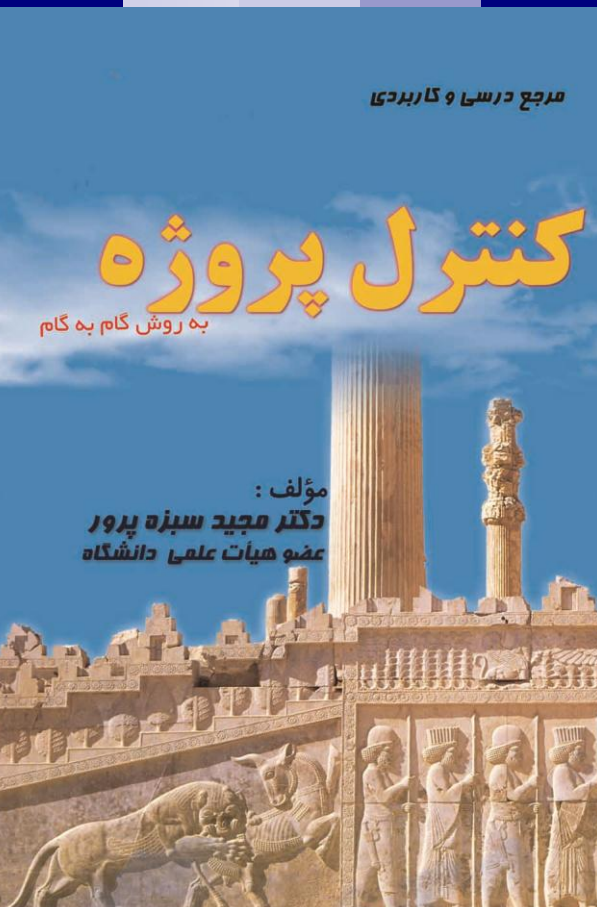


کنترل پروژه

فصل هفتم: برنامه ریزی تسطیح منابع

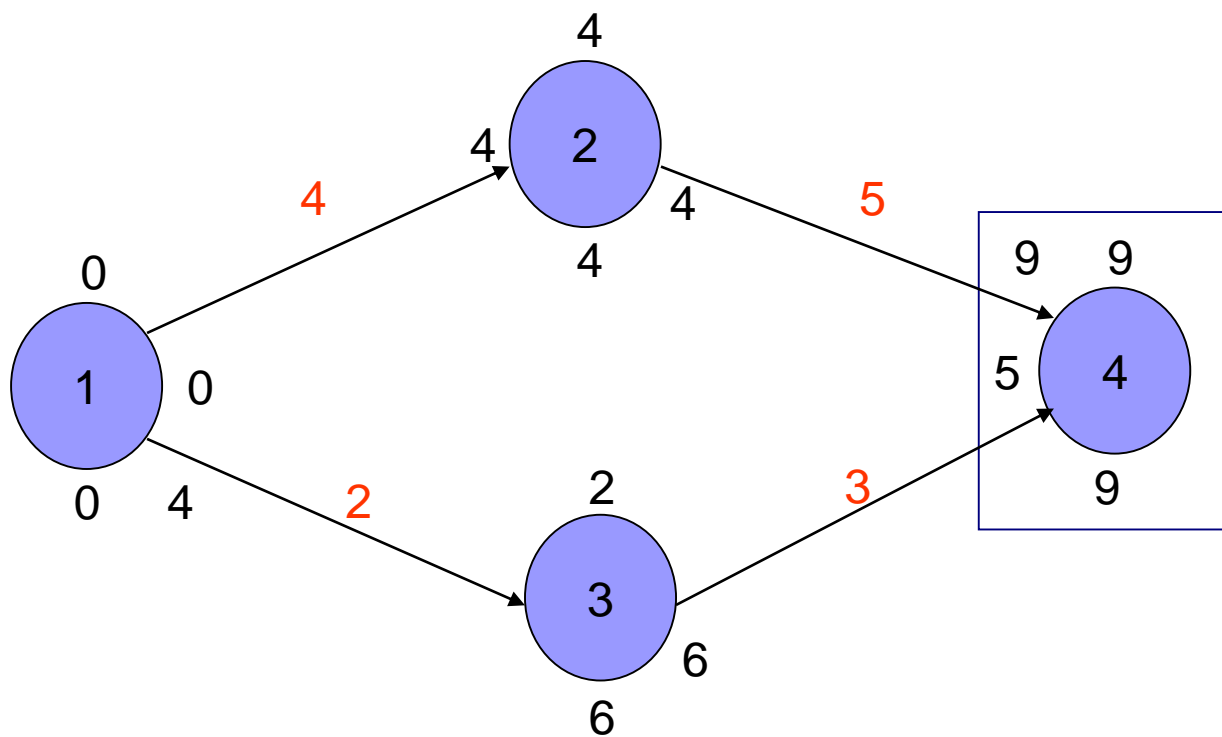


مفهوم برنامه ریزی تسطیح منابع

- **فرضیات:** فرضیات مدل زمانبندی پروژه بدون محدودیت منابع (تعداد منابع نامحدود)
- **هدف:** تعیین زمانبندی که در آن هزینه های ناشی از نوسانات سطوح منابع مختلف حداقل است.
- **محدودیت:** تأخیر غیر مجازی در هیچ یک از فعالیتهای پروژه پیش نیاید.
- منظور از نوسانات درمورد منابع نیروی انسانی هزینه های استخدام و اخراج و در مورد وسائل و تجهیزات، هزینه های نصب و آماده سازی آنها می باشد.
- در صورتی که بتوان فعالیتهای را در فاصله شناوری کل آنها به گونه ای جابجا نموده که تعداد مورد نیاز از یک نوع منبع خاص در طول زمان تقریباً ثابت بماند هدف فوق تحقق یافته است. بنابراین هدف از این برنامه ریزی، یکنواخت یا هم سطح کردن سطوح تقاضا برای برخی منابع خاص (که هزینه نوسانات آنها بالاست) در طول زمان اجرای طرح می باشد.

مثال

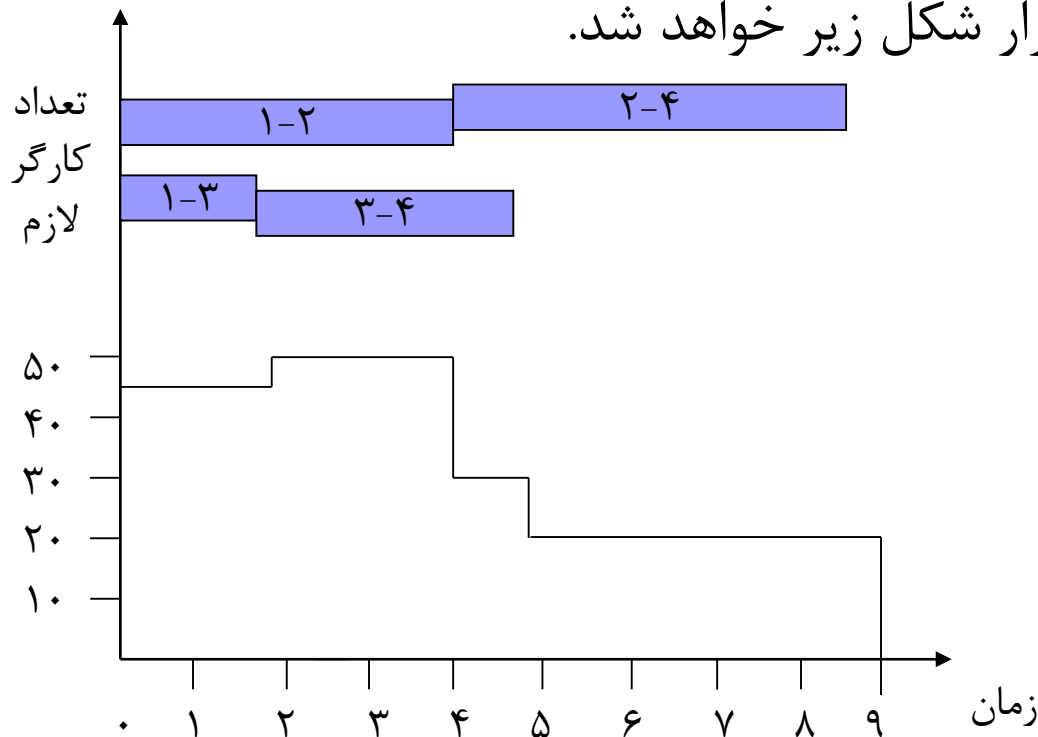
شبکه ساده شکل زیر را در نظر بگیرید که در آن محاسبات مسیرهای پیشرو و پسرو انجام شده اند.



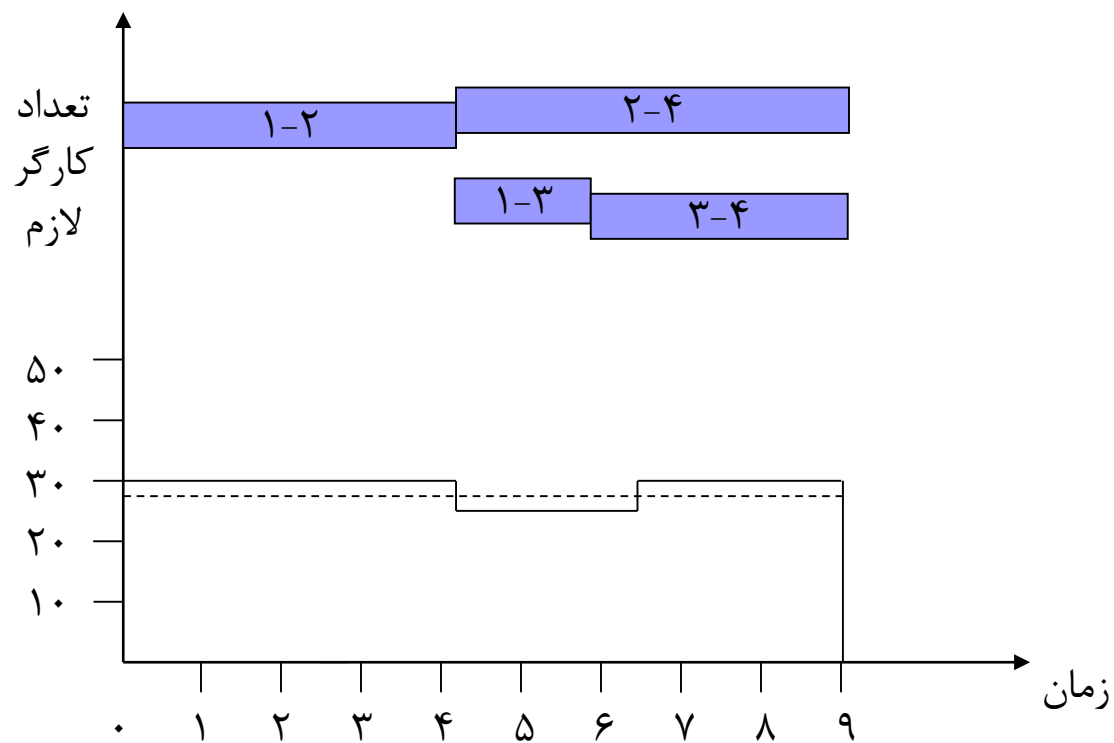
کارگران موردنیاز برای انجام هریک از فعالیتهای شبکه فوق عبارتند از :

فعالیت	1-2	2-4	1-3	3-4
کارگر لازم r_{ij}	30	10	15	20

ضمناً هر تعداد کارگر که برای استخدام بخواهیم موجود است یعنی تعداد منابع در دسترس نامحدود است. اگر این فعالیتهای را بر حسب زودترین زمان شروع برنامه ریزی کنیم، نمودار گانت و برنامه نیروی انسانی آن به قرار شکل زیر خواهد شد.



- در شروع روزاول ۴۵ نفر کارگر برای فعالیتهای ۱-۲ و ۱-۳ نیاز است. پس دراین زمان یک هزینه استخدام ۴۵ نفره خواهیم داشت.
- درپایان روز دوم فعالیت ۱-۳ که ۱۵ کارگر احتیاج داشت به پایان رسیده و بلافاصله فعالیت ۳-۴ با ۲۰ کارگر شروع شده، در نتیجه ۵ کارگر دیگر علاوه بر ۱۵ کارگری که فعالیت ۱-۳ را انجام می دادند باید استخدام شوند تا ۲۰ کارگر مورد نیاز فعالیت ۳-۴ تأمین گردد.
- در پایان روز چهارم فعالیت ۱-۲ به پایان رسیده و بلافاصله فعالیت ۲-۴ شروع شده، در نتیجه از ۳۰ کارگر آزاد شده، ۱۰ نفر از آنها مسئول انجام فعالیت ۲-۴ شده و ۲۰ نفر بقیه اخراج می شوند که مستلزم هزینه اخراج است .
- در روز پنجم فعالیت ۳-۴ به اتمام می رسد و ۲۰ کارگری که این کار را انجام می دادند بیکار می شوند و چون فعالیت دیگری دراین زمان شروع نمی شود باید کلیه این ۲۰ نفر اخراج شوند. بالاخره در روزنهم فعالیت ۲-۴ نیز به اتمام می رسد و باید ۱۰ کارگر باقیمانده اخراج شوند.
- باتوجه به نمودار اخیر واضح است که نوسانات سطح بکارگیری نیروی انسانی بسیار زیاد است.
- حال مدلهای تسطیح منابع به این امر می پردازند که آیا بدون اینکه زمان پروژه از ۹ روز بیشتر شود میتوان فعالیتهای را در فاصل شناوری کل آنها به گونه ای جابجا نمود که نوسانات منابع کمینه گردد.



مدل ریاضی تسطیح منابع

نوسانات سطوح منابع باید کمینه شوند اما این کمینه کردن نباید به قیمت افزایش طول پروژه نسبت به زمان تحویل آن انجام شود.

برای مدلسازی ریاضی باید کمینه کردن نوسانات سطوح منابع بعنوان هدف ریاضی و مجاز نبودن تأخیر نسبت به زمان تحویل را بعنوان محدودیت مدل در نظر می گیریم . بهترین برنامه تخصیص منابع مدل از حل غیرخطی زیر بدست می آید.

$$\text{Min } \sum_{t=1}^D (r_{t+1}^2 - r_t^2)$$

$$\text{s.t: } \sum_{t=1}^D r_t = W$$

$$r_t \geq 0 \quad t = 1, 2, \dots, n$$

r_t : مقدار منبع مورد نیاز در دوره زمانی t = جمع مقدار منبع مورد نیاز فعالیت‌های در حال اجرا در دوره زمانی t در مثال قبل داریم:

$$r_1 = 45, \quad r_2 = 45, \quad r_3 = 50, \quad r_4 = 50, \quad r_5 = 30, \quad r_6 = 10, \quad r_7 = 10, \quad r_8 = 10, \quad r_9 = 10$$

$$W = \sum r_{ij} D_{ij} \quad \text{که } W: \text{ کل مقدار منبع مورد نیاز بر حسب نفر - زمان}$$

D : تاریخ تحویل پروژه

برای مثال قبل داریم:

$$W=(30 \times 4)+(15 \times 2)+(10 \times 5)+(20 \times 3)=260$$

محدودیت مدل یعنی اینکه سطح زیر منحنی بکارگیری منابع تا زمان تحویل پروژه باید برابر حجم منبع لازم برای کل پروژه باشد که باعث می شود تأخیر در طول پروژه نسبت به زمان تحویل ایجاد نشود. توان ۲ در تابع هدف که باعث غیر خطی شدن این مدل ریاضی گردید از آن جهت است که نوسانات منفی نوسانات مثبت را خنثی نکنند. می توان این تابع هدف را با تابع قدر مطلق جایگزین نمود اما حل توابع قدر مطلق نیز مشکلات خاص خود را داراست. عبارت تابع هدف را که شامل مجموع مربعات تفاضل است می توان با عبارت ساده $\sum_t r_t^2$ جایگزین نمود.

نتایج این دو تابع هدف در واقع یکی است، چون تابع هدف اخیر باعث کمینه شدن مقادیر سطوح فوقانی در نمودار بکارگیری منابع می گردد و آنقدر قسمتهای فوقانی را انتقال می دهد تا آنکه سطوح منابع در طول زمان در حد ممکن هم سطح گردد. پس می توان از مدل ساده شده زیر استفاده کرد.

$$\text{Min } \sum r_t^2$$

$$\text{s.t : } \sum_{t=1}^D r_t = W$$

$$t = 1, 2, \dots, D$$

الگوریتم های ابتکاری تسطیح منابع

- هر دو برنامه ریزی غیرخطی شرح داده شده جواب بهینه را می دهند اما همانطوری که می دانیم حل مسائل برنامه ریزی غیرخطی با وجود توسعه روشهای متنوع فقط درحالات خاصی وآنهم درصورت کم بودن تعدادمحدودیتها ومتغیرها امکان پذیر است.
- از آنجایی که پروژه های عملی معمولاً شامل صدها فعالیت هستند برنامه ریزی تسطیح منابع آنها به این روش غیرعملی است، به همین خاطر سعی زیادی درجهت طراحی وتوسعه الگوریتم های کامپیوتری ابتکاری صورت گرفته است.
- منطق ومعیارهای استفاده شده در اکثراین الگوریتم ها براساس همان مدلهای ریاضی فوق است اما هیچ یک از آنها بهدست آوردن جواب بهینه را تضمین نمی کند بلکه جواب آنها ممکن است نزدیک به بهینه باشد.

الگوریتم برگس (Burgess)

برای استفاده از این الگوریتم ابتدا به تعریف علامت اختصاری زیر می پردازیم.
 r_{ij}^t : مقدار منبع لازم برای فعالیت $i-j$ در خانه زمانی t

گام ۱ : فعالیتهای پروژه را درجدولی مانند جدول تخصیص منابع محدود به ترتیب صعودی شماره ختم ودر صورت برابری به ترتیب شماره شروع می نویسیم. بعد از انجام محاسبات ES_{ij} و LS_{ij} اضافه نمودن یک واحد به آنها، زمان شروع فعالیتهای را بر مبنای ES_{ij} برنامه ریزی می کنیم.

گام ۲ : از آخرین فعالیت شروع می کنیم و به ترتیب هر فعالیت را در طول زمان شناوریش طوری به زمان تخصیص می دهیم که مقدار $\sum \left(\sum r_{ij}^t \right)$ حداقل شود.

باید توجه نمود که فعالیتها برخلاف تخصیص منابع محدود به هیچ وجه نباید دیرتر از LS_{ij} انجام شوند (یعنی تأخیر غیر جاز جایز نیست). اگر حالات مختلف از برنامه تخصیص منابع پیدا شد که Z آنها مساوی بودند آن حالتی را انتخاب می کنیم که بیشترین مقدار شناوری را برای فعالیتهای قبلی که در ردیفهای بالاتر جدول هستند باقی گذارد. عبارت دیگر در صورت مواجهه با حالات تساوی Z ، فعالیت در دست برنامه ریزی را هر اندازه که ممکن است دیرتر شروع می کنیم.

گام ۳ : پس از آنکه تمامی فعالیتها برنامه ریزی شدند مجدداً از پایین ترین فعالیت، جدول گام ۲ را برای فعالیتها تکرار می کنیم. این روند را آنقدر ادامه می دهیم تا کاهش بیشتری در تابع Z ممکن نباشد.

مثال: مثال ۲-۳ (صفحه ۹۱) را در نظر بگیرید. فرض کنید در این مثال محدودیتی از نظر تعداد منابع در دسترس (که محدود به ۸ بود) وجود نداشته باشد. می خواهیم فعالیتها را به گونه ای برنامه ریزی کنیم که نوسانات سطوح منابع کمینه شوند بدون آنکه زمان اتمام پروژه از 15 بیشتر شود.

همانطوری که از جدول ۴-۱ پیداست اگر مقدار منبع لازم برای هر فعالیت $i-j$ در یک خانه زمانی t را با هم جمع کنیم مقدار کل منبع مورد نیاز در آن خانه زمانی یعنی $\sum r_{ij}^t$ بدست می آید. این مقادیر به همراه مربع آنها در سه ردیف آخر جدول نشان داده شده اند. هر ردیف نشان دهنده یک تغییر یا جابجایی در برنامه ریزی زمان یک فعالیت است که در جریان پیمودن گام دوم صورت گرفته است. در مرحله اول فعالیتها بر حسب ES_{ij} برنامه ریزی شده اند. در این حالت مقدار Z که از جمع سطر دوم ردیف اول مذکور بدست می آید برابر است با:

$$\sum \left(\sum r_{ij}^t \right)^2 = 816$$

برنامه ریزی فعالیت ها به وسیله الگوریتم تخصیص منابع

فعالیت	r_{ij}	D_{ij}	Es_{ij}	Ls_{ij}	T														
					1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1..2		2	1	5	—	—													
1..3	4	2	1	4	4	4													
1..4	4	3	1	1	4	4	4												
2..5	2	4	3	7			2	2	2	2									
3..6	3	3	3	6			3	3	3	3	3	3							
3..7		3	3	8			—	—	—			—	—	—					
4..7	5	7	4	4				5	5	5	5	5	5	5					
5..8	3	2	7	11							3	3	3	3					
6..8		4	6	9						—	—	—	—	—	—	—			
7..9	6	5	11	11											6	6	6	6	6
8..9		3	10	13										—	—	—	—	—	—
$\sum r_{ij}^t$					8	8	9	10	10	7	8	8	5	5	6	6	6	6	6
$(\sum r_{ij}^t)^2$					64	64	91	100	100	49	64	64	25	25	36	36	36	36	36
$\sum r_{ij}^t$					8	8	9	10	10	7	5	5	8	8	6	6	6	6	6
$(\sum r_{ij}^t)^2$					64	64	81	100	100	49	25	25	64	64	36	36	36	36	36
$\sum r_{ij}^t$					8	8	6	7	7	10	8	8	8	8	6	6	6	6	6
$(\sum r_{ij}^t)^2$					64	64	36	49	49	100	64	64	64	64	36	36	36	36	36

نکته : آنچه که در نرم افزار MSP تحت عنوان Level Resources آمده، تسطیح منابع نیست و در واقع فقط اجرای الگوریتم تخصیص منابع محدود (RCPSP) و برطرف کردن مشکل مازاد منابع است.