۷

برنامه‌ریزی تولید

بخش هفتم
توالی عملیات و زمان‌بندی

سید مهدی همایونی

پاییز ۹۱

هدف و سرخطها

- بررسی توالی عملیات در یک ماشین،
- مسائل زمان‌بندی تولید در ماشینهای سری،
- مسائل زمان‌بندی تولید در ماشینهای موازی،
- مسائل زمان‌بندی نیروی انسانی.

زمان‌بندی عملیات

- زمان‌بندی عملیات در اغلب سازمانها مورد نیاز است. مثلا زمان‌بندی در بیمارستانها یا مراکز آموزشی.
- در یک سازمان تولیدی زمان‌بندی شامل ایجاد یک برنامه زمانی برای کارگران، تجهیزات، تعمیرات و ... می‌شود.
- یک زمان‌بندی مؤثر می‌تواند به کاهش هزینه‌های سازمانی و افزایش بهره‌وری بیانجامد. همچنین توان رقابتی بالاتر برای تولیدکنندگان نیز از نتایج زمان‌بندی مؤثر است.
- هدف عمده زمان‌بندی ایجاد تعادل میان اهداف مغایر، به‌کارگیری مؤثر کارگران، تجهیزات، و تسهیلات همزمان با کاهش زمان انتظار مشتریان، موجودیها و زمان فرآیندهاست.

توالی عملیات

- مسائل توالی عملیات (Sequencing) دربرگیرنده تعیین ترتیب فرآیندهای یک کار بر روی یک ایستگاه کاری است.
- همچنین توالی عملیات می‌تواند شامل تعیین ترتیب انجام عملیات یک کار بر روی مراکز کاری مختلف باشد.

برنامه‌ریزی تولید دسته‌ای

- فرآیند تولید دسته ای حد فاصل بین تولید کارگاهی و تولید پیوسته است و تولید به طور عمده انبار می شود (Make to Stock). از جمله فرآیندهای تولید دسته ای می توان به نوشابه سازی، کنسروسازی و داروسازی اشاره کرد.
- اندازه دسته در تولید دسته ای تابعی از هزینه آماده سازی و هزینه نگهداری است. در تولید دسته‌ای با افزایش اندازه دسته هزینه آماده‌سازی کاهش یافته و هزینه نگهداری افزایش می یابد.
- مقدار بهینه دسته از فرمول زیر محاسبه می‌شود، که درآن D: تقاضای سال، S: هزینه سفارش، H: هزینه نگهداری هر واحدکالا، d: نرخ مصرف روزانه، و p: نرخ تولید روزانه است

$$Q^* = \sqrt{\frac{2DS}{H(1-d/p)}}$$

توالی عملیات در خطوط تولید دسته ای

- در تعیین توالی عملیات در تولید دسته‌ای معمولا ابتدا محصولی تولید می‌شود که موجودی در انبار آن سریعتر به پایان می‌رسد.
- علاوه بر آن باید محاسبه کرد که آیا در زمان باقی‌مانده می‌توان مقادیر مورد نیاز را تولید کرد یا خیر.
- زمان به آخر رسیدن موجودی انبار (Run out time) حاصل تقسیم مقدار موجودی فعلی انبار بر مقدار تقاضا در واحد زمان (مثلا روز) است. هر محصولی که کوچترین مقدار را داشته باشد، در اولویت تولید قرار می‌گیرد.
- تولید هر محصول معمولا مطابق با دسته بهینه تولیدی محاسبه شده از روش اسلاید قبل یا روشهای دسته تولیدی گسسته (بررسی شده در برنامه‌ریزی موجودی I)، انجام می‌گیرد.

مثال- توالی عملیات در تولید دسته‌ای

- یک شرکت تولیدی محصولات بهداشتی آرایشی پنج محصول را تولید می کند. اطلاعات مربوط به اندازه دسته تولیدی، نرخ تولید و مصرف در هفته و همچنین موجودی فعلی هر یک از محصولات در جدول ذیل آورده شده است. مطلوبست تعیین اینکه آیا ظرفیت لازم برای تامین تقاضا وجود دارد و همچنین توالی عملیات محصولات.

محصول	اندازه دسته اقتصادی (Q*)	ظرفیت تولید در هفته	زمان لازم برای تولید Q*	تقاضا در هفته	موجودی فعلی
A	۱۰۰۰	۸۳۳	۱.۲	۱۵۰	۸۰۰
B	۸۰۰	۱۰۰۰	۰.۸	۲۵۰	۶۰۰
C	۱۵۰۰	۷۵۰	۲.۰	۱۵۰	۲۰۰۰
D	۱۸۰۰	۹۰۰	۲.۰	۱۰۰	۲۵۰۰
E	۶۰۰	۶۰۰	۱	۱۰۰	۵۲۵

پاسخ- توالی عملیات در تولید دسته‌ای ۱

- ابتدا باید ظرفیت مورد نیاز را مورد بررسی قرار داد تا مطمئن شویم می‌توانیم تولید را انجام دهیم.
- تقاضای هفتگی هر محصول تقسیم بر نرخ تولید هر محصول در هفته برابر زمان مورد نیاز برای تولید آن ممحصول در هفته است.
- از آنجا که مجموع زمانهای لازم برای تولید از ۱ هفته کمتر شده است، توان تولید موجود است.

محصول	تقاضای هفتگی	ظرفیت تولید هفتگی	زمان مورد نیاز (هفته)
A	۱۵۰	۸۳۳	۰.۱۸
B	۲۵۰	۱۰۰۰	۰.۲۵
C	۱۵۰	۷۵۰	۰.۲۰
D	۱۰۰	۹۰۰	۰.۱۱
E	۱۰۰	۶۰۰	۰.۱۷
جمع			۰.۹۱

پاسخ- توالی عملیات در تولید دسته‌ای ۲

- کل تولید در این شرکت با توجه به دسته تولیدی که برای هر محصول مشخص شده است ۷ هفته به طول می‌انجامد (مجموع زمانهای مورد نیاز برای تولید هر دسته از محصولات).
- کل زمان دوره تولید=۷ =۱.۲ +۰.۸ +۲.۰ +۲.۰ +۱.۰
- برای تعیین توالی تولید ابتدا باید مقدار زمان تداوم موجودی در دست را مشخص کرد و سپس محصولی که کوچکترین مقدار را داراست در اولویت تولید قرار می‌گیرد. در اینجا محصول B در ابتدای توالی تولید قرار می‌گیرد و دسته به اندازه ۸۰۰ عدد تولید می‌شود.

محصول	زمان تداوم موجودی (هفته)
A	۸۰۰/۱۵۰ = ۵.۳۳
B	۲.۴۴
C	۱۳.۳۳
D	۲۵
E	۵.۲۵

- **موجودی در دست تقسیم بر تقاضای هفتگی**

پاسخ- توالی عملیات در تولید دسته‌ای ۳

- با توجه به تعیین توالی تولید محصول B، در مرحله بعد باید محاسبه نمود که پس از تولید محصول B از سایر محصولات چه مقدار موجودی در دست باقی‌می‌ماند. یا در واقع در طی زمان تولید چقدر از موجودی سایر محصولات مصرف می‌شود.
- تولید دسته ۸۰۰ تایی از محصول B، ۰.۸ هفته طول می‌کشد.
- با توجه به محاسبات انجام شده، محصول E در مرحله دوم تولید با اندازه دسته ۶۰۰ تایی قرار می‌گیرد.

محصول	موجودی پس از دوران تولید محصول B	تقاضای هفتگی	تداوم موجودی (هفته)
A	۸۰۰ – ۱۵۰ (۰.۸) = ۶۸۰	۱۵۰	۶۳۰ /۱۵۰ = ۴.۵۳
B	۱۲۰۰ = ۸۰۰ + (۰.۸) ۲۵۰ – ۶۰۰	۲۵۰	۴.۸
C	۱۸۸۰ = (۰.۸) ۱۵۰ – ۲۰۰۰	۱۵۰	۱۲.۵۳
D	۲۴۲۰ = (۰.۸) ۱۰۰ – ۲۵۰۰	۱۰۰	۲۴.۲
E	۴۴۵ = (۰.۸) ۱۰۰ – ۵۲۳	۱۰۰	**۴.۴۵**

پاسخ- توالی عملیات در تولید دسته‌ای ۴

- پس از تولید محصولات B و E، برای تعیین سومین محصول تولیدی مجددا باید مقادیر تداوم موجودی برای تمام محصولات محاسبه گردد.
- تولید دسته ۶۰۰ تایی از محصول E، با توجه به ظرفیت تولید آن ۱ هفته طول می‌کشد.
- با توجه به محاسبات انجام شده، محصول A در مرحله سوم تولید با اندازه دسته ۱۰۰۰ تایی قرار می‌گیرد.

محصول	موجودی پس از دوران تولید محصول E	تقاضای هفتگی	تداوم موجودی (هفته)
A	۵۳۰ = (۱) ۱۵۰ – ۶۸۰	۱۵۰	۳.۵۳
B	۹۵۰ = (۱) ۲۵۰ – ۱۲۰۰	۲۵۰	۳.۸
C	۱۷۳۰ = (۱) ۱۵۰ – ۱۸۸۰	۱۵۰	۱۱.۵۳
D	۲۳۲۰ = (۱) ۱۰۰ – ۲۴۲۰	۱۰۰	۲۳.۲
E	۹۴۵ = ۶۰۰ + (۱) ۱۰۰ – ۴۴۵	۱۰۰	۹.۴۵

پاسخ- توالی عملیات در تولید دسته‌ای ۵

- پس از تولید محصولات B، E، و A، برای تعیین چهارمین محصول تولیدی مجددا باید مقادیر تداوم موجودی برای تمام محصولات محاسبه گردد.
- تولید دسته ۱۰۰۰ تایی از محصول A، با توجه به ظرفیت تولید آن ۱.۲ هفته طول می‌کشد.
- توجه داشته باشید که با توجه به محاسبات انجام شده مجددا باید محصول B با دسته ۸۰۰ عددی، تولید گردد.

محصول	موجودی پس از دوران تولید محصول A	تقاضای هفتگی	تداوم موجودی (هفته)
A	۱۳۵۰ = ۱۰۰۰ + ۱۵۰ (۱.۲) – ۵۳۰	۱۵۰	۹.۰۰
B	۶۵۰ = ۲۵۰ (۱.۲) – ۹۵۰	۲۵۰	۲.۶۰
C	۱۵۵۰ = ۱۵۰ (۱.۲) – ۱۷۳۰	۱۵۰	۱۰.۳۳
D	۲۲۰۰ = ۱۰۰ (۱.۲) – ۲۳۲۰	۱۰۰	۲۲.۰۰
E	۸۲۵ = ۱۰۰ (۱.۲) –۹۴۵	۱۰۰	۸.۲۵

تعیین توالی عملیات در تولید دسته ای

- همانطور که در مثال آورده شده است، با توجه به موجودی در دست، ممکن است یک محصول ۲ بار یا بیشتر تولید شود.
- **تعیین توالی تولید باید تا جایی ادامه یابد که یک سیکل ترکیبی از تولید محصولات مختلف مشخص گردد.**

اولویت بندی فعالیتها
برای یک ماشین

- معمولا تعدادی فعالیت در انتظار انجام بر روی **یک** ایستگاه کاری یا ماشین هستند. اولویت بندی این فعالیتها برای انجام معمولا از طریق قوانین ابتکاری زیر می‌شود (محدود به این موارد نیست)،
- ۱- FCFS: فعالیتهایی در اولویت انجام هستند که **زودتر به صف** انتظار معرفی شده باشند (به این روش FIFO هم می‌گویند)،
- ۲- SPT: فعالیتهایی با **زمان عملیات کوتاهتر** در اولویت قرار می‌گیرند،
- ۳- EDD: فعالیتهایی در اولویت هستند که **موعد تحویل زودتر**ی دارند،
- ۴- S/O: فعالیتهایی که نسبت زمان لنگی(زمان باقیمانده تا موعد تحویل منهای زمان عملیات باقیمانده برای قطعه) کوچکتری دارند. این نسبت با تقسیم زمان لنگی به تعداد فعالیت باقیمانده از یک قطعه به دست می‌آید.
- ۵- قواعد غیر کمی: بر اساس تشخیص موارد اورژانسی، یا رسیدگی به مشتریان مهمتر.

شاخص عملکرد در توالی عملیات

- دیرکرد (Tardiness, Delay): مقدار زمانی که یک فعالیت بیش از موعد تحویل خود طول می‌کشد،
- متوسط دیرکرد: متوسط زمان دیرکرد در میان تمام فعالیتهایی که بر روی یک ایستگاه کاری زمان‌بندی می‌شوند.
- زمان جریان (Flow Time): مجموع زمان پایان فعالیتهای زمان‌بندی شده بر روی یک ایستگاه کاری،
- متوسط زمان جریان: میانگین زمان جریان برای تمام فعالیتهای زمان‌بندی شده بر روی یک ایستگاه کاری.
- درصدی از فعالیتها که دچار تأخیر می‌شوند، یا درصدی از فعالیتها که بدون تأخیر انجام می‌شوند.

مثال- توالی عملیات در یک ماشین

- فعالیتهایی که در جدول زیر آورده شده است، بر روی یک ماشین باید انجام شوند. برای این فعالیتها زمان عملیات، و موعد تحویل باقیمانده نیز آورده شده است.
- توالی این فعالیتها را بر اساس قوانین FCFS، SPT، و EDD تعیین کنید. این روشها را بر اساس **متوسط زمان جریان** و **متوسط دیرکرد** مقایسه کنید

فعالیت	زمان عملیات	موعد تحویل
A	۲	۷
B	۸	۱۶
C	۴	۴
D	۱۰	۱۷
E	۵	۱۵
F	۱۲	۱۸

پاسخ- توالی عملیات روش FCFS

- بر اساس روش FCFS، فعالیتها به صورت A,B,C,D,E,F زمان‌بندی می‌شوند.
- متوسط زمان جریان= ۲۰ روز، (۱۲۰/۶)،
- متوسط مقدار دیرکرد= ۹ روز، (۵۴/۶)،
- درصد فعالیتهای تأخیری= ۶۶.۶٪ (۱۰۰* ۴/۶).

فعالیت	زمان عملیات	زمان جریان	موعد تحویل	دیرکرد
A	۲	۲	۷	۰
B	۸	۱۰	۱۶	۰
C	۴	۱۴	۴	۱۰
D	۱۰	۲۴	۱۷	۷
E	۵	۲۹	۱۵	۱۴
F	۱۲	۴۱	۱۸	۲۳
جمع	۴۱	۱۲۰		۵۴

پاسخ- توالی عملیات روش SPT

- بر اساس روش SPT، فعالیتها به صورت A,C,E,B,D,F زمان‌بندی می‌شوند.
- متوسط زمان جریان= ۱۸ روز، (۱۰۸/۶)،
- متوسط مقدار دیرکرد= ۶.۶۷ روز، (۴۰/۶)،
- درصد فعالیتهای تأخیری= ۶۶.۶٪ (۱۰۰* ۴/۶).

فعالیت	زمان عملیات	زمان جریان	موعد تحویل	دیرکرد
A	۲	۲	۷	۰
C	۴	۶	۴	۲
E	۵	۱۱	۱۵	۰
B	۸	۱۹	۱۶	۳
D	۱۰	۲۹	۱۷	۱۲
F	۱۲	۴۱	۱۸	۲۳
جمع	۴۱	۱۰۸		۴۰

پاسخ- توالی عملیات روش EDD

- بر اساس روش EDD، فعالیتها به صورت C,A,E,B,D,F زمان‌بندی می‌شوند.
- متوسط زمان جریان= ۱۸.۳۳ روز، (۱۱۰/۶)،
- متوسط مقدار دیرکرد= ۶.۳۳ روز، (۳۸/۶)،
- درصد فعالیتهای تأخیری= ۵۰٪ (۱۰۰* ۳/۶).

فعالیت	زمان عملیات	زمان جریان	موعد تحویل	دیرکرد
C	۴	۴	۴	۰
A	۲	۶	۷	۰
E	۵	۱۱	۱۵	۰
B	۸	۱۹	۱۶	۳
D	۱۰	۲۹	۱۷	۱۲
F	۱۲	۴۱	۱۸	۲۳
جمع	۴۱	۱۱۰		۳۸

تمرین- توالی عملیات در یک ماشین

- فعالیتهای زیر بر روی یک ماشین انجام می‌شوند.
- توالی این فعالیتها را بر اساس قوانین FCFS، SPT، و EDD تعیین کنید. این روشها را بر اساس **متوسط زمان جریان** و **متوسط دیرکرد** مقایسه کنید

نام فعالیت	زمان انجام	موعد تحویل
J1	۵	۱۵
J2	۸	۱۰
J3	۶	۱۵
J4	۳	۲۵
J5	۱۰	۲۰

زمان‌بندی فعالیتها بر بیش از یک ماشین

موازی

- در حالتی که تعدادی ماشین یا مرکز کاری داشته باشیم که هریک بتوانند کار همدیگر را انجام دهند (مثلا در سیستم تولید کارگاهی، درون یک کارگاه) به این ماشینها اصطلاحا موازی می‌گویند.
- هدف در این مسائل کمینه کردن متوسط زمان گردش کار در کل کارگاه است.
- برای این مسائل می‌توان از قواعد گفته شده در مورد تک ماشینها استفاده کرد.
- در یک الگوریتم **ابتکاری**، توالی کلیه کارها را از روش SPT (کوتاهترین زمان عملیات) مرتب کنید و سپس به ترتیب کارها را روی ماشینی زمان‌بندی کنید که کمترین زمان تجمعی عملیات را داراست. در صورت تساوی به دلخواه یک ماشین را انتخاب کنید.

مثال- زمان‌بندی ماشینهای موازی

- ۱۰ کار زیر در کارگاه تراشکاری باید انجام شوند، این کارگاه شامل ۳ ماشین است که در دسترس هستند. یک زمان‌بندی مناسب برای این کارها ارائه دهید که متوسط زمان جریان در سیستم را کوچک کند.

فعالیت	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
زمان عملیات	۵	۶	۳	۸	۷	۲	۳	۵	۴	۲

پاسخ- زمان‌بندی ماشینهای موازی ۱

- ابتدا بر اساس روش SPT یک توالی مناسب از عملیاتها ارائه می‌شود:
- **F →J →G →C →I →A →H →B →E →D**
- سپس به ترتیب کارها را به ماشینی اختصاص دهید که کل زمان عملیات کوچکتری دارد.

ماشین ۱	F			I						B								
ماشین ۲	J		C			H						D						
ماشین ۳		G			A					E								
دقیقه	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳	۱۴	۱۵	۱۶	۱۷	۱۸	۱۹

فعالیت	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
زمان عملیات	۵	۶	۳	۸	۷	۲	۳	۵	۴	۲

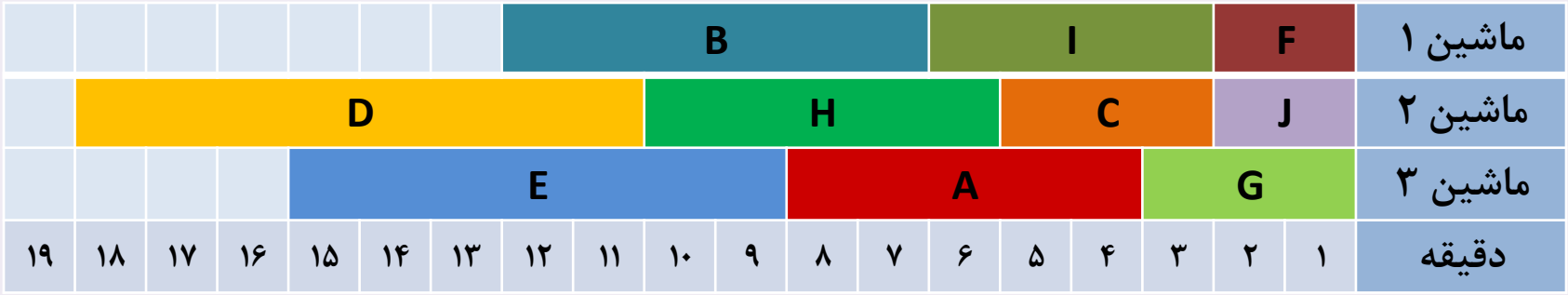
پاسخ- زمان‌بندی ماشینهای موازی ۲

- بر اساس زمان‌بندی ارائه شده می‌توان متوسط زمان جریان را برای این برنامه محاسبه کرد.

ماشین ۱		
فعالیت	زمان عملیات	زمان جریان
F	۲	۲
I	٤	٦
B	٦	۱۲
جمع	۱۲	۲۰

ماشین ۲		
فعالیت	زمان عملیات	زمان جریان
J	۲	۲
C	۳	٥
H	٥	۱۰
D	۸	۱۸
جمع	۱۸	۳٥

ماشین ۳		
فعالیت	زمان عملیات	زمان جریان
G	۳	۳
A	٥	۸
E	۷	۱٥
جمع	۱٥	۲٦



متوسط زمان جریان = ۱۰/(۲٦+۳٥+۲۰) = ۸.۱

زمان‌بندی فعالیتها بر بیش از یک ماشین
متوالی یا سری

- در واقع این نوع زمان‌بندی مناسب خطوط تولیدی یا Flow Shop هستند.
- هر یک از کارها باید توسط تک تک این ماشین ها با ترتیب مشخص و یکسان برای تمام کارها پردازش گردند.
- پس از اینکه یک کار توسط یک ماشین پردازش شد وارد صف ماشین بعدی می شود.
- صف غذا در رستوران (غذای اصلی، دسر و... به ترتیب ارایه می شود. سپس مشتریان برای پرداخت به قسمت آخر مراجعه می کند).
- صف ورود به استادیوم (خرید بلیت، بازرسی بدنی و ورود به استادیوم)
- بازکردن حساب بانکی (ارایه درخواست، بررسی فرم ها، استعلام های مورد نیاز، تایید، چاپ دسته چک و...)

قانون جانسون

- قانون جانسون (Johnson) تکنیکی است که با استفاده از آن می‌توان زمان لازم جهت اجرای گروهی از فعالیتها را به حداقل رساند.
- زمان لازم جهت انجام گروهی از فعالیتها (Makespan)، برابر مجموع زمان عملیاتی لازم برای فعالیتها بر روی ماشین‌آلات، زمان حمل و نقلهای لازم، و زمانهای انتظار برای فعالیت بعدی است.
- این زمان معمولا برای یک قطعه یا مجموعه فعالیتهای لازم برای یک قطعه در یک مرکز کاری محاسبه می‌شود.
- قانون جانسون همچنین زمانهای بیکاری ایستگاههای کاری را کمینه می‌کند.

شرایط به کار گیری قانون جانسون

برای دو ماشین و n کار

- زمان عملیات (شامل زمان راه‌اندازی و زمان فرآیند) باید شناخته شده و ثابت برای هر فعالیت در هر ماشین باشد.
- زمان عملیات برای همه فعالیتهای موجود در یک کار (که مجموعه‌ای از فعالیتهای متوالی است)، باید مستقل از هم باشد.
- اولویت بندی در کارها را نمی‌توان استفاده کرد.
- همه کارها باید شامل دو فعالیت که هر یک بر روی یکی از ماشینها انجام شود، باشد.
- همه کارهای موجود ابتدا باید فعالیتی که بر روی ماشین ۱ دارند را تکمیل کنند، و سپس به سراغ فعالیت روی ماشین ۲ بروند.

الگوی کار گیری قانون جانسون

برای دو ماشین و n کار

- ۱- ابتدا تمام کارها و زمانهای عملیاتی برای فعالیتها بر روی ماشینها را لیست کنید،
- ۲- فعالیتی که کوتاهترین زمان را دارد، انتخاب کنید. اگر این فعالیت بر روی ماشین ۱ انجام می‌شود، آن را در ابتدای صف زمان‌بندی کنید، در صورتی که فعالیت بر روی ماشین ۲ باید انجام شود، آن را به انتهای صف منتقل کنید،
- ۳- این فعالیت را از فرآیند تصمیم‌گیری کنار گذارید،
- ۴- گامهای ۲ و ۳ را تا آنجا که همه فعالیتها زمان‌بندی شوند ادامه دهید.

مثال- زمان‌بندی ماشینهای سری

- ۶ کار زیر باید بر روی ۲ ماشین انجام شوند. هر کار شامل ۲ فعالیت است، ابتدا تمیز کاری و سپس رنگ‌آمیزی. این فعالیتها را به گونه‌ای زمان‌بندی کنید که کل زمان تکمیل (Makespan) آنها کمینه شود.

فعالیت	زمان عملیات ماشین ۱	زمان عملیات ماشین ۲
A	۵	۵
B	۴	۳
C	۸	۹
D	۲	۷
E	۶	۸
F	۱۲	۱۵

پاسخ- زمان‌بندی ماشینهای سری ۱

- ابتدا فعالیتی که دارای کوتاهترین زمان عملیات است را انتخاب کنید، که در اینجا فعالیت اول D است که زمان انجام آن ۲ ساعت بر روی ماشین اول است.
- از آنجا که فعالیت اول D انتخاب شده است، آن را در ابتدای لیست قرار دهید، و این کار را از فرآیند تصمیم گیری کنار بگذارید.
- فعالیت دوم B، کوتاهترین زمان بعدی را دارد، که باید در انتهای صف برنامه ریزی شود، و این کار از فرآیند تصمیم‌گیری کنار گذاشته می‌شود.

فعالیت	زمان عملیات ماشین ۱	زمان عملیات ماشین ۲
A	۵	۵
B	۴	۳ ۲
C	۸	۹
D	۲ ۱	۷
E	۶	۸
F	۱۲	۱۵

پاسخ- زمان‌بندی ماشینهای سری ۲

- در مرحله سوم و از بین کارهای باقیمانده، فعالیتهای کار A هر دو کوتاهترین زمان عملیات را دارند. در این حالت تفاوتی نمی‌کند که کدام یک انتخاب شود.
- در اینجا فعالیت دوم که روی ماشین ۲ انجام می‌شود، انتخاب شده است و در نتیجه در انتهای صف اضافه می‌شود.
- این کار از مجموعه تصمیم گیری کنار گذاشته می‌شود.

فعالیت	زمان عملیات ماشین ۱	زمان عملیات ماشین ۲
A	۳ ۵	۳ ۵
C	۸	۹
E	۶	۸
F	۱۲	۱۵

پاسخ- زمان‌بندی ماشینهای سری ۲

- در مرحله چهارم، فعالیت اول از کار E انتخاب می‌شود. با توجه به اینکه بر روی ماشین اول انجام می‌شود، این کار در ابتدای صف زمان‌بندی می‌شود.
- در مرحله پنجم، فعالیت اول از کار C در ابتدای صف برنامه‌ریزی می‌شود،
- و در آخر تنها کار F باقی‌مانده که زمان‌بندی می‌شود.

۱	۴	۵	۶	۳	۲
D	E	C	F	A	B

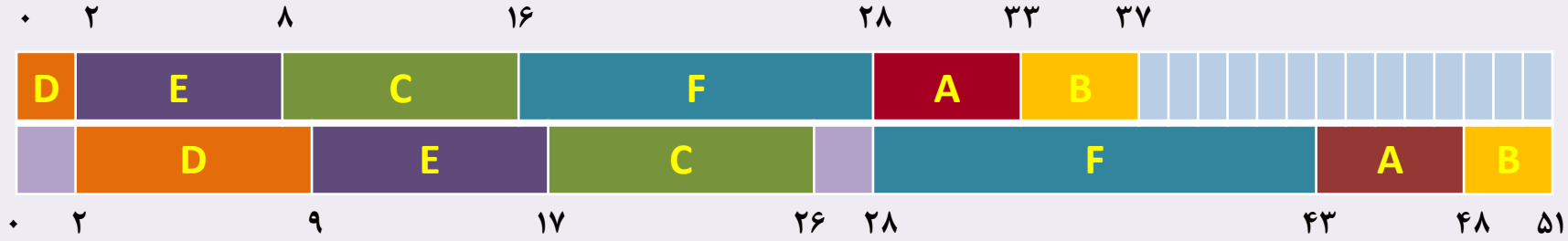
فعالیت	زمان عملیات ماشین ۱		زمان عملیات ماشین ۲
C	۸	۵	۹
E	۶	۴	۸
F	۱۲		۱۵

پاسخ- زمان‌بندی ماشینهای سری ۴

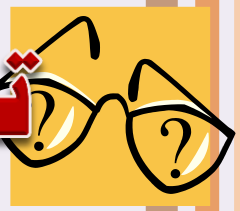
- در انتها با توجه به زمان‌بندی فعالیتها و تعیین اولویت آنها می‌توان به زمان آغاز و پایان هر فعالیت دست یافت.
- دقت کنید که فعالیتهایی که روی ماشین دوم انجام می‌شوند، تنها در صورتی قابل زمان‌بندی هستند که فعالیت اول از کار مورد نظر زمان‌بندی شده و پایان یافته باشد.
- همچنین میزان بی‌کاری هر ماشین، و مدت زمان تکمیل (Makespan) این فعالیتها نیز محاسبه می‌شود. در این مثال Makespan برابر ۵۱ روز است و تنها ماشین ۲ به مقدار چهار روز بی‌کاری دارد.

پاسخ- زمان‌بندی ماشینهای سری ۵

فعالیت	زمان عملیات ماشین ۱	زمان عملیات ماشین ۲
A	۵	۵
B	۴	۳
C	۸	۹
D	۲	۷
E	۶	۸
F	۱۲	۱۵



تمرین- زمان‌بندی ماشینهای سری



- کارهای زیر بر روی دو ماشین انجام می‌شوند. زمان عملیاتی بر روی هر دو ماشین در جدول زیر آورده شده است.
- با استفاده از قانون جانسون، زمان‌بندی مناسبی برای این کارها ارائه دهید، و آن را به صورت ترسیمی نمایش دهید.

نام فعالیت	زمان عملیات روی ماشین۱	زمان عملیات روی ماشین۲
J1	۲.۵	۴.۲
J2	۳.۸	۱.۵
J3	۲.۲	۳.۰
J4	۵.۸	۴.۰
J5	۴.۵	۲.۰

کاربرد قانون جانسون

برای سه ماشین و n کار

- به طور کلی می‌توان گفت که هیچ راه حل بهینه‌ای که بتواند زمان‌بندی مناسبی برای کارهایی که باید روی بیش از دو ماشین انجام شود وجود ندارد.
- قانون جانسون برای ۲ ماشین یا مرکز کاری که به طور سری کارهایی را انجام می‌دهند، یک راهکار ابتکاری مناسب است.
- این قانون در صورت وجود شرایطی خاص می‌تواند به زمان‌بندی ۳ ماشین نیز تعمیم یابد.
- در صورتی که **کوچکترین** زمان عملیات روی یکی از ماشینهای ۱ یا ۳ از **بزرگترین** زمان عملیات روی ماشین۲ کوچکتر نباشد (شرط برای یکی از ماشینها کافی است)، می‌توان کارهای ماشین۲ و **دو ماشین** دیگر را ادغام نمود و مسأله را از قانون جانسون حل کرد.

(Production and Operations Management, Chary, 2009).

مثال- زمان‌بندی فعالیتها روی ۳ ماشین

- ۶ کار زیر باید بر روی ۳ ماشین انجام شوند. هر کار شامل ۳ فعالیت است. این کارها را با استفاده از قانون جانسون زمان‌بندی کنید.

فعالیت	زمان عملیات ماشین ۱	زمان عملیات ماشین ۲	زمان عملیات ماشین ۳
A	۷	۴	۸
B	۵	۴	۹
C	۱۰	۳	۵
D	۸	۴	۱۰
E	۱۲	۳	۲
F	۸	۲	۷

پاسخ- زمان‌بندی فعالیتها روی ۲ ماشین-۱

- با در نظر گرفتن اینکه بزرگترین زمان عملیاتی روی ماشین شماره ۲، از کوچکترین زمان عملیاتی روی ماشین ۱ بزرگتر نیست، می‌توان با ادغام (تجمیع زمان عملیات) ماشین ۱ و ۲ از یک سو، و تجمیع زمان عملیات ۲و۳ از سوی دیگر، تشکیل دو ماشین مجازی به زمان‌بندی مناسبی از طریق قانون جانسون دست یافت.

فعالیت	زمان عملیات ماشین ۱	زمان عملیات ماشین ۳
A	۱۱	۱۲
B	۹	۱۳
C	۱۳	۸
D	۱۲	۱۴
E	۱۵	۵
F	۱۰	۹

پاسخ- زمان‌بندی فعالیتها روی ۳ ماشین-۲

- در این حالت حل به روش جانسون برابر است با:

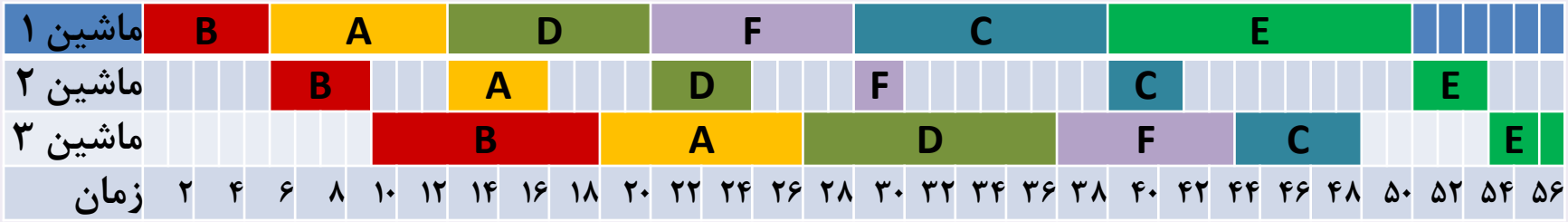
- B,A,D,F,C,E

فعالیت	زمان عملیات ماشین ۱	زمان عملیات ماشین ۳
A	۱۱	۱۲
B	۹	۱۳
C	۱۳	۸
D	۱۲	۱۴
E	۱۵	۵
F	۱۰	۹

پاسخ- زمان‌بندی فعالیتها روی ۳ ماشین-۲

- در این حالت حل به روش جانسون برابر است با:

- B,A,D,F,C,E



فعالیت	زمان عملیات ماشین ۱	زمان عملیات ماشین ۲	زمان عملیات ماشین ۳
A	۷	۴	۸
B	۵	۴	۹
C	۱۰	۳	۵
D	۸	۴	۱۰
E	۱۲	۳	۲
F	۸	۲	۷

زمان‌بندی عملیات سخت است

- اغلب اوقات زمانهای راه‌اندازی و عملیات به صورت ثابت از قبل قابل محاسبه نیستند و متغیر هستند.
- زمانهای مرتبط با خرابی‌ها (که به طور تصادفی رخ می‌دهند)، تغییراتی که در توالی کارها رخ می‌دهد نیز موجب عدم ثبات در زمان‌بندی‌ها می‌شوند.
- هیچ روش بهینه سازی شناخته شده‌ای برای تعیین زمان‌بندی کارها در مقیاس بزرگ وجود ندارد.
- در نتیجه زمان‌بندی به تنهایی یک شاخه از علم نیست و معمولا یکی از وظایف روزمره مدیران برای تصمیم گیری هاست.
- **با کاهش تعداد گلوگاهها، در نظر گرفتن موعد تحویل واقع‌گرایانه برای محصولات، و تجزیه فرآیندهای بزرگ به قسمتهای کوچکتر بسیاری از مشکلات زمان‌بندی قابل رفع خواهد بود.**

زمان‌بندی نیروی انسانی

- بسیاری از اوقات مسأله زمان‌بندی نیروی انسانی مورد نیاز در سازمانهایی که نیاز مداوم به کار دارند پیش می‌آید.
- مؤسساتی چون بیمارستانها، نیروی پلیس، مراکز نظامی، مراکز خدمات ارتباطی (موبایل، تلفن، اینترنت)، و ... نیاز به چنین برنامه‌ریزی‌هایی دارند.
- در چنین مواقعی معمولا برای کارمندان یک طرح کاری برنامه‌ریزی می‌شود. مثلا ۵ روز کار متوالی و ۲ روز استراحت.
- در عین حال محدودیتهای زیادی بر این مسائل وارد می‌شود. مثلا محدودیتهایی قانونی برای حداکثر کار و ...، میزان مهارت افراد مختلف که باعث نیازهای متفاوت می‌شود و .....
- در اسلایدهای بعدی با یک روش ابتکاری به حل چنین مسائلی در حالت خاص کار دوره‌ای (Cyclical Scheduling) برای سازمان می‌پردازیم.

مثال- زمان‌بندی نیروی انسانی

- فرض کنید سازمانی در روزهای مختلف هفته به نیروهای زیر نیاز دارد. مدیریت سازمان در نظر دارد که برای هر کارگر یک طرح شامل ۵ روز کار متوالی و ۲ روز استراحت مشخص کند و در عین حال تعداد کارمند مورد نیاز سازمان در کمترین حالت قرار گیرد. این برنامه را برای سازمان مشخص کنید.

روز	شنبه	یکشنبه	۲شنبه	۳شنبه	۴شنبه	۵شنبه	جمعه
تعداد نفر مورد نیاز	۴	۵	۳	۴	۲	۳	۲

پاسخ- زمان‌بندی نیروی انسانی ۱

- ۱- ابتدا یک کارگر را به سازمان اختصاص دهید، و
- ۲- دو روز متوالی را که در مجموع کمترین نیاز به کارمند دارند مشخص کرده و دور تعداد نفر مورد نیاز خط بکشید.
- در این مثال با تجمیع دو به دو نیروی مورد نیاز در روزهای متوالی، نتیجه آن است که در روزهای ۵ شنبه و جمعه نیروی کمتری مورد نیاز است، پس این دور روز انتخاب می‌شوند.

روز	شنبه	یکشنبه	۲شنبه	۳شنبه	۴شنبه	۵شنبه	جمعه
تعداد نفر مورد نیاز	۴	۵	۳	۴	۴	۳	۲
کارگر۱	۴	۵	۳	۴	۴	۳	۲

پاسخ- زمان‌بندی نیروی انسانی ۲

- نکته: روزهای جمعه و شنبه را نیز باید دور روز متوالی در نظر داشت و در صورت انتخاب هر دو را با دایره مشخص کرد.
- ۳- کارگر بعدی را اضافه کرده، و در جلوی آن، مقادیر جدید نیروی مورد نیاز را بنویسید. به این صورت که: در روزهایی که در مرحله قبل انتخاب نشده‌اند، یک نفر از تعداد مورد نیاز کم کنید، و روزهایی که انتخاب شده‌اند را بدون تغییر بگذارید. روزهای تعطیل کارگر بعدی را مشخص کنید.
- نکته: در صورتی که مقادیر مورد نیاز مساوی شد، به دلخواه یکی را انتخاب کنید.

روز	شنبه	یکشنبه	۲شنبه	۳شنبه	۴شنبه	۵شنبه	جمعه
تعداد نفر مورد نیاز	۴	۵	۳	۴	۴	۳	۲
کارگر۱	۴	۵	۳	۴	۴	۳	۲
کارگر ۲	۳	۴	۲	۳	۳	۳	۲

پاسخ- زمان‌بندی نیروی انسانی ۳

- ۴- قدم ۲ و ۳ را تکرار کنید، تا هنگامی که تمام نیروی مورد نیاز اختصاص یابد.
- در بعضی موارد جواب نهایی نیاز به بازبینی دارد تا جواب بهتری برای مسأله یافته شود. مثلا ممکن است در آخر برنامه، در کل هفته ۱ یا ۲ روز به یک نیروی انسانی نیاز باشد، در این حالت می‌توان از اضافه‌کاری یا قرارداد موقت استفاده کرد و یک نیروی جدید استخدام نکرد.

روز	شنبه	یکشنبه	۲شنبه	۳شنبه	۴شنبه	۵شنبه	جمعه
تعداد نفر مورد نیاز	۴	۵	۳	۴	۴	۳	۲
کارگر۱	۴	۵	۳	۴	۴	۳	۲
کارگر ۲	۳	۴	۲	۳	۳	۳	۲
کارگر ۳	۲	۳	۱	۲	۲	۳	۲
کارگر ۴	۱	۲	۱	۲	۱	۲	۱
کارگر ۵	۱	۱	۰	۱	۰	۱	۱
کارگر ۶	۰	۰	۰	۱	۰	۰	۰

پاسخ- زمان‌بندی نیروی انسانی ۴

- در مثالی که حل شد، هر کارگر در روزهایی که جلوی اسمش با خط قرمز مشخص شده است استراحت دارد و در بقیه روزها کار می‌کند.
- توجه کنید که کارگر ۶ تنها ۱ روز کار می‌کند، و کارگر ۵ نیز ۴ روز کار می‌کند.
- به عنوان بهترکردن زمان‌بندی ارائه شده می‌توان برای کارگر ۵ به گونه‌ای شرایط فراهم شود (مثلا با افزایش حقوق، یا گردشی کردن طرح شماره ۵) که او استراحت خود را به صورت غیر متوالی یعنی روزهای دوشنبه و چهارشنبه انجام دهد، و نیازی به استخدام یک نفر جدید نباشد.

زمان‌بندی همزمان

- در اغلب اوقات مسائل زمان‌بندی باید برای بیش از یک منبع مورد نیاز انجام شود،
- مثلا در بیمارستانها، پرستاران، پزشکان، جراحان، نیروهای اداری، تجهیزات خاص، نیروهای اطاق جراحی و غیره مورد نیاز هستند که ممکن است زمان‌بندی یک نیرو بر زمان‌بندی نیروهای و منابع دیگر اثر گذارد.
- هرچه تعداد نیروهای قابل برنامه‌ریزی و متغیرهای تصمیم بیشتر شود، زمان‌بندی مورد نظر نیز با سختی بیشتری قابل انجام است. اصطلاحا به مسائلی از قبیل زمان‌بندی همزمان با تعداد متغیرهای بالا NP-Hard گفته می‌شود. بدین معنا که راه حل شناخته شده‌ای برای حل بهینه این مسائل وجود ندارد. این خصوصیت مسائل باید به اثبات برسد.
- بسیاری از سازمانها (مؤسسات آموزشی، بیمارستانها، خطوط هوایی و ...) از بسته‌های نرم‌افزاری برای حل چنین مسائلی استفاده می‌کنند.

پرسش و پاسخ