ LMIP 4

در LMIP 4، تابع هدف کمینه کردن کل هزینه تعداد سفرهای مورد نیاز بین تسهیلات است.

$$\text{Minimize } \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n c_{ij} f_{ij} (x_{ij}^+ + x_{ij}^- + y_{ij}^+ + y_{ij}^-) \quad (69)$$

Subject to

$$x_i - x_j + M(p_{ij} + q_{ij}) \geq \frac{1}{2}(b_i + b_j) \quad \begin{matrix} i = 1, 2, \dots, n-1 \\ j = i+1, 2, \dots, n \end{matrix} \quad (70)$$

$$-x_i + x_j + Mp_{ij} + M(1-q_{ij}) \geq \frac{1}{2}(b_i + b_j) \quad \begin{matrix} i = 1, 2, \dots, n-1 \\ j = i+1, 2, \dots, n \end{matrix} \quad (71)$$

$$y_i + y_j + M(1-p_{ij}) + Mq_{ij} \geq \frac{1}{2}(l_i + l_j) \quad \begin{matrix} i = 1, 2, \dots, n-1 \\ j = i+1, 2, \dots, n \end{matrix} \quad (72)$$

$$-y_i + y_j + M(1-p_{ij}) + M(1-q_{ij}) \geq \frac{1}{2}(l_i + l_j) \quad \begin{matrix} i = 1, 2, \dots, n-1 \\ j = i+1, 2, \dots, n \end{matrix} \quad (73)$$

$$x_i - x_j = x_{ij}^+ - x_{ij}^- \quad \begin{matrix} i = 1, 2, \dots, n-1 \\ j = i+1, 2, \dots, n \end{matrix} \quad (74)$$

$$y_i - y_j = y_{ij}^+ - y_{ij}^- \quad \begin{matrix} i = 1, 2, \dots, n-1 \\ j = i+1, 2, \dots, n \end{matrix} \quad (75)$$

$$p_{ij}, q_{ij} = 0 \text{ or } 1 \quad \begin{matrix} i = 1, 2, \dots, n-1 \\ j = i+1, 2, \dots, n \end{matrix} \quad (76)$$

$$x_{ij}^+, x_{ij}^-, y_{ij}^+, y_{ij}^- \geq 0 \quad \begin{matrix} i = 1, 2, \dots, n-1 \\ j = i+1, 2, \dots, n \end{matrix} \quad (77)$$

$$x_i, x_j \geq 0 \quad i = 1, 2, \dots, n-1 \quad (78)$$

محدودیت‌های (۷۰) تا (۷۳) و (۷۶) تضمین می‌کنند که هیچ‌یک از واحدها در چیدمان هم‌پوشانی ندارند. محدودیت عدد صحیح (۷۶) تضمین می‌کند که فقط یکی از محدودیت‌های (۷۰) تا (۷۳) الزام‌آور است. به‌خاطر سادگی، فاصله خالی (حداقل

فاصله‌ای که هر جفت از تسهیلات از هم جدا می‌شوند) در این مدل در نظر گرفته نشده است. محدودیت‌های (۷۷) و (۷۸) نامنفی هستند و محدودیت‌های (۷۴) و (۷۵) تساوی $x_i - x_j$ و $y_i - y_j$ را به $x_{ij}^+ - x_{ij}^-$ و $y_{ij}^+ - y_{ij}^-$ برقرار می‌کند. اگر ابعاد نقشه زمین معلوم باشد، می‌توان محدودیت‌های مناسبی اضافه کرد به‌طوری که تضمین شود که تسهیلات در داخل حدود نقشه زمین قرار می‌گیرند.

خلاصه

در این فصل برخی از مدل‌های مسائل چیدمان تسهیلات توضیح داده شد. در میان همه مدل‌های غیرخطی برای مسائل چیدمان یک‌رديفی و چندرديفی که ارائه شد، ABSMODEL 3 عمومی‌ترین و رایج‌ترین مدل نسبت به بقیه مدل‌ها است زیرا می‌تواند تسهیلات با مساحت‌های غیرمساوی را نیز در نظر بگیرد و همچنین برای چیدمان تسهیلات به صورت چندرديفی نیز به کار می‌رود. همه مدل‌های غیرخطی با استفاده از کدهای NLP قابل حل هستند. با وجود اینکه کدهای تجاری در دسترس‌اند اما خیلی از آنها راه‌حل‌های بهینه برای همه مدل‌ها ارائه نمی‌دهند (Brooke, Kendrick and Meeraus, 1988). در واقع راه‌حل نهایی که توسط نرم‌افزارهای NLP ارائه می‌شود ممکن است از جواب بهینه بسیار دور باشد. ABSMODEL‌های یک، دو و سه با استفاده از الگوریتم‌های خاصی - که یکی از آنها در فصل ۶ آورده شده است - قابل حل هستند.

همچنین تکنیک‌ها و روش‌هایی برای تبدیل ABSMODEL‌ها به مدل‌های غیرخطی و خطی عدد صحیح مختلط ارائه شد. با وجود اینکه مدل‌های LMIP را ممکن است بتوان از طریق کدهای برنامه‌نویسی عدد صحیح تجاری به صورت بهینه حل کرد، به خاطر تعداد متغیرهای عدد صحیح زیاد، این رویکرد تنها محدود به مسائل با اندازه کوچک می‌شود (همان‌طور که در فصل ۴ اشاره شد، تعریف ما از مسائل کوچک، مسائلی با تعداد تسهیلات کمتر از ۱۲ تا است). بنابراین الگوریتم‌های ابتکاری و بهینه‌یابی خاصی باید توسعه یابند. این مطلب، موضوع دو فصل بعدی را تشکیل

می‌دهد.

تمرینات و پرسش‌های دوره‌ای

۱- تفاوت بین مسائل تخصیص فضا و مسائل تخصیص تسهیلات به مکان‌ها را بنویسید؟

۲- شکل ۱-۵، یک مساله چیدمان یک ردیفی را نشان می‌دهد. پارامترهای مناسبی را در نظر گرفته (مثلا فاصله خالی بین ماشین‌آلات) سپس متغیرها را تعریف کنید و یک مدل برای این مساله فرمول‌بندی کنید.

۳- مدلی برای مساله تخصیص هواپیماها به دروازه‌های ورودی و خروجی که در شکل ۳-۵ نشان داده شده است فرمول‌بندی کنید. فرض کنید که فاصله بین هر جفت از دروازه‌ها با هم برابرند و مدیریت سازمان هواپیمایی در نظر دارد تا هرگونه عدم مطلوبیت شرایط برای مسافران را کمینه کند. عدم راحتی مسافران از طریق فاصله‌ای که هر مسافر برای رسیدن به پرواز خود باید بپیماید اندازه‌گیری می‌شود. مسافرانی که سفرشان در این فرودگاه به پایان می‌رسد (این فرودگاه مقصدشان است) در محاسبات منظور نمی‌شوند.

۴- در مورد ملاحظات اضافی‌ای که در مدل توسعه داده خود برای تمرین ۳ در نظر گرفته‌اید و مناسب نیز نیستند بحث کنید.

۵- آیا منطقی است همان‌طور که در بخش ۵-۲ نشان داده شده است، شکل همه تسهیلات را مربع یا مستطیل فرض کنیم؟ برای پاسخ خود دلیل بیاورید.

۶- یک شرکت که غذاهای سریع به مشتریان خود ارائه می‌دهد، ۵ نوع غذای مختلف تدارک می‌بیند که عبارتند از A, B, C, D و E. هر کدام از این غذاها باید از مراحل ۱ تا ۴ برای آماده‌شدن عبور کنند (مثلا اضافه کردن سیب‌زمینی، کاهو و دیگر مخلفات، گرم کردن غذاهای آماده شده در مایکروویو و مانند آن). این ۴ مرحله باید در طول یک خط، مانند خط مونتاژ قرار بگیرند تا استفاده از فضا حداکثر شود. تقاضا و توالی مراحل‌ی که هر نوع از غذاها باید طی کنند در جدول ذیل آمده است.

مراحل آماده سازی و تقاضای هفتگی چهار نوع غذای سریع

نوع غذا	تقاضا (به هزار)	توالی مراحل
A	۱۰	۱-۲-۴-۳
B	۵	۱-۳-۴
C	۲۰	۱-۴-۳-۲
D	۸	۱-۲-۴
E	۱۵	۴-۱-۲-۳

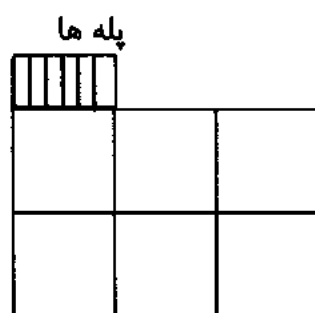
یک ماتریس جریان تهیه کنید که در آن تعداد تعاملات بین هر جفت از مراحل نشان داده شده باشد. سپس مدلی شبیه ABSMODEL1 طراحی کنید و فرض کنید که همه مرحله آماده سازی نیاز به فضای برابری دارند. مدل را با استفاده از GINO یا هر نرم افزار NLP در دسترس دیگر حل کنید.

۷- فرض کنید که در تمرین ۶ از طرف مدیریت تحمیل شده تا هر یک از مراحل مجاور و همسایه، از طریق فاصله ای برابر با نصف طول هر مرحله، از هم جدا شوند. مدل را با توجه به محدودیت های جدید، دوباره فرمول بندی کنید.

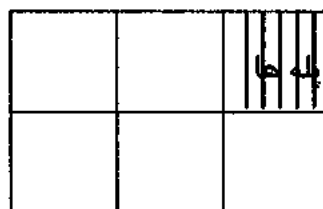
۸- چند مساله چیدمان واقعی که در آن همه تسهیلات، مربعاتی با مساحت برابر هستند را فهرست کنید.

۹- دپارتمان کنترل یک بانک محلی، ۴ دفتر دارد که هر یک، ۴۹ فوت مربع فضا نیاز دارد. این ۴ دفتر باید در طبقه سوم ساختمان بانک در ایالتی در پنسیلوانیا قرار گیرند. پله ها در گوشه ای از ساختمان قرار گرفته اند که ۴۹ فوت مربع فضا اشغال کرده است (به شکل ۵-۳۰ دقت کنید).

	1	2	3	4	5
1	—	5	10	2	0
2	10	—	4	2	4
3	5	6	—	3	6
4	2	3	6	—	4
5	10	2	8	4	—



شکل ۵-۳۱. چیدمان طبقه سوّم
دپارتمان فرایند کنترل بعد از تغییرات



شکل ۵-۳۰. چیدمان دپارتمان فرایند
کنترل یک بانک محلی

ابعاد زمین در دسترس برای ادارات، 21×14 فوت است. با توجه به ماتریس ذیل که رفت‌وآمد بین هر جفت از تسهیلات را نشان می‌دهد، یک QAP برای مساله جهت یافتن تخصیص بهینه هر اداره به محل‌های مناسب فرمول‌بندی کنید. مدل را با استفاده از هر نوع نرم افزار NLP موجود حل کنید.

۱۰- در تمرین ۹، فرض کنید که سوّمین طبقه‌ای که دپارتمان مذکور در آن مستقر شده است بالاترین طبقه است. همچنین فرض کنید که بانک می‌خواهد تغییراتی در ساختمان دهد و به جای پله‌ها، از آسانسور استفاده کند. بانک این اختیار را دارد که آسانسور را در هر یک از ۶ محل نشان داده‌شده در شکل ۵-۳۱ قرار دهد (برای اینکه قوانین آتش‌نشانی نیز رعایت شود، پله‌ها باید خارج از ساختمان، همانطور که در شکل نشان داده شده است، قرار گیرند).

فرض کنید که رفت‌وآمد بین طبقات زیرین با هر یک از ادارات در طبقه سوّم، طبق جدول ذیل است. مساله چیدمان را به عنوان یک QAP فرمول‌بندی کنید. مدل را با استفاده از هر نوع نرم‌افزار NLP موجود حل کنید.

رفت‌وآمد بین طبقات زیرین و ادارات طبقه سوم	
شماره اداره	تعداد رفت‌وآمد
۱	۱۰
۲	۴
۳	۱
۴	۰
۵	۶

۱۱- اگر در تمرین ۹ لازم باشد که راهرویی بین دو ردیف از ادارات قرار گیرد، آیا مساله را می‌توان هنوز به‌عنوان یک QAP فرمول‌بندی کرد؟ برای پاسخ خود دلیل بیاورید.

۱۲- سوال تمرین ۱۱ را برای تمرین ۱۰ پاسخ دهید.

۱۳- توضیح دهید که چرا x_i و y_i در ABSMODEL2 باید عدد صحیح باشند در حالی‌که چنین محدودیتی (حتی محدودیت نامنفی‌بودن) برای x_i در ABSMODEL1 وجود ندارد.

۱۴- نشان دهید که QAP و ABSMODEL2 (با داشتن محدودیت‌های مناسب برای قرارگیری تسهیلات داخل ساختمان (۱۳) و (۱۴)) معادل یکدیگرند.

۱۵- تمرین ۹ را به‌عنوان یک ABSMODEL2 فرمول‌بندی کنید. مدل را با استفاده از GINO یا هر نرم‌افزار NLP در دسترس دیگر حل کنید.

۱۶- تمرین ۱۰ را به‌عنوان یک ABSMODEL2 فرمول‌بندی کنید. سپس مدل را با استفاده از GINO یا هر نرم‌افزار NLP در دسترس دیگر حل کنید.

۱۷- آیا تمرین ۱۱ را می‌توان به‌عنوان یک ABSMODEL2 فرمول‌بندی کرد؟ دلیل بیاورید. آن را به‌عنوان یک ABSMODEL3 فرمول‌بندی کنید.

۱۸- فرض کنید که فاصله اندازه گرفته شده در تمرین ۹ و ۱۰ به‌جای خط مستقیم

به صورت اقلیدسی اندازه گرفته شده است. مدل‌های جدیدی برای مساله فرمول‌بندی کنید و آنها را با استفاده از هر نرم‌افزار NLP موجود حل کنید. آیا پاسخی که به دست آورده‌اید با جواب‌های تمرین‌های ۹ و ۱۰ یکسان است؟ توضیح دهید.

۱۹- پنج ماشین برق‌کاری (B)، دریل (D)، ماشین تراش (L)، فرز (M) و سنگ-زنی (SG)، باید در دو ردیف در یک کارخانه چیده شوند. کارخانه انواع مختلفی از قطعات را می‌سازد و هر یک از قطعات، توالی مختلفی را برای پردازش طی می‌کنند. با این وجود، چیدمان فرایندی انتخاب شده است. تعداد قطعات "استاندارد" (به هزار) که باید بین هر جفت از ماشین‌الات در طول یک سال جابجا شوند در ماتریس ذیل آورده شده است. برای دسترسی راحت‌تر، ایمنی وسایل حمل‌ونقل مواد و دیگر دلایل، هر ماشین باید در جهت افقی و عمودی از ماشین‌های همسایه خود حداقل ۳ و ۱۵ فوت فاصله داشته باشد. ابعاد ماشین‌الات در جدول آورده شده است. یک ABSMODEL3 برای کمینه کردن هزینه جابه‌جایی فرمول‌بندی کنید. سپس مدل را با استفاده از هر نرم‌افزار برنامه ریزی غیرخطی موجود حل کنید.

ابعاد ماشین‌الات		B	D	L	M	SG
نام ماشین	طول × پهنا	B	D	L	M	SG
B	۱۰×۲	—	16	16	8	12
D	۱۶×۴	16	—	14	3	1
L	۱۰×۶	16	14	—	8	9
M	۱۰×۶	8	3	8	—	20
SG	۴×۴	12	1	9	20	—

۲۰- فرض کنید ابعاد ساختمانی که ماشین‌الات تمرین ۱۹ در آن قرار می‌گیرند، ۵۰×۶ فوت باشد. مدلی که برای تمرین ۱۹ فرمول‌بندی کرده بودید را گسترش داده و محدودیت داخل ساختمان بودن تسهیلات را به آن اضافه کنید.

۲۱- چگونه مدل‌های ارائه شده در بخش‌های ۵-۶ تا ۵-۸ از مدل‌های بخش‌های ۵-۲ تا ۵-۴ متمایز می‌شوند؟ مزایای اصلی مدل‌های ارائه شده اولیه چیست؟ معایب اصلی‌اشان چیست؟

۲۲- ماتریس جریان و فواصل خالی که تعداد سفرها و فواصل خالی بین ماشین‌الات را نشان می‌دهد در ذیل آمده است. فرض کنید که طول ماشین‌الات با هم برابر است. با استفاده از تابع هدف (۲۴) و محدودیت‌های (۲۵) و (۲۶) مدل را فرمول‌بندی کنید؛ سپس با استفاده از هر بسته نرم‌افزاری برنامه‌ریزی خطی در دسترس، آن را حل کنید. آیا می‌توانید یک چیدمان یک‌رديفی با استفاده از مقادیر به‌دست‌آمده برای x_i ها، از طریق نرم‌افزار تهیه کنید؟ توضیح دهید.

ماتریس فواصل خالی	ماتریس جریان
$[d_{ij}] = \begin{bmatrix} - & 1 & 1 & 2 & 1 \\ 1 & - & 2 & 2 & 1 \\ 1 & 2 & - & 1 & 2 \\ 2 & 2 & 1 & - & 1 \\ 1 & 1 & 2 & 1 & - \end{bmatrix}$	$[f_{ij}] = \begin{bmatrix} - & 16 & 16 & 8 & 12 \\ 16 & - & 14 & 3 & 1 \\ 16 & 14 & - & 8 & 9 \\ 8 & 3 & 8 & - & 20 \\ 12 & 1 & 9 & 20 & - \end{bmatrix}$

۲۳- با استفاده از داده‌های تمرین ۲۲، مدلی شبیه به LMIP1 فرمول‌بندی کنید. مدل را با استفاده از STORM و LINDO و یا دیگر بسته‌های نرم‌افزاری برنامه‌ریزی عدد صحیح حل کنید. آیا پاسخی که به‌دست آورده‌اید با حل تمرین ۲۲ متفاوت است؟ دلیل بیاورید.

۲۴- اطلاعات مربوط به ماتریس جریان و فواصل خالی تمرین ۲۲ را در نظر بگیرید. با توجه به طول ماشین‌الات که در ماتریس ذیل آورده شده است، مدل را با استفاده از تابع هدف (۲۴) و محدودیت‌های (۲۵) و (۲۶) فرمول‌بندی کنید. برای حل، از LINDO و یا دیگر بسته‌های نرم‌افزاری برنامه‌ریزی عدد صحیح استفاده کنید. آیا پاسخ به‌دست آمده قابل استفاده است؟ دلیل آورید.

$$[l_i] = [6 \quad 4 \quad 6 \quad 3 \quad 5]$$

۲۵- با توجه به داده‌های تمرین ۲۴، یک مدل خطی عدد صحیح مختلط (مشابه با LMIP 1) فرمول‌بندی کنید. مدل را با استفاده از بسته نرم‌افزاری برنامه‌ریزی عدد صحیح حل کنید. آیا جواب به‌دست‌آمده با پاسخ تمرین ۲۴ متفاوت است؟ چرا؟

۲۶- یک چیدمان حلقوی برای داده‌های تمرین ۲۲ تهیه کنید. برای این کار، مدلی مشابه با LMIP2 فرمول‌بندی کنید. فرض کنید که $L=15$. پاسخ را با جوابی که در تمرین ۲۳ به دست آورده بودید مقایسه کنید.

۲۷- یک چیدمان حلقوی با توجه به اطلاعات تمرین ۲۴ تهیه کنید. برای این کار، مدلی مشابه با LMIP 2 فرمول‌بندی کنید و فرض کنید که $L=35$. پاسخ را با جواب تمرین ۲۵ مقایسه کنید.

۲۸- مدلی که برای تمرین ۲۲ تهیه کرده بودید را توسعه دهید به این صورت که تضمین کنید یکی از x_{ij} یا x_{ji} همیشه با توجه به معادله غیرخطی، صفر است. مدل به دست آمده را با استفاده از هر نرم افزار برنامه ریزی غیرخطی در دسترس حل کنید. پاسخ را با جواب به دست آمده در تمرین ۲۲ مقایسه کنید.

۲۹- تمرین ۲۸ را این بار با اطلاعات تمرین ۲۴ تکرار کنید. پاسخ را با جوابی که از تمرین ۲۴ به دست آورده بودید مقایسه کنید.

۳۰- داده‌های تمرین ۹ را در نظر بگیرید. یک مدل خطی عدد صحیح مختلط مشابه با LMIP 3 فرمول‌بندی کرده با هر نرم افزار برنامه ریزی عدد صحیح حل کنید. پاسخ خود را با جواب به دست آمده در تمرین ۹ مقایسه کنید. [اشاره: برای این مساله و مساله بعدی، از محدودیت‌های (۱۳) و (۱۴) استفاده کنید تا اطمینان حاصل شود که تسهیلات در داخل محدوده ساختمان قرار می گیرند.]

۳۱- تمرین ۳۰ را با توجه به داده‌های تمرین ۱۰ تکرار کنید.

۳۲- داده‌های تمرین ۱۹ را در نظر بگیرید. یک مدل خطی عدد صحیح مختلط مشابه با LMIP4 فرمول‌بندی کنید و آن را با استفاده از LINDO حل کنید. پاسخ خود را با جواب به دست آمده در تمرین ۱۹ مقایسه کنید. آیا پاسخ‌ها متفاوتند؟ توضیح دهید.

۳۳- QAP ای که برای داده‌های تمرین ۹ فرمول‌بندی کرده بودید را در نظر بگیرید.

مدل را خطی کنید (مثلاً مدلی مشابه با آن در (Lawler 1963) تهیه کنید). این مدل خطی عدد صحیح را با استفاده از هر نرم‌افزار برنامه‌ریزی عدد صحیح موجود بر روی کامپیوترهای دانشگاه خود حل کنید.

۳۴- تمرین ۳۳ را با توجه به داده‌های تمرین ۱۰ تکرار کنید. پاسخی که به دست آورده‌اید را با جواب تمرین ۱۰ مقایسه کنید.

الگوریتم‌های پایه در مساله استقرار

۶-۱ مقدمه

در فصل ۵ در مورد مدل‌های مختلف برای دو نوع از مسائل استقرار-استقرار تک ردیف و استقرار چند ردیفه- بحث کردیم. مدل‌سازی کمک می‌کند تا مسئله را بهتر فهمیده و فاکتورهایی که در گسترش طرح اهمیت دارند محاسبه کنیم. با این حال، یک مدل به خودی خود، راه‌حلی برای یک مسئله پیشنهاد نمی‌کند، برای این منظور الگوریتم‌ها و روش‌هایی را می‌بایست جهت حل یک مدل به دست آورد. یک الگوریتم روشی گام‌به‌گام است که راه‌حل مدل و مسئله را در تعداد محدودی گام پیدا می‌کند. در این فصل و فصل بعد ما الگوریتم‌هایی را جهت مسئله استقرار معرفی کرده‌ایم. بعضی از آنها تا ۳۰ سال گذشته استفاده می‌شدند، در حالی که بقیه جدید بوده و کارآمد به نظر می‌رسند. برای اینکه مدل‌ها به وسیله الگوریتم‌ها جوابی داشته باشند فرضیاتی را - بعضاً واقعی و بعضاً غیرواقعی - در نظر می‌گیریم. به عنوان نمونه، مسئله تخصیص نمایی^۱ (QAP) که در فصل ۵ بحث شد، فرض می‌کند که تسهیلات مربع هستند. به صورتی مشابه تمامی مدل‌های فصل ۵ فرض می‌کنند که جریان ماده بین مراکز این تسهیلات رخ داده و ضمناً هزینه حرکت یک واحد بار متناسب با فاصله فرض شده است. این مدل‌ها گرچه ممکن است بسیاری از فرضیات آن واقعی نباشند، ولی مفید

هستند. تحلیل‌گر چیدمان بایستی از فرضیات انجام شده در مدل‌ها آگاه بوده و راه‌حل به‌دست آمده بر اساس الگوریتم متناظر آن را با دقت به‌کار ببرد. طوری که بتواند پایه‌ای برای به‌دست آوردن راه‌حل‌هایی باشد که بتوان در جهان واقعی از آنها استفاده کرد.

بنابراین با وجود فرضیات انجام شده مدل‌ها به تحلیل‌گر چیدمان اجازه می‌دهند تا راه‌حل‌های معنی‌داری را به‌دست آورد که بتوان در عمل آنها را اجرا کرد.

بعضی از الگوریتم‌های مورد بحث در این فصل اغلب تحت عنوان روش‌های کامپیوتری شده و روش‌های محاسبه‌ای خوانده می‌شوند. به‌وضوح هر الگوریتمی را می‌توان به یک زبان برنامه‌نویسی کامپیوتری کدنویسی کرد و در عمل نیز اکثراً این‌طور است. به این دلیل ما عبارت روش‌های کامپیوتری شده را در این فصل به‌کار می‌بریم.

مسئله استقرار رسماً از دهه ۱۹۴۰ به بعد مورد مطالعه قرار گرفته است و APPLE (۱۹۷۷) تاریخچه‌ای از تحقیقات انجام شده در دهه‌های ۱۹۴۰ و ۱۹۵۰ تهیه کرده است. تلاش‌های اولیه در حل مسئله استقرار مستلزم استفاده از فلوچارت‌ها، نمودارهای فرآیند و تجربه و دانش تحلیل‌گر تسهیلات بود. روش‌های دیگر از نمودارهای رابطه‌ای جهت تعیین استقرار استفاده می‌کردند. همان‌طور که در فصل ۴ بحث شد نمودار رابطه‌ای، پایه‌ای را برای گسترش روش طراحی سیستماتیک استقرار شکل می‌دهد (Muther, 1973) که یکی از اولین تلاش‌های سیستماتیک در حل مسئله استقرار بود. Wimmert (1969) روش ریاضی برای حل مسئله استقرار تسهیلات ارائه داد که معیار حداقل سازی مقادیر جریان و فواصل بین تمامی ترکیبات تسهیلات را به‌کار برد.

نقایصی که تئوری ویمرت براساس آنها شکل گرفته بود، به‌وسیله مثال نقضی توسط Conway and Maxwell (1961a)، مشخص و اثبات گردید. Buffa (1955) روشی تحت عنوان آنالیز دنباله‌ای ایجاد کرد که مبنای آن بر مطالعه دنباله عملکرد قسمت‌های پردازش شده در یک کارخانه بود. تلاش‌های بعدی در اواخر دهه ۱۹۵۰ و اوایل دهه ۱۹۶۰ انجام شد. بسیاری از آنها راه‌حل‌های با کیفیتی ارائه نمی‌کنند و بنابراین در اینجا مورد بحث قرار نمی‌گیرند. با این حال اگر کسی به تاریخچه روش‌های حل مسئله استقرار علاقمند است می‌تواند به Apple (1955) مراجعه کند.



کوپمن و بکمن در سال ۱۹۵۷ مسائل استقرار و موقعیت را به صورت QAP فرموله کرده‌اند. از آن به بعد تعدادی الگوریتم پیشنهاد شد که می‌توان آنها را به صورت ذیل طبقه‌بندی کرد:

- الگوریتم‌های بهینه، و
- الگوریتم‌های ابداعی.

الگوریتم‌های بهینه در فصل ۷ بحث می‌شوند. در اینجا ما روی الگوریتم‌های ابداعی متمرکز می‌شویم. همچنین از چندین بسته نرم افزاری استقرار که استفاده فراگیر در صنعت دارند، بحث کرده و دو دیدگاه استقرار را که در سیستم‌های صنعتی پیشرفته اهمیت دارند، مشخص می‌کنیم.

۶-۲ الگوریتم‌های ابداعی

تمامی الگوریتم‌های بهینه تهیه شده برای مسئله استقرار دارای این عیب هستند. حجم حافظه و زمان محاسبات شدیداً بالا بوده و همان‌طور که ابعاد مسئله افزایش می‌یابد، این حجم هم به صورت نمایی، افزایش می‌یابد. به این دلیل، اصلاً شگفت‌آور نیست که در حل مسئله استقرار تسهیلات، تعداد بیشتری الگوریتم ابداعی نسبت به الگوریتم‌های بهینه وجود دارند. در این قسمت ما الگوریتم‌های ابداعی را به ۳ دسته تقسیم می‌کنیم:

۱. الگوریتم‌های ساخت.
۲. الگوریتم‌های اصلاح.
۳. الگوریتم‌های ترکیبی^۱.

۶-۲-۱ الگوریتم‌های ساخت

الگوریتم‌های ساخت استقرار تسهیلات را از نقطه صفر ایجاد می‌کنند. یعنی با شروع از یک ساختار تهی، آنها، یک واحد و یا مجموعه‌ای از تسهیلات را یکی پس از دیگری اضافه می‌کنند، تا تمامی تسهیلات در این ساختار، لحاظ شده باشند. تفاوت‌های مهم

بین الگوریتم‌های ساخت مختلف، مربوط به معیاری است که برای تعیین موارد ذیل استفاده می‌گردد.

۱. اولین واحد برای ورود به چیدمان؛
۲. واحد یا تسهیلات بعدی که به چیدمان اضافه می‌شوند؛ و
۳. موقعیت اولین واحد (و تسهیلات بعدی) در این چیدمان.

بسیاری از الگوریتم‌های ساخت، در ۳۰ سال اخیر تهیه شده و در Kusiak and Tompkins and Moore (1984) فهرست و بازنگری شده‌اند. (1987a) Heragu توضیحاتی جزئی از ۵ الگوریتم ساخت و اصلاح تهیه کردند، که در آن چگونگی ورود اطلاعات، روش‌های گوناگون مورد استفاده در الگوریتم‌ها و نمونه اطلاعات ورودی و خروجی را مشخص کرده‌اند. دو الگوریتم ساخت برای بحث در این قسمت انتخاب شده است که فهم، استفاده و توضیح آنها راحت بوده و در مورد مسائل با ابعاد کوچک، جواب‌هایی نسبتاً خوب به دست می‌دهند.

الگوریتم درختی فواصل اصلاح شده^۱ (MST)

ما مسئله استقرار تک ردیفه را در فصل ۵ مورد بحث قرار داده و بعضی از موارد کاربرد آن را نیز مشخص کردیم. حال ما از الگوریتم ساده‌ای تحت عنوان الگوریتم درختی فواصل اصلاح شده (MST) بحث خواهیم کرد که بسیار شبیه الگوریتم درختی فواصل (Heragu and Kusiak 1988) است. ابتدا چند تعریف را ارائه می‌دهیم تا فهم اصطلاحات به کار رفته را تسهیل نماید. یک گراف $G=(V,E)$ مجموعه‌ای از راس‌های (V) و یال‌های (E) است که هر یال دو راس را به هم متصل می‌کند. (بعضی مواقع راس‌ها را گره‌ها و یال‌ها را قوس‌ها می‌نامند.) در یک گراف کامل بین هر جفت از راس‌های متفاوت، یک یال وجود دارد. با داشتن گراف کامل که یال‌های آن بدون جهت بوده و برای هر کدام وزنی خواهیم داشت، الگوریتم درختی فواصل تلاش می‌کند تا مجموعه‌ای از یال‌ها را به گونه‌ای بیابد که :

۱. هر راس از طریق این یال‌ها به راس‌های دیگر متصل گردد.
 ۲. بسته به معیار انتخاب شده، وزن‌های مربوط به این یال‌ها، حداقل یا حداکثر گردد.
 ۳. یال‌ها هیچ سیکلی را تشکیل ندهند. یعنی بین هر جفت راس، مسیر یکتایی داشته باشیم.
- به عبارت دیگر، الگوریتم درختی فواصل تلاش می‌کند تا درختی را بیابد (مجموعه-ای از یال‌ها که هر راس را بدون ایجاد سیکل) به راس‌های دیگر متصل می‌کنند، که تمامی راس‌ها را به هم وصل کرده و مجموع وزن‌های مربوط به یال‌ها را حداقل یا حداکثر کند.
- اگر ماشین‌ها را به عنوان راس‌ها تصور کرده و هر جفت ماشین مجاور توسط یک یال با وزن یالی مساوی با فواصل زمان‌های جریان بین ماشین‌های مجاور متناظر، به هم متصل شده باشند، آنگاه الگوریتم MST تلاش می‌کند تا دنباله‌ای از ماشین‌هایی را بیابد که مجموع وزن‌های یال‌های متناظر با ماشین‌های مجاور هم را حداکثر کند. توجه داشته باشید که ایده در اینجا، حداقل سازی فاصله زمان‌های جریان کل است. از این رو حداکثرسازی مجموع وزن‌های ماشین‌های مجاور به مفهوم آن است که جفت ماشین‌هایی که مقادیر جریان بزرگی دارند، در کنار هم قرار می‌گیرند. دنباله ماشین‌ها، استقرار تک ردیفه را تعیین می‌کند. همانند الگوریتم درختی فواصل، الگوریتم MST یک درخت تولید می‌کند. با این وجود MST طوری است که هر راس به جز اولین و آخرین راس، دقیقاً دو یال خروجی داشته باشند. اولین و آخرین راس، یک یال خروجی خواهند داشت. الگوریتم MST نمی‌تواند بهینه باشد، زیرا توجهی به وزن‌های غیر مجاور ندارد. همچنین، از آنجا که این الگوریتم تنها دنباله‌ای از ماشین‌ها را مشخص می‌کند، بایستی فاکتورهای اضافی مثل فواصل بین ماشین‌ها و یا خطی یا شبه دایروی بودن استقرار را در ایجاد چیدمان لحاظ کرد. مثلاً، هنگامی که یک سیستم حمل و نقل خودکار^۱ (AGV) استفاده می‌شود، برای حداکثر کردن راندمان عملکرد AGV استقرار نوعاً خطی است. از طرف دیگر هنگامی که برای حمل و نقل مواد از یک

روبات استفاده می‌گردد، استقرار شبه دایروی و نیمه دایروی است. زیرا با چرخش در یک دایره یا نیمه دایره، روبات می‌تواند به تمامی ماشین‌ها، دسترسی پیدا کند. در این قسمت گام‌های الگوریتم MST آورده شده است:

گام ۱. با داشتن ماتریس جریان $[f_{ij}]$ ، ماتریس فاصله $[d_{ij}]$ و طول ماشین‌ها l_i یک ماتریس وزن همسایگی $[f'_{ij}]$ را که $f'_{ij} = (f_{ij}) [d_{ij} + 1/2(l_i + l_j)]$ محاسبه کنید.

گام ۲. بزرگترین عنصر ماتریس $[f'_{ij}]$ و i و j متناظر آن را بیابید. این جفت i و j را با i^* و j^* نشان دهید. ماشین‌های i^* و j^* را به هم وصل کنید و قرار دهید:

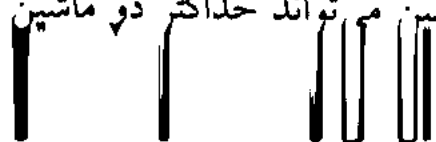
$$f_{i^*j^*} = f_{j^*i^*} = -\infty$$

گام ۳. بزرگترین عنصر f_{i^*k} و f_{j^*l} در ردیف i^* و j^* از ماتریس $[f'_{ij}]$ بیابید. اگر $f_{i^*k} \geq f_{j^*l}$ بود، k را به i^* متصل کرده، ردیف i^* و ستون i^* را از ماتریس $[f'_{ij}]$ حذف کرده و $k = i^*$ قرار دهید. در غیر این صورت l را به j^* وصل کرده، ردیف j^* و ستون j^* را از ماتریس $[f'_{ij}]$ حذف کرده و $l = j^*$ قرار دهید. قرار دهید:

$$f_{i^*j^*} = f_{j^*i^*} = -\infty$$

گام ۴. گام ۳ را تکرار کنید تا همه ماشین‌ها به هم متصل شوند. دنباله ماشین‌های به‌دست آمده، ترتیب ماشین‌ها را مشخص می‌کند.

توجه داشته باشید که ما ضمناً فرض می‌کنیم که جهت ماشین‌ها را از قبل می‌دانیم. با فرض این که فاصله بین ماشین‌های مجاور برابر است، ما فرض می‌کنیم که ماشین‌ها طوری قرار می‌گیرند که در طول به موازات یکدیگر باشند. در گام ۲، MST اولین جفت از ماشین‌ها (i^*, j^*) که بایستی با استفاده از وزن‌های همسایگی در چیدمان در مجاورت یکدیگر واقع شوند، پیدا می‌کند. آنگاه مشخص می‌کند که ماشین k یا l بایستی در مجاورت ماشین i^* یا j^* واقع شوند. اگر وزن‌های همسایگی تعیین کند که ماشین k بایستی در مجاورت ماشین i^* قرار گیرد، دیگر به ماشین i^* ام توجهی نداریم. زیرا هم اکنون دو ماشین همسایه k و j^* برای آن وجود دارد و استقرار تک ردیفه هر ماشین می‌تواند حداکثر دو ماشین همسایه داشته باشد. در این مرحله یک دنباله جزئی



داریم که ماشین k در یک انتها و در انتهای دیگر j^* و در وسط ماشین i^* واقع شده

است. الگوریتم ماشین i^* را از ملاحظات خارج کرده، قرار داده $k = i^*$ و تلاش می‌کند تا ماشین بعدی k ام یا l ام را که بایستی در همسایگی ماشین i^* یا j^* جدید واقع شود، پیدا کند. توجه داشته باشید که در گام ۳ الگوریتم جفت‌های مجاور را طوری تعیین می‌کند که یکی از آنها به تازگی در دنباله جزئی قرار گرفته و دیگری از قبل در این دنباله بوده است. اگر جفت‌های i^* و j^* جاری، بیشترین وزن همسایگی را داشته باشند، این جفت نمی‌تواند انتخاب گردد. زیرا آنها به تازگی در دنباله قرار گرفته‌اند. از این رو $f_{i^*j^*}$ و $f_{j^*i^*}$ بایستی برابر $-\infty$ قرار گیرند.

اگر وزن‌های همسایگی نشان دهند که ماشین l باید در مجاورت ماشین i^* واقع شود، آنگاه طبق روش قبل، اتصال ماشین l به i^* ، حذف ماشین i^* از ملاحظات، قرار دادن $l = i^*$ و تلاش برای یافتن ماشین k یا l بعدی که بایستی در همسایگی با i^* یا j^* جدید قرار گیرد، اجرا می‌شود. این روش تا زمانی که به دنباله‌ای برسیم که همه ماشین‌ها را شامل شود، ادامه می‌یابد. چنانچه قبلاً ذکر شد، این دنباله برای تولید یک استقرار مورد استفاده قرار می‌گیرد. ممکن است کسی بخواهد این جواب را با الگوریتم‌های اصلاحی مانند کرافت یا 2-OPT (بعداً در این فصل بحث خواهد شد) اصلاح کند. برنامه کامپیوتری موجود در دیسک پیوست (SNROWWIN.EXE) را ببینید، اجازه می‌دهد تا کاربر جواب به‌دست آمده توسط الگوریتم MST را با استفاده از 2-OPT اصلاح کند.

مثال ۱

با استفاده از اطلاعات شکل ۶-۱ برای جریان ۶ ماشین و طول‌های آنها، با استفاده از الگوریتم MST استقرار را بیابید. فرض کنید که فاصله بین هر دو ماشین حداقل بایستی ۲ فوت باشد.

	ماشین						طول ماشین (فوت)
	۱	۲	۳	۴	۵	۶	
۱	—	12	3	6	0	20	۲۰
۲	12	—	5	5	5	0	۱۰
۳	3	5	—	10	4	2	۱۶
۴	6	5	10	—	2	12	۲۰
۵	0	5	4	2	—	6	۱۰
۶	20	0	2	12	6	—	۱۰

شکل ۶-۱. داده‌های جریان و طول ماشین برای ۶ ماشین

جواب.

گام ۱. ابتدا ماتریس وزن همسایگی $[f'_{ij}]$ را همانند شکل ۶-۲ محاسبه کنید، به-

$$f'_{ij} = (f_{ij}) [d_{ij} + 1/2(l_i + l_j)]$$

نحوی که:

گام ۲. بزرگترین عنصر f'_{16} را انتخاب و ماشین ۱ و ۶ را به هم وصل کنید. قرار

$$\text{دهید: } f'_{16} = f'_{61} = -\infty.$$

گام ۳. بزرگترین عناصر f'_{12} و f'_{64} را به ترتیب در ردیف‌های ۱ و ۶ انتخاب کنید.

از آنجا که $f'_{12} = f'_{64}$ است، f'_{12} را به دلخواه انتخاب کنید. ماشین ۲ را به

ماشین ۱ وصل کرده و ردیف ۱ و ستون ۱ را از ماتریس $[f'_{ij}]$ حذف کنید.

$$\text{قرار دهید: } f'_{26} = f'_{62} = -\infty.$$

گام ۴. از آنجا که تمامی ماشین‌ها هنوز به هم متصل نشده‌اند، گام ۳ را تکرار کنید.

گام ۳. بزرگترین عناصر، f'_{24} و f'_{64} را به ترتیب در ردیف‌های ۲ و ۶ انتخاب کنید.

از آنجا که $f'_{24} > f'_{64}$ ، f'_{24} را انتخاب کنید. ماشین ۴ را به ماشین ۶ وصل کرده

و ردیف ۶ و ستون ۶ را از ماتریس $[f'_{ij}]$ حذف کنید. قرار دهید:

$$f'_{24} = f'_{42} = -\infty.$$

گام ۴. چون تمامی ماشین‌ها هنوز متصل نشده‌اند، گام ۳ را تکرار کنید.

گام ۳. بزرگترین عناصر، f_{23}' و f_{43}' را به ترتیب در ردیف‌های ۴ و ۲ انتخاب کنید. از آنجا که $f_{23}' > f_{43}'$ ، f_{43}' را انتخاب کنید. ماشین ۳ را به ماشین ۴ وصل کرده و ردیف ۴ و ستون ۴ را از ماتریس $[f_{ij}']$ حذف کنید. قرار دهید: $f_{32} = f_{23} = -\infty$.

گام ۴. چون تمامی ماشین‌ها هنوز متصل نشده‌اند، گام ۳ را تکرار کنید. گام ۳. بزرگترین عناصر، f_{25}' و f_{35}' را به ترتیب در ردیف‌های ۲ و ۳ انتخاب کنید. از آنجا که $f_{25}' = f_{35}'$ ، f_{25}' را به دلخواه انتخاب کنید. ماشین ۵ را به ماشین ۲ وصل کرده و ردیف ۲ و ستون ۴ را از ماتریس $[f_{ij}']$ حذف کنید. گام ۴. تمامی ماشین‌ها هم اکنون به هم متصل شده‌اند و بنابراین الگوریتم متوقف می‌شود. دنباله ماشین‌ها عبارتند از: ۵، ۲، ۱، ۶، ۴ و ۳.

استقرار به دست آمده برای دنباله در شکل ۶-۳ نشان داده شده است. توجه کنید که فواصل بین ماشین‌ها نیز نشان داده شده است. همان‌طور که قبلاً ذکر شد، این استقرار را می‌توان با استفاده از کرافت یا 2-OPT اصلاح کرد. که این کار به عهده خواننده گذاشته شده است (تمرین‌های ۱۱، ۱۲، ۱۷ را ببینید).

		ماشین					
		۱	۲	۳	۴	۵	۶
ماشین	۱	—	204	60	132	0	340
	۲	204	—	75	85	60	0
	۳	60	75	—	200	60	30
	۴	132	85	200	—	34	204
	۵	0	60	60	34	—	72
	۶	340	0	30	204	72	—

شکل ۶-۲. ماتریس وزن همسایگی

۵	۲	۱	۶	۴	۳

شکل ۶-۳. چیدمان تولید شده براساس توالی به دست آمده از MST

کورلپ^۱

کورلپ یکی از اولین الگوریتم‌های ساخت است که تهیه و کامپیوتری شده است. (Lee and Moore 1967). این الگوریتم اطلاعات ورودی کیفی را به اطلاعات کمی تبدیل کرده و این اطلاعات را در تعیین اولین واحد که به چیدمان وارد می‌شود، به کار می‌برد. تسهیلات بعدی، هر کدام در یک زمان، بر اساس سطح تعاملشان با تسهیلاتی که تا اکنون در چیدمان وارد شده‌اند، به چیدمان اضافه خواهند شد. اطلاعات جریان کیفی بر اساس نمودار رابطه است که در فصل ۳ توضیح داده‌شد. یادآوری می‌کنیم که نمودار رابطه از کدهای A, E, I, O, U و X برای توضیح نیازهای همسایگی هر جفت از تسهیلات استفاده می‌کند.

کد A برای یک جفت واحد Z و I بیان می‌کند که قرار داشتن این دو واحد در کنار هم کاملاً مهم است. با همین میزان اهمیت کد X می‌گوید که این دو نباید در مجاورت هم باشند. I, E, O دیگر روابط نزدیکی را با مرتبه نزولی اهمیت نشان می‌دهند. اگر تسهیلات I و Z یک کد U داشته باشند، معنی آن این است که آنها هیچ نیازی به همسایگی ویژه نخواهند داشت. ارضای رابطه E بایستی نسبت به I تقدم داشته باشد و هر کدام به ترتیب بایستی قبل از O ارضا شوند و O نیز بایستی قبل از U برآورده گردد. برآوردن A و X همیشه تقدم قله را می‌دهد. اطلاعات کیفی تنها زمانی استفاده می‌شوند که به دست آوردن اطلاعات عددی یا کمی بسیار گران یا زمان بر باشد. در کورلپ لازم است که کاربر شاخص‌های رابطه‌ای را برای هر جفت واحد در امتداد با ناحیه مورد نیاز برای هر واحد فراهم کند. آنگاه کورلپ مقادیر عددی مشخص ۶، ۵، ۴، ۳ و ۲ را به ترتیب به شاخص‌های رابطه‌ای A, E, I, O, U و X اختصاص می‌دهد. قبل از آنکه به توضیح کورلپ بپردازیم، خواننده بایستی آگاه باشد که این مقادیر مشخص شده در بسیاری از موارد استقرار، به دو دلیل مناسب نیستند. اولاً اینکه اختصاص مقادیر عددی ۶، ۵، ۴، ۳، ۲ و ۱ به شش رابطه، به خوبی نشان نمی‌دهد که روابط A مهمتر از E و E مهمتر از I هستند و به همین ترتیب. ثانیاً اختصاص یک مقدار مثبت به X ممکن است همیشه تضمین نکند که تسهیلات متناظر در موقعیت‌های غیر

هم‌جوار قرار گیرند. مقادیر نوعی اختصاص داده‌شده به U, O, I, E, A به ترتیب عبارتند از: $2^1=2, 2^2=4, 2^3=8, 2^4=16, 2^5=32$. مقدار اختصاص داده شده به X منفی مقدار A در این مورد، 32- است.

هدف ما اختصاص مقادیر مناسبی است تا استقراری ایجاد شود که تا حد امکان روابط نزدیک هم باشند. چون مقادیر مشخص شده در کورلپ در بسیاری موارد مناسب نیستند، کاربر اگر بخواهد می‌تواند آنها را تغییر دهد. با استفاده از مقادیر مشخص یا در صورت امکان، مقادیر مشخص شده توسط کاربر، کورلپ نرخ نزدیکی کل^۱ (TCR) برای هر واحد محاسبه می‌کند که این مقدار برابر جمع مقادیر عددی شاخص‌های رابطه متناظر با این واحد است. واحدی که بیشترین TCR را دارد انتخاب و در مرکز استقرار قرار می‌گیرد (خواننده بایستی حالا قادر باشد که بفهمد چرا اختصاص مقادیر عددی مشخص به شاخص‌های رابطه، ممکن است به خوبی مقادیر ۱۶،۳۲ و غیره نباشد. اگر مقادیر مشخص شده قبلی استفاده می‌شد برای مثال واحد با رابطه A ممکن بود به وسیله واحد دیگری که هفت رابطه O دارد کنار گذاشته و نادیده گرفته شود. و دومی، اولین ورودی استقرار باشد). با اختصاص مقادیر بحث شده در بالا، مورد اول به صورت صحیح به عنوان اولین ورودی استقرار انتخاب خواهد شد.

کورلپ همانند بعضی الگوریتم‌های دیگر به جای انتخاب تصادفی اولین واحد، از مقادیر TCR استفاده می‌کند. ALDEP که در (Seehof and Evans 1976) توضیح داده شده است، مثلاً به صورت تصادفی اولین واحد را برای ورود به چیدمان انتخاب می‌کند، بنابراین، این روش جواب‌هایی نامناسب‌تر از جواب‌های کورلپ تولید می‌کند.

چنانچه دو یا بیشتر از دو واحد بیشترین TCR را به خود اختصاص می‌دهند، آنگاه موردی که ناحیه بزرگ‌تری دارد، برای ورود به چیدمان انتخاب می‌گردد. اگر هنوز مانعی وجود داشته باشد، آنگاه مورد اول انتخاب می‌گردد.

واحدی که به تازگی و هم اکنون در چیدمان قرار دارد، واحد دائمی و واحدی که هنوز در چیدمان نیست، واحد موقتی نامیده می‌شود. اولین واحد انتخاب شده برای ورود به چیدمان، در مرکز چیدمان قرار گرفته و به این ترتیب واحد دائمی خواهد بود.

انتخاب دومین واحد وابسته به سطح تعاملی است که این واحد با (اولین) واحد دائمی که در مرکز چیدمان قرار گرفته بود، دارد. واحدی که بالاترین رابطه همسایگی را دارد، انتخاب و دائمی می‌شود. این واحد به عنوان دومین واحد دائمی خوانده می‌شود. واحد سوم و تسهیلات بعدی بر اساس روابطشان با تسهیلات دائمی انتخاب می‌شوند. نمودار رابطه برای هر رابطه A بین اولین واحد دائمی و هر یک از تسهیلات موقتی بررسی می‌شود. اگر واحد موقتی با واحد دائمی رابطه A داشته باشد، آنگاه برای ورود به چیدمان انتخاب می‌گردد، در غیر این صورت الگوریتم بررسی می‌کند که آیا رابطه A بین هیچ کدام از تسهیلات موقتی و دومین واحد دائمی وجود دارد یا خیر. این روال برای تسهیلات دائمی باقیمانده به ترتیبی که آنها وارد چیدمان شده‌اند تکرار می‌شود.

دو امکان وجود دارد: یا یک واحد موقتی که رابطه A با یک واحد دائمی دارد یافت می‌شود یا هیچ واحد موقتی دیگری چک نشده باقی نخواهد ماند. در حالت اول، واحد موقتی که دارای رابطه A با یک واحد دائمی است، به داخل چیدمان آورده می‌شود. اگر مانعی وجود داشته باشد (یعنی اگر بیش از یک واحد موقتی دارای رابطه A با یک واحد دائمی هستند)، الگوریتم از مقادیر TCR استفاده می‌کند تا تعیین کند که کدام‌شان واحد دائمی شوند. اگر مانع هنوز وجود داشته باشد، آنگاه ناحیه واحد، برای شکستن مانع استفاده شده و واحد موقتی که بزرگترین ناحیه را دارد، دائمی خواهد شد. اگر مانع هنوز وجود داشته باشد، اولین واحد موقتی که دارای رابطه A با واحد دائمی است، دائمی می‌شود.

توجه داشته باشید که این تصمیم‌گیری به دلخواه است. اگر هیچ رابطه A بین هیچ واحد موقتی و واحد دائمی وجود نداشت، الگوریتم بررسی می‌کند که آیا هیچ رابطه E وجود دارد یا خیر. دوباره ترتیبی که در آن، روابط بین واحد موقتی و دائمی بررسی می‌شوند، به همان ترتیبی است که توضیح داده‌ایم. این روش برای روابط I, O و U به ترتیب تکرار می‌شود تا بتوان یک واحد موقتی را دائمی کرد. توضیح قبلی تنها زنجیره-ای را که در آن تسهیلات برای ورود به ساختار انتخاب می‌شوند، نشان می‌دهد و نشان نمی‌دهد که این تسهیلات (به استثنای اولین واحد) در کجا واقع می‌شوند. در کورلپ ناحیه تسهیلات نه‌عاً به مراتب واحدی تقسیم می‌شود که تعداد مراتب واحد اشغال شده به وسیله هر واحد، وابسته به ناحیه آن واحد است. در نسخه اولیه کورلپ ناحیه

موقعیت قرار گیرد، با آن همسایگی خواهند داشت. این موارد طول مرز نامیده می‌شود.

- روابط بین تسهیلات دائمی و واحد در حال ورود، و
- مقادیر عددی داده‌شده توسط کاربر با نرخ‌های نزدیکی A, E, I, O, U و X

واحد در حال ورود در موقعیتی قرار می‌گیرد که PR را حداکثر کند. در مورد مثال فرضی خودمان، هنگامی که واحد ۴ در موقعیت چپ‌ترین و راست‌ترین مکان، که در شکل ۴-۶ با **b** نشان داده شده است، قرار گیرد، مقدار PR برای این موقعیت‌ها برابر $12 = 2 + 10$ است. زیرا واحد ۴، هنگامی که در این دو محل قرار دارد، مجاور تسهیلات ۱ و ۳ یا ۱ و ۵ است و مقادیر عددی اختصاص داده شده به روابط همسایگی متناظر A و U به ترتیب برابر ۱۰ و ۲ هستند. به‌صورتی مشابه می‌توان نشان داد که موقعیت‌های نشان داده شده با **B**، مقدار PR برابر ۴ دارند. بنابراین موقعیت‌های **B**، مقدار PR را حداکثر می‌کند. اگر دو یا بیشتر موقعیت دارای حداکثر PR یکسانی باشند، کورلپ طول مرز را بررسی و واحد را در جایی قرار می‌دهد که بزرگترین طول مرز را دارد. اگر هنوز مانعی وجود داشته باشد، اولین مکان به‌دلخواه می‌گردد.

b	۱	۱	۱	b
b	۱	۱	۱	b
	۳	۳	۵	۵
	B	B		

شکل ۴-۶. محاسبه مقدار PR برای دو مکان در کورلپ

بنابراین کورلپ تسهیلات را به محل‌های متناظرشان اختصاص می‌دهد تا مقادیر PR شان را حداکثر کند. کورلپ اطلاعات مربوط به نسبت طول به پهنای هر واحد را نیز می‌پذیرد. ممکن است کاربر "حداکثر" نسبت طول به پهنای یک نسبت طول به پهنای "اکید" را در نظر داشته باشد.

نسبت اکید اساساً زمان اجرای کامپیوتر را کاهش می‌دهد. هدف از ایجاد نسبت طول بر پهنای اجتناب از یک واحد خیلی دراز و خیلی باریک نیز است. اگر کاربر این

چیدمان برابر یک مربع 39×39 است. اگر هر مربع یک ناحیه با مساحت ۱ باشد، آنگاه جمع مربعات اشغال شده به وسیله تمامی تسهیلات در چیدمان نمی‌تواند از ۱۵۲۱ تجاوز کند. کورلپ مقادیر طول واحد را از کاربر می‌گیرد. هنگامی که کاربر مقادیر را مشخص نمی‌کند یا زمانی که مقادیر مشخص شده به وسیله کاربر را نمی‌توان برای ایجاد یک ساختار مناسب استفاده کرد، کورلپ مقادیر لازم را خودش محاسبه می‌کند.

برای مثال اگر مقدار مشخص شده توسط کاربر برای طول ضلع مربع واحد ۳ باشد، آنگاه هر مربع ۹ واحد مربع را اشغال خواهد کرد. اگر مجموع ناحیه اشغال شده توسط تمامی تسهیلات برابر 15000 ft^2 باشد آنگاه واضح است که $15000 \div 9 = 1667$ مربع واحد لازم است تا بتوان همان تسهیلات را جا داد.

با این حال این عملی نیست. زیرا تعداد مربعات موجود برابر ۱۵۲۱ است. در این حالت‌ها، کورلپ طول مربع واحد و تعداد مربعات واحد اختصاص داده شده به هر واحد را که وابسته به ناحیه واقعی واحد است، محاسبه می‌کند.

قبل از ادامه بحث بایستی تعریف دیگری ارائه کنیم. نرخ جای‌گذاری PR (PR). برابر جمع مقادیری است که به نرخ‌های نزدیکی بین واحد ورودی و تسهیلات دائمی مجاور اختصاص داده می‌شود. برای فهم چگونگی محاسبه PR ها، این مثال فرضی را در نظر بگیرید. فرض کنید که کاربر مقادیر عددی $(A=10, E=8, I=5, O=4, U=2, X=1)$ را اختصاص داده و در مرحله‌ای از الگوریتم، تسهیلات ۱، ۳، ۵ هم اکنون در چیدمان هستند. یعنی تسهیلات دائمی شده‌اند. همچنین فرض کنید که شاخص روابط برای واحد ۴ (که در آستانه ورود به چیدمان است) با تسهیلات ۱، ۳، ۵ به ترتیب برابر با A, U و U است و واحد ۴، دو مربع واحد را اشغال می‌کند. PR در یک موقعیت ویژه وابسته است به:

- تعداد تسهیلات دائمی که در صورت قرار گرفتن واحد در حال ورود در یک موقعیت، با آن مجاور خواهند بود، و یا به صورتی دقیق‌تر، تعداد مربعات واحدی را از واحد دائمی، که در صورتی که اگر این واحد موقتی در آن

نرخ را وارد نکند، کورلپ اعدادی صحیح را برای طول و عرض هر واحد محاسبه می‌کند و همچنین اجازه می‌دهد که کاربر موقعیت یک واحد را ثابت کند.

کورلپ جوابی را به وسیله یک جدول فاصله تولید می‌کند، ارزیابی می‌کند. برعکس اکثر الگوریتم‌های دیگری که از فاصله بین مراکز ثقل تسهیلات استفاده می‌کنند کورلپ از معیار فاصله "کوتاه‌ترین مسیر" استفاده می‌کند. فاصله بین هر دو واحد برابر تعداد مربعات واحد بین آنهاست. البته مربعات اشغال شده به وسیله آن واحد در محاسبه فاصله، منظور نمی‌گردد. بنابراین کوتاه‌ترین مسیر بین تسهیلات مجاور برابر صفر است. به طور ضمنی فرض می‌شود که در هر چهار ضلع یک واحد نقاط PICK-UP و نقاط DROP-OFF وجود دارند. ضرب کوتاه‌ترین مسیر و مقدار عددی متناظر با هر جفت واحد محاسبه شده و مجموع این ضرب‌ها مشخصه‌ای برای چیدمان ارائه می‌دهد. این موضوع در مثال ۲ نشان داده شده است.

علاوه بر نسخه‌ای از کورلپ که در اینجا بحث شد، نسخه اصلاح شده و بهبود یافته آن مانند نسخه INTERACTIVE وجود دارد. جزئیات آن در Sepponnen (1969) و Moore (1971) آورده شده است. کورلپ یکی از الگوریتم‌های ساخت است. فهم و اجرای آن ساده بوده ولی چند عیب نیز دارد. اولاً این که چیدمان نهایی ایجاد شده توسط کورلپ وابسته به مقادیر داده شده توسط کاربر است.

بنابراین با داشتن مقادیر متفاوت برای (۱) نسبت طول به عرض و (۲) مقادیر عددی کاربر متناظر با شاخص‌های روابط A, E, I, O, U و X ممکن است به چیدمان‌های متفاوتی برسیم. یک کاربر ممکن است مجبور باشد که ترکیبات گوناگونی از این مقادیر را به کار برد تا ساختار خوبی را برای بعضی مسائل به دست بیاورد. ثانیاً اگر یک واحد باید در یک موقعیت ویژه ثابت باشد، برنامه اجازه می‌دهد که آن موقعیت تنها در پیرامون (محیط) چیدمان باشد.

مثال عددی ساده ذیل نحوه کار الگوریتم کورلپ را نشان می‌دهد.

مثال ۲

با استفاده از اطلاعات نمودار رابطه برای ۵ واحد و نواحی شان در شکل ۶-۵ به همراه مقادیر عددی کاربر ۳۲، ۱۶، ۸، ۴، ۲ و ۳۲- به ترتیب برای A, E, I, O, U و X یک

چیدمان با کورلپ به دست آورید.

	۱	۲	۳	۴	۵	ناحیه تسهیلات (فوت مربع)
۱	-	U	I	A	U	۱۲۰۰۰
۲	U	-	U	E	U	۱۸۰۰۰
۳	I	U	-	O	I	۱۰۰۰۰
۴	A	E	O	-	E	۲۴۰۰۰
۵	U	U	I	E	-	۱۲۰۰۰

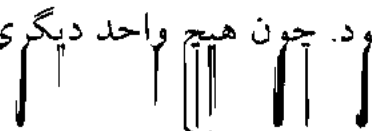
شکل ۵-۶. روابط همسایگی و ناحیه هر یک از ۶ واحد

جواب. برطبق پیشنهاد نویسندگان کورلپ برای طول مربع واحد هیچ مقداری فرض نشده است. اگر فرض کنیم که برنامه از مقدار ۶۰۰۰ برای طول هر مربع واحد استفاده می کند، واضح است که تسهیلات ۲، ۳، ۱، ۴ و ۵ به ترتیب نیازمند ۲، ۳، ۲ و ۴ مربع هستند. (توجه کنید که برای واحد ۳ برنامه عدد مربعات را به یک عدد صحیح بالاتر گرد می کند). محاسبات TCR در جدول ۱-۶ آورده شده است.

جدول ۱-۶. محاسبه مقادیر TCR

تعداد مربع ها	ناحیه	TCR	واحد
۲	۱۲۰۰۰	$2+8+32+2=44$	۱
۳	۱۸۰۰۰	$2+2+16+2=22$	۲
۲	۱۰۰۰۰	$8+2+4+8=22$	۳
۴	۲۴۰۰۰	$32+16+4+16=68$	۴
۲	۱۲۰۰۰	$2+2+8+16=28$	۵

ما ابتدا از ترتیبی که تسهیلات وارد ساختار می شوند بحث می کنیم، چون واحد ۴ بالاترین TCR دارد، به عنوان اولین واحد وارد می شود. واحد ۱، تنها موردی است که دارای رابطه A با واحد ۴ است. بنابراین به عنوان دومین ورودی به چیدمان وارد می شود. چون هیچ واحد دیگری دارای رابطه A با تسهیلات ۴ یا ۱ نیست ما نمودار رابطه



را برای E بررسی می کنیم. تسهیلات ۵ و ۲ دارای رابطه E با واحد ۴ هستند و چون

واحد ۵ دارای TCR بالاتری از واحد ۲ است، به عنوان ورودی بعدی به ساختار انتخاب می‌گردد. خروجی برنامه کورلپ عدد ۱ را جلوی هر واحد اضافه می‌کند. همان‌طور که در شکل ۶-۶ نشان داده شده است. مثلاً واحد ۱ به صورت ۱۱، واحد ۴ به صورت ۱۴ و به همین ترتیب نشان داده شده است. اولین واحد در ساختار همیشه در مرکز قرار می‌گیرد. واحد ۱ بالای واحد ۴ قرار می‌گیرد زیرا این اولین مکانی است که نرخ جای‌گذاری و طول مرزش را حداکثر می‌کند. چون واحد ۵ رابطه U و E را با تسهیلات ۱ و ۴ دارد، در سمت چپ تسهیلات ۱ و ۴، قرار می‌گیرد تا با هر دو همسایه (مجاور) باشد. هیچ‌یک از موقعیت‌های دیگر برای واحد ۵ (به استثنای سمت راست و در مجاورت تسهیلات ۱ و ۴) نرخ جای‌گذاری حداکثر نخواهد کرد. نرخ جای‌گذاری برای این محل ۱۸ است. چون موقعیت سمت چپ تسهیلات ۱ و ۴، اولین جایی است که با آن مواجه می‌شویم، واحد ۵ در آن جا قرار می‌گیرد به همان دلیل واحد ۲ در سمت چپ پایینی چیدمان، جایی که نرخ جای‌گذاری ۱۸ است، قرار می‌گیرد. چون واحد ۳ تعامل بیشتری با تسهیلات ۱ و ۵ دارد، با جای‌گذاری آن در سمت چپ بالایی، نرخ جای‌گذاری حداکثر می‌گردد. چیدمان کامل در شکل ۶-۶ نشان داده شده است عدد مشخصه این ساختار برابر $12 = 4 + 4 + 4$ است.

*	۱۳	۱۳	*	*	*
*	۱۵	۱۱	۱۱	*	*
*	۱۵	۱۴	۱۴	*	*
*	۱۲	۱۴	۱۴	*	*
*	۱۲	۱۲	*	*	*
*	*	*	*	*	*

شکل ۶-۶. چیدمان توسعه داده شده توسط کورلپ برای مثال عددی

۶-۲-۲ الگوریتم‌های اصلاحی

الگوریتم‌های اصلاحی، خیلی آسان بوده و فهم و اجرای آنها راحت است. چون آنها جواب‌های معقولانه خوبی به دست می‌دهند، برای حل مساله زمان‌بندی، مساله تقسیم گراف و دیگر مسایل NP کامل نیز به کار رفته‌اند. در حقیقت، الگوریتم‌های 2-OPT و 3-

OPT، که در این قسمت بحث شدند، اولین بار برای حل مساله فروشنده سیار استفاده شدند (Syslo, Doe, and Kowalik 1983).

الگوریتم‌های اصلاحی، همان‌طور که نامشان نشان می‌دهد، جوابی را که کاربر به دست آورده است، طوری اصلاح می‌کنند که قابل قبول باشد. الگوریتم‌های اصلاحی به صورتی سیستماتیک جواب اولیه را تغییر داده و پاسخ تغییر داده شده را ارزیابی می‌کنند. اگر جواب بهتر شد، این تغییر تثبیت می‌شود و گرنه، تغییر سیستماتیک آنقدر ادامه می‌یابد تا دیگر امکان تولید پاسخ‌های بهتر وجود نداشته باشد.

در این قسمت، ما دو الگوریتم اصلاحی را در کنار تغییراتشان و کاربرد یکی از آنها در چیدمان تسهیلات را ارائه می‌کنیم.

الگوریتم 2-OPT

مساله چیدمان چند ردیفه‌ای را که در آن تسهیلات، مربعاتی با مساحت یکسان هستند، در نظر بگیرید. فرض کنید که تعداد تسهیلات در هر ردیف و ستون به ترتیب برابر n و m است، همان‌طور که در شکل ۶-۷ نشان داده شده است، بنابراین nm واحد را می‌توان در این ساختار جا داد. در این مساله، تعداد محل‌هایی که تسهیلات در آنجا قرار خواهند گرفت نیز برابر nm بوده و از قبل دانسته فرض شده است. (شکل ۶-۸ را ببینید.) می‌دانیم که فرموله کردن این مساله با استفاده از هر یک از سه مدل - QAP، ABSMODEL 2، یا LMIP3 (همان‌طور که در فصل ۵ بحث شد.) و حل مدل‌ها با استفاده از نرم افزارهای LP، NLP یا عدد صحیح ساده است. با این حال در این قسمت بحث ما در مورد چگونگی استفاده از الگوریتم 2-OPT در حل همان مدل به صورت ابداعی است. الگوریتم 2-OPT شامل سه گام می‌شود:

گام ۱. S را پاسخ اولیه به دست آمده توسط کاربر و Z مقدار تابع هدف (OFV) آن بگیرید.

$$S^* = S \text{ و } z^* = z \text{ و } i = 1 \text{ و } j = i + 1 = 2 \text{ قرار دهید.}$$

گام ۲. موقعیت‌های تسهیلات i و j را در جواب S با هم عوض کنید. اگر این تغییر

جا پاسخ S را به گونه‌ای بدهد که $z < z^*$ آنگاه $S^* = S$ و $z^* = z$ قرار دهید و

اگر $z > z^*$ ، قرار دهید: $j = j + 1$

در غیر این صورت قرار دهید: $i=i+1$ و $j=i+1$

اگر $i < mn$ گام ۲ را تکرار کنید.

در غیر این صورت به گام ۳ بروید.

گام ۳. اگر $S \neq S^*$ قرار دهید: $S=S^*$ و $z=z^*$ و $i=1$ و $j=i+1=2$ قرار داده و به گام ۲

بروید. در غیر این صورت، S^* را به عنوان بهترین پاسخ برگردانید. توقف.

مشاهده می‌کنید که الگوریتم 2-opt تنها تبادل بین زوج‌ها را در نظر می‌گیرد؛ یعنی تنها ۲ واحد در یک زمان برای تبادل مکان لحاظ می‌شوند. در حالت اولیه، الگوریتم تبادل موقعیت‌های تسهیلات ۱ و ۲ را در نظر می‌گیرد. اگر OFV پاسخ متوجه بزرگ‌تر از پاسخ اولیه باشد، این جواب به عنوان یک کاندیدا برای ملاحظات آتی ذخیره می‌گردد. در غیر این صورت این پاسخ کنار گذاشته شده و الگوریتم تبادل بین موقعیتی که تسهیلات ۱ و ۳ را در نظر می‌گیرد، اگر این جابجایی پاسخی با OFV بزرگ‌تر آنچه که در حال حاضر بهترین است به دست داد، به عنوان یک کاندیدا برای ملاحظات آتی ذخیره می‌گردد، و گرنه دور انداخته می‌شود. بنابراین، هر زمانی که پاسخ بهتری پیدا

.	.	.	.	.	mn
.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.
$m+1$	$m+2$	.	.	.	.
1	2	.	.	.	m

شکل ۶-۷. یک چیدمان با mn واحد را نشان می‌دهد.

.	.	.	.	.	mn
.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.
$m+1$	$m+2$	.	.	.	.
1	2	.	.	.	m

شکل ۶-۸. مکان‌هایی که mn واحد شکل ۶-۷ قرار است در آنها جای بگیرند را نشان می‌دهد.

شد، الگوریتم بهترین پاسخ قبلی را دور می‌اندازد. این روش آنقدر ادامه می‌یابد تا تمام تبادلهای دو به دو انجام گیرد. از آنجایی که هر واحد می‌تواند با $mn-1$ واحد دیگر معاوضه و در کل mn واحد وجود دارد، بنابراین $mn(mn-1)$ معاوضه ممکن است.

معاوضه موقعیت i با j مشابه با تعویض موقعیت j با i ، بنابراین باید فقط نیمی از تعویضات $mn(mn-1)/2$ یا $mn(mn-1)/2$ را در نظر بگیریم.

این معاوضات $mn(mn-1)/2$ در قدم ۲ مورد بررسی قرار گرفته‌اند. راه‌حل باقی مانده در انتهای قدم ۲، تنها راه‌حلی است که بیشترین بهبود را در OFV ایجاد می‌کند. با شروع از این راه‌حل جدید باید، الگوریتم قدم ۲ را تکرار می‌کند تا راه‌حل بهتری پیدا شود. در چند مرحله هیچ پیشرفتی در بهترین راه‌حل موجود ممکن نیست، و بنابراین الگوریتم به پایان می‌رسد. سپس بهترین پاسخ در اختیار کاربرد قرار می‌گیرد.

تغییرات ذیل در الگوریتم 2-opt به کار برده می‌شود. در قدم ۲، به محض اینکه یک تعویض در موقعیت تسهیلات i و j باعث به وجود آمدن اصلاح شد، این تعویض را دائمی می‌کنیم. با این راه‌حل به عنوان یک راه‌حل اولیه، فرایند را تکرار می‌کنیم تا دیگر امکان اصلاح در راه‌حل وجود نداشته باشد. این تغییر در 2-opt غالباً 'greedy 2-opt نامیده می‌شود همان‌طور که از نامش پیداست. این الگوریتم، بر خلاف 2-opt تا زمانی که همه مبادلات $mn(mn-1)/2$ ارزیابی نشده‌اند متوقف نمی‌شود از این رو اصطلاح حریصانه^۲ را برای آن به کار می‌برند از آنجا که 2-opt مبادلات و تعویضات بیشتر را ارزیابی می‌کند، راه‌حل‌های نسبتاً بهتری در مقابل greedy 2-opt پیدا می‌کند. برای یک مسئله چیدمان خاص به کاربر هشدار داده می‌شود که بهتر است هر دو الگوریتم را امتحان کرده و بهترین راه‌حل را انتخاب کند.

مثال ۳

یک چیدمان برای مساله LonBank در مثال ۲ فصل ۵ طراحی کنید و از الگوریتم 2-opt استفاده نمایید. ماتریس‌های سفر و مسافت در شکل ۶-۹ و ۶-۱۰ آورده شده اند.

1. حریصانه 2-opt
2. Greedy

$$[d_{ij}] = \begin{array}{c} \text{مکان} \\ \begin{array}{c} 1 \quad 2 \quad 3 \quad 4 \\ \begin{bmatrix} - & 1 & 1 & 2 \\ 1 & - & 2 & 1 \\ 1 & 2 & - & 1 \\ 2 & 1 & 1 & - \end{bmatrix} \end{array} \end{array} \quad [f_{ij}] = \begin{array}{c} \text{دفتر} \\ \begin{array}{c} 1 \quad 2 \quad 3 \quad 4 \\ \begin{bmatrix} - & 17 & 12 & 11 \\ 17 & - & 12 & 4 \\ 12 & 12 & - & 4 \\ 11 & 4 & 4 & - \end{bmatrix} \end{array} \end{array}$$

شکل ۶-۹. ماتریس جریان را نشان می‌دهد. شکل ۶-۱۰. ماتریس مسافت را نشان می‌دهد.

جواب. فرض کنید که یک پاسخ اولیه وجود دارد که تسهیلات ۱، ۲، ۳، ۴ را به مکان‌های ۱، ۲، ۳، ۴ موجود تخصیص می‌دهد. (شکل ۶-۱۱ را ببینید). در شکل مکان‌ها در پرانتز نشان داده شده‌اند. OFV پاسخ اولیه این است:

$$(17)(1) + (12)(1) + (11)(2) + (12)(2) + (4)(1) + (4)(1) = 83$$

توجه کنید که m و n به ترتیب ۲ و ۲ هستند.

۱(۱)	۲(۲)
۳(۳)	۴(۴)

شکل ۶-۱۱. راه‌حل اولیه برای مساله Lon Bank با استفاده از greedy 2-opt را نشان می‌دهد.

قدم ۱: فرض کنید که S پاسخ اولیه‌ای باشد که تسهیلات طبق شکل ۶-۱۱ تخصیص داده می‌شوند و $z = 83$ است. قرار دهید: $S^* = S$ ، $z^* = 83$ ، $i = 1$ ، $j = i + 1 = 2$. است.

قدم ۲: موقعیت تسهیلات ۱ و ۲ را عوض کنید. پاسخ ایجاد شده در شکل ۶-۱۲ نشان داده شده است. OFV این راه‌حل عبارت است از

$$(17)(1) + (12)(2) + (11)(1) + (12)(1) + (4)(2) + (4)(1) = 76$$

از آنجا که تعویض موقعیت تسهیلات ۱ و ۲ راه‌حلی $OFV = 76 < 83$ ایجاد کرده است بنابراین $z = 76$ است. این راه‌حل را به عنوان S^* ذخیره کنید. از آنجا $mm = 4 < z = 2$ ، j را برابر با $j+1 = 2+1 = 3$ قرار دهید.

۲(۱)	۱(۲)
۳(۳)	۴(۴)

شکل ۶-۱۲. جواب بعد از تعویض موقعیت تسهیلات ۱ و ۲ را نشان می‌دهد.

داریم $n = 1 < 4$ بنابراین همین مرحله را تکرار کنید تا به یک پاسخ با OFV $81 =$ برسد. به دلیل اینکه این پاسخ بهتر از پاسخ موجود نیست، از این رو رد می‌شود. از آنجا که $mn = 4 < 3 = n$ ، z را برابر با $4 = 3 + 1 = z + 1$ قرار دهید. به دست می‌آوریم $4 < n$ بنابراین قدم ۲ را تکرار می‌کنیم. معاوضه بعدی نیز دارای OFV مشابه با راه‌حل اولیه است، بنابراین رد می‌شود. هیچ-یک از معاوضات دیگر OFV کمتر از ۷۶ ایجاد نمی‌کنند.

قدم ۳: از آنجا که $S \neq S^*$ قرار دهید: $S = S^*$ و $z = 76$ ، $n = 1$ ، $i = 2 = i + 1 = z$ و به قدم ۲ بروید.

قدم ۲: از آنجا که هیچ‌یک از معاوضات راه‌حل بهتری با OFV کمتر از ۷۶ نتیجه نمی‌دهند. به قدم ۳ بروید.

قدم ۳: از آنجا که $S = S^*$ است، S^* را به عنوان بهترین راه‌حل به کاربر بدهید و متوقف شوید.

الگوریتم 3-OPT

الگوریتم 3-opt مشابه با الگوریتم 2-opt است، با این تفاوت که معاوضه موقعیت ۳ تا از تسهیلات را در یک زمان در نظر می‌گیرد. در ذیل دو روش ممکن برای تعویض موقعیت سه دسته تسهیلات آورده شده است:

$$i \rightarrow k \rightarrow j \rightarrow i$$

$$j \rightarrow k \rightarrow i \rightarrow j$$

در الگوریتم 3-opt که در اینجا توضیح داده می‌شود، دومین حالت از مبادلات را در نظر می‌گیریم - یعنی تغییر موقعیت i با موقعیت j ، j با k ، k با i . تغییر موقعیت این تسهیلات در یک زمان به ما اجازه می‌دهد تا چیدمان‌های بیشتری را ارزیابی نماییم. مثلاً یک مساله چیدمان را با mn تسهیلات در نظر بگیرید. برای هر چیدمان، در

الگوریتم 2-opt، $mn(mn-1)/2$ تعویض در نظر می‌گیرد و بنابراین چیدمان‌های جدید

زیادی را ارزیابی می‌کند. در الگوریتم 3-opt، $3!/[(mn-3)!]$ تعویض داریم. برای مسائل بزرگ‌تر، تفاوت در تعداد چیدمان‌های ارزیابی شده توسط 2-opt و 3-opt بسیار قابل توجه است (تمرین ۱۳). از آنجا که در 3-opt چیدمان‌های بیشتری را نسبت به 2-opt جستجو و ارزیابی می‌کنیم، 3-opt نتایج بهتری ارائه می‌دهد. زمان محاسبات نیز بیشتر خواهد بود. بنابراین برای انتخاب از بین 2-opt یا 3-opt کاربر باید بین کیفیت راه‌حل و زمان محاسبه موازنه و تعادل ایجاد کند. در الگوریتم‌های اصلاح یا جستجو^۱ کیفیت راه‌حل، فقط براساس زمان محاسبات اصلاح می‌شود. البته، این تصمیم‌گیری فقط برای مسائل بزرگ -مسائلی که بیش از ۳۰ تسهیلات دارند- مورد نیاز است. در مسائل کوچک‌تر، می‌توانیم مساله چیدمان را توسط هر دو الگوریتم حل کنیم و بهترین راه‌حل را انتخاب نماییم. اگرچه 3-opt راه‌حل بهتری نسبت به 2-opt ارائه می‌دهد. ولی راه‌حل نهایی در هر دو الگوریتم، به راه‌حل به‌کار رفته در شروع کار بستگی دارد. به همین علت است که پیشنهاد می‌کنیم کاربر در مسائل کوچک و متوسط از هر دو الگوریتم استفاده نماید.

در ذیل قدم‌های موجود در الگوریتم 3-opt را ذکر می‌کنیم:

قدم ۱: فرض می‌کنیم که S راه‌حل اولیه باشد و z نیز OFV این راه‌حل. قرار دهید :

$$S^* = S \text{ و } z^* = z \text{ و } i = 1 \text{ و } j = i + 1 \text{ و } k = j + 1 \text{ قرار می‌دهیم.}$$

قدم ۲: موقعیت i را با j ، j را با k ، k را با i به‌طور همزمان عوض می‌کنیم. اگر پاسخ،

S' دارای OFV کمتر می‌شد، $z' < z^*$ در این صورت $z' = z^*$ و $S' = S^*$ قرار

می‌دهیم. اگر $k < mn$ در این صورت $k = k + 1$ قرار دهید. در غیر این

صورت، $j = j + 1$.

اگر $j < mn - 1$ در این صورت $k = j + 1$ در غیر این صورت $i = i + 1$ و $j = i + 1$

و $k = j + 1$

اگر $i < mn - 2$ قدم ۲ را تکرار کنید. در غیر این صورت به مرحله ۳ بروید.

قدم ۳: اگر $S \neq S^*$ در این صورت $S = S^*$ و $z = z^*$ و $i=1$ و $j=i+1$ و $k=j+1$ قرار دهید و به قدم ۲ بروید. در غیر این صورت S^* را به‌عنوان بهترین راه‌حل به کاربر ارائه دهید.

کرافت^۱

کرافت که از عبارت Computerized Relative Allocation of Facilities Technique گرفته شده است، در ابتدا در (Armour and Buff (1963 و در Buffa, Armour, and Vollmann (1964 ارائه شد. کرافت از استراتژی راه‌حل 2-opt استفاده می‌کند و چیدمان را توسعه می‌دهد ولی مراحل انجام آن بسیار متفاوت است. مثلاً، کرافت همه مبادلات و تعویض‌ها را قبل از ایجاد یک چیدمان، بررسی نمی‌کند. اگر چه بیش از ۳ دهه از ایجاد کرافت می‌گذرد، ولی هنوز هم در عمل کاربرد زیادی دارد و متداول است. نواقص زیادی در نسخه اولیه کرافت وجود داشت که در نسخه‌های بعدی از بین رفتند. در این بخش، نسخه اولیه را با جزئیات توصیف می‌کنیم. راجع به نسخه‌های اصلاح شده فقط بحث می‌کنیم. کرافت به داده‌های ذیل به‌عنوان ورودی نیاز دارد:

- ابعاد ساختمانی که تسهیلات در آن قرار می‌گیرند.
 - ابعاد تسهیلات (ماشین‌آلات).
 - جریان مواد یا فراوانی سفرها بین تسهیلات، و هزینه هر واحد در هر مسافت.
 - چیدمان اولیه
 - محدودیت‌های موجود در موقعیت تسهیلات اگر عملی باشد.
- با داشتن چیدمان اولیه، کرافت، مسافت بین مراکز هر یک بار تسهیلات را محاسبه کرده و هزینه چیدمان اولیه را مشخص می‌کند. توجه داشته باشید که هزینه به‌راحتی با تعیین موارد ذیل برای هر جفت از تسهیلات محاسبه می‌شود:
- تعداد سفرهای بین تسهیلات i و j و هزینه ایجاد شده برای این سفرها و
 - مسافت بین تسهیلات i و j

اولین مورد تحت عنوان جزء جریان و مورد دوم جزء و مورد دوم جزء مسافت، شناخته می‌شوند. اجزای جریان و مسافت، هزینه انتقال مواد بین تسهیلات i و j را ایجاد می‌کنند. اگر محاسبات برای هر جفت از تسهیلات انجام شوند و نتایج با هم جمع شوند، در این صورت به هزینه چیدمان اولیه خواهیم رسید.

کرافت تعویض موقعیت تسهیلات ویژه را در نظر می‌گیرد. تسهیلات ممکن است دارای فضای مشابه بوده و یا در مجاورت و نزدیکی هم باشند. اگر همه تسهیلات فضای یکسانی داشته باشند. در این صورت الگوریتم می‌تواند ماکزیمم تعویض ممکن $n(n-1)/2$ را در هر تکرار بررسی نماید، که n تعداد تسهیلات در مساله چیدمان است. در یک مساله چیدمان با تسهیلات عمومی، تعداد معاوضات واقعی بررسی شده، ممکن است کمتر از $n(n-1)/2$ باشد، زیرا همه تسهیلات دارای فضای یکسانی نخواهند بود. تعویض موقعیتی که منجر به بیشترین کاهش هزینه برآورده شده می‌گردد، اعمال می‌شود.

برای محاسبه کاهش هزینه برآورده شده، تسهیلات i و j تعویض می‌شوند. با این تعویض i و j کاهش هزینه با استفاده از عبارت ذیل محاسبه می‌شود:

$$\sum_{k=1, k \neq i, k \neq j}^n f_{ik} d_{ik} + \sum_{k=1, k \neq j, k \neq i}^n f_{jk} d_{jk} - \sum_{k=1, k \neq i, k \neq j}^n f_{jk} d_{ik} - \sum_{k=1, k \neq i, k \neq j}^n f_{ik} d_{jk} \quad (1)$$

که f_{ij}, d_{ij} به ترتیب مسافت و جریان بین تسهیلات i و j را نشان می‌دهند. دو جمله اول در عبارت (۱)، سهم هزینه اداره نگهداری مواد قبل از جابجایی^۱ را در بین تسهیلات i و j نشان می‌دهد. دو جمله بعد، سهم هزینه نگهداری و اداره مواد را پس از جابجایی^۲ برآورد می‌کنند. توجه داشته باشید که f_{ij}, d_{ij} در هر یک از ۴ جمله عبارت (۱) وجود ندارند، زیرا مسافت بین تسهیلات i و j قبل و بعد از مبادله یکسان است. برای برآورد سهم هزینه پس از جابجایی، کرافت (۱)، بردار مسافت تسهیلات i را در بردار جریان تسهیلات j ضرب می‌کند. (۲) بردار مسافت تسهیلات j را در بردار جریان تسهیلات i ضرب می‌کند. بنابراین کرافت به‌طور تلویحی فرض می‌کند که مختصات

تسهیلات i و j بعد از مبادله، تعویض می‌شوند. این حالت فقط در صورتی اتفاق می‌افتد که فضای مشابهی داشته باشند، از این رو مسافت داده شده در عبارت (۱)، با مسافت واقعی متفاوت است.

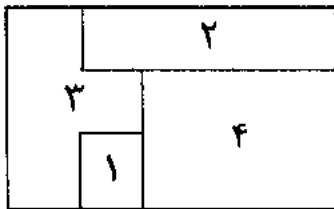
برای درک این تفاوت، شکل ۶-۱۳ را در نظر بگیرید که چیدمان ۴ واحد و ماتریس جریان را نشان می‌دهد. مرکز آنها عبارتند از (۲۵ و ۵)، (۲۵ و ۳۰)، (۱۰ و ۱۰) و (۱۰ و ۳۵). هزینه کل اداره و نگهداری مواد برای این چیدمان ۳۴۲۰ است.

اگر عبارت (۱) برای تعیین کاهش هزینه برآورد ناشی از تعویض تسهیلات ۱ و ۳ به کار رود، در این صورت مقدار آن $3 \times 25 + 19 \times 45 + 16 \times 35 + 0 \times 25 - 16 \times 25 - 0 \times 45 = 510$ خواهد بود. اگر تسهیلات ۱ و ۳ تعویض شوند، در این صورت کاهش واقعی برابر با ۵۵۰ خواهد بود. این موضوع با استفاده از چیدمان جدید و ماتریس مسافت در شکل ۶-۱۴، نشان داده شده است. به خاطر تفاوت بین هزینه‌های واقعی و برآورد شده، ممکن است که کرافت هیچ‌گونه تعویضی انجام ندهد حتی اگر هزینه اداره و نگهداری مواد کاهش یابد. این امر به ندرت اتفاق می‌افتد و فقط هنگامی است که تسهیلات فضای برابر و یکسانی نداشته باشند. علاوه بر این، می‌خواهیم بدانیم که آیا تعویض تسهیلات تحت این ملاحظات ایده خوبی است یا نه؟ از آنجا که هزینه واقعی بعد از تعویض محاسبه می‌شود از این رو کرافت کاهش هزینه برآوردی را توسط عبارت (۱) محاسبه می‌کند.

		ماتریس جریان				ماتریس مسافت			
		۱	۲	۳	۴				
۱	۲	۱	۲	۳	۴	۱	۲	۳	۴
۱	۲	۱	۲	۳	۴	۱	۲	۳	۴
۳		۴		۱	۲	۳	۴	۱	۲
				۲	۳	۴	۲	۳	۴
				۳	۴	۳	۴		
		۴	۴	۴	۴	۴	۴	۴	۴

شکل ۶-۱۳. چیدمان ۴ واحد و ماتریس‌های جریان و مسافت را نشان می‌دهد.

همان‌طور که قبلاً گفتیم کرافت به جای بررسی همه تعویضات ممکن، فقط تسهیلات مجاور یا تسهیلاتی که دارای فضای یکسانی باشند، تعویض می‌کند. مثلاً برای ایجاد یک چیدمان اصلاح شده از چیدمانی که در شکل ۶-۱۳ وجود دارد، کرافت تسهیلات ۴ و ۱ را تعویض نمی‌کند زیرا این تسهیلات مرز عادی و فضای یکسان ندارند.



ماتریس جریان

	۱	۲	۳	۴
۱	0	3	6	19
۲	3	0	16	5
۳	6	16	0	0
۴	19	5	0	0

ماتریس مسافت

	۱	۲	۳	۴
۱	0	15	175	35
۲	15	0	325	20
۳	175	325	0	325
۴	35	20	325	0

شکل ۶-۱۴. چیدمان بعد از تعویض موقعیت تسهیلات ۱ و ۳ در شکل ۶-۱۳ و ماتریس‌های جریان مسافت را نشان می‌دهد.

تعویضی که بیشترین صرفه‌جویی در هزینه برآوردی را داشته باشد، اعمال می‌شود. چیدمان جدید در راستای هزینه جدید اداره و نگهداری مواد، کاهش هزینه و تسهیلات موجود در تعویض (مبادله) ایجاد می‌شود. بنابراین با شروع از چیدمان جدید به‌عنوان چیدمان اولیه، همین فرآیند ادامه می‌یابد تا دیگر تعویضی وجود نداشته باشد که هزینه کمتری نسبت به چیدمان موجود داشته باشد.

علاوه بر تعویض دوتایی^۱، کرافت موارد ذیل را نیز انجام می‌دهد:

- تعویضات سه تایی^۲
 - تعویض دوتایی قبل از تعویض سه تایی
 - تعویض سه تایی قبل از تعویض دوتایی
- از جهت دیگر کاربر: کرافت را بهتر از 2-opt و 3-opt می‌داند.

موقعیت تسهیلات ممکن است ثابت باقی بماند و کاندید تعویض شود. این موضوع بسیار کمک کننده است، زیرا در عمل، همیشه بعضی از تسهیلات وجود دارند که به دلیل نزدیکی به مسیرها، ریل‌ها یا تامین کننده برق، از جای خود حرکت داده نمی‌شوند. کرافت یکی از الگوریتم‌هایی است که از داده‌های کمی استفاده می‌کند. نسخه اصلی کرافت فقط قادر به کار کردن با ۴۰ واحد است.

همان‌طور که قبلاً گفته شد، بزرگ‌ترین عیب الگوریتم‌های اصلاحی این است که توانایی آنها در ایجاد راه‌حل خوب به راه‌حل اولیه آنها بستگی دارد. در کل، هر چه راه‌حل اولیه بهتر باشد، راه‌حل نهایی بهتر خواهد بود. این موضوع برای کرافت هم صادق است. برای از بین بردن این نقص و عیب، کاربر باید راه‌حل‌های اولیه متفاوتی فراهم کند، چیدمان نهایی را برای هر راه‌حل اولیه ایجاد نماید و بهترین چیدمان را انتخاب نماید. یکی دیگر از معایب کرافت این است که فرض می‌کند وقتی یکی از تسهیلات مثلاً i با j تعویض شود، در این صورت همان متصدی حمل و نقل و اداره مواد برای این دو تسهیلات در موقعیت جدید به کار برده می‌شود. همچنین فرض می‌شود که جریان بین مراکز تسهیلات اتفاق می‌افتد و هزینه نگهداری مواد نیز با مسافت بین تسهیلات متناسب است. اگر چه بسیاری از این مفروضات در عمل وجود ندارند ولی الگوریتم‌هایی مثل کرافت بسیار مفید هستند زیرا چهارچوبی برای ایجاد و توسعه چیدمان فراهم می‌سازند. کاربر باید از مفروضات الگوریتم‌ها آگاه باشد و راه‌حل را فقط به عنوان راهنمایی در توسعه یک چیدمان استفاده نماید.

کرافت، چندین بار تغییر شکل پیدا کرده است (Tompkins and Reed 1967). COFAD سیستم نگهداری و مبادله مواد را انتخاب کرده و چیدمان در ۴ مرحله انجام می‌گیرد. در مرحله اول یک چیدمان مشخص می‌شود. سپس، یک سیستم مبادله و نگهداری مواد برای چیدمان انتخاب شده از لیست تجهیزات، انتخاب می‌گردد. به بیان دیگر، تجهیزات مبادله و نگهداری مواد را به هر حرکت تخصیص می‌دهد. در حین انجام این کار، بهره‌برداری از تجهیزات را ماکزیمم می‌سازد. سپس هزینه هر حرکت براساس تخصیص تجهیزات اداره مواد به حرکات انفرادی، محاسبه می‌شود. هزینه

شامل هزینه‌های ثابت و متغیر است و محاسبات برای تجهیزات ثابت (مثلاً نقاله‌ها یا

AGV های سیمی) و تجهیزات متحرک (مثل کامیون‌ها) به‌طور متفاوت انجام می‌گیرند.

برای این هزینه اصلاح شده، چیدمان جدید مشخص می‌شود. تعیین چیدمان، انتخاب سیستم مبادله و نگهداری مواد، و اصلاح هزینه هر حرکت تا زمانی تکرار می‌شود که راه‌حل مناسبی به‌دست آید. COFAD مسافت‌های مستقیم را در نظر می‌گیرد زیرا در بعضی از سیستم‌های مبادله مواد، مسافت‌های مستقیم، معیار مناسب‌تری می‌باشند. برای رسیدن به یک پاسخ نهایی با کیفیت خوب، کاربر باید راه‌حل‌های اولیه متفاوتی فراهم کند. (به‌طور تصادفی)، راه‌حل نهایی به‌دست آمده توسط کرافت را جدای از این راه‌حل‌ها ارزیابی نماید و بهترین را انتخاب نماید برای غلبه بر این مساله، تکنیک نمونه‌برداری اریب، راه‌حل‌ها را در یک رویه‌ی اریب نمونه‌گیری می‌کند. بنابراین راه‌حل‌های خوب دارای احتمال بالایی برای نمونه‌برداری شدن می‌باشند (Nugent, Vollmann, and Ruml 1968). این تکنیک احتمالات مثبتی به هر تعویض تخصیص می‌دهد که منجر به کاهش هزینه می‌شوند. البته هر چه کاهش هزینه بیشتر باشد، احتمال نمونه‌برداری و امتحان شدن بیشتر است. کرافت تعویضی را انتخاب می‌کند که بیشترین کاهش را ایجاد می‌کند، تکنیک نمونه‌برداری هر تعویضی را در بر می‌گیرد که منجر به کاهش هزینه می‌شود.

مثال ۴

۲۰ دسته از تسهیلات در یک کارخانه به‌گونه‌ای چیده می‌شود که هزینه کل مبادله مواد مینیمم شود. تسهیلات شماره ۱ باید در گوشه سمت چپ و بالا قرار داده‌شود. فضای موجود مستطیلی به ابعاد 800×2400 فوت است. با استفاده از کرافت یک چیدمان برای این کارخانه ایجاد کنید.

جواب. یک چیدمان اولیه توسط کاربر فراهم شده است. داده‌های ورودی برای مساله، در شکل ۶-۱۵ نشان داده شده است که شامل ۵ طبقه از اطلاعات است. خط اول اختیاری است و شامل ۶ قطعه از اطلاعات است (جزئیات مربوط به این خط بعداً ارائه می‌شوند). طبقه دوم اطلاعات، درباره تعداد تسهیلات موجود در مساله، تعداد سطرهای چیدمان، تعداد ستون‌های چیدمان، گزینه جابجایی خواسته شده از سوی کاربر، اینکه آیا کاربر فقط چیدمان نهایی را می‌خواهد یا همه چیدمان‌های میانی را هم

yy1.000nyn

2008240001010101

0	0	4	0	5	2	10	3	1	5	5	5	0	0	5	4	4	0	1	1
0	0	10	3	0	1	5	1	2	4	2	5	0	10	0	6	0	5	10	5
4	10	0	2	5	0	2	4	4	5	0	0	0	0	1	0	0	5	0	0
0	3	2	0	1	0	0	2	1	0	10	2	2	0	2	1	5	2	5	3
5	0	5	1	0	5	6	5	5	5	2	0	5	1	1	1	5	2	5	1
2	1	0	0	5	0	5	2	1	6	0	0	10	0	2	0	1	0	1	5
10	5	2	0	6	5	0	0	0	0	5	10	2	2	5	1	2	1	8	10
3	1	4	2	5	2	0	0	4	1	10	10	2	0	10	2	5	2	2	10
1	2	4	1	5	1	0	4	0	2	0	3	5	5	0	5	0	0	0	2
5	4	5	0	5	6	0	1	2	0	5	5	5	5	1	0	0	5	5	2
5	2	0	10	2	0	5	10	0	5	0	5	2	5	1	0	10	2	2	5
5	5	0	2	0	0	10	10	3	5	5	0	12	10	5	0	7	1	2	5
0	0	0	2	5	10	2	2	5	5	2	12	0	2	2	1	0	0	0	5
0	10	0	0	1	0	2	0	5	5	5	10	2	0	0	5	1	5	5	0
5	0	1	2	1	2	5	10	0	1	1	5	2	0	0	3	0	5	10	10
4	6	0	1	1	0	1	2	5	0	0	0	1	5	3	0	2	0	2	0
4	0	0	5	5	1	2	5	0	0	10	7	0	1	0	2	0	5	2	0
0	5	5	2	2	0	1	2	0	5	2	1	0	5	5	0	5	0	0	1
1	10	0	5	5	1	8	2	0	5	2	2	0	5	10	2	2	0	0	8
1	5	0	3	1	5	10	10	2	2	5	5	5	0	10	0	0	1	8	0
0	4	2	4	5	8	10	3	1	5	5	5	4	4	5	2	2	4	1	1
4	0	10	3	4	1	5	1	8	2	8	5	4	10	4	6	4	5	10	5
2	10	0	8	5	4	8	2	2	5	4	4	4	4	1	4	4	5	4	4
4	3	8	0	1	4	4	8	1	4	10	8	8	4	8	1	5	8	5	3
5	4	5	1	0	5	6	5	5	5	8	4	5	1	1	1	5	8	5	1
8	1	4	4	5	0	5	8	1	6	4	4	10	4	8	4	1	4	1	5
10	5	8	4	6	5	0	4	4	4	5	10	8	8	5	1	8	1	13	10
3	1	2	8	5	8	4	0	2	1	10	10	8	4	10	8	5	8	8	10
1	8	2	1	5	1	4	2	0	8	4	3	5	5	4	5	4	4	4	8
5	2	5	4	5	6	4	1	8	0	5	5	5	5	1	4	4	5	5	8
5	8	4	10	8	4	5	10	4	5	0	5	8	5	1	4	10	8	8	5
5	5	4	8	4	4	10	10	3	5	5	0	12	10	5	4	7	1	8	5
4	4	4	8	5	10	8	8	5	5	8	12	0	8	8	1	4	4	4	5
4	10	4	4	1	4	8	4	5	5	5	10	8	0	4	5	1	5	5	4
5	4	1	8	1	8	5	10	4	1	1	5	8	4	0	3	4	5	10	10
2	6	4	1	1	4	1	8	5	4	4	4	1	5	3	0	8	4	8	4
2	4	4	5	5	1	8	5	4	4	10	7	4	1	4	8	0	5	8	4
4	5	5	8	8	4	1	8	4	5	8	1	4	5	5	4	5	0	4	1
1	10	4	5	5	1	13	8	4	5	8	8	4	5	10	8	8	4	0	13
1	5	4	3	1	5	10	10	8	8	5	5	5	4	10	4	4	1	13	0

010101010119191919191515150303030303040404040404

010101010119191919191515150303030303040404040404

0101010101191919191918181818030303060606040404

141414141419191919191818181818060606111111

14141414141212171717131313130202020211111111

090909121212171717131313130202020210101010

09090912121217171707070705050202022020080808

0909091616121217171707070705050202022020080808

shstmidrffodsdredassipinskk1kikokpkzkxkn

شکل ۶-۱۵. فایل داده‌های ورودی برای مثال ۴

می‌خواهد، اینکه آیا کاربر فقط مجموعه ماتریس‌های نهایی را می‌خواهد یا همه مجموعه ماتریس‌های میانی هم چاپ شوند و تعداد دیارتمان‌های ثابت که بدنبال آن، شماره آنها می‌آید؛ است.

1	INTERDEPT PRODUCT FLOW																			
0	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T
A	0.	0.	4.	0.	5.	2.	10.	3.	1.	5.	5.	5.	0.	0.	5.	4.	4.	0.	1.	1.
B	0.	0.	1.	3.	0.	1.	5.	1.	2.	4.	2.	5.	0.	10.	0.	6.	0.	5.	10.	5.
C	4.	10.	0.	2.	5.	0.	2.	4.	4.	5.	0.	0.	0.	0.	1.	0.	0.	5.	0.	0.
D	0.	3.	2.	0.	1.	0.	0.	2.	1.	0.	10.	2.	2.	0.	2.	1.	5.	2.	5.	3.
E	5.	0.	5.	1.	0.	5.	6.	5.	5.	5.	2.	0.	5.	1.	1.	1.	5.	2.	5.	1.
F	2.	1.	0.	0.	5.	0.	5.	2.	1.	6.	0.	0.	10.	0.	2.	0.	1.	0.	1.	5.
G	10.	5.	2.	0.	6.	5.	0.	0.	0.	0.	5.	10.	2.	2.	5.	1.	2.	1.	8.	10.
H	3.	1.	4.	2.	5.	2.	0.	0.	4.	1.	10.	10.	2.	0.	10.	2.	5.	2.	2.	10.
I	1.	2.	4.	1.	5.	1.	0.	4.	0.	2.	0.	3.	5.	5.	0.	5.	0.	0.	0.	2.
J	5.	4.	5.	0.	5.	6.	0.	1.	2.	0.	5.	5.	5.	5.	1.	0.	0.	5.	5.	2.
K	5.	2.	0.	10.	2.	0.	5.	10.	0.	5.	0.	5.	2.	5.	1.	0.	10.	2.	2.	5.
L	5.	5.	0.	2.	0.	0.	10.	10.	3.	5.	5.	0.	12.	10.	5.	0.	7.	1.	2.	5.
M	0.	0.	0.	2.	5.	10.	2.	2.	5.	5.	2.	12.	2.	0.	0.	5.	1.	5.	5.	0.
O	5.	0.	1.	2.	1.	2.	5.	10.	0.	1.	1.	5.	2.	0.	0.	3.	0.	5.	10.	10.
P	4.	6.	0.	1.	1.	0.	1.	2.	5.	0.	0.	0.	1.	5.	3.	0.	2.	0.	2.	0.
Q	4.	0.	0.	5.	5.	1.	2.	5.	0.	0.	10.	7.	0.	1.	0.	2.	0.	5.	2.	0.
R	0.	5.	5.	2.	2.	0.	1.	2.	0.	5.	2.	1.	0.	5.	5.	0.	5.	0.	0.	1.
S	1.	10.	0.	5.	5.	1.	8.	2.	0.	5.	2.	2.	0.	5.	10.	2.	2.	0.	0.	8.
T	1.	5.	0.	3.	1.	5.	10.	10.	2.	2.	5.	5.	5.	0.	10.	0.	0.	1.	8.	0.

1	INTERDEPT MOVE COST PER UNIT LOAD PER UNIT DISTANCE																			
0	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T
A	0.	4.	2.	4.	4.	8.	9.	3.	1.	4.	4.	4.	4.	4.	4.	2.	2.	4.	1.	1.
B	4.	0.	1.	3.	4.	1.	4.	1.	8.	2.	8.	4.	4.	9.	4.	6.	4.	4.	9.	4.
C	2.	9.	0.	8.	4.	4.	8.	2.	2.	4.	4.	4.	4.	4.	1.	4.	4.	4.	4.	4.
D	4.	3.	8.	0.	1.	4.	4.	8.	1.	4.	9.	8.	8.	4.	8.	1.	4.	8.	4.	3.
E	4.	4.	4.	1.	0.	4.	6.	4.	4.	4.	8.	4.	4.	1.	1.	1.	4.	8.	4.	1.
F	8.	1.	4.	4.	4.	0.	4.	8.	1.	6.	4.	4.	9.	4.	8.	4.	1.	4.	1.	4.
G	9.	4.	8.	4.	6.	4.	0.	4.	4.	4.	4.	9.	8.	8.	4.	1.	8.	1.	1.	9.
H	3.	1.	2.	8.	4.	8.	4.	0.	2.	1.	9.	9.	8.	4.	9.	8.	4.	8.	8.	9.
I	1.	8.	2.	1.	4.	1.	4.	2.	0.	8.	4.	3.	4.	4.	4.	4.	4.	4.	4.	8.
J	4.	2.	4.	4.	4.	6.	4.	1.	8.	0.	4.	4.	4.	4.	1.	4.	4.	4.	4.	8.
K	4.	8.	4.	9.	8.	4.	4.	9.	4.	4.	0.	4.	8.	4.	1.	4.	9.	8.	8.	4.
L	4.	4.	4.	8.	4.	4.	9.	9.	3.	4.	4.	0.	1.	9.	4.	4.	7.	1.	8.	4.
M	4.	4.	4.	8.	4.	9.	8.	8.	4.	4.	8.	1.	0.	8.	8.	1.	4.	4.	4.	4.
N	4.	9.	4.	4.	1.	4.	8.	4.	4.	4.	4.	9.	8.	0.	4.	4.	1.	4.	4.	4.
O	4.	4.	1.	8.	1.	8.	4.	9.	4.	1.	1.	4.	8.	4.	0.	3.	4.	4.	9.	9.
P	2.	6.	4.	1.	1.	4.	1.	8.	4.	4.	4.	4.	1.	4.	3.	0.	8.	4.	8.	4.
Q	2.	4.	4.	4.	4.	1.	8.	4.	4.	4.	9.	7.	4.	1.	4.	8.	0.	4.	8.	4.
R	4.	4.	4.	8.	8.	4.	1.	8.	4.	4.	8.	1.	4.	4.	4.	4.	4.	0.	4.	1.
S	1.	9.	4.	4.	4.	1.	1.	8.	4.	4.	8.	8.	4.	4.	9.	8.	8.	4.	0.	1.
T	1.	4.	4.	3.	1.	4.	9.	9.	8.	8.	4.	4.	4.	4.	9.	4.	4.	1.	1.	0.

شکل ۶-۱۶. فایل خروجی ایجاد شده توسط کرافت برای داده‌های شکل (۶-۱۵) را نشان می‌دهد.

1

COVOL=(MOVE COST/LOAD)X(NO. OF LOADS)

0

0	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T
A	0.	0.	8.	0.	2.	1.	9.	8.	1.	2.	2.	2.	0.	0.	2.	8.	8.	0.	1.	1.
B	0.	0.	1.	8.	0.	1.	2.	1.	1.	8.	1.	2.	0.	9.	0.	3.	0.	2.	9.	2.
C	8.	9.	0.	1.	2.	0.	1.	8.	8.	2.	0.	0.	0.	0.	1.	0.	0.	2.	0.	0.
D	0.	8.	1.	0.	1.	0.	0.	1.	1.	0.	9.	1.	1.	0.	1.	1.	2.	1.	2.	8.
E	2.	0.	2.	1.	0.	2.	3.	2.	2.	2.	1.	0.	2.	1.	1.	1.	2.	1.	2.	1.
F	1.	1.	0.	0.	2.	0.	2.	1.	1.	3.	0.	0.	9.	0.	1.	0.	1.	0.	1.	2.
G	9.	2.	1.	0.	3.	2.	0.	0.	0.	0.	2.	9.	1.	1.	2.	1.	1.	1.	0.	9.
H	8.	1.	8.	1.	2.	1.	0.	0.	8.	1.	9.	9.	1.	0.	9.	1.	2.	1.	1.	9.
I	1.	1.	8.	1.	2.	1.	0.	8.	0.	1.	0.	8.	2.	2.	0.	2.	0.	0.	0.	1.
J	2.	8.	2.	0.	2.	3.	0.	1.	1.	0.	2.	2.	2.	2.	1.	0.	0.	2.	2.	1.
K	2.	1.	0.	9.	1.	0.	2.	9.	0.	2.	0.	2.	1.	2.	1.	0.	9.	1.	1.	2.
L	2.	2.	0.	1.	0.	0.	9.	9.	8.	2.	2.	0.	0.	9.	2.	0.	4.	1.	1.	2.
M	0.	0.	0.	1.	2.	9.	1.	1.	2.	2.	1.	0.	0.	1.	1.	1.	0.	0.	0.	2.
N	0.	9.	0.	0.	1.	0.	1.	0.	2.	2.	2.	9.	1.	0.	0.	2.	1.	2.	2.	0.
O	2.	0.	1.	1.	1.	1.	2.	9.	0.	1.	1.	2.	1.	0.	0.	8.	0.	2.	9.	9.
P	8.	3.	0.	1.	1.	0.	1.	1.	2.	0.	0.	0.	1.	2.	8.	0.	1.	0.	1.	0.
Q	8.	0.	0.	2.	2.	1.	1.	2.	0.	0.	9.	4.	0.	1.	0.	1.	0.	2.	1.	0.
R	0.	2.	2.	1.	1.	0.	1.	1.	0.	2.	1.	1.	0.	2.	2.	0.	2.	0.	0.	1.
S	1.	9.	0.	2.	2.	1.	0.	1.	0.	2.	1.	1.	0.	2.	9.	1.	1.	0.	0.	0.
T	1.	2.	0.	8.	1.	2.	9.	9.	1.	1.	2.	2.	2.	0.	9.	0.	0.	1.	0.	0.

1

LOCATION PATTERN

0

0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24

1	sh	sh	sh	sh	sh	st	st	st	st	st	mi	mi	mi	dr	dr	dr	dr	dr	fo	fo	fo	fo	fo	fo
2	sh				sh	st				st	mi	mi	mi	dr	dr	dr		dr	fo	fo	fo	fo		fo
3	sh	sh	sh	sh	sh	st				st	fd	fd	fd	fd	fd	dr	dr	dr	sd	sd	sd	fo	fo	fo
4	re	re	re	re	re	st	st	st	st	st	fd	fd	fd	fd	fd	fd	fd	fd	sd	sd	sd	da	da	da
5	re	re	re	re	re	ss	ss	ip	ip	ip	in	in	in	in	in	sk	sk	sk	sk	sk	sk	da	da	da
6	kl	kl	kl	ss	ss	ss	ss	ip		ip	in	in	in	in	in	sk		sk	sk	sk	ki	ki	ki	ki
7	kl		kl	ss	ss	ss	ss	ip		ip	ko	ko	ko	kp	kp	sk		sk	kz	kz	kx	kx	kx	kx
8	kl	kl	kl	kn	kn	ss	ss	ip	ip	ip	ko	ko	ko	kp	kp	sk	sk	sk	sk	kz	kz	kx	kx	kx

-TOTAL COST 88.27 EST. COST REDUCTION .00 MOVEA MOVEB MOVEC ITERATION 0

شکل ۶-۱۶. (ادامه دارد)

بنابراین خط دوم داده‌های ورودی این اطلاعات را فراهم می‌سازند:

- ۲۰ واحد باید چیده شوند.
- ۸ سطر و ۲۴ ستون در چیدمان اولیه وجود دارد.
- کاربر تقاضا می‌کند که فقط تعویض‌های دوتایی انجام شوند (توجه داشته باشید که ۰۰، ۰۱، ۰۲، ۰۳ و ۰۴ به ترتیب مربوط می‌شوند به معاوضات دوتایی، معاوضات سه تایی، تعویضات دوتایی و سپس سه تایی، تعویضات سه تایی و سپس دوتایی و بهترین تعویضات دوتایی و سه تایی).

- کاربر تمایل دارد که همه‌ی چیدمان‌های میانی هم چاپ شوند. (۰۰ در صورتی استفاده می‌شود که بخواهیم فقط چیدمان آخر ایجاد چاپ شود).
- کاربر تمایل دارد که همه مجموعه ماتریس‌های جریان و هزینه میانی چاپ شوند. (۰۰ فقط هنگامی استفاده می‌شود که بخواهیم فقط آخرین مجموعه ماتریس‌ها چاپ شود).

1 LOCATION PATTERN

0

0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24

1	sh	sh	sh	sh	sh	st	st	st	st	st	mi	mi	mi	dr	dr	dr	dr	dr	fo	fo	fo	fo	fo	fo
2	sh				sh	st				st	mi	mi	mi	dr	dr	dr		dr	fo	fo	fo	fo		fo
3	sh	sh	sh	sh	sh	st				st	fd	fd	fd	fd	fd	dr	dr	dr	ko	ko	ko	fo	fo	fo
4	re	re	re	re	re	st	st	st	st	st	fd	fd	fd	fd	fd	fd	fd	fd	ko	ko	ko	da	da	da
5	re	re	re	re	re	ss	ss	ip	ip	ip	in	in	in	in	in	sk	sk	sk	sk	sk	sk	da	da	da
6	kl	kl	kl	ss	ss	ss	ss	ip	ip	ip	in	in	in	in	in	sk		sk	sk	ki	ki	ki	ki	ki
7	kl		kl	ss	ss	ss	ss	ip	ip	ip	sd	sd	sd	kp	kp	sk		sk	kz	kz	kx	kx	kx	kx
8	kl	kl	kl	kn	kn	ss	ss	ip	ip	ip	sd	sd	sd	kp	kp	sk	sk	sk	sk	kz	kz	kx	kx	kx

-TOTAL COST 85.09 EST. COST REDUCTION 3.18 MOVEA sd MOVEB ko MOVEC ITERATION 1

1 LOCATION PATTERN

0

0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24

1	sh	sh	sh	sh	sh	st	st	st	st	st	mi	mi	mi	dr	dr	dr	dr	dr	fo	fo	fo	fo	fo	fo
2	sh				sh	st				st	mi	mi	mi	dr	dr	dr		dr	fo	fo	fo	fo		fo
3	sh	sh	sh	sh	sh	st				st	fd	fd	fd	fd	fd	dr	dr	dr	ko	ko	ko	fo	fo	fo
4	ss	ss	ss	ss	ss	st	st	st	st	st	fd	fd	fd	fd	fd	fd	fd	fd	ko	ko	ko	da	da	da
5	ss	ss	ss	ss	ss	re	re	ip	ip	ip	in	in	in	in	in	sk	sk	sk	sk	sk	sk	da	da	da
6	kl	kl	kl	ss	re	re	re	ip	ip	ip	in	in	in	in	in	sk		sk	sk	ki	ki	ki	ki	ki
7	kl		kl	ss	re	re	re	ip	ip	ip	sd	sd	sd	kp	kp	sk		sk	kz	kz	kx	kx	kx	kx
8	kl	kl	kl	kn	kn	re	re	ip	ip	ip	sd	sd	sd	kp	kp	sk	sk	sk	sk	kz	kz	kx	kx	kx

-TOTAL COST 83.32 EST. COST REDUCTION 2.42 MOVEA re MOVEB ss MOVEC ITERATION 2

1 LOCATION PATTERN

0

0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24

1	sh	sh	sh	sh	sh	st	st	st	st	st	kl	kl	kl	kl	ko	ko	ko	dr	dr	da	da	da	da	fo	fo
2	sh				sh	st				st	kl	kl	kl	kl	ko	ko	ko	dr	dr	da	da	da	fo	fo	fo
3	sh	sh	sh	sh	sh	st				st	kl	fd	fd	fd	fd	fd	dr	dr	dr	dr	dr	dr	fo	fo	fo
4	ss	sd	sd	sd	st	st	st	st	st	st	fd	fd	fd	fd	fd	fd	fd	dr	dr	dr	dr	dr	fo	fo	fo
5	ss	sd	sd	sd	st	in	in	in	sk	sk	sk	sk	sk	sk	sk	sk	sk	ip	ip	ip	ip	ip	fo	fo	fo
6	ss	ss	ss	sd	kx	in	in	in	in	in	sk	sk	sk	sk	sk	sk	sk	ip	ip	ip	ip	ip	kz	kz	kz
7	ss		ss	ss	kx	kx	kx	in	in	ki	re	re	re	re	re	sk	ip	ip	ip	ip	ip	kp	kp	mi	mi
8	ss	ss	ss	kn	kn	kx	kx	ki	ki	ki	re	re	re	re	re	sk	ip	ip	ip	ip	ip	kp	kp	mi	mi

-TOTAL COST 66.00 EST. COST REDUCTION .15 MOVEA kp MOVEB kz MOVEC ITERATION 18
 OANAN -NO COST REDUCTION- BCOST= .66026E+02 TCOST= .65998E+02 MOVEA 18 MOVEB 3
 OANAN -NO COST REDUCTION- BCOST= .66758E+02 TCOST= .65998E+02 MOVEA 18 MOVEB 5
 QEXCH FAILED MOVEA 4 MOVEB 5
 END OF PROGRAM CRAFT END OF PROGRAM CRAFT END OF PROGRAM CRAFT END OF PROGRAM CRAFT

سطر و ستون یکسان هستند، از این رو مقدار ۱ ایجاد می‌شود. اگر شرایط چنین نباشد. مثلاً اگر سطر ۱، ۱۰ فوت و ستون ۱، ۲۰ فوت باشد - در این صورت، نسخه اصلی کرافت، هزینه حمل مواد را تخمین می‌زند. برای اصلاح این مشکل، مقدار ۲ برای چنین مشکلی ایجاد می‌شود.

چهارمین نوع اطلاعات بیان می‌دارند که آیا خروجی ماتریس متوقف شده درست است یا نه. دو کاراکتر آخر در خط اول، بیان می‌دارند که آیا کاربر خواهان ایجاد چیدمان و فایل‌ها است یا نه. فایل خروجی ایجاد شده توسط برنامه در شکل ۶-۱۶، در صفحات ۲۶۴ تا ۲۶۷ نشان داده شده است.

هزینه حرکت مواد مورد نیاز به اندازه ۱۰ فوت، بین هر جفت از تسهیلات در ماتریس COVOL فراهم شده است. هر ورودی در این ماتریس با ضرب کردن ورودی‌های مربوطه در ماتریس اولی است (یعنی هزینه جریان و هزینه حرکت).

OFV چیدمان اولیه ۸۸/۲۷ است. موقعیت تسهیلات sd، ko با هم عوض می‌شوند زیرا کاهش زیادی در هزینه (۳/۱۸) ایجاد می‌کند. چیدمان جدید، با هزینه برآورد شده ۸۵/۰۹ در فایل خروجی ایجاد شده است. بعد از ۱۸ تکرار، کرافت چیدمان نهایی را ایجاد می‌کند. هزینه نهایی چیدمان ۶۶ است. هیچ تعویض دیگری باعث اصلاح و بهبود راه‌حل نمی‌شود، بنابراین برنامه پایان می‌یابد.

۶-۲-۳ الگوریتم‌های پیوندی^۱ (هیبرید)

از آنجا که همه الگوریتم‌های اصلاحی به یک راه‌حل اولیه نیاز دارد، چیدمان نهایی نیز بهتر خواهد بود. از این رو، ممکن است خواننده بخواهد از یک راه‌حل ایجاد شده توسط الگوریتم ساختاری به عنوان راه‌حل اولیه برای الگوریتم اصلاحی استفاده نماید. در حقیقت، الگوریتم‌هایی که از دو یا چند نوع تکنیک راه‌حلی استفاده می‌کنند تحت عنوان الگوریتم‌های هیبرید (پیوندی) یا الگوریتم‌های ترکیبی شناخته می‌شوند. ما هر یک از این الگوریتم‌ها را بعداً معرفی خواهیم کرد. بعضی دیگر از الگوریتم‌ها که دارای ویژگی الگوریتم ابتکاری^۲ (هیوریستیک) و بهینه می‌باشند در طبقه الگوریتم‌های هیبرید

(پیوندی) قرار می‌گیرند (Kusiak and Heragu 1987a). در فصل ۷ درباره این الگوریتم‌ها توضیح بیشتری داده می‌شود.

BLOCPLAN

الگوریتم اصلی تعبیه شده در BLOCPLAN یک الگوریتم تعویض یا اصلاحی است. می‌توان این الگوریتم را نوعی الگوریتم اصلاحی دانست اما هم الگوریتم‌های ساخت و هم اصلاحی در این الگوریتم جای می‌گیرند. کاربر می‌تواند راه‌حل‌های اولیه به دست آمده از الگوریتم‌های ساخت را مورد استفاده قرار دهد و آنها را توسط الگوریتم اصلاحی، اصلاح و بهبود بخشید. بنابراین BLOCPLAN یک الگوریتم هیبرید (پیوندی) است که در اینجا توضیح داده خواهد شد.

BLOCPLAN یک برنامه تعاملی^۱ است که توسط (Donaghey and Pire 1991) توسعه یافت. این برنامه الگوریتم‌هایی ابتکاری برای حل مساله چیدمان ارائه می‌دهد و می‌تواند داده‌های کیفی و کمی را بگیرد. همچنین به کاربر اجازه می‌دهد تا داده‌های مربوط به مسیر محصولات را وارد نماید و BLOCPLAN براساس این داده‌ها، ماتریس‌های جریان یا فراوانی سفر را محاسبه می‌نماید. کاربر می‌تواند از بین ۴ شکل از پیش تعیین شده و یک شکل مستطیلی که توسط خودش تعیین شده است برای ساختمان استفاده نماید و تسهیلات را به صورت دستی در ساختمان وارد نماید. از آنجا که این برنامه تعاملی و گزینشی^۲ است، فرصت زیادی برای بررسی و ویرایش داده‌ها در اختیار کاربر قرار می‌دهد.

BLOCPLAN می‌تواند ماکزیمم ۱۸ واحد را اداره نماید. کاربر، سه روش برای تهیه داده‌های جریان در اختیار دارد: (۱) می‌تواند این کار را به صورت کیفی و به شکل نمودار رابطه فعالیت‌ها انجام دهد. (۲) داده‌ها به شکل ماتریس جریان فراهم می‌شوند. یا (۳) کاربر به راحتی نوع و تعداد قطعات ساخت و اطلاعات مسیر برای هر قطعه را مشخص می‌نماید. سپس BLOCPLAN ماتریس جریان را محاسبه می‌کند. اگر یکی از دو مورد اخیر به کار گرفته شود، در این صورت BLOCPLAN ماتریس جریان را با

تقسیم عنصر ماکزیمم جریان بر ۵، به نمودار رابطه فعالیت‌ها تبدیل می‌کند. به هر عنصری که جریانش بین $\frac{1}{5}$ و مقدار ماکزیمم جریان در ماتریس قرار داشته باشد، رابطه A اختصاص داده می‌شود. هر عنصری از ماتریس جریان که مقدارش بین $\frac{3}{5}$ و $\frac{4}{5}$ مقدار ماکزیمم جریان باشد، رابطه E تخصیص داده می‌شود. شاخص‌های U, O, I به ترتیب به عناصری اختصاص می‌یابند که مقادیر ارزشی آنها بین $\frac{2}{5}$ ، $\frac{3}{5}$ و $\frac{4}{5}$ و صفر و $\frac{1}{5}$ مقدار ماکزیمم جریان باشد. مثلاً اگر مقدار ماکزیمم جریان در یک ماتریس ۴۰۰ باشد در این صورت، طبق جدول ۶-۲ تخصیص داده می‌شود.

جدول ۶-۲. مقادیر جریان و شاخص‌های ارتباطی مربوط را نشان می‌دهد.

شاخص ارتباطی تخصیص داده شده به جریان	مقدار جریان بین واحد i و j
A	۳۲۱-۴۰۰
E	۲۴۱-۳۲۰
I	۱۶۱-۲۴۰
O	۸۱-۱۶۰
U	۰-۸۰

سپس چارت ارتباطی برای ایجاد چیدمان به کار می‌رود. BLOCPLAN می‌تواند چیدمانی ایجاد کند که:

- به‌طور تصادفی از الگوریتم ساخت استفاده نماید.
- از یک الگوریتم اصلاحی استفاده کند.
- از یک الگوریتم جستجوی^۱ اتوماتیک استفاده نماید.

الگوریتم چیدمان تصادفی بدون توجه به جریان یا تعامل بین دیارتیمان‌ها، چیدمان‌هایی تولید می‌کند. الگوریتم اصلاحی حداقل به یک چیدمان اولیه نیاز دارد. این الگوریتم تعویضاتی انجام می‌دهد و امتیاز مجاورت^۲ و امتیاز rel-dist را برای چیدمان محاسبه می‌کند. (اصطلاح امتیاز مجاورت و امتیاز rel-dist بعداً توضیح خواهند شد)

بعد از هر تعویض، چیدمان جدید در راستای امتیازات مجاورت چیدمان و چیدمان اولیه و تعداد تکرارها، ایجاد می‌شود. کاربر می‌تواند چیدمان موجود را بررسی و تجزیه و تحلیل نماید، اصلاح را متوقف کرده یا ادامه دهد و چیدمان را حفظ کند. ماکزیمم تعداد تکرارها ثابت است و به اندازه مساله بستگی دارد. الگوریتم جستجوی اتوماتیک به‌طور تصادفی یک چیدمان اولیه را با استفاده از الگوریتم چیدمان تصادفی ایجاد می‌کند و سپس با استفاده از الگوریتم اصلاحی آن را اصلاح کرده و بهبود می‌بخشد. تعویض تسهیلات تا زمانی ادامه می‌یابد که به یک چیدمان اصلاح شده برسیم. سپس همه فرآیند دوباره با چیدمان بهبود یافته و به‌صورت یک چیدمان اولیه، تکرار می‌شود (تا حداکثر ۲۰ بار). الگوریتم جستجوی اتوماتیک همانند 2-opt حریصانه است که پیش‌تر بحث شد.

برای تعیین امتیاز مجاورت هر چیدمان BLOCPLAN مجموع کلیه مقادیر عددی مثبت مربوط به کدهای همسایگی را محاسبه می‌کند. سپس کلیه کدهای همسایگی مربوط به تسهیلات مجاور را می‌آزماید و آنها را جمع می‌زند. در نهایت مقدار دومی را بر مقدار اولی تقسیم می‌کند تا امتیاز مجاورت محاسبه گردد. برای محاسبه امتیاز rel-dist، BLOCPLAN حاصل ضرب مسافت واقعی بین دو واحد در ارزش عددی همسایگی بین آن دو واحد را محاسبه می‌کند. سپس همه این مقادیر را جمع می‌زند تا مقدار عددی rel-dist محاسبه گردد. فرمول محاسبه امتیاز نزدیکی به‌صورت ریاضی در ذیل داده شده است:

$$\frac{\sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n R_{ij} D_{ij}}{\sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n R_{ij}}$$

فرمول محاسبه rel-dist هم می‌شود:

$$\sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n d_{ij} R_{ij}$$

به‌طوری‌که

$$D_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{اگر } i \text{ و } j \text{ در یک طبقه هستند و مجاورند} \\ 0 & \text{در غیر این صورت} \end{cases}$$

R_{ij} : مقدار عددی تخصیص داده شده به کد ارتباط بین واحد i و j

n : تعداد کل تسهیلات

d_{ij} : مسافت مستقیم الخط^۱ بین مرکز واحد i و j

جفت تسهیلاتی که مقدار عددی همسایگی منفی دارند، در عبارت مشخصه فوق منظور نگردیده‌اند. به جای اینکه مقدار rel-dist مستقیماً چاپ شود، BLOCPLAN این مقدار را نرمال^۲ می‌کند و نتیجه نهایی را چاپ می‌کند. بدین منظور، با ضرب کردن دو بردار: یک بردار مسافت که درایه‌های آن به صورت غیرکاهشی مرتب شده‌اند، و یک بردار کد ارتباط یا "جریان" که درایه‌های آن به صورت غیرافزایشی مرتب شده‌اند؛ یک حد بالا و پایین برای rel-dist محاسبه می‌کند. بردار اول مسافت بین تسهیلات را شامل می‌گردد و بردار دوم کدهای همسایگی بین تسهیلات را شامل می‌گردد. از آنجا که ما به دنبال کمینه کردن زمان جریان کلی بین همه تسهیلات هستیم، یک حد پایین می‌تواند به این صورت محاسبه گردد که اعضای بردار جریان به صورت غیرافزایشی مرتب گردند و اعضای بردار مسافت به صورت غیرکاهشی مرتب شوند. پس در واقع در این شرایط ما به دنبال انتقال بیشترین جریان در کوتاه‌ترین مسافت هستیم؛ هر چند این الگی انتقال ممکن است به یک جواب موجه منتهی نگردد ولی کمترین مقدار OFV ممکن را می‌دهد که می‌توان سایر OFV های موجه را با آن مقایسه کرد. آشکار است که جواب بهینه، جوابی است که مقدار OFV آن به شدت به این حد پایین نزدیک است (در میان همه جواب‌های موجه). برای یافتن یک حد بالا ما می‌توانیم برعکس رویه مذکور برای محاسبه حد پایین، را دوباره تکرار کنیم تا به یک حد بالا برسیم. بدین منظور کافی است تا اعضای بردارها را چنان مرتب کنیم تا بزرگ‌ترین عضو جریان در بزرگ‌ترین عضو بردار مسافت ضرب شود. به عبارت دیگر هر دو بردار را به ترتیب غیر کاهشی مرتب کنیم.

به این ترتیب BLOCPLAN حدود پایین و بالا را محاسبه کرده و امتیاز نرمال شده را که امتیاز R نامیده می‌شود، به ترتیب ذیل تعیین می‌کند:

$$(۲) \quad R = \frac{(\text{حد پایین} - \text{حد بالا})}{(\text{حد پایین} - \text{امتیاز rel-dist})} - ۱ = \text{امتیاز R}$$

بنابراین امتیاز R برابر ۱ به معنای آن است که جواب مربوطه بهینه است. البته، امتیاز R برابر ۱ بسیار غیرمحمّل است چرا که به معنای آن است که امتیاز rel-dist چیدمان مربوطه برابر حد پایین است. به طریق مشابه امتیاز R صفر (که باز هم بسیار نامحمّل است) به این معناست که چیدمان مربوطه بدترین چیدمان ممکن است چرا که OFV برابر حد بالاست.

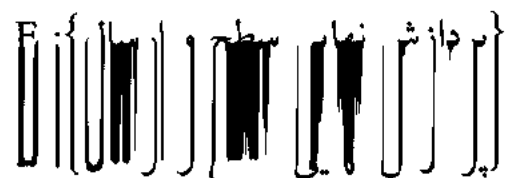
مزیت اصلی BLOCPLAN آسانی کار با آن است. این نرم‌افزار به کاربر امکان ویرایش داده‌های قبلاً وارد شده، تثبیت موقعیت تجهیزات، و گذاردن آنها در مکان‌های مطلوب را به صورت دستی می‌دهد. این نرم‌افزار همچنین جدولی حاوی چیدمان‌های رتبه‌بندی شده که امتیازهای خام rel-dist و نیز امتیاز نرمال شده R برای هر چیدمان را به همراه برخی اطلاعات دیگر را نشان می‌دهد، را چاپ می‌کند. علاوه بر چیدمان‌های یک طبقه می‌تواند چیدمان‌های چند طبقه نیز تولید کند، این مطلب در بخش‌های بعدی مورد بحث قرار گرفته است.

مثال ۵

یک تجهیز تولیدی دارای هفت واحد عمده است که قرار است یک چیدمان یک طبقه بر آن اعمال بشود. اسامی و مساحت‌های واحدها در جدول ۳-۶ نشان داده شده است. واحد مهندسی صنایع اخیراً مطالعاتی بر روی تعامل بین واحدها انجام داده است و کدهای رابطه ذیل را برای جفت‌های ذیل ارائه کرده است:

{ماشین صفحه تراش و فرز سطح}: A

{پرس مته و دریافت}، {پرس مته و زیرمونتاز}، {زیرمونتاز و پردازش نهایی سطح}،



{ دریافت و ماشین صفحه تراش }، { ماشین صفحه تراش و زیرمونتاز }، { زیرمونتاز و ارسال } : I

بین سایر جفت واحدها رابطه U برقرار است. هیچ داده دیگری در دسترس نیست. چیدمان یک طبقه‌ای با استفاده از BLOCPLAN تدوین کنید.

جدول ۳-۶. نام و مساحت هفت واحد مثال ۵.

نام واحد	مساحت (فوت مربع)
دریافت	۱۱۰۰۰
فرز سطح	۷۰۰۰
پرس منه	۷۰۰۰
ماشین صفحه تراش	۱۲۰۰
زیرمونتاز	۱۲۰۰
پردازش نهایی سطح	۱۵۰۰
ارسال	۱۵۰۰

جواب. پس از ورود داده‌ها به صورت تعاملی، BLOCPLAN چهار صفحه نمایش خروجی ارائه می‌دهد، با فرض آنکه ما قصد تغییر یا ویرایش اطلاعات ورودی را نداریم^۱. صفحات نمایش ۱ تا ۳ سه تا از این صفحات هستند. توجه داشته باشید که ما کمی نام واحدها را اصلاح کرده‌ایم تا هر یک مطابق نیاز BLOCPLAN هشت کاراکتر شوند. مثلاً واحد زیرمونتاز (subassembly) به ASSEMBLY تبدیل شده است، دریافت (receiving) به RECVING و غیره. چهارمین صفحه نمایشی که BLOCPLAN ارائه می‌دهد، مقادیر عددی تخصیص یافته به هر کد رابطه را فهرست می‌کند. برای این مسأله ما از مقادیر ۸۰- و ۰ و ۲۰ و ۴۰ و ۶۰ و ۸۰ به ترتیب برای X و U و O و I و E و A استفاده کرده‌ایم.

نرم‌افزار امتیاز هر واحد را خیلی ساده و با جمع کردن مقادیر عددی مربوط به کد رابطه‌ای که هر واحد با همه سایر واحدها دارد محاسبه کرده و مقادیر حاصله را چاپ

۱. صفحات نمایش خروجی برنامه در دیسک ضمیمه شده همراه کتاب موجود می‌باشند.

می‌کند (صفحه نمایش ۳). سپس BLOCPLAN از ما می‌خواهد که یک نسبت طول به عرض مناسب برای ساختمانی که واحدها قرار است در آن مستقر شود انتخاب کنیم، و ما نسبت ۱/۳۵ را انتخاب کردیم (اولین انتخاب در صفحه نمایش ۴). توجه داشته باشید که آخرین انتخاب در صفحه نمایش ۴ مقادیر طول و عرض را از کاربر می‌گیرد و به این ترتیب به ما امکان تولید هر شکل ساختمان مستطیل را می‌دهد.

پس از آنکه نسبت طول به عرض را انتخاب کردیم، امکان اصلاح داده‌ها یا ورود اطلاعات جدید، مانند اطلاعات محصول که نام، بار واحد، و توالی واحدهای گذر شده را مشخص می‌کند، را خواهیم داشت. برای انجام این کار، باید دومین انتخاب را در صفحه نمایش ۵ انجام دهیم (منوی Edit/Adjust Data). سپس صفحه نمایش دیگری (که نشان داده نشده است) با گزینه‌های تنظیم / ویرایش نمایش داده می‌شود، که از ما می‌خواهد داده‌های مربوط به مسیر-قطعه را وارد کنیم. BLOCPLAN به ما اجازه می‌دهد که مشخص کنیم اطلاعات مسیر-قطعه یا نمودار رابطه فعالیت‌ها، کدام یک باید برای تعیین روابط متقابل بین واحدها استفاده شود. همان طور که قبلاً گفته شد، حتی اگر ما اطلاعات مسیر-قطعه را وارد کنیم، این اطلاعات به ماتریس جریان، که سپس برای تدوین کد رابطه بین هر جفت واحد استفاده می‌شود، تبدیل می‌گردند. به عنوان مثال، چنانچه مسیر محصول در صفحه نمایش ۶ وارد گردد، BLOCPLAN ماتریس جریان نشان داده شده در صفحه نمایش ۷ را محاسبه می‌کند. توجه داشته باشید که مقادیر موجود در ماتریس نمایش داده شده برابر با مقادیر واقعی تقسیم بر ۱۰ و گرد شده به نزدیک‌ترین عدد صحیح هستند. علاوه بر جریانی که از مسیر قطعات حاصل می‌شود، می‌توانیم سایر جریانات از-به بین ماشین‌ها را نیز مستقیماً وارد کنیم. این قابلیت (که با فراخوانی گزینه "Display Additions Matrix" در صفحه نمایش ۷، فعال می‌شود) زمانی کارایی دارد که بخواهیم دو ماشین را با هم یا جدا از هم نگه داریم. با قرار دادن مقادیر جریانی عمداً بزرگ (کوچک) برای یک جفت ماشین، می‌توانیم اطمینان حاصل کنیم که این دو کنار هم قرار خواهند (نخواهند) گرفت. البته، این کار را می‌توان با نمودار رابطه هم انجام داد، اما از آنجایی که BLOCPLAN از ماتریس جریان یا نمودار رابطه و نه هر دو استفاده می‌کند، ممکن است نتوانیم از اطلاعات جریانی دیگر (کمتر کلیدی اما همچنان مهم) که در صورت استفاده از نمودار

جریان، از داده‌های مسیر-قطعه حاصل شده است، استفاده کنیم. چنانچه هیچ اصلاح داده دیگری لازم نباشد صفحه نمایش ۵ ظاهر می‌شود. برای طراحی یک چیدمان یک طبقه، گزینه ۳ را در صفحه نمایش ۵ انتخاب می‌کنیم و منوی مربوطه ظاهر می‌گردد (صفحه نمایش ۸). این منو به ما امکان جای‌گذاری دستی واحدها در مناطق مختلف به ترتیب نشان داده شده در صفحه نمایش ۹ را می‌دهد. چنانچه بخواهیم یک واحد قبلاً تثبیت شد را "غیرتثبیت" کنیم، دستور "Manually Insert Departments" (جای‌گذاری دستی واحدها) را فراخوانده و مشخص می‌کنیم که جای هیچ واحدی تثبیت شده نباشد.

همان‌طور که گفتیم، چندین الگوریتم می‌توانند برای تولید چیدمان به کار روند. نمونه‌هایی از چیدمان‌های ایجاد شده با الگوریتم اصلاح در صفحات نمایش ۱۰ و ۱۱ نشان داده شده است. توجه داشته باشید که کاربر گزینه‌های ذخیره یک چیدمان، تعویض جای دو واحد، انجام تجزیه و تحلیل، یا خاتمه تکرارها را در اختیار دارد، در حقیقت، ما چیدمان صفحه نمایش ۱۱ را با تعویض جای تجهیزات ۱ و ۲ به دست آوردیم. آخرین گزینه (یعنی خاتمه) تنها با الگوریتم اصلاح وجود دارد. تا ۲۰ چیدمان را می‌توان در BLOCPLAN ذخیره کرد. این قابلیت بسیار سودمند است چرا که هر زمان که یک چیدمان "خوب" به دست آید، کاربر می‌تواند تلاش کند که آن را با قرار دادن است به عنوان مبنای شروع الگوریتم اصلاح، ارتقا دهد. زمانی که تجزیه و تحلیل چیدمان انجام می‌شود، BLOCPLAN توالی‌هایی از صفحات نمایش را که اطلاعات ارزنده‌ای در مورد چیدمان کنونی فراهم می‌آورد را نمایش می‌دهد. (صفحات نمایش ۱۲ تا ۱۵، مربوط به تجزیه و تحلیل‌های انجام شده بر روی چیدمان صفحه نمایش ۱۱ است). اولین صفحه نمایش (صفحه نمایش ۱۲) مرکز ثقل^۱ هر واحد را به همراه طول، عرض و نسبت‌های طول-به-عرض هر واحد در چیدمان نهایی، ارائه می‌دهد. دومی (صفحه نمایش ۱۳) مجاورت‌های برقرار شده در چیدمان را نشان می‌دهد. توجه داشته باشید که حروف بزرگ (کوچک) برای کدهای رابطه در صفحه نشانگر ارضا (عدم ارضا)ی مجاورت‌ها است. سومی (صفحه نمایش ۱۴) امتیاز rel-dist و امتیاز R (به

همراه حدود بالا و پایین آن) چیدمان را نشان می‌دهد. چنانچه داده‌های مسیر-قطعه وارد شده و برای تهیه چیدمان مورد استفاده قرار گرفته باشد (مانند این مثال) BLOCPLAN صفحه نمایش دیگری را نمایش می‌دهد که در آن حاصل ضرب بارهای واحد در فاصله بین هر جفت واحد در قالب یک ماتریس وجود دارد (صفحه نمایش ۱۵). یک امتیاز R بالاتر نشانگر آن است که چیدمان "خوب" است. به عنوان مثال، چیدمان صفحه نمایش ۱۱ از چیدمان صفحه ۱۲ بهتر است. برای بازبینی عملکرد هر چیدمان ذخیره شده برای هر معیار، کاربرد می‌تواند از گزینه "Review Saved Layouts" یا "Table of Saved Layouts" در صفحه نمایش ۸ استفاده کرده و فهرست رتبه‌بندی شده صفحه نمایش ۱۶ را به دست آورد. دقت داشته باشید که چیدمانی که امتیاز مجاورتی برابر ۱/۰۰ را داشته است با در نظر گرفتن معیار امتیاز مجاورت یا امتیاز rel-dist در مکان اول قرار می‌گیرد اما مطابق معیار حرکت قطعه رتبه ضعیفی پیدا می‌کند. به این ترتیب، در این مثال به نظر می‌رسد که چیدمان ۱ انتخاب قابل قبولی باشد چرا که با در نظر گرفتن سه تا از چهار معیار بهترین است.

۳-۶ نرم‌افزارهایی برای مدل‌سازی چیدمان

در این فصل ما سه بسته نرم‌افزاری مربوط به چیدمان را مورد بحث قرار دادیم: کورلپ، کرافت و BLOCPLAN. بسته‌های نرم‌افزاری دیگری هم برای مدل‌سازی، طراحی، و تجزیه و تحلیل مسائل چیدمان وجود دارند و خوانند باید به بخش راهنمای خریداران برخی نسخه‌های معین مجله "*Industrial Engineering Solutions*" (مثلاً نسخه August 1995) برای داشتن یک فهرست رجوع کند. آن نسخه همچنین جزئیات دیگری در مورد بسته‌های نرم‌افزاری، شامل نیازمندی‌های نرم‌افزاری و سخت‌افزاری، سیستم‌های کامپیوتری^۱ و سیستم‌های CAD تحت پشتیبانی، پشتیبانی فنی، محدودیت‌های نرم‌افزار، الگوریتم‌های به کار رفته، امکان وارد کردن داده‌ها با قالب‌بندی متنی استاندارد^۲ (ASCII)، تحت نرم‌افزارهای صفحه گسترده^۳ یا سایر قالب‌بندی‌ها و

1. platform

2. American Standard Code for Information Interchange

3. spreadsheet

روش‌های تجزیه و تحلیل جریان مواد فراهم می‌آورد. هر بسته نرم‌افزاری مزایا و نیز معایب خاص خود را دارد. بسیاری از بسته‌های نرم‌افزار یا ابزارهای شبیه‌سازی هستند و یا تکنیک‌های حل پیچیده شرح داده شده در این فصل و فصل‌های بعد را مورد استفاده قرار نمی‌دهند.

کرافت، BLOCPLAN، FactoryOPT، SPIRAL و LayOPT برخی از محدود بسته‌های نرم‌افزاری هستند که از تکنیک‌های بهینه‌سازی (الگوریتم‌های تعویض دوتایی و سه تایی) برای تعیین چیدمان استفاده می‌کنند. در این بخش ما سه بسته نرم‌افزاری رایج را به‌طور مختصر مورد بحث قرار دادیم. هر سه این نرم‌افزارها نیازمند آن هستند که (۱۳ یا ۱۲ Version) AutoCAD بر روی سیستم کامپیوتری که بر روی آن اجرا می‌شوند، نصب شده باشد (Tamashunas, Labban, and Sly 1990).

۶-۳-۱ Factory CAD

FactoryCAD ابزار نرم‌افزاری‌ای است که AutoCAD را سفارشی کرده و به کاربر امکان ایجاد چیدمان کارخانه جدید و یا اصلاح چیدمان‌های موجود را می‌دهد. این نرم‌افزار به خودی خود یک چیدمان تولید نمی‌کند، اما با این وجود ابزار خوبی برای تهیه طرح مقدماتی است که به کاربر امکان کشیدن دیوارها، درها، پنجره‌ها، ستون‌ها، مرزهای مرکزکاری، خطوط آب و برق تلفن ساختمان و بزرگ نمایی بخش‌های دلخواه طرح را می‌دهد. کاربر می‌تواند طرح‌های ماشین، جابجایی مواد و ترسیم پالت را از یک کتابخانه نمادها انتخاب کرده و به این ترتیب ماشین‌ها و سیستم‌های جابجایی مواد جدید را با سهولت نسبی وارد چیدمان کند. این نرم‌افزار همچنین می‌تواند برخی کارهای انیمیشن را انجام دهد و مساحت‌های مراکز کاری را محاسبه کند. این نرم‌افزار ابزار ترسیم سودمندی است و باید به همین منظور نیز استفاده شود.

۶-۳-۲ FactoryPLAN

FactoryPLAN بر مبنای روش SLP برای برنامه‌ریزی چیدمان، که در فصل ۴ بحث شد، قرار دارد. در حالیکه FactoryCAD یک ابزار تهیه طرح مقدماتی است، FactoryPLAN یک ابزار تحلیل کیفی است. این دو بسته نرم‌افزاری می‌توانند

به‌صورت مؤثر برای برنامه‌ریزی و تهیه طرح مقدماتی طراحی چیدمان استفاده شوند. تجزیه و تحلیل چیدمان با استفاده از FactoryPLAN یک فرایند دو مرحله‌ای است. در مرحله اول، کاربر نام، نوع و فضای لازم برای هر واحد را به همراه طول و عرض وارد می‌کند (یا از فایل‌های از پیش آماده شده در یک قالب خاص، وارد می‌کند). سپس او نوع واحد را از روی فهرستی شامل نه نوع (مثلاً انبارش، مربوط به حمل و نقل، محوطه نگهداری موجودی، شکل‌دهی اولیه و پرداخت) انتخاب می‌کند. عرض و طول شکل هندسی واحد را مشخص می‌کند؛ شکل هندسی پیش فرض مربع است. سپس کاربر روابط واحدها را در نموداری که شبیه نمودار رابطه فعالیتها شکل ۴-۵ است وارد می‌کند، در مرحله دوم، کاربر دیاگرام روابط را (شبیه دیاگرام شکل ۴-۷) ایجاد می‌کند و آن را جهت رسیدن به چیدمان‌های بهبود یافته دست‌کاری می‌کند. مکان‌های واحدها می‌توانند تثبیت شوند و امتیازهای چیدمان‌ها می‌توانند به سرعت تعیین شوند. FactoryPLAN به کاربر اجازه مشاهده چیدمان ایجاد شده با و بدون خطوط بین واحدها را می‌دهد. قطر خطوط به رابطه بین جفت واحدها مربوط است و تحلیل چشمی چیدمان را آسان‌تر می‌سازد. به‌عنوان مثال، یک خط بلند و ضخیم به آن معناست که واحدهای متصل به هم از طریق این خط باید تا جای ممکن به هم نزدیک شوند چرا که بین دو واحد یک رابطه A برقرار است. با استفاده از این نرم‌افزار کاربر می‌تواند یک چیدمان را به‌صورت چشمی تحلیل کرده، امتیاز آن را مطالعه کند، اصلاحات مناسب را انجام دهد و به این ترتیب برای رسیدن به چیدمان‌های بهبود یافته تلاش کند.

۳-۳-۶ FactoryFLOW

FactoryFLOW نرم‌افزار چیدمانی است که نیازمند یک چیدمان موجود ایجاد شده توسط نرم‌افزار AutoCAD است. کاربر ابتدا طرح موجود را باز کرده و سپس سه قسمت اطلاعات کلیدی را در سه فایل مجزا: فایل محصول، فایل مسیر-قطعه و فایل تجهیزات جابجایی مواد، وارد می‌کند. (چنانچه داده‌ها قبلاً در قالب فایل‌های صفحه گسترده یا واژه‌پرداز وارد شده‌اند، می‌توانند به قالب لازم تبدیل شده و به‌عنوان یک

فایل با قالب‌بندی ASCII، که می‌تواند بعداً به برنامه وارد شود، ذخیره شود). فایل

محصول (یکی برای هر محصول تولیدی) به کاربر امکان وارد کردن اسم و تعداد واحدهای محصول تولید شده در یک واحد زمان (سال، ماه، هفته، روز، شیف‌ت) را می‌دهد. کاربر همچنین می‌تواند یکی از ۲۵۶ رنگ را به هر محصول تخصیص دهد، که این کار در مشاهده مسیر جریان محصولات سودمند است. پس از اطلاعات محصول، اطلاعاتی در مورد مسیر قطعه محصولات باید وارد شود. قطعات ممکن است به صورت قطعات مونتاژ یا زیرمونتاژ که به داخل محصول نهایی می‌روند در نظر گرفته شود؛ به عنوان مثال یک نردبان (محصول) می‌تواند قطعاتی چون پله‌ها، ریل‌ها و پیچ‌ها داشته باشد. FactoryFLOW به اطلاعاتی در مورد حرکت هر قطعه نیاز دارد: مقدار حرکت داده شده، وسیله جابجایی مواد مورد استفاده و بار واحد. آخرین قسمت اطلاعات به تجهیزات جابجایی مواد مربوط است. کاربر نوع وسیله جابجایی مواد را از فهرست شامل ۱۰ نوع وسیله (مثل نقاله، لیفتراک یا AGV) انتخاب می‌کند.

چنانچه وسیله جابجایی هیچ‌یک از انواع فهرست شده نباشد، کاربر می‌تواند یک وسیله خاص را مشخص کند. برای وسیله انتخاب شده کاربر تعداد واحدهای در دسترس آن وسیله، زمانی که هر یک در دسترس هستند، هزینه سرمایه‌گذاری به ازای هر واحد زمان (سال)، هزینه‌های غیرنیروی کار متغیر ساعتی هر وسیله در حال کار (مانند سوخت، نیروی برق و هزینه‌های نگهداری)، هزینه‌های نیروی کار متغیر ساعتی، زمان‌های بارگیری و تخلیه، سرعت متوسط، و درصد تخمینی سفرهای با بار را وارد می‌کند.

پس از آنکه داده‌های مربوط به محصول، مسیر قطعات و وسایل جابجایی مواد وارد شدند، نرم‌افزار از کاربر می‌خواهد که مسیرهای جابجایی مواد برای حرکت را رسم کند. بر مبنای این مسیرها، داده‌های سه فایل و فایل چیدمان AutoCAD، برنامه کل هزینه و مسافت حرکت را محاسبه می‌کند. هزینه با استفاده از فرمول‌های مشابه فرمول به دست آمده از روابط (۲) تا (۴) فصل ۳، محاسبه می‌شود. سپس کاربر می‌تواند خطوط جریان محصول با مقیاس را ایجاد کند، که قطر هر خط (که بر روی صفحه نمایش کامپیوتر قابل مشاهده است) نشانگر هزینه کل آن حرکت یا تعداد سفرهای لازم برای یک حرکت است. این امر به کاربر این امکان را می‌دهد که بر روی حرکات نسبتاً گران جابجایی مواد متمرکز شود. نرم‌افزار همچنین قادر به ایجاد گزارش جابجایی مواد

است که، به همراه سایر اطلاعات، کل مسافت حرکت شده، مسافت و هزینه‌های بین هر دو مرکز کاری و بهره‌گیری وسیله جابجایی مواد (استاتیک) را مشخص می‌کند. گرچه FactoryFLOW ویژگی‌های سودمندی دارد اما یک اشکال عمده آن، این است که نمی‌تواند به تنهایی چیدمانی ایجاد کند. با این همه، کاربر می‌تواند دیاگرام‌های جریان محصول را مورد مشاهده دقیق قرار داده و تصمیم به تغییر مکان ایستگاه‌های کاری خاص یا مسیرهای جریان مواد محصولات معینی گرفته و سپس هزینه‌های جابجایی مواد و فواصل و نیز بهره‌گیری‌ها را مجدداً محاسبه کند. این رویه مشاهده خروجی نرم‌افزار، تغییر مکان‌های ایستگاه‌های کاری صحیح، تغییر مسیرهای جریان مواد و سپس محاسبه دوباره هزینه‌ها و سایر اطلاعات - ممکن است تا زمانی که کاربر به یک چیدمان رضایت بخش برسد ادامه پیدا کند. از آنجایی که $n!$ چیدمان ممکن، که n تعداد تجهیزات است، وجود دارد کاربر تعداد زیادی چیدمان را به روش آزمون و خطا ایجاد کرده و یکی را که تابع هدف معیار را حداقل می‌کند، انتخاب کند. از این رو FactoryFLOW بیشتر به‌عنوان یک پردازش‌گر ثانوی^۱ که چیدمان‌های قبلاً ایجاد شده توسط نرم‌افزاری دیگر چون BLOCPLAN یا کرافت را مورد ارزیابی قرار می‌دهد، کارایی دارد.

یکی از کارخانجات "دیر اند کمپانی"^۲ در هاریکان^۳ در ویسکانسین^۴، Factory-FLOW را برای تعیین هزینه‌های جابجایی مواد با یک چیدمان فرایند و یک چیدمان مبنی بر تکنولوژی گروهی^۵ مورد استفاده قرار داد. (Tamashunas, Lebban, and Sly 1990). تحلیل‌گران توانستند نشان دهند که چیدمان مبنی بر تکنولوژی گروهی مسافت انتقال مواد را حدود ۳۰٪ کاهش داده و نسبت به چیدمان فرایند سستی به تعداد کمتری حمل‌کننده جابجایی مواد نیاز دارد.

1. Post-processor

2. Deerp & Company

3. Horicon

4. Wisconsin

5. Group technology

FactoryFLOW همچنین برای انجام آنالیز what-if نیز سودمند است. به عنوان مثال، کاربر می‌تواند تغییر در هزینه جابجایی مواد ناشی از یک تغییر در مسیر جریان مواد برای یک قطعه با حجم بالا را تعیین کند.

FactoryOPT نرم‌افزار جدیدی است که ویژگی‌ها و قابلیت‌های FactoryFLOW را دارا بوده و الگوریتم‌های 2-opt و 3-opt نیز در آن تعبیه شده‌اند. حداقل سه بسته نرم‌افزاری دیگر نیز از الگوریتم‌های بهینه‌سازی استفاده می‌کنند: SPIRAL، LayOPT و Factory Modeler. SPIRAL تقریباً در تجزیه و تحلیل جریان مواد محدود است اما رابط کاربر گرافیکی خوبی دارد و می‌تواند تا ۹۹ تجهیز را در نظر بگیرد. قیمت آن نیز زیاد است (۲۵۰ دلار برای هر نسخه کپی). گرچه LayOPT و Factory Model گرانیقیمت‌تر هستند، اما قابلیت‌های بیشتری از اکثر بسته‌های نرم‌افزاری دیگر داشته و با FactoryOPT رقابت می‌کند. آنها از الگوریتم‌های مدرنی استفاده می‌کنند و بسیاری از قابلیت‌های FactoryFLOW را دارا می‌باشند. احتمالاً LayOPT و FactoryOPT نرم‌افزارهای اول در صنعت هستند چرا که از الگوریتم‌های بهینه‌سازی و رابط کاربر خوب و نیز سایر قابلیت‌های سودمند FactoryFLOW که در بالا بحث شد، برخوردارند.

۴-۶ مسائل چیدمان در سیستم‌های تولیدی مدرن

بحث ما در مورد مسأله چیدمان در این فصل و فصل قبلی بر سه فرض ضمنی یا صریح استوار بوده است:

۱- مسأله چیدمان دو بعدی است - یعنی تجهیزات در یک سطح دو بعدی چیده می‌شوند.

۲- اطلاعات مربوط به فعالیت‌های تولیدی آینده. شامل اینکه چه محصولاتی بر روی چه تجهیز تولیدی تولید خواهد شد در زمان اتخاذ تصمیمات طراحی تجهیز معلوم است.

۳- ترکیب و حجم محصول تقریباً ثابت است.

این فرضیات ممکن است در سیستم‌های تولیدی سنتی موجه باشند اما در سیستم‌های مدرن دیگر جایی ندارند.

بیاید ابتدا پیامدهای دو فرض آخر را در نظر بگیریم. چنانچه ترکیب و حجم محصول تقریباً ثابت بوده و اطلاعات فعالیت‌های تولیدی آینده در مرحله طراحی پیشاپیش معلوم باشد، ما در یک محیط تجاری با ثبات مشغول فعالیت هستیم. طراحی تجهیزى که به آن خواهیم رسید باید مدت زیادى - مثلاً پنج سال یا بیشتر - دوام داشته باشد. اما می‌دانیم که میزان زیادى تغییر و عدم قطعیت در فضای صنعت فعلی وجود دارد. کافی است تنها نگاهی به یک مجله، ژورنال یا روزنامه تجاری (مانند وال استریت ژورنال^۱ یا بیزینس ویک^۲) انداخته شود تا این عدم قطعیت دریافت شود. در حقیقت، Nicol و Hollier در مطالعات سال ۱۹۸۳ خود بر روی سیستم‌های تولیدی، خاطر نشان کرده‌اند که عمر مؤثر یک چیدمان - یعنی از زمان نصب آن چیدمان تا زمانی که حداقل یک سوم تجهیزات فرایند جایگزین شوند - دو سال است! Heragu and Kochhar (1994) ادعا می‌کنند که این طول عمر مؤثر در دهه گذشته باز هم - به مثلاً یک سال یا کمتر - کاهش یافته است. آنها این کاهش را به نرخ بالای نوآوری‌های فنی و نیز تغییرات متعدد طراحی و قابلیت‌های محصول که مشتری خواهان آن است، نسبت می‌دهند. به عنوان مثال، پیشرفت‌های چشمگیری در تکنولوژی مواد، فرایند و تکنولوژی تجهیزات فرایند رخ داده است. ترکیبات آلومینیومی که سبک‌تر بوده و مشخصات ساختاری بهتری دارد اکنون اساساً جای قطعات ساخته شده از آهن ریخته‌گری را گرفته‌اند (Fujine, Kaneko, and Okijima 1993). برش لیزر، سخت‌سازی پرتوالکترونی، و آهنگری نیمه جامد جای روش‌های سنتی شکل‌دهی و عملیات براده‌برداری را گرفته‌اند (American Machinist 1993). ماشین‌های با قدرت جذب لرزش بالا به همتهای پرکار خود در سیستم‌های سنتی (مانند پرس سوراخ‌کاری و ماشین فرز) ترجیح داده می‌شوند چرا که قابلیت‌های کاری آنها را دارند اما سبک‌تر بوده و به فونداسیون کم در دستری نیاز دارند (Heragu and Kochhar 1994).

به این ترتیب، تغییرات متعدد از یک چیدمان به چیدمان دیگر برای اعمال تغییرات متعدد خواست مشتری بر روی طراحی، کارکرد و مدل محصول به صورت به صرفه می‌تواند نه تنها محتمل بلکه حتی ضروری باشد.

به عقیده مؤلف طرح‌ریزی مجدد تجهیزات فعلی در سیستم‌های آینده نسبت به طرح‌ریزی تجهیزات جدید، فراگیرتر خواهد بود. گرچه هزینه جابجایی مواد در طرح‌ریزی چیدمان و نیز طرح‌ریزی مجدد آن فاکتور مهمی محسوب می‌شود. ولی هزینه دیگری که در مسئله طرح‌ریزی مجدد نمی‌توان از آن چشم‌پوشی کرد، هزینه تغییر مکان تجهیزات از مکان فعلی آنها به مکانی دیگر در چیدمان جدید است. این هزینه می‌تواند بسیار زیاد باشد و در مورد برخی ماشین‌ها ممکن است حتی هزینه‌های جابجایی مواد را تحت تأثیر قرار دهد. به بیان دیگر، گرچه ممکن است جابجایی یک تجهیز به مکانی جدید هزینه‌های جابجایی مواد بین این ماشین و سایر ماشین‌ها را کاهش دهد، هزینه بالای جابجایی فیزیکی می‌تواند این نقل مکان را غیرمجاز سازد.

برای مسأله طرح‌ریزی مجدد چیدمان، نرم‌افزاری به نام CRAFT-M - یک نسخه توسعه یافته کرافت - موجود است. CRAFT-M هزینه نقل مکان یک تجهیز از جای کنونی خود به جایی دیگر را نیز علاوه بر هزینه جابجایی مواد در نظر می‌گیرد (Hicks and Cowan 1976). این برای تعیین هزینه طرح‌ریزی مجدد چیدمان سودمند است چرا که هزینه‌های ثابت و متغیر نقل مکان تجهیزات را در نظر می‌گیرد. تعیین هزینه نقل مکان یک تجهیز نسبتاً مشکل است و نه تنها به هزینه واقعی نقل مکان (یعنی هزینه نیروی انسانی و نیز هزینه اجاره سایر وسایل لازم برای نقل مکان) بستگی دارد بلکه به هزینه ناشی از تولید محقق نشده نیز وابسته است.

در کتب و مقالات مسأله طرح‌ریزی مجدد چیدمان، مسأله چیدمان پویا نامیده می‌شود. گرچه بسیاری از محققان به این مسأله پرداخته‌اند، بسیاری از آنها بر این فرض استوارند (تلویحاً یا صراحتاً) که تغییرات ترکیب و حجم محصول در زمان اتخاذ تصمیم اولین طراحی معلوم است (به عنوان مثال Rosenblatt 1986؛ Urban 1993؛ Lacksonen 1994؛ Montreuil and Venkatadri 1991 را ببینید). Heragu and Kochhar (1994) بیان می‌کنند که این فرض ممکن است در محیط متغیر و غیرقطعی

که تغییرات ترکیب و حجم ممکن است تنها قبل از آغاز تولید اصلاح شده معلوم می‌گردد منطبق با واقعیت نباشد.

حال بیاید اولین فرضی را که قبلاً مطرح شد - که مسأله چیدمان دو بعدی است - را مورد بررسی مجدد قرار دهیم. این فرض معمولاً در یک سیستم تولیدی صحیح است اما در یک مسأله چیدمان دفتر کار که تجهیزات معمولاً در چندین طبقه جای می‌گیرند، صحت ندارد (1994) Heragu and Kochhar و نیز Bozer, Meller, and Erlebacher (1994) با بیان چندین دلیل و مثال، ادعا می‌کنند که حتی سیستم‌های تولیدی آینده نیز ممکن است مجبور به حل مسائل چیدمان سه بعدی باشند. چنانچه ماشین‌های سبکی که نیازمند فونداسیون دقیق نیستند در دسترس بوده، قیمت زمین بیش از حد بالا رفته و ساخت یک سالن تولید جدید همین‌طور ده بار بیشتر از نوسازی یک سالن فعلی هزینه بردارد. ممکن است تولید کنندگان مجبور به در نظر گرفتن توسعه در بعد عمودی شده و به این ترتیب مسأله چیدمان کارخانه دو بعدی به یک مسأله سه بعدی تبدیل شود. در نظر گرفتن بعد سوم (عمودی) پیچیدگی بیشتری را وارد مسأله پیشاپیش پیچیده چیدمان می‌کند. به‌عنوان مثال فاصله بین تجهیز واقع در دو طبقه مختلف ممکن است غیرخطی گردد. تعداد و مکان بالابرها ممکن است مسیرهای چندگانه‌ای بین دو تجهیز ایجاد کند پس هر مسیر باید بررسی شده و کوتاه‌ترین انتخاب شود (Johnson 1982). الگوریتم‌های بسیاری برای مسائل چند طبقه موجودند [به‌عنوان مثال BLOCPLAN (Donaghey and Pire 1991)، SPACECRAFT (Johnson 1982)، CRAFT 3-D (Cinar 1975)، MULTIPLE (Bozer, Meller, and Erlebacher 1994) و الگوریتم Foulds and Giffin 1984 را ببینید]. اکنون مختصراً برخی از اینها را مورد بحث قرار می‌دهیم.

ایده اصلی BLOCPLAN آن است که با یک مسأله چیدمان سه بعدی مانند چندین مسأله چیدمان دو بعدی برخورد شود. تعداد مسائل دو بعدی برابر تعداد طبقات چیدمان است. برای ایجاد یک چیدمان چند طبقه، BLOCPLAN ابتدا از کاربر می‌خواهد که تعداد طبقات را مشخص کند. سپس نرم‌افزار به لیست تجهیزات هر طبقه نیاز دارد. کاربر می‌تواند این لیست را از یک فایل BLOCPLAN احراز دهد که

به صورت اتوماتیک آن را ایجاد کند. فاکتور تفاوت مساحت^۱ (ADF) برای چیدمان چند طبقه با استفاده از فرمول ذیل محاسبه می‌شود:

$$ADF = \max \left[\frac{(A_{\max} - \bar{A})}{\bar{A}}, \frac{(\bar{A} - A_{\min})}{\bar{A}} \right] \quad (۳)$$

که $\bar{A}$ متوسط مساحت هر طبقه (که با تقسیم کل فضای مورد نیاز همه تجهیزات در همه طبقات به دست می‌آید) است و $A_{\max}$ و $A_{\min}$ به ترتیب مساحت‌های طبقاتی است که به کمترین و بیشترین فضا نیاز دارند. البته $A_{\max}$ و $A_{\min}$ به لیست تجهیزات هر طبقه و فضای مورد نیاز هر یک بستگی دارد. ADF محکی از حداکثر انحراف از مساحت طبقه ایده‌آل که از $\bar{A}$ به دست می‌آید، است.

به علاوه، BLOCPLAN معیار سنجش اثربخشی دیگری به نام امتیاز بخش^۲ (PS)، که نشان می‌دهد کدهای رابطه تا چه حد ارضا شده‌اند، را نیز به دست می‌دهد. در اینجا نرم افزار فرض می‌کند که تجهیزات طبقات متفاوت مجاور نیستند و امتیاز را با استفاده از فرمول بعدی محاسبه می‌کند. D_{ij} و R_{ij} در این فرمول به همان ترتیب تعریف شده در بخش ۶-۲-۳ هستند.

$$PS = \frac{\sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n R_{ij} D_{ij}}{\sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n R_{ij}} \quad (۴)$$

جفت تجهیزات با مقادیر عددی منفی در سیگمای منخرج معادله (۴) در نظر گرفته نمی‌شوند. کاربر گزینه ذخیره تخصیص تجهیزات یا تغییر آن را دارد.

پس از آنکه یک تخصیص تجهیزات رضایت بخش ذخیره شد، BLOCPLAN با هر طبقه مانند یک مسأله چیدمان جداگانه برخورد کرده و کد روابط و نیز فهرست تجهیزات روی طبقات مختلف را در فایلی جداگانه ذخیره می‌کند. سپس کاربر می‌تواند هر مسأله ذخیره شده را به عنوان یک مسأله چیدمان یک طبقه اجرا و حل کرده و

چیدمان‌های حاصله را برای رسیدن به یک چیدمان چند طبقه با هم ترکیب کند. مثال ذیل نشان می‌دهد که چگونه یک چیدمان چند طبقه می‌تواند توسط BLOCPLAN ایجاد شود.

مثال ۶

یک چیدمان چند سطری برای مسأله چیدمان مطرح شده در مثال ۵ توسعه دهید.

جواب. برای ایجاد یک چیدمان چند طبقه برای همان مسأله ما گزینه ۴ در صفحه نمایش ۵ را استفاده می‌کنیم. وقتی که چنین انتخابی می‌کنیم، از ما خواسته می‌شود که تعداد طبقات را مشخص کنیم و سپس صفحه نمایش چیدمان چند طبقه (صفحه نمایش ۱۷) ظاهر می‌شود. این انتخاب را خواهیم داشت که تصمیم بگیریم که واحدهای قرار گرفته روی هر طبقه کدامند و یا اجازه دهیم BLOCPLAN این فهرست را تهیه کند. برای این مسأله ما توانستیم با تعیین دستی طبقه هر واحد به ترتیب نشان داده شده در صفحه نمایش ۱۸، به چیدمان‌های صفحات نمایش ۱۹ و ۲۰ برسیم. پس از آنکه بخش‌بندی‌ها مشخص شدند، BLOCPLAN از کدهای رابطه و مساحت‌های تجهیزات مسأله اولیه استفاده می‌کند تا به تعداد طبقات چیدمان مسأله جدید نماید. این مثال دو طبقه دارد؛ پس دو مسأله چیدمان ذخیره شدند. هر یک از این فایل‌های ذخیره شده می‌تواند برای تولید چیدمان هر طبقه با استفاده از گزینه یک طبقه صفحه نمایش ۵ مورد استفاده قرار گیرد. در حقیقت، چیدمان‌های صفحات نمایش ۱۹ و ۲۰ به این ترتیب حاصل شده‌اند. علاوه بر بخش‌های دستی نشان داده شده در صفحه نمایش ۱۸ ما بخش‌های دستی دیگری نیز برای رسیدن به چیدمان‌های چند طبقه دیگر، ارائه کردیم. امتیازهای ADF مطلوب و واقعی برای این چیدمان (بخش)ها به همراه امتیازهای PS برای چیدمان‌ها در صفحه نمایش ۲۱ ارائه شده‌اند.

حداقل سه بسته نرم‌افزاری دیگر علاوه بر BLOCPLAN برای چیدمان چند طبقه وجود دارند که همه توسعه‌ی کرافت هستند. SPACECRAFT یک نسخه سه بعدی کرافت است که چیدمان تجهیزات در یک ساختمان چند طبقه را تعیین می‌کند. این نسخه قابلیت‌های اضافی زیادی دارد چرا که مسأله سه بعدی ملاحظات اضافی‌ای را

طلب می‌کند. SPACECRAFT شبیه نسخه سه بعدی دیگر کرافت، CRAFT-3D است. جزئیات کامل CRAFT-3D به گفته (Bozer, Meller, and Erlebacher 1994) در (Cinar 1975) یا هیچ منبع دیگری موجود نیست.

(Bozer, Meller, and Erlebacher 1994) MULTIPLE احتمالاً بهترین بسته نرم‌افزاری چیدمان چند طبقه‌ای است که امروزه موجود است. این نرم‌افزار نه تنها سریع است بلکه جواب‌های با کیفیتی نیز تولید می‌کند. برای نمایش یک چیدمان این نرم‌افزار از منحنی‌های پرکننده فضا^۱ که به ما امکان کنترل شکل‌های واحدهای با مساحت غیرمساوی را می‌دهد، استفاده می‌کند. این منحنی‌ها اجازه می‌دهند که موقعیت تجهیزات به سادگی و به طریقی بسیار قوی‌تر از تبادل دو یا سه طرفه، با هم عوض شود. منحنی‌های پرکننده فضا همچنین برای حل مسائل برداشت سفارش^۲ و فروشنده دوره‌گرد مورد استفاده قرار گرفته‌اند. جهت جزئیات بیشتر در مورد کاربرد MULTIPLE برای مساله چیدمان چند طبقه به (Bozer, Meller, and Erlebacher 1994) رجوع کنید.

خلاصه

در این فصل چندین الگوریتم ابتکاری برای حل مساله چیدمان به همراه دسته‌های مختلف الگوریتم‌های ابتکاری و حداقل یک بسته نرم‌افزاری متعلق به هر دسته را ارائه نمودیم. الگوریتم‌های ابتکاری و بسته‌های نرم‌افزاری معرفی شده در این فصل یا موارد استفاده زیادی دارند و یا در حل مساله چیدمان بسیار اثربخش عمل می‌کنند. بسیاری از الگوریتم‌های ابتکاری مطرح شده الگوریتم‌های تعویض دوتایی، دوتایی حریصانه و سه تایی می‌توانند برای حل مسائل پیچیده دیگر چون فروشنده دوره‌گرد و مسیریابی وسایل نقلیه نیز به کار روند. دیسک ضمیمه، برنامه‌های کامپیوتری برای چندین عدد از الگوریتم‌های بحث شده در این فصل را ارائه می‌دهد.

همچنین، برخی مسائل چیدمان که باید در سیستم‌های تولید مدرن مطرح شوند را مورد بحث قرار دادیم. بسته‌های نرم‌افزاری که می‌توانند چیدمان‌های سه بعدی را

مدیریت کنند نیز مورد بحث قرار گرفتند. احتمالاً بر خواننده آشکار است که با قرار دادن تعداد طبقات برابر یک، می‌توانیم از بسته‌های نرم‌افزاری چند طبقه برای چیدمان دو بعدی استفاده کنیم. در حقیقت با این روش CRAFT-3D و SPACECRAFT مشابه کرافت می‌گردند. البته این امر در مورد MULTIPLE صحت ندارد چرا که آن از منحنی‌های پرکننده فضا برای ایجاد چیدمان استفاده می‌کند و همین برتری آن بر کرافت را نشان داده است.

سوالات دوره‌ای و تمرینات

۱- چرا جواب یک مسأله چیدمان به‌دست آمده با استفاده از یک الگوریتم ابتکاری یا بهینه‌سازی معمولاً بدون برخی اصلاحات، قابل پیاده‌سازی نیست؟

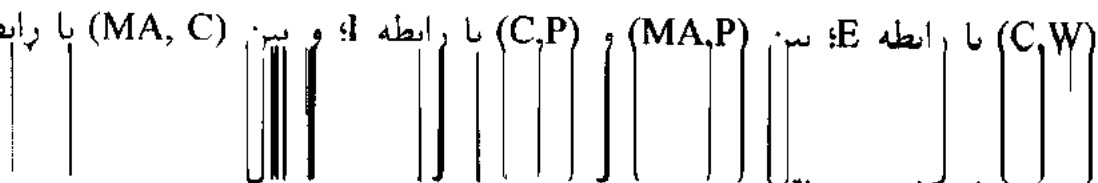
۲- اگر جواب به‌دست آمده از یک الگوریتم مستقیماً قابل پیاده‌سازی نیست، آیا مطالعه آن الگوریتم ارزش صرف زمان را دارد؟ چرا؟

۳- مزایا و معایب الگوریتم‌های ساخت؟، اصلاح؟ و هیبرید؟ را شرح دهید.

۴- یک چیدمان یک سطری برای تمرین ۶ فصل ۵، با استفاده از الگوریتم MST طراحی کنید.

۵- یک چیدمان یک سطری برای تمرین ۷ فصل ۵، با استفاده از الگوریتم MST طراحی کنید.

۶- در یکی از بخش‌های یک شرکت تولیدی در شمال شرق، پنج ایستگاه کاری وجود دارد: عملیات حرارتی (HT)، رنگ (P)، جوشکاری (W)، محوطه ماشین‌کاری عمومی (MA) و خنک‌سازی (C)، روابط متقابل بین جفت ایستگاه‌های کاری (MA, W) و (C, W) با رابطه E؛ بین (MA, P) و (C, P) با رابطه I؛ و بین (MA, C) با رابطه O به



بهترین نحو مشخص می‌شود. همه باقیمانده جفت‌ها به جز (HT, C) و (P, W) رابطه‌ی

U دارند. در حالیکه ایستگاه‌های کاری HT و C باید به دلیل ملاحظات فنی کار هم واقع شوند، P و W به دلایل ایمنی نباید مجاور هم باشند. یک نمودار روابط برای پنج ایستگاه کاری تشکیل دهید. با واریسی (این جدول) یک راه‌حل برای این مساله پیدا کنید. از اطلاعات تمرین ۷ استفاده کنید.

۷- برای تمرین ۶ فرض کنید که مساحت تجهیزات مطابق جدول ذیل است و مقادیر عددی که کاربر به A و E و I و O و U و X نسبت داده است به ترتیب برابر ۶۴ و ۳۲ و ۱۶ و ۸ و ۴ و ۲ است. با استفاده از روش مورد استفاده کورلپ چیدمانی طرح‌ریزی کنید. جواب کورلپ را با جواب تمرین ۶ مقایسه نمایید.

ایستگاه کاری	مساحت (فوت مربع)
HT	۱۸۰۰۰
P	۶۰۰۰
W	۶۰۰۰
MA	۱۲۰۰۰
C	۱۲۰۰۰

۸- تفاوت بین الگوریتم‌های 2-opt و 2-opt حریصانه را شرح دهید. چرا دومی "حریصانه" نامیده می‌شود؟

۹- با استفاده از الگوریتم‌های 2-opt، 2-opt حریصانه و 3-opt چیدمانی برای تمرین ۹ فصل ۵ طرح‌ریزی کنید. کدام الگوریتم بهترین جواب را به دست می‌دهد؟

۱۰- با استفاده از الگوریتم‌های 2-opt، 2-opt حریصانه و 3-opt چیدمانی برای تمرین ۱۰ فصل ۵ طرح‌ریزی کنید. کدام الگوریتم بهترین جواب را به دست می‌دهد؟

۱۱- در مثال ۱ با استفاده از MST جوابی برای مساله چیدمان یک سطری به دست آمد. در صورت امکان الگوریتم 2-opt را برای بهبود جواب به کار برید. OFV جدید چیست؟

۱۲- در مثال ۱ با استفاده از MST جوابی برای مسأله چیدمان یک سطری به‌دست آمد. در صورت امکان الگوریتم 2-opt حریص را برای بهبود جواب به کار برید. OFV جدید چیست؟ آن را با مقدار به‌دست آمده در تمرین ۱۱ مقایسه کنید.

۱۳- تعداد چیدمان‌های ارزیابی شده در هر گذر^۱ گام ۲ در الگوریتم‌های 2-opt و 3-opt برای مسأله چیدمانی با شش تجهیز را محاسبه کنید. چند چیدمان (باز هم در هر گذر گام ۲ هر دو الگوریتم) برای مسأله‌ای با ده تجهیز مورد ارزیابی قرار می‌گیرد؟ توضیح دهید که چرا تعداد چیدمان‌های مورد ارزیابی برای این دو اندازه مسأله، تا این حد افزایش نشان می‌دهد.

۱۴- نمودار جریان^۲ برای نشان دادن نحوه کار کرافت رسم کنید.

۱۵- تمرین ۱۹ فصل ۵ را در نظر بگیرید. فرض کنید که فضای خالی فاصله بین ماشین‌ها در ابعاد افقی و عمودی برابر صفر است، از رویه کرافت برای تولید یک جواب استفاده کنید. چیدمان اولیه را به‌صورت تصادفی انتخاب کنید. پس از یافتن دو چیدمان بهبود یافته برای چیدمان اولیه متوقف شوید.

۱۶- فایل ورودی‌ای که برای کرافت قابل خواندن باشد برای تمرین ۱۵ تهیه کنید. چنانچه کرافت در دسترس است، چیدمانی با استفاده از این فایل ورودی ایجاد کنید.

۱۷- در مثال ۱ جوابی برای مسأله چیدمان یک سطری با استفاده از MST به‌دست آمد. در صورت امکان، جواب به‌دست آمده را با به کارگیری الگوریتم کرافت بهبود دهید. OFV جدید چیست؟ آن را با مقدار مثال و نیز تمرین‌های ۱۱ و ۱۲ مقایسه کنید.

۱۸- سه بسته نرم‌افزاری چیدمان را که در دسترس دارید ارزیابی کنید.

۱۹- چیدمانی برای مساله مطرح شده در مثال ۴، با استفاده از الگوریتم جستجوی اتوماتیک تهیه کنید. آیا جواب با جواب مثال ۴ متفاوت است؟ چرا؟ (اطلاعات مربوط به تجهیزات ۱۹ و ۲۰ را کنار بگذارید چرا که BLOCPLAN حداکثر تا ۱۸ تجهیز را می‌تواند مدیریت کند)

۲۰- چیدمانی برای مساله مطرح شده در مثال ۲ با استفاده از الگوریتم چیدمان تصادفی BLOCPLAN طرح‌ریزی کنید. چیدمان خود را با چیدمان شکل ۶-۶ مقایسه کنید.

۲۱- مثال LonBank مطرح شده در مثال ۲ فصل ۵ را در نظر بگیرید. چیدمانی با استفاده از الگوریتم اصلاح BLOCPLAN تهیه کنید. انجام جابجایی‌ها را تا رسیدن به جواب بهینه نشان داده شده در شکل ۶-۱۲ ادامه دهید.

۲۲- مساله LonBank را با استفاده از الگوریتم 3-opt (به‌صورت دستی) حل کنید.

۲۳- چیدمان چهار تجهیز نشان داده شده در شکل ۶-۱۳ را در نظر بگیرید. با استفاده از اطلاعات مختصات آمده در توضیح شکل ۶-۱۳، فایل ورودی‌ای برای قابل حل بودن مساله توسط کرافت تهیه کنید. چنانچه کرافت در دسترس است، چیدمانی با استفاده از این فایل ورودی طرح‌ریزی کنید.

۲۴- با استفاده از BLOCPLAN چیدمان نزدیک به بهینه‌ای برای مساله مطرح شده در تمرین ۷ تهیه کنید.

۲۵- چیدمان دفتر کار آژانس املاک، شرح داده شده در تمرین ۸ فصل ۳ را در نظر بگیرید. با استفاده از BLOCPLAN چیدمان نزدیک به بهینه‌ای برای آن طرح‌ریزی کنید.

۲۶- چیدمان نزدیک به بهینه‌ای با استفاده از BLOCPLAN برای داده‌های ارائه شده در تمرین ۶ فصل ۴ تدوین کنید.

۲۷- تمرین ۲۶ را برای داده‌های ارائه شده در این تمرینات فصل ۴ تکرار کنید:

الف. تمرین ۷

ب. تمرین ۸

ج. تمرین ۹

د. تمرین ۱۰

جواب BLOCPLAN را با جواب SLP به دست آمده در فصل ۴ مقایسه کنید.

۲۸- مسیرهای "محصول" تمرین ۶ فصل ۵ را در نظر بگیرید. با فرض آنکه چهار مرحله آماده‌سازی به فضای مساوی نیاز دارند، یک چیدمان "خوب" (نه لزوماً یک چیدمان یک سطری" با استفاده از BLOCPLAN طراحی کنید. (مقادیر جریان را محاسبه نکنید. به جای آن از قابلیت "مسیر تولید"^۱ در این سؤال استفاده کنید)

۲۹- تمرین ۱۹ فصل ۵ را در نظر بگیرید. با استفاده از BLOCPLAN چیدمانی طرح‌ریزی کنید.

۳۰- با استفاده از BLOCPLAN چیدمانی برای داده‌های تمرین ۲۴ فصل ۵ تدوین کنید.

الگوریتم‌های پیشرفته برای مسائل چیدمان

۷-۱ مقدمه

در فصل ۶ درباره چندین الگوریتم ابتکاری برای مسئله چیدمان صحبت کردیم. اکنون دو الگوریتم بهینه و الگوریتم‌های ابتکاری دیگری را معرفی می‌کنیم. الگوریتم‌های ابتکاری - به خصوص الگوریتم‌های شبیه سازی تبرید^۱، ژنتیک و جستجوی تابو^۲ - ابزارهای جدید و قدرتمندی هستند که به طور موفقیت‌آمیزی در مسائل دیگر نیز به کار برده شده‌اند (به عنوان مثال در مسئله فروشنده دوره گرد و مسئله افراز در گراف‌ها).

۷-۲ الگوریتم‌های بهینه

همان‌طور که در فصل ۱ بحث شد، الگوریتم‌های بهینه همواره بهترین جواب را برای یک مسئله مفروض (یا حداقل یک جواب بهینه، وقتی که چندین جواب بهینه وجود دارد) ارائه می‌کنند. الگوریتم‌های ابتکاری (یا به اختصار ابتکاری‌ها) جوابی برای مسئله ارائه می‌دهند ولی تضمین نمی‌کنند که بهترین جواب باشد. یک الگوریتم ابتکاری خوب معمولاً برای بیشتر مسائل کوچک، بهترین جواب را تولید می‌کند.

چنین تعریفی از این دو نوع الگوریتم (بهینه و ابتکاری)، در ذهن این سوال را بوجود می‌آورد که اگر الگوریتم‌های بهینه بهترین جواب را تولید می‌کنند و الگوریتم‌های ابتکاری نمی‌توانند این کار را بکنند، چرا ما اصلاً الگوریتم‌های ابتکاری را بررسی می‌کنیم؟ بحث NP کامل را در مورد مسئله چیدمان در فصل یک به خاطر بیاورید. از آنجایی که مدل‌های چیدمان، NP کامل هستند، الگوریتم‌های بهینه تنها برای مسائلی با اندازه کوچک می‌توانند جواب‌های بهینه تولید کنند - مسائلی که در آنها ۲۰ تسهیلات یا کمتر وجود دارد. برای مسائل بزرگتر، زمان اجرای کامپیوتر، آن‌چنان طولانی است که استفاده از این الگوریتم‌ها برای حل مسائل دنیای واقعی، واقع‌بینانه نیست. زمان اجرای کامپیوتری برخی از الگوریتم‌های بهینه سال‌ها طول می‌کشد! این امر سوال مشابهی را در ذهن ایجاد می‌کند: اگر الگوریتم‌های بهینه را نمی‌توان در عمل به‌کار گرفت، چرا باید آنها را مورد بررسی قرار داد؟ پاسخ این سوال در بینشی است که الگوریتم‌های بهینه به ما می‌دهند.

برای مثال، یک الگوریتم بهینه ممکن است مشخص کند که جواب بهینه، خاصیت یا ساختار به‌خصوصی را دارا است و از این اطلاعات بتوان برای توسعه یک الگوریتم ابتکاری خوب استفاده کرد. پس از اینکه مسئله چیدمان به‌صورت یک مسئله تخصیص نمایی فرمول‌بندی شد، تحقیقات بسیار زیادی انجام شد تا الگوریتم‌های بهینه‌ای برای حل این مدل ایجاد شود. این الگوریتم‌های بهینه را می‌توان به سه رده ذیل تقسیم کرد:

- الگوریتم شاخه‌وحد
- الگوریتم تجزیه
- الگوریتم برش

یک نوع از الگوریتم‌های شاخه‌وحد و تجزیه در این فصل توضیح داده می‌شوند. توجه کنید که هنگامی که از الگوریتم‌های بهینه صحبت می‌کنیم، جزئیات کافی برای قانع کردن خواننده در این مورد که این الگوریتم‌ها همیشه بهترین جواب را به‌دست می‌دهند، ارائه نمی‌دهیم. ما گام‌هایی را که این الگوریتم شامل می‌شود، فهرست می‌کنیم

و حواشی علاقمند برای آنباب اینکه این الگوریتم‌ها بهینه هستند، باید با کتاب‌های مربوطه مراجعه کنند.

۷-۲-۱ الگوریتم شاخه وحد

الگوریتم شاخه وحدی که در اینجا مطرح می‌شود، توسط (1962) Gilmore و Lawler (1963) به‌طور جداگانه توسعه یافته‌است. این الگوریتم، مسائل تخصیص نمایی شرح داده شده در فصل ۵ را حل می‌کند. برای توصیف این الگوریتم، باید معنی سه اصطلاح را توضیح دهیم، "تخصیص"، "تخصیص جزئی" و "تخصیص کامل". در مسئله چیدمان تسهیلات که در آن n واحد را باید به n مکان مفروض تخصیص داد، اصطلاح "تخصیص" به معنای مرتبط کردن هر واحد به یک مکان مشخص و برعکس است. یک "تخصیص جزئی" تخصیصی است که در آن زیرمجموعه‌ای از n واحد به زیرمجموعه‌ای هم‌اندازه با آن از مکان‌ها مربوط می‌شود و برعکس؛ در یک "تخصیص کامل" تمام n واحد به n مکان مربوط می‌شوند و برعکس. تخصیص کاملی که از یک تخصیص جزئی به‌دست می‌آید، نباید آن تخصیص جزئی را نقض کند بلکه باید "رشد یافته" از آن باشد. بنابراین اگر در یک تخصیص جزئی، تسهیلات ۱، ۳، ۴ در مکان‌های ۲، ۴ و ۵ قرار گرفته باشند، آنگاه تخصیص تسهیلات ۱، ۲، ۳، ۴ و ۵ به ترتیب به مکان‌های ۲، ۳، ۴، ۵ و ۱، یک تخصیص کامل است که از این تخصیص جزئی به‌دست آمده، در حالی که تخصیص تسهیلات ۱، ۲، ۳، ۴ و ۵ به مکان‌های ۲، ۳، ۴، ۵ و ۱ چنین نیست. ما الگوریتم بهینه را با محاسبه کران پائین LB^* برای مقدار تابع هدف بهینه آغاز می‌کنیم. با داشتن ماتریس‌های جریان و فاصله، $[f_{ij}]$ و $[d_{ij}]$ ، ماتریس جدید $[w_{ij}]$ را در نظر می‌گیریم که هر عنصر w_{ij} آن برابر است با حاصل ضرب نقطه‌ای دو بردار $[f_i]$ و $[d_j]$: $[f_i]$ برداری است که با کنار گذاشتن عنصر f_{ii} در سطر i ام ماتریس $[f_{ij}]$ و دوباره مرتب کردن سایر عناصر این سطر به ترتیب غیر صعودی به‌دست می‌آید. به همین ترتیب $[d_j]$ با حذف عنصر d_{jj} از سطر j ام ماتریس $[d_{ij}]$ و مرتب کردن باقی عناصر این سطر به ترتیب غیر نزولی نتیجه می‌شود.

کران پایین برای مقدار تابع هدف بهینه-یعنی LB^* - با حل مسئله تخصیص خطی به‌دست می‌آید که ماتریس هزینه آن، ماتریس $[w_{ij}]$ است. اثبات اینکه این مقدار واقعاً یک کران پایین است (به این معنی که جواب دیگری با مقدار تابع هدف کمتر از LB^* وجود ندارد) کار دشواری نیست. اما این کار بدون داشتن اطلاعات ریاضی بیشتر ناممکن است.

برای اینکه عبارات ریاضی به کار رفته در این فصل را به حداقل برسانیم، این را که جواب مسئله تخصیص خطی، یک کران پائین است، اثبات نمی‌کنیم. خواننده مشتاق را به مطالعه توسط Gilmore (1962) و Lawler (1963) ارجاع می‌دهیم (هشدار قبلی ما را در این مورد که توضیحات ما کاملاً قانع‌کننده نخواهد بود، بخاطر بیاورید).

اکنون یک توجیه شهودی ارائه می‌دهیم برای اینکه چرا با محاسبه عنصر w_{ij} از طریق مرتب‌کردن $[f_i]$ و $[d_j]$ به ترتیب به صورت غیر صعودی و غیر نزولی و پیدا کردن حاصل ضرب نقطه‌ای آنها و سپس حل کردن مسئله تخصیص خطی^۱ (LAP) با ماتریس هزینه $[w_{ij}]$ ، یک کران پایین برای مقدار تابع هدف در مسئله تخصیص نمایی^۲ (QAP) به دست می‌آوریم. توجه کنید که با محاسبه هر عنصر w_{ij} از ماتریس $[w_{ij}]$ ، به هر واحد اجازه داده‌ایم تا بهترین مکان ممکن را اشغال کند. به عبارت دیگر، با تعیین w_{ij} ممکن است به واحد i اجازه داده باشیم تا مکان j را اشغال کند، اما در محاسبه w_{kl} ممکن است به همان واحد i اجازه داده باشیم تا مکان l را اشغال کند. بنابراین مقدار تابع هدفی که با حل مسئله تخصیص خطی با ماتریس هزینه $[w_{ij}]$ به دست می‌آید ممکن است کمتر از هزینه واقعی تحمیل شده از طرف چیدمان مربوط به آن باشد. در بهترین حالت، مقدار تابع هدف مساوی هزینه چیدمان مربوطه می‌شود. برای فهم بهتر این مسئله، فرض کنید که بردارهای جریان و فاصله‌ای که مربوط به سطر اول ماتریس جریان $[f_{ij}]$ و ماتریس فاصله $[d_{ij}]$ هستند به ترتیب $[0, 4, 1, 3]$ و $[3, 2, 1, 0]$ باشند، حاصل ضرب نقطه‌ای دو بردار (که با حذف f_{11} و d_{11} و مرتب‌کردن بردار اول به صورت غیر صعودی و بردار دوم به ترتیب غیر نزولی به دست می‌آید) برابر با ۱۳ است. توجه کنید که لازم نبود تا عناصر دو بردار را دوباره مرتب‌کنیم. اگر هر عنصر w_{ij} را بتوان بدون دوباره مرتب‌کردن عناصر در بردارهای مربوطه به دست آورد (یعنی بردارهای سطری اولیه $[f_{ij}]$ و $[d_{ij}]$ از پیش مرتب شده باشند)، آنگاه مقدار تابع هدف مسئله تخصیص خطی برابر با هزینه حمل و نقل مواد یک جواب قابل قبول می‌شود. اما در حالت کلی، داده‌های جریان و فاصله از پیش مرتب شده نیستند، بنابراین کران پایین

(مقدار تابع هدف مسئله تخصیص خطی) به دست آمده معمولاً برابر با هزینه یک جواب قابل قبول نیست.

اگر ماتریس‌های جریان و فاصله، متقارن فرض شده باشند (یعنی، جریان از واحد i به j برابر با جریان در جهت مخالف باشد، و فاصله مکان i تا j برابر با فاصله از مکان j تا i باشد)، آنگاه کافی است تنها با ماتریس بالا (یا پایین) مثلثی کار کنیم و مقدار تابع هدف مسئله تخصیص نمایی (QAP) را می‌توان با عبارت ذیل مساوی گرفت:

$$\sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n \sum_{k=1}^{n-1} \sum_{l=k+1}^n f_{ij} d_{kl} x_{ik} x_{jl} \quad (1)$$

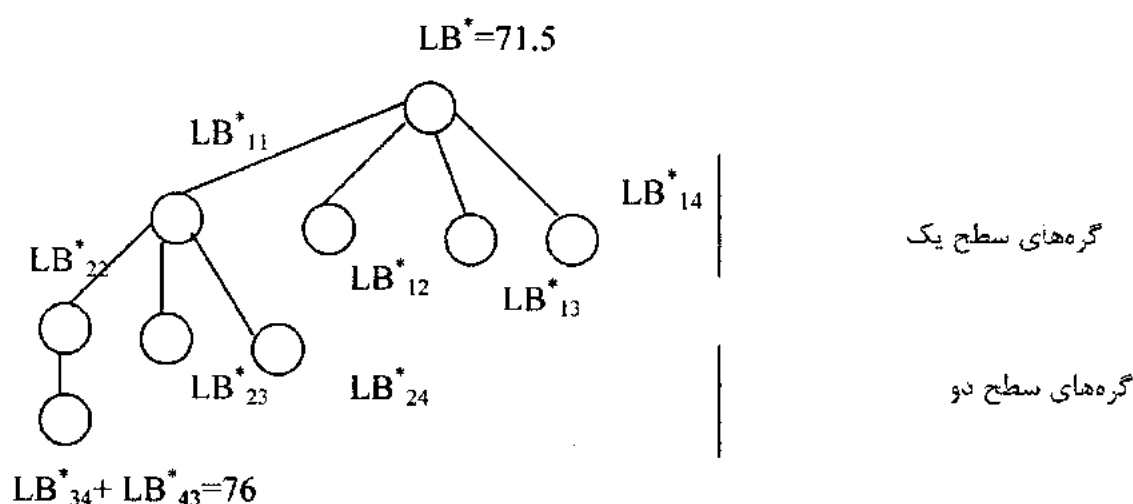
بیاد آورید که x_{ik} و x_{jl} برابر واحد هستند اگر به ترتیب واحد i در مکان k و واحد j در مکان l باشد و در غیر این صورت آنها صفر می‌باشند. مقایسه‌ای بین تابع هدف مسئله تخصیص نمایی در فصل ۵ و عبارت (۱)، نشان می‌دهد که مقدار تابع هدف داده شده در عبارت (۱) برابر با نصف مقدار تابع هدف مسئله تخصیص نمایی است. این امر تنها برای مسائل با ماتریس‌های جریان و فاصله متقارن درست است. بدیهی است که کران پایین مسئله تخصیص نمایی که مقدار تابع هدفش از طریق عبارت (۱) محاسبه می‌شود، برابر با $(1/2)LB^*$ است که LB^* طبق روالی که قبلاً توضیح داده شد محاسبه می‌شود.

یک کران پایین یا بالای محکم^۱، به کرانی اطلاق می‌شود که تا آنجا که ممکن است به مقدار تابع هدف بهینه نزدیک باشد. اگر جواب قابل قبولی شناخته شده باشد، کران بالا (UB^*) را می‌توان با مقدار تابع هدف آن جواب برابر گرفت. به این ترتیب، هر چه جواب اولیه بهتر باشد، کران بالا محکم‌تر خواهد بود. در این مرحله می‌توانیم از یکی از الگوریتم‌های ابتکاری توضیح داده شده در فصل ۶ و همچنین در ادامه این فصل، استفاده کنیم و یک کران بالای محکم را تعیین کنیم (البته، اگر کاربر نسبت به پیدا کردن جواب بی‌علاقه باشد، کران بالا را می‌توان بینهایت قرار داد). اگر LB^* با UB^* برابر باشد، آنگاه جواب اولیه بهینه است و الگوریتم خاتمه می‌یابد. اما از آنجایی که این امر معمولاً اتفاق نمی‌افتد، به خصوص وقتی که اندازه مسئله بزرگتر می‌شود، حالتی که LB^*

با UB^* برابر نیست را بررسی می‌کنیم. برای اینکه حساب محاسبات مختلف را داشته باشیم، بهتر است گرافی رسم کنیم که در آن، گره‌ها (یا راس‌هایش) متناسب با یک مجموعه یا زیرمجموعه‌ای از جواب‌ها باشد و کمان‌ها (یا لبه‌هایش) ترتیب و توالی‌ای که الگوریتم از یک مجموعه یا زیرمجموعه به دیگری می‌رود را مشخص کند. گرافی با گره‌ها و کمان‌هایش در شکل ۷-۱ نشان داده شده‌است. مجموعه اولیه شامل تمام جواب‌هایی که کران پایین‌شان معلوم است (LB^*) به صورت بالاترین گره یا گره ریشه‌ای در شکل نشان داده شده‌است. محاسبه LB^* را می‌توان به عنوان مرحله اول در یک الگوریتم سه مرحله‌ای به حساب آورد.

(مقادیر عددی در شکل ۷-۱ متناسب با مقادیری است که از حل مثال ۱ در ادامه این قسمت به دست می‌آید).

سپس این الگوریتم، کران پایین LB^*_{11} را برای یک تخصیص جزئی که در آن، واحد ۱ (بدون از دست رفتن کلیت مسئله) به یک مکان مثلاً مکان ۱ تخصیص داده می‌شود،



شکل ۷-۱. نمایش الگوریتم شاخه و حد

محاسبه می‌کند. مرحله دوم الگوریتم شاخه و حد بر ملاحظات ساده ذیل استوار است: با فرض وجود یک تخصیص جزئی که در آن زیرمجموعه مشخصی از n واحد مانند $S = \{1, 2, \dots, 9\}$ به زیرمجموعه‌ای از n مکان مانند $L = \{s_1, s_2, \dots, s_q\}$ تخصیص داده

می‌شود، بدیهی است که تابع هدف بهینه برای یک تخصیص کامل برابر با مجموع

حاصل ضرب‌های جریان و فاصله است که برای سه رده ذیل از تسهیلات محاسبه می‌شوند:

جفت تسهیلات i و j به‌طوری که $i, j \in S$

جفت تسهیلات i و j به‌طوری که $i \in S, j \notin S$

جفت تسهیلات i و j به‌طوری که $i, j \notin S$

رده ۱ برای تخصیص جزئی مفروض، یک مقدار ثابت است. k^* را برابر هزینه تخصیص جزئی در نظر می‌گیریم. که برابر است با مجموع حاصل ضرب جریان و فاصله محاسبه شده، فقط برای تسهیلاتی که در S و مکان‌هایی که در L هستند.

این الگوریتم، یک مسئله تخصیص خطی با ماتریس هزینه را حل می‌کند تا یک کران پایین در مورد رده‌های (۲) و (۳) به‌دست آورد. حل مسئله تخصیص خطی برای یک ماتریس هزینه داده شده با استفاده از الگوریتم بهینه کارآمدی به نام روش مجارستانی که در اکثر کتاب‌های درسی تحقیق در عملیات مقدماتی (مثل (1994) Winston) یافت می‌شود، کار ساده‌ای است.

آنچه توضیحش، ولی نه فهمیدنش، دشوار است، محاسبه ماتریس هزینه است. الگوریتم بهینه بردارهای $[f_i]$ و $[d_j]$ را دقیقاً همان‌طور که پیش‌تر توضیح داده شد، تشکیل می‌دهد، (یعنی با حذف درایه f_{ij} از سطر i ام در ماتریس جریان $[f_{ij}]$ و مرتب‌کردن بقیه درایه‌های آن سطر به‌ترتیب غیرصعودی، و به‌طور مشابه حذف درایه d_{ij} از سطر i ام ماتریس فاصله $[d_{ij}]$ و مرتب‌کردن بقیه درایه‌های آن سطر به‌ترتیب غیرنزولی).

این کار تنها برای آن دسته از تسهیلات و مکان‌هایی انجام می‌شود که به‌ترتیب در S و L نیستند، همان‌طور که پیش‌تر گفته شد، S و L تخصیص‌های جزئی را مشخص می‌کنند که در آن‌ها هر واحد در S به یک مکان خاص در L تخصیص داده می‌شود و برعکس.

ماتریس $[w'_{ij}]$ را که در آن هر درایه به‌ترتیب ذیل به‌دست می‌آید در نظر بگیرید:

$$\sum_{k=1}^q f_{ik} d_{js_k} \quad (2)$$

که در آن $k \in S, i \notin S, s_k \in L, j \notin L$ از آنجایی که i و j به ترتیب در S و L نیستند، واضح است که ماتریس $[w'_{ij}]$ $n-q$ ردیف و $n-q$ ستون دارد. اکنون ماتریس $[w''_{ij}]$ را طوری در نظر بگیرید که در آن هر عنصر w''_{ij} برابر باشد با نصف حاصل ضرب نقطه‌ای f_i و d_j تنها برای i و j هایی که به ترتیب در S و L نیستند (با فرض اینکه ماتریس‌های جریان و فاصله متقارن‌اند). این ماتریس نیز $n-q$ ردیف و $n-q$ ستون دارد. اگر عناصر w'_{ij} و w''_{ij} را با هم جمع کرده، در ماتریس جدیدی مثل $[w_{ij}]$ قرار دهیم، و یک مسئله تخصیص خطی را با این ماتریس به عنوان ماتریس هزینه حل کنیم، آنگاه جواب‌هایی که به دست می‌آوریم، یک کران پایین برای رده‌های (۲) و (۳) فوق‌الذکر فراهم می‌کنند. همچنین، اگر k^* به مقدار تابع هدف جواب مربوط به این مسئله تخصیص خطی، اضافه گردد، یک کران پایین LB^*_{11} برای تمامی جواب‌هایی که در آنها واحد ۱ به مکان ۱ نسبت داده می‌شود، به دست می‌آید (برای اثبات اینکه این مقدار یک کران پایین است به Francis and White (1974) و Gilmore (1962) مراجعه کنید. اگر توانستید ثابت کنید که LB^* یک کران پایین برای تمامی جواب‌ها است، سعی کنید تا اثبات کنید که LB^*_{11} یک کران پایین برای همه جواب‌هایی است که در آن، واحد ۱ به مکان ۱ تخصیص داده شده است). به همین صورت می‌توانیم کران‌های پایین $LB^*_{12}, LB^*_{13}, \dots, LB^*_{1n}$ را محاسبه کنیم که کران‌های پایین حالاتی هستند که واحد ۱ به ترتیب به مکان ۲، مکان ۳، ... و مکان n تخصیص داده می‌شود. هر زیرمجموعه از جواب‌ها در شکل ۷-۱، به صورت یک گره از گره‌های سطح اول نشان داده شده است.

در شکل ۷-۱، n برابر با ۴ است. دوباره اگر جواب اولیه "خوبی" یافت شود، کران بالای UB^* را می‌توان برابر با مقدار تابع هدف آن قرار داد، اگر LB^*_{1j} ای بزرگتر از این UB^* باشد، درخت را می‌توان از گره مربوط به آن LB^*_{1j} هرس کرد^۱ یا "به بدتر رساند"^۲. به عبارت دیگر، لازم نیست که همه تخصیص‌های کامل به دست آمده از تخصیص جزئی که در آن، واحد ۱ به مکان j تخصیص داده می‌شوند، امتحان شوند. همه جواب‌های ممکن به طور غیرمستقیم و ضمنی و نه مستقیم بررسی می‌شوند. این

نوع شمارش را شمارش کنترل شده (Pierce and Crowston 1971) می‌نامند. اگر هیچ حد و کرانی برای هرس کردن درخت تصمیم در نظر گرفته نمی‌شد، این رویه منجر به یک الگوریتم شمارش کامل می‌شد که از نظر محاسباتی کارآمد نبود.

برای آسان کردن بحث درباره الگوریتم شاخه و حد دو مفهوم دیگر را معرفی می‌کنیم. گره‌های "فعال" و "غیرفعال". یک گره فعال، گره‌ای است که یا الگوریتم از آن به گره‌های دیگری منشعب شده است یا گره‌ای است که کران پایین‌اش بزرگتر از کران بالای آن است. گره‌ای که این گونه نباشد، گره فعال است. در این مرحله گره ریشه یک گره غیرفعال است زیرا با توجه به شکل ۷-۱ الگوریتم از آن به چهار گره سطح اول منشعب شده است.

کران پایین جدید LB^* برابر با می‌نیمم $\{LB^*_{12}, LB^*_{13}, \dots, LB^*_{1n}\}$ است. تاکنون با توجه به بحث‌هایی که شد بایستی مشخص شده باشد که LB اولیه هرگز نمی‌تواند بزرگتر از هیچ‌کدام از LB^*_{ij} ها باشد. برای به‌دست آوردن یک کران بالای خوب، زیرمجموعه‌هایی از جواب‌های تخصیص جزئی‌ای را بررسی می‌کنیم که کمترین کران پایین را دارند. از روی این زیرمجموعه می‌توان یک جواب کامل (تخصیص کامل) را گسترش داد. اگر کران پایین جدید برابر با کران بالا باشد، الگوریتم خاتمه می‌یابد. در غیراین صورت، کارهای اضافی لازم است. توضیحاتی که تاکنون داده شد، مرحله ۲ الگوریتم را می‌پوشاند. در گام ۳، از هر گره سطح اول در درخت شکل ۷-۱، تخصیص جزئی ساخته می‌شود. همچنان که قبلاً توضیح داده شد کران پایین به‌دست می‌آید و این کار، گره‌های سطح دوم را تولید می‌کند. زمانی که یک گره سطح دو به‌دست آمد، گره سطح اولی که این شاخه جدید از آن منشعب شده است را می‌توان غیرفعال کرد. رویه اتمام الگوریتم همانی است که قبلاً بیان شد. اگر خاتمه ممکن نشد، الگوریتم تا جایی ادامه می‌یابد که یک تخصیص کامل به‌دست آید. اگر مقدار تابع هدف این تخصیص برابر با کران پایین بود، الگوریتم خاتمه می‌یابد و یک جواب بهینه پیدا شده است. در غیر این صورت مقدار تابع هدف بهترین جوابی که تاکنون به‌دست آمده است را برابر با کران بالای جدید قرار می‌دهیم و آن تخصیص جزئی‌ای (گره‌های فعال) که کران پایین کمتری از این کران بالای جدید دارند، امتحان می‌شوند. این رویه تا آنجا ادامه می‌یابد که هیچ گره فعالی باقی نماند، و این به آن معنا است که هیچ تخصیص

جزئی ای کران پایین کوچک تری از کران بالا ندارد. توجه داشته باشید که هنگامی که حالتی داریم که در تخصیص جزئی $n-1$ واحد تخصیص داده شده اند، واحدهای باقی مانده را تنها می توان به یک مکان تخصیص داد، بنابراین کران پایین را می توان با به دست آوردن مقدار تابع هدف تخصیص کامل حساب کرد. هنگامی که در تخصیص جزئی، $n-2$ واحد تخصیص داده شده اند، دو واحد باقی مانده i و j را می توان به دو طریق به دو مکان باقی مانده k و l تخصیص داد (یعنی، i می تواند به k تخصیص داده شود و j به l یا i می تواند به l تخصیص داده شود و j به k). برای این دو حالت، محاسبه مجموع حاصل ضرب جریان و فاصله برای رده (۲) که قبلاً تشریح شده، و انتخاب می نیمم دو حاصل جمع کار آسانی است. رده (۳) تغییر نمی کند زیرا تنها دو راه برای تخصیص تسهیلات i و j به مکان های k و l وجود دارد، حاصل ضرب جریان در فاصله که محاسبه شده برای تسهیلات i و j برای هر دو تخصیص یکسان است. مثال بعدی برای نشان دادن مراحل مختلف الگوریتم شاخه وحد آورده شده است.

مثال ۱

با توجه به ماتریس های متقارن جریان و فاصله داده شده و فرمول بندی تخصیص نمایی برای مساله چیدمان بانک لون (Loan Bank Inc.) در مساله ۲ فصل ۵، یک چیدمان برای چهار دفتر مربعی شکل هم اندازه در ۴ محل موجود تعیین کنید (به شکل ۵-۱۶ مراجعه کنید). دو ماتریس در شکل ۷-۲ نشان داده شده اند.

محل	اداره
$[d_{ij}] = \begin{bmatrix} - & 1 & 1 & 2 \\ 1 & - & 2 & 1 \\ 1 & 2 & - & 1 \\ 2 & 1 & 1 & - \end{bmatrix}$	$[f_{ij}] = \begin{bmatrix} - & 17 & 12 & 11 \\ 17 & - & 12 & 4 \\ 12 & 12 & - & 4 \\ 11 & 4 & 4 & - \end{bmatrix}$

شکل ۷-۲. ماتریس جریان و فاصله برای مسئله چیدمان بانک

جواب. اولین مرحله در الگوریتم شاخه و حد، پیدا کردن کران پایین برای مقدار تابع

هدف از طریق ایجاد ماتریس $[w_{ij}]$ است. برای مثال، برای پیدا کردن w_{11} ، ابتدا $[f_1]$ و $[d_1]$ را که سطر اول ماتریس های جریان و فاصله پس از کنار گذاشتن f_{11} و d_{11} هستند،

به ترتیب به طور غیر صعودی و غیر نزولی مرتب کنید. حاصل ضرب نقطه‌ای $[f_i]$ و $[d_i]$ برابر با w_{ii} می‌شود. بردارهای $[f_i]$ و $[d_i]$ این‌جا داده شده‌اند: ماتریس $[w_{ij}]$ در شکل ۳-۷ نشان داده شده است.

$$\begin{aligned} [f_1] &= [17 \ 12 \ 11] & [f_2] &= [17 \ 12 \ 4] & [f_3] &= [12 \ 12 \ 4] & [f_4] &= [11 \ 4 \ 4] \\ [d_1] &= [1 \ 1 \ 2] & [d_2] &= [1 \ 1 \ 2] & [d_3] &= [1 \ 1 \ 2] & [d_4] &= [1 \ 1 \ 2] \end{aligned}$$

		اداره			
		1	2	3	4
$[w_{ij}] =$	1	51	51	51	51
	2	37	37	37	37
	3	32	32	32	32
	4	23	23	23	23

شکل ۳-۷. محاسبه ماتریس $[w_{ij}]$

توجه داشته باشید تنها سطرهای ۲ و ۳ و ۴ ماتریس فاصله نیاز به مرتب شدن داشتند. همچنین مقادیر سطری ماتریس $[w_{ij}]$ برابرند، زیرا بردارهای $[d_1]$ تا $[d_4]$ یکی هستند. از طریق حل مسئله تخصیص برای ماتریس فاصله، کران پایین ۱۴۳ به دست می‌آید. بنابراین $1/2LB^*$ برابر با ۷۱/۵ است. این مسئله در بالای گره ریشه‌ای در شکل ۱-۷ نشان داده شده است. از طرف دیگر، کران بالا را می‌توان برابر بی‌نهایت یا مقدار تابع هدف برای جوابی که تسهیلات ۱، ۲، ۳ و ۴ به مکان‌های به ترتیب ۱ و ۲ و ۳ و ۴ تخصیص داده شده‌اند، قرار داد. انتخاب گزینه دوم، کران بالای محکم‌تری برابر با ۸۳ به دست می‌دهد.

اکنون تخصیص جزئی‌ای را در نظر بگیرید که در آن، واحد ۱ به محل ۱ تخصیص داده شود. برای محاسبه کران پایین، مجموع حاصل ضرب‌های جریان و فاصله را برای ۳ رده بیشتر توضیح داده شده، امتحان کنید. با توجه به رده (۱)، هزینه تخصیص جزئی صفر است. زیرا تنها یک واحد در تخصیص جزئی وجود دارد. برای محاسبه هزینه با توجه به رده (۲)، ماتریس $[w'_{ij}]$ را با استفاده از عبارت (۲) ایجاد می‌کنیم. این ماتریس

همراه با ماتریس‌های جریان و فاصله‌ای که متناظر با تسهیلات و محل‌هایی هستند که در تخصیص جزئی نیستند، بردارهای f و d و ماتریس $[w_{ij}^*]$ در شکل ۷-۴ نشان داده شده‌اند. این مقادیر طبق توضیحات پیشین محاسبه می‌شوند.

$$\begin{array}{ccc}
 \begin{array}{c} 2 \quad 3 \quad 4 \\ [w'_{ij}] = 3 \begin{bmatrix} 17 & 17 & 34 \\ 12 & 12 & 24 \\ 11 & 11 & 22 \end{bmatrix} \end{array} &
 \begin{array}{c} 2 \quad 3 \quad 4 \\ [f_{ij}] = 3 \begin{bmatrix} - & 12 & 4 \\ 12 & - & 4 \\ 4 & 4 & - \end{bmatrix} \end{array} &
 \begin{array}{c} 2 \quad 3 \quad 4 \\ [d_{ij}] = 3 \begin{bmatrix} - & 2 & 1 \\ 2 & - & 1 \\ 1 & 1 & - \end{bmatrix} \end{array} \\
 \\
 \begin{array}{c} [f_2] = [12 \ 4] \quad [f_3] = [12 \ 4] \quad [f_4] = [4 \ 4] \\ [d_2] = [1 \ 2] \quad [d_3] = [1 \ 2] \quad [d_4] = [1 \ 1] \end{array} &
 \begin{array}{c} 2 \quad 3 \quad 4 \\ [w'_{ij}] = 3 \begin{bmatrix} 10 & 10 & 8 \\ 10 & 10 & 8 \\ 6 & 6 & 4 \end{bmatrix} \end{array} &
 \begin{array}{c} 2 \quad 3 \quad 4 \\ [w_{ij}] = 3 \begin{bmatrix} 27 & 27 & 42 \\ 22 & 22 & 32 \\ 17 & 17 & 26 \end{bmatrix} \end{array}
 \end{array}$$

شکل ۷-۴. محاسبه ماتریس‌های $[w_{ij}]$ ، $[w'_{ij}]$ و $[w_{ij}^*]$ با فرض اینکه واحد i به مکان j تخصیص داده شده است

از طریق دو ماتریس $[w'_{ij}]$ و $[w_{ij}^*]$ ، محاسبه ماتریس $[w_{ij}]$ همان‌طور که در شکل ۷-۴ نشان داده شده است، آسان است. با داشتن ماتریس هزینه $[w_{ij}]$ مسئله تخصیص خطی قابل حل است و با حل آن، تسهیلات ۱ و ۲ و ۳ و ۴ به ترتیب به مکان‌های ۱ و ۲ و ۳ و ۴ تخصیص داده می‌شوند. مقدار تابع هدف با حل مسئله تخصیص خطی و همچنین کران پایین آن برابر با ۷۵ است. به‌طور مشابه، تخصیص‌های جزئی دیگر (که در آنها واحد ۱ به محل‌های ۲ و ۳ و ۴ به ترتیب تخصیص داده می‌شود) همگی دارای حد پایین ۷۵ هستند. در نتیجه حد پایین جدید نیز هم اکنون ۷۵ است.

از آنجایی که کران پایین با کران بالا برابر نیست کارهای اضافی لازم است. گروه ریشه را غیرفعال کرده، در امتداد منتهی‌الیه سمت چپ گره ردیف اول در شکل ۷-۱ به جلو می‌رویم. تخصیص جزئی که در آن تسهیلات ۱ و ۲ به محل‌های ۱ و ۲ تخصیص داده می‌شوند را در نظر بگیریم. هزینه این تخصیص جزئی برابر ۱۲ است یا $12 = 17$. توجه کنید که تنها دو واحد برای تخصیص دادن و تنها دو مکان خالی باقی مانده‌اند.

تنها دو راه برای تخصیص این تسهیلات به مکان‌ها وجود دارد - به مکان‌های ۳ و ۴ یا ۳ و ۴. برای محاسبه هزینه با توجه به رده (۲)، پیش از استفاده از عبارت (۲)، ماتریس $[w'_{ij}]$ را آماده می‌کنیم. به همین ترتیب ماتریس $[w'_{ij}]$ را می‌توان با استفاده از ماتریس‌های کوچکتر جریان و فاصله محاسبه کرد. این ماتریس‌ها در شکل ۵-۷ نشان داده شده‌اند.

$$\begin{array}{cc}
 \begin{array}{cc} 3 & 4 \\ 3 \begin{bmatrix} 36 & 36 \\ 4 \begin{bmatrix} 19 & 26 \end{bmatrix} \end{array} & [w'_{ij}] = \\
 \begin{array}{cc} 3 & 4 \\ 3 \begin{bmatrix} - & 4 \\ 4 \begin{bmatrix} 4 & - \end{bmatrix} \end{array} & [f_{ij}] = \\
 \begin{array}{cc} 3 & 4 \\ 3 \begin{bmatrix} - & 1 \\ 4 \begin{bmatrix} 1 & - \end{bmatrix} \end{array} & [d_{ij}] =
 \end{array}$$

$$[f_3]=[4] \quad [f_4]=[4] \quad [d_3]=[1] \quad [d_4]=[1]$$

$$\begin{array}{cc}
 \begin{array}{cc} 3 & 4 \\ 3 \begin{bmatrix} 2 & 2 \\ 4 \begin{bmatrix} 2 & 2 \end{bmatrix} \end{array} & [w'_{ij}] = \\
 \begin{array}{cc} 3 & 4 \\ 3 \begin{bmatrix} 38 & 38 \\ 4 \begin{bmatrix} 21 & 28 \end{bmatrix} \end{array} & [w_{ij}] =
 \end{array}$$

شکل ۵-۷. محاسبه ماتریس $[w_{ij}]$ با فرض اینکه تسهیلات ۱ و ۲ به ترتیب به مکان‌های ۱ و ۲ تخصیص داده شده‌اند

با حل مسئله تخصیص خطی در نظر گرفتن $[w_{ij}]$ به عنوان ماتریس هزینه، جوابی با مقدار تابع هدف ۵۹ به دست می‌آوریم که در آن تسهیلات ۱، ۲، ۳ و ۴ به ترتیب به مکان‌های ۱، ۲، ۳ و ۴ تخصیص داده شده‌اند. بنابراین کران پایین برابر با $17+59=76$ می‌باشد. هزینه فعلی این تخصیص هم برابر ۷۶ می‌شود. بنابراین کران بالای جدید را می‌توان برابر با ۷۶ قرار داد. اگر یک سطح به پایین در راستای سایر گره‌ها که حد پایین ۷۵ داشتند، حرکت کنیم، کران‌های جدید به دست می‌آوریم که از کران فعلی، ۷۶، بزرگتر هستند. بنابراین کران پایین هم ۷۶ است. از آنجایی که کران‌های بالا و پایین برابرند الگوریتم شاخه و حد خاتمه می‌یابد و جواب بهینه به دست آمده است.

در فصل ۵ یک مدل برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح مختلط را ارائه و با الگوریتم شاخه‌وحد عمومی و کلی موجود در بسیاری از برنامه‌های تجاری مانند LINDO حل کردیم. (برای دانستن اینکه این الگوریتم دقیقاً چگونه کار می‌کند به کتاب‌های درسی تحقیق در عملیات مقدماتی مانند Winston (1994) مراجعه کنید. در اینجا تنها خلاصه‌ای ارائه شده است.) در الگوریتم عمومی شاخه‌وحد، شرط عدد صحیح‌بودن برای متغیرهای عدد صحیح برداشته شده و این مدل ساده شده برنامه‌ریزی خطی، با الگوریتم شناخته شده سیمپلکس حل می‌شود. مقدار تابع هدف به‌دست آمده، کران پایین است (برای مسئله می‌نیم کردن) و معمولاً به‌عنوان گره ریشه معرفی می‌شود. اگر جواب به‌دست آمده برای متغیرهایی که باید عدد صحیح باشند، مقادیر صحیح تولید کرده باشد، کار تمام است. در غیر این صورت متغیرهای صحیح x_i که در حل، عدد صحیح نیستند یک بار دیگر بایستی بررسی شوند.

فرض کنید x_i یک مقدار غیر صحیح معادل با β دارد. دو مدل جدید (گره‌ها) شکل می‌گیرند: LP-1 که در آن محدودیتی که x_i کوچکتر یا مساوی بزرگترین عدد صحیح کوچکتر از β است اضافه می‌شود و LP-2 که در آن محدودیتی که x_i بزرگتر یا مساوی کوچک‌ترین عدد صحیح بزرگتر از β است افزوده می‌شود. پاسخ مدل‌های LP-1 و LP-2 مقدار حد پایین جدیدی برای مقدار تابع هدف ایجاد می‌کند. (ممکن است برای حل LP-1 و LP-2 از سیمپلکس دوگان استفاده شود.) همچنین، اگر مقدار صحیحی برای پاسخ به‌دست آورده‌ایم، اگر مقدار تابع هدف جواب صحیح (که حد بالا را به‌دست آورد) مساوی حد پایین شود الگوریتم می‌تواند خاتمه یابد در غیر این صورت، فرایند انشعاب از گره‌ها، اضافه‌کردن یک محدودیت برای بوجود آوردن گرهی دیگر، حل LP متناظر با گره‌های موجود، امتحان اینکه آیا جواب به‌دست آمده عدد صحیح است یا نه ادامه می‌یابد تا یک جواب صحیح به‌دست آید یا اینکه جواب عدد صحیح بهتری وجود نداشته باشد. اگر ما این الگوریتم شاخه‌وحد همه‌منظوره را با الگوریتم شاخه‌وحد خاص منظوره که در این قسمت ارائه شد مقایسه کنیم، واضح است که دومی بسیار کارآمدتر است زیرا تعداد جواب‌های کمتری را امتحان می‌کند.

به علاوه، در هر گرهی در الگوریتم خاص منظوره، یک برنامه تخصیص خطی توسط روش مجارستانی حل می‌شود. در الگوریتم همه‌منظوره، معمولاً از سیمپلکس یا

ROW	SLACK OR SURPLUS	DUAL PRICES
C1)	.000000	33.500000
C2)	50.000000	.000000
C3)	.000000	71.000000
C4)	70.000000	.000000
C5)	.000000	111.000000
C6)	100.000000	.000000
C7)	.000000	37.500000
C10)	20.000000	.000000
C11)	.000000	77.500000
C12)	30.000000	.000000
C13)	.000000	40.000000
C14)	100.000000	.000000
C15)	.000000	111.000000
C16)	.000000	77.500000
C17)	.000000	40.000000
C18)	.000000	.000000

NO. ITERATIONS= 10

مقدار تابع هدف (۱۲۴۱۰) برای LP1 و دوگان‌اش DLP1، مقدار تابع هدف برای یک جواب قابل قبول و موجه را فراهم می‌کند در نتیجه کران بالای مسئله اصلی به‌هنگام شده و مقدار ۱۲۴۱۰ را به خود می‌گیرد. با توجه به محدودیت‌های تساوی در LP1، متغیرهای متناظر دوگان، W_{ij} ، از نظر علامت آزادند. چون LINDO از کاربر می‌خواهد که چنین متغیرهایی را به صورت تفاضل دو متغیر نامنفی وارد کنیم، مانند این کار را با استفاده از متغیرهای WP_{ij} و WN_{ij} در مدل DLP1 بالا انجام داده‌ایم. با استفاده از جواب DLP1، می‌توانیم مسئله اصلی MP1 را بسازیم. توجه کنید که شش محدودیت اول در مدل MP1، تضمین می‌کند که مقادیر متغیرهای y_{ij} برای MIP موجه و شدنی باشند. برای فهمیدن این مسئله، توجه کنید که متغیرهای y متناظر با هر سه تایی $\{i, j, k\}$ مشخص می‌کنند که آیا جواب متناظر موجه است یا خیر. چون $y_{ij}=1(0)$ به این معنی است که ایستگاه‌کاری i در سمت چپ (راست) قرار دارد، بدیهی است که از میان ۸ ترکیب ممکن نشان داده شده در جدول ۷-۱، دو تای آخر، منجر به ترکیب‌های ناموجه و نشدنی می‌شوند. می‌توانیم از ایجاد این دو ترکیب

غیرقابل قبول و ناموجه، با افزودن محدودیت ذیل به MP، که از ایجاد ۶ ترکیب غیرقابل قبول جلوگیری نمی‌کند پیشگیری کنیم:

$$1 \geq y_{ij} + y_{jk} - y_{ik} \geq 0 \quad \forall i < n-1 \quad i < j < n, \quad j < k \leq n$$

هفتمین محدودیت در MP1 به شکل $z \geq u^i (b-By)$ است.

گام ۲ جواب بهینه y^* برای MP1 یک کران پایین 0 ایجاد می‌کند، در نتیجه تکرارهای بیشتری لازم است. چون $LB < UB$ قرار می‌دهیم: $y^2 = y^*$ و $i=1+1=2$ و به گام ۱ باز می‌گردیم.

MP 1

MIN $Z1 + 2 Z2 + 4 Z3 + 8 Z4 + 16 Z5 + 32 Z6 + 64 Z7 + 128 Z8$
 $+ 256 Z9 + 512 Z10 + 1024 Z11 + 2048 Z12 + 4096 Z13 + 8192 Z14$
 $+ 16384 Z15$

SUBJECT TO

$$C1) \quad Y12 - Y13 + Y23 \geq 0$$

$$C2) \quad Y12 - Y13 + Y23 \leq 1$$

$$C3) \quad Y12 - Y14 + Y24 \geq 0$$

$$C4) \quad Y12 - Y14 + Y24 \leq 1$$

$$C5) \quad Y23 - Y24 + Y34 \geq 0$$

$$C6) \quad Y23 - Y24 + Y34 \leq 1$$

$$C7) \quad Z1 + 2 Z2 + 4 Z3 + 8 Z4 + 16 Z5 + 32 Z6 + 64 Z7 + 128 Z8$$

$$+ 256 Z9 + 512 Z10 + 1024 Z11 + 2048 Z12 + 4096 Z13 + 8192 Z14$$

$$+ 16384 Z15 + 109890 Y12 + 109890 Y23 + 114885 Y34 \geq 12410$$

END

TITLE (MIN)

INTE 21

LP OPTIMUM FOUND AT STEP 1

OBJECTIVE VALUE = .000000000

FIX ALL VARS.(15) WITH RC > 1.00000

SET Y34 TO >= 1 AT 1, BND= .0000 TWIN= .0000 3

NEW INTEGER SOLUTION OF .000000000 AT BRANCH 1 PIVOT 3

OBJECTIVE FUNCTION VALUE

1) .000000000

VARIABLE	VALUE	REDUCED COST
Z1	.000000	1.000000
Z2	.000000	2.000000
Z3	.000000	4.000000
Z4	.000000	8.000000
Z5	.000000	16.000000

Z6	.000000	32.000000
Z7	.000000	64.000000
Z8	.000000	128.000000
Z9	.000000	256.000000
Z10	.000000	512.000000
Z11	.000000	1024.000000
Z12	.000000	2048.000000
Z13	.000000	4096.000000
Z14	.000000	8192.000000
Z15	.000000	16384.000000
Y12	.000000	.000000
Y13	.000000	.000000
Y23	.000000	.000000
Y14	.000000	.000000
Y24	.000000	.000000
Y34	1.000000	.000000

ROW	SLACK OR SURPLUS	DUAL PRICES
C1)	.000000	.000000
C2)	1.000000	.000000
C3)	.000000	.000000
C4)	1.000000	.000000
C5)	1.000000	.000000
C8)	.000000	.000000
C9)	102475.000000	.000000

NO. ITERATIONS= 3
 BRANCHES= 1 DETERM.= 1.000E 0
 BOUND ON OPTIMUM: .00000000
 DELETE Y34 AT LEVEL 1
 ENUMERATION COMPLETE. BRANCHES= 1 PIVOTS= 3

LAST INTEGER SOLUTION IS THE BEST FOUND
 REINSTALLING BEST SOLUTION...

با توجه به مجموعه مقادیر قبلی برای متغیرهای y_{ij} ، فرمول‌بندی دوگان DLP2 چنان‌که در ادامه نشان داده شده است، آسان است:
 گام ۱. DLP2 را حل کنید.

DLP 2

MAX 33.5 U12 - 965.5 V12 + 32.5 U13 - 966.5 V13 + 37.5 U14
 - 961.5 V14 + 37.5 U23 - 961.5 V23 + 40.5 U24 - 958.5 V24 - 959 U34
 + 40 V34
 SUBJECT TO
 C1) - WP12 + WN12 <= 25
 C2) WP12 - WN12 <= 25
 C3) - WP13 + WN13 <= 35
 C4) WP13 - WN13 <= 35
 C5) - WP14 + WN14 <= 50

```

C6)   WP14 - WN14 <= 50
C7)   - WP23 + WN23 <= 10
C10)  WP23 - WN23 <= 10
C11)  - WP24 + WN24 <= 15
C12)  WP24 - WN24 <= 15
C13)  - WP34 + WN34 <= 50
C14)  WP34 - WN34 <= 50
C15)  U12 - V12 + U13 - V13 + U14 - V14 + WP12 - WN12 + WP13
      - WN13 + WP14 - WN14 <= 0
C16)  - U12 + V12 + U23 - V23 + U24 - V24 - WP12 + WN12 + WP23
      - WN23 + WP24 - WN24 <= 0
C17)  - U13 + V13 - U23 + V23 + U34 - V34 - WP13 + WN13 - WP23
      + WN23 + WP34 - WN34 <= 0
C18)  - U14 + V14 - U24 + V24 - U34 + V34 - WP14 + WN14 - WP24
      + WN24 - WP34 + WN34 <= 0

```

END

TITLE (MAX)

LP OPTIMUM FOUND AT STEP 9

OBJECTIVE FUNCTION VALUE

1) 11940.000

VARIABLE	VALUE	REDUCED COST
U12	110.000000	.000000
V12	.000000	932.000000
U13	.000000	81.500000
V13	.000000	852.500000
U14	.000000	36.500000
V14	.000000	887.500000
U23	.000000	43.000000
V23	.000000	881.000000
U24	110.000000	.000000
V24	.000000	918.000000
U34	.000000	919.000000
V34	95.000000	.000000
WP12	.000000	.000000
WN12	25.000000	.000000
WP13	.000000	.000000
WN13	35.000000	.000000
WP14	.000000	.000000
WN14	50.000000	.000000
WP23	.000000	.000000
WN23	10.000000	.000000
WP24	.000000	.000000
WN24	15.000000	.000000
WP34	50.000000	.000000
WN34	.000000	.000000

ROW	SLACK OR SURPLUS	DUAL PRICES
C1)	.000000	33.500000
C2)	50.000000	.000000
C3)	.000000	114.000000
C4)	70.000000	.000000
C5)	.000000	74.000000
C6)	100.000000	.000000
C7)	.000000	80.500000
C10)	20.000000	.000000
C11)	.000000	40.500000
C12)	30.000000	.000000
C13)	100.000000	.000000
C14)	.000000	40.000000
C15)	.000000	114.000000
C16)	.000000	80.500000
C17)	.000000	.000000
C18)	.000000	40.000000

NO. ITERATIONS= 9

جدول ۷-۱. ترکیبات موجه و شدنی متغیرهای y برای سه تایی $\{i, j, k\}$

موجه و شدنی؟	y_{jk}	y_{ik}	y_{ij}
بله	۰	۰	۰
بله	۱	۰	۰
بله	۱	۱	۰
بله	۰	۰	۱
بله	۰	۱	۱
بله	۱	۱	۱
خیر	۱	۰	۱
خیر	۰	۱	۰

جواب ۱۱۹۴۰، اکنون کران بالای جدید است چون از مقدار قبلی ۱۲۴۱۰ کمتر است. مسئله اصلی با محدودیت جدید به دست آمده توسط DLP2 به هنگام می‌شود. MP2 در ادامه نشان داده شده است. مقدار تابع هدف

(۱۱۹۴۰) برای DLP2، مقدار تابع هدف برای جواب قابل قبول دیگری به- دست می‌دهد و در نتیجه کران بالای UB به ۱۱۹۴۰ به‌هنگام می‌شود.

گام ۲. با استفاده از جواب DLP2، MP را چنان که در ادامه نشان داده شده است به‌هنگام می‌کنیم. جواب بهینه y^* برای MP، کران پایین $\bullet$ را ایجاد می‌کند، در نتیجه تکرارهای بیشتری لازم است. چون $LB < UB$ ، قرار می‌دهیم: $i=2+1=3$ و $y^3=y^*$ و به گام ۱ باز می‌گردیم.

MP 2

```

MIN      Z1 + 2 Z2 + 4 Z3 + 8 Z4 + 16 Z5 + 32 Z6 + 64 Z7 + 128 Z8
        + 256 Z9 + 512 Z10 + 1024 Z11 + 2048 Z12 + 4096 Z13 + 8192 Z14
        + 16384 Z15
SUBJECT TO
C1)      Y12 - Y13 + Y23 >= 0
C2)      Y12 - Y13 + Y23 <= 1
C3)      Y12 - Y14 + Y24 >= 0
C4)      Y12 - Y14 + Y24 <= 1
C5)      Y23 - Y24 + Y34 >= 0
C8)      Y23 - Y24 + Y34 <= 1
C9)      Z1 + 2 Z2 + 4 Z3 + 8 Z4 + 16 Z5 + 32 Z6 + 64 Z7 + 128 Z8
        + 256 Z9 + 512 Z10 + 1024 Z11 + 2048 Z12 + 4096 Z13 + 8192 Z14
        + 16384 Z15 + 109890 Y12 + 109890 Y23 + 114885 Y34 >= 12410
C10)     Z1 + 2 Z2 + 4 Z3 + 8 Z4 + 16 Z5 + 32 Z6 + 64 Z7 + 128 Z8
        + 256 Z9 + 512 Z10 + 1024 Z11 + 2048 Z12 + 4096 Z13 + 8192 Z14
        + 16384 Z15 + 109890 Y12 + 109890 - Y24 94905 Y34 >= 11940
END
    
```

TITLE (MIN)
INTE 21

LP OPTIMUM FOUND AT STEP 1
OBJECTIVE VALUE = .000000000
FIX ALL VARS.(15) WITH RC > 1.00000
SET Y12 TO >= 1 AT 1, BND= .0000 TWIN= .0000 4

NEW INTEGER SOLUTION OF .000000000 AT BRANCH 1 PIVOT 4

OBJECTIVE FUNCTION VALUE

1) .000000000

VARIABLE	VALUE	REDUCED COST
Z1	.000000	1.000000
Z2	.000000	2.000000
Z3	.000000	4.000000
Z4	.000000	8.000000
Z5	.000000	16.000000
Z6	.000000	32.000000
Z7	.000000	64.000000
Z8	.000000	128.000000
Z9	.000000	256.000000
Z10	.000000	512.000000
Z11	.000000	1024.000000
Z12	.000000	2048.000000
Z13	.000000	4096.000000
Z14	.000000	8192.000000
Z15	.000000	16384.000000
Y12	1.000000	.000000
Y13	.000000	.000000
Y23	.000000	.000000
Y14	.000000	.000000
Y24	.000000	.000000
Y34	.000000	.000000

ROW	SLACK OR SURPLUS	DUAL PRICES
C1)	1.000000	.000000
C2)	.000000	.000000
C3)	1.000000	.000000
C4)	.000000	.000000
C5)	.000000	.000000
C8)	1.000000	.000000
C9)	97480.000000	.000000
C10)	97950.000000	.000000

NO. ITERATIONS= 4
BRANCHES= 1 DETERM.= 1.000E 0
BOUND ON OPTIMUM: .0000000

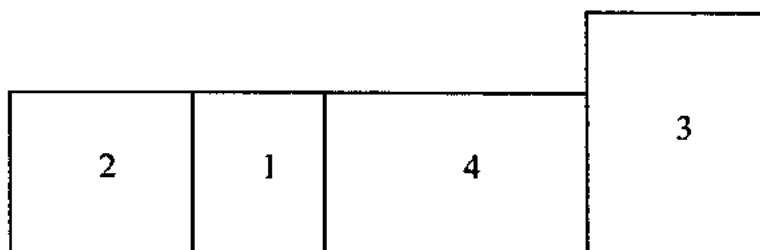
```

DELETE          Y12 AT LEVEL      1
ENUMERATION COMPLETE. BRANCHES=    1 PIVOTS=    4

LAST INTEGER SOLUTION IS THE BEST FOUND
REINSTALLING BEST SOLUTION...

```

تکرار رویه (۱) حل کردن MP، (۲) به‌هنگام کردن کران پایین LB، (۳) به‌دست آوردن بردار y جدید، (۴) فرمول‌بندی مسئله دوگان متناظر با آن، (۵) به‌هنگام کردن کران بالای UB، در صورت نیاز، و (۶) به‌هنگام کردن مسئله اصلی MP، تا هنگامی که کران پایین مساوی یا بزرگ‌تر از کران بالا شود به مدل‌ها و جواب‌های نشان داده شده در پیوست این فصل منتهی می‌شود. از آخرین جواب پیدااست که کران پایین و بالا هر دو مساوی ۹۶۰۰ هستند، در نتیجه مقدار تابع هدف بهینه MIP هم باید ۹۶۰۰ باشد. جواب بهینه متناظر با آن در شکل ۷-۷ نشان داده شده‌است.



شکل ۷-۷. چیدمان بهینه ماشین‌آلات با تسهیلات جدید در کارخانه سازنده مبلمان

کارایی الگوریتم تجزیه بندرز را می‌توان به چند طریق بهبود بخشید. یکی از این روش‌ها را با ملاحظات ذیل نشان می‌دهیم. الگوریتم سیمپلکس به تعداد محدودیت‌های مسئله اصلی MP فرا خوانده می‌شود. برای مسائل بزرگ، تعداد محدودیت‌ها می‌تواند غیرقابل کنترل شود. در نتیجه لازم است بررسی کنیم که آیا مسائل دوگان DLP را می‌توان بدون فراخواندن الگوریتم سیمپلکس حل کرد. پس لازم است یک مسئله دوگان مفروض DLP_i را بررسی کرده و ببینیم آیا روش حل مستقیم‌تری برای آن ممکن است یا خیر.

مشخص شده است که هر مسئله دوگان DLP_i جواب یگانه‌ای دارد که با جستجو قابل دستیابی است. برای نشان دادن چگونگی این امر، ابتدا دو نتیجه (قضیه) ذیل را معرفی می‌کنیم:

قضیه ۱ برای یک بردار مفروض موجه و شدنی y' که در آن $y' = (y_{12}, y_{13}, \dots, y_{n-1,n})$ است کمترین مقدار M برای ایستگاه‌های کاری مجاور i و j در محدودیت‌های (۲۸) و (۲۹) از مدل LMIP در فصل ۵ برابر با M_{ij} که $M_{ij} = l_i + l_j$.

اثبات با توجه به تعریف، y_{ij} یک مقدار مفروض موجه y' با یک آرایش یکتا از ایستگاه‌های کاری متناظر است. هر $y_{ij} = 1(0)$ نشان می‌دهد که ایستگاه کاری i در سمت چپ (راست) ایستگاه کاری j قرار دارد. یک جفت ایستگاه کاری همسایه دلخواه مانند i و j را در نظر بگیرید. برای راحتی بیشتر، محدودیت‌های (۲۸) و (۲۹) از LMIP1 در فصل ۵ را (بدون d_{ij}) دوباره می‌نویسیم:

$$x_i - x_j + M y_{ij} \geq \frac{1}{2}(l_i + l_j) \quad i=1, \dots, n-1, \quad j=i+1, \dots, n \quad (3)$$

$$-(x_i - x_j) + M(1 - y_{ij}) \geq \frac{1}{2}(l_i + l_j) \quad i=1, \dots, n-1, \quad j=i+1, \dots, n \quad (4)$$

توجه کنید که محدودیت (۳) یا (۴) برای هر جفت از ایستگاه‌های کاری مجاور، تبدیل به تساوی می‌شود.

حالت ۱ ($y_{ij}=1$)

$$\text{از (۳) داریم: } x_i - x_j = \frac{1}{2}(l_i + l_j)$$

$$\text{از (۴) داریم: } -(x_i - x_j) \geq \frac{1}{2}(l_i + l_j) - M_{ij}$$

با جای‌گذاری $x_i - x_j$ در (۴) خواهیم داشت:

$$\begin{aligned} -\frac{1}{2}(l_i + l_j) &\geq \frac{1}{2}(l_i + l_j) - M_{ij} \\ M_{ij} &\geq l_i + l_j \end{aligned}$$

حالت ۲ ($y_{ij}=1$)

$$\text{از (۴) داریم: } -\frac{1}{2}(l_i + l_j) = -(x_i - x_j)$$

$$\text{از (۳) داریم: } x_i - x_j + M_{ij} \geq \frac{1}{2}(l_i + l_j)$$

دوباره با جای‌گذاری مقدار $x_i - x_j$ در (۳) خواهیم داشت:

$$\begin{aligned} -\frac{1}{2}(l_i + l_j) + M_{ij} &\geq \frac{1}{2}(l_i + l_j) \\ M_{ij} &\geq l_i + l_j \end{aligned}$$

در نتیجه، در هر دو حالت، کمترین مقداری که M_{ij} می‌تواند برای هر جفت ایستگاه‌کاری مجاور اختیار کند برابر است با $(l_i + l_j)$. برای تمام جفت ایستگاه‌های کاری غیرمجاور i و k به راحتی می‌توان نشان داد که کمترین مقدار M_{ik} برابر است با مجموع طول تمام ایستگاه‌های کاری بین k و i به علاوه نصف طول k و i . با این وجود ما M_{ij} را برای جفت‌های مجاور هم، برابر با $(l_i + l_j) + \varepsilon$ و برای بقیه ایستگاه‌ها برابر با $\sum_i l_i + \varepsilon$ قرار می‌دهیم تا بدین وسیله از ویژگی مکمل کمبود مدل‌های برنامه‌ریزی خطی و دوگان‌هایشان استفاده کنیم.

قضیه ۲ برای هر بردار موجه مفروض y^i که در آن $y^i = (y_{12}, y_{13}, \dots, y_{n-1,n})$ یک جواب بهینه یکتا برای DLP_i وجود دارد.

اثبات برای اثبات این قضیه، از شرایط مکمل کمبود برای یک جفت مسئله اولیه-دوگان مفروض استفاده می‌کنیم. DLP_i برای مقدار موجه y^i به صورت ذیل و بسط یافته (نه ماتریسی) نوشته شده است:

DLPi

$$\text{Maximize } \sum_{i=1}^n \sum_{\substack{j=1 \\ i < j \leq n}} u_{ij} \left[\frac{1}{2}(l_i + l_j) - My_{ij} \right] + v_{ij} \left[\frac{1}{2}(l_i + l_j) - M + My_{ij} \right] \quad (5)$$

$$\text{Subject to } \sum_{\substack{j=1 \\ i < j}} (u_{ij} - v_{ij} + w_{ij}) - \sum_{\substack{j=1 \\ i > j}} (u_{ji} - v_{ji} + w_{ji}) \leq 0 \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (6)$$

$$-w_{ij} \leq c_{ij} f_{ij} \quad i = 1, 2, \dots, n-1, \quad (7)$$

$$j = i+1, \dots, n$$

$$w_{ij} \leq c_{ij} f_{ij} \quad i = 1, 2, \dots, n-1, \quad (8)$$

$$j = i+1, \dots, n$$

$$M_{ij} = \begin{cases} l_i + l_j + \varepsilon & \text{اگر تسهیلات } i \text{ و } j \text{ مجاور هم باشند} \\ \sum_{i=1}^n l_i + \varepsilon & \text{در غیر این صورت} \end{cases} \quad \begin{matrix} i = 1, 2, \dots, n-1, \\ j = i+1, \dots, n \end{matrix} \quad (9)$$

$$u_{ij}, v_{ij} \geq 0, \quad w_{ij} \quad \text{بدون محدودیت در علامت} \quad i = 1, 2, \dots, n-1, \quad (10)$$

$$j = i+1, \dots, n$$

همان‌طور که قبلاً گفته شد، برای هر y' قابل قبول و مفروض، به آسانی می‌توان آرایش خطی n ایستگاه‌کاری متناظر با آن را به دست آورد. اکنون DLPi برای یک y' قابل قبول را بررسی می‌کنیم. بر اساس قضیه مکمل کمبود، محدودیت‌های (۶)، متغیرهای کمبود صفر دارند زیرا متغیرهای اولیه متناظر با آنها x_i به‌خاطر ساختارشان بزرگتر از صفر هستند. در واقع، این دلیل وضع نامساوی‌های اکید در محدودیت (۳۳) در مدل LMIP1 فصل ۵ است. بنابراین محدودیت‌های (۶) به‌صورت تساوی هستند. LPi را برای یک y' قابل قبول در نظر بگیرید. در قضیه ۱ نشان داده شد که کمترین مقدار M_{ij} برای یک جفت از ایستگاه‌های کاری مجاور i و j برابر با $(l_i + l_j)$ است. برای حصول اطمینان از اینکه تنها یکی از محدودیت‌های (۳) و (۴) برای هر جفت از ایستگاه‌های کاری مجاور الزام‌آور است، آن را برابر با $(l_i + l_j) + \varepsilon$ قرار می‌دهیم. برای بقیه جفت ایستگاه‌های کاری غیرمجاور دیگر مانند k و l هرچند می‌توان M_{kl} را برابر با

مجموع طول ایستگاه‌های کاری بین k و l (که خود k و l را شامل می‌شود) قرار داد، آن را همچنان که پیش‌تر نیز ذکر شد، مساوی با $\sum l_i + \varepsilon$ قرار می‌دهیم. از آنجایی که محدودیت‌های (۳) و (۴) برای هر جفت ایستگاه‌های کاری غیر مجاور هرگز الزام‌آور نمی‌شود، متغیرهای دوگان متناظر، مقدار صفر را به خود می‌گیرند. بنابراین M_{kl} را می‌توان مساوی با هر یک از این دو مقدار یا هر مقدار بزرگ‌تری قرار داد.

تنها $n-1$ محدودیت متناظر با هر جفت ایستگاه‌کاری مجاور، به‌صورت یک معادله تساوی در مسئله اولیه ارضاء می‌شوند. بنابراین تنها $n-1$ متغیر دوگان متناظر u_{ij} یا v_{ij} (ولی نه هر دو) برای هر جفت ایستگاه‌کاری مجاور i و j - مقادیر مثبت اختیار می‌کنند. بقیه متغیرهای دوگان u_{ij} و v_{ij} ، که شامل تعداد $n(n-1)/2$ متغیر دوگان متناظر با هر محدودیت اولیه‌ای که الزام‌آور نیستند، برابر با صفر هستند (با توجه به قضیه مکمل کمبود). بنابراین تعداد چنین متغیرهای دوگانی که مقدارشان برابر صفر است برابر می‌شود با :

$$\left(\frac{n(n-1)}{2} - (n-1) \right) + \frac{n(n-1)}{2} = n-1 \left(\frac{n}{2} - 1 + \frac{n}{2} \right) = (n-1)^2$$

به‌علاوه، چون x_{ij}^+ یا x_{ij}^- همیشه غیر صفر هستند، محدودیت دوگان متناظر با آن (که تنها یک متغیر دارد)، متغیر کمبودی برابر صفر دارد [محدودیت‌های (۷) و (۸) را ببینید]. در نتیجه، مقدار متغیر این معادلات برابر با مقدار سمت راست آنها است. بنابراین مقادیر $n(n-1)/2$ متغیر دیگر نیز مشخص شد. به‌طور خلاصه، در بین $3n(n-1)/2$ متغیر دوگان، مقادیر

$$(n-1)^2 + \frac{n(n-1)}{2} = \frac{n-1}{2}(3n-2)$$

متغیر معلوم شده‌اند. تعداد متغیرها با مقادیر مجهول برابر با $(n-1)$ است. تعداد محدودیت‌های دوگان با متغیرهای مجهول برابر n است و همان‌گونه که پیش‌تر نشان داده شد، این محدودیت‌ها از نوع تساوی هستند. بنابراین مجموعه محدودیت‌های (۱۰) - (۶) در DLP_i را به یک سیستم با n معادله و $n-1$ مجهول کاهش داده‌ایم. هر گاه

در یک برنامه‌ریزی خطی، تعداد مجهول‌ها (متغیرها) کمتر از تعداد معادلات باشد، حتماً

جواب، یکتا خواهد بود (Winston 1994). بنابراین DLP_i دارای یک جواب یکتا برای یک y^i قابل قبول است.

اکنون آماده‌ایم که درباره برخی از ریزه‌کاری‌های الگوریتم اولیه و پایه‌ای تجزیه بندرز صحبت کنیم. ابتدا، همچنان که گفته شد، جواب MP با تعداد کم یا هیچ محدودیت، یک کران پایین برای مقدار تابع هدف بهینه MIP به دست می‌دهد. برای به دست آوردن یک کران پایین محدودتر و نزدیک‌تر، ضرایب y_{ij} ها در MP باید تا جایی که ممکن است کوچک اختیار شود. توجه کنید که این ضرایب با متغیرهای y_{ij} در LPI متناظر و برابر با M_{ij} هستند. قبلاً نشان دادیم که ضرایب y_{ij} های متناظر با ایستگاه‌های کاری مجاور در LPI را می‌توان برابر با $(l_i + l_j) + \varepsilon$ قرار داد، به طوری که $(\frac{1}{2})(l_i + l_j) + \varepsilon$ ، فاصله بین مراکز ایستگاه‌های کاری مجاور i و j باشد. این مطلب تضمین می‌کند که برای یک بردار مفروض y^i (یا به عبارت دیگر برای یک چیدمان مفروض از ایستگاه‌های کاری)، M_{ij} کمترین مقدار ممکن به علاوه ε را خواهد داشت. از آنجایی که این مقادیر M_{ij} ضرایب y_{ij} ها در MP هستند، مقدار بهینه آن و در نتیجه کران پایین برای MIP محدودتر و نزدیک‌تر خواهند بود.

ثانیاً همچنان که در قضیه ۲ نشان داده شد، DLP_i به یک مجموعه از n معادله و $n-1$ مجهول کاهش یافته است. به علاوه، در هر معادله تنها آن متغیرهای دوگانی که متناظر با جفت ایستگاه‌های کاری مجاور هستند مقادیر مثبت اختیار می‌کنند. بنابراین هر معادله حداکثر دو متغیر غیر صفر دارد. همچنین دقیقاً دو معادله دوگان تنها با یک متغیر وجود دارد - معادلات متناظر با ایستگاه‌های کاری ای که در متهی الیه‌های سمت چپ و راست قرار دارند با شروع از این متغیرها، می‌توانیم برای یافتن مقادیر سایر متغیرها به صورت بازگشتی عمل کنیم. چیدمان خطی چهار ایستگاه کاری نشان داده شده در شکل ۷-۸ را در نظر بگیرید. فرض کنید l_1, l_2, l_3 و l_4 به ترتیب برابر با ۴، ۱، ۳ و ۲ واحد باشند. همچنین فرض کنید که مختصات مراکز چهار ایستگاه کاری برابر است با $x_1=8$ ، $x_2=5.5$ ، $x_3=3.5$ و $x_4=1$. چون برای ایستگاه‌های کاری مجاور $(\frac{1}{2})(l_i + l_j)$ برقرار است، متغیرهای دوگان متناظر u_{ij} مقادیر غیر صفر می‌گیرند. برای تمام محدودیت‌های باقیمانده از مسئله اولیه، نامساوی‌ها اکیداً برقرارند و در نتیجه متغیرهای دوگان متناظر، صفر هستند. از آنجایی که هر محدودیت دوگان با یک متغیر (اولیه) x_i متناظر است،

برای چیدمان خطی شکل ۷-۸ تنها یک متغیر دوگان u_{12} در اولین محدودیت دوگان (متناظر با x_1) وجود دارد. به‌طور مشابه، دقیقاً یک متغیر u_{34} در محدودیت دوگان متناظر با متغیر x_4 در مسئله اولیه وجود دارد. برای دو محدودیت دوگان دیگر، دقیقاً دو متغیر وجود دارد u_{23} و u_{34} در محدودیت متناظر با x_3 و u_{12} و u_{23} در محدودیت متناظر با x_2 .

4	3	2	1

شکل ۷-۸ نمونه‌ای از چیدمان چهار ایستگاه‌کاری

همان‌طور که در قضیه ۲ عنوان شد، این محدودیت‌های دوگان (محدودیت مجموعه (۶) را ببینید) به شکل تساوی هستند، پس ما این معادلات را خواهیم داشت:

$$\begin{aligned}
 u_{12} + w_{12} &= 0 \\
 -u_{12} + u_{23} - w_{12} + w_{23} &= 0 \\
 -u_{23} + u_{34} - w_{23} + w_{34} &= 0 \\
 -u_{34} - w_{34} &= 0
 \end{aligned}$$

در این مثال، چیدمان به‌گونه‌ای است که برای هر $x_i > x_j$, $i < n$, $i < j \leq n$ پس هیچ متغیر v_{ij} در معادلات قبلی وجود ندارد. توجه کنید که w_{ij} ها معلوم‌اند، پس حداکثر دو متغیر در هر معادله وجود دارد. از این خاصیت می‌توان در طراحی یک الگوریتم کارا برای حل DLP_i استفاده کرد.

ثالثاً، هر بار که DLP_i حل می‌شود، یک برش بندرز متناظر اضافه می‌گردد و یک برنامه عدد صحیح خالص (MP) حل می‌شود. این گام، زمان‌برترین گام است. بدیهی است که اگر شرط خاتمه (کران پایین بزرگتر یا مساوی کران بالا باشد) در اوایل فرایند جستجو برقرار شود، برش‌های بندرز کمی تولید خواهند شد و برنامه عدد صحیح خالص به‌راحتی حل خواهد شد. از طرف دیگر، اگر تعداد قابل ملاحظه‌ای برش بندرز

ایستحان زمان لازم باشد، اش قابل ملاحظه‌ای در زمان حل خواهد

رابعاً، به جای حل MP تا رسیدن به مقدار بهینه در هر مرحله، کافی است که یک جواب قابل قبول با مقدار تابع هدف مساوی با کران بالا منهای پارامتر تولرانس پیدا شود. این امر مستلزم آن است که قوانین خاتمه، چنان که صحبت خواهیم کرد، تغییر نکنند. الگوریتمی که در ادامه آمده است، نسخه کاراتری از الگوریتم اصلی بندرز است و ریزه‌کاری‌هایی را که مطرح کردیم را در نظر می‌گیرد.

الگوریتم تغییر یافته تجزیه بندرز

گام ۰. قرار دهید $i=1$ و $y^i = \{0, 0, \dots, 0\}$ و کران بالا را مساوی بی‌نهایت قرار دهید

$$UB = \infty$$

گام ۱. چون DLP_i یک جواب یکتا دارد، این جواب را با استفاده از تکنیکی که

پیش‌تر توضیح داده شد پیدا کنید. فرض کنید که u^i جواب DLP_i باشد. اگر

$$u^i(b - By^i) < UB$$

گام ۲. MP را با افزودن محدودیت‌های ذیل به‌هنگام کنید:

$$\begin{aligned} z &\geq u^i(b - By) \\ z &\geq UB - \varepsilon \end{aligned}$$

$z, y=0$ or 1 باشند و y برای MIP قابل قبول باشد

یک جواب قابل قبول برای MP بیابید. اگر جواب، غیر قابل قبول بود، یک جواب

ε -بهینه برای MIP یافته‌ایم. در غیر این صورت $y^* = y$ را یک جواب قابل قبول در نظر بگیرید.

قرار دهید $y^i = y^*$ و به گام ۱ بازگردید.

جزئیات این نسخه تغییر یافته در (Geoffrion and Graves (1974 ارائه شده‌است.

۳-۷ الگوریتم‌های ابتکاری

همان‌طور که قبلاً خاطر نشان کردیم، مسئله چیدمان، جزء مسائل NP کامل هستند. پس تعجب‌آور نیست که الگوریتم‌های ابتکاری بیشتری نسبت به الگوریتم‌های بهینه، برای حل آن وجود داشته باشد. اکنون توجه‌مان را به الگوریتم‌های ابتکاری معطوف می‌کنیم. اولین الگوریتمی که بررسی می‌کنیم، ABSMODEL بحث شده در فصل ۵ را با

استفاده از الگوریتم‌های برنامه‌ریزی غیرخطی حل می‌کند. آخرین الگوریتم نیز بر پایه نظریه گراف است و بقیه، الگوریتم‌های ابتکاری جدیدتری هستند. شبیه‌سازی تبرید در حل مسائل ترکیبی^۱ به‌طور موفقیت‌آمیزی به‌کار گرفته می‌شود. با استفاده از الگوریتم شبیه‌سازی تبرید، الگوریتم ژنتیک و جستجوی تابو نیز مورد بحث قرار خواهند گرفت.

۷-۳-۱ تغییر یافته الگوریتم جریمه

در این بخش، رویکردی مطرح می‌شود که یک جواب اولیه با استفاده از الگوریتم تغییر یافته جریمه تولید می‌کند و سپس آن را با استفاده از greedy 2-opt بهبود می‌دهد. این رویکرد در رده الگوریتم‌های ترکیبی (هیبرید) معرفی شده در فصل ۶ قرار می‌گیرد. الگوریتم جریمه تغییر یافته (MP)، ABSMODEL محدودیت‌دار معرفی شده در فصل ۵ را به مدلی بدون محدودیت با استفاده از روش جریمه تبدیل می‌کند. مجذور هر محدودیت در یک پارامتر جریمه ضرب شده، در تابع هدف قرار می‌گیرد. دلیل این امر، در مدل محدودیت‌دار ذیل نشان داده شده‌است.

$$\begin{array}{ll} \text{Minimize} & c_{11}x_{11} + c_{12}x_{12} + \dots + c_{3n}x_{3n} \\ \text{Subject to} & a_{11}x_{11} + a_{12}x_{12} + \dots + a_{1n}x_{1n} \geq b_1 \\ & a_{21}x_{21} + a_{22}x_{22} + \dots + a_{2n}x_{2n} \leq b_2 \\ & a_{31}x_{31} + a_{32}x_{32} + \dots + a_{3n}x_{3n} = b_3 \\ & x_{11}, x_{12}, \dots, x_{3n} \geq 0 \end{array}$$

این مدل محدودیت‌دار با استفاده از پارامترهای جریمه β_1 ، β_2 و β_3 به یک مدل بدون محدودیت تبدیل می‌شود:

$$\begin{aligned} \text{Minimize } & c_1x_{11} + c_{12}x_{12} + \dots + c_{3n}x_{3n} \\ & + \beta_1(\max\{0, b_1 - a_{11}x_{11} - a_{12}x_{12} - \dots - a_{1n}x_{1n}\})^2 \\ & + \beta_2(\max\{0, a_{21}x_{21} + a_{22}x_{22} + \dots + a_{2n}x_{2n} - b_2\})^2 \\ & + \beta_3(a_{31}x_{31} + a_{32}x_{32} + \dots + a_{3n}x_{3n} - b_3)^2 \end{aligned}$$

در این تبدیل، در صورت تخطی از هر محدودیت در مدل اولیه (محدودیت‌دار)، جریمه‌ای وجود دارد. توجه داشته باشید که سومین جمله در مدل بدون محدودیت باید مجذور شود، ولی برای جملات اول و دوم نیازی نیست.

برای فهمیدن این تبدیل، فرض کنید که $a_{11}x_{11} + a_{12}x_{12} + \dots + a_{1n}x_{1n} < b_1$ ، در این صورت ما کریمم مجموعه مقابل $\{0, b_1 - a_{11}x_{11} - a_{12}x_{12} - \dots - a_{1n}x_{1n}\}$ مثبت است و تابع هدف می‌نیمم نمی‌شود. برای می‌نیمم کردن مقدار تابع هدف، به‌طور نظری، جواب طوری باید باشد که تمام محدودیت‌ها در مدل اولیه را ارضا کند. با این وجود، در دادن مقادیر β_1, β_2 و β_3 به پارامترهای جریمه، باید توجه بشود. اگر این مقادیر در مقایسه با ضرایب تابع هدف مدل اصلی بدون محدودیت، بزرگ باشند، بدان معنی است که ارضا محدودیت‌ها از اهمیت بیشتری برخوردار است تا می‌نیمم تابع هدف مدل بدون محدودیت.

از طرف دیگر اگر مقادیر پارامترهای جریمه کوچک باشند، تابع هدف (مدل محدودیت‌دار) می‌نیمم می‌شود ولی محدودیت‌ها ممکن است نقض شوند. علاوه بر این، هرچه اندازه مسئله افزایش می‌یابد، تعداد محدودیت‌ها در ABSMODEL افزایش یافته، و تعیین مقدار پارامترهای جریمه باز هم مشکل‌تر می‌شود. مقدار داده شده به پارامترهای جریمه به خواص مدل بدون محدودیت بستگی دارد + اینکه آیا محدب باشد، به‌طور پیوسته مشتق‌پذیر باشد، و اینکه بعضی شروط خاص دیگر مثل شروط سازگاری (عدم تناقض) ارضا شده باشند. این مسئله خود یک موضوع تحقیقی است و از حوصله این کتاب درسی خارج است. ما پیشنهاد می‌کنیم که خواننده خود، با مقادیر مختلف پارامترهای جریمه اجراهای آزمایشی انجام دهد، و آن مقادیری را که تابع هدف را می‌نیمم می‌کنند انتخاب کند. برای جزئیات بیشتر در مورد الگوریتم جریمه و

مقداردهی به پارامترهای جریمه، خواننده را به (Bazaraa and Shetty (1993 و Avriel (1976 ارجاع می‌دهیم.

در ادامه گام‌های الگوریتم MP آورده شده‌است. یک برنامه کامپیوتری برای این الگوریتم در دیسک ضمیمه موجود است.

گام ۰. مقادیر β_1 ، β_2 و β_3 را از کاربر دریافت کنید. S را مساوی بردار جواب اولیه و z را مساوی با مقدار تابع هدف متناظر بگیرید.

گام ۱. مدل محدودیت‌دار را به مدل بدون محدودیت تبدیل کنید.

گام ۲. با استفاده از الگوریتم پاول، مدل بدون محدودیت می‌نیمم سازی را حل کنید. اگر مقدار تابع هدف جواب حاصل کوچکتر یا مساوی z است، S^* را مساوی بردار جواب جدید و z^* را مساوی مقدار تابع هدف متناظر با S^* قرار دهید.

گام ۳. بردار جواب S^* را به گونه‌ای تغییر دهید تا یک جواب قابل قبول به دست آید.

گام ۴. جواب را با استفاده از greedy 2-opt بهبود دهید. متوقف شوید.

توجه کنید که در اینجا فرض می‌شود که در گام ۴، جواب با استفاده از الگوریتم greedy 2-opt بهبود داده می‌شود. امتیاز این الگوریتم آن است که کاربر می‌تواند یک جواب قابل قبول یا غیرقابل قبول فراهم کند. برای مثال، مقدار تمام متغیرهای x_i در جواب اولیه ABSMODEL1 در فصل ۵ را می‌توان صفر قرار داد. تفاوت چندانی در کیفیت جواب‌های نهایی به دست آمده از جواب‌های قابل قبول یا غیرقابل قبول وجود ندارد (جزئیات محاسباتی بیشتر در (Heragu and Kusiak (1991 یافت می‌شود).

گرچه هر جواب قابل قبولی را می‌توان فراهم کرد، بهتر است که یک جواب اولیه "استاندارد" ارائه کرد که در آن، واحد ۱ به مکان ۱، واحد ۲ به مکان ۲ و الی آخر منسوب شوند. البته، این کار در صورتی ممکن است که مکان‌ها از پیش شناخته شده

باشند. در غیر این صورت باید از روش‌های دیگری برای تولید جواب اولیه استاندارد

استفاده کرد. برای مثال، برای مسئله چیدمان یک‌ردیفی، واحد ۱ را می‌توان به مکان

منتهی‌الیه سمت چپ، واحد ۲ را به مکان سمت راست چسبیده به واحد ۱، واحد ۳ را به مکان سمت راست چسبیده به واحد ۲ و الی آخر تخصیص داد.

الگوریتم پاول که در گام ۲ استفاده می‌شود، الگوریتمی عمومی برای بهینه‌کردن مسائل بدون محدودیت است (Powell 1964). از هر الگوریتم مناسب دیگری برای بهینه‌کردن مسائل بدون محدودیت، می‌توان به‌جای آن استفاده کرد، مثل الگوریتم‌های جدیدتر در بسته‌های نرم‌افزاری مثل GINO و MINOS.

گام ۳ ضروری است چون جواب تولید شده در گام ۲ توسط الگوریتم پاول معمولاً قابل قبول نیست، مقادیر متغیرها ممکن است طوری باشد که دو یا چند تا از تسهیلات روی هم بیفتند و هم‌پوشانی داشته باشند. برای ایجاد یک جواب قابل قبول، به گام دیگری نیاز داریم که مقدار متغیرهای متناظر با تسهیلات روی هم افتاده را تغییر دهد و در عین حال موقعیت نسبی تسهیلات را که از الگوریتم پاول در گام ۲ به‌دست آمده بود، حفظ کند. این تغییر برای هر جفت از تسهیلاتی که با هم هم‌پوشانی دارند لازم است و در گام ۳ از الگوریتم MP انجام می‌شود. برای مثال، در مسئله چیدمان یک‌ردیفی، فرض کنید مقادیر x_i ، x_j و x_k برای سه واحد i ، j و k به‌گونه‌ای‌اند که:

$$x_i + x_j \leq \frac{1}{2} * (l_i + l_j) + d_{ij}, x_j + x_k \leq \frac{1}{2} * (l_j + l_k) + d_{jk}, x_i + x_k \leq \frac{1}{2} * (l_i + l_k) + d_{ik} \quad x_i > x_j > x_k$$

در نتیجه یک جواب نشان می‌دهد که:

- تسهیلات i و j باید در سمت چپ واحد k قرار بگیرند، و
- واحد i در سمت چپ واحد j قرار بگیرند.

به‌دلیل طبیعت روش جریمه، محدودیت‌ها کاملاً ارضا نمی‌شوند، در نتیجه، تسهیلات i و j و k هم‌پوشانی خواهند داشت. در نتیجه مقادیر α_i ، α_j و α_k طوری تغییر می‌یابند

$$\text{که: } x_i + x_j \leq \frac{1}{2} * (l_i + l_j) + d_{ij}, x_j + x_k \leq \frac{1}{2} * (l_j + l_k) + d_{jk}, x_i + x_k \leq \frac{1}{2} * (l_i + l_k) + d_{ik}$$

شود. این تغییر برای هر جفت از تسهیلاتی که هم‌پوشانی دارند ضروری است و در گام ۳ الگوریتم MP انجام می‌شود. برای مسئله چیدمان یک‌ردیفی، این گام را می‌توان به‌صورت "کشیدن" جواب حاصل از الگوریتم پاول برای از میان بردن هم‌پوشانی تصور کرد. توجه داشته باشید که تنها یک محدودیت در ABSMODEL1 وجود دارد. محدودیت (۳) در فصل ۵ اضافه شده تا تضمین کند که تسهیلات در داخل یک

ساختمان با پهنای H قرار بگیرند، اما افزودن این محدودیت ضروری نیست. زیرا هدف می‌نیمم کردن مسافت پیموده شده توسط وسایل حمل‌ونقل مواد است، چیدمان تولید شده فشرده خواهد بود. به عبارت دیگر، هیچ فضای خالی بین تسهیلات وجود نخواهد داشت، مگر آنکه کاربر فاصله خالی مورد نیاز بین آنها را خود، تعیین کند. در نتیجه، هنگام حل مسئله چیدمان یک‌رديفی، کاربر تنها باید مقدار پارامتر β_1 را وارد کند چون ABSMODEL1 تنها محدودیت‌های $\geq$ دارد.

در مسئله چیدمان چندرديفی در حالتی که تسهیلات، مساحت برابر دارند، ABSMODEL2 در فصل ۵ به یک مدل بدون محدودیت تبدیل می‌شود. برای بعضی از مسائل لازم است که محدودیت‌های (۱۳) و (۱۴) اضافه شوند، چون در غیر این صورت ممکن است الگوریتم MP یک چیدمان یک‌رديفی به جای چیدمان چندرديفی ایجاد کند. این محدودیت‌ها، تعداد تسهیلات در هر ردیف و ستون را مشخص می‌کنند، در نتیجه کاربر باید مقادیر H و V را نیز تعیین کند. کاربر همچنین باید مقادیر β_1 و β_2 را نیز وارد کند. چون هیچ محدودیت تساوی در این مسئله وجود ندارد، به مقدار β_3 نیازی نیست.

برای مسائل چیدمان چندرديفی، در حالی که مساحت تسهیلات با هم برابر نیست، از ABSMODEL3 در فصل ۵ استفاده می‌شود. محدودیت‌های اضافی برای اطمینان از اینکه تسهیلات در داخل محدوده زمین با ابعاد H و V قرار می‌گیرند باید افزوده شوند. چنین مدلی محدودیت‌های $\geq$ ، $\leq$ و $=$ دارد، در نتیجه کاربر باید مقادیر β_1 ، β_2 و β_3 را تعیین کند. مقادیر مناسبی باید وارد شود تا تضمین کند که به هر سه نوع محدودیت اهمیت یکسانی داده شده است. در ضمن باید، مقدار β_1 یکسانی برای تمام محدودیت‌های $\geq$ ، مقدار یکسان β_2 برای تمام محدودیت‌های $\leq$ و الی آخر وارد گردد. مثال بعد، استفاده از الگوریتم MP برای حل مسئله چیدمان یک رديفی را نشان می‌دهد.

مثال ۳

از یک تحلیل‌گر تسهیلات خواسته شده که چیدمان ۱۱ ایستگاه‌کاری را در یک بخش بازسازی شده ساختمان طراحی کند. با توجه به محدودیت‌های ناشی از شکل قسمت

بازسازی شده، این تحلیل‌گر به این نتیجه رسیده است که تنها یک چیدمان یک‌رديفی

قابل قبول است. بخش مهندسی از اطلاعات جریان محصول استفاده کرده تا ماتریس فراوانی سفرها را (شکل ۷-۹) به دست آورد. درایه‌ها، تعداد سفرهای پیش‌بینی شده بین هر جفت از ایستگاه‌های کاری در دوره برنامه‌ریزی آتی (۳ ساله) را نشان می‌دهد. طول ایستگاه‌های کاری در کنار ماتریس، در شکل نشان داده شده‌اند. تمام ایستگاه‌های کاری باید طوری قرار گیرند که ضلع بلندترشان موازی خط افقی قرار گیرد. توجه کنید که سایر ابعاد ایستگاه‌های کاری در نظر گرفته نشده‌اند زیرا تحلیل‌گر با مسئله چیدمان یک‌رديفی روبرو است.

		طول ایستگاه‌های کاری (فوت)										
		فراوانی سفرها برای ایستگاه‌های کاری										
ایستگاه کاری												
[f _{ij}]	1	0	20	2	8	0	9	5	7	0	20	3
	2	20	0	8	9	13	17	16	1	8	6	7
	3	2	8	0	18	0	10	4	18	5	8	0
	4	8	9	18	0	6	16	10	4	2	14	6
	5	0	13	0	6	0	6	0	11	0	8	2
	6	9	17	10	16	6	0	6	13	2	7	18
	7	5	16	4	10	0	6	0	1	11	15	7
	8	7	1	18	4	11	13	1	0	1	7	2
	9	0	8	5	2	0	2	11	1	0	12	0
	10	20	6	8	14	8	7	15	7	12	0	3
	11	3	7	0	6	2	18	7	2	0	3	0

شکل ۷-۹. ماتریس فراوانی سفرها و طول ۱۱ ایستگاه کاری

جواب. در ذیل، مدل بدون محدودیت این مسئله آورده شده است:

$$\text{Minimize} \quad \sum_{i=1}^{10} \sum_{j=i+1}^{11} f_{ij} |x_i - x_j| + \beta_{ij} \left(\max \left\{ 0, \frac{1}{2}(l_i + l_j) - |x_i - x_j| \right\} \right)$$

مقادیر f_{ij} و l_i از پیش شناخته شده هستند (ماتریس شکل ۷-۹ را ببینید) و مقادیر β_{ij} توسط کاربر وارد می‌شوند. (فایل ورودی آماده‌شده برای حل این مثال با استفاده از برنامه کامپیوتری ضمیمه شده و همچنین فایل خروجی تولید شده در پیوست این فصل نشان داده شده و بحث شده‌اند. خواننده می‌تواند هم اکنون به آنها مراجعه کند).

برای این مثال، تمام مقادیر β_{ij} مساوی یک قرار داده شده‌اند. حل این مدل با استفاده از الگوریتم پاول (گام ۲ الگوریتم MP) به جواب خاصی منجر می‌شود. مقدار متغیرهای x_i در ضمیمه آورده شده‌است.

با این مقادیر x_i به‌عنوان مختصات مراکز ایستگاه‌های کاری، جواب نشان داده شده در شکل ۷-۱۰ به‌راحتی به‌دست می‌آید. توجه کنید که تعدادی از تسهیلات در این جواب هم‌پوشانی دارند. اگر جواب شکل ۷-۱۰ را "بکشیم" به‌طوری که موقعیت نسبی ماشین‌آلات حفظ شوند، جواب نشان داده شده در شکل ۷-۱۱ را خواهیم داشت. در صورت لزوم این جواب را می‌توان با الگوریتم greedy 2-opt بهبود داد. تغییر یافته الگوریتم جریمه به همراه الگوریتم greedy 2-opt جواب‌های بسیار نزدیک به جواب بهینه به‌دست می‌دهند، به‌خصوص برای مسائل چیدمان یک‌ردیفی. جزئیات محاسباتی بیشتر در (Heragu and Alfa (1992) داده شده‌است.

در پیوست، فایل‌های ورودی و خروجی متناظر با برنامه کامپیوتری موجود در دیسک ضمیمه آمده‌است.

8 •		5 •			3 4 6 • • •	1 2 • • 10		7 •	9 •		11 •

شکل ۷-۱۰. حل مدل بدون محدودیت با استفاده از الگوریتم پاول

8	5	3	4	6	1	1	2	7	9	1

شکل ۷-۱۱. چیدمان به‌دست آمده پس از کشیدن ایستگاه‌هایی که در شکل ۷-۱۱ هم‌پوشانی داشته‌اند

۷-۳-۲ الگوریتم شبیه سازی تبرید

شبیه سازی تبرید^۱ (SA) تکنیکی است که ابتدا توسط فیزیکدان‌ها استفاده شد. این تکنیک بر مبنای نظریات مکانیک آماری است و از رفتار سیستم‌های فیزیکی در مجاورت حمام گرما الگو گرفته است (Johnson et al. 1989).

این رویکرد، نسبتاً رویکرد جدیدی است که به‌طور قابل توجهی در حل بسیاری از مسائل ترکیبی مانند مسئله تخصیص نمایی (QAP)، مسئله فروشنده دوره‌گرد (TSP) و مسئله افراز گراف به‌کار رفته و موفقیت‌آمیز بوده‌است. منابع و مراجع در این زمینه‌ها و دیگر کاربردها در Johnson et al. (1989) و Collins, Eglese, and Golden (1988) فهرست شده‌است. فرایند SA قابل قیاس با شیوه‌ای است که بلورها شکل می‌گیرند. به‌خوبی شناخته شده‌است که اگر مایعی تا دمای بالا حرارت داده شود و سپس به آرامی سرد شود، بلورهای تشکیل شده، نسبت به حالتی که به سرعت سرد شوند، کیفیت بهتری دارند. به‌طور مشابه، SA الگوریتمی است که به‌صورت تدریجی با رفتن از یک جواب به جواب دیگر، جواب‌های نهایی بهتری به‌دست می‌آورد. چنان که بعداً خواهیم دید، کمتر پیش می‌آید که الگوریتم جواب‌های بدتری را قبول کند. برای تشریح SA، بررسی می‌شود که چگونه این الگوریتم با الگوریتم‌های ساده بهبوددهنده مثل 2-opt، 3-opt یا CRAFT متفاوت است. یک تفاوت اساسی این است که الگوریتم‌های بهینه محلی، اغلب جستجوی خود برای یافتن جواب بهینه را در یک جهت نزولی محدود می‌کنند. به عبارت دیگر، جواب اولیه تنها در صورتی تغییر می‌کند که این تغییر موجب کاهش مقدار تابع هدف در مسئله می‌نیم‌سازی یا افزایش آن در مسئله ماکزیم‌سازی بشود. گرچه این کار ممکن است به ما در یافتن یک جواب بهینه محلی یاری برساند، ولی در بسیاری از موارد، این جواب از جواب بهینه مطلق بدتر است. به علاوه جواب بهینه محلی در 2-opt (یا 3-opt) به محدوده محلی که جستجو در آن صورت می‌گیرد، بستگی دارد. برای چیره‌شدن بر این محدودیت‌ها، و جستجوی سایر محدوده‌ها، الگوریتم جستجوی محلی توسعه داده می‌شود از محدوده‌های با

بهینه‌های ضعیف عقب گرد کند سایر محدوده‌ها را نیز جستجو کند و به این ترتیب شانس یافتن جوابی بهتر بسیار افزایش می‌یابد. این اساس الگوریتم SA است.

برای هر جواب جدید، این الگوریتم تفاوت بین مقدار تابع هدف (بهترین) جواب پیشین و جواب جدید را به دست می‌آورد و آن را δ می‌نامد. اگر این تفاوت مطلوب بود (یعنی در مسئله می‌نیم کردن، مقدار تابع هدف جواب جدید کمتر از بهترین جواب قبلی بود)، جواب قبلی نادیده گرفته می‌شود و جواب‌های جدید جای آن را می‌گیرد (توجه داشته باشید که مشابه همین کار در الگوریتم بهینه‌سازی محلی انجام می‌شود). اگر تفاوت مطلوب نبود، جواب جدید با احتمال مشخصی پذیرفته می‌شود. واضح است که احتمال قبول جواب جدیدتر به مقدار δ بستگی دارد. هر چه δ بزرگتر باشد، احتمال رد کردن جواب جدید بیشتر می‌شود. به این ترتیب جستجوهای SA برای یافتن پاسخ، در راستای صعودی است. با این روش است که می‌تواند از بهینه‌های محلی بازگشت کند و در محدوده‌های همسایه به دنبال جواب‌های بهتر بگردد.

توضیحات ما تصویر کلی الگوریتم SA را ترسیم کرده است ولی به دو سوال مشخص پاسخ نداده است: (۱) چند دفعه جواب‌های جدید را بررسی می‌کنیم؟ (۲) اگر نتوانستیم جواب را بهتر کنیم چه باید کرد؟ پاسخ سوال اول بستگی به این دارد که آیا ما به یک "حالت انجماد" رسیده‌ایم یا نه. اگر به یک حالت انجماد (یعنی حالتی که احتمال یافتن جواب‌های بهتر نسبتاً کوچک باشد) رسیده باشیم، هزینه جستجو برای جواب‌های جدید در مقایسه با فواید احتمالی آن بسیار بالا خواهد بود. پیاده‌سازی‌های مختلف از این الگوریتم، روش‌های متفاوتی را برای تشخیص اینکه آیا به یک چنین حالتی رسیده‌ایم یا خیر، به کار می‌برند. در این فصل ما به سادگی فرض می‌کنیم که اگر یکی از دو شرط ذیل برقرار باشد، به حالت انجماد رسیده‌ایم:

- تعداد جواب‌های بررسی شده از مقدار از پیش تعیین شده‌ای بیشتر باشد.
- تعداد جواب‌های جدید پذیرفته شده از مقدار از پیش تعیین شده‌ای بیشتر باشد.

برای پاسخ به سوال دوم، مفهوم "دما" را معرفی می‌کنیم. دما به حالتی اشاره می‌کند

که الگوریتم در جستجوی خود برای یافتن جواب‌های بهتر از آن عبور می‌کند. با

شروع از یک دمای اولیه، تنها هنگامی به دمای بعدی می‌رویم که به یک حالت انجماد

رسیده باشیم. هنگامی که به یک حالت انجماد می‌رسیم، دما توسط عامل و فاکتور سرد کننده‌ای مانند r ($0 < r < 1$) کاهش می‌یابد و این رویه ادامه می‌یابد تا تعداد از پیش تعیین شده‌ای از تغییر دما انجام شده باشد.

علائم به کار رفته و گام‌های این الگوریتم در ادامه آورده شده است:

n : تعداد ماشین‌آلات در مسئله چیدمان

T : دمای اولیه

r : عامل تبرید

$ITEMP$: تعداد دفعاتی که دمای T کاهش می‌یابد

$NOVER$: حداکثر تعداد جواب‌هایی که در هر دما بررسی می‌شوند

$NLIMIT$: حداکثر تعداد جواب‌های جدیدی که در هر دما پذیرفته می‌شوند

δ : اختلاف بین بهترین مقدار تابع هدف قبلی و تابع هدف جواب جدید

الگوریتم SA

گام ۰. قرار دهید: جواب قابل قبول اولیه S ، مقدار تابع هدف متناظر z ،
 $T=999.0$, $r=0.$, $ITEMP=0$, $NLIMIT=10n$, $NOVER=100n$ و به ترتیب

بیشترین تعداد ماشین‌آلات در هر سطر و ستون p, q

گام ۱. گام ۲ را به تعداد $NOVER$ مرتبه تکرار کنید یا تا زمانی که تعداد جواب‌های جدید موفق با $NLIMIT$ برابر بشود.

گام ۲. یک جفت از ماشین‌آلات را به تصادف انتخاب کنید و جایشان را با هم عوض کنید. اگر این کار باعث ایجاد هم‌پوشانی برای دیگر ماشین‌آلات می‌شود، مختصات مراکز ماشین‌آلات مربوطه را تغییر دهید تا هیچ هم‌پوشانی اتفاق نیفتد. اگر جواب به دست آمده، S' تابع هدفی کمتر از z داشت، قرار دهید $S=S'$ و مقدار تابع هدف متناظر z . در غیر این صورت $\delta =$ تفاوت بین z و مقدار تابع هدف جواب S' را محاسبه کنید و با احتمال $e^{-\delta/T}$ ، قرار دهید $S=S'$.

گام ۳. قرار دهید $T=rT$ و $ITEMP=ITEMP+1$ ، اگر $ITEMP \leq 100$ به گام ۱

بازگردید، در غیر این صورت متوقف شوید.

چهار جنبه از این الگوریتم به بحث بیشتر نیاز دارند. اولاً $e^{-\delta/T}$ در گام ۲، تابع پذیرش نام دارد (Murty 1995). توجه کنید که تابع پذیرش به‌گونه‌ای است که جواب‌هایی با مقدار تابع هدف کمی بیشتر، شانس بیشتری برای پذیرش دارند تا آنهایی که مقدار تابع هدفشان خیلی بزرگتر از مقدار تابع هدف جواب فعلی است. همچنین مقدار پارامتر T "دما" بایستی به‌گونه‌ای تعیین شود که زمانی که T بالا است جواب‌های بیشتری پذیرفته شوند و زمانی که T پائین است جواب‌های کمتری. چون مقدار T به تدریج کاهش می‌یابد (گام ۳ را ببینید)، این امر بدان معنا است که ما می‌خواهیم که جواب‌های بدتر در ابتدای کار بیشتر پذیرفته شوند تا در انتهای کار. منطق این کار آن است که می‌خواهیم از گیر افتادن در یک محدوده بهینه محلی در ابتدای کار دوری کنیم. دادن مقادیر خیلی کوچک به T باعث می‌شود که این الگوریتم مانند 2-opt رفتار کند (چون حرکت‌های رو به بالای کمتری پذیرفته می‌شوند) و در یک محدوده بهینه محلی بدتر به تله بیفتد.

ثانیاً، چون T باید طوری تعیین شود تا در ابتدای کار جواب‌های بیشتری پذیرفته شوند، در نتیجه $e^{-\delta/T}$ باید به‌گونه‌ای تعیین شود که نسبتاً زیاد باشد (یعنی نزدیک به واحد). این به نوبه خود به آن معنا است که ما باید ایده‌ای کلی درباره مقدار δ داشته باشیم (تفاوت مقدار تابع هدف دو پاسخ مناسب در فرایند جستجوی SA در ابتدای کار). برای مثال، اگر مقدار تابع هدف جواب اولیه در حدود ۵۰۰۰ و جواب‌های (بدتر) همسایه آن در حدود ۴۰۰ واحد بدتر از جواب اولیه باشند، انتخاب ۶۰۰۰ منجر می‌شود که مقدار تابع پذیرش ۰٫۹۳ واحد شود که اجازه می‌دهد الگوریتم جواب‌هایی با مقدار تابع هدف ۵۴۰۰ واحد را با احتمال بیشتری بپذیرد.

ثالثاً، زمان‌بندی‌ای که در این الگوریتم برای سردشدن استفاده می‌شود، روش ساده ولی نیرومندی است برای کسب اطمینان از اینکه پس از رسیدن به "حالت انجماد"، دما به تدریج کاهش می‌یابد و یا تعادل در یک حالت یا دمای خاصی برقرار می‌شود. هر چند عامل تبریدی برابر با ۰٫۹ را انتخاب کردیم، هر مقداری بین ۰٫۸ تا ۰٫۹۹ را می‌توان به کار برد. انتخاب مقدار بالاتر (نزدیک به ۰٫۹۹) برای عامل تبرید به معنی آن است که پیش از یک حالت به حالت دیگر آرام و تدریجی است. مقداری نزدیک به ۰٫۸ یعنی کاهش دما قابل توجه‌تر است، و بعضی اوقات باعث زودتر خاتمه یافتن

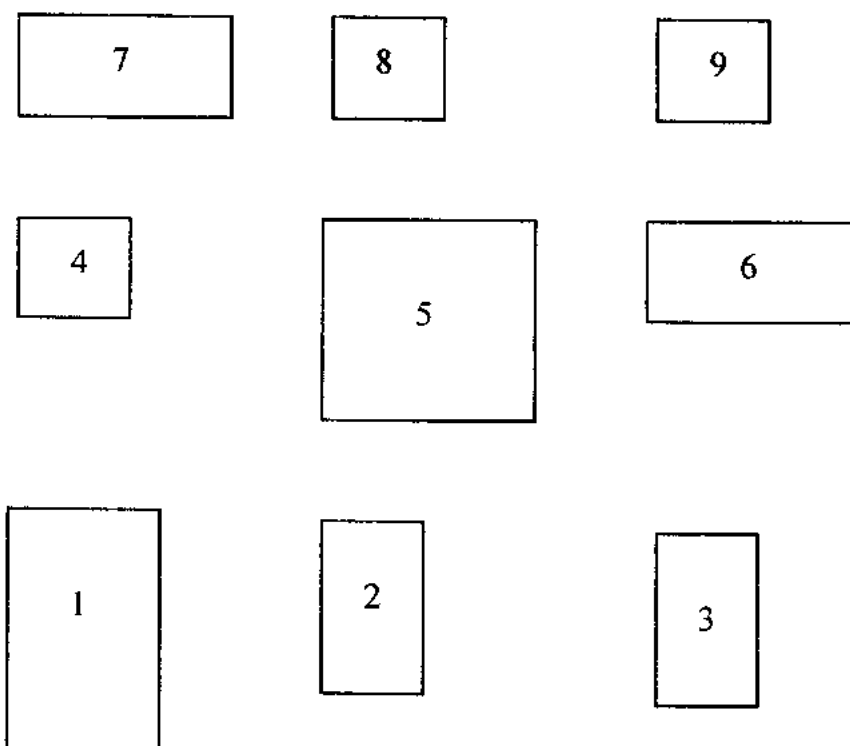
الگوریتم می‌شود. باز هم با آزمایش و خطا باید مقدار "درست" عامل تبرید را یافت. همچنین گاهی اوقات به جای زمان‌بندی تبرید ساده $T_{i+1} = rT_i$ که در گام ۳ نشان داده شد، می‌توان از زمان‌بندی $T_{i+1} = d / \log t$ استفاده کرد که در آن d مقداری ثابت و مثبت است (Murty 1995).

رابعاً، کارایی این الگوریتم به ساختار همسایگی استفاده شده بستگی دارد. Murty (1995) عنوان می‌کند که کارایی را می‌توان با طراحی همسایگی‌هایی که از ساختار مسئله نهایت استفاده را می‌برند، بهبود بخشید. یکی از نیازمندی‌های مهم دیگر در طراحی همسایگی، آن است که بتوانیم از هر جواب (چیدمان) قابل قبول به هر جواب دیگری برویم. به وضوح، رویه جابجا کردن جفت‌ها در گام ۲ به ما این امکان را می‌دهد.

در مسئله چیدمان عمومی، ممکن است با ماشین‌آلاتی با مساحت‌های متفاوت روبرو باشیم، در نتیجه فرض می‌کنیم که حداکثر تعداد مجاز ماشین‌آلات در هر ردیف و ستون و جهت چیدمان آنها مشخص هستند. این اطلاعات به ما امکان استفاده از الگوریتم SA در حل مسائل چیدمان با مساحت‌های غیرمساوی را می‌دهد. با داشتن اطلاعات مربوط به حداکثر تعداد ماشین‌آلات در هر ردیف و ستون به راحتی می‌توان یک چیدمان تهیه کرد. اگر به ترتیب q, p ردیف و ستون از ماشین‌آلات داشته باشیم، می‌توانیم چیدمان را به صورت یک شبکه $p \times q$ با خانه‌هایی با مساحت‌های مختلف تصور کنیم (چون ماشین‌آلات، مساحت‌های یکسان ندارند). هر خانه یک مکان را مشخص می‌کند و مساحت هر مکان به مساحت ماشینی که آن را اشغال می‌کند بستگی دارد. برای راحتی، مکان‌ها را می‌توان به ترتیب صعودی از چپ به راست و از بالا به پایین شماره‌گذاری کرد. فرض می‌کنیم که ماشین‌آلات طوری قرار گرفته‌اند که اضلاع بالایی آنها در هر ردیف در یک امتداد و اضلاع سمت چپ ماشین‌ها در هر ستون نیز در یک امتداد باشند (شکل ۷-۱۲). مکان‌ها در این شکل از چپ به راست و از پایین به بالا شماره‌گذاری شده‌اند. توجه داشته باشید که ماشین‌آلات از هم جدا شده‌اند برای اینکه حداقل فواصل خالی افقی و عمودی را داشته باشند (شکل ۷-۱۲).

گام ۱ از الگوریتم SA گام اولیه‌ای است که در آن یک جواب قابل قبول اولیه، تابع هدف متناظر با آن، برخی پارامترها مانند $ITEMP, NOVER, NLIMIT$ و مقادیر q, p

تعیین می‌شوند. گرچه می‌توان با هر جواب اولیه‌ای شروع کرد، اما راحت‌ترین کار آن است که ماشین ۱ را به مکان ۱، ماشین ۲ به مکان ۲ و الی آخر نسبت داد. مقدار دمای اولیه T باید به گونه‌ای تعیین شود که از بزرگترین δ که به‌طور معمولی دیده می‌شود، بسیار بیشتر باشد. این کار باعث می‌شود که تعداد زیادی از جواب‌های بد در ابتدای کار پذیرفته شوند و با این کار، تنوع در جستجو زیاد می‌شود. تجربه محاسباتی ما نشان می‌دهد که مقدار ۹۹۹،۰ مناسب است، پس T را برابر با ۹۹۹،۰ قرار می‌دهیم. عامل تبرید (r) ۰،۹، $NOVER$ به $100n$ و $NLIMIT$ را برابر با $10n$ قرار می‌دهیم. n تعداد ماشین‌آلات در مسئله چیدمان است. به خوانندگان توصیه می‌شود با مقادیر دیگر نیز برای پارامترهای مختلف آزمایش بکنند.

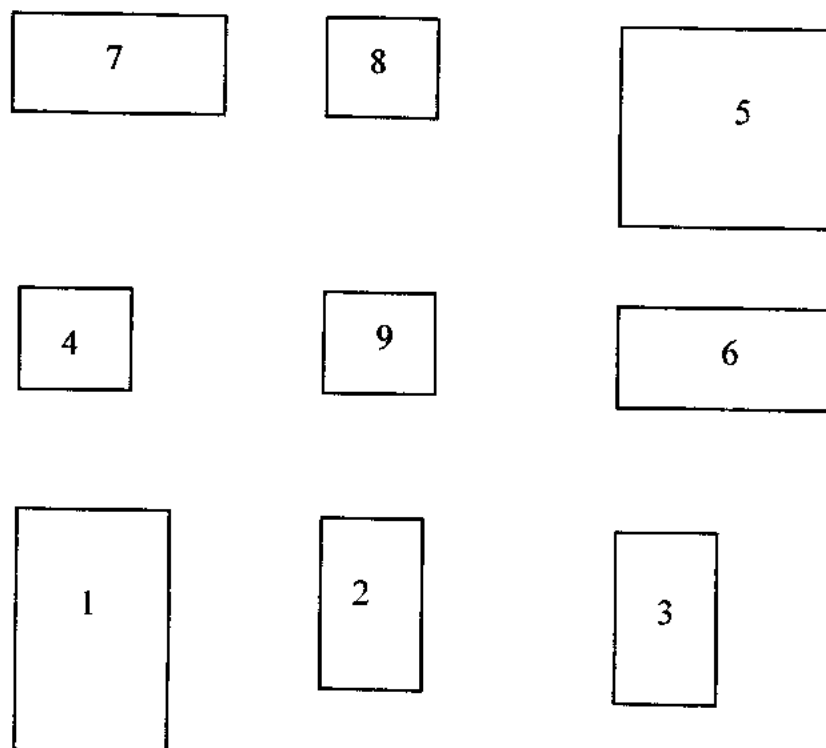


شکل ۷-۱۲. جای‌گیری ماشین‌آلات به نحوی که ضلع بالایی به‌صورت افقی و ضلع چپ به‌صورت عمودی هم‌راستا هستند

در گام‌های ۱ و ۲، الگوریتم تعویض‌های تصادفی مکان‌های دو ماشین را بررسی می‌کند. اگر تعویض به جوابی با مقدار تابع هدف کمتر منتهی شد، جواب جدید پذیرفته می‌شود. در غیر این صورت δ - تفاوت بین مقدار تابع هدف بهترین جواب به - دست آمده از قبل و جواب فعلی - را محاسبه می‌کنیم. احتمال پذیرش این جواب، $e^{-\delta/T}$

است، به عبارت دیگر هر چه مقدار δ بزرگتر باشد، احتمال رد شدن این جواب بیشتر خواهد بود. این گام (گام ۲)، به تعداد *NOVER* بار تکرار می‌شود و یا آن قدر که تعداد جواب‌های جدید پذیرفته شده برابر *NLIMIT* بشود، هر کدام که زودتر رخ داد. هر بار که یک تعویض تصادفی در گام ۲ بررسی می‌شود، یک مرحله چیدمان مجدد انجام می‌شود. این کار به خاطر آن است که در مسئله چیدمان با مساحت‌های غیر مساوی ممکن است در هر تعویض به تصحیح جای سایر ماشین‌آلات نیز نیاز باشد، به خصوص هنگامی که دو ماشین تعویض شده، مساحت و شکل یکسانی نداشته باشند. برای مثال هنگامی که مکان ماشین‌آلات ۵ و ۹ در شکل ۷-۱۲ عوض می‌شوند، جواب حاصل را باید تغییر داد تا اطمینان یابیم که: (۱) ماشین‌آلات به گونه‌ای از هم جدا شده‌اند که هم‌پوشانی ندارند، (۲) فواصل خالی افقی و عمودی رعایت شده است و (۳) لبه‌های بالایی ماشین‌آلات در هر ردیف در یک راستای افقی قرار گرفته‌اند (جواب تغییر یافته شکل ۷-۱۳ را ببینید). این کار هر بار که یک تعویض بررسی می‌شود انجام می‌گیرد. همان‌طور که لبه‌های بالایی به‌طور افقی هم راستا می‌شوند، لبه‌های چپ را نیز می‌توان به‌طور عمودی هم راستا کرد تا اطمینان یابیم که مسیرهای عبور و مرور و حمل و نقل مواد در خطوط راست انجام می‌شود (شکل ۷-۱۲ و ۷-۱۳). با این وجود، برنامه موجود در دیسک ضمیمه، لبه‌های سمت چپ را هم راستا نمی‌کند.

سپس الگوریتم مقدار دما را به اندازه ۲ کاهش داده و گام ۱ و ۲ را تکرار می‌کند. فرایند بررسی *NOVER* تا جواب و یا قبول *NLIMIT* تا پاسخ جدید ادامه می‌یابد، تا ۱۰۰ گام دمایی (یا اجرایی بازپخت) بررسی شود (گام ۳). سپس الگوریتم متوقف شده و بهترین چیدمان به دست آمده و مقدار تابع هدف متناظر با آن را ارائه می‌دهد. به جای بررسی ۱۰۰ گام دمایی، البته می‌توان گام‌های کمتری در نظر گرفت - مثلاً ۱۰ یا ۵۰ گام. به‌طور کلی، هر چه گام‌های دمایی بیشتر باشند، جواب نهایی بهتر است. البته، زمان محاسباتی لازم نیز به‌طور قابل ملاحظه‌ای بیشتر است. مثال بعدی نشان می‌دهد که چگونه می‌توان از این الگوریتم در حل مسائل چیدمان تسهیلات در دنیای واقعی استفاده کرد.



شکل ۷-۱۳. راه حل تصحیح شده پس از تغییر در محل ماشین آلات در مکان های ۵ و ۹

مثال ۴

یک سازنده وسایل پزشکی فایبر اپتیک و الکترو اپتیک، یک بخش عمومی ماشین کاری و سه سلول ساخت دارد - یکی برای ساخت پایه های لوله اپتیکی، دیگری برای پایه های اتوسکوپ و سومی برای اتصالات. در بخش ماشین کاری عمومی، بر روی نوزده قطعه کار می شود و میزان ترافیک و ازدحام نسبتاً بالا است. مدیر تولید می خواهد چیدمان جدیدی برای این قسمت طراحی کند. از آنجایی که قطعات کوچک و سبک هستند روی پالت قرار گرفته و با دست توسط اپراتورهای ماشین ها به ماشین بعدی حمل می شوند. اندازه پالت ها به اندازه قطعات بستگی دارد و در جدول ۷-۲ نشان داده شده است، که مقدار برنامه تولید برای ۳ سال آینده و اطلاعات مسیر-قطعه را نیز دربر دارد. با استفاده از داده های جدول ۷-۲ و داده های مربوط به ابعاد ماشین آلات در جدول ۷-۳، یک ماتریس جریان (که جریان "بین" ۱۲ ماشینی که ۱۹ قطعه را تولید می کنند نشان می دهد) ساخته و با استفاده از الگوریتم SA یک چیدمان برای آن به دست آورید. فرض کنید که حداقل فاصله خالی بین ماشین آلات به صورت افقی و عمودی،

برابر با ۲ فوت است.

جواب. جدول ۷-۲ به ما امکان ساختن ماتریس جریان شکل ۷-۱۴ را می‌دهد. به راحتی می‌توان فهمید که جریان بین هر جفت از ماشین‌آلات، به قطعات کار شده پی‌درپی روی این ماشین‌ها، حجم تولید و اندازه دسته تولید بستگی دارد. برای مثال قطعات ۵۰۱-۳۸۰۰۴۹، ۵۰۲-۳۸۰۰۴۹، ۵۰۲-۷۳۵۰۰۱ و ۳۸۱۳-H تنها قطعاتی هستند که به‌طور پی‌درپی روی ماشین‌های ۷ و ۱۰ (PRESS-A و CUTOFFSAW) کار می‌شوند. در نتیجه تعداد سفرها بین این ماشین‌ها برابر است با:

$$\frac{200000}{100} + \frac{100000}{100} + \frac{300000}{100} + \frac{60000}{20} = 9000 \quad (25)$$

جدول ۷-۳. ابعاد ماشین‌آلات

شماره ماشین	کد ماشین	طول (فوت)	عرض (فوت)
۱	GRIND-A	۱۵	۳
۲	BROACH	۱۰	۱۰
۳	AUTOCHUKR	۶	۴
۴	SPCBENCH	۸	۸
۵	VMC-MAT	۹	۱۱
۶	SCREWMACH	۴	۲
۷	PRESS-A	۳	۳
۸	PRESS-B	۵	۵
۹	INDUCTIONHEATR	۴	۶
۱۰	CUTOFFSAW	۱۰	۹
۱۱	MECHPRESS	۴	۲
۱۲	HYDRAULICPRESS	۳	۳

جدول ۷-۲. مسیر و دیگر اطلاعات برای هر قطعه

شماره قطعه	کد قطعه	مسیریابی (توالی عبور از ماشین آلات)	میزان برنامه ریزی شده (به هزار)	دسته تولید
۱	۰۳۱۰۰۱-۳	۱-۸-۴-۹	۱۰۰,۰۰۰	۵۰
۲	۲۰۱۰۵۲	۱-۷-۴-۸-۴-۷	۲۴۰,۰۰۰	۸۰
۳	۲۷۰۰۸۰-۵۰۱	۱-۲-۷-۴-۸-۹	۲۰,۰۰۰	۲۰
۴	۳۷۰۱۹	۱-۷-۴-۹	۳۰,۰۰۰	۱۰
۵	۳۸۰۰۴۹-۵۰۱	۱-۱۰-۶-۷-۹	۲۰۰,۰۰۰	۱۰۰
۶	۳۸۰۰۴۹-۵۰۲	۱۰-۶-۷-۸-۹	۱۰۰,۰۰۰	۱۰۰
۷	۱-۴۰۰۱۶۴	۸-۴-۶-۹	۲۰۰,۰۰۰	۱۰۰
۸	۵۰۱-۴۸۲۱۱۱	۳-۲-۵-۸-۴-۶-۹	۵۰,۰۰۰	۵۰
۹	۵-۴۹۰۰۱۲	۳-۸-۴-۶-۵-۹	۵۰,۰۰۰	۵۰
۱۰	۱-۶۰۸۱۱۵	۷-۴-۸-۴	۸۰,۰۰۰	۴۰
۱۱	۱۶-۶۳۵۰۰۷	۶	۲۴۰,۰۰۰	۸۰
۱۲	۵۰۳-۶۹۵۴۲۶	۱۱-۷-۱۲	۸۰,۰۰۰	۸۰
۱۳	۷۱۰۱۰۷-۵۰۷	۱۱-۱۲	۸۰,۰۰۰	۸۰
۱۴	۷۳۵۰۰۱-۵۰۲	۱۱-۷-۱۰	۳۰۰,۰۰۰	۱۰۰
۱۵	۷۶۰۰۰۹-۱	۱-۷-۱۱-۱۰-۱۱-۱۲	۵۰,۰۰۰	۵۰
۱۶	۷۸۸۰۱۴-۱	۱-۷-۱۱-۱۰-۱۱-۱۲	۱۰۰,۰۰۰	۵۰
۱۷	۹۹۹۴۵۹	۱۱-۷-۱۲	۲۰,۰۰۰	۲۰
۱۸	H۳۸۱۳	۷-۶-۱۰	۶۰,۰۰۰	۲۰
۱۹	L۹۹۹۳۲۵-۲	۱۲	۴۰,۰۰۰	۲۰

	ماشین											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
ماشین	1	-	1	0	8	0	2	3	0	0	0	0
	2	1	-	0	1	1	1	0	0	0	0	0
	3	0	0	-	0	2	0	0	0	0	0	0
	4	8	1	0	-	0	4	14	11	0	0	0
	5	0	1	2	0	-	1	0	0	0	0	0
	6	2	1	0	4	1	-	3	0	0	3	0
	7	3	0	0	14	0	3	-	5	5	9	8
	8	0	0	0	11	0	0	5	-	8	0	0
	9	0	0	0	0	0	0	5	8	-	0	0
	10	0	0	0	0	0	3	9	0	0	-	6
	11	0	0	0	0	0	0	8	0	0	6	-
	12	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	4

شکل ۷-۱۴. ماتریس جریان (به ازای هزار سفر)

فرض می‌کنیم که در چیدمان اولیه، ماشین ۱ به مکان ۱، ماشین ۲ به مکان ۲ و الی آخر نسبت داده شده باشند. چون فواصل خالی بین هر جفت از ماشین‌ها در هر دو راستا یکسان است، ما آن را صفر فرض می‌کنیم و این فرض جواب بهینه مسئله را تغییر نمی‌دهد. فایل ورودی مشابه همان است که در پیوست برای مثال ۳ نشان داده شده است.

این فایل به برنامه SA موجود در دیسک ضمیمه افزوده شده است. پارامترهای T , r , $NOVER$ و $NLIMIT$ مانند گام ۰ الگوریتم، مقدار گرفته‌اند. برنامه کامپیوتری مقادیر p و q (تعداد ماشین‌ها در سطر و ستون) را به عنوان ورودی از کاربر می‌خواهد و در اینجا به ترتیب برابر ۴ و ۳ قرار داده شده‌اند. جواب نهایی توسط برنامه کامپیوتری تولید شده و در شکل ۷-۱۵ نشان داده شده است که مقدار تابع هدفی برابر با ۸۷۷ دارد.


```

9 9 8 8 8 8 4 4 4 4 3 3 3 3
9 9 8 8 8 8 4 4 4 4 3 3 3 3
9 9 8 8 8 8 4 4 4 4
9 9 8 8 8 8 4 4 4 4
12121111 7 7 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
12121111 7 7 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
101010101010 6 6 2 2 2 2 2 2 5 5 5 5 5 5
101010101010 6 6 2 2 2 2 2 2 5 5 5 5 5 5
101010101010 2 2 2 2 2 2 2 2 5 5 5 5 5 5
101010101010 2 2 2 2 2 2 2 2 5 5 5 5 5 5
101010101010 2 2 2 2 2 2 2 2 5 5 5 5 5 5
101010101010 2 2 2 2 2 2 2 2 5 5 5 5 5 5

```

شکل ۷-۱۵. جواب تولید شده توسط الگوریتم شبیه‌سازی تبرید برای مثال ۴

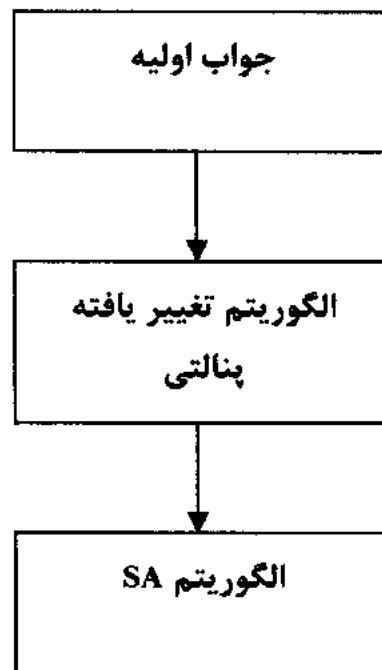
۷-۳-۳ ترکیبی SA الگوریتم

در این بخش درباره الگوریتم ترکیبی^۱ (HSA) وضع شده توسط Heragu and Alfa (1992) صحبت می‌کنیم. این الگوریتم در ابتدا سعی می‌کند جواب اولیه فراهم شده توسط کاربر را با استفاده از MP و greedy 2-opt بهبود دهد. سپس سعی می‌کند با الگوریتم SA (شکل ۷-۱۶) آن را باز هم بهتر کند. علائم به کار رفته شبیه بخش قبل است.

گام ۱. قرار دهید: جواب قابل قبول اولیه S ، مقدار تابع هدف متناظر z ،
 $T = 999.0$, $r = .9$, $ITEMP = 0$, $NLIMIT = 10n$, $NOVER = 100n$ و حداکثر

تعداد ماشین‌آلات مجاز در هر سطر و ستون p و q .

گام ۲. الگوریتم MP را بر روی جواب قابل قبول اولیه به کار ببندید. اگر ماشین‌آلات هم‌پوشانی پیدا می‌کنند، مختصاتشان را به گونه‌ای تغییر دهید تا این حالت از بین برود. اگر z' (مقدار تابع هدف جواب S') کوچکتر مساوی z بود، قرار دهید $S = S'$ ، $z = z'$ و $j = i + 1$, $i = 1$.



شکل ۷-۱۶. فلوچارت نمایش نحوه حل HSA

گام ۳. اگر $i \leq n-1$ ، جای دو ماشین i و z را عوض کنید. در غیر این صورت به گام ۴ بروید. اگر تعویض مکان ماشین‌های i و z منجر به ایجاد هم‌پوشانی بعضی از جفت ماشین‌های دیگر شد، مختصات مراکز آن ماشین‌ها را به‌طور مناسب تغییر دهید تا هم‌پوشانی از بین برود. اگر جواب حاصل، مقدار تابع هدفی برابر با $z' \leq z$ ، قرار دهید: $z = z'$ ، $i=1$ و $z=i+1$ و گام ۳ را تکرار کنید در غیر این صورت قرار دهید $z=j+1$. اگر $j \geq n$ ، قرار دهید: $z=i+1$ ، $i=1$ و گام ۳ را تکرار کنید.

گام ۴. گام ۵ را $NOVER$ بار تکرار کنید یا آن‌قدر که تعداد جواب‌های مناسب دید برابر با $NLIMIT$ تا شود.

گام ۵. یک جفت از ماشین‌آلات را به‌طور تصادفی انتخاب کرده جای آنها را با هم عوض کنید. اگر این کار باعث روی هم افتادن جفت‌های دیگری از ماشین‌آلات شد، مراکز آنها را به‌طور مناسب تغییر دهید تا هم‌پوشانی‌ای وجود نداشته باشد. اگر جواب حاصل S' ، مقدار تابع هدفی کوچکتر یا مساوی z داشت، قرار دهید $S=S'$ و مقدار تابع هدف متناظر z . در غیر این

صورت تفاوت بین z و مقدار تابع هدف جواب $\delta = S'$ را محاسبه کنید و قرار دهید $S = S'$ با احتمال $1 - e^{\delta/T}$.

گام ۶. قرار دهید $T = rT$ و $ITEMP = ITEMP + 1$. اگر $ITEMP \leq 100$ به گام ۴ بازگردید، در غیر این صورت متوقف شوید.

گام ۱ الگوریتم، یک گام اولیه است که در آن کاربر، یک جواب قابل قبول اولیه، مقدار تابع هدف متناظر با آن، و سایر پارامترها و حداکثر تعداد ماشین‌هایی که مجازند در سطرها و ستون‌ها قرار گیرند را وارد می‌کند. همچنان که در بخش پیش گفته شد راحت‌تر آن است که در جواب اولیه، ماشین ۱ در مکان ۱، ماشین ۲ در مکان ۲ و الی آخر قرار گیرند.

سپس الگوریتم MP را روی این جواب اولیه به کار می‌بندیم. چون معمولاً در چیدمانی که به دست می‌آید، ماشین‌ها هم‌پوشانی دارند، گام تغییر چیدمان اجرا می‌شود، که در آن مختصات x ماشین‌ها با الگوریتم MP مشخص شده و به ترتیب صعودی مرتب می‌شوند. حداکثر تعداد ماشین‌های مجاز در هر ردیف، p است، پس اولین p ماشین با کمترین مختصات x در پایین‌ترین ردیف در چیدمان قرار می‌گیرند. برای تعیین چیدمان از چپ به راست این p ماشین، مختصات y آنها بررسی می‌شود. ماشینی که کمترین مقدار y را دارد در منتهی‌الیه چپ در ردیف پایین قرار می‌گیرد و ماشین بعدی در سمت راست چسبیده به آن و الی آخر قرار می‌گیرند. ردیف بعدی نیز به همین ترتیب مرتب می‌شود. اگر این رویه به جوابی با مقدار تابع هدف کمتر منجر شود، جواب بهبود یافته و مقدار تابع هدف متناظر با آن حفظ می‌شود.

در گام ۳، الگوریتم تعویض حریصانه به کار گرفته می‌شود. هر بار که این الگوریتم تعویض جای دو ماشین را بررسی می‌کند، اطمینان حاصل می‌کند که هیچ هم‌پوشانی اتفاق نمی‌افتد. اگر هم‌پوشانی وجود داشت، مختصات ماشین‌آلاتی که روی هم افتاده‌اند به ترتیب تغییر می‌کنند یعنی، گام اصلاح چیدمان اجرا می‌شود. اگر چیدمان حاصل، مقدار تابع هدف کمتری داشت، الگوریتم این تغییر را انجام داده، قرار می‌دهد $j = i + 1$ و گام ۳ تکرار می‌شود. در غیر این صورت جفت دستگاه‌های موجود بعدی را

بررسی می‌کند. این کار آن‌قدر ادامه می‌یابد تا تعویض جای دو ماشین منجر به جواب با تابع هدف کمتر نشود.

در گام ۴ و ۵، الگوریتم تعویض تصادفی جای دو ماشین را بررسی می‌کند. اگر تعویض به جوابی با تابع هدف کمتر منجر شود، جواب جدید پذیرفته می‌شود. و گرنه δ -تفاوت بین مقدار تابع هدف بهترین جواب به‌دست آمده و جواب فعلی - محاسبه می‌شود. احتمال قبول این جواب $1 - e^{-\delta/T}$ است. به عبارت دیگر، هر چه مقدار δ بیشتر باشد، احتمال رد این جواب جدید بیشتر خواهد بود.

این گام (گام ۵)، *NOVER* بار تکرار می‌شود یا آن‌قدر که تعداد جواب‌های جدید پذیرفته شده برابر *NLIMIT* بشود، هر کدام زودتر رخ داد. مانند مورد الگوریتم greedy، گام چیدمان مجدد در هر تعویض تصادفی در گام ۵، اجرا می‌شود. سپس الگوریتم مقدار دما را به اندازه r کم کرده، گام ۴ و ۵ را تکرار می‌کنید. این فرایند بررسی *NOVER* جواب و قبول *NLIMIT* جواب جدید تا ۱۰۰ گام دمایی ادامه می‌یابد (گام ۶). در این مرحله، الگوریتم متوقف شده، بهترین چیدمان و مقدار تابع متناظر با آن را به‌دست می‌دهد.

مثال ۵

مسئله مثال ۴ را با HSA حل کنید.

جواب. مانند قبل، ماتریس جریان ساخته شده و پارامترها مانند گام ۱ مقداردهی می‌شوند. فایل ورودی آماده شده و در HSA فراهم شده‌است. جواب حاصل از این الگوریتم در شکل ۷-۱۷ نشان داده شده‌است. مقدار تابع هدف این جواب، ۹۲۲ است. هر چند مقدار تابع هدف از آنچه در الگوریتم SA به‌دست آمده بیشتر است، ولی باید خاطر نشان کرد که در بسیاری از نمونه مسائل در کتاب‌های چاپ شده در این باره، عکس این امر صادق بوده‌است.

9	9	8	8	8	8	4	4	4	4	3	3	3	3
9	9	8	8	8	8	4	4	4	4	3	3	3	3
9	9	8	8	8	8	4	4	4	4				
9	9	8	8	8	8	4	4	4	4				
1	1	1	1	7	7	1	2	1	2	1	1	1	1
1	1	1	1	7	7	1	2	1	2	1	1	1	1
1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	6	6	2	2
1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	6	6	2	2
1	0	1	0	1	0	1	0	1	0			2	2
1	0	1	0	1	0	1	0	1	0			2	2
1	0	1	0	1	0	1	0	1	0			2	2
1	0	1	0	1	0	1	0	1	0			2	2
1	0	1	0	1	0	1	0	1	0			2	2
1	0	1	0	1	0	1	0	1	0			2	2

شکل ۷-۱۷. جواب حاصل از الگوریتم HSA

۷-۳-۴ جستجوی تابو

جستجوی تابو^۱ (TS) یک الگوریتم ابتکاری سطح بالا یا "فوق" ابتکاری است که توسط Glover (1989) و (1989) طراحی شده است. همانند الگوریتم SA، از این الگوریتم نیز در حل مسائل ترکیبی با موفقیت قابل قبولی استفاده شده است. Malek et al. (1989) ، TS را برای حل مسئله فروشنده دوره‌گرد به کار برد، Barnes and Laguna (1990) از آن برای زمان‌بندی ماشین‌ها استفاده کردند و Skorin-Kapov (1990) از یک نسخه تغییر یافته آن (به نام الگوریتم دریانوردی تابو) برای حل مسئله تخصیص نمایی استفاده کرد. در این بخش شرح کوتاهی درباره ایده‌های اصلی TS خواهیم داد. آموزش کامل TS در Glover (1989) و (1990) موجود است. به خوانندگان عزیز توصیه می‌شود به این دو منبع برای اطلاعات بیشتر مراجعه کنند.

TS رویه‌ای است که می‌توان آن را بر روی سایر تکنیک‌های جستجو قرار داد - مانند 2-opt و SA- تا عمل جستجو را با کارایی بیشتر و بدون در تله افتادن در بهینه‌های محلی انجام دهد. گرچه SA نیز مکانیسمی دارد که به رویه جستجو این امکان را می‌دهد تا از بهینه‌های محلی فرار کند، ولی از آنجایی که رویه‌ای بدون حافظه است ممکن است بارها جواب‌ها یا محدوده‌های جوابی را که قبلاً جستجو کرده بودیم،

دوباره جستجو کنیم و به این ترتیب وقت با ارزش محاسباتی را هدر بدهیم. این مشکل که به "دور افتادن" معروف است ممکن است در رویکردهای قطعی رخ دهد (برای مثال، Skorin-Kapov (1990) را ببینید). اما به‌طور کلی برای رویه‌های احتمالی مانند SA مشکلی ایجاد نمی‌کند. TS از طریق نگهداری فهرستی از جواب‌ها (یا ویژگی‌های جواب‌ها) که نمی‌بایست در کوتاه‌مدت در نظر گرفته شوند (مگر اینکه شاخص‌های خاصی را ارضاء کنند) زیرا آنها ممکن است که چندی پیش بررسی شده باشند و یا چون جستجو را به‌سوی محدوده‌های زیربینه سوق می‌دهند، از هدر رفتن وقت به‌خاطر محاسبات زیاد جلوگیری می‌کنند. حافظه کوتاه مدت همچنان که جستجو پیش می‌رود به‌هنگام می‌شود. یک جواب (یا ویژگی جواب) که زمانی تابو بوده ممکن است همچنان که جستجو ادامه می‌یابد بعداً تابو نباشد و سپس دوباره به‌عنوان تابو قلمداد شود. TS جواب‌های تابویی را که شاخص‌های خاصی را ارضاء می‌کنند می‌پذیرد. هنگام تصمیم‌گیری در مورد انجام یک تعویض، الگوریتم TS ابتدا فهرست تابو را بررسی می‌کند. اگر جواب حاصل از تعویض در فهرست تابو باشد، الگوریتم امتحان می‌کند که آیا شاخص مورد نظر ارضاء می‌شود یا خیر. در ادامه یک تستی برای پذیرش شاخصی ساده را عنوان می‌کنیم. اگر تعویض، به جوابی منجر شود که مقدار تابع هدف آن بهتر از بهترین مقداری است که تاکنون داریم، آنگاه می‌گوییم شاخص ارضاء شده‌است. به این ترتیب TS جستجو را هدایت کرده آن را با نگهداشتن حساب جواب‌های تازه بررسی شده و تشخیص اینکه آیا یک جواب تازه بررسی شده باید پذیرفته شود، کاراتر می‌کند. این شیوه جستجو ادامه می‌یابد تا هنگامی که یکی از چندین ضابطه خاتمه برقرار شود.

گرچه استفاده از حافظه کوتاه‌مدت ممکن است به خودی خود جواب‌های خوبی به‌دست دهد، اما Glover (1990) پیشنهاد می‌کند که از ساختارهای حافظه‌ای میان‌مدت و بلندمدت استفاده شود تا جستجو را تقویت کرد (یعنی در درازمدت حساب ویژگی‌های جواب‌هایی که خوب شناخته شده‌اند نگهداری شود و محدوده چنین جواب‌هایی جستجو شود) و متنوع نمود (یعنی الگوریتم را به سمت کشف ناحیه‌های ناشناخته رهنمود کرد). چنین استراتژی‌های تقویت‌کننده و تنوع‌بخش با استفاده از ساختارهای حافظه بلندمدت، بهترین جواب‌ها برای مسائل ترکیبی دشوار تهیه می‌کنند.

در اینجا به‌طور خلاصه الگوریتم TS را برای حل مسئله تخصیص نمایی شرح می‌دهیم، به نام دریانوردی تابو، که از ساختارهای حافظه کوتاه‌مدت و بلندمدت استفاده می‌کند و توسط Skorin-Kapov (1990) ایجاد شده‌است.

الگوریتم دریانوردی تابو

گام ۱. ماتریس‌های جریان (F) و فاصله (D) را بخوانید. ماتریس صفر $n \times n$ حافظه بلندمدت (LTM) را ایجاد کنید. n تعداد تسهیلات مسئله است.

گام ۲. با استفاده از هر الگوریتم ایجادکننده‌ای، یک جواب اولیه تولید کنید. مقادیر دو پارامتر حافظه کوتاه مدت را به‌دست آورید: اندازه فهرست تابو (t) و حداکثر تعداد تکرارها (v). بردار صفر فهرست تابو (TL) را بسازید و شمارشگر تکرارها را مساوی ۱ قرار دهید ($k = 1$).

گام ۳. برای تکرار k ام، تمام تعویض‌های دوتایی جواب فعلی را امتحان کنید و تعویض $\{i, j\}$ ای را انجام دهید که بیشترین کاهش در مقدار تابع هدف را دارد و یکی از دو شرط ذیل را ارضاء می‌کند:

- تعویض $\{i, j\}$ در فهرست تابو نباشد.
 - اگر تعویض $\{i, j\}$ در فهرست تابو بود، شاخص مورد نظر را ارضاء کند.
- بردار TL را با افزودن جفت $\{i, j\}$ به‌عنوان اولین درایه آن، به‌هنگام کنید. اگر تعداد عناصر در TL بیشتر از v بود، آخرین عضو را از آن حذف کنید. ماتریس LTM را با قراردادن $LTM_{ij} = LTM_{ij} + 1$ به‌هنگام کنید.

گام ۴. قرار دهید $k = k + 1$ اگر $k > v$ ، حافظه بلندمدت را با عوض کردن ماتریس فاصله اصلی D با $D + LTM$ فرا بخوانید و به گام ۲ بازگردید.

گرچه تنها یک انتخاب در گام ۴ نشان داده شده، در پیاده‌سازی اصلی الگوریتم، سه تای دیگر وجود دارد. اولین انتخاب، شروع دوباره الگوریتم بهبوددهنده (با جواب‌های داده شده توسط الگوریتم ایجادکننده) با استفاده از مقادیر جدید t و v است. آخرین انتخاب خاتمه الگوریتم است (در چهار گام ذکر شده هیچ قانون خاتمه‌ای وجود

در گام ۱، الگوریتم ماتریس‌های جریان و فاصله را می‌خواند. چون مسئله ما، مسئله تخصیص نمایی است، مکان‌ها و فاصله بین آنها معلوم است. ماتریس **LTM** (که یک ماتریس صفر $n \times n$ است) ایجاد شده است تا حساب تعداد دفعاتی را که یک تعویض خاص بررسی شده است را نگه دارد. چون در گام ۴، ماتریس **D** با **D+LTM** به‌هنگام می‌شود، الگوریتم، انگیزه‌ای برای بررسی تعویض‌هایی (یا نواحی) که قبلاً به اندازه کافی یا اصلاً بررسی نشده بودند پیدا می‌کند. اگر تعویض‌هایی که قبلاً بررسی شده بودند دوباره انجام شوند، جریمه‌ای در نظر گرفته شده است، تا الگوریتم خود را از این تعویض‌ها دور نگه دارد. به این ترتیب حافظه بلند مدت باعث تنوع بیشتر جستجو می‌شود.

اندازه فهرست تابو پارامتر مهمی است و باید با دقت انتخاب شود. Skorin-Kapov (1990) پیشنهاد می‌کند که این پارامتر به‌صورت تابعی صعودی از اندازه مسئله در نظر گرفته شود. به عبارت دیگر هر چه اندازه مسئله بزرگتر باشد، اندازه فهرست تابو نیز بزرگتر می‌شود. برای یک مسئله با اندازه مشخص اگر فهرست تابو بیش از حد کوچک باشد، دور رخ خواهد داد. از طرف دیگر، اگر فهرست تابو بسیار بزرگ باشد، الگوریتم ممکن است در محدوده‌های بهینه محلی جستجو نکند و در نتیجه جواب‌های بهینه محلی را که بعضی‌هایشان ممکن است بهینه مطلق یا نزدیک به بهینه مطلق باشند مشخص نمی‌کند. از آزمایشات تجربی پیدا است که اگر اندازه فهرست تابو بین $0.33n$ و $0.6n$ (وقتی n تعداد تسهیلات است) باشد جواب‌های خوبی به دست می‌دهد (Skorin-Kapov 1990). همچنین تعداد تکرارها بین $7n$ تا $10n$ ، انتخاب خوبی به نظر می‌رسد. البته هر چه تعداد تکرارها بیشتر باشد، شانس یافتن جواب بهینه مطلق بیشتر است ولی زمان محاسباتی بیشتری لازم است. یک تصمیم بینابینی باید گرفته شود.

توجه کنید اگر در گام ۳ از SA استفاده می‌کردیم، ممکن بود جواب‌های بدی را قبول کنیم. اما در این الگوریتم از استراتژی جستجوی 2-opt استفاده می‌کنیم و یک تعویض تنها هنگامی پذیرفته می‌شود که جواب را بهبود بخشد. چه از SA و چه از 2-opt استفاده کنیم یک تعویض تنها زمانی انجام می‌شود که: (۱) در فهرست تابو نباشد و (۲) اگر در فهرست تابو بود، شاخص موردنظر را ارضاء کند (مثلاً تعویض باید منجر به جوابی شود که تابع هدف بهتری از بهترین تابع هدفی که تاکنون داشته‌ایم به دست

دهد). فهرست تابو (که در واقع یک بردار صفر با اندازه t است) به‌هنگام می‌شود تا اصلاح تازه انجام شده را شامل شود. اگر تعداد عناصر فهرست تابو بیش از اندازه این فهرست شود، قدیمی‌ترین عضو فهرست حذف می‌شود تا جا را برای عناصر جدیدتر باز کند، پس اندازه فهرست همواره برابر t است. علاوه بر به‌هنگام کردن فهرست تابو، الگوریتم ماتریس حافظه بلند مدت LTM را نیز با قراردادن $LTM_{ij}=LTM_{ij}+1$ به‌هنگام می‌کند. هر چه یک تعویض خاص $\{i,j\}$ بیشتر بررسی شود، به‌دلایلی که قبلاً توضیح داده شد، شانس کمتری خواهد داشت تا هنگامی که ماتریس حافظه بلندمدت فراخوانده می‌شود (در گام ۴) دوباره بررسی شود. چندین دگرگونی در الگوریتم TS ممکن است، و الگوریتم‌های موجود در مقالات و کتب از ساختارهای حافظه کوتاه‌مدت و بلندمدت متفاوتی استفاده می‌کنند. به‌علاوه، شاخص‌ها و همچنین استراتژی‌های تقویت‌کننده و متنوع، متفاوت هستند. بحث ما تنها مانند خراش روی سطح است و ما خواننده مشتاق را دعوت می‌کنیم تا سایر منابع را برای جزئیات بیشتر در مورد TS مطالعه کند.

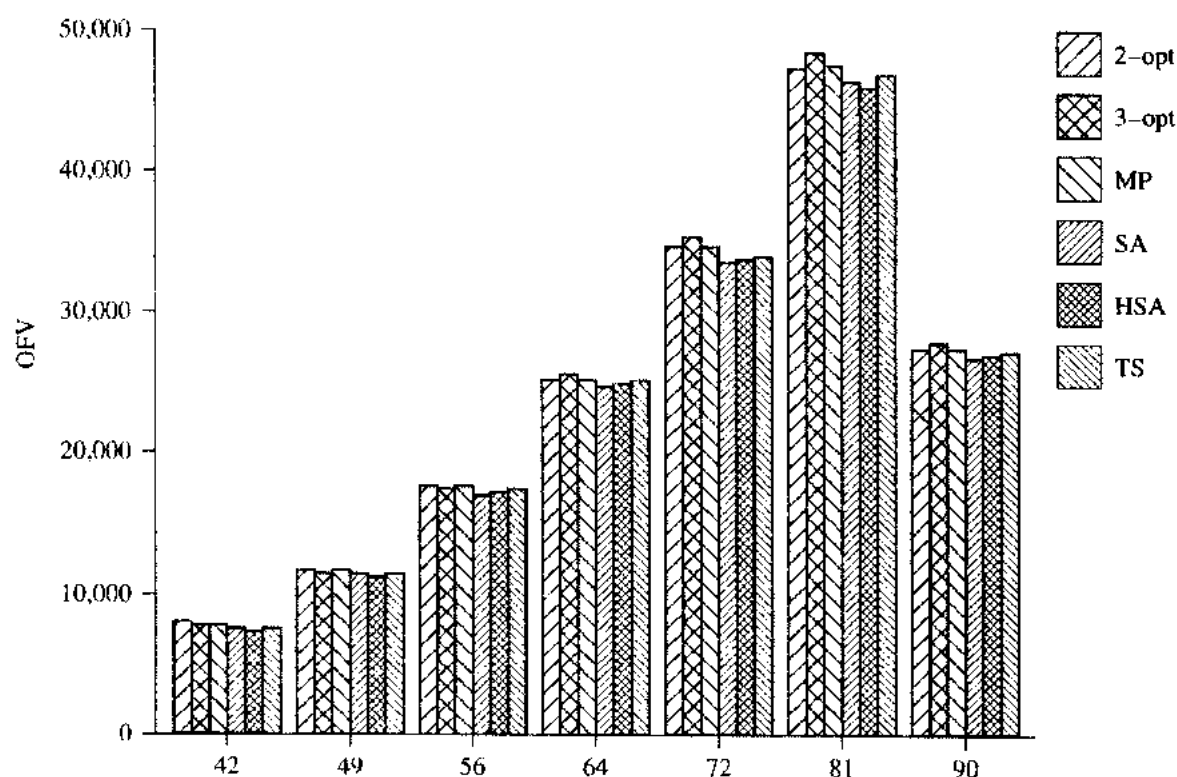
Heragu and Alfa (1992) مقایسه‌ای بین عملکرد شش الگوریتم مورد بحث در فصل‌های ۶ و ۷ با ۱۵ مسئله آزمایش‌شده که ابعادشان از ۵ تا ۹۰ متفاوت بود انجام داده‌اند که در کتب و مقالات موجود است. الگوریتم‌های مقایسه‌شده عبارتند از 2-opt، 3-opt، MP، SA، HSA و TS. آنها کشف کردند که الگوریتم HSA جواب‌هایی با کیفیت خوب در زمان‌های قابل قبول به‌دست می‌دهد. در ۷ مسئله از ۸ مسئله چیدمان یک‌ردیفی، این الگوریتم جواب‌های بهینه یا نزدیک به بهینه و در بعضی موارد جواب‌هایی بهتر از آنچه تاکنون شناخته شده بود، ارائه کرد.

برای مسائل چیدمان چندردیفی نیز این الگوریتم بهترین پاسخ (یا بهترین پاسخ شناخته‌شده) را تولید کرده است.

جزئیات نتایج محاسباتی این الگوریتم‌ها برای مسائل چیدمان چندردیفی با مساحت یکسان، در Heragu and Alfa (1992) گزارش داده شده است.

بر اساس مقایسه عملکرد الگوریتم‌ها، Heragu and Alfa (1992) به این نتایج رسیدند: اولاً 3-opt بهتر از 2-opt و MP رفتار می‌کند، اما زمان CPU بیشتری می‌خواهد، به‌خصوص وقتی اندازه مسئله بزرگ می‌شود. الگوریتم MP از 2-opt بهتر

عمل می‌کند. نسخه SA و HSA معرفی شده در این فصل بهتر از نسخه TS ارائه شده در (Skorin-Kapov (1990 و الگوریتم‌های 2-opt، 3-opt و MP عمل می‌کنند. همچنین، هر چه دفعات SA بیشتر باشد، مقدار تابع هدف بهتر و زمان CPU لازم برای SA و HSA بیشتر است. شکل ۷-۱۸ نموداری را نشان می‌دهد که مقدار تابع هدف جواب‌های تولید شده توسط SA، HSA، 2-opt، 3-opt، MP و TS را برای برخی مسائل بزرگ نشان می‌دهد.



شکل ۷-۱۸. مقدار تابع هدف جواب‌های تولید شده توسط چند الگوریتم برای برخی مسائل آزمایشی

۷-۳-۵ الگوریتم ژنتیک

الگوریتم ژنتیک^۱ (GA)، الگوریتم همه‌منظوره دیگری است که به طور موفقیت‌آمیزی در حل مسائل چیدمان به کار رفته است. منظور ما از "همه‌منظوره" این است که الگوریتم در طیف وسیعی از مسائل ترکیبی بهینه‌سازی نظیر فروشنده دوره‌گرد، افراز گراف،

رنگ‌کردن گراف و زمان‌بندی تولید کارگاهی^۱ به‌کاررفته‌است. الگوریتم ژنتیک توسط Holland (1975) ایجاد و با الهام از سیستم‌های زیست‌شناختی که ارگانیسم‌های تولید که نه تنها با محیط به‌طور موفقیت‌آمیزی وفق پیدا می‌کنند، بلکه رشد و پیشرفت هم می‌کنند، ساخته شد. استفاده از قاعده "بقای مناسب‌ترین" در سیستم‌های زیست‌طبیعی، در حل مسائل ترکیبی بهینه‌کردن بسیار موفق بوده‌است. اکنون به توضیح بسیار ابتدایی از چگونگی کارکرد الگوریتم ژنتیک می‌پردازیم. برای جزئیات بیشتر درباره این الگوریتم، سه منبع بسیار مناسب عبارتند از Davis (1991)، Goldberg (1989) و Holland (1975).

در سیستم‌های زیستی هنگامی که افراد مناسب و آماده از بین جمعیت برای ایجاد بچه جفت‌گیری می‌کنند و تولیدمثل می‌کنند، فرزندان از مواد ژنتیک مشابه والدینشان برخوردارند. از یک نسل به دیگری، عموماً مناسب‌ترین‌ها باقی می‌مانند و فرزندان می‌توانند خود را با محیط به‌طور موفق وفق دهند و رشد کنند. الگوریتم ژنتیک بر چنین اصول مشابهی استوار است.

گام ۰. حداکثر تعداد افراد جمعیت، P ، حداکثر تعداد نسل‌ها، G ، را از کاربر دریافت کرده، P جواب برای جمعیت اولین نسل به‌طور تصادفی تولید کنید و هر جواب را با یک رشته نشان دهید. شمارشگر نسل N را برابر با ۱ قرار دهید ($N_{gen}=1$).

گام ۱. میزان مناسب‌بودن هر جواب را برای جمعیت نسل فعلی مشخص کرده و رشته‌ای که مناسب‌تر است را یادداشت کنید.

گام ۲. برای جمعیت نسل بعد جواب‌ها را به‌صورت ذیل تولید کنید:

- $0.1P$ از جواب‌های جمعیت قبلی که مناسب‌ترین بودند را حفظ کنید.
- $0.89P$ از جواب را از راه جفت‌گیری تولید کنید
- $0.01P$ از جواب‌های جمعیت قبلی را به تصادف انتخاب کنید و آن‌ها را تغییر بدهید.

گام ۳. $N_{gen} = N_{gen} + 1$ را به‌هنگام کنید. اگر $N_{gen} \leq G$ ، به گام ۱ بروید وگرنه متوقف شوید.

در گام ۴، این الگوریتم اطلاعاتی در مورد اندازه جمعیت و تعداد نسل‌ها دریافت می‌کند.

معمولاً تعداد افراد یک جمعیت مقدار ثابتی است - مثلاً P GA ابتدا یک جمعیت تصادفی از جواب‌های قابل قبول به اندازه P تولید می‌کند (با هر روش در دست) و هر جواب را به‌صورت یک رشته نشان می‌دهد. نمایش جواب‌ها برای بعضی از مسایل بی‌اهمیت است ولی برای سایرین به تحلیل دقیقی نیاز دارد. برای مثال، برای مسئله چیدمان یک‌رديفی، هر چیدمان را می‌توان با یک رشته از n حرف الفبا یا عدد (متناظر با ژن‌ها) نشان داد، به‌طوری که n تعداد تسهیلات در مسئله چیدمان است و ترتیب حروف و اعداد، ترتیب تسهیلات را مشخص می‌کند. مثلاً، اگر به هر کدام از n تسهیلات، عدد یکتایی از ۱ تا n نسبت دهیم، رشته $\{1, 2, 3, \dots, n\}$ متناظر با چیدمانی است که در آن واحد ۱ در منتهی الیه سمت چپ، واحد ۲ در سمت راست واحد ۱ و الی آخر قرار دارند. برای اطمینان از اینکه جمعیت اولیه تنها از جواب‌های قابل قبول تشکیل شده است، هر رشته باید جای‌گشتی از $\{1, 2, 3, \dots, n\}$ باشد و بنابراین یک عدد (یا واحد) را بیش از یک بار شامل نشود.

به‌طور مشابه، برای مسئله چیدمان با مساحت‌های نامساوی، یک رشته معتبر می‌تواند با تقسیم هر واحد به بلوک‌های مربعی با اندازه واحد و ثبت اعداد مربوط به آن در یک ارایه از چپ به راست و از بالا به پایین، مشخص شود. البته، تعداد بلوک‌های هر واحد به مساحت آن بستگی دارد. برای مثال، اگر مساحت تسهیلات ۱ و ۶، سه واحد مربع و مساحت تسهیلات ۲ و ۴، دو واحد مربع و تسهیلات ۳ و ۵، یک واحد مربع باشد، با استفاده از بلوک‌های مربعی واحد، می‌توانیم تسهیلات ۱ و ۶ را با سه بلوک، ۲ و ۴ را با دو بلوک و ۳ و ۵ را با یک بلوک مانند شکل ۷-۱۹ نشان دهیم. نمایش رشته‌ای چیدمان شکل ۷-۱۹ عبارت است از: $\{1, 1, 6, 1, 6, 6, 5, 2, 2, 3, 4, 4\}$

1	1	6
1	6	6
5	2	2
3	4	4

شکل ۷-۱۹. بلوک‌های مربع واحد که نشان‌دهنده تسهیلات با مساحت‌های نابرابر هستند

اکنون که یک جمعیت اولیه از جواب‌ها موجود است، برای تقلید از فرایند تولید مثل طبیعی بر پایه قاعده بقای مناسب‌ترین‌ها، GA میزان مناسب‌بودن افراد (جواب‌ها) را تعیین می‌کند تا آنهایی که مناسب‌تر هستند از بین جمعیت انتخاب شوند و برای تولید فرزندان نسل بعد به کار روند. در مسائل می‌نیم کردن، جواب‌های خیلی مناسب، آنهایی هستند که مقدار تابع هدف کمتری دارند. بنابراین باید مقدار تابع هدف را به واحد سنجش خوبی برای مناسب بودن تبدیل کنیم به‌طوری که رابطه معکوس بین این دو برقرار باشد. به عبارت دیگر، جوابی با مقدار تابع هدف کمتر باید میزان مناسب بودن بالاتری، در مقایسه با جوابی با تابع هدف بیشتر داشته باشد. برای مسائل چیدمان یک‌ردیفی، می‌توانیم تابع مناسب F را به صورت ذیل معرفی کنیم:

$$F = \frac{1}{\sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n c_{ij} f_{ij} |x_i - x_j|}$$

توجه کنید که مخرج سمت راست تساوی همان است که در عبارت (۱) فصل ۵ به کار رفت، و c_{ij} ، f_{ij} و x_i همانانی هستند که در آن فصل ۵ تعریف شده‌اند. با وجودی- که تابع مناسب بودن نسبتاً ساده است، در تابع هدف ممکن است اختلاف دو جواب، بزرگ به نظر برسد، در حالیکه در تابع مناسب بودن، این اختلاف قابل توجه نباشد. مکانیسم انتخاب جواب باید نسبت به این جنبه حساس باشد. برای مسئله چیدمان با مساحت‌های غیرمساوی، تابع مناسب بودن ذیل می‌تواند به کار رود (Kochhar, Foster, Heragu, 1996):

$$w_{ij} = \frac{g_i ||x_i - x_j|| + ||y_i - y_j||}{n_i n_j} \quad \text{به طوری که} \quad F = -k \left[\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N w_{ij} \right]$$

N تعداد بلوک‌های اشغال شده توسط n واحد است و k یک عامل رده‌بندی نامنفی است. x_i و y_i مختصات بلوک i و $g_{ij} / (n_i n_j)$ - تعامل بین بلوک‌های i و j برابر است با جریان بین دو تسهیلاتی که بلوک‌های i و j به آن تعلق دارند (g_{ij}) تقسیم بر حاصل ضرب تعداد بلوک‌های اشغال شده توسط تسهیلاتی که بلوک‌های i و j به آن تعلق دارند ($n_i n_j$). اگر بلوک i و j به یک واحد متعلق باشند، w_{ij} برابر با عدد دلخواه بزرگی مانند M قرار داده می‌شود تا اطمینان حاصل شود که بلوک‌های متعلق به یک واحد در کنار هم قرار می‌گیرند. (Kochhar, Foster, Heragu (1996) از تابع مناسب بودن پیچیده‌تری نیز استفاده می‌کنند که به نظر می‌رسد به خوبی عمل می‌کند.

N آنها یک مولفه جریمه نیز اضافه می‌کنند تا تولید جواب‌های غیرقابل قبول را می‌نیم کنند. راه‌های متعددی برای اطمینان از قابل قبول بودن وجود دارد، و ما خواننده را به (Kochhar, Foster, Heragu (1996) برای یکی از چنین روش‌هایی ارجاع می‌دهیم. بنابراین، علاوه بر به دست آوردن رابطه معکوس بین تابع مناسب بودن و مقدار تابع هدف، در صورت لزوم، تابع مناسب بودن باید دارای یک عبارت جریمه نیز باشد تا تولید جواب‌های غیرقابل قبول می‌نیم شود.

پس از اینکه میزان مناسب بودن جواب‌ها در یک جمعیت مشخص شد، GA با استفاده از تابع احتمال، افرادی را برای رویه تغییر (تولید فرزند) انتخاب می‌کند. افراد با میزان مناسب بودن بالاتر، نسبت به افراد با میزان مناسب بودن پایین‌تر احتمال بیشتری برای انتخاب شدن دارند.

گرچه قبلاً خاطر نشان کردیم که GA بر قاعده بقای مناسب‌ترین‌ها استوار است، اما یک تفاوت مهم عملیاتی در مقایسه با سیستم‌های زیستی طبیعی دارد. هنگام استفاده از قاعده جفت‌گیری برای تولید فرزندان جمعیت نسل بعد، GA به صورت ذیل عمل می‌کند:

- درصد کوچکی (معمولاً ۳۰٪-۱۰٪) از افراد نسل قبلی را نگه می‌دارد، و
- جهش - یعنی یک کروموزوم (یا فرد) انتخاب شده به طور تصادفی از جمعیت قبلی را به طور تصادفی تغییر می‌دهد. درصد افراد تولید شده توسط جهش در هر نسل معمولاً خیلی کوچک است (۱٪-۰٫۱٪).

بنابراین GA، ۷۰٪-۹۰٪ افراد یک جمعیت را از طریق جفت‌گیری تولید می‌کند. در سیستم‌های زیستی طبیعی، تمام جمعیت از طریق جفت‌گیری تولید می‌شوند. همچنان که در (Tate and Smith 1995) خاطر نشان شده، انعطاف‌پذیری بالایی در انتخاب پارامترها برای GA وجود دارد. گرچه ما احتمال‌های ۰٫۸۹ و ۰٫۰۱ را به‌ترتیب برای جفت‌گیری و جهش انتخاب کرده‌ایم، این امر تنها باید به‌عنوان راهنما در نظر گرفته شود. کاربر خود باید مقادیر دیگری را امتحان کند تا بهترین را برای یک مسئله داده شده به‌دست آورد.

برای نگهداری درصد کوچکی از افراد نسل قبلی، یکی از دو روش ذیل را می‌توان به‌کار بست:

- روش تولیدمثل، که در آن درصد از پیش تعیین شده‌ای از افراد بر اساس احتمالاتی که با مقدار تابع هدفشان نسبت معکوس دارند نگه داشته می‌شوند.
- روش ازدیاد کلونی، که در آن xP فرد با بهترین میزان مناسب بودن حفظ می‌شوند (x نسبت از پیش تعیین شده‌ای از افراد است که از نسل پیش باید نگهداری شوند و P اندازه جمعیت است).

در حالی که روش ازدیاد کلونی قطعی است، روش تولیدمثل احتمالی است. چندین روش برای انجام جفت‌گیری وجود دارد. برای جزئیات بیشتر در مورد اینکه چگونه روش‌های دردست را می‌توان برای مسئله چیدمان تطبیق داد، به Kochhar, Foster, (1996) مراجعه کنید. ما به‌طور خلاصه این دو روش را بررسی می‌کنیم:

- روش ضربداری دو نقطه‌ای
 - روش ضربداری تطبیق داده شده موضعی
- در روش ضربداری دو نقطه‌ای، دو کروموزوم والد $\{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ و $\{y_1, y_2, \dots, y_n\}$ ، دو عدد صحیح r و s به‌طوری‌که $1 \leq r < s \leq n$ ، به‌طور تصادفی انتخاب می‌شوند و ژن‌هایی در موقعیت r تا s از یک والد (به‌صورت یک زیررشته کامل، بدون جهش در ترتیب قرار گرفتن) به‌جای ژن‌های در همان موقعیت در والد دیگر قرار می‌گیرند و به این ترتیب دو فرزند به‌صورت ذیل به‌دست می‌آید:

$$\{x_1, x_2, \dots, x_r, y_1, y_2, \dots, y_s, x_{s+1}, x_{s+2}, \dots, x_n\}$$

$$\{y_1, y_2, \dots, y_{r-1}, x_r, x_{r+1}, \dots, x_s, y_{s+1}, y_{s+2}, \dots, y_n\}$$

یا هر دو فرزند و یا فرزند بهتر از بین این دو فرزند در نسل بعد وارد می‌شوند. این رویه آن‌قدر ادامه می‌یابد تا تعداد فرزند خواسته شده تولید شود.

یک نوع دیگر روش ضربداری دو نقطه‌ای، روش ضربداری یک نقطه‌ای است که گاهی اوقات به جای آن مورد استفاده قرار می‌گیرد. در روش ضربداری یک نقطه‌ای، یک عدد r به طوری که $1 \leq r \leq n$ ، به طور تصادفی انتخاب می‌شود و GA تمام رشته سمت راست زن موقعیت $r-1$ والد اول را با والد دوم جایگزین می‌کند. یک عیب آشکار هر دو روش این است که برای مسایلی مثل چیدمان یک‌ردیفی، اغلب فرزندان با جواب‌های غیرقابل قبول تولید می‌شود. برای مثال، فرض کنید یک مسئله چیدمان یک‌ردیفی با پنج تسهیلات داشته باشیم و دو والد مثل $\{3,2,1,4,5\}$ و $\{2,1,4,3,5\}$ را مشخص کرده‌ایم. اگر GA به طور تصادفی $r = 3$ و $s = 5$ را انتخاب کند، دو فرزند حاصل عبارت خواهند بود از $\{3,2,4,3,5\}$ و $\{2,1,1,4,5\}$ که جایگشت‌هایی از $\{1,2,3,4,5\}$ نیستند.

برای پیشگیری از تولید جواب‌های غیر قابل قبول در چنین مسائلی، اغلب از روش ضربداری تطبیق داده شده موضعی استفاده می‌کنیم. مانند مثال قبل، دو عدد صحیح r و s به طور تصادفی انتخاب می‌شوند. GA اولین والد را انتخاب می‌کند $\{x_1, x_2, \dots, x_{r-1}, x_r, x_{r+1}, \dots, x_{s-1}, x_s, x_{s+1}, \dots, x_n\}$ قرار می‌دهد $t = r$ و ژن‌های x_t و y_t را در x تعویض می‌کند اگر و تنها اگر $x_t \neq y_t$.

این جایگزینی برای $t = r$ تا s ، یکی یکی انجام می‌شود، و در نتیجه ما یک فرزند قابل قبول خواهیم داشت. همین کار برای $\{y_1, y_2, \dots, y_{r-1}, y_r, y_{r+1}, \dots, y_{s-1}, y_s, y_{s+1}, \dots, y_n\}$ انجام می‌گیرد.

چون روش ضربداری موضعی تطبیق داده شده ژن‌ها را در داخل یک والد جایگزین می‌کند، فرزندان قابل قبول به دست می‌آیند.

اکنون این روش را برای دو والد پیشین به کار می‌بریم، $\{3,2,1,4,5\}$ و $\{2,1,4,3,5\}$ و $r=3$ و $s=5$.

ابتدا قرار می‌دهیم $t = r = 3$ و چون $x_3 \neq y_3$ ، ژن‌های $x_3 = 1$ و $y_3 = 4$ را در x عوض می‌کنیم تا $\{3,2,4,1,5\}$ حاصل شود. چون $x_4 \neq y_4$ ، ژن‌های $x_4 = 4$ و $y_4 = 3$ را (دوباره در x) عوض می‌کنیم تا $\{4,2,3,1,5\}$ حاصل می‌شود. حال چون $x_5 = y_5$ و $t = s = 5$

کار ما با تعویض تمام شده‌است. تکرار این رویه برای y به فرزند قابل قبول $\{2,3,1,4,5\}$ منجر می‌شود.

چنانچه پیش‌تر ذکر شد، علاوه بر تولید مثل و ازدیاد کلونی و جفت‌گیری، GA از جهش نیز برای تولید یک جمعیت استفاده می‌کند. جهش به چندین روش قابل انجام است، اما ساده‌ترین روش این است که یک فرد را به‌طور تصادفی از نسل قبل انتخاب کنیم و آن را با تعویض جای دو ژن دلخواه تصادفی با هم، جهش دهیم. اکنون که یک جمعیت جدید داریم، رویه تشخیص میزان مناسب بودن افراد و تولید جمعیت نسل بعد از طریق:

- تولیدمثل یا ازدیاد کلونی
- جفت‌گیری و
- جهش

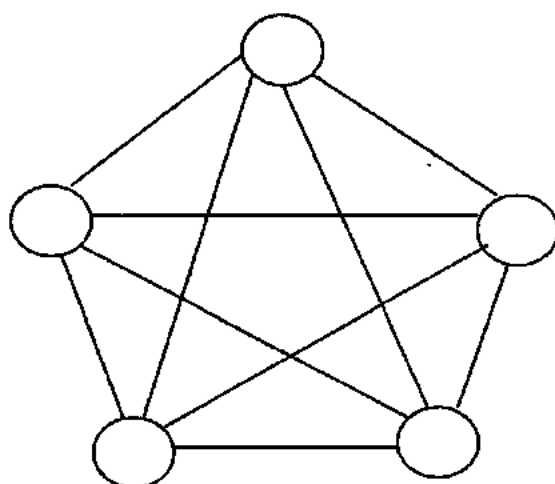
ادامه می‌یابد تا تعداد از پیش تعیین شده‌ای از جمعیت‌ها تولید شوند یا هیچ پیشرفت قابل ملاحظه‌ای در میزان مناسب بودن بهترین افراد چندین نسل رخ ندهد. سپس جواب به‌دست آمده در اختیار کاربر گذاشته می‌شود.

۷-۳-۶ رویکردی بر اساس نظریه گراف

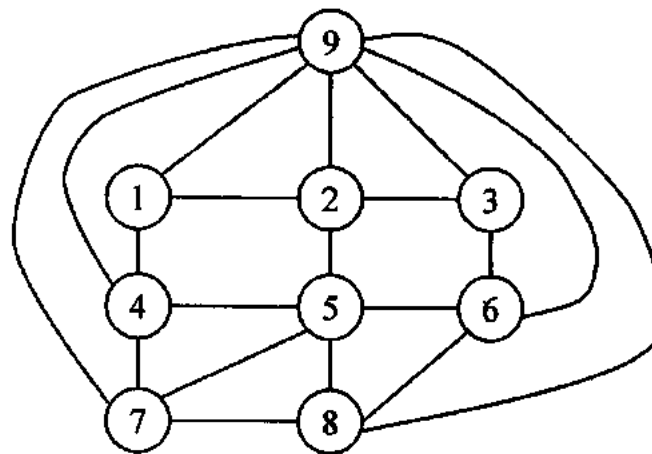
فصل ۴ نشان داد که چگونه مسئله چیدمان را می‌توان با استفاده از روش طراحی سیستماتیک چیدمان موثر^۱ (SLP) به‌صورت تصویری نشان داد.

در این روش برخورد با مسئله، مساحت تسهیلات و روابط همسایگی به‌صورت تصویری در گراف نشان داده می‌شوند. سپس موقعیت نسبی تسهیلات به سادگی با "نگاه‌کردن" و شیوه آزمون و خطا تعیین می‌شود. بر این اساس، یک فرد طراح، چیدمان نهایی با جزئیات شامل راهروها و نقاط برداشتن و گذاشتن تسهیلات را تولید می‌کند. واضح است که اگر با نگاه‌کردن و آزمون و خطا، جواب‌های زیربهبوده ضعیفی تولید کنیم چیدمان نهایی به ما برای رسیدن به هدف که می‌نیم کردن هزینه‌های حمل‌ونقل مواد است، کمکی نخواهد کرد در نتیجه شیوه برخورد دیگری بر مبنای مفاهیم نظریه

گراف پیشنهاد شده است (Foulds 1983 را ببینید). برای فهمیدن روش نظریه گرافی، باید ابتدا مفهوم گراف‌های مسطح و گراف‌های مسطح بیشینه را بفهمیم. گرافی شامل یک مجموعه غیرتهی و متناهی از گره‌ها و یک مجموعه غیرمرتب از کمان‌ها را مسطح می‌گوییم اگر بتوان آن را در یک صفحه دوبعدی طوری کشید که هیچ دو کمانی یکدیگر را قطع نکنند. گراف تصویر ۷-۲۰ یک گراف کامل با پنج گره نامیده می‌شود زیرا ۵ گره دارد و هر گره‌ای به تمام گره‌های دیگر متصل است. می‌توان نشان داد که این گراف غیرمسطح است، یعنی غیرممکن است بتوان کمان‌های بین هر دو نقطه را طوری روی سطح رسم کرد که یکدیگر را قطع نکنند. با این وجود، گراف تصویر ۷-۲۱ مسطح است. گراف مسطح ماکسیمال، گراف مسطحی است که تنها با اضافه کردن یک کمان دیگر مسطح نباشد. با توجه به منافع حاصل از قرار دادن هر جفت از تسهیلات در کنار هم، رویکرد نظریه گراف می‌کوشد پیدا کند که کدام تسهیلات کنار هم قرار بگیرند تا مجموع منافع ماکزیمم شود. این شیوه، یک گراف ماکسیمال مسطح به دست می‌دهد که در آن، جمع وزن‌ها ماکزیمم است. (وزن هر کمان نشان‌دهنده مقدار عددی نسبت داده شده به کدهای رابطه‌ای است که به دو تسهیلاتی (گره) که توسط کمان به هم متصل شده‌اند داده شده است).



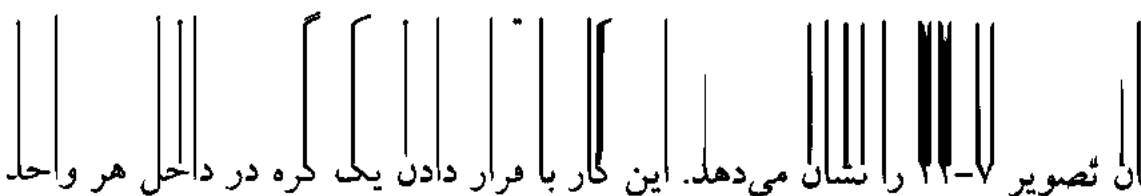
شکل ۷-۲۰. گراف کامل با پنج گره



شکل ۷-۲۱. یک گراف مجاورت مسطح

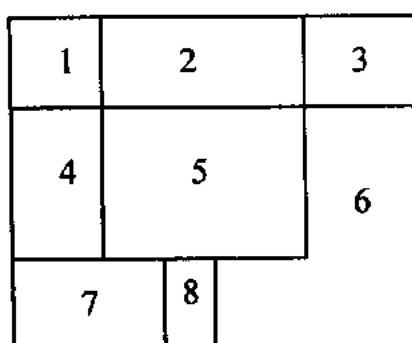
کمان‌ها در گراف مسطح بیشینه نشان می‌دهند کدام جفت از تسهیلات باید کنار هم باشند. با استفاده از این همسایگی‌ها، یک طراح می‌تواند چیدمان قابل قبولی به دست آورد که در آن فضاها و شکل‌های خواسته شده ارضاء شوند و جفت تسهیلاتی که تعامل زیادی با هم دارند، کنار هم قرار بگیرند. برخلاف سایر روش‌هایی که تاکنون مورد بررسی قرار گرفتند، هدف روش نظریه گراف تنها ماکزیمم کردن جمع وزن‌های تسهیلات همسایه است، وزن‌های تسهیلات غیرمجاور اصلاً در نظر گرفته نمی‌شوند. همچنین، هنگام تعیین همسایگی‌ها، مساحت‌ها یا فاصله بین تسهیلات، در نظر گرفته نمی‌شوند. این نقیصه در روش دیگری بر اساس نظریه گراف برطرف شد (Montreuil, Ratliff, and Goetschalchx 1987)، ولی جریان‌های غیرمجاور در نظر گرفته نشده است. با این وجود، روش نظریه گراف چیدمان‌های نسبتاً با کیفیت خوبی در اختیار ما قرار می‌دهد، که ممکن است بتواند با 2-opt, 3-opt و سایر الگوریتم‌های بهبوددهنده (مثل SA) که در این فصل و فصل ۶ تشریح کردیم بهبود یابند.

برای هر چیدمان یا نقشه بلوک قابل قبول، می‌توان گراف مجاورت متناظر با آن را رسم کرد. برای این کار، در داخل هر واحد یک گره می‌گذاریم و سپس دو گره را تنها هنگامی با یک کمان به هم وصل می‌کنیم که تسهیلات متناظرشان در چیدمان، کنار هم باشند. دو واحد کنار هم در نظر گرفته می‌شوند، تنها اگر مرزهایشان در بیش از یک نقطه با هم تماس داشته باشد. برای مثال تسهیلات ۵ و ۸ در تصویر ۷-۲۲ کنار هم هستند ولی تسهیلات ۵ و ۱ تصویر ۷-۲۱ چنین نیستند. تصویر ۷-۲۱، گراف مجاورت



چیدمان تصویر ۷-۲۲ را نشان می‌دهد. این کار با قرار دادن یک گره در داخل هر واحد در تصویر ۷-۲۲ و کشیدن کمان‌های بین گره‌ها به‌طوری‌که مرز مشترک بین تسهیلات

کنار هم را قطع کنند، صورت می‌گیرد. این کار تنها در صورتی انجام می‌گیرد که مرز مشترک بیش از یک نقطه داشته باشد، یعنی، طول مثبتی داشته باشد. به‌علاوه، ناحیه خارجی این هشت تسهیلات، خود یک واحد به شمار می‌آید. گره شماره ۹ متناظر با این واحد خارجی است. این گره به گره‌های متناظر با تسهیلاتی متصل است که در ناحیه خارجی ساختمان قرار گرفته‌اند- تمام تسهیلات به جز واحد ۵.

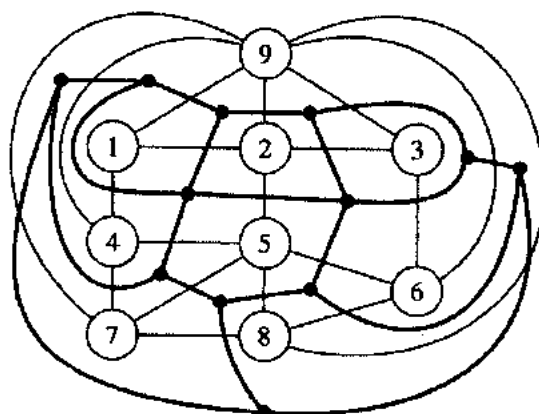


شکل ۷-۲۲. یک چیدمان نمونه

اگر یک گراف مجاورت، مسطح باشد، آن را گراف مسطح مجاورت^۱ (PAG) می‌نامند. اگر PAG، مسطح ماکسیمال باشد آن را PAG ماکسیمال می‌نامند. از این تعریف برای گراف مسطح ماکسیمال و توضیحات ما درباره روش نظریه گرافی، شاید برای خوانندگان آشکار باشد که این روش به دنبال تعیین PAG ماکسیمالی است که در آن مجموع وزن‌ها ماکزیمم است. اگر وزن‌های نسبت داده شده به هر کد ارتباط نامنفی باشند، حداقل یک جواب بهینه، PAG ماکسیمال می‌شود، چون هر جواب بهینه‌ای را که PAG ماکسیمال نباشد می‌توان با افزودن کمان‌هایی به آن، به چنین گرافی تبدیل کرد (Foulds 1983).

به‌علاوه انجام این کار جمع وزن‌ها را کاهش نمی‌دهد. همچنان‌که هر چیدمان قابل قبولی یک PAG متناظر با آن دارد، هر PAG (و همچنین PAG ماکسیمال) هم یک چیدمان قابل قبول و موجه متناظر دارد. برای شناسایی این چیدمان از PAG متناظرش، در داخل هر وجه یک گره می‌گذاریم و بین گره‌ها کمان رسم می‌کنیم، به‌طوری‌که مرز آنها مرز مشترک بین دو وجه کنار هم را قطع کنند. شکل ۷-۲۳ یک چیدمان متناظر با

PAG شکل ۷-۲۱ را نشان می‌دهد. برای راحتی بیشتر، وجوه دوباره در شکل ۷-۲۳ نشان داده شده‌اند. مانند قبل یک جفت از وجوه مجاور در نظر گرفته می‌شوند، اگر مرز مشترکی با طول مثبت داشته باشند. همچنین، منطقه خارج از یازده وجه نیز یک وجه در نظر گرفته می‌شود و گره زیرین در شکل ۷-۲۳ متناظر با این وجه است. این گره، به گره‌های متناظر با وجوهی متصل است که در مرز شکل ۷-۲۱ قرار دارند، یعنی وجوه ساخته شده توسط این سه گره $\{4,7,9\}$ و $\{6,8,9\}$. توجه داشته باشید که مناطق مرزی که گره‌های شماره‌دار را در تصویر ۷-۲۳ احاطه کرده‌اند، چیدمانی را مشخص می‌کنند که نیازمندی‌های شکلی و مساحت را در نظر نمی‌گیرند. برخی از تسهیلات شکل‌های عجیبی دارند. یک طراح خلاق می‌تواند نیازمندی‌های شکل و فضا را نیز اضافه کند و به تعداد زیادی چیدمان‌های گوناگون که این مجاورت‌های شکل ۷-۲۳ را ارضاء می‌کنند، دست یابد. شکل ۷-۲۳ (یا شکل ۷-۲۲) دوگان PAG در شکل ۷-۲۱ است و PAG تصویر ۷-۲۱، دوگان چیدمان شکل‌های ۷-۲۲ و ۷-۲۳ است.



شکل ۷-۲۳. یک چیدمان به دست آمده از PAG در شکل ۷-۲۰

هنگامی که تعداد گره‌ها (n) بزرگتر یا مساوی ۳ باشد، حداکثر تعداد کمان‌ها در یک گراف مسطح، با سه گره یا بیشتر، حداکثر می‌تواند $3n-6$ کمان داشته باشد بنابراین هر PAG ماکسیمال با تعداد گره‌های ۳ یا بیشتر، می‌تواند حداکثر $3n-6$ کمان داشته باشد. در نتیجه تنها $3n-6$ همسایگی از میان $n(n-1)/2$ همسایگی ممکن، قابل ارضاء هستند.

اگر شش تسهیلات در یک چیدمان داشته باشیم، تعداد همسایگی‌های ممکن $7(7-$

$1)/2$ است (برای اینکه یک گره نیز برای فضای خارجی در نظر می‌گیریم). از بین این

۲۱ همسایگی ممکن، حداکثر $15 = 6 - 3(7)$ تا را می‌توانیم ارضاء کنیم. در یک مسئله چیدمان اختلاف بین تعداد حداکثر همسایگی‌های ممکن و حداکثر همسایگی‌هایی که می‌توانند ارضاء شوند، به‌طور غیرخطی با زیاد شدن تعداد تسهیلات مسئله بیشتر می‌شود.

یافتن یک PAG ماکسیمال که در آن مجموع وزن‌ها ماکزیمم شود مسئله دشواری است چرا که باید تمام $3n-6$ ترکیب کمان‌های ممکن را از مجموع $n(n-1)/2$ همسایگی انتخاب کنیم. با این وجود می‌توان از یکی از ویژگی‌های جالب گراف‌های سطح ماکسیمال به‌خوبی در تجهیز روش‌های ابتکاری استفاده کرد. این ویژگی به ما می‌گوید که تعداد وجوه در یک PAG سطح $2n-4$ است و اینکه هر وجه، مثلثی شکل است. در نتیجه با شروع از یک وجه مثلثی که در آن مجموع وزن‌های سه کمان ماکزیمم است، هربار یک گره را طوری اضافه می‌کنیم که مجموع وزن‌های کمان‌ها بزرگ باشد و سطح بودن گراف حفظ شود. هنگامی که تمام گراف‌ها در گراف قرار گرفتند، یک PAG به‌دست می‌آوریم. با استفاده از دوگان PAG حاصله، یک فرد طراح می‌تواند چیدمانی با جزئیات مورد نظر به‌دست آورد.

گام‌های روش نظریه گراف را می‌توان این چنین خلاصه کرد. یک PAG ماکسیمال به‌دست آورید که در آن، جمع وزن‌ها ماکزیمم باشد، دوگان‌اش را بسازید و از آن برای تولید یک چیدمان قابل قبول استفاده کنید. یک روش ابتکاری برای به‌دست آوردن یک PAG ماکسیمال در ادامه ارائه شده است.

یک الگوریتم ابتکاری برای مشخص کردن PAG ماکسیمال

گام ۱. جفت ماشین‌آلاتی را که در ماتریس جریان، بیشترین جریان را دارند مشخص کنید. گره‌های متناظر را در یک PAG جدید قرار داده، آنها را به هم متصل کنید.

گام ۲. در ماتریس جریان، از بین ردیف‌های متناظر با گره‌های وصل شده به هم، گره‌ای را انتخاب کنید که هنوز در PAG نباشد و بیشترین جریان را با گره‌های وصل شده به هم داشته باشد.

گام ۳. PAG را با اتصال گره انتخاب شده به گره‌های گام ۱، به‌هنگام کنید.

(این کار یک وجه مثلثی در PAG بوجود می‌آورد.) این وجه را انتخاب کرده به گام ۴ بروید.

گام ۴. برای هر ستون از ماتریس جریان که متناظر با یک گرهی است که در PAG نیامده است، مجموع درایه‌های جریان در ردیف‌های متناظر با گره‌های موجود در وجه انتخاب شده را امتحان کنید. ستونی را که این مجموع برای آن بیشترین است انتخاب کنید. PAG را با قرار دادن گره متناظر در داخل وجه انتخاب شده و متصل کردن آن به گره‌های آن وجه، به‌هنگام کنید. (این کار سه وجه مثلثی جدید ایجاد می‌کند.)

گام ۵. به‌دلخواه یکی از وجه‌های ساخته شده را انتخاب کرده به گام ۴ بروید. گام ۵ را تا زمانی که تمام گره‌ها در PAG قرار گرفته باشند، ادامه دهید.

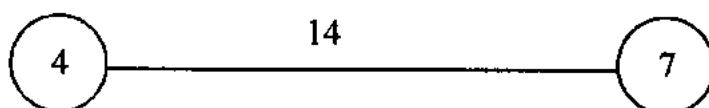
چون ما در گام ۴، $n-3$ گره و $3(n-3)$ کمان اضافه می‌کنیم، مجموع تعداد کمان‌های اضافه شده در تمام گام‌ها برابر با $3(n-3)+3=3n-6$ کمان خواهد بود. به‌علاوه، چون ما طوری گره‌های جدید را اضافه می‌کنیم که مسطح بودن گراف حفظ شود، همواره یک PAG ماکسیمال خواهیم داشت. با این وجود PAG تولید شده ممکن است بزرگترین مجموع وزن‌ها را در بین PAG های ماکسیمال نداشته باشد. پس این الگوریتم، جواب بهینه را تضمین نمی‌کند، چندین الگوریتم ابتکاری دیگر برای PAG ماکسیمال در Foulds (1983) بررسی شده‌اند.

مثال ۶

ماتریس جریان مثال ۴ را در نظر بگیرید. با استفاده از رویکرد نظریه گراف، چیدمانی برای ۱۲ ماشین آن مثال تهیه کنید.
جواب.

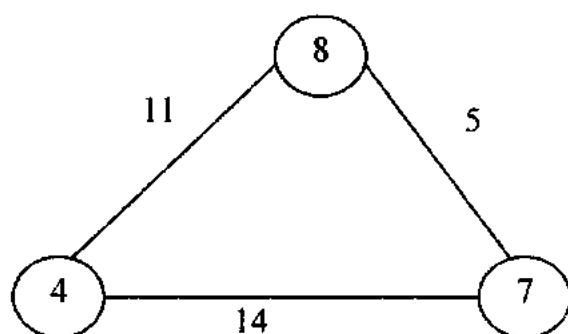
گام ۱. چون جفت ماشین $\{4,7\}$ بیشترین جریان را دارد، گره‌های متناظر را در

PAG به هم وصل کنید.



گام ۲. از بین ردیف‌های ۴ و ۷ در ماتریس جریان، گره ۸ را انتخاب کنید که بیشترین جریان را با گره‌های ۴ و ۷ دارد.

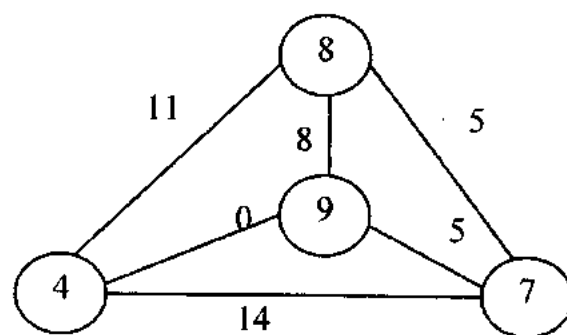
گام ۳. PAG را با اتصال گره ۸ به گره‌های ۴ و ۷، به‌هنگام کنید. وجه مثلثی ساخته شده توسط کمان‌های ۴-۷، ۷-۸ و ۸-۴ را انتخاب کنید.



گام ۴. برای هر یک از ستون‌های ۱، ۲، ۳، ۵، ۶، ۹، ۱۰، ۱۱ و ۱۲، مجموع درایه‌های جریان ردیف‌های ۴، ۷ و ۸ را در ماتریس جریان امتحان کنید، هر بار یک ستون. ستون ۹ را انتخاب کنید چون بیشترین مجموع را دارد $(0+5+8=13)$. PAG را با قرار دادن گره ۹ داخل وجه مثلثی ساخته شده توسط کمان‌های ۴-۷، ۷-۸ و ۸-۴ به‌هنگام کنید. گره ۹ را به گره‌های ۴، ۷ و ۸ وصل کنید.

گام ۵. وجه ۸-۴، ۹-۴ و ۸-۹ را انتخاب کنید. به گام ۴ بروید.

گام ۴. برای هر یک از ستون‌های ۱، ۲، ۳، ۵، ۶، ۱۰، ۱۱ و ۱۲، مجموع درایه‌های جریان ردیف‌های ۴، ۸ و ۹ را در ماتریس جریان امتحان کنید، هر بار یک ستون. ستون ۱ را انتخاب کنید چون بیشترین مجموع را دارد $(8+0+0=8)$. PAG را با قراردادن گره ۱ داخل وجه ساخته شده از کمان‌های ۸-۴، ۹-۴ و ۸-۹ به‌هنگام کنید.



هنگامی که گام ۵ تا زمانی که تمام گره‌ها رسم شوند، تکرار شد یک PAG ماکسیمال به دست می‌آید. گام‌های میانی در جدول ۷-۴ نشان داده شده‌اند. گام نهایی این است که یک گره متناظر با مرز خارجی اضافه شود و به گره‌های ۴، ۸ و ۷ مانند شکل ۷-۲۴ وصل شود. اکنون یک PAG ماکسیمال داریم.

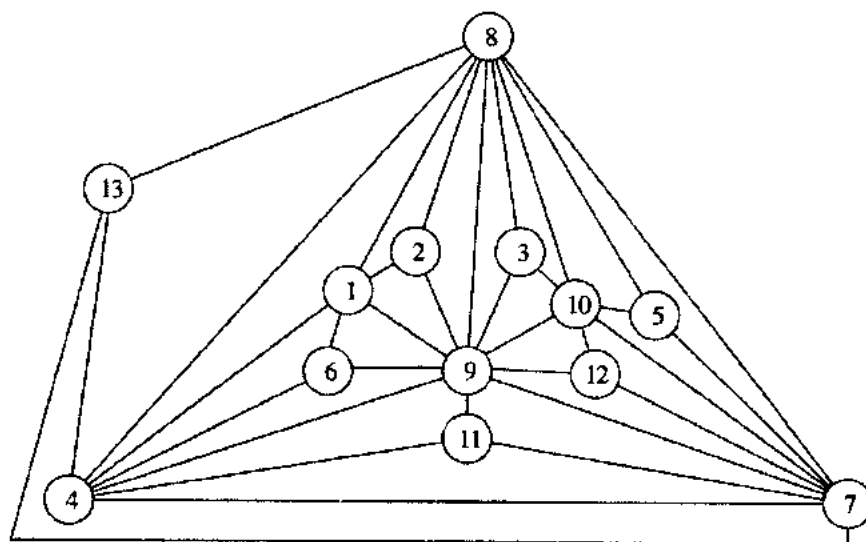
جدول ۷-۴. خلاصه گام‌های میانی

شماره تکرار	کمان‌های انتخاب شده	وجه	گره‌های در دست	گره انتخاب شده	مجموع جریان‌ها
۳	۸-۹، ۷-۹، ۷-۸		۲، ۳، ۵، ۶، ۱۰، ۱۱، ۱۲	۱۰	۹
۴	۷-۹، ۹-۴، ۷-۴		۲، ۳، ۵، ۶، ۱۱، ۱۲	۱۱	۸
۵	۹-۴، ۱-۹، ۱-۴		۲، ۳، ۵، ۶، ۱۲	۶	۶
۶	۸-۹، ۱-۹، ۱-۸		۲، ۳، ۵، ۱۲	۲	۱
۷	۷-۹، ۷-۱۰، ۹-۱۰		۳، ۵، ۱۲	۱۲	۲
۸	۸-۹، ۸-۱۰، ۹-۱۰		۳، ۵	۳	۰
۹	۷-۸، ۷-۱۰، ۸-۱۰		۵	۵	۰

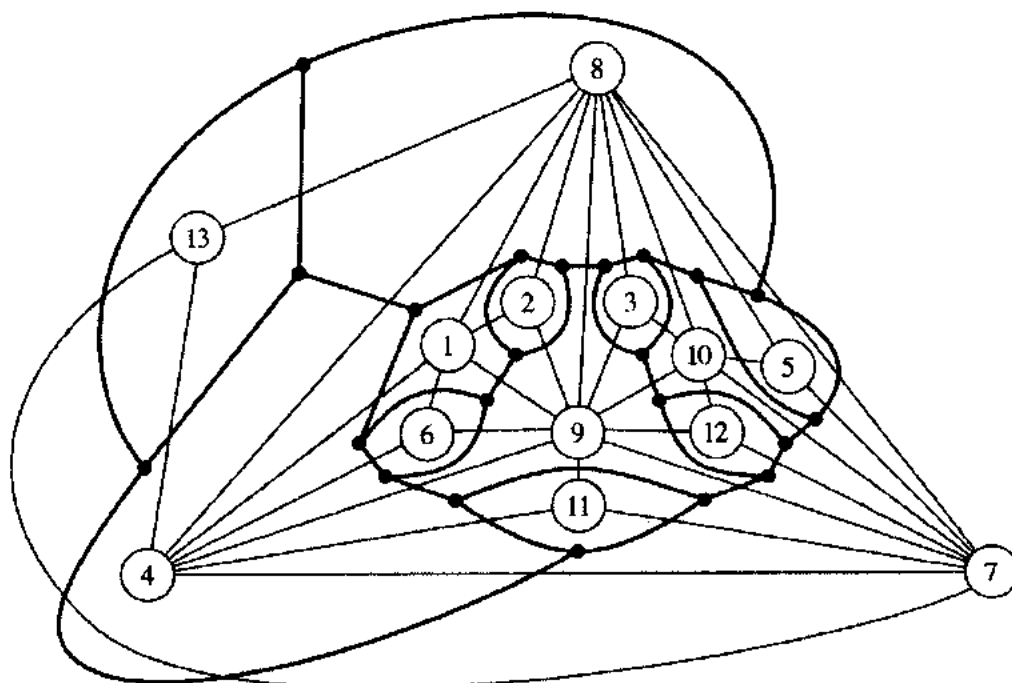
برای به دست آوردن چیدمان متناظر با این PAG ماکسیمال، دوگان آن را با قرار دادن نقطه در داخل هر وجه در شکل ۷-۲۴ و متصل کردن نقاط برای محصور کردن تمام گره‌ها (ماشین‌آلات) به جز گره ۱۳، که متناظر با مرز خارجی است، ترسیم می‌کنیم. یک چیدمان اولیه خیلی ابتدایی از این دوگان استخراج می‌شود (چیدمان ایجاد شده توسط خطوط ضخیم در تصویر ۷-۲۵ را ببینید). اکنون طراح تسهیلات باید از اطلاعات مربوط به مساحت ماشین‌آلات استفاده کرده، یک چیدمان با جزئیات کافی

طراحی کند، کاری دشوار و زمان‌بر.

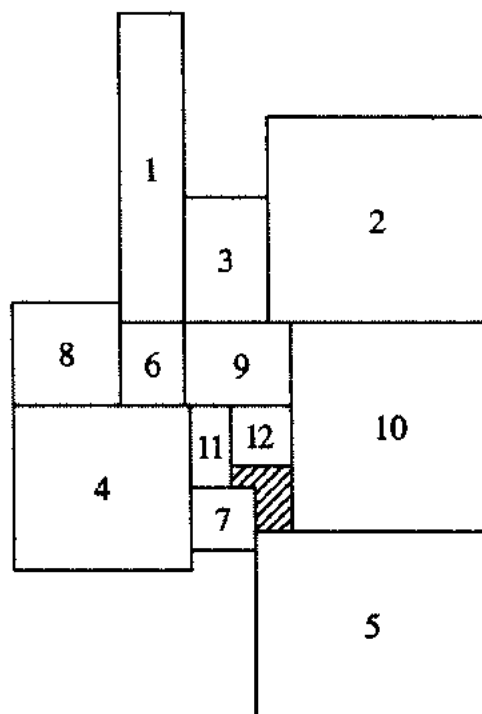
ما چیدمانی را با آزمون و خطا تولید کرده‌ایم که در شکل ۷-۲۶ نشان داده شده است. چون شکل ماشین‌آلات ثابت است، نمی‌توانیم تمام همسایگی‌های مشخص شده در شکل ۷-۲۶ را ارضاء کنیم، اما چیدمان قابل قبولی را طراحی کرده‌ایم.



شکل ۷-۲۴. PAG ماکسیمال برای مثال ۶



شکل ۷-۲۵. دوگان PAG ماکسیمال در شکل ۷-۲۴



شکل ۷-۲۶. چیدمان نهایی به‌دست آمده از دوگان شکل ۷-۲۵

۷-۴ مسائل چیدمان چندضابطه‌ای^۱

در این فصل و فصل قبل، رویکردهای کمی و کیفی برای حل مسئله چیدمان تسهیلات را ارائه کردیم. برای مثال، مسئله تخصیص نمایی و دیگر فرمول‌بندی‌های عدد صحیح مختلط در فصول ۵ و ۶، به همراه الگوریتم‌هایی مانند CRAFT، 2-opt، 3-opt، جریمه تغییر یافته و SA رویکردهای کمی هستند که به‌طور معمول با می‌نیم کردن هزینه حمل‌ونقل مواد درگیر هستند.

SLP، CORELAP و روش نظریه گراف، قسمت اعظمشان، روش‌های کیفی هستند که با ماکزیم کردن میزان درجه نزدیکی سروکار دارند. گفته شده‌است که هر دوی این رویکردها مشکلاتی دارند. برای مثال. اگر دو ماشین به‌دلایل سروصدا، گردوغبار یا مسائل ایمنی باید تا جایی که ممکن است از هم دور باشند، روش‌های کمی این محدودیت را نمی‌توانند به‌خوبی لحاظ کنند. از طرف دیگر، مسائل سلیقه‌ای زیادی در رویکردهای کیفی وجود دارند، و چیدمان بر اساس مقادیر عددی از پیش تعیین‌شده

برای متغیرهای درجه نزدیکی (یعنی کدهای ارتباطی)، طراحی می‌شود. پیشنهاد شده است که برای کمک به مدیریت در اخذ تصمیمات مناسب مربوط به چیدمان، تحلیل‌گر تسهیلات، چشم‌انداز کارایی از چیدمان‌ها، فراهم کند تا از بین آنها "بهترین" چیدمان را بتوان انتخاب کرد (Rosenblatt 1979). با استفاده از علائم به کار رفته در فصل ۵، مدل ذیل برای می‌نیم کردن هزینه‌های حمل‌ونقل مواد، معرفی می‌کنیم.

مدل M1

$$\text{Minimize } C = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \sum_{k=1, i \neq k}^n \sum_{l=1, j \neq l}^n f_{ik} c_{jl} x_{ij} x_{kl}$$

$$\text{Subject to } \sum_{j=1}^n x_{ij} = 1 \quad i = 1, 2, \dots, n$$

$$\sum_{i=1}^n x_{ij} = 1 \quad j = 1, 2, \dots, n$$

$$x_{ij} = 0 \text{ or } 1 \quad i, j = 1, 2, \dots, n$$

به‌طور مشابه، در ادامه مدلی برای ماکزیم کردن درجه کیفی نزدیکی (کدهای ارتباطی) آمده است:

مدل M2

$$R = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \sum_{k=1, i \neq k}^n \sum_{l=1, j \neq l}^n r_{ijkl} x_{ij} x_{kl}$$

و محدودیت‌ها، همانند محدودیت‌های مدل M1 است. توجه کنید که

$$r_{ijkl} = \begin{cases} t_{ij} & \text{اگر مکان‌های } i \text{ و } j \text{ همسایه باشند} \\ 0 & \text{در غیر این صورت} \end{cases}$$

و t_{ij} مقدار عددی داده‌شده به کد ارتباطی بین تسهیلات i و j است.

مدل‌های M1 و M2 را می‌توان برای ساختن یک مدل چندهدفی ترکیب کرد، چون هر دو محدوده قابل قبول یکسانی دارند. چنان‌که در ادامه نشان داده شده است، این

مدل هزینه حمل‌ونقل مواد را می‌نیمم و درجه نزدیکی را ماکزیمم می‌کند (ماکزیمم کردن R همانند می‌نیمم کردن R - است).

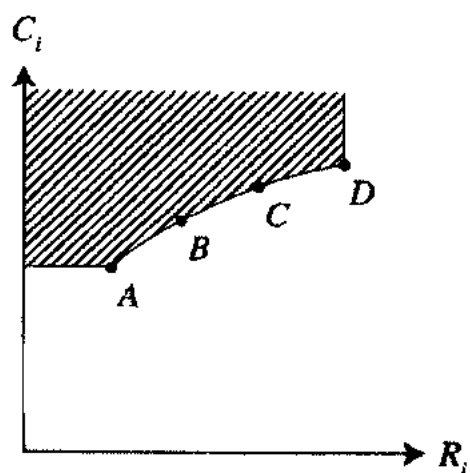
مدل M3

$$\text{Minimize } w_1 C - w_2 R$$

با محدودیت‌های مدل M1

w_1 و w_2 وزن‌های داده شده به دو ضابطه -هزینه حمل‌ونقل مواد و درجه نزدیکی- هستند.

برای ایجاد یک چشم‌انداز کارا، از رویه ذیل استفاده می‌کنیم: نموداری با محورهای عمودی و افقی که به ترتیب نمایانگر مقدار C و R (یعنی توابع هدف مدل‌های M1 و M2) رسم می‌کنیم. برای هر چیدمان موجود -مثلاً چیدمان i - می‌توانیم مقدار C_i و R_i را به راحتی محاسبه کنیم و به این ترتیب نقطه‌ای از نمودار را مشخص کنیم. (نقطه A در شکل ۲۷-۷ ببینید). یک نقطه (چیدمان) را کارا می‌گویند اگر بر تمام چیدمان‌های دیگر غالب شود، یعنی هیچ نقطه دیگری مثل i نباشد که $R_j \geq R_i$ و $C_j \leq C_i$ (۱) یا $R_j > R_i$ و $C_j < C_i$ (۲) برای وزن‌های نامنفی w_1 و w_2 ، می‌توان دید که هر نقطه‌ای در ناحیه سایه زده شکل ۲۷-۷ یک نقطه غالب است. مجموعه جواب‌های غیرغالب را مرز کارا می‌نامند. وقتی که مرز کارا تولید شد (منحنی شکل ۲۷-۷ را ببینید) تصمیم‌گیرنده می‌تواند برای انتخاب چیدمان، حالت بینایی بین دو تابع هدف انتخاب کند. روش‌های ابتکاری برای تولید چشم‌انداز کارا را می‌توان در (Rosenblatt (1979 و Dutta and Sahu (1982 یافت.



شکل ۲۷-۷. نمودار نمایانگر مرز کارا

خلاصه

در این فصل، الگوریتم‌های زیادی برای مسئله چیدمان بررسی کردیم. دو الگوریتم اول، الگوریتم‌های بهینه و بقیه ابتکاری بودند. هر چند الگوریتم‌های بهینه به‌خاطر نیازهای محاسباتی زیادشان، تنها برای حل مسائل کوچک به‌کار می‌روند، ولی دید خوبی از مسئله چیدمان می‌دهند که از آنها می‌توان در ساخت الگوریتم‌های ابتکاری استفاده کرد. از بین الگوریتم‌های ابتکاری که در این فصل بررسی شد، SA، جستجوی تابو و الگوریتم ژنتیک نسبتاً جدید و بسیار کارآمد هستند. آنها جواب‌های نزدیک به بهینه برای مسائل چیدمان تهیه کرده و همچنین برای حل مسائل ترکیبی مانند مسئله فروشنده دوره‌گرد و مسئله افراز گراف مورد استفاده قرار می‌گیرند. در دیسکتی که در ضمیمه وجود دارد، برنامه کامپیوتری برای الگوریتم SA و الگوریتم MP آورده شده است.

تمرینات و پرسش‌های دوره‌ای

- ۱- چرا الگوریتم‌های ابتکاری نسبت به الگوریتم‌های بهینه‌یابی، برای حل مسئله چیدمان ترجیح داده می‌شوند؟
 - ۲- این جمله به چه معنا است: مسئله تخصیص نمایی (QAP)، NP کامل است.
 - ۳- روش برنامه‌ریزی سیستماتیک چیدمان در فصل ۳ را با الگوریتم‌های چیدمانی که در این فصل گفته شد، مقایسه کرده و بحث کنید.
 - ۴- کلمات تخصیص، تخصیص جزئی و تخصیص کامل را در مسائل تخصیص نمایی (QAP) به زبان ساده توضیح دهید. برای هر یک مثالی ارائه دهید.
 - ۵- ماتریس‌های جریان و فاصله که در ذیل آمده است را در نظر بگیرید، با فرض وجود هر یک از ماتریس‌های جریان ذیل، یک حد پایین برای مقدار تابع هدف بهینه بیابید (بخش ۷-۲-۱ را ببینید)
- الف. ماتریس بین‌سفری

ب. ماتریس سفرهای از-به

ماتریس جریان

ماتریس فاصله

$$\begin{matrix} & 1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 \\ \begin{matrix} 1 \\ 2 \\ 3 \\ 4 \\ 5 \\ 6 \end{matrix} & \begin{bmatrix} - & 6 & 2 & 3 & 6 & 2 \\ 6 & - & 3 & 4 & 6 & 8 \\ 2 & 3 & - & 0 & 2 & 0 \\ 3 & 4 & 0 & - & 3 & 3 \\ 6 & 6 & 2 & 3 & - & 1 \\ 2 & 8 & 0 & 3 & 1 & - \end{bmatrix} \end{matrix}$$

$$\begin{matrix} & 1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 \\ \begin{matrix} 1 \\ 2 \\ 3 \\ 4 \\ 5 \\ 6 \end{matrix} & \begin{bmatrix} - & 1 & 2 & 1 & 2 & 3 \\ 1 & - & 1 & 2 & 1 & 2 \\ 2 & 1 & - & 3 & 2 & 1 \\ 1 & 2 & 3 & - & 2 & 1 \\ 2 & 1 & 2 & 2 & - & 1 \\ 3 & 2 & 1 & 1 & 1 & - \end{bmatrix} \end{matrix}$$

۶- یک تخصیص بهینه برای ۴ تسهیلات به ۴ مکان نشان داده شده در شکل ۵-۱۶ با استفاده از ماتریس جریان ذیل بیابید. برای حل این مسئله از تکنیک شاخه‌وحد استفاده کنید.

ماتریس جریان

$$\begin{matrix} & 1 & 2 & 3 & 4 \\ \begin{matrix} 1 \\ 2 \\ 3 \\ 4 \end{matrix} & \begin{bmatrix} - & 6 & 2 & 3 \\ 3 & - & 8 & 0 \\ 2 & 0 & - & 2 \\ 4 & 2 & 2 & - \end{bmatrix} \end{matrix}$$

۷- تمرین ۶ را با توجه به ماتریس جریان ذیل دوباره تکرار کنید.

ماتریس جریان

$$\begin{array}{c}
 1 \quad 2 \quad 3 \quad 4 \\
 \begin{array}{c} 1 \\ 2 \\ 3 \\ 4 \end{array} \left[\begin{array}{cccc} - & 1 & 1 & 2 \\ 2 & - & 3 & 4 \\ 1 & 2 & - & 4 \\ 2 & 1 & 0 & - \end{array} \right]
 \end{array}$$

۸- تفاوت بین الگوریتم شاخه‌وحد همه‌منظوره و الگوریتم شاخه‌وحد خاص منظوره که در این فصل بحث شده است را بنویسید.

۹- یک برنامه کامپیوتری به هر زبانی (C++, توربو پاسکال، فرترن و ...) برای حل مسئله چیدمان یک‌رديفی با استفاده از الگوریتم SA بنویسید. این برنامه، داده‌های ذیل را بایستی به‌عنوان ورودی دریافت کند: (a) تعداد تسهیلات، (b) ماتریس فراوانی سفرهای بین تسهیلات، (c) ابعاد افقی هر یک از تسهیلات، (d) نحوه چیدمان تسهیلات و مقدار تابع هدف متناظر با آن در جواب اولیه و (e) پارامترهای SA، r ، T ، $NOVER$ و $NLIMIT$. خروجی‌های این برنامه موارد ذیل خواهد بود:

الف. هر یک از جواب‌های بهبودیافته و مقدار تابع هدف متناظر با آنها

ب. بهترین راه‌حل همراه با مقدار تابع هدف متناظر با آن در پایان حل مسئله توسط کامپیوتر

برنامه خود را با استفاده از داده‌های مثال ۱ فصل ۶ آزمایش کنید.

۱۰- برنامه تمرین ۹ را، به‌جای SA، با استفاده از 2-opt اصلاح کنید. برنامه خود را با استفاده از داده‌های مثال ۱ در فصل ۶ آزمایش کنید.

۱۱- برنامه تمرین ۹ را، به‌جای SA، با استفاده از greedy 2-opt اصلاح کنید. برنامه خود را با استفاده از داده‌های مثال ۱ در فصل ۶ آزمایش کنید.

۱۲- تمرین ۶ فصل ۵ را در نظر بگیرید. آن را با استفاده از الگوریتم تغییر یافته جریمه که در دیسکت ضمیمه آورده شده است حل کنید. چیدمانی با توجه به توالی تعیین شده توسط این برنامه تهیه کنید.

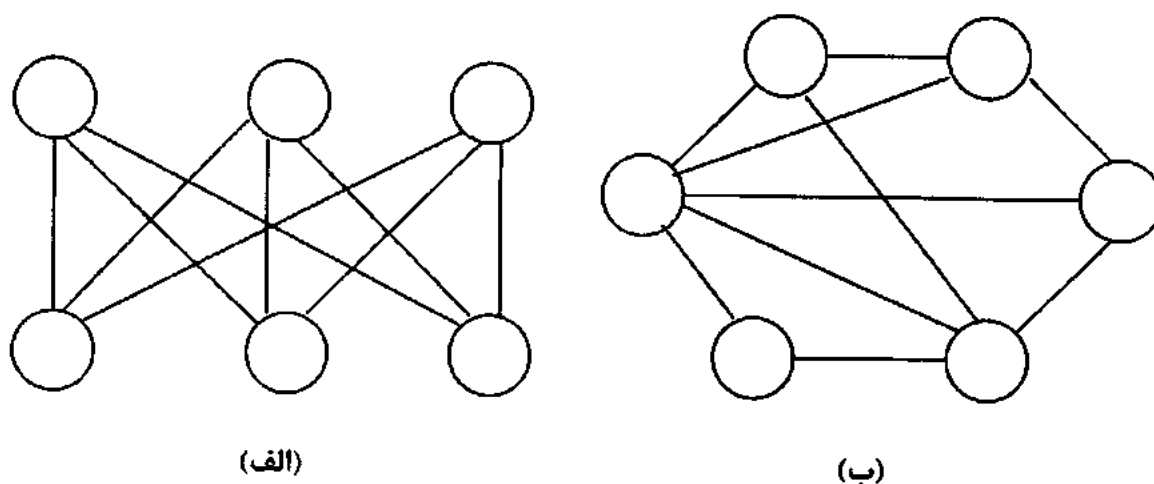
۱۳- تمرین ۱۲ را برای تمرین ۷ فصل ۵ تکرار کنید.

۱۴- تمرین ۹ را برای مسئله چیدمان چند ردیفی تکرار کنید. برنامه خود را با استفاده از داده‌های مثال ۴ این فصل، آزمایش کنید.

۱۵- تمرین ۱۰ را برای مسئله چیدمان چند ردیفی تکرار کنید. برنامه خود را با استفاده از داده‌های مثال ۴ این فصل آزمایش کنید.

۱۶- تمرین ۱۱ را برای مسئله چیدمان چند ردیفی تکرار کنید. برنامه خود را با استفاده از داده‌های مثال ۴ این فصل آزمایش کنید.

۱۷- آیا دو گراف شکل ۷-۲۸ مسطح اند؟ برای پاسخ خود دلیلی بیاورید.



شکل ۷-۲۸. دو گراف

۱۸- PAG و دوگان متناظر آن را برای دو چیدمان شکل ۷-۲۹ بنویسید. اطمینان

حاصل کنید که برای محدوده خارجی، گرهی در نظر گرفته باشید.

الف. با استفاده از الگوریتم ابتکاری گفته شده در قسمت ۷-۶.۳، PAG ماکسیمال را تهیه کنید.

ب. دوگان PAG ماکسیمالی که در a تهیه کرده بودید را رسم کنید.

ج. با توجه به دوگان و با استفاده از طول تسهیلات که در مثال آمده است، یک چیدمان همراه با جزئیات آن به روش آزمون و خطا تهیه کنید. فرض کنید که هر واحد عرضی به اندازه ۴ واحد دارد.

د. چگونه پاسخ شما قابل مقایسه با پاسخ مثال ۲ است؟

۲۲- مسئله چیدمان چندردیفی و داده‌های مربوط به جریان مثال ۵ فصل ۶ را در نظر بگیرید.

الف. با توجه به مقادیر عددی ذیل برای هر یک از کدهای روابط، کل نرخ نزدیکی برای هر یک از تسهیلات را همان‌طور که در فصل ۶ آمده است محاسبه کنید. $X=0 \quad U=20 \quad O=40 \quad I=60 \quad E=80 \quad A=100$

ب. الگوریتم ابتکاری در قسمت ۷-۳-۶ را برای تعیین PAG ماکسیمال به صورت ذیل تصحیح کنید: سه تسهیلاتی (گره‌هایی) که بیشترین TCR را دارند انتخاب کرده و یک وجه مثلثی بسازید. گره بعدی با بیشترین TCR را انتخاب کرده و داخل مثلثی که تشکیل داده بودید وارد کنید. فرایند اضافه کردن گره‌ها را به وجوه مثلثی که تشکیل داده‌اید، آن‌قدر ادامه دهید تا همه گره‌ها (همچنین گره متناظر با محدوده خارجی) اضافه شوند. قیدها و الزامات را به دلخواه بشکنید.

ج. دوگان PAG ماکسیمالی که در قسمت ب تهیه کرده بودید را رسم کنید.

د. با توجه به دوگان تهیه شده و مساحت تسهیلات که در مثال آورده شده است، یک چیدمان همراه با جزئیاتش تهیه کنید.

۲۳- مسئله چیدمان چندردیفی و ماتریس جریان متناظر با آن برای مثال ۴ را در نظر بگیرید.

الف. با توجه به الگوریتم ابتکاری بخش ۷-۱-۶، یک PAG ماکسیمال تهیه کنید.

ب. دوگان PAG ماکسیمالی که در قسمت الف تهیه کرده بودید را رسم کنید.

- ج. با توجه به دوگان تهیه شده برای PAG ماکسیمال در قسمت b، یک چیدمان همراه با جزئیات از طریق آزمون و خطا تهیه کنید.
- د. چگونه پاسخ شما قابل مقایسه با پاسخ مثال ۴ است.

۲۴- نمودار روابط شکل ۷-۳۰ را در نظر بگیرید.

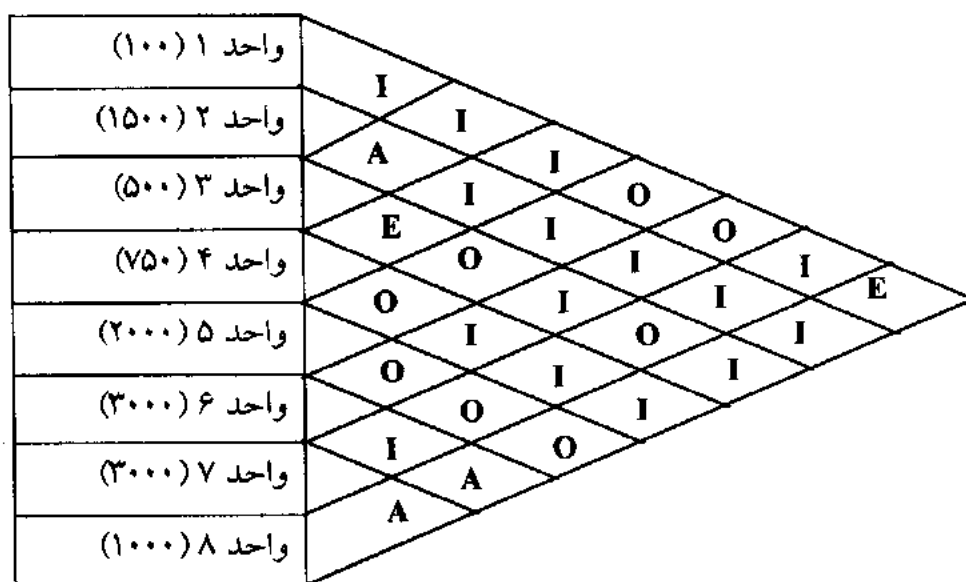
الف. کد روابط را به مقادیر عددی جریان از طریق مقادیر زیر تبدیل کنید: $A=100$

$$X=0 \quad U=20 \quad O=40 \quad I=60 \quad E=80$$

ب. با توجه به الگوریتم ابتکاری بخش ۷-۳-۶، یک PAG ماکسیمال تهیه کنید.

ج. دوگان PAG ماکسیمالی که در قسمت الف تهیه کرده بودید را رسم کنید.

د. با توجه به دوگان تهیه شده و مساحت تسهیلات که در شکل ۷-۳۰ در داخل پرانتز آورده شده است، یک چیدمان همراه با جزئیات از طریق آزمون و خطا تهیه کنید.



شکل ۷-۳۰. نمودار روابط هشت تسهیلات (مساحت به فوت مربع)

۲۵- ماتریس جریان تمرین ۵ را در نظر بگیرید.

الف. با توجه به الگوریتم ابتکاری بخش ۷-۳-۶، یک PAG ماکسیمال تهیه کنید.

ب. دوگان PAG ماکسیمالی که در قسمت اول تهیه کرده بودید را رسم کنید.

ج. با توجه به دوگان تهیه شده و با این فرض که ابعاد همه تسهیلات 15×15 فوت است، یک چیدمان همراه با جزئیات از طریق آزمون و خطا تهیه کنید. توجه کنید که تسهیلات بایستی مربع باشند.

۲۶- پروژ: کتب و متون مختلف در مورد جستجوی تابو و چیدمان یک‌ردیفی را در کتابخانه خود پیدا کنید. یک برنامه کامپیوتری به زبان دلخواه برای حل مسئله چیدمان یک‌ردیفی با الگوریتم دریانوردی تابو بنویسید. از پارامترهای مشخص در Skorin-Kapov (1990) استفاده کنید. نحوه عملکرد الگوریتم خود را با استفاده از مسائل Heragu and Alfa (1992) امتحان کنید و پاسخ‌های خود را با پاسخهای آن مقایسه کنید.

۲۷- پروژ: کتب و متون مختلف در مورد جستجوی تابو و چیدمان یک‌ردیفی، QAP و مسائل چیدمان چندردیفی با مساحت‌های نامساوی را در کتابخانه خود پیدا کنید. یک برنامه کامپیوتری به زبان دلخواه برای حل مسئله چیدمان یک‌ردیفی با الگوریتم ژنتیک بنویسید. از پارامترهای مشخص در Tate and Smith (1995) استفاده کنید. نحوه عملکرد الگوریتم خود را با استفاده از مسائل Heragu and Alfa (1992) امتحان کنید و پاسخ‌های خود را با پاسخهای آن مقایسه کنید.

ضمیمه

مدل‌ها و جواب‌ها برای MP ها و DLP ها در مثال ۲

DLP 3

$$\begin{aligned} \text{MAX} \quad & - 965.5 U_{12} + 33.5 V_{12} + 32.5 U_{13} - 966.5 V_{13} + 37.5 U_{14} \\ & - 961.5 V_{14} + 37.5 U_{23} - 961.5 V_{23} + 40.5 U_{24} - 958.5 V_{24} + \\ & 40 U_{34} - 959 V_{34} \end{aligned}$$

SUBJECT TO

$$C1) - WP_{12} + WN_{12} \leq 25$$

$$C2) \quad WP_{12} - WN_{12} \leq 25$$

$$C3) - WP_{13} + WN_{13} \leq 35$$

$$C4) \quad WP_{13} - WN_{13} \leq 35$$

$$C5) - WP_{14} + WN_{14} \leq 50$$

$$C6) \quad WP_{14} - WN_{14} \leq 50$$

$$C7) - WP_{23} + WN_{23} \leq 10$$

$$C10) \quad WP_{23} - WN_{23} \leq 10$$

$$C11) - WP_{24} + WN_{24} \leq 15$$

$$C12) \quad WP_{24} - WN_{24} \leq 15$$

$$C13) - WP_{34} + WN_{34} \leq 50$$

$$C14) \quad WP_{34} - WN_{34} \leq 50$$

$$C15) \quad U_{12} - V_{12} + U_{13} - V_{13} + U_{14} - V_{14} + WP_{12} - WN_{12} + \\ WP_{13} - WN_{13} + WP_{14} - WN_{14} \leq 0$$

$$C16) - U_{12} + V_{12} + U_{23} - V_{23} + U_{24} - V_{24} - WP_{12} + WN_{12} + \\ WP_{23} - WN_{23} + WP_{24} - WN_{24} \leq 0$$

$$C17) - U_{13} + V_{13} - U_{23} + V_{23} + U_{34} - V_{34} - WP_{13} + WN_{13} -$$

$WP23 + WN23 + WP34 - WN34 \leq 0$
 $C18) - U14 + V14 - U24 + V24 - U34 + V34 - WP14 + WN14 -$
 $WP24 + WN24 - WP34 + WN34 \leq 0$

END

TITLE (MAX)

LP OPTIMUM FOUND AT STEP 10

OBJECTIVE FUNCTION VALUE

1) 9850.0000

VARIABLE	VALUE	REDUCED COST
U12	.000000	932.000000
V12	50.000000	.000000
U13	110.000000	.000000
V13	.000000	934.000000
U14	.000000	35.000000
V14	.000000	889.000000
U23	.000000	28.500000
V23	.000000	895.500000
U24	.000000	65.500000
V24	.000000	852.500000
U34	115.000000	.000000
V34	.000000	919.000000
WP12	25.000000	.000000
WN12	.000000	.000000
WP13	.000000	.000000
WN13	35.000000	.000000
WP14	.000000	.000000
WN14	50.000000	.000000
WP23	.000000	.000000
WN23	10.000000	.000000
WP24	.000000	.000000
WN24	15.000000	.000000
WP34	.000000	.000000
WN34	50.000000	.000000

ROW	SLACK OR SURPLUS	DUAL PRICES
C1)	50.000000	.000000
C2)	.000000	33.500000
C3)	.000000	32.500000
C4)	70.000000	.000000
C5)	.000000	72.500000

C6)	100.000000	.000000
C7)	.000000	66.000000
C10)	20.000000	.000000

C11)	.000000	106.000000
C12)	30.000000	.000000
C13)	.000000	40.000000
C14)	100.000000	.000000
C15)	.000000	72.500000
C16)	.000000	106.000000
C17)	.000000	40.000000
C18)	.000000	.000000

NO. ITERATIONS= 10

MP 3

```

MIN      Z1 + 2 Z2 + 4 Z3 + 8 Z4 + 16 Z5 + 32 Z6 + 64 Z7 + 128 Z8
        + 256 Z9 + 512 Z10 + 1024 Z11 + 2048 Z12 + 4096 Z13 + 8192
        Z14 + 16384 Z15
SUBJECT TO
C1)     Y12 - Y13 + Y23 >= 0
C2)     Y12 - Y13 + Y23 <= 1
C3)     Y12 - Y14 + Y24 >= 0
C4)     Y12 - Y14 + Y24 <= 1
C5)     Y23 - Y24 + Y34 >= 0
C8)     Y23 - Y24 + Y34 <= 1
C9)     Z1 + 2 Z2 + 4 Z3 + 8 Z4 + 16 Z5 + 32 Z6 + 64 Z7 + 128
        Z8 + 256 Z9 + 512 Z10 + 1024 Z11 + 2048 Z12 + 4096 Z13 + 8192
        Z14 + 16384 Z15 + 109890 Y12 + 109890 Y23 + 114885 Y34 >=
        12410
C10)    Z1 + 2 Z2 + 4 Z3 + 8 Z4 + 16 Z5 + 32 Z6 + 64 Z7 + 128
        Z8 + 256 Z9 + 512 Z10 + 1024 Z11 + 2048 Z12 + 4096 Z13 + 8192
        Z14 + 16384 Z15 + 109890 Y12 + 109890 Y24 - 94905 Y34 >= 11940
C11)    Z1 + 2 Z2 + 4 Z3 + 8 Z4 + 16 Z5 + 32 Z6 + 64 Z7 + 128
        Z8 + 256 Z9 + 512 Z10 + 1024 Z11 + 2048 Z12 + 4096 Z13 + 8192
        Z14 + 16384 Z15 - 49950 Y12 + 109890 Y13 + 114885 Y34 >= 9850
END
TITLE ( MIN)
INTE 21

```

```

LP OPTIMUM FOUND AT STEP      2
OBJECTIVE VALUE = .000000000
FIX ALL VARS. ( 15) WITH RC > 1.00000
SET Y34 TO >= 1 AT 1, BND= .0000 TWIN= .0000 5
SET Y12 TO >= 1 AT 2, BND= .0000 TWIN= .0000 7

NEW INTEGER SOLUTION OF .000000000 AT BRANCH 2 PIVOT 7

```

OBJECTIVE FUNCTION VALUE

1) .000000000

VARIABLE	VALUE	REDUCED COST
Z1	.000000	1.000000

Z2	.000000	2.000000
Z3	.000000	4.000000
Z4	.000000	8.000000
Z5	.000000	16.000000
Z6	.000000	32.000000
Z7	.000000	64.000000
Z8	.000000	128.000000
Z9	.000000	256.000000
Z10	.000000	512.000000
Z11	.000000	1024.000000
Z12	.000000	2048.000000
Z13	.000000	4096.000000
Z14	.000000	8192.000000
Z15	.000000	16384.000000
Y12	1.000000	.000000
Y13	.000000	.000000
Y23	.000000	.000000
Y14	.000000	.000000
Y24	.000000	.000000
Y34	1.000000	.000000

ROW	SLACK OR SURPLUS	DUAL PRICES
C1)	1.000000	.000000
C2)	.000000	.000000
C3)	1.000000	.000000
C4)	.000000	.000000
C5)	1.000000	.000000
C8)	.000000	.000000
C9)	212365.000000	.000000
C10)	3045.000000	.000000
C11)	55085.000000	.000000

NO. ITERATIONS= 7
 BRANCHES= 2 DETERM.= 1.000E 0
 BOUND ON OPTIMUM: .0000000
 DELETE Y12 AT LEVEL 2
 DELETE Y34 AT LEVEL 1
 ENUMERATION COMPLETE. BRANCHES= 2 PIVOTS= 7

LAST INTEGER SOLUTION IS THE BEST FOUND
 RE-INSTALLING BEST SOLUTION...

DLP 4

MAX - 965.5 U12 + 33.5 V12 + 32.5 U13 - 966.5 V13 + 37.5 U14
 - 961.5 V14 + 37.5 U23 - 961.5 V23 + 40.5 U24 - 958.5 V24 -

959 U34 + 40 V34

SUBJECT TO

C1) - WP12 + WN12 <= 25

```

C2)   WP12 - WN12 <= 25
C3)   - WP13 + WN13 <= 35
C4)   WP13 - WN13 <= 35
C5)   - WP14 + WN14 <= 50
C6)   WP14 - WN14 <= 50
C7)   - WP23 + WN23 <= 10
C10)  WP23 - WN23 <= 10
C11)  - WP24 + WN24 <= 15
C12)  WP24 - WN24 <= 15
C13)  - WP34 + WN34 <= 50
C14)  WP34 - WN34 <= 50
C15)  U12 - V12 + U13 - V13 + U14 - V14 + WP12 - WN12 +
      WP13 - WN13 + WP14 - WN14 <= 0
C16)  - U12 + V12 + U23 - V23 + U24 - V24 - WP12 + WN12 +
      WP23 - WN23 + WP24 - WN24 <= 0
C17)  - U13 + V13 - U23 + V23 + U34 - V34 - WP13 + WN13 -
      WP23 + WN23 + WP34 - WN34 <= 0
C18)  - U14 + V14 - U24 + V24 - U34 + V34 - WP14 + WN14 -
      WP24 + WN24 - WP34 + WN34 <= 0
END
TITLE ( MAX)

```

LP OPTIMUM FOUND AT STEP 10

OBJECTIVE FUNCTION VALUE

1) 9600.0000

VARIABLE	VALUE	REDUCED COST
U12	.000000	932.000000
V12	50.000000	.000000
U13	.000000	45.000000
V13	.000000	889.000000
U14	110.000000	.000000
V14	.000000	924.000000
U23	.000000	73.500000
V23	.000000	850.500000
U24	.000000	30.500000
V24	.000000	887.500000
U34	.000000	919.000000
V34	95.000000	.000000
WP12	25.000000	.000000
WN12	.000000	.000000
WP13	.000000	.000000
WN13	35.000000	.000000
WP14	.000000	.000000
WN14	50.000000	.000000
WP23	.000000	.000000
WN23	10.000000	.000000

WP24	.000000	.000000
WN24	15.000000	.000000
WP34	50.000000	.000000
WN34	.000000	.000000

ROW	SLACK OR SURPLUS	DUAL PRICES
C1)	50.000000	.000000
C2)	.000000	33.500000
C3)	.000000	77.500000
C4)	70.000000	.000000
C5)	.000000	37.500000
C6)	100.000000	.000000
C7)	.000000	111.000000
C10)	20.000000	.000000
C11)	.000000	71.000000
C12)	30.000000	.000000
C13)	100.000000	.000000
C14)	.000000	40.000000
C15)	.000000	77.500000
C16)	.000000	111.000000
C17)	.000000	.000000
C18)	.000000	40.000000

NO. ITERATIONS= 10

MP 4

MIN $Z_1 + 2 Z_2 + 4 Z_3 + 8 Z_4 + 16 Z_5 + 32 Z_6 + 64 Z_7 + 128 Z_8$
 $+ 256 Z_9 + 512 Z_{10} + 1024 Z_{11} + 2048 Z_{12} + 4096 Z_{13} + 8192 Z_{14} + 16384 Z_{15}$

SUBJECT TO

C1) $Y_{12} - Y_{13} + Y_{23} \geq 0$

C2) $Y_{12} - Y_{13} + Y_{23} \leq 1$

C3) $Y_{12} - Y_{14} + Y_{24} \geq 0$

C4) $Y_{12} - Y_{14} + Y_{24} \leq 1$

C5) $Y_{23} - Y_{24} + Y_{34} \geq 0$

C8) $Y_{23} - Y_{24} + Y_{34} \leq 1$

C9) $Z_1 + 2 Z_2 + 4 Z_3 + 8 Z_4 + 16 Z_5 + 32 Z_6 + 64 Z_7 + 128 Z_8 + 256 Z_9 + 512 Z_{10} + 1024 Z_{11} + 2048 Z_{12} + 4096 Z_{13} + 8192 Z_{14} + 16384 Z_{15} + 109890 Y_{12} + 109890 Y_{23} + 114885 Y_{34} \geq 12410$

C10) $Z_1 + 2 Z_2 + 4 Z_3 + 8 Z_4 + 16 Z_5 + 32 Z_6 + 64 Z_7 + 128 Z_8 + 256 Z_9 + 512 Z_{10} + 1024 Z_{11} + 2048 Z_{12} + 4096 Z_{13} + 8192 Z_{14} + 16384 Z_{15} + 109890 Y_{12} + 109890 Y_{24} - 94905 Y_{34} \geq 11940$

C11) $Z_1 + 2 Z_2 + 4 Z_3 + 8 Z_4 + 16 Z_5 + 32 Z_6 + 64 Z_7 + 128 Z_8 + 256 Z_9 + 512 Z_{10} + 1024 Z_{11} + 2048 Z_{12} + 4096 Z_{13} + 8192 Z_{14} + 16384 Z_{15} - 49950 Y_{12} + 109890 Y_{13} + 114885 Y_{34} \geq 9850$

$Z_{14} + 16384 Z_{15} - 49950 Y_{12} + 109890 Y_{13} + 114885 Y_{34} \geq 9850$

C12) $Z1 + 2 Z2 + 4 Z3 + 8 Z4 + 16 Z5 + 32 Z6 + 64 Z7 + 128$
 $Z8 + 256 Z9 + 512 Z10 + 1024 Z11 + 2048 Z12 + 4096 Z13 + 8192$
 $Z14 + 16384 Z15 - 49950 Y12 + 109890 Y14 - 94905 Y34 \geq 9600$

END

TITLE (MIN)

INTE 21

LP OPTIMUM FOUND AT STEP 6

OBJECTIVE VALUE = .000000000

FIX ALL VARS. (15) WITH RC > 1.00000

SET Y34 TO $\geq$ 1 AT 1, BND= .0000 TWIN= .0000 10

SET Y14 TO $\geq$ 1 AT 2, BND= .0000 TWIN= $-.1000E+31$ 12

SET Y12 TO $\leq$ 0 AT 3, BND= .0000 TWIN= $-.1000E+31$ 13

NEW INTEGER SOLUTION OF .000000000 AT BRANCH 3 PIVOT 13

OBJECTIVE FUNCTION VALUE

1) .000000000

VARIABLE	VALUE	REDUCED COST
Z1	.000000	1.000000
Z2	.000000	2.000000
Z3	.000000	4.000000
Z4	.000000	8.000000
Z5	.000000	16.000000
Z6	.000000	32.000000
Z7	.000000	64.000000
Z8	.000000	128.000000
Z9	.000000	256.000000
Z10	.000000	512.000000
Z11	.000000	1024.000000
Z12	.000000	2048.000000
Z13	.000000	4096.000000
Z14	.000000	8192.000000
Z15	.000000	16384.000000
Y12	.000000	.000000
Y13	.000000	.000000
Y23	.000000	.000000
Y14	1.000000	.000000
Y24	1.000000	.000000
Y34	1.000000	.000000

ROW	SLACK OR SURPLUS	DUAL PRICES
C1)	.000000	.000000
C2)	1.000000	.000000
C3)	.000000	.000000
C4)	1.000000	.000000
C5)	.000000	.000000

```

C8)          1.000000          .000000
C9)      102475.000000          .000000
C10)         3045.000000          .000000
C11)      105035.000000          .000000
C12)         5385.000000          .000000

NO. ITERATIONS=      13
BRANCHES=      3 DETERM.=  1.000E   0
BOUND ON OPTIMUM:  .00000000
DELETE      Y12 AT LEVEL      3
DELETE      Y14 AT LEVEL      2
DELETE      Y34 AT LEVEL      1
ENUMERATION COMPLETE. BRANCHES=      3 PIVOTS=      13

LAST INTEGER SOLUTION IS THE BEST FOUND
RE-INSTALLING BEST SOLUTION...

```

DLP 5

```

MAX      33.5 U12 - 965.5 V12 + 32.5 U13 - 966.5 V13 - 961.5 U14
        + 37.5 V14 + 37.5 U23 - 961.5 V23 - 958.5 U24 + 40.5 V24 -
        959 U34 + 40 V34

```

SUBJECT TO

```

C1) - WP12 + WN12 <= 25
C2)  WP12 - WN12 <= 25
C3) - WP13 + WN13 <= 35
C4)  WP13 - WN13 <= 35
C5) - WP14 + WN14 <= 50
C6)  WP14 - WN14 <= 50
C7) - WP23 + WN23 <= 10
C10) WP23 - WN23 <= 10
C11) - WP24 + WN24 <= 15
C12)  WP24 - WN24 <= 15
C13) - WP34 + WN34 <= 50
C14)  WP34 - WN34 <= 50
C15)  U12 - V12 + U13 - V13 + U14 - V14 + WP12 - WN12 +
WP13 - WN13 + WP14 - WN14 <= 0
C16) - U12 + V12 + U23 - V23 + U24 - V24 - WP12 + WN12 +
WP23 - WN23 + WP24 - WN24 <= 0
C17) - U13 + V13 - U23 + V23 + U34 - V34 - WP13 + WN13 -
WP23 + WN23 + WP34 - WN34 <= 0
C18) - U14 + V14 - U24 + V24 - U34 + V34 - WP14 + WN14 -
WP24 + WN24 - WP34 + WN34 <= 0

```

END

TITLE (MAX)

LP OPTIMUM FOUND AT STEP 10

OBJECTIVE FUNCTION VALUE

1) 12062.500

VARIABLE	VALUE	REDUCED COST
U12	125.000000	.000000
V12	.000000	932.000000
U13	.000000	38.500000
V13	.000000	895.500000
U14	.000000	924.000000
V14	115.000000	.000000
U23	95.000000	.000000
V23	.000000	924.000000
U24	.000000	887.500000
V24	.000000	30.500000
U34	.000000	850.500000
V34	.000000	68.500000
WP12	.000000	.000000
WN12	25.000000	.000000
WP13	.000000	.000000
WN13	35.000000	.000000
WP14	50.000000	.000000
WN14	.000000	.000000
WP23	.000000	.000000
WN23	10.000000	.000000
WP24	15.000000	.000000
WN24	.000000	.000000
WP34	50.000000	.000000
WN34	.000000	.000000

ROW	SLACK OR SURPLUS	DUAL PRICES
C1)	.000000	33.500000
C2)	50.000000	.000000
C3)	.000000	71.000000
C4)	70.000000	.000000
C5)	100.000000	.000000
C6)	.000000	37.500000
C7)	.000000	37.500000
C10)	20.000000	.000000
C11)	30.000000	.000000
C12)	.000000	71.000000
C13)	100.000000	.000000
C14)	.000000	108.500000
C15)	.000000	71.000000
C16)	.000000	37.500000
C17)	.000000	.000000
C18)	.000000	108.500000

NO. ITERATIONS= 10

MP 5

MIN $z_1 + 2 z_2 + 4 z_3 + 8 z_4 + 16 z_5 + 32 z_6 + 64 z_7 + 128 z_8$
 $+ 256 z_9 + 512 z_{10} + 1024 z_{11} + 2048 z_{12} + 4096 z_{13} + 8192$
 $z_{14} + 16384 z_{15}$

SUBJECT TO

C1) $Y_{12} - Y_{13} + Y_{23} \geq 0$
 C2) $Y_{12} - Y_{13} + Y_{23} \leq 1$
 C3) $Y_{12} - Y_{14} + Y_{24} \geq 0$
 C4) $Y_{12} - Y_{14} + Y_{24} \leq 1$
 C5) $Y_{23} - Y_{24} + Y_{34} \geq 0$
 C8) $Y_{23} - Y_{24} + Y_{34} \leq 1$
 C9) $Z_1 + 2 Z_2 + 4 Z_3 + 8 Z_4 + 16 Z_5 + 32 Z_6 + 64 Z_7 + 128 Z_8 + 256 Z_9 + 512 Z_{10} + 1024 Z_{11} + 2048 Z_{12} + 4096 Z_{13} + 8192 Z_{14} + 16384 Z_{15} + 109890 Y_{12} + 109890 Y_{23} + 114885 Y_{34} \geq 12410$
 C10) $Z_1 + 2 Z_2 + 4 Z_3 + 8 Z_4 + 16 Z_5 + 32 Z_6 + 64 Z_7 + 128 Z_8 + 256 Z_9 + 512 Z_{10} + 1024 Z_{11} + 2048 Z_{12} + 4096 Z_{13} + 8192 Z_{14} + 16384 Z_{15} + 109890 Y_{12} + 109890 Y_{24} - 94905 Y_{34} \geq 11940$
 C11) $Z_1 + 2 Z_2 + 4 Z_3 + 8 Z_4 + 16 Z_5 + 32 Z_6 + 64 Z_7 + 128 Z_8 + 256 Z_9 + 512 Z_{10} + 1024 Z_{11} + 2048 Z_{12} + 4096 Z_{13} + 8192 Z_{14} + 16384 Z_{15} - 49950 Y_{12} + 109890 Y_{13} + 114885 Y_{34} \geq 9850$
 C12) $Z_1 + 2 Z_2 + 4 Z_3 + 8 Z_4 + 16 Z_5 + 32 Z_6 + 64 Z_7 + 128 Z_8 + 256 Z_9 + 512 Z_{10} + 1024 Z_{11} + 2048 Z_{12} + 4096 Z_{13} + 8192 Z_{14} + 16384 Z_{15} - 49950 Y_{12} + 109890 Y_{14} - 94905 Y_{34} \geq 9600$
 C13) $Z_1 + 2 Z_2 + 4 Z_3 + 8 Z_4 + 16 Z_5 + 32 Z_6 + 64 Z_7 + 128 Z_8 + 256 Z_9 + 512 Z_{10} + 1024 Z_{11} + 2048 Z_{12} + 4096 Z_{13} + 8192 Z_{14} + 16384 Z_{15} + 124875 Y_{12} + 94905 Y_{23} - 114885 Y_{14} \geq 12062.5$

END

TITLE (MIN)

INTE 21

LP OPTIMUM FOUND AT STEP 24

OBJECTIVE VALUE = .0000000000

FIX ALL VARS.(15) WITH RC > 1.000000

SET	Y14 TO >=	1 AT	1, BND=	.0000	TWIN=	-.1000E+31	38
SET	Y34 TO <=	0 AT	2, BND=	.0000	TWIN=	-.1000E+31	46
SET	Y23 TO >=	1 AT	3, BND=	.0000	TWIN=	-.1000E+31	50
SET	Y12 TO >=	1 AT	4, BND=	.0000	TWIN=	-.1000E+31	52

NEW INTEGER SOLUTION OF .0000000000 AT BRANCH 4 PIVOT 52

OBJECTIVE FUNCTION VALUE

1) .000000000

VARIABLE	VALUE	REDUCED COST
Z1	.000000	1.000000
Z2	.000000	2.000000
Z3	.000000	4.000000
Z4	.000000	8.000000
Z5	.000000	16.000000
Z6	.000000	32.000000
Z7	.000000	64.000000

Z8	.000000	128.000000
Z9	.000000	256.000000
Z10	.000000	512.000000
Z11	.000000	1024.000000
Z12	.000000	2048.000000
Z13	.000000	4096.000000
Z14	.000000	8192.000000
Z15	.000000	16384.000000
Y12	1.000000	.000000
Y13	1.000000	.000000
Y23	1.000000	.000000
Y14	1.000000	.000000
Y24	.000000	.000000
Y34	.000000	.000000

ROW	SLACK OR SURPLUS	DUAL PRICES
C1)	1.000000	.000000
C2)	.000000	.000000
C3)	.000000	.000000
C4)	1.000000	.000000
C5)	1.000000	.000000
C8)	.000000	.000000
C9)	207370.000000	.000000
C10)	97950.000000	.000000
C11)	50090.000000	.000000
C12)	50340.000000	.000000
C13)	92832.500000	.000000

NO. ITERATIONS= 52
 BRANCHES= 4 DETERM.= 1.000E 0
 BOUND ON OPTIMUM: .0000000
 DELETE Y12 AT LEVEL 4
 DELETE Y23 AT LEVEL 3
 DELETE Y34 AT LEVEL 2
 DELETE Y14 AT LEVEL 1
 ENUMERATION COMPLETE. BRANCHES= 4 PIVOTS= 52

LAST INTEGER SOLUTION IS THE BEST FOUND
 RE-INSTALLING BEST SOLUTION...

DLP 6

MAX - 965.5 U12 + 33.5 V12 - 966.5 U13 + 32.5 V13 - 961.5 U14
 + 37.5 V14 - 961.5 U23 + 37.5 V23 + 40.5 U24 - 958.5 V24 +
 40 U34 - 959 V34

SUBJECT TO

C1) - WP12 + WN12 <= 25
 C2) WP12 - WN12 <= 25
 C3) - WP13 + WN13 <= 35
 C4) WP13 - WN13 <= 35


```

C5) - WP14 + WN14 <= 50
C6)  WP14 - WN14 <= 50
C7) - WP23 + WN23 <= 10
C10) WP23 - WN23 <= 10
C11) - WP24 + WN24 <= 15
C12)  WP24 - WN24 <= 15
C13) - WP34 + WN34 <= 50
C14)  WP34 - WN34 <= 50
C15)  U12 - V12 + U13 - V13 + U14 - V14 + WP12 - WN12 +
WP13 - WN13 + WP14 - WN14 <= 0
C16) - U12 + V12 + U23 - V23 + U24 - V24 - WP12 + WN12 +
WP23 - WN23 + WP24 - WN24 <= 0
C17) - U13 + V13 - U23 + V23 + U34 - V34 - WP13 + WN13 -
WP23 + WN23 + WP34 - WN34 <= 0
C18) - U14 + V14 - U24 + V24 - U34 + V34 - WP14 + WN14 -
WP24 + WN24 - WP34 + WN34 <= 0

```

END

TITLE (MAX)

LP OPTIMUM FOUND AT STEP 9

OBJECTIVE FUNCTION VALUE

1) 12750.000

VARIABLE	VALUE	REDUCED COST
U12	.000000	887.500000
V12	.000000	44.500000
U13	.000000	851.000000
V13	.000000	83.000000
U14	.000000	924.000000
V14	110.000000	.000000
U23	.000000	924.000000
V23	95.000000	.000000
U24	125.000000	.000000
V24	.000000	918.000000
U34	.000000	38.000000
V34	.000000	881.000000
WP12	25.000000	.000000
WN12	.000000	.000000
WP13	35.000000	.000000
WN13	.000000	.000000
WP14	50.000000	.000000
WN14	.000000	.000000
WP23	10.000000	.000000
WN23	.000000	.000000
WP24	.000000	.000000
WN24	15.000000	.000000
WP34	.000000	.000000
WN34	50.000000	.000000

ROW	SLACK OR SURPLUS	DUAL PRICES
C1)	50.000000	.000000
C2)	.000000	78.000000
C3)	70.000000	.000000
C4)	.000000	115.500000
C5)	100.000000	.000000
C6)	.000000	37.500000
C7)	20.000000	.000000
C10)	.000000	37.500000
C11)	.000000	40.500000
C12)	30.000000	.000000
C13)	.000000	78.000000
C14)	100.000000	.000000
C15)	.000000	.000000
C16)	.000000	78.000000
C17)	.000000	115.500000
C18)	.000000	37.500000

NO. ITERATIONS= 9

MP 6

TITLE (MIN)

MIN $Z1 + 2 Z2 + 4 Z3 + 8 Z4 + 16 Z5 + 32 Z6 + 64 Z7$
 $+ 128 Z8 + 256 Z9 + 512 Z10 + 1024 Z11 + 2048 Z12$
 $+ 4096 Z13 + 8192 Z14 + 16384 Z15$

SUBJECT TO

C1) $Y12 - Y13 + Y23 \geq 0$

C2) $Y12 - Y13 + Y23 \leq 1$

C3) $Y12 - Y14 + Y24 \geq 0$

C4) $Y12 - Y14 + Y24 \leq 1$

C5) $Y23 - Y24 + Y34 \geq 0$

C8) $Y23 - Y24 + Y34 \leq 1$

C9) $Z1 + 2 Z2 + 4 Z3 + 8 Z4 + 16 Z5 + 32 Z6 + 64 Z7$

$+ 128 Z8 + 256 Z9 + 512 Z10 + 1024 Z11 + 2048 Z12$

$+ 4096 Z13 + 8192 Z14 + 16384 Z15 + 109890 Y12 + 109890 Y23$

$+ 114885 Y34 \geq 12410$

C10) $Z1 + 2 Z2 + 4 Z3 + 8 Z4 + 16 Z5 + 32 Z6 + 64 Z7$

$+ 128 Z8 + 256 Z9 + 512 Z10 + 1024 Z11 + 2048 Z12$

$+ 4096 Z13 + 8192 Z14 + 16384 Z15 + 109890 Y12 + 109890 Y24$

$- 94905 Y34 \geq 11940$

C11) $Z1 + 2 Z2 + 4 Z3 + 8 Z4 + 16 Z5 + 32 Z6 + 64 Z7$

$+ 128 Z8 + 256 Z9 + 512 Z10 + 1024 Z11 + 2048 Z12$

$+ 4096 Z13 + 8192 Z14 + 16384 Z15 - 49950 Y12 + 109890 Y13$

$+ 114885 Y34 \geq 9850$

C12) $Z1 + 2 Z2 + 4 Z3 + 8 Z4 + 16 Z5 + 32 Z6 + 64 Z7$

$+ 128 Z8 + 256 Z9 + 512 Z10 + 1024 Z11 + 2048 Z12$

$+ 4096 Z13 + 8192 Z14 + 16384 Z15 - 49950 Y12 + 109890 Y14$

```

- 94905 Y34 >= 9600
C13) Z1 + 2 Z2 + 4 Z3 + 8 Z4 + 16 Z5 + 32 Z6 + 64 Z7
+ 128 Z8 + 256 Z9 + 512 Z10 + 1024 Z11 + 2048 Z12
+ 4096 Z13 + 8192 Z14 + 16384 Z15 + 124875 Y12 + 94905 Y23
- 114885 Y14 >= 12062.5
C14) Z1 + 2 Z2 + 4 Z3 + 8 Z4 + 16 Z5 + 32 Z6 + 64 Z7
+ 128 Z8 + 256 Z9 + 512 Z10 + 1024 Z11 + 2048 Z12
+ 4096 Z13 + 8192 Z14 + 16834 Z15 - 109890 Y12 - 94905 Y23
+ 124875 Y24 >= 12750
END
INTE 21

```

```

LP OPTIMUM FOUND AT STEP 10
OBJECTIVE VALUE = .000000000E+00
FIX ALL VARS.( 3) WITH RC > 512.000
SET Y14 TO >= 1 AT 1, BND= -.1706E+05 TWIN= -9600. 229
DELETE Y12 AT LEVEL 2
FLIP Y14 TO <= 0 AT 1 WITH BND= -9600.0000
SET Z12 TO >= 1 AT 2, BND= -.1024E+05 TWIN= -9600. 254

```

```

NEW INTEGER SOLUTION OF 10240.0000 AT BRANCH 3 PIVOT 254
BOUND ON OPTIMUM: 6912.000

```

```

FLIP Z12 TO <= 0 AT 2 WITH BND= -9600.0000
SET Y12 TO <= 0 AT 3, BND= -9600. TWIN=-.1000E+31 254
SET Y34 TO <= 0 AT 4, BND= -9600. TWIN=-.1000E+31 254
SET Z9 TO >= 1 AT 5, BND= -9600. TWIN=-9600. 256
SET Z11 TO >= 1 AT 6, BND= -9600. TWIN=-9600. 258
SET Z8 TO >= 1 AT 7, BND= -9600. TWIN=-9600. 273

```

```

NEW INTEGER SOLUTION OF 9600.00000 AT BRANCH 6 PIVOT 273
BOUND ON OPTIMUM: 6912.000

```

```

DELETE Z8 AT LEVEL 7
DELETE Z11 AT LEVEL 6
DELETE Z9 AT LEVEL 5
DELETE Y34 AT LEVEL 4
DELETE Y12 AT LEVEL 3
DELETE Z12 AT LEVEL 2
DELETE Y14 AT LEVEL 1

```

RELEASE FIXED VARIABLES

```

SET Y14 TO <= 0 AT 1, BND= -9600. TWIN= -.1706E+05 401
DELETE Y14 AT LEVEL 1
ENUMERATION COMPLETE. BRANCHES= 7 PIVOTS= 401

```

LAST INTEGER SOLUTION IS THE BEST FOUND
RE-INSTALLING BEST SOLUTION...

OBJECTIVE FUNCTION VALUE

1) 9600.000

VARIABLE	VALUE	REDUCED COST
Z1	.000000	1.000000
Z2	.000000	2.000000
Z3	.000000	4.000000
Z4	.000000	8.000000
Z5	.000000	16.000000
Z6	.000000	32.000000
Z7	.000000	64.000000
Z8	1.000000	128.000000
Z9	1.000000	256.000000
Z10	.000000	512.000000
Z11	1.000000	1024.000000
Z12	.000000	2048.000000
Z13	.000000	4096.000000
Z14	1.000000	8192.000000
Z15	.000000	16384.000000
Y12	.000000	.000000
Y13	1.000000	.000000
Y23	1.000000	.000000
Y14	.000000	.000000
Y24	1.000000	.000000
Y34	.000000	.000000

ROW	SLACK OR SURPLUS	DUAL PRICES
C1)	.000000	.000000
C2)	1.000000	.000000
C3)	1.000000	.000000
C4)	.000000	.000000
C5)	.000000	.000000
C8)	1.000000	.000000
C9)	107080.000000	.000000
C10)	107550.000000	.000000
C11)	109640.000000	.000000
C12)	.000000	.000000
C13)	92442.500000	.000000
C14)	26820.000000	.000000

NO. ITERATIONS= 401

BRANCHES= 7 DETERM.= 1.000E 0

فایل های ورودی و خروجی برای مثال ۳

برنامه کامپیوتری روی دیسکت ضمیمه مسأله یک سطری را با بهره‌گیری از الگوریتم MP و سپس الگوریتم مبادله 2-opt حل می‌کند. برای ارائه تصویر روشنی از برنامه ما از مثال ۳ که مربوط به چیدمان ۱۱ ایستگاه کاری بر روی یک ردیف است، استفاده

می‌کنیم. داده‌های ورودی در فایل به نام SINROWIN.DAT ذخیره شده‌اند و شماره واحد ۵ به آنها تخصیص داده شده‌است. خروجی بر روی فایل به نام SINROWOT.DAT ذخیره می‌گردد و شماره واحد ۸ به آن داده می‌شود. هر دوی این موارد در ضمیمه ارائه شده‌اند. زمانی که برنامه اجرا می‌شود، خروجی آن (که حاوی مقادیر متغیرهای x_i در جواب است) در فایل SINROWIN.DAT ذخیره می‌گردد. سطر اول فایل ورودی بعدی تعداد ایستگاه‌های کاری را در مسأله چیدمان مشخص می‌کند، یعنی مقدار β_{ij} و نیز مقدار پارامتر FTOL مورد استفاده الگوریتم پاول. ۱۱ سطر بعدی اطلاعات مربوط به تواتر (فرکانس) ماتریس رفت و آمدها را ارائه می‌دهند. توجه داشته باشید که تنها نیمی از مقادیر ماتریس وارد شده‌اند چرا که فرض بر این است که این ماتریس متقارن است. سطر سیزدهم طول هر ایستگاه کاری را نشان می‌دهد و خط آخر نشانگر مقادیر متغیر x_i مربوط به یک جواب اولیه است. توجه داشته باشید که این مقادیر به نحوی هستند که ایستگاه کاری ۱ در چپ‌ترین جایگاه است و ایستگاه ۲ در سمت در سمت راست آن واقع شده است و الی آخر، به بیان دیگر یک جواب اولیه "استاندارد" ارائه شده‌است. اگر کاربر بخواهد می‌تواند مقادیر x_i را طوری مقداردهی کند که نشانگر جواب موجهی نباشند، (به عنوان مثال تمام مقادیر x_i را صفر قرار دهد). فایل داده‌های ورودی SINROWIN.DAT به شرح ذیل است:

```

11 1. 0.0001
0. 20. 2. 8. 0. 9. 5. 7. 0. 20. 3.
0. 8. 9. 13. 17. 16. 1. 8. 6. 7.
0. 18. 0. 10. 4. 18. 5. 8. 0.
0. 6. 16. 10. 4. 2. 14. 6.
0. 6. 0. 11. 0. 8. 2.
0. 6. 13. 2. 7. 18.
0. 1. 11. 15. 7.
0. 1. 7. 2.
0. 12. 0.
0. 3.
0.
3. 9. 3. 7. 3. 7. 5. 9. 6. 5. 10.
0. 6. 13. 18. 23. 28. 34. 41. 48.554. 61.5

```

خروجی تولید شده توسط الگوریتم MP برای داده‌های ورودی در قسمت بعد ارائه

می‌گردد. جواب به دست آمده دارای OFV ی است که از OFV جواب بهینه بیشتر است. (برای این مسأله، جواب بهینه معلوم است و با استفاده از الگوریتم شاخه و

حد تعیین شده است) مقدار $P(I)$ در جواب بیانگر مختصات مرکز ماشین i است. فایل خروجی SINROWOT.DAT به شرح ذیل است:

THIS PROGRAM IMPROVES AN INITIAL LAYOUT FOR THE SINGLEROW LAYOUT
PROBLEM - PROVIDED BY THE USER - USING THE POWELL ALGORITHM FOR
UNCONSTRAINED OPTIMIZATION, AND TRIES TO IMPROVE IT USING A GREEDY
EXCHANGE ALGORITHM

VALUES OF N,BETA ARE 11 1.0

VALUE OF FTOL= 0.0001

**** THE FLOW MATRIX IS ****

0.020.0 2.0 8.0 0.0 9.0 5.0 7.0 0.020.0 3.0
20.0 0.0 8.0 9.013.017.016.0 1.0 8.0 6.0 7.0
2.0 8.0 0.018.0 0.010.0 4.018.0 5.0 8.0 0.0
8.0 9.018.0 0.0 6.016.010.0 4.0 2.014.0 6.0
0.013.0 0.0 6.0 0.0 6.0 0.011.0 0.0 8.0 2.0
9.017.010.016.0 6.0 0.0 6.013.0 2.0 7.018.0
5.016.0 4.010.0 0.0 6.0 0.0 1.011.015.0 7.0
7.0 1.018.0 4.011.013.0 1.0 0.0 1.0 7.0 2.0

0.0 8.0 5.0 2.0 0.0 2.011.0 1.0 0.012.0 0.0
20.0 6.0 8.014.0 8.0 7.015.0 7.012.0 0.0 3.0
3.0 7.0 0.0 6.0 2.018.0 7.0 2.0 0.0 3.0 0.0

**** THE FACILITY DIMENSIONS ARE ****

DIMENSION OF FACILITY 1 IS 3.0
DIMENSION OF FACILITY 2 IS 9.0
DIMENSION OF FACILITY 3 IS 3.0
DIMENSION OF FACILITY 4 IS 7.0
DIMENSION OF FACILITY 5 IS 3.0
DIMENSION OF FACILITY 6 IS 7.0
DIMENSION OF FACILITY 7 IS 5.0
DIMENSION OF FACILITY 8 IS 9.0
DIMENSION OF FACILITY 9 IS 6.0
DIMENSION OF FACILITY 10 IS 5.0
DIMENSION OF FACILITY 11 IS 10.0

**** VALUE OF INITIAL VARIABLES ****

VALUES OF I,P(I) ARE 1 0.0
VALUES OF I,P(I) ARE 2 6.0
VALUES OF I,P(I) ARE 3 13.0
VALUES OF I,P(I) ARE 4 18.0
VALUES OF I,P(I) ARE 5 23.0
VALUES OF I,P(I) ARE 6 28.0
VALUES OF I,P(I) ARE 7 34.0
VALUES OF I,P(I) ARE 8 41.0
VALUES OF I,P(I) ARE 9 48.5
VALUES OF I,P(I) ARE 10 54.0
VALUES OF I,P(I) ARE 11 61.5

**** DISTANCE MATRIX ****

0.0 6.013.018.023.028.034.041.048.554.061.5
 6.0 0.0 7.012.017.022.028.035.042.548.055.5
 3.0 7.0 0.0 5.010.015.021.028.035.541.048.5
 8.012.0 5.0 0.0 5.010.016.023.030.536.043.5
 23.017.010.0 5.0 0.0 5.011.018.025.531.038.5
 28.022.015.010.0 5.0 0.0 6.013.020.526.033.5
 34.028.021.016.011.0 6.0 0.0 7.014.520.027.5
 41.035.028.023.018.013.0 7.0 0.0 7.513.020.5
 48.542.535.530.525.520.514.5 7.5 0.0 5.513.0
 54.048.041.036.031.026.020.013.0 5.5 0.0 7.5
 61.555.548.543.538.533.527.520.513.0 7.5 0.0

OBJ FUN VAL OF INITIAL SOLUTION = 9594.5000

VALUES OF I,P(I) ARE 1 33.88

VALUES OF I,P(I) ARE 2 34.14

VALUES OF I,P(I) ARE 3 32.76

VALUES OF I,P(I) ARE 4 32.78

VALUES OF I,P(I) ARE 5 31.61

VALUES OF I,P(I) ARE 6 33.01

VALUES OF I,P(I) ARE 7 34.70

VALUES OF I,P(I) ARE 8 29.97

VALUES OF I,P(I) ARE 9 35.92

VALUES OF I,P(I) ARE 10 33.89

VALUES OF I,P(I) ARE 11 38.52

***** P(I) VALUES AFTER "STRETCHING" *****

VALUES OF I,P(I) ARE 1 26.00

VALUES OF I,P(I) ARE 2 37.00

VALUES OF I,P(I) ARE 3 9.00

VALUES OF I,P(I) ARE 4 14.00

VALUES OF I,P(I) ARE 5 6.00

VALUES OF I,P(I) ARE 6 21.00

VALUES OF I,P(I) ARE 7 44.00

VALUES OF I,P(I) ARE 8 0.00

VALUES OF I,P(I) ARE 9 49.50

VALUES OF I,P(I) ARE 10 30.00

VALUES OF I,P(I) ARE 11 57.50

**** DISTANCE MATRIX ****

0.011.017.012.020.0 5.018.026.023.5 4.031.5
 1.0 0.028.023.031.016.0 7.037.012.5 7.020.5
 7.028.0 0.0 5.0 3.012.035.0 9.040.521.048.5
 2.023.0 5.0 0.0 8.0 7.030.014.035.516.043.5
 20.031.0 3.0 8.0 0.015.038.0 6.043.524.051.5
 5.016.012.0 7.015.0 0.023.021.028.5 9.036.5
 8.0 7.035.030.038.023.0 0.044.0 5.514.013.5
 26.037.0 9.014.0 6.021.044.0 0.049.530.057.5
 23.512.540.535.543.528.5 5.549.5 0.019.5 8.0
 4.0 7.021.016.024.0 9.014.030.019.5 0.027.5
 31.520.548.543.551.536.513.557.5 8.027.5 0.0

```
OBJ FUN VAL OF POWELL =          7075.5000
GREEDY EXCHANGE ALGORITHM WILL NOW START
GREEDY IMPROVED SOLUTION
VALUES OF I,P(I) ARE  1 31.00
VALUES OF I,P(I) ARE  2 37.00
VALUES OF I,P(I) ARE  3  9.00
VALUES OF I,P(I) ARE  4 14.00
VALUES OF I,P(I) ARE  5  6.00
VALUES OF I,P(I) ARE  6 21.00
VALUES OF I,P(I) ARE  7 44.00
VALUES OF I,P(I) ARE  8  0.00
VALUES OF I,P(I) ARE  9 49.50
VALUES OF I,P(I) ARE 10 27.00
VALUES OF I,P(I) ARE 11 57.50
OFV OF IMPROVED SOLUTION =          7041.5000
```


تکنولوژی گروهی و چیدمان تسهیلات

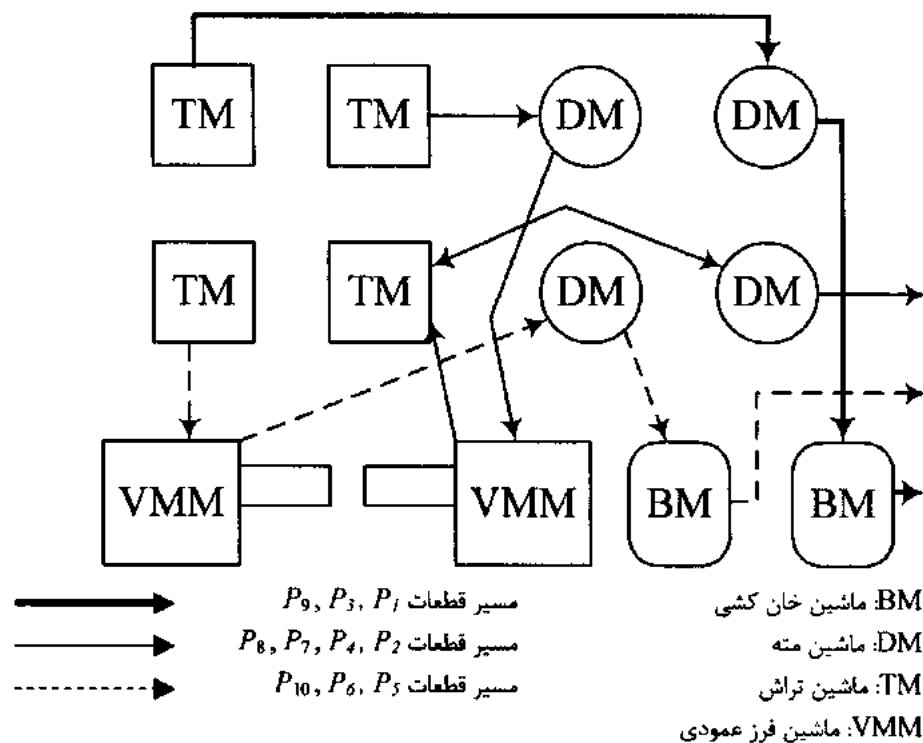
۸-۱ مقدمه

تکنولوژی گروهی^۱ (GT) یک فلسفه مدیریتی است که سعی می‌کند محصولات را بر اساس طراحی یکسان یا مشخصات ساخت یکسان یا هر دو، گروه‌بندی کند. ساخت سلولی^۲ (CM) را می‌توان به‌عنوان کاربردی از GT به حساب آورد که در آن ماشین‌آلات بر اساس قطعاتی که توسط آنها ساخته می‌شوند گروه‌بندی می‌گردند. هدف اصلی CM تعیین سلول‌های ماشین‌آلات و خانواده قطعات به‌طور همزمان و تخصیص دادن خانواده قطعات به سلول‌های ماشین‌آلات است، به نحوی که جابه‌جایی قطعات در بین سلول‌ها می‌نیم شود. برای اینکه به‌طور موفقیت‌آمیزی مفهوم CM را پیاده کنیم، تحلیل‌گر باید چیدمان ماشین‌آلات در سلول‌ها را به‌گونه‌ای سامان دهد که هزینه‌های جابه‌جایی مواد بین سلول‌ها و درون سلول‌ها می‌نیم شود. CM تقریباً یک مفهوم جدیدی است که در محیط کارخانه‌ای با موفقیت جواب می‌دهد و سود قابل ملاحظه‌ای را عاید می‌سازد (Black 1983). شرکت‌های بررسی شده به‌وسیله Wemmerlov and Hyer (1989) این مطلب را تصدیق می‌کنند:

• کاهش زمان آماده‌سازی

- کاهش موجودی در جریان ساخت
- کاهش هزینه جابه‌جایی مواد
- کاهش هزینه مستقیم و غیرمستقیم اپراتور
- بهبود کیفیت
- بهبود در جریان مواد
- بهبود در استفاده از ماشین‌آلات
- بهبود در استفاده از فضا
- بهبود روحیه کارمندان

مهمترین تفاوت بین محیط سنتی کارگاهی و محیط CM، در گروه‌بندی کردن و چیدمان ماشین‌آلات است (Burbridge 1982). در یک چیدمان کارگاهی، ماشین‌آلات معمولاً براساس شباهت کارکردی آنها گروه‌بندی شده‌اند (شکل ۸-۱ را نگاه کنید).



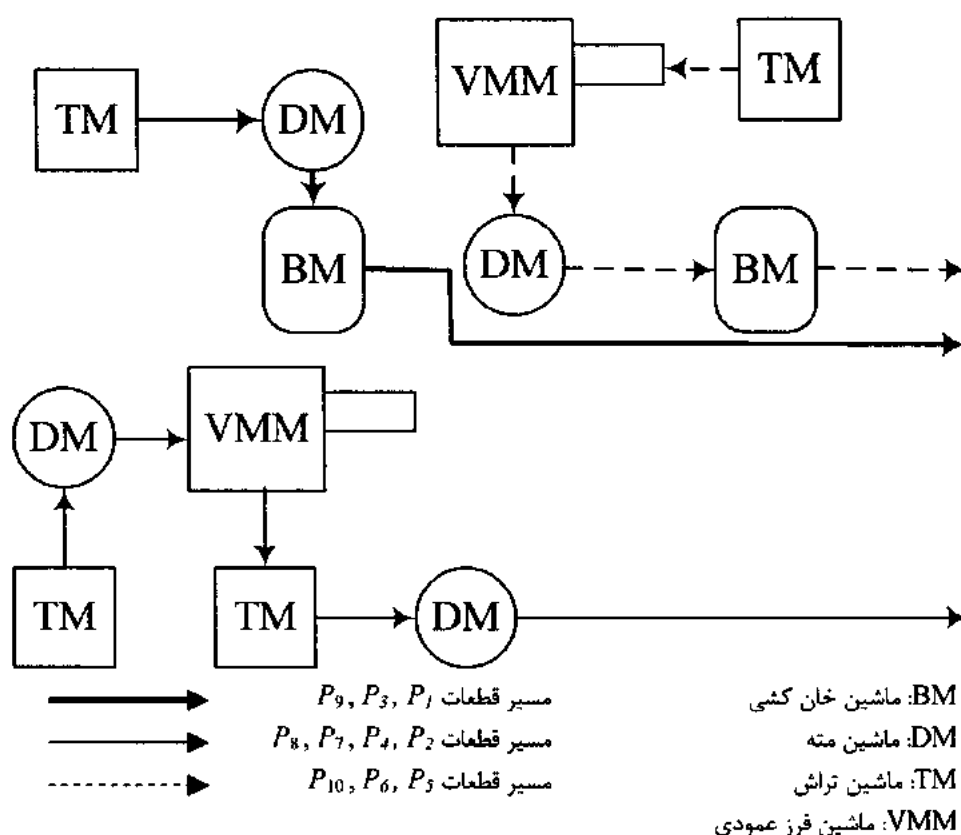
شکل ۸-۱. آرایش سلول‌ها در محیط کارگاهی

درحالی‌که در یک محیط ساخت سلولی، ماشین‌آلات در سلول‌ها گروه‌بندی شده‌اند

و در هر سلول، خانواده و گروه خاصی از قطعات تولید می‌شوند (شکل ۸-۲ را ببینید).

معمولا ماشین آلات در هر سلول، وظایف و کارکردهای متفاوتی دارند. چیدمان و آرایش به صورت CM، امکان کنترل بیشتر در سیستم‌های ساخت سلولی^۱ (CMS) را فراهم می‌کند.

علاوه بر می‌نیم کردن جابه‌جایی درون سلولی قطعات و خانواده قطعات، یک طراح CMS باید محدودیت‌های دیگری را نیز مورد توجه قرار دهد (Singh 1983). برای مثال خانواده قطعات باید به گونه‌ای به سلول‌های ماشین آلات تخصیص داده شوند که از ظرفیت قابل دسترس ماشین آلات در هر سلول بیشتر نشوند، ایمنی و نیازمندی‌های تکنولوژیکی مثل مکان تجهیزات و یا فرایندها باید مورد توجه قرار گیرد و اندازه یک سلول و تعداد سلول‌ها از میزانی که کاربر مشخص کرده است نباید بیشتر شود.



شکل ۸-۲. آرایش سلول‌ها در یک سیستم ساخت سلولی

بیشتر تلاش‌ها و تحقیقات طراحی GT و CMS، از این محدودیت‌ها چشم‌پوشی می‌کنند و بیشتر، بر تعیین سلول‌های ماشین آلات و گروه‌بندی و خانواده‌کردن قطعات

متناظر با آنها تاکید دارند. تحلیل گران طرح، با یک ماتریس شاخص عملیات قطعه- ماشین، مانند نمونه‌ای که در شکل ۸-۳ آمده است، شروع می‌کنند. این ماتریس فقط شامل درایه‌های ۰ و ۱ است. درایه‌ای با مقدار ۱ در ردیف i و ستون j نشان می‌دهد که قطعه متناظر با سطر i ام توسط ماشین متناظر در ستون j ام ساخته می‌شود. درایه‌ای با مقدار صفر به این معنا است که قطعه مشخص شده، به وسیله آن ماشین ساخته نمی‌شود، اما معمولاً صفر در ماتریس، به وسیله یک خط تیره نشان داده می‌شود (مانند شکل ۸-۳).

ماشین

$$[a_{ij}] = \begin{matrix} & M_1 & M_2 & M_3 & M_4 & M_5 & M_6 & M_7 \\ \text{قطعه} \begin{matrix} P_1 \\ P_2 \\ P_3 \\ P_4 \\ P_5 \\ P_6 \end{matrix} & \begin{bmatrix} 1 & - & - & 1 & - & 1 & - \\ - & 1 & 1 & - & 1 & - & - \\ - & - & - & 1 & - & 1 & - \\ - & 1 & 1 & - & - & - & - \\ - & - & 1 & - & - & - & 1 \\ - & 1 & - & - & 1 & - & 1 \end{bmatrix} \end{matrix}$$

شکل ۸-۳. نمونه‌ای از ماتریس شاخص عملیات قطعه-ماشین

ماشین

$$[a_{ij}] = \begin{matrix} & M_1 & M_4 & M_6 & M_2 & M_3 & M_5 & M_7 \\ \text{قطعه} \begin{matrix} P_1 \\ P_3 \\ P_2 \\ P_4 \\ P_5 \\ P_6 \end{matrix} & \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & - & - & - & - \\ - & 1 & 1 & - & - & - & - \\ - & - & - & 1 & 1 & 1 & - \\ - & - & - & 1 & 1 & - & - \\ - & - & - & - & 1 & - & 1 \\ - & - & - & 1 & - & 1 & 1 \end{bmatrix} \end{matrix}$$

شکل ۸-۴. ماتریس شاخص عملیات با آرایش مجدد

تحلیل گران سعی می کنند تا سطرها و ستون های ماتریس شاخص عملیات قطعه- ماشین را به گونه ای دوباره مرتب کنند تا مانند شکل ۸-۴، آن را به فرم بلوک قطری درآورند.

خوشه های یک در اطراف قطر ماتریس، دو گروه یا سلول از ماشین آلات را نشان می دهد: $MC_1 = \{ M_1, M_4, M_6 \}$ و $MC_2 = \{ M_2, M_3, M_5, M_7 \}$ ؛ خانواده قطعات متناظر با آنها عبارتند از: $PF_1 = \{ P_1, P_3 \}$ و $PF_2 = \{ P_2, P_4, P_5, P_6 \}$ توجه داشته باشید که همه ماتریس های شاخص عملیات قطعه-ماشین را نمی توان به گونه ای دوباره مرتب کرد که به شکل بلوک قطری مناسب درآیند. درواقع ممکن است برای بسیاری از ماتریس ها تهیه چنین فرمی امکان نداشته باشد، برای مثال فرض کنید که قطعه P_2 نیاز دارد تا عملیات روی آن توسط ماشین M_1, M_2, M_3 و M_5 انجام شود. ماتریس شاخص عملیات قطعه-ماشین نظیر آن در شکل ۸-۵ نشان داده شده است. هیچ آرایش مجددی از سطرها و ستون ها نمی تواند ماتریسی به صورت بلوک قطری ایجاد کند که درایه های با مقدار ۱ خارج از ۲ بلوک قرار نگیرند. سطرهای (قطعات) متناظر با مقادیر ۱ ای که در خارج از بلوک های قطری قرار گرفته اند، به عنوان قطعات استثناء تلقی می شوند چون زمانی که آنها حذف می شوند ساختار یک بلوک قطری به راحتی ایجاد می شود. البته ستون ها و سطرهای باقی مانده ممکن است هنوز نیاز به آرایش مجدد داشته باشند برای

ماشین

	M_1	M_4	M_6	M_2	M_3	M_5	M_7
قطعه P_1	1	1	1	—	—	—	—
P_3	—	1	1	—	—	—	—
P_2	1	—	—	1	1	1	—
P_4	—	—	—	1	1	—	—
P_5	—	—	—	—	—	1	1
P_6	—	—	—	1	—	1	1

$[a_{ij}] =$

شکل ۸-۵. ماتریس شاخص عملیات تجدیدنظر شده

اینکه به ساختار بلوک قطری برسند. در مثال نشان داده شده در شکل ۵-۸، قطعه استثناء، P_2 است. اگر P_2 از ماتریس حذف شود دو سلول مجزا برای خانواده قطعه-ماشین به راحتی به دست خواهد آمد.

اگر ما بخواهیم سلول‌های کاملاً مستقل-که هیچ گونه جابه‌جایی مواد بین سلول‌ها وجود نداشته باشد- داشته باشیم، ساخت قطعات استثناء باید به پیمانکار خارجی سپرده شود. اگر نتوانیم ساخت این قطعات را به یک پیمانکار خارجی بدهیم و مسیریابی و ساخت P_2 قابل اصلاح نباشد، این قطعه باید از سلول‌های MC_1 و MC_2 عبور کند.

برای حل مشکلاتی از این نوع، روش‌های مختلفی وجود دارد که در آن، سطرها و ستون‌ها دوباره مرتب می‌شوند، (مثلاً تلاش برای تعیین سلول‌ها و خانواده قطعات-ماشین به گونه‌ای که جابه‌جایی داخلی قطعات در سلول‌ها می‌نیم شود مثلاً می‌توان ماشین‌آلات مربوط به ستون‌هایی که شامل قطعات استثناء هستند را در نظر گرفت، اجزائی که خارج از ساختار بلوکی قطری هستند، و با آن ماشین‌آلات، همانند ماشین‌آلات گلوگاهی رفتار کرد. این ماشین‌ها، ماشین‌آلات گلوگاهی نامیده می‌شوند چون دو یا چند خانواده از قطعات، از آنها استفاده می‌کنند. برای مثال (در ماتریس نشان داده شده در شکل ۵-۸) ماشین M_1 ماشین گلوگاهی (استثناء) است. اگر ستون متناظر با ماشین M_1 حذف شود سپس به‌طور همزمان، دو خوشه مجزا از سلول‌های ماشین‌آلات و خانواده قطعات خواهیم داشت. این به ما نشان می‌دهد که اگر یک ماشینی مشابه M_1 خریداری شود و در سلول دوم در شکل ۵-۸ قرار داده شود، جابه‌جایی بین سلولی قطعه P_2 می‌تواند حذف شود. این کار تنها زمانی انجام می‌شود که هزینه خرید ماشین گلوگاهی مقرون به صرفه باشد.

گاهی اوقات، استفاده از اعداد غیر دودویی (بین ۰ و ۱) برای تعیین درجه هماهنگی بین هر جفت قطعه-ماشین در ماتریس شاخص عملیات $[a_{ij}]$ ، مفید است. در مقایسه با ماتریس دودویی (۰ و ۱) ارائه شده که فقط اطلاعاتی در این حد که آیا یک قطعه از یک ماشین خاص عبور می‌کند یا نه، ماتریس غیر دودویی انعطاف‌پذیرتر است چون به

کاربر این امکان را می‌دهد که دیگر ارتباطات بین ماشین‌ها و قطعه را به

دست آورد (مثلاً هزینه ساخت یک قطعه با یک ماشین یا زمان ساخت).

ماتریس شاخص عملیات قطعه-ماشین را می‌توان با اضافه کردن اطلاعات با ارزش که در تشخیص سلول‌های ماشین‌آلات و خانواده قطعات استفاده می‌شود، غنی‌تر کرد. برای مثال دو ستون اضافی برای تعیین تعداد قطعاتی که بایستی ساخته شوند و دسته تولید، برای هر یک می‌توان اضافه کرد. به‌طور مشابه ممکن است ترتیب و توالی ماشین‌آلاتی که قطعه از آنها عبور می‌کند در ماتریس ثبت شود (Heragu and Kakuturi 1997؛ Nagi, Harhalakis, and Porth 1990). ترتیب و توالی عملیات برای هر قطعه، یک فاکتور مهمی در تعیین سلول‌های ماشین‌آلات است. برای مثال اگر بر روی قطعه‌ای در سلول دوم یک عملیات میانی انجام شود و بقیه عملیات در سلول اول انجام شود، در آن صورت دو سفر (برای هر دسته تولید) بین دو سلول نیاز است. از طرف دیگر اگر فقط آخرین عملیات در یک سلول دوم انجام شود، فقط یک سفر انجام می‌شود. اطلاعات مرتبط با ترتیب و توالی عملیات به‌راحتی از طریق تعریف x_{ij} به دست می‌آید به این صورت که:

$$x_{ij} = \begin{cases} k & \text{اگر قطعه } i \text{ برای } k \text{ امین عملیات از ماشین } j \text{ عبور کند} \\ 0 & \text{در غیر این صورت} \end{cases}$$

که در آن k یک عدد صحیح است که نشان‌دهنده عملیاتی است که برای آن، قطعه i از ماشین j عبور می‌کند. شکل ۸-۶ اصلاح شده شکل ۸-۵ است که توالی عملیات را نشان می‌دهد. این نحوه نمایش، امکان به‌دست آوردن اطلاعات مربوط به توالی و مسیریابی را برای ما فراهم می‌کند. تا زمانی که یک قطعه از هر ماشین برای تعدادی عملیات متوالی عبور کند، نحوه نمایش در شکل ۸-۶ مناسب است.

تمامی عملیات متوالی که به وسیله یک ماشین انجام می‌شود را می‌توان به عنوان یک عملیات واحد در نظر گرفت. اگر یک ماشین برای دو یا تعداد بیشتری از عملیات غیر متوالی مورد استفاده قرار گرفت، دیگر این نحوه نمایش مناسب نیست. در این مورد هر درایه در ماتریس، بایستی به یک بردار تبدیل شود که تمامی عملیات را برای ماشین نظیرش که قطعه از آن عبور می‌کند، نمایش دهد. برای مثال، اگر قطعه P_5 از ماشین M_2 برای دومین و چهارمین عملیات مورد نیازش عبور کند، این اطلاعات به شکل بردار $(4, 2)$ در ردیف پنجم و ستون دوم ماتریس ثبت می‌شود. بدیهی است که نگهداری و ذخیره این اطلاعات نیاز به حافظه بیشتری خواهد داشت. یکی از روش‌های پیشنهاد

شده برای نمایش عملیات‌های غیرمتوالی یک ماشین، استفاده از ستون‌های مجازی است (Heragu and Kakuturi 1997). معمولا می‌توان بحث کرد که این کار برای اصلاح طراحی قطعه یا انتخاب برنامه عملیات به گونه‌ای که یک ماشین یکسان فقط برای عملیات متوالی، بیش از یک بار ملاقات می‌شود، استفاده کرد. چیزی که رویکرد GT سعی بر می‌نیم کردن آن را دارد. در غیر این صورت، زمان آماده‌سازی به صورت غیرضروری افزایش می‌یابد.

ماشین

		M_1	M_4	M_6	M_2	M_3	M_5	M_7
$[a_{ij}] =$	قطعه P_1	2	3	1	—	—	—	—
	P_3	—	1	2	—	—	—	—
	P_2	3	—	—	1	4	2	—
	P_4	—	—	—	2	1	—	—
	P_5	—	—	—	—	—	1	2
	P_6	—	—	—	1	—	2	3

شکل ۸-۶. ماتریس شاخص عملیات که توالی فعالیت‌ها را نیز نمایش می‌دهد

۸-۲ رویکرد کدگذاری و طبقه‌بندی

وجود مدیریت تولید و فرایند کارا، یک فاکتور کلیدی در موفقیت شرکت‌های تولیدی (کارخانه‌ها) است، مخصوصا برای کارخانه‌هایی که قطعات زیادی از انواع بسیار گوناگون در یک زمان کوتاه و معین می‌سازند. برای مثال یک شرکتی که تامین‌کننده قطعات برای سازنده هواپیما است معمولا هزاران قطعه به مقدار کم در طول بیش از ۶ ماه تولید می‌کند. برای چنین شرکت‌هایی داشتن سیستم کدگذاری و طبقه‌بندی برای ذخیره اطلاعات مربوط به هر یک از قطعات در پایگاه داده شرکت ضروری است.

اصول کدگذاری و طبقه‌بندی در بیشتر جاها مورد استفاده قرار می‌گیرد. برای مثال

سیستم کتابخانه دانشگاه شما از یک برنامه طبقه‌بندی استفاده می‌کند. تمام کتاب‌های

علمی مرتبط، یک شماره‌ای دارند که با T یا Q، شروع می‌شود کتاب‌های تاریخی با D شروع می‌شوند و به همین ترتیب. به‌طور مشابه مثلاً کتاب‌های تاریخی مختص به یک دوره زمانی، ممکن است یک حرف بعدی برای دلالت بر این دوره زمانی داشته باشد. بنابراین یک عدد کامل برای یک کتاب اطلاعاتی را درباره آن کتاب می‌دهد. کتاب‌های مشابه در یک طبقه قرار داده می‌شوند، به این ترتیب کاربر به‌راحتی می‌تواند کتابی با موضوع دلخواه خود را بیابد. با روش مشابهی، تکنیک‌های کدگذاری و طبقه‌بندی در کارخانه‌ها استفاده شده است و کاربر را قادر می‌سازد که قطعات را به‌راحتی براساس خصوصیات آنها (مانند شکل، ابعاد، ترکیب مواد، تلرانس و عملیات مورد نیاز) گروه‌بندی کند. عموماً به هر قطعه، یک کد عددی بین ۱۰ تا ۳۰ رقم اختصاص داده می‌شود که شامل اعداد و حروف برای نشان دادن بعضی از خصوصیت آنها است.

جدول ۸-۱. فهرستی از سیستم‌های کدگذاری و طبقه‌بندی موجود

نام سیستم	کشور توسعه‌دهنده سیستم	خصوصیات
TOYODA	ژاپن	کد ده رقمی
MICLASS	هلند	کد سی رقمی
TEKLA	نروژ	کد دوازده رقمی
BRISCH	انگلستان	کد اولیه بر اساس چهار تا شش رقم و تعدادی رقم ثانویه
DCLASS	ایالات متحده آمریکا	سیستمی بر اساس نرم‌افزار بدون ساختار کدینگ ثابت
NITMASH	شوروی سابق	کد سلسله مراتبی از ۱۰ تا ۱۵ رقم و شماره سریال
OPITZ	آلمان غربی	کد اولیه بر اساس پنج رقم و کد ثانویه چهار رقمی

هر شرکت به‌وسیله سیستم کدگذاری و طبقه‌بندی، خصوصیات منحصر بفرد خود را کدگذاری می‌کند. برای مثال، اطلاعات مربوط به نوع قطعات در پایگاه داده و روش‌های ذخیره‌سازی آنها در شرکت‌های مختلف متفاوت است. خیلی از شرکت‌ها ترجیح می‌دهند که طبقه‌بندی و سیستم کدگذاری مخصوص به خود را داشته باشند و آن را توسعه دهند. اما گروهی دیگر ترجیح می‌دهند که از یک سیستم تجاری که از قبل تهیه شده است و به کاربر اجازه اصلاح مشخصات و اضافه و کم کردن آنها را می‌دهد استفاده کنند. بیش از ۷۵ سیستم تهیه شده است و در کارخانجات سراسر دنیا استفاده می‌شود. اطلاعات مربوط به خیلی از این سیستم‌ها در Ham, Hitomi, and Yoshida

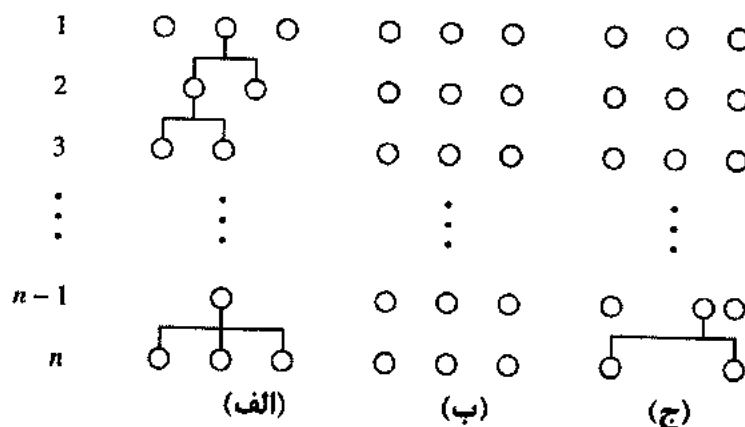
(1985) آورده شده است. جدول ۸-۱ یک لیست کوتاهی از سیستم‌های کدگذاری و طبقه‌بندی در کشورهای گوناگون را نشان می‌دهد.

۸-۲-۱ انواع سیستم‌های کدگذاری و طبقه‌بندی

سیستم‌های کدگذاری و طبقه‌بندی می‌توانند به سه دسته تقسیم شوند (Kusiak and Heragu 1987b):

- کدهای سلسله مراتبی
- کدهای غیر سلسله مراتبی
- کدهای ترکیبی

این طبقه‌بندی در شکل ۸-۷ نشان داده شده است.



شکل ۸-۷. سه نوع طبقه‌بندی برای سیستم‌های کدگذاری و طبقه‌بندی

همان‌طور که از نامشان پیدا است در سیستم کدگذاری سلسله مراتبی، یک ارتباط زنجیره‌ای بین ارقام وجود دارد، به عبارت دیگر اطلاعات ذخیره شده در هر رقم با اطلاعات موجود در رقم قبلی مرتبط است (شکل ۸-۷ الف).

برای مثال رقم ۲ ممکن است خصوصیات فیزیکی و ظاهری قطعه را نشان دهد، رقم ۳ ویژگی قطعات چرخشی و رقم ۴ خصوصیت قطعات چرخشی با قطر بزرگ‌تر از ۳ اینچ را نشان دهد و همین‌طور ادامه می‌یابد. سیستم کدهای سلسله مراتبی، سیستم مونوكد نیز نامیده می‌شود. این سیستم کارآمد است چون فقط از تعداد کمی از ارقام

برای ذخیره حجم بزرگی از اطلاعات، استفاده می‌کند اما به همان نسبت یادگرفتن آن نیز مشکل است.

در برخی دیگر از سیستم‌های کدگذاری و طبقه‌بندی، ارتباطات سلسله مراتبی مانند شکل ۷-۸ الف ممکن است ناقص باشد و یا اصلاً وجود نداشته باشد. اگر چنین سیستمی وجود نداشته باشد، ما یک سیستم غیرسلسله مراتبی یا به عبارت دیگر پلی کد خواهیم داشت (شکل ۷-۸ ب). چون ارقام به صورت سلسله مراتبی کنار یکدیگر قرار داده نشده‌اند، یک کد غیرسلسله مراتبی معمولاً به تعداد ارقام زیادتری برای ذخیره همان مقدار اطلاعات نیاز دارد.

در شکل ۷-۸ ج یک کد ترکیبی نشان داده شده است، که هم مشخصات کدهای سلسله مراتبی و هم غیرسلسله مراتبی را دارد. بعضی جاها اعداد دارای یک ارتباط زنجیره‌ای هستند و در بقیه جاها مستقل از هم هستند.

۲-۲-۸ مزایای استفاده از یک سیستم کددهی و طبقه‌بندی

هدف اصلی استفاده از یک سیستم طبقه‌بندی و کددهی، گروه‌بندی قطعات بر مبنای مشخصات آنها و کد دادن به آنها با استفاده از اعداد یا حروف و یا هر دو است تا بتوان اطلاعات درباره قطعات را به راحتی در پایگاه داده شرکت ذخیره کرد. سیستم کدگذاری و طبقه‌بندی مزایای ذیل را می‌تواند داشته باشد:

ماکزیمم کردن کارایی طراحی قطعاتی که شبیه به قطعات ساخته شده قبلی هستند به راحتی و به سرعت می‌توانند طراحی شوند، اگر قطعاتی که قبلاً ساخته شده‌اند کدگذاری شده باشند و اطلاعات طراحی آنها در پایگاه داده ذخیره شده باشد. مهندسی طراحی فقط باید طراحی قبلی را بازیابی کند و آن را اصلاح کند تا برای قطعه جدید مناسب شود. این فرایند به مقدار قابل ملاحظه‌ای هزینه‌ها و زمان طراحی را کاهش می‌دهد و همچنین به ساده‌شدن و استاندارد شدن طرح‌ها کمک می‌کند.

ماکزیمم کردن کارایی برنامه‌ریزی فرایندها (یا مسیریابی) یک برنامه فرایند (مسیریابی) برای یک قطعه، ماشین‌هایی که قطعه باید از آنها بگذرد و ترتیب و توالی آنها را مشخص می‌کند.

ترتیب و توالی به دو فاکتور بستگی دارد: قابل دسترس بودن ماشین‌آلات و محدودیت‌های تکنولوژیکی (که لازم است برخی از عملیات و فرایندها قبل از برخی دیگر انجام شوند). برنامه‌ریزی فرایند یک کار مشکلی است که به وسیله یک سیستم

کدگذاری و طبقه‌بندی می‌توان آن را تا حدودی تسهیل کرد. با یک سیستم مناسب، یک مهندس طراحی می‌تواند به راحتی و با سرعت، برنامه فرایندها را برای قطعاتی که مشابه آنها قبلاً ساخته شده است بازیابی کرده و با اعمال اصلاحات مناسب بر روی آن، طراحی کند.

ساده‌شدن زمان‌بندی زمان‌بندی نیز به وسیله یک سیستم طبقه‌بندی و کدگذاری آسان می‌شود. برنامه زمان‌بندی کارآمد، زمان آماده‌سازی ماشین‌آلات را کاهش می‌دهد و سرعت جریان قطعات را افزایش می‌دهد.

۸-۲-۳ یک نمونه از سیستم کدگذاری و طبقه‌بندی

سیستم کدگذاری و طبقه‌بندی MICLASS (انیستیتو طبقه‌بندی فلزات)^۱ در هلند توسعه یافته است. کد MICLASS از ۳۰ رقم ساخته می‌شود، چهار رقم اول حاوی اطلاعاتی درباره شکل اصلی قطعه (شکل و موقعیت اجزاء را شامل می‌شود) است. برای مثال، اگر قطعه استوانه‌ای باشد به آن یک کد خاصی تخصیص داده می‌شود؛ اگر مستطیلی باشد کد دیگری می‌گیرد به همین ترتیب. چهار رقم بعدی اطلاعاتی درباره ابعاد اصلی قطعه، نسبت اندازه ابعاد و اندازه‌های کمکی ابعاد را در اختیار می‌گذارد. ارقام ۹ و ۱۰ اطلاعات تolerانس و ارقام ۱۱ و ۱۲ ترکیب مواد قطعات را مشخص می‌کنند. ۱۸ رقم باقی‌مانده برای ذخیره اطلاعات مخصوص به شرکت است برای مثال دپارتمانی که عملیات بر روی قطعه در آنجا انجام می‌شود، دسته تولید، توالی فرایندها و تعداد واحدهایی که از این قطعه ساخته می‌شود. سیستم MICLASS این امکان را به کاربر می‌دهد تا سیستم کدگذاری و طبقه‌بندی را مطابق با نیازهای خود، تغییر دهد. ساختار این سیستم در شکل ۸-۸ نشان داده شده است. MICLASS با کاربر تعامل دارد و یک کدگذاری و طبقه‌بندی برای هر قطعه بر اساس پاسخی که به یک سری از سوالات به وسیله کاربر داده می‌شود، به وجود می‌آورد.

۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳	۱۴	۰	۰	۰	۲۹	۳۰

شکل ۸-۸ ساختار کد MICLASS

با بیش از ۱۵ برنامه نرم‌افزاری، MICLASS تهیه برنامه فرایند برای هر قطعه را تسهیل می‌کند. کدگذاری یک قطعه به ما می‌گوید که آیا یک قطعه می‌تواند از یک ماشین خاص عبور کند یا خیر. با در نظر داشتن ماشین‌آلات موجود، MICLASS قادر خواهد بود تا برای یک قطعه مفروض، برنامه فرایند را تهیه کند. سپس اگر لازم باشد کاربر آن را اصلاح می‌کند. اگر سیستم قادر نباشد که برنامه فرایند را تهیه کند، برنامه نرم‌افزاری، یک برنامه برای قطعه مشابه تهیه خواهد کرد.

۸-۳ رویکرد خوشه‌بندی^۱

به یک تعبیر کلی، تکنیک‌های خوشه‌بندی سعی می‌کنند تا گروه‌ها و خوشه‌های مشابه را به صورت ورودی شیء-شیء یا شیء-خصوصیت ماتریس اطلاعات، کشف کرده و یا نشان دهند (McCormick, Schweitzer, and White 1972). همان‌طور که در بخش ۸-۱ نشان داده شد، این تکنیک به گونه‌ای است که سطرها و ستون‌های ورودی را مرتب می‌کند - عموماً یک ماتریس دودویی که تعیین می‌کند که آیا یک قطعه از ماشین خاصی عبور می‌کند یا نه - نمونه‌ای از یک ماتریس ورودی در شکل ۸-۳ نشان داده شده است. تکنیک‌های خوشه‌بندی در زمینه‌های گوناگون به عنوان مثال شناسایی اطلاعات، بیولوژی، پزشکی، الگوشناسی، تحلیل جریان تولید، انتخاب وظایف، مهندسی کنترل و سیستم‌های خبره مورد استفاده قرار می‌گیرند.

چون این فصل به CMS می‌پردازد، ما تکنیک‌های محدودی از خوشه‌بندی را که فقط سلول‌های ماشین یا خانواده قطعات و یا هر دو را مشخص می‌کنند، توضیح دادیم. آنها محدودیت‌های طراحی بحث شده در فصل ۹ را در نظر گرفته‌اند و نه فاکتورهای هزینه. اساساً آنها سعی می‌کنند که ستون‌ها و سطرهای یک ماتریس دودویی ورودی را به نحوی مرتب کنند که شکل یک بلوک قطری قابل تشخیص باشد (رجوع کنید به ۸-۱). تمام تکنیک‌هایی که ما درباره آنها بحث می‌کنیم، از برنامه فرایند یا اطلاعات مربوط به مسیریابی قطعه استفاده می‌کند تا سلول‌های ماشین‌آلات یا خانواده قطعات و یا هر دو را تهیه کند. این گونه تکنیک‌ها برای چندین بار دسته‌بندی شده‌اند و دوباره

بازبینی بر روی آنها شده است. برای اطلاعات بیشتر و بررسی تکنیک‌های اخیر به Heragu (1994) رجوع کنید. در ادامه ما درباره پنج الگوریتم خوشه‌بندی که مورد استفاده قرار می‌گیرند بحث می‌کنیم:

۱. خوشه‌بندی براساس رتبه
۲. انرژی پیوند^۱ (BE)
۳. پنهان کردن سطرها و ستون‌ها
۴. ضرایب تشابه
۵. رویکرد برنامه‌ریزی ریاضی

۸-۳-۱ الگوریتم خوشه‌بندی بر اساس رتبه^۲ (ROC)

الگوریتم خوشه‌بندی بر اساس رتبه (ROC)، یک مقدار دودویی برای هر سطر و ستون تعیین می‌کند، سطرها و ستون‌ها را بر اساس مقادیر دودویی‌شان به صورت نزولی مرتب می‌کند و سپس خوشه‌ها را مشخص می‌کند (King 1980). این الگوریتم بسیار ساده است و به راحتی برای تعیین خوشه‌ها یا شکل بلوک قطری استفاده می‌شود. هر خوشه، یک گروه از ماشین‌آلات و خانواده قطعات متناظر با آن را مشخص می‌کند. در ادامه، مراحل الگوریتم خوشه‌بندی بر اساس رتبه (ROC) آمده است، m و n به ترتیب تعداد ماشین‌آلات و قطعات را نشان می‌دهد.

گام ۱. به هر ستون j از ماتریس شاخص عملیات قطعه-ماشین یک وزن دودویی، $BW_j = 2^{m-j}$ تخصیص داده می‌شود.

گام ۲. برای ارزش دودویی هر ردیف، با استفاده از فرمول ذیل، معادل اعشاری^۳ (DE) آن را تعیین می‌کنیم

$$DE_i = \sum_{j=1}^m 2^{m-j} a_{ij}$$

گام ۳. ردیف‌ها را بر اساس کاهش ارزش DE آنها مرتب کنید. قیود را به صورت دلخواه بشکنید. دوباره ردیف‌ها را براساس رتبه مرتب کنید. در صورت عدم

نیاز به مرتب کردن مجدد ردیف‌ها، توقف کنید در غیر این صورت به گام ۴ بروید.

گام ۴. برای هر ردیف از ماتریس دوباره مرتب شده، یک وزن دودویی $BW_i = 2^{n-i}$ اختصاص دهید.

گام ۵. برای ارزش دودویی هر ستون j ، معادل اعشاری آن را با استفاده از فرمول ذیل تعیین کنید.

$$DE_j = \sum_{i=1}^n 2^{n-i} a_{ij}$$

گام ۶. ستون‌ها را بر اساس کاهش ارزش DE آنها مرتب کنید. قیود را به صورت دلخواه بشکنید. دوباره ستون‌ها را براساس رتبه آنها مرتب کنید، اگر مرتب کردن مجدد لازم نبود توقف کنید در غیر این صورت به گام ۱ بروید.

یکی از عیوب الگوریتم دسته‌بندی بر اساس رتبه (ROC) این است که راه‌حل نهایی تهیه شده، به نحوه قرار گرفتن ردیف‌ها و ستون‌ها در ماتریس اولیه بستگی دارد. با این وجود، این الگوریتم راه‌حل‌های خوبی ارائه می‌دهد که می‌توان آنها را اصلاح کرد یا بهبود داد و محدودیت‌های عملی بحث شده در فصل بعد را نیز در نظر گرفت. در نسخه پیشرفته الگوریتم خوشه‌بندی بر اساس رتبه، تلاش شده تا برخی از نقیصه‌های نسخه اولیه آن رفع شده باشد که در King and Nakornchai (1982) و Chandrasekharan and Rajagopalan (1986) آورده شده است. مثال ۱ نحوه استفاده از الگوریتم ROC اولیه را نشان می‌دهد.

مثال ۱

ماتریس شاخص عملیات قطعه-ماشین در شکل ۸-۳ را در نظر بگیرید. شکل بلوک قطری را با مرتب کردن مجدد سطرها و ستون‌ها با استفاده از الگوریتم خوشه‌بندی براساس رتبه (ROC) تهیه کنید.

جواب.

گام ۱. به هر ستون i از ماتریس شاخص عملیات قطعه-ماشین یک وزن دودویی $BW_i = 2^{m-j}$ مانند شکل ۸-۹ تخصیص داده می‌شود.

گام ۲. ارزش اعشاری DE برای هر ردیف i را با استفاده از فرمول ذیل مطابق شکل ۸-۹ محاسبه کنید.

$$DE_i = \sum_{j=1}^m 2^{m-j} a_{ij}$$

گام ۳. ردیف‌ها را بر اساس ارزش DE آنها همان‌طور که در شکل ۸-۱۰ نشان داده شده است، به‌صورت نزولی مرتب کنید. به گام ۴ بروید.

گام ۴. برای هر ردیف دوباره مرتب شده ماتریس، یک وزن دودویی $BW_i = 2^{n-i}$ اختصاص دهید. (در شکل ۸-۱۰ نشان داده شده است).

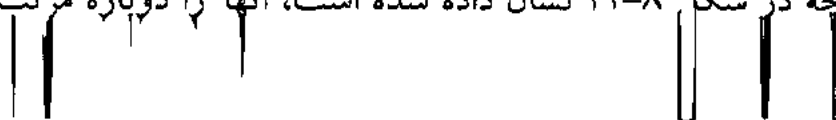
گام ۵. معادل اعشاری برای ارزش دودویی هر ستون j را با استفاده از فرمول ذیل محاسبه کنید. (در شکل ۸-۱۰ نشان داده شده است).

$$DE_j = \sum_{i=1}^n 2^{n-i} a_{ij}$$

		ارزش دودویی								
		M_1	M_2	M_3	M_4	M_5	M_6	M_7		
وزن دودویی		64	32	16	8	4	2	1		
قطعه	$[a_{ij}] =$	P_1	1	-	-	1	-	1	-	74
		P_2	-	1	1	-	1	-	-	52
		P_3	-	-	-	1	-	1	-	10
		P_4	-	1	1	-	-	-	-	48
		P_5	-	-	1	-	-	-	1	17
		P_6	-	1	-	-	1	-	1	37

شکل ۸-۹. مقادیر و وزن‌های دودویی برای سطرها و ستون‌های ماتریس شاخص عملیات قطعه-ماشین

گام ۶. ستون‌ها را بر اساس ارزش DE آنها به‌صورت نزولی رتبه‌بندی کنید. و مانند آنچه در شکل ۸-۱۱ نشان داده شده است، آنها را دوباره مرتب کنید. دسته



ها را به‌صورت دلخواه بشکنید و به گام ۱ بروید.

گام ۱. برای هر ستونی که دوباره مرتب شده، یک وزن دودویی $BW_j = 2^{m-j}$ همان طور که در شکل ۸-۱۱ نشان داده شده است تخصیص دهید.

گام ۲. معادل اعشاری DE برای ارزش دودویی هر ردیف i را با استفاده از فرمول ذیل محاسبه کنید. (در شکل ۸-۱۱ نشان داده شده است).

$$DE_i = \sum_{j=1}^m 2^{m-j} a_{ij}$$

گام ۳. ردیف‌ها را براساس ارزش DE آنها به صورت نزولی رتبه‌بندی کنید و مانند آنچه در شکل ۸-۱۲ نشان داده شده است آنها را دوباره مرتب کنید و به گام ۴ بروید.

گام ۴. برای هر ردیف دوباره مرتب شده ماتریس، یک وزن دودویی $BW_i = 2^{n-i}$ مطابق شکل ۸-۱۲ اختصاص دهید.

		ارزش دودویی						
		M_1	M_2	M_3	M_4	M_5	M_6	M_7
وزن دودویی		32	28	26	33	20	33	6
$[a_{ij}] =$	P_1 قطعه	1	-	-	1	-	1	-
	P_2	-	1	1	-	1	-	-
	P_4	-	1	1	-	-	-	-
	P_6	-	1	-	-	1	-	1
	P_5	-	-	1	-	-	-	1
	P_3	-	-	-	1	-	1	-
								1

شکل ۸-۱۰. آرایش مجدد ردیف‌های ماتریس شکل ۸-۹ براساس مقادیر DE و ارزش و وزن‌های دودویی

گام ۵. معادل اعشاری (DE) برای ارزش دودویی هر ستون j را با استفاده از فرمول ذیل محاسبه کنید. (شکل ۸-۱۲).

$$DE_j = \sum_{i=1}^n 2^{n-i} a_{ij}$$

گام ۶. ستون‌ها را بر اساس ارزش DE آنها، به صورت نزولی رتبه‌بندی کنید. چون لازم نیست مجدداً مرتب کنید، توقف کنید. ماتریس نهایی در شکل ۸-۱۲، ساختار بلوک قطری را نمایش می‌دهد.

		ارزش دودویی							
		M_4	M_6	M_1	M_2	M_3	M_5	M_7	
وزن دودویی		64	32	16	8	4	2	1	
قطعه	$[a_{ij}] =$	P_1	1	1	1	—	—	—	112
		P_2	—	—	—	1	1	1	14
		P_4	—	—	—	1	1	—	12
		P_6	—	—	—	1	—	1	11
		P_5	—	—	—	—	1	—	5
		P_3	1	1	—	—	—	—	96

شکل ۸-۱۱. آرایش مجدد ستون‌های ماتریس شکل ۸-۱۰ براساس مقادیر DE و ارزش و وزن‌های دودویی

		ارزش دودویی							
		M_4	M_6	M_1	M_2	M_3	M_5	M_7	
وزن دودویی		48	48	32	14	12	10	3	
قطعه	$[a_{ij}] =$	P_1	1	1	1	—	—	—	32
		P_3	1	1	—	—	—	—	16
		P_2	—	—	—	1	1	1	8
		P_4	—	—	—	1	1	—	4
		P_6	—	—	—	1	—	1	2
		P_5	—	—	—	—	1	—	1

شکل ۸-۱۲. آرایش مجدد نهایی برای سطرهای ماتریس شکل ۸-۱۱ براساس مقادیر DE

۸-۳-۲ الگوریتم انرژی پیوند (BE)

الگوریتم انرژی پیوند^۱ (BEA) یک الگوریتم ابتکاری است که سعی می‌کند مجموع BE را برای هر عنصر $\{i, j\}$ در ماتریس شاخص عملیات قطعه-ماشین، $[a_{ij}]$ ، ماکزیمم کند. BE به گونه‌ای تعریف می‌شود که یک ماتریس با خوشه‌ها یا بلوک‌های قطری از یک‌ها دارای BE بالاتری خواهد بود در مقایسه با همان ماتریس با ردیف‌ها و ستون‌های مرتب شده به طوری که یک‌ها به صورت متحدالشکل در سراسر ماتریس توزیع شده‌اند. به عبارت دیگر، ماتریس شکل ۸-۴ دارای BE بیشتری نسبت به ماتریس شکل ۸-۳

است. BE برای عنصر $\{i, j\}$ از طریق $a_{ij} [a_{i,j+1} + a_{i,j-1} + a_{i+1,j} + a_{i-1,j}]$ محاسبه می‌شود. الگوریتم BE سعی می‌کند مجموع BE در مورد همه ردیف‌ها و ستون‌ها در تکرارهای مختلف ماتریس شاخص عملیات قطعه-ماشین را ماکزیمم کند. از نظر ریاضی، تابع هدف ذیل را ماکزیمم می‌کند:

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m a_{ij} [a_{i,j+1} + a_{i,j-1} + a_{i+1,j} + a_{i-1,j}]$$

با تعریف $a_{0,j} = a_{n+1,j} = a_{i,0} = a_{i,m+1} = 0$ ، به جای ماکزیمم کردن BE در یک گام، الگوریتم BE این کار را در دو گام انجام می‌دهد: به ترتیب یک بار برای سطرها و بار دیگر برای ستون‌ها و در هر گام پیوندهای ردیف‌ها و ستون‌ها را ماکزیمم می‌کند. اگر یک یا چند عنصر گلوگاهی مانع از ایجاد ساختار بلوکی قطری شود، در آن صورت مانند سایر تکنیک‌های این بخش، الگوریتم BE به خوبی عمل نمی‌کند. یکی از فواید این الگوریتم این است که خوشه‌های تهیه شده تا حدی غیرحساس نسبت به ماتریس اولیه است. نسخه‌های اصلاح شده الگوریتم BE نیز وجود دارد (Gongaware and Ham 1981 را مشاهده کنید). مراحل الگوریتم BE در ذیل آمده است:

گام ۱. قرار دهید $i = 1$. یک ردیف را به دلخواه انتخاب کنید و آن را در ماتریس قرار دهید.

گام ۲. هر یک از $n-i$ ردیف باقیمانده را در هر یک از $i+1$ محل قرار دهید (یعنی در بالا و پایین i ردیفی که از قبل قرار داده بودید) سپس BE هر ردیف را برای هر جاگذاری با استفاده از فرمول ذیل محاسبه کنید. سپس آن ردیفی را که بیشترین افزایش در BE را داشت انتخاب کنید و آن را در موقعیت مربوطه قرار دهید.

$$\sum_{j=1}^{i+1} \sum_{j=1}^m a_{ij} (a_{i-1,j} + a_{i+1,j})$$

گام ۳. قرار دهید $i = i+1$. اگر $i < n$ ، آنگاه به گام ۲ بروید، در غیر این صورت به گام ۴ بروید.

گام ۴. قرار دهید $j = 1$. به صورت دلخواه ستونی را انتخاب کنید و آن را در ماتریس قرار دهید.

گام ۵. $m-j$ ردیف باقیمانده را در $j+1$ محل قرار دهید (یعنی در سمت راست و چپ j ستونی که قبلاً قرار داده شده بودند)، و BE هر ستون را برای هر جای‌گذاری با استفاده از فرمول ذیل به‌دست آورید. سپس ستونی را که بیشترین افزایش در BE را ایجاد می‌کند انتخاب کرده و در موقعیت مربوطه قرار دهید.

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^{j+1} a_{ij} (a_{i,j-1} + a_{i,j+1})$$

گام ۶. قرار دهید $j = j+1$ اگر $j < m$ ، آنگاه به گام ۵ بروید در غیر این صورت متوقف شوید.

اگر ماتریس اولیه متقارن باشد در این صورت فقط یک گام برای هر یک از ستون‌ها و ردیف‌ها لازم است زیرا انجام گام دیگر، همان راه‌حل اول را به ما می‌دهد. بنابراین اگر ماتریس مربوط به داده‌های ورودی متقارن باشد تعداد مراحل محاسباتی به نصف تقلیل می‌یابد.

مثال ۲

ماتریس شکل ۸-۱۳ را در نظر بگیرید. با استفاده از الگوریتم BE، ماشین‌آلات و قطعات متناظر با آنها را خوشه‌بندی کنید. برای این مثال، درایه‌های خالی در ماتریس با صفر نمایش داده شده‌اند.

		ستون			
		1	2	3	4
سطر	1	1	0	1	0
	2	0	1	0	1
	3	0	1	0	1
	4	1	0	1	0

شکل ۸-۱۳. ماتریس شاخص عملیات قطعه-ماشین برای مثال ۲

جواب. اگرچه راه‌حل این مسئله به‌وضوح مشخص است، ما از الگوریتم BE استفاده

می‌کنیم تا خواننده نحوه اجرای تک‌تک مراحل را به‌وضوح مشاهده کند. به همین دلیل سعی نمی‌کنیم با تکرار ردیف‌ها و ستون‌ها، ماتریس متقارن ایجاد کنیم.

گام ۱. قرار دهید $i = 1$. به صورت دلخواه ردیف ۲ را انتخاب کنید و در ماتریس قرار دهید.

گام ۲. سه ردیف باقیمانده را در هر یک از دو محل قرار دهید (یعنی در بالا و پایین ردیفی که از قبل قرار داده‌اید) و سپس BE ردیف را برای هر جای‌گذاری با استفاده از فرمول ذیل محاسبه کنید. همان‌طور که در جدول ۸-۲ نشان داده شده است. با قراردادن ردیف ۳ در بالا و یا پایین ردیف ۲، BE ردیف ماکزیمم می‌شود. بنابراین ردیف ۳ را همان‌طور که در شکل ۸-۱۴ الف نشان داده شده است، در پایین ردیف ۲ قرار داده می‌شود.

$$\sum_{i=1}^{i+1} \sum_{j=1}^m a_{ij} (a_{i-1,j} + a_{i+1,j})$$

گام ۳. قرار دهید $i = i+1 = 2$. چون $i < 4$ ، به گام ۲ بروید.

گام ۲. هر یک از دو ردیف باقیمانده را در هر یک از سه محل قرار دهید (یعنی در بالا و پایین دو ردیفی که از قبل قرار داده‌اید) و سپس BE ردیف را برای هر جای‌گذاری با استفاده از فرمول ذیل محاسبه کنید:

$$\sum_{i=1}^{i+1} \sum_{j=1}^m a_{ij} (a_{i-1,j} + a_{i+1,j})$$

جدول ۸-۲. جای‌گیری سطر دوم

ردیف انتخاب شده	محل جای‌گیری	آرایش سطرها	BE ردیفی	انرژی ماکزیمم؟
۱	بالای ردیف ۲	1010 0101	۰	خیر
۱	پایین ردیف ۲	0101 1010	۰	خیر
۳	بالای ردیف ۲	0101 0101	۴	بله
۳	پایین ردیف ۲	0101 0101	۴	بله
۴	بالای ردیف ۲	1010 0101	۰	خیر
۴	پایین ردیف ۲	0101 1010	۰	خیر

$$\begin{array}{ccc}
 \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 1 \end{bmatrix} & \begin{bmatrix} 1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 1 \end{bmatrix} & \begin{bmatrix} 1 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 1 \end{bmatrix} \\
 \text{(الف)} & \text{(ب)} & \text{(ج)}
 \end{array}$$

شکل ۸-۱۴. جای‌گیری ردیف‌ها در سه تکرار اول الگوریتم BE

همان‌طور که در جدول ۸-۳ نشان داده شده است. با جای‌گذاری ردیف ۱ در بالای ردیف ۲ و ۳، بیشترین BE ردیفی به دست می‌آید، بنابراین همان‌طور که در شکل ۸b-۱۴ مشخص است، ردیف ۱ در بالای ردیف ۲ قرار می‌گیرد.

جدول ۸-۳. جای‌گیری سطر سوم

ردیف انتخاب شده	محل جای‌گیری	آرایش سطرها	BE ردیفی	انرژی ماکزیمم؟
۱	بالای ردیف‌های ۲ و ۳	1010 0101 0101	۴	بله
۱	بین ردیف‌های ۲ و ۳	0101 1010 0101	۰	خیر
۱	پایین ردیف‌های ۲ و ۳	0101 0101 1010	۴	بله
۴	بالای ردیف‌های ۲ و ۳	1010 0101 0101	۴	بله
۴	بین ردیف‌های ۲ و ۳	0101 1010 0101	۰	خیر
۴	پایین ردیف‌های ۲ و ۳	0101 0101 1010	۴	بله

گام ۳. قرار دهید $i = i + 1 = 3$. چون $i < 4$ ، به گام ۲ بروید.

گام ۲. ردیف ۴ باقیمانده را در هر یک از چهار محل قرار دهید (یعنی در بالا و پایین سه ردیفی که از قبل قرار داده‌اید) و سپس BE ردیفی را برای هر جای‌گذاری با استفاده از فرمول ذیل محاسبه کنید:

$$\sum_{i=1}^{i+1} \sum_{j=1}^m a_{ij} (a_{i-1,j} + a_{i+1,j})$$

همان‌طور که در جدول ۸-۴ نشان داده شده است. با جای‌گذاری ردیف ۴ در بالای ردیف ۱، ۲ و ۳، بیشترین BE ردیفی به دست می‌آید، بنابراین ردیف ۴ در بالای ردیف ۱ همان‌طور که در شکل ۸-۴ مشخص است قرار می‌گیرد.

گام ۳. قرار دهید $i = i+1 = 4$. چون $i = 4$ به گام ۴ بروید.

گام ۴. قرار دهید $j = 1$. ستون ۱ را به دلخواه انتخاب کنید و آن را در ماتریس قرار دهید.

جدول ۸-۴. جای‌گیری سطر چهارم

ردیف انتخاب شده	محل جای‌گیری	آرایش سطرها	BE ردیفی	انرژی ماکزیمم؟
۴	بالای ردیف‌های ۱، ۲ و ۳	1010 1010 0101 0101	۸	بله
۴	بین ردیف‌های ۱ و ۲	1010 1010 0101 0101	۸	بله
۴	بین ردیف‌های ۲ و ۳	1010 0101 1010 0101	۰	خیر
۴	پایین ردیف‌های ۱، ۲ و ۳	1010 0101 0101 1010	۴	خیر

گام ۵. هر یک از سه ستون باقیمانده را در هر یک از دو موقعیت قرار دهید (یعنی در سمت راست یا چپ ستونی که قبلاً قرار داده بودید) و با استفاده از فرمول ذیل، BE ستونی را برای هر جای‌گذاری محاسبه کنید (جدول ۸-۵).

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^{j+1} a_{ij} (a_{i,j-1} + a_{i,j+1})$$

با قرار دادن ستون ۳ در سمت چپ ستون ۱، BE ستونی ماکزیمم می‌شود، بنابراین ستون ۳ همان‌طور که در شکل ۸-۱۵ الف نشان داده شده است جای‌گذاری می‌شود.

جدول ۸-۵. جای‌گیری ستون دوم

انتخاب شده	ستون	محل جای گیری	آرایش ستون ها	BE ستونی	انرژی ماکزیمم؟
۲	سمت چپ ستون ۱	01 01 10 10	•	خیر	
۲	سمت راست ستون ۱	10 10 01 01	•	خیر	
۳	سمت چپ ستون ۱	11 11 00 00	۸	بله	
۳	سمت راست ستون ۱	11 11 00 00	۸	بله	
۴	سمت چپ ستون ۱	01 01 10 10	•	خیر	
۴	سمت راست ستون ۱	10 10 01 01	•	خیر	

گام ۶. قرار دهید $j = j+1 = 2$ چون $j < 4$ به گام ۵ بروید.

گام ۵. هر یک از دو ستون باقیمانده را در هر یک از سه موقعیت قرار دهید (یعنی در سمت راست و چپ و بین ستون‌هایی که قبلاً در ماتریس قرار گرفته‌اند) و با استفاده از فرمول ذیل، BE ستونی را برای هر جای‌گذاری محاسبه کنید.



$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^{j+1} a_{ij} (a_{i,j-1} + a_{i,j+1})$$

همان‌طور که در جدول ۸-۶ نشان داده شده است، قرار دادن ستون ۲ در سمت راست ستون‌های ۱ و ۳، BE ستونی را افزایش می‌دهد، بنابراین ستون ۲ همان‌طور که در شکل ۸b-۱۵ آمده است جای‌گذاری می‌شود.

جدول ۸-۶. جای‌گیری ستون سوم

ستون انتخاب شده	محل جای‌گیری	آرایش ستون‌ها	BE ستونی	انرژی ماکزیمم؟
۲	سمت چپ ستون ۱ و ۳	011 011 100 100	۸	بله
۲	بین ستون ۱ و ۳	101 101 010 010	۰	خیر
۲	سمت راست ستون ۱ و ۳	110 110 001 001	۸	بله
۴	سمت چپ ستون ۱ و ۳	011 011 100 100	۸	بله
۴	بین ستون ۱ و ۳	101 101 010 010	۰	خیر
۴	سمت راست ستون ۱ و ۳	110 110 001 001	۸	بله

گام ۶. قرار دهید $z = j+1 = 3$ ، چون $z < 4$ ، به گام ۵ بروید.

گام ۵. ستون باقیمانده را در هر یک از چهار موقعیت قرار دهید (یعنی سمت راست، چپ و بین ستون‌های قبلی که در ماتریس قرار گرفته‌اند) و BE ستونی را برای هر جای‌گذاری با استفاده از فرمول ذیل به‌دست آورید.

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^{j+1} a_{ij} (a_{i,j-1} + a_{i,j+1})$$

$$\begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & 1 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}$$

(الف)

$$\begin{bmatrix} 1 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

(ب)

شکل ۸-۱۵. جای‌گیری ستون‌ها با استفاده از الگوریتم BE

همان‌طور که در جدول ۷-۸ نشان داده شده است، قرار دادن ستون ۴ در سمت راست ستون‌های ۱، ۲ و ۳، BE ستونی را ماکزیمم می‌کند. بنابراین ستون ۴ همان‌طور که در شکل ۸-۱۶ نشان داده شده است قرار می‌گیرد.

گام ۶. قرار دهید $z = z + 1 = 4$ چون $z = 4$ ، متوقف می‌شویم. خوشه‌بندی نهایی در شکل ۸-۱۶ نشان داده شده است.

جدول ۷-۸. جای‌گیری ستون چهارم

ستون انتخاب شده	محل جای‌گیری	آرایش ستون‌ها	BE ستونی	انرژی ماکزیمم؟
۴	سمت چپ ستون‌های ۱، ۲ و ۳	0110 0110 1001 1001	۸	خیر
۴	بین ستون‌های ۱ و ۳	1010 1010 0101 0101	۵	خیر
۴	بین ستون‌های ۲ و ۳	1100 1100 0011 0011	۱۶	بله
۴	سمت راست ستون‌های ۱، ۲ و ۳	1100 1100 0011 0011	۱۶	بله

1	1	0	0
1	1	0	0
0	0	1	1
0	0	1	1

شکل ۸-۱۶. خوشه‌های تشکیل شده با استفاده از الگوریتم BE برای ماتریس شکل ۸-۱۳

۸-۳-۳ الگوریتم پوششی ردیفی و ستونی^۱ (R&CM)

این الگوریتم خوشه‌بندی، یک ردیف را به دلخواه برای شروع کار انتخاب می‌کند و همه ستون‌هایی که دارای درایه با مقدار ۱ در آن ردیف هستند را می‌پوشاند. سپس همه ردیف‌های دارای مقدار ۱ در ستون‌های پوشیده شده را می‌پوشاند. این روال ادامه پیدا می‌کند تا آنجایی که رفتن به ردیف‌ها و ستون‌های بدون پوشش غیر ممکن شود، و سپس یک خوشه از ماشین‌آلات و خانواده قطعات متناظر با آنها تشکیل می‌شود (Iri 1968). این کار تکرار می‌شود تا سایر خوشه‌ها مشخص شوند. ضعف اصلی این الگوریتم آن است که موقعی که ماتریس یک یا چند ماشین گلوگاهی و یا قطعات استثناء دارد، الگوریتم ممکن است راه‌حلی را ارائه دهد که در آن، همه ماشین‌آلات موجود در یک سلول و همه قطعات در یک خانواده قرار گیرند. برای مثال سعی کنید تا الگوریتم R&CM را با توجه به داده‌های شکل ۸-۵ پیاده کنید.

این الگوریتم را می‌توان به گونه‌ای تصحیح کرد که جواب‌های عقلانی تولید کند (به Kusiak and Chow 1988 مراجعه کنید).

در ادامه فهرستی از گام‌ها و مراحل الگوریتم R&CM آورده شده است.

- گام ۱. یک خط افقی از میان ردیف اول عبور دهید. هر درایه با مقدار ۱ در ماتریس را که فقط یک خط از آن عبور کرده است انتخاب کنید.
- گام ۲. اگر از درایه مورد نظر خط افقی عبور کرده است به گام ۲a بروید و اگر خط عمودی عبور کرده است به گام ۲b بروید.

گام ۲a. یک خط عمودی از میان ستونی که این درایه با مقدار ۱ در آن ظاهر شده بکشید و به گام ۳ بروید.

گام ۲b. یک خط افقی از میان ردیفی که در آن این درایه با مقدار ۱ ظاهر شده، بکشید و به گام ۳ بروید.

گام ۳. اگر درایه‌ای با مقدار ۱، به‌طوری‌که فقط یک خط از آن عبور کرده است، وجود داشت آن را انتخاب کرده و به گام ۲ بروید. این کار را آن‌قدر تکرار کنید تا چنین درایه‌ای باقی نمانده باشد. سلول ماشین‌آلات و خانواده قطعات متناظر با آن را مشخص کنید و به گام ۴ بروید.

گام ۴. هر ردیفی که از آن هیچ خطی عبور نکرده است را انتخاب کنید. اگر چنین ردیفی وجود ندارد توقف کنید. در غیراین‌صورت یک خط افقی به‌طوری‌که از این ردیف عبور کند، رسم کنید. درایه با مقدار ۱ در این ماتریس را که از آن فقط یک خط عبور کرده است را انتخاب کنید و سپس به گام ۲ بروید.

مثال ۳

ماتریس مثال ۱ را درنظر بگیرید. ماشین‌آلات و خانواده قطعات متناظر با آنها را با استفاده از الگوریتم R&CM مشخص نمایید.

جواب.

گام ۱. همان‌طور که در شکل ۸-۱۷ نشان داده شده است، یک خط افقی از سطر اول عبور دهید. یک درایه با مقدار ۱ را از ستون اول ماتریس انتخاب کنید که فقط یک خط از آن عبور کرده باشد.

گام ۲. این خط افقی است، بنابراین به گام ۲a بروید.

گام ۲a. یک خط عمودی مانند شکل ۸-۱۷ به‌گونه‌ای رسم کنید که از ستون ۱ عبور کند. به گام ۳ بروید.

گام ۳. به این علت که در ستون ۴ و ۶ ماتریس، درایه‌هایی با مقدار ۱ وجود دارد که تنها یک خط از آنها عبور کرده است، درایه در ستون ۴ را انتخاب کرده

و به گام ۲ بروید.

گام ۲. این خط افقی است، بنابراین به گام ۲a بروید.

گام ۲a. یک خط عمودی مانند شکل ۸-۱۷ به گونه‌ای رسم کنید که از ستون ۴ عبور کند. به گام ۳ بروید.

گام ۳. به این علت که در ستون ۴ و ۶ ماتریس، درایه‌هایی با مقدار ۱ وجود دارد که تنها یک خط از آنها عبور کرده است، درایه در ستون ۶ را انتخاب کرده و به گام ۲ بروید.

گام ۲. این خط افقی است، بنابراین به گام ۲a بروید.

گام ۲a. یک خط عمودی مانند شکل ۸-۱۷ به گونه‌ای رسم کنید که از ستون ۶ عبور کند. به گام ۳ بروید.

گام ۳. از آنجا که در ستون ۴ و ۶ ماتریس، درایه‌هایی با مقدار ۱ وجود دارد که تنها یک خط از آنها عبور کرده است، درایه در ستون ۴ را انتخاب کرده و به گام ۲ بروید.

گام ۲. این خط عمودی است، بنابراین به گام ۲b بروید.

ماشین

	M_1	M_2	M_3	M_4	M_5	M_6	M_7	
P_1	1					1		1
P_2		1	1		1	-	-	
P_3						1		5
P_4		1	1		-	-	-	
P_5		-	1		-	-	1	
P_6		1	-		1	-	1	
	2			3		4		

$[a_{ij}] =$ قطعه

شکل ۸-۱۷. تعیین اولین سلول از ماشین‌آلات و خانواده قطعات

گام ۲b. یک خط افقی مانند شکل ۸-۱۷ به گونه‌ای رسم کنید که از ردیف ۳ عبور کند. به گام ۳ بروید.

گام ۳. به این علت که در ماتریس، هیچ درایه‌ای با مقدار ۱، که از آن فقط یک خط گذشته باشد وجود ندارد، ما خانواده قطعات و گروه ماشین‌آلات را پیدا

کرده‌ایم. ستون‌های ۱،۴ و ۶ که از آنها خطوط عمودی عبور کرده‌اند نشان می‌دهند که ماشین‌های M_1 ، M_4 و M_6 در سلول ۱ و به‌طور مشابه ردیف‌های ۱ و ۳ که خطوط افقی از آنها عبور کرده‌اند نشان می‌دهند که قطعات P_1 و P_3 در خانواده ۱ قرار دارند. به گام ۴ بروید.

گام ۴. دومین ردیفی که از آن هیچ خطی عبور نکرده است را انتخاب نمایید. یک خط افقی بر روی این ردیف بکشید، یک درایه با مقدار ۱ در ستون دوم به‌گونه‌ای بیاورید که فقط یک خط از آن عبور کرده باشد و به گام ۲ بروید.

گام ۲. این خط افقی است، بنابراین به گام ۲a بروید.
گام ۲a. یک خط عمودی مانند شکل ۸-۱۸ به‌گونه‌ای رسم کنید که از ستون ۲ عبور کند. به گام ۳ بروید.

گام ۳. از آنجا که در ستون ۲، ۳ و ۵ ماتریس، درایه‌هایی با مقدار ۱ وجود دارد که تنها یک خط از آنها عبور کرده است، درایه در ستون ۵ را انتخاب کرده و به گام ۲ بروید.

گام ۲. این خط افقی است، بنابراین به گام ۲a بروید.
گام ۲a. یک خط عمودی مانند شکل ۸-۱۸ به‌گونه‌ای رسم کنید که از ستون ۵ عبور کند. به گام ۳ بروید.

گام ۳. از آنجا که در ستون ۲، ۳ و ۵ ماتریس، درایه‌هایی با مقدار ۱ وجود دارد که تنها یک خط از آنها عبور کرده است، درایه در ستون ۲ را انتخاب کرده و به گام ۲ بروید.

گام ۲. این خط عمودی است، بنابراین به گام ۲b بروید.
گام ۲b. یک خط افقی همانند آنچه در شکل ۸-۱۸ نشان داده شده است رسم کرده و به گام ۳ بروید.

گام ۳. از آنجا که در ستون ۲، ۵ و ۷ ماتریس، درایه‌هایی با مقدار ۱ وجود دارد که تنها یک خط از آنها عبور کرده است، درایه در ستون ۲ را انتخاب کرده و به گام ۲ بروید.

گام ۲. این خط عمودی است، بنابراین به گام ۲b بروید.

گام ۲b. یک خط افقی همانند آنچه در شکل ۸-۱۸ نشان داده شده است بر روی ردیف ۶ رسم کرده و به گام ۳ بروید.

گام ۳. از آنجا که در ستون ۷ ماتریس، درایه‌هایی با مقدار ۱ وجود دارد که تنها یک خط از آنها عبور کرده است، درایه این ستون را انتخاب کرده و به گام ۲ بروید.

گام ۲. این خط افقی است، بنابراین به گام ۲a بروید.

گام ۲a. یک خط عمودی مانند شکل ۸-۱۸ به گونه‌ای رسم کنید که از ستون ۷ عبور کند. به گام ۳ بروید.

گام ۳. از آنجا که در ستون ۷ ماتریس، درایه‌هایی با مقدار ۱ وجود دارد که تنها یک خط از آنها عبور کرده است، درایه این ستون را انتخاب کرده و به گام ۲ بروید.

گام ۲. این خط عمودی است، بنابراین به گام ۲b بروید.

گام ۲b. یک خط افقی همانند آنچه در شکل ۸-۱۸ نشان داده شده است بر روی ردیف ۵ رسم کرده و به گام ۳ بروید.

گام ۳. از آنجا که هیچ درایه‌ای با مقدار ۱ در ماتریس وجود ندارد به گونه‌ای که تنها یک خط از آن گذشته باشد، یک سلول ماشین و خانواده قطعات متناظر با آن را مشخص می‌کنیم. ستون‌های ۲، ۳، ۵ و ۷ که از آنها خطوط عمودی رد شده‌اند به ما نشان می‌دهند که ماشین‌های M_2 ، M_3 ، M_5 و M_7 در سلول ۲ و به طور مشابه ردیف‌های ۲، ۴، ۵ و ۶ که از آنها خطوط افقی رد شده‌اند نشان می‌دهند که قطعات P_2 ، P_4 ، P_5 و P_6 در خانواده قطعات ۲ قرار می‌گیرند. به گام ۴ بروید.

ماشین

	M_1	M_2	M_3	M_4	M_5	M_6	M_7	
P_1	1	+	+	1	+	1	+	
P_2	-	+	+	-	+	-	+	1
P_3	-	+	+	1	+	1	+	
P_4	-	+	+	-	-	-	-	5
P_5	-	+	+	-	-	-	+	8
P_6	-	+	+	-	+	-	+	6
		2	3		4		7	

$[a_{ij}] =$ قطعه

شکل ۸-۱۸. تعیین دومین سلول از ماشین‌آلات و خانواده قطعات

گام ۴. از آنجا که هیچ ردیفی بدون خط وجود ندارد متوقف می‌شویم. دو سلول و خانواده قطعات متناظر با آنها در ماتریس شکل ۸-۴ نشان داده شده است.

۸-۳-۴ الگوریتم ضریب تشابه^۱ (SC)

این الگوریتم از طبقه‌بندی عددی گرفته شده است و تلاش می‌کند تا ضرایب تشابه بین هر جفت از ماشین‌آلات و یا قطعات را اندازه‌گیری کند. بیشتر الگوریتم‌های SC از ضرایب تشابه جاکارد^۲ استفاده می‌کنند (Sneath and Sokal 1973). برای یک جفت از ماشین‌آلات، ضریب جاکارد به این صورت تعریف می‌شود: تعداد قطعاتی که از هر دو ماشین عبور می‌کنند تقسیم بر تعداد قطعاتی که حداقل از یک ماشین عبور می‌کنند.

$$S_{ij} = \frac{\sum_{k=1}^n a_{ki} a_{kj}}{\sum_{k=1}^n (a_{ki} + a_{kj} - a_{ki} a_{kj})} \quad (1)$$

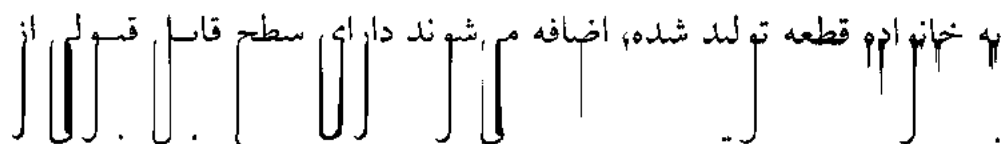
$a_{ki} = \begin{cases} 1 & \text{اگر قطعه } k \text{ نیاز به عبور از ماشین } i \text{ داشته باشد} \\ 0 & \text{در غیر اینصورت} \end{cases}$

در تساوی بالا، n نشان‌دهنده تعداد انواع قطعات است. به جای a_{ki} و a_{kj} ممکن است کسی، l_{ki} و l_{kj} را به کار ببرد که نشان‌دهنده تعداد دسته‌های تولید قطعه k که به ترتیب از ماشین‌های i و j عبور می‌کند، است. و به همان صورت مخرج کسر تصحیح می‌شود. این کار در مقایسه با معادله ۱، تخمین دقیق‌تری از تعاملات بین هر جفت از ماشین‌آلات به ما می‌دهد اما بیشتر الگوریتم‌های SC هنوز از معادله ۱ استفاده می‌کنند. از جمله الگوریتم‌هایی که تشابه بین ماشین‌آلات را اندازه‌گیری می‌کنند عبارتند از الگوریتم خوشه‌بندی لینکیج منفرد^۱ در (McAuley 1972) و نسخه تصحیح یافته آن در (Rajagopalan and Batra 1975) و الگوریتمی که در (Seifoddini and Wolfe 1986) است.

اکنون اساس الگوریتم SC را در تعیین گروه‌های ماشین‌آلات مورد بحث قرار می‌دهیم. در ابتدا هر ماشین در سلول خود قرار می‌گیرد. سپس مقدار SC برای هر جفت از ماشین‌آلات محاسبه می‌شود. و اگر مقدار SC یک جفت از ماشین‌آلات بزرگ‌تر از مقدار انتخاب شده توسط کاربر بود، هر جفت ماشین را در یک سلول جدید قرار می‌دهیم. قیود به‌دلخواه شکسته می‌شوند. این کار به ما یک راه‌حل جدید ارائه می‌دهد که تعداد سلول‌ها در آن کمتر است ذیلاً در یک یا چند سلول، دو ماشین قرار می‌گیرد. سپس ما هر سلول را به‌عنوان یک ماشین در نظر می‌گیریم و مقدار SC جدید را برای هر جفت از ماشین‌آلات، جفت سلول‌ها و جفت سلول-ماشین محاسبه می‌کنیم. مقدار SC برای جفت ماشین‌ها با استفاده از رابطه (۱) محاسبه می‌شود. برای محاسبه SC برای جفت سلول‌ها، مقادیر SC بین هر ماشین در اولین سلول و دیگر ماشین‌ها در دومین سلول محاسبه می‌شود و بزرگترین مقدار به‌عنوان مقدار SC جفت

سلول متناظر در نظر گرفته می‌شود. به‌طور مشابه، برای جفت‌های ماشین-سلول، مقدار SC بین هر یک از ماشین‌ها در سلول و ماشین تک محاسبه می‌شود و بزرگترین مقدار به‌عنوان مقدار SC برای جفت ماشین-سلول متناظر در نظر گرفته می‌شود. با استفاده از مقدار آستانه جدید (که کمتر است) ما تصمیم می‌گیریم که آیا دو ماشین و یا دو سلول را ادغام کنیم یا نه. در نتیجه ما حتی سلول‌های کمتری را به‌دست می‌آوریم. این مراحل آن‌قدر تکرار می‌شود تا بالاخره یک راه‌حل رضایت‌بخش به‌دست آید. می‌توان در الگوریتم SC تغییراتی اعمال کرد. برای مثال مقدار SC بین جفت‌های سلول-سلول و یا جفت‌های سلول-ماشین، ممکن است به این شکل حساب شود که از میانگین مقدار SC استفاده شود تا اینکه مقادیر ماکزیمم را در نظر بگیریم. مقدار آستانه ممکن است از قبل در نظر گرفته شده باشد و یا می‌توانیم الگوریتم را گام‌به‌گام با قرار دادن مقدار آستانه مساوی با بزرگترین مقدار SC ادامه بدهیم. الگوریتم می‌تواند زمانی خاتمه یابد که تعداد سلول‌ها رضایت‌بخش باشد. همچنین به‌جای استفاده از تعداد قطعات برای تعیین مقدار SC، می‌توانیم از تعداد بارگذاری‌ها و یا دسته‌های تولید استفاده کنیم. همان‌طوری که گفته شد، اگر مقدار SC بین ماشین جدید و ماشین موجود در سلول، بیشتر از مقدار آستانه تعیین شده باشد، الگوریتم SC یک ماشین جدید به سلول موجود اضافه می‌نماید. یکی از عیوب واضح این تکنیک آن است که ماشینی که مقدار SC بالایی با فقط یک ماشین دیگر از قبل موجود در سلول دارد به‌صورت خودکار، همراه با آن خواهد شد، حتی اگر SC بین ماشین جدید و سایر ماشین‌های موجود در سلول خیلی پایین باشد. این مشکل، مشکل زنجیره‌ای نامیده می‌شود. با وجود سایر نقص‌ها، این مشکل با روش تئوری گراف به‌وسیله Rajagopalan and Batra (1975) حل شده است، که در آن محدودیت‌های مربوط به طراحی بیشتری در نظر گرفته شده است.

الگوریتم‌های SC ای که تشابه بین قطعات را اندازه‌گیری می‌کنند (تا اینکه تشابه بین ماشین‌آلات را) در Carrie (1973) و Currie (1992) ارائه شده است. مقدار SC برای جفت قطعه $\{i, j\}$ به‌وسیله نسبت تعداد ماشین‌آلاتی که قطعات i و j از آن می‌گذرند به تعداد ماشین‌آلاتی که قطعه i و یا j از آنها عبور می‌کنند محاسبه می‌شود. قطعاتی که به خانم ادم قطعه تولید شده، اضافه می‌شوند دارای سطح قابل قبول از تشابه هستند.



محدودیت‌های اضافی ممکن است در نظر گرفته شود برای مثال حداقل تعداد قطعاتی

که به هر خانواده تخصیص داده می‌شود. اصول مشابهی برای چیدمان کارخانه به‌کار برده می‌شود. برای آگاهی از جزئیات بیشتر به (Carrie 1973) مراجعه کنید. در ادامه نسخه اولیه الگوریتم SC با یک مثال عددی نشان داده می‌شود.

مثال ۴

ماتریس شکل ۸-۳ را در نظر بگیرید. ماشین‌آلات و قطعات متناظر با آنها را با استفاده از الگوریتم SC، خوشه‌بندی کنید.

جواب. ابتدا هر ماشین را در سلول خود قرار دهید و مقدار SC را با استفاده از معادله (۱)، همانطوری که در جدول ۸-۸ نشان داده شده است محاسبه کنید. سپس از مقدار آستانه ۰/۶۶ استفاده کنید، ماشین‌های {۲ و ۵} و {۴ و ۶} را در دو سلول مجزا ادغام کنید. مقدار جدید SC برای جفت ماشین-سلول را همان‌طور که در جدول ۸-۹ نشان داده شده است محاسبه کنید. برای تعیین مقادیر SC بین سلول-ماشین و یا جفت سلول-سلول، ما از مقادیر SC که در جدول ۸-۸ آمده است استفاده می‌کنیم و بیشترین مقدار متناظر با آن را انتخاب می‌کنیم. برای مثال مقدار SC بین ماشین ۳ و سلولی که ماشین‌های ۲ و ۵ در آن قرار گرفته‌اند (ردیف ششم در جدول ۸-۹) با امتحان کردن مقادیر SC بین ماشین‌آلات ۲ و ۳ و بین ماشین‌آلات ۳ و ۵ و انتخاب بزرگترین مقدار ۱/۲ به‌دست می‌آید. ما از مقدار آستانه ۰/۵ استفاده می‌کنیم و ماشین‌های ۱، ۴، ۶ و ۲، ۳، ۵ را در دو سلول به‌ترتیب ادغام می‌کنیم.

این رویه را برای مقدار آستانه ۰/۳۳ نیز تکرار می‌کنیم و مقادیر SC و جفت ماشین-سلول را همان‌طور که در جدول ۸-۱۰ نشان داده شده است به‌دست می‌آوریم. ماشین‌آلات ۲، ۳، ۵ و ۷ در یک سلول ادغام می‌شوند. وقتی ما این کار را برای مقدار آستانه ۰/۰۱ تکرار می‌کنیم (به جدول ۸-۱۱ توجه کنید) متوجه می‌شویم که دیگر ادغام سلول‌ها امکان‌پذیر نیست. از این‌رو ما راه‌حلی به‌دست می‌آوریم که در آن دو سلول وجود دارد: سلول یک با ماشین‌آلات ۱، ۴ و ۶ و سلول دو با ماشین‌آلات ۲، ۳، ۵ و ۷.

جدول ۸-۸ مقادیر SC برای جفت ماشین آلات

جفت ماشین	مقدار SC	ادغام در یک سلول؟
{۲،۱}	۰/۴=۰	خیر
{۳،۱}	۰/۴=۰	خیر
{۴،۱}	۱/۲	خیر
{۵،۱}	۰/۳=۰	خیر
{۱،۶}	۱/۲	خیر
{۱،۷}	۰/۳=۰	خیر
{۲،۳}	۱/۲	خیر
{۲،۴}	۰/۵=۰	خیر
{۲،۵}	۲/۳	بله
{۲،۶}	۰/۵=۰	خیر
{۲،۷}	۱/۴	خیر
{۳،۴}	۰/۵=۰	خیر
{۳،۵}	۱/۴	خیر
{۳،۶}	۰/۵=۰	خیر
{۳،۷}	۱/۴	خیر
{۴،۵}	۰/۴=۰	خیر
{۴،۶}	۲/۲=۱	بله
{۴،۷}	۰/۴=۰	خیر
{۵،۶}	۰/۴=۰	خیر
{۵،۷}	۱/۳	خیر
{۶،۷}	۰/۴=۰	خیر

جدول ۸-۹. مقادیر SC در تکرار دوم

جفت ماشین-سلول	مقدار SC	ادغام در یک سلول؟
{۱, (۲,۵)}	۰	خیر
{۱, (۴,۶)}	۱/۲	بله
{۱,۳}	۰	خیر
{۱,۷}	۰	خیر
{(۲,۵), (۴,۶)}	۰	خیر
{(۲,۵), ۳}	۱/۲	بله
{(۲,۵), ۷}	۱/۴	خیر
{(۴,۶), ۳}	۰	خیر
{(۴,۶), ۷}	۰	خیر
{۳, ۷}	۱/۴	خیر

جدول ۸-۱۰. مقادیر SC در تکرار سوم

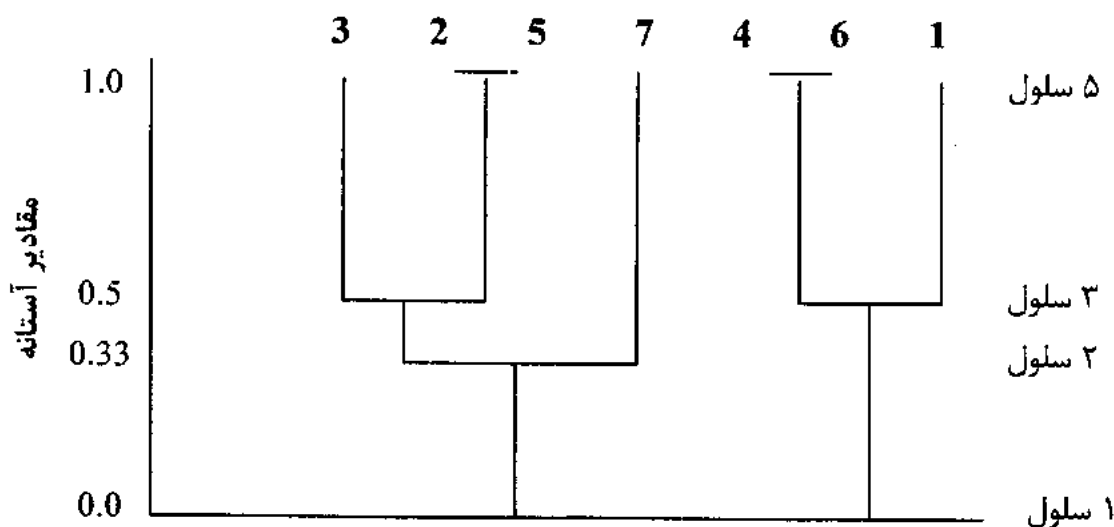
جفت ماشین-سلول	مقدار SC	ادغام در یک سلول؟
{(۱,۴,۶), (۲,۳,۵)}	۰	خیر
{(۱,۴,۶), ۷}	۰	خیر
{(۲,۳,۵), ۷}	۱/۳	بله

گراف نشان داده شده در شکل ۸-۱۹ (که دندوگرام^۱ نامیده می شود) در مشخص کردن گروه ماشین آلات با توجه به مقادیر مختلف برای آستانه مفید است. این گراف با استفاده از مقادیر SC جدول ۸-۸ تا ۸-۱۱ رسم شده است و سلول های ماشین آلات را در سطوح مختلف آستانه مشخص می کند. برای مثال برای مقدار آستانه ۰/۵، سه سلول {۲، ۳، ۵}، {۷} و {۱، ۴، ۶} می تواند تشکیل شود. این حقیقت که سلول های دارای بیش از یک ماشین {۲، ۳، ۵، ۷} و {۱، ۴، ۶} با مقدار آستانه ای کمی بالاتر از صفر مشخص می شوند، نشان می دهد که داده ها به گونه ای هستند که سلول ها کاملاً

مستقل می‌شوند (بدون وجود هیچ‌گونه تعاملی بین آنها) و می‌توان توسط دیگر روش‌ها مانند الگوریتم R&CM نیز آن را تأیید کرد.

جدول ۸-۱۱. مقادیر SC در تکرار آخر

جفت ماشین/سلول {(۱,۴,۶),(۲,۳,۵,۷)}	مقدار SC	ادغام در یک سلول؟ خیر



شکل ۸-۱۹. دندوگرام برای مثال ۴

۸-۳-۵ رویکرد برنامه‌ریزی ریاضی

در این بخش، برای تشخیص خانواده قطعات از مدل برنامه‌ریزی خطی استفاده می‌کنیم. همان‌طور که از طریق الگوریتم SC، خانواده قطعات تعیین می‌شود، مدل p -median برای تعیین سلول ماشین‌آلات استفاده می‌شود. قبل از بحث در مورد مدل، ابتدا ما ضریب تشابه را برای قطعات از طریق تقسیم تعداد ماشین‌آلاتی که قطعات i و j از آنها می‌گذرند بر تعداد ماشین‌آلاتی که قطعه i یا j از آنها می‌گذرد محاسبه می‌کنیم.

$$S_{ij} = \frac{\sum_{k=1}^m a_{ik} a_{jk}}{\sum_{k=1}^m (a_{ik} + a_{jk} - a_{ik} a_{jk})} \quad (2)$$

$$a_{ik} = \begin{cases} 1 & \text{اگر قطعه } i \text{ نیاز به عبور از ماشین } k \text{ داشته باشد} \\ 0 & \text{در غیر این صورت} \end{cases}$$

همان‌طور که معادله (۲) تشابه قطعات را اندازه می‌گیرد، سایر معادلات عدم تشابه را اندازه می‌گیرند مانند متریک وزنی مین‌کوسکی:

$$d_{ij} = \left[\sum_{k=1}^n w_k |a_{ki} - a_{kj}|^r \right]^{1/r} \quad (۳)$$

که در آن r عدد صحیح مثبت و w_k وزن قطعه k است. ما از نماد d_{ij} به جای S_{ij} استفاده می‌کنیم تا ضریب عدم تشابه را نشان دهیم. در حالت خاص که برای $k=1, 2, \dots, n$ $w_k=1$ ، متریک مین‌کوسکی نامیده می‌شود. به سادگی دیده می‌شود که برای متریک مین‌کوسکی، هنگامی که $r=1$ ، معادله (۳)، متریک مین‌کوسکی کامل است و زمانی که $r=2$ است، نشانگر متریک اقلیدسی است.

متریک مین‌کوسکی کامل، عدم تشابه بین جفت قطعات را اندازه می‌گیرد. با استفاده از این متریک، می‌توان یک p -median، ایجاد کرد:

p -Median Model

$$\text{Minimize} \quad \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n d_{ij} x_{ij} \quad (۴)$$

$$\text{Subject to} \quad \sum_{j=1}^n x_{ij} = 1 \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (۵)$$

$$\sum_{j=1}^n x_{jj} = P \quad (۶)$$

$$x_{ij} \leq x_{jj} \quad i = 1, 2, \dots, n, \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (۷)$$

$$x_{ij} = 0 \text{ or } 1 \quad i = 1, 2, \dots, n, \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (۸)$$

در این مدل، P پارامتری است که تعداد خانواده قطعات دلخواه را نشان می‌دهد و کاربر بایستی آن را از قبل بداند (واضح است که کاربر می‌تواند مدل را با مقادیر مختلف P

حل کند و مقدار P که هزینه و یا ضریب عدم تشابه را می‌نیمم می‌کند، استفاده نماید). x_{ij} متغیر تصمیم‌گیری است که فقط می‌تواند مقادیر صحیح ۰ و یا ۱ را بپذیرد [محدودیت ۸ را ببینید]. مقدار ۱ نشانگر آن است که قطعه i به خانواده قطعات z متعلق است و ۰ نشانگر آن است که این‌طور نیست. محدودیت (۵) تضمین می‌کند که هر قطعه فقط متعلق به یک خانواده از قطعات است و محدودیت (۶) تعداد خانواده قطعات مورد نظر را مشخص می‌کند. محدودیت (۷) تضمین می‌کند که قطعه i مربوط به خانواده قطعه z است در صورتی که خانواده z وجود داشته باشد. به عبارت دیگر، اگر x_{zj} برای برخی از z ها، ۰ باشد، نشانگر آن است که آن خانواده قطعه تشکیل نشده است. بنابراین با توجه به محدودیت (۷)، هیچ قطعه i ای را نمی‌توان به آن نسبت داد. تابع هدف (۴)، کل عدم تشابه قطعات را می‌نیمم می‌کند که در مثال بعدی نشان داده شده است.

مثال ۶

ماتریس شاخص عملیات قطعه-ماشین در شکل ۸-۳ را در نظر بگیرید. با استفاده از مدل p -median، دو خانواده برای قطعات تعیین کنید.

جواب. ابتدا با استفاده از متریک مین‌کوسکی کامل، ماتریس ضرایب عدم تشابه‌ی که در شکل ۸-۲۰ نشان داده شده است را از طریق ماتریس شاخص عملیات قطعه-ماشین شکل ۸-۳ تهیه می‌کنیم. برای ماتریس مورد نظر، مدل p -median، ذیل را ایجاد کرده‌ایم:

$$\begin{aligned} \text{MIN} \quad & 6 X_{12} + X_{13} + 5 X_{14} + 5 X_{15} + 6 X_{16} + 6 X_{21} + 5 X_{23} + X_{24} + 3 X_{25} + \\ & 2 X_{26} + X_{31} + 5 X_{32} + 4 X_{34} + 4 X_{35} + 5 X_{36} + 5 X_{41} + X_{42} + 4 X_{43} + \\ & 2 X_{45} + 3 X_{46} + 5 X_{51} + 3 X_{52} + 4 X_{53} + 2 X_{54} + 3 X_{56} + 6 X_{61} + \\ & 2 X_{62} + 5 X_{63} + 3 X_{64} + 3 X_{65} \\ \text{SUBJECT TO} \quad & \\ & C1) X_{12} + X_{13} + X_{14} + X_{15} + X_{16} + X_{11} = 1 \\ & C2) X_{21} + X_{23} + X_{24} + X_{25} + X_{26} + X_{22} = 1 \end{aligned}$$

- C3) $X_{31} + X_{32} + X_{34} + X_{35} + X_{36} + X_{33} = 1$
 C4) $X_{41} + X_{42} + X_{43} + X_{45} + X_{46} + X_{44} = 1$
 C5) $X_{51} + X_{52} + X_{53} + X_{54} + X_{56} + X_{55} = 1$
 C6) $X_{61} + X_{62} + X_{63} + X_{64} + X_{65} + X_{66} = 1$
 C7) $X_{11} + X_{22} + X_{33} + X_{44} + X_{55} + X_{66} = 2$
 C8) $X_{21} - X_{11} \leq 0$
 C9) $X_{31} - X_{11} \leq 0$
 C10) $X_{41} - X_{11} \leq 0$
 C11) $X_{51} - X_{11} \leq 0$
 C12) $X_{61} - X_{11} \leq 0$
 C13) $X_{12} - X_{22} \leq 0$
 C14) $X_{32} - X_{22} \leq 0$
 C15) $X_{42} - X_{22} \leq 0$
 C16) $X_{52} - X_{22} \leq 0$
 C17) $X_{62} - X_{22} \leq 0$
 C18) $X_{13} - X_{33} \leq 0$
 C19) $X_{23} - X_{33} \leq 0$
 C21) $X_{43} - X_{33} \leq 0$
 C22) $X_{53} - X_{33} \leq 0$
 C23) $X_{63} - X_{33} \leq 0$
 C24) $X_{14} - X_{44} \leq 0$
 C25) $X_{24} - X_{44} \leq 0$
 C26) $X_{34} - X_{44} \leq 0$
 C27) $X_{54} - X_{44} \leq 0$
 C28) $X_{64} - X_{44} \leq 0$
 C29) $X_{15} - X_{55} \leq 0$
 C30) $X_{25} - X_{55} \leq 0$
 C31) $X_{35} - X_{55} \leq 0$
 C32) $X_{45} - X_{55} \leq 0$
 C33) $X_{65} - X_{55} \leq 0$
 C34) $X_{16} - X_{66} \leq 0$
 C35) $X_{26} - X_{66} \leq 0$
 C36) $X_{36} - X_{66} \leq 0$
 C37) $X_{46} - X_{66} \leq 0$
 C38) $X_{56} - X_{66} \leq 0$

END

INTE

$$[d_{ij}] = \begin{matrix} & \begin{matrix} 1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 \end{matrix} \\ \begin{matrix} 1 \\ 2 \\ 3 \\ 4 \\ 5 \\ 6 \end{matrix} & \begin{bmatrix} 0 & 6 & 1 & 5 & 5 & 6 \\ 6 & 0 & 5 & 1 & 3 & 2 \\ 1 & 5 & 0 & 4 & 4 & 5 \\ 5 & 1 & 4 & 0 & 2 & 3 \\ 5 & 3 & 4 & 2 & 0 & 3 \\ 6 & 2 & 5 & 3 & 3 & 0 \end{bmatrix} \end{matrix}$$

شکل ۸-۲۰. ماتریس ضرایب عدم تشابه

زمانی که این مدل را وارد LINDO می کنیم جواب های بهینه ذیل به دست می آید.

```
LP OPTIMUM FOUND AT STEP      28
OBJECTIVE VALUE =    7.00000000
FIX ALL VARS.(   19)  WITH RC >    1.00000
NEW INTEGER SOLUTION OF    7.00000000    AT BRANCH    0 PIVOT    28
BOUND ON OPTIMUM:    7.000000
ENUMERATION COMPLETE. BRANCHES=    0 PIVOTS=    28
LAST INTEGER SOLUTION IS THE BEST FOUND
REINSTALLING BEST SOLUTION...
```

OBJECTIVE FUNCTION VALUE

1) 7.000000

VARIABLE	VALUE	REDUCED COST
X12	.000000	6.000000
X13	.000000	1.000000
X14	.000000	5.000000
X15	.000000	5.000000
X16	.000000	6.000000
X21	.000000	6.000000
X23	.000000	5.000000
X24	.000000	1.000000
X25	.000000	3.000000
X26	.000000	2.000000
X31	1.000000	1.000000
X32	.000000	5.000000
X33	.000000	4.000000
X34	.000000	4.000000
X35	.000000	4.000000
X36	.000000	5.000000

X41	.000000	5.000000
X42	1.000000	1.000000
X43	.000000	4.000000
X45	.000000	2.000000
X46	.000000	3.000000
X51	.000000	5.000000
X52	1.000000	3.000000
X53	.000000	4.000000
X54	.000000	2.000000
X56	.000000	3.000000
X61	.000000	6.000000
X62	1.000000	2.000000
X63	.000000	5.000000
X64	.000000	3.000000
X65	.000000	3.000000
X11	1.000000	.000000
X22	1.000000	.000000
X33	.000000	.000000
X44	.000000	.000000
X55	.000000	.000000
X66	.000000	.000000

ROW	SLACK OR SURPLUS	DUAL PRICES
C1)	.000000	.000000
C2)	.000000	.000000
C3)	.000000	.000000
C4)	.000000	.000000
C5)	.000000	.000000
C6)	.000000	.000000
C7)	.000000	.000000
C8)	1.000000	.000000
C9)	.000000	.000000
C10)	1.000000	.000000
C11)	1.000000	.000000
C12)	1.000000	.000000
C13)	1.000000	.000000
C14)	1.000000	.000000
C15)	.000000	.000000
C16)	.000000	.000000
C17)	.000000	.000000
C18)	.000000	.000000
C19)	.000000	.000000
C21)	.000000	.000000
C22)	.000000	.000000
C23)	.000000	.000000

C24)	.000000	.000000
C25)	.000000	.000000
C26)	.000000	.000000
C27)	.000000	.000000
C28)	.000000	.000000
C29)	.000000	.000000
C30)	.000000	.000000
C31)	.000000	.000000
C32)	.000000	.000000
C33)	.000000	.000000
C34)	.000000	.000000
C35)	.000000	.000000
C36)	.000000	.000000
C37)	.000000	.000000
C38)	.000000	.000000

NO. ITERATIONS= 14
BRANCHES= 0 DETERM.= 1.000E 0

این جواب دو خانواده از قطعات که عبارتند از PF_1 با قطعات ۱ و ۳، و PF_2 با قطعات ۲، ۴، ۵ و ۶ را تهیه می‌کند. با توجه به ماتریس شکل ۸-۳، سلول‌های ماشین‌آلات متناظر با آن MC_1 با ماشین‌های ۱، ۴ و ۶ و MC_2 با ماشین‌های ۲، ۳، ۵ و ۷ به دست می‌آیند.

خلاصه

در این فصل، تکنیک کدگذاری و طبقه‌بندی را برای تکنولوژی گروهی شرح دادیم. با وجود اینکه این روش برای طراحی قطعات و برنامه‌ریزی فرایند مفید است، اما فایده آن برای طراحی CMSها بسیار محدود است.

الگوریتم‌های طبقه‌بندی و کدگذاری به خودی خود چگونگی گروه‌بندی قطعات و ماشین‌ها را مشخص نمی‌کنند. آنها فقط تعیین می‌کنند که آیا برای یک قطعه مشخص شده، ماشین خاصی مورد نیاز است یا نه که البته این مورد نیز، خود برای الگوریتم‌های طراحی CMS به عنوان یک ورودی بسیار مهم است. الگوریتم‌های طراحی CMS که در بخش ۸-۳ بحث شدند در تصویر گروه ماشین‌آلات اولیه و خانم ادم قطعات متناظر با

آنها، بسیار مهم جلوه می‌کنند. از آنجایی که مقالات و مطالب در مورد طراحی CMS که

به صورت عملی قابل استفاده باشند بسیار کم است، کار بر روی آن بسیار مورد نیاز است.

در فصل بعدی راجع به مدل‌های پیچیده‌تری که طراحی CMS را کامل‌تر می‌کنند، بحث خواهد شد.

تمرینات و پرسش‌های دوره‌ای

- ۱- تکنولوژی گروهی و ساخت سلولی را تعریف کنید.
- ۲- در مورد فواید اجرا و پیاده‌سازی CMS ها بحث کنید.
- ۳- روش سنتی کارگاهی را با روش CMS مقایسه کنید.
- ۴- ماتریس شاخص عملیات قطعه-ماشین چیست؟ تمامی اطلاعاتی را که می‌توان در این ماتریس ذخیره کرد فهرست کرده و شرح دهید.
- ۵- تکنیک کدگذاری و طبقه‌بندی به چه معنا است؟ و چه تفاوتی با GT و یا CM دارد؟
- ۶- در سیستم کدگذاری و طبقه‌بندی، چه فاکتورهایی باید مد نظر قرار گیرند؟
- ۷- چگونه یک شرکت می‌تواند از سیستم کدگذاری و طبقه‌بندی مناسب سود ببرد؟
- ۸- پروژه: از منابع مختلف کتابخانه‌ای استفاده کنید و اطلاعاتی راجع به سیستم طبقه‌بندی و کدگذاری OPITZ به دست آورید. در مورد نقاط مثبت و منفی آن بحث کنید.
- ۹- در جدول ذیل، توالی ماشین‌آلات برای نه قطعه به همراه حجم تولید سالانه برای هر کدام آمده است.

نوع قطعه	توالی عبور از ماشین آلات	حجم تولید
۱	۳،۵،۲	۳۰۰۰
۲	۳،۵	۱۰۰۰
۳	۴،۶،۱	۸۵۵۰
۴	۱،۴	۲۷۵۰
۵	۶،۴	۹۰۰۰
۶	۱،۶	۵۰۰
۷	۲،۵،۳	۳۰۰
۸	۵،۳	۳۶۰۰
۹	۶،۱،۴	۴۱۱۰

الف. با توجه به داده‌های جدول، ماتریس شاخص عملیات قطعه-ماشین تهیه کنید.

ب. فرض کنید که اندازه دسته تولید انتقالی قطعات ۱-۴، ۱-۳۰، قطعات ۸-۵، ۱۵ و قطعه ۹، ۱۰ است. با استفاده از ماتریس قسمت الف، ماتریس فراوانی سفرها را تهیه کنید.

۱۰- با استفاده از هر یک از الگوریتم‌های ذیل، خانواده قطعات و گروه ماشین‌آلات را با توجه به داده‌های تمرین ۹ تعیین کنید.

الف. ROC

ب. BE

ج. R&CM

د. SC

ه. روش برنامه‌ریزی ریاضی (سعی کنید تعداد خانواده قطعات را ۲ یا ۳ در نظر بگیرید).

۱۱- فرض کنید قطعه ۵ در تمرین ۱۰ نیاز به یک عملیات دیگر دارد (شماره ۳) که

بایلد با ماشین شماره ۳ انجام شود. با استفاده از الگوریتم‌های ذیل، خانواده قطعات و

گروه ماشین‌آلات جدید را تعیین کنید.

الف. ROC

ب. BE

ج. R&CM

د. SC

ه. روش برنامه‌ریزی ریاضی.

جواب‌های به دست آمده، نمایش گر چه چیزی در مورد کارایی هر یک از الگوریتم‌ها هستند؟ توضیح دهید.

۱۲- یک تولیدکننده ترانسفرمرهای زیرزمینی می‌خواهد چیدمان کارگاهی خود را به چیدمان CMS تغییر دهد. تیم طراحی سیستم، داده‌های مربوط به سال‌های گذشته را مورد بررسی قرار دادند و متوجه شدند ۲۰ نوع قطعه نشان داده شده در ماتریس شکل ۸-۲۱، ۹۰٪ تولید را دربر می‌گیرد. با به‌کاربردن هر یک از الگوریتم‌های ذیل، خانواده قطعات و گروه ماشین‌آلات را تعیین کنید.

الف. ROC

ب. BE

ج. R&CM

د. SC

ه. روش برنامه‌ریزی ریاضی.

فرض کنید که حجم تولید برای همه انواع قطعات یکسان است. برای قسمت ه فرض کنید که تعداد خانواده قطعات ۵ است.

۱۳- فرض کنید که شرکت تمرین ۱۲ می‌خواهد تغییری در فرایند ساخت قطعات نوع ۱۰ و ۱۱ بدهد به گونه‌ای که این قطعات نیازی به عبور از ماشین ۶ نداشته باشند و به جای آن، هر دو بایستی از ماشین ۷ بگذرند. با به‌کاربردن الگوریتم‌های ذیل، خانواده قطعات و گروه ماشین‌آلات جدید را تعیین کنید.

الف. ROC

ب. BE

ج. R&CM

د. SC

ه. روش برنامه‌ریزی ریاضی.

		ماشین									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1		1						1			
2			1					1			
3											1
4									1	1	
5				1							
6				1					1		
7				1						1	
8				1					1	1	
قطعه 9					1		1				
10					1	1	1				
11						1	1				
12	1										1
13									1	1	
14	1										
15					1	1					
16						1					
17				1						1	
18				1							
19				1							
20				1							

شکل ۸-۲۱. ماتریس شاخص عملیات قطعه-ماشین برای تمرین ۱۲

۱۴- ماتریس شاخص عملیات قطعه-ماشین ذیل را در نظر بگیرید. با به‌کار بردن ۵ الگوریتم آورده شده در تمرین‌های ۱۰ تا ۱۳، گروه ماشین‌آلات و خانواده قطعات مربوطه را تعیین کنید.

	1	2	3	4
1		1		
2	1			
3		1	1	
4		1		
5			1	
6			1	
7	1			1
8				1

۱۵- فرض کنید قطعه نوع ۴ در تمرین ۱۴، علاوه بر ماشین ۲، به ماشین ۱ نیز نیاز دارد. با استفاده از ۵ الگوریتم ذکر شده، خانواده قطعات و گروه ماشین‌آلات را تعیین کنید. راه‌حلی که از الگوریتم‌های مختلف به دست می‌آورد را با هم مقایسه کنید. آیا با هم تفاوتی دارند؟ شرح دهید.

۱۶- با استفاده از الگوریتم BE، خانواده قطعات و گروه ماشین‌آلات را برای شاخص عملیات قطعه-ماشین آورده شده در مثال ۱ تعیین کنید.

۱۷- این بار تمرین ۱۶ را با توجه به داده‌های تمرین ۲ مجدداً حل کنید و از تمامی الگوریتم‌های گفته شده در بخش ۸-۳ به جز الگوریتم BE استفاده نمایید.

پیاده‌سازی و اجرای تکنولوژی گروهی در سیستم‌های ساخت

۹-۱ مقدمه

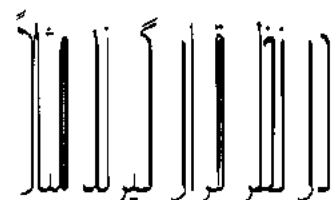
در فصل ۸، ما تکنیک‌هایی را معرفی کردیم که این اهداف اصلی را داشتند: (۱) شناسایی قطعاتی که نیازمندی‌های فرآیندی مشابه داشتند (۲) شناسایی مجموعه ماشین‌آلاتی که می‌توانستند بر روی این قطعات کار کنند و (۳) اختصاص دادن مجموعه ماشین‌آلات به ساخت قطعات. هر مجموعه از ماشین‌آلات، یک سلول ماشینی را تشکیل می‌دادند و مجموعه قطعات متناظر با آنها، خانواده قطعات را تشکیل می‌دادند. تشخیص گروه‌های ماشین‌آلات و خانواده قطعات متناظر با آنها، تنها بر اساس آن بود که آیا یک ماشین برای انجام یک یا چند عملیات بر روی یک قطعه، مورد نیاز است یا خیر. اساس تعیین خوشه و خوشه‌بندی در مسائل، موارد ذیل بود: داشتن یک ماتریس شاخص عملیات قطعه-ماشین و آرایش مجدد سطرها و ستون‌ها برای اینکه ماتریس به صورت بلوکی و قطری شود. در این فرایند، تکنیک‌های ذکر شده در فصل ۸، بعضی محدودیت‌های مربوط به طراحی در دنیای واقعی را در نظر نمی‌گرفتند که بایستی هنگام طراحی سیستم‌های ساخت سلولی در نظر گرفته شوند. مثلاً، یک شرکت ممکن است بخواهد ماشین‌آلات را در سلول‌ها و قطعات را در خانواده‌ها به گونه‌ای آرایش دهد تا تعداد سفرهای بین سلولی انجام شده توسط وسایل حمل و نقل مواد می‌نیمم شود.

یا اینکه یک شرکت ممکن است علاقمند باشد تا سلول‌های ماشین‌آلات را به‌گونه‌ای شکل دهد که بیشترین بازده استفاده از هر سلول را داشته باشد. هیچ‌کدام از تکنیک‌های گفته شده در فصل ۸ نمی‌تواند مستقیماً چنین مسائلی را حل کنند بنابراین محققان، آن تکنیک‌های اولیه را به‌گونه‌ای تغییر داده‌اند تا بتوانند چنین محدودیت‌هایی را نیز اعمال کنند. برای آگاهی از این تکنیک‌های تجدید نظر شده به (Heragu 1994) مراجعه کنید.

۹-۲ طراحی و برنامه‌ریزی مسائل در سیستم‌های ساخت سلولی

ما اکنون بعضی از محدودیت‌های مربوط به برنامه‌ریزی و طراحی که در دنیای واقعی وجود دارد را فهرست کرده و آنها را با توجه به اهمیتشان مورد بحث قرار می‌دهیم. در بخش بعدی، یک پروژه صنعتی ارائه می‌شود که در آن، چنین محدودیت‌هایی لحاظ شده است و نهایتاً برای حل آن، رویکردی را شرح می‌دهیم که به ما امکان می‌دهد تا سلول‌های ماشین‌آلات (و خانواده قطعات) را به‌گونه‌ای تشکیل دهیم که این محدودیت‌ها را تا حد امکان ارضاء کنند (Heragu and Gupta 1994). بعضی از محدودیت‌های مهم مربوط به طراحی در ادامه آورده شده است:

- نباید از ظرفیت در دسترس ماشین‌آلات فراتر رفت.
 - نیازهای تکنولوژیکی و ایمنی بایستی در نظر گرفته شوند.
 - تعداد ماشین‌آلات در یک سلول و همچنین تعداد سلول‌ها نباید از بالاترین حد مشخص شده توسط کاربر، تجاوز کند.
 - هزینه‌های مربوط به حمل و نقل بین سلولی و درون سلولی مواد در بین ماشین‌آلات بایستی می‌نیم شود.
 - ماشین‌آلات بایستی به‌طور کارا مورد استفاده قرار گیرند.
 - هزینه مربوط به خرید ماشین‌آلات، هزینه‌های عملیاتی و هزینه‌های مربوط به موجودی در جریان ساخت بایستی می‌نیم شوند.
- علاوه بر محدودیت‌های مربوط به طراحی، مسائل مربوط به برنامه‌ریزی نیز بایستی



- زمان‌بندی شغل‌ها^۱ در سلول‌های فردی و
- حصول ماکزیمم نرخ عملکرد

۹-۲-۱ ظرفیت و قابلیت ماشین

ظرفیت ماشین‌آلات از بقیه محدودیت‌ها مهم‌تر است، بنابراین تحلیل‌گر طرح بایستی ابتدا اطمینان حاصل کند که ظرفیت کافی برای انجام کار و پردازش بر روی همه قطعات وجود دارد. تعداد هر نوع ماشین بایستی از قبل مشخص باشد یا حداقل باید با مدل‌هایی مثل مدل M4 در بخش ۲ مشخص شوند. این مدل تنها تضمین می‌کند که تعداد مورد نیاز از هر یک از انواع ماشین‌آلات، موجود است. زمانی که تحلیل‌گران، ماشین‌آلات را به سلول‌ها تخصیص دادند، بایستی بررسی کنند که در هر سلول، ظرفیت کافی برای انجام عملیات بر روی همه خانواده قطعات تخصیص داده‌شده به آن سلول وجود داشته باشد.

به مثالی با این شرایط توجه کنید: (۱) دو عدد ماشین M_5 موجود است و این دو ماشین تنها بر روی قطعات P_1 ، P_4 و P_5 عملیات انجام می‌دهند (ظرفیت این دو ماشین برای انجام عملیات بر روی سه قطعه کافی است). (۲) قطعات P_1 و P_4 که حجم زیادی دارند، مربوط به خانواده قطعات PF_1 هستند درحالی که قطعه P_5 که حجم کمی دارد در خانواده قطعات PF_2 است. (۳) هر یک از ماشین‌های M_5 در سلول‌های MC_1 و MC_2 هستند. با فرض اینکه هر دو ماشین M_5 ظرفیت کافی برای انجام عملیات و پردازش بر روی قطعه را دارند، محدودیت ظرفیت در سلول MC_1 ممکن است نقض شود چون عملیات بر روی دو قطعه P_1 و P_4 با حجم بالا، توسط یک ماشین M_5 انجام می‌شود. به‌خاطر محدودیت ظرفیت، ممکن است لازم شود تا عملیات بر روی قطعات P_1 و P_4 توسط ماشین M_5 دیگری که در سلول MC_2 است انجام شود. مسلماً این کار مستلزم آن است که تعدادی از قطعات P_1 یا P_4 از هر دو سلول عبور کنند. این مثال نشان می‌دهد که اگرچه تعداد ماشین‌آلات برای انجام عملیات بر روی قطعات ممکن است کافی باشد، اما گروه‌بندی ماشین‌آلات ممکن است به‌گونه‌ای صورت گیرد که ظرفیت کافی برای انجام عملیات بر روی یک یا چند قطعه به‌طور کامل در سلول

متناظرش فراهم نشود. بنابراین لازم است که تضمین شود محدودیت ظرفیت در هر سلول، وقتی ماشین‌آلات به سلول‌ها و قطعات به خانواده قطعات تخصیص داده می‌شوند، نقض نمی‌شود.

۹-۲-۲ توجه به مسائل تکنولوژیکی و ایمنی

مسائل تکنولوژیکی و ایمنی ممکن است تحمیل کنند که دو یا چند ماشین در یک سلول قرار بگیرند، بدون توجه به تعداد قطعاتی که از ماشین‌آلات عبور می‌کنند. مثلاً به‌خاطر خطر آتش‌سوزی، ایستگاه‌های عملیات حرارتی و فورج باید در یک سلول قرار گیرند حتی اگر قطعات نسبتاً کمی از هر دو ایستگاه عبور کنند. از طرف دیگر، ایستگاه‌های جوشکاری و نقاشی نمی‌توانند همزمان در یک سلول قرار گیرند، حتی اگر تعداد زیادی از قطعات وجود داشته باشند که بایستی از هر دو ایستگاه عبور کنند، چون جرقه‌های ایجاد شده در ایستگاه جوشکاری ممکن است حلال‌های قابل اشتعال در ایستگاه نقاشی را مشتعل کند (آتش بزنند). چنین عواملی باید زمانی مورد توجه قرار گیرند که می‌خواهیم ماشین را به یک سلول غیرخالی تخصیص دهیم.

۹-۲-۳ وجود حد بالا (محدودیت) برای تعداد سلول‌های ماشین‌آلات و اندازه یک سلول

در بسیاری از CMSها، کارگران چندکاره ممکن است برای نظارت بر عملیات انجام شده در سلول‌های مختلف تخصیص داده شوند تا حداکثر استفاده از کارکنان صورت گیرد. چون وجود چنین کارگران آموزش دیده‌ای محدود است، در نتیجه بایستی حد بالایی برای تعداد سلول‌ها در نظر گرفته شود. همچنین ممکن است برای حداکثر تعداد ماشین‌آلات در هر سلول نیز محدودیتی وجود داشته باشد. عملاً، مدیران در تعیین چنین محدودیت‌هایی، از تجربه‌اشان کمک می‌گیرند. مواردی که گفته شد، بخشی از دلایلی است که ضرورت وجود چنین محدودیت‌هایی را نشان می‌دهد. مثلاً برای اهداف کنترلی، ممکن است تخصیص تنها یک نفر به یک سلول از ماشین‌آلات، مطلوب باشد. چون یک اپراتور تنها می‌تواند تعداد محدودی از ماشین‌آلات را تحت نظارت خود قرار

دهد، ممکن است گذاشتن حد بالا برای تعداد ماشین‌آلات موجود در یک سلول، مطلوب باشد.

علاوه بر این، ابعاد زمین، ممکن است اندازه یک سلول را در بعضی از مسائل تکنولوژی تعیین کند. علاوه بر وجود حد بالا برای تعداد ماشین‌آلات موجود در یک سلول، وجود حد پایین نیز ممکن است تحمیل شود - مثلاً برای تضمین اینکه هر اپراتور به حداقل حجم کاری تخصیص داده شده است.

۹-۲-۴ می‌نیمم کردن هزینه حمل‌ونقل بین سلولی و درون سلولی مواد

در یک CMS (سیستم تولید سلولی) مطلوب، هیچ ماده‌ای بین سلول‌ها جریان پیدا نمی‌کند، اما در دنیای واقعی، تشکیل گروه‌های ماشین‌آلات بدون اینکه جریان مواد بین آنها وجود داشته باشد، مشکل است.

با فرض چنین محدودیت عملی، تحلیل گران تلاش می‌کنند تا گروه‌ها را به گونه‌ای شکل دهند که حرکت بین سلولی قطعات می‌نیمم شود. در واقع، همان‌طور که قبلاً بحث شد، یکی از اهداف اصلی تکنیک‌های GT همان است. یک هدف مهم دیگر، می‌نیمم کردن هزینه جابجایی درون سلولی قطعات است که رسیدن به این هدف مستلزم انجام طراحی چیدمان در هر سلول است.

همان‌طور که در فصول گذشته بحث شد، اگر حداکثر تعداد ماشین‌آلات در یک سلول و حداکثر تعداد سلول‌ها ۱۵ تا باشد، تکنیک‌های بهینه به ما کمک می‌کنند تا دو مسئله چیدمان را حل کنیم. به جای رویکرد مرحله‌ای، حل همزمان مسائل گروه‌بندی و چیدمان، مطلوب به نظر می‌رسد اما حل چنین مسائلی توأم، تا حدودی مشکل است.

۹-۲-۵ بهره‌برداری از ماشین

بهره‌برداری از ماشین مسئله مهمی است که باید مورد توجه قرار گیرد، مخصوصاً وقتی در مورد انتخاب فرایندها و تجهیزات تصمیم‌گیری می‌شود. در مراحل بعدی، این عامل کم اهمیت‌تر می‌شود چون هزینه‌ها برای خرید تجهیزات پرداخت شده است، بنابراین منفعت بیشتری، از طریق تضمین بهره‌برداری بالا از وسایل و تجهیزات هنگام تصمیم‌گیری در مورد عملیات و فرایندها، عاید نمی‌شود. در واقع، مدل‌های صف که

در فصل ۱۰ بحث شدند به ما نشان می‌دهند که زمانی که بهره‌برداری از ماشین بیش از ۹۰٪ باشد، مقدار جریان قطعات به‌طور قابل ملاحظه‌ای افزایش می‌یابد.

۹-۲-۶ می‌نیم کردن هزینه

شکل ۵-۸ در بخش ۸ نشان داد که چگونه یک ماشین گلوگاهی (M_1) می‌تواند از تشکیل یک ماتریس شاخص عملیات به‌صورت بلوک قطری جلوگیری کند. برای حل چنین مشکلاتی، تعداد ماشین‌های گلوگاهی ممکن است در سلول‌های مناسب افزوده شوند تا عملیات بر روی قطعاتی که متعلق به یک خانواده از قطعات هستند در یک سلول انجام شود. با توجه به داده‌های شکل ۵-۸، اگر یک واحد اضافی از ماشین M_1 در سلول MC_2 (که شامل ماشین‌های M_2, M_3, M_5 و M_7 است) قرار داده‌شود، عملیات بر روی قطعه P_2 ممکن است کاملاً در سلول MC_2 انجام شود. این مورد در شکل ۹-۱ نشان داده شده است. با این وجود، سود حاصل از تشکیل خوشه‌های کاملاً مجزا ممکن است بیشتر از جبران مالی که از خریدن تعداد اضافی از ماشین‌آلات گلوگاهی حاصل می‌شود، باشد، یا اینکه افزودن ماشین‌های اضافی، ممکن است محدودیت اندازه سلول را پررنگ‌تر کند. تحت چنین شرایطی، راه‌حل مناسب ممکن است آرایشی فیزیکی‌ای ارائه دهد که در آن، ماشین (های) گلوگاهی بین سلول‌های ماشین‌آلات به‌گونه‌ای قرار داده شوند که خانواده قطعات متناظر با آنها، از منابع، به‌صورت مشترک استفاده کنند. شکل ۹-۲ آرایش فیزیکی‌ای را نشان می‌دهد که در آن، ماشین گلوگاهی و نسبتاً گران M_1 توسط دو خانواده از قطعات استفاده می‌شود. برای نمایش، در شکل های ۹-۱ و ۹-۲ فرض شده است که اولین گروه از ماشین‌آلات از یک روبات و گروه دیگر، از یک باربر خودکار (AGV) استفاده می‌کنند.

مثال ما، توجه به هزینه‌های تدارکاتی ماشین‌آلات را هنگام طراحی CMS ها، مورد تأکید قرار می‌دهد.

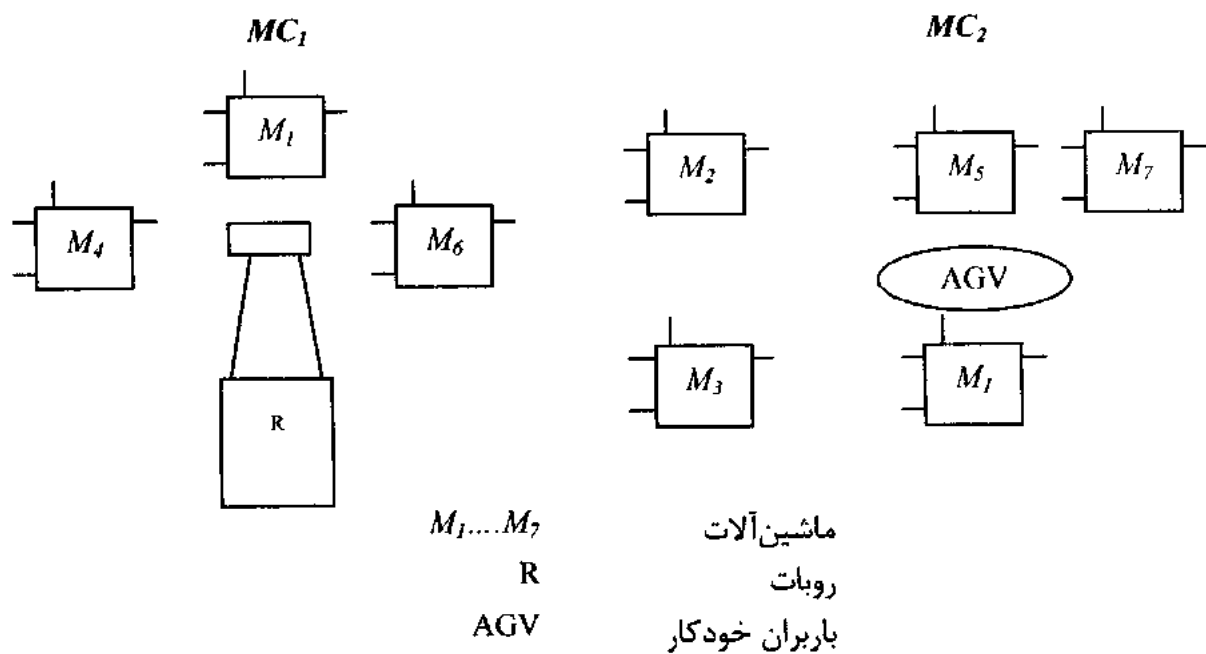
عوامل دیگری که بایستی در نظر گرفته شوند عبارتند از:

- موجودی در جریان ساخت

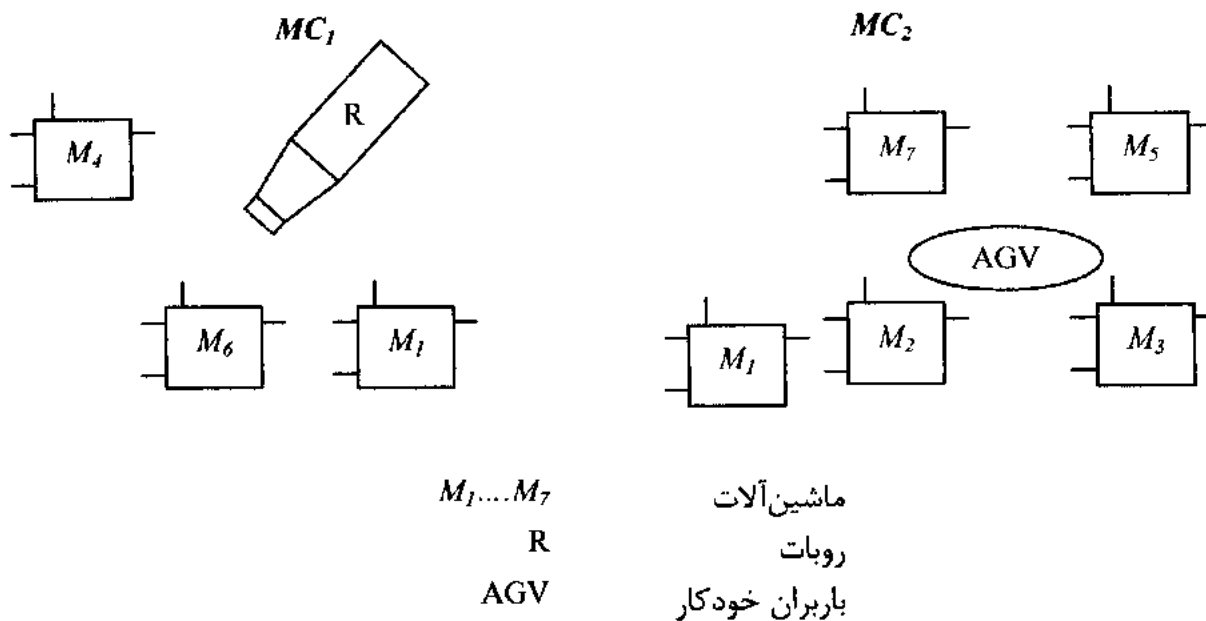


- راه‌اندازی ماشین

اگر این هزینه‌ها هنگام تعیین سلول ماشین‌آلات و تخصیص خانواده قطعات به سلول ماشین‌آلات به حساب آورده شوند، حل نهایی نه تنها منجر به کنترل بهتر سیستم تولید می‌شود بلکه هزینه‌های عملیاتی را به‌طور قابل ملاحظه‌ای می‌نیمم می‌کند.



شکل ۹-۱. دو برابر شدن تعداد ماشین M_1 باعث شکل‌گیری دو سلول کوچک‌تر می‌گردد



شکل ۹-۲. جای‌گیری فیزیکی ماشین M_1 امکان استفاده مشترک از آن را برای هر دو خانواده از قطعات فراهم می‌کند

۹-۲-۷ زمان بندی شغل ها در سلول های فردی

زمان بندی شغل ها در سلول های فردی، مسئله قابل ملاحظه ای است که باید در مرحله طراحی عنوان شود. چون مسائل طراحی به خودی خود بسیار پیچیده هستند، با این وجود، ترکیب مسائل زمان بندی معمولاً به پیچیدگی آن می افزاید. وقتی این مسائل به طور جداگانه مورد بررسی قرار می گیرند، زمان بندی شغل ها در CMS آسان تر از زمان بندی در سیستم های سنتی خواهد بود چون در هر سلول شغل های کمتری وجود خواهند داشت.

۹-۲-۸ ماکزیمم کردن نرخ عملکرد

هدف اولیه در هر سیستم ساخت، ماکزیمم کردن نرخ عملکرد قطعات است. به این هدف باید اهمیت بیشتری نسبت به افزایش بهره برداری از ماشین داده شود، مخصوصاً اگر ماشین ها انتخاب شده باشند.

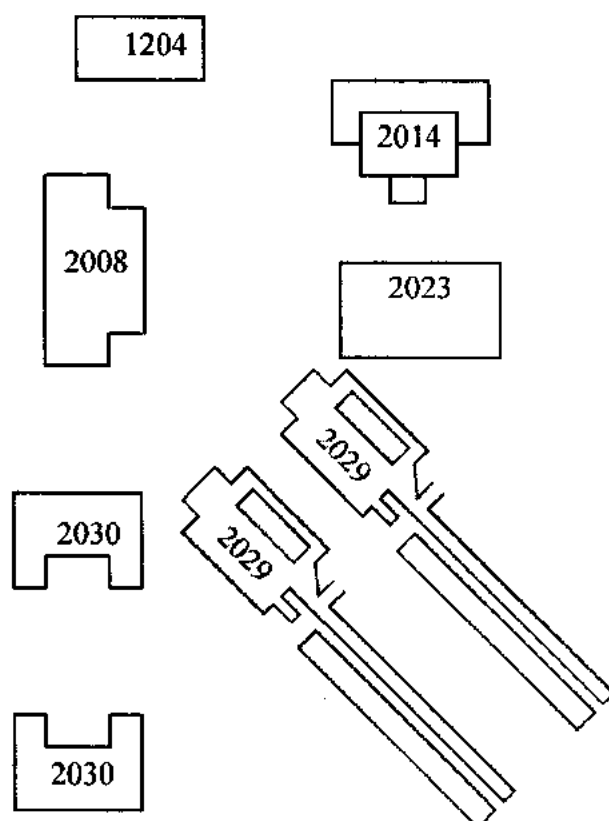
یک راه برای ماکزیمم کردن نرخ عملکرد، کاهش زمان راه اندازی برای هر یک از عملیات است. در واقع، یکی از نتایج حاصل از پیاده سازی GT، کاهش زمان راه اندازی است زیرا قطعات مشابه در یک سلول واحد تولید می شوند. اگر زمان راه اندازی را بتوان با طراحی مجدد قطعات و یا فیکسچرها کاهش داد، نرخ عملکرد بیشتر افزایش می یابد.

۹-۳ پروژه های برای گروه بندی و چیدمان ماشین آلات

شرکت سازنده مدیکیپ^۱ دارای یک چیدمان فرآیندی است که در آن، ۸ عدد ماشین که متعلق به ۵ نوع از ماشین آلات هستند همان طور که در شکل ۹-۳ نشان داده شده است، چیده شده اند. به دلایل مختلف از جمله تغییرات اساسی اخیر در میزان و ترکیب تولید، چیدمان فعلی منجر به بروز مشکلات بزرگی از جمله ازدحام در رفت و آمد، فقدان کنترل در سیستم، روحیه پایین کارمندان و افزایش هزینه ها و زمان مربوط به حمل و نقل مواد شده است. تیم مهندسی صنایع (IE) در مدیکیپ به شدت احساس می کند که

گروه‌بندی مجدد ماشین‌آلات در سلول‌ها به گونه‌ای که هر یک، به ساخت مجموعه قطعاتی با خصوصیات فرآیندی مشابه اختصاص یابد، مشکلات را کاهش می‌دهد. چون تیم IE مشغول مطالعه برای راه‌اندازی آزمایشی و برنامه‌ریزی فرایند برای یک محصول جدید است، نمی‌تواند این پروژه چیدمان و گروه‌بندی را به عهده بگیرد. فرض کنید که شما استخدام شده‌اید تا یک تجزیه‌تحلیل کامل از قطعات آماده‌شده، ماشین‌آلات، فرایندها و روش‌های استفاده‌شده برای حمل‌ونقل مواد انجام دهید و گروه‌بندی جدیدی از ماشین‌آلات و چیدمان متناظر با آن را پیشنهاد دهید. اطلاعات زیر، در اختیار شما قرار دارد:

- چیدمان فعلی با مقیاس مناسب (شکل ۹-۳)
- اطلاعات مسیریابی برای ۲۰ قطعه، شامل زمان‌های راه‌اندازی، زمان عملیات، دسته تولید و تقاضای سالانه (جدول ۹-۱)
- ابزارهای حمل‌ونقل مواد که بین ماشین‌آلات استفاده می‌شوند و هزینه جابجایی واحد بار در واحد مسافت (جدول ۹-۲)



شکل ۹-۳. چیدمان فعلی فرآیندی برای هشت ماشین شرکت مدیکیپ

جدول ۹-۱. (ادامه)

شماره قطعه	نام قطعه	تقاضای سالانه (به تعداد)	اندازه دسته تولید (به تعداد)	نام ماشین	زمان راه‌اندازی (به ساعت) به ازاء هر دسته	زمان عملیات (به ساعت) به ازاء هر دسته
۱۳	۵۰۱-۲۷۰۰۷۱	۲۵۰	۱۰	۲۰۲۹	۰,۰۰	۸,۵۵
				۲۰۳۰	۰,۰۰	۳۷-۱۹
				۲۰۱۴	۱,۵۰	۲,۸۰
۱۴	۵۰۱-۲۷۰۰۸۰	۶۰۰	۱۰	۲۰۲۹	۰,۰۰	۷,۵۳
				۲۰۳۰	۱,۰۰	۳,۰۰
				۲۰۱۴	۰,۷۵	۱,۰۰
۱۵	۲۸۰۰۱۱	۴۵۰	۱۰	۲۰۳۰	۱,۰۰	۲,۹۱
				۲۰۳۰	۱,۵۰	۳,۸۳
۱۶	۲۸۰۰۲۴	۵۰۰	۱۰	۱۲۰۴	۴,۰۰	۳,۶۴
				۲۰۰۸	۰,۷۵	۳,۰۰
۱۷	۳۰۱۳۰	۴۰۰	۱۰	۲۰۳۰	۰,۰۰	۲,۵۰
				۲۰۲۳	۰,۵۰	۲,۰۰
۱۸	۳۲۴۰۰۸	۳۰۰	۱۰	۲۰۲۹	۰,۰۰	۱۲,۰۱
				۲۰۳۰	۰,۰۰	۷,۵۹
				۲۰۲۳	۰,۷۵	۱۴,۵۰
۱۹	۳۲۵۰۰۳	۱۰	۱۰	۲۰۲۹	۰,۰۰	۲۳,۲۵
				۲۰۳۰	۰,۰۰	۲۳,۶۳
				۲۰۰۸	۰,۰۰	۴۲,۶۷
۲۰	۳۲۸۰۰۸	۲۵۰	۱۰	۲۰۲۹	۰,۰۰	۷,۲۸
				۲۰۳۰	۰,۰۰	۲۳,۰۰
				۲۰۲۳	۱,۰۰	۲,۰۰

جدول ۹-۲. وسایل استفاده‌شده برای جابه‌جایی مواد

از ماشین (ها)	به ماشین (ها)	وسیله استفاده‌شده
۱۲۰۴	بقیه ماشین‌آلات	کامیون
۲۰۰۸	بقیه ماشین‌آلات	دستی توسط گاری
۲۰۱۴	بقیه ماشین‌آلات	باربر خودکار
۲۰۲۳	۱۲۰۴ و ۲۰۰۸	دستی توسط گاری
۲۰۲۳	۲۰۲۹	کامیون
۲۰۲۳	۲۰۱۴ و ۲۰۳۰	باربر خودکار
۲۰۲۹	بقیه ماشین‌آلات	دستی توسط گاری
۲۰۳۰	بقیه ماشین‌آلات	کامیون

مدیر تولید در مدیکپ تمایل ندارد که بیش از ۳ ماشین در هر سلول، به خاطر فقدان پرسنل ماهر، وجود داشته باشد. هیچ محدودیتی برای همسایگی جفت ماشین آلات وجود ندارد. اگر از یک نوع ماشین، بیش از ۱ عدد وجود داشته باشد و همگی برای انجام عملیات آماده باشند، هر قطعه‌ای که نیاز به این نوع ماشین داشته باشد با احتمال مساوی به یکی از آنها می‌رود (مثلاً اگر ۴ عدد از ماشین نوع ۲ موجود باشد و تنها قطعات نوع ۱ و ۴ نیازمند انجام فرایند توسط ماشین مدل ۲ باشند، در آن صورت، هر یک از چهار ماشین نوع ۲، هر کدام ۲۵٪ عملیات مربوط به قطعات ۱ و ۴ را انجام خواهند داد). گروه ماشین آلات و چیدمان متناظر با آن را با استفاده از برنامه GTLAYPC.EXE که در دیسک ضمیمه است، تعیین کنید.

اولین گام در حل مسائل تکنولوژی گروهی و چیدمان، تعیین این موضوع است که آیا ظرفیت کافی برای انجام عملیات بر روی ترکیب و حجم قطعات تعیین شده وجود دارد یا خیر. با توجه به تقاضای سالانه و دسته تولید می‌توان به راحتی تعداد دسته‌های هر یک از انواع قطعات را که بایستی سالانه بر روی آنها عملیات انجام شود از طریق تقسیم تقاضا بر دسته تولید، محاسبه کرد (پنجمین ستون جدول ۹-۳ را ببینید). سپس با استفاده از زمان‌های عملیات و راه‌اندازی به‌ازاء هر دسته (با توجه به جداول ۹-۱ و ۹-۳)، می‌توان زمان مورد نیاز برای هر یک از انواع ماشین آلات را برای انجام عملیات بر روی هر یک از ۲۰ نوع قطعه به‌دست آورد به این صورت که تعداد دسته‌ها را در مجموع زمان‌های عملیات و راه‌اندازی به‌ازاء هر دسته ضرب می‌کنیم (ششمین ستون جدول ۹-۳ را ببینید). جمع مقادیر هر کدام از ۶ ستون آخر، زمان لازم برای هر یک از انواع ماشین آلات را به‌دست می‌دهد. سپس با تقسیم این مقادیر بر زمان موجود (فرض کنید ۴۰ ساعت به‌ازاء هر هفته، برای ۵۰ هفته با ۹۰٪ کارایی، یا به عبارت دیگر ۱۸۰۰ ساعت)، تعداد مورد نظر از هر یک از انواع ماشین آلات تخمین زده می‌شود. اگر پیش‌بینی شود که بهره‌برداری از ماشین کمتر از ۹۰٪ خواهد بود (به خاطر تجهیزات حمل و نقل مواد یا در دسترس نبودن اپراتور، زمان خرابی ماشین و ...) سپس مقدار مناسبی باید استفاده شود. با فرض ۹۰٪، درمی‌یابیم که ۳ عدد از ماشین نوع ۲۰۲۹، دو عدد از ماشین نوع ۲۰۳۱ و یک عدد از دیگر انواع ماشین آلات لازم است. با توجه به شکل ۹-۳ در می‌یابیم که کل ماشین آلاتی که هم‌اکنون در دسترس‌اند ۸ عدد است (۲)

عدد از ماشین نوع ۰۲۰۲۹ و ۰۲۰۳۰ و یک عدد از دیگر انواع ماشین‌آلات). بنابراین دستگاه دیگری از نوع ۰۲۰۲۹ بایستی خریداری شود.

جدول ۳-۹. محاسبات مربوط به ظرفیت ماشین‌آلات (ادامه در صفحه بعد)

شماره قطعه	نام ماشین	دسته تولید	زمان راه‌اندازی برای هر دسته تولید	زمان عملیات برای هر دسته تولید	تعداد دسته تولید	زمان مورد نیاز (به ساعت) بر روی هر ماشین
						۰۱۲۰۴ ۰۲۰۰۸ ۰۲۰۱۴ ۰۲۰۲۳ ۰۲۰۲۹
۱	۰۱۲۰۴	۲۰۰۰	۳۰۰	۳۰۰	۲۲	۱۴۶
	۰۲۰۰۸	۲۰۰۰	۵۰۹۸	۵۰۹۸		۱۹۸
۲	۰۱۲۰۴	۵۰۰۰	۲۰۰	۲۰۰	۵۰	۳۵۰
	۰۲۰۰۸	۲۰۲۵	۱۰۰	۱۰۰		۱۶۳
	۰۲۰۱۴	۰۰۵۰	۶۰۵۰	۶۰۵۰		۳۵۰
۳	۰۱۲۰۴	۴۰۰۰	۲۰۰	۲۰۰	۵۰	۳۰۰
	۰۲۰۰۸	۱۰۰۰	۳۰۰	۳۰۰		۲۰۰
۴	۰۲۰۰۸	۱۰۵۰	۲۰۰	۲۰۰	۵۰	۲۲۵
	۰۲۰۲۳	۰۰۵۰	۸۰۲۷	۸۰۲۷		۴۳۹
	۰۲۰۰۸	۰۰۰۰	۲۰۰	۲۰۰		۱۰۰
	۰۲۰۱۴	۲۰۰۰	۲۰۰	۲۰۰		۲۰۰
۵	۰۲۰۰۸	۱۰۰۰	۲۰۰	۲۰۰	۲۲	۶۶
	۰۲۰۱۴	۱۰۰۰	۶۰۸۶	۶۰۸۶		۱۷۳
	۰۲۰۲۳	۱۰۰۰	۱۰۰۰۰	۱۰۰۰۰		۲۴۲
۶	۰۲۰۲۳	۰۰۵۰	۸۴۰۵۸	۸۴۰۵۸	۱۲	۱۰۲۱
	۰۲۰۲۳	۱۰۰۰	۲۶۰۷۸	۲۶۰۷۸		۳۳۳
۷	۰۲۰۰۸	۱۰۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۷۰	۱۴۰
	۰۲۰۲۳	۱۰۰۰	۱۰۰	۱۰۰		۱۴۰
۸	۰۲۰۲۳	۰۰۷۵	۱۰۲۵	۱۰۲۵	۹۰	۱۸۰
	۰۲۰۱۴	۰۰۵۰	۱۰۰	۱۰۰		۱۳۵
	۰۲۰۲۹	۰۰۰۰	۰۰۳۱	۰۰۳۱		۲۸
۹	۰۲۰۲۹	۸۰۰۰	۶۵۰۰۰	۶۵۰۰۰	۲۰	۱۴۶۰
	۰۲۰۱۴	۰۰۰۰	۲۰۲۳	۲۰۲۳		۴۵

جدول ۳-۹. (ادامه در صفحه بعد)

شماره قطعه	نام ماشین	زمان راه اندازی برای هر دسته تولید	زمان عملیات برای هر دسته تولید	تعداد دسته تولید	زمان مورد نیاز (به ساعت) بر روی هر ماشین
۱۰	۰۲۰۳۰ ۰۲۰۰۸	۰.۵۰ ۱.۰۰	۵.۰۰ ۷.۰۰	۲۵ ۲۰۰	۱۳۸
۱۱	۰۲۰۲۹	۸.۰۰	۵۵.۰۰	۴۰	۲۵۲۰
	۰۲۰۱۴	۱.۰۰	۲.۶۷		۱۴۷
۱۲	۰۱۲۰۴	۲.۸۹	۸.۶۸	۳۰	۳۴۷
	۰۲۰۰۸	۱.۰۰	۸.۰۰	۲۷۰	
۱۳	۰۲۰۲۹	۰.۰۰	۸.۵۵	۲۵	۲۱۴
	۰۲۰۳۰	۰.۰۰	۳۷-۱۹		۴۸۴
	۰۲۰۱۴	۱.۵۰	۲.۸۰		۱۰۸
۱۴	۰۲۰۲۹	۰.۰۰	۷.۵۳	۶۰	۴۵۲
	۰۲۰۳۰	۱.۰۰	۳.۰۰		۲۴۰
	۰۲۰۱۴	۰.۷۵	۱.۰۰		۱۰۵
۱۵	۰۲۰۳۰	۱.۰۰	۲.۹۱	۴۵	۱۷۶
	۰۲۰۳۰	۱.۵۰	۳.۸۳		۲۴۰
۱۶	۰۱۲۰۴	۴.۰۰	۳.۶۴	۵۰	۳۸۲
	۰۲۰۰۸	۰.۷۵	۳.۰۰	۱۸۸	
۱۷	۰۲۰۳۰	۰.۰۰	۲.۵۰	۴۰	۱۰۰
	۰۲۰۳۰	۰.۵۰	۲.۰۰		۱۰۰
۱۸	۰۲۰۲۹	۰.۰۰	۱۲.۰۱	۳۰	۳۶۰
	۰۲۰۳۰	۰.۰۰	۷.۵۹		۲۲۸
	۰۲۰۲۳	۰.۷۵	۱۴.۵۰		۴۵۸
۱۹	۰۲۰۲۹	۰.۰۰	۲۳.۲۵	۱	۲۳
	۰۲۰۳۰	۰.۰۰	۲۳.۶۳		۲۴
	۰۲۰۰۸	۰.۰۰	۴۲.۶۷		۴۳
۲۰	۰۲۰۲۹	۰.۰۰	۷.۲۸	۲۵	۱۸۲
	۰۲۰۳۰	۰.۰۰	۲۳.۰۰		۵۷۵
	۰۲۰۲۳	۱.۰۰	۲.۰۰		۷۵

جدول ۹-۳. (ادامه)

شماره قطعه	نام ماشین	دسته تولید	زمان راه‌اندازی برای هر دسته تولید	تعداد عملیات برای هر دسته تولید	زمان مورد نیاز (به ساعت) بر روی هر ماشین
۲۰۳۰	۲۰۲۹	۲۰۲۳	۲۰۱۴	۲۰۰۸	۲۰۰۴
۳۴۰۵	۵۲۳۹	۱۷۸۶	۱۲۶۲	۱۷۹۱	۱۵۲۵
۲۰۰۰	۳۰۰۰	۱۰۰۰	۱۰۰۰	۱۰۰۰	۱۰۰۰
ساعت ماشین مورد نیاز					
تعداد ماشین‌آلات مورد نیاز					

گام بعدی، تهیه فایل داده است که در بخش ۳-۵ بحث شده است. برای ماشین‌آلات نوع ۰۲۰۳۰ و ۰۲۰۲۹ چون بیش از ۱ عدد برای پردازش موجود است، فرض می‌شود که هر قطعه‌ای که به این نوع ماشین احتیاج دارد، با نسبت مساوی از هر یک عبور می‌کند. ستون‌های متناظر با ماشین‌های ۶، ۷ و ۹ در فایل داده ورودی (شکل ۹-۴) درواقع ستون‌های متناظر با ماشین‌های اضافی نوع ۰۲۰۲۹ و ۰۲۰۳۰ هستند. به‌علاوه، ستون‌های ۶ و ۷ مشابه ستون ۵ هستند و ستون ۹ مشابه ستون ۸ است. ستون‌های ۱، ۲، ۳، ۴، ۵ و ۸ به‌ترتیب متناظر با ماشین‌های ۰۱۲۰۴، ۰۲۰۰۸، ۰۲۰۱۴، ۰۲۰۲۳، ۰۲۰۲۹ و ۰۲۰۳۰ است. بنابراین هر ماشین، ستون مربوط به خودش را دارد.

در بخش ۸-۱، ما متذکر شدیم که هرگاه یک قطعه از یک ماشین بیش از یک‌بار عبور کند، نه به‌صورت متوالی، درایه متناظر با آن در ماتریس قطعه-ماشین بایستی به‌صورت بردار تعریف شود. این کار باعث می‌شود که نیازمندی‌های ذخیره‌سازی و حافظه، بالا رود زیرا یک بردار را در داخل یک ماتریس ذخیره می‌کنیم. بنابراین ما نظریه دیگر پیشنهادشده توسط (Heragu and Kakuturi (1997 را استفاده می‌کنیم. چون قطعه نوع ۴ از ماشین نوع ۲ برای اولین و سومین عملیاتش عبور می‌کند، یک ستون مجازی متناظر با ماشین ۲ اضافه می‌کنیم (سومین و آخرین ستون ماتریس قطعه-ماشین در فایل داده ورودی در شکل ۹-۴ را ببینید) و در آن ستون نشان می‌دهیم که سومین عملیات توسط ماشین نوع ۲ صورت می‌گیرد. این ستون مجازی تنها برای محاسبه جریان بین ماشین‌آلات استفاده می‌شود. این رویکرد نه تنها به ما این امکان را

می‌دهد تا اطلاعات مربوط به عملیات غیرمتوالی را به‌دست آوریم بلکه این کار را با حداقل تغییرات در ماتریس و نیازمندی‌های حافظه انجام می‌دهد (توجه داشته‌باشید که اضافه کردن یک ستون به ماتریس بسیار کاراتر است از ذخیره کردن یک بردار در داخل ماتریس). همچنین، همان‌طور که در بخش ۸-۱ ذکر شد، بهتر است تا طراحی یا مسیریابی را به‌گونه‌ای تصحیح کرد که قطعات از ماشین‌آلات یکسان برای عملیات غیرمتوالی عبور نکنند زیرا این کار، زمان راه‌اندازی را به‌طور قابل ملاحظه‌ای کاهش می‌دهد. اگرچه قطعه نوع ۱۵ نیازمند ۲ عملیات بر روی ماشین نوع ۸ است، ما ۲ عملیات را به‌صورت یک عمل واحد در نظر می‌گیریم. این کار، تأثیری بر روی ماتریس جریان ندارد چون هیچ جابجایی موادی وجود ندارد، و قطعه روی همان ماشین بین دو عملیات قرار می‌گیرد.

ماتریس دوم در شکل ۹-۴ (که ماتریس فرایند جزئی نامیده می‌شود) جزئی از هر نوع قطعه را نشان می‌دهد که از هر واحد از هر نوع ماشین عبور می‌کند. یک درایه با مقدار ۰ (یا خالی) نشان می‌دهد که قطعه از ماشین عبور نمی‌کند و مقدار ۱ نشان می‌دهد که ۱۰۰٪ این نوع قطعه بر روی ماشین متناظر پردازش می‌شود. ماتریس سوم، ماتریس هزینه جابه‌جایی مواد، هزینه جابه‌جایی واحد بار را در واحد مسافت بین هر جفت از ماشین‌آلات نشان می‌دهد. داده‌ها از جدول ۹-۲ به‌دست آمده‌اند و هزینه‌های نسبی را نشان می‌دهند چون هزینه‌های واقعی در دسترس نیستند. ماتریس چهارم، ماتریس شاخص روابط، می‌گوید که آیا محدودیت‌های همسایگی خاصی برای جفت ماشین‌آلات وجود دارد یا نه. مقدار ۱ (۳) در این ماتریس نشان می‌دهد که جفت متناظر باید (نباید) در یک سلول قرار داده‌شوند. ۰ هیچ رابطه همسایگی خاصی را نشان نمی‌دهد و در این حالت، جای‌گیری جفت ماشین‌آلات بایستی توسط الگوریتم چیدمان مشخص شود. توجه کنید که هیچ رابطه همسایگی خاصی در این مسئله وجود ندارد.

حداکثر تعداد ماشین‌آلات موجود در یک سلول، فرض می‌شود سه باشد. ابعاد ماشین‌آلات از نقشه CAD چیدمان به‌دست آمده است که البته اصلاح شده است و ۲

نوع اصلی حالی از هر طرف، برای محل کار، ذخیره تالاب، ابزارها و میره لیر در نظر گرفته شده است. ابعاد بازنگری شده ماشین‌آلات در خط آخر فایل داده ورودی در

شکل ۹-۴ آمده است.

Number of machines	9	
Number of parts	20	
Number of dummy machines	1	
Machine names	1	01204
	2	02008
	3	02014
	4	02023
	5	02029A
	6	02029B
	7	02029C
	8	02030A
	9	02030B
Part names	1	115110
	2	176022
	3	176023
	4	177007
	5	201052
	6	202102-501
	7	202103
	8	203009
	9	209001
	10	210001
	11	217002-2
	12	236235
	13	270071-501
	14	270080-501
	15	280011
	16	280024
	17	30130
	18	324008
	19	325003
	20	328008

ماتریس هزینه جابه‌جایی مواد									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	0	2	2	2	2	2	2	2	2
2	1	0	1	1	1	1	1	1	1
3	3	3	0	3	3	3	3	3	3
4	1	1	3	0	2	2	2	3	3
5	1	1	1	1	0	1	1	1	1
6	1	1	1	1	1	0	1	1	1
7	1	1	1	1	1	1	0	1	1
8	2	2	2	2	2	2	2	0	2
9	2	2	2	2	2	2	2	2	0

شکل ۹-۴. فایل داده‌های ورودی برای شرکت مدیکپ (ادامه در صفحه بعد)

ماتریس شاخص عملیات قطعه-ماشین

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	2		
1	1	2									220	10
2	1	2	3								500	10
3	1	2									500	10
4		1	4	2						3	500	10
5		1	2	3							220	10
6				2				1	1		120	10
7		1		2							700	10
8			2		3	3	3	1	1		900	10
9			2		1	1	1				200	10
10		2						1	1		250	10
11			2		1	1	1				400	10
12	1	2									300	10
13			3		1	1	1	2	2		250	10
14			3		1	1	1	2	2		600	10
15								1	1		450	10
16	1	2									500	10
17				2				1	1		400	10
18				3	1	1	1	2	2		300	10
19		2			1	1	1	2	2		10	10
20				3	1	1	1	2	2		250	10

ماتریس روابط مواد

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0

شکل ۴-۲. ادامه در صفحه بعد

ماتریس عملیات جزئی

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	2
1	1	1								
2	1	1	1							
3		1								
4		1	1	1						1
5		1	1	1						
6				1				0.5	0.5	
7		1		1						
8			1		0.33	0.33	0.33	0.5	0.5	
9			1		0.33	0.33	0.33			
10		1						0.5	0.5	
11			1		0.33	0.33	0.33			
12	1	1								
13			1		0.33	0.33	0.33	0.5	0.5	
14			1		0.33	0.33	0.33	0.5	0.5	
15								0.5	0.5	
16	1	1								
17				1				0.5	0.5	
18				1	0.33	0.33	0.33	0.5	0.5	
19		1			0.33	0.33	0.33	0.5	0.5	
20				1	0.33	0.33	0.33	0.5	0.5	

۳ ماکزیمم تعداد ماشین‌آلات در هر سلول

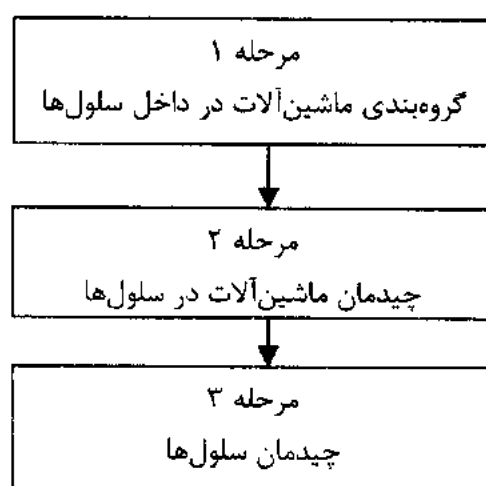
طول ماشین‌آلات ۲۰ ۲۰ ۱۵ ۲۵ ۴۵ ۴۵ ۴۵ ۲۰ ۲۰

عرض ماشین‌آلات ۱۰ ۲۵ ۱۰ ۲۰ ۱۰ ۱۰ ۱۰ ۱۵ ۱۵

شکل ۹-۴. (ادامه)

قبل از اینکه در مورد حل مسئله بحث کنیم، باید مختصراً برنامه GTLAYPC.EXE را توصیف کنیم، برنامه‌ای که نه تنها سلول‌های ماشین‌آلات (و خانواده قطعات متناظر با آنها) را مشخص می‌کند بلکه چیدمان آنها و چیدمان ماشین‌آلات را در داخل هر سلول نیز مشخص می‌کند. تا حدودی این برنامه می‌کوشد تا مسائل چیدمان و گروه‌بندی ماشین‌آلات را یکی کند. این برنامه براساس رویکرد سه مرحله‌ای است که در شکل ۹-۵ نشان داده شده است.

در مرحله اول، ماشین آلات در سلول‌ها و قطعات متناظر با آنها در خانواده قطعات گروه‌بندی می‌شوند. در مرحله دوم، چیدمان ماشین آلات در داخل سلول‌ها مشخص می‌شود. در مرحله سوم، چیدمان سلول‌ها تعیین می‌شود. برنامه تعاملی تهیه شده، چیدمان را با مقیاس مشخص نمایش می‌دهد، ابعاد سلول‌ها را محاسبه می‌کند و فضا را در چیدمان در نظر می‌گیرد و به کاربر امکان تحلیل حساسیت می‌دهد. جزئیات بیشتر در (Heragu and Kakuturi 1997) آورده شده است. در بحث زیر، خلاصه‌ای از الگوریتم استفاده شده در GTLAYPC.EXE را ارائه می‌دهیم.



شکل ۹-۵. نمودار جریان برای رویکرد سه مرحله‌ای

مرحله ۱ (گروه‌بندی ماشین‌آلات در داخل سلول‌ها) الگوریتمی که در این مرحله

استفاده می‌شود برخی از محدودیت‌های فهرست‌شده در بخش ۹-۲ را مورد توجه قرار می‌دهد: نیازهای همسایگی ماشین‌آلات باید برآورده شود، تعداد ماشین‌آلات در هر سلول نمی‌تواند از مقدار تعیین‌شده توسط کاربر بیشتر باشد و تعداد سلول‌ها نیز نمی‌تواند بیشتر از حد بالایی که توسط کاربر تعیین شده است باشد. مشخصات دیگری نیز در نظر گرفته می‌شوند مانند تشخیص ماشین‌آلات گلوگاهی، آن دسته از ماشین‌آلاتی که با افزودن آنها در سلول‌های مناسب، جابه‌جایی درون‌سلولی قطعات می‌نیم و یا حذف می‌شود، تشخیص و شناسایی قطعات استثناء، قطعاتی که بایستی به پیمانکار خارجی سپرده شوند و یا به صورت کارگاهی تولید شوند. همان‌طور که قبلاً توضیح

داده‌ایم، قطعات استثناء قطعاتی هستند که مانع از شکل‌گیری حوسه‌های مسلسل و مجرا از سلول‌های ماشین‌آلات و خانواده قطعات می‌شوند. این الگوریتم، همچنین جریان

مواد در همه گام‌ها را در نظر می‌گیرد تا به هدف خود که کاهش هزینه‌های حمل‌ونقل بین سلولی و درون سلولی مواد است دست یابد.

این الگوریتم، ابتدا جریان بین هر جفت از ماشین‌آلات را با استفاده از معادلات (۵) و (۶) در فصل ۳، تعیین می‌کند. سپس یک مجموعه اولیه از گروه‌های ماشین‌آلات و همزمان با آن، خانواده قطعات را با استفاده از الگوریتم R&CM که در بخش ۸-۳-۳ توضیح داده شد تعیین می‌کند. با این حال، در حالی که این کار را می‌کند، تضمین می‌کند که محدودیت‌های مربوط به همسایگی ماشین‌آلات برآورده می‌شود. سپس الگوریتم تعیین می‌کند که آیا تعداد ماشین‌آلات در سلول شکل گرفته شده کمتر از حد بالایی مشخص شده توسط کاربر است یا خیر. اگر این محدودیت نادیده گرفته شده باشد، سعی می‌شود تا ماشین‌آلات گلوگاهی و قطعات استثناء شناسایی شوند تا سلول (سلول‌های) بزرگ به دو یا چند سلول کوچک‌تر با اندازه مورد نیاز تقسیم شود. اگر نتوان ماشین گلوگاهی یا قطعه استثناء را تشخیص داد، ماشین‌آلات در سلول‌های بزرگ، براساس ملاحظات مربوط به جریان مواد تقسیم می‌شوند. به عبارت دیگر، الگوریتم، جفت ماشین‌آلاتی را شناسایی می‌کند که بیشترین جریان را دارند و آنها را با یکدیگر قرار می‌دهد. سپس ماشین‌آلات باقیمانده را یکی یکی به دو ماشینی که قبلاً قرار داده بود اضافه می‌کند به گونه‌ای که ماشین اضافه شده، بیشترین تعامل را با ماشین‌هایی که قبلاً قرار داده بود داشته باشد. این کار ادامه می‌یابد تا اندازه مورد نیاز برای سلول به دست آید. این روال برای قطعات و ماشین‌آلات باقی مانده تکرار می‌شود.

مرحله ۲ (چیدمان ماشین‌آلات در سلول‌ها) وقتی ماشین‌ها در سلول‌ها گروه‌بندی شدند، چیدمان ماشین‌آلات در داخل سلول‌ها بایستی مشخص شود. برای این هدف، از الگوریتم SA که در بخش ۷-۳-۲ از فصل ۷ بحث شد، استفاده می‌کنیم.

برای تهیه نقشه بلوک^۱ نهایی، کاربر بایستی مقادیر دو پارامتر مربوط به شکل یعنی p و q ، تعداد ردیف‌ها و ستون‌های ماشین‌آلات که کاربر در چیدمان می‌خواهد، را تعیین کند. با تغییر مقادیر این پارامترها، کاربر می‌تواند چیدمان‌های مختلفی، از نقشه بلوک دراز و باریک (چیدمان خطی) تا چیدمان مربعی تولید کند. مثلاً اگر ۶ ماشین در

یک سلول وجود دارد، بیشترین تعداد ماشین آلات در هر ردیف و ستون باید به گونه‌ای باشد که حاصل ضربشان حداقل ۶ باشد. بنابراین $p=3$ و $q=2$ امکان پذیر است. اما $p=1$ و $q=5$ موجه نیست.

نقشه بلوک هر سلولی که به دست آمد، در مقیاس مناسبی چاپ می‌شود. مقدار تابع هدف، ابعاد سلول و فواصل خالی بین ماشین آلات در سلول نیز محاسبه و چاپ می‌شود. فاصله خالی بین ماشین آلات می‌تواند به طور متقابل تعیین شود به این صورت که برنامه کامپیوتری، گزینه‌ای در اختیار کاربر بگذارد و کاربر درست قبل از تولید چیدمان، آن را تعیین کند. کاربر همچنین می‌تواند تصویر چیدمان را بزرگ کند.

اگر نقشه بلوک تهیه شده، نیازهای کاربر را برآورده نکرد (هزینه جابه‌جایی مواد خیلی بالا بود یا از فضا به اندازه کافی استفاده نشده بود یا ماشین‌آلاتی که نیاز به اپراتور مشترک دارند در کنار هم قرار نگرفته باشند) می‌توان با تغییر پارامترهای شکل برای سلول، چیدمان را تغییر داد. به عبارت دیگر مقادیر p و q می‌تواند تغییر داده شوند تا نقشه‌های بلوکی جدید ایجاد شود. بنابراین طراح می‌تواند ترکیب‌های مختلف را امتحان کند و گزینه‌ای را نگه دارد که رضایتش را بیشتر جلب می‌کند.

مرحله ۳ (چیدمان سلول‌ها) بعد از اینکه نقشه بلوک تهیه شد، ابعاد هر سلول و جریان بین سلول‌ها محاسبه می‌شود. الگوریتم ترکیبی SA که در مرحله ۲ استفاده شد، در این مرحله نیز برای تعیین چیدمان سلول‌ها استفاده می‌شود. چون تعداد سلول‌ها نسبتاً کم است، چیدمان نزدیک به بهینه برای سلول‌ها قابل تولید است.

دوباره شکل نهایی چیدمان سلول می‌تواند تغییر کند تا نیازهای کاربر را با استفاده از تغییر پارامترهای شکل برآورده کند. حتی بعد از اینکه چیدمان نهایی سلول‌ها مشخص شد، کاربر امکان تغییر چیدمان ماشین‌آلات در هر سلول را دارد. چیدمان نهایی تهیه شده توسط کاربر، نهایتاً در مقیاس مناسبی چاپ می‌شود. فایل خروجی ایجاد شده توسط برنامه در شکل ۹-۶ نشان داده شده است.

با توجه به فایل خروجی، چیدمان نشان داده شده در شکل ۹-۷ را می‌توان ساخت. اگرچه برخی قطعات می‌بایست از چندین سلول عبور کنند، (عمدتاً به خاطر محدودیت

در اندازه سلول‌ها)، کل جابه‌جایی بین سلولی می‌نیم شده است.

1. GROUP TECHNOLOGY PROGRAM WILL START

FINAL MACHINE CELLS

MACHINES IN CELL 1

MACH. NO.	MACH NAME
1	01204
2	02008
3	02014

MACHINES IN CELL 2

MACH. NO.	MACH NAME
4	02023
9	02030B
8	02030A

MACHINES IN CELL 3

MACH. NO.	MACH NAME
5	02029A
6	02029B
7	02029C

FINAL PART FAMILIES

PARTS THAT GO INTO CELL 1 ARE

PART. NO.	PART NAME
1	115110
2	176022
3	176023
12	236235
16	280024
4	177007
5	201052
7	202103
10	210001
19	325003
8	203009
9	209001
11	217002-3
13	270071-501
14	270080-501

PARTS THAT GO INTO CELL 2 ARE

PART. NO.	PART NAME
4	177007
5	201052
6	202102-501
7	202103
17	30130
18	324008
20	328008
8	203009
10	210001
13	270071-501
14	270080-501
15	280011
19	325003

شکل ۹-۶. فایل خروجی تولید شده توسط GTLAYPC.EXE برای ورودی نشان داده شده در شکل

PARTS THAT GO INTO CELL 3 ARE

PART. NO.	PART NAME
8	203009
9	210001
11	217002-3
13	270071-501
14	270080-501
18	324008
19	325003
20	328008

GROUPING OF MACHINES AND PARTS IN MATRIX FORM

	1	2	3	4	9	8	5	6	7
1	1	2	0	0	0	0	0	0	0
2	1	2	3	0	0	0	0	0	0
3	1	2	0	0	0	0	0	0	0
12	1	2	0	0	0	0	0	0	0
16	1	2	0	0	0	0	0	0	0
4	0	1	4	2	0	0	0	0	0
5	0	1	2	3	0	0	0	0	0
7	0	1	0	2	0	0	0	0	0
10	0	2	0	0	1	1	0	0	0
19	0	2	0	0	2	2	1	1	1
8	0	0	2	0	1	1	3	3	3
9	0	0	2	0	0	0	1	1	1
11	0	0	2	0	0	0	1	1	1
13	0	0	3	0	2	2	1	1	1
14	0	0	3	0	2	2	1	1	1
6	0	0	0	2	1	1	0	0	0
17	0	0	0	2	1	1	0	0	0
18	0	0	0	3	2	2	1	1	1
20	0	0	0	3	2	2	1	1	1
15	0	0	0	0	1	1	0	0	0

GROUP TECHNOLOGY PART OVER

LAYOUT OF MACHINES WITHIN CELLS WILL START NOW

DETAILS AND LAYOUT OF CELL 1

LAYOUT SCALE 1: 3.5000

TOTAL CELL LENGTH=35.00

TOTAL CELL WIDTH=35.00

OPTIMUM VALUE OF FLOW TIMES DISTANCE

FOR THE CELL IS 12620.000

POSITION	MACH NO.	MACH NAME	LENGTH	WIDTH	LAYOUT
1	2	2008 0	20.00	25.00	2 2 2 2 2 2 3 3 3 3
2	3	014 02	15.00	10.00	2 2 2 2 2 2 3 3 3 3
3	1	012004	20.00	10.00	2 2 2 2 2 2 3 3 3 3
					2 2 2 2 2 2 0 0 0 0

شکل ۹-۶ (ادامه در صفحه بعد)

2 2 2 2 2 2 0 0 0 0
 2 2 2 2 2 2 0 0 0 0
 2 2 2 2 2 2 0 0 0 0
 1 1 1 1 1 1 0 0 0 0
 1 1 1 1 1 1 0 0 0 0
 1 1 1 1 1 1 0 0 0 0

DETAILS AND LAYOUT OF CELL 2

LAYOUT SCALE 1: 4.5000
 TOTAL CELL LENGTH=45.00
 TOTAL CELL WIDTH=35.00
 OPTIMUM VALUE OF FLOW TIMES DISTANCE
 FOR THE CELL IS 7222.500

POSITION	MACH NO.	MACH NAME	LENGTH	WIDTH	LAYOUT
1	4	23 020	25.00	20.00	4 4 4 4 4 4 9 9 9 9
2	9	0B	20.00	15.00	4 4 4 4 4 4 9 9 9 9
3	8	0A 020	20.00	15.00	4 4 4 4 4 4 9 9 9 9
					4 4 4 4 4 4 0 0 0 0
					8 8 8 8 0 0 0 0 0 0
					8 8 8 8 0 0 0 0 0 0
					8 8 8 8 0 0 0 0 0 0

DETAILS AND LAYOUT OF CELL 3

LAYOUT SCALE 1: 9.0000
 TOTAL CELL LENGTH=90.00
 TOTAL CELL WIDTH=20.00
 OPTIMUM VALUE OF FLOW TIMES DISTANCE
 FOR THE CELL IS 0.000

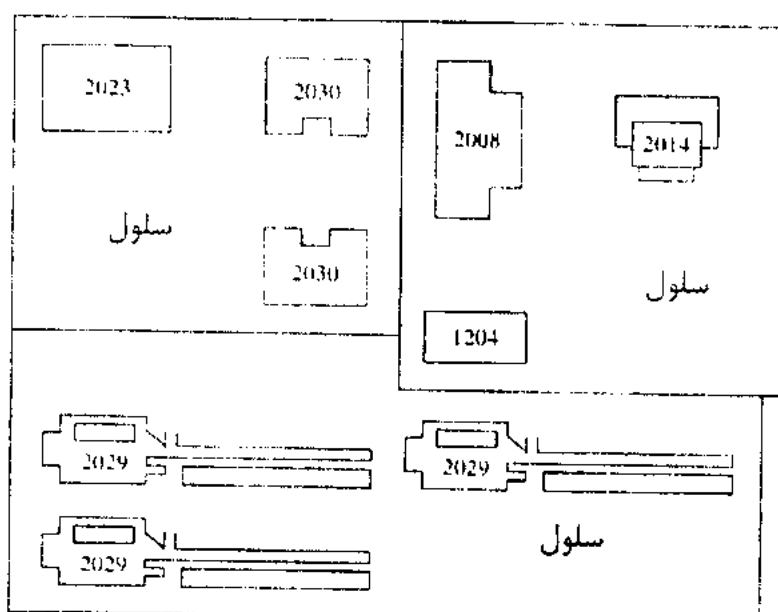
POSITION	MACH NO.	MACH NAME	LENGTH	WIDTH	LAYOUT
1	5	9A 020	45.00	10.00	5 5 5 5 5 6 6 6 6 6
2	6	9B 020	45.00	10.00	7 7 7 7 7 0 0 0 0 0
3	7	9C 020	45.00	10.00	

LAYOUT OF MACHINES WITHIN THE CELLS OVER
 LAYOUT OF FINALCELLS WILL START NOW

DETAILS AND FINAL LAYOUT OF ALL CELLS

FINAL LAYOUT SCALE 1: 9.0000
 TOTAL FINAL LAYOUT LENGTH=90.00
 TOTAL FINAL LAYOUT WIDTH=55.00
 OPTIMUM VALUE OF FLOW TIMES DISTANCE
 FOR THE FINAL LAYOUT IS58511.55

POSITION	CELL. NO.	LENGTH	WIDTH	FINAL LAYOUT
1	2	35.00	35.00	2 2 2 2 2 1 1 1 1 0
2	1	45.00	35.00	2 2 2 2 2 1 1 1 1 0
3	3	90.00	20.00	2 2 2 2 2 1 1 1 1 0
				2 2 2 2 2 1 1 1 1 0
				3 3 3 3 3 3 3 3 3 3
				3 3 3 3 3 3 3 3 3 3



شکل ۹-۷. چیدمان توسعه یافته با استفاده از خروجی نشان داده شده در شکل ۹-۶

۹-۴ رویکرد بهینه‌یابی برای حل مسائل طراحی CMS

همان‌طور که قبلاً گفته شد، مخصوصاً در فصل ۸، ما ابتدا به تعیین ساختار بلوک قطری از طریق ماتریس شاخص عملیات قطعه-ماشین می‌پردازیم به گونه‌ای که تعداد عناصر غیرصفری که خارج از بلوک قطری نهایی هستند را می‌نیمیم کنیم. به عبارت دیگر، ما سعی می‌کنیم نیاز قطعه به عبور از سلول‌های دوم و یا سوم را می‌نیمیم کنیم. مثلاً ماتریس شکل ۹-۸ الف را در نظر بگیرید. ما به راه‌حلی که نتیجه آن، بلوک قطری شکل ۹-۸ ب است دست یافتیم.

علاوه بر می‌نیم کردن تعداد عناصر غیرصفری که خارج از بلوک قطری هستند، گاهی اوقات مطلوب است تا تعداد عناصر صفر داخل بلوک‌ها را می‌نیمیم کنیم. این کار زمانی اهمیت پیدا می‌کند که بخواهیم بهره‌برداری از منابع (ماشین‌آلات) موجود در سلولی که هر قطعه از آن عبور می‌کند را ماکزیمیم کنیم. در این بخش، ما مدل ریاضی‌ای را ارائه می‌کنیم که به‌وضوح سعی دارد تا تعداد عناصر غیر صفر خارج از بلوک قطری و همچنین تعداد عناصر صفر داخل آن را می‌نیمیم کند. این الگوریتم همچنین دو جنبه بحرانی از مسائل طراحی CMS را در نظر می‌گیرد. اول، مسیرهای مختلف و متعدد است. برخلاف سیستم‌های تولید سستی که در آن هر قطعه عملاً تنها یک مسیر یا برنامه فرایند دارد، در سیستم‌های تولید پیشرفته، در نظر گرفتن مسیرهای

مختلف باعث انعطاف‌پذیری در برنامه‌ریزی می‌شود و به ما این امکان را می‌دهد تا نرخ

عملکرد را بهبود بخشیم. مثلاً اگر یک قطعه، چندین برنامه فرایند داشته باشد و یکی از ماشین‌آلات برنامه فرایند مشغول و یا خراب باشد، ما قادر خواهیم بود تا مسیر قطعه را با استفاده از برنامه دیگر تغییر دهیم. جنبه دوم مسائل طراحی CMS شامل بسیاری از محدودیت‌های عملی فهرست شده در بخش ۹-۲ است.

قطعه	ماشین					ماشین				
	1	2	3	4	5	1	3	5	2	4
1	0	1	0	1	0	2	1	1	0	0
2	1	0	1	0	1	4	1	1	0	0
3	0	1	1	1	0	5	1	0	1	0
4	1	0	1	0	0	1	0	0	1	1
5	1	0	0	0	1	3	0	1	0	1

(الف)

(ب)

شکل ۹-۱. نمونه‌ای از ماتریس شاخص عملیات قطعه-ماشین و تشکیل خوشه‌ها

۹-۴-۱ توضیح مدل

مدلی که در این قسمت ارائه می‌شود، تجدیدنظر شده نسخه مدل برنامه‌ریزی غیرخطی عدد صحیح مختلط است که در (Adil, Rajamani, and Strong (1996 آورده شده است. هدف آن، می‌نیمم کردن هزینه حمل‌ونقل بین سلولی مواد و دیگر هزینه‌های مرتبط با بهره‌برداری همه قطعات از منابع در هر سلول است. فرضیات این مدل عبارتند از: (۱) ترکیب محصولات و تقاضا برای هر محصول، از قبل مشخص است. (۲) نیازمندی‌های عملیاتی برای هر قطعه مشخص است و (۳) انواع ماشین‌آلات و تعداد مورد نیاز از هر یک در دسترس است. هنگامی که مدل حل شد، خانواده قطعات و سلول‌های ماشین‌آلات همزمان تعیین می‌شوند.

در این مدل از علائم ذیل استفاده می‌شود:

پارامترها:

i : اندیس قطعه

j : اندیس ماشین

k : اندیس سلول

$$a_{ij} = \begin{cases} = 0 & \text{اگر ماشین } j \text{ برای قطعه } i \text{ مورد نیاز نباشد} \\ \leq 1 & \text{در غیر این صورت} \end{cases}$$

- c_i : هزینه جابه‌جایی بین سلولی به ازاء واحد قطعه i
- v_i : تعداد واحدهای قطعه i
- u_{ij} : هزینه قطعه i زمانی که از ماشین j استفاده نمی‌کند
- o_{ij} : تعداد دفعاتی که لازم است قطعه i از ماشین j عبور کند
- M_{max} : ماکزیمم تعداد ماشین‌آلاتی که اجازه دارند در یک سلول قرار گیرند
- M_{min} : می‌نیمم تعداد ماشین‌آلاتی که بایستی در یک سلول قرار گیرند
- C_u : ماکزیمم تعداد سلول‌ها
- S_1 : مجموعه جفت ماشین‌آلاتی که نمی‌توانند در یک سلول همزمان با هم قرار گیرند
- S_2 : مجموعه جفت ماشین‌آلاتی که بایستی در یک سلول قرار گیرند
- np : کل تعداد انواع قطعات
- nm : کل تعداد ماشین‌آلات

متغیرهای تصمیم

$$x_{ik} = \begin{cases} = 0 & \text{اگر بر روی قطعه } i \text{ در سلول } k \text{ عملیاتی انجام نشود} \\ \leq 1 & \text{در غیر این صورت} \end{cases}$$

$$y_{jk} = \begin{cases} 0 & \text{اگر ماشین } j \text{ در سلول } k \text{ نباشد} \\ 1 & \text{در غیر این صورت} \end{cases}$$

قبل از اینکه مدل را ارائه دهیم، ۶ نکته را با توجه به فرضیات فصل ۸ که در فصل ۹ نیز تکرار شد، خاطر نشان می‌کنیم.

اولاً، عناصر ماتریس قطعه-ماشین، a_{ij} ها، متغیرهای حقیقی بین صفر و یک در نظر گرفته می‌شوند که این امر به ما اجازه می‌دهد که مسیرهای مختلفی در مدل داشته باشیم. مثلاً اگر قطعه ۱ دو مسیر داشته باشد که اولی از طریق عبور از ماشین‌های ۱، ۳، ۵ و دومی عبور از ماشین‌های ۱، ۴، ۵ و احتمال استفاده از هر یک از مسیرها به ترتیب برابر با ۰.۸ و ۰.۲ باشد، در ماتریس قطعه-ماشین خواهیم داشت: $a_{11} = 1$, $a_{13} = 0.8$, $a_{14} = 0.2$, $a_{15} = 1$

ثانیاً، بسام عادی است از یک نوع ماشین، در دنیای واقعی بیش از یک عدد داشته باشیم. با قرار دادن ماشین‌آلات به‌طور مناسب در سلول‌های مختلف، می‌توان سلول‌های

ماشین آلات و خانواده قطعات را به گونه ای تعیین کرد که تعداد عناصر استثناء می نیمم شود. درواقع، در بسیاری از مقالات به سازندگان پیشنهاد می شود که از هر نوع ماشین چند تا داشته باشند و چگونه به صورت مناسب در سلول ها قرار دهند تا عناصر استثناء را می نیمم کنند و در نتیجه هزینه جابه جایی بین سلولی مواد را کاهش دهند [برای مثال، Seifoddini and Wolfe (1986) را ببینید]. چنین رویکردی، که سرمایه گذاری بالا برای می نیمم کردن هزینه های عملیاتی کوچک نامیده می شود، ممکن است عملی به نظر نرسد، و دلیل اصلی برای داشتن ماشین آلات متعدد این است که اطمینان حاصل کنیم که ظرفیت کافی برای پردازش بر روی همه قطعات وجود دارد. ما، در تحلیلیمان در مورد مسائل طراحی CMS، ابتدا تعداد ماشین آلات مورد نیاز از هر نوع که برای ارضاء محدودیت ظرفیت نیاز داریم را تعیین می کنیم و سپس با تعدادی از آنها برای طراحی یک CMS کار می کنیم.

ثالثاً، فرض می کنیم که تعداد سلول ها از قبل تعیین نشده اند. در عمل، طراحان معمولاً تعداد مناسب سلول ها برای طراحی CMS را نمی دانند، بنابراین تعیین حدی برای تعداد سلول ها، کمی غیر واقعی است. در رویکرد ما، تعداد بهینه سلول ها از طریق مدل تعیین می شود و برابر است با تعداد سلول های تخصیص داده شده اولیه منهای تعداد سلول های خالی که در پاسخ، مشخص خواهند شد. تعداد سلول های تخصیص داده شده اولیه عبارتست از هر تعدادی کمتر یا مساوی با حداکثر تعداد ماشین آلات در مسئله، زیرا هیچ وقت تعداد سلول ها نمی تواند بیشتر از ماشین آلات باشد.

رابعاً، در این مدل، ما فرض می کنیم که هزینه جابه جایی درون سلولی برای هر قطعه مفروض، بین هر جفت از سلول ها برابر است. لازم نیست که این هزینه برای همه قطعات یکسان باشد زیرا بستگی به تجهیزات حمل و نقل مواد دارد که ممکن است برای قطعات مختلف، متفاوت باشد. با وجود اینکه مدل ما، از فاصله بین سلول ها چشم پوشی می کند، چنین چیزی، باعث به وجود آمدن مشکل جدیدی نخواهد شد زیرا هزینه ثابت مربوط به جابه جایی مواد به قدری زیاد است که این متغیر (فاصله) معمولاً در مقابل آن، بسیار کوچک است. اگر در مسئله ای، چنین چیزی مهم نباشد، می توانیم وزن داده شده به جابه جایی بین سلولی در تابع هدف را کاهش دهیم. همچنین تعداد جابه جایی های بین سلولی معمولاً کم است. علاوه بر این، چون چیدمان سلول ها در این

مرحله هنوز مشخص نیستند. تعیین دقیق هزینه جابه‌جایی بین سلولی غیرممکن است. خامساً، مدل ما این امکان را می‌دهد که پردازش بر روی تعدادی قطعه از یک نوع، در یک سلول انجام شود و بقیه آنها در سلول‌های دیگر پردازش شوند. در فصل ۸ تلاش کردیم تا راه‌حلی ارائه دهیم که در آن، همه قطعات از یک نوع، در یک سلول پردازش شوند. این کار ممکن است محدودیت زیادی برای ما ایجاد کند و مانع از بهره‌برداری مناسب از برنامه‌های فرآیندی مختلف شود. همان‌طور که قبلاً گفته شد، ممکن است گاهی اوقات، هدایت تعدادی از قطعات از یک نوع به سلول ثانویه، اگر ماشین در سلول اولیه مشغول کار باشد یا برای تعمیرات غیرفعال باشد، مناسب و سودآور باشد. بنابراین متغیر تصمیم x_{ik} می‌تواند هر مقداری بین صفر و یک اختیار کند تا احتمال پردازش بر روی قطعه i در سلول k را نشان دهد. مزیت اصلی مدل ما، حذف محدودیت عدد صحیح بودن بر روی تعداد زیادی از متغیرها است و در نتیجه حل مدل را بسیار آسان‌تر می‌کند. بنابراین تعداد متغیرهای عدد صحیح در مسئله، به تعداد ماشین‌آلات و سلول‌ها بستگی دارد نه تعداد قطعات.

سادساً، اگرچه z_{it} برای هر جفت قطعه-ماشین تعریف شده است، هزینه متناظر با آن تنها زمانی اتفاق می‌افتد که قطعه i و ماشین j در یک سلول قرار گرفته باشند و همچنین قطعه i نیاز به ماشین j برای پردازش نداشته باشد. در ادامه، مدل نشان داده شده است:

مدل ۱

$$\text{Minimize} \quad \sum_{i=1}^{np} \sum_{j=1}^{nm} \sum_{k=1}^{C_u} c_i v_i o_{ij} a_{ij} x_{ik} (1 - y_{jk}) + \sum_{i=1}^{np} \sum_{j=1}^{nm} \sum_{k=1}^{C_u} u_{ij} (1 - a_{ij}) x_{ik} y_{jk} \quad (1)$$

$$\text{Subject to} \quad \sum_{k=1}^{C_u} x_{ik} = 1 \quad i = 1, 2, \dots, np \quad (2)$$

$$\sum_{k=1}^{C_u} y_{jk} = 1 \quad j = 1, 2, \dots, nm \quad (3)$$

$$y_{sk} + y_{tk} \leq 1 \quad k = 1, 2, \dots, C_u \quad \{s, t\} \in S_1 \quad (4)$$

$$y_{sk} - y_{tk} = 0 \quad k = 1, 2, \dots, C_u \quad \{s, t\} \in S_2$$



$$M_{\min} \leq \sum_{j=1}^{nm} y_{jk} \leq M_{\max} \quad k = 1, 2, \dots, C_u \quad (6)$$

$$0 \leq x_{ik} \leq 1 \quad i = 1, 2, \dots, np, \quad k = 1, 2, \dots, C_u \quad (7)$$

$$y_{jk} \text{ متغیرهای دودویی } j = 1, 2, \dots, nm, \quad k = 1, 2, \dots, C_u \quad (8)$$

تابع هدف (۱)، مجموع هزینه‌های مربوط به جابه‌جایی بین سلولی و هزینه عدم بهره‌برداری از منابع را می‌نیم می‌کند. محدودیت (۲) این امکان را می‌دهد که یک قطعه مفروض در چندین سلول پردازش شود. محدودیت (۳) بیان می‌کند که هر ماشین را تنها می‌توان به یک سلول تخصیص داد و محدودیت (۴) تضمین می‌کند که جفت ماشین‌آلاتی که در ik هستند، در یک سلول قرار نمی‌گیرند. به‌طور مشابه، محدودیت (۵) تضمین می‌کند که جفت ماشین‌آلاتی که در jk هستند، در یک سلول قرار نمی‌گیرند. محدودیت (۶) حداکثر و حداقل تعداد ماشین‌آلاتی که در یک سلول قرار می‌گیرند را مشخص می‌کند. متأسفانه مدل ۱ غیرخطی است و حل مدل‌های غیرخطی به‌صورت بهینه بسیار سخت‌تر از حل مدل‌های خطی است. ما مدل را این‌بار دوباره فرمول‌بندی می‌کنیم و به‌صورت مدل برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح مختلط در می‌آوریم. این کار را از طریق تعریف مجموعه جدیدی از متغیرها (z_{ijk}) برای جای‌گزینی با حاصل ضرب $x_{ik}y_{jk}$ انجام می‌دهیم.

مدل ۲

$$\text{Minimize} \quad \sum_{i=1}^{np} \sum_{j=1}^{nm} \sum_{k=1}^{C_u} c_i v_i o_{ij} a_{ij} x_{ik} + \sum_{i=1}^{np} \sum_{j=1}^{nm} \sum_{k=1}^{C_u} [u_{ij}(1-a_{ij}) - c_i v_i o_{ij} a_{ij}] z_{ijk} \quad (9)$$

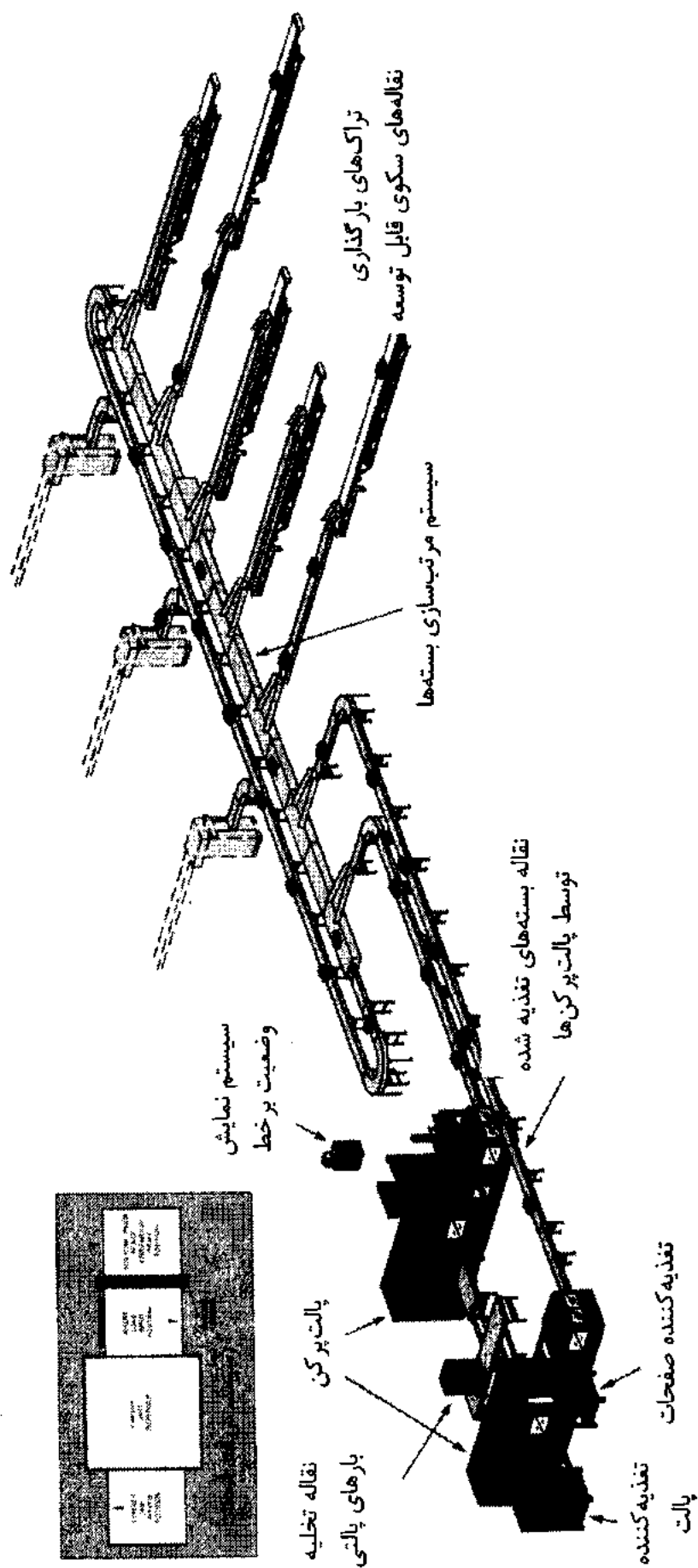
Subject to محدودیت‌های ۲ تا ۸

$$z_{ijk} \leq x_{ik} \quad i = 1, 2, \dots, np, j = 1, 2, \dots, nm \quad (10)$$

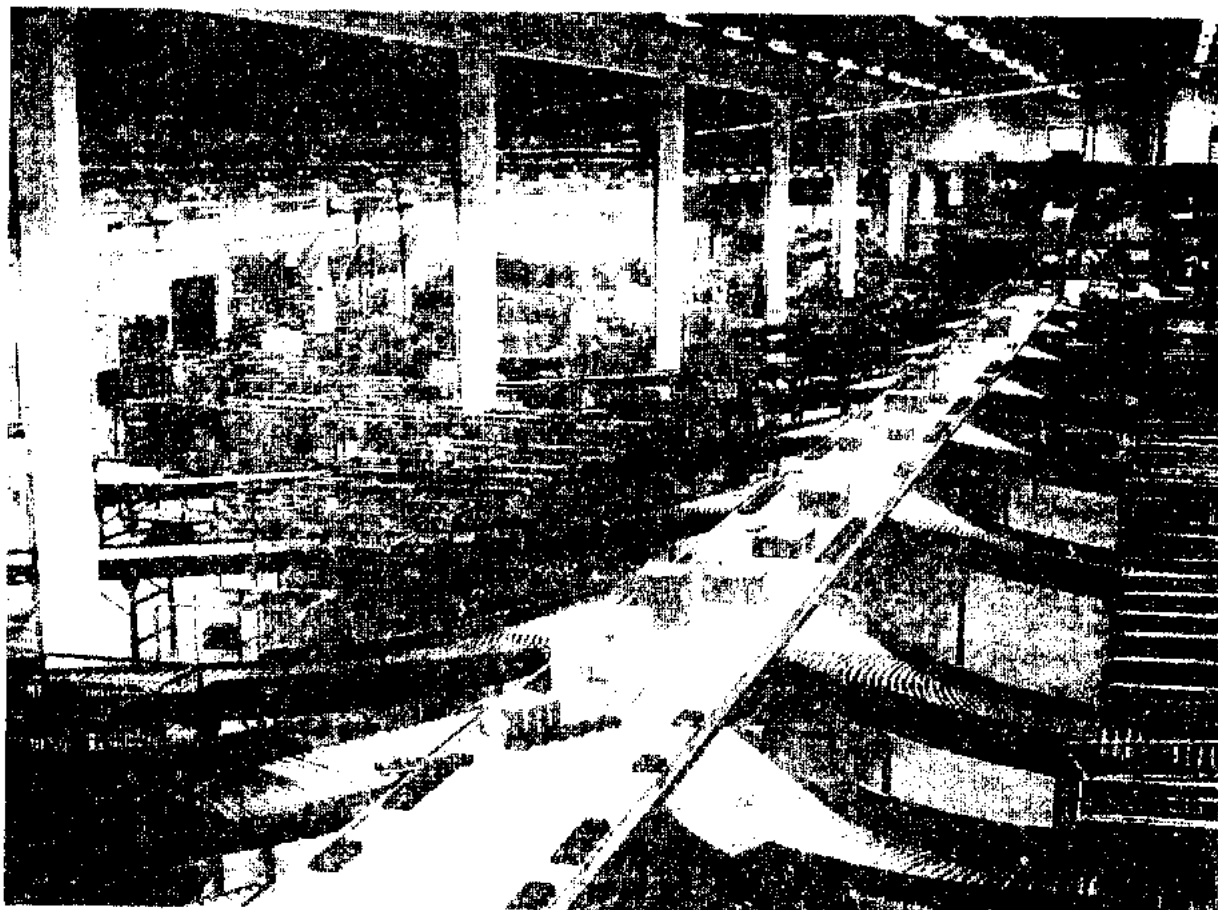
$$k = 1, 2, \dots, C_u \quad (11)$$

$$z_{ijk} \leq y_{jk} \quad i = 1, 2, \dots, np, j = 1, 2, \dots, nm$$

$$k = 1, 2, \dots, C_u \quad (12)$$



شکل ۱-۱۱. سیستم حمل مواد اتوماتیک با پالت‌پرکن‌ها و مرتب‌کننده‌ها و ترکیب‌کننده‌ها



شکل ۱۱-۲. نقاله‌های استفاده شده در کاربردهای ذخیره‌سازی

در واحد حمل بسته نشان داده شده در شکل ۱۱-۲، بسته‌ها بنابر مسیرهای مختلفی که قرار است طی کنند به نقاله‌های کناره‌ای هدایت می‌شوند. البته توجه روی جای قرار دادن بسته‌ها روی نقاله‌ها در جهت مناسب و سهولت انتقال بسته‌ها را در شکل نشان می‌دهد. این نقاله‌های کناره‌ای مناسب و قابل توسعه با نقاله‌های سکو هستند (که در شکل ۱۱-۱ نشان داده نشده‌اند ولی مانند همان واحد نشان داده شده هستند). و به این طریق می‌تواند بسته‌های در انتظار معامله را بارگیری کند. چنانچه در فعالیت‌هایی که از روش‌های مناسب در تهیه مقادیر مناسب از مواد مناسب و در جای مناسب استفاده می‌کنند.

این تعریف به ما می‌گوید که ما می‌توانیم به وظیفه انتقال مواد با یک دید سیستمی وسیع که در نتیجه فعالیت‌های انتقال ساده مواد است نگاه کنیم. بدین وسیله گاهی اوقات ممکن است نقاله‌های درونی مطابق با پیشرفت مسیر یک بخش سودمند باشد،

اگر نرخ پردازش از پیشرفت فرآیند کندتر باشد. وقتی MHS برای انتقال بخش‌ها استفاده می‌شود که خط خوب بالانس شده باشد.

نقاله‌های طولانی فقط می‌توانند در شرایطی استفاده شوند که یک یا چند تا از این وضعیت‌ها موجود باشند:

۱. نرخ پردازش ایستگاه بعدی نمی‌تواند بیشتر شود.
۲. کاهش نرخ پردازش ایستگاه قبلی خوشایند نیست.
۳. افزایش طول نقاله نسبتاً ارزان و مکان لازم برای این افزایش در دسترس باشد.

با در نظر گرفتن رویکرد سیستمی در انتقال مواد، ما باید این نکته را در ذهن مورد توجه قرار دهیم که، بنابر محصولی که قرار است حمل گردد، ۲۰٪ تا ۷۰٪ قیمت محصولات می‌تواند به قیمت انتقال مواد مربوط باشد. هدف ما در اختصاص دادن یک MHS نباید تنها مینیم کردن هزینه‌ها و قابل استفاده کردن طرح باشد بلکه همچنین باید به سیستمی دست یافت که پشتیبانی مؤثری از همه فعالیت‌های بستر کارگاه بکند.

در جدول ۱۱-۱، ۲۰ قانون مهم انتقال مواد که توسط دانشگاه مشاور صنعت در انتقال مواد تهیه شده است، آمده است.

Apple (1971) پیشنهاد یک معادله انتقال مواد، برای رسیدن به یک راه‌حل مناسب در انتقال مواد را پیشنهاد کرد. همان‌طوری که در شکل ۱۱-۳ نشان داده شده است، فرآیندهای پیچیده ملزم به دادن جواب به ۶ سؤال عمده هستند: چه (تجهیزات انتقال موادی را انتخاب کرده‌اید)، چه مقدار (مواد جابجا می‌شوند)، از کجا و چه وقت (حرکت داده می‌شوند)، چگونه (حرکت‌ها ساخته می‌شوند)، و چه کسی (حرکت را خواهد ساخت).

همه این سؤالات خیلی مهم هستند و باید جواب‌های رضایت‌بخشی به آنها داده شود، یا اینکه ما می‌توانیم با یک راه‌حل انتقال مواد نا مرغوب آن را تمام کنیم. در حقیقت، سابقاً تحلیل گران راه‌حل‌های نامرغوبی را مطرح و پیشنهاد می‌کردند، زیرا آنها مستقیماً از سؤال چه به چگونه جهش می‌کردند (Apple 1977).

همان‌طور که در شکل ۱۱-۳ نشان داده شده است، معادله انتقال مواد می‌تواند مانند

معادله ذیل تعیین گردد: مواد + حرکت = روش

خیلی اوقات تحلیل کامل از مواد و وضعیت حرکت خود به خود، روش مناسب انتقال مواد را آشکار می‌سازد. برای مثال، تحلیل نوع و مشخصات مواد ممکن است مشخص کند که مواد یک بخشی وسیعی از پالت‌های چوبی را پر می‌کنند، به علاوه تحلیل تدارکات، مشخصات، و نوع حرکت ممکن است نشان دهد که برای بارگیری و تخلیه بار به ۲۰ فوت بالاتر احتیاج است، در حالی که مسافتی که حرکت می‌کند برابر

جدول ۱-۱: قوانین انتقال مواد

قانون	مفهوم
جهت‌یابی برنامه ریزی	مطالعه کاملی از مسئله و شناخت فضاها، محدودیت‌ها، و اهداف مسئله توسعه طرحی که نیازهای اصلی ما را می‌یابد، انعطاف پذیر است و شامل ترکیب‌های مناسب است
نظام‌ها واحد بار	مجموعه کردن چندین فعالیت برای دریافت، حمل و تولید دسته‌ای ساخت بزرگترین اندازه ممکن واحد بار
فضای بهره‌برداری طبقه‌بندی فاکتورهای انسانی	به کارگیری فضای مکعبی قابل اجرایی که امکان پذیر است طبقه‌بندی تجهیزات و روش‌ها در کدام قسمت امکان پذیر است طرح فاکتورهای انسانی و روش‌هایی که اجازه اثر متقابل و مؤثر میان انسان‌ها و ماشین‌آلات را می‌دهد
انرژی زیست‌شناسی	چه وقت قیمت‌ها و بازرسی تقاضاهای انرژی در تجهیزات انتقال ارزیابی می‌شود تا حد امکان، استفاده از روش‌ها و تجهیزاتی که اثر ناسازگاری در محیط را مینیمم می‌کند
مکانیزه کردن انعطاف‌پذیری ساده‌سازی	چه موقع امکان، مکانیزه کردن روش‌ها در دستیابی به بهره‌وری است استفاده از روش‌ها و تجهیزاتی که انعطاف‌پذیری را زیاد می‌کند ساده کردن، ترکیب کردن، و یا در صورت امکان، حذف حرکات یا تجهیزات غیر ضروری
جاذبه	تا حد امکان استفاده بیشتر از جاذبه در انتقال مواد، نگهداری و امنیت کامل از خسارت محصول
ایمنی کامپیوتری کردن سیستم جریان طرح‌بندی هزینه	استفاده بی خطر از تجهیزات و روش‌های انتقال در حد امکان، کامپیوتری کردن برای دستیابی بهتر مواد، و کنترل اطلاعات مجموعه کردن جریان اطلاعات و مواد ارزیابی همه طرح‌ها و انتخاب مؤثرترین و کارآمدترین آنها ارزیابی همه طرح‌ها و انتخاب یکی بر اساس هزینه بر واحد کالای حمل شده
تعمیرات و نگهداری متروک شدن	نمایش موانع تعمیرات و نگهداری توسعه طرح تفویض تجهیزات منبسطی بر به روز بودن

منبع: دانشگاه مشاور صنعت در آموزش انتقال مواد

۱۰۰ فوت است، و یک سری مانور برای حمل واحد بار لازم است، که در این مورد پیشنهاد استفاده از یک لیفتراک چنگکی^۱، یک MHD مناسب خواهد بود. حتی ممکن است آنالیز بعدی^۲ اطلاعات بیشتری در مورد لیفتراک چنگکی به ما بدهد. برای مثال: در یک راهروی دراز و باریک، استفاده از لیفتراک چنگکی، برای بلند کردن جعبه‌هایی تا وزن ۲۰۰ پوند بسیار مناسب است.

۱۱-۲ طرح واحد بار

اگر چه تمام قوانین فهرست شده در جدول ۱۱-۱ بسیار مهم هستند، یکی از مباحثی که شایستگی بحث ویژه را دارد قانون واحد بار است. یک واحد بار ممکن است برای انتخاب و حمل بار با توجه به بخش‌ها یا حجم مواد چیده شده، تعریف شده باشد (Apple 1977).

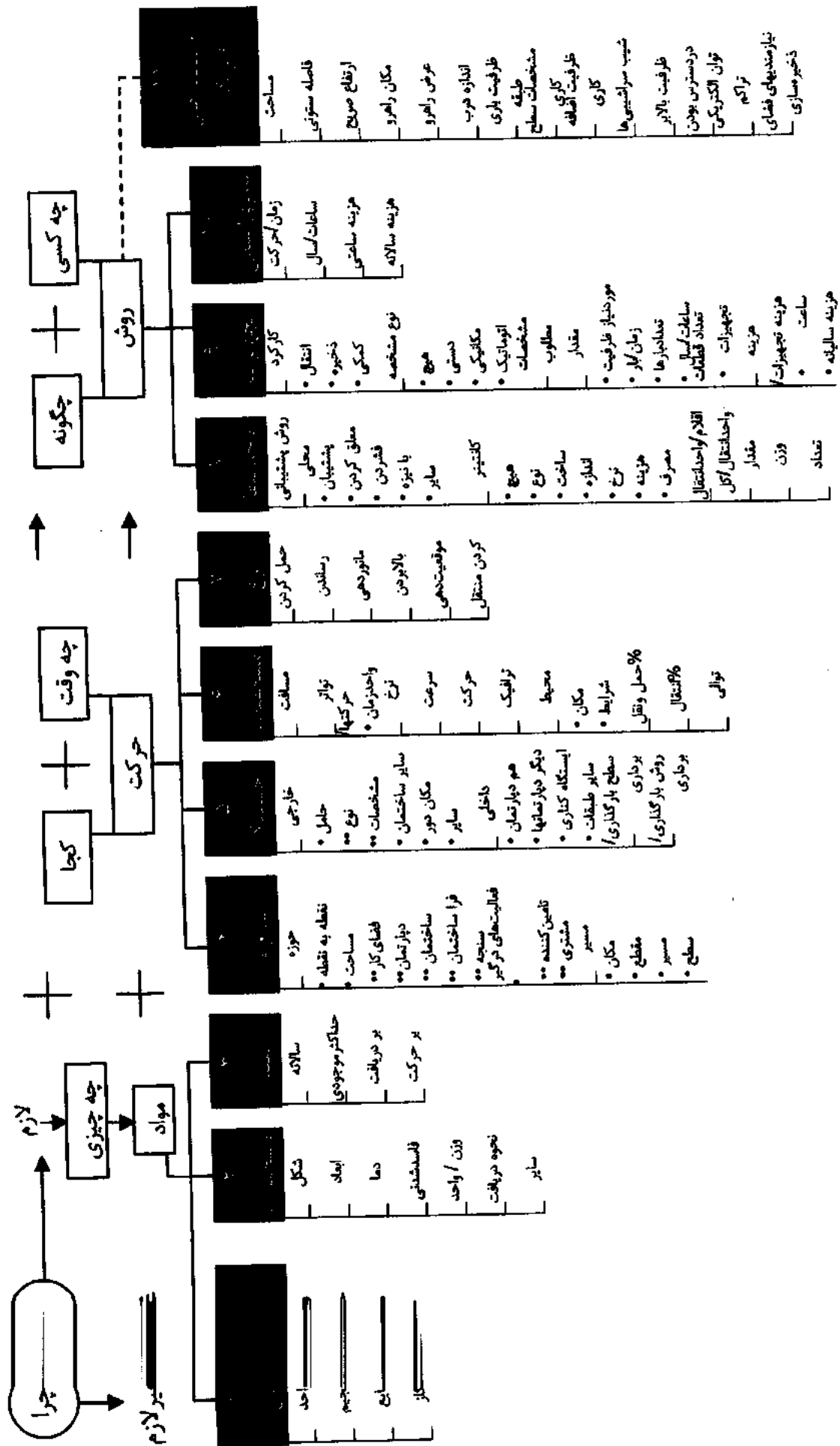
مفهوم آن این است که واحد بار برای انتقال دستی مواد بسیار بزرگ است. به‌طور کلی، با واحد بار بزرگتر، هزینه هر واحد حمل دستی پائین‌تر خواهد بود. عوامل دیگر ممکن است به کوچک‌ترین واحد بار توجه کنند.

تخصیص یک واحد بار یک وظیفه ناچیز و جزئی نیست. برای افزایش اندازه و شکل واحد بار، ما به دستگاه‌ها و نوع پالت‌ها یا ظروفی که برای انتقال واحد بار استفاده خواهند شد.

شکل انبارش در بخش‌هایی که قطعات در بسته‌ها و تسمه فلزی جمع خواهند شد، نوع و اندازه پالت‌پرکن و تخته کن پالت اتوماتیک استفاده خواهد شد و پیاده‌سازی واحدهای بار و... احتیاج داریم.

(Apple 1977) بر ۷ گام طرح واحد بار اشاره کرد:

- ۱- تعیین اینکه چه مقدار واحد باری قابل اجرا است.
- ۲- انتخاب نوع واحد بار.
- ۳- شناسایی دورترین منبع از یک واحد بار ذخیره.
- ۴- تعیین دورترین مقصد قابل اجرا برای واحد بار.



شکل ۱۱-۳. معادله انتقال مواد

- ۵- تعیین اندازه واحد بار.
- ۶- تعیین وضعیت پیکربندی واحد بار.
- ۷- تعیین چگونگی ساختن واحد بار.

ظروف و پالت‌ها، اصلی‌ترین کاربرد را در نگهداری اقلام در یک واحد بار مواد ساخته شده تغییرپذیر یا چوبی، می‌توانند داشته باشند. اگر چه پالت‌های چوبی به‌طور عادی در ساخت و توزیع استفاده می‌شوند. (شکل ۱۱-۴ را نگاه کنید). بعضی از انواع پالت‌ها می‌توانند وقتی که استفاده نمی‌شوند، کوچک و پهن شوند و فضای کمتری را اشغال کنند. در ترکیب ظروف و پالت‌ها، انتقال صندوق‌ها، بسته‌بندی‌های چینی‌آلات، ظروف استوانه‌ای شکل، و صندوق‌ها، واحد بار استفاده می‌شود. از انواع MHD ها برای انتقال واحدهای بار وابسته به هم استفاده می‌شود، به شرط اینکه آنها در چه پالت‌ها یا ظروف یا دستگاه‌های موجود دیگر هستند.

چنانچه واحد بار باید بلند شود از جرثقیل قلاب‌دار برای بلند کردن ظرف استفاده می‌شود. اگر واحد بار باید از طریق قلاب‌ها بلند شود از جرثقیل استفاده می‌شود، اگر باید واحد بار را از زیر یک پالت بلند کنیم، از لیفتراک چنگکی استفاده می‌کنیم و غیره. هدف از بسته‌بندی‌های مختلف پالت‌ها این است که این عمل مطابق با خواسته تولید کننده یا توزیع کننده انجام شود (Askin and Standridge 1993) برای توزیع کننده‌ها تمایل بیشتری است تا بسته‌بندی‌ها ابعاد مختلفی داشته باشند، این مسئله همان مسئله معروف برش ورق^۱ یا مسئله پرکردن سطل^۲ است که توسط (Hodgson 1982) مورد مطالعه قرار گرفته شده است.

در میان سازنده‌های مختلف، هدف بهینه کردن اندازه و شکل جعبه و پالت برای ماکزیمم کردن شماره واحد بسته‌بندی است. البته، محدودیت‌هایی در اندازه، شکل و وزن جعبه‌ها و پالت‌ها وجود دارد.

1. cutting stock problem
2. bin packing problem



شکل ۱۱-۴. پالت‌های چوبی استفاده شده برای حمل واحدهای بار

۱۱-۳ شیوه‌های گوناگون انتقال مواد

انواع مختلفی از MHD ها برای حرکت دادن مواد میان ایستگاه‌ها در بستر یک کارگاه در دسترس است. بیشتر MHD ها مواد را از طریق انتقال مواد در مسیرهای باریک در بستر کارگاه حرکت می‌دهند، اما بعضی‌ها (به عنوان نمونه جرثقیل‌ها، بالابرها و نقاله‌های فضایی) از فضای بالای ماشین‌ها استفاده می‌کنند. انتخاب یک MHD مخصوص، منوط به فاکتورهایی مانند هزینه، شکل، وزن، اندازه و حجم بارها و قابلیت استفاده از فضا و انواع ایستگاه‌های کاری است. گذشته از این ما باید معین کنیم که یک MHD مشخص به چه میزان با کل سیستم تطابق دارد. آیا قابلیت انعطاف‌پذیری مجاز را دارد؟، آیا نگهداری آن ارزان و آسان است؟، آیا می‌تواند با سیستم‌های موجود به خوبی مجتمع شود؟، آیا به طور قابل توجهی می‌تواند کارایی ساخت را افزایش دهد؟

در این بخش ما فهرستی از MHD ها و مثال‌هایی برای آن تهیه کردیم. برای اطلاعات بیشتر در این زمینه خواننده ممکن است نیاز به رایزنی از یکی از این منابع داشته باشد. این منابع شامل Apple (1977)، Tompkins et al. (1996)، شماره‌های مختلفی از نشریه *Material Handling Modern Material Handling IE Solutions* و *Plant Engineering* و *Engineering* است. علاوه بر ارائه مشخصات هر محصول و

تبلیغات سازندگان MHD های مختلف، نشریه‌های مذکور غالباً اقدام به مقایسه امکانات MHD های مختلف می‌نمایند (برای مثال، راهنمای خریداران: لیفتراک‌ها و AGV ها را در شماره آوریل ۱۹۹۶ (IE Solution) را ببینید).

در ذیل ۸ نوع اصلی MHD ها آمده است:

- ۱- نقاله‌ها
- ۲- پالت پرکن‌ها
- ۳- شیوه بلند کردن پالت‌ها
- ۴- کامیون‌ها (چرخ‌های باری)
- ۵- ریات‌ها
- ۶- هادی‌های وسیله نقلیه اتوماتیک (AGV ها)
- ۷- بازوها، جرثقیل‌ها، و بالابرها
- ۸- سیستم‌های انتقال مواد در انبارها^۱ (WMHS ها)

۱۱-۳-۱ نقاله‌ها

نقاله‌ها نوعی از MHD ها در مسیر ثابت هستند، بنابراین آنها فقط برای انتقال قطعات و مواد در حجم‌های زیاد استفاده می‌شوند. همچنین توصیه می‌شود که از نقاله‌ها فقط در حمل و نقل مواد متحد شکل و هم اندازه استفاده شود.

بسته به ظاهر نقاله‌ها ما می‌توانیم آنها را بر طبق حروف الفبا رده‌بندی کنیم:

- نقاله‌های آزاد با نیروی محرکه
- نقاله‌های بکسلی
- نقاله‌های پیچی
- نقاله‌های تسمه‌ای
- نقاله‌های تیرک‌دار
- نقاله‌های ثقلی
- نقاله‌های چرخ‌خی

- نقاله‌های حل‌بی^۱
- نقاله‌های خلاء یا بادی
- نقاله‌های زنجیری
- نقاله‌های شیب دار
- نقاله‌های غلتکی
- نقاله‌های میله میله
- نقاله‌های واگنی^۲
- نقاله‌های لغزیدنی^۳

نقاله‌های بسیاری در شکل ۱۱-۵ تا ۱۱-۲۴ نشان داده شده است. البته لیست ما کامل نیست و نیاز به تغییری دارد. برای مثال، نقاله‌های تسمه‌ای ممکن است رده‌بندی شده باشند، از نقاله‌های تسمه‌ای ناودانی (برای نقل و انتقال مواد بزرگ و سنگین مانند زغال سنگ استفاده می‌شود) و از نقاله‌های تسمه‌ای مغناطیسی (برای حرکت دادن مواد آهنی که در مقابل جاذبه زمین مقاومت می‌کنند، استفاده می‌شود).

برای دستیابی به جدیدترین اطلاعات ساخت نقاله‌ها و انواع دیگر تجهیزات انتقال مواد، ما شدیداً خواننده را به مراجعه به آخرین شماره‌ها از نشریه‌هایی مانند:

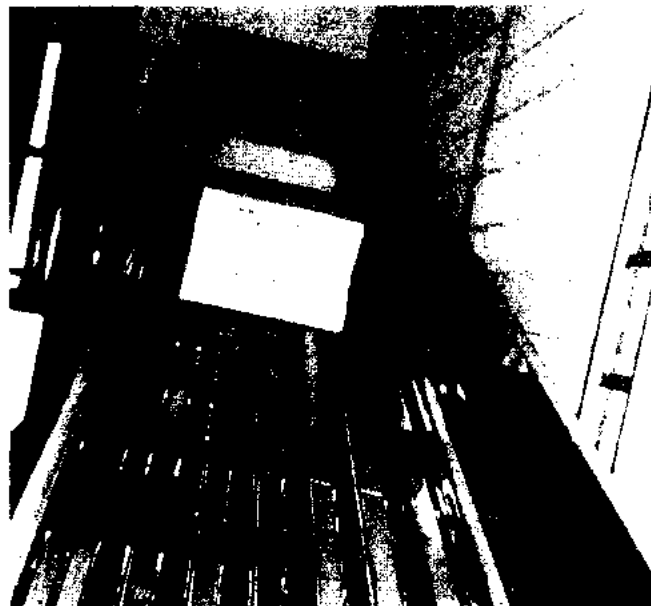
نشریه *Engineering Material Handling* منتشر شده توسط انتشارات Penton به آدرس 1100 Superior Avenue, Cleveland, Ohio 44144، (آدرس اینترنتی: <http://www.Penton.com/crop/mage/mhe.html>، تلفن: ۷۰۰۰ - ۲۱۶۶۹۶) و *Modern Material Handling* منتشر شده به وسیله انتشارات Cahners Company خیابان ۲۷۵ واشنگتن، نیوتن، ماساچوست ۰۲۱۵۸ - ۱۶۳۰ (آدرس اینترنتی: <http://www.cahners.com/mainmag/mmh.html>، تلفن: ۴۳۸۹ - ۵۵۸ - ۶۱۷) تشویق می‌کنیم. این مطبوعات نه تنها استفاده از کالاها و تجهیزات انتقال مواد را شرح می‌دهند، بلکه در مورد محصولات بسیاری آگاهی می‌دهند. در واقع *Modern Material*

1. can conveyor
2. trolley conveyor
3. skid conveyor

Handling راهنمای سالانه مشتریان را با دادن آدرس کارخانه‌های سازنده این دستگاه‌ها در اختیار قرار می‌دهد (تمرین ۶ را ببینید).

شکل ۵-۱۱ یک نقاله انباشته^۱ را نشان می‌دهد، که واحدهای بار را انباشته و ترکیب می‌کند تا آنها برای انتقال آماده شوند. سپس تسمه‌هایی که جعبه‌ها را بلند می‌کنند، انتقال می‌دهند را نشان می‌دهد. اگر چه نقاله‌های انباشته حرکت جعبه‌های رو به بالا انجام می‌دهند، ولی بیشتر نقاله‌های انباشته تأسیساتی افقی هستند و یا به‌طرف پائین شیب دارند.

نقاله‌های تسمه‌ای^۲ در شکل ۶-۱۱ و ۷-۱۱ نشان داده شده‌اند. بخش توسعه‌پذیر از نقاله‌های شکل ۶-۱۱ که می‌توانند به همه جهات بروند (مانند پیارک کردن در بانداز) در کمینه کردن جابجایی به‌وسیله اپراتور و خالی کردن سریع و آسان، استفاده می‌شوند.

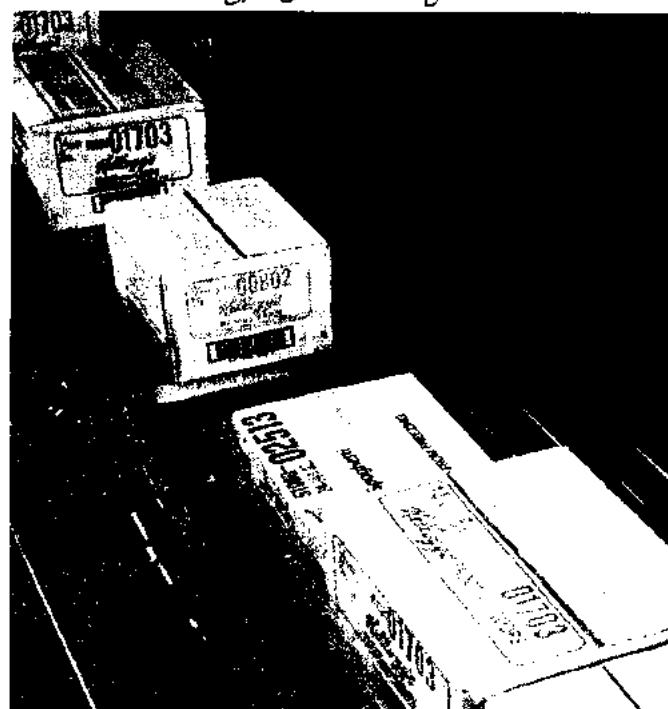


شکل ۵-۱۱ نقاله‌های انباشته

-
- 1. accumulation conveyor
 - 2. belt conveyor



شکل ۱۱-۶. تقاله‌های حلبی



شکل ۱۱-۷. تقاله‌های حلبی

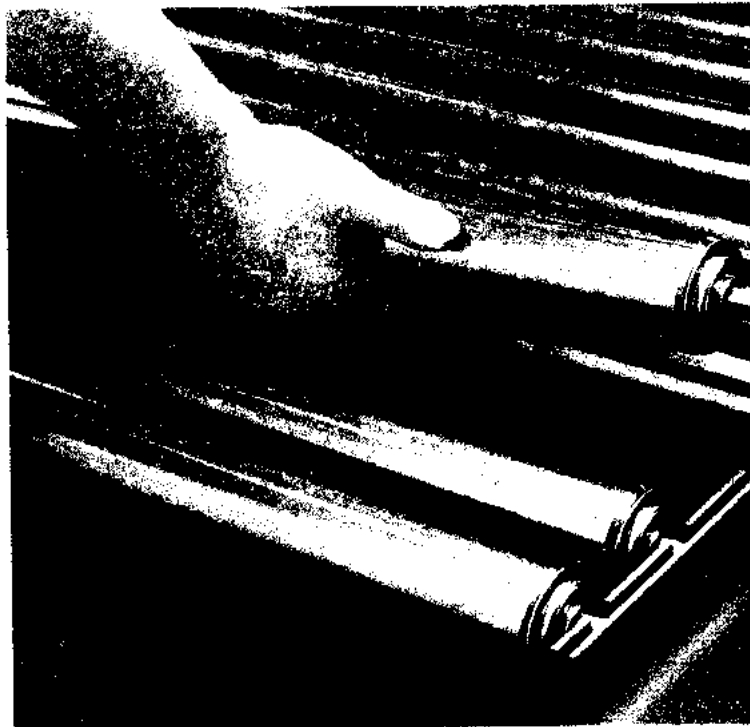
نقاله‌های تسمه‌ای در شکل ۷-۱۱ فاصله بین کارتن‌ها را با تغییر سرعت تسمه‌ها تنظیم می‌کند (به منظور اهداف مرتب‌سازی) زیرا تسمه‌های پائینی سرعت بیشتری نسبت به تسمه‌های بالایی دارند. شکاف بین جعبه‌ها به تدریج در حال کم شدن هستند. نوعی نقاله‌های شیب‌دار^۱ هستند که در انتقال مواد از یک طبقه بالاتر به یک طبقه پائین‌تر استفاده می‌شوند. برای مثال، چمدان‌ها و کیف‌هایی که از هواپیما به محل تحویل بار مسافر در طبقه زیرین فرودگاه تعیین شده، فرستاده می‌شود.



شکل ۸-۱۱ نقاله‌های شیب‌دار

نقاله‌های شیب‌دار در شکل ۸-۱۱ در دریافت جعبه‌هایی که از طرف تامین‌کنندگان آمده‌اند و ذخیره کردن آنها در انبار استفاده می‌شوند. شکل ۹-۱۱ یک نقاله غلتکی جاذبه‌ای را نشان می‌دهد. در یک نقاله انباشته مرسوم (بدون قوای محرکه)، سرعت

جعبه‌ها می‌تواند، تنها به وسیله تغییر دادن شیب نقاله کنترل شود. مانند خط فشار بالای ساختمان که می‌تواند فقط به وسیله تنظیم جعبه‌های وارد شده بر روی نقاله کنترل شود. شیب و نرخ ورود کارتن‌ها، و توان معین نقاله‌ها اجازه کنترل سرعت نقاله‌ها را با اپراتورها با تنظیم ورود کارتن‌ها در خط فشار بالای ساختمان می‌دهد. آنها برای این منظور از مدل‌های محرک و مانع، استفاده می‌کنند.



شکل ۱۱-۹. نقاله غلتکی نقالی

نقاله‌های زنجیری و توانی از انواع نقاله‌های سقفی با حامل حمل شده از طریق زنجیرها هستند. در نقاله‌هایی که می‌خواهند حرکت کنند، دو نیروی محرکه و بازدارنده وجود دارند.

برای مثال، در انبار یک قطعه یا در فرآیند آن، پذیرش یک مکانیزم متصدی حمل-ونقل ضروری است.

جریان مواد بعد از آن می‌تواند به فضاهای دیگر طبقات کارگاه از طریق MHD های متفاوت منحرف شود. یک نیروی برگشتی و آزاد نقاله در شکل ۱۱-۱۰ نشان داده شده است. این نقاله در فضای ۷۳۰،۰۰۰ فوت مربع سالن رنگ جنرال موتور استفاده می‌شود که تقریباً ۷ مایل از توان برگشتی نقاله‌های آزاد است.

نقاله‌های غلتکی با مسیر منحنی در شکل ۱۱-۱۱ نمایش داده شده است. این نقاله‌ها، جعبه‌ها را از یک خط تغذیه متصل به یک خط اصلی نقاله حرکت می‌دهند. یک نقاله تیرک‌دار در یک مجموعه نقاشی یک سازنده چرخ باری در جنوب شرقی استفاده شده است که در شکل ۱۱-۱۲ نمایش داده شده است.

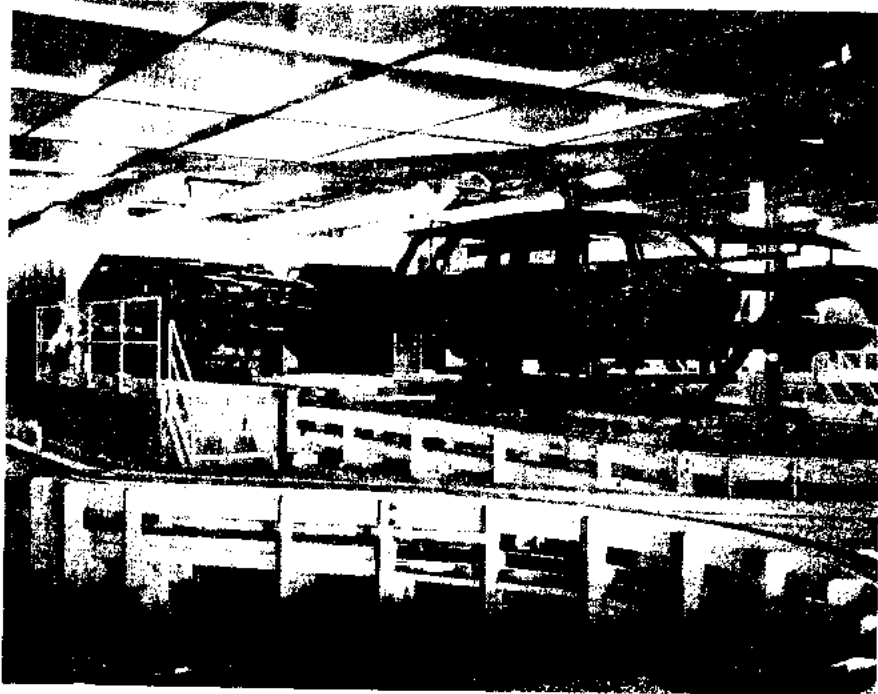
دو تا از چندین نقاله واگنی سقفی، که واگن‌های هم فاصله با یک سیستم زنجیر و قلاب پشتیبانی می‌شوند، در شکل‌های ۱۱-۱۳ و ۱۱-۱۴ نمایش داده شده است. قلاب خودش بر روی یک مسیر حرکت می‌کند و به وسیله یک زنجیر کشیده می‌شود. نقاله‌های واگنی سقفی در نقاشی کاربردهای زیادی دارند.

ترکیبی از دو یا چند نقاله کاربردهای زیادی دارد. (شکل‌های ۱۱-۱۵ تا ۱۱-۲۱ را ببینید) شکل ۱۱-۱۵ توضیح می‌دهد که چگونه آیت‌ها از چندین طرف به کناره‌های نقاله غلتکی می‌رسند و یک نقاله تسمه‌ای اصلی را تغذیه می‌کنند و می‌توانند با یکی از روش‌ها طبقه‌بندی شوند به نحوه قرارگیری کارتن‌ها بر روی نقاله غلتکی و انتقال آنها به نقاله‌های اطراف برای طبقه‌بندی، توجه کنید.

شکل‌های ۱۱-۱۷ و ۱۱-۱۸ کاربرد نقاله‌ها را در دسته‌بندی و مرتب کردن نشان می‌دهد. در شکل ۱۱-۱۷ بارهای پایین آمده از یک نقاله تسمه‌ای به‌صورت اتوماتیک توسط چرخ‌های اسکیتی فرعی تعبیه شده در بین تسمه‌ها به سوی یک نقاله چرخ‌منحرف می‌شوند. به جای چرخ‌های اسکیتی فرعی گاهی اوقات از مکانیزم منحرف کننده‌های فشاری برای منحرف کردن کارتون‌ها از یک خط به خط دیگر استفاده می‌شود.

در شکل ۱۱-۱۸، جعبه‌ها در حال پائین آمدن بر روی یک نقاله میله میله به سوی یک نقاله غلتکی منحرف می‌شوند. جداسازی به‌طور اتوماتیک انجام می‌شود و هر مشتری همه چیزهایی را که لازم دارد از یک انشعاب تعیین شده دریافت می‌کند. نقاله

تسمه‌ای در منتهی‌الیه سمت راست شکل ۱۱-۱۹ جعبه‌هایی را که به طرف یک نقاله انباشته جلو می‌برد را نشان می‌دهد.

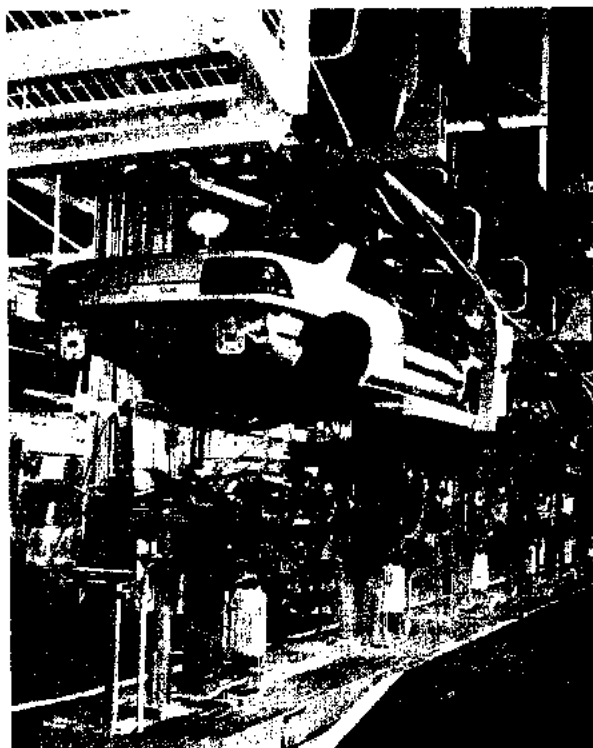


شکل ۱۱-۱۰. نقاله‌های آزاد با توان برگشتی

شکل ۱۱-۲۰ استفاده از نقاله‌های تسمه‌ای در انتقال ظروف به سه جهت مختلف را نشان می‌دهد مشاهده می‌کنید که یک نقاله به طرف پائین است و دیگری به طرف بالا است و سومین (انباشتگی) نقاله افقی است.

مانند نقاله‌های تسمه‌ای نشان داده شده در شکل ۱۱-۷، نقاله ترکیبی تسمه‌ای- غلتکی دوخطه نشان داده شده در شکل ۱۱-۲۱ به سازندگان این امکان را می‌دهد تا فاصله بین کارتونها را که بنابر اهداف مرتب‌سازی لازم می‌گردد را متعادل کنند. یک نقاله چندخطه دیگر در شکل ۱۱-۲۲ نشان داده شده است.

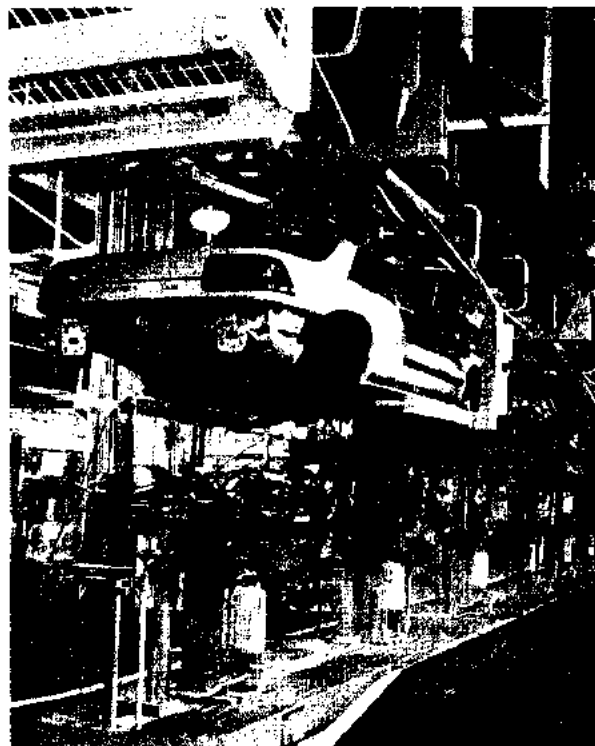
ابزارهای نشان داده شده در شکل ۱۱-۲۳ به آیتم‌ها اجازه می‌دهد که به یک سو یا یک طرف از خط نقاله اصلی منحرف شوند. سکوی چرخان نشان داده شده که



شکل ۱۱-۱۳. نقاله سقفی که در نقاشی و مونتاژ ماشین استفاده می‌شود.



شکل ۱۱-۱۴. نقاله واگنی سقفی



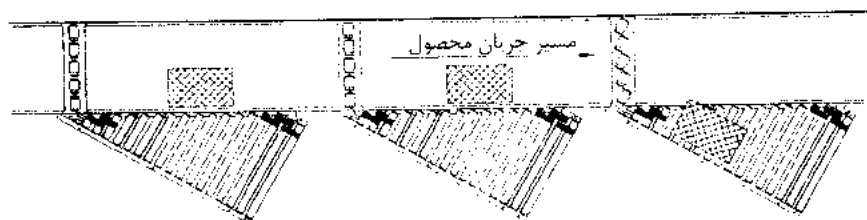
شکل ۱۱-۱۳. نقاله سقفی که در نقاشی و مونتاژ ماشین استفاده می‌شود.



شکل ۱۱-۱۴. نقاله واگنی سقفی



(الف)

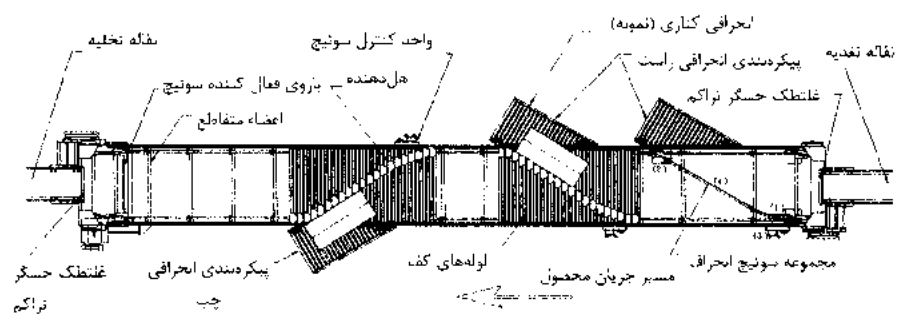


(ب)

شکل ۱۱-۱۵. استفاده از غلتک‌های فایم برای مرتب‌سازی ورود آیتیم‌ها از نقاله‌های غلتکی کناری به یک نقاله تسمه‌ای مرکزی

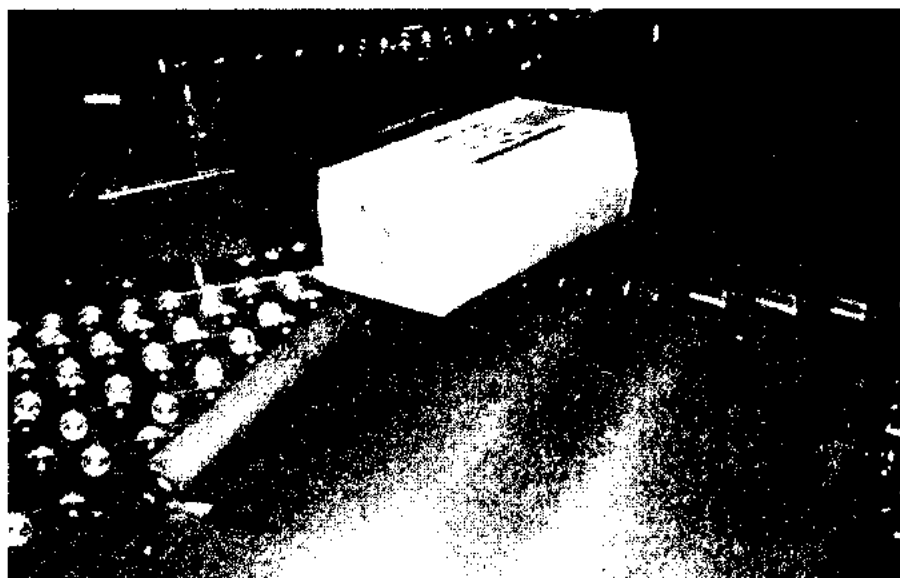


(الف)

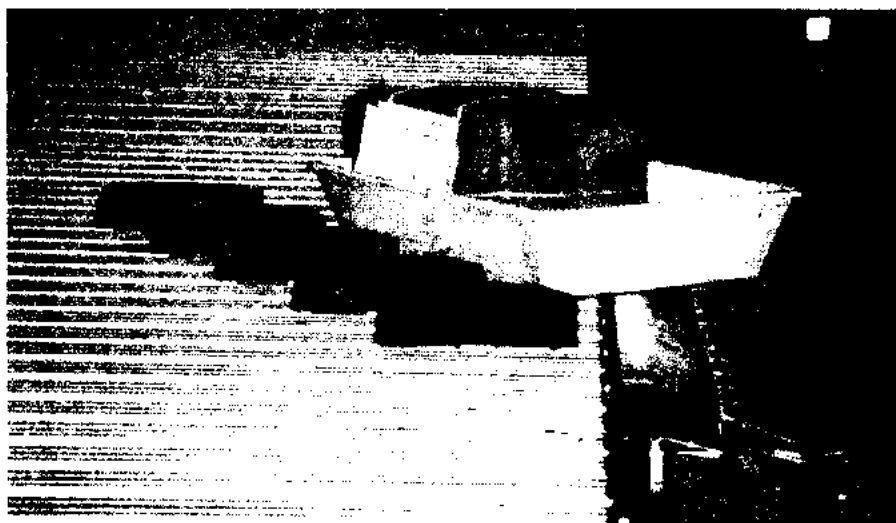


(ب)

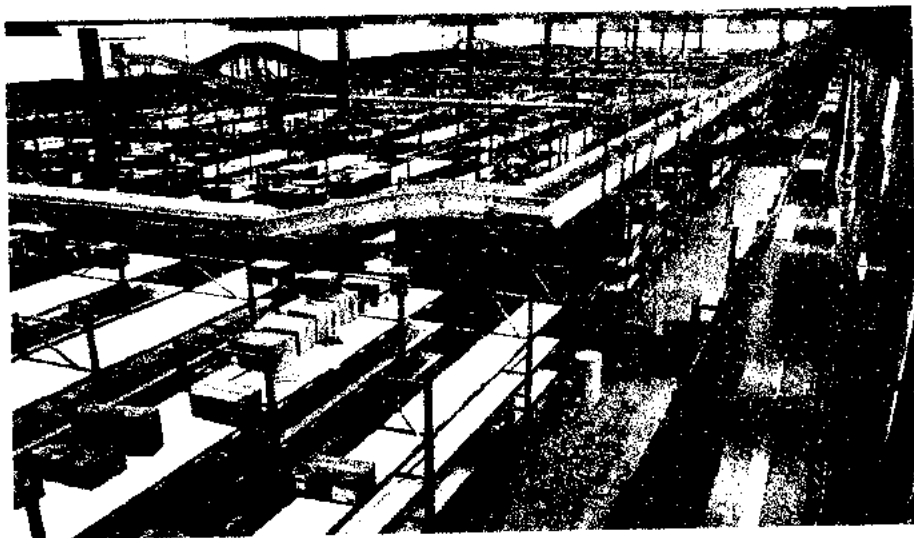
شکل ۱۱-۱۶. استفاده از قرار دادن و منحرف کردن و مرتب سازی ورود آیتها از یک نقاله مرکزی به نقاله های خطی کناری



شکل ۱۱-۱۷. استفاده از چرخ‌های اسکینی فرعی برای منحرف کردن کارتن‌ها به خطوط دلخواه



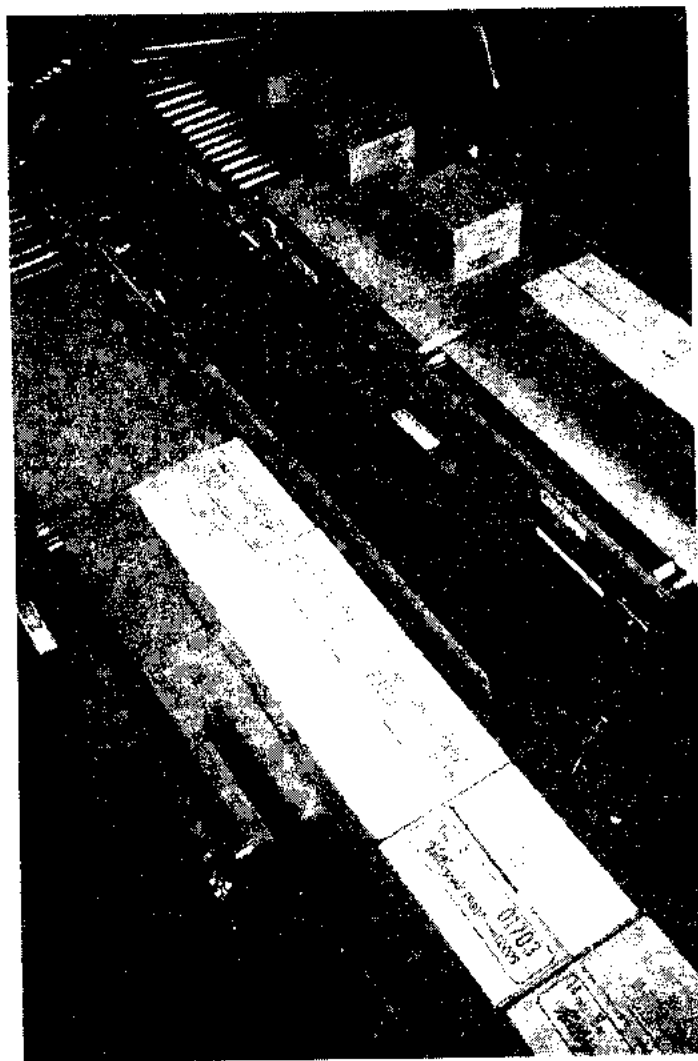
شکل ۱۱-۱۸. تقاله‌هایی که برای مرتب سازی استفاده می‌شوند



شکل ۱۱-۱۹. کاربرد نقاله تسمه‌ای و تغذیه آیت‌ها در یک نقاله انباشته



شکل ۱۱-۲۰. نقاله‌های تغذیه ظروف در سه بخش



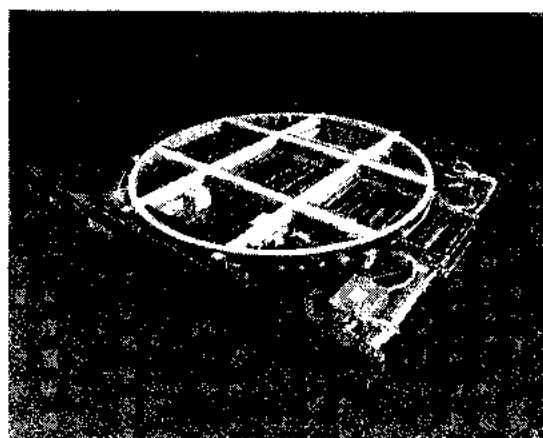
شکل ۱۱-۲۱. ترکیبی از نقاله‌های تسمه‌ای و غلتکی

بیشتر کارکرد و استفاده از نقاله‌ها می‌تواند توسط تصاویر فراهم شده در اینجا آموخته شود. هرچند بحث بیشتری برای این موضوع نیاز است. یک خط نقاله یدکی یک MHD مسیر ثابت است که می‌تواند واگن‌ها، بارکش‌ها، گاری‌ها، یا AGV های مسطح، را موقتاً به یدک‌کش‌های سطحی متصل می‌کند. بعضی اوقات خط‌های یدکی

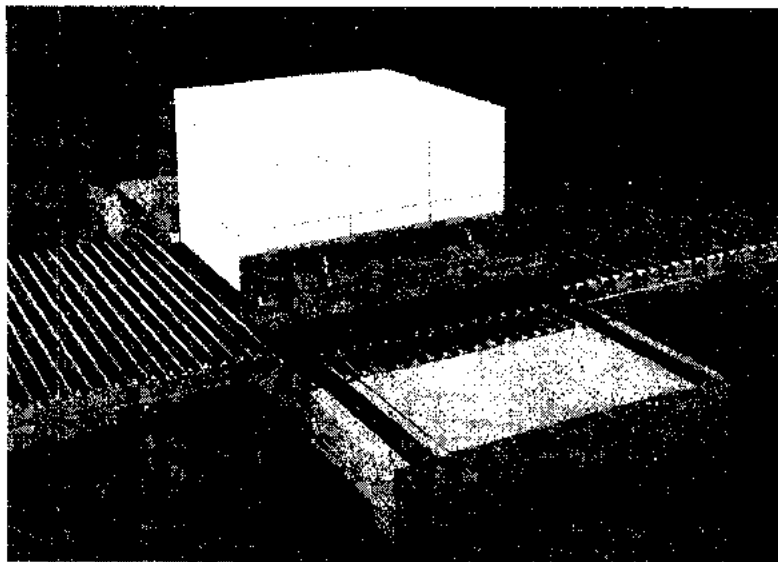
ممکن است در بالای سطح زمین باشند مثل پست‌های اسکی در کوهستان‌ها، در جایی که واگن‌ها و نقاله‌های خط زنجیری انسان‌ها را به بالا به ناحیه اسکی منتقل می‌کنند. شما ممکن است یک نقاله خلاء یا بادی را که در مسیرهای باریک طولانی سیر می‌کند دیده باشید که ۱۰ فوت یا بیشتر طول آن است. مانند: نقاله‌هایی که ما برای انتقال مواد کم حجمی مانند بسته‌های کوچک که در محل کار و آزمایشگاه استفاده می‌شود.



شکل ۱۱-۲۲. نقاله‌های چندخطه



شکل ۱۱-۲۳. دستگاه کمکی برای نقاله‌ها



شکل ۱۱-۲۴. دستگاه در مرکز قرار دادن بار

۱۱-۳-۲ پالت پرکن‌ها^۱

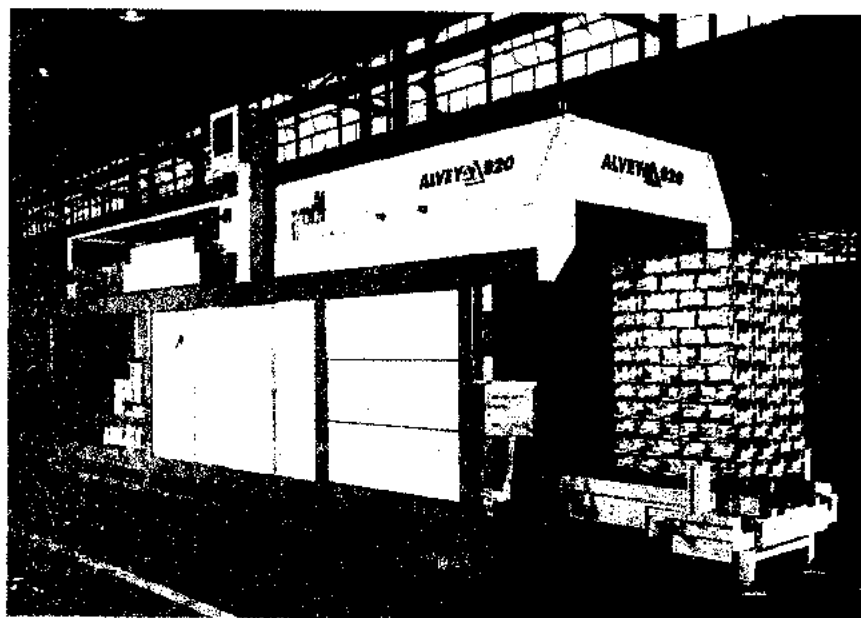
پالت پرکن‌ها سرعت زیادی دارند، تجهیزات خودکار در بسته‌بندی و آوردن ظروف تولیدی یا مجموعه خطوط استفاده می‌شوند. با همکاری اپراتورها برای رسیدن به غریبال کنترل‌ها، آنها می‌توانند، ۱۰۰ صندوق را در دقیقه پر کنند (شکل ۱۱-۲۵ را ببینید). پرکردن صندوق‌هایی از دو خط یا دسته‌بندی همزمان چندین محصول (شکل ۱۱-۲۶ را ببینید).

۱۱-۳-۳ ابزارهای بلند کردن پالت‌ها

چندین ابزار برای بلند کردن و کج کردن پالت‌ها برای بارگیری و تخلیه تراک‌های حمل پالت از کامیون‌ها و بالا بردن یا پائین آوردن صندوق‌های سنگین از جاهای مرتفع وجود دارند. یک نوع آسانسور مقطعی متحرک (در شکل ۱۱-۲۷ نشان داده شده است) است که اتاقکی برای سوار شدن یک اپراتور بر روی آن دارد. ابزارهای دیگر نه تنها بارگیری و تخلیه بار را در سه جهت انجام می‌دهند بلکه به عنوان پلکان نیز انجام

1. palletizer

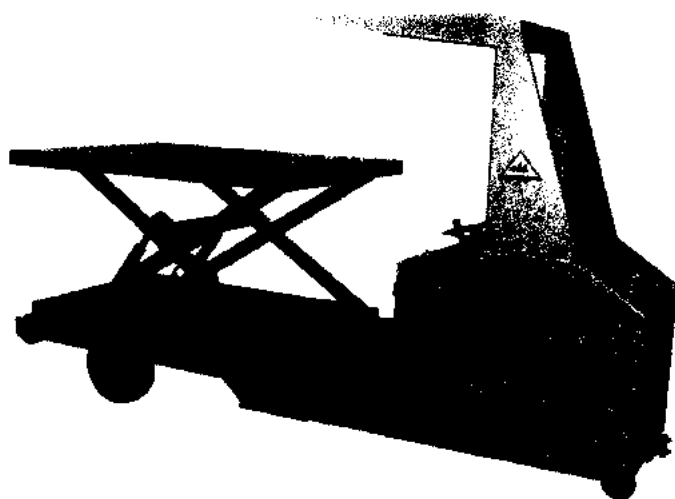
وظیفه می‌کنند. همچنین روش دیگری نیز است که با فشار جعبه‌های عقبی را خارج می‌کنند.



شکل ۱۱-۲۵. پالت پرکن با سرعت بالا



شکل ۱۱-۲۶. پالت پرکنی با توانایی انتقال چندین محصول با اندازه‌های متفاوت



شکل ۱۱-۲۷. دستگاه بالابر پالت

۱۱-۳-۴ بارکش‌ها (تراک)^۱

بارکش‌های صنعتی در ساخت تسهیلات، کاربرد وسیعی دارند. فایده اصلی آنها این است که به مسیر انتقال مواد، ثابتی احتیاج ندارند، به‌ویژه آنها در حرکت مواد در سایز و شکل و وزن مختلف مفید هستند. وقتی که حجم کمی از مواد و قطعاتی که باید جابجا شوند وجود دارد، به تناسب نیز تعداد سفرهای اندکی نیز برای هر قطعه لازم است. در این شرایط استفاده از بارکش‌ها به‌عنوان MHD هایی را توجیه‌پذیر می‌کند.

بارکش‌های صنعتی در طرح‌ها، قیمت‌ها و با وظایف گوناگون و وسیعی هستند. بعضی‌ها به آسانی مانور می‌دهند، بعضی‌ها تا ۵۰ فوت بار را می‌توانند بلند کنند، بعضی‌ها می‌توانند مواد را در راهروهای باریک حرکت دهند و غیره. بنابراین تعجب آور نیست که بیشتر از ۲۰ نوع از بارکش‌های صنعتی وجود دارد.

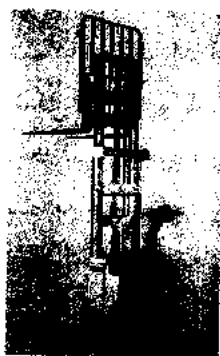
در ذیل فهرستی چند از آنها وجود دارد :

• بارکش‌های دستی

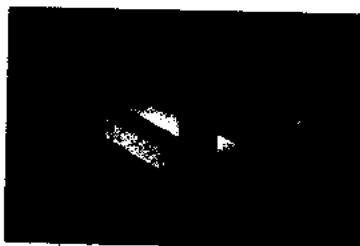
- لیفتراک‌های چنگکی
- واگن پالت
- بارکش‌های وزنه‌ای
- تراکتورها و تریلرهای بارکش
- وسیله نقلیه با هدایت اتوماتیک^۱ (AGV)

تعدادی از انواع بارکش‌ها در شکل‌های ۱۱-۲۸ و ۱۱-۳۰ نشان داده شده است. تعدادی از کاربردهای آنها نیز در شکل ۱۱-۲۹ نشان داده شده است. بارکش‌های شکل ۱۱-۳۰ دنباله‌ای دارند که به آنها اجازه می‌دهد که ظرف‌های کوچک را در یک کارخانه کشتی‌سازی بالا یا پایین ببرند.

بسته به اینکه بارکش‌های صنعتی نیروی محرکه دارند و یا دستی هستند، با نیروی الکتریسته کار می‌کنند یا با گاز، بارگذاری را از رویرو انجام می‌دهند یا از پهلوی، ما می‌توانیم یک دسته‌بندی با جزئیات بیشتر را برای بارکش‌های صنعتی توسعه دهیم، که این موضوع در تمرین ۹ وجود دارد. در ضمن اگر چه از AGV ها نیز در این بخش نام برده شده است، ولی در مورد آنها به‌طور کامل در بخش ۱۱-۶ بحث می‌کنیم.



(الف)



(پ)



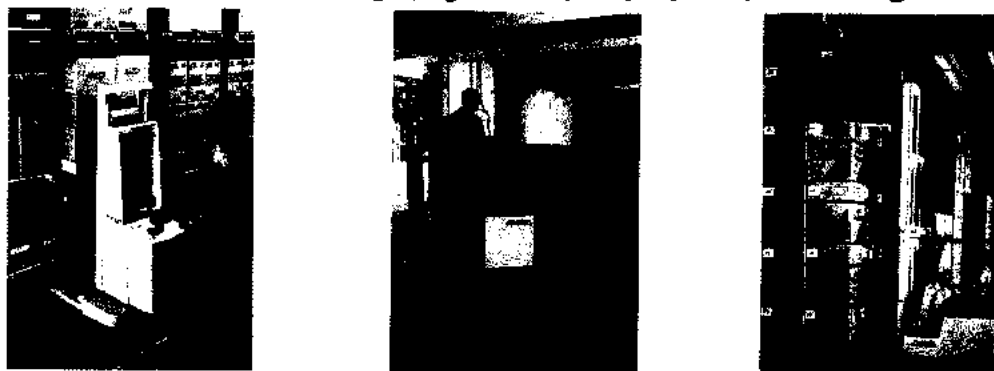
(ج)

شکل ۱۱-۲۸. مثال‌هایی از بارکش‌های صنعتی

1. automated guided vehicle

پشته‌ساز پیاده^۱، نشان داده شده در شکل ۱۱-۲۸ الف، توانایی انتقال چند صد پوند بار و بلند کردن از ۱۰ تا ۲۰ فوت را دارند. آنها با پایه‌هایی که از هم فاصله دارند به هم متصل هستند در دسترس می‌باشند و اپراتور می‌تواند با نیروی خودش آنها را با سرعت‌های گوناگون به جلو یا عقب هدایت کند و حرکت بدهند. این نوع از بارکش وقتی که حرکت‌ها نسبتاً کوتاه هستند و حجم نسبتاً کمی دارند و یا به ارتفاع کمی از زمین بلند می‌شوند، مطلوب هستند و استفاده می‌شوند. بارکش‌های واگنی پیاده^۱، وقتی که انتقال مواد در مسافت‌های نسبتاً کوتاه است برای واحدهای بار استفاده می‌شوند، طبق شکل‌های ۱۱-۲۸ ب و ۱۱-۲۹ ب برای یک اپراتور اتاقکی دارد که از بارکش به‌طور ایستاده، برای انتقال پالت‌ها در بخش‌ها و در حجم‌های کم استفاده می‌کند.

جمع‌آوری کننده‌های محموله^۳ برای برداشتن سفارشات از سطوح بالا (بالای ۴۵ فوت) و قرار دادن آنها بر روی یک سکو و یا چنگک مفید هستند. آنها دارای فضای برای ایستادن اپراتورها هستند. بارکش‌های وزنه تعادلی^۴ اتاقک‌هایی برای نشستن اپراتور دارند و می‌توانند واحدهای بار را تا ۴۵ فوت با چنگک بالا ببرند. بارکش‌های مسافت طولانی^۵ در مواردی که بارها در گاری یا یک‌کش پشته شده باشند، کاربرد دارند. برای مثال، چمدان‌های بار در هواپیماها (بارکش‌هایی که انواع گاری‌های بزرگ را می‌کشند، و به‌طور معمول بزرگ‌تر هستند ولی قوانین انتقال مواد یکسان است).



شکل ۱۱-۲۹. مثال‌هایی از بارکش‌های صنعتی

1. walkie stacker
2. walkie pallet truck
3. stock picker
4. counterbalance truck
5. tow tractor



شکل ۱۱-۳۰. بارکش‌هایی که در محل کشتی‌سازی استفاده می‌شوند.

۱۱-۳-۵ ربات‌ها

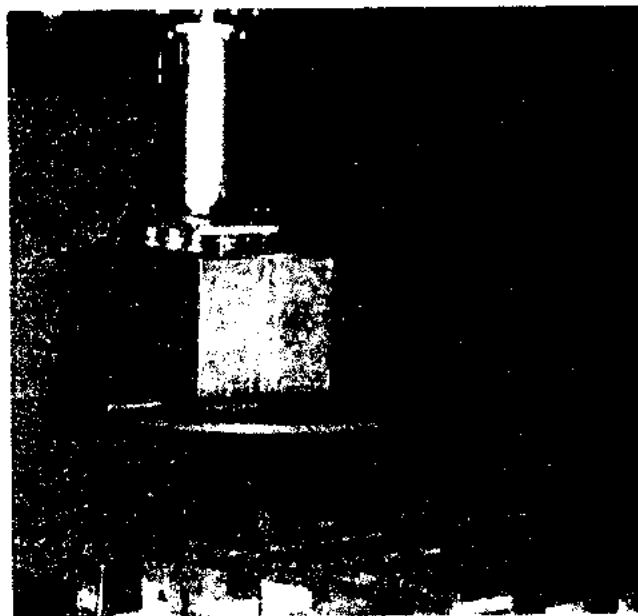
ربات‌ها، دستگاه‌های برنامه‌ریزی شده‌ای هستند که شبیه دست انسان می‌باشند. آنها در حرکت دادن مثل انسان توانایی دارند و می‌توانند وظیفه چیدن و جای‌گیری و بارگیری و تخلیه بار انجام دهند. (شکل ۱۱-۳۱ را ببینید).



شکل ۱۱-۳۱. استفاده از روبات‌ها در عملیات گرفتن و قراردادن در جوشکاری

روبات‌ها شش حرکت اصلی یا درجه آزادی را دارند، که عبارتند از سه حرکت بازو و بدن و سه حرکت مچ دست. با نصب یک دوربین می‌توان از ربات در باررسی قطعات خروجی استفاده کرد. آنها می‌توانند در فعالیت‌های ساختنی که برای انسان خطرناک هستند استفاده شوند (به عنوان نمونه جوشکاری و یا نقاشی). همچنین روبات‌ها به طور گسترده‌ای در انتقال مواد استفاده می‌شوند خصوصاً در سلول‌های ساخت کوچکی که به تولید یک خانواده قطعات اختصاص داده شده‌اند. انواعی از ماشین‌ها در یک سلول به صورت دایره‌وار یا U-شکل مرتب می‌شوند، که به روبات‌ها اجازه دستیابی به همه دستگاه‌ها در یک رفت و برگشت را می‌دهند.

شکل ۱۱-۳۲ نحوه استفاده از یک روبات نصب شده با کاسه‌های مکش خلاء در جعبه‌های پالت نشان می‌دهد. این روبات از یک الگوریتم (که برنامه آن بر رویش نوشته شده است) پیروی می‌کند تا جعبه‌ها را بر روی یک پالت بچیند. در صورتی که تعدادی جعبه با شکل‌های مختلف در اختیار روبات قرار گیرد، او سلاتس می‌کند که تعداد جعبه‌های قرار گرفته روی پالت را حداکثر کند.



شکل ۱۱-۳۲. کاربرد روبات در پرکردن پالت‌های جعبه‌ای

یک روبات می‌تواند بر مبنای اینکه می‌تواند تنها از یک نقطه به نقطه دیگر حرکت کند یا بر روی یک مسیر پیوسته، یا نحوه برنامه‌ریزی، یا اینکه آیا قادر به انجام اقدامات اصلاحی است یا نه و غیره طبقه‌بندی شود. موارد ذیل برخی از انواع روبات را نشان می‌دهند:

- روبات‌های نقطه-به-نقطه
- روبات‌های مسیر منحنی^۱ یا پیوسته
- روبات‌های گردش در طول^۲ یا آموزش
- روبات‌های تعویض سرپرست^۳ یا معلق آموزش
- روبات‌های هیدرولیک
- روبات‌های سرو-کنترل^۴

یک روبات نقطه-به-نقطه تنها می‌تواند بین دو نقطه از پیش تعیین شده حرکت کند. این نوع روبات برای بارگیری و تخلیه بار، برداشتن و گذاشتن و عملیات جوش نقطه‌ای کاربرد دارد. از سوی دیگر یک روبات مسیرهای منحنی می‌تواند از روی هر تعداد نقطه بر روی یک مسیر حرکت کند. با انتخاب تعداد زیادی نقطه نزدیک به هم، می‌توان کاری کرد که روبات روی یک منحنی هموار حرکت کند. روبات‌های مسیر منحنی در رنگ‌آمیزی با اسپری، جوشکاری پیوسته و عملیات گرفتن اشیاء کاربرد دارند. واضح است که نیازمندی‌های کنترل و حافظه روبات‌های مسیر منحنی بسیار بیشتر از روبات‌های نقطه-به-نقطه است چرا که در اولی تنها دو نقطه مطرح است اما در روبات‌های مسیر منحنی چندین نقطه. یک روبات گردش در طول یا آموزش، روباتی است که می‌توان آن را با حرکات دستی بازوی روبات با یک توالی حرکات، برنامه‌ریزی کرد. روبات این حرکات را "حفظ می‌کند" و آنها را تا زمانی که دوباره برنامه‌ریزی مجدد شود تکرار می‌کند. یکی از انواع آن روبات معلق آموزش است. قسمت معلق وسیله دستی‌ای است که برای برنامه‌ریزی حرکات روبات به کار می‌رود. همین که مجموعه‌ای از حرکات با استفاده از قسمت معلق، به روبات آموزش داده

1. Contouring
2. walk through
3. Lead through
4. servo-controlled

شوند، روبات آنها را تا زمانی که دوباره برنامه‌ریزی شود اجرا می‌کند. به علاوه، برخی روبات‌ها را می‌توان به صورت منفصل^۱ برنامه‌ریزی کرد. این سیستم‌ها بهره‌گیری از روبات را افزایش می‌دهند چرا که عملاً هیچ زمانی برای آموزش روبات هدر نمی‌رود. یک حرکت جدید معمولاً زمانی که روبات هنوز در حال انجام حرکت قبلی خود است، برنامه‌ریزی می‌شود.

بسته به سیستم حرکتی مورد استفاده، روبات‌ها می‌توانند به روبات‌های هیدرولیک، روبات‌های سرو-کنترل یا بادی^۲ تقسیم‌بندی شوند. روبات‌های هیدرولیک به جهت سیستم حرکتی خود، جای بیشتری نیاز دارند اما می‌توانند در مواردی که به قدرت و سرعت زیادی نیاز است، به کار روند (Groover and Zimmers 1984). روبات‌های سرو-کنترل با موتورهای جریان مستقیم^۳ DC تغذیه می‌شوند و دقیق‌تر از روبات‌های هیدرولیک هستند.

۱۱-۳-۶ وسایل نقلیه هدایت خودکار^۴ (AGV)

AGV ها، به خصوص در طول دهه گذشته، بسیار رایج شده‌اند و در سال‌های آینده روند تبدیل شدن به MHD غالب را ادامه خواهند داد. به عنوان مثال، در سال ۱۹۸۹ شرکت‌های ژاپن، کشورهای اروپایی و ایالات متحده به ترتیب ۳۰۰۰، ۵۰۰ و ۵۰۰۰ AGV خریداری کردند (Modern Materials Handling 1990). گرچه در ابتدا شرکت‌های آمریکایی به اندازه شرکای اروپایی و ژاپنی خود مشتاق خرید و نصب AGV نبودند، این روند اکنون تغییر کرده است. AGV ها راه خود را برای یافتن کاربرد درگسترده‌ای از شرکت‌های تولیدی و پخش - از روزنامه تا شرکت‌های اتومبیل‌سازی آغاز کرده‌اند (به شکل‌های ۱۱-۳۳ الف و ب جهت دیدن تصاویر، مراجعه کنید).

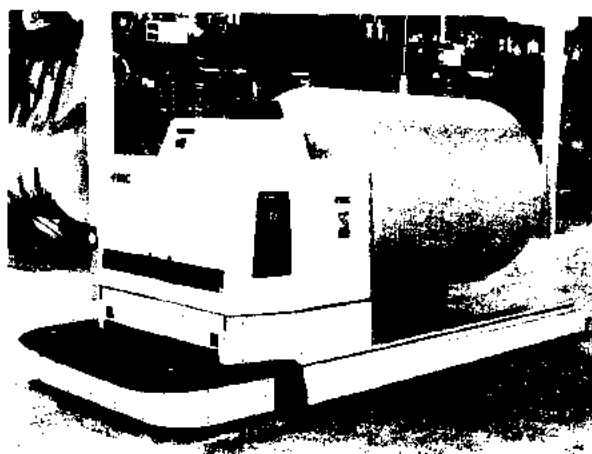
AGV شکل ۱۱-۳۳ الف پالت‌ها را به صورت خودکار بر روی یک نقاله ورف‌های نگهداری در یک انبار قرار می‌دهد، و AGV شکل ۱۱-۳۳ ب رول‌های بزرگ روزنامه را به آرامی جابجا می‌کند به طوری که اطمینان حاصل شود که هیچ کاغذی آسیب

1. off-line
2. pneumatic
3. DC stepping
4. automated guided vehicles

نمی‌بیند. AGV ها کاربردها و توانایی‌های فراوانی دارند و می‌توانند در عملیات اتاق تمیز^۱، آوردن قطعات در کارگاه ماشین‌آلات، مونتاژ اتومبیل و محیط‌های صنعتی فراوان دیگری به کار روند. زمانی که AGV ها استفاده نمی‌شوند، معمولاً به یک ایستگاه شارژ جایی که باتری‌های نصب شده می‌روند شارژ می‌شوند.



(الف)



(ب)

شکل ۱۱-۳۳. استفاده از AGV در فعالیت‌های توزیع

یک AGV یک وسیله مسیر - متغیر است که حرکات آن می‌تواند به چندین طریق کنترل گردد. ممکن است سیم‌های جایگذاری شده بر روی کف کارگاه سیگنال‌های الکترونیکی و رادیویی را منتقل کنند، رادارهای با موقعیت استراتژیک سیگنال‌هایی به دریافت کننده‌های نصب شده بر روی AGV ها می‌فرستند، یا ممکن است نوارهای مخصوصی به خدمت گرفته شوند. مورد دوم بسیار مانند سیم‌های کار گذاشته شده عمل می‌کند با این مزیت اضافی که نوار می‌تواند به راحتی برداشته شده و جای دیگری گذاشته شود، و به این ترتیب امکان تغییر مسیر AGV به دفعات دلخواه ایجاد شود. با استفاده از سیم‌ها، نوار یا رادارها می‌توانیم مشخص کنیم که AGV کجا، چگونه و به کجا باید حرکت کند. در صورت تمام خودکار بودن، AGV ها می‌توانند برای فعالیت‌های انتقال مواد در یک محیط غیردستی به کار روند (شکل ۱۱-۳۴ را ببینید). در برخی موارد، روبات‌های برداشتن و-گذاشتن کار گذاشته شده بر روی AGV ها برای بارگذاری، انتقال و تخلیه بار اتوماتیک به کار رفته‌اند. سطح بارگذاری - مواد می‌تواند از نوع سکو، چنگکی یا پالت باشد. به علاوه، AGV ها می‌توانند با سایر MHD ها ترکیب شوند و در فعالیت‌های انتقال مواد ترکیبی در سلول‌های مختلف کارآیی دارند. به عنوان مثال، AGV ها می‌توانند به خطوط بکسل برای بعضی عملیات انتقال مواد خاص متصل شوند و در نتیجه می‌توانند به جای کامیون‌های صنعتی به کار روند (Askin and Standridge 1993).

شکل ۱۱-۳۴ کاربرد AGV ها در عملیات کشتی‌سازی نشان می‌دهد. یک ناوگان از AGV ها می‌توانند در یک فضای دارای سیم‌های کارگذاری شده حرکت کرده و یک مسیر ثابت یک طرفه و دایره‌ای شکل در مجاورت محوطه کارگاه کشتی‌سازی را دنبال می‌کنند؛ این AGV ها به صورت کامپیوتری و از یک برج مرکزی کنترل می‌شوند. سپس بار یا کانتینر به وسیله یک جرثقیل پایه‌دار^۱ با بالابرهای برداشته شده و بر روی عرشه کشتی‌سازی قرار داده می‌شوند.



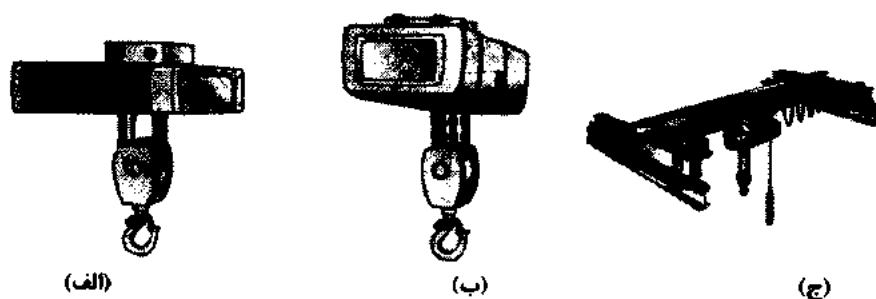
شکل ۱۱-۳۴ AGV و جرثقیل پایه‌دار برای بارگذاری کانتینرها بر روی کشتی

۱۱-۳-۷ بالابرها، جرثقیل‌ها و بازوهای جرثقیلی

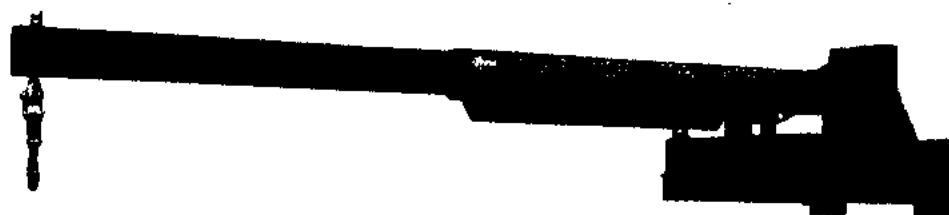
این MHD ها زمانی که قطعات حمل کردنی فله‌ای هستند و فضای بیشتری برای انتقال نیاز دارند، ارجحیت دارند. از آنجایی که فضای بالاسر ماشین‌ها معمولاً تنها برای انتقال خطوط نیرو و خنک‌کننده استفاده می‌شوند، در آن قسمت فضای بلااستفاده‌ای برای انتقال مواد فله‌ای وجود دارد، و بالابرها، جرثقیل‌ها و بازوهای جرثقیلی از این فضا استفاده می‌کنند. به این ترتیب انتقال مواد نیازی به رابط با فعالیت‌های تولیدی و یا فعالیت‌های پرسنل تولید ندارد. البته این نوع MHD ها بسیار گران‌قیمت هستند و زمان زیادی برای نصب آنها مورد نیاز است، و نیاز به پی‌ها و پشتیبانی ساختمانی مفصلی دارند. بالابرها مواد را در جهت عمودی و با استفاده از قلاب‌هایی بزرگ، حمل می‌کنند. بالابرها می‌توانند دستی، الکتریکی یا بادی باشند (به ترتیب شکل‌های ۱۱-۳۵ الف و ب و ج را ببینید).

از سوی دیگر، جرثقیل‌ها مواد را در جهت افقی با استفاده از قلاب‌هایی که بر روی پایه‌های بزرگی نصب شده‌اند، جابجا می‌کنند (شکل‌های ۱۱-۳۶ تا ۱۱-۳۹ را ببینید). خود پایه‌ها نیز می‌توانند به صورت افقی حرکت کنند و در نتیجه به جرثقیل امکان دسترسی به هر نقطه‌ای بر روی کف کارگاه را می‌دهند. البته، این دسترسی محدود به دامنه خاصی است که به طول پایه‌های افقی و فضایی که می‌توانند حرکت کنند، دارد. جرثقیل‌ها می‌توانند از بالا یا بر روی کف از طریق پایه‌های عمودی پشتیبانی شوند.

مورد دوم، جرثقیل پایه دار^۱ نامیده می شود (شکل ۱۱-۳۷) و پیشین جرثقیل پل دار^۲ نام دارد (شکل ۱۱-۳۸). جرثقیل بادبانی^۳ بسیار شبیه جرثقیل پایه دار بدون یکی از پایه های پشتیبانی عمودی هستند (شکل ۱۱-۳۹). بازوی بالاسری می تواند بچرخد تا دستیابی به همه نقاط درون یک دایره که قطر آن تابعی از طول بازو است را ممکن سازد. در این مورد نیز، ادامه طبقه بندی جرثقیل ها ممکن است، به عنوان مثال، جرثقیل های برجی^۴، مانند آنهایی که در شکل ۱۱-۴۰ آمده اند و در سایت های ساخت ساختمان های چند طبقه و کارگاه های کشتی سازی استفاده می شوند، جرثقیل های پشته ساز^۵ مانند آنهایی که برای ذخیره سازی و بازیابی اقلام در انبارها به کار می روند و غیره. اتصال نشان داده شده در شکل ۱۱-۳۶ یک لیفتراک چنگکی را به یک جرثقیل متحرک تبدیل می کند.

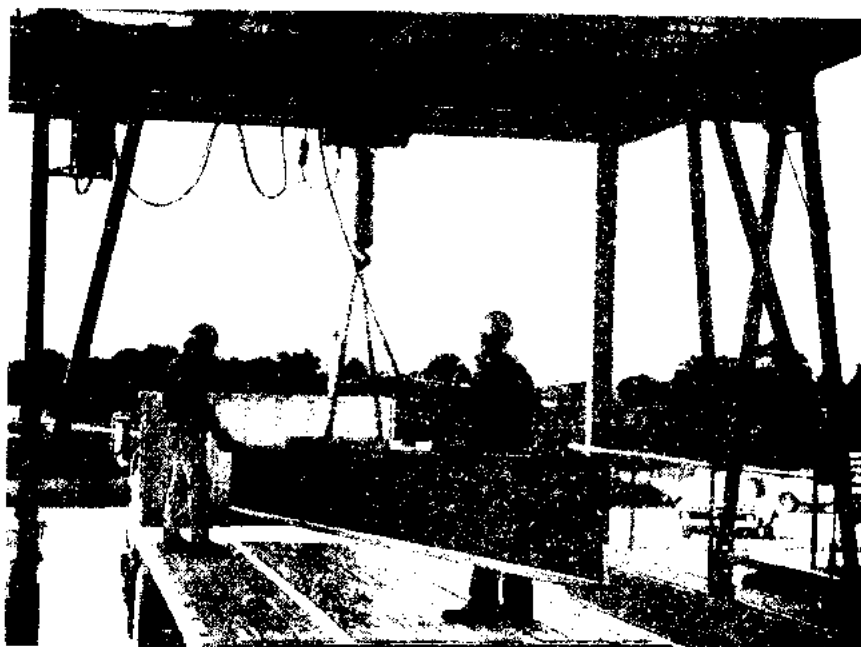


شکل ۱۱-۳۵. بالابرهای دستی، الکتریکی و بادی

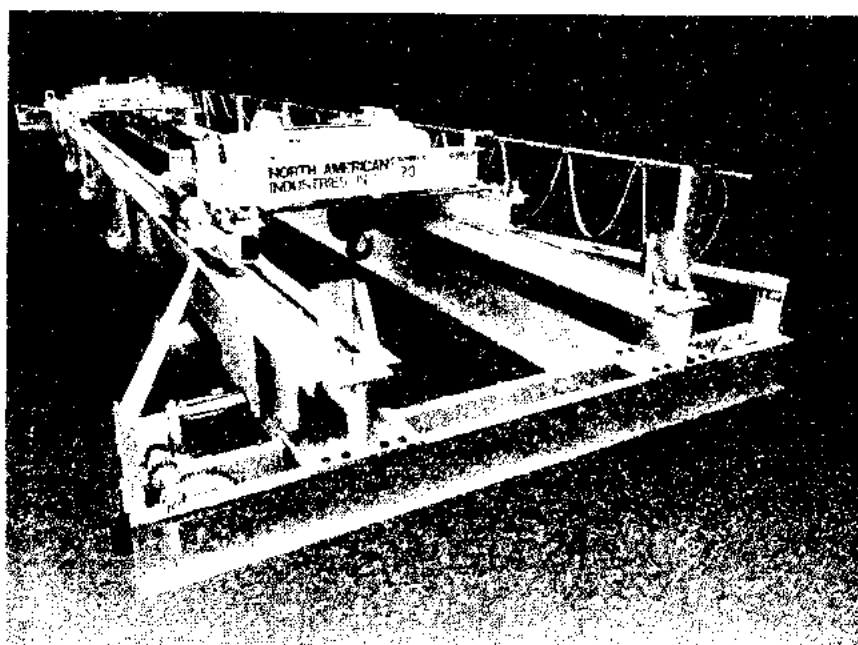


شکل ۱۱-۳۶. اتصال جرثقیل

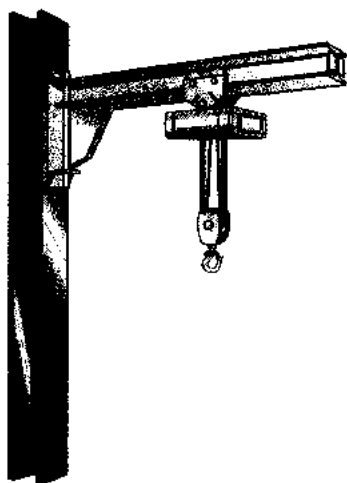
1. gantry crane
2. bridge crane
3. jib crane
4. tower crane
5. stacker crane



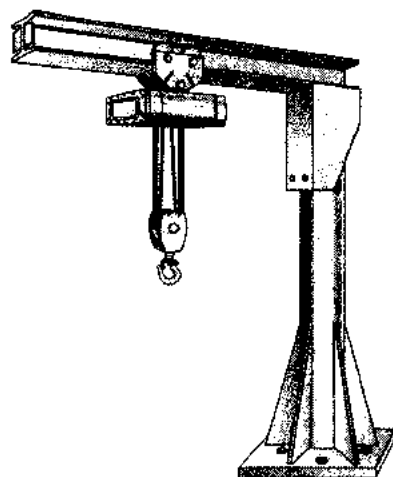
شکل ۱۱-۲۷. جرثقیل پایه‌دار



شکل ۱۱-۲۸. جرثقیل پل‌دار



(الف)



(پ)

شکل ۱۱-۳۹. جرثقیل بادبانی



شکل ۱۱-۴۰. جرثقیل های برجی

۱۱-۳-۸ وسایل انتقال مواد انبارها

MHD های انبارها معمولاً سیستم‌های ذخیره‌سازی و بازیابی نامیده می‌شوند. چنانچه تا حد زیادی خودکار باشند، به آنها سیستم‌های ذخیره‌سازی و بازیابی اتوماتیک^۱ (AS/RS) می‌گویند. یک انبار دارای یک AS/RS در شکل ۲-۷ نشان داده شد. کارکرد اولیه یک AS/RS ذخیره‌سازی و بازیابی مواد و نیز انتقال آنها بین ایستگاه‌های برداشتن و گذاشتن^۲ (P/D) و مکان ذخیره‌سازی مواد است. AS/RS ها را می‌توان به چندین روش طبقه‌بندی کرد، مثلاً بر مبنای نوع باری که می‌توانند جابجا کنند: AS/RS های بار واحد برای ذخیره‌سازی و بازیابی بارهای واحد پالت شده، AS/RS های کوچک بار^۳ برای ذخیره‌سازی و بازیابی قطعات کوچک و حتی AS/RS های ریز بار^۴ برای ذخیره‌سازی، بازیابی و انتقال قطعات کارت‌های مدار وجود دارند. به علاوه، AS/RS های سرنشین‌دار که در آنها یک انسان کار ذخیره‌سازی و بازیابی را انجام می‌دهد، AS/RS های عمیق - خط^۵ که از چند وسیله نقلیه که می‌توانند در راهروهای باریک حرکت کنند و در نتیجه فضای ذخیره‌سازی بیشتری نسبت به سایر سیستم‌های قابل مقایسه فراهم می‌آورند، و نیز ذخیره‌سازهای گردان که در آن خود جعبه‌های نگهداری می‌گردند و امکان برداشت اقلام در انتهای راهرو را فراهم می‌کنند، نیز وجود دارند. از آنجایی که نیازی به فضای راهرو در یک سیستم گردان وجود ندارد، قفسه‌ها می‌تواند بسیار نزدیک به هم قرار داده شوند و فضای ذخیره‌سازی بیشتری ایجاد می‌شود. شرح کامل‌تری از MHD های انبار در فضای ۱۲ ارائه شده است.

۱۱-۴ سیستم‌های انتقال مواد در عمل

ترمینال‌های ترکیبی اروپا^۱ (ECT) در روتردام هلند بزرگ‌ترین ترمینال کانتینر جهان است مواد ورودی و خروجی اروپا اساساً از طریق دو نوع کانتینر حمل می‌شوند: بزرگ و کوچک. ECT بر روی زمین‌های احیاء شده دریای شمال ساخته شده است. کامیون-

-
1. automated storage and retrieval system
 2. pick-up/ drop-off
 3. mini load
 4. micro load
 5. deep lane
 6. Europe Combined Terminals

های رسیده از بلژیک، آلمان، فرانسه، هلند و سایر کشورها نقطه‌ای که قرار است بارشان (مثلاً کانتینر) توسط یک حمل کننده دو پایه^۱ برداشته شود (شکل ۱۱-۴۱ الف)، منتظر نوبت خود می‌مانند، این حمل کننده بار را زیر اپراتور نگه می‌دارد و آن را به یک محوطه نگهداری موقت که از آنجا بر روی کشتی‌ها قرار داده می‌شوند، می‌برد. کانتینرها معمولاً دو روز در این محوطه نگهداری می‌شوند. وقتی که بار آماده قرار گرفتن بر روی کشتی‌ها هستند، جرثقیل‌های پایه‌دار بالاسری متحرکی که بر روی ریل حرکت کرده و دارای اتصالات خاص نگهداری کانتینر هستند، کانتینرها را از بالا برداشته (شکل ۱۱-۴۱ ب) و آنها را به مکان دیگری که AGV ها در انتظار دریافت بار هستند، می‌برد (شکل ۱۱-۴۱ ج). سپس یک ناوگان از AGV ها کانتینرها را به سوی جرثقیل‌های برجی، که می‌توانند روی ریل حرکت کرده و بسیار نزدیک به محوطه بارگیری کشتی‌ها قرار داده شوند، می‌برند (شکل ۱۱-۴۱ د و ۱۱-۴۱ ه). به علاوه، یکی از بازوهای آنها می‌تواند با یک زاویه ۹۰° به بالا کج شود تا کشتی‌های بلند از زیر آنها عبور کند (جرثقیل‌های قسمت انتهایی سمت راست شکل ۱۱-۴۱ را ببینید). با استفاده از جرثقیل‌های بالاسری، کانتینرها از روی AGV برداشته شده و یکی‌یکی به سوی

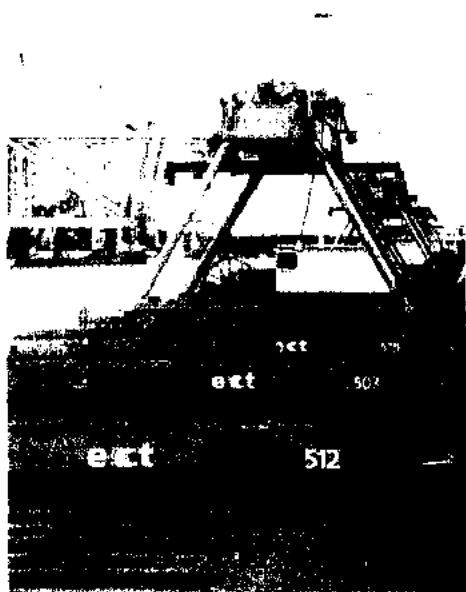


(الف)



(ب)

شکل ۱۱-۴۱. MHD ها در عمل (ادامه دارد)



شکل ۱۱-۲۱ ج (ادامه)



شکل ۱۱-۲۱ د (ادامه)



شکل ۱۱-۲۱ هـ (ادامه)

عرشه کشتی برده می‌شوند. گرچه در این بخش نحوه بارگیری کشتی شرح داده شده است، تخلیه نیز به روش مشابه صورت می‌گیرد. تنها گام‌ها برعکس می‌شوند. استفاده مؤثر از AGV ها، جرثقیل‌ها و کامیون‌ها به ECT امکان بارگیری و تخلیه کشتی‌ها در تقریباً یک روز را می‌دهد.

۱۱-۵ سیستم‌های وسایل نقلیه هدایت خودکار

در این بخش نگاهی کلی به برخی مسائل طراحی و کنترل که در سیستم‌های AGV رخ می‌دهد، خواهیم داشت:

- موقعیت نقاط گذاشتن و برداشتن^۱ (P/D) در شبکه جریان مواد
- شبکه جریان مواد - مسیرهای حرکت و جهت‌های حرکت وسایل انتقال مواد
- تعداد و نوع AGV ها
- تخصیص AGV ها به درخواست‌های انتقال مواد
- مسیریابی و ارسال AGV
- استراتژی‌های حل برخورد‌های مسیرها

این مسائل باید مطرح شوند تا از اینکه حجم مواد منتقل شده (یا نرخ انتقال توسط AGV) حداکثر و هزینه‌های مختلف شامل خرید، نگهداری، و هزینه‌های اجرایی AGV ها، وسایل کنترل کامپیوتری و شبکه جریان مواد و نیز هزینه‌های موجودی و بیکاری وسایل تولید ناشی از انتقال اضافی مواد و زمان‌های انتظار حداقل شود. اطمینان حاصل گردد.

حل مسائل طراحی و کنترل فهرست شده در اینجا نسبتاً مشکل است. در برخی موارد حتی تدوین یک مدل ریاضی (که واقع‌بینانه بوده و محدودیت‌های دنیای واقعی را دربرمی‌گیرد) نیز مشکل است و مجبور به بهره‌گیری از شبیه‌سازی برای طراحی و کنترل سیستم‌های شبیه‌سازی هستیم. همان‌طور که خواننده احتمالاً می‌داند (یا بعداً در این بخش متوجه خواهد شد)، شبیه‌سازی اجرایی است که می‌تواند برای پیش‌بینی عملکرد یک سیستم موجود به کار برده شود. شبیه‌سازی به تنهایی قادر به طراحی یک

سیستم نیست. کاربرد باید سناریوهای طراحی مختلفی را فراهم آورد و هر یک از آنها را با ابزار شبیه‌سازی ارزیابی کرده تا مشخص شود کدام سناریو با در نظر گرفتن معیارهای منتخب عملکرد بهتری دارد. بدیهی است که تعداد سناریوهای ممکن آن قدر زیاد است که ارزیابی همه آنها غیرممکن است بنابراین رویه چند گامه ذیل را برای حل مسائل طراحی و کنترل در پیش می‌گیریم.

تعیین چیدمان^۱ و موقعیت‌ها نقاط P/D

مدل‌ها و الگوریتم‌هایی که در فصل‌های ۴-۷ مطرح شدند برای تعیین چیدمان ماشین‌ها کاربرد دارند اما موقعیت نقاط P/D چگونه؟ بسته به پی‌کرندگی تجهیزات تولید، ممکن است نقاط از پیش معلوم باشند. به عنوان مثال، بخش بارگیری و تخلیه تجهیزات تولید ممکن است تنها در یک طرف تجهیزات واقع شده و قابل دسترسی باشد، که این نقاط P/D را به یک طرف تجهیزات محدود می‌کند. چنانچه هیچ محدودیتی در سیستم برای مکان‌یابی نقاط P/D وجود نداشته باشد، مدل‌هایی در مقالات و کتب مختلف وجود دارند که مکان ماشین‌ها و نقاط P/D را همزمان تعیین می‌کند (به عنوان مثال به Heragu 1990 مراجعه کنید).

تعیین شبکه جریان مواد شامل مسیرهای حرکت و جهت‌های حرکت AGV ها

با در دست داشتن چیدمان و مکان نقاط P/D، برخی مدل‌های برنامه‌ریزی عدد صحیح شبکه جریان مواد را به صورت بهینه تعیین می‌کنند. این مدل‌ها تنها برای مسائل با اندازه کوچک به صورت بهینه حل شدنی هستند، با این وجود الگوریتم‌های ابتکاری^۲ طراحی شده‌اند. مدل‌ها و الگوریتم‌های ابتکاری توسط (Heragu and Rajagopalan 1996) مورد بررسی قرار گرفته‌اند.

تعیین تعداد و نوع AGV ها

برای تعیین تعداد و نوع AGV ها هم مدل‌های قطعی و هم مدل‌های احتمالی و تصادفی وجود دارند (مانند Maxwell and Muckstadt 1982, Srinivasan, Bozer,

and Cho 1994). مشکل مدل‌های قطعی آن است که فرض می‌کنند همه اطلاعات مورد نیاز (مانند درخواست‌های انتقال مواد) به صورت قطعی معلوم‌اند. اما همان‌طور که قبلاً گفته شد محیط MHS بسیار تصادفی است. مشکل مدل‌های تصادفی آن است که معمولاً تعداد AGV های لازم را بیشتر یا کمتر از آنچه باید باشد تخمین می‌زنند، بیشتر به خاطر آنکه تخمین زمان‌های ازدحام و رفت و آمد خالی (بدون بار) وسایل نقلیه مشکل است. از آنجایی که مدل‌های قطعی و تصادفی معایب قطعی‌ای دارند، ما رویکرد سه مرحله‌ای مطرح شده در بخش ۱ را توصیه می‌کنیم: (۱) استفاده از یک مدل قطعی (مانند مدل Maxwell and Muckstadt 1982) برای رسیدن به یک تعداد اولیه یا حد پایینی برای وسایل نقلیه لازم، (۲) تخمین نرخ ورود با استفاده از یک مدل تصادفی (مانند مدل Srinivasan, Bozer, and Cho 1994) و (۳) بهبود این تعداد جهت رسیدن به سطح مطلوبی از ورودی و انجام تجزیه و تحلیل بیشتر در مورد این جواب بهبود یافته از طریق شبیه‌سازی.

تعیین نحوه تخصیص AGV ها به درخواست‌های انتقال مواد

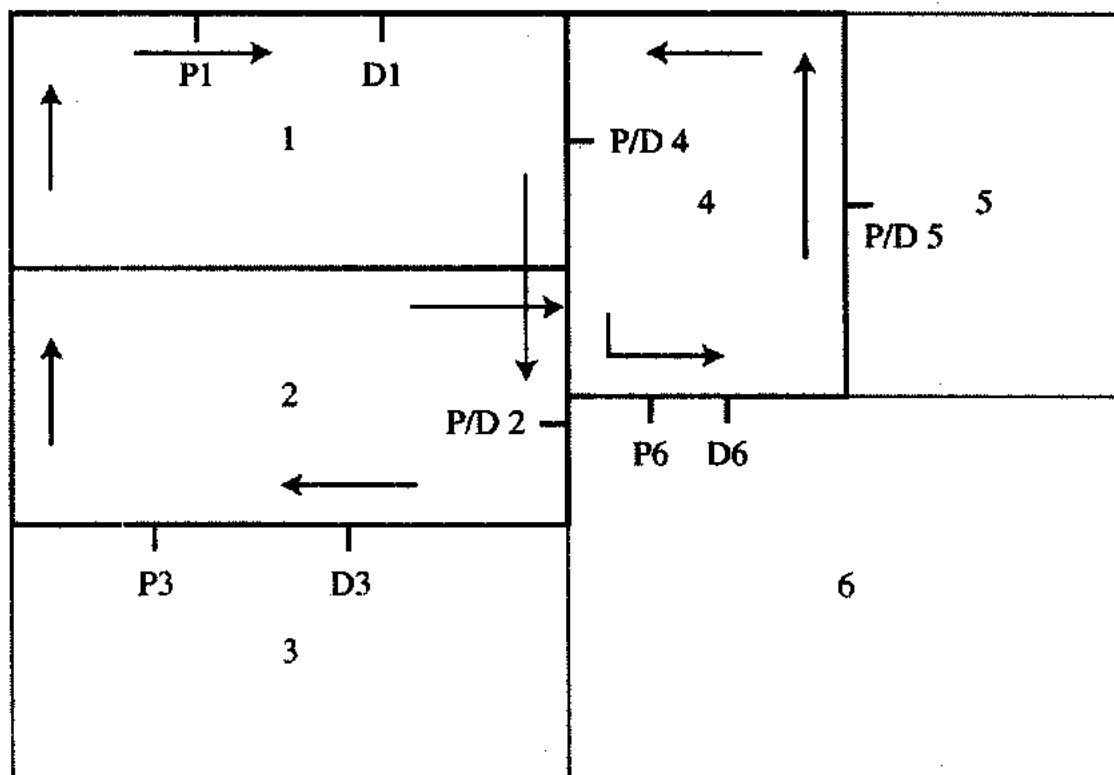
حتی در مورد این مسأله نیز مدل‌های قطعی - یعنی تخصیص، حمل و نقل و برنامه‌ریزی عدد صحیح مخلوط به همراه مدل‌های تصادفی می‌توانند برای تعیین اینکه چگونه AGV ها می‌توانند به حرکت‌های درون بخشی تخصیص یابند، به کار روند. برای داشت دیدی کلی و مختصر در مورد مدل‌های قطعی و تصادفی به ترتیب به Heragu and Das (1994) و Johnson and Brandeau (1992) مراجعه کنید.

تعیین قوانین مسیریابی و ارسال AGV و تدوین استراتژی‌های حل مشکلات برخورد مسیرها

شبیه‌سازی ابزار غالب برای تعیین و مطالعه اثر مسیریابی و ارسال AGV و نیز حل مشکلات برخورد مسیرها به شمار می‌روند اگرچه برخی مدل‌های تحلیلی نیز وجود دارند (به عنوان مثال Malmborg and Shen 1994 را ببینید). یک بار دیگر خواننده را به مقاله Johnson and Brandeau (1992) برای داشتن دیدی کلی از مطالعات مبتنی بر شبیه‌سازی که استراتژی‌های مختلف را در نظر می‌گیرد، ارجاع می‌دهیم.

احتمالاً بر خواننده آشکار است که مدل‌ها و الگوریتم‌های متعددی برای هر یک از مسائلی که لیست کردیم، موجود است. به جای بحث در مورد همه آنها، ما خواننده علاقمند را به مقالات تحقیقی ذیل که روش‌های مختلف را شرح می‌دهند، ارجاع می‌دهیم: (1992) Johnson and Brandeau (1993) Sinriech, Nobel and Tanchoco (1995) و (1996) Heragu and Rajagopalan.

سه طراحی شبکه جریان مواد در شکل‌های ۱۱-۴۲، ۱۱-۴۳ و ۱۱-۴۴ (Heragu and Rajagopalan 1996) نشان داده شده‌اند. اولین شکل نقاط P/D را که در یک مکان واقع شده‌اند (۲ و ۴ و ۵ را ببینید) به همراه آنهایی که جدا از هم هستند (۱ و ۳ و ۶ را ببینید) را نشان می‌دهد. شبکه نشان داده شده در شکل ۱۱-۴۲ حرکات یک طرفه را فرض می‌گیرد و دارای حلقه‌های چندگانه است، در حالی که شکل ۱۱-۴۳ یک حلقه را که حرکت دو طرفه را مجاز می‌دارد، نشان می‌دهد. گرچه حرکت دو طرفه امکان انعطاف‌پذیری بیشتری در انتقال مواد را فراهم می‌آورد اما کنترل عملیاتی چنین سیستم‌هایی مشکل‌تر است. شکل ۱۱-۴۴ طراحی جالبی بر پایه مفهوم تولید سلولی را نشان می‌دهد. درست همان‌طور که یک سیستم بزرگ را به زیرسیستم‌های از هم مستقل که از مفهوم تولید سلولی استفاده می‌کنند، تقسیم می‌کنیم یک شبکه جریان مواد بزرگ را نیز به چندین شبکه بدون هم‌پوشانی، تک حلقه، دو طرفه که انتقال قطعات بین هر دو نقطه گذاشت و برداشت را ممکن می‌سازد، تقسیم‌بندی می‌کنیم. این پیکربندی (ارائه شده توسط Bozer and Srinivasan 1989) که پیکربندی دو ترکه^۱ نامیده می‌شود، چند عیب دارد؛ مثلاً یک قطعه ممکن است در چندین حلقه جابجا شود تا به مقصد خود برسد. البته پیکربندی نشان داده شده در شکل ۱۱-۴۴ چندین مزیت نیز دارد. بدون استفاده از وسایل نقلیه دو طرفه، این پیکربندی انعطاف‌پذیری در انتقال مواد را فراهم می‌آورد. تراکم راه‌بندان حذف می‌شود و سیستم کنترل مدیریت ترافیک و مدیریت وسیله نقلیه پیچیدگی کمتری نسبت به سیستم سنتی، مانند سیستم نشان داده شده در شکل ۱۱-۴۲ دارد.



شکل ۱۱-۴۲. پیکربندی شبکه جریان مواد یک طرفه سستی با چندین حلقه منفرد

۱۱-۶ مدل‌هایی برای طراحی سیستم انتقال مواد

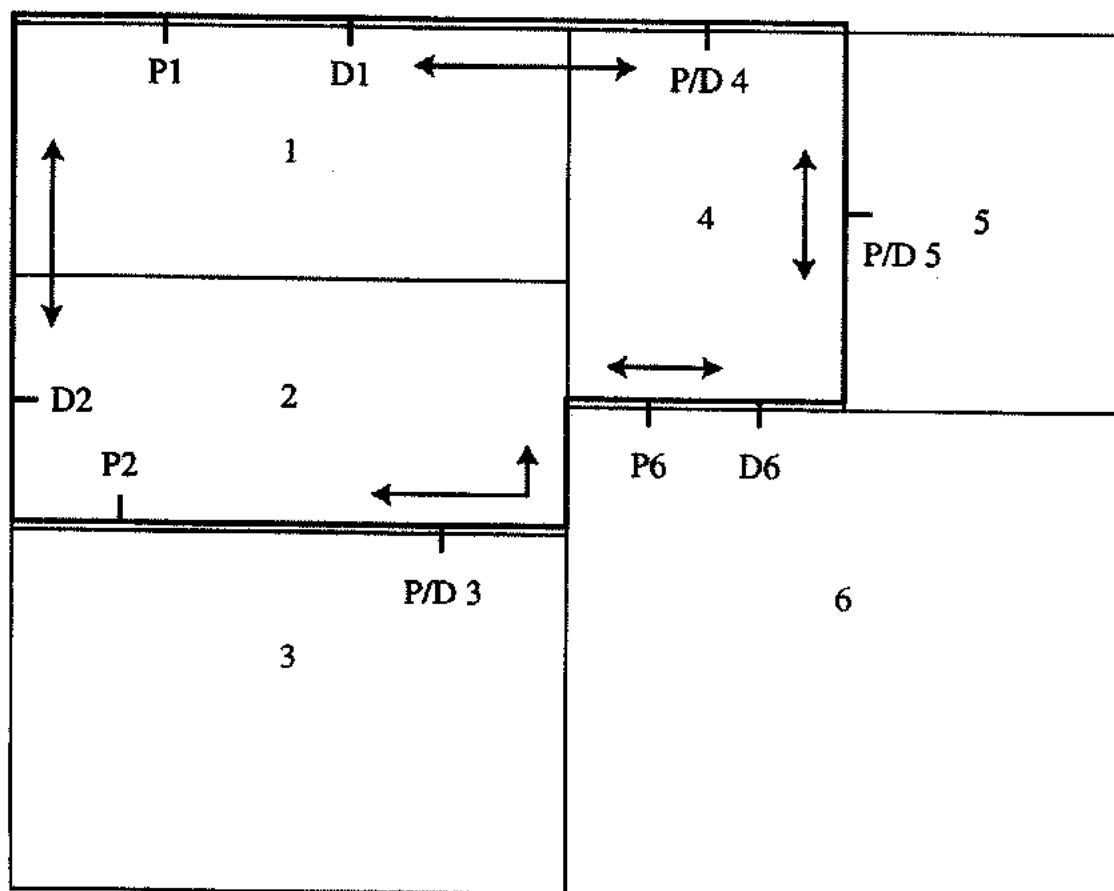
گرچه طبقه‌بندی‌های جزئی‌تری برای MHS ها وجود دارد، برای مدل‌سازی و تحلیل آنها، ما از (Johnson and Brandeau 1992) پیروی کرده و MHS ها را به دو دسته سیستم‌های هم‌زمان و سیستم‌های غیرهم‌زمان تقسیم‌بندی می‌کنیم.

سیستم‌های هم‌زمان -مانند نقاله‌ها- معمولاً در فرآیندهای پیوسته یا محیط‌های قطعات-گسسته دارای ترافیک سنگین به کار می‌روند. از سوی دیگر، سیستم‌های غیرهم‌زمان در محیط‌های قطعات-گسسته دارای ترافیک سبک و جایی که انعطاف در انتقال مواد مطلوب است، مورد استفاده قرار می‌گیرند. مثال‌های سیستم‌های غیرهم‌زمان سیستم‌های AGV، AS/RS، لیفتراک‌های چنگکی^۱، مونوریل‌ها^۲، جرثقیل‌ها^۳ و بالابرها^۴ هستند. از آنجایی که AS/RS معمولاً برای انتقال مواد به درون و خارج انبار از کار

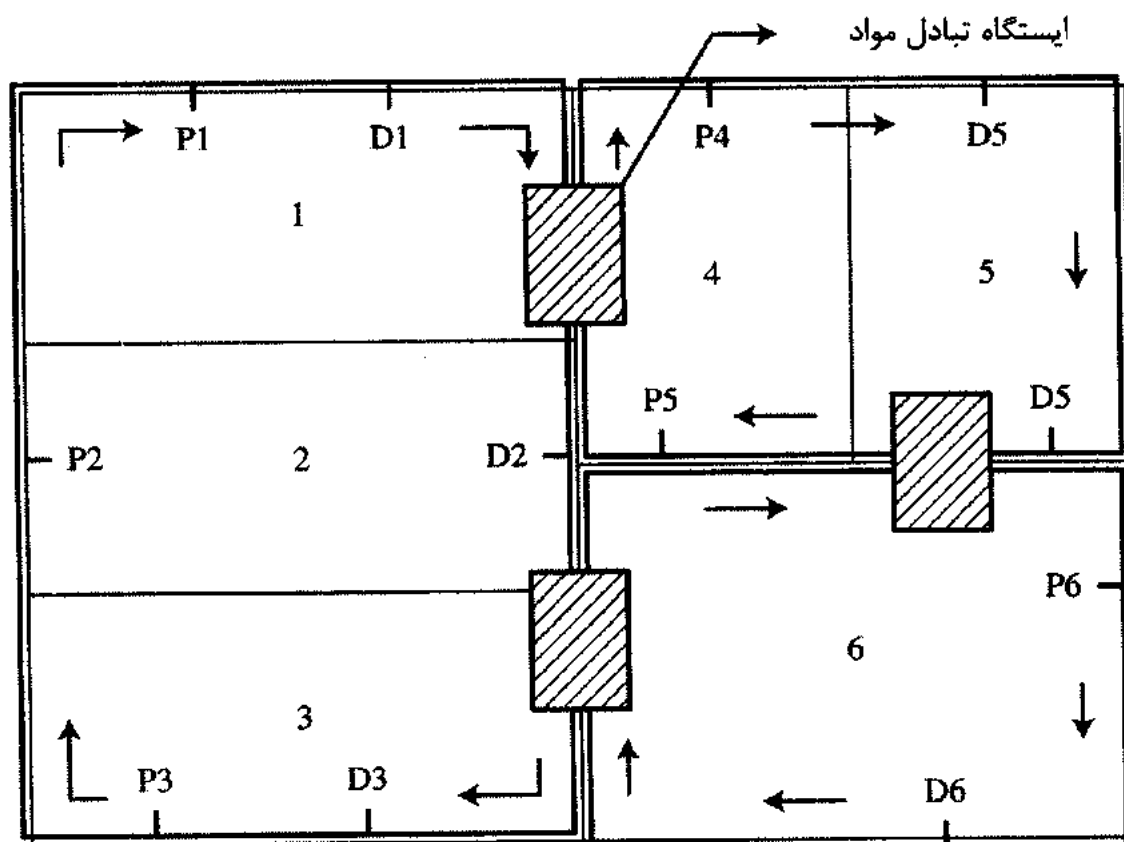
1. fork lift truck
2. mono rail
3. crane
4. hoist

می‌روند و چون انبارداری را در بخش ۱۲ مورد بحث قرار می‌دهیم، طراحی و تحلیل آنها در آنجا پوشش داده می‌شود. در این بخش و بخش بعدی، ما مدل‌های طراحی و تحلیل معینی را (به همراه مثال‌های عددی) برای سیستم‌های هم‌زمان و نیز غیرهم‌زمان (غیر از AS/RS) ارائه می‌دهیم.

طراحی یک سیستم تولیدی حل چندین مسأله در یک توالی خاص را شامل می‌شود. همان‌طور که در بخش ۱ بحث شد، طراحی معمولاً انتخاب نوع و تعداد تجهیزات تولید و ساخت و نیز MHD های لازم، دسته‌بندی ماشین‌های مناسب در سلول‌ها و تعیین چیدمان ماشین‌ها در هر سلول و چیدمان سلول‌ها را در بردارد. گاهی ممکن است بهتر باشد انتخاب MHD ها را تا پس از تعیین چیدمان ماشین‌ها و در نتیجه نوع و تعداد تجهیزات ساخت و تولید، به تأخیر انداخت. به عنوان مثال، چیدمان U-شکل یا دایره‌ای ممکن است استفاده از روبات یا نقاله برای انتقال مواد را اجبار کند یا یک چیدمان خط مستقیم یک AGV را بطلبد. موقعیت‌های دیگری ممکن است انتخاب هم‌زمان تجهیزات تولید و MHD ها سودمندتر باشد. در این صورت می‌توانیم از مدل M1 ارائه شده در بخش ۲ استفاده کنیم. البته اگر باید MHD ها را بعد از تعیین



شکل ۱۱-۴۳. پی‌کرندی شبکه سستی با یک حلقه منفرد و سفرهای دوطرفه



شکل ۱۱-۴۴. پیکربندی شبکه با چندین حلقه غیر هم پوشان منفرد و سفرهای یک طرفه

نوع و تعداد تجهیزات تولید، انتخاب کنیم می توانیم از مدل M2 بخش ۲ استفاده نماییم. در این بخش، مدل انتخاب MHD دیگری که نوع و تعداد MHD های لازم را از روی یک فهرست کاندیداها) تعیین کرده و نیز به حرکات مختلف تخصیص می دهد را ارائه می کنیم.

۱۱-۶-۱ روش قطعی

در این بخش مدل بهینه سازی قطعی ای (مدل برنامه ریزی عدد صحیح مخلوط) را مورد بحث قرار می دهیم که به طراحان در انتخاب تجهیزات انتقال مواد لازم کمک می نماید. این مدل تابع هزینه را با در نظر گرفتن محدودیت های مشخص شده سیستم حداقل می کند.

مدل انتخاب و تخصیص MHD

هدف مدل برای انتخاب هم‌زمان تعداد و نوع MHD های لازم و تخصیص آنها به حرکات انتقال مواد حداقل کردن هزینه‌های اجرایی و سرمایه‌گذاری سالیانه است. یک حرکت انتقال مواد، یا به‌طور ساده یک حرکت، حرکت فیزیکی است که یک MHD باید انجام دهد تا باری را بین دو ماشین جابجا کند. تعداد حرکت نه تنها به حجم و اندازه دسته انتقالی هر نوع قطعه تولیدی بستگی دارد بلکه به تعداد ماشین‌هایی که قطعه از آنها گذر می‌کند نیز وابسته است. همه انواع کاندیدای MHD که می‌توانند این حرکات را انجام دهند ارزیابی شده و مدل انتخاب و تخصیص بهینه را مشخص می‌کند. در صورت لزوم، می‌توان تابع هدف مدل را طوری اصلاح کرد که زمان بیکاری تجهیزات را نیز به همراه هزینه‌های سرمایه و اجرایی در نظر بگیرد (تمرین ۱۵ را ببینید). پیش از ارائه مدل، متغیرها و پارامترهای آن را تعریف می‌کنیم:

i : اندیس نوع قطعه و $i=1,2,\dots,p$

j : اندیس نوع ماشین، $j=1,2,\dots,m$

l : اندیس نوع MHD، $l=1,2,\dots,n$

L_i : مجموعه MHD هایی که می‌توانند برای انتقال قطعه نوع i به کار روند.

H : طول دوره برنامه‌ریزی

D_i : تعداد واحدهای قطعه نوع i که لازم است تولید شود.

K_{ij} : مجموعه ماشین‌هایی که قطعه نوع i می‌تواند به‌عنوان مرحله بعدی فرایند از ماشین j به آنها فرستاده شود.

M_{ij} : مجموعه ماشین‌هایی که از آنها قطعه شماره i می‌تواند برای مرحله بعدی فرایند، به ماشین j فرستاده شود.

A_i : مجموعه ماشین‌های مورد نیاز برای اولین عملیات روی قطعه i

B_i : مجموعه ماشین‌های مورد نیاز برای آخرین عملیات روی قطعه i

V_l : هزینه خرید MHD H_l

T_{ijkl} : زمان لازم برای حرکت یک واحد از قطعه نوع i از ماشین نوع j به k

C_{ijkl} : هزینه انتقال واحد برای حرکت قطعه نوع i از ماشین j به k با استفاده از

MHD نوع l

X_{ijkl} : تعداد واحدهای قطعه نوع i که باید بین ماشین j به k با استفاده از MHD نوع l حمل شود.

Y_l : تعداد واحدهای MHD نوع l انتخاب شده

Model 1

$$\text{Minimize} \quad \sum_{l=1}^n V_l Y_l + \sum_{i=1}^p \sum_{j=1}^m \sum_{k \in K_{ij}} \sum_{l \in L_i} C_{ijkl} X_{ijkl} \quad (1)$$

$$\text{Subject to} \quad \sum_{j \in A_i} \sum_{k \in K_{ij}} \sum_{l \in L_i} X_{ijkl} = D_i \quad i = 1, 2, \dots, p \quad (2)$$

$$\sum_{k \in M_{ij}} \sum_{l \in L_i} X_{ikjl} - \sum_{k \in K_{ij}} \sum_{l \in L_i} X_{ijkl} = 0 \quad i = 1, 2, \dots, p \quad (3)$$

$$\sum_{j \in B_i} \sum_{k \in M_{ij}} \sum_{l \in L_i} X_{ikjl} = D_i \quad i = 1, 2, \dots, p \quad (4)$$

$$j : j \notin A_i \cup B_i$$

$$\sum_{i=1}^p \sum_{j=1}^m \sum_{k \in K_{ij}} X_{ikjl} T_{ikjl} \leq H Y_l \quad l = 1, 2, \dots, n \quad (5)$$

$$X_{ikjl} \geq 0 \quad i = 1, 2, \dots, p \quad (6)$$

$$j = 1, 2, \dots, m$$

$$k = 1, 2, \dots, n$$

$$Y_l \geq 0 \text{ and integer} \quad l = 1, 2, \dots, n \quad (7)$$

تابع هدف مدل ۱ نه تنها هزینه‌های عملیاتی (اندازه‌گیری شده به عنوان تابعی از هزینه‌های حرکت‌های انتقال) بلکه همچنین هزینه‌های خرید MHD را نیز، حداقل می‌کند. وقتی که تنها یک نوع قطعه در نظر گرفته شود، مدل مسأله جریان شبکه هزینه - ثابت است که در آن تعداد گره‌ها به تعداد ماشین‌ها و MHD های قادر به پردازش و انتقال نوع قطعه بستگی دارد. در زمینه جریان شبکه، محدودیت (۲) اطمینان حاصل می‌کند "جریان" تولید شده در اولین گره (عرضه) برای تعداد قطعاتی است که باید

پردازش شود. به بیان دیگر، تعداد واحدهایی از هر نوع قطعه که ماشین‌های مربوط به خود را پس از عملیات اول ترک می‌کنند، باید مساوی تعداد واحد قطعاتی باشد که باید تولید شود. این قطعات همان‌طور که محدودیت (۴) اجبار می‌کند در آخرین گروه (تقاضا) "جذب می‌شوند". به عبارت دیگر، تعداد واحدهای هر نوع قطعه که برای آخرین عملیات به ماشین‌های مربوط به خود می‌آیند باید مساوی تعداد واحدهای تولید شده آن نوع قطعه باشد. محدودیت (۳) یک عبارت تراز مواد است و تضمین می‌کند که برای هر گره انتقال بعدی مربوط به ماشین‌های مورد نیاز عملیات میانی (یعنی غیر اولین و آخرین)، همه واحدهای دریافتی به گره (های) مرحله بعد داده خواهند شد. به این ترتیب همه قطعات دریافت شده در هر ماشین میانی به ماشین (های) مناسب برای مرحله پردازش بعدی فرستاده می‌شوند. محدودیت (۵) تضمین می‌کند که از ظرفیت MHD تجاوز نشده است. از آنجایی که محدودیت (۷) یک محدودیت عدد صحیح است، تعداد لازم از هر نوع MHD ضروری برای انتقال مواد بین ماشین‌ها، انتخاب می‌شوند. می‌توان نشان داد که متغیرهای X_{ijkl} خود به خود در جواب بهینه عدد صحیح خواهند شد، بنابراین هیچ محدودیت عدد صحیح اضافی برای این متغیرها مورد نیاز نیست. زمانی که محدودیت بار برای MHD ها وجود دارد، می‌توان آن را با گذراندن ظرفیت‌ها بر کمان‌های خاص، اعمال کرد. این به آن معناست که متغیرهای X_{ijkl} مربوطه دارای حد بالایی نیز خواهند بود.

این مدل بر سه فرض استوار است که ارزش مطرح کردن را دارد. اول آنکه، این مدل مطلقاً فرض می‌کند که یک حرکت از ماشین i به k تنها شامل سفر با بار است و هیچ توجهی به سفر بدون بار یا خالی در جهت عکس نشده است. البته، سفرهای خالی MHD ها را می‌توان به‌طور غیرمستقیم با کاهش زمانی که MHD در دسترس است، در نظر گرفت. به عنوان مثال، اگر می‌دانیم که یک MHD معین قرار است به تعداد سفرهای با بار سفر بدون بار داشته باشد، آنگاه زمان در دسترس بودن این تجهیز می‌تواند به ۵۰٪ کاهش یابد. این امر در مثال ۱ نشان داده شده است. دوم آنکه، زمان حمل یک واحد قطعه i از ماشین i به k با استفاده از MHD نوع l نمی‌تواند به‌صورت

قطعی از قبل تعیین گردد چرا که این زمان به فاکتورهای چون تراکم جریان و زمان

تعمیرات یا نگهداری تجهیز جابجایی بستگی دارد. بنابراین باید توسط یک تحلیل گر

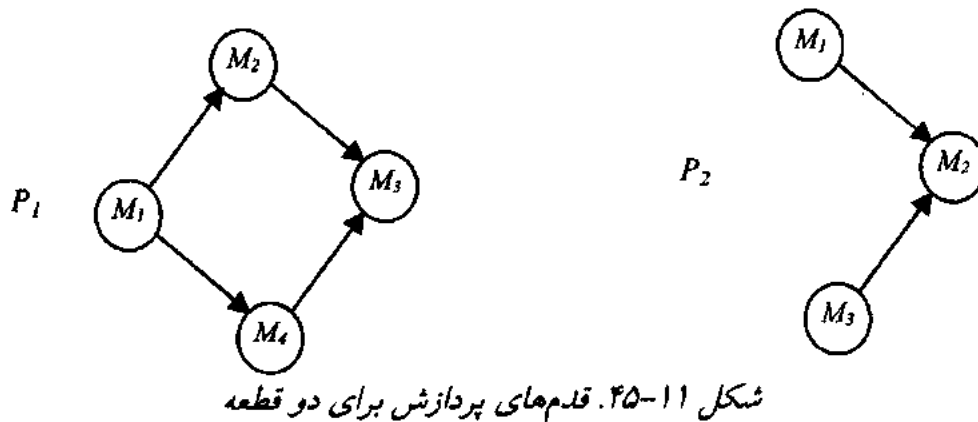
تجهیزات با تجربه تخمین زده شود. زمان تخمینی باید مسافت بین ماشین‌ها و اضافاتی برای خرابی تجهیزات انتقال، تعمیرات، نگهداری، تراکم جریان، زمان‌های بارگیری و تخلیه و سفرهای خالی احتمالی را در نظر بگیرد. از آنجایی که یک MHD معمولاً بیش از یک واحد از یک قطعه خاص را حمل می‌کند، زمان تخمینی باید متوسط زمان مورد نیاز برای انتقال یک قطعه را نشان دهد. به عنوان مثال، فرض کنید که تجهیز جابجایی l می‌تواند ۲۰ واحد از قطعه نوع i را یک‌باره حمل کند و ۲۱۰ واحد از این قطعه باید از ماشین z به k برود. اگر زمان سفر برای هر سفر ۱ دقیقه باشد، آنگاه زمان تخمینی برای انتقال یک واحد قطعه i از ماشین z به k با استفاده از تجهیز جابجایی l به ترتیب ذیل محاسبه می‌شود: تعداد سفرهای مورد نیاز $210/20=10.5$ یا ۱۱ سفر خواهد بود. چون هر سفر ۱ دقیقه طول می‌کشد، کل زمان سفر ۱۱ دقیقه خواهد بود، بنابراین زمان تخمینی $11/210=0.0048$ دقیقه، یا ۰.۲۸۶ ثانیه برای هر واحد است. سوم آنکه، هزینه خرید V_i برای تجهیز نوع l هزینه تجهیز تقسیم شده بر طول عمر اقتصادی آن، برحسب سال، است. به طریق مشابه هزینه‌های حرکت نیز ممکن است به طرز مناسبی تقسیم‌بندی شوند (به عنوان مثال به Webster and Reed 1971 مراجعه کنید)

مدل ۱ می‌تواند با تکنیک شاخه و حد برای برنامه‌ریزی عدد صحیح مخلوط موجود در اکثر بسته‌های نرم‌افزاری حل شود. توجه داشته باشید که تعداد متغیرهای عدد صحیح در مدل ۱ تابع خطی‌ای از n که n تعداد انواع در دسترس MHD است، می‌باشد. حتی برای مسائل صنعتی در مقیاس بزرگ، تعداد در دسترس انواع MHD که از میان آنها باید انتخاب شود، کمتر از ۲۵ است. از آنجایی که تعداد متغیرهای عدد صحیح در مدل کم است، مدل می‌تواند به صورت بهینه و با سرعتی معقول بر روی کامپیوترهای شخصی امروزی حل شود.

مثال ۱

یک سیستم تولیدی کوچک دو قطعه را با حجم بالا پردازش می‌کند: P_1 و P_2 . هر ۵۰ واحد قطعه P_1 ابتدا بر روی ماشین M_1 پردازش می‌شود و سپس به ماشین M_2 یا M_4 برای پردازش بیشتر فرستاده می‌شود و سپس برای پردازش نهایی به ماشین M_3 ارسال می‌شود (شکل ۱۱-۴۵ را ببینید). علاوه بر قطعه P_1 ، تجهیزات تولید ۶۰ واحد از قطعه

P_2 را نیز پردازش می‌کند، که از این تعداد ۳۰ واحد اول بر روی ماشین M_1 و بعد بر روی ماشین M_2 پردازش می‌شوند. از آنجایی که ماشین M_3 می‌تواند پردازشی مشابه ماشین M_1 را برای قطعه P_2 را انجام دهد. ۳۰ واحد باقیمانده قطعه P_2 اول بر روی ماشین M_3 پردازش می‌شود و سپس برای پردازش نهایی به ماشین M_2 فرستاده می‌شوند. دو MHD کاندیدا با هزینه‌های خرید به ترتیب ۱۰۰،۰۰۰ دلار و ۱۴۰،۰۰۰ دلار در نظر گرفته شده‌اند. هزینه‌های واحد انتقال P_1 و P_2 برای هر یک از MHDها بین ماشین‌ها در جدول ۱۱-۲ داده شده است. زمان‌های انتقال مربوطه برای هر واحد (برحسب دقیقه) در پرانتزهایی در جدول ارائه شده است. فرض کنید ۷۱۵۰ دقیقه در دوره برنامه‌ریزی وجود دارد و انتظار می‌رود هر وسیله جابجایی ۳۰٪ از زمان سفرهای خالی انجام دهد. MHD های لازم را تعیین کنید و حرکات‌های درون بخشی را به MHD (های) انتخاب شده تخصیص دهید.



جواب. برای حل مشکل مدل (۱) به‌صورت نشان داده شده تنظیم گردیده است. توجه کنید که محدودیت‌های نوع (۴) برای قطعه ۲ شبیه محدودیت‌های نوع (۲) است زیرا این قطعه فقط دو فرایند دارد و لذا این محدودت‌های تکراری وارد نشده‌اند. با حل کردن مدل با استفاده از LINDO، ما این راه‌حل بهینه را به‌دست می‌آوریم: $Y_1=1$ ، $X_{1121}=50$ ، $X_{1231}=50$ ، $X_{2121}=30$ ، $X_{2321}=30$ برای راه‌حل ۱۰۱،۴۱۰ دلار است، با توجه به این که از دو MHD نوع H_1 و H_2 فقط H_1 انتخاب شده است.

جدول ۱۱-۲. هزینه و زمان حمل واحد برای قطعات نوع P_1 و P_2

M_4	M_3	M_2	M_1	به	از	
(۵) ۸	-	(۱۰) ۷	-	H_1	M_1	P_1
(۲) ۲	-	(۸) ۵	-	H_2		
-	(۶) ۸	-	-	H_1	M_2	P_1
-	(۵) ۴	-	-	H_2		
-	(۸) ۸	-	-	H_1	M_4	P_1
-	(۵) ۴	-	-	H_2		
-	-	(۴) ۲	-	H_1	M_1	P_2
-	-	(۲) ۱	-	H_2		
-	-	(۶) ۲۰	-	H_1	M_3	P_2
-	-	(۲) ۱۲	-	H_2		

```

MIN    100000 Y1 + 140000 Y2 + 7 X1121 + 5 X1122 + 8 X1141 + 2 X1142
      + 8 X1231 + 4 X1232 + 2 X2121 + X2122 + 20 X2321 + 12 X2322
      + 8 X1431 + 4 X1432
SUBJECT TO
    2) X1121 + X1122 + X1141 + X1142 =    50
    3) X2121 + X2122 =    30
    4) X2321 + X2322 =    30
    5) X1121 + X1122 - X1231 - X1232 =    0
    6) X1141 + X1142 - X1431 - X1432 =    0
    7) X1231 + X1232 + X1431 + X1432 =    50
    8) 5005 Y1 + 10 X1121 + 5 X1141 + 6 X1231 + 4 X2121 + 6 X2321
      + 8 X1431 <=    0
    9) - 5005 Y2 + 8 X1122 + 2 X1142 + 5 X1232 + 2 X2122 + 2 X2322
      + 5 X1432 <=    0
END
INTE    2

```

LP OPTIMUM FOUND AT STEP 7
 OBJECTIVE VALUE = 13836.8500

FIX ALL VARS. (1) WITH RC > 100000.
 SET Y2 to >= 1 AT 1, BND = -.1407E+06 TWIN = -.1000E+31 13

NEW INTEGER SOLUTION OF 140690.000 AT BRANCH 1 PIVOT 13
 BOUND ON OPTIMUM: 113836.9
 DELETE Y2 AT LEVEL 1
 RELEASE FIXED VARIABLES

NEW INTEGER SOLUTION OF 101410.000 AT BRANCH 1 PIVOT 24
 BOUND ON OPTIMUM: 101410.0
 ENUMERATION COMPLETE. BRANCHES = 1 PIVOTS = 24

LAST INTEGER SOLUTION IS THE BEST FOUND
 REINSTALLING BEST SOLUTION...

OBJECTIVE FUNCTION VALUE

1) 101410.0

VARIABLE	VALUE	REDUCED COST
Y1	1.000000	100000.000000
Y2	.000000	119980.000000
X1121	50.000000	.000000
X1122	.000000	30.000000
X1141	.000000	.000000
X1142	.000000	2.000000
X1231	50.000000	.000000
X1232	.000000	16.000000
X2121	30.000000	.000000
X2122	.000000	7.000000
X2321	30.000000	.000000
X2322	.000000	.000000
X1431	.000000	1.000000
X1432	.000000	17.000000

ROW	SLACK OR SURPLUS	DUAL PRICES
2)	.000000	.000000
3)	.000000	-2.000000
4)	.000000	-20.000000
5)	.000000	-7.000000
6)	.000000	-8.000000
7)	.000000	-15.000000
8)	3905.000000	.000000
9)	.000000	4.000000

NO. ITERATIONS = 25
 BRANCHES = 1 DETERM. = 1.000E 0



انتخاب MHD وجود دارند. برای مثال، Webster and Reed (1971) یک مدل و

الگوریتم ابتکاری ارائه دادند که با یک سری جابجایی شروع می‌شود که باید انجام شوند را گسترش داد. برای انجام دادن جابجایی‌های تجهیزات انتقال نمونه قابل دسترس و عوامل سودمندی و ارزش برای هر جابجایی تجهیزات انتقال، زمانی تخمین زده می‌شود و سپس MHD را برای شکل‌گیری یک‌سری جابجایی‌های دپارتمان‌ها انتخاب می‌کند.

۱۱-۶-۲ روش احتمالی

در بخش مقدمه برای بیشتر بخش‌ها ما فرض کردیم تمام اطلاعات خواسته شده (به‌عنوان مثال پارامترها) با اطمینان کامل شناخته شده بود. در حقیقت ما اغلب این قدر خوش شانس نیستیم. برای مثال، ما دقیقاً نمی‌دانیم چه تعداد واحد برای هر بخش تولید خواهد شد و بنابراین ما نیازهای انتقال مواد را به‌طور کامل نمی‌دانیم. به‌طور مشابه ما ممکن است وانمود کنیم که نرخ خدمات برای انتقال معین است، اما در واقع دلیل تغییرپذیری پردازش، شکست ابزار، نگهداری، و اپراتور غیرقابل دسترس، نرخ خدمات ممکن است در حقیقت غیرقطعی باشد. برای مثال، بازرسی اطلاعات خدمات گذشته ممکن است نشان دهد که زمان خدمات به‌طور نمایی با میانگین به اندازه ۵ دقیقه توزیع می‌شود. تحت این‌چنین شرایطی، مدل‌های براساس صف‌بندی^۱ پایه‌گذاری شده و شبیه‌سازی ابزارهایی سودمند در ارزیابی کارایی هستند، که هر کدام از آنها مزایا و معایب خود را دارند. مدل‌های شبیه‌سازی، برای مثال، مدل‌های زمان‌بر برای توسعه هستند که می‌توانند برای مدل‌های پیچیده استفاده شوند. مدل‌های پایه‌گذاری شده بر اساس نظریه صف، از طرف دیگر، می‌توانند به آسانی توسعه داده شده و حل شوند. نیازهای اطلاعات مقدماتی، نرخ‌های ورودی بخش‌ها و نرخ‌های خدمات MHD ها هستند. با دسترسی نرم‌افزار برای استفاده آموزشی (به‌عنوان مثال RAQS (Kamath, Sivaramakrishnan, and Shirhatti 1995) در قسمت ۱۰ بحث شده است) این مدل‌ها برای تخمین زدن فاکتورهای کلیدی کارایی برای سیستم‌های ساخت و سیستم‌های انتقال مواد نسبتاً آسان هستند. البته موقعیت‌ها، با زمان‌های خدمات غیرتفسیری،

پرداخت محدود و روش‌های توزیع پیچیده که با این مدل‌ها جزئی نیست و ما اغلب مدل‌های شبیه‌سازی را به‌طور مکرر مشاهده می‌کنیم، مدل‌سازی شده است.

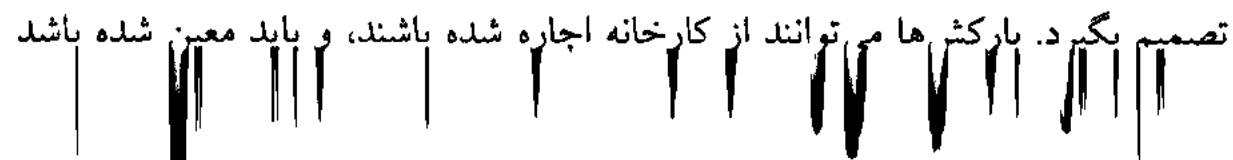
مدل‌های صف برای طراحی MHS

همانگونه که در بخش ۱۰ بحث خواهد شد، صف‌بندی و مدل‌های شبکه صف‌بندی به ما این ارزیابی‌ها را می‌دهد:

(۱) زمان یک بخش (یا مشتری) که در یک صف می‌گذرد، (۲) زمان یک بخش که در یک سیستم می‌گذرد، (۳) تعداد متوسط قطعات در یک صف، (۴) تعداد متوسط قطعات در یک سیستم، (۵) کاربری منبع (سیستم انتقال مواد یا ماشین). قبل از بحث کردن کاربرد مدل‌های صف‌بندی برای طراحی سیستم انتقال مواد، ما یک خواننده که مدل‌های صف‌بندی پایه‌گذاری شده در آن توصیفی هستند تا اینکه تجویزی باشند را آگاه می‌کنیم. به عبارت دیگر آنها تجویز نمی‌کنند که سیستم چگونه طراحی می‌شود؛ تقریباً، آنها توصیف می‌کنند که چگونه سیستم برای یک طرح به‌دست آمده رفتار می‌کند. به عنوان مثال، آنها تعداد بهینه اپراتورها و بارکش‌ها^۱ برای تعیین کردن مشکل انتقال مواد را به ما نمی‌گویند، اما برای یک موقعیت به‌دست آمده، آنها به تعیین زمان به بطلت رفته مورد انتظار برای اپراتورها و لیفتراک‌های چنگکی کمک می‌کنند. اگر ما به یک سری راه‌حل عملی (طراحی‌های سیستم) دست پیدا کنیم، ما می‌توانیم مدل‌های صف‌بندی پایه‌گذاری شده را برای تعیین این اجراها که با تعدادی معیارهای ویژه مانند قسمت نشان داده شده در مثال (۲) حمایت می‌شود، استفاده کنیم.

مثال ۲

یک تولید کننده آب داخل بطری شده در انگلیس یک انبار بزرگ دارد. این پالت‌های آب بطری شده از تولید کننده پالت به انبار تحویل داده می‌شود نیازهای بالا، سطح اتصال راهرو وسیله بطری کردن به انبار، سکوی شیب‌دار، قیمت‌ها و دیگر ملاحظات باعث می‌شود که کمپانی به استفاده از لیفتراک چنگکی برای تحویل پالت‌ها به انبار تصمیم بگیرد. بارکش‌ها می‌توانند از کارخانه اجاره شده باشند، و باید معین شده باشد



که یک میانگین ۱۵ دقیقه‌ای برای لیفتراک چنگکی به تحویل پالت به انبار گرفته شود (که شامل سیر در جهت‌ها و تخلیه می‌شود). یک اپراتور به کمک در بارگذاری نیازمند شده است که به‌طور میانگین برای هر پالت ۱۲ دقیقه زمان می‌برد. دو یا سه اپراتور برای این وظیفه می‌توان اختصاص داده شده باشد. ورودی و زمان‌های خدمات اپراتور که تحت تعویض نمونه‌ای باشد گرفته شده است، و قیمت اجاره اپراتور و لیفتراک چنگکی که به ترتیب به ارزش ساعتی، ۲۰ و ۵۰ دلار است و کمپانی می‌خواهد که ۵ تا بارکش را اجاره کند و مشخص کردن اینکه باید دو یا سه اپراتور برای کم کردن زمان تلف شده اپراتور و لیفتراک چنگکی طراحی شود.

جواب. این مشکل می‌تواند به‌عنوان یک مدل صف‌بندی منبع محدود در جایی که تعدادی (کمک‌کننده) منبع مشخص و تعدادی مشتری محدود که برای خدمت مطابق ورود شناخته شده و تعویض زمان سرویس وارد می‌شوند، مدل‌سازی شود. با استفاده از عددنویسی در بخش ۱۰-۲-۶، ما می‌توانیم برای اولین ترتیب‌بندی معین کنیم که $S=2$; $N=5$ با استفاده از فرمول‌های (استفاده شده از قسمت ۱۰ برای راحت شدن کار) ما به دست می‌آوریم که $C_0=2/46$; $C_1=6/4$; $C_2=6/4$; $C_3=6/4$; $C_4=4$; $C_5=4$ از مدل چند خدمت دهنده داریم:

$$c_n = \begin{cases} \frac{N! \lambda^n}{(N-n)! n! \mu^n} & \text{for } n = 0, 1, 2, \dots, S \\ \frac{N! \lambda^n}{(N-n)! S! S^{n-S} \mu^n} & \text{for } n = S+1, S+2, \dots, N \\ 0 & \text{for } n > N \end{cases}$$

با استفاده از فرمول کلی $P_n = c_n P_0$ می‌دانیم که $P_0=2/46 P_0$; $P_1=6/4 P_0$; $P_2=6/4 P_0$; $P_3=6/4 P_0$; $P_4=4 P_0$; $P_5=4 P_0$ و $P_0+P_1+P_2+P_3+P_4+P_5=1$ ما می‌یابیم که:

$$P_0=0/036 \quad P_1=0/145 \quad P_2=0/231 \quad P_3=0/278 \quad P_4=0/222 \quad P_5=0/088$$

این مقادیر P_i ($i=5,4,3,2,1$) و فرمول‌های ذیل (از جدول ۱۰-۳ در بخش ۱۰) به ما این اجازه را می‌دهد که میانگین زمان مصرف شده در صف‌بندی با یک مشتری - یک لیفتراک چنگکی را حساب کنیم:

$$L_q = \sum_{n=S}^N (n-S)P_n$$

$$L = L_q + \sum_{n=0}^{S-1} nP_n + S(1 - \sum_{n=0}^{S-1} P_n)$$

$$W_q = \frac{L_q}{\lambda(N-L)}$$

$$L_q = 0 \times P_2 + 1 \times P_3 + 2 \times P_4 + 3 \times P_5$$

$$= 0.278 + 2 \times 0.222 + 3 \times 0.088 = 0.986 \quad \text{بارکش}$$

$$W_q = \frac{0.986}{4 \times (5 - 2.769)} = 0.111 \quad \text{ساعت}$$

به‌خاطر تقسیم کردن زمان یک اپراتور که بیهوده است با $P_1 + 0.5 P_2$ به‌دست می‌آید (نگاه کنید به تمرین ۱۸ الف)، ما می‌توانیم تعیین کنیم زمان تلف شده اپراتور 0.109 ساعت باشد. قیمت هدر رفته وقتی که دو اپراتور تخصیص داده شده‌اند برابر است با فرمول:

(تعداد اپراتورها) $\times$ (زمان تلف شده هر اپراتور) $\times$ (ارزش هر اپراتور به ساعت) $\times$ (نرخ ورودی موثر بارکش) $\times$ (زمان انتظار در صف هر بارکش) $\times$ (قیمت اجاره‌ای هر بارکش به ساعت) $= 2 \times 0.109 \times 20 \times 892 + 50 \times 0.110 \times 53/44 = 53/44$ دلار

به‌طور مشابه این می‌تواند تأیید کننده باشد (تمرین ۱۹ را ببینید) که وقتی سه اپراتور به کمک کردن در بارگیری لیفتراک‌های چنگکی گماشته می‌شود متوسط زمان سپری شده در صف به‌وسیله یک لیفتراک چنگکی 0.197 ساعت است و زمان تلف شده اپراتور 0.294 ساعت است. با توجه به این که تقسیم زمان یک اپراتور برای سه مورد اپراتور دیگر که بیهوده است با $P_1 + 0.33 P_2 + 0.67 P_3$ به‌دست می‌آید، (تمرین ۱۸ را ببینید). قیمت هدر رفته وقتی که سه اپراتور گماشته می‌شوند برابر است با:

(تعداد اپراتورها) $\times$ (زمان تلف شده هر اپراتور) $\times$ (ارزش هر اپراتور به ساعت) $\times$ (نرخ ورودی موثر بارکش) $\times$ (متوسط زمان انتظار در صف هر بارکش) $\times$ (قیمت اجاره‌ای هر بارکش به ساعت) $= 3 \times 0.2904 \times 20 + 10.65 \times 0.197 \times 50 = 27.91$ دلار

بنابراین افزودن بهره‌برداری با ارزش‌های ساخت اضافی ارزنده است. کمپانی باید سه اپراتور را به این کار بگمارد. در بخش ۱۰ متذکر شده که به‌طور طولانی زمان‌های ورودی (گردش و بارگذاری) به اندازه $1/\lambda$ مستقل است. هنگامی که زمان سرویس (خدمت) غیرنمایی است نتایج دقیقاً تحلیلی در دسترس نیستند و ما به شبیه‌سازی متوسل می‌شویم.

۱۱-۶-۳ روش پایه‌گذاری شده دانش^۱

از آنجا که مسئله انتخاب MHD یک مسئله‌ای است سخت که به دانش مفرط نیاز دارد و به دلیل اینکه تعدادی راه‌حل موجه اما غیرغالب (نامغلوب) و اهداف مغایر وجود دارد، استفاده از روش سیستم‌های خبره پیشنهاد شده است (Malmberg et al. 1989). سیستم‌های خبره می‌توانند به سادگی به عنوان برنامه‌های کامپیوتر که با فرایند تصمیم‌گیری هوش یک انسان در قلمرو مسئله گرفته شده برابری کند، تعریف شده باشند. اگر چه فرایند تصمیم‌گیری انسان پیچیده است و به‌طور کامل غیرقابل فهم است، برنامه‌های کامپیوتر توانایی تقلید این پردازش به یک مقدار محدود در تعدادی مسئله را دارند. برای مثال، یک سیستم خبره بنام MYCIN برای تشخیص انواع علت-های مهم نسبتاً موفق، استفاده شده است (Heragu and Kusiak 1987)، و بالاخره حداقل سه سیستم خبره برای مسائل طراحی تسهیلات، شامل انتخاب چیدمان و سیستم انتقال مواد به کار برده می‌شوند: KBML (Heragu and Kusiak 1990)، FADES (Fisher and Nof 1984) و EXIT (Malmberg et al. 1989). در بخش بعدی ما EXIT را، که یک سیستم خبره برای انتخاب کردن یک کلاس مهم برای بارکش‌های صنعتی حمل‌کننده مواد است را تعریف می‌کنیم.

سیستم خبره برای انتخاب بارکش صنعتی

EXIT مخفف کلمات "سیستم خبره برای بارکش‌های صنعتی"^۱ است. علم به کار رفته در EXIT بر اساس همان "معادله انتقال مواد" پایه‌گذاری شده است که در شکل ۱۱-۴۳ نمایش داده شده است. "معادله" برای مسئله بارکش صنعتی در شکل ۱۱-۴۶ نمایش داده شده است. نه فقط "معادله" به ساخت یک طبقه‌بندی بارکش صنعتی کمک می‌کند، بلکه به ارائه اطلاعات موثر و کافی در پایه دانش به‌طور وسیع و مفید اجازه می‌دهد که علت آن قادر ساختن سیستم خبره به ورود در یک راه‌حل سریع است.

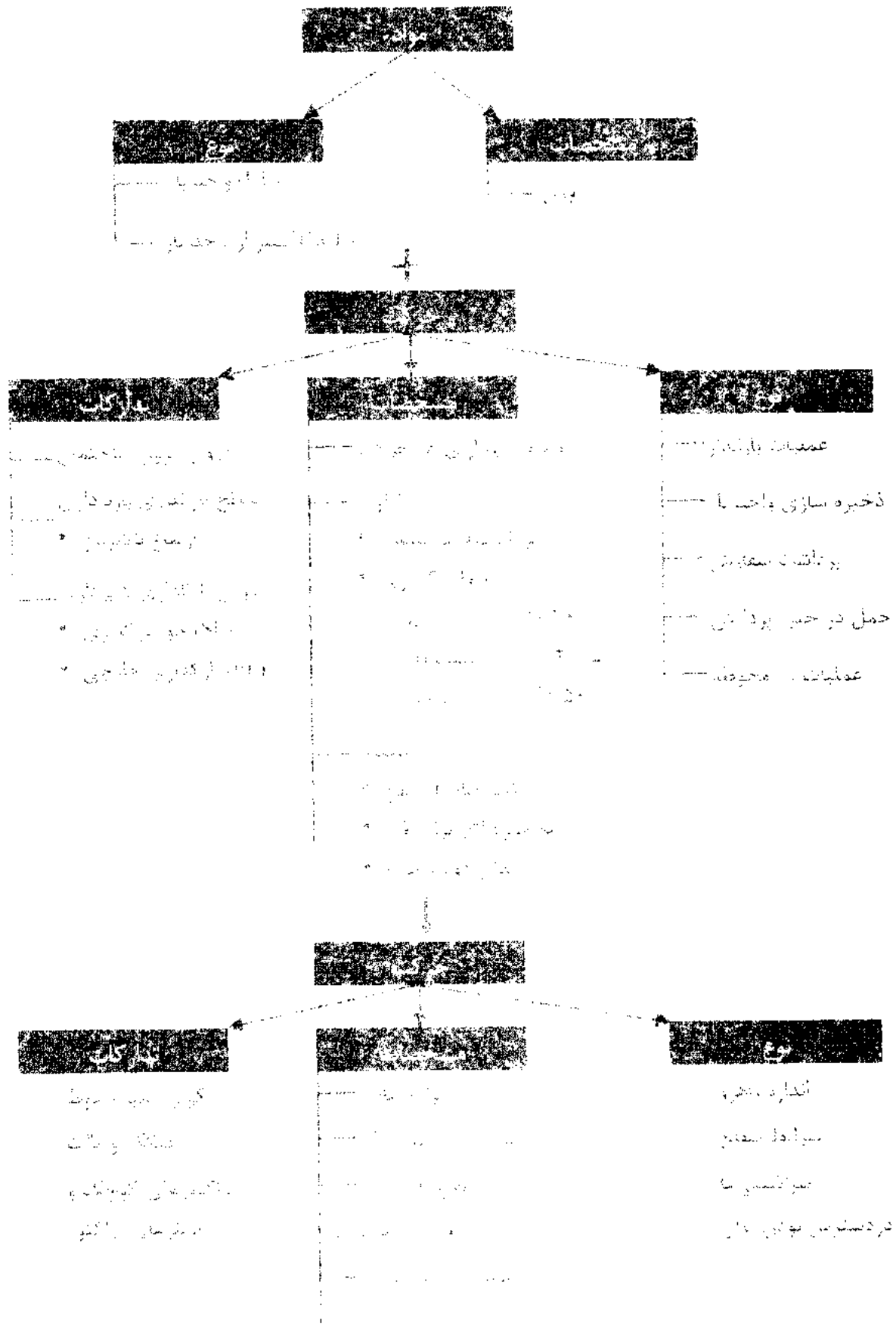
با استفاده کردن تعدادی فاکتور در سمت چپ معادله انتقال مواد (مواد + جابجایی‌ها = روش) ما می‌توانیم تعدادی بارکش صنعتی که در شکل ۱۱-۲۸ و ۱۱-۲۹ مانند جدول ۱۱-۳ نشان داده شده است را تحلیل کنیم. آگاهی از ستون عنوان‌ها که فاکتورهای مواد لحاظ شده، نوع مواد و وزن مواد هستند؛ فاکتورهای جابجایی، روش بارگذاری و تخلیه کردن و سودمندی هستند؛ فاکتورهای روش مشخصات موثر و جلوگیری فیزیکی هستند.

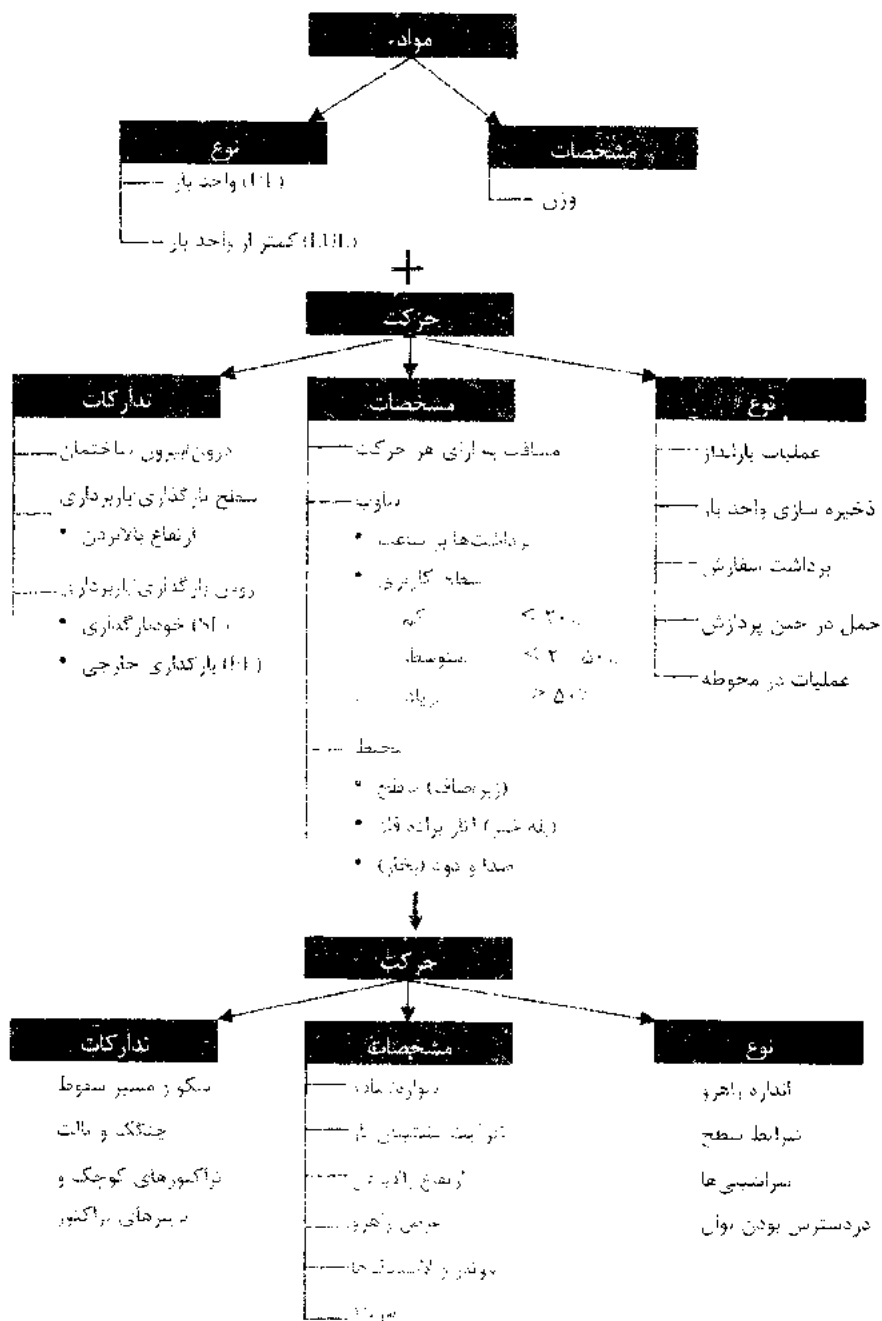
از آنجا که ما تعدادی از انواع بارکش‌های صنعتی اساسی از قبیل شکل‌های نشان داده شده ۱۱-۲۸ و ۱۱-۲۹، که در ستون‌های LUL، EL، خشن (زبر) و صدا در جدول تیک نخورده‌اند را داریم. اگر ما لیست را به‌نحوی توسعه می‌دادیم که در برگیرنده سایر انواع دیگر بارکش‌های صنعتی - به عنوان نمونه، جمع‌کننده سفارش با وزنه تعادلی، AGV، بست باربرداری کناری و سایر انواع - ستون‌های LUL، EL، خشن (زبر) و صدا می‌توانستند تیک بخورند زیرا مثلاً AGV به مکانیزیم‌های بارگذاری بیرونی نیاز دارد، جمع‌کننده سفارش با وزنه تعادلی می‌تواند بر روی سطوح صاف به فعالیت پردازد و بارهای کوچک‌تر از واحد بار را نیز جابجا کند، و به همین ترتیب در مورد سایر تیک‌ها. خواننده می‌تواند برای اطلاعات بیشتر و یک طبقه‌بندی جزئی‌تر به Malmberg et al. (1989) مراجعه کند.

مشابه هر سیستم خبره دیگر، EXIT شامل می‌شود از یک صفحه عمل‌کننده، یک پوسته ارتباطی جهت ارتباط با کاربر (برای دریافت اطلاعات مسئله از کاربر)، یک

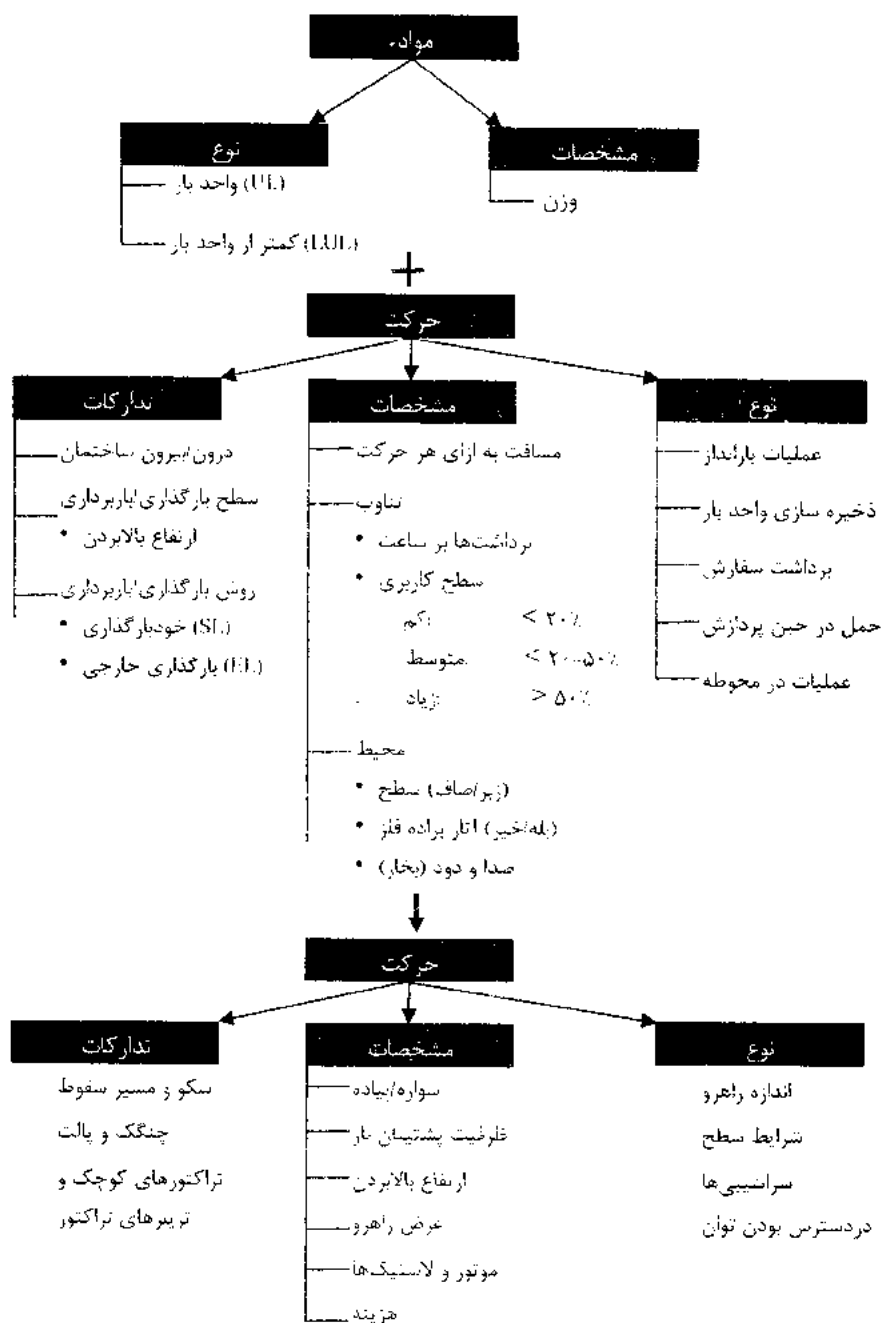
وسیله توضیحی^۱ (تا منطق استفاده شده جهت همگرا شدن به یک جواب را توضیح دهد)، یک وسیله استنباطی^۲ (که تعیین کننده قوانین لازم جهت اعمال کردن برای رسیدن یک راه حل) و یک پایگاه دانش^۳ (شامل دانش با حمایت به دست آمده از ترک-های صنعتی توسط هوش انسان) سیستم خبره در شکل ۱۱-۴۷ نمایش داده شده است. علاوه بر این همانند هر سیستم خبره دیگر، EXIT با استفاده از شبکه‌های معنایی^۴، اهداف و اشکال تولید دانش را ذخیره می‌کند. برای شرح دادن این اشکال در ارائه دانش، (Heragu and Kusiak (1987) را ببینید. شبکه‌های معنایی ارتباط بین اهداف، روش‌های تولید را توصیف می‌کنند که تعیین می‌کنند این روش‌ها چگونه به کار برده می‌شوند. برای مثال، به وسیله یک شبکه معنایی، یک بارکش صنعتی که به عنوان یک (لیفتراک چنگکی، بارکش صنعتی) است، ارائه شده است. با یک طرح. اطلاعات به یک بارکش وابسته می‌شود که می‌تواند به عنوان بارکش (نوع، ظرفیت، موتور، لاستیک) ارائه شده باشد. استفاده یک روش تولیدی مانند شکل نشان داده شده بعدی و داده‌های ورودی از کاربر با پوسته ارتباطی می‌تواند یک تصمیم مناسب بسازد. اگر (ماده از نوع بارگذاری واحد است) و (مرحله بارگذاری بین ۳۰ و ۴۵ مناسب است) و (بارگذاری پائین‌تر از ۲۵۰۰ پوند است) سپس (تراک پایه بارگذاری خواسته می‌شود).

با استفاده از اطلاعات شامل شده در پایه دانش و پاسخ به کاربر، وسیله استنباطی EXIT به طور موثر نوع بارکش صنعتی بهترین مکان برای کاربرد ویژه را فراهم می‌کند. راه حل شامل شده است از جزئیات کافی برای بارگذاری که خواه بارکش کندرو یا تندرو، دستی یا الکترونیکی، دارای چرخ یا بدون چرخ، و کم ارتفاع باشد و غیره.

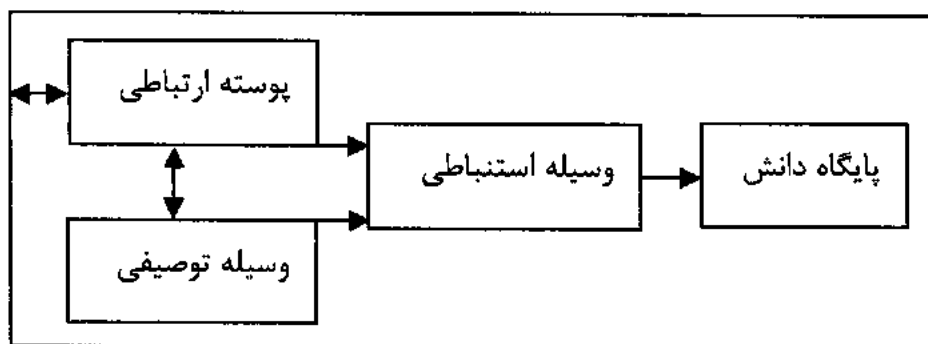




شکل ۴۱-۴۰ معادله اتصال مواد برای تدارکات‌های صنعتی



شکل ۱۱-۶۶ معادله انتقال مواد برای بارکش‌های صنعتی



شکل ۱۱-۴۷. ساختار EXIT

۱۱-۷ ملاحظات کاربردی سیستم انتقال مواد

بعد از اینکه MHD های مورد نیاز خریداری شدند قطعی ساختن اینکه مشکلات کاربردی یا اجرایی وجود ندارد از اهمیت خاصی برخوردار است. مدیران و سرپرستان می‌خواهند مطمئن شوند از اینکه MHD ها تحت شرایط کم کاری نیستند قسمتی از آنها یک مقداری بیش از اندازه از زمان انتظار برای انتقال یافتن را نگذرانده‌اند. علاوه بر این زمان‌بندها می‌خواهند بدانند جابجایی‌های دیپارتمان‌ها به MHD های مختلف چگونه و چگونه می‌شود. برای استفاده MHD های دیگر چه قواعد ارسالی را مورد استفاده قرار می‌دهد. توالی در سفارشات جابجا می‌شود و بهبود می‌یابد. عیناً در حوزه طرح یک توانایی برای روش‌های مختلف برای طرح عنوان به‌طور کاربردی و نتایج اجرای سیستم به کار برده می‌شود. در باقیمانده این بخش ما روش‌های قطعی و احتمالی (شامل شبیه‌سازی) برای رویارویی کردن با مسائل کاربردی MHS را بحث می‌کنیم.

۱۱-۷-۱ روش‌های قطعی

تعداد زیادی عنوان روش‌های قطعی به‌طور کاربردی در MHS نتیجه می‌دهد. Hassan, Hogg, and Smith (1985) یک مدل برنامه‌نویسی عدد صحیح برای انتخاب MHD ها و تخصیص آنها به حرکت‌های بین دیپارتمانی طراحی کرده است. اگر طرح ماشین‌ها در دسترس باشد (فاصله خطی بین مراکز آنها) این مدل هزینه و زمان گردش را برآورد

می‌کند. گردش‌های سه‌گانه در رسدگی کم‌ترین شده‌اند، یک سری تغییرات انتقال

داوطلب گرفته شد، Hassan, Hogg, and Smith یک مدل که هزینه اجرایی و

بسرمايه‌گذاري را كم مي‌كند، در اين مدل را توسعه دادند. اين مدل اجازه مي‌دهد كه فقط يك قطعه از تجهيزات هر حركت را انجام دهد، آنها همچنين يك الگوريتم ساخت ابتكاري براي حل مدل‌هاي برنامه‌نويسي عدد صحيح را توسعه مي‌دهند، اين الگوريتم به‌طور صريح مصرف تجهيزات را ماكزيمم و تغييرپذيري در انواع تجهيزات را مينيمم مي‌كند. روش‌هاي ديگر به جنبه‌هاي کاربردي مساله MHS منجر مي‌شود. ما حالا مدل‌هايي را براي مشخص كردن ظرفيت نوار نقاله مطرح مي‌كنيم.

روش‌هايي براي تحليل كارايي نوار نقاله^۱

اين بخش به حلقه بسته، بازگشتي^۲ با نوار نقاله‌هايي كه به‌طور مساوي با فضابندي شده رسيدگي مي‌كند؛ كه روي كار انجام شده توسط Muth (1975) پايه‌گذاري شده (كارهاي قبلي‌تر روي تئوري نوار نقاله مي‌تواند توسط در كارهاي Kwo (1958) و Mayer (1960) پيدا شود) اين تحليل فقط با نوار نقاله‌هايي کاربردي است كه با حامل‌هاي فاصله‌دار مساوي^۳ باشد (از قبيل مورد شكل ۱۱-۱۴) و نه نقاله‌هاي غلطكي يا ديگر نوار نقاله‌هاي بحث شده در بخش ۱۱-۳-۱.

براي يك مسئله عمومي ما فرض مي‌كنيم كه m ايستگاه و n نوار نقاله براي بارگذاري يا تخليه وجود دارد. ما f_{ij} را براي نشان دادن مقداري ماده بارگذاري شده روي حامل i به‌طوري كه ايستگاه i را پذيرفته باشد استفاده مي‌كنيم. اگر ماده از حامل i به حامل j تخليه شده باشد در صورت قبول شدن ايستگاه i تا يك مقدار منفي براي f_{ij} قرار مي‌دهيم فرض مي‌كنيم كه سيكل بارگذاري و تخليه يك دوره براي مدت p است.

حالا به ما اجازه مي‌دهد كه يك مجموعه $F_i = \{f_{i1}, f_{i2}, f_{i3}, \dots, f_{ip}\}$ را بسازيم در جائي كه ما فعاليت‌هاي بارگذاري و تخليه را كه در p حامل متوالي است در ايستگاه i حمل شده است تشكيل دهيم. براي مثال در ايستگاه اول اگر يك بارگذاري را با يك نوار نقاله جمع كنيم، ما به تكرار اين ردیف از فعاليت‌هاي بارگذاري و تخليه ادامه

می‌دهیم. و بنابراین این سیکل در سه دوره است و $F_i = \{1, -2, 0\}$ و لحاظ می‌شود که p نیازی نیست با n برابر باشد.

بنابراین ما ممکن است دو ایستگاه داشته باشیم که بارگذاری یا تخلیه یا هر دو فعالیت‌ها اتفاق افتد اما زمان سیکل سه است. معلوم است که در یک سیکل تخلیه و بارگذاری گرفته شده تمامی مواد بارگذاری شده باید با تمامی مواد تخلیه شده برابر باشد.

به همین دلیل m ایستگاه برای بارگذاری و تخلیه داریم، معادله تعادل این مواد ممکن است به صورت ذیل نوشته شود:

$$\sum_{i=1}^m (f_{i1} + f_{i2} + \dots + f_{ip}) = 0$$

لحاظ می‌کنیم که چگونه تعدادی سیکل زمانی که تمامی n حامل در اطراف خود نوار نقاله از بین می‌روند به ما می‌گوید مقداری ماده روی همان حمل بارگذاری شده است و زمانی که با همان ایستگاه در لحظه دوم مشاهده می‌شود فشرده می‌شوند. برای سهولت این تفسیر، ما خواهیم گفت که یک گردش فشرده شده است، هنگامی که تمامی n حامل در اطراف خود نوار نقاله از بین رفته باشد به‌طور واضح، n/p سیکل‌های بارگذاری و تخلیه، در دور اول فشرده شده هستند.

فرض می‌کنیم یک بار f_{ij} با یک حامل z جمع می‌شود زمانی که ایستگاه i در دور اول رد شده باشد. در دور دوم، بارگذاری با همان حامل z که الزاماً شبیه آن نیست جمع می‌شود.

در حالت دیگر اگر حامل z در حالت دوم ترتیب بارگذاری و تخلیه در دور اول باشد (با لحاظ کردن ایستگاه i)، بنابراین در ایستگاه دوم ترتیب بارگذاری و تخلیه در دور دوم نیست در حقیقت این آسان است برای نشان دادن اینکه اگر باقیمانده n بر p برابر صفر نشد، بنابراین ایستگاه ترتیب بارگذاری و تخلیه یک نوار نقاله (بار برداشته شده یا افتاده است) از یک دور به دور بعدی برای همان نوار نقاله در همان ایستگاه تغییر خواهد کرد.

1. باقیمانده x بر y از تقسیم x بر y به دست می‌آید. بنابراین باقیمانده ۷ بر ۵ مساوی ۲، باقیمانده ۲۱ بر ۷ مساوی صفر، ۲۳ بر ۷ مساوی ۲ و ... همچنین باقیمانده n بر p برای موقعیت یکنواخت عملیات نمی‌تواند صفر باشد.

ما P_{ijk} را که ایستگاه ترتیب بارگذاری و تخلیه یک حامل n با لحاظ کردن ایستگاه i در دور k را مشخص می‌کند در نظر می‌گیریم. با داشتن P_{ij1} می‌توانیم P_{ijk} را با استفاده از فرمول ذیل به ازای $k=2,3,\dots,p$ به‌دست آوریم^۱. بعد از p گردش، ترتیب مکانی به همان صورت تکرار می‌شود.

$$P_{ijk} = [P_{ijk-1} + n \bmod p] \bmod p \quad (۸)$$

بنابراین اگر ما بخواهیم مسیر بارهای جمع شونده را روی یک حامل برای معین کردن ظرفیت آن حفظ کنیم. باید همچنین مسیر بارگذاری و مکان ایستگاه ترتیب تخلیه حامل را حفظ کنیم.

آزمایش بارهای جمع شونده را روی یک نوار نقاله برای معین کردن ظرفیت آن حفظ کنیم. باید همچنین مسیر بارگذاری و مکان ایستگاه ترتیب تخلیه نوار نقاله را حفظ کنیم.

آزمایش بارهای جمع شونده یک نوار نقاله روی تعدادی گردش به ما خواهد گفت که ماکزیمم بار حمل شده است که به ما کمک می‌کند تا اینکه ظرفیت نوار نقاله را مشخص کنیم.

این فرایند در مثال (۳) شرح داده شده است.

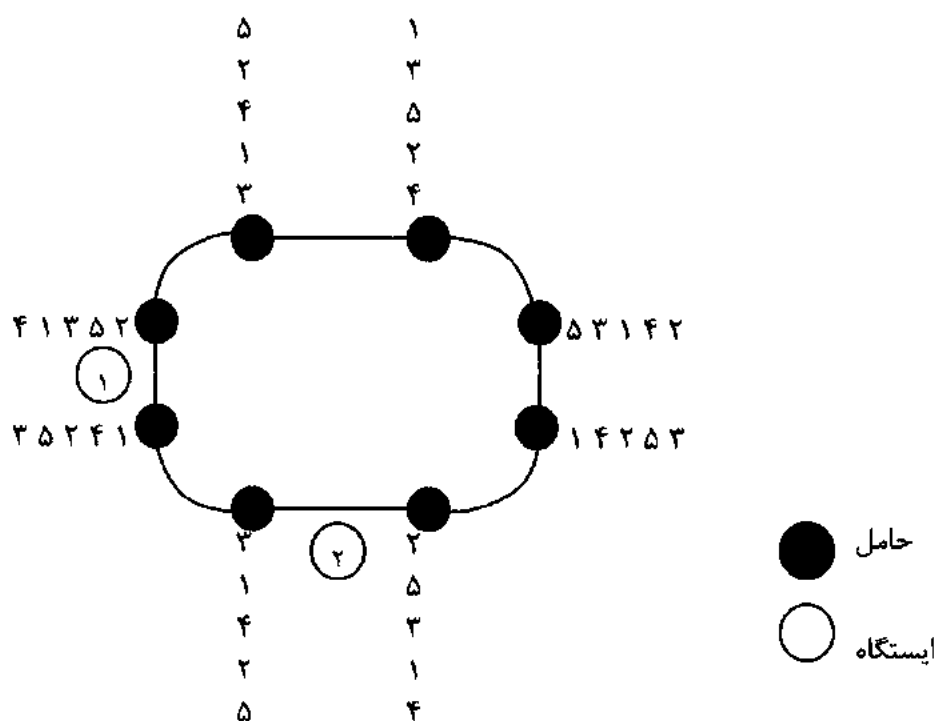
مثال ۳

رسیدگی به سیستم نوار نقاله در شکل ۱۱-۴۸ شرح داده شده است که به ما می‌گوید مدت سیکل بارگذاری و تخلیه ۵ دوره است و ترتیب‌های بارگذاری و تخلیه ذیل را برای دو ایستگاه به ما می‌دهد و ظرفیت نوار نقاله را مشخص می‌کند.

جواب. اول ما باقیمانده n بر p را به‌دست می‌آوریم، مانند باقیمانده ۸ بر ۵ که برابر ۳ است. این به ما اجازه آن را می‌دهد که بگوییم اولین حامل برای قبول کردن ایستگاه یک در هنگام شروع اولین دور نوار نقاله یک است. با استفاده از معادله ۸ ایستگاه نوار نقاله یک را با ایستگاه ۱ و ۲ برای p گردش مشاهده می‌کنیم و در جدول ۱۱-۴ این

۱. اگر $P_{ijk}=0$ باشد قرار می‌دهیم $P_{ijk}=p$

مشاهدات را ذخیره می‌کنیم، و این نسبتاً آسان است که روی یک صفحه گسترده انجام دهیم.



شکل ۱۱-۴۸. نقاله دو ایستگاهی با ۸ حامل

جدول ۱۱-۴. موقعیت حامل ۱ با توجه به ایستگاه‌های ۱ و ۲ در ده دور

شماره دور	شماره موقعیت	بارها		بارهای تجمعی		بارهای تجمعی تعدیل شده	
		ایستگاه		ایستگاه		ایستگاه	
		۱	۲	۱	۲	۱	۲
۱	۱	۲	-۲	۲	۰	۴	۲
۲	۴	۰	-۱	۰	-۱	۲	۱
۳	۲	۰	۰	-۱	-۱	۱	۱
۴	۵	۳	-۴	۲	-۲	۲	۰
۵	۳	۲	۰	۰	۰	۲	۲
۶	۱	۲	-۲	۲	۰	۴	۲
۷	۴	۰	-۱	۰	-۱	۲	۱
۸	۲	۰	۰	-۱	-۱	۱	۱
۹	۵	۳	-۴	۲	-۲	۲	۰
۱۰	۳	۲	۰	۰	۰	۲	۲

با توجه به این که بعد از ۱۰ دور - بعد از اینکه بار نقاله یک ایستگاه یک (یا دو) را

قبول کرد در ۵ دقیقه - ترتیب مکانی بارگذاری و تخلیه برای حامل ۱ با حمایت از

ایستگاه یک به این معنی که $\{1, 4, 2, 5, 3\}$ تکرار می‌شود (شکل ۱۱-۴۸). ترتیب اعداد نشان داده شده بعدی به هر نوار نقاله در شکل ۱۱-۴۸ با ترتیب ایستگاه نوار نقاله مرتبط ارتباط دارد، ترتیب باید در یک جهت از مرکز حلقه نوار نقاله دور شود.

برای مثال حامل بالای ایستگاه ۱ ترتیب $\{2, 5, 3, 1, 4\}$ دارد و قسمت چپ ایستگاه ۲ به ترتیب $\{3, 1, 4, 2, 5\}$ است. نوار نقاله، بعد از ایستگاه ۱ اول (در میان ۸ نوار نقاله) برای دریافت کردن بارگذاری اولیه ۲ واحد گرفته شده است. همچنین $P_{11k} = [P_{11k-1} + n \bmod p] \bmod p = 0$ در دورهای ۹، ۴ ما ارزش p را مانند قسمت نشان داده شده در پاورقی قرار می‌دهیم. از آنجایی که بار اضافی نوار نقاله ۱ نمی‌تواند منفی باشد، ما ممکن است که ستون‌های بارگذاری اضافی را توسط جمع کردن بزرگترین بارگذاری اضافی منفی به هر ردیف اضافی ستون‌ها اصلاح کنیم همان‌طور که در پایان دو ستون (اصلاح بارگذاری اضافی) جدول ۱۱-۴ نشان داده شده است. این به ما می‌گوید که ظرفیت نوار نقاله برای حمل ماکزیمم بارگذاری برای ۴ واحد توانا باشد. زیرا هر نوار نقاله از ترتیب مکانی بارگذاری و تخلیه $\{1, 4, 2, 5, 3\}$ در کمترین دفعه متابعت کند، مینیمم ظرفیت هر نوار نقاله باید ۴ واحد بارگذاری باشد.

ما می‌توانیم ظرفیت نیاز به نوار نقاله را به یکی از ۳ روش تغییر دهیم:

اول، گار ما تعداد حامل‌های n را تغییر دهیم، سپس P_{ijk} تغییر خواهد کرد، نتیجه در بارگذاری اضافی از این‌رو ظرفیت نوار نقاله تغییر خواهد کرد. در حقیقت، در تمرین ۲۲ از خواننده به حل مثال ۳ برای سه ارزش $n: 10, 11, 12$ سوال می‌شود و تعیین می‌شود که سه طرح. که به کمترین ظرفیت نوار نقاله نیاز دارد.

دومین راه برای ظرفیت موثر نوار نقاله برای تغییر ترتیب بارگذاری و تخلیه یک یا هر دو ایستگاه است. برای مثال اگر ما ترتیب بارگذاری و تخلیه از ایستگاه یک را به $F_1 = \{2, 0, 2, 0, 3\}$ تغییر دهیم، می‌توانیم نشان دهیم که ماکزیمم ظرفیت نوار نقاله نیاز به ۵ واحد داشته، مانند آن چیزی که در جدول ۱۱-۵ نشان داده شده است (به تمرین ۲۳ نگاه کنید).

سومین روش برای تحت تأثیر قرار دادن ظرفیت نوار نقاله، تغییر محل یک یا چند ایستگاه است.

جدول ۱۱-۵. موقعیت حامل با توجه به ایستگاه‌های ۱ و ۲ در پنج دور

شماره دور	شماره موقعیت	بارها		بارهای تجمعی		بارهای تجمعی تعدیل شده	
		ایستگاه ۱	ایستگاه ۲	ایستگاه ۱	ایستگاه ۲	ایستگاه ۱	ایستگاه ۲
		۱	۲	۱	۲	۱	۲
۱	۱	۳	-۲	۳	۱	۵	۳
۲	۴	۰	-۱	۱	۰	۳	۲
۳	۲	۰	۰	۰	۰	۲	۲
۴	۵	۲	-۴	۲	-۲	۴	۰
۵	۳	۲	۰	۰	۰	۲	۲

۱۱-۷-۲ روش احتمالی

در مورد طراحی MHS، بیشترین مدل‌هایی که برای مطالعه اجرای کاربردی سیستم‌های ساخت عمومی یا سیستم‌های حمل‌ونقل مواد استفاده می‌شود مدل‌های پایه‌گذاری بر اساس شبیه‌سازی یا صف‌بندی شده هستند.

صف‌بندی و مدل‌های شبکه صف‌بندی برای تحلیل کارایی MHS

بنابر مطالب بحث شده در بخش ۱۰ مدل‌های شبکه صف‌بندی، شبکه صف را به نمایش می‌گذارد. به‌طور کلی برای حل کردن مدل‌های صف‌بندی این روش نسبت به گذشته، که در مورد آن بحث کردیم سخت‌تر است. در ابتدا کاربرد تعدادی مدل‌های صف‌بندی را مورد مطالعه قرار می‌دهیم.

مثال ۴

یک AGV که دارای یک سطح بارگذاری ساخته شده معمولی است به انتقال قسمت‌های گسسته با دقت بالا (در بارگذاری‌های واحد) بین دو ایستگاه کاری اختصاص داده می‌شود، بعد از تحویل بار به دومین ایستگاه کاری، AGV فوراً به حالت اول، به‌طور خالی برای بهبود یافتن انتظار بار بعدی در خارج از صف‌بندی ایستگاه کاری اول، برمی‌گردد.

اطلاعات گذشته نشان می‌دهد که زمان بین دو برداشتن بار متوالی از یک توزیع

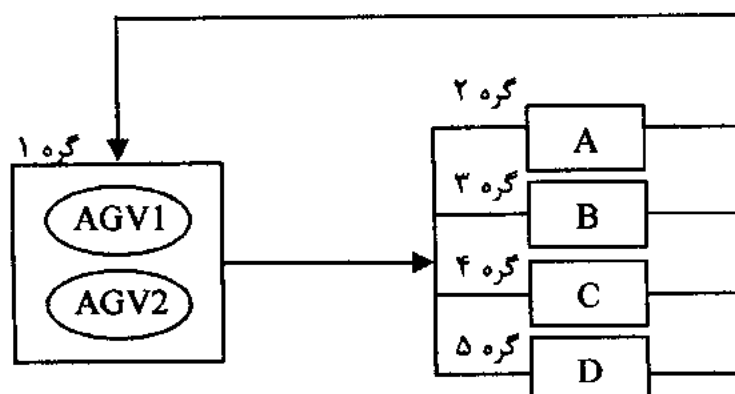
نمایی با میانگین ۶ دقیقه پیروی می‌کند. به دلیل اینکه مسیر بارکشی ثابت بوده و

اختلال در زمان ترانزیت از عوامل خارجی ناچیز است، زمان حمل AGV (بارگذاری شده همراه تخلیه شده) می‌تواند به‌طور مشخص تحت عمل قرار گیرد. زمان حمل AGV، ۵ دقیقه است. تعیین کنید، بهره‌برداری AGV و تعداد متوسط قطعات برای حمل در صف خارجی کارخانه اول منتظر می‌شوند.

جواب. این مسئله ممکن است به‌صورت یک مدل صف‌بندی M/G/1 مدل‌سازی شود و ما داریم $\lambda=10$ و $\mu=12$ و ما می‌دانیم که ضریب بهره‌برداری ρ برای AGV با λ تقسیم بر $\mu = 10/12 = 0.83$ گرفته شده است و تعدادی متوسط از بارگذاری‌های واحد که در صف خارجی حمل، منتظر می‌مانند با $L_q = (\lambda^2 \sigma^2 + \rho^2) / [2(1-\rho)]$ به‌دست می‌آید. چون زمان سرویس قطعی است داریم، $\sigma^2 = 0$. بنابراین

$$L_q = 0.83(0.83) / [2(1-0.83)] = 2.03 \text{ بار واحد}$$

به‌نظر می‌رسد که سیستم به‌طور منطقی عمل می‌کند زیرا استفاده از AGV بالا نیست و فقط ۲ بار در صف خروجی منتظر می‌مانند.



شکل ۱۱-۴۹. شبکه صف‌بندی نمایش دهنده مسئله طرح شده در مثال ۵

مثال ۵

دو AGV برای حمل مواد در یک سلول تولید انعطاف‌پذیر که شامل ۴ ایستگاه کاری A, B, C و D است، به‌کار می‌روند. دو نوع قطعه در این سلول پردازش می‌شوند: قطعه نوع ۱ به ترتیب روی A و B و C و A پردازش می‌شود و قطعه نوع ۲ روی D و C و B. تمام انتقال مواد بین جفت‌های ماشین توسط AGV ها صورت می‌گیرد و هر AGV می‌تواند برای انتقال هر کدام از این انواع به کار برده می‌شود. این انواع قطعه

روی پالت‌ها انتقال یافته‌اند و تعداد آنها با حجم تولید سالیانه به انتظار رفته محدود است ۴ پالت برای نوع ۱ و ۳ پالت برای نوع ۲ در دسترس است. بعد از اینکه یک قسمت پردازش شد همان پالت برای بارگذاری قسمت بعدی استفاده می‌شود بنابراین ۴ پالت برای قسمت نوع A و ۳ پالت برای B در سیستم می‌گردند. که در شکل ۱۱-۴۹ وضع آن تشریح شده است زمان‌های پردازش کردن برای هر نوع روی هر ماشین در جدول ۱۱-۶ فهرست‌بندی شده است که بهره‌برداری AGV و کارخانه و کارخانه A و تعداد متوسط واحدهای نوع A روی آن یا منتظر ماندن برای AGV تعیین می‌شود.

جدول ۱۱-۶. زمان‌های پردازش و حمل برای دو نوع قطعه و ۴ ایستگاه کاری و ۲ AGV

نوع قطعه	AGV	ایستگاه کاری			
		A	B	C	D
۱	۳	۱۲	۶	۸	-
۲	۵	-	۴	۲	۹

جواب. این مسئله ممکن است به عنوان یک شبکه صف‌بندی شده بسته مدل‌بندی شود و به‌طور ابتکاری با استفاده از الگوریتم MVA که در بخش ۱۰ بحث شده است، حل گردد. به‌خاطر داریم که الگوریتم MVA شامل محاسبات این ۳ قلم است: زمان عملکرد (یا میزان محصول)، نرخ تولید، طول صف.

با استفاده از نمادگذاری ارائه شده در فصل ۱۰ برای N^j (تعداد پالت‌ها برای قطعه نوع j) برای مسئله‌مان خواهیم داشت: $N^1=3$ ؛ $N^2=4$. هر گره مضاعفی به‌غیر از گره مضاعف AGV یک منبع ساده دارد اگر نقطه مضاعف را برابر AGV به عنوان ۱ قرار دهیم و برابر ایستگاه کاری A به عنوان ۲ قرار دهیم و ... (شکل ۱۱-۴۹ را ببینید) بنابراین با زمان‌های سرویس نشان داده در جدول ۱۱-۶، می‌توانیم نرخ‌های سرویس را به‌صورت ذیل یادداشت کنیم:

$$\begin{aligned} \mu_1^1=20 & \quad ; \mu_2^1=5 & \quad ; \mu_3^1=10 & \quad ; \mu_4^1=7/5 & \quad ; \mu_5^1=0 \\ \mu_1^2=12 & \quad ; \mu_2^2=0 & \quad ; \mu_3^2=15 & \quad ; \mu_4^2=30 & \quad ; \mu_5^2=6/67 \end{aligned}$$

بار دیگر با استفاده از نمادگذاری ارائه شده در فصل ۱۰ برای S_i و W_{ij} و L_{ij} و X_{ij} (به

تقریب، تعداد منابع یک نقطه مضاعف i ، انتظار متوسط به علاوه زمان سرویس برای هر مشاهده نوع j به ماشین i ، تعداد متوسط قطعات نوع j برای ماشین i ، نرخ ورود یا تولید

برای نوع j ، تعداد مورد انتظار مشاهدات نوع j به ماشین i و فرمول‌های ذیل می‌توانیم الگوریتم تکراری MVA را از بخش ۱۰ به کار ببریم:

$$W_{ij} = \frac{1}{\mu_i^j} + \left(\frac{N^j - 1}{N^j} \right) \left(\frac{L_{ij}}{S_i \mu_i^j} \right) + \sum_{r=j} \frac{L_{ir}}{S_i \mu_i^r}$$

$$X_j = \frac{N^j}{\sum_{i=1}^m v_{ij} W_{ij}}$$

$$L_{ij} = X_j (v_{ij} W_{ij})$$

مراحل الگوریتم MVA در یک صفحه گسترده انجام شده است و در جدول ۱۱-۷ نشان داده شده است. از تعدادی ستون‌های مشاهدات برای AGV، می‌تواند مشاهده شود که ما عملیات بارگذاری و تخلیه را رسیدگی نکرده‌ایم. AGV ها به نظر می‌رسند که فقط برای انتقال‌های میانی استفاده شده‌اند بنابراین تعدادی از مشاهدات AGV ها برای قطعات نوع ۱ و ۲ به ترتیب ۳ و ۲ است. بعد از ۶ بار تکرار خواهیم دید که تمام ارزش‌های L_{ij} در تکرار گذشته به اندازه ۲/۴٪ ارزش‌های یافته شده در تکرار قبل از آن است، از این‌رو الگوریتم را خاتمه می‌دهیم.

برای مشخص کردن تعداد متوسط واحدهای قطعه نوع A بر روی یا در انتظار برای AGV ما ارزش L_{11} را برای تکرار گذشته استفاده می‌کنیم، که ۰/۷۰ است زیرا آنجا ۴ پالت برای نوع A وجود دارد که تقریباً ۱۷/۵٪، (۴/۷۰٪) از پالت‌ها روی AGV یا در انتظار برای آن است. برای محاسبه بهره‌برداری AGV، ما باید بهره‌برداری‌های هر دو نوع را بیابیم، ما می‌دانیم که فرمول $\rho = \lambda / s\mu$ میزان بهره‌برداری را می‌دهد. البته یک قطعه می‌تواند بیشتر از یک مشاهده با یک ماشین یا AGV داشته باشد، لذا نرخ ورود که باید بر طبق آن اصلاح شود.

بنابراین، بهره‌برداری AGV برابر است با مجموع بهره‌برداری‌های نوع‌های A و B:

$$\frac{X_1 v_{11}}{2\mu_1^1} + \frac{X_2 v_{21}}{2\mu_2^1} = \frac{2.19 \times 3}{2 \times 20} + \frac{4.08 \times 2}{2 \times 12} = 0.504 \text{ یا } ۵۰/۴\%$$

به همین ترتیب ما می‌توانیم بهره‌برداری از ایستگاه‌های کار را نیز محاسبه کنیم (تمرین ۲۹ را ببینید). با توجه به نتایج به دست آمده ظاهراً ما می‌توانیم فقط یک AGV

داشته باشیم زیرا بهره‌برداری از AGV ها بسیار کم است. برای آشنا شدن با روش MVA، خواننده باید مسئله را در یک نرم‌افزار صفحه گسترده و با فرض وجود یک AGV حل کند (تمرین ۳۰ را ببینید).

۱۱-۸ کاربرد شبیه‌سازی در چیدمان‌ها و سیستم‌های دستی

ما بارها ذکر کرده ایم که شبیه‌سازی یک ابزار متداول برای تخمین کارایی سیستم است. حال راجع به اینکه این روش چگونه می‌تواند برای تجزیه و تحلیل سیستم‌های تولیدی و دستی کاربرد داشته باشد به بحث می‌پردازیم. در ابتدا تاکید می‌کنیم که شبیه‌سازی یک روش تجویزی نیست ولی یک روش توصیفی است. گرچه دنبال کردن یک رشته عملیات را توصیه نمی‌کند (برای بهینه کردن برخی اعمال خاص) مانند مدل‌های صف مانند که به ما می‌گوید چگونه یک طرح داده شده (انتخابی به وسیله یک مدل دستوری برای مثال مدل‌های ریاضی چیدمان در بخش ۵) مقادیر انتخابی توسط کاربر را برآورده می‌کند و تخمین می‌زند.

جدول ۱۱-۷. تکرارهای الگوریتم MVA (ادامه دارد)

تعداد پالت‌ها	ایستگاه کاری					نوع قطعه	شماره تکرار
	AGV	A	B	C	D		
زمان‌های پردازش و حمل							
۴	-	۸	۶	۱۲	۳	۱	گام ۱
۳	۹	۲	۴	-	۵	۲	
تعداد ملاقات‌ها							
۰	۰	۱	۱	۲	۳	vi_1	گام ۱
۱	۱	۱	۱	۰	۲	vi_2	
نرخ‌های سرویس							
۰	۷.۵	۱۰	۵	۲۰	μ_i^1	گام ۱	
۶.۶۷	۳۰	۱۵	۰	۱۲	μ_i^2		
۰	۱	۱	۱	۱	۱	L_{i1}	گام ۱
۰.۷۵	۰.۷۵	۰.۷۵	۰.۷۵	۰	۰.۷۵	L_{i2}	
۰.۰۰	۰.۲۶	۰.۲۳	۰.۳۵	۰.۱۰	۰.۱۰	W_{i1}	گام ۲
۰.۲۳	۰.۱۱	۰.۲۰	۰.۱۲	۰.۱۳	۰.۱۳	W_{i2}	
۲.۷۰						X_1	گام ۳
۳.۴۶						X_2	

جدول ۱۱-۷. (ادامه)

تعداد پالت‌ها	ایستگاه کاری				نوع قطعه	شماره گام	شماره تکرار
	A	B	C	D			
					L_{i1}	گام ۴	
					L_{i2}		
					W_{i1}	گام ۲	تکرار ۲
					W_{i2}		
					X_1	گام ۳	
					X_2		
					L_{i1}	گام ۴	
					L_{i2}		
					W_{i1}	گام ۲	تکرار ۳
					W_{i2}		
					X_1	گام ۳	
					X_2		
					L_{i1}	گام ۴	
					L_{i2}		
					W_{i1}	گام ۲	تکرار ۴
					W_{i2}		
					X_1	گام ۳	
					X_2		
					L_{i1}	گام ۴	
					L_{i2}		
					W_{i1}	گام ۲	تکرار ۵
					W_{i2}		
					X_1	گام ۳	
					X_2		
					L_{i1}	گام ۴	
					L_{i2}		
					W_{i1}	گام ۲	تکرار ۶
					W_{i2}		
					X_1	گام ۳	
					X_2		
					L_{i1}	گام ۴	
					L_{i2}		

شبیه‌سازی که مدلی توصیفی است و نه دستوری، در عمل به خوبی مورد فهم قرار نمی‌گیرد. بعضی کاربرها به اشتباه تصور می‌کنند که شبیه‌سازی می‌تواند امکان چیدمان یا طرح بهینه یا نزدیک به بهینه را فراهم کند! گرچه شبیه‌سازی می‌تواند به کاربر اجازه دهد که طرح‌ها یا چیدمان‌های مختلفی را آزمایش کند، ولی نمی‌تواند یک چیدمان یا امکان طراحی را به وجود آورد. بنابراین ما ناچار به تقسیم‌بندی مدل‌ها، الگوریتم‌ها و موارد مورد بحث در فصل‌های ۴ تا ۷ که به طراحی مقدماتی مربوط می‌شود می‌باشیم.

پس از اینکه توانستیم یک طراحی مقدماتی قابل قبولی داشته باشیم، می‌توانیم شبیه‌سازی را برای دیدن چگونگی اثر بعضی جنبه‌های دینامیکی و احتمالی مساله (که در مرحله طراحی مقدماتی از آنها صرف نظر می‌شود) که بر کارایی طراحی تاثیر می‌گذارند با توجه به اندازه‌گیری مقادیر عملیاتی انتخاب شده به کار ببریم. برای مثال در طراحی مقدماتی ما در ابتدا به دنبال به حداقل رساندن مخارج سالیانه هستیم و اثرات خرابی MHD، مسدود شدن مسیر وسایل نقلیه در اثر فشردگی ترافیک، تغییر در محصولات و عوامل دیگر مؤثر بر کارایی سیستم مانند اتلاف زمان و سرعت عبور و بهره‌برداری از MHD را در نظر نمی‌گیریم. به‌طور معمول مدل‌های توصیفی - صف‌بندی یا شبیه‌سازی - را برای طراحی مقدماتی به کار می‌بریم، به‌طوری‌که سیستمی داشته باشیم که بهینه یا نزدیک بهینه باشد.

البته با توجه به فرآیند طراحی و بیش از آن مقادیر بازده عملی، شبیه‌سازی به‌طور فزاینده به جای سایر مدل‌ها به چندین دلیل استفاده می‌شود:

- به دلیل میزان بالای خودکار بودن سیستم، مساله مورد مطالعه دینامیک بوده و برهم‌کنش‌های متقابل زیادی وجود دارد. عناصر احتمال بسیار پیچیده بوده و بنابراین قابل تجزیه و تحلیل نیست.
- شبیه‌سازی در مقایسه با سایر مدل‌ها برای فهم، دیدن و ارتباط برقرار کردن، بهتر عمل می‌کند.
- با افزایش در قدرت محاسبه و سرعت آن گسترش و توسعه مدل‌های شبیه‌سازی نسبتاً آسان است.
- وقتی تجزیه و تحلیل سیستم‌های صف فقط نتایج حالت ایستا را نشان می‌دهد،

شبیه‌سازی می‌تواند برای حالت گذرا مانند حالت ایستا تحلیل شود.

شبیه‌سازی ممکن است به‌صورت یک تکنیک کامپیوتری که عمل یک ساختار حقیقی یا سیستم خدماتی را تقلید می‌کند، تعریف شود که شامل تاریخچه مصنوعی سیستم مورد مطالعه، مشاهده تاریخچه سیستم و کاربرد این مشاهدات در تخمین یا پیش‌گویی خصوصیات عمل یک سیستم واقعی باشد. گرچه این مورد، نیاز به مشاهدات کامپیوتری ندارد. ما عبارت کامپیوتر را در تعریف استفاده می‌کنیم تا تأکید نماییم که در خلال دوره زمانی آغاز شبیه‌سازی ما نیاز به نگهداری میزان اتفاقات و محاسبات داریم و این آسان‌تر از به‌کارگیری یک ابزار کامپیوتری است.

تئوری شبیه‌سازی از طریق فرآیندی بنام شبیه‌سازی مونت‌کارلو همان‌طور که در مثال ۶ توضیح دادیم، می‌تواند توسعه یابد. قبل از اینکه به این مثال پردازیم تأکید می‌کنیم که شبیه‌سازی مونت‌کارلو کارایی سیستم (برای مثال میانگین زمان در سیستم) را از طریق نمونه‌برداری تخمین می‌زند. اگرچه زمان بین دو ورود یا اجرای شبیه‌سازی به‌طور مشخص تعریف شده نیست، ولی متغیرهای نسبتاً تصادفی اغلب یک توزیع احتمال مشخص را دنبال می‌کند، بنابراین ما باید ابتدا اعداد تصادفی که به‌صورت یکسان در بازه [۰، ۱] توزیع شده‌اند تولید نماییم.

تمام مقادیر بین ۰ و ۱ باید به‌طور مشابه اتفاق بیفتند ما یک‌بار این کار را انجام دادیم و توانستیم یک روش خاص برای انتقال اعداد تصادفی به متغیرهای تصادفی بیابیم. قبل از بحث بیشتر توضیح می‌دهیم که چگونه اعداد تصادفی در یک کامپیوتر تولید می‌شوند گرچه روش‌های مختلفی در دست هستند. مهمترین آنها روش هم‌نهشتی خطی است. برای تولید یک دسته اعداد صحیح بین ۰ و $m-1$ از معادله ذیل استفاده می‌کنیم:

$$X_{i+1} = (aX_i + c) \bmod m \quad i=1,2,3,\dots$$

شاید این‌طور به‌نظر خواننده آید که برای تولید اولین عدد صحیح در این مرحله ما باید یک مقدار اولیه برای x_0 داشته باشیم. به‌علاوه ما باید مقادیری برای a و c در نظر بگیریم. سپس می‌توانیم اعداد صحیح $X_1, X_2, \dots$ را داشته باشیم و از آنجا می‌توانیم

اعداد تصادفی که به طور یکسان در بازه [۰،۱] توزیع شده‌اند را با این فرمول تولید کنیم:

$$r_i = X_i / m \quad i=1,2,3,\dots$$

اعداد تصادفی که از مقدار اولیه^۱ 30، $a=19866$ و $c=43$ و $m=100$ تولید شده در جدول ۸-۱۱ آمده است. هنگامی که مقادیر a ، c ، m ، x_0 به دقت انتخاب می‌شوند و فرمول برای تولید اعداد تصادفی مورد استفاده قرار می‌گیرد، اعداد واقعاً تصادفی هستند و تمام خواص آماری تصادفی بودن را نشان می‌دهند. این اعداد مستقل و غیر وابسته بوده و در بازه [۰،۱] به طور یکسان توزیع شده‌اند. اما به علت اینکه اعداد تصادفی می‌توانند بارها و بارها در یک کامپیوتر تولید شوند، به سادگی به وسیله اختصاص دادن همان مقادیر بجای مقدار اولیه و پارامترهای a ، c ، m و استفاده از یک قاعده (فرمول) مشخص به اعداد شبه تصادفی می‌رسیم.

با انتخاب درست مقادیر برای a ، m ، c ما نه تنها به درستی اعداد تصادفی تولید خواهیم کرد بلکه به تعداد کافی از این اعداد می‌رسیم به طوری که می‌توانیم یک شبیه سازی کامل را قبل از اینکه مرحله عددی تکرار شود انجام دهیم. همان طور که چندین روش برای تولید اعداد تصادفی وجود دارد، چندین تکنیک برای انتقال اعداد تصادفی به متغیرهای تصادفی برای یک توزیع خاص وجود دارد. ما به طور خلاصه یک روش معروف به نام روش انتقال معکوس را توضیح می‌دهیم فرض کنید که ما می‌خواهیم متغیرهای تصادفی برای یک توزیع نمایی تولید نماییم. از بخش ۱۰ می‌دانیم که تابع چگالی احتمال^۲ (pdf) از یک توزیع نمایی با پارامتر λ به صورت ذیل است.

$$f(t) = \begin{cases} \lambda e^{-\lambda t} & t > 0 \\ 0 & t \leq 0 \end{cases}$$

مجموع احتمالات برای یک توزیع نمایی با تابع

$$F(t) = \int_0^x f(t) dt = \int_0^x \lambda e^{-\lambda t} dt = 1 - e^{-\lambda x}$$

تعریف می‌شود.

1. seed

2. probability distribution function

جدول ۱۱-۸ اعداد تصادفی (ادامه در صفحه بعد)

شماره تکرار توالی از اعداد صحیح عدد تصادفی

۰.۳۳	۳۳	۱
۰.۱۴	۱۴	۲
۰.۰۳	۳	۳
۰.۰۵	۵	۴
۰.۲۷	۲۷	۵
۰.۰۳	۳	۶
۰.۴	۴۰	۷
۰.۷۴	۷۴	۸
۰.۹۷	۹۷	۹
۰.۳۸	۳۸	۱۰
۰.۱۶	۱۶	۱۱
۰.۴۲	۴۲	۱۲
۰.۵	۵۰	۱۳
۰.۲۳	۲۳	۱۴
۰.۶۲	۶۲	۱۵
۰.۸۹	۸۹	۱۶
۰.۵۶	۵۶	۱۷
۰.۳۶	۳۶	۱۸
۰.۵۹	۵۹	۱۹
۰.۹۶	۹۶	۲۰
۰.۶۱	۶۱	۲۱
۰.۸۱	۸۱	۲۲
۰.۴۸	۴۸	۲۳
۰.۴۵	۴۵	۲۴
۰.۸۶	۸۶	۲۵
۰.۷۸	۷۸	۲۶
۰.۸۷	۸۷	۲۷
۰.۵۸	۵۸	۲۸
۰.۸	۸۰	۲۹
۰.۸۷	۸۷	۳۰
۰.۲۵	۲۵	۳۱
۰.۰۳	۳	۳۲
۰.۹۲	۹۲	۳۳

جدول ۱۱-۸ (ادامه در صفحه بعد)

شماره تکرار	توالی از اعداد صحیح	عدد تصادفی
۳۴	۶	۰.۰۶
۳۵	۱۸	۰.۱۸
۳۶	۳۳	۰.۳۳
۳۷	۴	۰.۰۴
۳۸	۹۸	۰.۹۸
۳۹	۹۶	۰.۹۶
۴۰	۶۶	۰.۶۶
۴۱	۴۹	۰.۴۹
۴۲	۷۶	۰.۷۶
۴۳	۲۷	۰.۲۷
۴۴	۵۳	۰.۵۳
۴۵	۹۳	۰.۹۳
۴۶	۵۴	۰.۵۴
۴۷	۹۲	۰.۹۲
۴۸	۱۳	۰.۱۳
۴۹	۸۱	۰.۸۱
۵۰	۹۱	۰.۹۱
۵۱	۳۲	۰.۳۲
۵۲	۹۱	۰.۹۱
۵۳	۶	۰.۰۶
۵۴	۵۱	۰.۵۱
۵۵	۸۷	۰.۸۷
۵۶	۵۷	۰.۵۷
۵۷	۳۱	۰.۳۱
۵۸	۲۹	۰.۲۹
۵۹	۲۴	۰.۲۴
۶۰	۱۹	۰.۱۹
۶۱	۶۶	۰.۶۶
۶۲	۶۰	۰.۶
۶۳	۴۳	۰.۴۳
۶۴	۸	۰.۰۸
۶۵	۹۴	۰.۹۴
۶۶	۴۱	۰.۴۱

جدول ۱۱-۸ (ادامه)

شماره تکرار	توالی از اعداد صحیح	عدد تصادفی
۶۷	۷	۰.۰۷
۶۸	۷۴	۰.۷۴
۶۹	۵۳	۰.۵۳
۷۰	۷۱	۰.۷۱
۷۱	۲۱	۰.۲۱
۷۲	۵	۰.۰۵
۷۳	۷۵	۰.۷۵
۷۴	۹۵	۰.۹۵
۷۵	۷۶	۰.۷۶
۷۶	۸	۰.۰۸
۷۷	۱۷	۰.۱۷
۷۸	۸	۰.۰۸
۷۹	۲۲	۰.۲۲
۸۰	۴۷	۰.۴۷
۸۱	۵	۰.۰۵
۸۲	۹	۰.۰۹
۸۳	۷۱	۰.۷۱
۸۴	۴۹	۰.۴۹
۸۵	۵۸	۰.۵۸
۸۶	۷۱	۰.۷۱
۸۷	۶	۰.۰۶
۸۸	۲۹	۰.۲۹
۸۹	۹۳	۰.۹۳
۹۰	۸۴	۰.۸۴
۹۱	۹۴	۰.۹۴
۹۲	۵۸	۰.۵۸
۹۳	۲۸	۰.۲۸
۹۴	۳۲	۰.۳۲
۹۵	۳۱	۰.۳۱
۹۶	۱۷	۰.۱۷
۹۷	۸۶	۰.۸۶
۹۸	۶۹	۰.۶۹
۹۹	۷۶	۰.۷۶
۱۰۰	۱۶	۰.۱۶

با قرار دادن یک عدد تصادفی که به طور یکنواخت توزیع شده است برابر با تابع توزیع تجمعی و حل کردن نسبت به x یک متغیر تصادفی برای توزیع نمایی به صورت ذیل نشان داده می شود:

$$1 - e^{-\lambda x} = r_i$$

$$e^{-\lambda x} = 1 - r_i$$

با گرفتن لگاریتم طبیعی در هر دو طرف و ساده کردن داریم:

$$x = -\frac{1}{\lambda} \ln(1 - r_i) = -\frac{1}{\lambda} \ln r_i$$

$$e^{-\lambda x} = 1 - r_i$$

توجه کنید که ما $(1 - r_i)$ را با r_i جابجا می کنیم زیرا $(1 - r_i)$ نیز متغیری تصادفی است و از آنجا که پارامتر λ برای توزیع نمایی معلوم است (در واقع میانگین توزیع است)، تکرار فرآیند برای بقیه اعداد تصادفی متغیر تصادفی دیگر را برای این توزیع نتیجه می دهد. با استفاده از فرآیند مشابه، می توانیم متغیرهای تصادفی برای سایر توزیع های آماری نیز تولید کنیم. (Banks, Carlson, and Nelson Law and Kelton 1991). حال که یک ایده عمومی راجع به تولید اعداد و متغیرهای تصادفی داریم، برای بحث درباره شبیه سازی مونت کارلو آماده هستیم.

مثال ۶

یک مرکز ماشین کاری^۱ کوچک که یک دریل، یک ایستگاه برش و یک ایستگاه پرداخت دارد را در نظر بگیرید. یک قطعه از قسمت ورودی با استفاده از نقاله در دسته هایی به اندازه ۱ می رسد. هر واحد ابتدا دریل و سپس برش و نهایتاً ایستگاه پرداخت را قبل از اینکه از طریق نقاله خارجی به انبار برسد، طی می کند. زمان انجام فرآیند، توزیع احتمال مشخص را در بر می گیرد. و پارامترهای معلوم در جدول ۹-۱۱ آمده اند.

یک شبیه سازی مونت کارلو در این سیستم پیاده کنید. و مسایل آماری در زمان هم زمانی عملیات دریل A و زمان متوسط در سیستم برای ۲۰ قسمت را جمع آوری

نمایید.

جدول ۹-۱۱. زمان انجام عملیات (به دقیقه) برای قطعه نوع A

ماشین	قطعه نوع A
دریل A	نمایی (۶۰)
برش	نمایی (۳۰)
ایستگاه پرداخت	مثلی (۴۰، ۲۰، ۳۰)

جواب. ۲۰ دسته از مقادیر تصادفی را با استفاده از روش‌های هم‌ارزی خطی^۱ و انتقال معکوس تولید نمایید. برای:

۱. یک توزیع نمایی با یک پارامتر (میانگین) برابر ۳۰

۲. یک توزیع نمایی با یک پارامتر (میانگین) برابر ۶۰

۳. یک توزیع نمایی با یک پارامتر (میانگین) برابر ۳۰

۴. یک توزیع مثلی با پارامترهای (مینیمم، مد و ماکزیمم) از ۲۰ و ۳۰ و ۴۰

متغیرهای تصادفی را همان‌طور که در جدول ۱۱-۱۰ نشان دادیم (ستون‌های با برچسب IAT و ST را مشاهده کنید) ثبت کنید. ساعت شبیه‌سازی را در صفر قرار دهید. از اولین مقدار تصادفی برای نشان دادن زمان ورود اولین واحد قطعه نوع A (مانند زمان رسیدن اولین واحد) استفاده کنید، مقدار تصادفی دوم برای نشان دادن زمان سرویس اولین واحد قطعه نوع A روی دریل A و مقدار تصادفی سوم برای نشان دادن زمان اولین عمل واحد قطعه نوع A روی ایستگاه برش و مقدار تصادفی چهارم برای نشان دادن زمان عمل اولین واحد قطعه نوع A روی ایستگاه پرداخت از متغیرهای باقیمانده برای نشان دادن سایر زمان‌های اجرای شبیه‌سازی و مابین دو ورود استفاده کنید و آنها را همان‌طور که در جدول ۱۱-۱۰ آمده تصویر کنید. (ستون‌های IAT، TOA، ST، TSB، IT، TIS به ترتیب برای زمان داخلی، زمان ورود به سیستم، طول زمان خدمت‌دهی، زمان آغاز خدمت‌دهی، پایان خدمت‌دهی و زمان بیکاری و کل زمان صرف شده در سیستم برای قطعه نوع A و بر روی سه ماشین است.)

جدول ۱۱-۱۰. شبیه سازی مونت کارلو

Number	Drill					Cutter					Finishing Station				
	IAT	TOA	ST	TSB	TSE	IT	ST	TSB	TSE	IT	ST	TSB	TSE	IT	TIS
1	35.02	35.02	69.04	35.02	104.06	35.02	3.67	104.06	107.74	104.06	27.09	107.74	134.82	107.74	99.80
2	28.15	63.17	55.30	104.06	159.36	0.00	15.62	159.36	174.98	65.13	34.19	174.98	209.16	61.04	145.99
3	40.87	104.04	80.75	159.36	240.11	0.00	30.10	240.11	270.20	0.00	34.09	270.20	304.30	12.26	200.25
4	2.57	106.61	4.13	240.11	244.24	0.00	46.36	270.20	316.56	94.31	26.86	316.56	343.42	84.46	236.81
5	83.82	190.42	166.63	244.24	410.87	0.00	17.01	410.87	427.88	74.35	28.22	427.88	456.10	88.46	265.67
6	46.18	236.60	91.36	410.87	502.23	0.00	42.32	502.23	544.55	12.98	32.70	544.55	577.25	0.00	340.64
7	28.15	264.76	55.31	502.23	557.54	0.00	3.55	557.54	561.09	0.00	29.55	577.25	606.80	0.00	342.04
8	2.08	266.84	3.17	557.54	560.70	0.00	21.12	561.09	582.21	121.82	32.04	606.80	638.84	73.90	372.00
9	72.16	339.00	143.32	560.70	704.03	0.00	8.72	704.03	712.74	66.59	24.50	712.74	737.25	47.02	398.24
10	38.15	377.16	75.31	704.03	779.34	0.00	4.93	779.34	784.27	135.76	31.86	784.27	816.13	135.73	438.97
11	70.85	448.01	140.70	779.34	920.03	0.00	31.83	920.03	951.86	116.52	30.74	951.86	982.60	111.50	534.59
12	74.67	522.68	148.34	920.03	1068.38	0.00	25.72	1068.38	1094.10	4.94	31.92	1094.10	1126.02	0.00	603.34
13	15.83	538.51	30.66	1068.38	1099.04	0.00	7.90	1099.04	1106.94	13.31	28.98	1126.02	1154.99	20.92	616.48
14	11.11	549.62	21.21	1099.04	1120.25	0.00	55.66	1120.25	1175.92	144.38	34.63	1175.92	1210.55	115.26	660.93
15	100.52	650.14	200.05	1120.25	1320.30	0.00	5.51	1320.30	1325.81	55.85	28.36	1325.81	1354.17	49.66	704.03
16	31.18	681.32	61.36	1320.30	1381.66	0.00	22.17	1381.66	1403.83	100.88	29.68	1403.83	1433.50	142.58	752.18
17	62.03	743.35	123.05	1381.66	1504.71	0.00	71.37	1504.71	1576.09	0.00	27.60	1576.09	1603.69	0.00	860.34
18	27.13	770.47	53.26	1504.71	1557.97	0.00	7.86	1576.09	1583.94	117.48	34.77	1603.69	1638.45	102.93	867.98
19	72.23	842.70	143.45	1557.97	1701.42	0.00	39.96	1701.42	1741.38	0.00	25.00	1741.38	1766.39	0.00	923.69
20	11.86	854.56	22.71	1701.42	1724.13	0.00	2.59	1741.38	1743.97	0.00	20.95	1766.39	1787.34	0.00	932.78
Total						35.02				1228.40				1153.50	10.297

از اطلاعات موجود در جدول ۱۱-۱۰ می‌بینیم که میانگین زمان صرف شده به وسیله یک قطعه در سیستم (بر پایه شبیه‌سازی برای ۲۰ واحد زمانی) $514/85$ دقیقه مساوی $(20)/(10297)$ است. به‌طور مشابه درصد زمان بیکاری برای دریل برابر $1724,13 / (35,02 \times 100) = 20,03\%$ است. دیدن چگونگی این نتیجه برای خواننده آسان است. زمان متوسط ماندن در صف به وسیله واحدها و درصد زمان مشغولیت برای برش ممکن است جمع شوند. قبل از اینکه ما نتیجه مرتبط با خصوصیات عمل یک سیستم واقعی مورد مطالعه بر پایه اطلاعات حاصله از مدل شبیه‌سازی را نشان دهیم باید مطمئن شویم که مدل شبیه‌سازی تأیید و تضمین شده است. تأیید این سیستم با اطمینان از اینکه هیچ خطای عمدی در ساخت مدل (مانند فرمول‌های غلط مورد استفاده برای تعیین زمان انتظار قسمت) وجود ندارد، حاصل می‌گردد و تضمین برای اطمینان دادن به مصرف‌کننده‌ها انجام می‌شود که نشان می‌دهد مدل بسیار شبیه به یک سیستم واقعی عمل می‌کند.

کاربران مایلند بدانند که خروجی مدل شبیه‌سازی به طریق قابل پیش‌بینی‌ای با تغییر در ورودی سیستم تغییر می‌کند. برای مثال دو برابر شدن سرعت ورود باید زمان بیکاری دستگاه را کاهش دهد زیرا دستگاه مجبور است قسمت‌های بیشتری را راه بیاندازد. علاوه بر تأیید و تضمین، پرسش دیگری که باید پاسخ داده شود این است که یک مدل شبیه‌سازی چه مدت قبل از شروع استنتاج نتایج مربوط به خصوصیات سیستم باید شروع به کار کند.

از آنجا که شبیه‌سازی یک آزمایش آماری است ما می‌توانیم در صورت در اختیار داشتن تعداد زیادی از نتایج، اعتماد بیشتری به پیش‌بینی مان از رفتار سیستم داشته باشیم.

این به آن معناست که از مدل شبیه‌سازی برای مدت طولانی‌تری استفاده کرد که البته زمان محاسبه طولانی‌تری را طلب می‌کند. بنابراین مجبوریم که بین تخمین اطمینان بیشتر و زمان محاسبه طولانی تر یک شرایط بهینه برقرار کنیم. شبیه‌سازی به مدت ۲۰ واحد، که برای آن اطلاعاتی را جمع‌آوری کرده ایم، برای انجام یک تخمین بهینه از کارایی سیستم کافی نیستند. این شبیه‌سازی باید برای مدت طولانی‌تری ادامه پیدا کند.

زمانی که مدل مورد تأیید قرار گرفت و مدت کار کرد مناسب در نظر گرفته شد، مدل می‌تواند برای آزمایش تغییرات در طراحی مورد استفاده قرار گیرد. برای مثال با زمان سرویس ۶۰ ثانیه (که به‌طور نمایی توزیع شده است) می‌بینیم که دریل A ۹۸٪ بهره‌وری دارد. تئوری صف به ما می‌گوید که سطوح بالاتر کاربرد (به‌خصوص زمانی که مقدار به یک می‌رسد)، باعث می‌گردد صف ورودی دریل به حد انفجار شلوغ شود. حتی برای شبیه‌سازی ۲۰ واحدی ما می‌بینیم که قطعات برای یک مقطع زمانی معین در صف ورودی متوقف می‌مانند. سیستم مدیریت ممکن است مایل به تجمع منابع گسترده که به کم کردن متغیر زمان فرآیند می‌انجامد باشد. با آزمایش فرایند، تغییر دادن سایر عوامل و انجام تعمیرات پیشگیرانه مداوم مدیریت، ممکن است قادر به کاهش تغییرپذیری زمان خدمت به حدود صفر شود. حال زمان خدمت‌دهی برای دریل A می‌تواند قابل تعیین با یک مقدار ۶۰ دقیقه‌ای برای هر قسمت باشد. با استفاده از مدل شبیه‌سازی، ما می‌توانیم میانگین زمان در سیستم (تمرین ۳۲ را ببینید) برای قطعه نوع A که ۲۹۲ دقیقه است، تخمین بزنیم. باقیمانده از ۵۱۵ دقیقه مربوط به جریان اولیه، بنابراین ما می‌توانیم مدل‌های شبیه‌سازی را برای تخمین میزان کارایی سیستم‌ها به کار ببریم.

گرچه مثال ۶ نسبتاً ساده است، جمع‌آوری اطلاعات در یک مدل شبیه‌سازی آسان نیست. هنگامی که ما مساله را برای روشن شدن مسایل موجود در سیستم‌های حقیقی بسط می‌دهیم، خواننده ممکن است درک خوبی از مقدار زیادی اطلاعات که باید به مرحله عمل در آیند داشته باشد. خوشبختانه چندین دسته نرم‌افزار وجود دارند که می‌توانند جمع‌آوری اطلاعات و افزایش کارایی را انجام داده و به کاربر اجازه دهند که روی شبیه‌سازی و تجزیه و تحلیل نتایج تمرکز بیشتری داشته باشند. سری‌های جدیدتر حتی به ما اجازه می‌دهند که مدل شبیه‌سازی را بهتر ارزیابی کنیم.

از بین سری‌های نرم‌افزاری شبیه‌سازی عددی بسیاری دارای عواملی هستند که بسیار جذاب برای تسهیل طراحی و کاربردهای راه‌اندازی دستی هستند. حدود ۵۷ بسته نرم‌افزار شبیه‌سازی در شماره ماه می ۱۹۹۶ مجله راه‌حل‌های مهندسی صنایع^۱ آمده

است. بعضی از معروف‌ترین سری‌های نرم افزاری عبارتند از: Witness از شرکت AT&T Istel، Auto Mod از شرکت AutoSimulations، SimProcess از شرکت CACI Products، Taylor II برای ویندوز از شرکت F&H Simulations، Extend+ Manufacturing از شرکت Imagine That، GPSS/PC از شرکت Pritsker، Minuteman Software، Factor/AIM و SLAMSYSTEM از شرکت Systems Modeling، SIMAN V، PROMODEL، Corp. و GPSS/H از شرکت Wolverine Software Corporation. خوانندگان بسیار علاقه‌مند به نرم‌افزارهای شبیه‌سازی می‌توانند به مطالعه "راهنمای خریداران: نرم‌افزارهای شبیه‌سازی" در شماره ماه می ۱۹۹۶ مجله راه‌حل‌های مهندسی صنایع بپردازند.

در مثال بعد، ما نسخه گسترده شده مثال ۶ را در نظر می‌گیریم خواننده بتواند به سایر ابعادی که می‌توانند در مسائل شبیه‌سازی تعبیه شوند، توجه کند.

مثال ۷

مثال ۶ را در نظر بگیرید علاوه بر قطعه نوع A قطعه دیگری توسط مرکز ابزارسازی ساخته می‌شود. این قطعه نوع B مقابل مته دیگری به نام B قرار می‌گیرد و از مقابل یک ابزار برش و یک ایستگاه پرداخت در همان مسیر، قبل از اینکه به انبار برسد می‌گذرد. زمان فرآیند برای هر واحد از قطعه نوع B روی دریل B به‌طور طبیعی (توزیع نرمال^۱) با میانگین ۸۰ دقیقه‌ای و یک انحراف استاندارد ۳ دقیقه‌ای پخش می‌شود. این زمان در دریل و ایستگاه پرداخت همانی است که در قطعه نوع A بود (به جدول ۹-۱۱ توجه کنید) همچنین می‌دانیم که زمان بین دو ورود قطعه‌ها (اعم از قطعه‌های A یا B) نرمال با میانگین حدود ۵۰ دقیقه و یک انحراف استاندارد ۵ دقیقه پخش می‌شود و ۵۰٪ زمان در واحدهای قطعه A است. جریان به قطعه‌های ۱، ۲ و ۳ با احتمالات ثابت مساوی می‌رسد. یک AGV برای راه اندازی دستی‌ای به کار می‌رود که جریان را از انتقال دهنده ورودی منتقل کرده و آنرا به ردیف ورودی دریل مناسب برای کوتاه‌ترین مسیر منتقل

می‌کند. قطعه‌ها از ردیف خروجی مته‌ها به ردیف ورودی برش، از ردیف خروجی برش به ردیف ورودی ایستگاه پرداخت و از ردیف خروجی ایستگاه پرداخت به انتقال دهنده خارجی در اولین مرحله چیدمان ماشین در شکل ۱۱-۵۰ نشان داده شده است. و زمان عبور که تابعی از مسافت است مشخص فرض می‌شود. توسعه یک مدل شبیه‌سازی برای این مثال با هر سری نرم افزاری امکان‌پذیر است. نقش انتقال‌دهندگی AGV را طوری تغییر دهید که با حرکت جریان در ردیف ورودی، AGV به نزدیک‌ترین ردیف خروجی منتقل شود. آنها را به ردیف ورودی مربوطه انتقال دهید و این مرحله را تا جایی که تمام جریان‌ها به انتقال دهنده ورودی منتقل شوند، تکرار کنید. هر دو مدل را برای ۶ ماه به کار اندازید و کاربرد AGV را مانند زمان انتظار هر قطعه برای هر دو سیستم مقایسه کنید.

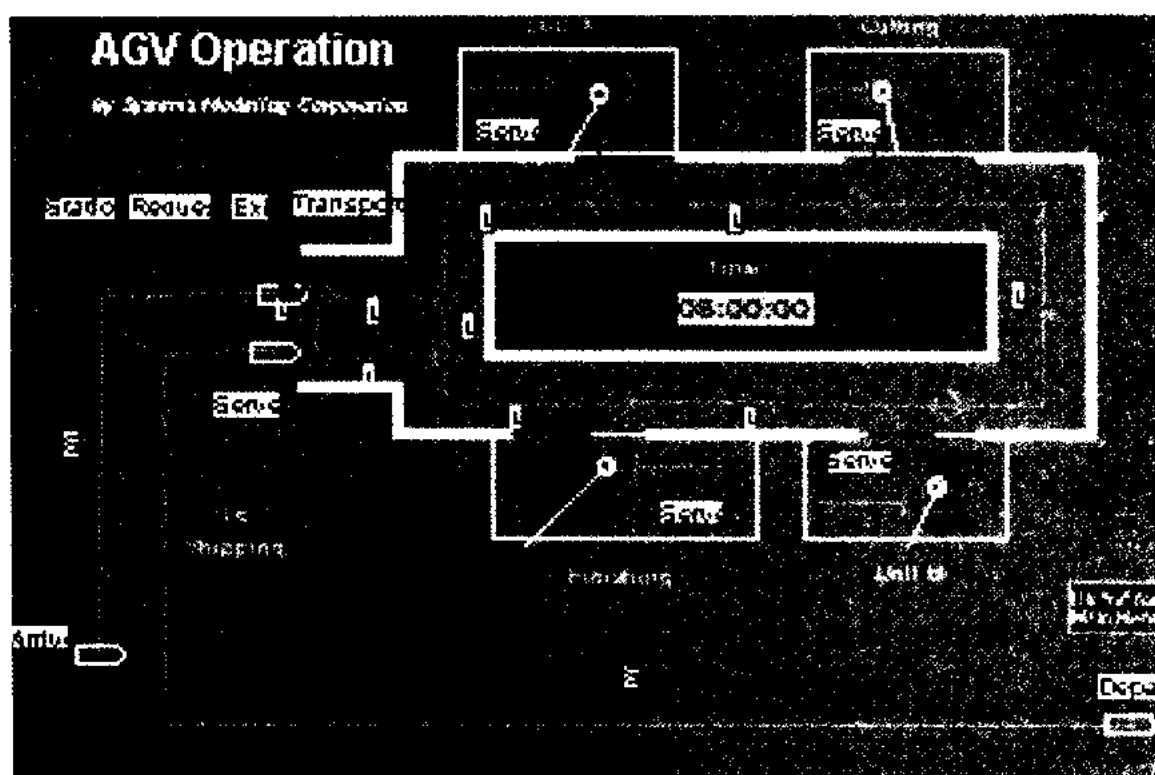
جواب. به منظور شروع حل مساله با استفاده از یک نرم افزار شبیه سازی، ما باید عوامل شبیه‌سازی شده را در سری شبیه‌سازی توضیح دهیم. البته این خارج از بحث این کتاب است. بنابراین در اینجا ما به مسایل عددی نمی‌پردازیم. ما یک مدل شبیه‌سازی گرافیکی (شکل ۱۱-۵۰) فراهم کرده‌ایم و نموداری از شبیه‌سازی (شکل ۱۱-۵۰) آورده‌ایم. بنابراین خواننده یک ایده کلی راجع به اینکه مدل شبیه‌سازی پیشرفته با استفاده از نرم‌افزارهای مدرن چگونه به نظر می‌رسد و توانایی‌های چنین شبیه‌سازی‌ای چیست می‌یابد.

شبیه‌سازی گسترده‌ای است که در چندین دهه اخیر موضوع تحقیقات و پیشرفت‌های نرم افزاری و کاربردی بوده است. مدل‌های پیچیده سیستم‌های دنیای واقعی کنونی می‌توانند به آسانی در نرم‌افزارهای کامپیوتری شخصی مدل شوند. این مدل‌ها رفته‌رفته و به آسانی پیشرفت می‌کنند. با پیشرفت‌هایی در تکنولوژی سخت افزار کامپیوترهای شخصی مدل‌ها و نمودارها می‌توانند در یک زمان معقول به دست آیند. به این دلایل و همچنین سایر دلایل در متون زیادی به این مطالب پرداخته شده است. (کتاب‌هایی مانند Law and Kelton 1991, Banks, Carlson, and Nelson 1996, Nelson 1995) و نرم

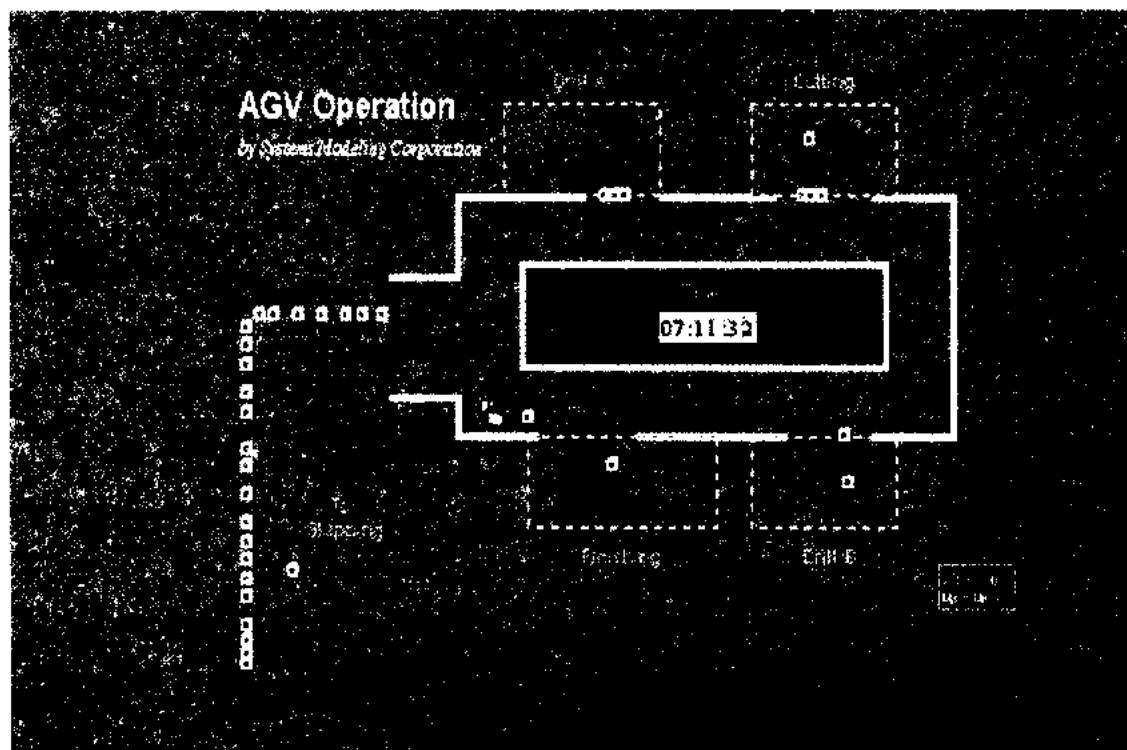
افزارهای شبیه‌سازی (Pritsker 1986 - SIMAN, Pidd, Wilson, and Kingston 1992 - SLAM, Banks et al. 1995 - ARENA, Banks et al. 1995 - SIMAN V, Shannon, and Sadowski 1990)

(BANKS et al. 1995-ARENA و SIMAN V ;Shannon, and Sadowski 1990)

البته تعدادی از برنامه‌های مهندسی صنایع را در یک درس کامل و در طول یک ترم با شبیه‌سازی ارایه می‌شوند. در حقیقت فهم تمام جنبه‌های شبیه‌سازی در یک بخش غیر ممکن است. بنابراین ما بر آنیم که به خوانندگان این را توضیح دهیم که علاوه بر مدل‌های مورد مطالعه در این کتاب، شبیه‌سازی می‌تواند کاربردهای مفید بسیاری در تسهیل طراحی‌ها داشته باشد همان‌طور که قبلاً اشاره شد آنالیز طراحی سیستم از طراحی خود سیستم مفیدتر است. خوانندگان علاقمند به مطالعه بیشتر راجع به شبیه‌سازی به (Law and Kelton 1991) و (Banks, Carlson, and Nelson 1996) در میان منابع مراجعه نمایند.



شکل ۱۱-۵۰. یک مدل شبیه‌سازی تصویری نمونه



شکل ۱۱-۵۱. یک تصویر برداشته شده از مراحل پیشرفت انیمیشنی مدل شبیه‌سازی نمایش داده شده در شکل ۱۱-۵۰

خلاصه

در این بخش انواع مختلف ابزارهای انتقال مواد که امروز در دسترس هستند را ارایه دادیم. و راجع به مدل‌های قطعی، تصادفی و بر پایه دانش را برای مواجهه با مسایل طراحی و عملی موجود در سیستم‌های انتقال مواد بحث نمودیم. همچنین مروری کوتاه بر مدل‌های شبیه‌سازی بر پایه تازه‌های تکنولوژی کامپیوتری داشتیم. شبیه‌سازی ابزاری مسلط برای طراحی سیستم‌های تولیدی و دستی است. زمانی که به‌طور هم‌زمان با مدل‌های قطعی و صف یا شبه صف سرو کار داریم، شبیه‌سازی کارایی به مراتب بیشتری دارد.

تمرینات و پرسش‌های دوره‌ای

۱- انتقال مواد را تعریف کنید و اهمیت آن را در فعالیت‌های تولیدی و توزیع شرح

۲- ۲۰ اصل انتقال مواد را فهرست وار ذکر کرده و شرح دهید.

۳- قابلیت های دیگر MHS ها علاوه بر انتقال مواد چیست؟ شرح دهید.

۴- با بیان خود توضیح دهید که منظور از مفهوم بار واحد^۱ چیست. رویه هفت مرحله ای طراحی بار واحد را که در بخش ۱۱-۲ آمده است، را مورد بحث قرار دهید.

۵- مزایا و معایب هر نوع MHD را که در بخش ۱۱-۳ آمده است را فهرست وار ذکر کنید. نوع کاربردهای مناسب هر یک را بیان کنید.

۶- پروژه: از مراجع مربوطه موجود در کتابخانه خود (مانند *Modern Material Handling Engineering Handling* یا *IE Solutions*) بهره گیری کنید و طبقه بندی تفصیلی از MHD ها تهیه کنید (توجه: این فهرست باید از آنچه در بخش ۱۱-۳ آمده است، جامع تر باشد). در هر طبقه بندی اصلی حداکثر دو زیر طبقه بندی بیاورید. با جزئیات کافی (با استفاده از تصاویر) هر نوع MHD را شرح دهید و حداقل یک نام و آدرس کامل (شماره تلفن، پست الکترونیکی و آدرس اینترنتی) برای تولید کننده تجهیزات هر نوع MHD ارائه دهید.

۷- پروژه: تمرین ۶ را برای نقاله ها تکرار کنید.

۸- آیا پالت کن ها تجهیزات انتقال مواد به شمار می روند؟ جواب خود را شرح دهید.

۹- پروژه: تمرین ۶ را برای بارکش های صنعتی تکرار کنید.

۱۰- شش کاربرد روبات ها را فهرست کنید. هر کاربرد را مختصراً شرح دهید.

۱۱- چرا AGV ها در انتقال مواد بسیار رایج هستند؟

۱۲- پروژه: تمرین ۶ را برای بالابرها، جرثقیل‌ها و بازوهای جرثقیلی تکرار کنید.

۱۳- برخی از مهمترین مسائل طراحی و اجرای سیستم‌های AGV را فهرست کرده و شرح دهید.

۱۴- پروژه: برای هر یک از مسائل زیر، مقالات و کتب مربوطه را جمع‌آوری کرده، مدل‌ها و الگوریتم‌های موجود را مورد بررسی قرار داده و مزایا و معایب مربوطه را مورد بحث قرار دهید.

الف. مکان‌یابی نقاط P/D در شبکه‌های جریان مواد

ب. شبکه جریان مواد

ج. انتخاب AGV

د. تخصیص AGV

ه. مسیریابی و ارسال AGV

۱۵- عبارت (۱) در بخش ۱۱-۶-۱ را طوری اصلاح کنید که شامل تابع جریمه‌ای برای زمان‌های بیکاری تجهیزات باشد.

۱۶- کارخانه‌ای سه نوع قطعه می‌سازد که ۶۰٪ تولید سالانه را تشکیل می‌دهند. ۴۰٪ باقیمانده شامل قطعاتی است که طراحی، اندازه، شکل، وزن و توالی عملیات آنها مرتب تغییر می‌کند. به همین دلیل مدیر تولید این ۴۰٪ را از تحلیل انتقال مواد حذف می‌کند. توالی تولید برای قطعه نوع P_1 ماشین‌های $M_1 \leftarrow M_4 \leftarrow M_3$ برای قطعه نوع P_2 ماشین‌های $M_4 \leftarrow M_2 \leftarrow M_3$ و برای قطعه نوع P_3 ماشین‌های $M_1 \leftarrow M_4 \leftarrow M_2 \leftarrow M_3$ است. حجم تولید سالیانه برای P_1 برابر ۱۰,۰۰۰، ۸,۰۰۰ برای P_2 و ۱۲,۰۰۰ برای P_3 است. دو



گرفته شده‌اند. با استفاده از هزینه (زمان)‌های انتقال ارائه شده در جدول ذیل، تعداد

مورد نیاز از هر یک از دو نوع MHD، H_1 و H_2 را تعیین کنید. فرض کنید که ۲۴۰/۱۰۰۰ واحد زمان در دوره برنامه‌ریزی وجود دارد. همچنین تعیین کنید که MHD ها چگونه باید به حرکات مختلف تخصیص داده شوند.

M_4	M_3	M_2	M_1	به	از	
(۶) ۱۰ (۱۴) ۶	-	-	-	H_1 H_2	M_1	P_1
-	(۲) ۸ (۱۵) ۶	-	-	H_1 H_2	M_4	P_1
-	-	(۶) ۱۸ (۱۴) ۱۲	-	H_1 H_2	M_4	P_2
-	(۶) ۱۲ (۱۲) ۶	-	-	H_1 H_2	M_2	P_2
(۸) ۶ (۶) ۸	-	-	-	H_1 H_2	M_1	P_3
-	-	(۶) ۸ (۹) ۶	-	H_1 H_2	M_4	P_3
-	(۱۲) ۱۴ (۱۶) ۱۲	-	-	H_1 H_2	M_2	P_3

۱۷- تمرین ۱۶ را در نظر بگیرید. با فرض اینکه زمان بیکاری MHD ها نیز باید علاوه بر هزینه‌های خرید و عملیاتی، کمینه شود، مدل مربوطه را ساخته و حل کنید. آیا جواب حاصله با آنچه در تمرین ۱۶ حاصل شده، متفاوت است؟ چرا؟

۱۸- مثال ۲ را در نظر بگیرید.

الف. توضیح دهید که چرا کسری از زمان که یک اپراتور بیکار است برای حالت دو اپراتوری برابر $P_0 + 0.5P_1$ است.

ب. توضیح دهید که چرا کسری از زمان که یک اپراتور بیکار است برای حالت سه اپراتوری برابر $P_0 + 0.67P_1 + 0.33P_2$ است.

۱۹- مثال ۲ را در نظر بگیرید. نشان دهید که زمانی که سه اپراتور تخصیص داده می‌شوند، متوسط زمان صرف شده در صف توسط یک لیفتراک چنگکی برابر ۰/۰۱۹۷ ساعت و زمان بیکاری اپراتور ۰/۲۹۰۴ ساعت است.

۲۰- مدیر انباری می‌خواهد تعداد اپراتورهایی را که به یک عملیات تخلیه بار تخصیص داده می‌شوند را تعیین کند. (عملیات بارگیری به صورت اتوماتیک انجام می‌شود). انتقال مواد به وسیله شش AGV انجام می‌شود و متوسط زمان مورد نیاز برای برداشتن بار و رفتن تا اپراتور جهت تخلیه بار ۱۶ دقیقه است. متوسط زمان تخلیه بار ۱۰ دقیقه است. با دانستن آنکه هزینه اجاره ساعتی هر AGV برابر ۵۵ دلار است و هزینه ساعتی نیروی کار اپراتور (شامل حاشیه سود) ۳۵ دلار است. تعیین کنید که چند اپراتور باید تخصیص داده شوند تا زمان بیکاری اپراتور و AGV کمینه شود. (با فرض زمان سرویس‌دهی نمایی و توزیع‌های بین ورود).

۲۱- الف. سیستم‌های خبره و دانش محور موجود برای انتخاب MHS را فهرست کرده و آنها را با هم مقایسه نمایید.

ب. برخی از مزایای رویکردهای سیستم خبره و دانش محور را در مقایسه با رویکردهای مبتنی بر بهینه‌سازی کدامند؟ معایب آن چیست؟

۲۲- مثال ۳ را در نظر بگیرید. مشخص کنید که کدام یک از این سناریوها کمترین ظرفیت کاری حامل را نیاز دارد:

الف. نقاله دو ایستگاه با ۱۰ حامل

ب. نقاله دو ایستگاه با ۱۱ حامل

ج. نقاله دو ایستگاه با ۱۲ حامل

۲۳- مثال ۳ را در نظر بگیرید. فرض کنید که توالی بارگیری و تخلیه بار ایستگاه ۱

$F = \{3, 0, 2, 0, 2\}$ باشد. نشان دهید که حداکثر ظرفیت کاری مورد نیاز سنخ واحد

است. (راهنمایی: از یک نرم‌افزار صفحه گسترده برای تحلیل استفاده کنید).

۲۴- شکل ۱۱-۴۸ را در نظر بگیرید. فرض کنید که موقعیت ایستگاه‌های ۱ و ۲ با هم عوض شود. ظرفیت کاری جدید را تعیین کنید. آیا تفاوتی در آن ایجاد می‌شود؟ چرا؟

۲۵- نقاله‌ای دارای ۲۱ حامل با اندازه مساوی است. توالی بارگیری و تخلیه بار سه ایستگاه $F_1=\{0, -1, -1\}$ ، $F_2=\{-1, -1, 0\}$ و $F_3=\{1, 1, 2\}$ است. حداکثر ظرفیت کاری مورد نیاز را تعیین کنید.

۲۶- فرض کنید که تعداد حمل‌کننده‌های تمرین ۲۵ به صورت‌های ذیل تغییر کند:

الف. به ۲۵ عدد افزایش یابد.

ب. به ۱۶ عدد کاهش یابد.

مشخص کنید کدام یک از سه پیکربندی به حداقل ظرفیت کاری نیاز دارد.

۲۷- یک منحرف‌کننده فشاری به صورت اتوماتیک قطعاتی را از یک نقاله بر روی عرشه یک AGV قرار می‌دهد. AGV این بار را برداشته و آن را به محوطه دیگری که بار در آن به صورت دستی تخلیه می‌شود، منتقل می‌کند. با فرض آنکه زمان‌های بارگیری، حمل و تخلیه بار می‌توانند ثابت و برابر ۶ دقیقه در نظر گرفته شوند و نرخ ورود قطعات به نقاله هشت عدد در ساعت باشد، میزان بهره‌گیری از AGV را تعیین کنید.

۲۸- چنانچه نرخ ورود در تمرین ۲۷ به $9/5$ عدد در ساعت افزایش یابد، چه مشکلاتی رخ خواهد داد. جواب خود را توجیه کنید.

۲۹- میزان بهره‌گیری از ایستگاه کاری را در مثال ۵ تعیین کنید.

۳۰- مثال ۵ را در نظر بگیرید. فرض کنید تنها یک AGV وجود دارد.

الف. میزان بهره‌گیری از AGV و چهار ایستگاه کاری A و B و C و D را تعیین کنید.

ب. متوسط زمان انتظار و طول صف دو نوع قطعه در AGV و چهار ایستگاه کاری چقدر است؟

ج. جوابی را که به دست آوردید با جواب مثال ۵ و تمرین ۲۹ مقایسه کنید. کدام جواب بهتر است؟ توضیح دهید.

۳۱- پروژه: از یک مرکز (تولیدی یا ارائه خدمات) اطراف خود که دارای سیستم انتقال مواد جامعی است، بازدید کنید. پس از مصاحبه با پرسنل مربوطه در مرکز و جمع‌آوری داده‌های لازم، از "معادله انتقال مواد" برای به دست آوردن جواب انتقال مواد استفاده کنید. پاسخ خود را با تجهیزات MHS فعلی مقایسه کنید. جزئیات جواب خود را برای پرسنل مرتبط آن مرکز و کلاس شرح دهید. چنانچه سیستم شما با سیستم واقعی متفاوت است، جواب خود را توجیه کنید.

۳۲- مدل شبیه‌سازی تهیه شده در مثال ۶ را در نظر بگیرید. با فرض آنکه زمان سرویس‌دهی برای دریل A قطعی و برابر ۶۰ دقیقه برای هر قطعه باشد، مدل شبیه‌سازی را به نحو صحیح اصلاح کرده و آمار به دست آمده را ثبت کنید.

الف. نشان دهید که میانگین زمان در سیستم (مورد انتظار) برای قطعه نوع A برابر ۲۹۲ دقیقه است.

ب. جواب‌های به دست آمده در مثال ۶ و در بخش الف را مقایسه کنید و اهمیت کاهش تغییرپذیری فرایند را شرح دهید.

۳۳- با استفاده از هر نرم‌افزار شبیه‌سازی موجود، مدل شبیه‌سازی‌ای برای موقعیت شرح داده شده در مثال ۷ بسازید.

۳۴- مزایا و معایب مدل‌های تحلیلی (مانند صف) و مدل‌های شبیه‌سازی را مورد بحث قرار دهید. کدام یک را ترجیح می‌دهید؟ چرا؟

ذخیره‌سازی و انبارداری

۱-۱۲ مقدمه

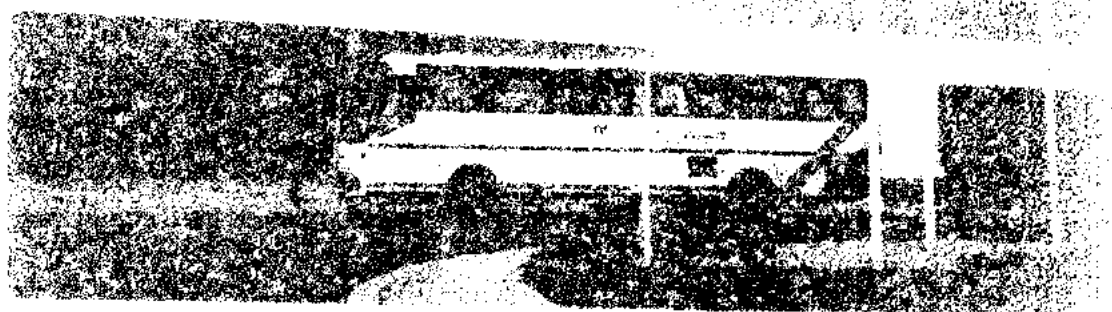
بسیاری از شرکت‌های تولیدی و پخش دارای انبارهای بزرگ برای ذخیره موجودی مواد در جریان ساخت یا قطعات دریافتی از یک تأمین کننده بیرونی هستند. شرکت‌های تجاری که فضای انبارش و ذخیره‌سازی را برای ذخیره‌سازی موقت مواد به سایر شرکت‌ها اجاره می‌دهند نیز انبارهایی در اختیار دارند. برخی استدلال کرده‌اند که انبارداری فعالیتی زمان بر است که ارزشی افزوده‌ای در بر ندارد ("اتلاف"). از آنجایی که کاغذبازی و زمان اضافی‌ای برای ذخیره‌سازی اقلام در فضاهای انبارش و برداشت مجدد آنها هنگام نیاز، لازم است فلسفه تولیدی تولید به‌هنگام^۱ (JIT) پیشنهاد می‌کند که شرکت‌ها باید از هرگونه ذخیره‌سازی موقت خودداری کنند و یک استراتژی کشش^۲ را که در آن اقلام تنها در صورتی که و زمانی که مورد نیازند، تولید می‌شوند را در پیش گیرند.

این بدان معناست که یک قلم باید در صورتی در یک مرحله از ساخت تولید شود که در مرحله بعد به آن نیاز باشد. علاوه بر آن، میزان تولید باید مستقیماً با مقدار تقاضای مرحله بعدی ساخت مرتبط باشد. با این وجود در عمل، نیاز به داشتن

1. Just-In-Time

2. pull

The first of these is the fact that the
 system is not a simple one. It is a
 complex one, and it is not possible to
 describe it in a few words. It is a
 system of many parts, and it is not
 possible to describe it in a few words.
 It is a system of many parts, and it is
 not possible to describe it in a few
 words. It is a system of many parts,
 and it is not possible to describe it
 in a few words. It is a system of
 many parts, and it is not possible to
 describe it in a few words. It is a
 system of many parts, and it is not
 possible to describe it in a few words.



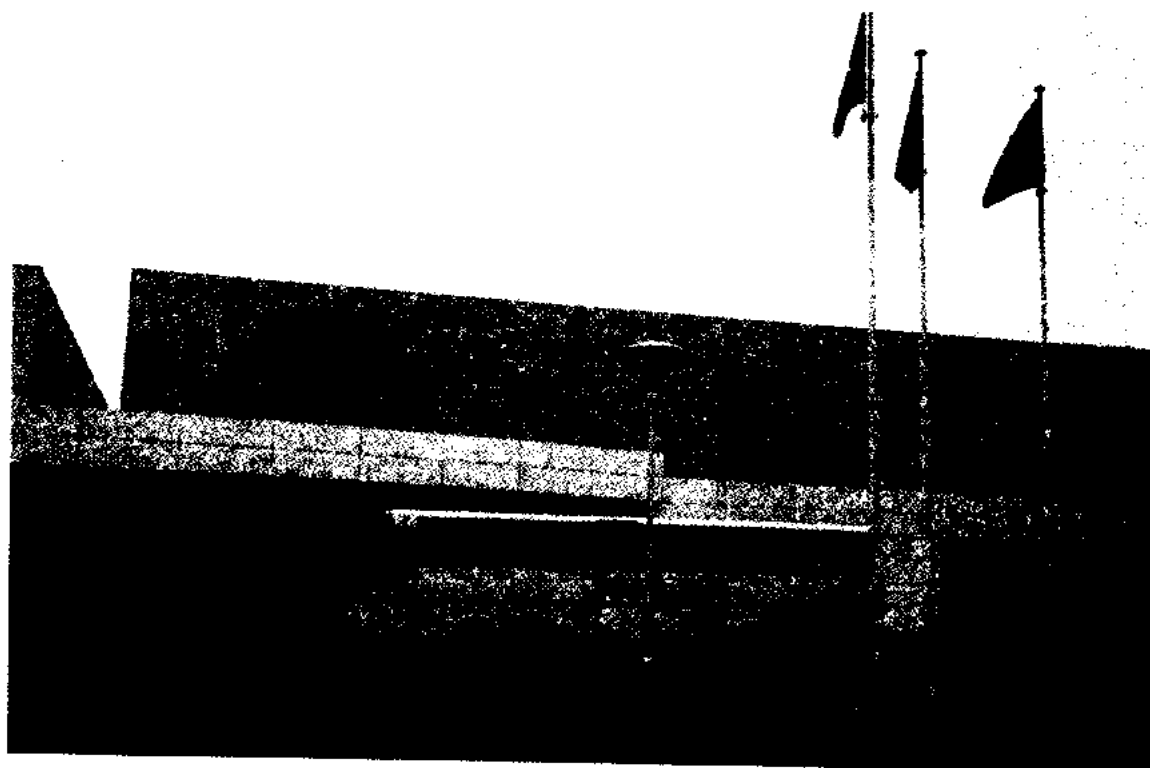
The building is a long, low, white structure with a flat roof, surrounded by trees and a lawn.

The building is a long, low, white structure with a flat roof, surrounded by trees and a lawn.

The building is a long, low, white structure with a flat roof, surrounded by trees and a lawn.

موجودی کافی از اقلام به علت عدم قابل اطمینان بودن تأمین کنندگان و نیاز به بهبود خدمات مشتری و پاسخ سریع به نیازهای آنان، در بین سایر دلایل، این امر را ناممکن، و یا حداقل غیرمطلوب، می سازد که کاملاً از ذخیره سازی موقت احتراز شود.

نایک^۱، یک شرکت ورزشی، به تازگی یک انبار پخش بزرگ در بلژیک ساخته است (شکل ۱۲-۱ را ببینید)، چرا که یکی اهداف تجاری اصلی آنها پاسخگویی به ۷۵٪ مشتریان در ۲۴ ساعت است. بدون تجهیزات انبارداری مناسب، نایک قادر به نیل به این هدف نخواهد بود چرا که بسیاری از کارخانه های سازنده و تأمین کنندگان آن در خارج - خاور دور - واقعند. فروشگاه های "باشگاه اعضا"^۲ چون باشگاه سام^۳، باشگاه پرایس^۴ و باشگاه انبار بی.جی.^۵ در طی چند دهه گذشته جایگاه محکمی در کسب و کار خرده فروشی به مصرف کننده پیدا کرده اند. این فروشگاه ها به شرکت های تجاری یا کارکنان



شکل ۱۲-۱. مرکز توزیع نایک در لاكدال^۶ بلژیک

1. Nike

2. members club

3. Sam's Club

4. Price Club

5. B. J.'s Warehouse Club

6. Laakdal

و دوستان‌شان حق عضویت اعطا می‌کنند و سپس تنها به اعضا اجازه خرید از فروشگاه‌هایشان را می‌دهند. آنها عموماً کالاهایشان را به‌صورت فله‌ای و مستقیماً خارج از انبارهایشان می‌فروشند و به این ترتیب نیاز به ساختن و نگهداری فروشگاه‌های خرده‌فروشی گرانقیمت از بین می‌رود. معمولاً خرید از این فروشگاه‌ها نسبت به مراکز خرید سنتی هزینه کمتری را به مصرف‌کننده تحمیل می‌کند. کارکرد اولیه این فروشگاه‌ها نه انبارداری بلکه خرده‌فروشی است!

این دو مثال به اندازه کافی نیاز به تأسیس انبار جهت ارائه خدمت به مشتری را علی‌رغم عدم وجود خدمات دارای ارزش افزوده در بسیاری از آنها را نشان می‌دهد. این فصل به برنامه‌ریزی و طراحی انبار و ذخیره‌سازی اختصاص یافته است.

۱۲-۲ کارکردهای انبار

گرچه ممکن است چنین به نظر برسد که تنها کارکرد انبارها، انبارسازی - یعنی ذخیره‌سازی موقت کالاها - است، انبارها کارکردهای بسیار دیگری نیز دارند. برخی از مهمترین این کارکردها در اینجا لیست شده و مختصراً شرح داده شده است.

ایجاد امکان ذخیره‌سازی موقت کالاها

جهت نیل به اندازه‌های اقتصادی در تولید، حمل و نقل و جابجایی کالاها، غالباً ضروری است کالاها را در انبارها ذخیره کرد و در زمان وقوع تقاضا در اختیار مشتری قرار داد.

یکی کردن سفارش‌های مشتری

انبارها - مانند مرکز پخش نایک در شکل ۱۲-۱ - کالاهای ارسالی را به‌صورت فله‌ای از چندین منبع مختلف دریافت می‌کند و با استفاده از سیستم‌های دسته‌بندی خودکار یا دستی، سفارش‌های منفرد مشتری را با هم یکی کرده و آن را مستقیماً به مشتری ارسال می‌کنند.

خدمت‌دهی به‌عنوان تجهیزات (مرکز) خدمات مشتری

از آنجایی که انبارها کالا را برای مشتری ارسال می‌کنند و بنابراین در تماس مستقیم با آنان قرار دارند، یک انبار می‌تواند به‌عنوان یک مرکز خدمات مشتری نیز عمل کرده و کالاهای خراب یا نقص‌دار را تعویض کند، تحقیقات بازار انجام دهد و حتی به ارائه خدمات پس از فروش بپردازد. به‌عنوان مثال، بسیاری از سازندگان لوازم الکترونیکی ژاپن انجام تعمیرات و خدمات پس از فروش در آمریکای شمالی را به انبارهای آمریکای خود واگذار می‌کنند.

محافظت از کالاها

انبارها معمولاً مجهز به سیستم‌های امنیتی و محافظتی پیچیده‌ای هستند، بنابراین ذخیره‌سازی کالاهای ساخته شده در انبارها جهت محافظت آنها در برابر سرقت، آتش‌سوزی، سیل و سایر بلایای طبیعی منطقی به نظر می‌رسد.

جداسازی مواد خطرناک و آلوده

قوانین ایمنی ممکن است اجازه انبارش مواد خطرناک را در نزدیکی سالن‌های تولیدی ندهند. از آنجایی که هیچ فعالیت تولیدی در انبار صورت نمی‌گیرد، یک انبار می‌تواند مکان مناسبی برای جداسازی و ذخیره مواد خطرناک آلوده باشد.

ارائه خدمات دارای ارزش افزوده

بسیاری از انبارها در حالت عادی خدمات دارای ارزش افزوده ارائه می‌دهند. مانند بسته‌بندی کالاها، آماده‌سازی سفارشات مشتری مطابق نیازمندی‌های خاص مشتری، بازرسی مواد و محصولات واصله، تست محصولات نه فقط جهت حصول اطمینان از اینکه درست کار می‌کنند بلکه حتی جهت تطبیق با قوانین فدرال یا محلی، و حتی مونتاژ کالاها. بدیهی است که بازرسی و تست ارزشی به محصول اضافه نمی‌کنند اما با این وجود ممکن است به‌علت سیاست‌های شرکت یا قوانین فدرال ضرورت داشته باشند.

موجودی

از آنجایی که پیش‌بینی دقیق تقاضا مشکل است، در بسیاری از کسب و کارها داشتن موجودی و ذخیره ایمنی برای پاسخگویی به نوسانات پیش‌بینی شده تقاضا می‌تواند حائز اهمیت فوق‌العاده‌ای باشد. عدم توانایی در پاسخگویی به تقاضا می‌تواند منجر به از دست دادن سود گردد، یا حتی بدتر از آن ممکن است وفاداری مشتری به شرکت را به شدت تحت تأثیر قرار دهد. همچنین شرکت‌هایی که محصولات فصلی -مانند چمن‌زن یا پارو- تولید می‌کنند، ممکن است موجودی اضافی در آخر فصل داشته باشند و مجبور به ذخیره‌سازی اقلام فروش نرفته در انبارها باشند.

۱۲-۳ جابجایی مواد و سیستم‌های ذخیره‌سازی مورد استفاده در انبارها

همان‌طور که در فصل ۲ گفته شد، یک انبار عادی از دو عنصر اصلی تشکیل شده است: (۱) یک وسیله ذخیره‌سازی و (۲) یک سیستم جابجایی مواد. البته، ساختمانی وجود دارد که وسیله ذخیره‌سازی، کالاها و سیستم ذخیره/برداشت کننده^۱ (S/R) را در برمی‌گیرد. از آنجایی که هدف اصلی ساختمان محافظت محتویات آن در برابر دزدی و عناصر آب و هوایی است، آن را از مواد محکم و سبک می‌سازند. انبارها در اشکال و اندازه‌ها و ارتفاع‌های مختلف بسته به فاکتورهای چون نوع مواد ذخیره شده در درون آنها، حجم و نوع سیستم‌های S/R مورد استفاده (تمرین ۶ را ببینید)، وجود دارند. انبار نایک در لاکدال بلژیک سطحی به مساحت ۱ میلیون فوت مربع را اشغال می‌کند. منبع ذخیره محفظه بلند^۲ آن حدوداً ۱۰۰ فوت ارتفاع دارد و تقریباً نصف کل فضای انبار را اشغال می‌کند، و ۲۶ جرثقیل سرنشین‌دار را به خدمت می‌گیرد. از سوی دیگر، یک فروشگاه باشگاه اعضا ممکن است مجموعاً مساحتی برابر ۲۰۰/۰۰۰ فوت مربع و ارتفاع ساختمانی برابر ۳۵ فوت داشته باشد.

1. storage/retrieval

2. high-bay

۱۲-۳-۱ وسایل ذخیره سازی

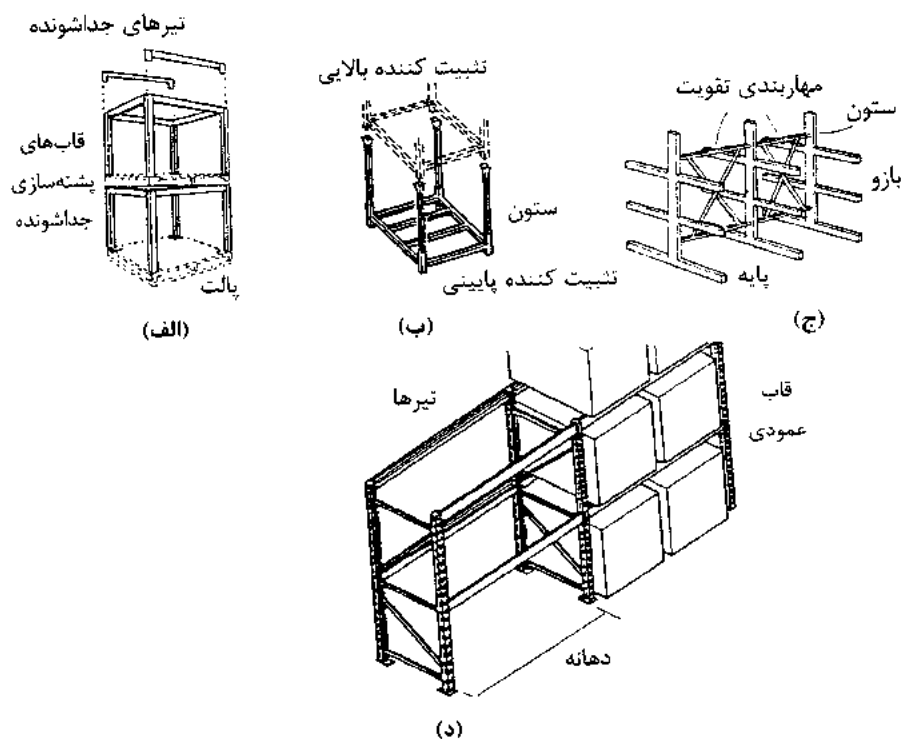
اولین دلیل استفاده از قفسه‌های ذخیره‌سازی^۱ آن است که آنها بهره‌گیری از فضای انبار را حداکثر می‌کنند. هر قفسه دارای فضاهای ذخیره‌سازی چندگانه‌ای است (که معمولاً دارای یک برش عرضی مربع یا مستطیل شکل هستند) که از بالا به پایین یا از چپ به راست چیده شده‌اند و جهت ذخیره‌سازی اقلام در انبار به کار می‌روند. انواع قفسه‌های ذخیره‌سازی که برای ذخیره‌سازی اقلام موجودند در شکل‌های ۱۲-۲ تا ۱۲-۶ به تصویر کشیده شده است.

چارچوب‌های پشته‌سازی^۲

گاهی پالت‌ها را با استفاده از چارچوب‌های فولادی عمودی که می‌توانند به چهار گوشه یک پالت چوبی استاندارد وصل شوند، روی هم قرار داده و پشته می‌کنند. تیرهای افقی که می‌توانند به چهار چارچوب عمودی وصل شوند امکان ذخیره پالت‌ها بر روی آنها را ایجاد می‌کنند (شکل ۱۲-۲ الف). هنگامی که تیرهای افقی به چارچوب‌های فولادی عمودی متصل می‌شوند، شکل یک چهارپایه را به خود می‌گیرند. یکی از انواع این مدل قفسه قابل حملی است که دارای ساختارهای لوله‌ای عمودی و افقی است و امکان قرار دادن مستقیم پالت‌ها، جعبه‌ها و کارتن‌ها را بر روی عناصر افقی فراهم می‌آورد (شکل ۱۲-۲ ب). این نوع قفسه‌ها نه تنها قابل جمع‌آوری جهت سهولت نگهداری هستند بلکه می‌توان قفسه‌های اضافی را روی آنها سوار کرد و به این ترتیب از فضای ذخیره‌سازی عمودی استفاده کرد.

قفسه‌های بازویی^۳

تیرهای بازویی که توسط قسمت‌های عمودی پشتیبانی می‌شود انعطاف ذخیره‌سازی زیادی را سبب می‌شوند (شکل ۱۲-۲ ج). گرچه این قفسه‌ها معمولاً برای نگهداری بارهای بلند مانند میله، تیوب و لوله به کار می‌روند، می‌توان دسته‌هایی به آنها نصب کرده و از آنها به عنوان قفسه‌های عادی جهت نگهداری بارهای کوچکتر استفاده کرد.



شکل ۱۲-۲. قاب‌های پالت

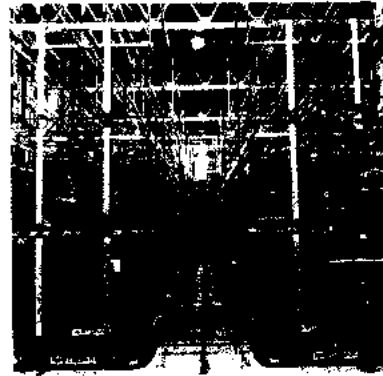
قفسه‌های قابل انتخاب (انتخابی)

برای هر مخزن و محفظه ذخیره‌سازی، این نوع قفسه دارای یک جفت تیر عمودی، تیرک‌های افقی و بست‌های ضربدری برای استحکام است (شکل ۱۲-۲). طول محفظه بستگی به طول تیرهای افقی دارد. این نوع قفسه انتخابی نامیده می‌شود چرا که هر باری را قابل دسترسی (یا قابل انتخاب) می‌کند، همان‌طور که در شکل ۱۲-۳ الف نشان داده شده است. در این تصویر، دو قفسه تک، پشت به پشت هم قرار گرفته‌اند. هنگامی که دو قفسه انتخابی با دو برابر عمق پشت به پشت هم قرار می‌گیرند، طراحی دو برابر عمق قفسه انتخابی حاصل می‌شود که نیاز به فضای راهرو را به طرز چشمگیری کاهش می‌دهد. هر دو طراحی امکان ذخیره‌سازی عمودی چند سطحی را

فراهم می‌کنند و عموماً در یک مکان از انبار ثابت می‌شوند. یکی از انواع این طراحی به قفسه‌ها (که روی چرخ یا ریل‌های زمینی سوار شده‌اند) این امکان را می‌دهد که از مکانی به مکان دیگر حرکت کنند. این مدل قفسه‌های متحرک نامیده می‌شوند و یک نمونه از آنها در شکل ۱۲-۳ ب نشان داده شده است. نمونه شکل ۱۲-۳ ب یک سیستم دارای راهرو باریک است که قادر به جای دادن یک برجک متحرک مناسب^۱ که بر روی تراک نصب شده است. این مدل دارای یک ایستگاه سوار و پیاده کردن در انتهای هر قفسه است و "دنباله‌های آشکارساز" نشان داده شده به یک اپراتور امکان این را می‌دهد که ببیند و تعیین کند که آیا یک پالت در آن است یا نه. به عنوان مثال، دنباله آشکارساز انحناءدار در گوشه پایین سمت راست شکل ۱۲-۳ ب به اپراتور می‌گوید که پالت مربوطه درون قفسه را اشغال کرده است. سیستم‌های قفسه متحرک برای استفاده در تجهیزات فریزری مواد غذایی یا هر تجهیزات دیگری که گردش موجودی آن، کم است، ایده‌آل هستند. این قفسه‌ها امکان استفاده مؤثر از فضای انبار را فراهم می‌آورند چرا که همه قفسه‌ها می‌توانند از یک مکان به مکان دیگر جابجا شوند. نوع دیگری از قفسه‌های انتخابی به لیفتراک‌های چنگکی^۲ اجازه حرکت و گذاشتن و برداشتن بار را می‌دهند.



(الف)



(ب)

شکل ۱۲-۳. دو نوع از قفسه‌های انتخابی

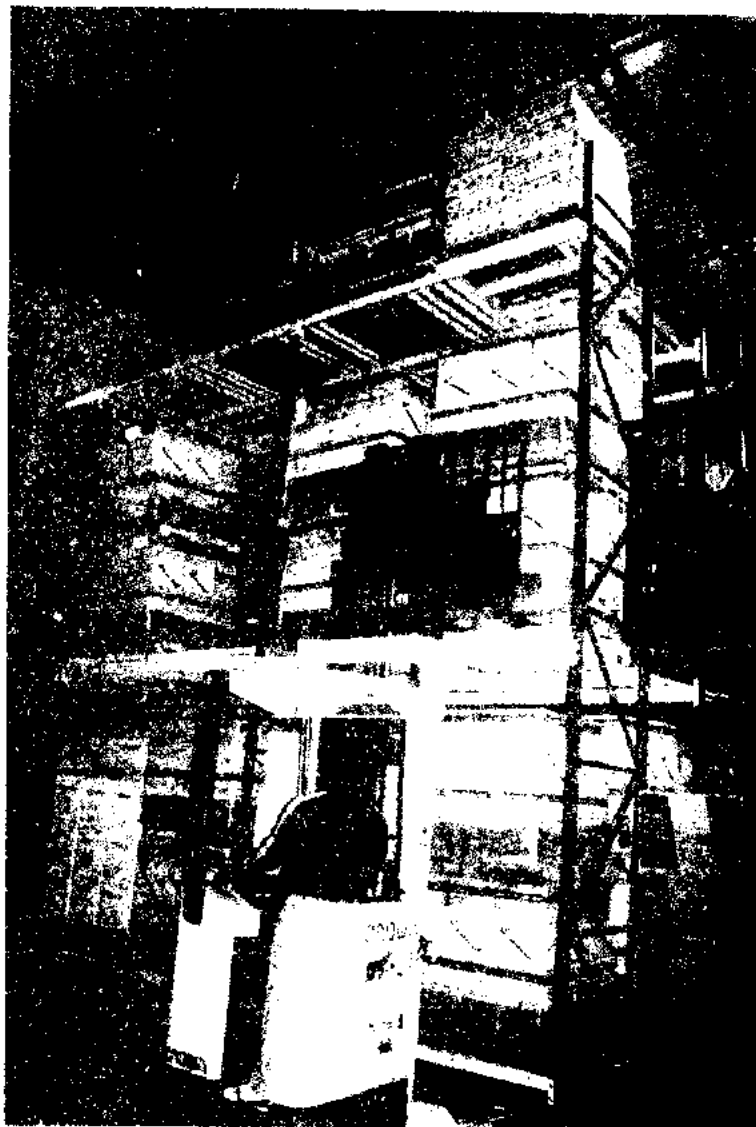
1. accommodating turret truck
2. fork lift truck

قفسه جریان^۱

به جای آنکه لیفتراک‌های چنگکی برای برداشتن بار به‌سوی آن حرکت کنند، در یک قفسه جریان بارها خودشان به سمت لیفتراک، شخص یا هر وسیله دیگری حرکت می‌کنند تا برداشته شود. اقلام در یک انتهای قفسه بر روی چرخ‌ها یا رول‌های شیب‌دار گذاشته می‌شوند و در انتهای دیگر برداشته می‌شوند (شکل ۱۲-۴ را ببینید). شاید چنین طراحی را در بخش مواد لبنی یک فروشگاه مواد غذایی، جایی که شیر، ماست و سایر محصولات لبنی بر روی قفسه‌های جریان نگهداری می‌شوند دیده باشد. این قفسه‌ها برای جمع‌آوری اقلام در نقطه مصرف و فراهم آوردن ذخیره متراکم به کار می‌روند.

یک نوع از قفسه‌های جریان، قفسه هل دادنی^۲ نامیده می‌شود. به جای آنکه بازیابی اقلام مانند یک قفسه جریان بر مبنای اولین ورودی - اولین خروجی باشد، بازیابی اقلام در یک قفسه هل دادنی بر مبنای آخرین ورودی - اولین خروجی است. اقلام بر روی یک حمل‌کننده قرار گرفته بر روی ریل از جلوی قفسه، گذاشته می‌شوند. در زمانی که وسیله نقلیه بار را می‌گذارد، اقلام قبلی یک مکان به عقب رانده می‌شوند تا جا را برای قلم جدید باز کنند. بار جدید همیشه در جلو قرار می‌گیرد. هنگامی که قلم قرار گرفته در جلو برداشته می‌شود، اقلام باقیمانده به‌علت شیب خفیفی که در قفسه وجود دارد به جلو حرکت می‌کنند. شکل ۱۲-۵ ترکیبی از قفسه جریان و قفسه هل دادنی را نشان می‌دهد. یک قفسه جریان دو برابر عمق با یک تونل برای ممکن ساختن حرکت لیفتراک‌های چنگکی در سطح زمین و یک سیستم قفسه هل دادنی سه برابر عمق در سایر سطوح که دسترسی به آنها از طریق راهروهایی در دو طرف تونل ممکن است، دیده می‌شوند.

1. Flow Rack
2. push-back



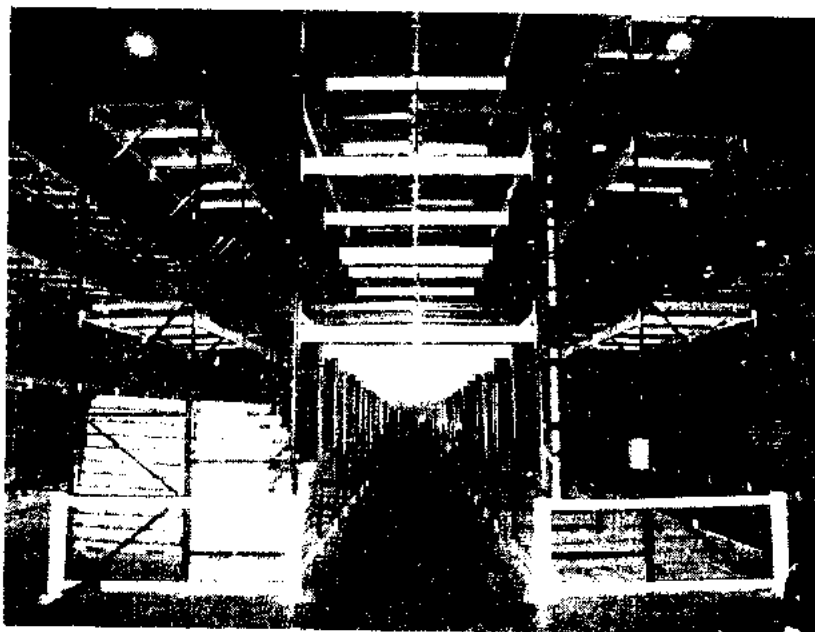
شکل ۱۲-۴. نقشه جریان



شکل ۱۲-۵. جریان ترکیبی و قفسه هل دادنی

قفسه‌های مربوط به سیستم‌های ذخیره‌سازی و بازیابی خودکار

سیستم قفسه‌های نشان داده شده در شکل ۱۲-۶ الف قادر به نگهداری جعبه‌هایی برای ذخیره اقلام کوچک است. این سیستم راهروی باریکی دارد که تنها دارای فضای کافی برای یک سیستم بازیابی روباتیک جهت ذخیره و بازیابی اقلام است. به همین ترتیب، سیستم قفسه شکل ۱۲-۶ ب نیز تنها دارای فضای کافی برای یک سیستم S/R سرشین‌دار جهت دسترسی به کارتن‌هایی که بر روی قفسه‌های عادی نگهداری می‌شوند، است. هیچ چیز ویژه‌ای در مورد قفسه‌هایی که شکل ۱۲-۶ هستند، وجود ندارد مگر این که آنها به‌طور خاص برای استفاده توسط سیستم‌های خودکار ساخته شده‌اند.



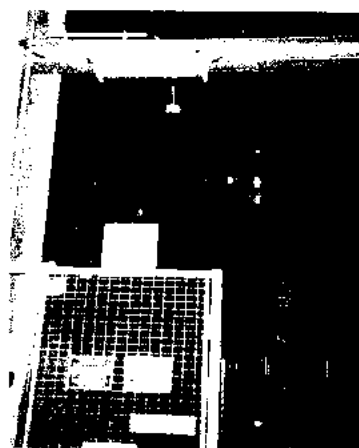
شکل ۱۲-۵. جریان ترکیبی و قفسه هل دادنی

قفسه‌های مربوط به سیستم‌های ذخیره‌سازی و بازیابی خودکار

سیستم قفسه‌های نشان داده شده در شکل ۱۲-۶ الف قادر به نگهداری جعبه‌هایی برای ذخیره اقلام کوچک است. این سیستم راهروی باریکی دارد که تنها دارای فضای کافی برای یک سیستم بازیابی روباتیک جهت ذخیره و بازیابی اقلام است. به همین ترتیب، سیستم قفسه شکل ۱۲-۶ ب نیز تنها دارای فضای کافی برای یک سیستم S/R سرشین‌دار جهت دسترسی به کارتن‌هایی که بر روی قفسه‌های عادی نگهداری می‌شوند، است. هیچ چیز ویژه‌ای در مورد قفسه‌هایی که شکل ۱۲-۶ هستند، وجود ندارد مگر این که آنها به‌طور خاص برای استفاده توسط سیستم‌های خودکار ساخته شده‌اند.



(الف)



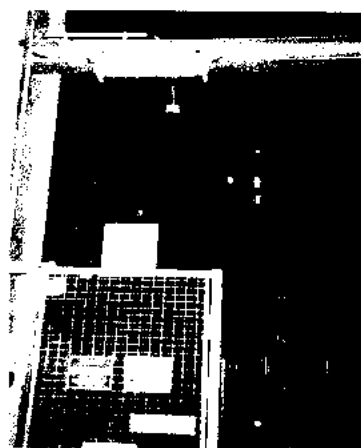
(ب)

شکل ۱۲-۶. قفسه‌های استفاده شده در انبارهای نمودکارسازی شده

علاوه بر نوع قفسه‌هایی که توصیف کردیم، کَشوهای بخش‌بندی شده جهت نگهداری قطعات کوچک چون مته‌ها، سنجاق‌ها، واشرها و پیچ‌ها استفاده می‌شوند. این کَشوها امکان ذخیره‌سازی بسیار متراکم را فراهم می‌آورند. جعبه‌ها و ظروفی که می‌توانند روی هم به صورت پشته قرار گیرند علاوه بر وسایل نگهداری به عنوان وسایل حمل و نقل نیز عمل می‌کنند. زمانی که نیاز به جابجایی قطعات به سمت نقطه مصرف باشد، کل جعبه یا ظرف به وسیله وسایل مکانیکی جابجا می‌شود. در سال‌های اخیر انبارهای بلند قفسه پشتیبان بسیار رایج شده است. به جای داشتن قفسه‌های بلند آزاد، این انبارها به وسیله قفسه‌ها پشتیبانی می‌شود. به این ترتیب قفسه‌ها دارای کارکرد دوگانه هستند - ذخیره‌سازی و نیز پشتیبانی ساختمان. به خاطر اهداف مالیاتی این ساختمان‌ها "تجهیزات عملیاتی" در نظر گرفته می‌شوند چرا که به قفسه‌های ذخیره‌سازی متصل هستند. بدین گونه، این کار موجب استهلاک با نرخ سریع‌تر و نیز اعتبار مالیاتی سرمایه‌گذاری می‌گردد (Kulwiec 1980).



(الف)



(ب)

شکل ۱۲- ۶. قفسه‌های استفاده شده در انبارهای نمودکارسازی شده

علاوه بر نوع قفسه‌هایی که توصیف کردیم، کثوهای بخش‌بندی شده جهت نگهداری قطعات کوچک چون مته‌ها، سنجاق‌ها، واشرها و پیچ‌ها استفاده می‌شوند. این کثوها امکان ذخیره‌سازی بسیار متراکم را فراهم می‌آورند. جعبه‌ها و ظروفی که می‌توانند روی هم به صورت پشته قرار گیرند علاوه بر وسایل نگهداری به عنوان وسایل حمل و نقل نیز عمل می‌کنند. زمانی که نیاز به جابجایی قطعات به سمت نقطه مصرف باشد، کل جعبه یا ظرف به وسیله وسایل مکانیکی جابجا می‌شود. در سال‌های اخیر انبارهای بلند قفسه پشتیبان بسیار رایج شده است. به جای داشتن قفسه‌های بلند آزاد، این انبارها به وسیله قفسه‌ها پشتیبانی می‌شود. به این ترتیب قفسه‌ها دارای کارکرد دوگانه هستند - ذخیره‌سازی و نیز پشتیبانی ساختمان. به خاطر اهداف مالیاتی این ساختمان‌ها "تجهیزات عملیاتی" در نظر گرفته می‌شوند چرا که به قفسه‌های ذخیره‌سازی متصل هستند. بدین گونه، این کار موجب استهلاک با نرخ سریع‌تر و نیز اعتبار مالیاتی سرمایه‌گذاری می‌گردد (Kulwiec 1980).

Kulwiec (1980) همچنین خاطر نشان می‌سازد که یکی دیگر از مزایای ساختمان‌های قفسه پشتیبان آن است که می‌توان به سرعت آنها را بنا کرد چرا که بسیاری از فعالیت‌ها را می‌توان به صورت همزمان انجام داد.

۱۲-۳-۲ سیستم‌های ذخیره‌سازی و بازیابی

در عمل دو نوع سیستم ذخیره و بازیابی^۱ (S/R) دیده می‌شود (Kulwiec 1985):

- ۱- سیستم "شخص به شخص" که در آن قفسه‌ها ثابت هستند و یک شخص یا ماشین به محل ذخیره‌سازی اقلام رفته و آنها را برمی‌دارد.
 - ۲- سیستم "جنس به شخص" که در آن اقلام (از محل نگهداریشان) به انتهای راهرو جایی که یک اپراتور یا مکانیزم حمل و نقل (مانند نقاله) اقلام را به نقطه مصرفشان می‌فرستند، می‌آیند. قفسه‌های جریان که در بخش ۱۲-۳-۱ مورد بحث قرار گرفتند، در این دسته قرار می‌گیرند و همین‌طور سیستم‌های چرخ فلکی (گردان)^۲ ذخیره‌سازی (مانند آنهایی که در یک ماشین فروش مواد غذایی یا تأسیسات خشک‌شویی وجود دارند) و سیستم‌های بار کوچک^۳.
- سیستم‌های S/R می‌توانند دستی یا خودکار باشند، میزان خودکار بودن نیز می‌تواند از اتوماسیون ساده (مانند قفسه‌های جریان با غلتک‌ها یا چرخ‌های برقی) تا اتوماسیون کامل (مانند سیستم‌های بازیابی روباتیک بحث شده در بخش ۱۲-۴) متغیر باشد. از آنجایی که سیستم‌های S/R نیمه یا تمام اتوماتیک بسیار مورد استفاده قرار می‌گیرند. و در این فصل نیز بارها به آنها اشاره می‌شود، ما واژه خلاصه مشهور AS/RS را برای سیستم‌های ذخیره و بازیابی خودکار و نیز نیمه اتوماتیک^۴ به کار می‌بریم.
- انواع مختلفی از سیستم‌های S/R وجود دارند. ذخیره‌سازی و بازیابی می‌تواند به وسیله اشخاصی که در یک یا چند سطح با استفاده از نردبان‌های متحرک (در صورت نیاز) ایستاده‌اند، انجام گیرد. فصل ۱۱ چندین نوع کامیون را که می‌توانند در عملیات S/R به خدمت گرفته شوند مورد بحث قرار داده است. کامیون‌های شکل ۱۱-۲۸ قادر به مانور

1. Storage and Retrieval

2. storage carousel

3. miniload

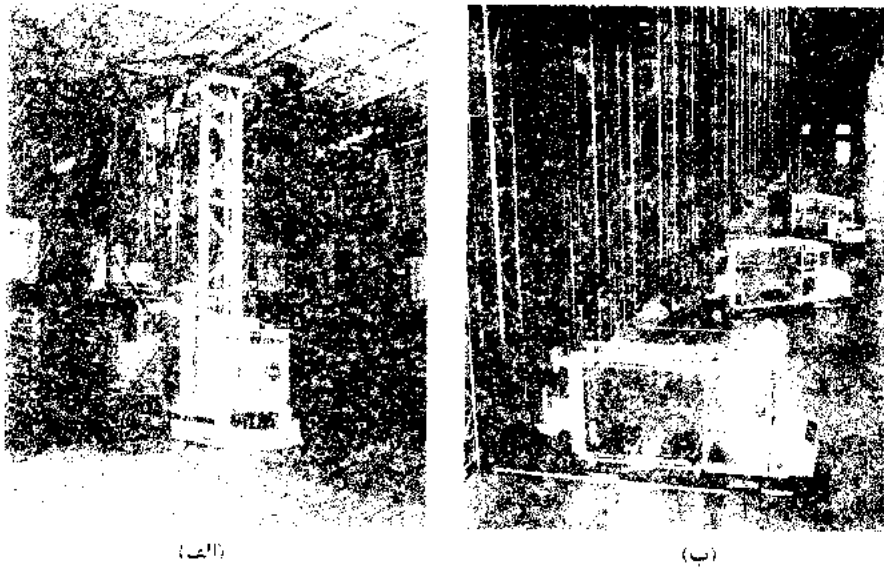
4. automated and semi automated storage and retrieval system

در راهروهای باریک هستند، می‌توان آنها را متعادل کرد، قادر به دستیابی به بارهای سه یا چهار سطح در ارتفاع بالا هستند و ممکن دارای یک اتاقک برای ایستادن مسئول برداشت سفارش باشند. باربر خودکار^۱ (AGV) در شکل ۷-۱۲ الف می‌تواند به‌عنوان یک AS/RS محبوس در یک راهرو - که یک راهرو خاص اختصاص داده شده است، مانند شکل ۷-۱۲ ب یا یک AS/RS راهرو - به - راهرو به‌کار گرفته شود. ناوگانی متشکل از شش عدد از این AGV ها مجهز به دکل از قفسه‌ها به ارتفاع ۲۱/۵ فوت برای بازیابی بارهایی از سه سطح در انبار بوستون گلاب^۲ جایی که مندرجات به‌صورت اتوماتیک وارد روزنامه می‌شوند پشته‌گردانیده و بازیابی می‌کنند.

وسیله نقلیه S/R سرنشین‌دار شکل ۷-۱۲ ب به فضای راهروی بسیار کم نیاز دارد و در نتیجه ذخیره‌سازی متراکم‌تری را ممکن می‌سازد. این وسیله دارای غلتک‌های راهنمایی در پایه خود است که با خط‌های ویژه قرار گرفته در راهرو درگیر هستند. این دکل همچنین دارای غلتک‌هایی است که با یک تیوب راهنمای بالاسری، که ثابت و تراز را در زمان حضور وسیله نقلیه در راهرو ممکن می‌سازد، درگیر است. این سیستم راهرو - به - راهرو برای برداشت سریع و کامل پالت یا با ترتیب انتخابی کارایی دارد. علاوه بر این نوع سیستم‌های S/R، چندین نوع دیگر نیز به‌صورت گسترده در عمل استفاده می‌شوند. این انواع می‌توانند به‌صورت ذیل طبقه‌بندی شوند:

- مکان‌های ذخیره‌سازی چرخ فلکی
- AS/RS های بار کوچک^۳
- AS/RS های رویاتیک
- AS/RS های بلند^۴

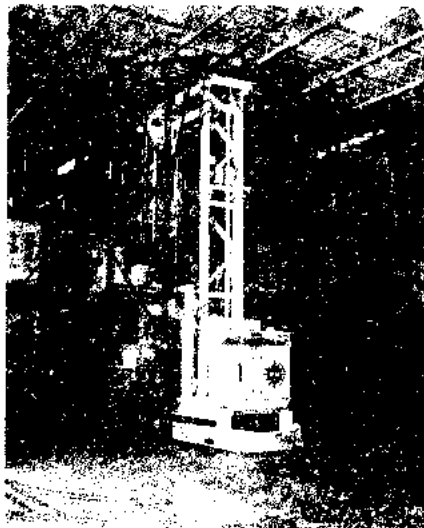
1. Automated Guided Vehicle
 2. Boston Glob
 3. Miniload AS/RS
 4. High-rise AS/RS



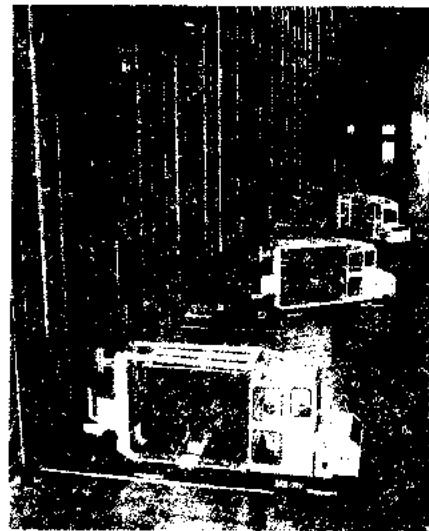
شکل ۱۲-۷. خودروهای ذخیره‌سازی و بازیابی

مکان‌های ذخیره‌سازی جرج فلکی (گردان) نمی‌تواند حول محور عمودی پنا ده گردش کند (Tompkins et al. 1996). در حالت محور عمودی، اسلای معمولاً از سبدهای سیمی، لگن یا جعبه‌های کوچک که معمولاً از بالا در سبدها هستند، نگهداری می‌شوند (شکل ۱۲-۸ را ببینید). زمانی که محور افقی است، سه تنها جعبه‌ها در هر طرف بسته‌اند، بلکه خود سیستم گردان نیز کاملاً بسته است و دارای دریچه‌های نزدیک قسمت زیرین برای برداشت جعبه‌ها است. حرکت گردش با پدال‌های فشاری دکمه‌های فشاری تحقق می‌یابد. مزیت سیستم‌های گردان آن است که نیازی به راه‌اندازند چرا که اقلام به‌سوی اپراتور می‌آیند. بنابراین این سیستم‌ها به‌روزی از فضای انبار را حداکثر می‌کنند.

AS/RS های بار کوچک سیستم‌های ضمیمه شده و همراه با راه‌روهای کرمان هستند که تنها جای کافی برای یک ماشین S/R که می‌تواند بارهای کوچک را حمل کند دارند (شکل ۱۲-۹، ببینید). این سیستم‌ها دارای پیچسک‌های توری هستند.



(الف)



(ب)

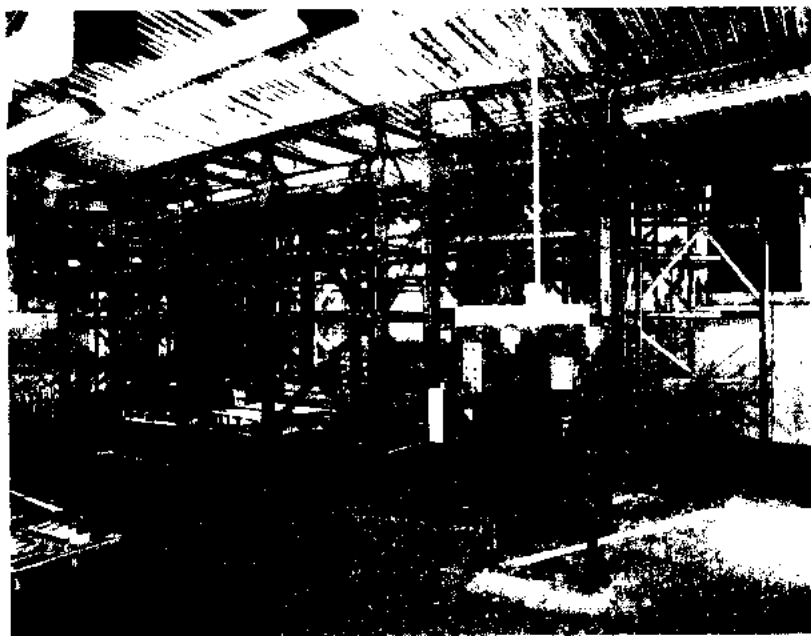
شکل ۱۲-۷. خودروهای ذخیره‌سازی و بازیابی

مکان‌های ذخیره‌سازی چرخ فلکی (گردان) می‌توانند حول محور عمودی یا افقی گردش کنند (Tompkins et al. 1996). در حالت محور عمودی، اقلام معمولاً در سبدهای سیمی، لگن یا جعبه‌های کوچک که معمولاً از بالا در بسته نیستند نگهداری می‌شوند (شکل ۱۲-۸ را ببینید). زمانی که محور افقی است، نه تنها جعبه‌ها از همه طرف بسته‌اند، بلکه خود سیستم گردان نیز کاملاً بسته است و دارای دریچه‌ای در نزدیک قسمت زیرین برای برداشت جعبه‌ها است. حرکت گردشی با پدال‌های پایینی یا دکمه‌های فشاری تحقق می‌یابد. مزیت سیستم‌های گردان آن است که نیازی به راهرو ندارند چرا که اقلام به‌سوی اپراتور می‌آیند. بنابراین این سیستم‌ها بهره‌وری از فضای انبار را حداکثر می‌کنند.

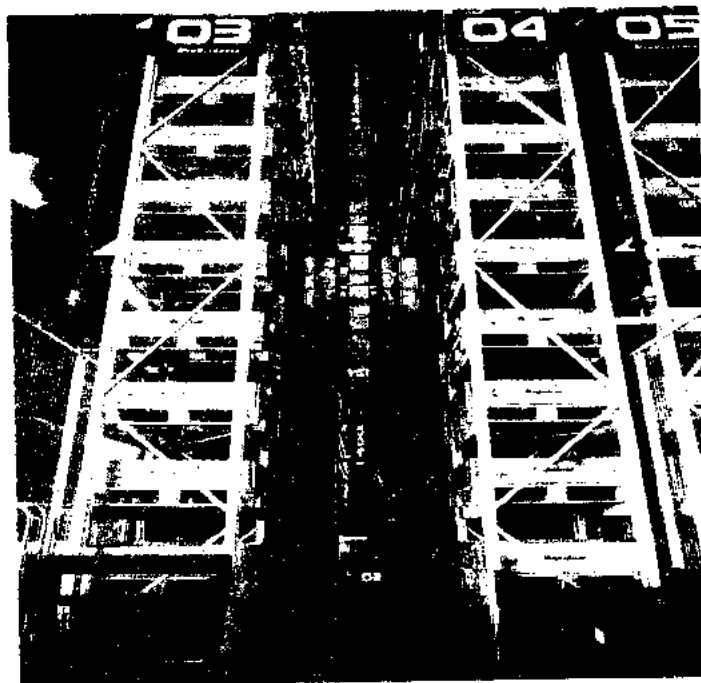
AS/RS های بار کوچک سیستم‌های ضمیمه شده و همراه با راهروهای کوچک هستند که تنها جای کافی برای یک ماشین S/R که می‌تواند بارهای کوچک را جابجا کند دارند (شکل ۱۲-۹ را ببینید). این سیستم‌ها دارای پوششگرهای نوری^۱ هستند که

1. storage carousel
2. optical scanner

رمز روی قسمت جلوی جعبه را پویش^۱ می کنند. ماشین S/R به سمت مکان های مشخص شده در لیست برداشت (یا سفارش) حرکت کرده، اقلام را به ترتیب تعیین شده توسط اپراتوری که اطلاعات را وارد کامپیوتر انتهای راهرو می کند و یا مطابق الگوریتمی پیچیده (مانند آنهایی که در بخش ۱۲-۶ بر روی کامپیوتری که AS/RS را کنترل می کند نوشته شدند) بر می دارند و اقلام یا سفارشات برداشته شده را به سوی ایستگاه اپراتور می آورند. نرخ ورودی این AS/RS نسبتاً بالاست چرا که این ماشین ها معمولاً دارای دو موتور مستقل که حرکت در راستای دو محور را در سرعت های مختلف ممکن می سازد، هستند. همچنین، زمانی که اپراتور مشغول خالی کردن جعبه است، ماشین S/R می تواند جعبه دیگری را برداشته و آن را به سوی مکان نگهداری اش برد.



شکل ۱۲-۸ مکان های ذخیره سازی چرخ فلکی



شکل ۱۲-۹. AS/RS بارهای کوچک

AS/RS روباتیک از نظر که توانایی‌های کارکردی شبیه AS/RS های بار کوچک هستند، اما ذخیره‌سازی (بازیابی) در آنها توسط یک روبات که روی زمین حرکت می‌کند، همان‌طور که در شکل ۱۰-۱۲ نشان داده شده است، انجام می‌شود. از آنجایی که بازوی روبات تنها تا ارتفاع محدودی می‌تواند بلند شود، این سیستم‌ها معمولاً نمی‌توانند برای قفسه‌های بلندتر از ۱۵ فوت به خدمت گرفته شوند.

AS/RS های بلند، سیستم‌های خودکاری هستند که در آنها برداشت سفارش به‌صورت دستی یا توسط وسایل S/R خودکار و کنترل شونده به‌وسیله کامپیوتر انجام می‌شود. ماشین S/R ممکن است محبوس در راهرو باشد. برای مثال، انبار نایک که در

شکل ۱۱-۱۲ نشان داده شد، دارای ۲۶ جرثقیل پشته‌ساز^۱ است که هر یک به یک راهرو تخصیص داده شده‌اند. مانند سیستم‌های بار کوچک، AS/RS های بلند می‌توانند به وسیله دو موتور مستقل تغذیه نیرو شوند.

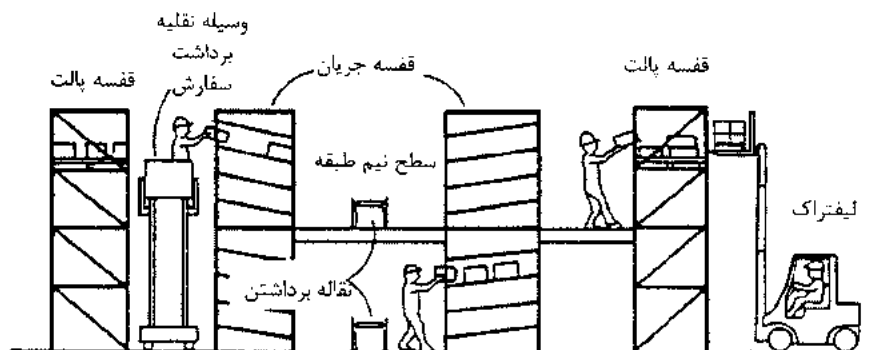


شکل ۱۱-۱۲. AS/RS روباتیک

شکل ۱۲-۱۲ ترکیبی از انواع مختلف تجهیزات S/R در فعالیتهای انبارداری را نشان می‌دهند. لیفتراک‌ها برای بازپرسازی قفسه‌های پالت که سپس به صورت دستی روی نقاله‌هایی که اقلام را برای عملیات مجتمع‌سازی، مرتب‌سازی و بسته‌بندی در سطوح بالاتر و پایین‌تر می‌برد، قرار داده می‌شوند، همان‌طور که در سمت راست شکل ۱۲-۱۲ دیده می‌شود، به کار می‌روند.



شکل ۱۱-۱۲. AS/RS بلند



شکل ۱۲-۱۲. ارتباط بین تجهیزات S/R متفاوت

به علاوه، همان‌طور که در سمت چپ شکل نشان داده شده است، یک وسیله نقلیه برداشت سفارشات سرنشین‌دار اقلام را از روی قفسه پالت برداشته و آنها را با استفاده از نقاله‌هایی (که در شکل نشان داده نشده‌اند) به محوطه‌های برداشت و مرتب‌سازی سفارشات، جایی که کالاها به صورت اتوماتیک مرتب می‌شوند و به صورت دستی در جعبه‌ها و کارتن‌ها قرار داده شده و ارسال می‌شوند، می‌برد.

- مستقیماً از کارخانه به داروخانه‌ها هزینه‌های زیادی به کارخانه تحمیل می‌کرد بلکه انجام این کار در ۳۰ دقیقه به علت فواصل موجود غیرممکن می‌گردید.
- برداشت سفارشات در فونیکس با استفاده از سه سطح اتوماسیون انجام می‌شود:
- ۱- برداشت سفارشات به صورت دستی با استفاده از قفسه‌های جریان
 - ۲- برداشت سفارشات نیمه اتوماتیک با استفاده از یک سیستم پخش‌کن^۱ خودکار
 - ۳- اتوماسیون کامل با بهره‌گیری از AS/RS روباتیک

در سطح اول اتوماسیون، سفارشات واسطه مشتری با استفاده از چاپگرهای سریع چاپ شده. و سپس سفارشات به صورت دستی به ظروف وصل می‌شوند و به وسیله نقاله‌هایی به مناطق برداشت دستی سفارشات فرستاده می‌شوند (شکل ۱۲-۱۴). در اینجا، اپراتورها اقلام مشخص شده در یک سفارش را از روی قفسه‌های جریان برداشته، ظرف را پر کرده و آن را به مناطق ارسال که از آنجا اقلام برای مشتری (یعنی داروخانه‌ها) فرستاده می‌شوند، می‌فرستند. برداشت سفارشات برای اقلام فله‌ای که مناسب AS/RS نیستند به صورت دستی انجام می‌شود.

برداشت سفارشات نیمه اتوماتیک برای اقلام کوچک (مانند جعبه کوچک محتوی چند دو جین قرص سردرد یا داروی اسپری بینی)، که بر روی بیرون پخش‌کن عمودی خودکار در ستون‌های مربوط به خود روی هم چیده شده‌اند، به کار می‌رود (شکل ۱۲-۱۵). این پخش‌کن دارای چندین ستون که هر یک مختص یک نوع داروی برداشتنی است، می‌باشد. پخش‌کن‌ها بر روی یک نقاله به صورت شیب‌دار قرار گرفته‌اند تا یک شکل A مانند بسازند و یک مکانیزم، که به وسیله کامپیوتر کنترل می‌شود، اقلام مشخص شده در یک سفارش را از ستون‌های مربوطه بر روی یک تسمه نقاله متحرک "پرتاب" می‌کند (شکل ۱۲-۱۶). سپس اقلام به سوی انتهای دیگر خط نقاله پیش می‌روند، جایی که به داخل ظرفی که منتظر آنهاست پرتاب می‌شوند. هر ظرف مربوط به یک سفارش خاص است. این ظروف (مشابه آنهایی که در شکل ۱۲-۱۴ نشان داده شده‌اند) در سطح پایین‌تر از خط نقاله قرار گرفته و بنابراین نیازی به جابجایی دستی اقلام برداشته

1. dispensing

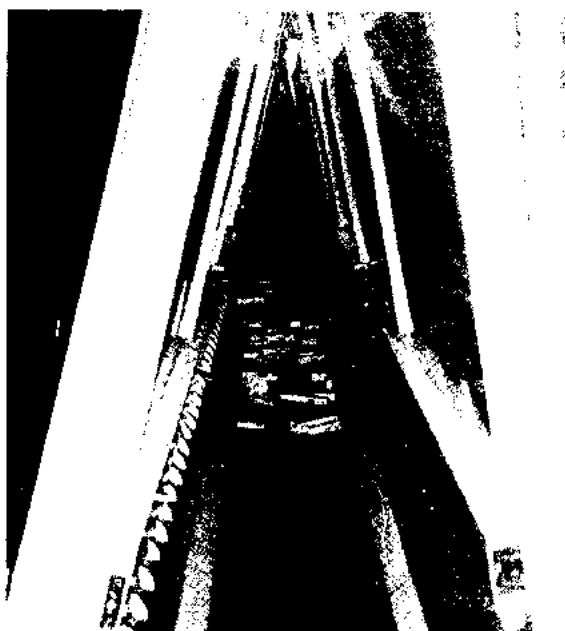
شده نیست. یک سیگنال نوری (شکل ۱۲-۱۵) به اپراتورها می‌گوید که چه زمانی باید بازپرسازی در مورد اقلام صورت گیرد - معمولاً زمانی که اقلام به سطح ذخیره ایمنی یا پایین‌تر از آن برسند. مکانیزم پخش‌کن خودکار برای برداشت طیف وسیعی از اقلام که فرکانس برداشت متوسطی دارند، بسیار اثربخش است. سطح اتوماسیون پخش‌کن متوسط است. این پخش‌کن نسبتاً ارزان است و برداشت سفارشات توسط آن با سرعتی بسیار بیشتر از برداشت سفارشات دستی صورت می‌گیرد. میزان دقت نیز بسیار بالاست؛ تمام این‌ها پخش‌کن معمولاً تنها برای جابجایی اقلام نسبتاً کوچک کاربرد دارد.



شکل ۱۲-۱۴. سفارش‌های مشتریان درون کانتینرهایی قرار می‌گیرند و به جایگاه‌های برداشت دستی ارسال می‌گردند



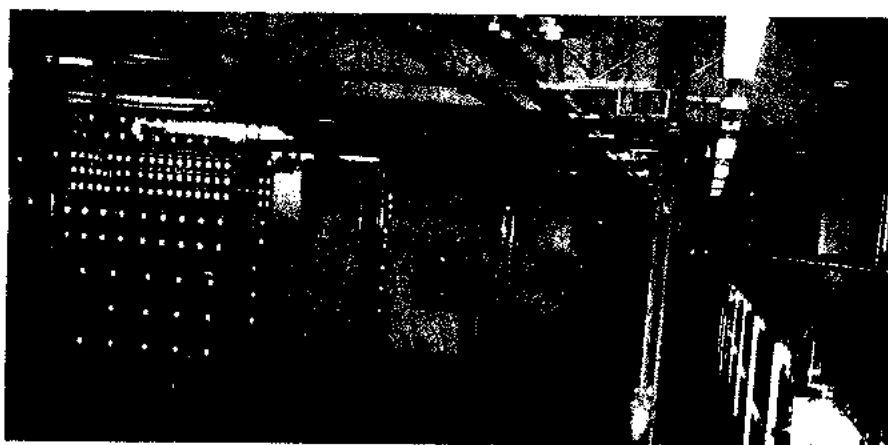
شکل ۱۲-۱۵. اقلامی که بر روی یک توزیع کننده خودکار عمودی بازپرسازی می‌شوند



شکل ۱۲-۱۶. اقلام با ضربه‌ای که به آنها زده می‌شود، از ستون‌هایشان وارد نوار نقاله می‌شوند

سطح سوم برداشت سفارشات در فونیکس توسط AS/RS روباتیک گرانقیمتی انجام می‌گیرد. فونیکس دارای دو دسته روبات است: یکی برای ذخیره‌سازی و دیگری برای برداشت و بازیابی. روبات‌های بازیابی و برداشت نشان داده شده در شکل ۱۲-۱۷

اقلام را از راهروهای باریکی که تنها کمی از روبات‌ها پهن‌ترند (شکل ۱۲-۱۸) بر می‌دارند. روبات‌ها، مجهز به کامپیوتر و پوشگرهای نوری، اقلام مشخص شده در یک سفارش را برداشته و آنها را در یک یا چندین قسمت قرار می‌دهند. (استوانه به صورت مدور قسمت‌بندی شده زیر صفحه کلید کامپیوتر شکل ۱۲-۱۹ را ببینید) هر قسمت متعلق به یک سفارش یک مشتری است. اقلام مورد نیاز از مکان خود برداشته شده، در قسمت‌ها قرار داده شده و به سوی خط نقاله (سمت راست شکل ۱۲-۱۷ را ببینید)، جایی که به درون جعبه‌هایی که در انتظارشان است، انداخته می‌شوند، برده می‌شوند. هر قسمت استوانه مدور دریچه فلزی‌ای در قسمت زیرین دارد که به صورت خودکار باز شده و به اقلام یک سفارش اجازه انداخته شدن داخل جعبه مخصوص خود را می‌دهد.



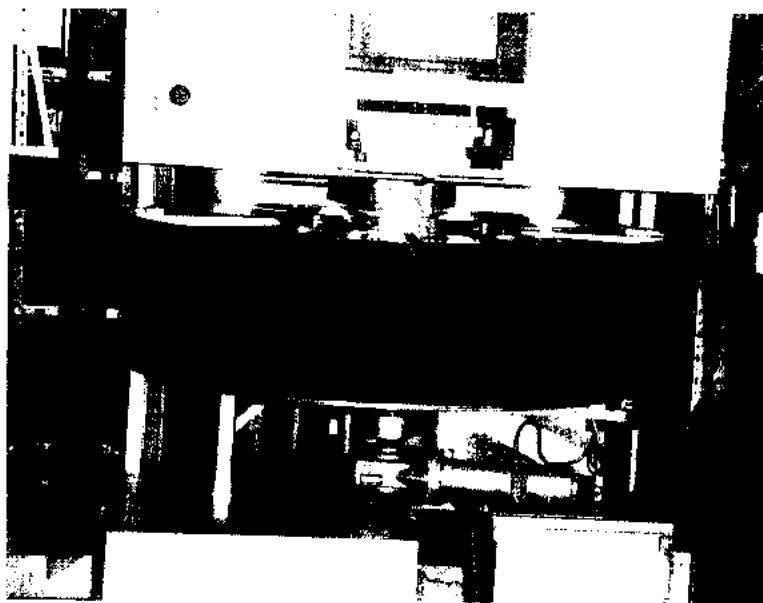
شکل ۱۲-۱۷. روبات برداشت و بازایی

روبات ذخیره‌سازی شکل ۱۲-۲۰، عرشه‌ای^۱ دارد که قادر به نگه داشتن جعبه‌های بزرگ است. اقلامی که قرار است در قفسه‌ها ذخیره شوند در درون این جعبه‌ها، که سپس یکی یکی بر روی صفحه عرشه روبات قرار داده می‌شوند، گذاشته می‌شوند. یک بازوی روبات داخل جعبه می‌رود و اقلام را با استفاده از پیمانه‌های مکش خلا^۲

1. deck
2. vacuum suction cup



شکل ۱۲-۱۸: رویانی که برای ذخیره‌سازی جعبه‌ها در قفسه‌ها به‌طور خودکار به کار می‌رود



شکل ۱۲-۱۹: کامپیوتر و جعبه‌های ذخیره تفکیک شده بر روی یک رویات

برمی‌دارد (باز هم هر بار یکی، شکل ۱۲-۲۱ را ببینید). سپس اقلام با استفاده از بازوهای روبات مجهز به پوشگرهای نوری در درون جعبه‌های نگهداری مخصوص خود گذاشته می‌شوند (شکل ۱۲-۲۲ را ببینید). این جعبه‌ها به وسیله روبات جابجا شده و ذخیره می‌شوند.



شکل ۱۲-۲۰. روبات ذخیره سازی



شکل ۱۲-۲۱. با استفاده از پیمانه مکش خلاء، روپات اقلام را از جعبه بر می‌دارد



شکل ۱۲-۲۲. پوششگرهای نوری کمک می‌کند تا بازوی روپات اقلام را در جعبه‌های مناسب‌شان قرار دهد

۱۲-۵ طراحی انبار

مانند هر تجهیز دیگری، مسائل گوناگونی هنگام طراحی یک انبار باید در نظر گرفته شوند. بسیاری از این مسائل با آنهایی که در مورد تجهیزات تولیدی مطرح هستند تفاوت دارند اما برخی نیز بین هر دو مشترک هستند. به عنوان مثال، تصمیم آنکه چه تعداد انبار و در کجا ساخته شوند مشابه این مسأله برای طراحی تجهیزات تولیدی است. البته طراحی قفسه‌های نگهداری کالاها مختص طراحی انبار است. در این بخش مسائل طراحی انبار مورد بحث قرار می‌گیرند.

۱۲-۵-۱ مکان‌یابی انبار

شاید مکان‌یابی اولین و مهمترین مسئله‌ای باشد که بایستی در طراحی انبار به آن پرداخته شود البته با فرض اینکه برای بهبود خدمت‌دهی به مشتری یا دیگر اهداف، برای ساخت انبار (ها) تصمیم‌گیری شده است. مسائل عمومی مربوط به مکان‌یابی موضوع فصول ۱۳ و ۱۴ هستند. در اینجا ما سه سوال اصلی مطرح می‌کنیم که بایستی با توجه به مکان‌یابی انبار به آنها پاسخ داده شود:

- چه تعداد انبار باید ساخته شود؟
- هر انبار در کجا باید ساخته شود؟
- بزرگی و اندازه هر انبار چقدر باید باشد؟

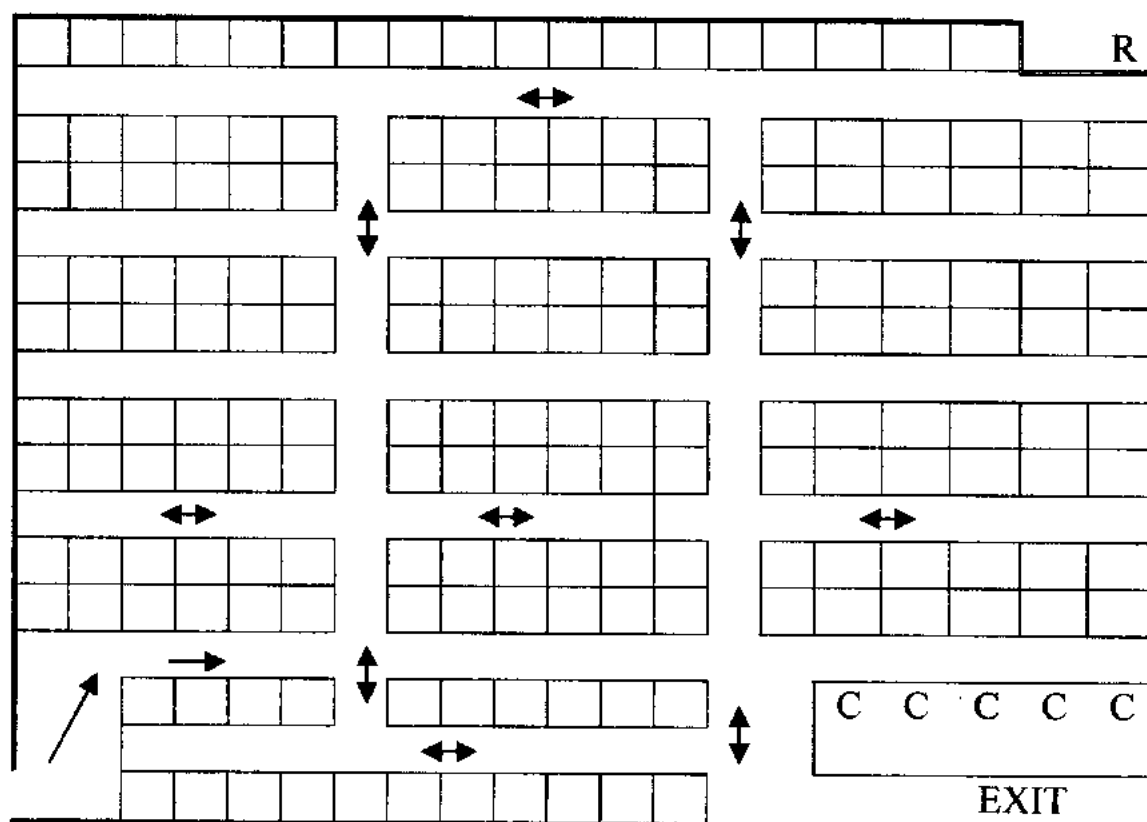
جواب این سوالات بستگی به عوامل مختلفی از جمله مکان کارخانه جهت ساخت و تولید، میزان مشتری مداری، میزان سطح سرویس دلخواه به مشتری، اجاره، کرایه، هزینه‌های ساخت، مالیات، بیمه دارد. این موضوعات در فصل ۱۳ بحث می‌شوند.

پس از اینکه به سوالات اصلی پاسخ داده شد، طراح بر روی هر یک از انبارها و طراحی داخل آنها تمرکز می‌کند.

۱۲-۵-۲ چیدمان کلی انبار

چیدمان انبار به اقلام ذخیره شده، فضای در دسترس، ارتفاع، ابزارها و امکاناتی که برای ذخیره‌سازی مورد استفاده قرار می‌گیرند، روش‌های ذخیره‌سازی و بازیابی (S/R)، چیدمان جاده‌ها و خطوط آهن^۱ در اطراف انبار و دیگر فاکتورها بستگی دارد.

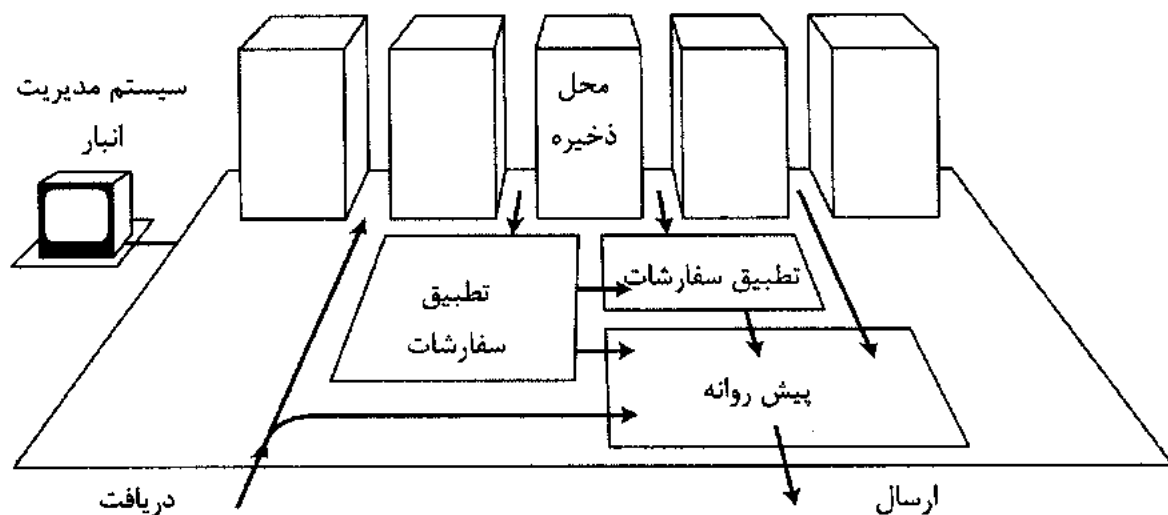
چیدمانی معمولی از انبار یکی از فروشگاه‌های انبار باشگاه اعضا^۲ و یک انبار بسیار مکانیزه به ترتیب در شکل‌های ۱۲-۲۳ و ۱۲-۲۴ نشان داده شده است. در شکل ۱۲-۲۳ مشتریان از گوشه پائین سمت چپ مغازه وارد شده، یک چرخ خرید و یا ارابه^۳ انتخاب می‌کنند و از راهروها و غرفه‌های مورد نظر بازدید می‌کنند، چرخ و یا ارابه خود را از اقلام مورد نیاز پر می‌کنند، سپس به صندوق مراجعه کرده (C) و نهایتاً از گوشه پائین سمت راست از انبار خارج می‌شوند. این فروشگاه‌ها بیشتر عمل دریافت را



شکل ۱۲-۲۳. چیدمان در یک فروشگاه انبار باشگاه اعضا

1. rail track
2. "members club" warehouse store
3. dolly

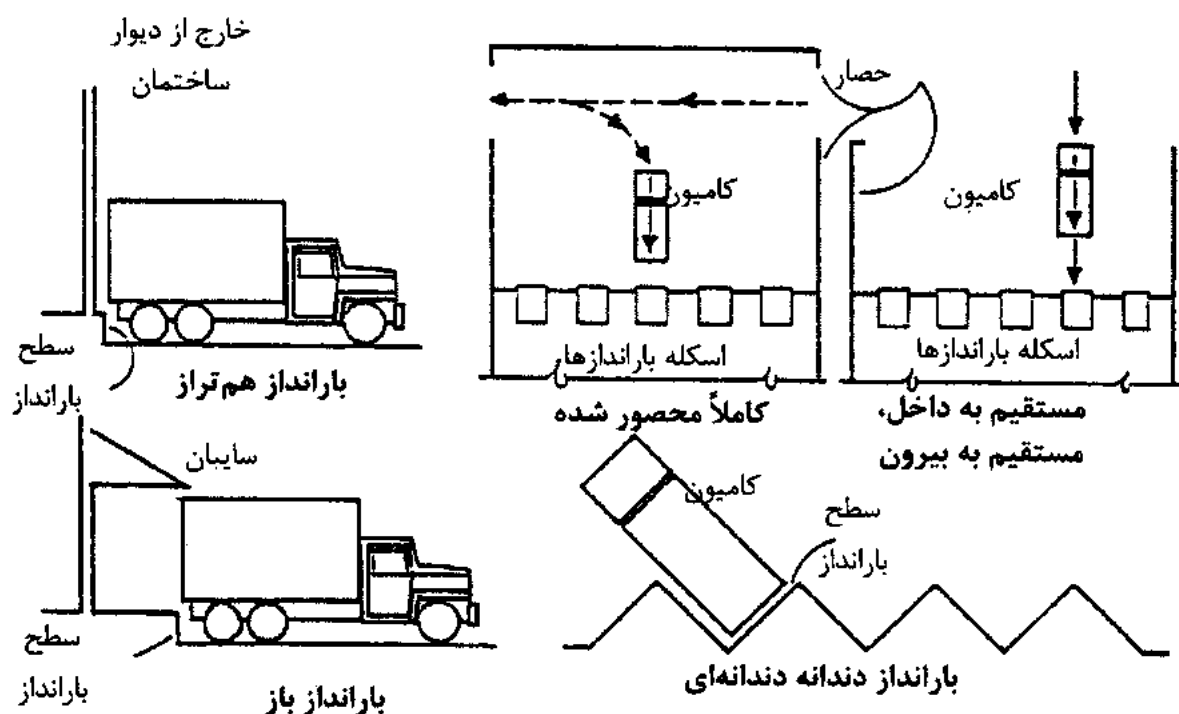
برعهده دارند و کمتر ارسال می‌کنند بنابراین یک فضای دریافت (R) در بالای گوشه سمت راست دیده می‌شود که شامل فضایی برای نمایش اقلام نیز است. به دلیل اینکه نمایش دادن، فعالیتی نیست که ارزش افزوده ایجاد کند و علاوه بر آن، فضای موجود را نیز اشغال می‌کند، مدیران سعی می‌کنند که اقلام ورودی را مستقیماً به محل ذخیره‌سازی و یا محل برداشت سفارش بفرستند. این مطلب برای هر انباری صادق است. اگر انبار بتواند تامین‌کنندگان خود را قانع کند تا بر روی محصولاتشان بارکد یا برچسب خاصی بزنند تا محصول قابل شناسایی باشد، در آن صورت، زمانی که اقلام دریافت می‌شوند، محل دقیق آنها از طریق ابزارآلات کامپیوتری که در دست تحویل گیرنده اقلام است تعیین می‌شود. انبارها معمولاً یک محلی برای نمایش دادن اقلام دارند که بیشتر جهت شناسایی محصولات و تعیین محل ذخیره‌سازی آنها استفاده می‌شود. یک انبار پیشرفته در شکل ۱۲-۲۴ نشان داده شده که دارای فضاهای مجزا برای برداشتن سفارش، مرتب‌سازی، ارسال و دریافت دارد.



شکل ۱۲-۲۴. چیدمان در یک انبار اتوماتیک با AS/RS بلند

۱۲-۵-۳ مکان‌یابی و چیدمان باراندازها

چند چیدمان معمول برای باراندازها در شکل ۱۲-۲۵ نشان داده شده است.



شکل ۱۲-۲۵. چیدمان باراندازهای معمول

چیدمان و مکان‌یابی باراندازها از طریق پاسخ به سوالات فهرست شده ذیل تعیین

می‌شود:

- آیا اجازه برداشت برای مشتریان جزء وجود دارد؟
- آیا نوع خاصی از کامیون‌ها با اندازه‌های مشخصی به انبار خدمت ارائه می‌دهند یا انواع و اقسام مختلفی از کامیون‌ها (بزرگ و کوچک) از شرکت‌های حمل‌ونقل قرار است مورد استفاده قرار گیرند؟
- آیا محل ارسال و دریافت باید جدا باشند یا ترکیب شده باشند؟
- چیدمان خیابان‌ها و شبکه‌های ریلی چگونه است؟
- آیا فضای کافی برای جابه‌جایی کامیون‌ها وجود دارد؟ همچنین تعداد درب‌های ورودی و خروجی انبار کافی است؟

تعداد باراندازهای مورد نیاز، تاثیر زیادی بر چیدمان و مکان‌یابی باراندازها دارد.

تعداد آنها بایستی با توجه به موارد ذیل (Kulwiec 1980) به دقت تعیین شوند:

- زمانی از روز که عمل ارسال و دریافت انجام می شود (مثلا، اگر ارسال صبح انجام می شود و دریافت عصر و یا بالعکس، می توان باراندازهای کمتری داشت و از فضای بارانداز بهتر استفاده کرد).
- متوسط و بیشترین تعداد کامیون ها و یا ماشین های ریلی که در روز جابه جا می شوند.
- متوسط و بیشترین تعداد اقلام به ازاء هر سفارش
- روندهای صعودی و نزولی مربوط به تغییرات فصلی
- نوع باری که جابه جا می شود، اندازه و شکل آن و نحوه بسته بندی آنها
- نیاز به محافظت در برابر تغییرات آب و هوایی هنگام بارگیری و تخلیه کامیون

۱۲-۵-۴ طراحی قفسه

طول و عرض مورد نیاز برای انبار، به تعداد اقلامی که بایستی ذخیره شوند، تعداد فضای ذخیره سازی مورد نیاز، تعداد ردیف ها و ستون های قفسه ها و ارتفاع آنها بستگی دارد. در ادامه یک مدل ریاضی ارائه می شود (از Askin and Standridge 1993) که به ما این امکان را می دهد تا طول و عرض یک انبار را با توجه به اطلاعات مربوط به قفسه ها تعیین کنیم. فرض کنید می خواهیم تعداد ردیف ها و ستون های قفسه های مورد نیاز برای نگهداری حداکثر n قلم در n فضای ذخیره سازی مربعی شکل با مساحت یکسان را پیدا کنیم.

اگر ما تعداد ردیف ها و ستون های قفسه های مورد نیاز برای نگهداری n قلم را بدانیم، به راحتی می توانیم طول و عرض انبار را با در نظر گرفتن فضای لازم برای راهروها محاسبه کنیم. بدون اینکه به کلیت مسئله خدشه ای وارد شود، فرض می کنیم که قفسه ها به گونه ای قرار می گیرند که وجه بلندترشان موازی محور افقی باشد (شکل ۱۲-۲۳). اگر ما x و y را به ترتیب تعداد ستون ها و ردیف های قفسه ها در نظر بگیریم و بدانیم که کل طول مورد نیاز برای راهرو برابر است با مضربی از مجموع فضای افقی قفسه که a نامیده می شود و کل عرض مورد نیاز برای راهرو برابر است با مضربی از مجموع فضای عمودی قفسه که b نامیده می شود، در آن صورت طول انبار را می خواهیم

بود با $ax+x$ و عرض آن $by+y$. اگر ما بخواهیم متوسط مسافت یک طرفه طی شده

توسط مشتری را از در ورودی تا خروجی می‌نیم کنیم، یک مدل می‌تواند به صورت ذیل باشد:

Model 1

$$\begin{array}{ll} \text{Minimize} & \frac{x(a+1) + y(b+1)}{2} \\ \text{Subject to} & xyz \geq n \\ & x, y \text{ عدد صحیح} \end{array}$$

به دلیل اینکه فاصله پیموده شده (از گوشه پائین سمت چپ به هر گوشه دیگر در انبار) به طور خطی بین مقدار ماکزیمم $[x(a+1) + y(b+1)]$ و مقدار می‌نیمم صفر متغیر است. متوسط مسافت طی شده $[x(a+1) + y(b+1)]/2$ فرض می‌شود. بنابراین تابع هدف، متوسط مسافت پیموده شده را می‌نیمم می‌کند.

اولین محدودیت (غیرخطی) تضمین می‌کند که کل محل ذخیره‌سازی در دسترس در سطح z (معادل xyz) از می‌نیمم مقدار مورد نیاز n تجاوز می‌کند. تعداد سطرها و ستون‌های فضای قفسه باید عدد صحیح باشد که از طریق محدودیت دوم اعمال می‌شود. برای انبار نشان داده شده در شکل ۱۲-۲۳، ضرایب a و b به ترتیب تقریباً $1/4$ و $6/11$ است (تمرین ۱۰). در واقعیت ضرایب بایستی اندکی بیشتر باشد تا فضای از بین رفته برای ورودی، خروجی و صندوق‌دار، اتاق استراحت و دیگر خدمات را در بر داشته باشد.

مدل ۱ را می‌توان از طریق در نظر نگرفتن محدودیت عدد صحیح بودن برای x و y به صورت تقریبی حل کرد و بایستی توجه کرد که در این حالت اولیه، محدودیت در حالت بهینگی به صورت تساوی، $xyz=n$ در می‌آید. با استفاده از این معادله، x را به دست می‌آوریم و مقدار آن را در تابع هدف قرار می‌دهیم که نهایتاً مسئله، به یک مسئله می‌نیمم سازی با یک متغیر y و بدون محدودیت تبدیل می‌شود. می‌توان نشان داد که تابع هدف می‌نیمم سازی بدون محدودیت، محدب است (تمرین ۱۱). بنابراین با مشتق گرفتن از تابع هدف جدید نسبت به y و مساوی صفر قرار دادن آن، مقدار

بهینه y به دست می‌آید. با جایگزینی مقدار y در معادله $xyz=n$ مقدار متغیر دیگر را می‌توان به دست آورد:

$$xyz=n$$

$$x = \frac{n}{yz}$$

بنابراین تابع هدف بدون محدودیت به صورت ذیل خواهد بود:

$$\frac{n(a+1)/yz + y(b+1)}{2}$$

با مشتق گرفتن نسبت به y و مساوی با صفر قرار دادن آن، خواهیم داشت:

$$\frac{-n(a+1)}{2y^2z} + \frac{b+1}{2} = 0$$

با ساده‌سازی بیشتر، مرتب کردن و استفاده از معادله $xyz=n$ فرمول ذیل برای x و y به دست می‌آید:

$$y = \sqrt{\frac{n(a+1)}{z(b+1)}} \quad x = \sqrt{\frac{n(b+1)}{z(a+1)}} \quad (1)$$

رابطه (۱)، اثر ضرایب راهرو (a و b) را بر روی شکل انبار نشان می‌دهد. مقادیر مختلف a و b باعث تغییر مقادیر x و y و لذا تغییر طول و عرض انبار می‌شوند. مثلاً اگر $a=b$ باشد و نقطه ورودی که از آنجا سفر آغاز می‌شود در یکی از گوشه‌ها باشد، در آن صورت $x=y$ می‌شود و در نتیجه شکل انبار به صورت مربع در می‌آید (تمرین ۱۲ را ببینید).

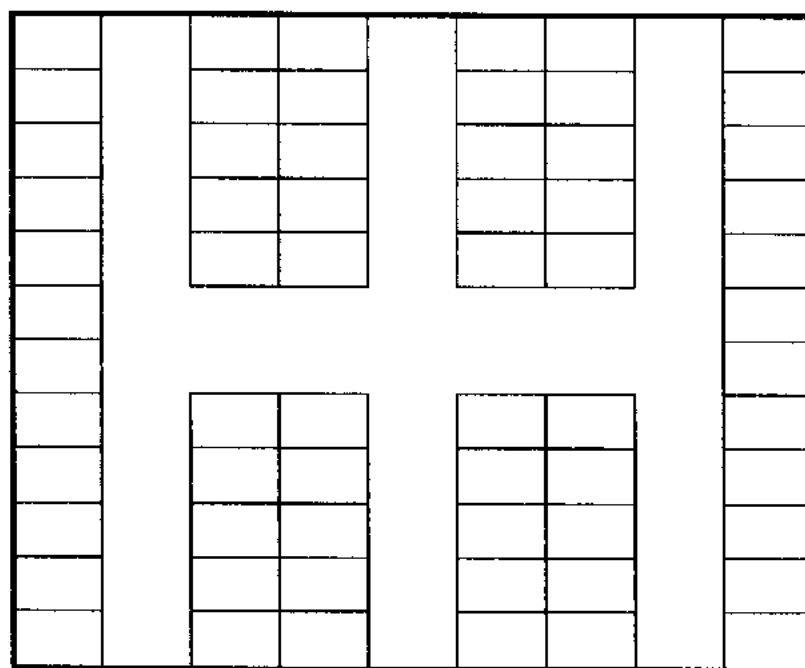
به طور مشابه با جابه‌جا کردن نقطه شروع سفر یا در حالتی که انبار به شکل ۱۲-۲۳ است، جابه‌جا کردن ورودی مشتری به مکان‌های مختلف در طول سطح خارجی انبار، ابعاد مختلفی را برای انبار ایجاد می‌کند (تمرین‌های ۱۹-۱۴).

مثال ۱

چیدمان انبار نشان داده شده در شکل ۱۲-۲۶ را در نظر بگیرید. فرض کنید نقطه‌ای که از آنجا سفرها آغاز می‌شوند در قسمت گوشه سمت چپ پائین است و همچنین مقادیر

معقولی برای ضرایب فضای راهرو، ضرایب a و b ، در نظر بگیرید. طول و عرض انبار را

به گونه‌ای تعیین کنید که ۲۰۰۰ فضای ذخیره مربعی هم مساحت در حالت‌های سه سطحی، چهار سطحی و پنج سطحی وجود داشته باشد.



شکل ۱۲-۲۶. چیدمان انبار

جواب. اگر شکل ۱۲-۲۶، با مقیاس مناسب رسم شود، مشخص می‌گردد که مقادیر معقول برای ضرایب a و b به ترتیب ۰٫۵ و تقریباً ۰٫۲ خواهد بود. با استفاده از معادله (۱) برای حالت ۳ سطحی، x و y اینگونه محاسبه می‌شوند:

$$y = \sqrt{\frac{2000(0.5+1)}{3(0.2+1)}} \approx 29 \quad x = \sqrt{\frac{2000(0.2+1)}{3(0.5+1)}} \approx 24$$

با توجه به این پاسخ، کل فضای ذخیره‌سازی $24 \times 29 \times 3 = 2088$ خواهد بود. به خاطر تخمین بالا زدن (روند به بالا)، به مقدار ۸۸ واحد فضای بیشتری برای ذخیره‌سازی خواهیم داشت.

اگر این مقدار فضای اضافی برای حرکت، ورود و خروج مشتری و دیگر بخش‌ها کافی نباشد، ضرایب a و b بایستی به گونه‌ای مناسب افزایش یابد و مقادیر x و y دوباره محاسبه شوند. به طور مشابه برای موارد چهارسطحی و پنج سطحی، ابعاد ساختمان به ترتیب به صورت 20×25 واحد یا 18×23 واحد تعیین می‌شود. علاوه بر این، به راحتی

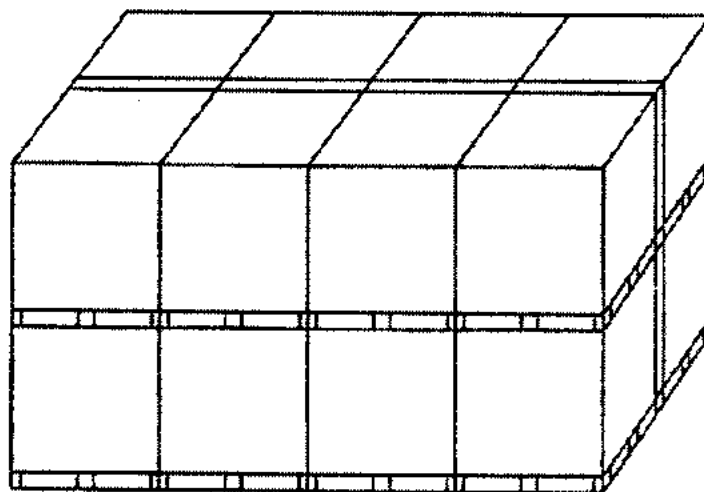
می‌توان متوسط مسافت پیموده شده را برای هر سه حالت محاسبه کرد (تمرین‌های ۲۵-۲۰).

۱۲-۵-۵ انبارش بلاکی

اگر اقلامی که ذخیره می‌شوند شکستنی نباشند و جعبه یا کارتن به اندازه کافی محکم باشد به‌طوری‌که بتوان دو یا سه سطح از جعبه یا کارتن‌های مشابه را روی هم چید، در آن صورت ممکن است قادر باشیم که پالت‌ها را در تعداد سطوح دلخواه بر روی هم بچینیم به‌طوری‌که کف پالتی که در زیر همه پالت‌ها است مستقیماً بر روی زمین انبار قرار گرفته باشد.

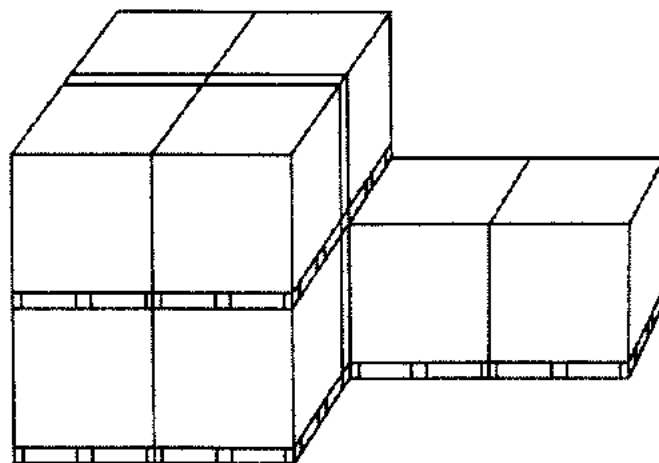
به این کار، انبارش بلوکی گفته می‌شود و این روش وقتی ترجیح داده می‌شود که گردش^۱ موجودی خیلی زیاد باشد. در این حالت، یک پالت مشخص، فضای انبار را برای زمان محدودی اشغال می‌کند بنابراین نیازی به قفسه پالت یا دیگر ابزارهای ذخیره‌سازی نخواهد بود.

عموماً در مسائل مربوط به طراحی در انبارش بلاکی، تعیین ارتفاع، طول و عرض بلاک اهمیت دارد. برای مثال انبارش بلاکی در شکل ۱۲-۲۷ دارای طولی به اندازه ۴ پالت، عرض ۲ پالت و ارتفاع ۲ پالت است. اگر تعداد سطوح انبارش بیشتر باشد ۳- یا ۴ سطح- یا عرض، سه پالت یا بیشتر باشد، در این صورت انبارش بلاکی کارا نخواهد بود.



شکل ۱۲-۲۷. انبارش بلاکی

این مورد خصوصاً زمانی صحیح است که بازگشت پالت‌ها کم باشد و در یک زمان، کمتر از یک بلاک کامل ذخیره شود و یا بازیابی گردد. چنین اتلافی در فضای انبار را اتلاف شانه عسلی می‌نامند (شکل ۱۲-۲۸).



شکل ۱۲-۲۸. اتلاف شانه عسلی

برای اینکه بتوانیم بحث را به مدل‌های ریاضی مورد استفاده در طراحی انبار هدایت کنیم، یکی از چندین سوال مربوط به طراحی که در انبارش بلاکی مطرح می‌شود را عنوان می‌کنیم، در حالتی که طول راهرو، ارتفاع انبارش و اندازه انباشته^۱ ثابت است، چه عمقی برای انبارش، بهره‌برداری از فضا را ماکزیمم می‌کند؟ برای تعیین عمق، ما بهره‌برداری از فضا را برای عمق مسیرهای^۲ ممکن محاسبه می‌کنیم (یک صفحه گسترده برای این منظور قابل استفاده خواهد بود) و عمقی که ماکزیمم بهره‌برداری از فضا را داشته باشد انتخاب می‌کنیم. به دلیل اینکه تعداد عمق مسیرها محدود است ما می‌توانیم همه عمق‌های ممکن را بشماریم و عمق راهرو بهینه را انتخاب کنیم.

Kind (1975) یک فرمول ساده برای تعیین عمق مسیر نزدیک به بهینه با توجه به فرضیات استاندارد ذیل ارائه داده است: (۱) کالاها با توجه به سیاست ذخیره‌سازی تصادفی، به فضاهای ذخیره‌سازی تخصیص می‌یابند؛ (۲) جایگزینی (به اندازه انباشته از قبل تعیین شده) به صورت آنی صورت می‌گیرد و تنها زمانی انجام می‌شود که

1. lot size

2. lane depth

موجودی، به غیر از ذخیره اطمینان، کاملاً تمام شده باشد؛ (۳) دسته‌ها^۱ بر اساس قاعده ورود اول خروج اول گردش دارند؛ (۴) برداشت از دسته‌ها با نرخ ثابتی صورت می‌گیرد؛ و (۵) یک بسته خالی برای استفاده فوری در دسترس است.

فرض کنید Q ، w و z به ترتیب اندازه انباشته به واحد پالت، پهنای راهرو (در انبارش پالت) و ارتفاع انبارش در بار پالت باشند. Kind (1975) فرمول ذیل را ارائه داد که از طریق آن، عمق مسیر نزدیک به بهینه را، d محاسبه می‌کند:

$$d = \sqrt{\frac{Qw}{z}} - \frac{w}{2}$$

برای مثال اگر اندازه انباشته، ۶۰ پالت باشد، پالت‌ها به بلندی ۳ پالت روی هم چیده شوند و پهنای (عرض) راهروها ۱/۷ پالت‌های انبار شده باشد، خواهیم داشت:

$$d = \sqrt{\frac{(60)(1.7)}{3}} - \frac{1.7}{2} \cong 5 \quad \text{تعداد پالت‌ها}$$

خواننده می‌تواند با امتحان کردن بهره‌برداری از فضا برای عمق مسیرهای مختلف در صفحه گسترده، بررسی کند که این مقدار بهینه است. تنها نیمی از عرض راهروها باید به عرض پالت‌ها اختصاص داده شود زیرا نیمه دیگر برای رفت و آمد افراد لحاظ می‌شود. فرمول Kind بسیار ساده است و برای معرفی مدل‌های طراحی انبار با استفاده از ریاضیات به خواننده استفاده می‌شود. واضح است که موارد بسیاری در این بحث حذف شده است. برای مثال، اگر اقلام از پالت‌ها با یک نرخ ثابتی برداشته نشوند و در مقابل، به صورت دسته‌ای با اندازه‌های مختلف برداشته شوند، این حالت چگونه بر روی محاسبات عمق مسیر اثر می‌گذارد؟ به طور مشابه، اگر انباشته‌ها به گونه‌ای قرار گیرند که پالت‌هایی که حاوی اقلام مشابه هستند یکی شوند، در آن صورت چگونه محاسبات مربوط به عمق مسیر تغییر می‌کند؟

۱۲-۵-۶ سیاست‌های ذخیره‌سازی

پنج سیاست اصلی برای ذخیره‌سازی اقلام ورودی به انبار وجود دارد. ساده‌ترین سیاست که سیاست ذخیره‌سازی تصادفی نام دارد، به این صورت است که هر قلمی که

وارد می‌شود در هر محل در دسترس و آماده ذخیره می‌گردد. اگر بیش از یک مکان برای ذخیره‌سازی آماده باشد، به‌صورت تئوری قطعه ورودی با احتمال مساوی به هر یک از مکان‌های در دسترس تخصیص می‌یابد.

همان‌طور که در Francis, McGinnis, and White (1992) و Tompkins et al. (1996) اشاره شده است، ذخیره‌سازی و بازیابی در سیاست تصادفی، در عمل کاملاً تصادفی نیست. اپراتورها معمولاً تمایل دارند تا اقلام را در مکان‌های نزدیک‌تر ذخیره‌سازی کنند.

از طرف دیگر، در سیاست تخصیص‌یافته^۱ لازم است تا اقلام در مکان‌های از قبل تعیین‌شده، با توجه به نوع اقلام، ذخیره شوند. هر یک از این دو سیاست مزایا و معایب خاص خود را دارند. زمانی که حجم و فراوانی عملیات ذخیره‌سازی/بازیابی (S/R) یکسان است، سیاست تصادفی نیاز به فضای ذخیره‌سازی کمتری نسبت به سیاست تخصیص‌یافته دارد. در درجه اول علت آن است که در سیاست تخصیص‌یافته، فضای تخصیص‌یافته به هر قلم برابر با ماکزیمم سطح موجودی آن قلم است. واضح است که ماکزیمم سطح به محض جایگزینی قلم حاصل می‌شود. در سیاست تصادفی، با این وجود، ماکزیمم سطح موجودی تجمعی کمتر است زیرا محصولات عموماً در زمان‌های مختلفی جایگزین می‌شوند. به عبارت دیگر چون محصولات در زمان‌های مختلفی جایگزین می‌شوند، ماکزیمم سطح موجودی تجمعی کمتر از مجموع ماکزیمم سطح موجودی برای هر یک از اقلام است. با وجود اینکه سیاست تصادفی نیاز به فضای ذخیره‌سازی کمتری دارد، اگر اقلام زیادی ذخیره شوند، زمان زیادی برای بازیابی اقلام لازم خواهد بود زیرا بخشی از این زمان برای جستجوی محل قلم صرف خواهد شد، بنابراین کارایی سیستم (تعداد تبادلات S/R در واحد زمان) پایین می‌آید، از تجهیزات S/R به‌صورت کارا بهره‌برداری نمی‌شود و در انبار به‌خاطر اینکه اجناس مختلف در همه جا پراکنده شده‌اند بی‌نظمی وجود خواهد داشت (حتی بعضی مواقع اجناس در راهروها قرار داده می‌شوند). به خواننده توصیه می‌شود که دیگر مزایا و معایب این روش را در تمرین ۲۹ عنوان کند.

سومین سیاست، سیاست شاخص مکعب-بر-سفارش^۱ (COI) است که از نظر عملیاتی بسیار ساده است و بسیار مورد استفاده قرار می‌گیرد. این روش اولین بار توسط Heskett (1964) پیشنهاد شد. COI برای یک قلم به صورت نسبت فضای مورد نیاز برای ذخیره‌سازی (به توان سه) آن قلم به تعداد تبادلات S/R برای آن قلم تعریف می‌شود. با توجه به سیاست COI، مدیر انبار اقلام را با توجه به مقدار COI آنها به صورت غیرنزولی فهرست می‌کند. سپس به اولین قلم، مقدار فضای مورد نیازش برای ذخیره‌سازی را به گونه‌ای تخصیص می‌دهد که این فضا به نقاط ورود و خروج نزدیک‌تر از محل‌های دیگر باشند. برای دومین قلم در لیست نیز مکان نزدیک بعدی به نقاط ورود و خروج اختصاص را اختصاص می‌دهد و به همین ترتیب ادامه می‌یابد تا همه اقلام به مکان‌ها تخصیص یابند. بنابراین در سیاست COI، اقلامی که نیاز به S/R زیاد و فضای ذخیره‌سازی کمتری دارند نزدیک به نقاط ورودی و خروجی قرار می‌گیرند. سیاست COI مورد تحقیق و بررسی محققان زیادی قرار گرفته است. برای دیدن مراجع و نتایج به (Malmberg and Bhaskaran (1990) مراجعه کنید.

چهارمین سیاست، سیاست ذخیره سازی کلاس‌بندی شده^۲ (Class-based) نام دارد که بر پایه مشاهدات پارتو است به این صورت که درصد کمی از مردم یک کشور بیشترین میزان ثروت را در اختیار دارند در حالی که درصد زیادی از مردم کمترین ثروت را در اختیار دارند. این پدیده، تاثیر پارتو خوانده می‌شود (که بعد از سده ۱۹ توسط اقتصاددانی به نام ویلفردو پارتو^۳، نام‌گذاری شد) و در بسیاری از محیط‌های زندگی دیده می‌شود. برای مثال بیشتر درآمد شرکتی که چندین نوع محصول تولید می‌کند -مثلاً ۸۰٪ درآمد آن- ممکن است از ۲۰٪ محصولاتش باشد یا ۲۰٪ از دانشجویان یک کلاس مهندسی صنایع، ۸۰٪ از ساعات ملاقات یک استاد را می‌گیرند! و در یک انبار ۸۰٪ از فعالیت‌های مربوط به S/R مرتبط با ۲۰٪ اقلام است، ۱۵٪ آنها مرتبط با ۳۰٪ اقلام و ۵٪ باقیمانده مرتبط با ۵۰٪ اقلام است. بنابراین ما شروع به دسته‌بندی اقلام در یکی از ۳ کلاس A، B و C می‌کنیم که بستگی به سطح فعالیت

1. Cube-per-Order-Index

2. class-based storage

3. Vilfredo Pareto

S/R که آنها تولید می‌کنند دارد. اگر سطح فعالیتی که تولید می‌کنند بین ۵٪-۰ از کل فعالیت‌های S/R باشد، قلم در رده C قرار می‌گیرد. اگر بین ۲۰٪-۵ باشد در رده B قرار می‌گیرد و در غیر این صورت در رده A قرار خواهد گرفت. به منظور می‌نیم کردن زمانی که اقلام برای ذخیره‌سازی یا بازیابی صرف می‌کنند، شاید برای خواننده مشهود باشد (اکنون که چندین فصل درباره مدل‌سازی و چیدمان پوشش داده شده است!) اقلام کلاس A بایستی در نزدیک‌ترین محل به نقاط ورود/خروج ذخیره شوند، کلاس B به نقاط نزدیک بعدی و به همین ترتیب. با وجود اینکه به اقلام هر کلاس، فضای ذخیره‌سازی اختصاص یافته اما یک قلم می‌تواند به صورت تصادفی در فضای تخصیص یافته برای آن کلاس ذخیره شود. سیاست‌های تصادفی و تخصیص یافته دو سر یک طیف‌اند و دو سیاست COI و Class-based بین آن دو قرار می‌گیرند.

برای مثال اگر در سیاست ذخیره‌سازی Class-based، همه اقلام در یک کلاس گروه‌بندی شوند، ذخیره‌سازی تصادفی خواهیم داشت. اما از طرف دیگر اگر در سیاست ذخیره‌سازی Class-based به تعداد اقلام، کلاس‌های مختلفی داشته باشیم در آن صورت ذخیره‌سازی تخصیص یافته خواهیم داشت.

سیاست ذخیره‌سازی/اشتراکی^۱ نیز بین دو حد ذخیره‌سازی تصادفی و تخصیص یافته قرار می‌گیرد. همان‌طور که در سیاست ذخیره‌سازی تصادفی، در یک محل ذخیره اقلام مختلفی در زمان‌های مختلف نگهداری می‌شدند، با این وجود، تخصیص اقلام به فضاهای ذخیره‌سازی تصادفی نبودند و با دقت کنترل شده بودند. اقلام با گردش بالا^۲ در فضاهایی نزدیک به نقاط ورودی/خروجی ذخیره می‌شوند. اقلام گردش پایین^۳ در فضاهایی دورتر از نقاط ورودی/خروجی ذخیره می‌شوند. چون اقلام در یک لحظه جایگزین نمی‌شوند بلکه با نرخ ثابتی جایگزینی صورت می‌گیرد، زمانی که در موجودی صرف می‌شود ممکن است برای یک محصول از یک دسته^۴ به دسته دیگر متفاوت باشد. همچنین چون اقلام مختلف در زمان‌های متفاوتی به سطح موجودی ماکزیمم خود دست می‌یابند، تخصیص مناسب اقلام به محل‌های ذخیره‌سازی بر اساس سیاست

1. shared

2. fast-moving

3. slow-moving

4. lot

ذخیره‌سازی اشتراکی باعث افزایش کارایی سیستم و بهره‌برداری مناسب‌تر از فضا می‌شود. این سیاست در عمل بیشتر مورد استفاده قرار می‌گیرد و مدیر انبار بر یافته‌های تجربی، درک و شهود خود و بعضی از قوانین سرانگشتی در تخصیص مکان‌ها برای انبار اqlام تکیه می‌کند. نتایج تئوری بسیار کمی برای سیاست ذخیره‌سازی اشتراکی در دسترس است. (برای مثال رجوع کنید به (Goetschalchx and Ratliff (1990)، بنابراین بیشتر از این، بحث نمی‌کنیم. در ادامه بر روی مدل‌هایی که برای تعیین مقادیر متغیرهای طراحی در سه سیاست معمول مورد استفاده قرار می‌گیرند بحث می‌کنیم.

طراحی مدل (مدل‌سازی) برای سیاست ذخیره‌سازی تخصیص‌یافته

مسئله ذخیره‌سازی در انبار را که در ذیل آمده در نظر بگیرید: یک انبار p نقطه ورودی/خروجی^۱ (I/O) دارد که از طریق آنها، m قلم جنس به انبار وارد و یا از آن خارج می‌شوند. اqlام در یکی از n مکان موجود برای انبار کردن ذخیره می‌شوند. همه مکان‌ها، فضای ذخیره‌سازی مساوی برای انبار کردن نیاز دارند و می‌دانیم که قلم i به فضایی به اندازه S_i نیاز دارد. ایده‌آل آن است که

$$\sum_{i=1}^m S_i = n$$

با این وجود، اگر سمت چپ کوچکتر از سمت راست باشد همواره می‌توانیم یک محصول مجازی $(m+1)$ ام را اضافه کنیم تا فضای باقیمانده را پر کند:

$$n - \sum_{i=1}^m S_i$$

در سراسر این بحث فرض می‌کنیم که تساوی اول برقرار است. (واضح است که اگر سمت راست کمتر از سمت چپ باشد، در آن‌صورت هیچ جواب موجهی برای مسئله وجود نخواهد داشت زیرا در این‌حالت فضای ذخیره‌سازی کافی برای جادادن همه اqlام وجود ندارد.)

تعداد f_{ik} سفر برای محصول i از نقطه ورودی/خروجی k وجود دارد، هزینه جابجایی یک واحد از محصول i به اندازه یک واحد مسافت از نقطه ورودی خروجی

c_{ik} است و فاصله فضای ذخیره‌سازی i از نقطه ورودی و خروجی k d_{kj} است. با در نظر گرفتن متغیر تصمیم x_{ij} به صورت صفر و یک که مشخص می‌کند آیا قلم i به محل ذخیره j تخصیص یافته، می‌توان یک مدلی برای تخصیص اقلام به فضاهای ذخیره‌سازی فرمول‌بندی کرد به نحوی که هزینه جابه‌جایی اقلام به نقاط ورودی و خروجی می‌نیم شود. این مورد در مدل ۲ نشان داده شده است. توجه کنید که تابع هدف، هزینه جابه‌جایی قلم i به داخل و بیرون انبار برای همه فضاهای S_i که توسط این قلم اشغال شده است را محاسبه می‌کند. هزینه برای هر جفت قلم-فضا به صورت حاصل ضرب سه عامل ذیل محاسبه می‌شود: (۱) فراوانی سفرها به هر یک از نقاط ورود/خروج؛ (۲) فاصله پیموده شده به هر نقطه ورود/خروج؛ و (۳) هزینه به ازاء واحد مسافت. در این مدل فرض می‌شود که هزینه به ازاء واحد مسافت ممکن است برای ترکیبات مختلفی از نقاط ورود/خروج برای محصولات مختلف تغییر کند.

Model 2

$$\text{Minimize} \quad \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \left[\frac{\sum_{k=1}^p c_{ik} f_{ik} d_{kj}}{S_i} \right] x_{ij} \quad (2)$$

$$\text{Subject to} \quad \sum_{j=1}^n x_{ij} = S_i \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (3)$$

$$\sum_{i=1}^m x_{ij} = 1 \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (4)$$

$$x_{ij} = 0 \quad 1 \quad i = 1, 2, \dots, m, \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (5)$$

با جای‌گذاری:

$$w_{ij} = \frac{\sum_{k=1}^p c_{ik} f_{ik} d_{kj}}{S_i}$$

تابع هدف را می‌توان به صورت ذیل بازنویسی کرد:

$$\text{Minimize} \quad \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n w_{ij} x_{ij} \quad (6)$$

مدل ۵-۳ و ۶ شبیه به مسئله تخصیص نمایی است که در فصل ۵ تدریس شد بهتر اینکه تابع هدف خطی است و اولین محدودیت تخصیص بیشتر عمومی است. مقدار سمت راست یکی نیست بلکه S_i تا است.

اگر مقادیر سمت راست برای محدودیت ۳ یکی باشد، مدل همان مسئله تخصیص شناخته شده خواهد بود. مدل ۵-۳ و ۶ مدل تخصیص عمومی برای رسیدن به پاسخ-های آشکار خوانده می‌شود.

شبیه به مسائل حمل و نقل و تخصیص، معمولاً جواب بهینه مقداری صحیح برای x_{ij} ها خواهد داشت. و پاسخ در جایی دیگر از این کتاب مورد بحث قرار گرفته است. (همچنین می‌توانید تمرین ۳۲ را ببینید). بنابراین محدودیت صحیح ۵ می‌تواند با یک محدودیت غیر منفی جایگزین شود. زیرا به‌طور کلی مسائل تخصیص یک نوع خاص از مسائل حمل و نقل هستند. (توجه کنید که در مسائل حمل و نقل به‌جای یک در سمت راست محدودیت، B_i جایگزین می‌شود) و این می‌تواند با به‌کار بردن الگوریتم حمل و نقل حل شود که در انجام محاسبات بسیار موثر است. از درس تحقیق در عملیات به یاد بیاورید که الگوریتم حمل و نقل امتحان می‌کند سطرها و ستون‌های ماتریس هزینه w_{ij} را و آنها را در هر تکرار کم یا زیاد می‌کند. پس اگر ما چند هزار واحد فضای برای ذخیره داشته باشیم این مسئله توسط کامپیوتر سریع‌تر حل می‌شود.

مثال ۲

نقشه شماتیک انبار در شکل ۱۲-۲۹ مشاهده کنید. ۵ آیتم از ۳ نقطه ورودی خروجی به انبار وارد می‌شود و یا خارج می‌شود. هر سه نقطه ورودی خروجی در محیط ساختمان واقع شده‌اند. ساخت از فضاهای انبار ۱۴ و ۱۵، دومین از فضاهای ۵ و ۹ و سومین از فضاهای ذخیره ۲ و ۳، تعداد تکرار رفت و آمد هر آیتم از هر نقطه ورودی خروجی به‌صورت ترکیبی است و تعداد فضاهای مورد نیاز برای ذخیره هر چهار محصول در شکل ۱۲-۳۵ نشان داده شده است. همچنین در پراکنش هزینه حمل و نقل هر واحد از آیتم در واحد مسافت از نقطه نشان داده شده است. تعیین کنید که چگونه چهار آیتم اختصاص داده می‌شوند به ۱۶ فضای انبار برای می‌نیم کردن هزینه حمل و

نقل بین نقاط ورودی خروجی و مکان‌های انبار محصولات.

۱	۲	۳	۴
۵	۶	۷	۸
۹	۱۰	۱۱	۱۲
۱۳	۱۴	۱۵	۱۶

شکل ۱۲-۲۹. چیدمان یک انبار

$$[f_{ik}(c_{ik})] = \begin{matrix} & \begin{matrix} 1 & 2 & 3 \end{matrix} & S_i \\ \begin{matrix} 1 \\ 2 \\ 3 \\ 4 \end{matrix} & \begin{bmatrix} 150(5) & 25(5) & 88(5) \\ 60(7) & 200(3) & 150(6) \\ 96(4) & 15(7) & 85(9) \\ 175(15) & 135(8) & 90(12) \end{bmatrix} & \begin{matrix} 3 \\ 5 \\ 2 \\ 6 \end{matrix} \end{matrix}$$

شکل ۱۲-۳۰. مقادیر f_{ik} و c_{ik} برای ۴ قلم کالا و سه نقطه I/O و مقادیر S_i برای ۴ قلم کالا

$$[f_{ik}(c_{ik})] = \begin{matrix} & \begin{matrix} 1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 & 7 & 8 & 9 & 10 & 11 & 12 & 13 & 14 & 15 & 16 \end{matrix} \\ \begin{matrix} 1 \\ 2 \\ 3 \end{matrix} & \begin{bmatrix} 5 & 4 & 4 & 5 & 4 & 3 & 3 & 4 & 3 & 2 & 2 & 3 & 2 & 1 & 1 & 2 \\ 2 & 3 & 4 & 5 & 1 & 2 & 3 & 4 & 1 & 2 & 3 & 4 & 2 & 3 & 4 & 5 \\ 2 & 1 & 1 & 2 & 3 & 2 & 2 & 3 & 4 & 3 & 3 & 4 & 5 & 4 & 4 & 5 \end{bmatrix} \end{matrix}$$

شکل ۱۲-۳۱. مقادیر d_{kj} برای ۳ نقطه I/O و ۱۶ محل ذخیره

۲	۳	۳	۲
۲	۲	۱	۲
۴	۴	۴	۱
۴	۴	۴	۱

شکل ۱۲-۳۳. تخصیص بهینه ۴ قلم کالا به ۱۶ محل ذخیره

جواب. در آغاز ما w_{ij} را که در فرمول استفاده شده است، محاسبه می‌کنیم:

$$w_{ij} = \frac{\sum_{k=1}^p c_{ik} f_{ik} d_{kj}}{S_i}$$

برای مثال به صورت ذیل محاسبه شده است:

$$\frac{c_{31}f_{31}d_{19} + c_{32}f_{32}d_{29} + c_{33}f_{33}d_{39}}{2} = \frac{96(4)(3) + 15(7)(1) + 85(9)(4)}{2} = 2158.5$$

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
W_{ij}	1626.7	1271.7	1313.3	1751.7	1481.7	1126.7	1168.3	1606.7	1378.3	1023.3	1065.0	1503.3	1316.7	961.7	1003.3	1441.7
	1020.0	876.0	996.0	1380.0	996.0	852.0	972.0	1356.0	1092.0	948.0	1068.0	1452.0	1308.0	1164.0	1284.0	1668.0
	1830.0	1308.0	1360.5	1987.5	1968.0	1446.0	1498.5	2125.5	2158.5	1636.5	1689.0	2316.0	2401.5	1879.5	1932.0	2559.0
	2907.5	2470.0	2650.0	3447.5	2470.0	2032.5	2212.5	3010.0	2212.5	1775.0	1955.0	2752.5	2135.0	1697.5	1877.5	2675.0

شکل ۱۲-۳۲. مقادیر W_{ij} برای ۴ نقطه I/O و ۱۶ فضای ذخیره

اعداد محاسبه شده برای w_{ij} ها در شکل ۱۲-۳۲ نشان داده شده است (صفحه قبل) با استفاده از این اعداد ما می‌توانیم شروع کنیم و حل کنیم به وسیله مدل تخصیص عمومی (تمرین ۳۶) تخصیص فضا برای انبار کردن محصول در شکل ۱۲-۳۳ توضیح داده شده است. هزینه این حل $24,038/30$ است. شکل ۱۲-۳۳ نشان می‌دهد که تخصیص محصولات به فضاها در شکل ۱۲-۲۹ چگونه صورت گرفته است. دقت کنید که اقلام ۳ و ۴ با هم قرار گرفته اند در حالی که ۱ و ۲ به دو بخش مکان مجزا برای هر یک اختصاص داده شده‌اند.

مدل طراحی برای سیاست COI تحت شرایط خاص

حالت خاصی از مدل طراحی سیاست ذخیره‌سازی تخصیص یافته را در نظر بگیرید که در آن همه اقلام از نقاط I/O به یک نسبت استفاده می‌کنند و هزینه جابجایی یک واحد بار قلم i به مستقل از نقطه I/O است. ما P_k را به عنوان درصدی از سفرهای قلم i تعریف می‌کنیم که از نقطه I/O k ام صورت می‌گیرند، به طوری که $k=1, 2, \dots, p$ است (برای هر قلم چرا که همه اقلام از نقاط I/O به یک نسبت استفاده می‌کنند). به دلیل محدودیت‌های اضافی موجود در این مدل، نیازی به اولین اندیس در f_{ik} یا c_{ik} نیست. بنابراین f_{ik} و c_{ik} می‌توانند به ترتیب با f_i و c_i جایگزین شوند، و مدل می‌تواند به صورت ذیل فرمول‌بندی شود:

Model 3

$$\begin{aligned} & \text{Minimize} \quad \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \left[\frac{\sum_{k=1}^p c_i f_i d_{kj}}{S_i} \right] x_{ij} \\ & \text{Subject to} \quad \text{constraints (3) - (5)} \end{aligned} \quad (v)$$

با جای‌گذاری:

$$w_j = \sum_{k=1}^p P_k d_{kj}$$

تابع هدف را می‌توان به صورت ذیل نوشت:

$$\text{Mimimize} \quad \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \frac{c_i f_i}{S_i} w_j x_{ij} \quad (8)$$

حل مدل به‌دست آمده از عبارت (۸) و محدودیت‌های (۳) تا (۵) حتی از حل مدل ۲ نیز ساده‌تر است و نیازی به استفاده از الگوریتم حمل و نقل ندارد. این مدل متضمن مرتب‌سازی جمله مربوط به "هزینه" عبارت $c_i f_i / S_i$ برای هر قلم i ($i=1, 2, \dots, m$) و جمله مربوط به عبارت مسافت w_j برای هر فضای ذخیره‌سازی j ($j=1, 2, \dots, n$) به‌ترتیب به‌صورت غیرصعودی و غیرنزولی و نیز نسبت دادن قلم - مثلاً i^* - مربوط به اولین عنصر در فهرست مرتب شده "هزینه" به فضاهای ذخیره‌سازی مرتبط به اولین S_{i^*} عنصر در لیست مرتب شده "فاصله"، دومین قلم - مثلاً i^* - در لیست "هزینه" به فضاهای ذخیره‌سازی S_{i^*} عنصر بعدی فهرست مرتب شده "فاصله" و الی آخر تا زمانی که همه اقلام به همه فضاهای ذخیره‌سازی تخصیص یابند، است.^۱ توجه داشته باشید که این دقیقاً همان کاری است که سیاست COI انجام می‌دهد به جز آنکه این مدل معکوس جمله "هزینه"، COI - که نیازمندی ذخیره‌سازی مواد تقسیم بر هزینه ناشی از جابجایی قلم i (یا فراوانی قلم i) است - را محاسبه کرده و عناصر را به ترتیب غیرنزولی مقادیر COI شان مرتب می‌کند و به این ترتیب نتیجه‌ای مشابه الگوریتم قبلی به‌دست می‌دهد.

مثال ۳

مثال ۲ را در نظر بگیرید. داده‌های مربوط به f_{ik} و c_{ik} را در نظر نگرفته و فرضیات ذیل را قرار دهید:

- الف. چهار قلم از سه نقطه I/O به نسبت مساوی استفاده می‌کنند.
 ب. تعداد کل پالت‌های جابجا شده در یک دوره زمانی هر قلم به‌ترتیب برابر ۹۰ و ۱۲۰ و ۸۰ و ۱۰۰ است.

۱. از فصل ۷ (بخش ۷-۲-۱) به‌خاطر آوردن که مرتب‌سازی بردارهای هزینه و فاصله به‌ترتیب به‌صورت

غیرصعودی و غیرنزولی، و به‌دست آوردن حاصلضرب دو بردار حد پایینی برای تابع هزینه جابجایی مواد به دست می‌دهد. می‌توان نشان داد که این الگوریتم بهینه است (Francis 1967)

ج. هزینه جابجایی یک بار هر قلم به اندازه واحد مسافت برابر ۱ دلار است با استفاده از الگوریتم مطرح شده در این بخش، تخصیص بهینه اقلام به فضاهای ذخیره‌سازی را تعیین کنید.

جواب. مقادیر w_j برای داده‌ها به شرح ذیل است:

$$j \begin{bmatrix} 1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 & 7 & 8 & 9 & 10 & 11 & 12 & 13 & 14 & 15 & 16 \\ w_{ij} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 3.0 & 2.6 & 3.0 & 4.0 & 2.6 & 2.3 & 2.6 & 3.6 & 2.6 & 2.3 & 2.6 & 3.6 & 3.0 & 2.6 & 3.0 & 4.0 \end{bmatrix}$$

پس از مرتب‌سازی مقادیر به‌ترتیب غیرنزولی خواهیم داشت:

$$j \begin{bmatrix} 6 & 10 & 2 & 5 & 7 & 9 & 11 & 14 & 1 & 3 & 13 & 15 & 8 & 12 & 4 & 16 \\ w_{ij} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 2.3 & 2.3 & 2.6 & 2.6 & 2.6 & 2.6 & 2.6 & 2.6 & 3.0 & 3.0 & 3.0 & 3.0 & 3.6 & 3.6 & 4.0 & 4.0 \end{bmatrix}$$

با مرتب‌سازی مقادیر $(c_i f_i)/S_i$ به‌ترتیب غیرصعودی، [۱۵، ۱۶، ۳۳/۳۳، ۶۰] را به‌ترتیب برای اقلام ۳، ۱، ۲ و ۴ خواهیم داشت. به این ترتیب تخصیص بهینه فضای ذخیره‌سازی به شرح ذیل است (شکل ۱۲-۳۴ را نیز ببینید):

قلم را به فضاهای ذخیره‌سازی ۷ و ۵ و ۲

قلم ۲ به فضاهای ذخیره‌سازی ۱۴ و ۱۱ و ۹ و ۳ و ۱

قلم ۳ به فضاهای ذخیره‌سازی ۱۰ و ۶

قلم ۴ به فضاهای ذخیره‌سازی ۱۶ و ۱۵ و ۱۳ و ۱۲ و ۸ و ۴

۲	۱	۲	۴
۱	۳	۱	۴
۲	۳	۲	۴
۴	۲	۴	۴

شکل ۱۲-۳۴. تخصیص بهینه ۴ قلم کالا به ۱۶ محل ذخیره تحت سیاست COI

مدل طراحی برای سیاست ذخیره‌سازی تصادفی

سیاست ذخیره‌سازی تصادفی ذیل را در نظر بگیرید، اقلام وارده به یک انبار به صورت تصادفی در یکی از چند فضای ذخیره‌سازی خالی و در دسترس ذخیره می‌گردند. هر فضای ذخیره‌سازی خالی شانس یکسانی برای انتخاب شدن جهت انبارش دارد. همان‌طور که گفتیم، ذخیره‌سازی و بازیابی ممکن است کاملاً تصادفی نباشد؛ اما ما فرض می‌کنیم که سیاست "کاملاً" تصادفی است تا مدل‌سازی را کمی ساده‌تر سازیم. به این ترتیب هر مکان ذخیره‌سازی به احتمال یکسانی برای ذخیره‌سازی یا بازیابی مورد استفاده قرار می‌گیرد. با دانستن آنکه n فضای ذخیره‌سازی مورد نیاز است، چیدمان فضای ذخیره‌سازی‌ای را که کل مسافت سفر مورد انتظار بین هر فضای ذخیره‌سازی و p نقطه I/O را حداقل می‌کند را تعیین کنید. با پیروی از الگوریتم بخش قبلی، می‌توانیم مجموع مسافت‌های هر فضای ذخیره‌سازی از هر نقطه I/O را تعیین کنیم.

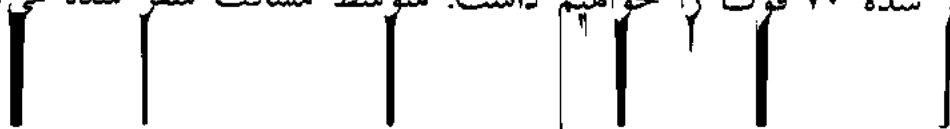
$$\sum_{k=1}^p d_{kj}$$

فضاها را به ترتیب غیرنزولی مجموع این فواصل مرتب کرده و نزدیک‌ترین n فضای ذخیره‌سازی را انتخاب می‌کنیم. توجه داشته باشید که n به سطوح موجودی همه اقلام بستگی دارد و از این رو تعداد کل n فضا کمتر از تعداد مورد نیاز سیاست تخصیص‌یافته است (تمرین ۳۰ را ببینید).

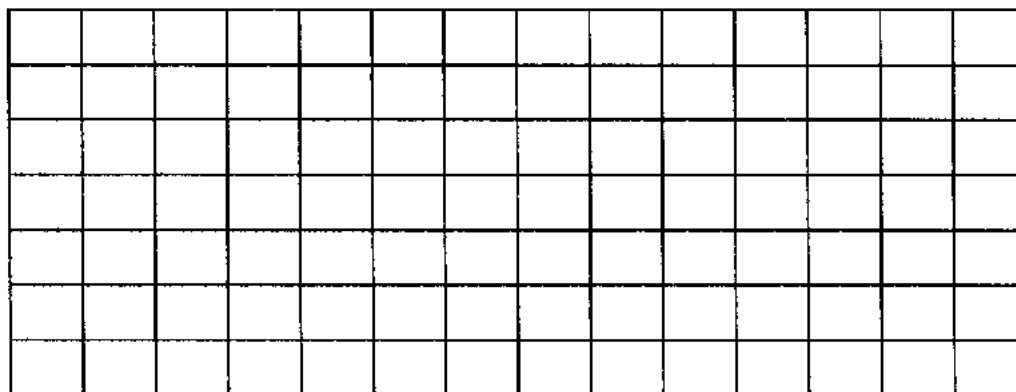
مثال ۴

چیدمان فضاهای ذخیره‌سازی را برای ۵۶ فضای ذخیره‌سازی در یک انبار مستطیل شکل به ابعاد 140×70 فوت (شکل ۱۲-۳۵) تعیین کنید. از سیاست ذخیره‌سازی تصادفی برای حداقل کردن کل مسافت سفر شده استفاده کنید. هر فضای ذخیره‌سازی 10×10 فوت مربع است و نقطه I/O در میانه دیوار جنوبی جای دارد.

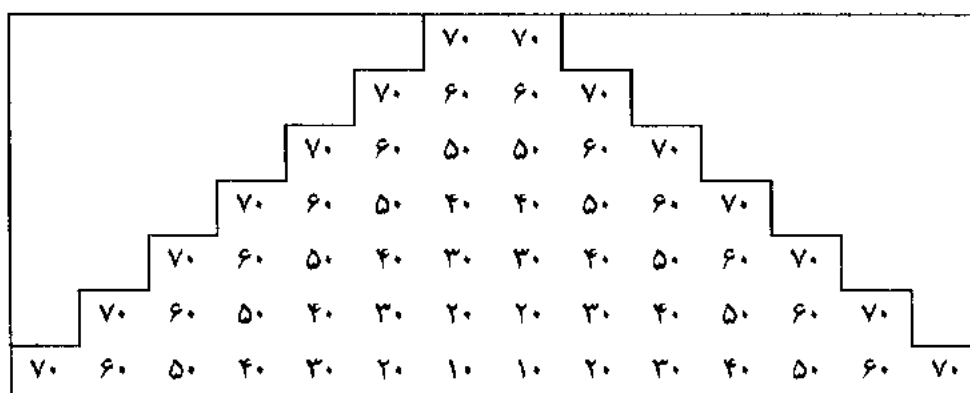
جواب. با محاسبه مسافت همه فضاهای ذخیره‌سازی بالقوه تا نقطه I/O و مرتب کردن آنها به ترتیب غیرنزولی، به چیدمان شکل ۱۲-۳۶ خواهیم رسید و بیشترین مسافت سفر شده ۷۰ فوت را خواهیم داشت. متوسط مسافت سفر شده می‌تواند با



جمع کردن کل مسافت سفر شده (۲۸۰۰) و تقسیم کردن آن بر تعداد فضاهای ذخیره‌سازی (۵۶) به دست آید. جواب ۵۰ فوت می‌شود.



شکل ۱۲-۳۵. چیدمان انبار با فضاهای ذخیره‌سازی بالقوه



شکل ۱۲-۳۶. چیدمان فضاهای ذخیره‌سازی برای مثال ۴

۱۲-۵-۷ مدل‌های زمان سفر

در مثال ۱۴ متوسط مسافت سفر شده را برابر مجموع مسافت‌های هر فضای ذخیره‌سازی (با نقاط I/O) تقسیم بر تعداد فضاهای ذخیره‌سازی گرفتیم:

$$\frac{\sum_{k=1}^p \sum_{j=1}^n d_{kj}}{n}$$

زمانی که تعداد فضاهای ذخیره‌سازی زیاد باشد، محاسبه متوسط مسافت می‌تواند مشکل باشد، چنانچه فضاهای ذخیره‌سازی کمی به نسبت کل مساحت وجود داشته باشند، می‌توانیم متوسط مسافت سفر شده را با فرض آنکه فضاهای ذخیره‌سازی نقاط پیوسته‌ای روی یک سطح هستند و با استفاده از انتگرال ذیل تخمین بزنیم. توجه داشته

باشید که در انتگرالی که ما فرض می‌کنیم انبار (با مختصات X و Y) در اولین ربع واقع است، تنها یک نقطه I/O در مبدأ و در گوشه پایین سمت چپ انبار وجود دارد و معیار فاصله مطلوب، مربعی است.

$$\int_0^X \int_0^Y \frac{1}{A} (x+y) dx dy$$

چنانچه دو یا تعداد بیشتری نقاط I/O در کار بوده، معیار فاصله غیرمربعی باشد و هیچ محدودیتی در مورد اینکه انبار باید کجای سطح واقع شود وجود نداشته باشد، این عبارت می‌تواند به سادگی اصلاح شود (تمرینات ۳۹ تا ۴۱ را ببینید). گرچه متوسط مسافت سفر شده برای یک شکل انبار معین می‌تواند با استفاده از عباراتی مانند آنچه در اینجا مطرح شد، تعیین شود، ممکن است طراح انبار بسپرد که چه شکل انباری زمان سفر یک طرفه را حداقل می‌کند؟ (Francis and White (1974) نشان دادند که چگونه می‌توان شکل انبار بهینه را برای پیکربندی‌های مختلف (یعنی تعداد نقاط I/O) معیار مسافت و غیره) را تعیین کرد و این اشکال از لوزی تا دایره تا ذوزنقه را شامل می‌شود! مدل‌هایی که هم هزینه‌های ساخت انبار و هم متوسط مسافت سفر را حداقل می‌کنند از آنهایی که تاکنون بحث کردیم، به واقعیت نزدیک‌ترند. به‌علاوه، اگر شکل انبار را به مستطیل محدود کنیم (چرا که بیشتر انبارها مستطیل شکل هستند) و ابعاد آن را برای حداقل کردن هزینه‌های ساخت و نیز مساحت سفر شده به‌دست آوریم، جواب برای طراح معنی‌دارتر خواهد بود. چنین مدلی به تفصیل در Francis and White (1974) بحث شده است و ما در اینجا صحبت مختصری از آن خواهیم کرد.

ما به دنبال یافتن ابعاد بهینه یک انبار مستطیلی شکل با مساحت A جهت حداقل کردن هم هزینه‌های سفر یک طرفه مورد انتظار و هم هزینه‌های ساخت هستیم. فرض کنید که هزینه ساخت تابعی از محیط مستطیل - مثلاً $-r[2(a+b)]$ که r واحد هزینه ساخت مسافت (محیط) است و a و b ابعاد انبار هستند. یک نقطه I/O در مبدأ مختصات واقع شده است و گوشه پایین سمت چپ دارای مختصات (p,q) است. با فرض آنکه c هزینه ناشی از هر سفر به اندازه واحد مسافت است، عبارت هزینه‌ای که

باید حداقل شود به شرح ذیل است:

$$2r(a+b) + c \int_p^{p+a} \int_q^{q+b} \frac{1}{A} (|x| + |y|) dx dy$$

Francis and White (1974) نشان دادند که مقادیر بهینه a و b با در نظر گرفتن:

- نقطه I/O باید در خارج از دیوارهای بیرونی انبار قرار گرفته باشد. (یعنی $p \geq 0$)

و

- مساحت انبار باید A واحد باشد (یعنی $ab=A$)

به‌وسیله عبارت ذیل به‌دست می‌آیند:

$$a = \sqrt{A \left(\frac{c+8r}{2c+8r} \right)} \quad \text{و} \quad b = \sqrt{A \left(\frac{2c+8r}{c+8r} \right)}$$

تمام مدل‌هایی که تاکنون گفته شد، تلویحاً چنین فرض می‌کردند که هر تراکنش شامل یک ذخیره‌سازی یا بازیابی است و به این ترتیب چرخه تراکنش یک چرخه تک‌فرمان^۱ است. به عبارت دیگر، انسان یا ماشینی که کار ذخیره‌سازی یا بازیابی را انجام می‌دهد تنها یک عمل ذخیره‌سازی یا بازیابی را انجام می‌دهد و پیش از انجام تراکنش بعدی به نقطه مبدأ - مثلاً نقطه I/O - باز می‌گردد.

البته اگر چندین تراکنش در هر سفر انجام شود (مثلاً شخص یا ماشین کالایی را در جایی ذخیره کند (بگذرد) و سپس برای بازیابی (برداشتن) قلمی به جایی دیگر برود و به‌سوی مبدأ بازگردد) نرخ بازده^۲ سیستم به طرز چشمگیری افزایش می‌یابد. بسته به تعداد تراکنش‌های انجام شده در هر سفر می‌توانیم چرخه‌های دو-فرمانه^۳ یا چند-فرمانه^۴ داشته باشیم. در نظر گرفتن چرخه‌های دو-فرمانه در مدل‌های زمان‌های سفر پیچیده‌تر است اما می‌تواند برای برخی پیکربندی‌ها انجام شود.

ما تنها برخی از مسائل پایه‌ای طراحی انبار را مورد بحث قرار دادیم؛ چندین مسأله دیگر نیز می‌تواند در نظر گرفته شوند. ما خواننده علاقمند را از بین سایر مقالات به مقالات Ashayeri and Gelders (1985) و Hodgson, Bozer and White (1990)

1. single-command
2. throughput
3. dual-command
4. multiple-command

Gray, and Lowe (1982) و Matson and White (1982) و Kulwiec (1985) و Karmarkar, and Seidmann (1992) ارجاع می‌دهیم.

۱۲-۶ عملیات مربوط به انبار

مدیر یک انبار با مسائل اجرایی متعددی، از جمله موارد لیست شده در ذیل مواجه است:

- توالی برداشت سفارشات چیست؟
 - سفارشات هرچند وقت یک بار باید از فضای ذخیره‌سازی در ارتفاع بالا برداشته شوند؟ آیا بهتر است عملیات برداشت دسته‌ای را به خدمت گیریم یا هر وقت یک سفارش رسید برداشت کنیم؟
 - آیا محدودیتی برای تعداد اقلامی که برداشته می‌شوند، وجود دارد؟ اگر دارد، چه محدودیتی است؟
 - اپراتورها باید چگونه به جرثقیل‌های پشته‌ساز^۱ تخصیص یابند؟
 - بارکاری اپراتور بردارنده را چگونه بالانس می‌کنیم؟
 - آیا اقلام را از جرثقیل پشته‌ساز به صورت دسته‌ای در ایستگاه جداسازی و مرتب‌سازی، تخلیه می‌کنیم یا بلافاصله پس از برداشتن قلم؟
- چندین مسأله مربوط به برداشتن سفارشات هستند. تحقیقات نشان داده است که برداشت محصول بیش از ۵۰٪ فعالیت‌های یک انبار را به خود اختصاص می‌دهد (Tompkins et al. 1996). بنابراین نباید باعث تعجب کرد که برداشت سفارشات به تنهایی بزرگترین منبع هزینه در عملیات انبارداری است (Gray, Karmarkar, and Seidmann (1992 و Koenig 1980 و Ogburn 1984).

در یک عملیات برداشت سفارش به حجم بالای نوعی، چندین هزار سفارش در هر روز برداشته می‌شوند. همان‌طور که قبلاً گفته شد وسایل مورد استفاده برای برداشت محصول از AS/RS های بار واحد یا بار کوچک یا سرنشین‌دار تا جرثقیل‌های پشته‌ساز را در برمی‌گیرد. گاهی این وسایل پیوسته در حال کار بوده و نرخ تراکنش سفارش و

ذخیره‌سازی) بالاست (Bozer, Schorn, and Sharp 1990). از آنجایی که ساخت و بهره‌برداری از چنین سیستم‌هایی بسیار پرهزینه است، مدیران علاقمند به حداکثر کردن توان عملیاتی^۱ انبار با تنظیم و دست‌کاری طراحی و عملیات انبار هستند. به‌عنوان مثال، مدیران ممکن است تعداد وسایل AS/RS را افزایش دهند اما این راه‌حل هزینه برداشته و ممکن است اضافه کردن وسایل بیشتر به دلیل محدودیت فضا و غیره عملی نباشد. چنانچه نرخ بازده را بتوان با ایجاد تغییرات عملیاتی حداکثر نمود، اجرای چنین راه‌حل‌هایی معمولاً کمتر هزینه‌بر هستند و نتیجه ارجحیت دارند. به‌عنوان مثال، ممکن است مدیران سرعت وسایل را افزایش دهند یا زمان برداشت سفارش را حداقل سازند. یک راه برای انجام کار دوم تعیین توالی بهینه برداشت سفارشات است. در بخش بعدی سه الگوریتم ابتکاری^۲ برای مسائل توالی برداشت سفارش مورد بحث قرار می‌دهیم.

۱۲-۶-۱ مسأله توالی برداشت سفارش

دو روش برداشت اساسی برداشت سفارش^۳ و برداشت منطقه‌ای^۴ هستند. در برداشت سفارش یک اپراتور مسئول برداشتن همه اقلام یک سفارش است در حالی که در برداشت منطقه‌ای یک اپراتور تخصیص‌یافته به یک منطقه تنها مسئول برداشتن آن اقلامی از سفارش است که در محدوده منطقه او قرار گرفته‌اند، است. برداشت‌کننده سفارش ممکن است مجبور به سفر در سطح انبار برای برداشت سفارش باشد اما این سفر در حالت برداشت منطقه‌ای محدود به منطقه تخصیصی است.

مسأله توالی برداشت سفارش که در انبارها و مراکز بخش اتوماتیک یا نیمه‌اتوماتیک مطرح می‌گردد می‌تواند به شرح ذیل بیان شود. یک AS/RS یا یک AS/RS سرنشین‌دار اقلام لیست شده در یک سفارش را از مکان‌های مربوطه برمی‌دارد. اقلام موجود در یک لیست برداشت‌ها نامیده می‌شوند. با شروع از یک مکان برداشت/گذاشت^۵ (P/D) یا محل‌های I/O، AS/RS برداشت‌های لیست شده در

1. throughput
2. heuristic
3. order picking
4. zone picking
5. pick-up/drop-off

سفارش را با یک توالی خاص بازیابی کرده و سپس سفارشات برداشته را در نقاط I/O قرار می‌دهد. این عملیات وقتی که قرار است اقلام در فضاهای قفسه‌ها گذاشته شوند، در جهت عکس انجام می‌شود. برای حداکثر کردن نرخ توان عملیاتی سیستم مدیران می‌کوشند توالی‌ای که زمان لازم برای برداشت اقلام یک لیست یا سفارش را حداقل می‌کند را بیابند. گرچه اکثر سیستم‌ها دارای یک نقطه I/O هستند، اینکه یک نقطه برای برداشت و یکی برای ارسال وجود داشته باشد نیز معقول است. خوانندگانی که با مسأله فروشنده دوره‌گرد^۱ (TSP) آشنایی دارند (فصل ۵ را ببینید) ممکن است فکر کنند که یک مسأله برداشتن سفارش را می‌توان به صورت یک TSP مدل کرد. این امر صحیح است اما معیار فاصله به‌دلایلی که گفته خواهد شد، معیار اقلیدسی نیست.

معمولاً AS/RS دارای دو موتور مستقل است که حرکت در هر دو جهت افقی و عمودی به صورت هم‌زمان را ممکن می‌کند. بنابراین زمانی که سفر بین نقطه‌ای با مختصات (x_i, y_i) تا نقطه دیگری با مختصات (x_j, y_j) طول می‌کشد به فواصل افقی و عمودی بین دو نقطه و نیز سرعت افقی h و عمودی v دو موتور بستگی دارد. این امر را می‌توان به زبان ریاضی اینگونه بیان کرد:

$$\max \left[\frac{|x_i - x_j|}{h}, \frac{|y_i - y_j|}{v} \right]$$

این بار نیز ممکن است بر خواننده آشکار باشد که از روی معیارهای فاصله (مسافت) مطرح شده در فصل ۳، مسأله برداشت سفارش می‌تواند مانند TSP با معیار سنجش مسافت چبی‌شف^۲ مدل شود. ما این مسأله را به TTSP ارجاع می‌دهیم که آن نیز فرمول‌بندی ریاضی ذیل را دارا است:

$$\begin{aligned}
 & \text{Minimize} \quad \sum_{i=1}^n \sum_{j=1, j \neq i}^n d_{ij} w_{ij} \\
 & \text{Subject to} \quad \sum_{i=1, i \neq j}^n d_{ij} w_{ij} = 1 && \text{for each } j \\
 & \quad \sum_{j=1, j \neq i}^n d_{ij} w_{ij} = 1 && \text{for each } i \\
 & \quad u_i - u_j + n w_{ij} \leq n - 1 && \text{for } 2 \leq i \neq j \leq n \\
 & \quad d_{ij} = \max \left[\frac{|x_i - x_j|}{h}, \frac{|y_i - y_j|}{v} \right] && \text{for } 1 \leq i \neq j \leq n \\
 & \quad w_{ij} = 0 \text{ یا } 1 && \text{for each } i, j, i \neq j \\
 & \quad u_i \quad \text{اعداد حقیقی} && \text{for each } i
 \end{aligned}$$

در این مدل فرض بر آن است که n نقطه با در نظر گرفتن نقطه I/O وجود دارد. متغیرهای تصمیم‌گیری w_{ij} دارای مقادیر دودویی (۰ یا ۱) هستند، بسته به آنکه آیا از موقعیت i بلافاصله پس از j در توالی برداشت سفارش، گذر می‌شود یا خیر. تابع هدف طول کل "تور" برداشت سفارش را حداقل می‌کند. دو محدودیت اول تضمین می‌کند که هر کمان در تور بهینه دقیقاً دو نقطه انتهایی - یکی در هر طرف - دارد. دسته سوم محدودیت‌ها تضمین می‌کنند که جواب بهینه هیچ زیرتوری ندارد. به عبارت دیگر، جواب بهینه باید تنها یک تور که همه نقاط را به هم متصل می‌کند داشته باشد. محدودیت چهارم نشان می‌دهد که معیار سنجش مسافت چبی شف است.

گرچه الگوریتم‌های بهینه‌ای برای حل TSP یا TTSP وجود دارند اما این‌ها معمولاً ارجحیت ندارند چرا که NP-complete محسوب می‌شوند. به علاوه، از آنجایی که برداشت سفارشات یک مسأله برنامه‌ریزی است که با فرکانس بالا مطرح می‌شود (مثلاً هر ساعت) و از آنجایی که یک راه حل سریع لازم است، ابتکاری‌ها به جای الگوریتم‌های بهینه برای حل مسائل توالی برداشت سفارشات استفاده می‌شوند (Goetschalchx and Ratliff 1988). بنابراین ما الگوریتم‌های ابتکاری را برای حل این مسأله بررسی می‌کنیم.

مانند الگوریتم‌های چیدمان، الگوریتم‌های TSP یا TTSP به صورت ذیل طبقه‌بندی می‌شوند (Golden et al. 1980):

- الگوریتم‌های سازنده^۱
- الگوریتم‌های بهبود
- الگوریتم‌های ترکیبی^۲ (هیبرید)

الگوریتم‌های ساخت آنهایی هستند که در آنها تور با شامل کردن نقاط در تور، معمولاً یکی یکی تا کامل شدن تور، ساخته می‌شود. در الگوریتم‌های بهبود، یک جواب اولیه داده شده، در صورت امکان، با جابجا کردن مکان تعداد دو یا بیشتر نقطه در تور اولیه بهبود داده می‌شود.

همان‌طور که در فصل ۶ گفته شد، دو استراتژی بهبود ممکن هستند. یا می‌توانیم تمام جابجایی‌های ممکن را در نظر گرفته و آنی را که بیشترین صرفه‌جویی را نتیجه می‌دهد انتخاب کنیم و این فرایند را تا زمانی که هیچ بهبود دیگری ممکن نباشد، ادامه دهیم؛ یا به محض آنکه دیدیم یک جابجایی منجر به صرفه‌جویی می‌شود آن را انجام دهیم و جابجایی‌های ممکن دیگر را مورد بررسی قرار دهیم (و البته کار را تا جایی که دیگر نتوانیم جواب‌ها را بهبود دهیم، ادامه دهیم). اولین استراتژی پرشیب‌ترین فرود^۳ 2-opt یا 3-opt، بسته به آنکه دو نقطه یا سه نقطه برای تعویض جا در نظر گرفته شود، نامیده می‌شود و دو می 2-opt یا 3-opt حریصانه^۴ نام دارد. به‌طور کلی، تعویض جای بیش از سه نقطه در هر بار، سودمند نیست (Lin and Kernighan 1973). الگوریتم‌های ترکیبی (هیبرید) از یک الگوریتم ساخت برای رسیدن به یک جواب اولیه استفاده می‌کنند و سپس آن را با استفاده از یک الگوریتم بهبود، بهبود می‌دهند. منابع کتب و مقالات در مورد مسائل TSP و TTSP از منابع دیگر نیز در دسترس است - به‌عنوان مثال بحث عالی‌ای در مورد مدل‌ها و الگوریتم‌های مسأله TSP در (Lawler 1985) وجود دارد. جهت داشتن تحلیل محاسباتی کامل و مقایسه عملکرد چندین الگوریتم

1. construction algorithm
2. hybrid
3. steepest descent
4. greedy

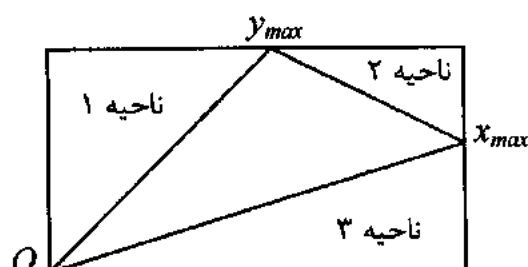
ابتکاری TSP، خوانند می‌تواند به (Golden et al. (1980 و Adrabinski and Syslo (1983) رجوع کند. برای مسأله TTSP، بررسی و مقایسه محاسباتی چندین الگوریتم مؤثر در (Goetschalchx and Ratliff (1988، (Bozer, Schorn, and Sharp (1990 و کارهای جدیدتر در (Heragu, Mazacioglu, and Fuerst (1994 آمده است.

در بقیه این بخش، الگوریتم بدنه محدب که نشان داده شده است تحت شرایط خاص بهینه بوده و بسیار اثربخش است، مورد بررسی قرار می‌گیرد. همچنین کاربرد 2-opt و شبیه‌سازی تبرید در برداشت سفارش را مورد بحث قرار می‌دهیم.

۱۲-۶-۲ الگوریتم ابتکاری بدنه محدب^۱

این الگوریتم توسط (Or (1976 معرفی شد و توسط (Stewart (1977 به صورت مستقل ارائه گردید. بعدها این الگوریتم به وسیله (Allison and Noga (1984 و (Goetschalchx (1983 اصلاح شد. الگوریتم از سه مرحله تشکیل شده است. در مرحله اول، بدنه محدب نقاط با استفاده از الگوریتم (Akl and Toussaint (1978 تعیین می‌گردد. با فرض مبدأ بودن نقطه P/D، الگوریتم قدم‌های ذیل را دنبال می‌کند:

- ۱- دو نقطه دارای بیشترین مختصات x و y که x_{max} و y_{max} خوانده می‌شوند، تعیین می‌گردند. سپس نقاط داخل چند ضلعی حاصل از نقاط انتهایی x_{max} و y_{max} مبدأ O حذف می‌گردند. مرز قفسه و محیط چند ضلعی سه ناحیه را تشکیل می‌دهند (شکل ۱۲-۳۷ را ببینید). (در صورتی که $x_{max}=y_{max}$ تنها دو ناحیه تشکیل می‌دهند و توضیحات ذیل می‌توانند به آسانی به آن حالت تعمیم یابند).

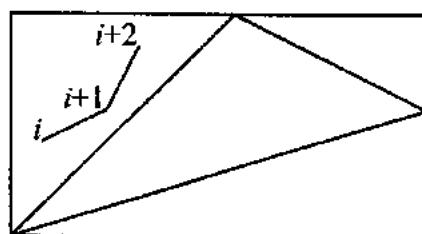


شکل ۱۲-۳۷. شکل‌گیری سه ناحیه در فاز ۱ الگوریتم ابتکاری بدنه محدب

۲- برای هر ناحیه، الگوریتم مسیر محدب بین دو نقطه انتهایی را می‌سازد.
الف. ابتدا نقاط ناحیه ۱ و ۲ را به ترتیب صعودی مختصات x شان و نقاط ناحیه ۳ را به ترتیب نزولی مختصات x شان مرتب می‌کند.
ب. با شروع از اولین نقطه انتهایی، برای هر سه نقطه پیاپی i ، $i+1$ و $i+2$ مقدار V را محاسبه می‌کند تا به نقطه انتهایی بعدی برسد.

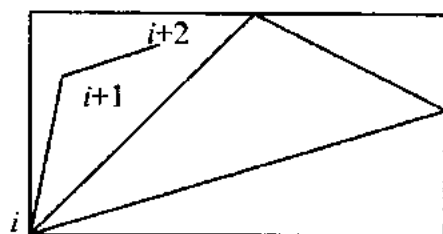
$$V = (y_{i+1} - y_i)(x_{i+2} - x_{i+1}) + (x_i - x_{i+1})(y_{i+2} - y_{i+1})$$

اگر $V \geq 0$ ، یک بدنه محدب با نقاط i و $i+1$ و $i+2$ نمی‌توان ساخت (شکل ۱۲-۳۸). در غیر این صورت ساخت یک بدنه محدب ممکن است (شکل ۱۲-۳۹). با استفاده از همه یا بعضی از نقاط مرتب شده در نواحی ۱ و ۲ و ۳، هر بار سه نقطه، الگوریتم یک بدنه محدب می‌سازد. این بدنه یک زیرتور خوانده می‌شود. نقاطی که در این زیرتور نیستند در مراحل ۲ و ۳ در نظر گرفته می‌شوند.



شکل ۱۲-۳۸. سه نقطه که درون بدنه محدب نیستند

در مرحله دوم، نقاطی که می‌توانند در زیرتور وارد شوند بدون اینکه هزینه‌ای اضافه کنند، وارد می‌شوند. چنین نقاط وارد شده‌ای بر روی یک متوازی‌الاضلاع که دو نقطه کنار هم در زیرتور به عنوان مرکز خود دارد، قرار می‌گیرند (Goetschalchx and Ratliff 1988).



شکل ۱۲-۳۹. سه نقطه که درون بدنه محدب هستند

در مرحله سوم، نقاطی که در زیرتور مراحل ۱ و ۲ شامل نشده‌اند با استفاده از معیار حداقل هزینه وارد کردن، در نظر گرفته می‌شوند. نشان داده شده است که اگر هیچ نقطه‌ای برای وارد کردن در مراحل ۲ و ۳ باقی نمانده باشد، زیرتور بهینه است. با این حال زمانی که تعدادی نقطه برای وارد شدن در مرحله ۳ باقی مانده‌اند، می‌توانند به دو روش یکی‌یکی وارد شوند؛ این امر دو نوع الگوریتم بدنه محدب را ایجاد می‌کند.

الف. بدنه حریص^۱ (GH): هزینه قرار دادن یک نقطه i تصادفاً انتخاب شده بین هر جفت از نقاط زیرتور فعلی تعیین می‌شود. نقطه بین آن جفت نقاطی قرار داده می‌شود که کمترین افزایش هزینه کل را در بردارد. این رویه تا زمانی که همه نقاط در زیرتور لحاظ شوند، ادامه می‌یابد.

ب. بدنه با پرشیب‌ترین فرود^۲ (SDH): حداقل هزینه وارد کردن نقطه برای همه نقاطی که در زیرتور جدید قرار ندارند تعیین می‌شود. سپس نقطه‌ای که کمترین هزینه وارد کردن را در بردارد بین جفت نقطه مربوطه در زیرتور قرار داده می‌شود. اینجا نیز، این رویه تا زمانی که هیچ نقطه دیگری برای وارد شدن باقی نمانده باشد، ادامه می‌یابد.

همچنین از 2-opt، شبیه‌سازی تبرید، الگوریتم ژنتیک و سایر تکنیک‌های چند کاربرده مطالعه شده در فصل‌های ۶ و ۷ نیز برای مسأله برداشت سفارش می‌توان استفاده کرد. روش کاربرد بسیار ساده است. مثلاً، با داشتن یک تور اولیه، الگوریتم 2-opt جای دو نقطه را عوض می‌کند و هزینه مربوط به این تور جدید را محاسبه می‌کند. این کار برای همه جفت‌های ممکن $n(n-1)/2$ - جفت - انجام می‌شود و آنی که کمترین هزینه را دارد جای تور اولیه را می‌گیرد. با شروع از این تور اولیه، همین رویه بررسی $n(n-1)/2$ جابجایی دو طرفه و جایگزینی تور اولیه با تور با هزینه کمتر را ادامه می‌دهیم تا جایی که بهبود تور اولیه دیگر ممکن نباشد. به جای بررسی همه جابجایی‌های ممکن، الگوریتم ابتکاری 2-opt حریص تور اولیه را با اولین تور بهتری که پیش آید، جایگزین می‌کند. معیار توقف مشابه الگوریتم ابتکاری 2-opt است، یعنی فرایند تا زمانی که هیچ جابجایی دو طرفه‌ای منجر به بهبود جواب اولیه نشود، ادامه

می‌یابد. به طریقه مشابه الگوریتم شبیه‌سازی تبرید مطروحه در فصل ۷ نیز می‌تواند به‌ترتیب ذیل برای برداشت سفارش، اصلاح شود:

الگوریتم شبیه‌سازی تبرید برای برداشت سفارش

گام ۰. قرار دهید: S = جواب اولیه، $OFV = z$ ، r = فاکتور خنک‌سازی، T_{in} = دمای اولیه، $T = T_{in}$ و $T_{fin} = 0.1T_{in}$ قرار دهید.

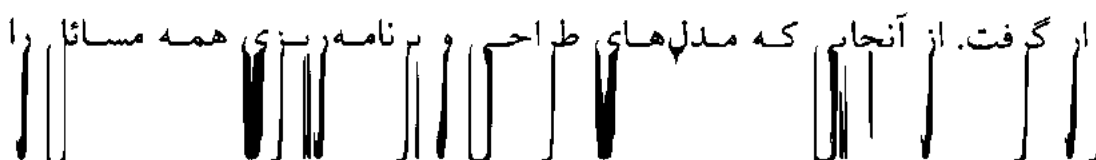
گام ۱. نقاط i و j در S را انتخاب کرده و جای آنها را عوض کنید. اگر جواب S' حاصل دارای OFV باشد که $z' \leq z$ ، قرار دهید $S' = S$ و اگر نه $z' = z$ با احتمال $e^{-\delta/T}$ قرار دهید.

گام ۲. گام ۱ را تا زمانی که تعداد جواب‌های بررسی شده مساوی ۱۶ برابر تعداد همسایگان شود، ادامه دهید.

گام ۳. قرار دهید $T = rT$. اگر $T > T_{fin}$ باشد به گام ۱ برگردید؛ وگرنه S را جواب قرار دهید و متوقف شوید.

خلاصه

این فصل سیستم‌های انبارداری را معرفی کرده و فعالیت‌های مختلف، علاوه بر انبارداری، را که در چنین سیستم‌هایی رخ می‌دهد را مورد بررسی قرار می‌دهد. چندین نوع وسیله ذخیره‌سازی و نیز سیستم‌های S/R به کمک تصاویر معرفی شدند. برخی از مهمترین مسائل مربوط به طراحی انبار نیز مختصراً مورد بحث قرار گرفتند. در موارد لازم، مدل‌های ریاضی نیز برای کمک به فرایند طراحی استفاده گردید. گرچه قصد ما ارائه یک شرح کامل از مدل‌های مورد استفاده در طراحی انبار نبوده، اما برخی از مدل‌های پایه که به خواننده در آغاز فهم برخی مدل‌های پیچیده‌تر موجود در مدل و مقالات کمک می‌کنند، را مطرح کردیم. چندین سیاست ذخیره‌سازی به همراه مدل‌های قابل استفاده با هر یک از این سیاست‌ها، بررسی شد، مسأله غالب در عملیات انبارداری - برداشت سفارش - همراه با سه الگوریتم حل مسأله توالی برداشتن سفارشات، مورد مطالعه قرار گرفت. از آنجایی که مدل‌های طراحی و برنامه‌ریزی همه مسائل را



به صورت هم‌زمان در نظر نمی‌گیرند، جواب‌های به‌دست آمده از طریق این مدل‌ها باید تنها به عنوان محکی برای مقایسه سایر گزینه‌ها استفاده شود.

تمرینات و پرسش‌های دوره‌ای

۱- شرح دهید که چرا انبارها در سازمان‌های تولیدی و خدماتی ضروری محسوب می‌شوند.

۲- ده کارکرد انبار را لیست کرده و شرح دهید.

۳- پروژه: از منابع مرتبط در کتابخانه خود (مانند *Modern Material Handling* و *IE Solutions Material Handling Engineering*) استفاده کرده و طبقه‌بندی تفصیلی‌ای از وسایل ذخیره‌سازی مورد استفاده در انبار تهیه کنید. (توجه: فهرست شما باید از فهرست بخش ۱۲-۳-۱ جزئیات بیشتری داشته باشد). با جزئیات کافی (با استفاده از تصاویر) هر نوع MHD را شرح دهید، مزایا و معایب آن را بیان داشته و حداقل یک نام و آدرس (شماره تلفن و فاکس، پست الکترونیک (e-mail) و آدرس-های اینترنتی) از تولید کننده هر نوع وسیله ذخیره‌سازی را ذکر کنید.

۴- پروژه: تمرین ۳ را برای سه نوع تجهیزات S/R: دستی، نیمه اتوماتیک و اتوماتیک تکرار کنید.

۵- پروژه: از انباری در نزدیکی خود بازدید کنید. مدیر و پرسنل مرتبط را مصاحبه کنید و پنج دلیل برای ساخت انبار و پنج کارکرد مهم انبار را بیابید. سپس نقشه چیدمانی کشیده و وسایل ذخیره‌سازی، سیستم S/R، ورودی، خروجی و سایر تجهیزات پشتیبانی انبار را نشان دهید. عملیات انبار را تحلیل کرده و نقاط قوت و ضعف عملیات و طراحی انبار را شناسایی کنید. گزارش تفصیلی‌ای در مورد این مسائل تهیه کنید و یافته‌های خود را برای کلاس ارائه نمایید.

- ۶- فاکتورهایی که اندازه و شکل انبار را تعیین می‌کنند را فهرست کرده و شرح دهید.
- ۷- مسائل طراحی مختلفی را که در طراحی انبار پیش می‌آیند، فهرست کرده و شرح دهید.
- ۸- فاکتورهایی که تصمیم‌گیری در مورد مکان انبار را تحت تأثیر قرار می‌دهند را مورد بحث قرار دهید.
- ۹- فاکتورهایی که چیدمان و مکان سکوها در یک انبار را تحت تأثیر قرار می‌دهند را مورد بحث قرار دهید.
- ۱۰- نشان دهید که مقادیر ضرایب a و b برای انبار شکل ۱۲-۲۳ به ترتیب $1/9$ و $1/11$ است.
- ۱۱- نشان دهید که تابع حداقل سازی بدون محدودیت بخش ۱۲-۵-۴ محدب است. (راهنمایی: می‌توانید از حساب دیفرانسیل برای اثبات این حقیقت استفاده کنید یا محدب بودن شکل تابع را با رسم نمودار تابع برای مقادیر مختلف λ بر روی یک صفحه گسترده تأیید کنید).
- ۱۲- فرض کنید در مدل ۱، $a=b$ باشد. نشان دهید که انبار مربع است.
- ۱۳- فرض کنید در مدل ۱، $a=2b$ باشد. ابعاد انبار را تعیین کنید.
- ۱۴- با فرض آنکه نقطه‌ای که سفرها از آن آغاز می‌شوند در وسط قسمت بیرونی یکی از اضلاع افقی انبار شکل ۱۲-۲۳ باشد، ابعاد انبار را برحسب a, z, n و b تعیین کنید.

۱۵- با فرض آنکه نقطه‌ای که سفرها از آن آغاز می‌شوند در وسط قسمت بیرونی یکی از اضلاع عمودی انبار و شکل ۱۲-۲۳ باشد، ابعاد انبار را برحسب a, z, n و b تعیین کنید.

۱۶- فرض کنید در تمرین ۱۴، $a=b$ باشد. ابعاد انبار را تعیین کنید.

۱۷- فرض کنید در تمرین ۱۴، $a=2b$ باشد. ابعاد انبار را تعیین کنید.

۱۸- فرض کنید در تمرین ۱۵، $a=b$ باشد. ابعاد انبار را تعیین کنید.

۱۹- فرض کنید در تمرین ۱۵، $a=2b$ باشد. ابعاد انبار را تعیین کنید.

۲۰- متوسط مسافت سفر شده را برای سه حالت شرح داده شده در مثال ۱ تعیین کنید. درستی این امر را ابعاد ساختمان برای حالت چهار سطحه و پنج سطحه به‌ترتیب 20×25 واحد و 18×23 واحد است را بیازمایید.

۲۱- فرض کنید در مثال ۱، $a=b=0.5$ باشد. ابعاد انبار و متوسط مسافت سفر شده را تعیین کنید.

۲۲- فرض کنید در مثال ۱، $a=2b=0.5$ باشد. ابعاد انبار و متوسط مسافت سفر شده را تعیین کنید.

۲۳- با فرض آنکه نقطه‌ای که سفرها از آن آغاز می‌شوند، در وسط قسمت بیرونی یکی از اضلاع عمودی انبار (شکل ۱۲-۲۶) باشد ابعاد انبار و متوسط مسافت سفر شده را بیابید.

۲۴- فرض کنید در تمرین ۲۳، $a=b$ باشد. ابعاد انبار و متوسط مسافت سفر شده را تعیین کنید.

۲۵- فرض کنید در تمرین ۲۳، $a=2b=0.5$ باشد. ابعاد انبار و متوسط مسافت سفر شده را تعیین کنید.

۲۶- ابعاد یک انبار مستطیل شکل باید تعیین شود. انبار باید تعداد حداقل ۱۵۰۰ فضای ذخیره‌سازی با حجم ۱ فوت مکعب را در خود جای دهد. فضاهای ذخیره‌سازی برای نگهداری پالت‌هایی با ابعاد $0.9 \times 0.9 \times 0.9$ فوت استفاده می‌شوند. با فرض آنکه ضرایب فضای انبار عمودی واقعی a و b به ترتیب ۳ و ۲ باشد و مکان نقطه I/O در میانه دیوار شرقی باشد، ابعاد انبار را تحت شرایط ذیل تعیین کنید:

الف. سه سطح پشته

ب. چهار سطح پشته

ج. پنج سطح پشته

۲۷- تمرین ۲۶ را با فرض $a=2$ و $b=1$ تکرار کنید.

۲۸- قسمت شمال شرقی یک انبار برای پشته‌سازی بلاکی^۱ (از پالت‌هایی که محتوی اقلام دارای گردش بالا هستند) کنار گذاشته شده است، چرا که به محوطه ارسال و دریافت نزدیک است. پالت‌ها در اندازه دسته‌های ۸۰ پالتی می‌آیند و عرض راهروها ۱۰٫۷ پالت بوده و سطح پشته‌سازی چهار پالت است.

الف. یک عمق خط^۲ نزدیک بهینه با استفاده از فرمول (Kind 1975)، مطرح شده در بخش ۱۲-۵-۵ به دست آورید.

ب. یک عمق خط نزدیک بهینه با استفاده از شمارش کامل به دست آورید. (راهنمای: حداکثر تا ده عمق خط را مورد شمارش قرار دهید چرا که در این

انبار خاص بیش از ده عدد غیر عملی است. یک صفحه گسترده برای این منظور کمک محسوب می‌شود). آیا جواب شما با جواب قسمت الف همخوانی دارد؟ توضیح دهید.

۲۹- پنج عیب و حسن سیاست‌های ذخیره‌سازی تصادفی و تخصیص‌یافته را مورد بحث قرار دهید. شرح دهید که تحت چه شرایطی ممکن است هر یک را به دیگری ترجیح دهیم.

۳۰- انباری مربوط به پنج قلم کالای مصرفی با گردش بالا برنامه‌ریزی شده است که مقادیر نشان داده شده در جدول ۱-۱۲ را در ۱۲ دوره بعدی دریافت دارد. مدیر انبار علاقمند به نگهداری مقداری ذخیره ایمنی برای هر محصول در هر دوره به میزان ۱۰٪ مقدار دریافتی برنامه‌ریزی شده آن محصول برای دوره بعد، است. کل فضاهای ذخیره سازی لازم تحت سیاست‌های تخصیص‌یافته و تصادفی را به دست آورید. کدام سیاست به فضاهای ذخیره‌سازی کمتری نیاز دارد؟ چرا؟

۳۱- چه شباهت‌هایی بین سیاست‌های ذخیره‌سازی تخصیص‌یافته و کلاس‌بندی شده وجود دارد؟ چه تفاوت‌هایی وجود دارد؟ شرح دهید.

۳۲- شرح دهید که چرا حتی وقتی محدودیت عدد صحیح $\{0, 1\}$ را در مورد متغیرهای x_{ij} در نظر نمی‌گیریم، جواب مدل ۲ همیشه عدد صحیح خواهد بود.

۳۳- چیدمان انبار نشان داده شده در شکل ۱۲-۴۰ را در نظر بگیرید. شش قلم از طریق چهار نقطه I/O واقع در چهار گوشه ساختمان به انبار وارد شده و از آن خارج می‌شوند. فرکانس سفرهای هر قلم - ترکیب نقطه I/O و تعداد فضاهای ذخیره‌سازی لازم برای هر یک از شش قلم در شکل ۱۲-۴ آمده است. همچنین در داخل پرانتزها هزینه‌های جابجایی یک واحد بار قلم i به اندازه واحد مساحت از نقطه I/O k آمده است. فاصله فضای ذخیره‌سازی z از نقطه I/O k در شکل ۱۲-۴۲ لیست شده است.

تعیین کنید که چگونه شش قلم به ۳۰ فضای ذخیره سازی تخصیص یابند تا هزینه سفر بین نقاط I/O و فضاهای ذخیره سازی حداقل شود.

جدول ۱-۱۲. برنامه زمان بندی دریافت ۵ محصول در ۱۲ دوره

محصول					دوره
E	D	C	B	A	
۹۷	۲۲	۶۶	۱۲	۲۰	۱
۱۲	۲۲	۱۵	۸	۱۵	۲
۸۸	۲۵	۱۶	۴	۳۰	۳
۶۶	۲۱	۱۷	۶	۱۲	۴
۷۹	۱۸	۱۸	۷	۱۴	۵
۵۵	۱۴	۱۹	۱	۶۰	۶
۹	۲۳	۱۵	۱۲	۱۷	۷
۲۵	۳۶	۱۶	۴۰	۲۰	۸
۹۶	۳۰	۱۷	۱۳	۲۱	۹
۹۰	۲۲	۱۸	۱۲	۲۲	۱۰
۹۰	۸۹	۱۹	۱۲	۲۳	۱۱
۸۸	۲۲	۱۵	۱۲	۲۳	۱۲

۳۴- تمرین ۳۳ را در نظر بگیرید. داده های مربوط به c_{ik} و f_{ik} را در نظر نگرفته و فرضیات ذیل را انجام دهید.

الف. شش قلم کالا از چهار نقطه I/O به نسبت مساوی استفاده می کنند.

ب. تعداد کل پالت های هر قلم که در هر دوره زمانی جابجا می شود به ترتیب برابر ۱۵۰، ۸۰، ۱۲۰، ۱۰۰، ۲۰۰ و ۹۰ عدد است.

ج. هزینه جابجایی یک بار هر قلم به اندازه واحد مسافت ۱ دلار است.

تخصیص بهینه اقلام به فضاهای ذخیره سازی را با تدوین مدل ۳ و حمل آن با استفاده از LINDO یا هر نرم افزار برنامه ریزی خطی^۱ (LP) در دسترس دیگری، تعیین کنید.

۱	۲	۳	۴	۵	۶
۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲
۱۳	۱۴	۱۵	۱۶	۱۷	۱۸
۱۹	۲۰	۲۱	۲۲	۲۳	۲۴
۲۵	۲۶	۲۷	۲۸	۲۹	۳۰

شکل ۱۲-۴۰. چیدمان یک انبار با ۳۰ فضای ذخیره‌سازی

	1	2	3	1	S_i
1	200 (6)	125 (8)	300 (9)	66 (6)	5
2	100 (6)	200 (8)	150 (6)	100 (10)	5
3	150 (6)	150 (6)	125 (12)	250 (7)	4
4	150 (12)	230 (6)	60 (7)	30 (4)	4
5	96 (4)	15 (7)	40 (12)	85 (9)	4
6	175 (15)	135 (8)	85 (10)	90 (12)	8

شکل ۱۲-۴۱. مقادیر f_{ik} و c_{ik} برای ۶ قلم کالا و چهار نقطه I/O و مقادیر S_i برای ۶ قلم کالا

۳۵- تمرین ۳۴ را با استفاده از الگوریتم شرح داده شده در مثال ۳ حل کنید. آیا جواب مشابه جواب تمرین ۳۴ است؟

۳۶- یک مدل تخصیص عمومی برای مثال ۲ ساخته و آن را با استفاده از LINDO یا الگوریتم حمل و نقل حل کنید. ببینید که آیا جوابی که به دست می‌آورید مشابه جواب مثال ۲ است یا نه.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
1	5	6	7	8	9	10	4	5	6	7	8	8	3	4	5	6	7	8	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	5	6
2	1	2	3	4	5	6	2	3	4	5	6	7	3	4	5	6	7	8	4	5	6	7	8	9	5	6	7	8	9	10
3	6	5	4	3	2	1	7	6	5	4	3	2	8	7	6	5	4	3	9	8	7	6	5	4	10	9	8	7	6	5
4	10	9	8	7	6	5	9	8	7	6	5	4	8	7	6	5	4	3	7	6	5	4	3	2	6	5	4	3	2	1

||
[d_{ij}]

شکل ۱۲-۴۲. مقادیر d_{ij} برای چهار نقطه ورودی/خروجی و ۳۰ فضای انبارش

۳۷- چیدمان فضاهای ذخیره‌سازی را برای ۱۵۶ فضای ذخیره‌سازی در یک انبار مستطیلی با ابعاد 200×100 فوت تعیین کنید. از سیاست ذخیره‌سازی تصادفی استفاده کرده و کل مسافت سفر شده را حداقل کنید. هر فضای ذخیره‌سازی 10×10 فوت مربع است و نقطه I/O در وسط دیوار غربی واقع شده است.

۳۸- تمرین ۳۷ را با فرض آنکه ابعاد انبار 300×300 فوت باشد تکرار کنید. آیا جوابی که به دست می‌آورید با جواب تمرین ۳۷ متفاوت است؟ چرا؟

۳۹- با فرض آنکه دو نقطه I/O به ترتیب در گوشه‌های پایین سمت چپ و بالای سمت راست انباری به ابعاد 100×300 فوت واقع هستند و معیار فاصله اقلیدس است، عبارت متوسط مسافت سفر شده را تشکیل داده و حل کنید.

۴۰- با فرض آنکه یک نقطه I/O در گوشه پایین سمت چپ انباری به ابعاد $X \times Y$ فوت قرار دارد، اقلام به صورت تصادفی قرار داده می‌شوند، ذخیره‌سازی و بازیابی به وسیله ماشینی که می‌تواند در جهت x و y با سرعت‌های به ترتیب v و h به‌طور مستقل حرکت کند و $X \geq Yh/v$ عبارت متوسط مسافت سفر شده را تشکیل داده و حل کنید.

۴۱- تمرین ۴۰ را با فرض وجود یک چرخه دو فرمانه تکرار کنید.

۴۲- مسائل عملیاتی که در یک انبار پیش می‌آید را فهرست کرده و شرح دهید.

۴۳- تفاوت بین برداشت سفارش و برداشت منطقه‌ای را بیان کنید، مزایا و معایب هر یک چیست؟ شرح دهید که تحت چه شرایطی هر یک ممکن است استفاده شود.

۴۴- یک سفارش انبار خاص دارای شش قلم برداشتنی است. مختصات نقطه I/O و شش مکان ذخیره‌سازی $(10, 10)$ ، $(15, 15)$ ، $(19, 20)$ ، $(12, 20)$ ، $(10, 17)$ ، $(17, 14)$ و

و (13, 19) است. با فرض آنکه ماشین S/R سرعت‌های افقی و عمودی به ترتیب ۲۰ و ۱۰ واحد در ثانیه را دارد، مدل ریاضی‌ای برای تعیین توالی برداشت بهینه تدوین کنید. مدل را با استفاده از LINDO یا هر نرم‌افزار برنامه‌ریزی عدد صحیح در دسترس دیگری حل کنید.

۴۵- مسأله توالی برداشت سفارش شرح داده شده در تمرین ۴۴ را با استفاده از هر نوع الگوریتم بدنه محدب گفته شده در بخش ۱۲-۶-۲ حل کنید. آیا جواب به‌دست آمده با جواب تمرین ۴۴ متفاوت است؟ کدام جواب بهینه است؟ توضیح دهید.

۴۶- مسأله توالی برداشت سفارش شرح داده شده در تمرین ۴۴ را با استفاده از هر دو نوع الگوریتم 2-opt: 2-opt حریص و 2-opt پرشیب‌ترین فرود حل کنید. آیا جوابی که به‌دست می‌آورید با جواب تمرین ۴۴ متفاوت است؟ کدام جواب بهینه است؟ توضیح دهید.

۴۷- مسأله توالی برداشت سفارش شرح داده شده در تمرین ۴۴ را با استفاده از الگوریتم شبیه‌سازی تبرید حل کنید. آیا جواب به‌دست آمده با جواب تمرین ۴۴ متفاوت است؟ کدام جواب بهینه است؟ توضیح دهید.

۴۸- مزایا و معایب هر رویه را شرح دهید:

الف. حل مدل TTSP با استفاده از الگوریتم برنامه‌ریزی عدد صحیح مناسب
ب. حل مدل TTSP با استفاده از الگوریتم‌های بدنه محدب، 2-opt یا شبیه‌سازی تبرید

۴۹- پروژه: منابع مرتبط در کتابخانه خود را مورد مطالعه قرار داده و نگاهی به ۱۵ الگوریتم استفاده شده برای حل TSP و TTSP داشته باشید. حداقل دو تا از این الگوریتم‌ها باید بهینه باشند. مزایا و معایب هر یک را مورد بحث قرار دهید. کدلهای کامپیوتری برای ۱۰ الگوریتم ابتکاری حل TSP و TTSP را نوشته و عملکرد آنها را با

استفاده از مسائل نمونه موجود در کتب و مقالات (مانند: Bozer, Schorn, and Sharp 1990، Heragu, Mazacioglu, and Fuerst (1994) تست و مقایسه کرده و نقاط مثبت هر یک را سه مورد بحث قرار دهید.

References:

- Adil, G. K., D. Rajamani, and D. Strong. 1996. Assignment allocation and simulated annealing algorithms for cell formation, to appear in *IIE Transactions*.
- Adrabinski, A., and M. M. Syslo. 1983. Computational experiments with some heuristic algorithms for the traveling salesman problem. Technical Report No. 78, Wroclaw University, Wroclaw, Poland.
- Akl, S. G., and G. T. Toussaint. 1978. A fast convex hull algorithm. *Information Processing Letters* 7:219-222.
- Allison, D. C. S., and M. T. Noga. 1984. The rectilinear traveling salesman problem. *Information Processing Letters* 18:195-199.
- American Machinist*. 1993. Technology trends: Concepts for work and toolholding. *American Machinist* 137:10.
- Apple, J. M. 1977. *Plant layout and material handling*. 3d ed. New York: Wiley.
- Armour, G. C., and E. S. Buffa. 1963. A heuristic algorithm and simulation approach to relative allocation of facilities. *Management Science* 9, no. 2:294-300.
- Ashayeri, J., and L. F. Gelders. 1985. Warehouse design optimization. *European Journal of Operational Research* 21:285-294.
- Askin, R. G., and C. R. Standridge. 1993. *Modeling and analysis of manufacturing systems*. New York: Wiley.
- Avriel, M. 1976. *Nonlinear programming: Analysis and methods*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall.

- Ballou, R. H. 1988. *Business logistics management*. 3d ed. Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall.
- Banks, J., J. S. Carlson II, and B. L. Nelson. 1996. *Discrete-event simulation*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall.
- Banks, J., B. Burnette, J. D. Rose, and H. Kozloski. 1995. *Introduction to SIMAN V and CINEMA V*. New York: Wiley.
- Barnes, J. W., and M. Laguna. 1990. Scheduling on parallel processors with linear delay penalties using tabu search. Technical report, The University of Texas at Austin, Austin, Texas.
- Bazaraa, M. S. 1975. Computerized layout design: A branch and bound approach. *AIIE Transactions* 7, no. 4:432-437.
- Bazaraa, M. S., and O. Kirca.) 983. A branch-and-bound-based heuristic for solving the QAP. *Naval Research Logistics Quarterly* 30:287-304.
- Bazaraa, M. S., and H. D. Sherali. 1980. Benders' partitioning scheme applied to a new formulation of the quadratic assignment problem. *Naval Research Logistics Quarterly* 27, no. 1:2941.
- Bazaraa, M. S., and C. Shetty. 1993. *Nonlinear programming: Theory and algorithms*. New York: Wiley.
- Beghin-Picavet, M., and P. Hansen. 1982. Deux problèmes d'affectation non lineaires. *R.A.I.R.O. Recherche Operationelle* 16, no. 3:263-276.
- Behnezhad, A. R., and B. Khoshnevis. 1988. The effects of manufacturing progress function on machine requirements and aggregate planning. *International Journal of Production Research* 26:309-326.
- Benders, J. F. 1962. Partitioning procedures for solving mixed-variables programming problems. *Numerische Mathematik* 4:238-252.
- Black, J. T. 1983. Cellular manufacturing systems reduce setup time, make

- small lot production economical. *Industrial Engineering*, November, pp. 36-48.
- Bozer, Y. A., and M. M. Srinivasan. 1989. Tandem configurations for AGV systems offer simplicity and flexibility. *Industrial Engineering* 21, no. 2:23-27.
- Bozer, Y. A., and J. A. White. 1990. Design and performance models for end-of-aisle order picking systems. *Management Science* 26, no. 7:852-866.
- Bozer, Y. A., R. D. Meller, and S. J. Erlebacher. 1994. An improvement-type layout algorithm for single and multiple floor facilities. *Management Science* 40, no. 7:918-932.
- Bozer, Y. A., E. C. Schorn, and G. P. Sharp. 1990. Geometric approaches to solve the Chebyshev traveling salesman problem. *IIE Transactions* 22, no. 3:238-254.
- Brooke, A., D. Kendrick, and A. Meeraus. 1988. *GAMS: A user's guide*. Redwood City, CA: Scientific Press.
- Brown, P. A., and D. F. Gibson. 1972. A quantified model for facility site selection applied to a multipoint location problem. *AIIE Transactions* 4, March: 1-10.
- Buffa, E. S. 1955. Sequence analysis for functional layouts. *Journal of Industrial Engineering* 6:12-13,25.
- Buffa, E. S., and R. K. Sarin. 1987. *Modern production and operations management*. 8th ed. New York: Wiley.
- Buffa, E. S., G. C. Armour, and T. E. Vollmann. 1964. Allocating facilities with CRAFT. *Harvard Business Review* 42: 136-158.
- Bunday, B. D., and R. E. Scraton. 1980. The G/M/r machine interference

- model. *European Journal of Operational Research* 4:399-402.
- Burbidge, J. L. 1963. Production flow analysis. *The Production Engineer* 42, no. 12:742.
- , 1992. Change to group technology: Process organization is obsolete. *International Journal of Production Research* 30, no. 5: 1209-1219.
- Burkard, R. E. 1984. Locations with spatial interaction-Quadratic assignment problem. In *Discrete location theory*, edited by R. L. Francis and P. B. Mirchandani. New York: Academic.
- Burkard, R. E., and K. H. Stratman. 1978. Numerical investigations on quadratic assignment problems. *Naval Research Logistics Quarterly* 25: 129-144.
- Burke, P. J. 1956. The output of queuing systems. *Operations Research* 4:699-704.
- Buzacott, J. A., and D. D. Yao. 1986a. Flexible manufacturing systems: A review of analytical models. *Management Science* 32, no. 7:890-905.
- , 1986b. On queuing network models of flexible manufacturing systems. *Queuing Systems* 1:5-27.
- Carrie, A. S. 1973. Numerical taxonomy applied to group technology and plant layout. *International Journal of Production Research* 11, no. 4:399-416.
- Chandrasekharan, M. P., and R. Rajagopalan. 1986. MODROC: An extension of rank order clustering for group technology. *International Journal of Production Research* 24, no. 5:1221-1233.
- Chang, Y. L., and R. S. Sullivan. 1991. *Quant Systems Version 2.0*. Englewood Cliffs, NJ; Prentice Hall.
- Chang, T. C., R. A. Wysk, and H. P. Wang. 1991. *Computer-aided*

- manufacturing*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall.
- Chen, J. 1995. Cellular manufacturing systems design: Optimal solution of large scale real world problems. Unpublished Ph.D. dissertation, Rensselaer Polytechnic Institute, Troy, New York.
- Cinar, U. 1975. Facilities planning: A systems analysis and space allocation approach. In *Spatial synthesis in computer-aided building design*, edited by C. M. Eastman. New York: Wiley.
- Collins, N. E., R. W Eglese, and B. L. Golden. 1988. Simulated annealing: An annotated bibliography. Report #88-019, College of Business and Management, University of Maryland, College Park, Maryland.
- Conway, R. W, and W. L. Maxwell. 1961a. A note on the assignment of facility location. *Journal of Industrial Engineering* 12:34-36.
- , 1961b. A queuing model with state dependent service rate. *Journal of Industrial Engineering* 12: 132-136.
- Currie, K. R. 1992. An intelligent grouping algorithm for cellular manufacturing. *Proceedings of the 14th Annual Computers and Industrial Engineering Conference*, Orlando, Florida, March 9-11.
- Das, C. S., and S. S. Heragu. 1988. A transportation approach to locating plants in relation to potential markets and raw material sources. *Decision Sciences* 19, no. 4:819-829.
- Davis, L. 1991. Handbook of genetic algorithms. New York: Van Nostrand Reinhold.
- Dilworth, J. B. 1989. *Production and operations management: Manufacturing and non-manufacturing*. New York: Random House.
- Disney, R. L. 1981. Queuing networks. *Proceedings of the Symposia in Applied Mathematics* 25:53-83.

- Donaghey, C. E., and V. F. Pire. 1991. *BLOCPLAN-90, user's manual*. Houston, TX: Industrial Engineering Department, University of Houston.
- Dutta, K. N., and S. Sahu. 1982. A multi-goal heuristic for facilities design problem: MUGHAL. *International Journal of Production Research* 20, no. 2: 147-154.
- Emmons, H., A. D. Flowers, C. M. Khot, and K. Mathur. 1992. *STORM: Personal Version 3.0: Quantitative modeling for decision support*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall.
- Feller, W 1957. *An introduction to probability theory and its applications*. New York: Wiley.
- Fisher, E. L., and S. Y. Nof. 1984. FADES: Knowledge-based facility design. *Proceedings of the 1984 Annual Industrial Engineering Conference*, Chicago, May, pp. 74-82.
- Foulds, L. R. 1983. Techniques for facility layout: Deciding which pairs of activities should be adjacent. *Management Science* 29: 1414-1426.
- Foulds, L. R., and J. W. Giffin. 1984. A graph theoretic heuristic for multi-floor building layout. *Proceedings of the IIE Conference*, pp. 202-205.
- Francis, R. L. 1967. Sufficient conditions for some optimum-property facility designs. *Operations Research* 15, no. 3:448-466.
- Francis, R. L., and J. A. White. 1974. *Facility layout and location: An analytical approach..* Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall.
- Francis, R. L., L. F. McGinnis, and J. A. White. 1992. *Facility layout and location: An analytical approach*. 2d ed. Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall.
- Fujine, M., T. Kaneko, and J. Okijima. 1993. Aluminum composites replace cast iron. *Advanced Materials and Processes* 144, no. 6:20.
- Garey, M. R., and D. S. Johnson. 1979. *Computers and intractability: A*

- guide to the theory of NP-completeness*. New York: W. H. Freeman.
- Gavett, J. W., and N. V. Plyter. 1966. The optimal assignment of facilities to locations by branch and bound. *Operations Research* 14:210-232.
- Geoffrion, A. M., and G. W. Graves. 1974. Multicommodity distribution system design by Benders decomposition. *Management Science* 20, no. 5:822-844.
- Gilmore, P. C. 1962. Optimal and suboptimal algorithms for the quadratic assignment problem. *Journal of the Society for Industrial and Applied Mathematics* 10:305-313.
- Glover, F. 1989. Tabu search, part I. *ORSA Journal on Computing* 1, no. 3:190-206 .
- , 1990. Tabu search, part II. *ORSA Journal on Computing* 2, no. 1 :4-32.
- Goetschalchx, M. P. 1983. Storage and retrieval policies for efficient order picking. Ph.D. diss., Georgia Institute of Technology, Atlanta.
- Goetschalchx, M. P., and H. D. Ratliff. 1988. Sequencing picking operations in a man-aboard order picking system. *Material Flow* 4:255-263.
- , 1990. Shared storage policies based on the duration of stay. *Management Science* 36, no. 9:1120-1132.
- Goldberg, D. 1989. *Genetic algorithms in search, optimization, and machine learning*. Reading, MA: Addison-Wesley.
- Golden, B., L. Bodin, T. Doyle, and W. Stewart Jr. 1980. Approximate traveling salesman algorithms. *Operations Research* 28, no. 3:694-711.
- Gongaware, T. A., and I. Ham. 1981. Cluster analysis application for group technology manufacturing systems. *Proceedings of the Ninth American Metal Working Research Conference*, Dearborn, Michigan, pp. 503-

508.

- Gray, A. E., U. S. Karmarkar, and A. Seidmann. 1992. Design and operation of an order- consolidation warehouse: Models and application. *European Journal of Operational Research*, 58:14-36.
- Groover, M. P. 1996. *Fundamentals of modern manufacturing: Materials, processes and systems*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall.
- Groover, M. P., and E. W. Zimmers Jr. 1984. *CAD/CAM: Computer aided design and manufacturing*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall.
- Gross, D., and C. M. Harris. 1985. *Fundamentals of queuing theory*. New York: Wiley.
- Ham, I., K. Hitomi, and T. Yoshida. 1985. *Group technology*. Boston: Kluwer-Nijhoff Publishing Co.
- Hassan, M. M. D., G. L. Hogg, and D. R. Smith. 1985. A construction algorithm for the selection and assignment of material handling equipment. *International Journal of Production Research* 23, no. 2:381-392.
- Hax, A. C., and D. Candea. 1984. *Production and inventory management*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall.
- Heragu, S. S. 1990. Modeling the machine layout problem. *Proceedings of the 12th Computers and Industrial Engineering Conference*, Orlando, Florida, 19, no. 1-4:294-298.
- , 1992. Recent models and techniques for the layout problem. *European Journal of Operational Research* 57, no. 2:136-144.
- , 1994. Group technology and cellular manufacturing. *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics* 24, no. 2:203-215.
- Heragu, S. S., and A. S. Alfa. 1992. Experimental analysis of simulated annealing based algorithms for the facility layout problem. *European Journal of Operational Research* 57, no. 2: 190-202.

- Heragu, S. S., and C. S. Das. 1994. Exact solution of the material handling equipment selection and assignment problems. DSES Technical Report No. 37-94--406, Rensselaer Polytechnic Institute, Troy, New York.
- Heragu, S. S., and Y. P. Gupta. 1994. A heuristic for designing cellular manufacturing facilities. *International Journal of Production Research* 32, no. 1: 125-140.
- Heragu, S. S., and S. R. Kakuturi. 1997. Grouping and placement of machine cells. *IIE Transactions*, to be published.
- Heragu, S. S., and J. S. Kochhar. 1994. Material handling issues in adaptive manufacturing systems. In *The Materials Handling Engineering Division 75th anniversary commemorative volume*, edited by E. M. Malstrom and I. W. Pence Jr. Paper presented at the 1994 International Mechanical Engineering Congress and Exposition, American Society of Mechanical Engineers, pp. 9-13.
- Heragu, S. S., and A. Kusiak. 1987. Analysis of expert systems in manufacturing design. *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics*, SMC-17, no. 6:898-912.
- , 1988. Machine layout problems in flexible manufacturing systems. *Operations Research* 36, no. 2:258-268 .
- , 1991. Efficient models for the facility layout problem. *European Journal of Operational Research* 53, no. 1 :1-13.
- Heragu, S. S., and C. M. Lucarelli. 1996. Automated manufacturing system design using analytical techniques. In J. D. Irwin (ed.), *The industrial electronics handbook: A volume of the electrical engineering handbook series*. Boca Raton, FL: CRC Press, Inc.
- Heragu, S. S., and S. Rajagopalan. 1996. A literature survey of the AGV flowpath design problem. DSES Technical Report No. 37-96-406, Rensselaer Polytechnic Institute, Troy, New York.

- Heragu, S. S., B. Mazacioglu, and K. D. Fuerst. 1994. Meta-heuristic algorithms for the order picking problem. *International Journal of Industrial Engineering* 1, no. 1:67-76.
- Heskett, J. L. 1964. Putting the COI to work in warehouse layout. *Transportation and Distribution Management* 4:23-30.
- Hicks, P. E., and T. E. Cowan. 1976. CRAFT-M for layout rearrangement. *Industrial Engineering*, May, pp. 30-35.
- Hillier, F. S., and G. J. Lieberman. 1995. *Introduction to operations research*. 6th ed. New York: McGraw-Hill.
- Hillier, F. S., R. W. Conway, and W. L. Maxwell. 1964. A multiple server queuing model with state dependent service rate. *Journal of Industrial Engineering* 15: 153-157.
- Hillier, F. S., O. S. Yu, D. Avis, L. Fossett, F. Lo, and M. Reiman. 1981. *Queuing tables and graphs*. New York: Elsevier.
- Ho, Y. C. 1987. Performance evaluation and perturbation analysis of discrete event dynamic systems. *IEEE Transactions on Automatic Control*, AC-32, no. 7:563-572.
- Holland, J. 1975. *Adaptation in natural and artificial systems*. Ann Arbor, MI: The University of Michigan Press.
- Hodgson, T. J. 1982. A combined approach to the pallet loading problem. *IIE Transactions* 14, no. 3:175-182.
- Hodgson, T. J., and T. J. Lowe. 1982. Production lot sizing with material-handling cost considerations. *AIIE Transactions* 14, no. 1:44-51.
- Houshyar, A., and L. F. McGinnis. 1990. A heuristic for assigning facilities to locations to minimize WIP travel distance in a linear facility. *International Journal of Production Research* 28, no. 8:1485-1498.
- IE Solutions. 1996a. Buyer's guide: Lift trucks and AGVs. *IE*

- Solutions* 28, no. 4:44-49.
- , 1996b. Buyer's guide: Simulation software. *IE Solutions* 28, no. 5:54-63.
- Iri, M. 1968. On the synthesis of loop and cutset matrices and related problems. In *RAAG Memoirs*, edited by K. Kondo, Research Association of Applied Geometry, Japan, pp. 376-410.
- Jackson, J. R. 1957. Networks of waiting lines. *Operations Research* 5:518-527.
- , 1963. Jobshop-like queuing systems. *Management Science* 10:131-142.
- Jaikumar, R. 1984. Flexible manufacturing systems: A managerial perspective. Working paper, Harvard Business School, Boston.
- Jaiswal, N. K. 1968. *Priority queues*. New York: Academic.
- Johnson, D. S., C. R. Aragon, L. A. McGeoch, and C. Schevon. 1989. Optimization by simulated annealing: An experimental evaluation. Part I, graph partitioning. *Operations Research* 37, no. 6:865-892.
- Johnson, M. E., and M. L. Brandeau. 1992. Stochastic modeling for automated material handling system design and control. Working paper, Owen Graduate School of Management, Vanderbilt University, Nashville, Tennessee.
- Johnson, R. V. 1982. SPACECRAFT for multi-floor layout planning. *Management Science* 28, no. 4:407-17.
- Kamath, M., S. Sivaramakrishnan, and G. M. Shirhatti. 1995. RAQS: A software package to support instruction and research in queuing systems. *Proceedings of the 4th Industrial Engineering Research Conference*, May 1995, Nashville, Tennessee.
- Kendall, D. G. 1953. Stochastic processes occurring in the theory of queues

- and their analysis by the method of Markov chains. *Annals of Mathematical Statistics* 24:338-354.
- Khumawala, B. M. 1972. An efficient branch and bound algorithm for the warehouse location problem. *Management Science* 18, no. 12:718-731.
- Kind, D. A. 1975. Elements of space management. *Transportation and Distribution Management*, March/April, pp. 29-34.
- King, J. R. 1980. Machine-component grouping in production flow analysis: An approach using a rank order clustering algorithm. *International Journal of Production Research* 18:213-219.
- King, J. R., and V. Nakornchai. 1982. Machine-component group formation in group technology: Review and extension. *International Journal of Production Research* 20, no. 2: 117-133.
- Kleinrock, L. 1975. *Queuing systems, Vol. I: Theory*. New York: Wiley.
- Kochhar, J. S., B. L. Foster, and S. S. Heragu. 1996. Genetic algorithm for the unequal area facility layout problem. DSES Technical Report, Rensselaer Polytechnic Institute, Troy, New York.
- Koenig, J. 1980. Planning and justifying a material distribution center. *Proceedings of the Spring Annual IIE Conference*, Dallas, Texas.
- Koopmans, T. C., and M. Beckmann. 1957. Assignment problems and the location of economic activities. *Econometrica* 25, no. 1:53-76.
- Kouvelis, P., and M. W. Kim. 1992. Unidirectional loop network layout problem in automated manufacturing systems. *Operations Research* 40, no. 3:533-550.
- Kulwiec, R. A. 1985. (Ed.) *Material handling handbook*. New York: Wiley.
- , 1980. *Advanced material handling*. Charlotte, SC: Material Handling Institute.
- Kusiak, A., and W. S. Chow. 1988. Decomposition of manufacturing

- systems. *IEEE Transactions on Robotics and Automation*, RA-4, no. 5:457-471.
- Kusiak, A., and S. S. Heragu. 1987a. The facility layout problem. *European Journal of Operational Research* 29, no. 3:229-251.
- . 1987b. Group technology. *Computers in Industry* 9, no. 2:83-91.
- . 1988. KBSES: A knowledge-based system for equipment selection. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology* 3, no. 3:97-109.
- Kwo, T. T. 1958. A theory of conveyors. *Management Science* 5, no. 1:51-71.
- Lacksonen, T. A. 1994. Static and dynamic layout problems with varying areas. *Journal of Operational Research Society* 45, no. 1:59-69.
- Land, A. H. 1963. A problem of assignment with interrelated costs. *Operations Research Quarterly* 14:185-198.
- Law, A. M., and W. D. Kelton. 1991. *Simulation modeling and analysis*. 2d ed. New York: McGraw-Hill.
- Lawler, E. L. 1963. The quadratic assignment problem. *Management Science* 9:586-599.
- Lawler, E. L., J. K. Lenstra, A. H. G. Rinnooy Kan, and D. B. Shmoys. 1985. *The traveling salesman problem*. New York: Wiley.
- Lee, A. 1966. *Applied queuing theory*. New York: Macmillan.
- Lee, R., and J. M. Moore. 1967. CORELAP-Computerized relationship layout planning. *Journal of Industrial Engineering* 18: 195-200.
- Leung, J. 1992. A graph theoretic heuristic for designing loop-layout manufacturing systems. *European Journal of Operational Research* 57, no. 2:243-252.

- Lin, S., and B. Kernighan. 1973. An effective heuristic algorithm for the traveling salesman problem. *Operations Research* 21, no. 2:498-516.
- Little, L. D. C. 1961. A proof for the queuing formula $L = \lambda.W$ *Operations Research* 9:383-385.
- Love, R. F., and J. Y. Wong. 1976. Solving quadratic assignment problems with rectilinear distances and integer programming. *Naval Research Logistics Quarterly* 23:623-627.
- Love, R. F., J. G. Morris, and G. O. Wesolowsky. 1988. *Facilities location: Models and methods*. New York: North Holland.
- Malek, M., M. Guruswamy, M. Pandya, and H. Owens. 1989. Serial and parallel simulated annealing and tabu search algorithms for the traveling salesman problem. *Annals of Operations Research* 21:59-84.
- Malmborg, C. J., and K. Bhaskaran. 1990. A revised proof of optimality for the cube-per-order index rule for stored item location. *Applied Mathematical Modeling* 40:87-95.
- Malmborg, C. J., and Y. C. Shen. 1994. Heuristic dispatching models for multi-vehicle materials handling systems. *Applied Mathematical Modeling* 18: 124-133.
- Malmborg, C. J., B. Krishnakumar, G. R. Simons, and M. H. Agee. 1989. EXIT: A PC-based expert system for industrial truck selection. *International Journal of Production Research* 27 no. 6:927-941.
- Matson, J. O., and J. A. White. 1982. Operational research and material handling. *European Journal of Operational Research* 11:309-319.
- Maxwell, W. L., and J. A. Muckstadt. 1982. Design of automated guided vehicle systems. *IIE Transactions* 14, no. 2: 114-124.
- Mayer, H. 1960. Introduction to conveyor theory. *Western Electric*

Engineer 4, no. 1 :43-47.

McAuley, J. 1972. Machine grouping for efficient production. *The Production Engineer* 51, no. 2:53-57.

McCormick, W. T., P. J. Schweitzer, and T. W. White. 1972. Problem decomposition and data reorganization by a clustering technique. *Operations Research* 20:992-1009.

Miller, D. M., and R. P. Davis. 1977. The machine requirements problem. *International Journal of Production Research* 15, no. 2:219-231.

-----, 1978. A dynamic resource allocation model for a machine requirements problem. *IIE Transactions* 10, no. 3:237-243.

Miller, D. M., and J. W. Schmidt. 1984. *Industrial engineering and operations research*. New York: Wiley.

Mitrofanov, S. P. 1983. *Group technology in industry*, Vols. 1 and 2. Leningrad: Mashinostroenie (in Russian).

Modern Materials Handling. 1990. AGVs in America: An inside look. *Modern Materials Handling* 45, September: 15-19.

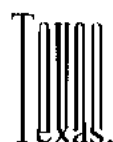
Montreuil, B. 1988. From gross layout to net layout. Working paper, School of Industrial Engineering, Purdue University, West Lafayette, Indiana.

Montreuil, B., and H. D. Ratliff. 1989. Utilizing cut-trees as design skeletons for facilities layout. *IIE Transactions* 21:136-143.

Montreuil, B., and U. Venkatadri. 1991. Strategic and interpolative design of dynamic manufacturing systems layouts. *Management Science* 37:682-694.

Montreuil, B. H., H. D. Ratliff, and M. Goetschalchx. 1987. Matching based interactive facility layout. *IIE Transactions* 19, 3:271-279.

- Moore, J. M. 1971. Computer program evaluates plant layout alternatives. *Industrial Engineering* 3, no. 8: 19-25.
- Murty, K. G. 1983. *Linear programming*. New York: Wiley.
- , 1995. *Operations research: Deterministic optimization models*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall.
- Muth, E. J. 1975. Modeling and systems analysis of multistation closed-loop conveyors. *International Journal of Production Research* 13, no. 6:559-566.
- Muther, R. 1973. *Systematic layout planning*. New York: Van Nostrand Reinhold.
- Nagi, R., G. Harhalakis, and J. M. Proth. 1990. Multiple routings and capacity considerations in group technology applications. *International Journal of Production Research* 28, no. 12:2243-2257.
- Nelson, B. L. 1995. *Stochastic modeling: Analysis and simulation*. New York: McGraw-Hill.
- Nicol, L. M., and R. H. Hollier. 1983. Plant layout in practice. *Material Flow* 1:177-188.
- Noble, J. S., and J. M. A. Tanchoco. 1993. A framework for material handling system design justification. *International Journal of Production Research* 31, 1 :81-106.
- Nugent, C. E., T. E. Vollmann, and J. Ruml. 1968. An experimental comparison of techniques for the assignment of facilities to locations. *Operations Research* 16: 150-173.
- Ogburn, J. E. 1984. Order picking economy: Batch vs. individual. *Proceedings of the International Material Handling Forum*, Houston,



Or, I. 1976. Traveling salesman type combinatorial problems and their

- relation to the logistics of regional blood banking. Ph.D. diss., Department of Industrial Engineering and Management Sciences, Northwestern University, Evanston, Illinois.
- Peck, L. G., and R. N. Hazelwood. 1958. *Finite queuing tables*. New York: Wiley.
- Pegden, C. D., R. E. Shannon, and R. P. Sadowski. 1990. *Introduction to simulation using SIMAN*. New York: McGraw-Hill.
- Picard, J., and M. Queyranne. 1981. On the one-dimensional space allocation problem. *Operations Research* 29, no. 2:371-391.
- Pierce, J. E, and W. B. Crowston. 1971. Tree-search algorithms for quadratic assignment problems. *Naval Research Logistics Quarterly* 18: 1-36.
- Powell, M. J. D. 1964. An efficient method for finding the minimum of a function of several variables without calculating derivatives. *Computer Journal* 7:155-162.
- Press, W. H., B. P. Flannery, S. A. Teukolsky, and W. T. Vetterling. 1986. *Numerical recipes: The art of scientific computing*. New York: Cambridge University Press.
- Pritsker, A. A. B. 1986. *Introduction to simulation and SLAM 11*. New York: Wiley.
- Pritsker, A. A. B., and P. M. Ghare. 1970. Locating new facilities with respect to existing facilities. *AIIE Transactions* 2, no. 4:290-298.
- Rajagopalan, R., and J. L. Batra. 1975. Design of cellular production systems-A graph theoretic approach. *International Journal of Production Research* 13, no. 6:567-579.
- Reed, R. 1961. *Plant layout: Factors, principles, and techniques*. Homewood, IL: Richard D. Irwin.

- , 1973. *Plant location, layout and maintenance*. Homewood, IL: Richard D. Irwin.
- Rosenblatt, M. J. 1979. The facilities layout problem: A multi-goal approach. *International Journal of Production Research* 17:323-332.
- , 1986. The dynamics of plant layout. *Management Science* 32:76-86.
- Ross, S. 1970. *Applied probability models with optimization applications*. San Francisco: Holden-Day.
- Russell, R. S., and B. W. Taylor III. 1995. *Production and operations management: Focusing on quality and competitiveness*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall.
- Sahni, S., and T. Gonzalez. 1976. P-complete approximation problem. *Journal of Associated Computing Machinery* 23, no. 3:555-565.
- Schrage, L. E. 1986. *Linear, integer and quadratic programming with LINDO*. Palo Alto, CA: Scientific Press.
- Seehof, J. M., and W. O. Evans. 1967. Automated layout design program. *Journal of Industrial Engineering* 18, no. 12:690-695.
- Seidmann, A., P. J. Schweitzer, and S. Shalev-Oren. 1987. Computerized closed queuing network models of flexible manufacturing systems: A comparative evaluation. *Large Scale Systems* 12:91-107.
- Seifoddini, H., and P. M. Wolfe. 1986. Application of the similarity coefficient method in group technology. *IIE Transactions* 18:271-277.
- Sepponen, R. 1969. CORELAP 7 user's manual. Working paper, Technical University, Helsinki, Finland.
- Shantikumar, J. G., and J. A. Buzacott. 1981. Open queuing network

- models of dynamic job shops. *International Journal of Production Research* 19:255-256.
- Shubin, J. A., and H. Madeheim. 1951. *Plant layout*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall.
- Simmons, D. M. 1969. One-dimensional space allocation: An ordering algorithm. *Operations Research* 17 :812-826.
- Simon, H. A. 1975. Style in design. In *Spatial synthesis in computer-aided building design*, edited by C. M. Eastman. New York: Wiley.
- Singh, N. 1993. Design of cellular manufacturing systems. *European Journal of Operational Research* 69, no. 3:284-291.
- Sinriech, D. 1995. Network design models for discrete material flow systems: A literature review. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology* 10:277-291.
- Skorin-Kapov, J. 1990. Tabu search applied to the quadratic assignment problem. *ORSA Journal on Computing* 2, no. 1:33-45.
- Sneath, P. H. A., and R. R. Sokal. 1973. *Numerical taxonomy*. San Francisco: W. H. Freeman.
- Solberg, J. J. 1977. A mathematical model of computerized manufacturing systems. *Proceedings of the 4th International Research Conference on Production Research*, Tokyo, pp. 22-30.
- Srinivasan, M. M., Y. A. Bozer, and M. Cho. 1994. Trip-based material handling systems: Throughput capacity analysis. *IIE Transactions* 26, no. 1 :70-89.
- Stecke, K. E., and J. J. Solberg. 1981. Loading and control policies for a flexible manufacturing system. *International Journal of Production Research* 19, no. 5:481-490.
- Stewart, W. Jr. 1977. A computationally efficient heuristic for the traveling salesman problem. *Proceedings of the 13th Annual Meeting of*

- Southeastern TIMS*, pp. 75-83.
- Stidham, S. 1974. A last word on $L = \lambda W$. *Operations Research* 22, no. 2:417-421.
- Sule, D. R. 1991. *Manufacturing facilities: Location, planning and design*. Boston: PWS Kent.
- Suri, R., and S. de Treville. 1992. Rapid modeling: The use of queuing models to support time-based competitive manufacturing. *Proceedings of the German/U.S. Conference on Recent Developments in Operations Research*, pp. 21-30.
- Suri, R., and R. R. Hildebrandt. 1984. Modeling flexible manufacturing systems using mean value analysis. *Journal of Manufacturing Systems* 3:27-38.
- Suri, R., J. L. Sanders, and M. Kamath. 1991. Performance evaluation of production networks. In *Logistics of production and inventory: Handbook in operations research and management science*, Vol. 4, edited by S. C. Graves, A. H. G. Rinnooy Kan, and P. Zipkin. New York: North-Holland.
- Suryanarayanan, J. K., B. L. Golden, and Q. Wang. 1991. A new heuristic for the linear placement problem. *Computers and Operations Research* 18, no. 3:255-262.
- Suskind, P. B. 1989. IEs should play a critical role in office development. *Industrial Engineering* 21, no. 4:53-60.
- Syslo, M. M., N. Deo, and J. S. Kowalik. 1983. *Discrete optimization algorithms with PASCAL programs*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall.
- Taha, H. A. 1992. *Operations research: An introduction*. New York: Macmillan.

- Takacs, L. 1962. *Introduction to the theory of queues*. Oxford, UK: Oxford University Press.
- Tam, K. Y., and S. G. Li. 1991. A hierarchical approach to the facility layout problem. *International Journal of Production Research* 29, no. 1: 165-184.
- Tamashunas, V. M., J. Labban, and D. Sly. 1990. Interactive graphics offer an analysis of plant layout and material handling systems. *Industrial Engineering* 22, no. 6, June, pp. 38--43.
- Tate, D. M., and A. E. Smith. 1995. A genetic approach to the quadratic assignment problem. *Computers and Operations Research* 22, 1:73-83.
- Tompkins, J. A., and J. M. Moore. 1984. *Computer aided layout: A user's guide*. Norcross, GA: AIEE.
- Tompkins, J. A., and R. Reed Jr. 1976. An applied model for the facilities design problem. *International Journal of Production Research* 14, no. 5:583-595.
- Tompkins, J. A., and J. A. White 1984. *Facilities planning*. New York: Wiley.
- Tompkins, J. A., J. A. White, Y. A. Bozer, E. H. Frazelle, J. M. A. Tanchoco, and J. Travino. 1996. *Facilities planning*. 2d ed. New York: Wiley.
- Urban, T. L. 1993. A heuristic for the dynamic facility layout problem. *IIE Transactions* 25:5763.
- Vakharia, A. J., and U. Wemmerlov. 1990. Designing a cellular manufacturing system: A materials flow based operations sequence. *IIE Transactions* 22, no. 1:84-97.
- van Camp, D. J., M. W. Carter, and A. Vannelli. 1992. A nonlinear optimization approach for solving facility layout problems. *European Journal of Operational Research* 57, no. 2: 174-189.

- Viswanadham, N., and Y. Narahari. 1992. *Performance modeling of automated manufacturing systems*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall.
- Webster, D. B., and R. Reed. 1971. A material handling system selection model. *AIIE Transactions* 3, no. 1:13-21.
- Weiszfeld, E. 1936. Sur le point pour lequel la somme des distances de n points donnés est minimum. *Tohoku Mathematics Journal* 43:355-386.
- Wemmerlov, U., and N. L. Hyer. 1989. Cellular manufacturing in the U.S. industry: A survey of users. *International Journal of Production Research* 27, no. 9: 1511 -1530.
- Wimmert, R. J. 1958. A mathematical method for equipment location. *Journal of Industrial Engineering* 9:498-505.
- Winston, W. L. 1994. *Operations research: Applications and algorithms*. Belmont, CA: Duxbury Press.

واژه‌نامه

A

Adjacency metric	فاصله همسایگی
Adjacency relationship	رابطه همسایگی
Adjacency score	امتیاز همسایگی (امتیاز مجاورت)
Aisle distance metric	فاصله راهرویی
Allocation problem	مسئله تخصیص
Analog models	مدل‌های قیاسی
Apple's approach	رویکرد اپل
Area	مساحت/ناحیه
Area Difference Factor	فاکتور تفاوت مساحت
Assembly chart	نمودار مونتاژ
Automated guided vehicle (AGV)	باربر خودکار
Automated storage and retrieval systems (AS/RS)	سیستم‌های ذخیره و بازیابی خودکار
Automatic Search	جستجوی اتوماتیک/ خودکار
Automatic search algorithm	الگوریتم جستجوی اتوماتیک

B

Benders' decomposition algorithm	الگوریتم تجزیه بندرز
Biased sampling technique	تکنیک نمونه‌گیری اریب
Bill of materials	لیست مواد
Block plan	نقشه بلوک
Block stacking	انبارش بلاکی
Bond energy algorithm	الگوریتم انرژی پیوند
Branch and bound algorithm	الگوریتم شاخه و کران
Broach	سوراخ کاری (برقوکاری)

C

Cantilever racks	قفسه‌های بازویی
Cantilever racks	قفسه‌های بازویی
Cellular manufacturing (CM)	تولید سلولی
Cellular manufacturing system (CMS)	سیستم تولید سلولی
Centroid	مرکز ثقل
Class-based storage policy	سیاست ذخیره‌سازی کلاس‌بندی شده
Classification and coding approach	رویکرد دسته‌بندی و کدبندی
Clearance	فضای خالی / فاصله ایمنی
Clonal propagation method	روش ازدیاد کلونی
Closed structure	ساختار بسته
Clustering	خوشه‌بندی
Clustering algorithm	الگوریتم دسته‌بندی
COI (cube per order index) order policy	سیاست سفارش COI
Combinatorial Optimization Problem	مسائل بهینه‌سازی ترکیباتی
Complete assignment	تخصیص کامل
Comprehensive location-allocation model	مدل جامع مکان‌یابی-تخصیص

Computer-aided design	طراحی به کمک کامپیوتر
Construction algorithms	الگوریتم‌های ساخت
Continuous space location problem	مسئله مکان‌یابی فضا پیوسته
Contouring robots	روبات‌های مسیر منحنی
Convex hull heuristic algorithm	الگوریتم ابتکاری بدنه محدب
Conveyor	نقاله
-accumulation	- انباشته
- belt	- تسمه‌ای
- chain	- زنجیری
- chute	- شیب‌دار
- gravity	- ثقلی
- roller	- غلطکی
- skid	- لغزیدنی
- slat	- میله میله
- tow line	- بکسلی
- trolley	- واگنی
Crane	جرثقیل
Cutting plane algorithm	الگوریتم صفحه برش
D	
Data development and generation	تولید و توسعه داده
Deck	عرشه
Dedicated storage policy	سیاست ذخیره‌سازی تخصیص یافته
Dendrite flow pattern	الگوی جریان دندریت
Department	واحد
Descriptive mathematical model	مدل ریاضی توصیفی
Deterministic approach	رویکرد غیر احتمالی

E

Efficient frontier	مرز کارا
Engineering design problem approach	رویکرد طراحی مسئله مهندسی
Engineering drawing	نقشه
Equipment selection	انتخاب تجهیزات
Euclidean metric	فاصله اقلیدسی
Europe combined terminals (ECT)	ترمینال‌های ترکیبی اروپا
Exchange	تعویض/مبادله
Exponential distribution	توزیع نمایی

F

Face Milling	کف تراش، فرز سطح
Facilities	تسهیلات
Facility	واحد
Facilities design	طراحی تسهیلات
Facility location problems	مسائل مکان‌یابی تسهیلات
Fathom	بدتر رساندن
Flow data	داده‌های جریان
Flow diagram	نمودار جریان
Flow pattern	الگوی جریان
Flow process chart	نمودار فرایند جریان
Flow rack	قفسه جریان
Flowchart	نمودار جریان
Flow-line layout	چیدمان خط جریان
Forgetfulness property	خصوصیت فراموشی
Forging	آهنکشی

Fork Lift Truck

لیفتراک چنگکی

G

General discipline (GD)	نظم عمومی (صف)
Genetic algorithm (GA)	الگوریتم ژنتیک
Graph partitioning problem	مسئله افزار گراف
Graph theoretic approach	رویکرد بر اساس نظریه گراف
Gravity method	روش گرانش
Greedy	حریصانه/حریص
Greedy 2-opt algorithm	الگوریتم 2-opt حریصانه
Group Technology	تکنولوژی گروهی
Group technology (GT)	تکنولوژی گروهی

H

Heat Treatment	عملیات حرارتی
Heuristic	ابتکاری/هیوریستیک
Heuristic algorithms	الگوریتم‌های ابتکاری
Hierarchical coding	کدگذاری سلسله‌مراتبی
High-Bay	منبع ذخیره محفظه بلند
Hoist	قلاب
Honeycombing loss	اتلاف شانه عسلی
Hybrid	ترکیبی، مرکب
Hybrid algorithms	الگوریتم‌های ترکیبی
Hybrid coding	کدگذاری ترکیبی
Hybrid layout	چیدمان ترکیبی
Hybrid simulated annealing (HSA) algorithm	الگوریتم شبیه‌سازی تبرید ترکیبی
Hydraulic robot	روبات هیدرولیک

Improved algorithms	الگوریتم‌های بهبود دهنده
Improvement	اصلاح/بهبود
Interactive	تعاملی
Inverse transformation method	روش انتقال معکوس

J

jaccard similarity coefficient	ضریب تشابه جاکارد
Jib crane	جرثقیل بادبانی
Job-Shop	تولید کارگاهی، کار کارگاهی
Job-shop layout	چیدمان کار کارگاهی
Just-In-Time	تولید به‌هنگام

K

Kendall-Lee notation	نمادگذاری کندال-لی
Kind's formula	فرمول کایند
Knowledge-based approach	رویکرد بر پایه دانش

L

Lagrangian method	روش لاگرانژی
Lathe	ماشین تراش
Layout	چیدمان، جانمایی، استقرار
Layout design tools	ابزارهای طراحی چیدمان
Linear assignment problem	مسئله تخصیص خطی
Linear congruential generator method	روش مولد هم‌نهشتی خطی
Linear mixed integer programming (LIMP) model	مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط خطی
Linear placement model	مدل جایگذاری خطی
Linear programming (LP) model	مدل برنامه‌ریزی خطی

Logistics management

مدیریت لجستیک

Loop layout problem (LLP)

مسئله چیدمان حلقوی

M

Machine repairman problem

مسئله تعمیرکار ماشین

Manhattan metric

فاصله مانهاتان

Mast

دکل

Material flow analysis

تحلیل جریان مواد

Material Handling

انتقال مواد

Material handling device (MHD)

ابزار انتقال مواد

Material handling system (MHS)

سیستم انتقال مواد

Mathematical models

مدل‌های ریاضی

Mathematical programming approach

رویکرد برنامه‌ریزی ریاضی

Maximal planar graph

گراف بیشینه مسطح

Mean value analysis (MVA)

تحلیل مقدار میانه

Milling

فرز کاری

Minkowsski metric

متریک وزنی مین‌کوسکی

Modified penalty (MP) algorithm

الگوریتم جریمه اصلاح شده

Modified Spanning Tree

الگوریتم درختی فواصل اصلاح شده

Modified spanning tree (MST) algorithm

الگوریتم درخت پوشای اصلاح شده

Monocode system

سیستم تک کد

Monte Carlo simulation

شبیه‌سازی مونت کارلو

Multi-criteria Layout Problem

مسائل چیدمان چندضابطه‌ای

Multi-floor problems

مسائل چندطبقه

Multiple-facility problem

مسئله چند تسهیل

Mutate

جهش

N

Network queuing	صف شبکه‌ای
No-memory property	خاصیت بی‌حافظگی
Non exponential models	مدل‌های غیر نمایی
Non hierarchical coding	کد گذاری غیر سلسله مراتبی
Non linear programming (NLP)	برنامه‌ریزی غیرخطی
Non polynomially (NP)-complete	غیر چندجمله‌ای (NP کامل)
Non traditional layout problem	مسئله چیدمان غیرمستقیم
Normative mathematical models	مدل‌های ریاضی اصولی
NP-Complete	NP کامل

O

Objective function value (OFV)	مقدار تابع هدف
One point crossover method	روش تقاطع تک نقطه‌ای
Open structure	ساختار باز
Operation process chart	نمودار فرایند عملیات
Optimal algorithms	الگوریتم‌های بهینه‌یاب
Order Picker	جمع‌کننده سفارش
Order picking sequence problem	مسئله توالی برداشت سفارش
Order-Picking	برداشت سفارش

P

Pallet frame	قاب پالت
Pallet lifting devices	ابزارهای بلند کردن پالت
Palletizer	پالت پرکن
Pareto effect	اثر پارلو
Partial assignment	تخصیص جزئی

Partially matched crossover method	روش تقاطع تطابق جزئی
Partition	بخش
Partition Score	امتیاز بخش
Penalty algorithm	الگوریتم جریمه
Person-Aboard	سرنشین‌دار
Personal requirements analysis	تحلیل نیازهای شخصی
Physical models	مدل‌های فیزیکی
Placement Rating	نرخ جایگذاری
Planar adjacency graph (PAG)	گراف همسایگی مسطح
Planer	ماشین صفحه تراش
Polycode system	سیستم چند کدی
Powell algorithm	الگوریتم پاول
Probabilistic approach	رویکرد احتمالی
Probability density function (pdf)	تابع چگالی احتمال
Process analysis and material flow analysis	تحلیل فرایند و تحلیل جریان مواد
Process layout	چیدمان فرایندی
Product analysis	تحلیل محصول
Production Routing	مسیر تولید
Prune	هرس کردن
Punch Press	پرس سوراخ‌کاری
Q	
Quadratic Assignment Problem (QAP)	مسئله تخصیص نمایی
Qualitative analysis	تحلیل کیفی
Qualitative flow data	جریان داده کیفی
Quantitative analysis	تحلیل کمی

Quantitative flow data	جریان داده کمی
Queue discipline	نظم صف
Queuing theory	تئوری صف

R

Rack	قفسه
Random layout algorithm	الگوریتم چیدمان تصادفی
Random storage policy	سیاست ذخیره‌سازی تصادفی
Random variates	مقادیر تصادفی
Rank order clustering (ROC) algorithm	الگوریتم خوشه‌بندی بر اساس رتبه
Rectilinear	مستقیم‌الخط، مستطیلی
Rectilinear metric	فاصله مستطیلی
Relationship Chart	نمودار رابطه فعالیت‌ها
Relationship Chart	نمودار رابطه
Relationship chart	نمودار
Relationship Diagram	دیاگرام روابط
Relationship Matrix	ماتریس رابطه فعالیت‌ها
Route sheet	برگه مسیر
Row and column masking (R&CM) algorithm	الگوریتم پوشش سطر و ستون

S

Selective rack	قفسه انتخابی
Semi-closed structure	ساختار نیمه بسته
Semi-open structure	ساختار نیمه باز
Sequence analysis	تحلیل توالی

Service systems layout problem	مسئله چیدمان سیستم‌های خدماتی

Servo-controlled robots	روبات‌های سرو-کنترل
Shortest path metric	مسافت کوتاه‌ترین مسیر
Similarity coefficient (SC) algorithm	الگوریتم ضریب تشابه
Simulated Annealing	شبیه سازی تبرید
Simulated annealing algorithm	الگوریتم شبیه‌سازی تبرید
Space requirements and availability	احتیاجات و میزان دسترسی به فضا
Space Utilization	بهره‌وری از فضا
Spine flow pattern	الگوی جریان ستون فقرات
Spreadsheet	صفحه گسترده
Stacking Frames	چارچوب‌های پشته‌سازی
Stock picker	برداشت‌کننده سفارش
Storage carousels	ذخیره چرخ فلکی
Storage policies	سیاست‌های ذخیره‌سازی
Sub Assembly	زیرمونتاژ
Systematic layout planning (SLP)	طراحی سیستماتیک تسهیلات
T	
2-Opt	دوتایی/2-Opt
2-opt algorithm	الگوریتم 2-Opt
3-Opt	سه تایی/3-Opt
3-opt algorithm	الگوریتم 3-Opt
Tchebychev traveling salesman problem (TTSP)	مسئله فروشنده دوره گرد بامسافت‌های چبی شف
Throughput time	زمان بازده
Ties	قیود- دسته ها
Tight	محکم
Time complexity function (TCF) of algorithm	تابع پیچیدگی زمانی الگوریتم

Total Closeness Rating (TCR)	نرخ نزدیکی کل
Travel time models	مدل‌های زمان سفر
Traveling salesman problem (TSP)	مسئله فروشنده دوره‌گرد
Tree-dimensional physical models	مدل‌های فیزیکی ۳ بعدی
Tree-Way	سه تایی
Trips Between Matrix	ماتریس بین سفری
Truck	بارکش
Two point crossover method	روش تقاطع دو نقطه‌ای
Two-stage transportation model	مدل حمل‌ونقل ۲ مرحله‌ای
Two-Way	دوتایی

U

Unit load design	طراحی واحد بار

W

What-if analysis	آنالیز سناریو
Walkie stacker	پشته‌ساز پیاده
Walkthrough robots	روبات متحرک
Warehouse design	طراحی انبار
Warehouse layout problem	مسئله چیدمان انبار
Warehouse material handling devices (WMHDs)	ابزارهای انتقال مواد در انبار
Warehouse operations	عملیات انبار
Warehousing	انبارداری

Z

Zone picking	برداشت ناحیه‌ای

فهرست راهنما

۲۱۲	NLP 1	۲۵۰ و ۲۶۸	2-opt حریصانه
۳۳۰ و ۲۹۲ و	۱۶۷ و ۱۶۵		ABSMODEL 1
۱۶۷	کامل NP	۱۸۶ و ۱۶۵	ABSMODEL 2
۲۸۶ و ۲۸۲	SPACECRAFT	۱۹۴ و ۱۹۳	ABSMODEL 3
۲۷۹ و ۲۶۵	آنالیز what-if	۲۴۱	ALDEP
۱۳۱	احتیاجات فضا	۲۶۶	BLOCPPLAN
۹۲	ارائه چیدمان	۲۵۸	COFAD
۸۹	ارزیابی	۲۸۱	CRAFT-M
۱۲۳	استراتژی‌های متداول	۲۷۵	Factory CAD
۱۲۶	استقرار تسهیلات	۲۷۷	FactoryFLOW
۲۳۵	استقرار شبه دایروی	۲۷۶	FactoryPLAN
۲۳۶	استقرار نیمه دایروی	۲۵۰	greedy 2-opt
۱۰۶	اشتراک‌گذاری داده	۲۰۲ و ۲۱۴	LINDO
۲۴۰	اطلاعات جریان کیفی	۲۰۱ و ۲۱۰	LMIP 1
۷، ۵ و ۲۳۱	الگوریتم	۲۰۶	LMIP 2
۲۴۸ و ۲۳۷	الگوریتم 2-OPT	۲۱۱	LMIP 3
۲۵۲	الگوریتم 3-OPT	۲۲۱	LMIP 4
۵۷۷	الگوریتم MVA	۴۱۳ و ۴۱۶	MICLASS

۴۲۲	انرژی پیوند (BE)	۳۴۸	الگوریتم SA ترکیبی (HSA)
۷۱	انواع چیدمان	۶۶۱	الگوریتم ابتکاری بدنه محدب
۲۰۰	انواع مدل‌ها	۲۶۶	الگوریتم ابتکاری
۲۳۵ و ۵۳۳	باربر خودکار (AGV)	۴۳۱	الگوریتم پوششی ردیفی و ستونی
۵۲۷	بارکش (تراک)		(R&CM)
۱۴۹	بازنگری مستمر	۳۱۰، ۳۰۶ و	
۲۹۸	بدتر رساندن	۴۸۷	الگوریتم تجزیه بندرز
۶۰۶	برجک متحرک	۲۶۸	الگوریتم جستجوی اتوماتیک
۵۰۷	برش ورق	۴۳۷	الگوریتم خوشه‌بندی لینکیج منفرد
۲۶۶	برنامه تعاملی	۲۳۴	الگوریتم درختی فواصل اصلاح شده
۴۴	برنامه‌ریزی خطی	۳۵۴ و ۳۵۲	الگوریتم دریانوردی تابو
۴۱۸ و ۱۰۹	برنامه‌ریزی ریاضی	۳۵۷	الگوریتم ژنتیک (GA)
۴۴۲ و		۲۹۳	الگوریتم شاخه‌وحد
۱۲۶	برنامه‌ریزی سیستماتیک چیدمان (SLP)	۳۳۷	الگوریتم شبیه‌سازی تبرید
۴۵۹	بهره‌برداری از ماشین	۴۳۶	الگوریتم ضریب تشابه (SC)
۶۱۳	بهره‌وری از فضا	۲۹۱ و ۳۲۹	الگوریتم‌های ابتکاری
۱۲۴ و ۱۲۳	بهینه‌سازی	۲۳۳	الگوریتم‌های ابداعی
۶۳۸	پارتنو	۲۴۷ و ۲۳۷	الگوریتم‌های اصلاحی
۵۲۵ و ۵۰۹	پالت پرکن	۶۵۶	الگوریتم‌های بهبود
۲۵۵	پس از جابجایی	۲۹۱	الگوریتم‌های بهینه
۵۲۹	پشته‌ساز پیاده	۲۶۶	الگوریتم‌های ترکیبی
۱۷۰	تابع هدف مقعر	۲۳۳	الگوریتم‌های ساخت
۲۳۲	تاریخچه	۶۵۶	الگوریتم‌های سازنده
۲۰۰	تبدیل	۶۸	الگوهای جریان
۴۸۶ و ۱۹۹	تجزیه بندرز	۶۹	الگوی دندریتی
۱۹	تحلیل فرآیند	۲۷۱	امتیاز R
۵۷۲	تحلیل کارایی MHS	۲۶۸	امتیاز rel-dist
۱۹	تحلیل محصول	۲۸۳	امتیاز بخش (PS)
۲۹۳	تخصیص جزئی	۲۶۸	امتیاز مجاورت
۲۹۳	تخصیص کامل	۵۴۰ و ۵۰۹	انبار
۱۶۳	تخصیص ورودی‌ها	۶۳۴	انبارش بلاکی

۶۰۴	چارچوب‌های پشته‌سازی	۱۶۶	تخمین شکل
۶۵۱	چرخه تراکنش	۱	تسهیلات
۶۵۱	چرخه تک‌فرمان	۲۴۳	تسهیل در حال ورود
۶۵۱	چرخه‌های چند-فرمانه	۵۴	تسهیلات پشتیبانی
۶۵۱	چرخه‌های دو فرمانه	۲۴۴	تسهیل‌های دائمی
۶۳۲ و ۶۲۷	چیدمان انبار	۸۲	تعداد فعالیت‌ها
۲۵۷ و ۲۵۴	چیدمان اولیه	۵۳	تعداد کارمندان مورد نیاز
۷۱	چیدمان بر اساس تکنولوژی گروهی	۲۵۰ و ۲۶۸	تعویض
۷۱	چیدمان بر اساس فرآیند	۵۶	تعیین فضا
۷۱	چیدمان بر اساس محصول	۲۰	تغییر چیدمان
۷۱	چیدمان بر اساس مکان ثابت	۱۶۵	تقریب
۱۷۶	چیدمان پانل‌های کنترل	۵۰۰	تکریل
۷۱	چیدمان ترکیبی	۲۷۸ و ۴۰۵	تکنولوژی گروهی (GT)
۲۱۰	چیدمان تسهیلات در هر دو بعد	۴۱۳	تله‌انس
۲۸	چیدمان تولیدی	۸	توابع پیچیدگی زمان
۱۸۸	چیدمان چندریفی	۵۷۲	توزیع نمایی
۲۰۶	چیدمان حلقوی (LLP)	۵۷	توسعه و گسترش
۴۷۵	چیدمان خطی	۳۵۸	تولید کارگاهی
۳۱	چیدمان غیرسستی	۶۰۳	جابجایی مواد
۱۷	چیدمان فیزیکی	۶۰۲	جداسازی مواد خطرزا
۲۴	چیدمان مدرن و ۶۰۳ و ۶۱۶		جرتقیل
۴۷۵	چیدمان مربعی	۶۵۲	
۲۰۶	چیدمان‌های حلقوی یک‌طرفه	۵۳۵	جرتقیل پایه‌دار
۲۶۹	حد بالا	۵۳۷	جرتقیل پشته‌ساز
۲۶۹	حد پایین	۵۳۹	جرتقیل‌های برجی
۴۵۷ و ۴۵۵	خانواده قطعات	۲۰	جریان مواد
۴۱۷ و ۴۹۵	خوشه‌بندی	۱۲۸	جزئیات برنامه چیدمان
۴۱۸	خوشه‌بندی بر اساس رتبه (ROC)	۳۷۷ و ۳۵۲	جستجوی تابو
۲۶۶	داده‌های جریان	۸۴	جمع‌آوری داده
۸۲	داده‌های کمی جریان	۱۶۵ و ۱۶۸	جواب بهینه
۷۸	داده‌های کیفی جریان	۱۶۸	جواب‌های بهینه چندگانه

۶۳۸	سیاست ذخیره سازی کلاس بندی شده	۴۰۷	در سیستم های ساخت سلولی (CMS)
۶۳۷	سیاست ذخیره سازی تخصیص یافته	۵۳۱	درجه آزادی
۶۳۶ و ۶۳۵	سیاست ذخیره سازی تصادفی	۲۵۷ و ۲۶۲	دوتایی
۶۳۸	سیاست شاخص مکعب بر-سفارش	۵۰۲	دید سیستمی
	(COI)	۶۰۹ و ۶۱۱	ذخیره سازی و بازیابی
۶۳۵	سیاست های ذخیره سازی	۲۳۵	راندمان عملکرد
۵۶۱	سیستم خبره	۱۴۵	راه حل ابتدایی تصادفی
۶۰۳ و ۶۱۱	سیستم های S/R	۵۰۹ و ۵۳۰	ریات
۴۹۹ و ۵۰۹	سیستم های انتقال مواد (MHS)	۶۰۴	قفه
۲۷۹	سیستم های تولیدی مدرن	۶۰۷	قفه جریان
۲۲	سیستم های خدماتی	۶۰۷	قفه هل دادنی
۶۰۳ و ۶۰۹	سیستم های ذخیره سازی	۶۰۴	قفه های بازویی
۶۰۹ و ۶۱۸	سیستم های ذخیره سازی و بازیابی	۳۵۸	رنگ کردن گراف
	خودکار	۵۵۷	روش احتمالی
۳	سیستم های ساخت و تولید خودکار	۱۹۹	روش شاخه و کران
۳۰۴ و ۳۲۲	سیمپلکس	۵۴۹	روش قطعی
۳۰۵	سیمپلکس دوگان	۵۹	رویکرد سنتی
۹۳	شابلون ها	۱۴۲	رویکرد مهندسی
۱۲	شبیه سازی	۴۶۲	زمان راه اندازی
۵۷۹ و ۵۸۴	شبیه سازی مونت کارلو	۶۴۹	زمان سفر
۲۹۹	شمارش کنترل شده	۴۶۲	زمان بندی شغل ها
۱۱	صف	۳۴	زیرمونتاز
۵۵۷	صف بندی	۴۰۵	ساخت سلولی (CM)
۴۳۶	ضرایب تشابه جاکارد	۲۵	ساختار باز
۴۱۲	طبقه بندی	۲۵	ساختار بسته
۱۲۴ و ۱۲۳	طراحی	۲۵	ساختار نیمه بسته
۶۰۱ و ۶۲۶	طراحی انبار	۲۵	ساختار نیمه باز
۵۵۸ و ۵۴۷	طراحی سیستم انتقال مواد	۶۰۱ و ۶۱۲	سفارش
۱۲۶	طرح کلی چیدمان	۴۱۴	سلسله مراتبی
۲۸۱	طرح ریزی مجدد	۴۱۷	سلول های ماشین آلات
۲۵۷	ظرفیت ماشین	۲۵۷ و ۲۶۲	سه تایی

غیرخطی	۱۷۰ و ۱۹۳	ماتریس شاخص روابط ماشین آلات	۴۹۱
فاصله	۸۴	ماتریس شاخص عملیات قطعه-ماشین	۴۵۵ و ۴۸۰
فاکتور تفاوت مساحت (ADF)	۲۸۳	ماتریس قطعه-ماشین	۴۹۱
فروشنده دوره گرد (TSP)	۱۷۹	ماشین گلوگاه	۴۶۰ و ۴۷۵
فضای در دسترس	۱۲۶ و ۱۳۱	ماشین آلات	۴۳
فلسفه تولید به هنگام	۵۰۰	متغیر پیوسته	۳۰۸
فیزیکی، ریاضی و قیاسی	۵	مقارن	۱۷۳ و ۱۸۱
قابلیت ماشین	۴۵۷	مجموعه غیر مرتب	۳۶۵
نقاط pick-up	۲۴۵	مجموعه محدب	۱۷۰
قاعده بقای مناسب ترین ها	۳۶۰	محاسبات کامپیوتری	۱۴۶
قبل از جابجایی	۲۵۵	محاسبه فاصله	۸۴
قلاب	۵۰۰ و ۵۳۶	محافظت از کالاها	۶۰۲
کرافت CRAFT	۲۵۴	محدودیت	۲۵۴ و ۲۷۴
کورلپ CORELAP	۲۴۰	محدودیت عدد صحیح بودن	۱۸۱
کارایی	۳۲۲ و ۳۴۱	محدودیت غیر خطی	۲۰۱
کارایی نوار نقاله	۵۶۷	محدودیت همپوشانی	۱۶۹
کارکرد انبار	۶۶۱ و ۶۰۱	محیط های تولید خودکار	۲۰۶
کدگذاری	۴۱۲	مدل پوشش مجموعه نمایی	۱۷۶
کدهای ترکیبی	۴۱۴	مدل ریاضی	۱۶۴ و ۱۷۵
کدهای سلسله مراتبی	۴۱۴	مدل های CAD	۹۶
کران بالا	۲۹۵	مدل های توصیفی و تجویزی	۵
کران پایین	۲۹۵	مدل های فیزیکی سه بعدی	۹۵
کشوهای بخش بندی شده	۶۱۰	مرتب کردن	۲۹۷ و ۲۹۷
کوتاه ترین مسیر	۸۸	مسئله برداشت سفارش	۶۵۴ و ۶۵۹
گراف مسطح ماکسیمال	۳۶۷ و ۳۶۵	مسئله پرکردن سطل	۵۰۷
گروه های غیر فعال	۲۹۹	مسئله تخصیص نمایی	۶
گروه های فعال	۲۹۹	مسئله تخصیص نمایی (QAP)	۲۹۴ و ۳۳۷
لیفت تراک های چنگکی	۶۰۶	مسائل ایمنی	۳۷۴
ماتریس از سه جریان	۱۳۰	مسائل ترکیبی (COP)	۳۳۰
ماتریس اطلاعات مسیر قطعه	۱۰۳	مسائل چند طبقه	۲۷۰ و ۲۸۲
ماتریس جریان	۲۳۶ و ۲۵۶	مسائل چیدمان چند ردیفی	۳۳۴ و ۳۵۶

۱۲۸	نصب چیدمان	۳۷۴	مسائل چیدمان چندضابطه‌ای
۳۳۰ و ۳۶۴	نظریه گراف	۲۸۲	مسائل چیدمان سه بعدی
۲۴۵	نقاط drop-off	۱۶۵ و ۱۶۲	مسائل چیدمان یک‌دردیفی / چنددردیفی
۵۰۰	نقاله	۱۸۶ و ۱۸۰	مساحت یکسان
۲۰۶	نقاله‌های حلقوی	۳۸۴ و ۳۵۹	مساحت‌های نامساوی
۵۰۳	نقاله‌های طولانی	۲۷	مساله انتخاب تجهیزات انتقال
۲۷۵	نقشه بلوک	۱۷۹	مساله تخصیص خطی (LAP)
۹۲	نقشه‌ها	۱۷۶	مساله تخصیص نمایی (QAP)
۷۶	نمودار برنامه‌ریزی چیدمان	۶۵۳ و ۶۵۲	مساله توالی برداشت سفارش
۱۱۷	نمودار بلاکی	۲۸۱	مساله چیدمان پویا
۷۷	نمودار جریان	۲۷۹ و ۲۸۶	مساله چیدمان دو بعدی
۱۳۰	نمودار رابطه	۶۵۴	مساله فروشنده دوره‌گرد (TSP)
۷۹ و ۱۳۰ و	نمودار رابطه فعالیت‌ها	۱۴۲	مساله مهندسی
۱۳۸		۱۰۶	مستندسازی
۱۳۹	نمودار روابط	۲۵۲ و ۲۵۰	معاوضه
۷۶	نمودار فرآیند جریان	۸۴	معیار فاصله‌ای
۲۵۹	نمونه‌برداری اریب	۲۴۸ و ۱۶۴	مقدار تابع هدف (OFV)
۱۹۶	نمونه‌گیری	۱۴۶	مقیاس بزرگ
۶۴۵ و ۶۶۵	واحد بار	۱۴۶	مقیاس متوسط
۴۹۹	وسایل انتقال مواد (MHD)	۶۲۶ و ۱۳۹	مکان‌یابی
۶۱۲ و ۱۶۲	وسیله نقلیه هدایت خودکار (AGV)	۶۱۳ و ۶۱۳	مکان‌های ذخیره‌سازی چرخ فلکی
۵۰۹		۲۸۵	منحنی‌های پرکننده فضا
۲۹۸	هرس کردن	۶۱۸ و ۶۳۶	موجودی
۲۵۴ و ۲۳۱	هزینه	۲۴۳	نرخ جای‌گذاری (PR)
۴۸۳ و ۴۷۴	هزینه جابه‌جایی درون‌سلولی	۴۶۲	نرخ عملکرد
۲۸۱ و ۲۵۸	هزینه‌های ثابت	۲۴۱	نرخ نزدیکی کل (TCR)
۱۶۱	هزینه‌های حمل‌ونقل مواد	۲۷۴ و ۲۷۰	نرم‌افزار
۲۸۱ و ۲۵۸	هزینه‌های متغیر	۱۷۱	نرم‌افزار GINO
۸۸	همسایگی	۲۶۹	نرمال کردن
		۱۴۶	نزدیک به بهینه
		۲۷۲	نسبت طول به عرض

Facilities Design

by

Sunderesh Heragu

Translated by

R. Z. Farahani

Professor Assistant of Industrial Engineering Department
Amirkabir University of Technology (Tehran Polytechnic)

N. Asgari (Ph.D)

Iran SCM Research Group

M. A. Movafaghpour

Amirkabir University of Technology

Tehran Polytechnic Press

• www.aku-press.com

2006