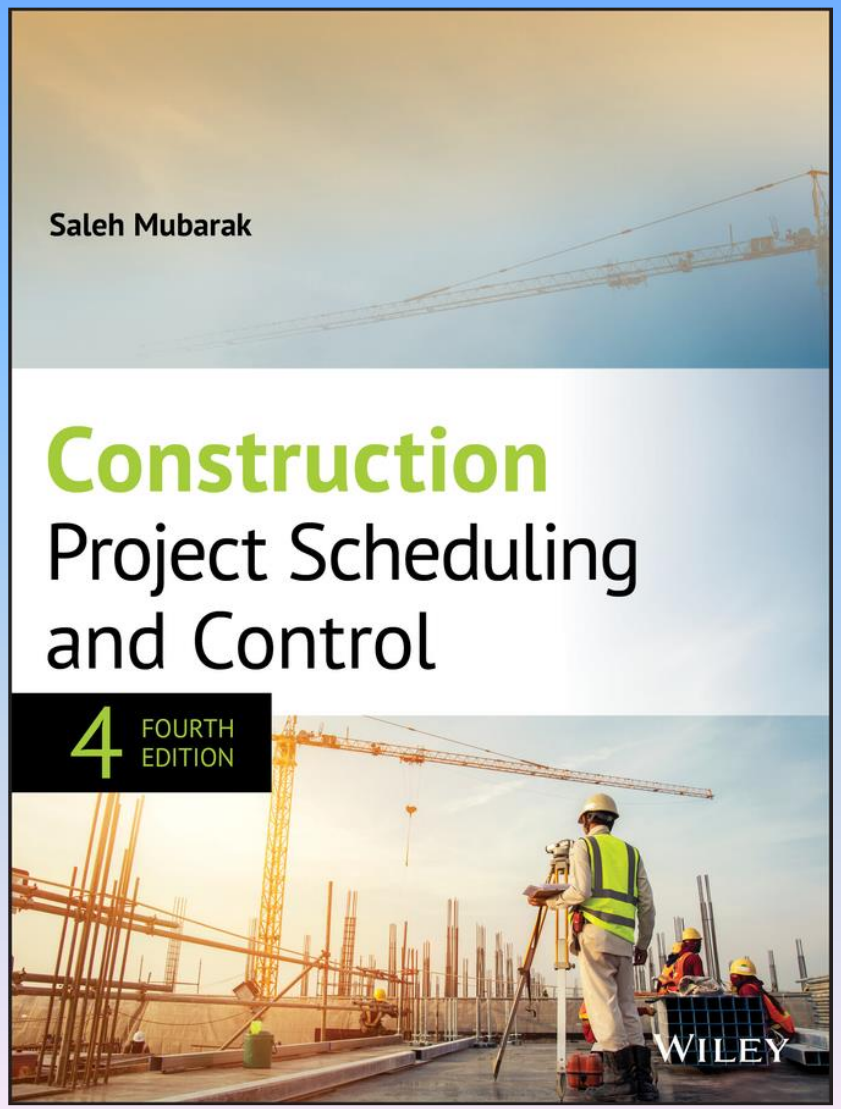
بنام خدا

روش های برنامه ریزی و کنترل پروژه

جزوه شماره ۱ – برنامه ریزی پروژه

امیرمسعود تاکی

منابع:



1. **Construction Project Scheduling and Control**
   Fourth Edition

Saleh Mubarak

کتاب مدیریت و کنترل پروژه
علی حاج شیرمحمدی
انتشارات ارکان دانش

روش ارزشیابی:

میانترم: (۳۰٪ نمره تا پایان بخش زمانبندی پروژه)
پایانترم: (۴۰٪ نمره)
تکالیف کلاسی: (۱۰٪ نمره)
ارائه پایانترم: (۲۰٪ نمره)

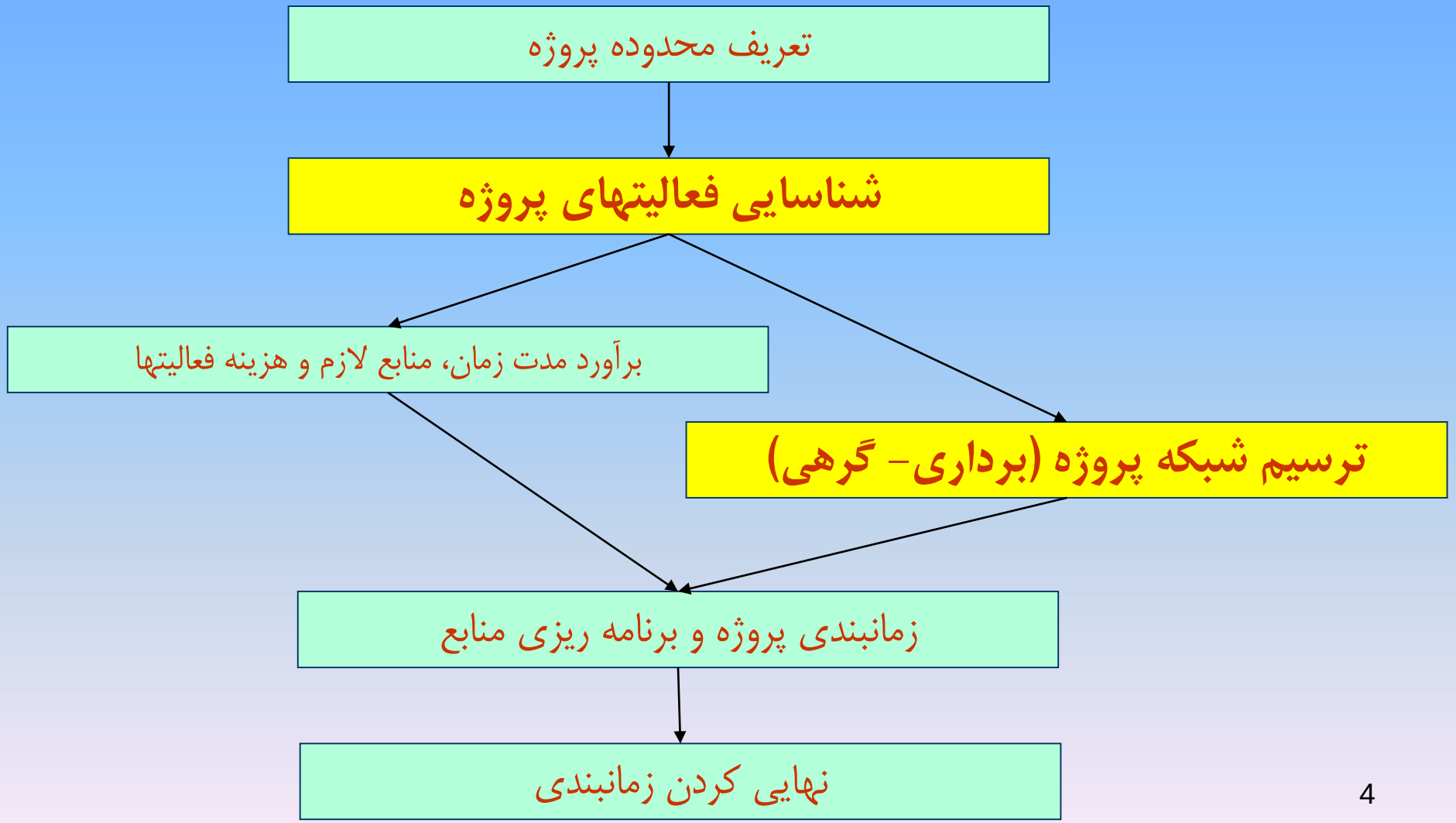
پرتال ارتباطی:

www.construction.blog.ir

ارائه پایانترم: یکی از مقالات ژورنالهای معتبر حوزه مرتبط با برنامه ریزی و کنترل پروژه را مطالعه، خلاصه و در قالب حداکثر ۱۲ اسلاید ارائه دهید.

- Automation in Construction
- Journal of Construction Engineering and Management – ASCE
- Journals in the field of Construction Management

فرآیند برنامه‌ریزی در یک نگاه



دسته‌بندی کلی روش‌های برنامه‌ریزی شبکه:

۱- روش نمودار گانت:(Gantt Chart)

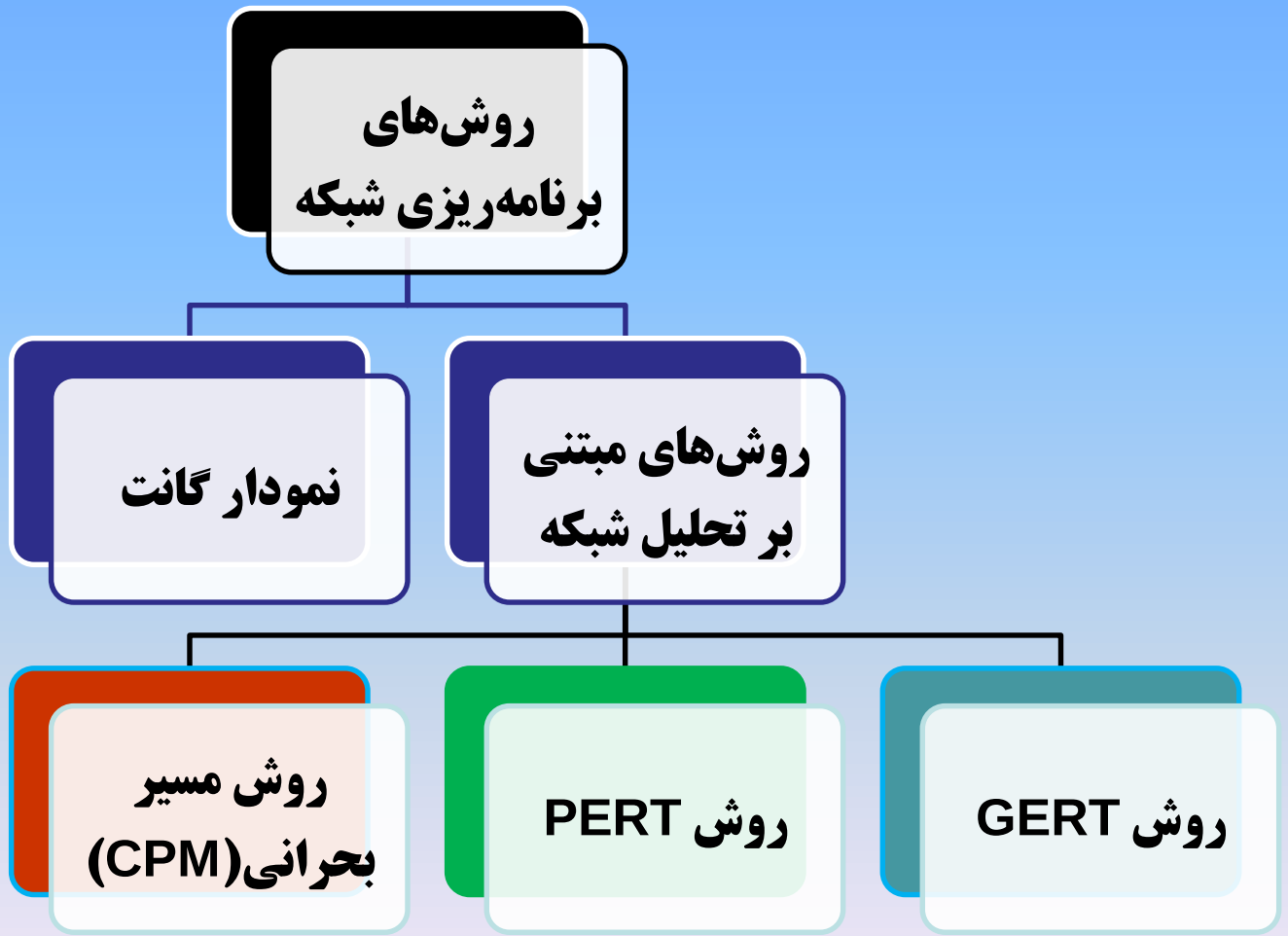
۲- روش‌های مبتنی بر تحلیل شبکه:(Network Analysis Method)

۲-۱- روش مسیر بحرانی: در این روش فعالیت‌ها و زمان‌های انجام هر فعالیت مشخص و قطعی هستند. (Critical Path Method) **یا** (CPM)

۲-۲- روش ارزیابی و بازنگری پروژه‌ها: در این روش فعالیت‌های پروژه معین و قطعی اما زمان‌های انجام هر فعالیت بصورت احتمالی است. (Project Evaluation & Review Technique) **یا** (PERT)

۲-۳- روش گرافیکی ارزیابی و بازنگری پروژه‌ها: در این روش هم فعالیت‌ها و هم زمان انجام هر فعالیت در پروژه بصورت احتمالاتی هستند. (Graphical Evaluation & Review Technique) یا (GERT)

دسته‌بندی کلی روش‌های برنامه‌ریزی شبکه:



روش نمودار گانت: (Gantt Chart)

توسط هنری گانت مطرح گردید و در جنگ جهانی اول ابداع شد.

اولین روش‌های برنامه‌ریزی پروژه است و از نمودار میله‌ای برای این منظور استفاده می‌نماید.

- این نمودار دارای دو جزء می‌باشد:
- الف) عناوین یا شرح فعالیت‌ها
- بصورت ستونی زیر یکدیگر نوشته شده و رسم می‌شوند. اطلاعات تکمیلی چون کد، مدت زمان، شروع و خاتمه فعالیت نیز ذکر می‌شوند.
- ب) زمان
- زمان انجام هر فعالیت در محور افقی رسم می‌شوند.
- مزیت روش گانت: سادگی
- عیب روش گانت: مشخص نکردن روابط منطقی و وابستگی‌های بین فعالیت‌های تشکیل دهنده پروژه.

روش نمودار گانت: (Gantt Chart)

عنوان استراتژی :	عنوان هدف:	عنوان اقدام کلان / پروژه بهبود:
عنوان برنامه عملیاتی:		

شماره فعالیت	شرح فعالیت / زیر فعالیت	دوره زمانی (هفته)	درصد وزنی	درصد پیشرفت		سال ۱۳۹۲												تقسیم کار		اهم دلایل تاخیر	اهم راهکار پیشنهادی	توضیحات
				برنامه ای	واقعی	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور	مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند	مجری	همکاران			
				دوره تاکنون	دوره تاکنون	۱ ۲ ۳ ۴	۱ ۲ ۳ ۴	۱ ۲ ۳ ۴	۱ ۲ ۳ ۴	۱ ۲ ۳ ۴	۱ ۲ ۳ ۴	۱ ۲ ۳ ۴	۱ ۲ ۳ ۴	۱ ۲ ۳ ۴	۱ ۲ ۳ ۴	۱ ۲ ۳ ۴	۱ ۲ ۳ ۴					

تعاریف پایه: *(Main Definitions)*

- **فعالیت:** جزئی از امور لازم برای اجرای پروژه است که انجام آن به زمان، اغلب موارد صرف هزینه مانند بودجه، نیروی انسانی یا مواد اولیه دارد. فعالیت دارای نقطه آغاز و پایان مشخص است.
- فعالیتهای **پیش نیاز**: A درصورتی پیش نیاز B است که بلافاصله بعد از تکمیل A فعالیت B قابل شروع باشد.(فعالیت A پیش نیاز B می باشدو فعالیت B پیامد یا وابسته ی فعالیتA)
- **فعالیتهای مجازی (موهومی):** فعالیتهایی که ضمن اجرای پروژه وجود نداشته و به هیچ نوع منبعی نظیر زمان و هزینه احتیاجی ندارند. تنها برای نمایش وابستگی های بین عملیات اجرایی پروژه، به شبکه ها اضافه می شوند.
- فعالیتهای موهومی به وسیله ی خط چین نمایش داده می شوند و اغلب فاقد نام هستند.
- **رویداد:** نقطه ی آغاز و پایان یک فعالیت است. رویدادها معرف مقاطع زمانی مختلف اجرای پروژه هستند و خود دربرگیرنده ی زمان نیستند.

شناسایی فعالیتهای پروژه

Identify Project Activities

برخی از دلایل نیاز به تجزیه و تفکیک پروژه به اجزای آن بشرح زیر است:

۱ – راهکاری اصولی برای تعیین محدوده یا مرزهای پروژه است جهت نیل به اهداف آن است.

۲ – دقت بالاتری در برآوردهای زمان، هزینه و منابع را بوجود می‌آورند.

۳– باعث تسهیل در واگذاری اختیارات و اعطای مسئولیتها می‌شود.

۴– مبنای مناسبی برای کنترل و ارزیابی عملکرد مجریان فعالیتها می‌گردد.

۵– شناسایی فعالیتها و اقلام تحویلی پروژه را تضمین می‌کنند و مانع از قلم افتادن آن میشود

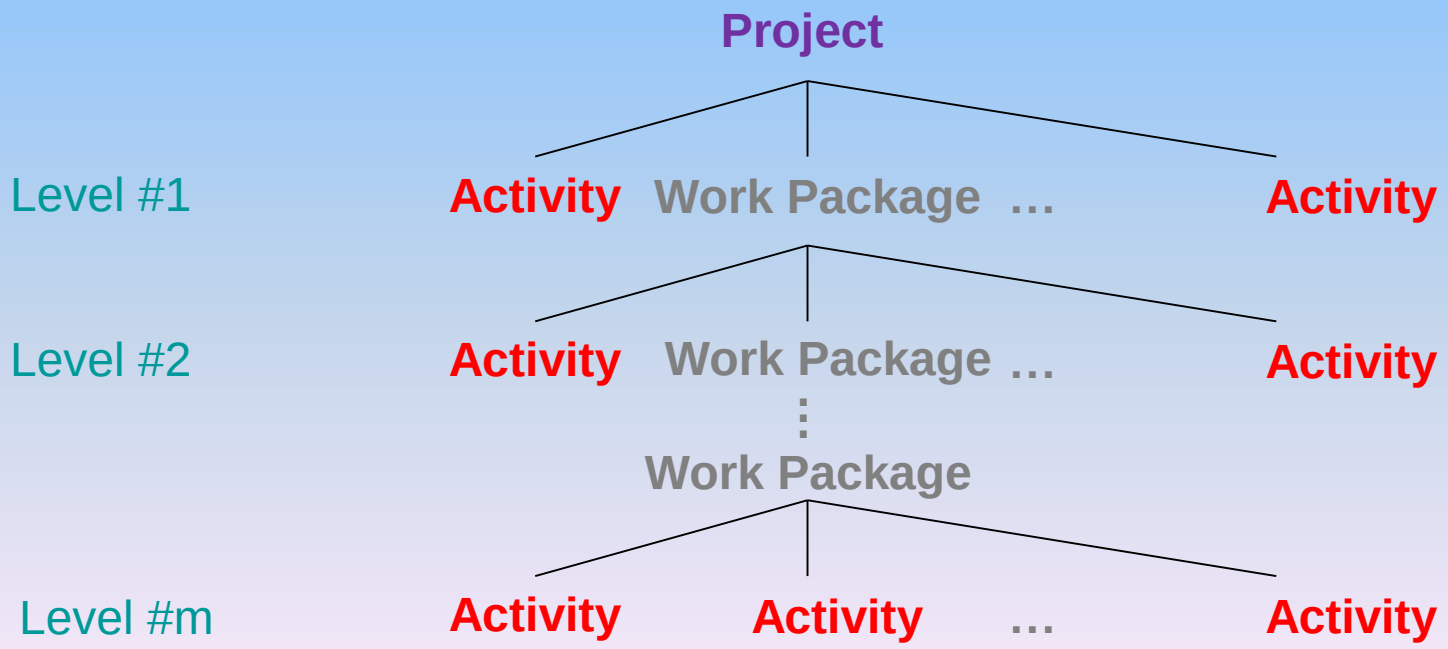
شناسایی فعالیتهای پروژه

Identify Project Activites

• ابزار مورد استفاده در برنامه‌ریزی پروژه، جهت شناسایی فعالیتها "ساختار شکست کار" نام دارد.

ساختار شکست کار — **Work Breakdown Structure (WBS)**

• WBS یک توصیف سلسله مراتبی از کارهایی است که می‌بایست انجام شوند تا اقلام قابل تحویل پروژه شناسایی شده و پروژه با انجام آنها به اتمام برسد.

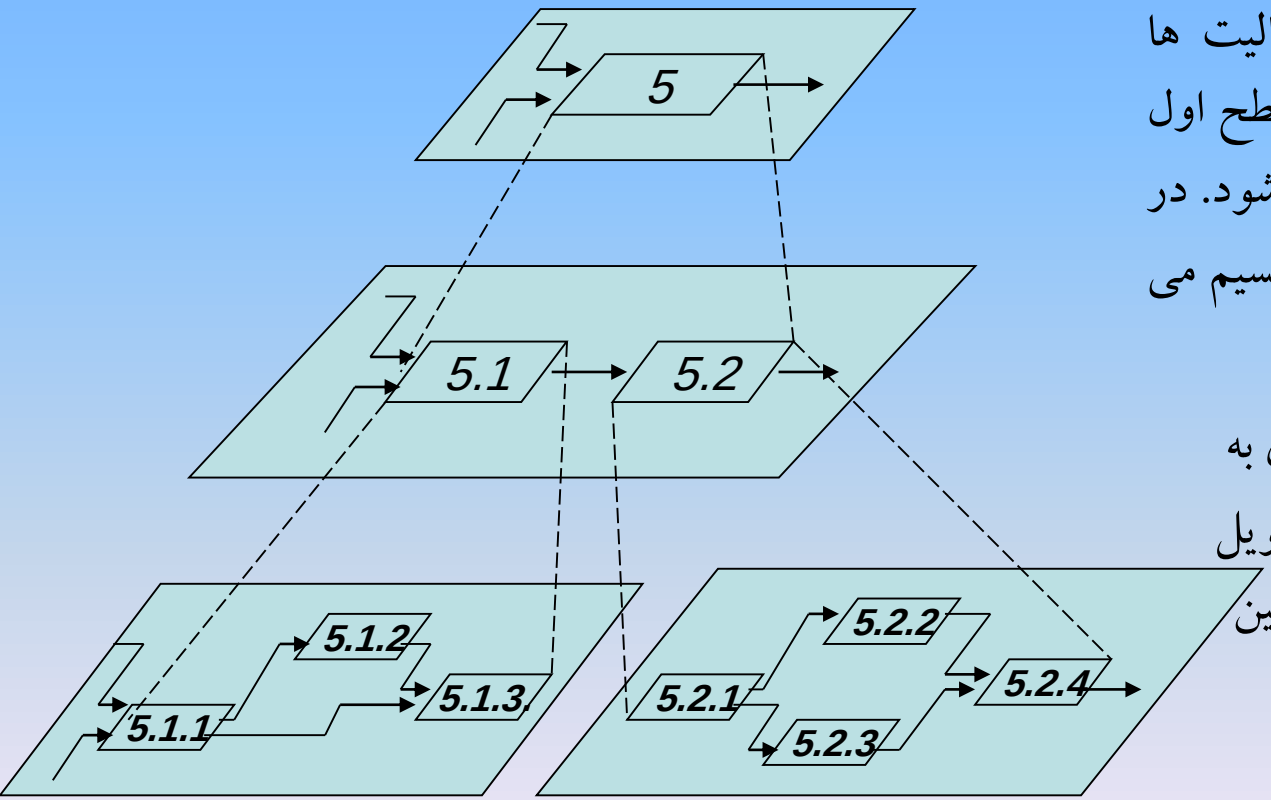


شناسایی فعالیت های پروژه به وسیله رسم نمودار WBS

روش ساخت نمودار ساختار شکست کار:

در این روش، از سیستم سلسله مراتبی (Hierarchical) برای تعریف فعالیت ها استفاده می شود. ابتدا نام پروژه در سطح اول به عنوان یک فعالیت مادر نوشته می شود. در سطح دوم پروژه به قسمتهای اصلی تقسیم می گردد.

سپس هر فعالیت اصلی در سطح بعدی به اجزای کوچکتر و بسته های قابل تحویل شکسته می شود. درصورت نیاز به همین ترتیب تقسیم بسته های کاری تا سطح مدیریتی قابل کنترل ادامه می یابد.



شناسایی فعالیتهای پروژه

Identify Project Activites

آیا تجزیه و شکست کار کافی است؟

- باید ماهیت کار اجازه دهد: کار بصورت یک مرحله و پیوسته انجام می شود.
- آیا سطح شکست کار، برنامه‌ریزی و کنترل دقیقی را ایجاد می‌کند؟ سهولت اجرایی دارد؟
- بسته های کاری باتوجه به سطح گزارش دهی به مدیریت ریز شوند.

نکات قابل توجه:

- کل نگری باعث می‌شود که به فواید تجزیه کار بدرستی دست نیافت.
- جزییات بیش از حد، باعث بالا رفتن هزینه‌های برنامه‌ریزی و کنترل پروژه می‌شود.
- بطورکلی سطح شکست کار به عواملی چون اندازه پروژه و هدف برآورد و کنترل بستگی دارد.
- به فعالیتهای پایین‌ترین سطح بسته کاری فعالیت اطلاق می‌شود.

شناسایی فعالیتهای پروژه

Identify Project Activites

آیا WBSدر آزمونها موفق است؟

- آیا فعالیتهای ریزتر، فعالیت سطح بالاتر را پوشش کامل می دهند؟ (جمع‌پذیری)
- آیا هریک از بسته‌های کاری می‌توانند زمانبندی و بودجه‌بندی شوند؟
- آیا بسته‌های کاری قابل واگذاری به واحد سازمانی مشخص هستند؟
- آیا خروجی بسته‌های کاری، اقلام تحویلی پروژه را پوشش می‌دهند؟

شناسایی فعالیتهای پروژه

Identify Project Activites

آیا WBSدر آزمونها موفق بوده است؟

- آیا وضعیت / تکمیل بسته‌های کاری قابل اندازه‌گیری است؟
- آیا شروع و پایان بسته‌های کاری بطور واضح قابل تعریف باشد؟
- بسته‌های کاری باید دارای خروجی باشند؟ (دستورالعمل، نقشه، نرم‌افزار، محصول و...)
- نباید هیچ آیتمی در WBSتکرار شود!
- مدت زمان اجرای فعالیتها در یک محدوده قابل قبول باشد؟

شناسایی فعالیتهای پروژه

Identify Project Activites

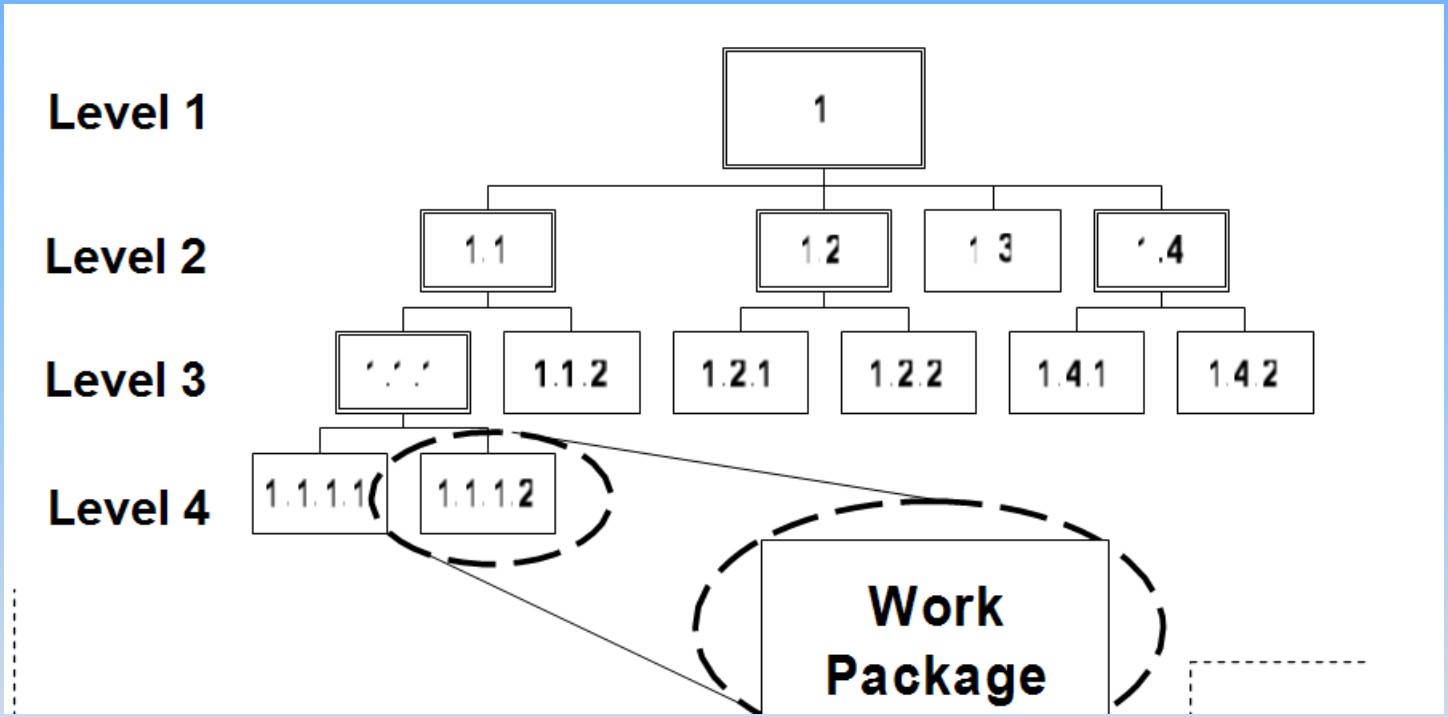
جمع بندی شناسایی فعالیتها

- لیست فعالیتهای پروژه
- الگوسازی WBS در سازمانهایی که پروژه های یکسان دارند.
- دیکشنری WBS

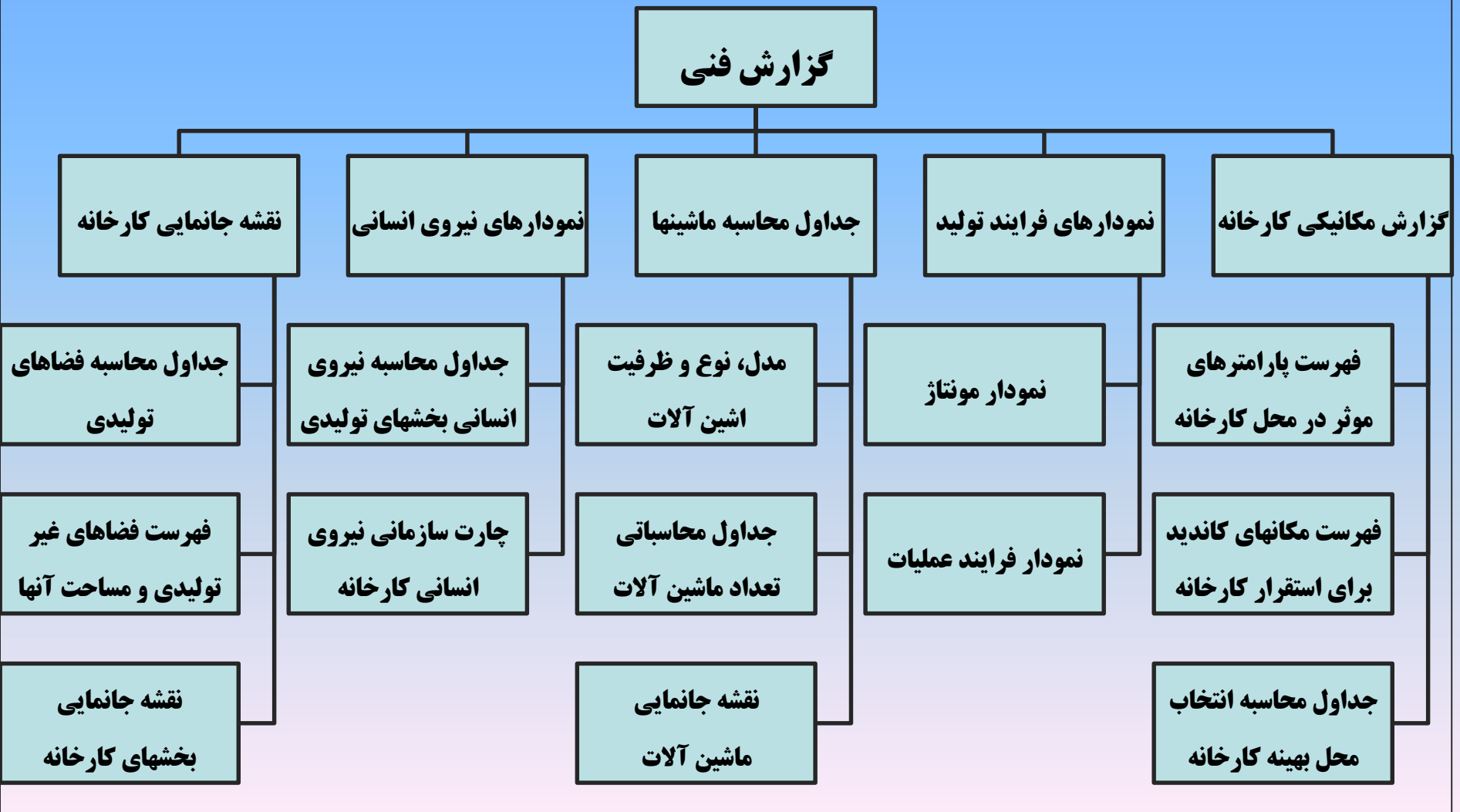
تعریف فعالیت Activity or Task

فعالیت کوچکترین واحد کنترل در نمودار WBS است که سطح بعدی نداشته و دارای زمان بوده و معمولا نیازمند منابع و هزینه است.

بسته های کاری



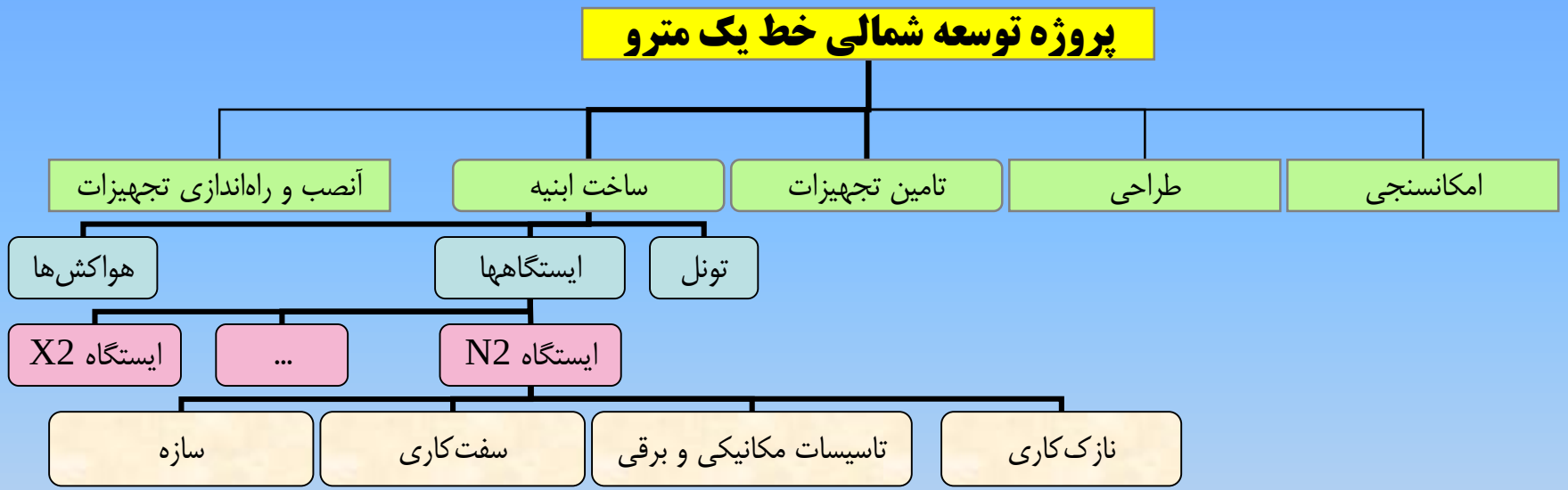
نمودار WBS گزارش فنی پروژه طرح ایجاد کارخانه



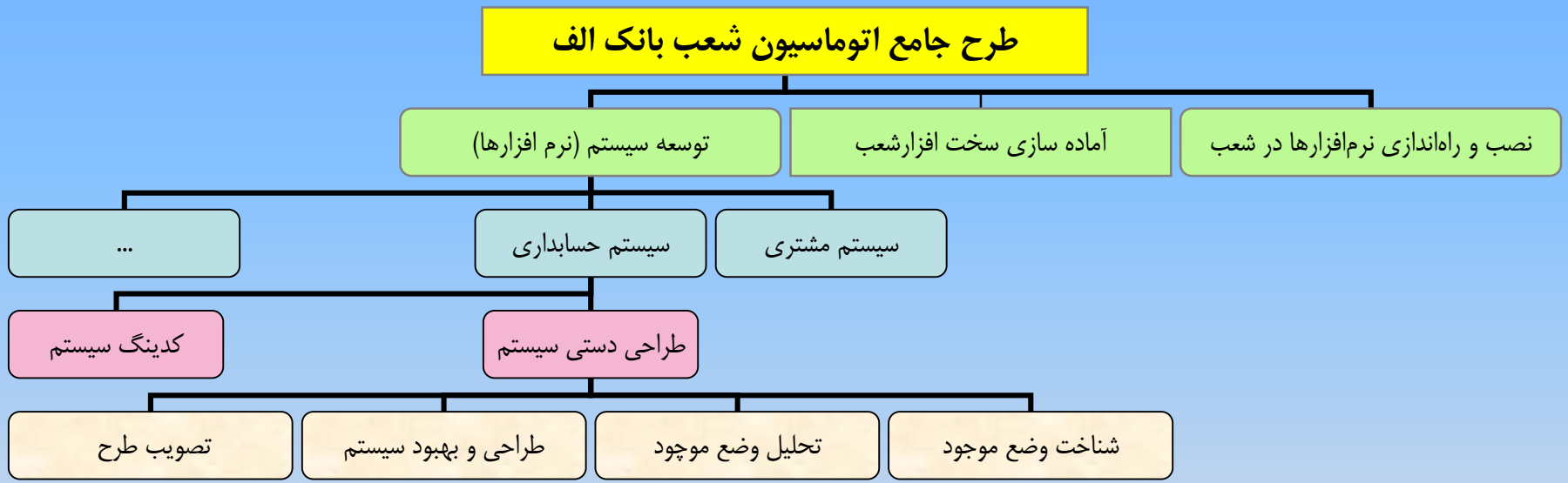
یک نمونه WBS

پروژه لوله کشی گاز
خاکبرداری
لوله گذاری
خاکریزی و تسطیح
کندن آسفالت
حفر کانال
قرار دادن لوله ها
جوشکاری
تست لوله ها
خاکریزی
آسفالتکاری
ماسه ریزی
تمیز کاری اتصال
اتصال دستگاه
حمل خاک به محل
زیر سازی
تراز کف
جوشکاری
آزمایش
آبپاشی
آسفالت
استقرار لوله ها
تراکم خاک
غلتک

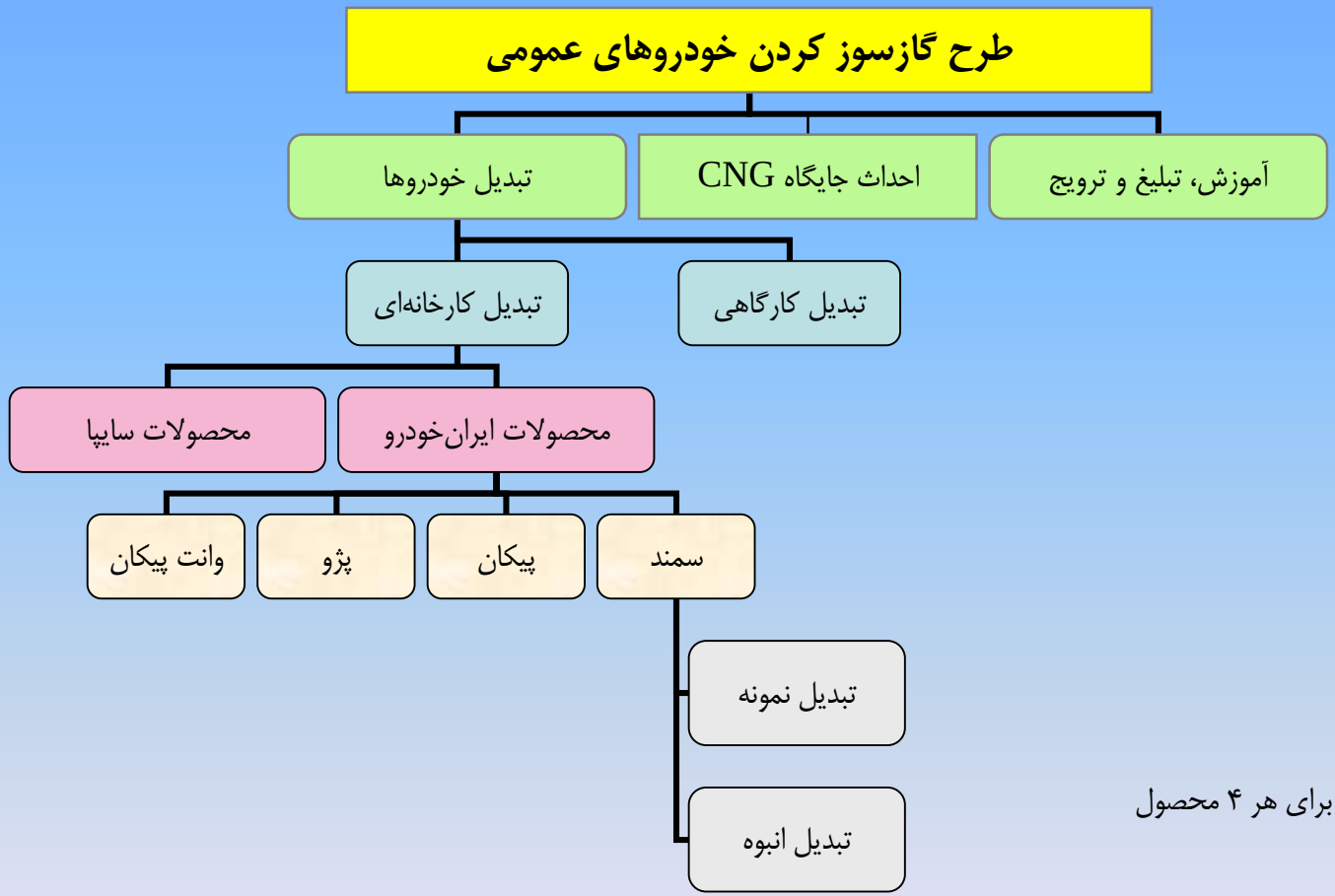
یک نمونه WBS


پروژه توسعه شمالی خط یک مترو
امکانسنجی
طراحی
تامین تجهیزات
ساخت ابنیه
آنصب و راه‌اندازی تجهیزات
تونل
ایستگاهها
هواکش‌ها
ایستگاه N2
...
ایستگاه X2
نازک‌کاری
تاسیسات مکانیکی و برقی
سفت‌کاری
سازه

یک نمونه WBS


طرح جامع اتوماسیون شعب بانک الف
توسعه سیستم (نرم افزارها)
آماده سازی سخت افزارشعب
نصب و راه‌اندازی نرم‌افزارها در شعب
...
سیستم حسابداری
سیستم مشتری
کدینگ سیستم
طراحی دستی سیستم
تصویب طرح
طراحی و بهبود سیستم
تحلیل وضع موجود
شناخت وضع موجود

یک نمونه WBS



فعالیتها

- آموزش، تبلیغ و ترویج
- احداث جایگاه CNG
- تبدیل کارگاهی
- برای هر ۴ محصول:
  - تبدیل نمونه
  - تبدیل انبوه

بسته های کاری یا فعالیتها؟

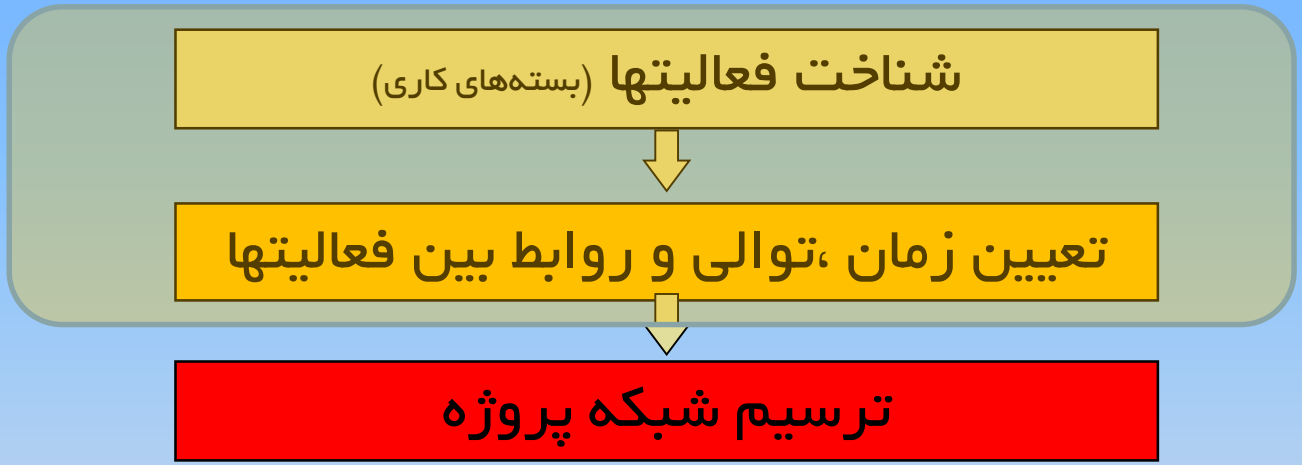
دومین هدف WBS

WBS محدوده یا مرز کارهایی که در پروژه باید انجام شود را مشخص می کند

محدوده یک پروژه تصمیم در مورد حذف یا اضافه کردن یک باکس به WBS که مرزهای وظایفی که باید در پروژه انجام شود را مشخص می کند.

ایجاد شبکه پروژه

مراحل ایجاد شبکه پروژه



توضیح:

در مباحث برنامه‌ریزی و کنترل پروژه، منظور از شبکه پروژه عبارتست از نموداری شبکه‌ای شکل که در آن ضمن بیان فعالیتهای پروژه، تقدم وتاخر و وابستگی منطقی بین آنها را نشان می دهد.

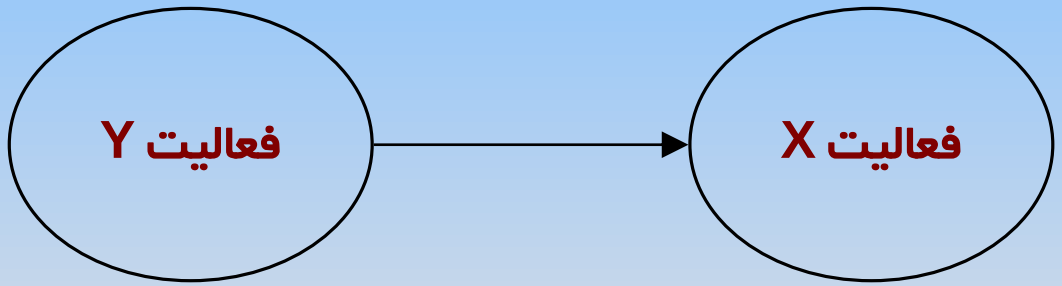
تعیین توالی فعالیتها (بسته‌های کاری)

تعیین توالی فعالیتها، فرآیند شناسایی و تدوین ارتباط و وابستگی فعالیتها از لحاظ تقدم و تاخر با یکدیگر می‌باشد.

انواع وابستگی و ارتباط بین فعالیتها	۱ – وابستگی‌های الزامی (وابستگی سخت یا منطقی) برخی از فعالیتها با یکدیگر دارای روابط ذاتی و فیزیکی هستند لذا انجام آنها منوط به رعایت این وابستگی است.
	۲ – وابستگی‌های ترجیحی (وابستگی نرم) برخی از وابستگی‌های بین فعالیتها توسط گروه اجرایی ایجاد می‌شوند (می‌بایست بدقت و با مستندات کافی تبیین شود)
	۳– وابستگی‌های خارجی وابستگی‌های بین فعالیتهای اجرایی و محیط خارج از پروژه موردنظر است.

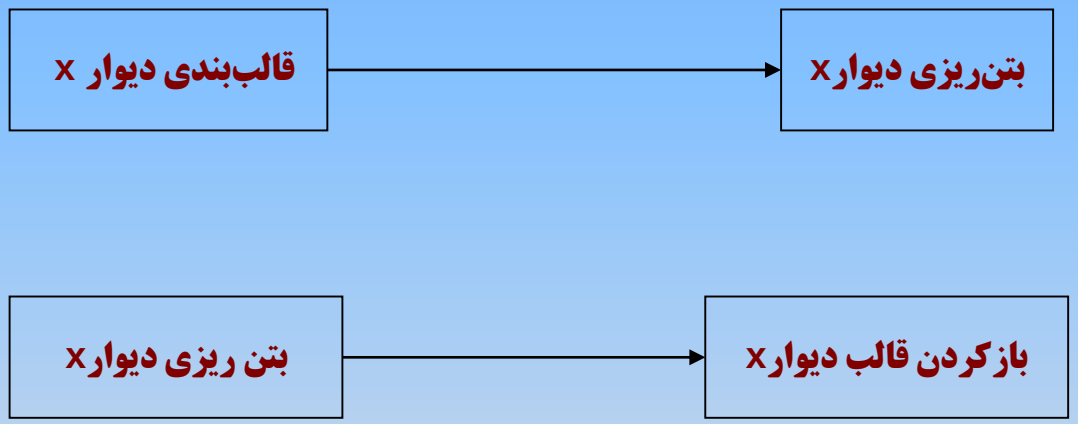
تعیین توالی فعالیتها (بسته‌های کاری)

تعریف : به فعالیت Y پیش‌نیاز فعالیت X گفته می‌شود اگر انجام فعالیت X به انجام فعالیت Y وابسته باشد.



- در این صورت به فعالیت X نیز پیامد (Successor) فعالیت Y اطلاق می‌شود.

چند مثال


قالب‌بندی دیوار x
بتن‌ریزی دیوارx
بتن ریزی دیوارx
بازکردن قالب دیوارx

مستندسازی توالی فعالیتها

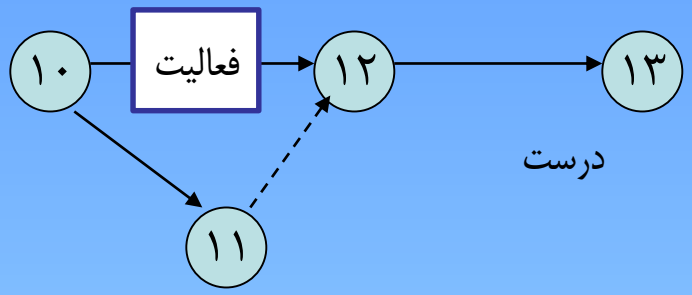
جدول تعیین پیشنیاز فعالیتها				
کد فعالیت	عنوان فعالیت	پیشنیازها		
		الزامی	ترجیحی	خارجی

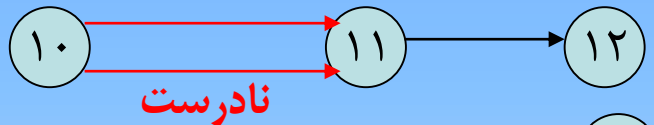
ترسیم شبکه پروژه

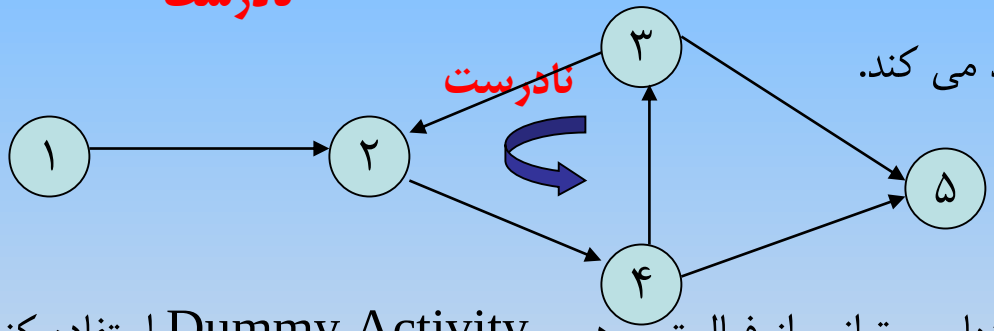
انواع شبکه پروژه

- **Activity On Arrow (AOA) شبکه برداری**
- **Activity On Node (AON) شبکه گرهی**

شبکه های برداری: (Activity on Arrow)







ترسیم شبکه برداری دارای قواعد زیر است:

۱. هر فعالیت بر روی یک بردار و ما بین دو گره ترسیم می شود.

۲. بین هر دو گره فقط یک فعالیت وجود دارد.

۳. شبکه فقط دارای یک گره پایانی و یک گره آغازین می باشد.

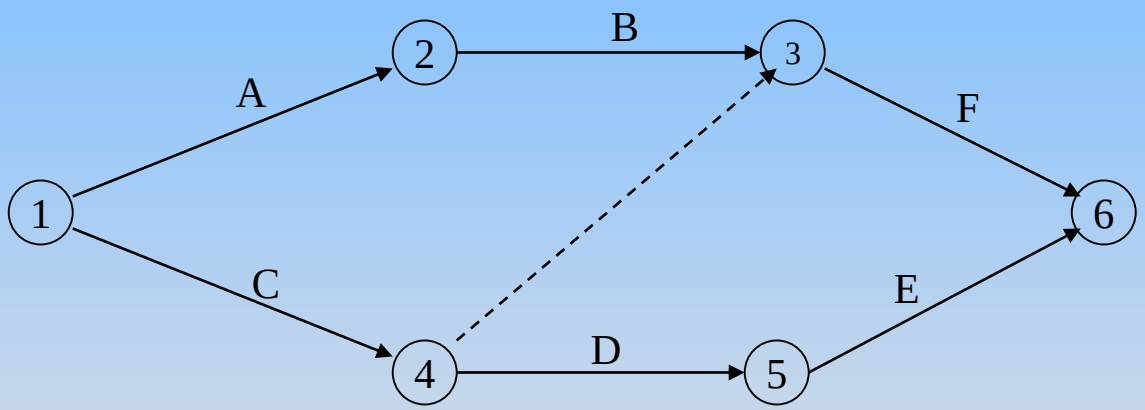
۴. در شبکه حلقه یا LOOP ایراد مفهومی ایجاد می کند.

۵. برای تعریف برخی از وابستگی های بین فعالیتها می توانیم از فعالیت موهومی Dummy Activity استفاده کنیم. فعالیت موهومی وجود خارجی ندارد و تنها به منظور نمایش وابستگی های بین عملیات پروژه اضافه می شوند، مدت زمان آنها صفر بوده و فقط برای ترسیم شبکه کشیده می شود. در شبکه می بایست حداقل فعالیت موهومی را داشته باشیم.

۶. گره ها می بایست شماره گذاری شود، شماره ها نباید تکراری بوده و شماره گره پایانی هر فعالیت بیش از شماره گره شروعی باشد.

شبکه برداری

مثال: شبکه ی برداری نظیر فعالیتهای زیر را ترسیم نمایید

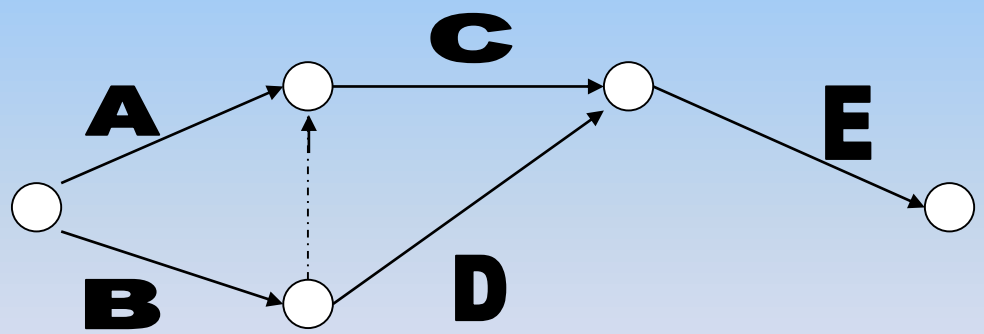


کد فعالیت	پیشنیاز
A	-
B	A
C	-
D	C
E	D
F	B;C

با ترسیم فعالیت موهومی فعالیت C را هم به عنوان پیشنیاز فعالیت F معین می کنیم.

مثال

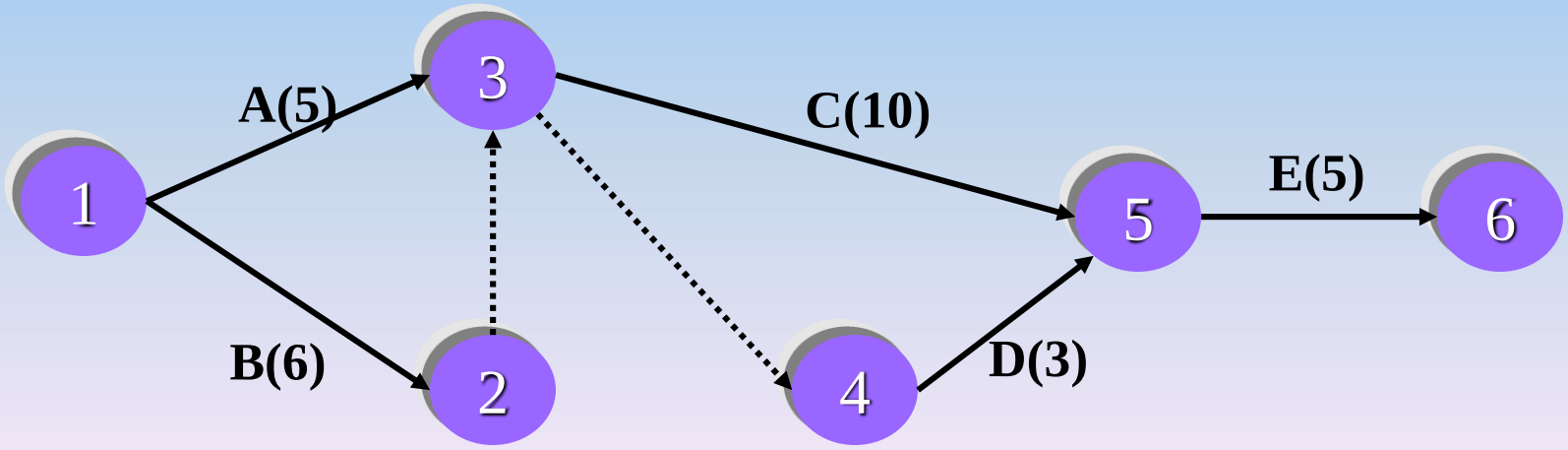
فعالیت	پیش نیاز
A	--
B	--
C	A,B
D	B
E	D,C



محاسبات زمانبندی پروژه در شبکه‌های برداری

مثال

پیش نیاز	فعالیت	مدت زمان (روز)
--	A	5
--	B	6
A,B	C	10
A,B	D	3
D,C	E	5



محاسبات زمانبندی پروژه در شبکه‌های برداری

مثال

Example 3.7

Draw the arrow network for the project given next.

Activity	IPA	Activity	IPA
A	–	H	C, D
B	A	I	D
C	A	J	E, F, G
D	A	K	F, G, H
E	B	L	H, I
F	B, C	M	K, L
G	C		

محاسبات زمانبندی در شبکه برداری

محاسبات رفت

فرض۱: پروژه در زمان صفر شروع می شود یعنی **0** = زودترین زمان وقوع گره شروعی

(ES_i) i زودترین زمان وقوع گره **$= Max \{ES_k + D_{ki}\}$** هر **k** پیش نیاز **i**

زودترین زمان ممکن برای وقوع یک رویداد (ES) زودترین تاریخی است که همگی فعالیتهایی که به این رویداد میرسند انجام شده باشند. در نتیجه برای گره پایانی زودترین زمان ممکن بیانگرحداقل زمان اتمام پروژه می باشد.

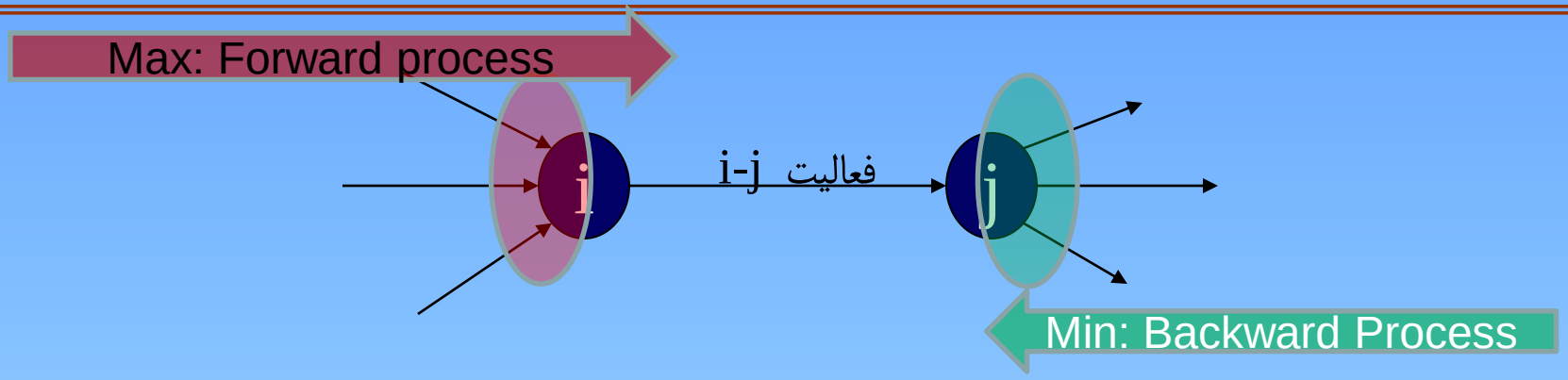
محاسبات برگشت

دیرترین تاریخ ممکن برای وقوع یک رویداد (LF) دیرترین تاریخی است که ممکن است همه فعالیتهایی که به آن رویداد می رسند انجام گیرند بدون آنکه در تاریخ تکمیل پروژه اثری بگذارد.

فرض ۲: زودترین زمان وقوع گره پایانی = دیرترین زمان وقوع گره پایانی

(LF_i) i دیرترین زمان وقوع گره **$= Min \{LF_j - D_{ij}\}$** هر **j** پس نیاز **i**

محاسبات زمانبندی در شبکه برداری

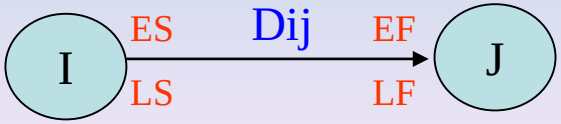


زودترین زمان وقوع گره **i** = **ES** زودترین زمان شروع فعالیت **ij**

زودترین زمان پایان فعالیت **ij** **EF = ES+D**

دیرترین زمان وقوع **j** = **LF** دیرترین زمان پایان فعالیت **ij**

دیرترین زمان شروع فعالیت **ij** **LS = LF-D**

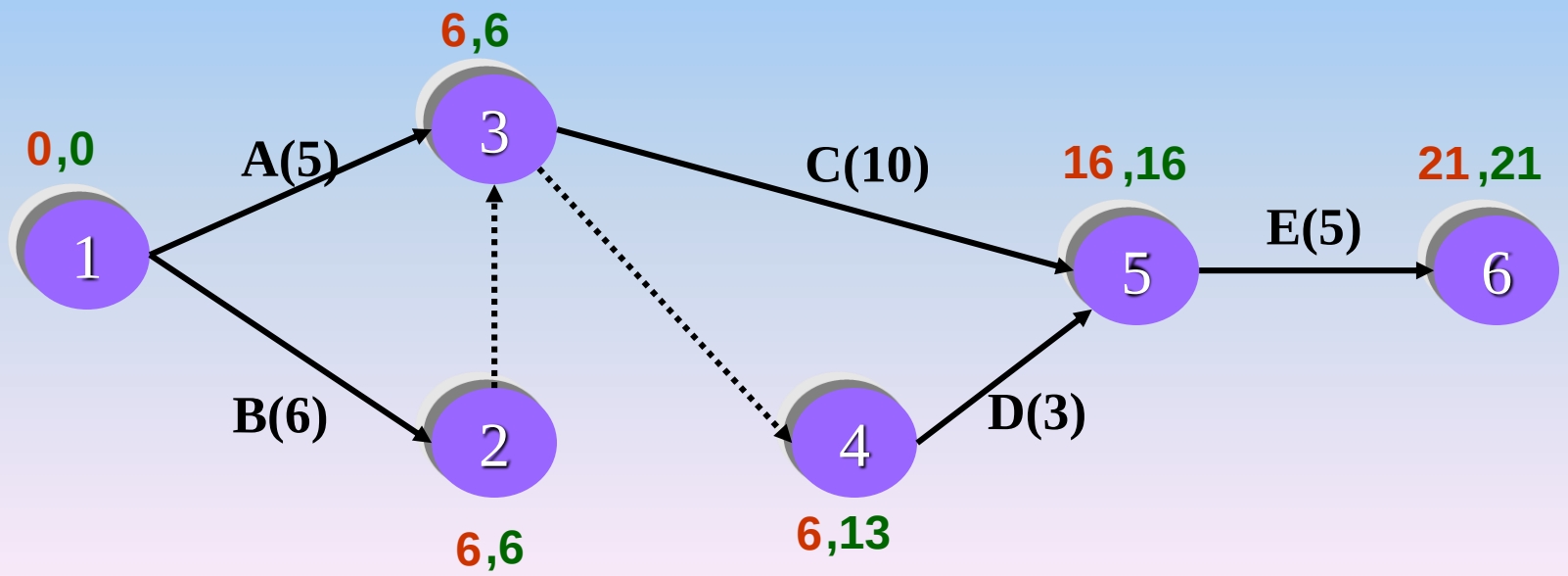


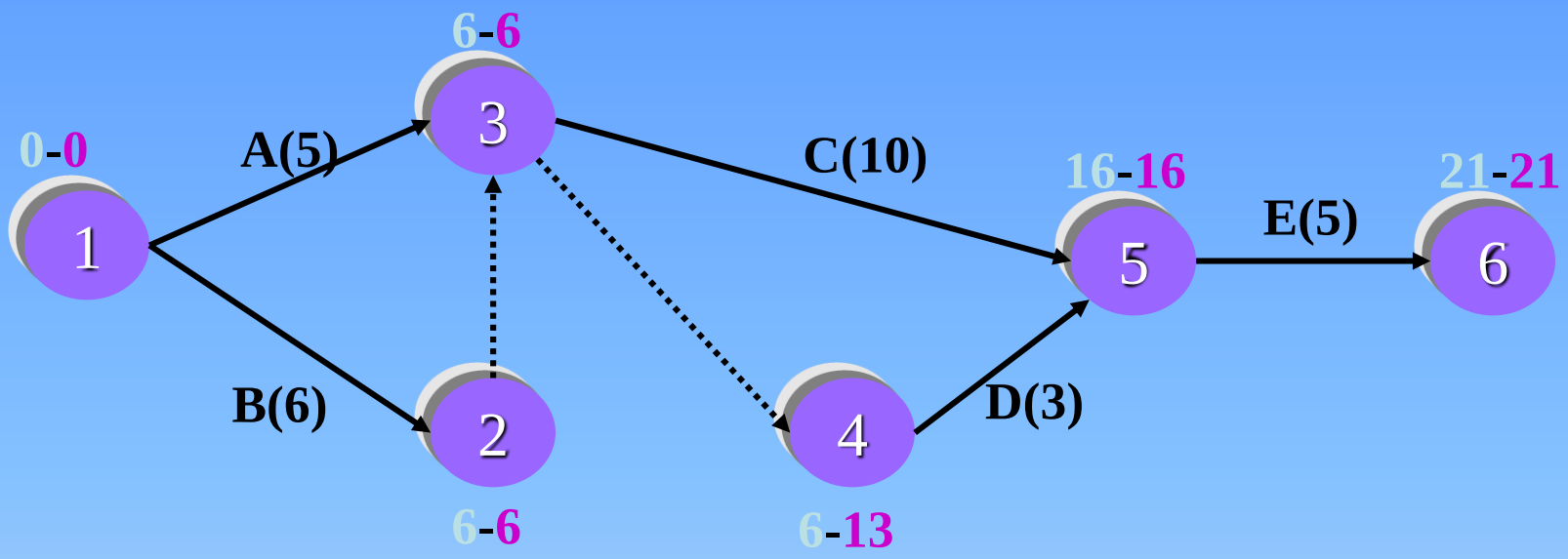
سوال: به نظر شما اختلاف LF – EF معرف چه برهه ای در انجام فعالیتهاست؟

محاسبات زمانبندی پروژه در شبکه‌های برداری

مثال

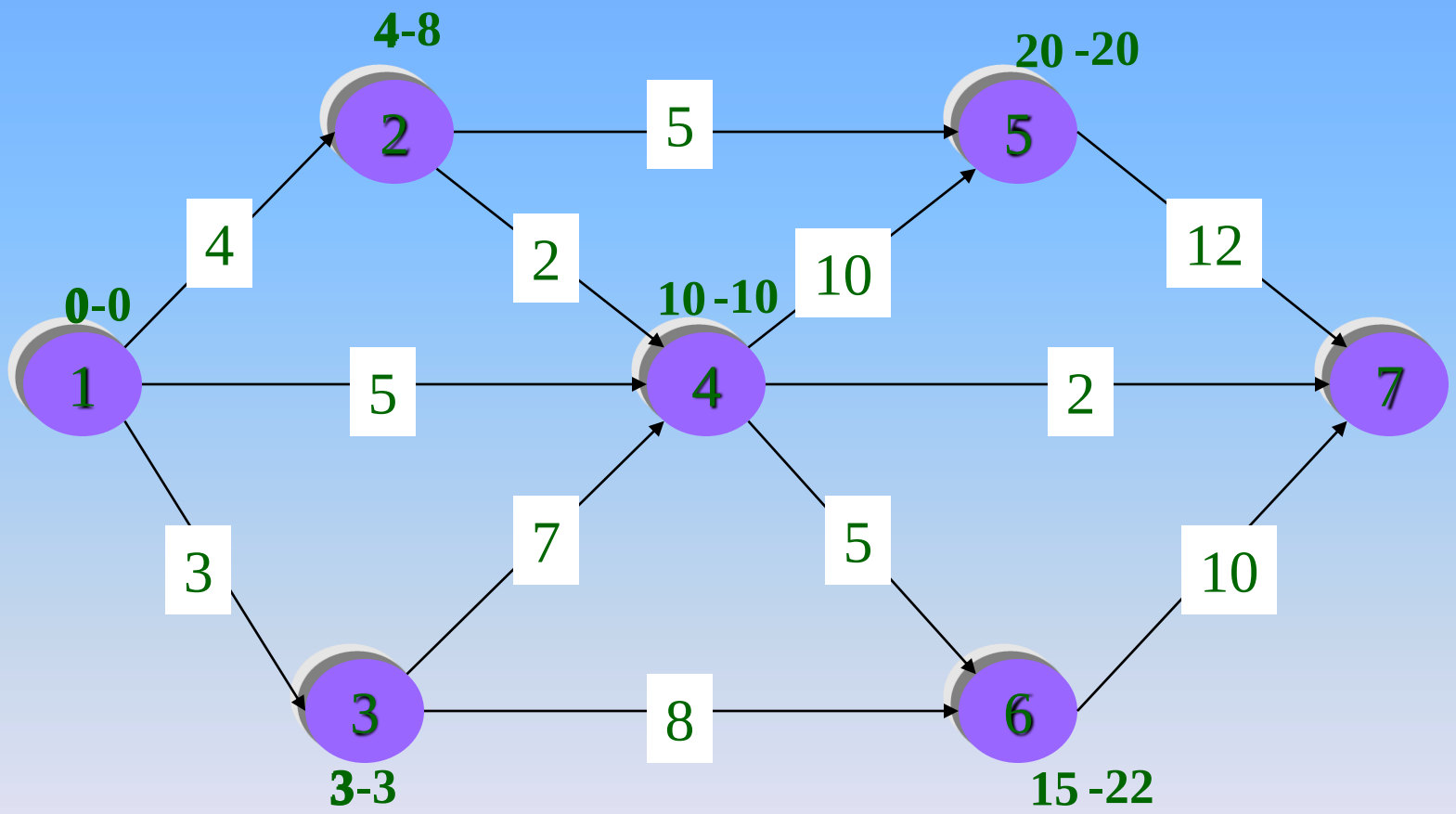
پیش نیاز	فعالیت	مدت زمان (روز)
--	A	5
--	B	6
A,B	C	10
A,B	D	3
D,C	E	5





فعالیت	ES	EF=ES+D	LS= LF-D	LF	TF
A	0	0+5=5	6-5=1	6	1
B	0	0+6=6	6-6=0	6	0
C	6	6+10=16	16-10=6	16	0
D	6	6+3=9	16-3=13	16	7
E	16	16+5=21	21-5=16	21	0

مثال



مفهوم شناوری و مسیر بحرانی:

- شناوری یک مسیر عبارت است از: اختلاف بین کل زمان لازم برای تکمیل پروژه و جمع زمانهای فعالیتهای تشکیل دهنده ی آن مسیر. برای یک مسیر با فعالیتهای ۱, ۲ , ۳ ,..., m شناوری برابر است:
- شناوری راه: Ec-Es-(D1+D2+…+Dm)

که Ec وEs به ترتیب زودترین تاریخ وقوع رویداد پایانه و زودترین تاریخ وقوع رویداد آغازین شبکه و Di زمان هر فعالیت است.

- شناوری یک رویداد: تفاضل زودترین و دیرترین تاریخ وقوع رویداد.
- رویدادهای بحرانی یک شبکه رویدادهایی هستند که دارای شناوری صفر می باشند.
- مسیر بحرانی: حداقل یک مسیر در هر شبکه یافت می شود که شامل طولانی ترین زمان می باشد و مقدار شناوری آن همواره صفر است. این مسیر، مسیر بحرانی نامیده می شود. مسیر بحرانی همواره از رویداد آغازین تا پایانه از رویدادهای بحرانی عبور می نماید.

تکلیف: شبکه ی برداری نظیر فعالیتهای زیر را ترسیم نمایید.

15. Draw both the arrow network and the node network for the following project:

Activity	IPA
A	–
B	A
C	A
D	A
E	B
F	B, C
G	D, E, F

16. Draw both the arrow network and the node network for the following project:

Activity	IPA	Activity	IPA
A	–	F	D
B	–	G	D, E
C	–	H	C, F, G
D	A, B	I	C, G
E	B	J	H, I

مفهوم شناوری ها:

- فعالیتهای تشکیل دهنده ی یک مسیر بحرانی فعالیتهای بحرانی نام دارند.
- شناوری جمعی فعالیتها: (TF)
- مقدار زمانی که یک فعالیت می تواند به تعویق بیفتد (یا زمان انجام آن طولانی شود) بدون آنکه در کل زمان اجرای پروژه تاخیری رخ دهد. بنابراین:

TF= LF-EF (یا LS-ES)

شناوری کل:

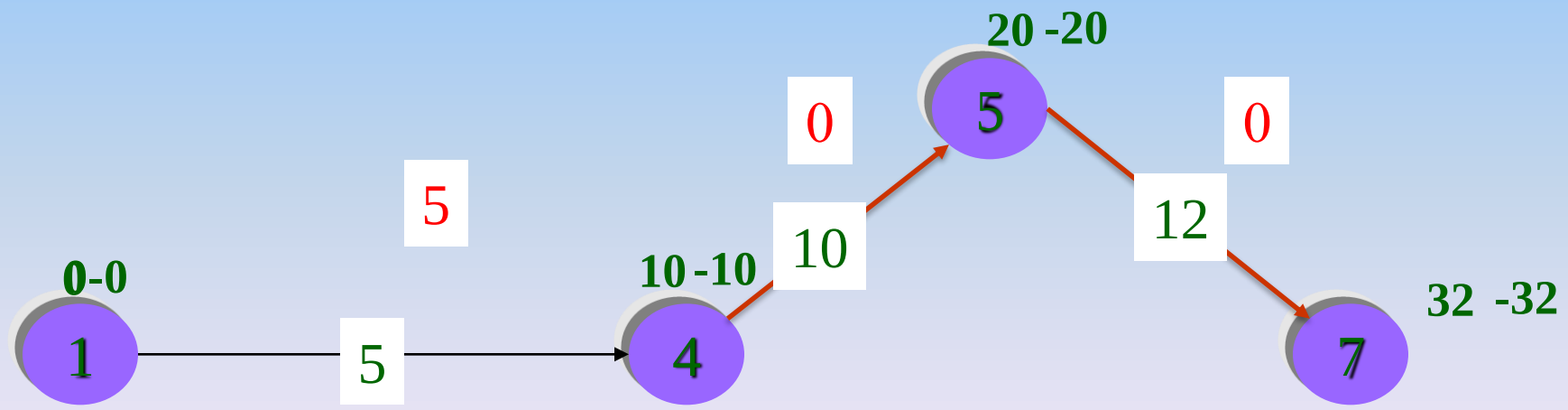
- حداکثر زمانی که یک فعالیت می تواند تاخیر مجاز داشته باشد. بدون اینکه در زمان اتمام کل پروژه تاثیر بگذارد. پس مسیر بحرانی مسیری است که شناوری مسیر آن همواره صفر است.

- $TF_{ij} = LF_{ij} - EF_{ij}$

$TF_{ij} = LS_{ij} - ES_{ij}$

$EF_{ij}=ES_{ij}+D_{ij}$

محاسبه شناوری کل یک مسیر:



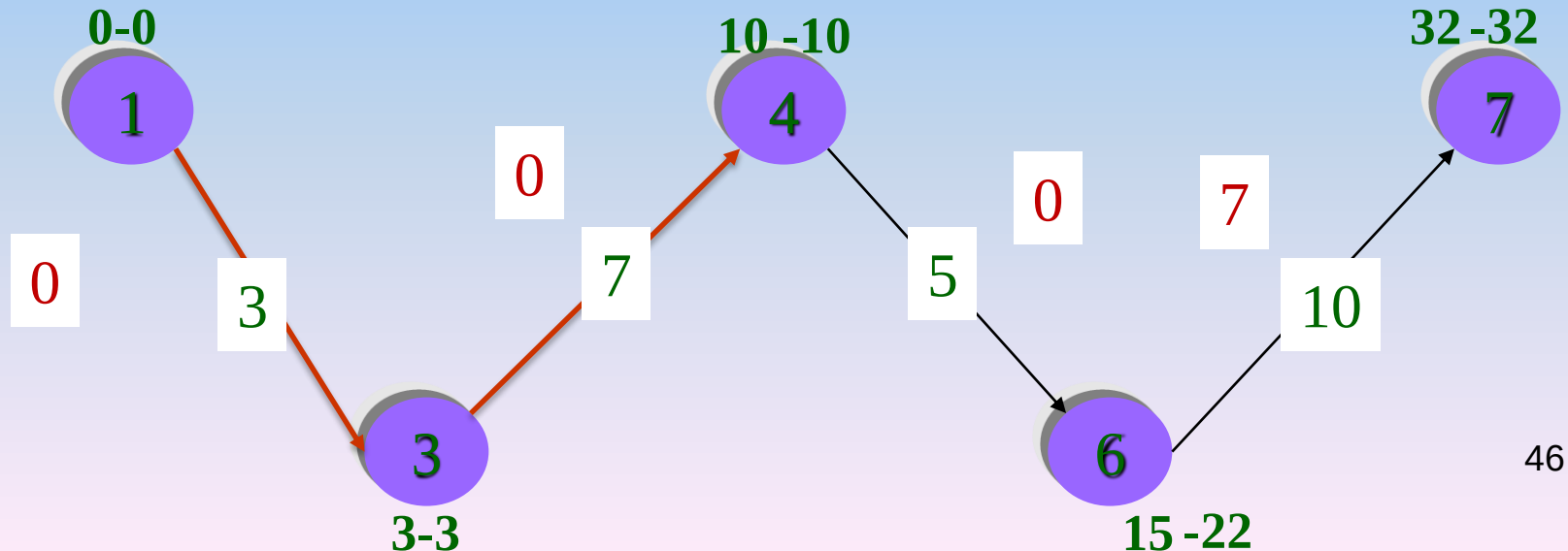
شناوری آزاد:

Free Flow

- مقدار زمانی که یک فعالیت می تواند به تعویق بیفتد، یا به زمان اجرای آن افزوده شود، بدون آنکه (صرفا) بر مقدار شناوری فعالیتهای بعد از خود تاثیری بگذارد، شناوری آزاد آن فعالیت نامیده می شود.

$$FF_{ij} = E_j - E_i - D_{ij}$$

$$FFij = ESjk - EFij$$



شناوری مستقل: Independent Flow (IF)

- اگر قرار باشد فعالیت i-j در دیرترین زمان ممکن خود یعنی Li به اتمام برسند و فعالیتهای بعدی فعالیت j-k در زودترین زمان خود یعنی Ej شروع شود در این صورت فرجه ای که برای این فعالیت باقی می ماند شناوری مستقل نامیده می شود.
- این تعریف به این معناست که: مقدار زمانی که یک فعالیت می تواند به تعویق بیفتد، یا به زمان اجرای آن افزوده شود، بدون آنکه بر مقدار شناوری فعالیتهای قبل و بعد از خود تاثیری بگذارد، شناوری مستقل آن فعالیت نامیده می شود.

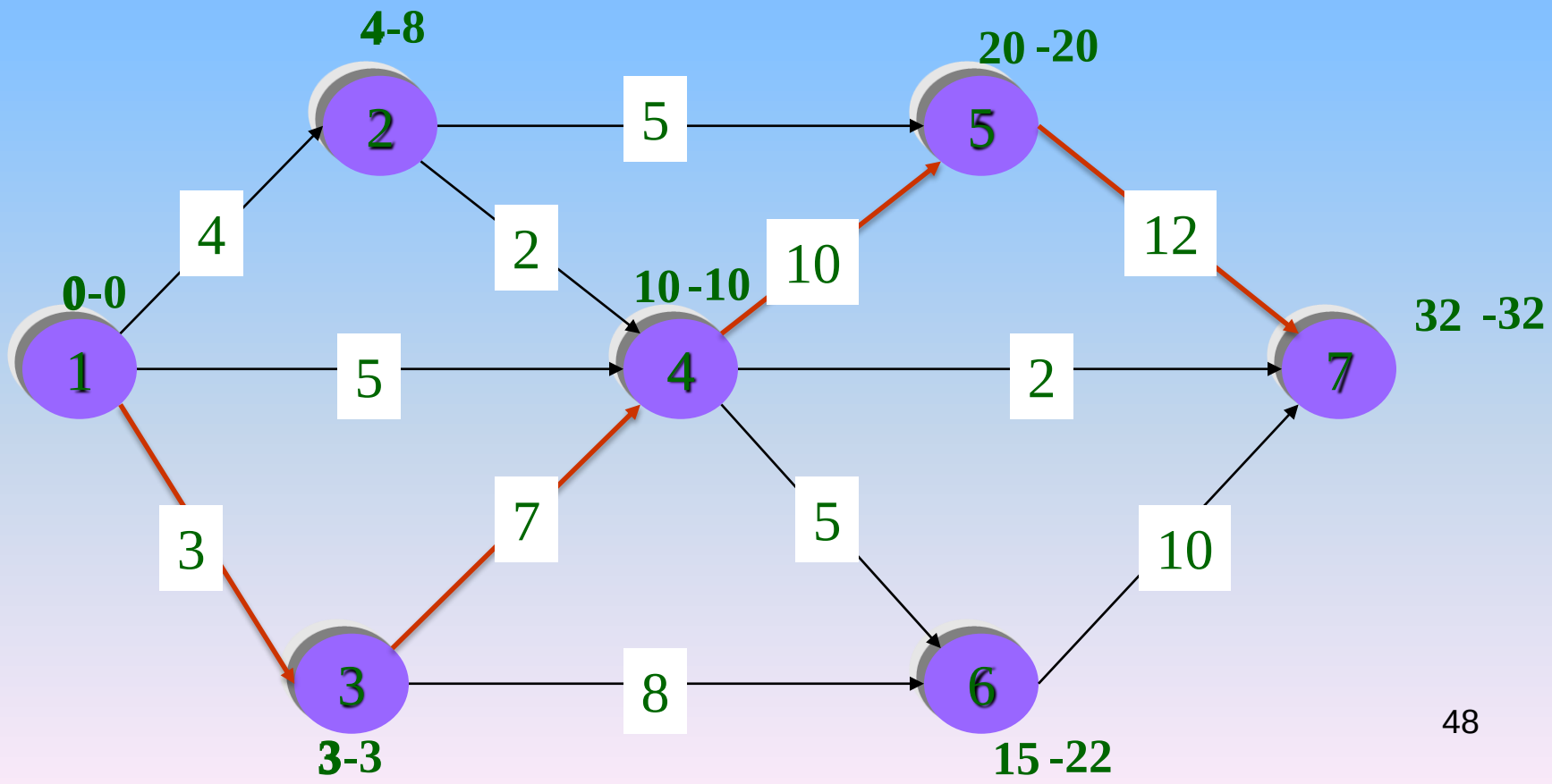
$$IFij = Max\{0 ; Ej - Dij - Li\}$$

- شناوری مستقل همیشه مثبت است.
- رابطه ی زیر همواره بین شناوری های فعالیتهای برقرار است:

$$IF_{ij} \leq FF_{ij} \leq TF_{ij}$$

شناخت مسیر بحرانی:

- به مسیر۱-۳-۴-۵-۷ توجه نمایید: این مسیر چه خصوصیت ویژه ای دارد؟
- شناوری های این مسیر چقدر است؟



مثال

EF=ES+D **LS = LF-D** TF = LF - EF FF= ES_{jk} - EF_{ij}

فعالیت	D	ES	EF	LF	LS	TF	FF
1-2	4	0	0+4=4	8	8-4=4	4	4-4=0
1-3	3	0	0+3=3	3	3-3=0	0	3-3=0
1-4	5	0	0+5=5	10	10-5=5	5	10-5=5
2-4	2	4	4+2=6	10	10-2=8	4	10-6=4
3-4	7	3	3+7=10	10	10-7=3	0	10-10=0
2-5	5	4	4+5=9	20	20-5=15	11	20-9=11
3-6	8	3	3+8=11	22	22-8=14	11	15-11=4
4-5	10	10	10+10=20	20	20-10=10	0	20-20=0
4-6	5	10	10+5=15	22	22-5=17	7	15-15=0
4-7	2	10	10+2=12	32	32-2=30	20	32-12=20
5-7	12	20	20+12=32	32	32-12=20	0	32-32=0
6-7	10	15	15+10=25	32	32-10=22	7	32-25=7

انتخاب نوع شبکه:

- روش AON دارای سادگی بیشتری در رسم و همچنین قدرت نمایش انواع وابستگی ها را در حین ترسیم دارد.
- قدرت و درک محاسباتی در روش AOA بیشتر است. بنابراین در مباحث پژوهشی و مقالات علمی جدید استفاده ی خود را حفظ نموده است.
- تکنیکهای برنامه ریزی و کنترل PERT و GERT با روش AOA سازگاری یافته است.
- اگرچه به دلیل نیاز به نمایش انواع روابط وابستگی روش AON کاربردی تر است ولی هنوز هم نمایش AOA کارایی خود را در موارد خاص حفظ کرده است.

شبکه گرهی Activity On Node (AON)

ما ابتدا جزئیات نمایش شبکه‌های گره‌ای را مورد توجه قرار می دهیم.

شرح نمادها:

E فعالیت: می توان شرح مختصری از زمانهای فعالیت در داخل آن قرار داد.

⟶ بردار بیانگر روابط بین فعالیتها

اجزای فرعی این شبکه ها هم برهه ها یا Milestone هستند که در برخی از نقاط برای نشان دادن یک مقطع زمانی خاص استفاده می شوند. مثلا برای نمایش شروع و پایان پروژه و یا لحظات تکمیل شدن چند فعالیت از یک پروژه که دارای اهمیت بیشتری هستند به کار گرفته می شود.
برهه ها را غالبا با همان علامتی که فعالیتها را مشخص می کنند نمایش داده می شوند. ولی چون ماهیتا فعالیت نیستند و زمانبر نمی باشند بهتر است به گونه ای متمایز شوند. (مثلا وقتی فعالیتها با مربع نمایش داده می شوند برهه ها دایره ای شکل باشند)

چند نکته در ترسیم شبکه گره ای

۱) فعالیتها توسط گره‌ها و روابط پیشنیازی توسط بردارها نمایش پیدا می‌کنند.

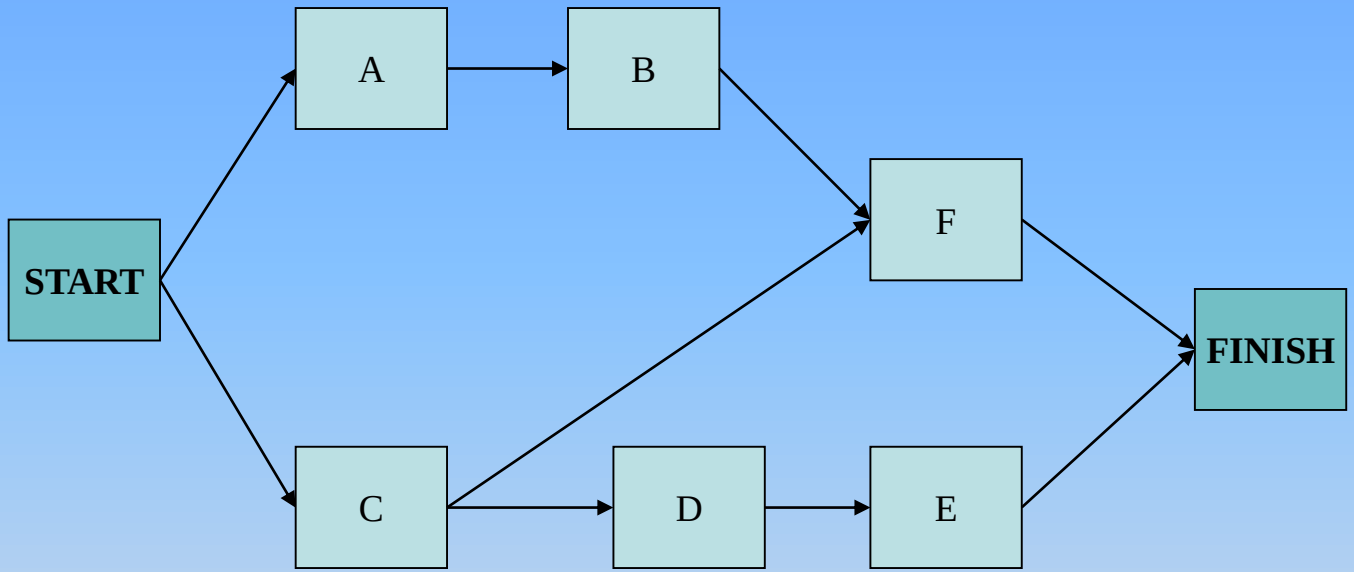
۲) شبکه گره‌ای حتماً با گره شروع آغاز می شود و سپس تمام فعالیت های بدون پیش نیاز به گره شروع متصل می شود.

۳) شبکه گره ای حتماً با گره پایان به اتمام می رسد لذا فعالیت هایی که پس نیاز ندارند به گره پایان متصل می شوند.

۴) در ترسیم شبکه حلقه (Loop) نداریم اگر چنین باشد در تعریف منطق فعالیت ها دچار اشتباه شده ایم.

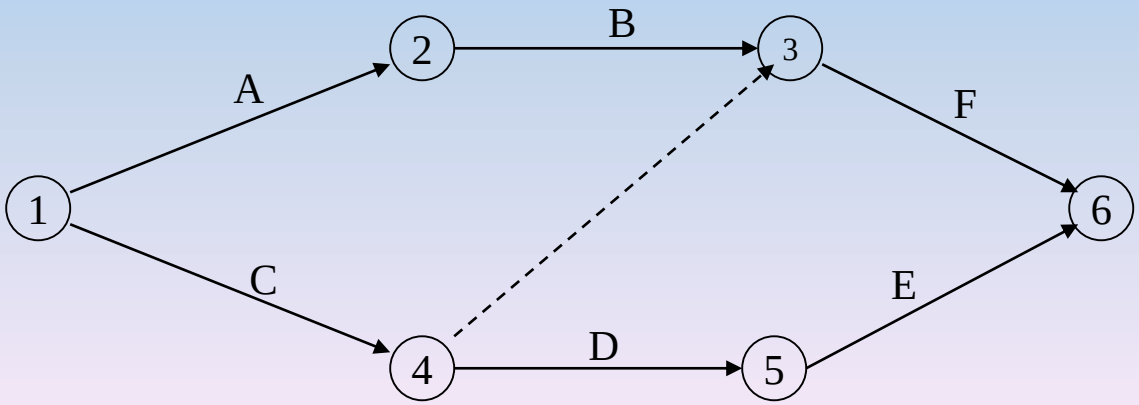
۵) برای هر فعالیت فقط و فقط یک گره در شبکه وجود دارد.

شبکه گرهی



کد فعالیت	پیشنیاز
A	-
B	A
C	-
D	C
E	D
F	B;C

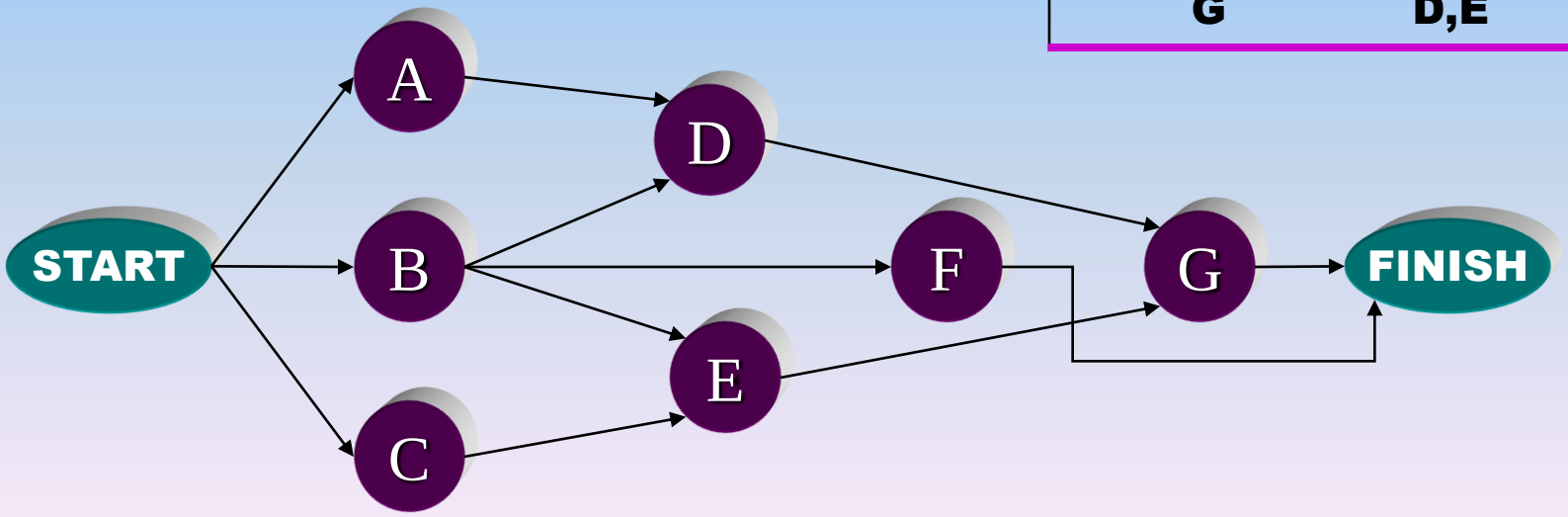
شبکه برداری



مثال شبکه پیش نیازی با فعالیت های زیر را رسم کنید

فعالیت	پیش نیاز	D
A	--	5
B	--	6
C	--	3
D	A,B	4
E	B,C	2
F	B	4
G	D,E	7

نکته: اصول محاسبات زمانها در شبکه های گرهی دقیقاً مطابق اصولی است که برای محاسبات زمانها در شبکه های برداری مورد استفاده است (حرکت پیشرو و حرکت برگشتی).



زمانبندی پروژه:

زمانبندی شبکه های گرهی

محاسبات زمانبندی پروژه

محاسبات رفت

(Earliest Start)	ESi	=	زودترین زمان شروع فعالیت i
(Earliest Finish)	EFi	=	زودترین زمان پایان فعالیت i
(Duration)	Di	=	مدت زمان فعالیت i

قواعد محاسبات رفت:

A) ES (start) = 0

B) ESi = Max{EFj} j={مجموعه فعالیتهای پیش نیاز فعالیت}

C) EFi =ESi+Di

EF(finish) حداقل زمانی است که پروژه انجام می شود.

محاسبات زمانبندی پروژه

محاسبات برگشت

(Latest Start)	LSi	=	دیرترین زمان شروع فعالیت i
(Latest Finish)	LFi	=	دیرترین زمان پایان فعالیت i
(Duration)	Di	=	مدت زمان فعالیت i

قواعد محاسبات برگشت:

A) LF (finish) = EF(finish)

B) $LFi = Min\{LS_k\}$ k={i مجموعه فعالیتهای پس نیاز}

C) LSi =LFi-Di

LF می تواند عددی غیر از EF باشد (طبیعتا" باید عددی برابر یا بزرگتر از EF باشد). درصورتی که LF>EF باشد در واقع ما برای اتمام فعالیت مهلتی بیشتر از حداقل زمان پروژه تعیین کرده ایم.

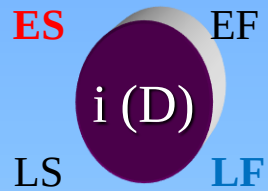
این مهلت یا فرجه زمانی در واقع معرف همان مفهوم شناوری است.

فعالیت	پیش نیاز	D
A	--	5
B	--	6
C	--	3
D	A,B	4
E	B,C	2
F	B	4
G	D,E	7

مثال شبکه پیش نیازی با فعالیت های زیر را رسم کنید

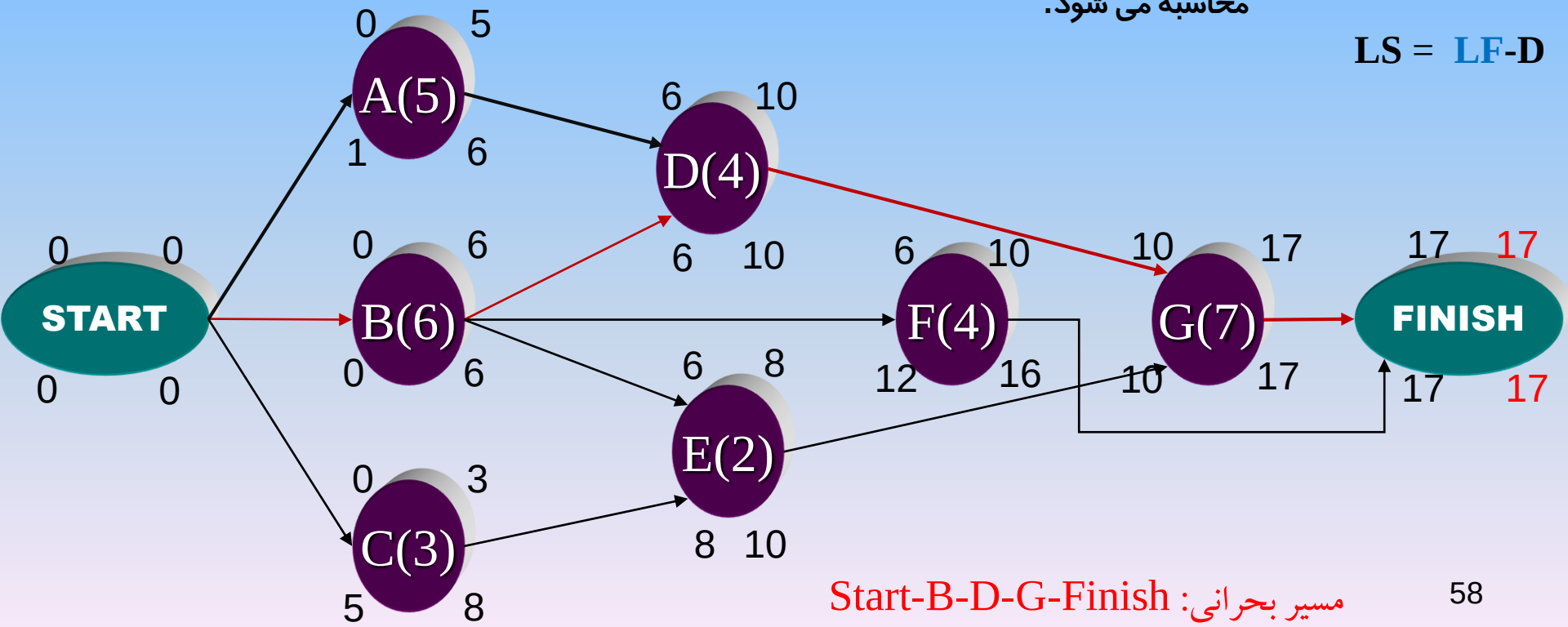
در حرکت رفت مقدار زودترین زمان ممکن یا ES محاسبه می شود

EF=ES+D



در حرکت برگشت مقدار زودترین زمان ممکن یا LF محاسبه می شود.

LS = LF-D



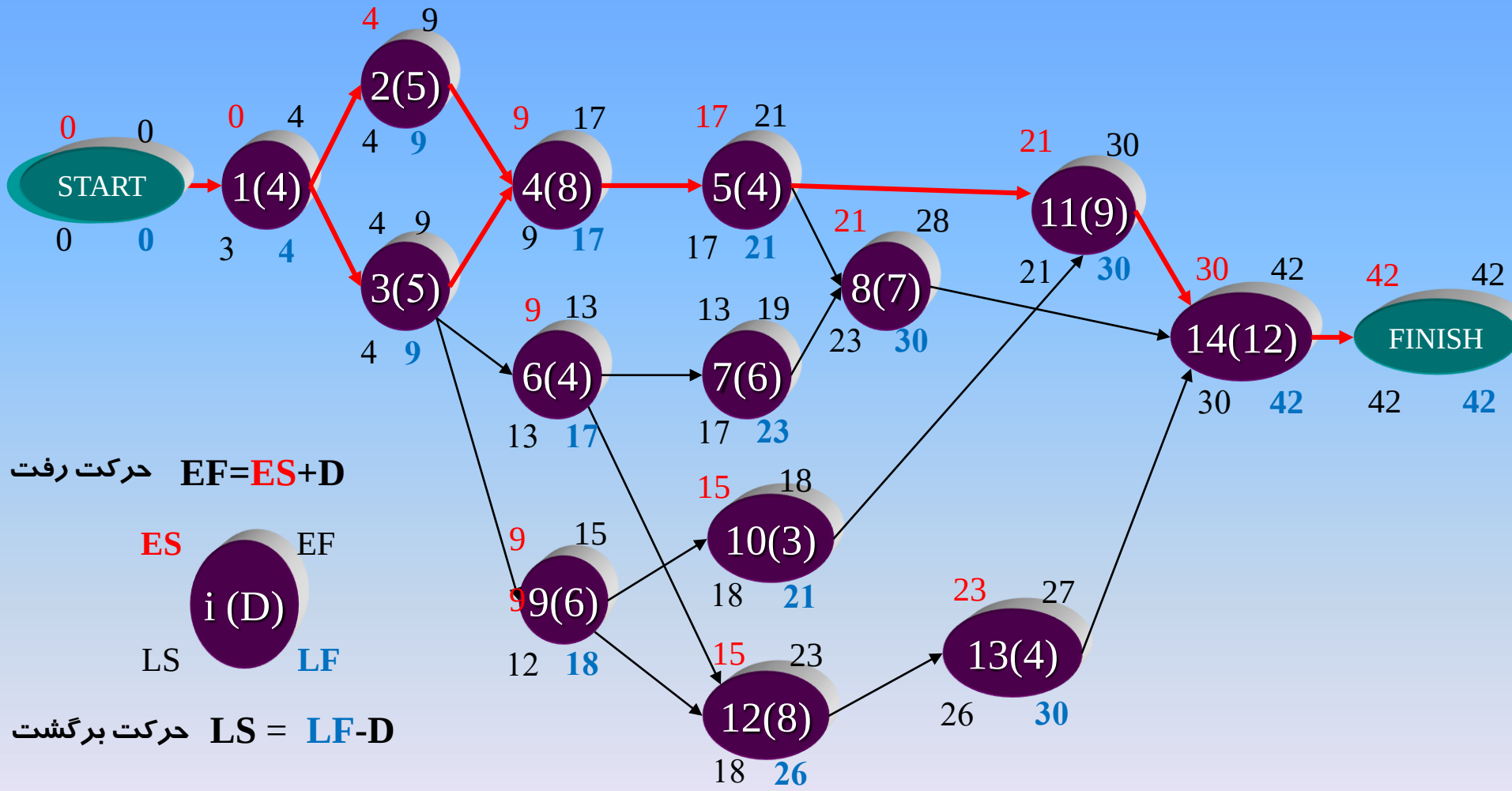
مسیر بحرانی: Start-B-D-G-Finish

مثال: پروژه ی ساختمانی

ردیف	نام فعالیت	پیش نیاز ها	زمان
۱	طراحی سازه	--	۴
۲	ساخت سازه	۱	۵
۳	طراحی ساختمان	۱	۵
۴	اجرای فاز ۱ ساختمان	۳و۲	۸
۵	اجرای فاز ۲ ساختمان	۴	۴
۶	طراحی تاسیسات مکانیکی	۳	۴
۷	خرید تجهیزات مکانیکی	۶	۶
۸	نصب و اجرای تجهیزات مکانیکی	۷و۵	۷
۹	طراحی تاسیسات برقی	۳	۶
۱۰	خرید تجهیزات برقی	۹	۳
۱۱	نصب و اجرای تجهیزات برقی	۱۰و۵	۹
۱۲	طراحی معماری داخلی	۹و۶	۸
۱۳	خرید اقلام مورد نیاز معماری داخلی	۱۲	۴
۱۴	نصب و اجرای معماری داخلی	۱۳و۱۱و۸	۱۲

مثال: پروژه ی ساختمانی

تکلیف: با فرض زمانهای ارائه شده در جدول، زمانبندی شبکه را تکمیل کنید.



حرکت رفت **EF=ES+D**

ES EF

i (D)

LS LF

حرکت برگشت **LS = LF-D**

جهت تمرین انواع شناوریها را برای فعالیتهای این پروژه محاسبه کنید.

مسیر بحرانی ۱: Start-۱-۲-۴-۵-۱۱-۱۴-Finish

مسیر بحرانی ۲: Start-۱-۳-۴-۵-۱۱-۱۴-Finish

مفاهیم مسیر و مسیر بحرانی:

- **مسیر یا Path:** دنباله‌ای از فعالیتها که از گره شروعی آغاز و به گره پایانی منتهی شوند.

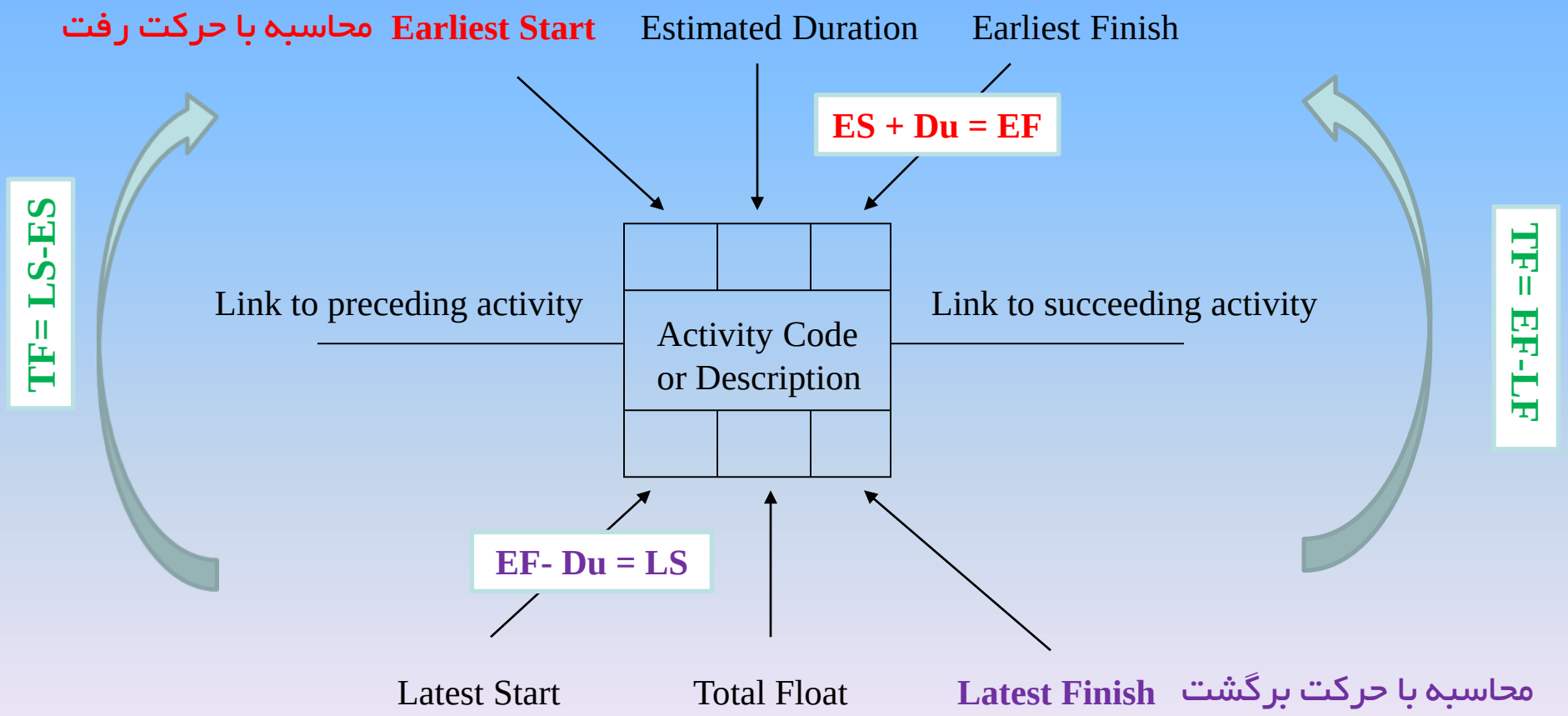
- **مسیر بحرانی Critical Path:** طولانی ترین مسیر شبکه (در غالب موارد مسیری که فعالیتهای با شناوری کل صفر را شامل می‌شود). بنابراین جهت کم کردن زمان اتمام پروژه الزاماً می بایست یکی از فعالیتهای این مسیر در زمان کمتر انجام گیرد (اصطلاحاً فشرده شود).

- ممکن است در یک شبکه **چند مسیر بحرانی** داشته باشیم.

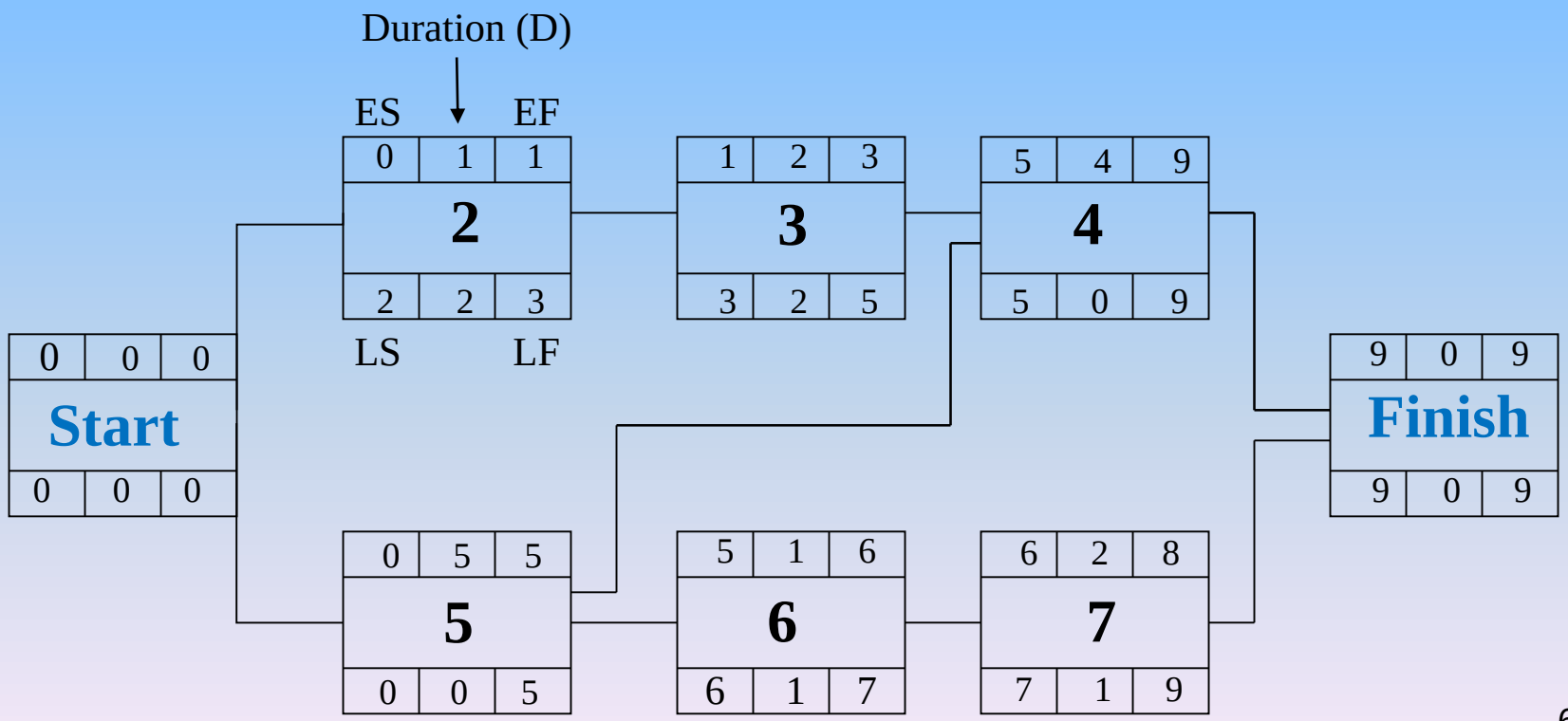
- در یک شبکه، فعالیت‌هایی با شناوری صفر، بحرانی هستند. یعنی فعالیت‌هایی که زودترین و دیرترین زمان شروع و یا پایانشان باهم برابر است (LF=EF یا LS=ES) بحرانی محسوب می‌شوند.

- در واقع مسیری که شناوری فعالیت‌های آن صفر باشد بعنوان مسیر بحرانی معرفی می‌شود و هر تاخیری در این مسیر باعث جابجایی تاریخ پایان پروژه خواهد شد. در واقع زمانی‌که هر فعالیتی در مسیر بحرانی به تعویق بیافتد، زمان کلی پروژه به همان اندازه افزایش خوهد یافت.

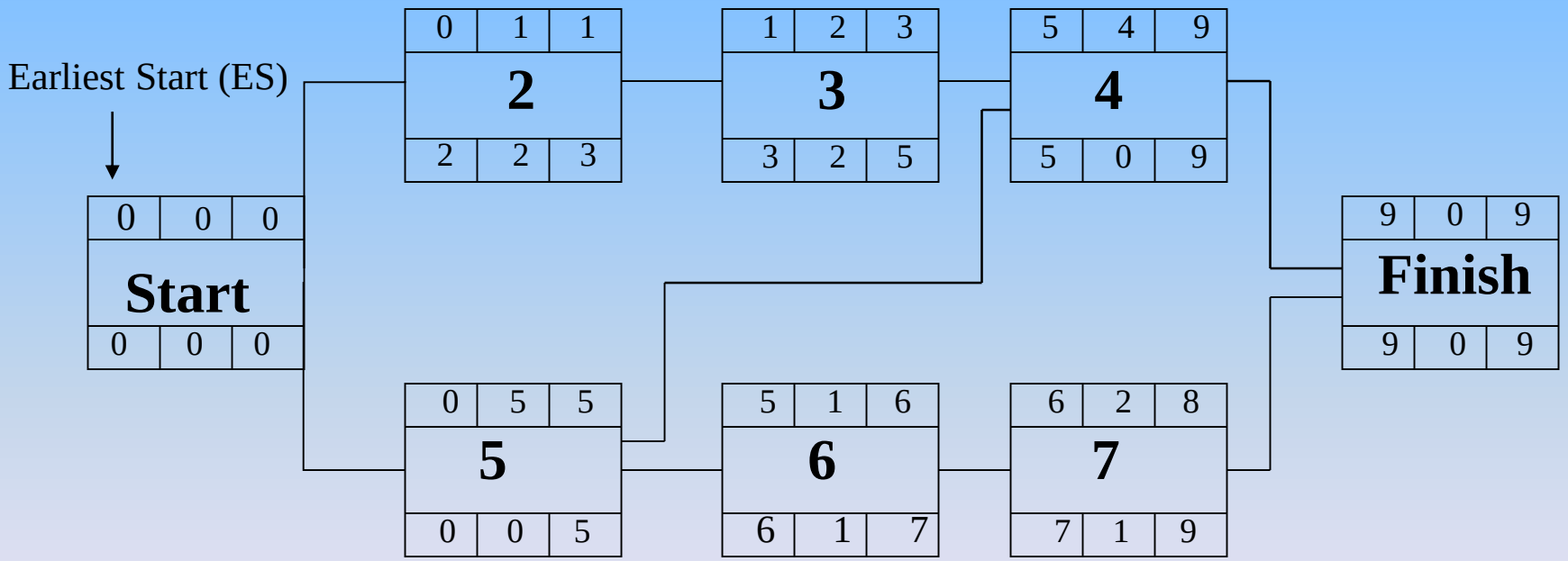
محاسبات زمانبندی در شبکه گرهی



مثالی از زمانبندی در شبکه های گرهی

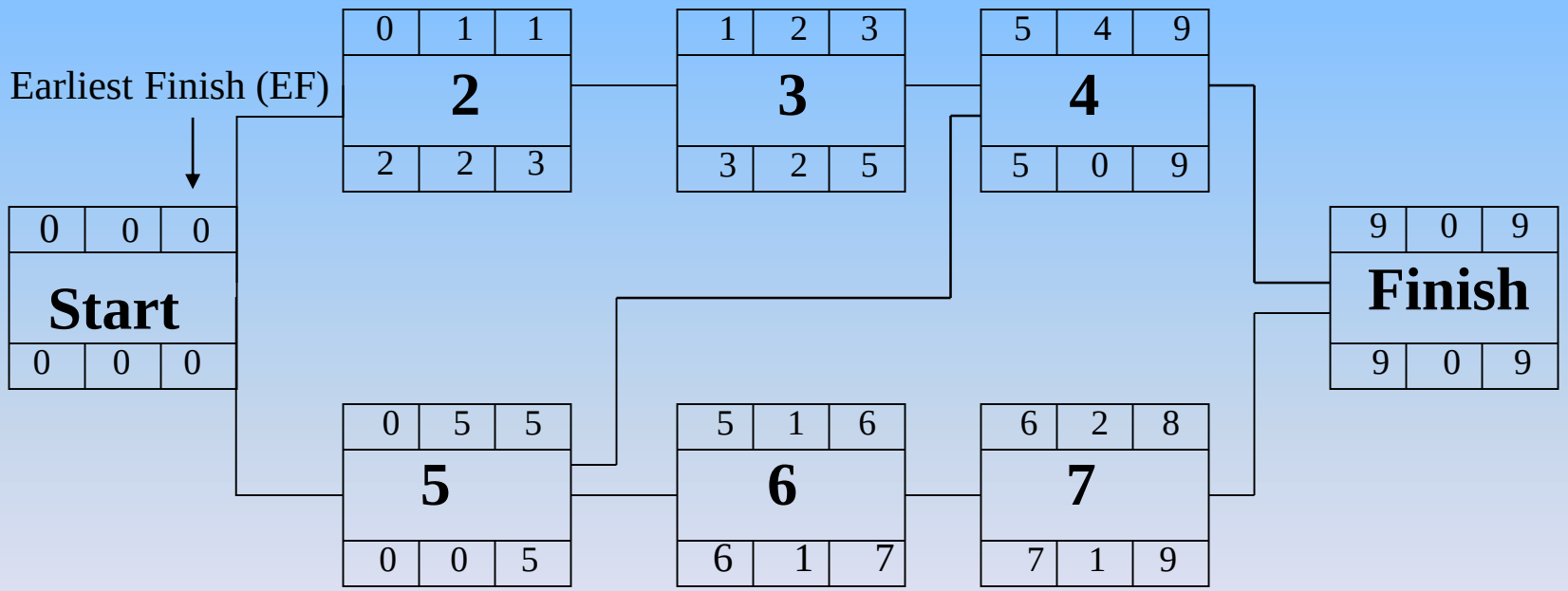


زمانبندی در شبکه گرهی



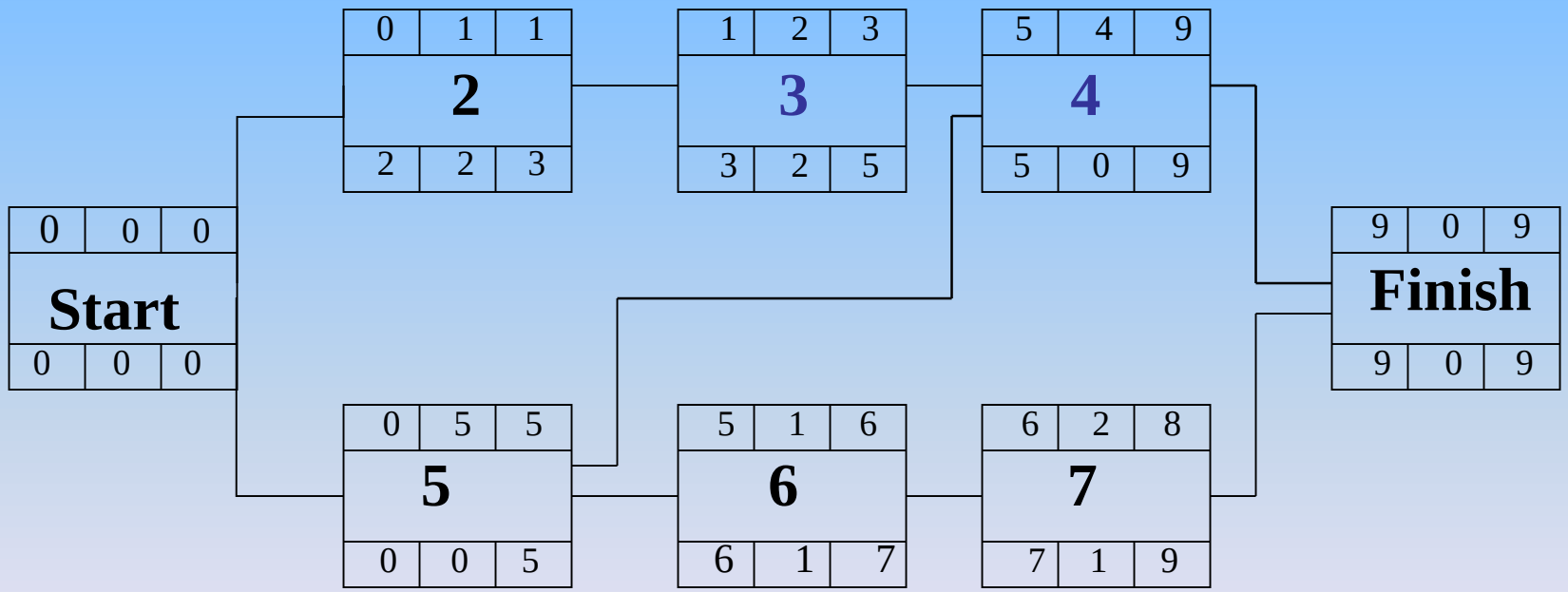
ES= 0 برای فعالیت شروعی داریم :

زمانبندی در شبکه گرهی



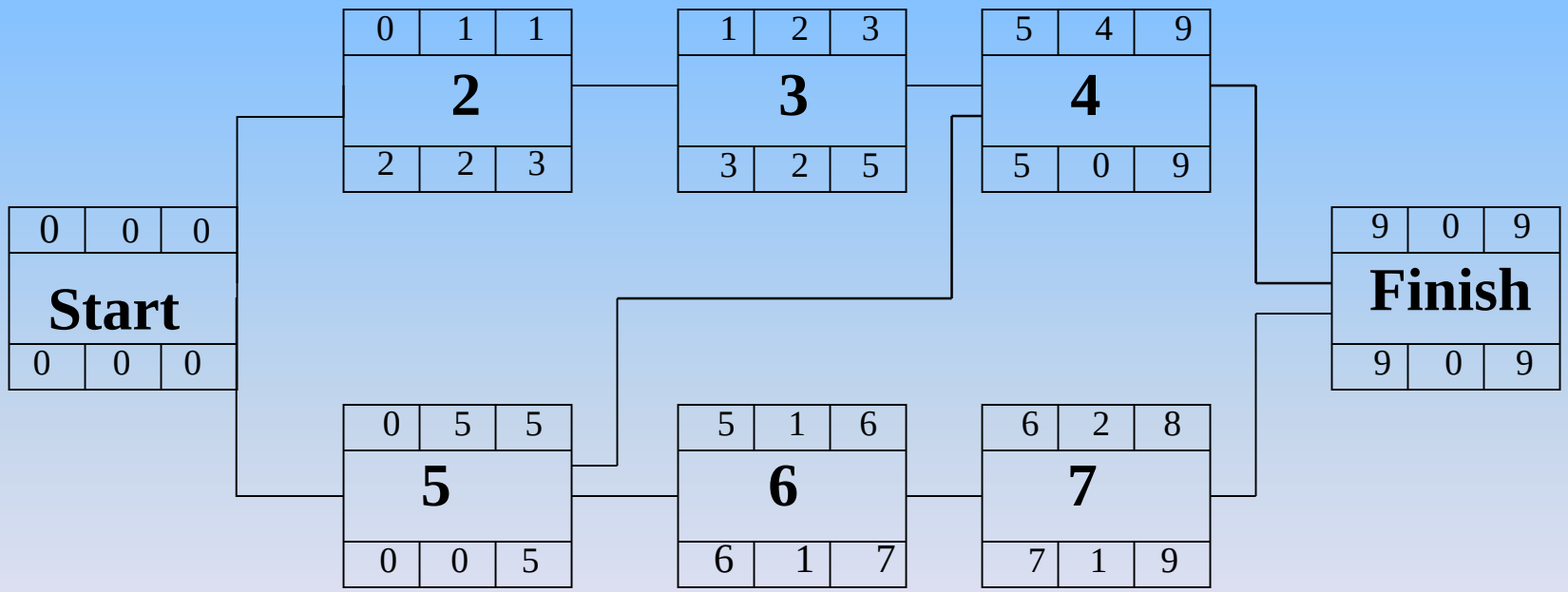
EF= ES + D

زمانبندی در شبکه گرهی



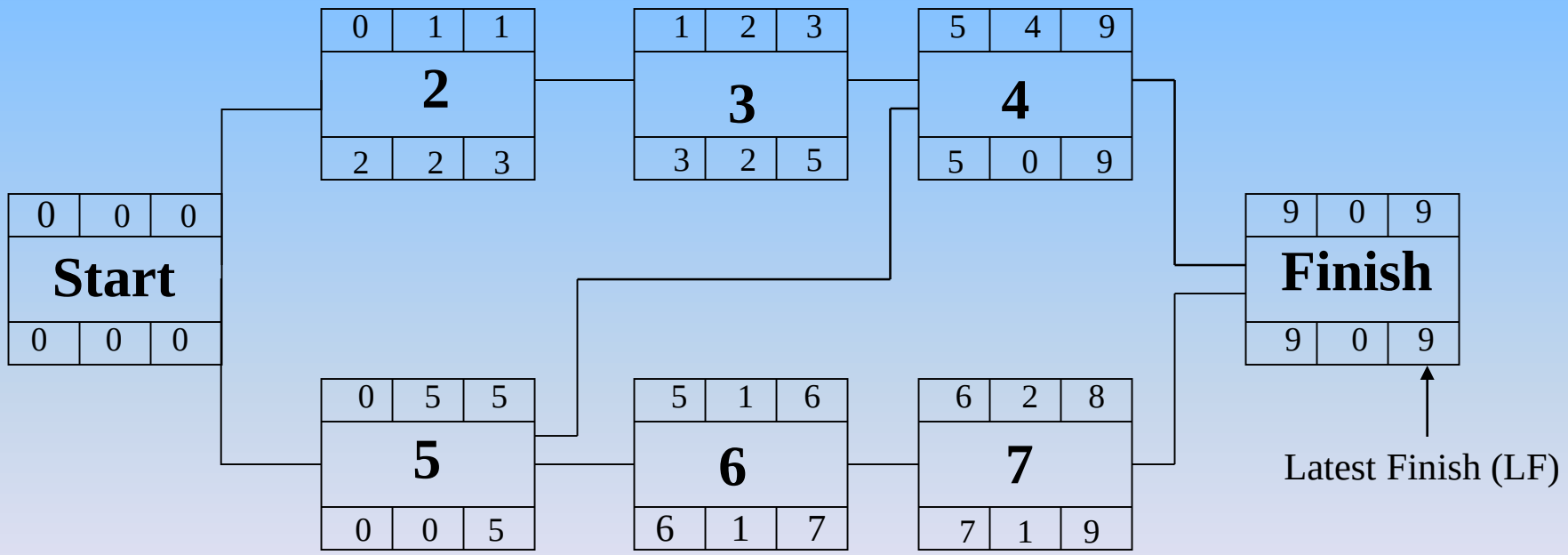
ES= max{EF} for all Predecessor برای فعالیتهای غیر شروعی داریم:

زمانبندی در شبکه گرهی



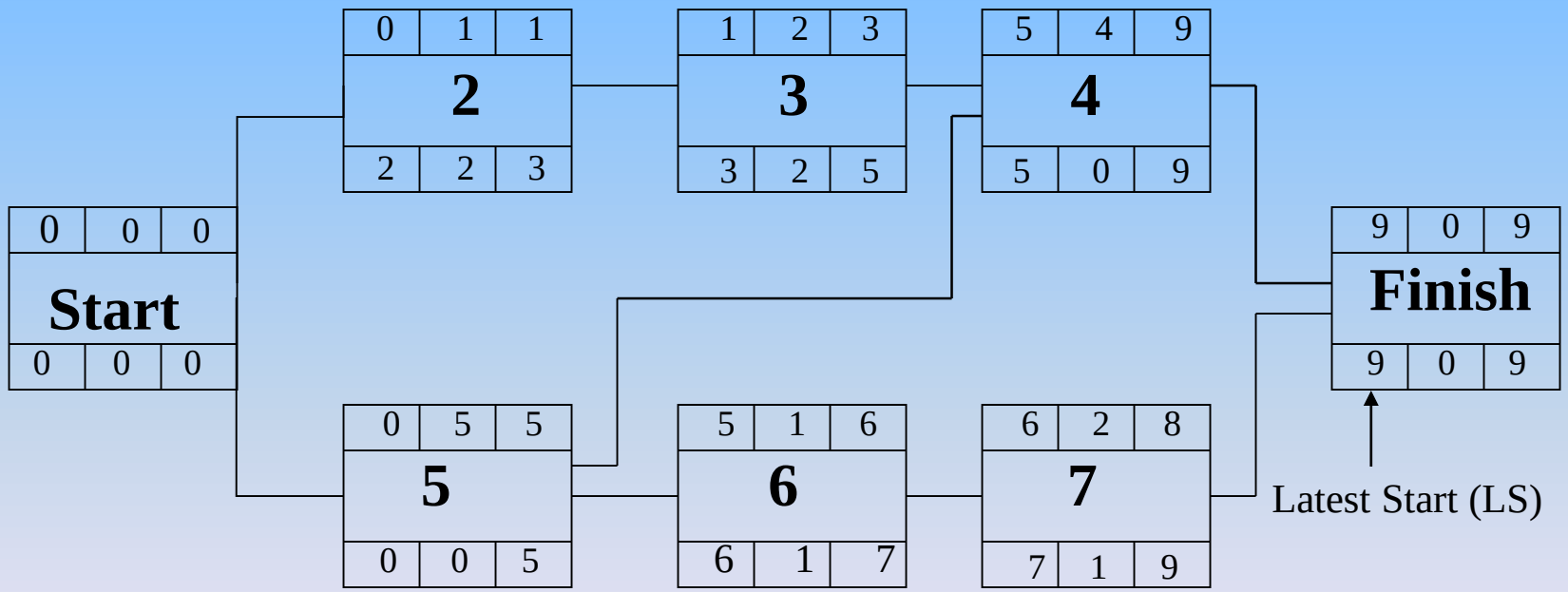
$EF_{(Finish)}$ = زودترین زمان اتمام پروژه

زمانبندی در شبکه گرهی



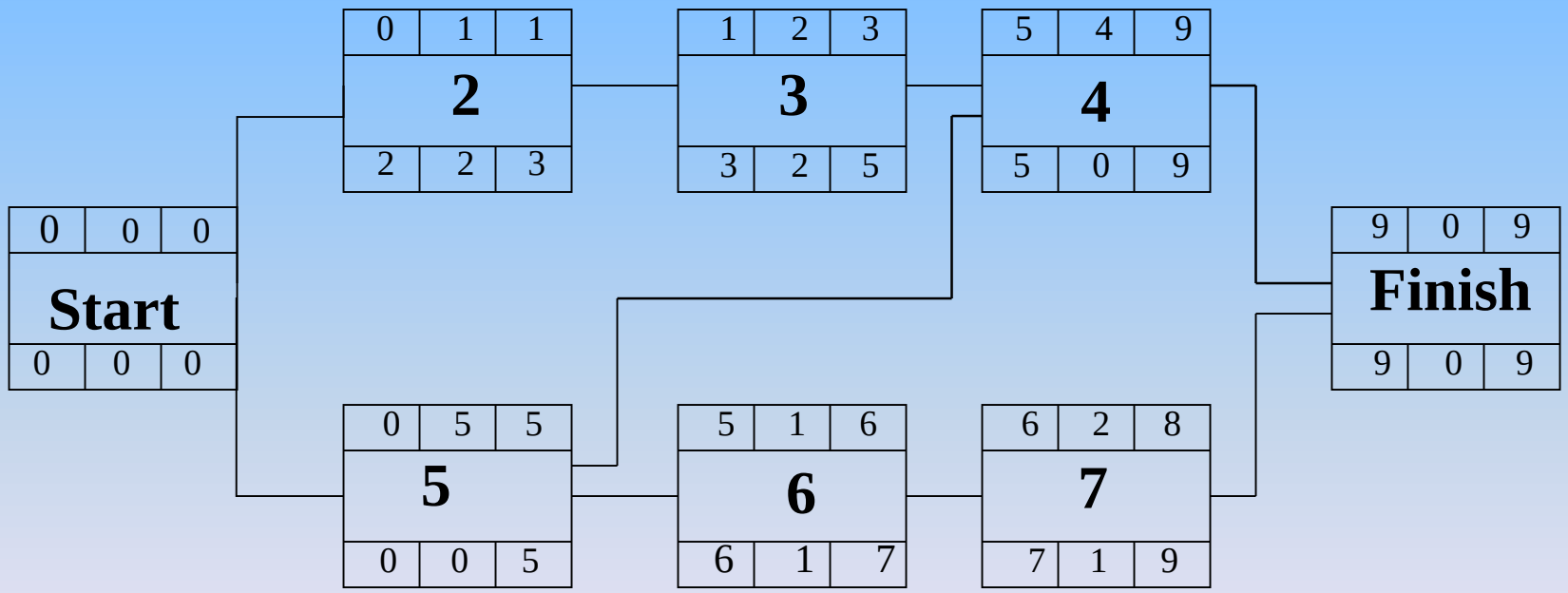
LF= EF(Finish) برای فعالیت پایانی داریم :

زمانبندی در شبکه گرهی



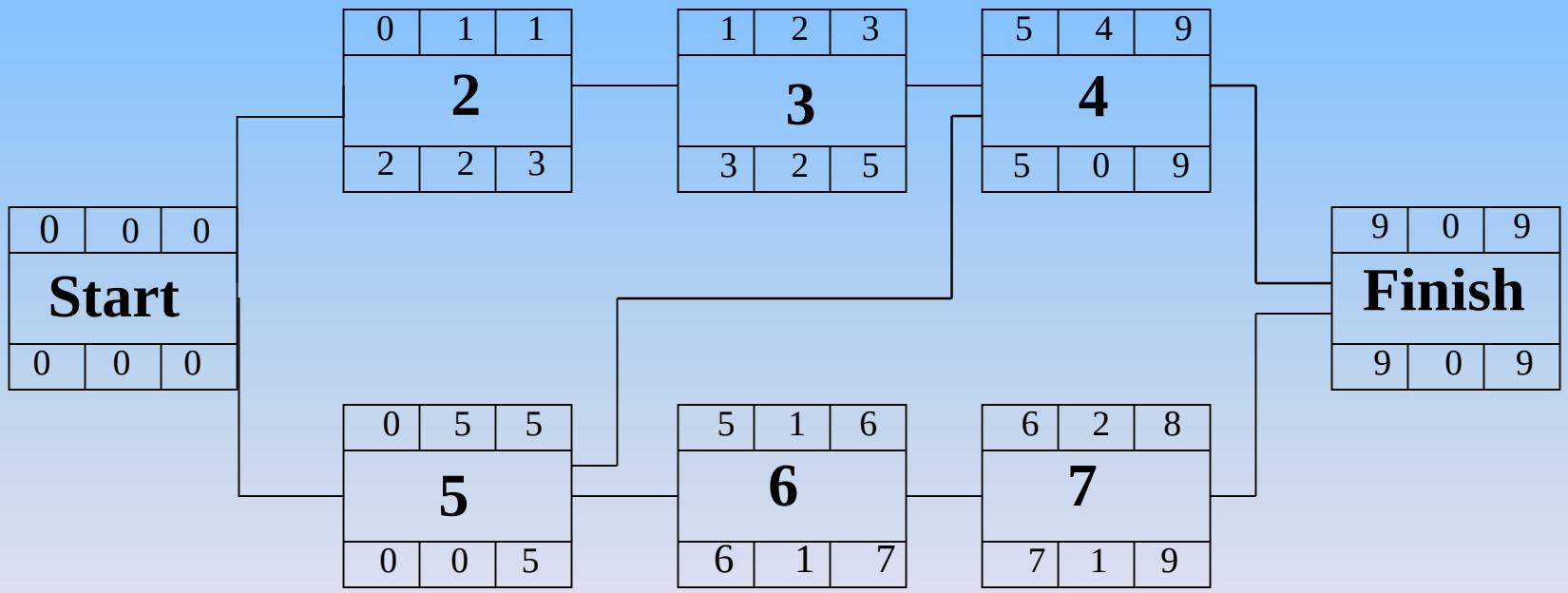
LS= LF - D

زمانبندی در شبکه گرهی

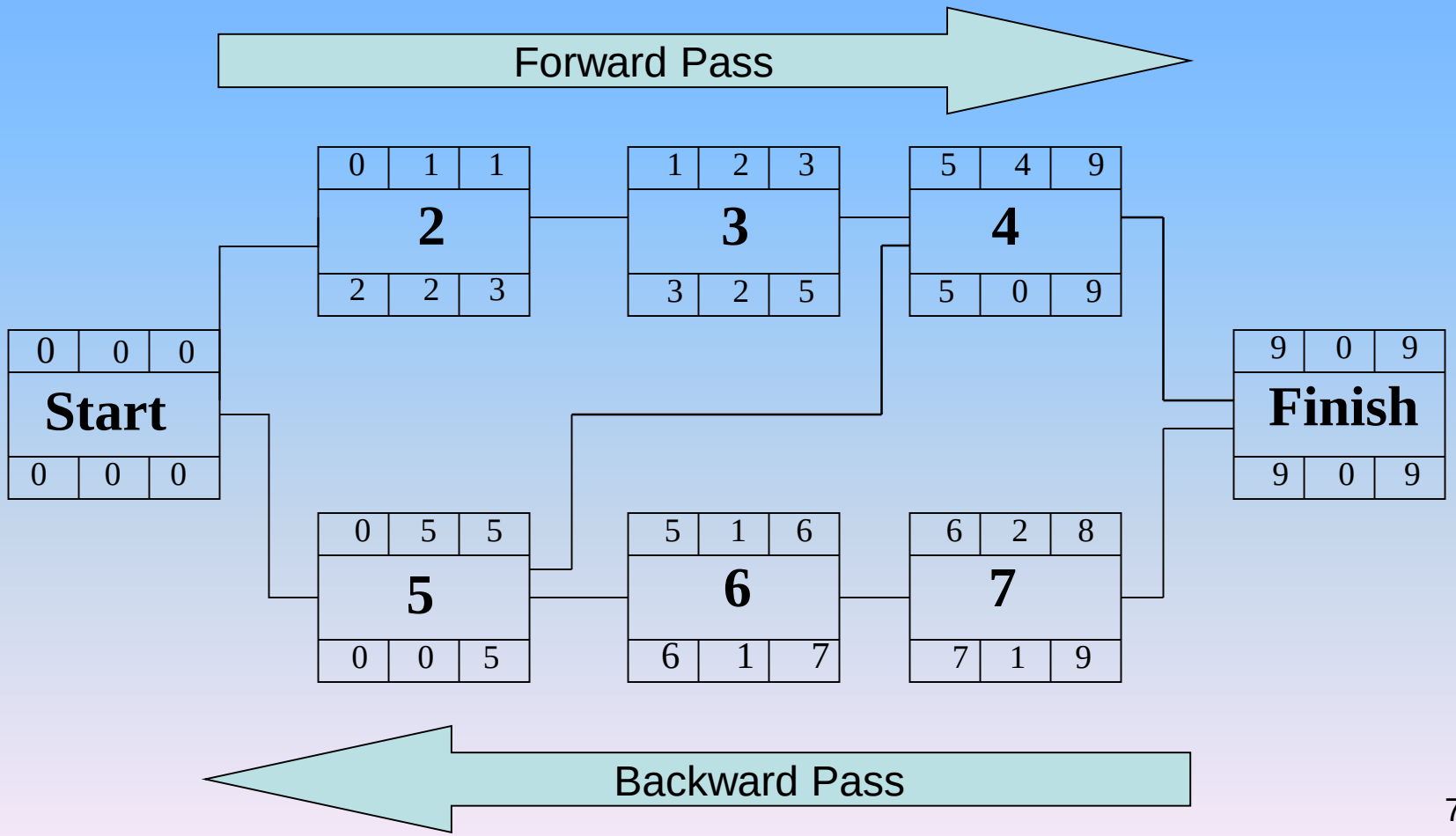


LF= min{LS} for all Succecessor برای فعالیتهای غیر پایانی داریم:

زمانبندی در شبکه گرهی



زمانبندی در شبکه گرهی



زمانبندی در شبکه گرهی

LF	LS	EF	ES	کد فعالیت
0	0	0	0	Start
3	2	1	0	2
5	3	3	1	3
9	5	9	5	4
5	0	5	0	5
7	6	6	5	6
9	7	8	6	7
9	9	9	9	Finish

مثال:

Example 4.2

Draw the node diagram and perform the CPM computations for the schedule shown next.

	Activity	IPA	Duration
Start	A	–	2
	B	A	6
	C	A	10
	D	A	4
	E	B	7
	F	B, C	5
	G	C, D	3
	H	E, F	5
Finish	I	G, H	2

مثال:

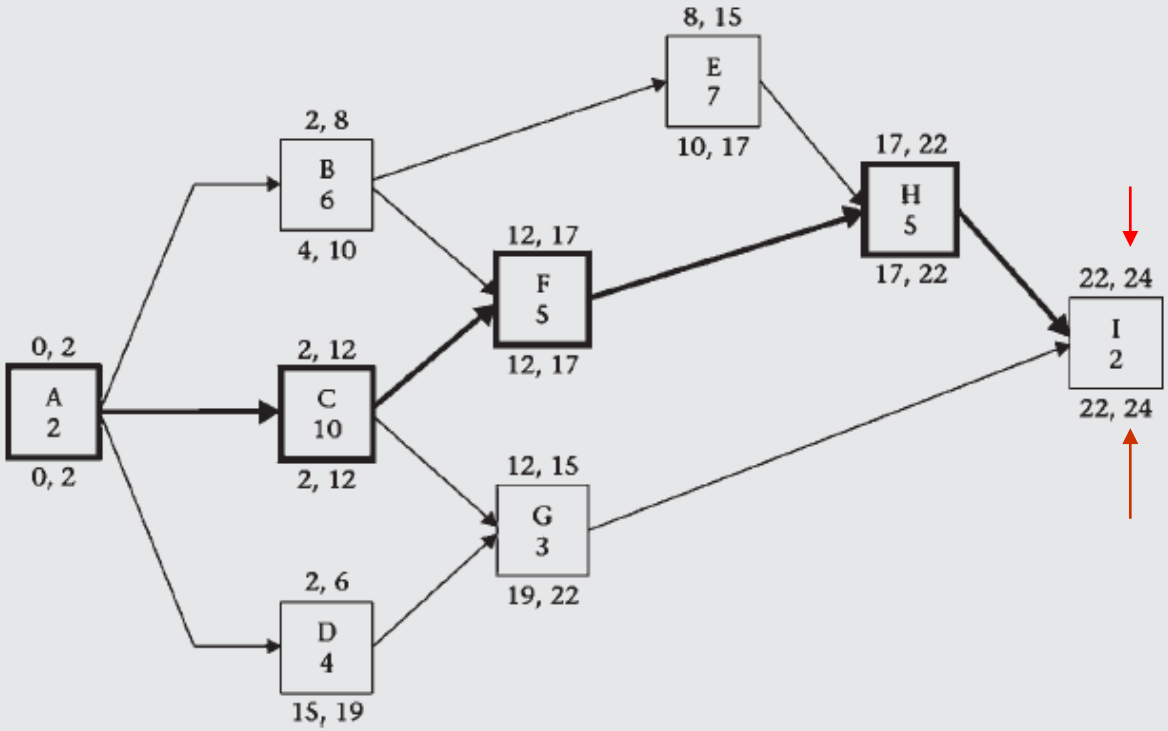


Figure 4.7 Node diagram for Example 4.2.

برای فعالیت پایانی داریم (Finish): LF= EF

:

برآورد مدت زمان انجام فعالیتها

برآورد مدت زمان فعالیتها

Activity Duration Estimating

برآورد مدت‌زمان فعالیت، فرآیند تخمین تعداد دوره زمانی لازم برای تکمیل آن و جهت استفاده در زمانبندی پروژه می‌باشد.

نکات مهم

۱- مدت زمان فعالیت به روش اجرا بستگی داشته و منابع در اختیار به آن وابسته است.

۲- واحد زمانی فعالیتها بصورت یکسان و استاندارد باشد. بطورمثال: روز

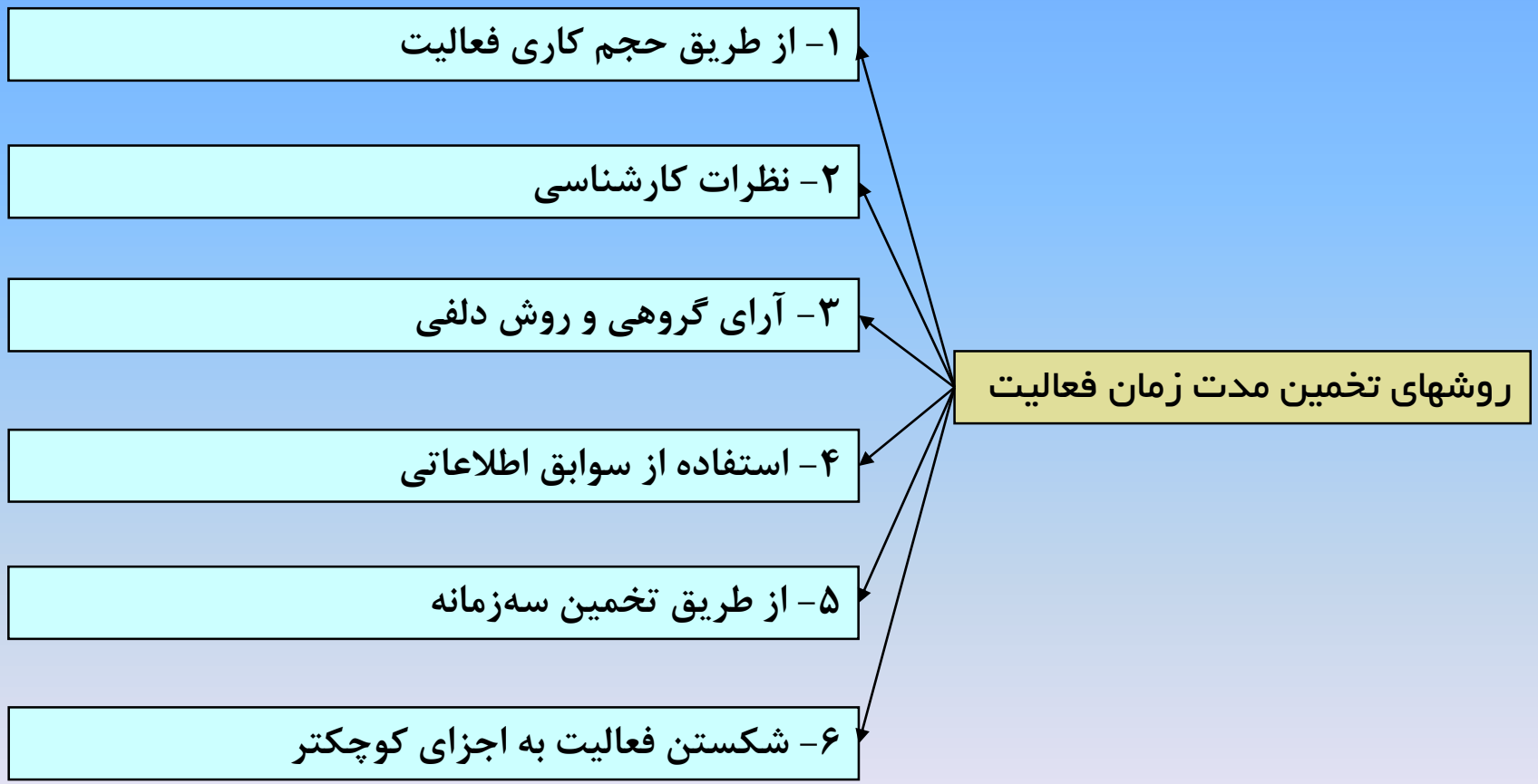
۳- در تخمین مدت زمان فعالیتها، روزهای کاری (Working Days) موردنظر هستند و نه ایام تقویمی.

لازم است که تقویم‌کاری (روزهای کاری و تعطیل) هر فعالیت مشخص شود.

۴- مدت زمان فعالیتها بطور مستقل از یکدیگر برآورد شوند.

۵- در برآورد مدت زمان فعالیتها شرایط معمول درنظر گرفته می‌شوند و اتفاقات غیر مترقبه مانند سیل و زلزله که غیرقابل پیش‌بینی هستند لحاظ نمی گردند.

برآورد مدت زمان فعالیتها



برآورد مدت زمان فعالیتها

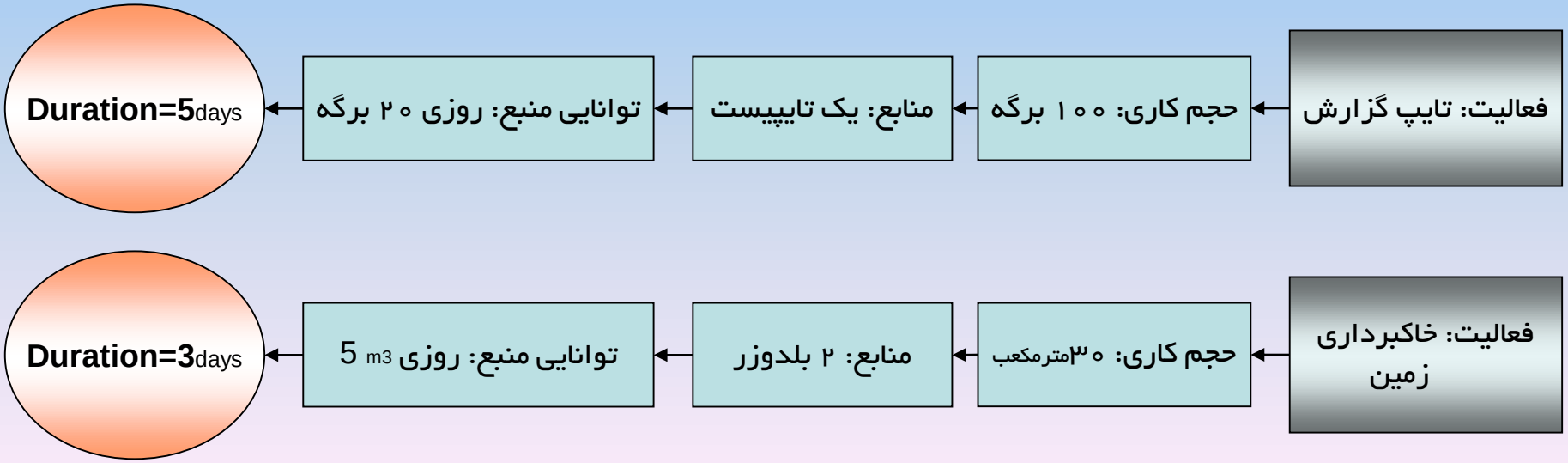
Activity Duration Estimating

روشهای تخمین مدت زمان فعالیت

۱- از طریق حجم کاری فعالیت

در این روش ابتدا حجم کاری فعالیت اندازه‌گیری شده و براساس منابع در دسترس و توانایی کاری منابع، مدت زمان فعالیت برآورد می‌شود.

مثال:



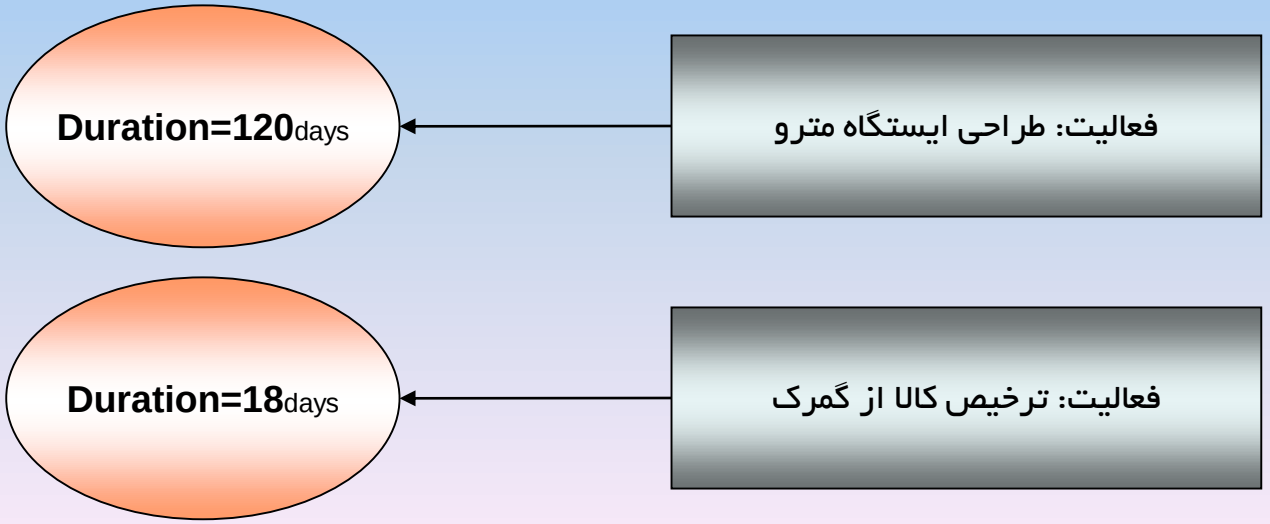
روشهای تخمین مدت زمان فعالیت

↓

۲- نظرات کارشناسی

در این روش به یک فرد متخصص و باتجربه در زمینه آن فعالیت رجوع می‌شود.

مثال:



روشهای تخمین مدت زمان فعالیت

↓

۳- آرای گروهی و روش دلفی

مراحل انجام روش دلفی:

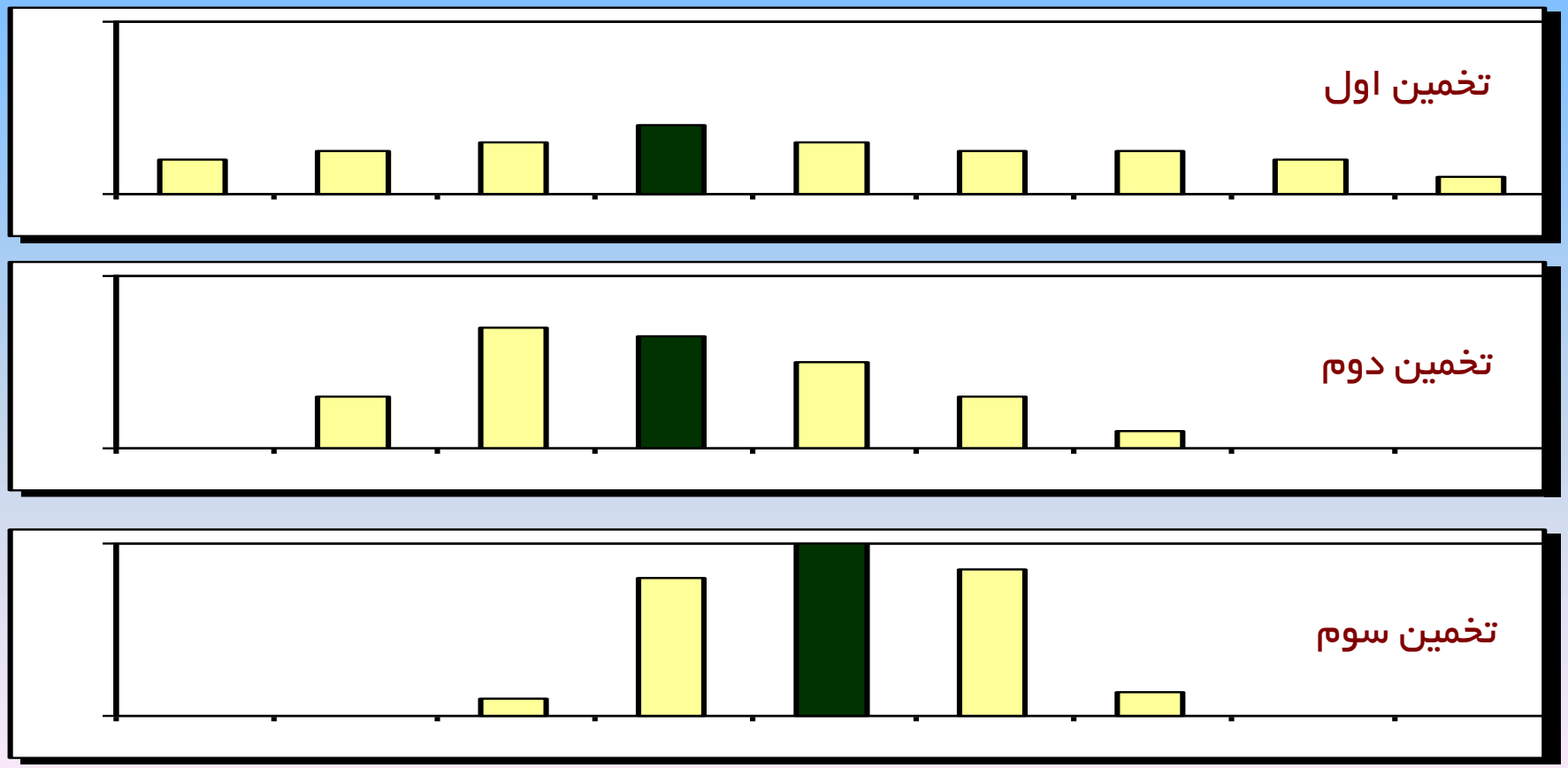
فاول (Fawle 1978) مراحل زیر را برای انجام روش دلفی پیشنهاد کرده‌است:

- تشکیل تیم اجرا و نظارت بر انجام دلفی
- گزینش یک یا چند هیئت (پنل) جهت شرکت در فعالیت‌ها. اعضاء این هیئت‌ها معمولاً کارشناسان و خبرگان قلمرو پژوهش هستند.
- راه اندازی فعالیت‌های تنظیم پرسش نامه برای دور اول
- بررسی پرسش نامه از دید نوشتاری (رفع ابهامات استنباطی و...)
- ارسال نخستین پرسش نامه به اعضاء هیئت‌ها
- واکاوی پاسخ‌های رسیده در دور نخست
- آماده کردن پرسش نامه دور دوم (با بازنگری‌های مورد نیاز)
- ارسال پرسش نامه دور دوم برای اعضاء هیئت‌ها
- واکاوی پاسخ‌های رسیده در دور دوم (مراحل ۷ الی ۹ تا دستیابی به پایداری در پاسخ‌های دریافتی ادامه می‌یابد)
- آماده‌سازی گزارش توسط تیم پردازشگر

برآورد مدت زمان فعالیتها

روشهای تخمین مدت زمان فعالیت

۳- آرای گروهی و روش دلفی



روشهای تخمین مدت زمان فعالیت

↓

۴- استفاده از سوابق اطلاعاتی

در صورتی که تاریخچه پروژه‌های قبلی مستند و تاریخ شروع و پایان فعالیتهای همانند ثبت شده باشد، می‌توان از سوابق آنها در تخمین مدت زمان انجام فعالیت استفاده نمود.

سوابق تاریخی گشایش اعتبار

ردیف	تاریخ شروع	تاریخ اتمام	مدت(روز)
۱	۸۱/۰۹/۰۱	۸۱/۱۰/۱۰	۴۰
۲	۸۲/۰۲/۱۲	۸۲/۰۴/۰۱	۵۰
۳	۸۲/۰۴/۰۵	۸۲/۰۵/۲۳	۴۸

برآورد مدت زمان فعالیت = ۴۶ روز

روشهای تخمین مدت زمان فعالیت

↓

۴- از طریق تخمین سه‌زمانه

برای هر فعالیت، سه برآورد مدت زمان (خوش‌بینانه، محتمل و بدبینانه) ارائه شده و براساس آنها مدت زمان فعالیت پیش‌بینی می‌شود.

O: Optimistic	خوش‌بینانه
P: Pessimistic	بدبینانه
M: Most likely	محتمل

⇒ Duration=(O+4M+P)/6

برآورد مدت زمان فعالیتها

روشهای تخمین مدت زمان فعالیت

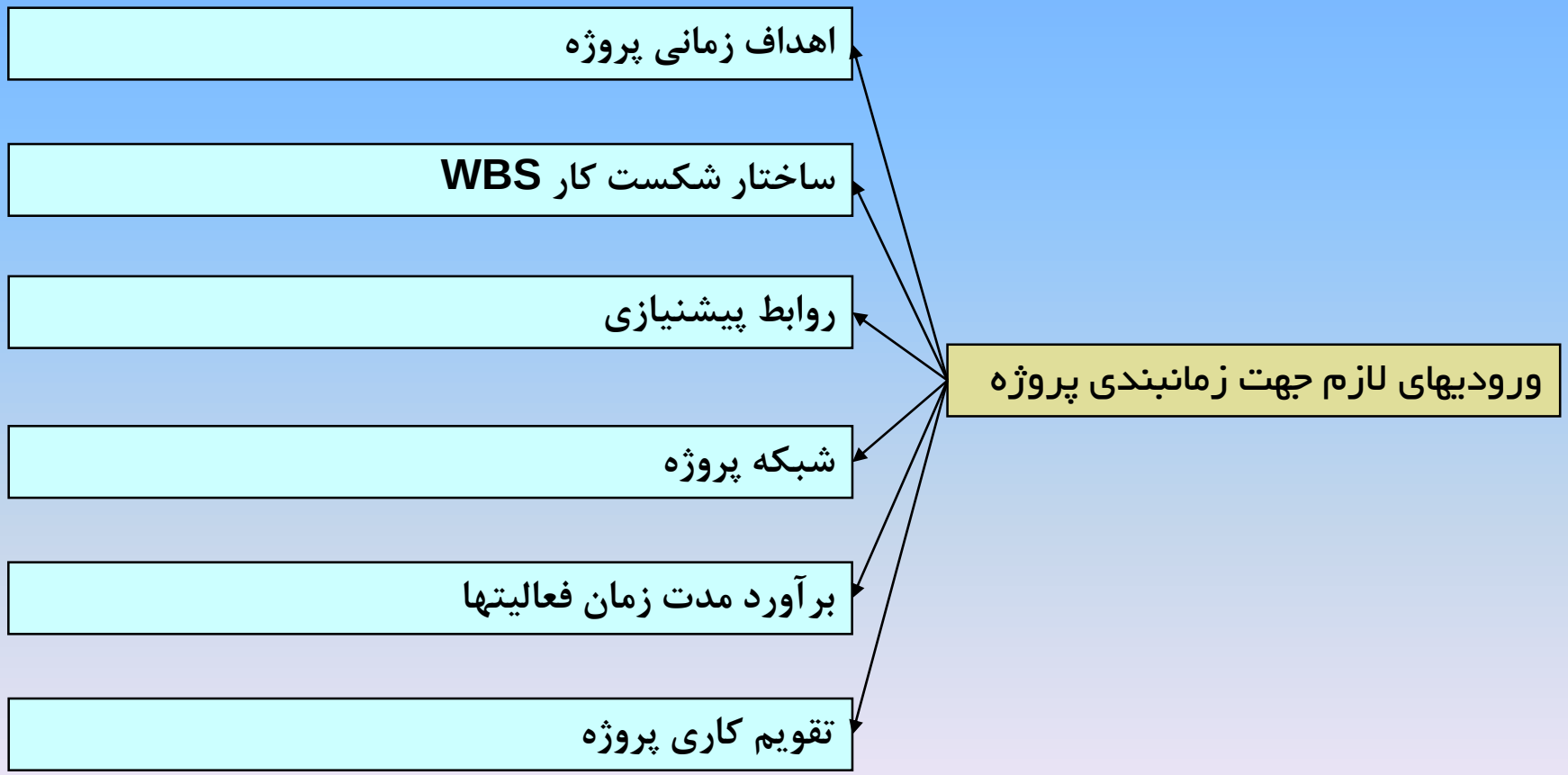
↓

۶- شکستن فعالیت به اجزای کوچکتر

می‌توان فعالیت را به‌اجزای کوچکتر تقسیم نمود و سپس با یکی از روشهای ذکر شده مدت هریک را تخمین و با سرجمع کردن آنها مدت زمان فعالیت اصلی را برآورد نمود.

بیشترین کاربرد این روش در مواقعی است که **WBS** در سطوح بالا متوقف شده و بصورت کلان به برنامه‌ریزی نگاه می‌شود.

تهیه زمانبندی پروژه، فرآیند تعیین زمانهای شروع و پایان فعالیتهای پروژه است.

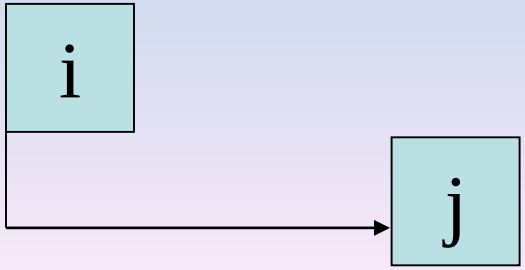


انواع حالات پیشنیازی:

- چنانچه شروع فعالیتی با انجام فعالیت بعدی ارتباط زمانی داشته باشد، بردار خروجی از گره متناظر با این فعالیت، از ناحیه شروع خارج میگردد و اگر پایان فعالیت با فعالیت بعدی ارتباط زمانی داشته باشد، بردار مزبور از ناحیه پایان خارج می شود.
- به همین ترتیب بردار ورودی به گره مربوط به فعالیت دوم (بعدی) از طریق ناحیه شروع یا پایان به آن گره وارد می شود.

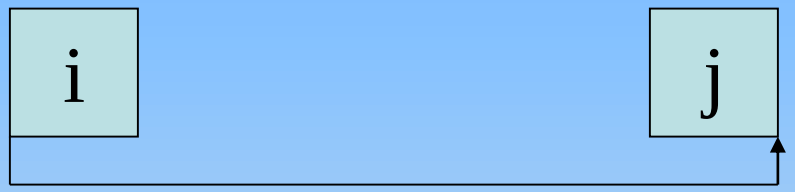
در این حالت ۴ حالت ممکن است رخ دهد که در ادامه بیان می شود:

الف- شروع به شروع: در این حالت شروع فعالیت یکم (i) با شروع فعالیت دوم(j) رابطه زمانی دارد (رابطه SS). طریقه رسم بردار ارتباطی بین این دو فعالیت، در شکل زیر ارائه شده است. در این شکل، بردار مزبور از یک نقطه واقع بر ناحیه شروع فعالیت (گره) i خارج و به یک نقطه واقع بر ناحیه شروع فعالیت (گره) j وارد میشود. میزان تاخیر مربوط نیز بر روی بردار نوشته شده است.

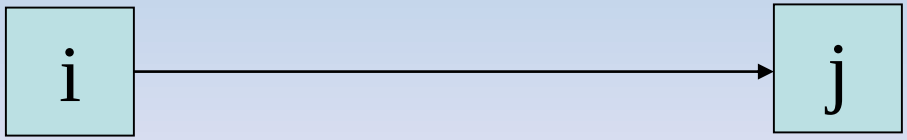


انواع حالات پیشنیازی:

ب) رابطه شروع به پایان: چنانچه شروع فعالیت یکم (i) با پایان فعالیت دوم (j) ارتباط زمانی داشته باشد (SF)، بین آنها را بصورت شکل زیر می توان رسم کرد. معمولاً در شرایط بسیار نادری رخ می دهد و در شبکه های گرهی مورد بحث قرار نمی گیرد.

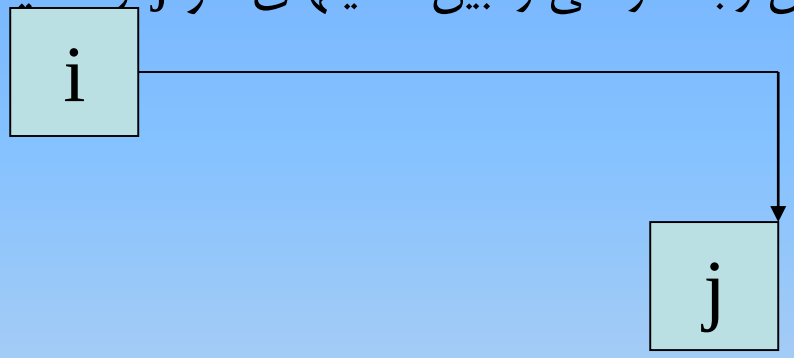


ج) پایان به شروع: یک نمونه از رابطه زمانی پایان فعالیت i با شروع فعالیت j با تاخیر منفی در شکل زیر ارائه شده است. دراین مثال، فعالیت j دو روز پیش از اتمام فعالیت i میتواند آغاز شود.



انواع حالات پیشنیازی:

د) پایان به پایان: آخرین حالتی که ممکن است وجود داشته باشد، رابطه زمانی پایان فعالیت یکم با پایان فعالیت دوم است. شکل زیر چنین رابطه زمانی را بین فعالیتهای i و j ارائه میکند.



تأخیر برنامه ریزی شده یا lag: حداقل زمان انتظار اجباری بین تکمیل (یا شروع) یک فعالیت و شروع (یا تکمیل) فعالیت بعد از آن است. اگرچه تاخیرها فعالیت های واقعی نیستند، اما زمان می برند و باید در محاسبات مسیر بحرانی پروژه گنجانده شوند.

تعجیل برنامه ریزی شده یا Lead: هرگاه یک فعالیت بتواند پیش از فعالیت پیشنیاز خود آغاز شود، این مقدار با Lead یا Lag منفی نشان داده می شود.

محاسبات زمانها:

این محاسبات بر این اصل متکی هستند که انقطاع فعالیتها در پروژه مجاز نیست.

- محاسبه ESb: (حرکت پیشروی) برای بردار پیشنیازی ab بسته به نوع روابط پیشنیازی داریم:

- FaSb: ESb = EFa+FaSb
- SaSb: ESb = ESa+SaSb
- FaFb: ESb = EFa+FaFb-Db

- برای فعالیت شروع ES برابر صفر است و اگر چند رابطه ی پیشنیازی موجود باشد نهایتا ESb برابر حداکثر مقادیری است که از این روابط بدست می آید.

EFb= ESb+Di

محاسبات زمانها:

- محاسبه LFa: (حرکت بازگشتی) برای بردار پیشنیازی ab بسته به نوع روابط پیشنیازی:

- FaSb: LFa= LSb - FaSb
- FaFb: LFa= LFb - FaFb
- SaSb: LFa= LSb - SaSb+Db

- برای شروع حرکت بازگشتی مقدار EF فعالیت پایانی برابر LF آن فرض شده و اگر چند رابطه پیشنیازی موجود باشد نهایتاً LFb برابر حداقل مقادیری است که از این روابط بدست می آید.

LSb= LFb - Di

چند تعریف

شناوری کل فعالیت Total Float (TF):

شناوری کل یک فعالیت مدت زمانی است که یک فعالیت می تواند نسبت به زودترین زمان شروع، دیرتر شروع شود بدون آنکه زمانبندی کل پروژه به تأخیر بیافند.

$$TF = LSi - ESi$$

OR

$$TF = LFi - EFi$$

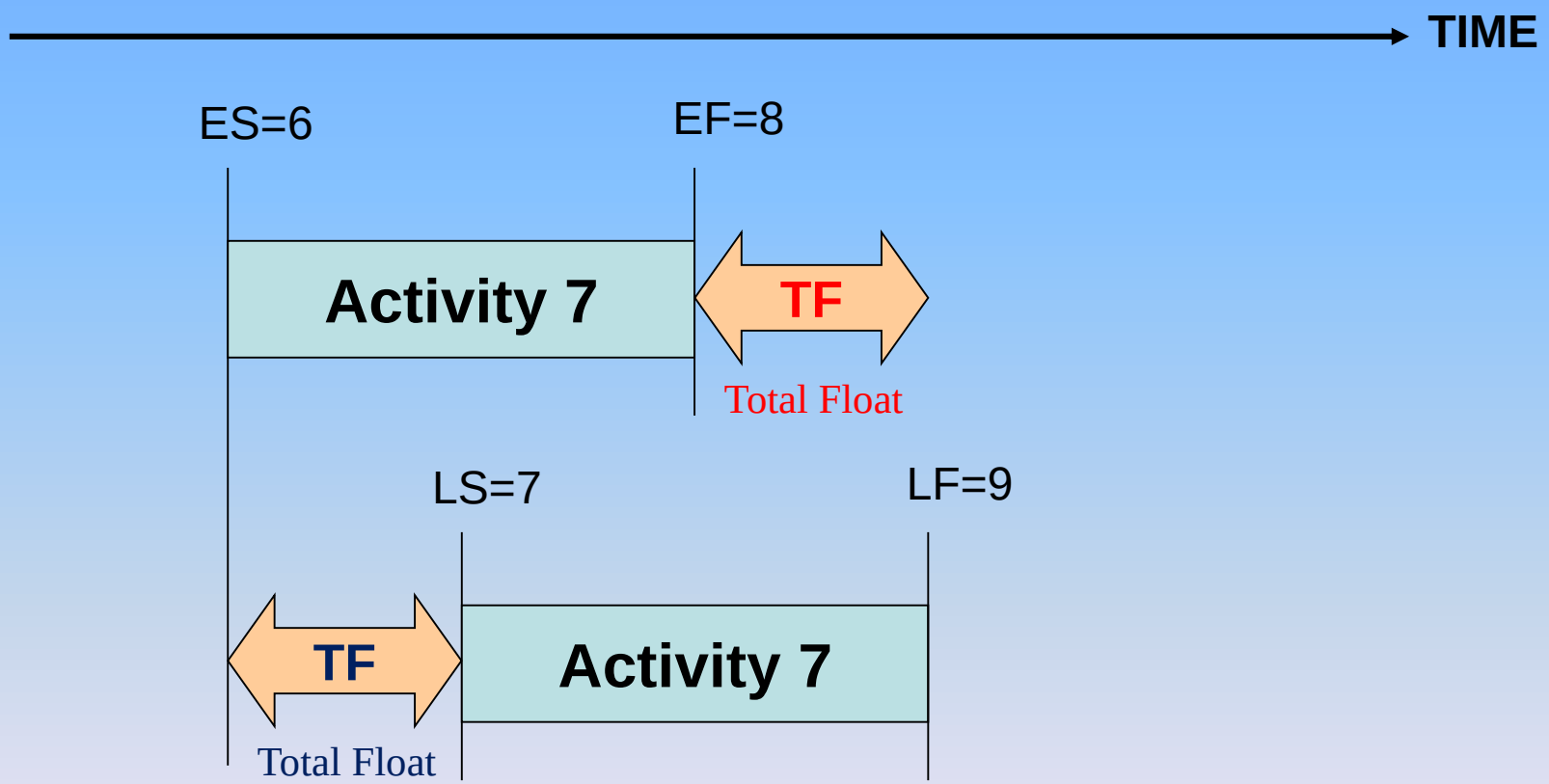
شناوری آزاد Free Float (FF) :

مدت زمانی است که یک فعالیت می تواند نسبت به زودترین زمانبندی اش دیرتر تمام شود بدون آنکه بر زمانبندی فعالیت های بعدی تأثیر بگذارد.

$$FF = Min\{ESj\} - EFi$$

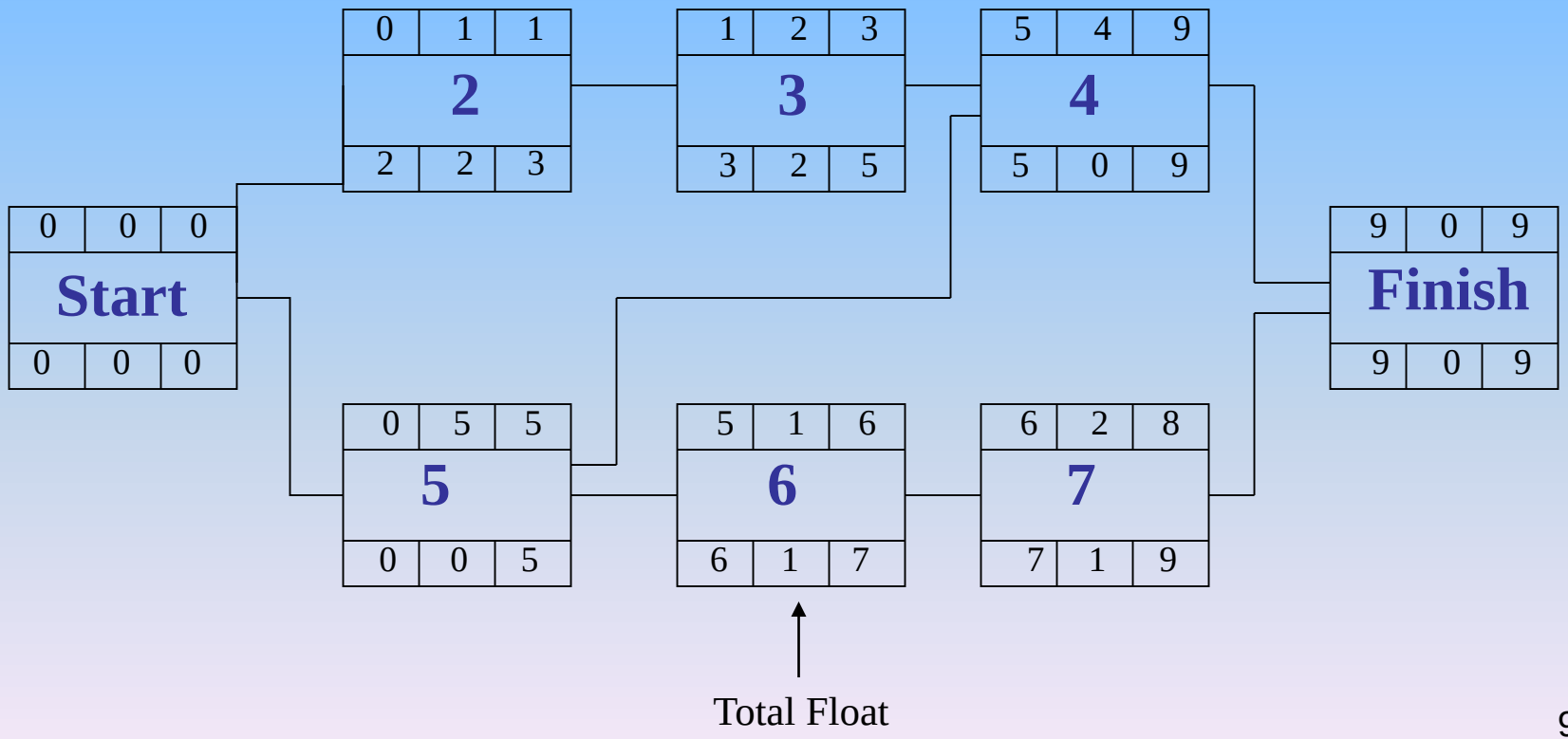
j={i مجموعه فعالیت های پس نیاز }

شناوری کل در شبکه گرهی

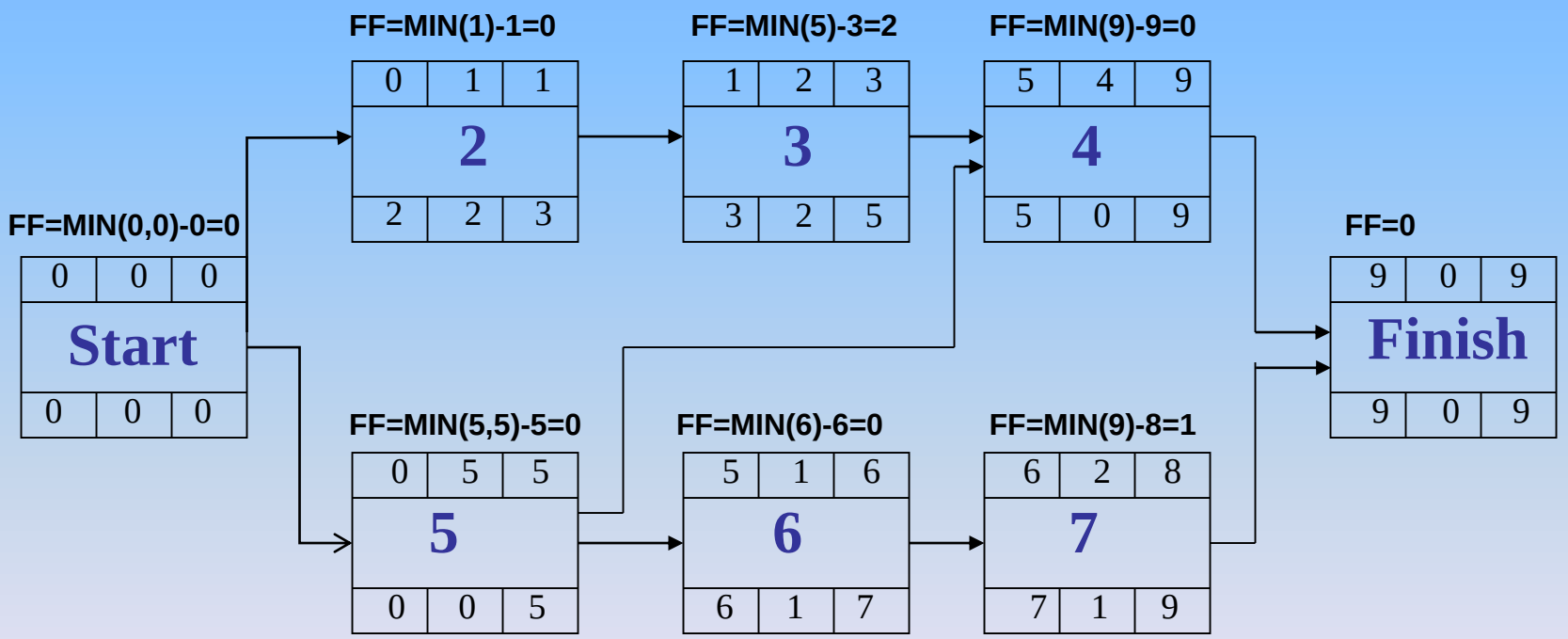


TF=LS-ES or **TF=LF-EF**

شناوری کل در شبکه گرهی



شناوری آزاد در شبکه گرهی



مثال : زمانبندی پروژه زیر را انجام دهید

Example 5.1

Perform the CPM calculations for the network shown in Figure 5.22.

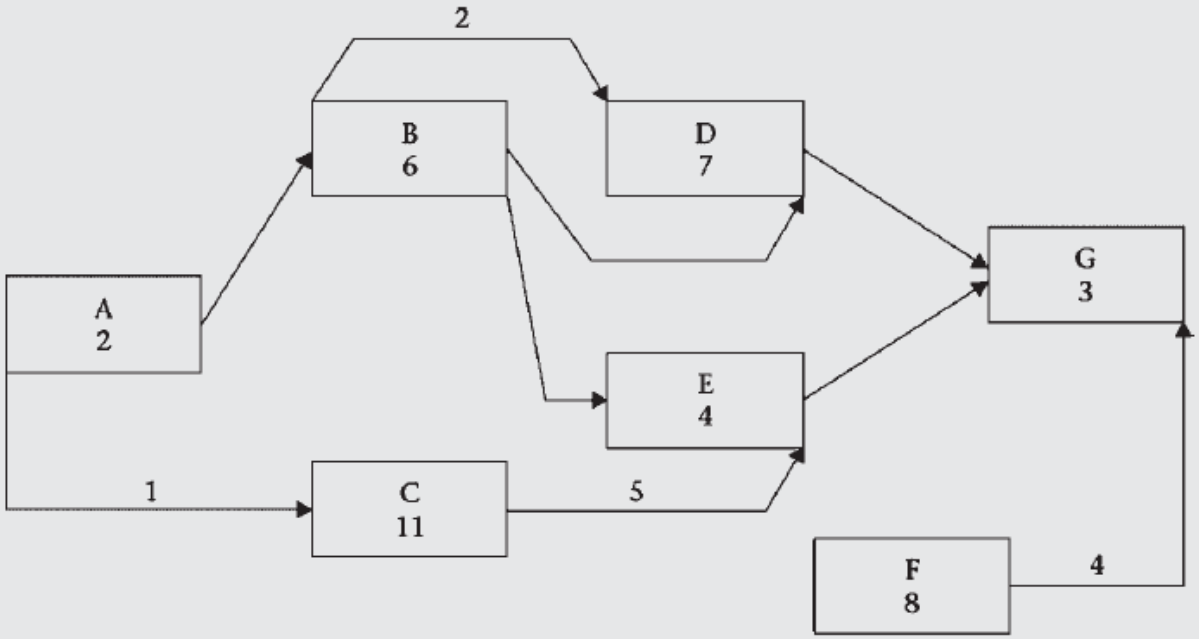


Figure 5.22 Network for Example 5.1.

10. Activity F is dangling. It is preferred that we connect its start to the start of activity A, which will not change the calculations, but the author wanted to show it as dangling for the purpose of illustration.

پاسخ: با فرض غیر قابل انقطاع بودن فعالیت ها

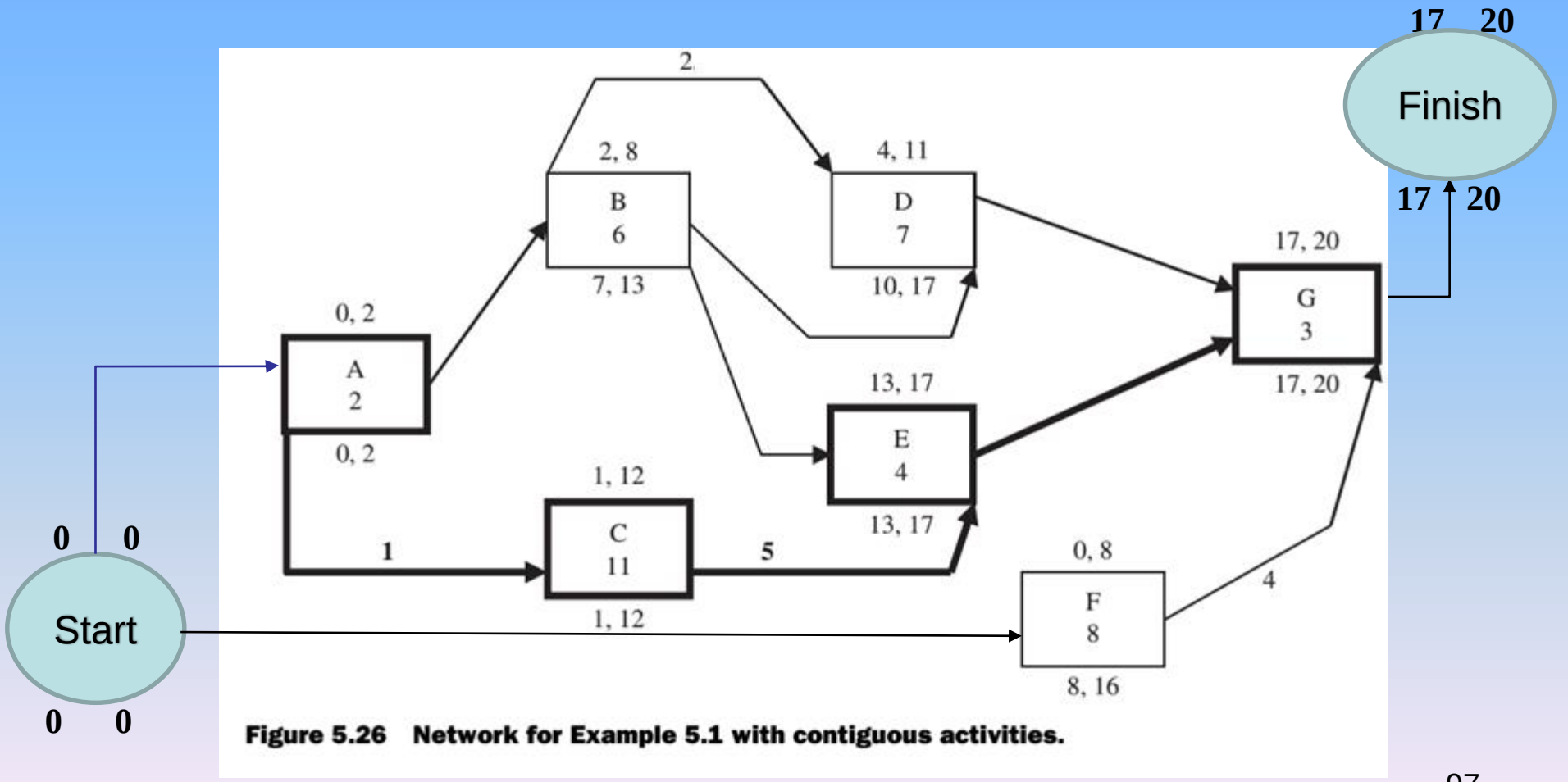
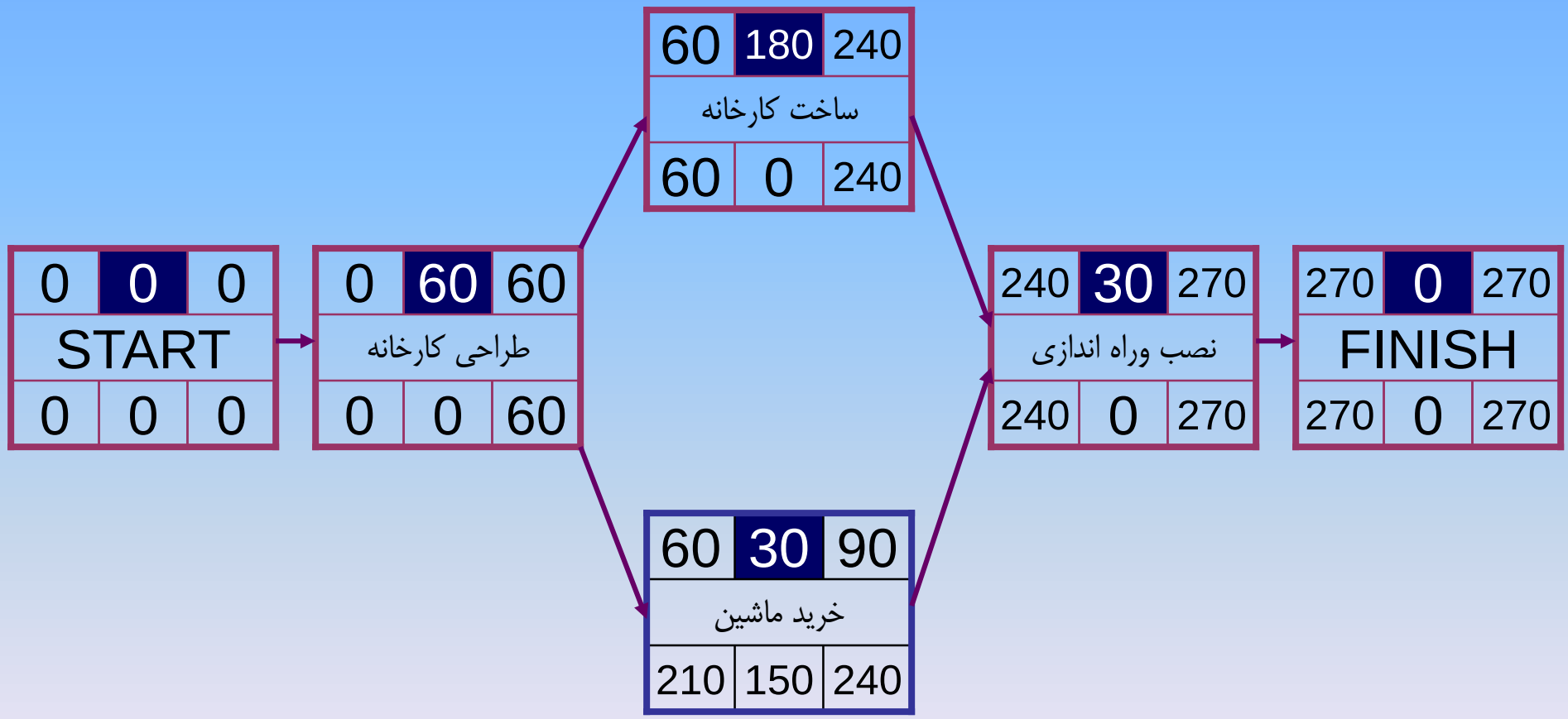


Figure 5.26 Network for Example 5.1 with contiguous activities.

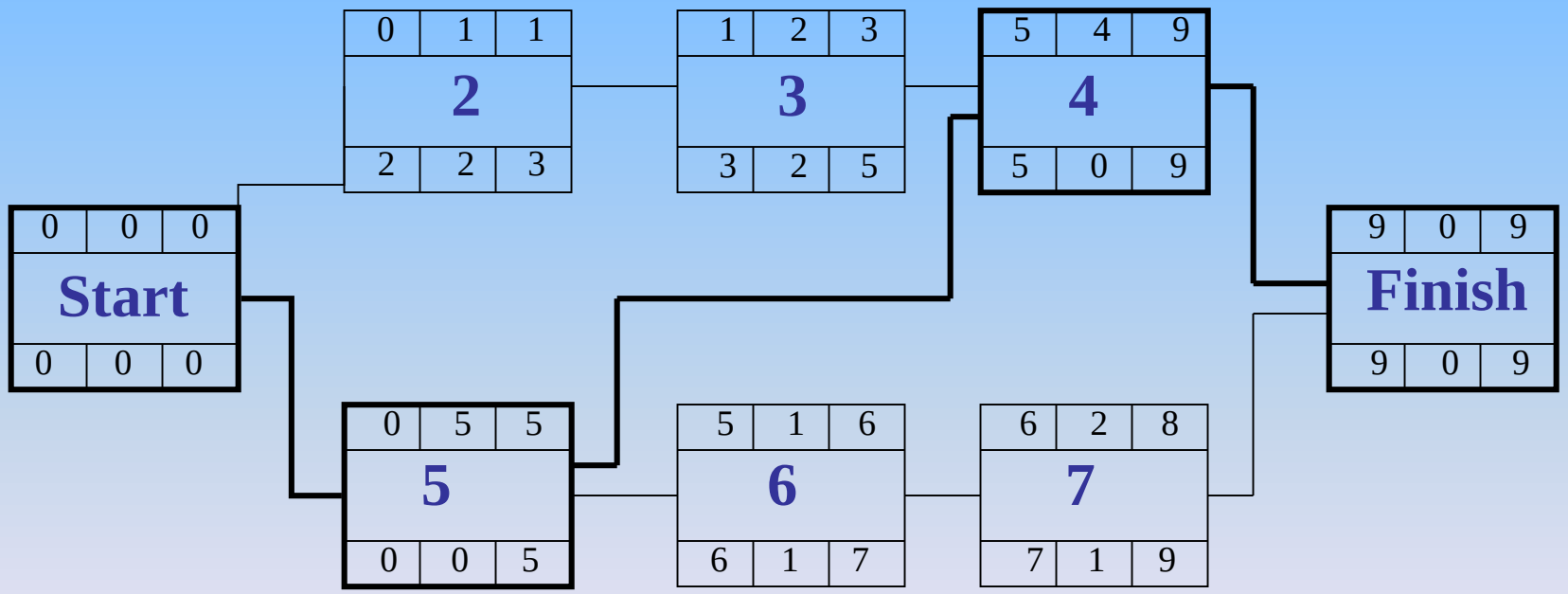
مثال : طراحی وایجاد یک کارخانه را در نظر بگیرید

مقرر شده است که کارخانه‌ای جهت تولید قطعات خودرو ایجاد شود. مطابق بررسی ها انجام شده ابتدا لازم است که طراحی کارخانه (که ۶۰ روز زمان می‌برد) انجام شود. پس از اتمام طراحی، دو فعالیت می‌توانند شروع شوند فعالیت ساخت کارخانه (طی ۱۸۰ روز) و فعالیت خرید ماشین‌آلات (طی ۳۰ روز). پس از اتمام فعالیتهای ساخت کارخانه و همچنین خرید ماشین‌آلات، نصب و راه اندازی ماشین آلات در کارخانه طی ۳۰ روز انجام می‌شود.

زمانبندی و همچنین شناوری کل و شناوری آزاد فعالیتها را بدست آورید.


0 0 0
START
0 0 0
0 60 60
طراحی کارخانه
0 0 60
60 180 240
ساخت کارخانه
60 0 240
60 30 90
خرید ماشین
210 150 240
240 30 270
نصب وراه اندازی
240 0 270
270 0 270
FINISH
270 0 270

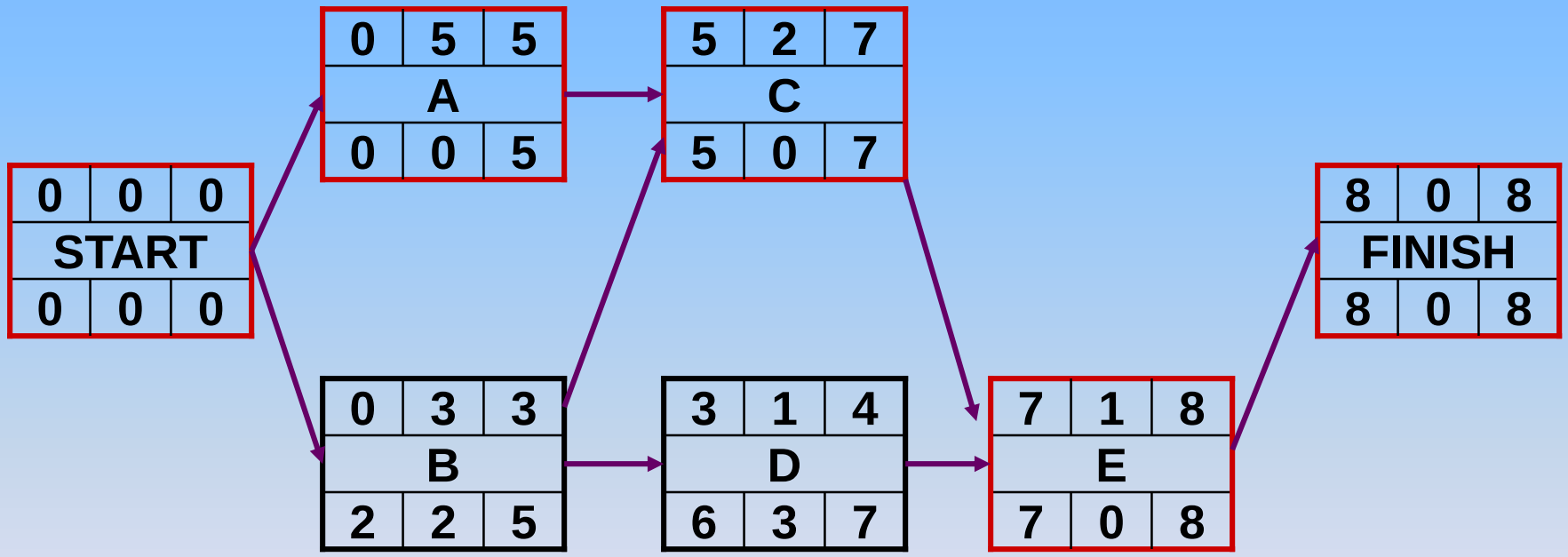
زمانبندی در شبکه گرهی



نمودار میله ای زمانبندی پروژه – گانت چارت GANTT CHART:

مثال

پروژه با شبکه ی زیر را درنظر بگیرید

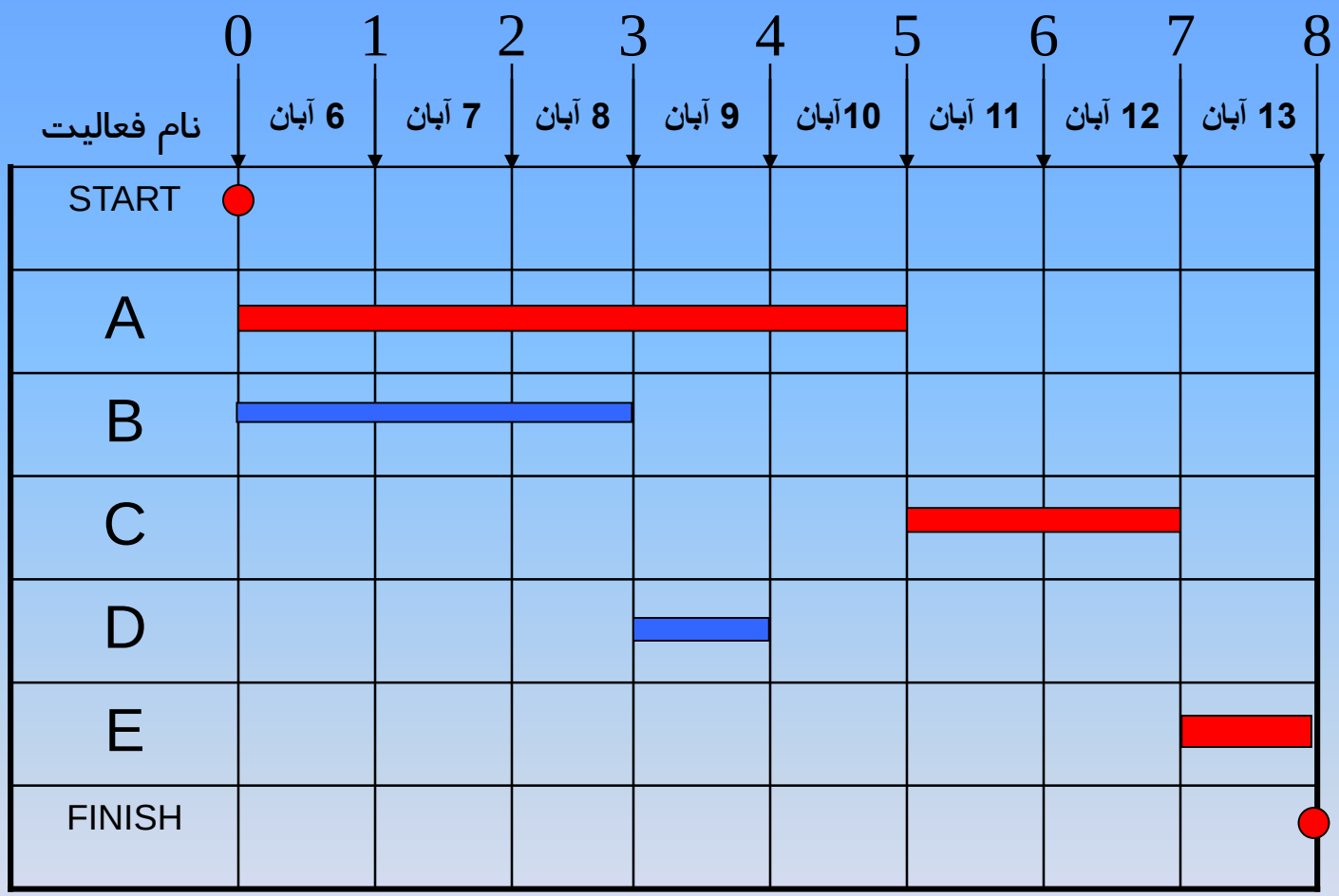


GANTT CHART نمودار گانت

دیرترین زمان

زودترین زمان

نمودار گانت با تعیین فعالیتهای بحرانی



فعالیتهای بحرانی

فعالیتهای غیربحرانی

تنظیم برنامه مبنای پروژه یا (Baseline):

در اکثر پروژه ها در پایان مرحله برنامه ریزی یک زمانبندی پروژه تحت عنوان برنامه اولیه یا Baseline ارائه می شود که مبنای کنترل اجرای پروژه می شود.

برنامهBaseline می تواند زمانبندی بر اساس زودترین زمانها یا زمانبندی بر اساس دیرترین زمانها و یا حدی ما بین این دو باشد. که با توجه به شرایط حاکم بر پروژه می بایست انتخاب شود.

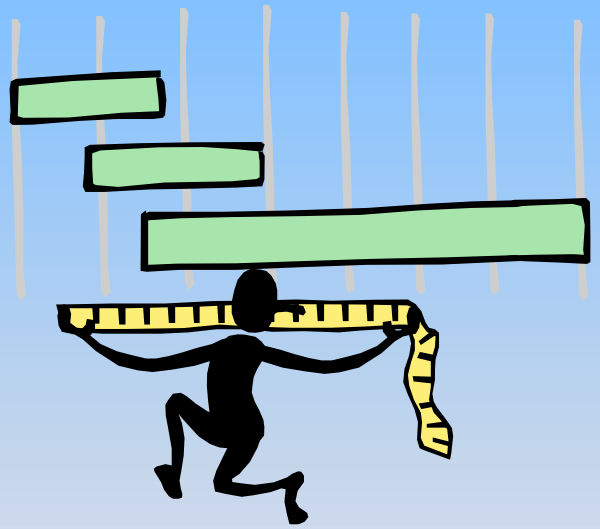
بنام خدا

برنامه ریزی و کنترل پروژه

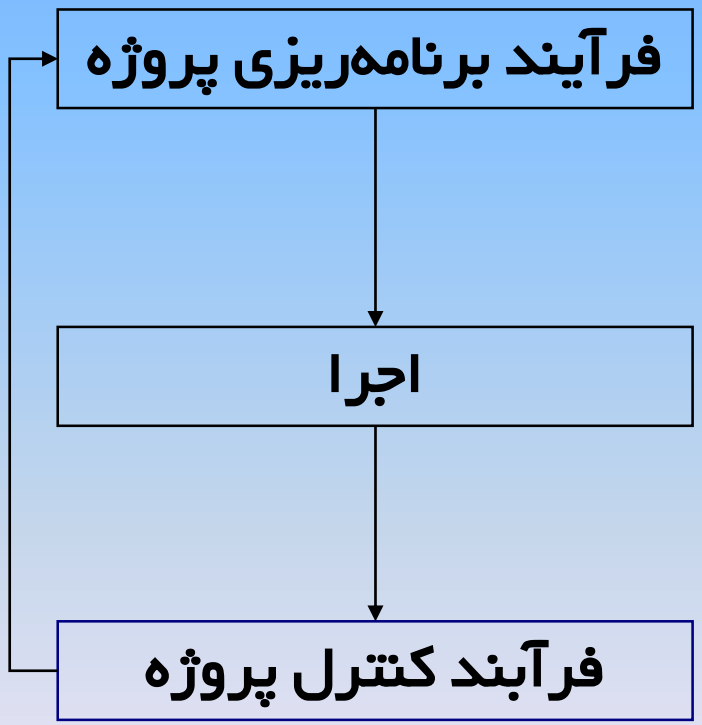
جزوه شماره ۲– کنترل پروژه

استاد: امیرمسعود تاکی

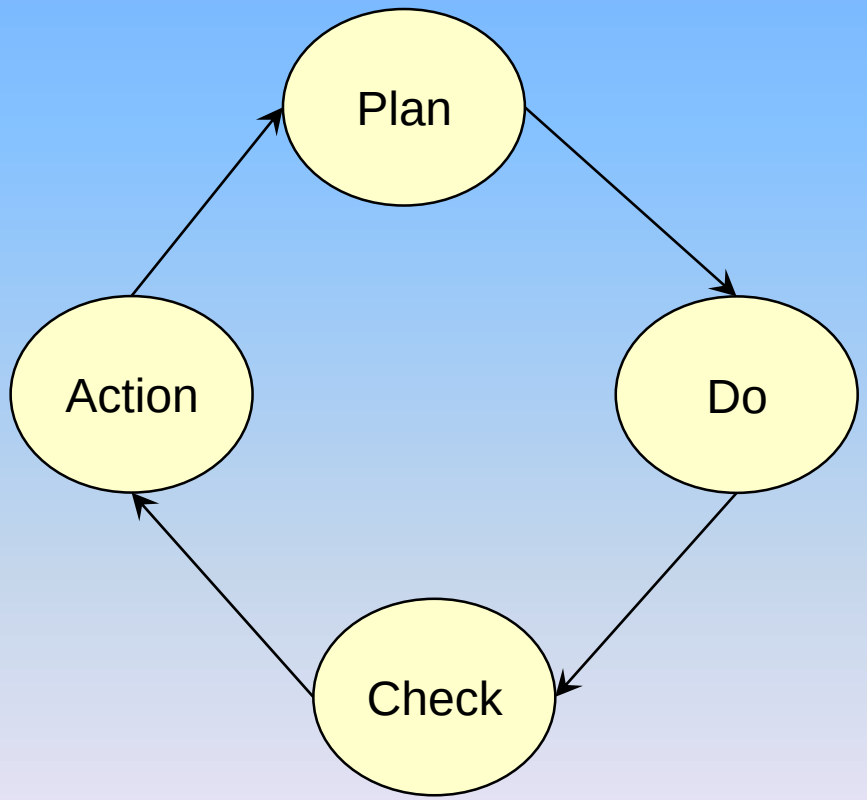
فرآیند کنترل پروژه



مقدمه‌ای بر کنترل پروژه

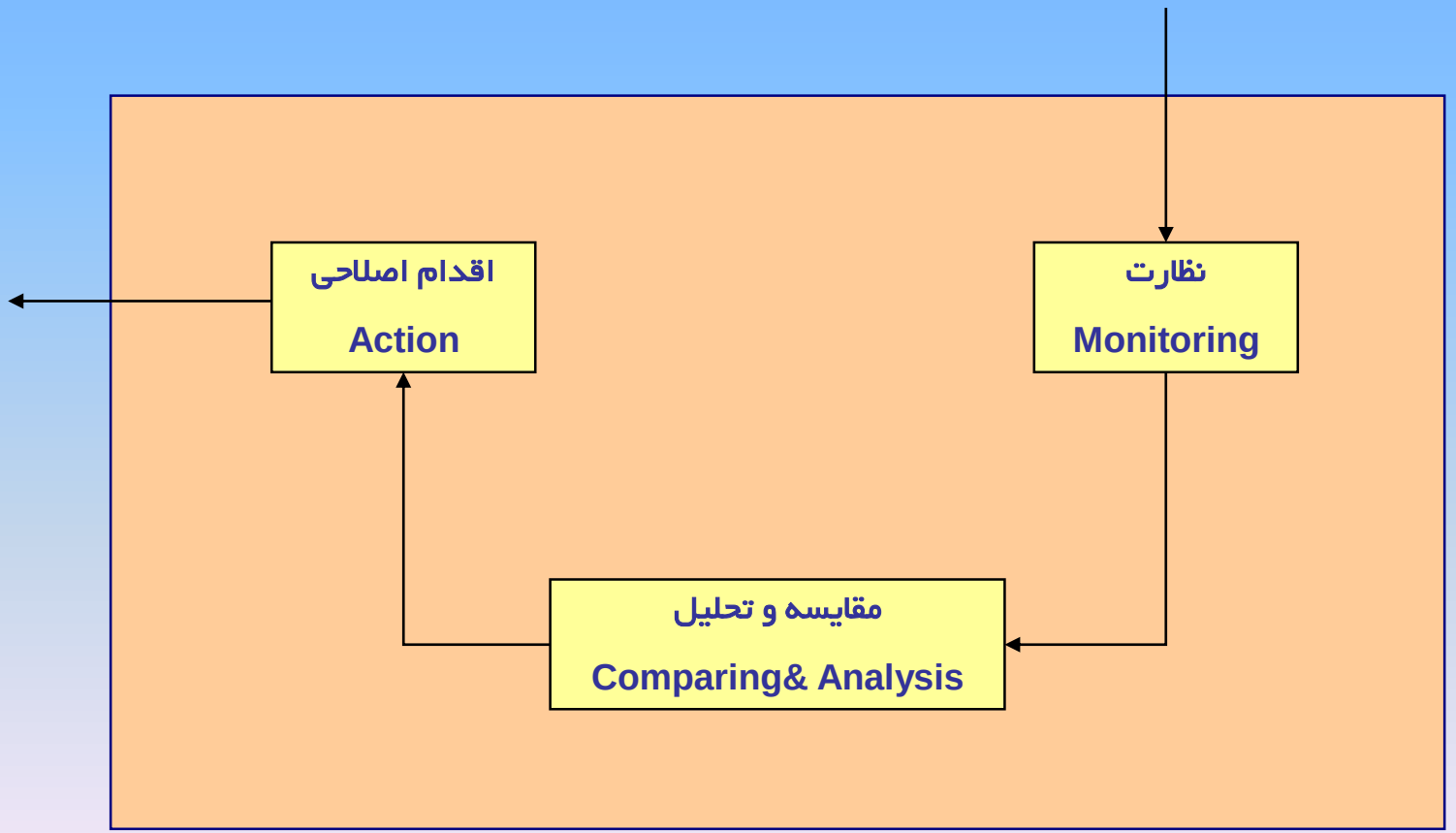


ارتباط فرآیندهای برنامه‌ریزی و کنترل پروژه

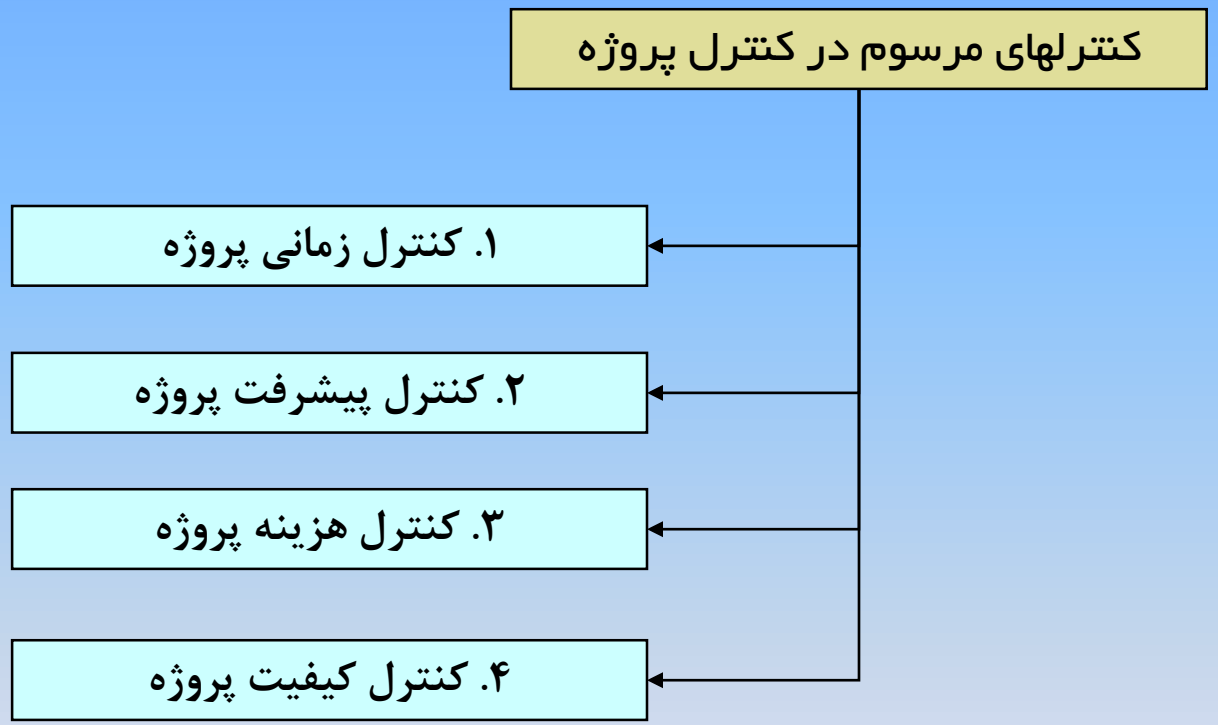


چرخه دمینگ در برنامه‌ریزی و کنترل

تجزیه فرآیند کنترل پروژه



فرآیند کنترل پروژه



کنترل زمانی پروژه

کنترل زمانی پروژه فرآیندی است که در حین اجرای پروژه بررسی می‌کند آیا باتوجه به شرایط موجود، پروژه در زمان مقرر(برنامه ریزی اولیه یا **baseline**) به اتمام خواهد رسید؟

پس از بکارگیری تکنیکهای کنترل زمانی پروژه، علاوه بر پاسخ به سوال فوق، می‌توان به سوالات زیر نیز پاسخ داد:

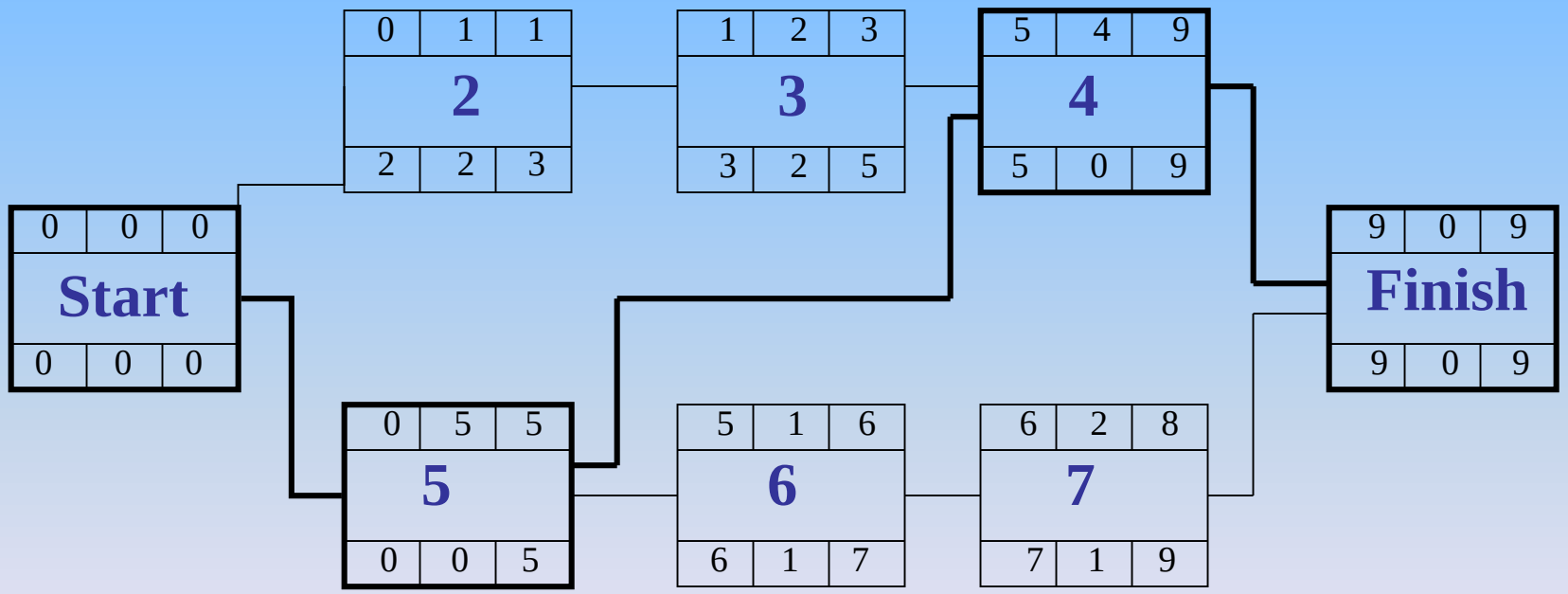
- میزان تاخیر (و یا جلوافتادگی) پروژه در شرایط کنونی چقدر می‌باشد؟
- در صورتیکه پروژه دچار تاخیر شده، تاخیر مذکور از چه فعالیتهایی ریشه گرفته و علل آن چیست؟
- برنامه زمانبندی جدید پروژه در شرایط جدید چیست؟ (زمانبندی بهنگام)
- مسیر بحرانی جدید پروژه کدام است و شناوری فعالیتها به چه مقداری تغییر یافته؟

کنترل زمانی پروژه

برای انجام کنترل زمانی باید به این سوالات پاسخ دهیم:

- **آیا فعالیت شروع شده است یا خیر؟ در صورتی که شروع شده، تاریخ واقعی شروع فعالیت چیست؟**
- **آیا فعالیت به اتمام رسیده است؟ در صورتی که به اتمام رسیده، تاریخ واقعی پایان فعالیت چیست؟**
- **در صورتی که فعالیتی شروع شده و به اتمام نرسیده، چه‌مدت از زمان اجرای آن باقی مانده است؟**

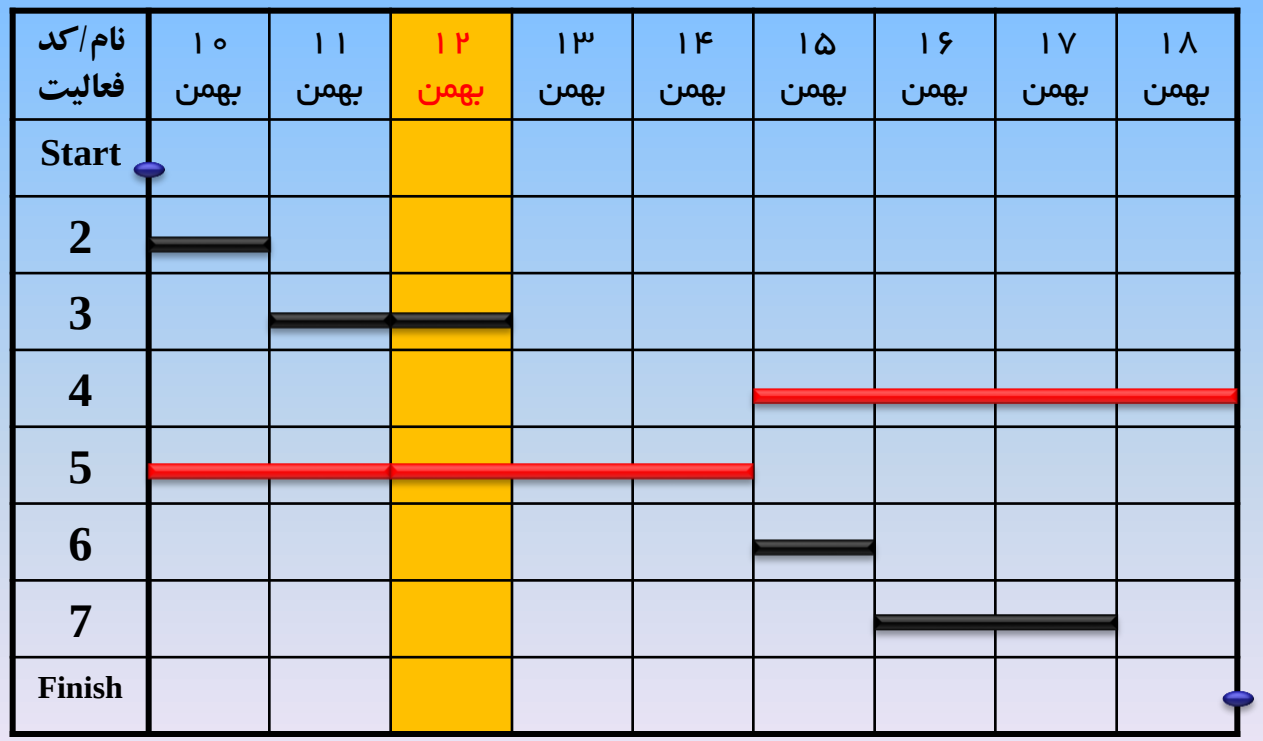
مثال برای کنترل زمانی پروژه



شبکه گرهی یک پروژه

مثال برای کنترل زمانی پروژه

نمودار گانت پروژه (براساس زودترین زمانهای وقوع)

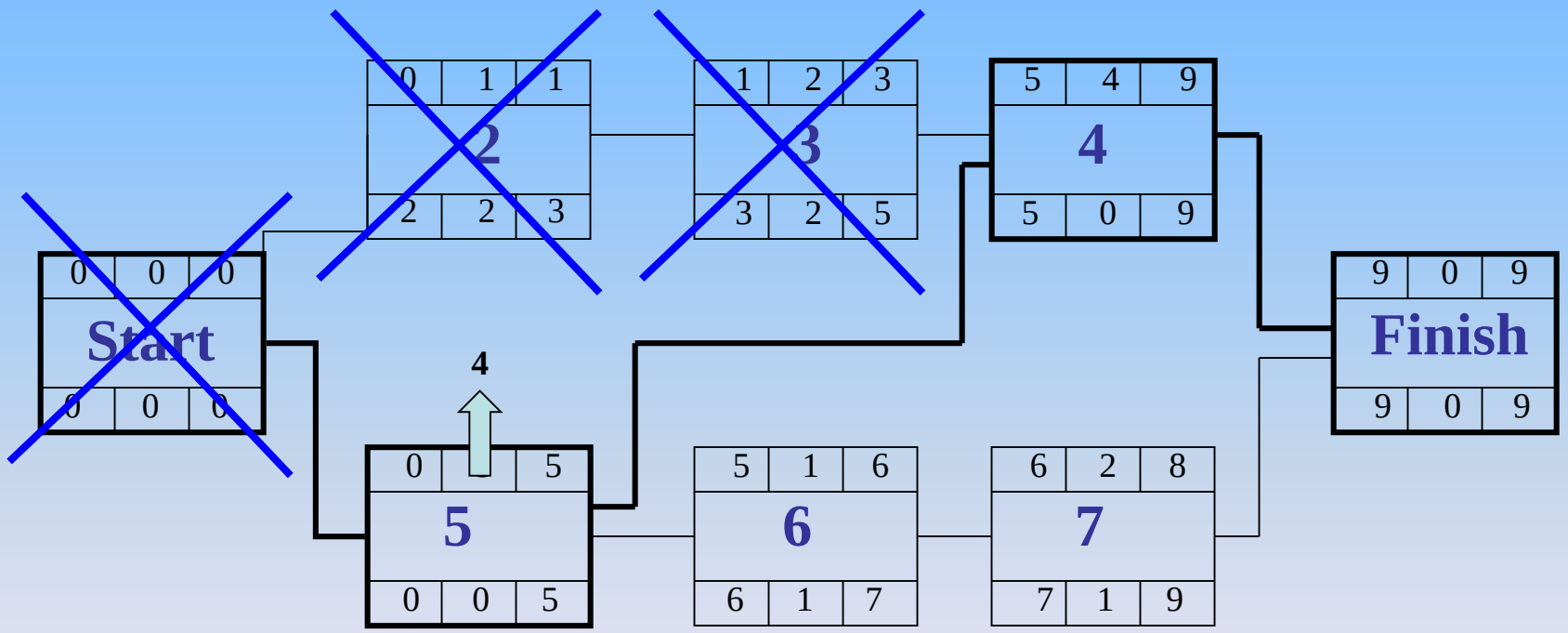


مثال برای کنترل زمانی پروژه

در پایان مورخ ۱۲ بهمن (سه روز پس از شروع پروژه) گزارشی شامل اطلاعات ذیل دریافت می‌شود:

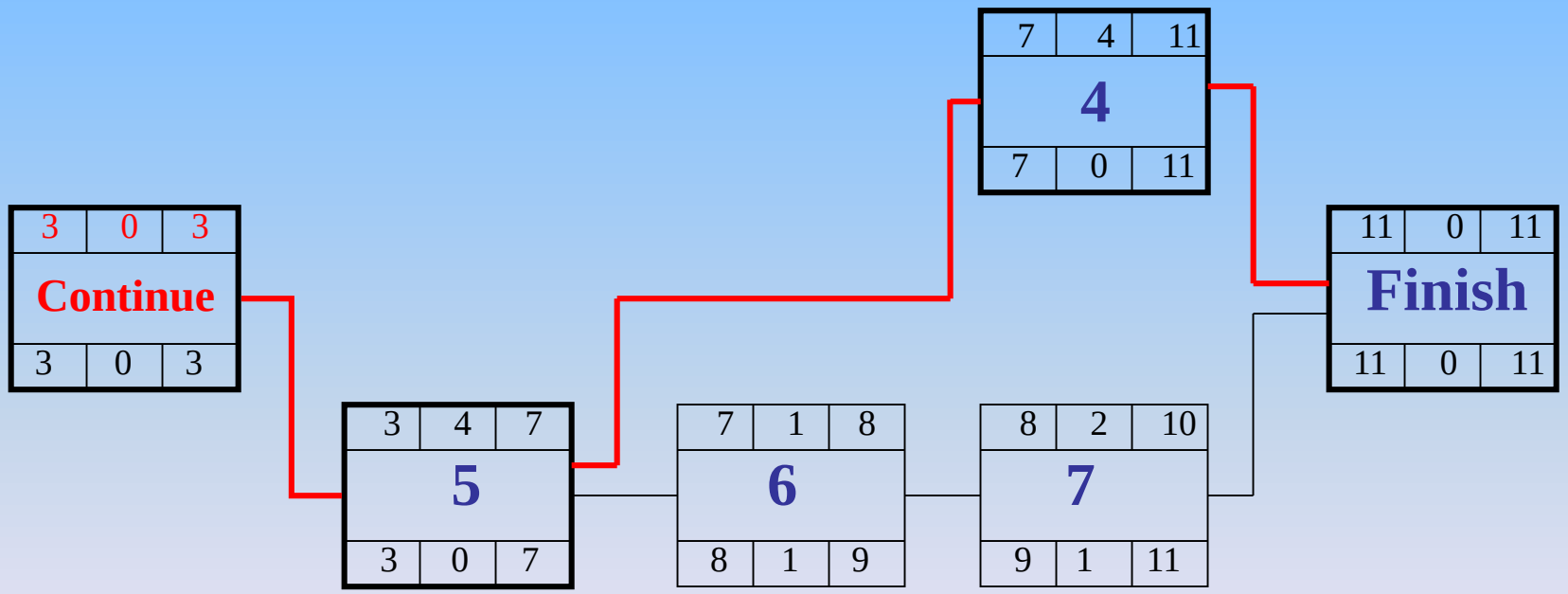
کد فعالیت	تاریخ شروع واقعی	تاریخ پایان واقعی	مدت زمان باقیمانده
۲	۱۰ بهمن ساعت ۸	۱۰ بهمن ساعت ۱۷	
۳	۱۱ بهمن ساعت ۸	۱۲ بهمن ساعت ۱۷	
۵	۱۲ بهمن ساعت ۸	–	۴
سایر فعالیتها شروع نشده اند.			

مثال برای کنترل زمانی پروژه



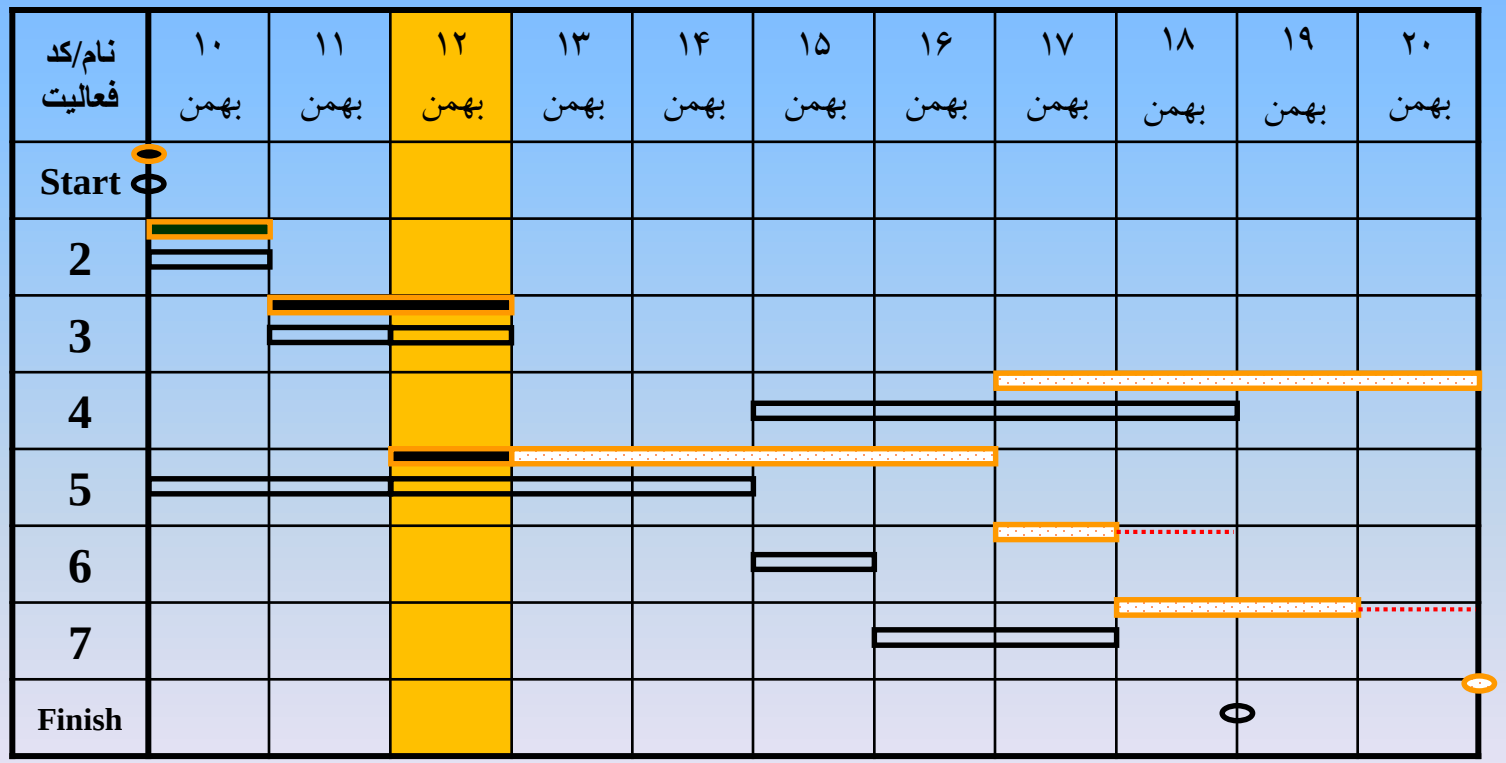
مثال برای کنترل زمانی پروژه

ترسیم شبکه براساس اطلاعات جدید و انجام محاسبات زمانبندی بر روی آن:



مثال برای کنترل زمانی پروژه

نمودار گانت بهنگام پروژه



فرآیند کنترل پروژه

مثال بهنگام سازی پروژه:

برای پروژه ای با شبکه زیر ۱۰ روز پس از شروع گزارش زیر از روند اجرایی احصا شده است:

۱. فعالیت های A و D تکمیل شده اند. A از شروع پروژه تا روز دوم و D از روز پنجم تا روز نهم

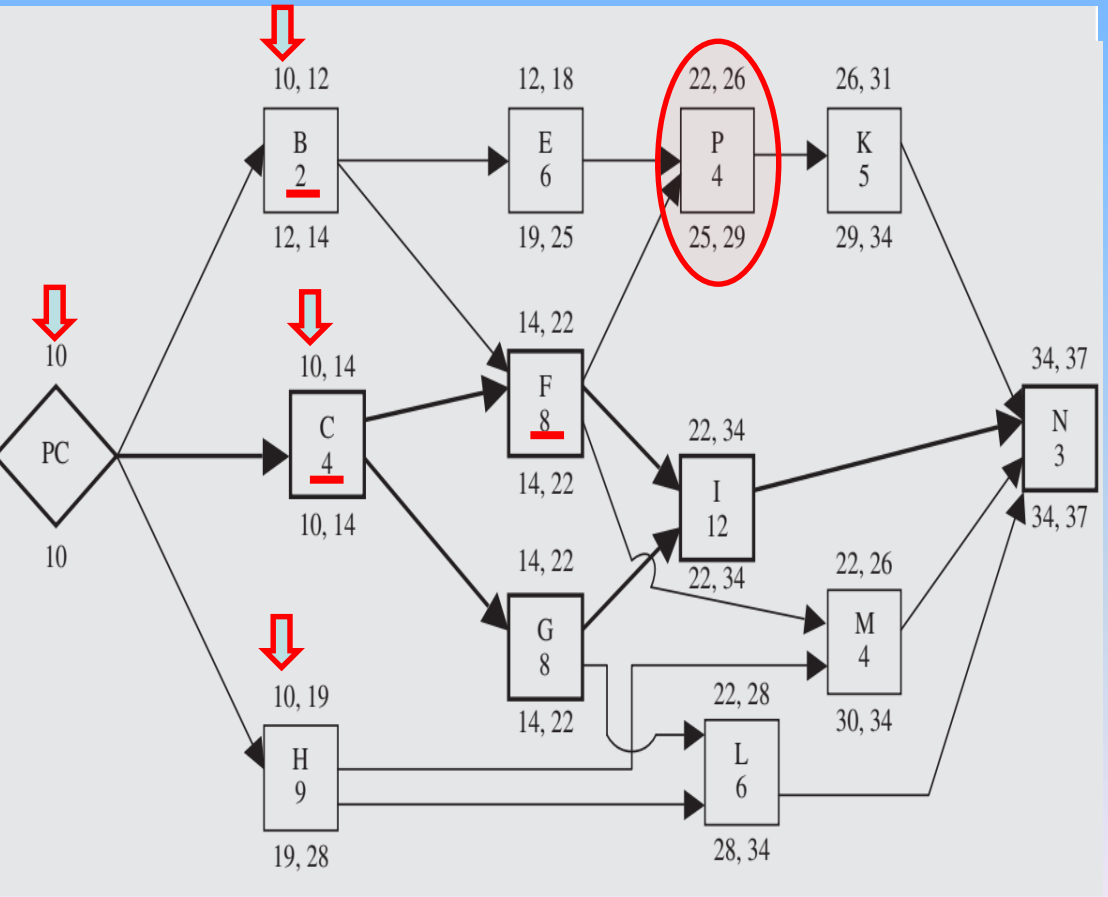
۲. فعالیت B از روز پنجم شروع شده و از آن ۲ روز باقیمانده است.

۳. فعالیت C از روز ۲ شروع شده و به دلیل رخداد برخی از مشکلات ۴ روز از آن باقیمانده است.

۴. انجام فعالیت F با زمان ۸ روز قابل انجام است (به جای ۵ روز)

۵. انجام فعالیت J به کلی لغو شده است.

۶. فعالیت جدیدی به نام P با زمان ۴ روز تعریف می شود که پیشنیاز F بوده و خودش پیشنیاز K میباشد.



زمان بهنگام تکمیل پروژه را تعیین نمایید.

مثال برای کنترل زمانی پروژه

نتیجه گیری و تحلیلهای مربوطه:

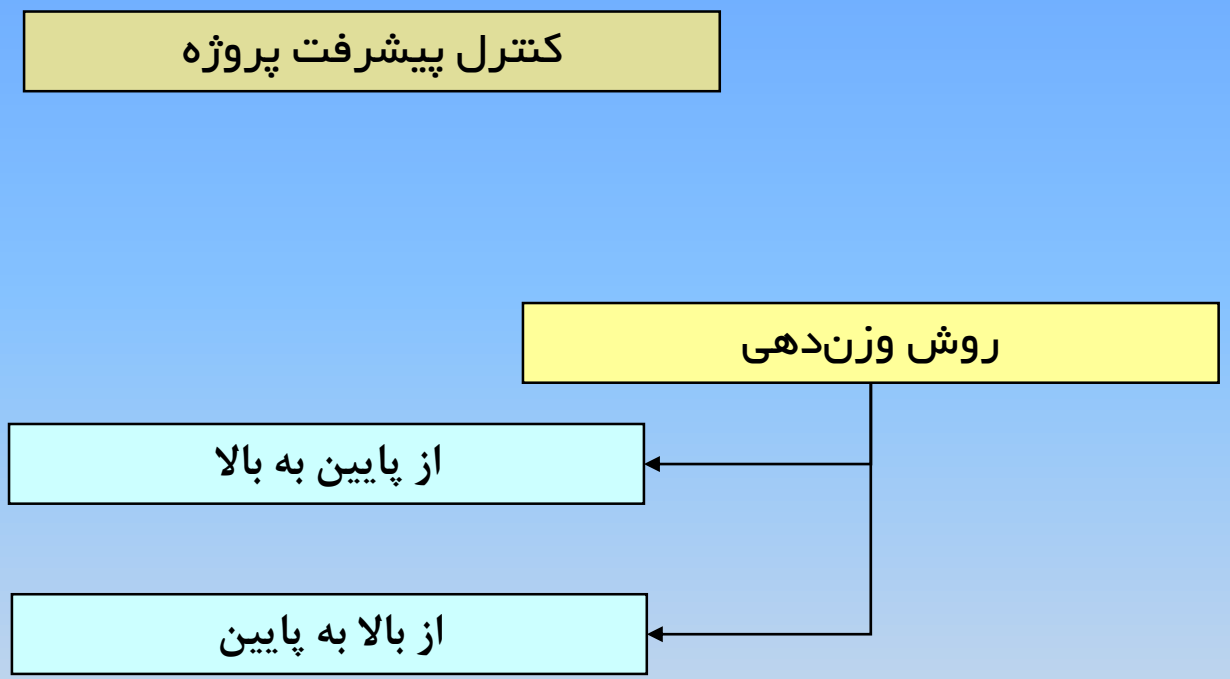
- **پروژه دچار دو روز تاخیر زمانی شده است. (به جای ۱۸ بهمن در روز ۲۰ بهمن خاتمه یافته است)**
- **تاخیر دو روزه پروژه بعلت تاخیر در شروع فعالیت ۵ بوده است.**
- **برنامه زمانبندی جدید پروژه در نمودار گانت بهنگام ارائه شد.**
- **مسیر بحرانی جدید پروژه کماکان فعالیتهای ۴و۵ می باشند. شناوری جدید فعالیت ها در شبکه بهنگام مشخص شده است.**

۲. کنترل پیشرفت پروژه

- کنترل پیشرفت پروژه فرآیندی است که در هنگام اجرای پروژه بررسی می‌کند آیا حجم کار انجام شده در پروژه (تا مقطع بررسی) با برنامه زمانبندی هماهنگی دارد یاخیر؟ درصد پیشرفت پروژه به عنوان شاخص اصلی کنترل این مساله استفاده می‌شود؟

مقدمه انجام کنترل پیشرفت کار، **وزن‌دهی (Weight Factor)** به فعالیت ها می‌باشد.

کنترل پیشرفت پروژه
مبنای وزن‌دهی به فعالیت
هزینه فعالیت
مدت زمان فعالیت
حجم‌کاری فعالیت
استفاده از منابع(نفر-روز)
نظر کارشناسی
ترکیبی از موارد فوق


کنترل پیشرفت پروژه
روش وزن‌دهی
از پایین به بالا
از بالا به پایین

کنترل پیشرفت پروژه
روش محاسبه پیشرفت یک فعالیت
درصد زمان سپری شده فعالیت
درصد حجم کاری انجام شده
درصد منابع استفاده شده
درصد هزینه انجام شده
نظر کارشناسی

کنترل پیشرفت پروژه

محاسبه درصد پیشرفت پروژه

$$\text{درصدپیشرفت پروژه} = \sum_{\text{همه فعالیت ها}} (\text{درصدپیشرفت فعالیت})\ (\text{ارزش وزنی فعالیت})$$

مثال برای کنترل پیشرفت پروژه

نمودار گانت پروژه

نام/کد فعالیت	۱۰ بهمن	۱۱ بهمن	۱۲ بهمن	۱۳ بهمن	۱۴ بهمن	۱۵ بهمن	۱۶ بهمن	۱۷ بهمن	۱۸ بهمن	ارزش وزنی
Start										0
2										0.067
3										0.133
4										0.267
5										0.333
6										0.067
7										0.133
Finish										0

مثال برای کنترل پیشرفت پروژه

در پایان مورخ ۱۲ بهمن (سه روز پس از شروع پروژه) گزارشی شامل اطلاعات ذیل دریافت می‌شود:

کد فعالیت	تاریخ شروع واقعی	تاریخ پایان واقعی	مدت زمان باقیمانده	درصد پیشرفت فعالیت
۲	۱۰ بهمن ساعت ۸	۱۰ بهمن ساعت ۱۷		٪۱۰۰
۳	۱۱ بهمن ساعت ۸	۱۲ بهمن ساعت ۱۷		٪۱۰۰
۵	۱۲ بهمن ساعت ۸	-	۴	٪۲۰
سایر فعالیتها شروع نشده اند.				٪۰

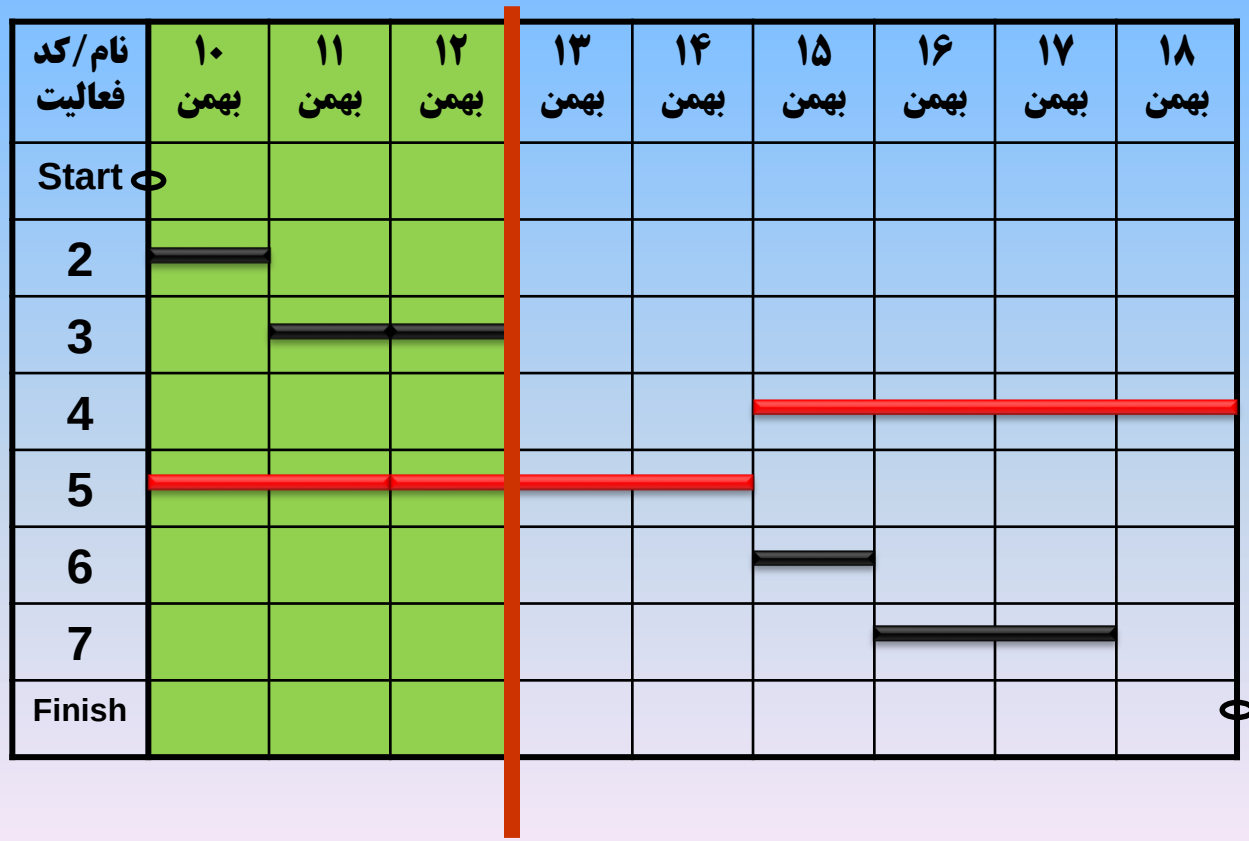
مثال برای کنترل پیشرفت پروژه

درصد پیشرفت واقعی پروژه = (0.067) (100%) +(0.133) (100%)+ (0.333) (20%)

= 26.6%

مثال برای کنترل پیشرفت برنامه ای پروژه

نمودار گانت پروژه



پیشرفت برنامه‌ای تا تاریخ بررسی
100%
100%
100%
0%
60%
0%
0%
0%

مثال برای کنترل پیشرفت پروژه

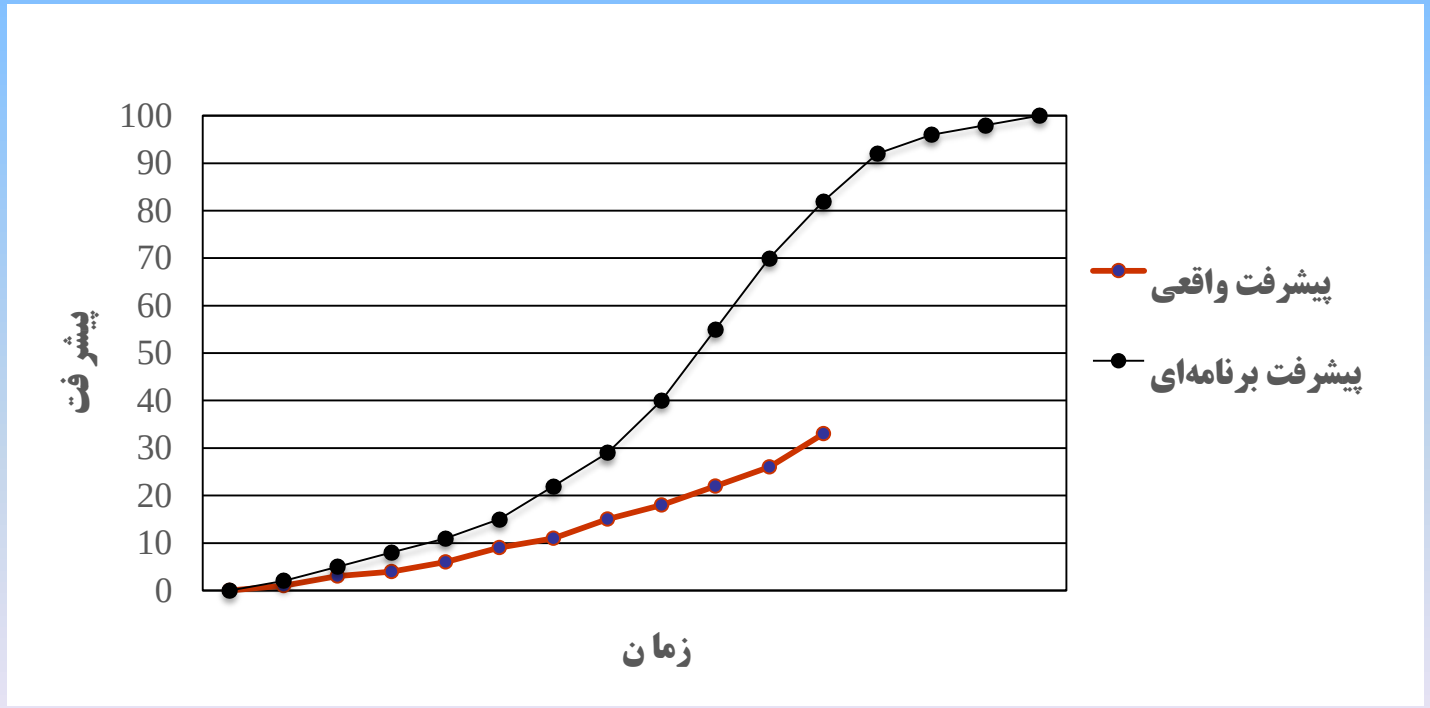
درصد پیشرفت برنامه‌ای پروژه = (0.067) (100%) +(0.133) (100%)+ (0.333) (60%)

= 40%

درصد تاخیر پروژه = 40% - 26.6% = 13.4%

کنترل پیشرفت پروژه

نمودار روند پیشرفت پروژه S-Curve

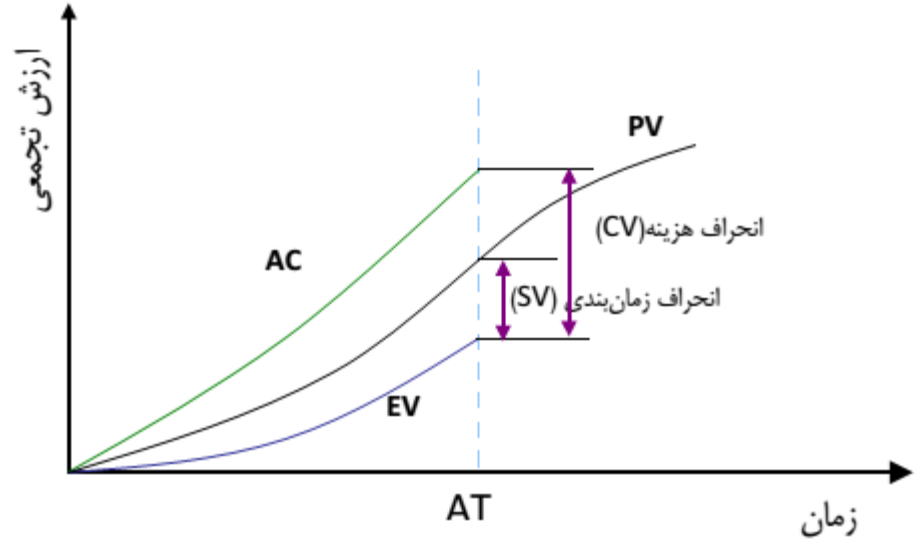


مدیریت ارزش کسب شده: *Earned Value Management (EVM)*

- یکی از دغدغه های اصلی ذینفعان پروژه ها آن است که بتوانند پروژه خود را طبق برنامه زمانبندی از پیش تعیین شده و بودجهٔ تخصیص داده شده به پایان برسانند.
- EVM با یکپارچه سازی سه بعد مدیریت زمان، مدیریت هزینه و مدیریت محدودهٔ پروژه، امکان اندازه گیری دقیق وضعیت پیشرفت پروژه و اتخاذ تصمیمات به موقع را برای اجرای اقدامات اصلاحی، فراهم می آورد.
- این روش کمک می‌کند که تا با مقایسه برنامه اولیه و پیشرفت واقعی میزان بهره‌وری پروژه مورد ارزیابی قرار داد. با تهیه تصویری گویا از وضعیت پروژه و محاسبه‌ی مقدار ارزش بدست‌آمده، می‌توان برنامه اولیه را با وضعیت واقعی انجام امور مقایسه کرد و به ارزیابی روشن‌تری از روند پیشرفت پروژه دست‌یافت.

مدیریت ارزش کسب شده:

Earned Value Management (EVM)



شکل ۱– داده‌های پایه و انحرافات زمان‌بندی و هزینه

کنترل هزینه پروژه

Earned Value Management (EVM)

اصطلاحات

- Actual Cost for Work Performed (AC) ACWP
- Budgeted Cost for Work Performed (EV) BCWP
- Budgeted Cost for Work Scheduled (PV) BCWS

انحراف هزینه

EV – AC =CV

انحراف زمانبندی

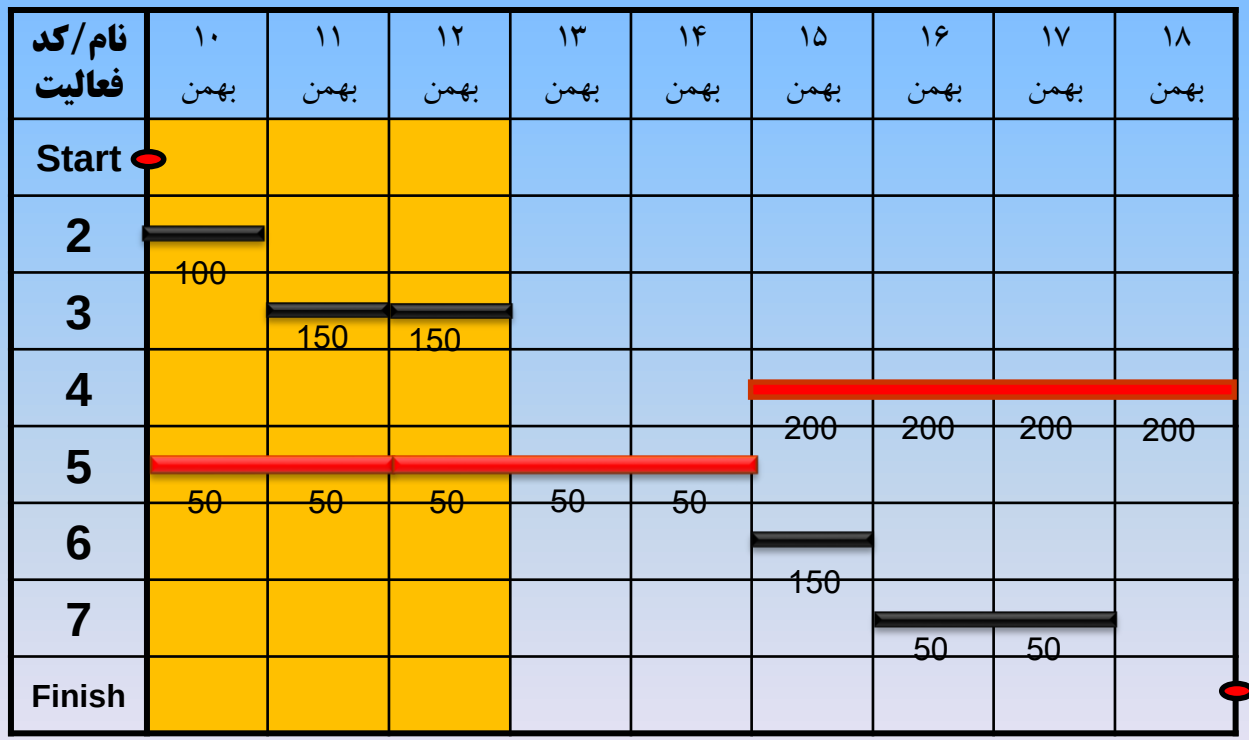
EV – PV =SV

مدیریت ارزش کسب شده: *Earned Value Management (EVM)*

نماد		توصیف
داده‌های پایه	PV[۲]	مقدار بودجهٔ از پیش تعیین شده برای انجام فعالیت‌ها در دوره‌های زمانی معین است. از ترسیم PV برای کل پروژه، منحنی S یا مبنای اندازه‌گیری عملکرد به‌دست می‌آید.
	AC[۳]	در واقع هزینهٔ واقعی (پرداخت شده) فعالیت‌ها است. هزینهٔ واقعی نشانگر میزان پیشرفت کار نیست، بلکه فقط نشان‌دهندهٔ میزان ساعت و پول صرف شده است. AC می‌تواند کمتر، بیشتر یا برابر با PV باشد.
	BAC[۴]	همان بودجهٔ کل پروژه و در حقیقت نقطهٔ پایانی منحنی مبنای اندازه‌گیری عملکرد (منحنی S) است.
	EV	ارزش مالی کار انجام‌شده تا زمان ارزیابی است. در واقع ارزش بودجه‌ای کار انجام شده را نشان می‌دهد.
انحراف‌ها	CV=EV-AC	انحراف هزینه در نتیجهٔ اختلاف میان هزینهٔ واقعی و ارزش کسب شده ایجاد میگردد. انحراف از بودجهٔ برنامه‌ریزی‌شده را برای حجم کار انجام شده نشان می‌دهد.
	SV=EV-PV	انحراف زمان‌بندی درنتیجهٔ اختلاف میان ارزش برنامه‌ریزی‌شده و ارزش کسب‌شده ایجاد می‌شود. SV میزان انحراف از برنامهٔ زمانبندی انجام شده را برای حجم کار انجام گرفته نشان می‌دهد.
	VAC=BAC-EAC	انحراف هزینهٔ اتمام پروژه در واقع اختلاف ارزش برنامه‌ریزی‌شدهٔ کل پروژه (BAC) و هزینه پیش‌بینی‌شده برای اتمام پروژه (EAC) است.
شاخص‌ها	CPI[۵]=EV/AC	نشان دهندهٔ کارایی تیم پروژه در استفاده از منابع مالی پروژه است.
	SPI[۶]=EV/PV	نشان دهندهٔ کارایی تیم پروژه در استفاده از زمان پروژه است.
برآوردها	EAC	برآورد هزینهٔ اتمام پروژه
	EAC(t)	برآورد زمان اتمام پروژه

مثال برای کنترل هزینه پروژه

نمودار گانت پروژه



BCWS	150	350	550	600	650	1000	1250	1500	1700

بودجه (واحد پولی)
0
100
300
800
250
150
100
0

کنترل هزینه پروژه

در پایان مورخ ۱۲ بهمن (سه روز پس از شروع پروژه) گزارشی شامل اطلاعات ذیل دریافت می‌شود:

کد فعالیت	تاریخ شروع واقعی	تاریخ پایان واقعی	مدت زمان باقیمانده	هزینه انجام شده
۲	۱۰ بهمن ساعت ۸	۱۰ بهمن ساعت ۱۷		120
۳	۱۱ بهمن ساعت ۸	۱۲ بهمن ساعت ۱۷		310
۵	۱۲ بهمن ساعت ۸	-	۴	50
سایر فعالیتها شروع نشده اند.				0

جمع هزینه‌های انجام شده در پروژه برابر ۴۸۰ واحد پولی (۱۲۰+۵۰+۳۱۰) می‌باشد. یعنی: ACWP=480

مثال برای کنترل هزینه پروژه

BCWS=550 ACWP=480

۷۰ واحد پولی کمتر از مقدار مقرر خرج شده، آیا صرفه‌جویی شده است؟

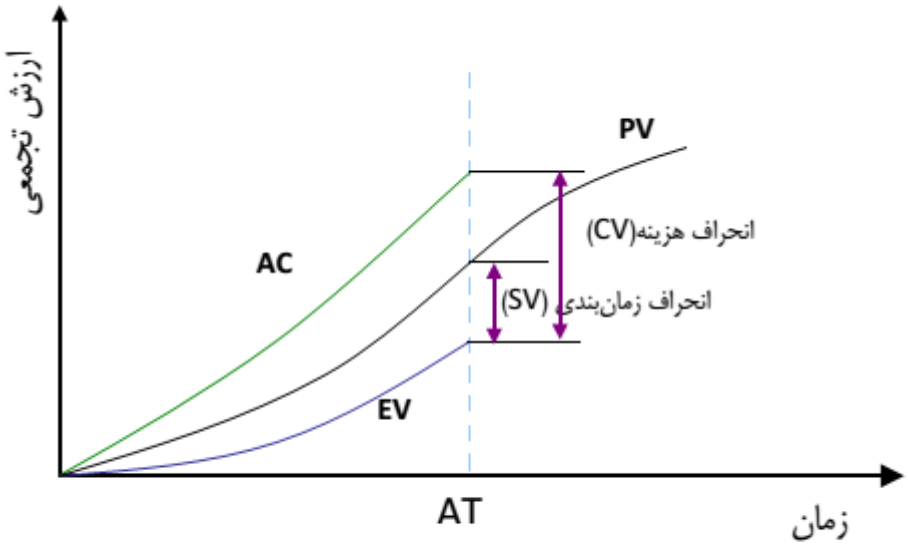
BCWP=100+300+50=450

خیر، ۳۰ واحد پولی بیشتر از بودجه درنظر گرفته شده خرج شده است.

CV (Cost Variance)= EV – CV = BCWP- ACWP=450-480=-30

SV (Schedule Variance)= EV – PV = BCWP- BCWS=450-550=-100

کنترل هزینه پروژه



شکل ۱– داده‌های پایه و انحرافات زمان‌بندی و هزینه

کنترل هزینه پروژه

- Schedule Performance Index (SPI)

$$\frac{BCWP}{BCWS} = \frac{450}{550} = 0.81$$

{ > 1.0 indicates more work has been completed than scheduled to date}
{ < 1.0 indicates less work has been completed than scheduled to date}

- Cost Performance Index (CPI)

$$\frac{BCWP}{ACWP} = \frac{450}{480} = 0.93$$

{ > 1.0 indicates that work accomplished has cost less than planned}
{ < 1.0 indicates that work accomplished has cost more than planned}

مقادیر عملکرد		SV & SPI		
		>0 & >1.0	=0 & =1.0	<0 & <1.0
CV & CPI	>0 & >1.0	جلو از زمانبندي کمتر از بودجه	طبق زمانبندي زیر بودجه	عقب از زمانبندي کمتر از بودجه
	=0 & =1.0	جلو از زمانبندي طبق بودجه	طبق زمانبندي طبق بودجه	عقب از زمانبندي طبق بودجه
	<0 & <1.0	جلو از زمانبندي بیش از بودجه	طبق زمانبندي بیش از بودجه	عقب از زمانبندي بیش از بودجه

Perform an EV analysis. Note that the "Mass Excavation" line is a summary of the 3 lines below.

Solution

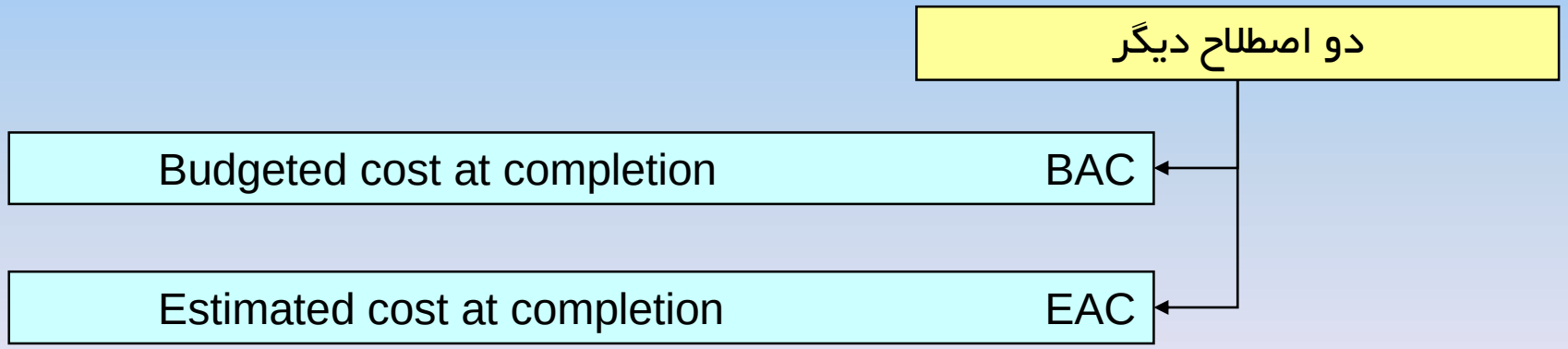
The solution, using the equations given in example 7.3, is tabulated as follows:

Activity	TOB11110	TOB11111	TOB11112	TOB11113
TOTAL BUDGET ($)	176,500	50,000	44,000	82,500
% COMPLETE	32.63	39.00	15.00	38.18
ACWP ($)	59,700	17,950	5,850	35,900
BCWP ($)	57,600	19,500	6,600	31,500
BCWS ($)	66,188	18,750	16,500	30,938
CV ($)	−2,100	1,550	750	−4,400
SV ($)	−8,588	750	−9,900	562
SV (DAYS)	−1.95	0.17	−2.24	0.13
CPI	0.96	1.09	1.13	0.88
SPI	0.87	1.04	0.40	1.02
FCV ($)	−6,436	3,974	5,000	−11,524
FSV (DAYS)	−5.96	0.44	−14.96	0.33

Mass Excavation	TOB11110	39,000	—	176,500	13,200	59,700
Common Earth	TOB11111	20,000	2.50	50,000	7,800	17,950
Clay	TOB11112	8,000	5.50	44,000	1,200	5,850
Rock	TOB11113	11,000	7.50	82,500	4,200	35,900

کنترل هزینه پروژه

با پیشرفت پروژه، تیم کارشناسی می تواند هزینه اتمام پروژه را (EAC) را بر اساس عملکرد گذشته برآورد نمود. روش ارائه شده در موسسه مدیریت پروژه آمریکا (PMI) بر اساس راهکار زیر است:



Cost Variance at compilation = BAC - EAC

کنترل هزینه و زمان پروژه

EAC METHODS: Cost

شرایط پروژه	رابطه محاسبه
عملکرد هزینه‌ای پروژه در آینده مشابه عملکرد هزینه‌ای فعلی است.	$EAC=\frac{BAC}{CPI}=AC+\frac{BAC-EV}{CPI}$
عملکرد هزینه‌ای پروژه در آینده متاثر از عملکرد زمان‌بندی و عملکرد هزینه‌ای فعلی پروژه است.	$EAC=AC+\frac{BAC-EV}{CPI*SPI}$
عملکرد هزینه‌ای پروژه در آینده متاثر از نسبتی از عملکرد زمان‌بندی و عملکرد هزینه‌ای فعلی پروژه است.	$EAC=AC+\frac{BAC-EV}{0.8CPI+0.2SPI}$
عملکرد هزینه‌ای پروژه در آینده متاثر از عملکرد هزینه‌ای پروژه در سه دوره زمانی اخیر (i,j,k) است.	$EAC=AC+(BAC-EV)/(\frac{EV_i+EV_j+EV_k}{AC_i+AC_j+AC_k})$

کنترل هزینه و زمان پروژه

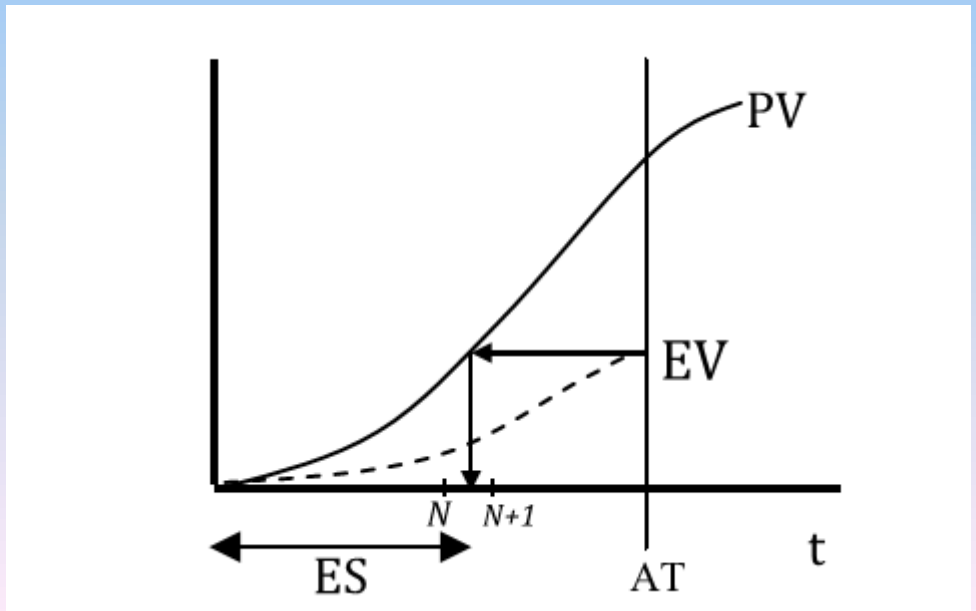
EAC METHODS:
Time

به کمک شاخص ها و داده های روش EVM می توان زمان اتمام پروژه را بر اساس عملکرد آن در گذشته پیش بینی نمود:

$$ES = N + \frac{Ev - PV_N}{PV_{N+1} - PV_N}$$

تعریف ES (Earned schedule): معادل زمانی درنظر گرفته شده برای انجام کارتعریف شده است. در واقع بازه زمانی مصرف بودجه EV است.

بر این اساس با تصویر نمودن EV برخط مبنای عملکرد (محور زمان) ES محاسبه می شود.



N دراین رابطه معرف نزدیکترین دوره ای است که EV فعلی از ارزش برنامه ریزی شده آن دوره بیشتر باشد. به عبارت دیگر:

$$PV_N < EV < PV_{N+1}$$

با محاسبه ی ES و تعریف AT به عنوان دوره ی زمانی فعلی پروژه برای عملکرد زمانبندی پروژه شاخص جدیدی تحت عنوان SPI(t) حساب می شود:

$$SPI(t) = \frac{ES}{AT}$$

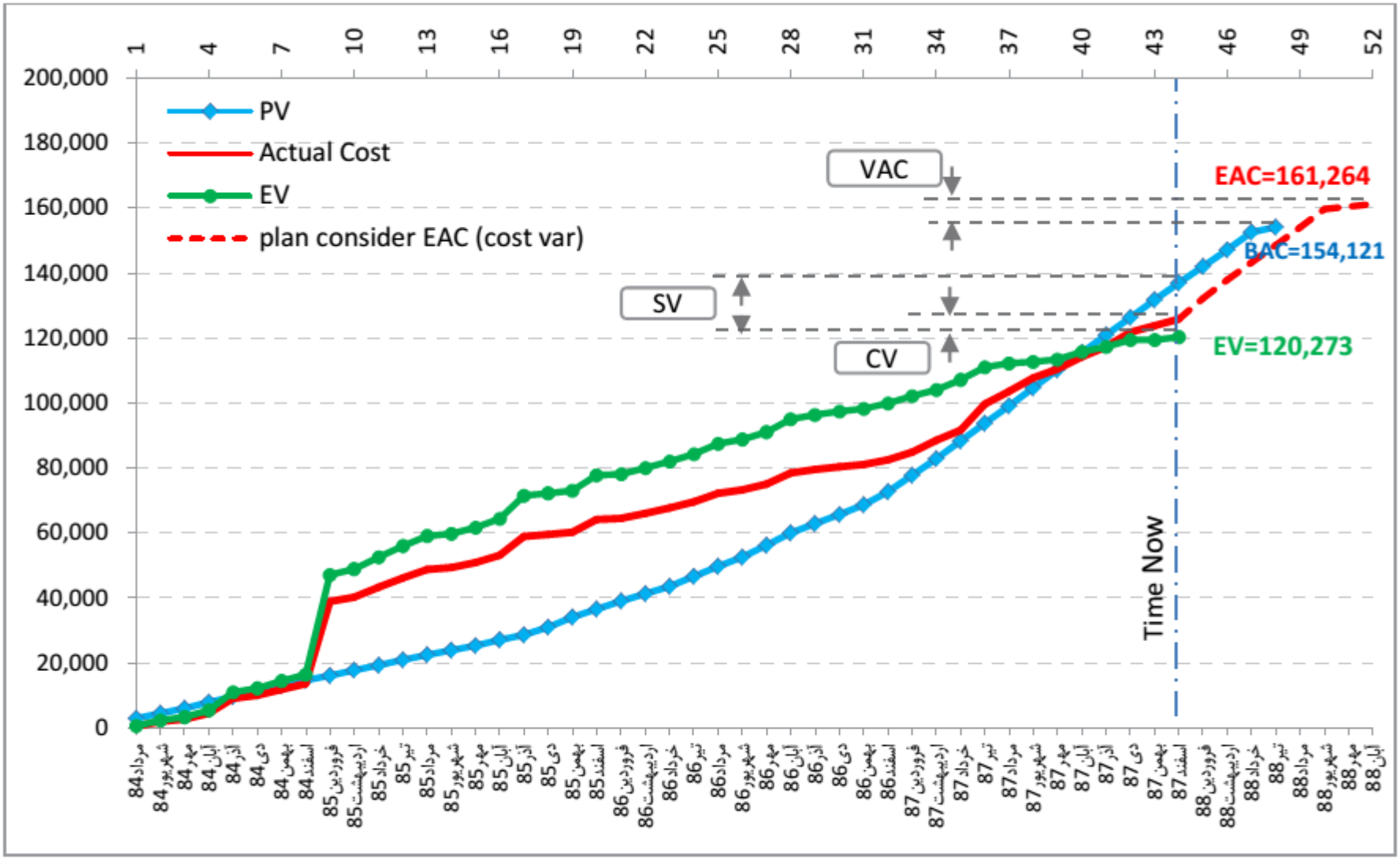
فرمول محاسبه ی زمان نهایی اتمام پروژه:

$$EAC(t) = AD + \frac{PD - ES}{PF}$$

PF فاکتور عملکرد (یا برابر SPI(t) یا برابر ۱)

یعنی فعالیتهای باقی مانده دو حالت ممکن برای انجام دارند؟!

PD زمان برنامه ریزی شده برای اتمام پروژه



شکل ۳- نمودار پیش‌بینی پیشرفت یک پروژه فرضی

برنامه ریزی و کنترل پروژه

جزوه شماره ۳– موازنه زمان و هزینه

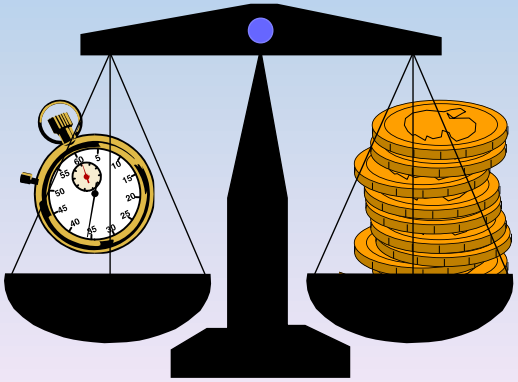
استاد: امیرمسعود تاکی

مدلهای موازنه زمان–هزینه

آنالیز موازنه زمان-هزینه عبارتست از فشرده‌سازی زمانبندی پروژه، با هدف یکی از این موارد:

۱ – کاهش مدت زمان پروژه به مقداری قابل قبول

۲ – کاهش مجموع هزینه‌های پروژه

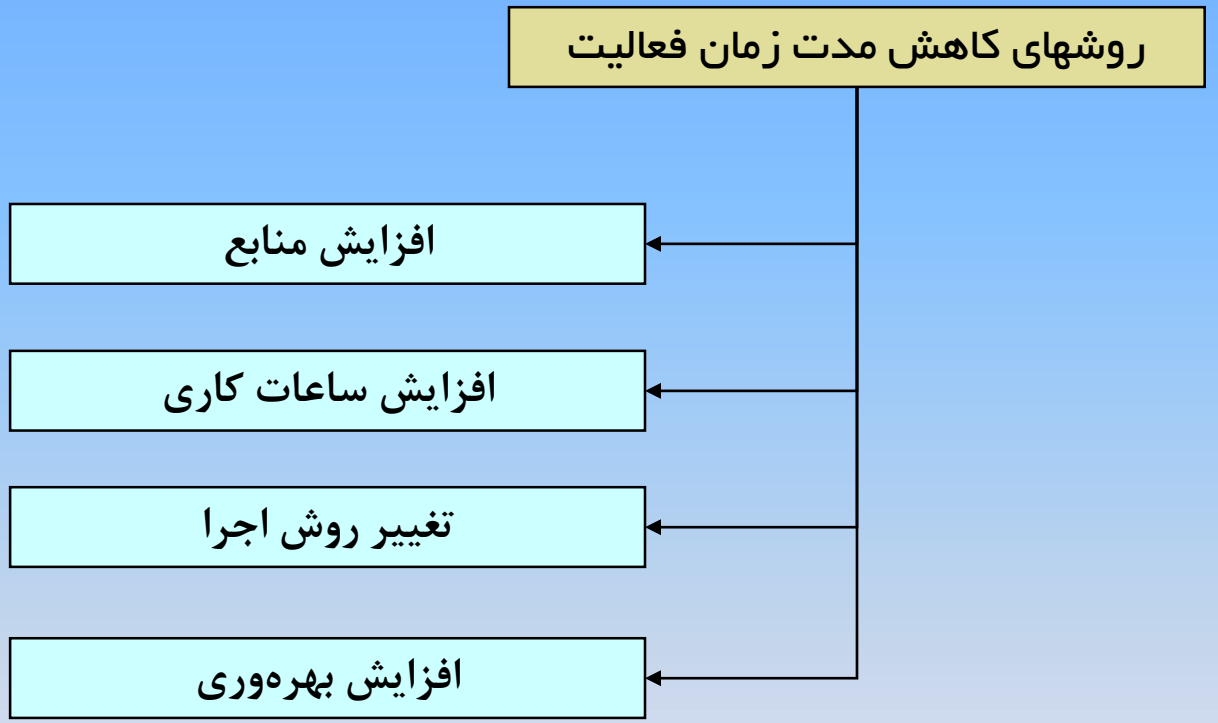


موازنه زمان–هزینه

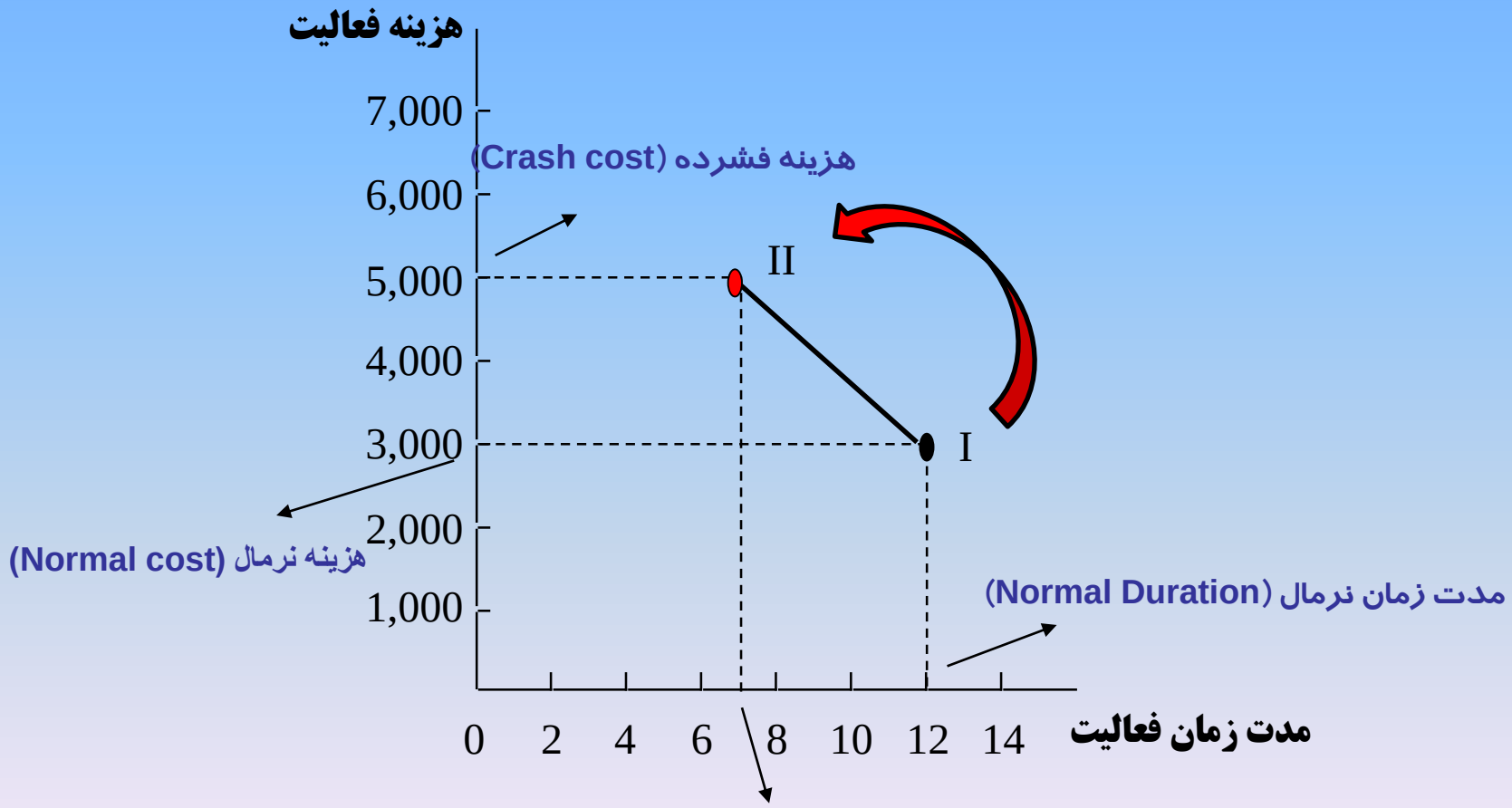
مدل ۱ – کاهش مدت زمان پروژه به مقداری قابل قبول

- ممکن است زمانبندی بدست آمده از روشهای قبل بعلت عدم رعایت اهداف زمانی پروژه قابل قبول نباشد.
- بعبارتی دیگر مدت زمان بدست آمده از طریق روشهای زمانبندی، بیش از زمان مقرر و تعهد شده باشد.
- برای کاهش زمان پروژه، می‌بایست مدت زمان فعالیتها را کاهش یابد.
- سئوال اصلی این است که مدت زمان کدام فعالیتها باید کاهش یابند؟
- همچنین باید روشهای کاهش مدت زمان فعالیتها را دانست.

موازنه زمان–هزینه



تاثیر کاهش مدت زمان فعالیت بر هزینه های آن

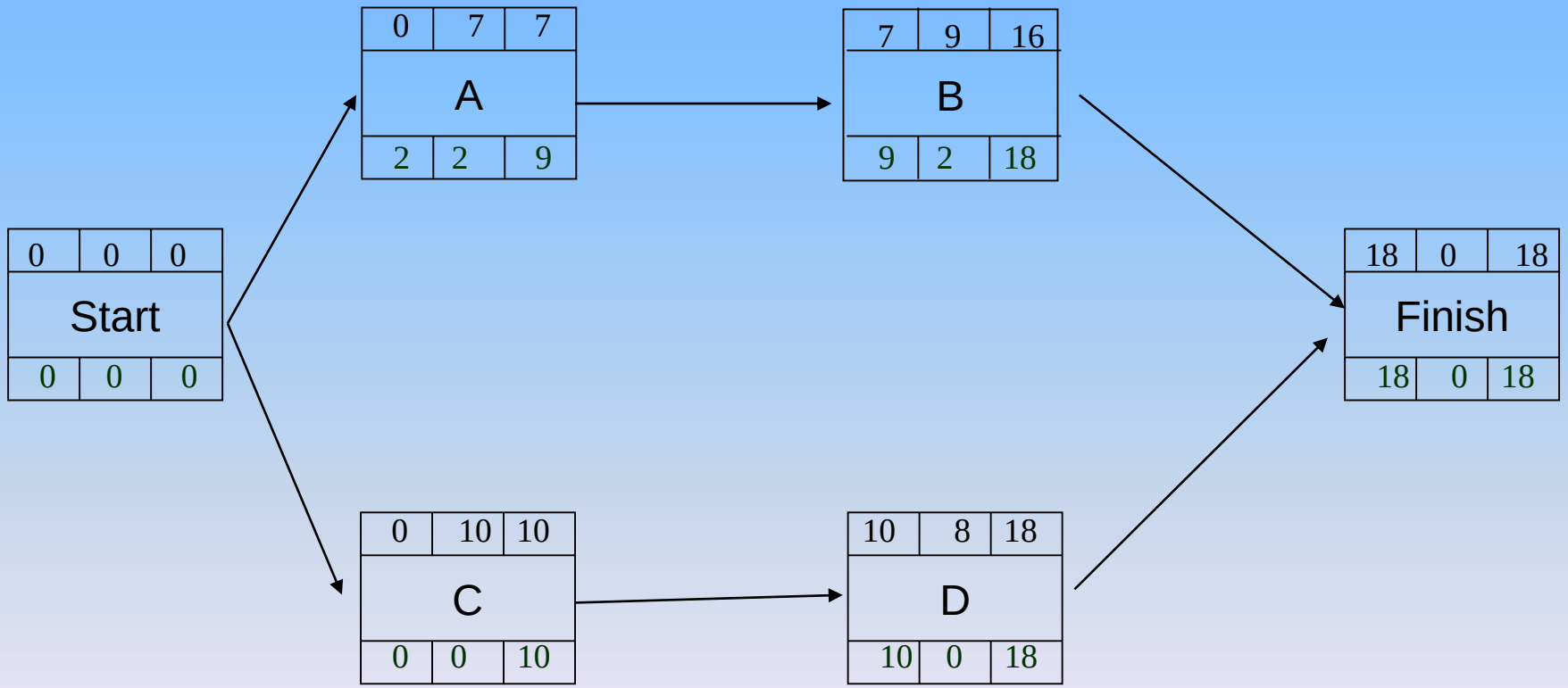


رویکرد حل مدل شماره یک

تعیین مدت زمانی که زمانبندی اولیه پروژه می‌بایست کاهش یابد.

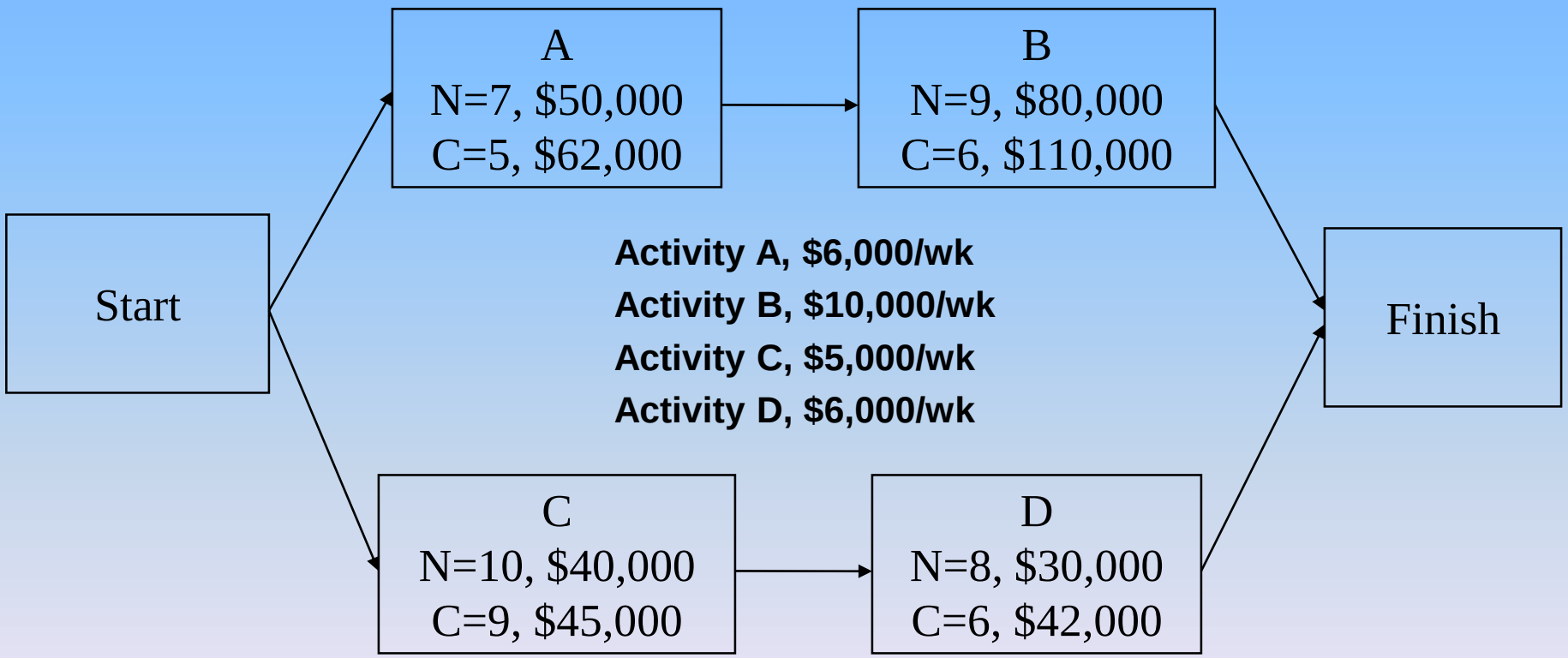
تعیین بهترین ترکیب کاهش مدت زمان فعالیتها، بطوریکه حداقل افزایش هزینه را بدنبال داشته و مدت زمان پروژه را به زمان مقرر برساند.

مثال– مدل شماره یک

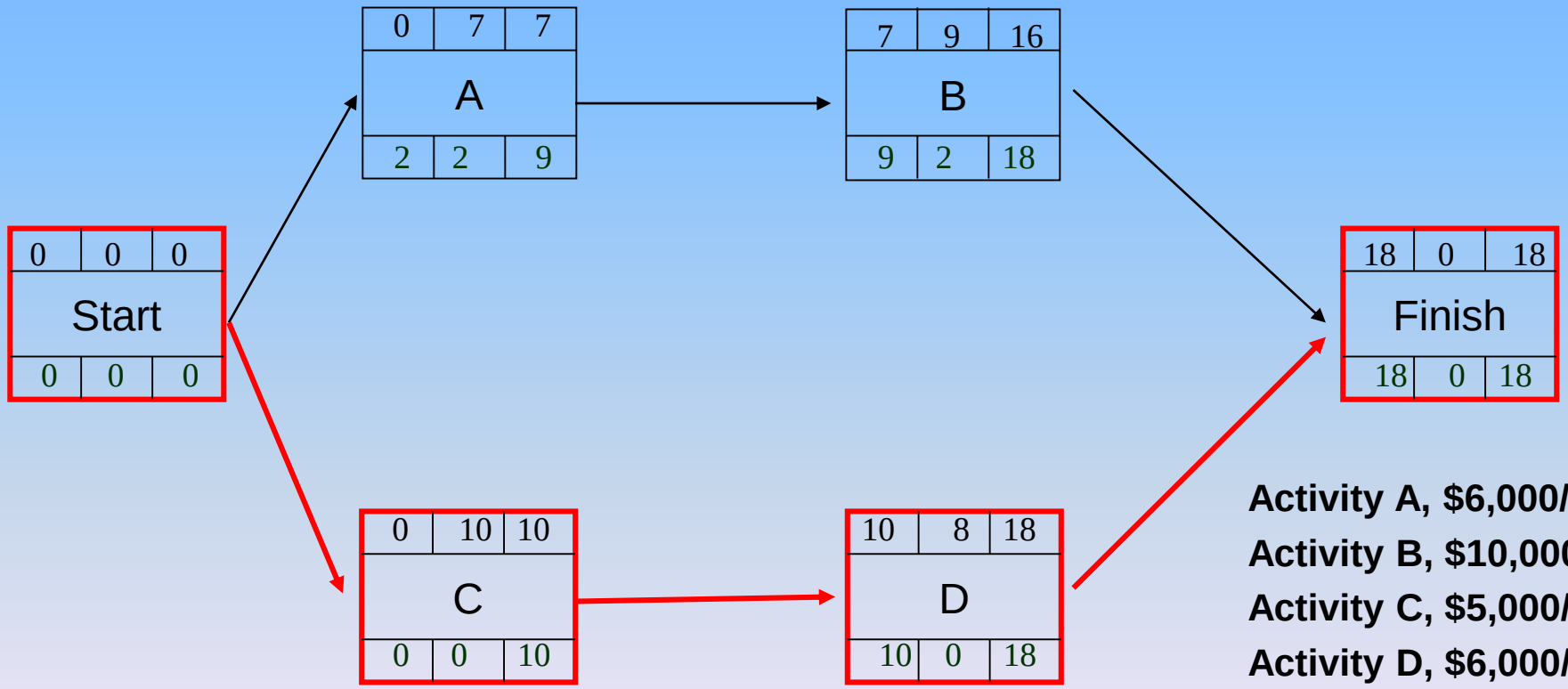


مدت زمان مقرر برای اتمام پروژه ۱۵ هفته می‌باشد.

مثال– مدل شماره یک



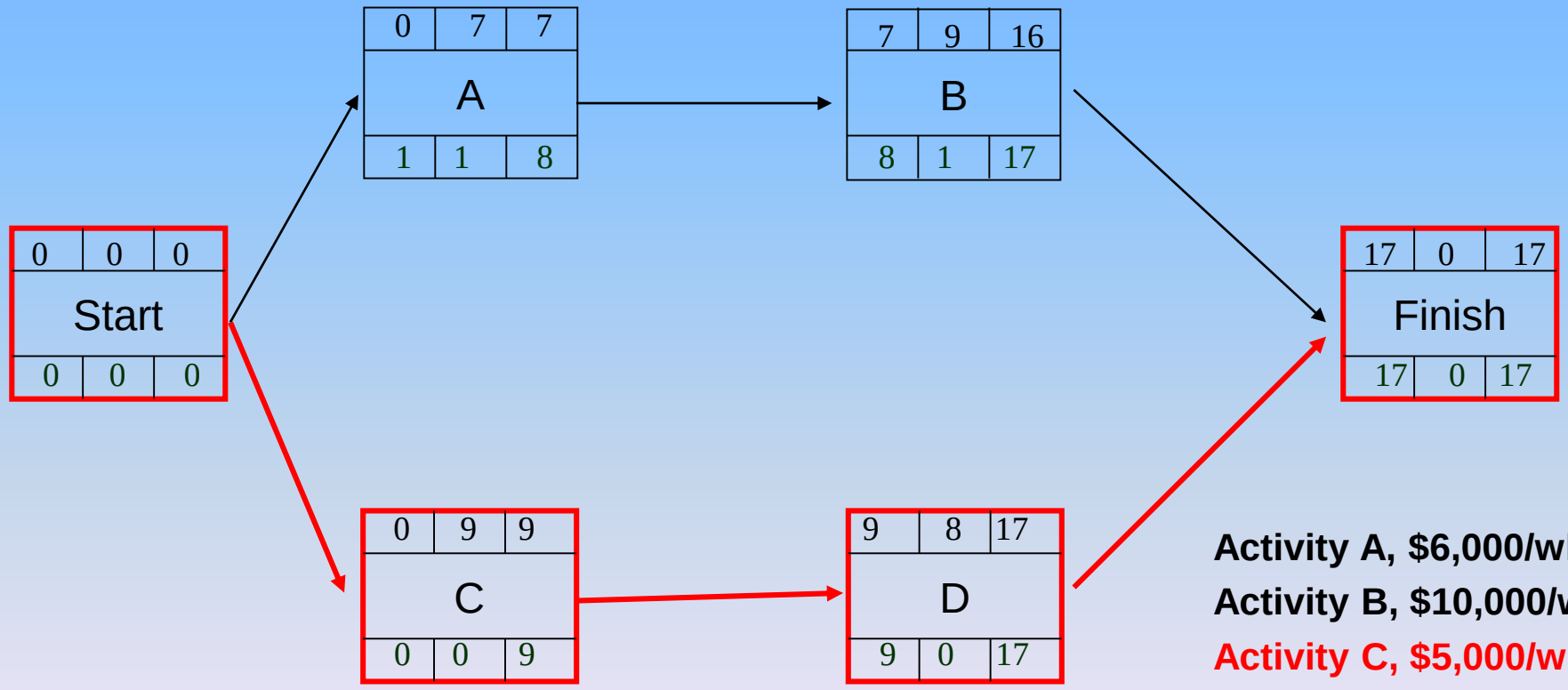
مثال– مدل شماره یک



Activity A, $6,000/wk
Activity B, $10,000/wk
Activity C, $5,000/wk
Activity D, $6,000/wk

مثال– مدل شماره یک

قدم ۱ – کاهش مدت زمان فعالیت C به میزان یک هفته



Activity A, $6,000/wk

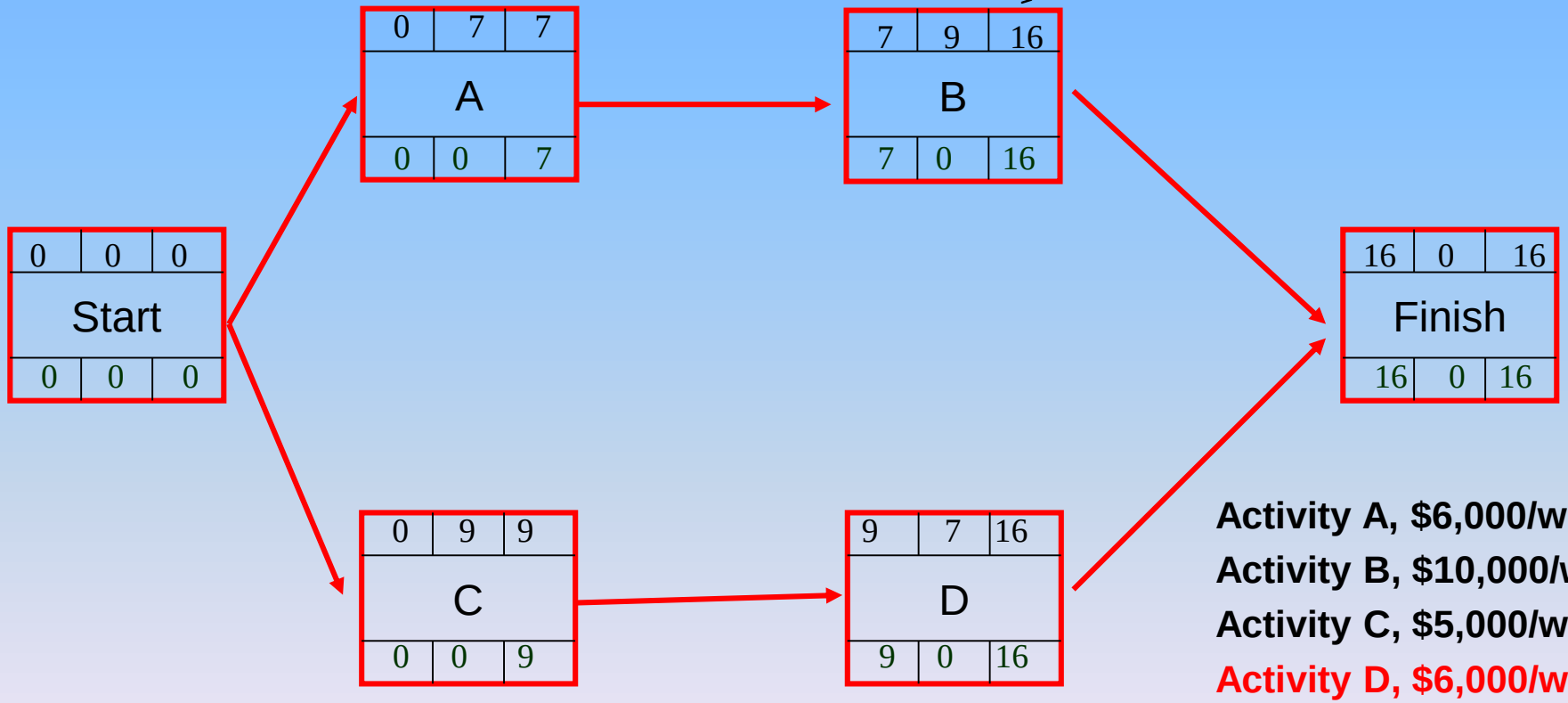
Activity B, $10,000/wk

Activity C, $5,000/wk

Activity D, $6,000/wk

مثال– مدل شماره یک

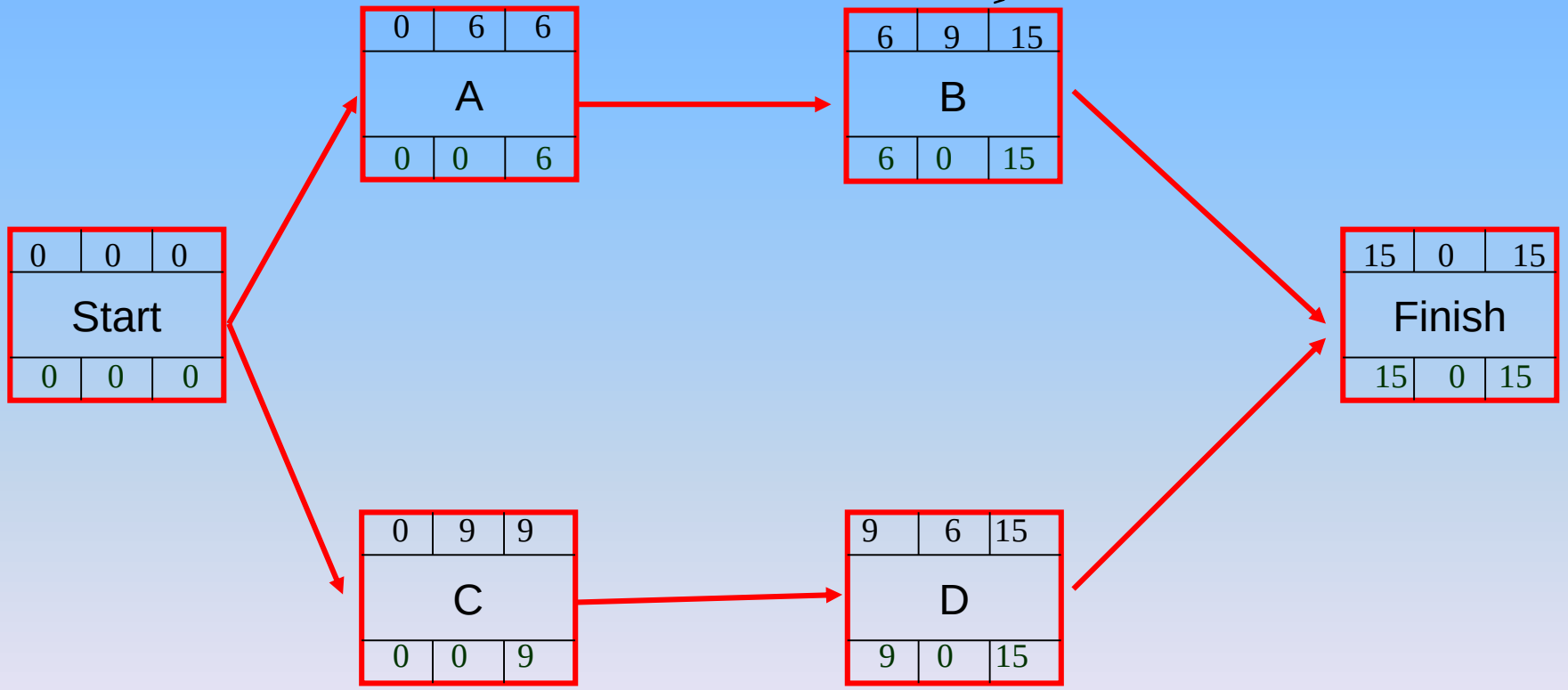
قدم ۲- کاهش مدت زمان فعالیت D به میزان یک هفته



Activity A, $6,000/wk
Activity B, $10,000/wk
Activity C, $5,000/wk
Activity D, $6,000/wk

مثال– مدل شماره یک

قدم۳- کاهش مدت زمان فعالیتهای D و A به میزان یک هفته



مجموع افزایش هزینه‌های اجرای فعالیتها جهت کاهش زمان پروژه برابر ۲۳۰۰۰ دلار گردید.

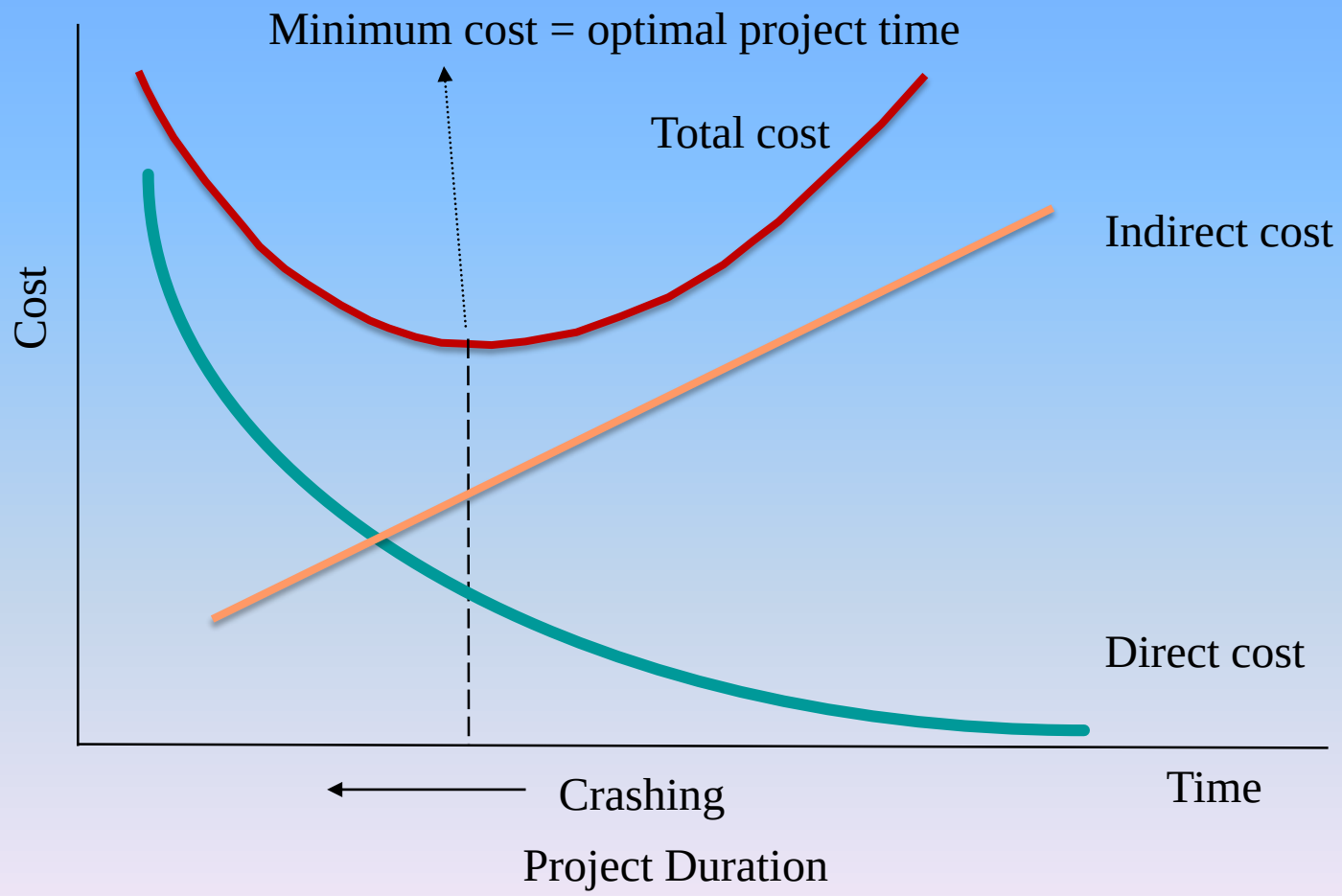
مدل۲– کاهش هزینه‌های پروژه

- آیا فشرده کردن زمانبندی پروژه، همواره به افزایش هزینه‌هاب پروژه منجر می‌شود؟

- جواب سئول فوق، منفی است. زیرا هزینه‌های پروژه متشکل از دو بخش است:
هزینه‌های مستقیم (ACTIVITY BASED) و هزینه‌های غیرمستقیم (PROJECT BASED).

- هزینه‌های مستقیم با فشردگی زمانبندی و کاهش مدت زمان پروژه، افزایش می‌یابد.

- هزینه‌های غیرمستقیم تابعی از مدت زمان پروژه می‌باشند و با کاهش مدت زمان پروژه، تقلیل می‌یابند.


Minimum cost = optimal project time
Total cost
Indirect cost
Direct cost
Cost
Crashing
Time
Project Duration

رویکرد حل مدل شماره دو

انجام محاسبات زمانبندی و تعیین مجموع هزینه‌های پروژه

(جمع هزینه‌های مستقیم و غیرمستقیم)

کاهش مدت زمان پروژه تا زمانیکه با کاهش هزینه‌های پروژه همراه است.

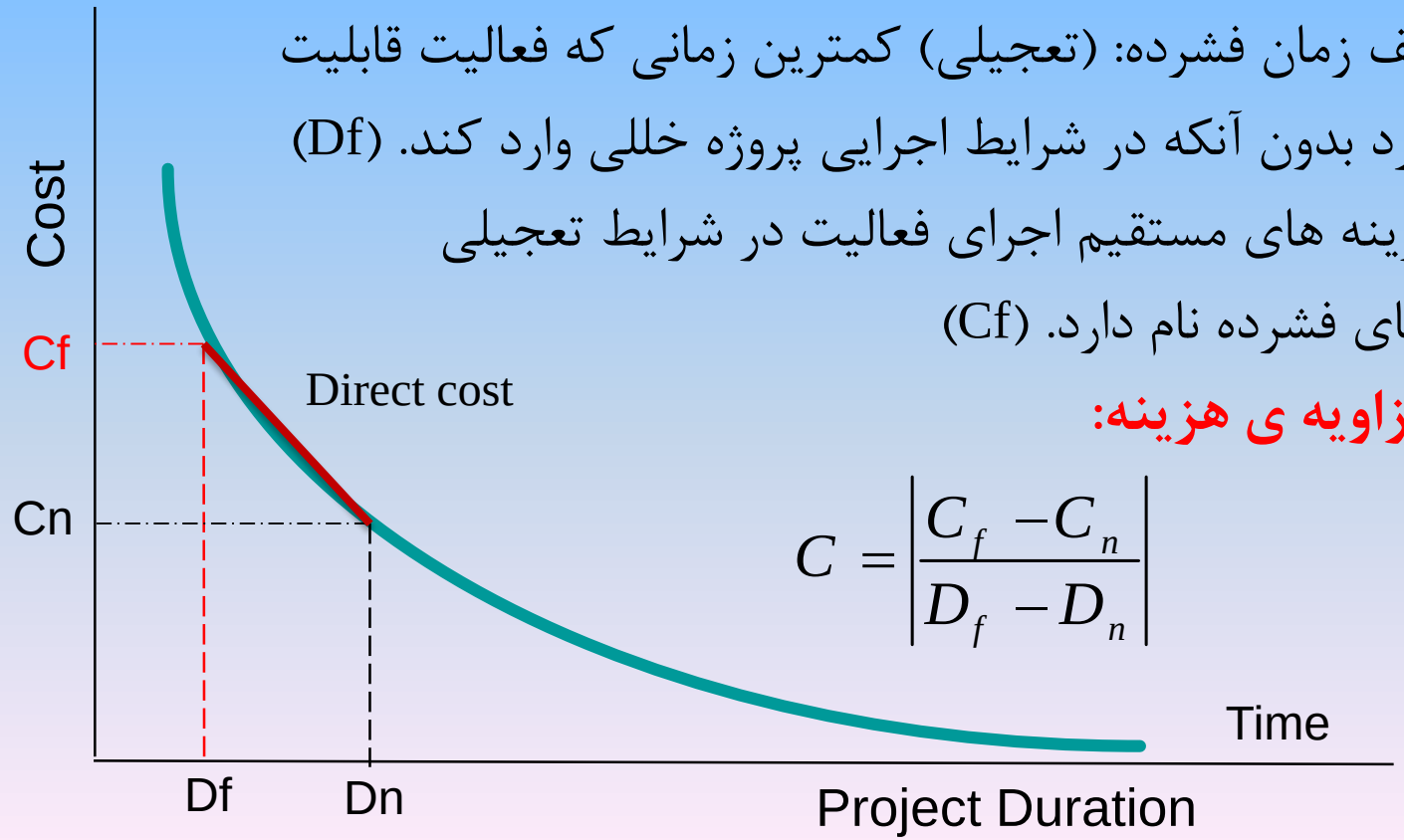
زمانهای ممکن برای انجام فعالیتها:

- تعریف زمان معمولی انجام فعالیتها: کوتاهترین زمانی که فعالیتها را می توان با حداقل هزینه های مستقیم انجام داد. (Dn)
- به هزینه ی مستقیم اجرای فعالیت در مدت زمان معمولی هزینه های معمول می گویند (Cn)
- تعریف زمان فشرده: (تعجیلی) کمترین زمانی که فعالیت قابلیت انجام دارد بدون آنکه در شرایط اجرایی پروژه خللی وارد کند. (Df)

جمع هزینه های مستقیم اجرای فعالیت در شرایط تعجیلی هزینه های فشرده نام دارد. (Cf)

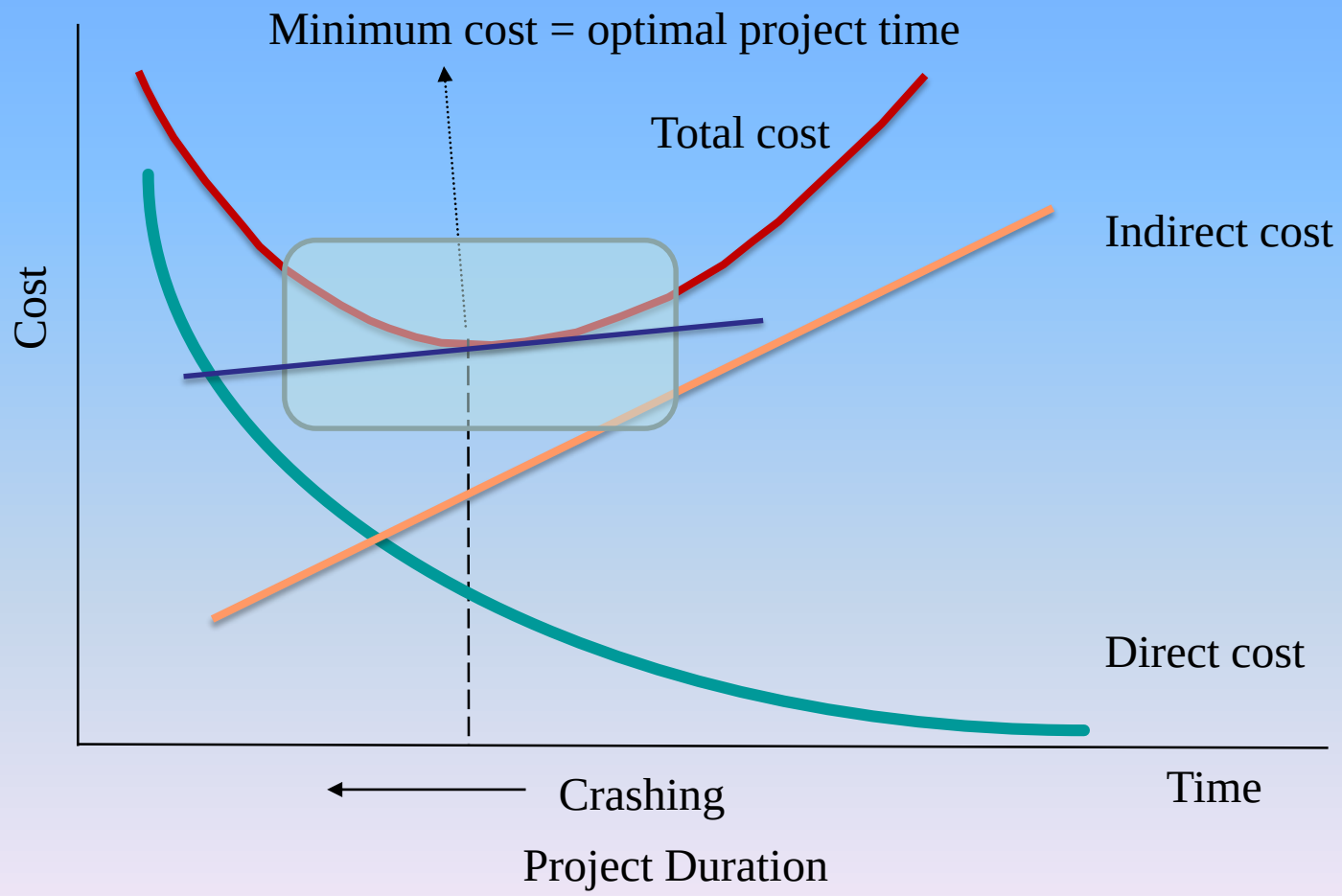
ضریب زاویه ی هزینه:

$$C = \left| \frac{C_f - C_n}{D_f - D_n} \right|$$



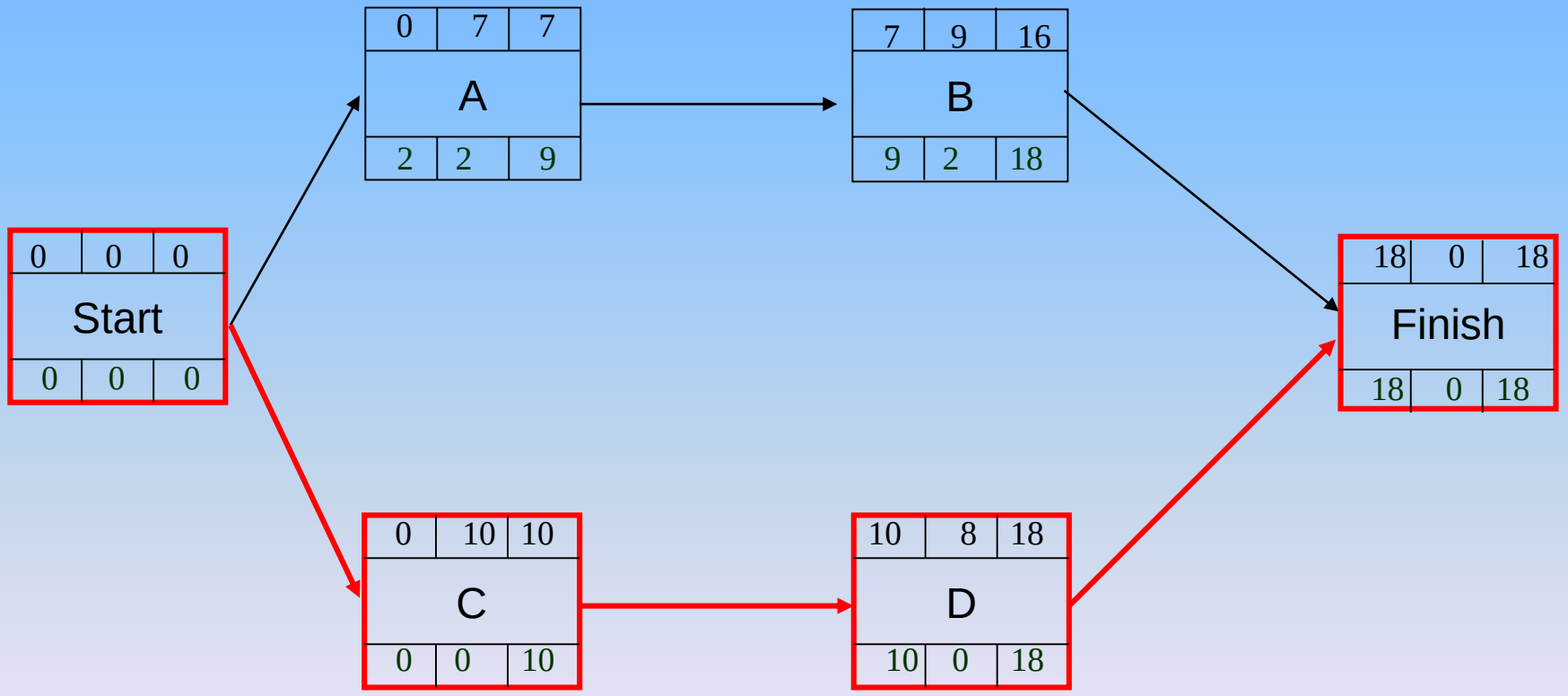
تغییرات مجموع هزینه ها و نقطه ی زمان بهینه:

- در نقطه n مدت زمان لازم برای اجرای فعالیت حداکثر و هزینه ی مستقیم اجرای فعالیتها در حداقل ممکن است. بنابراین چون زمان ماکزیمم است هزینه های مستقیم هم که با زمان رابطه ی مستقیم دارد بیشینه است.
- در نقطه ی f زمان اجرای فعالیتها در حداقل ممکن است. هزینه های مستقیم اجرای فعالیتها به حداکثر ممکن رسیده اما با وجود کاهش زمان در مقابل هزینه های غیرمستقیم کاهش دارد.
- بین این دو حالت **نقطه بهینه ای** یافت می شود که: جمع هزینه های مستقیم و غیرمستقیم در کمترین مقدارخود قرار خواهد گرفت و در نتیجه این نقطه از زمان نقطه ی اقتصادی و بهینه ی جرای پروژه است.
- در نقطه بهینه سرعت تغییرات هزینه کل اندک است. بنابراین آزادی عمل برای انتخاب زمان وجود دارد.


Minimum cost = optimal project time
Total cost
Indirect cost
Direct cost
Cost
Crashing
Time
Project Duration

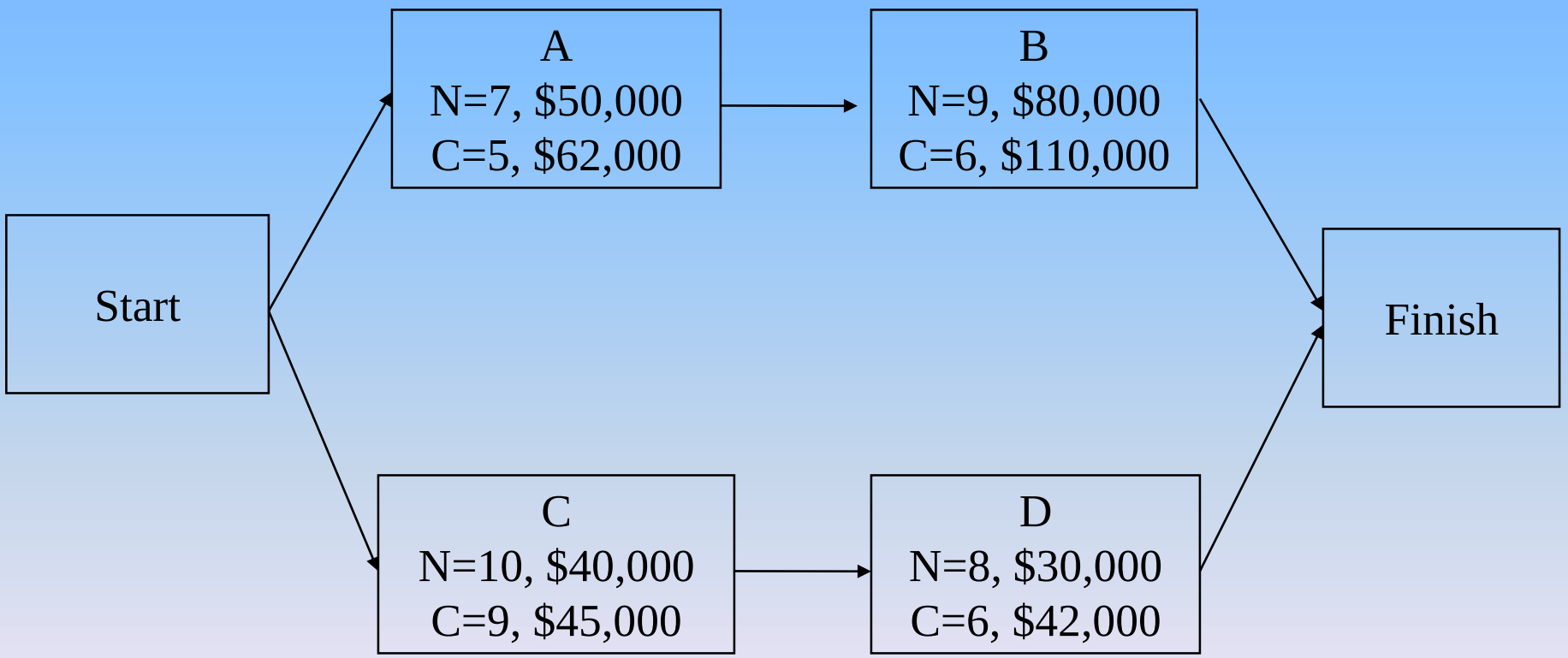
مثال– رویکرد شماره دو

قدم ۱ – انجام محاسبات زمانبندی با زمانهای نرمال



هزینه غیرمستقیم پروژه در هر هفته برابر ۷۰۰۰ دلار است.

مثال– مدل شماره دو



هزینه غیرمستقیم پروژه: ۱۸ × ۷۰۰۰ = ۱۲۶۰۰۰

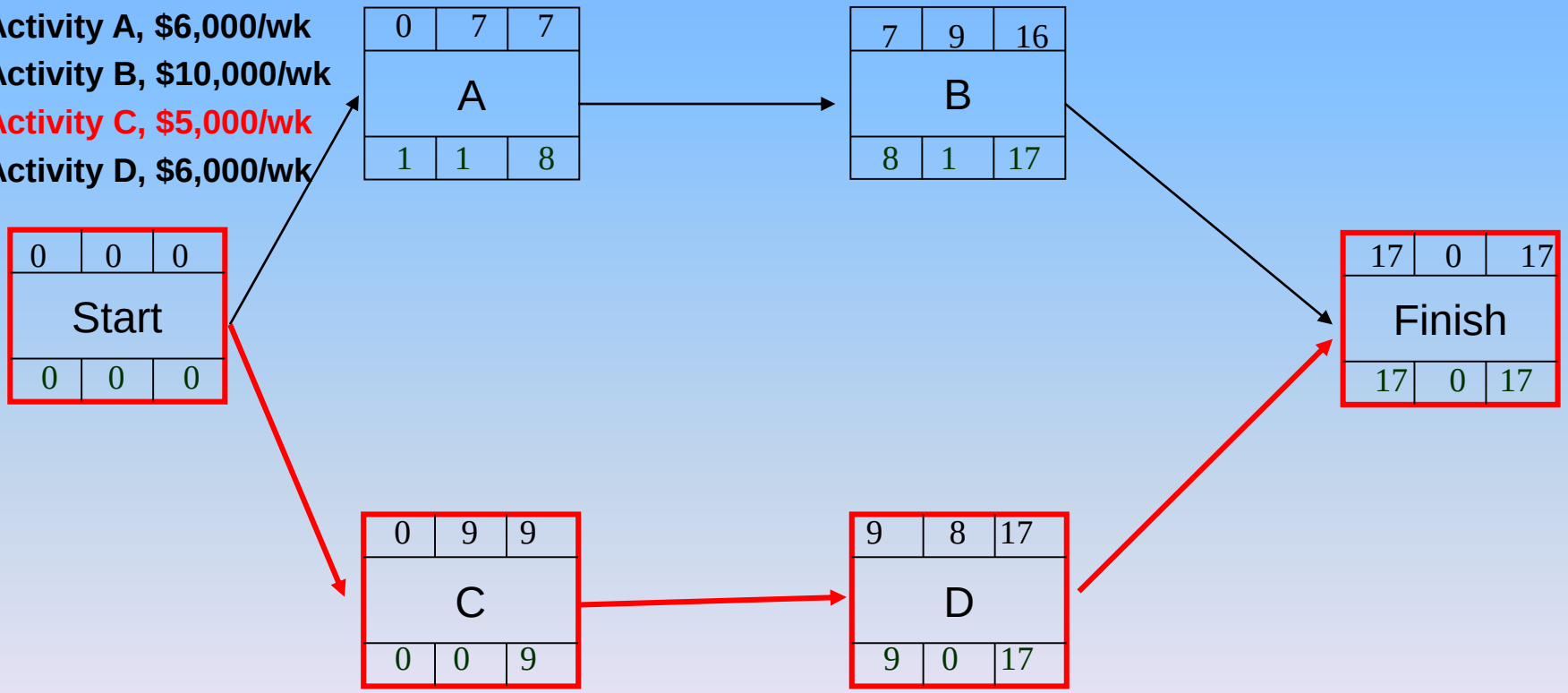
هزینه مستقیم پروژه: ۵۰۰۰۰ + ۸۰۰۰۰ + ۴۰۰۰۰ + ۳۰۰۰۰ = ۲۰۰۰۰۰

جمع هزینه های پروژه = ۳۲۶۰۰۰

مثال– مدل شماره دو

قدم۲- کاهش مدت پروژه به ۱۷ هفته (توسط کاهش فعالیت C)

Activity A, $6,000/wk
Activity B, $10,000/wk
Activity C, $5,000/wk
Activity D, $6,000/wk



هزینه غیرمستقیم پروژه= ۱۷*۷۰۰۰=۱۱۹۰۰۰

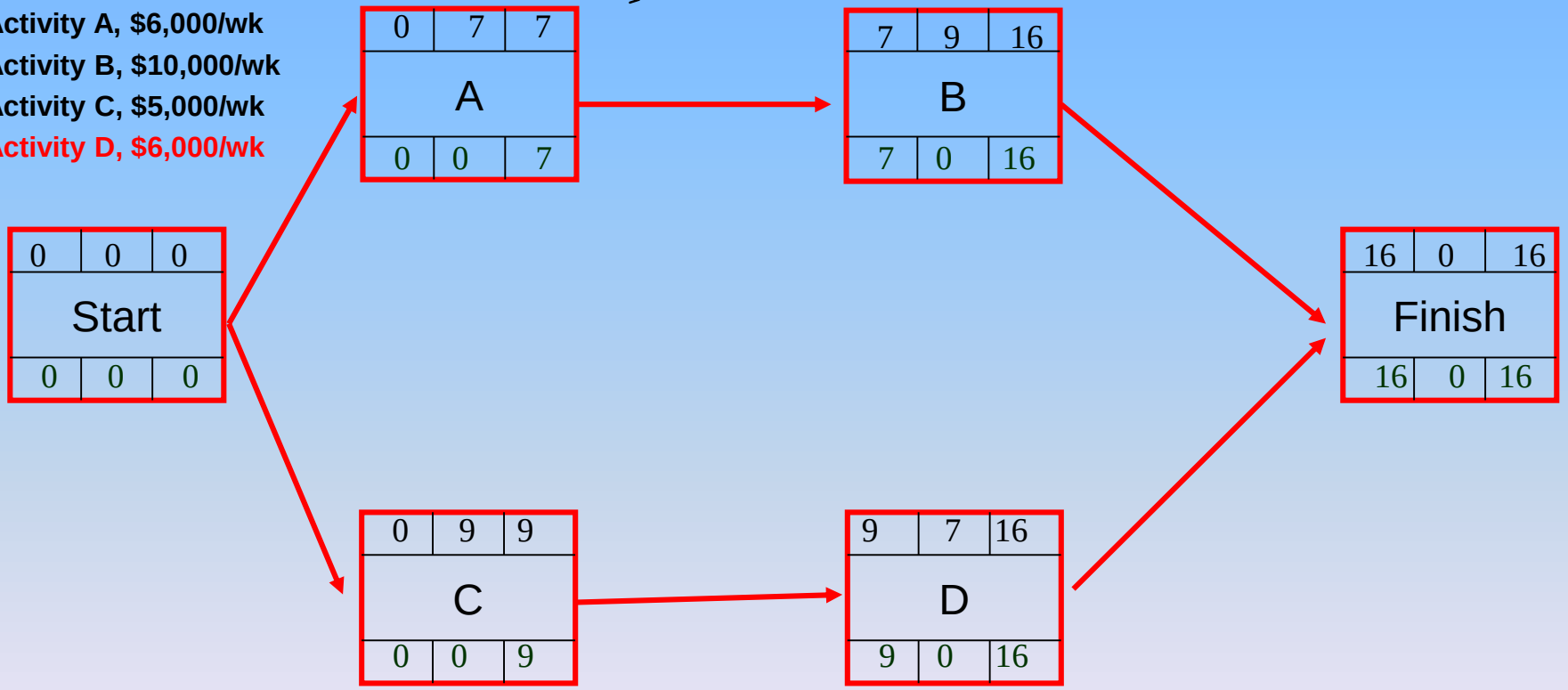
هزینه مستقیم پروژه=۵۰۰۰+۲۰۰۰۰۰=۲۰۵۰۰۰

جمع هزینه های پروژه= ۳۲۴۰۰۰

مثال– مدل شماره یک

قدم۳- کاهش مدت زمان پروژه به ۱۶ هفته (توسط فعالیت D)

Activity A, $6,000/wk
Activity B, $10,000/wk
Activity C, $5,000/wk
Activity D, $6,000/wk



هزینه غیرمستقیم پروژه= ۱۶ * ۷۰۰۰=۱۱۲۰۰۰

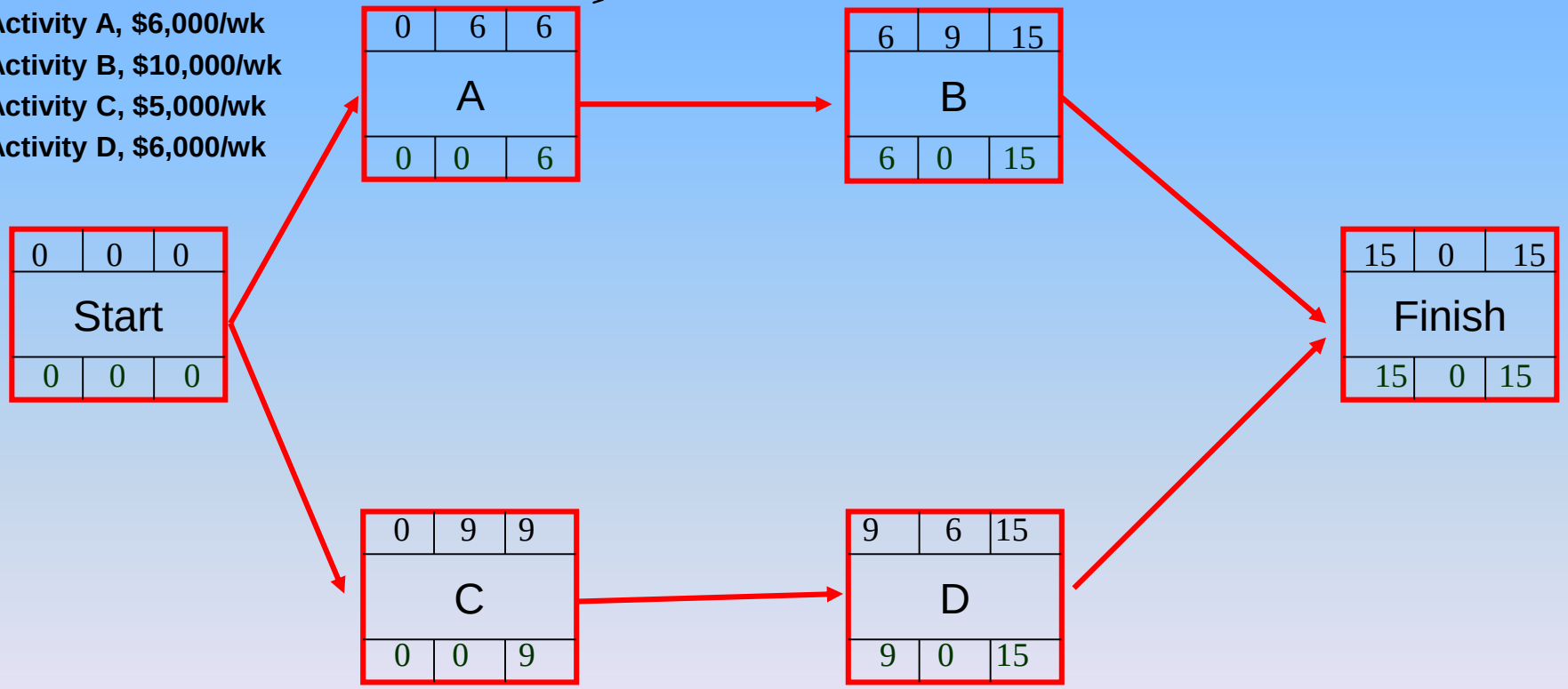
هزینه مستقیم پروژه=۶۰۰۰+۲۰۵۰۰۰=۲۱۱۰۰۰

جمع هزینه های پروژه= ۳۲۳۰۰۰

مثال– مدل شماره یک

قدم۳- کاهش مدت زمان پروژه به ۱۵ هفته (توسط فعالیتهای D و A)

Activity A, $6,000/wk
Activity B, $10,000/wk
Activity C, $5,000/wk
Activity D, $6,000/wk



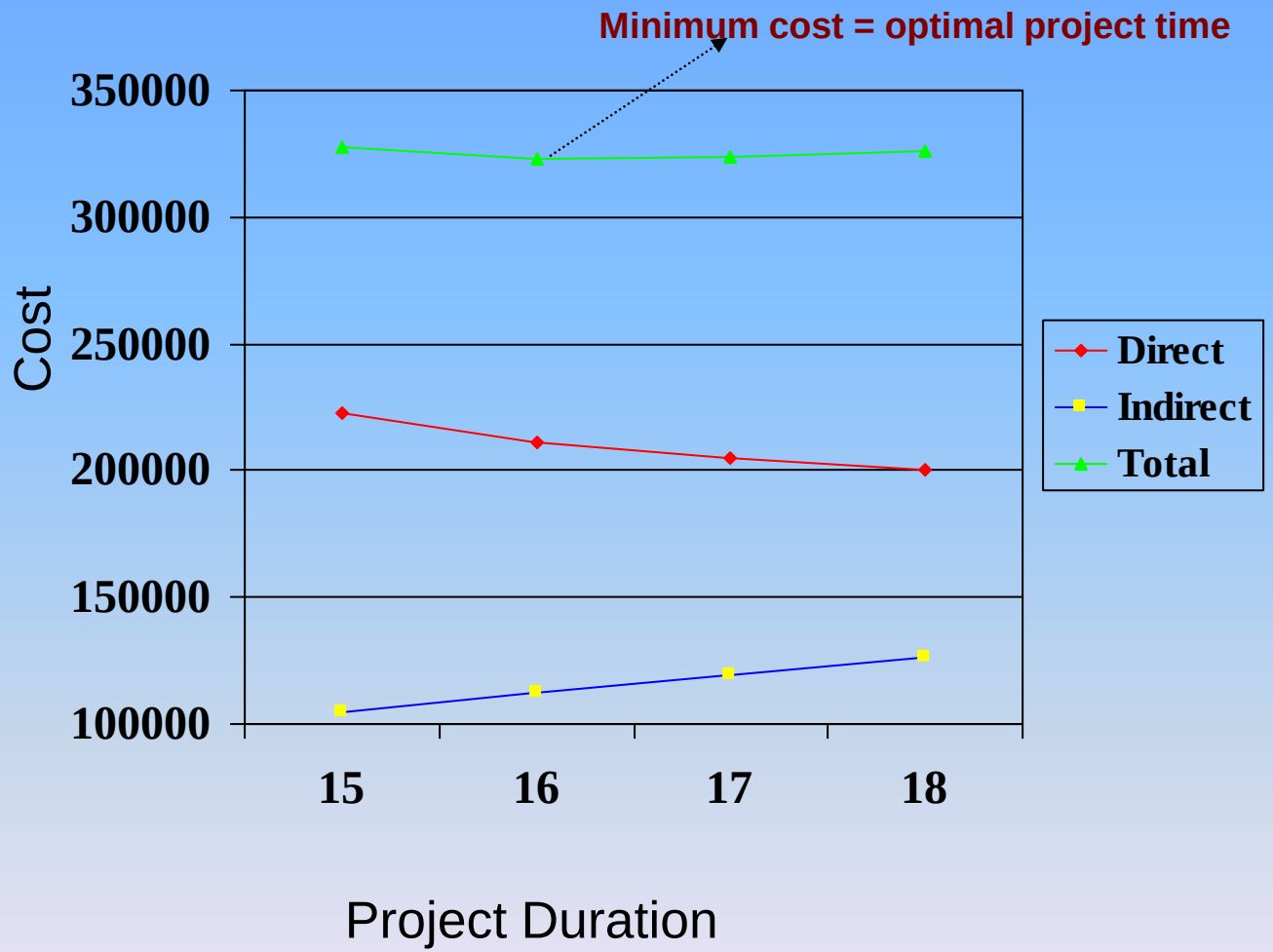
هزینه غیرمستقیم پروژه = ۱۵*۷۰۰۰=۱۰۵۰۰۰

هزینه مستقیم پروژه=۱۲۰۰۰+۲۱۱۰۰۰=۲۲۳۰۰۰

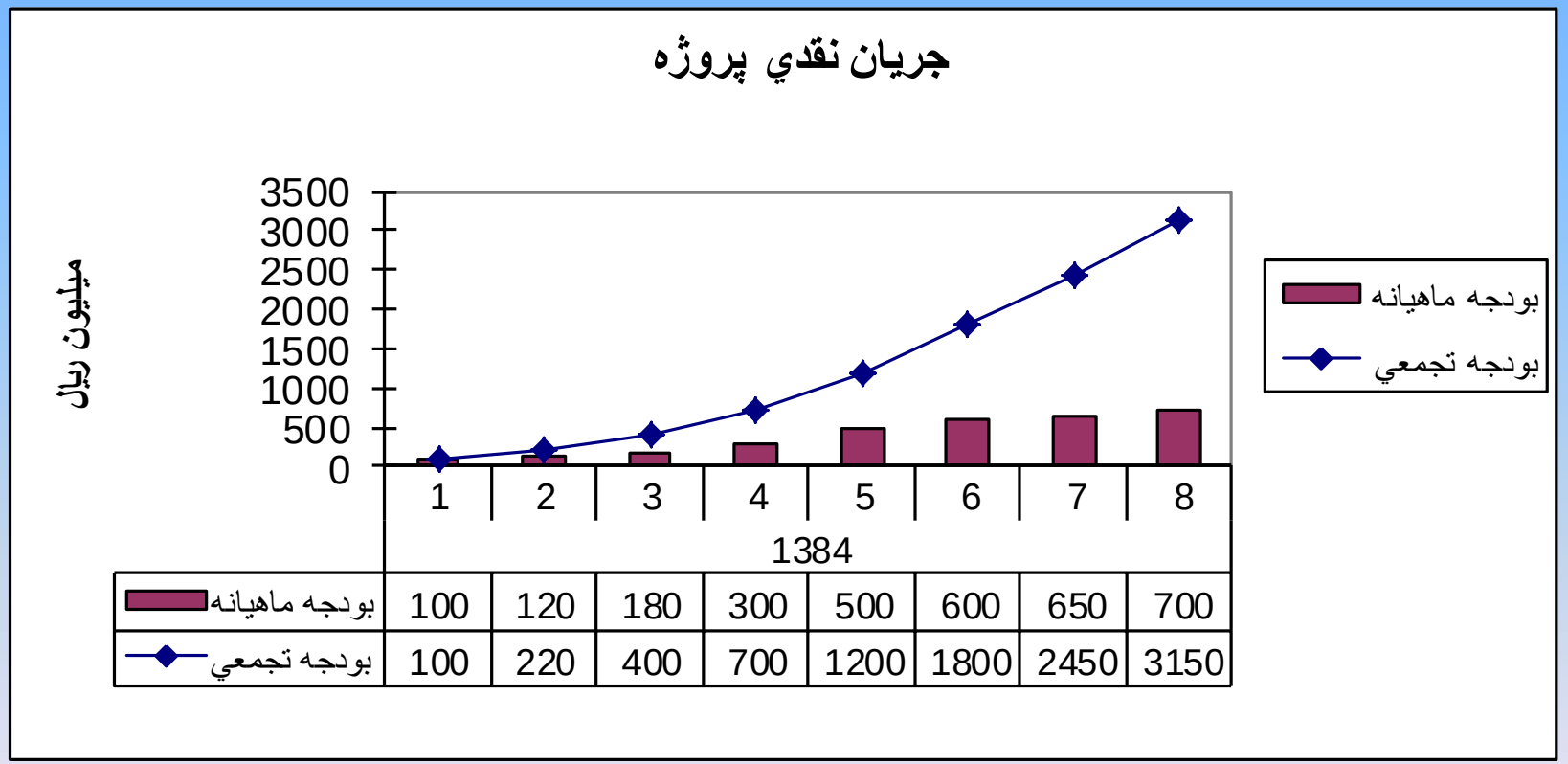
جمع هزینه های پروژه= ۳۲۸۰۰۰

Time - Cost Tradeoff

موازنه زمان–هزینه



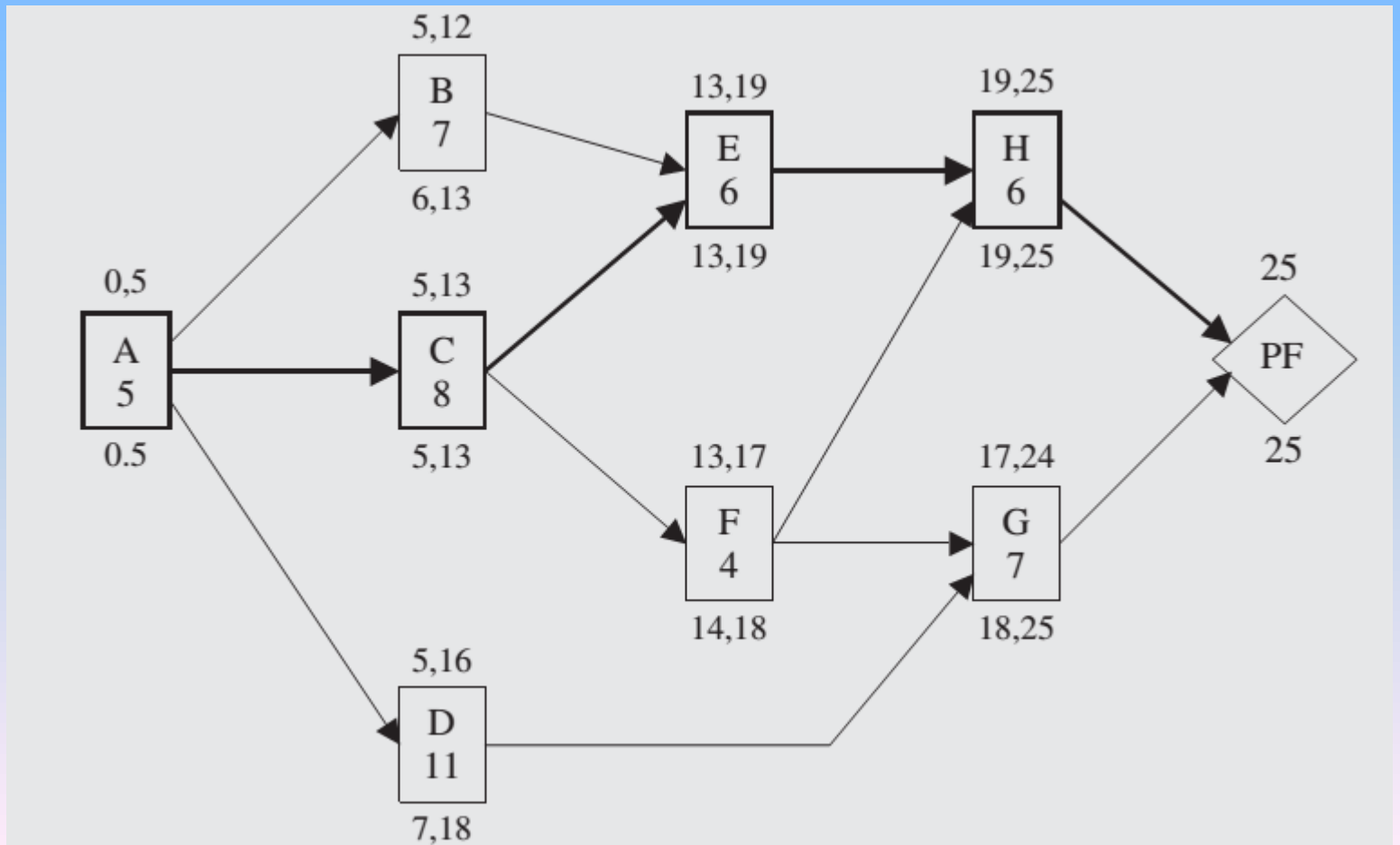
جریان نقدی پروژه نشاندهنده میزان بودجه مورد نیاز جهت اجرای زمانبندی می‌باشد.



مثال:

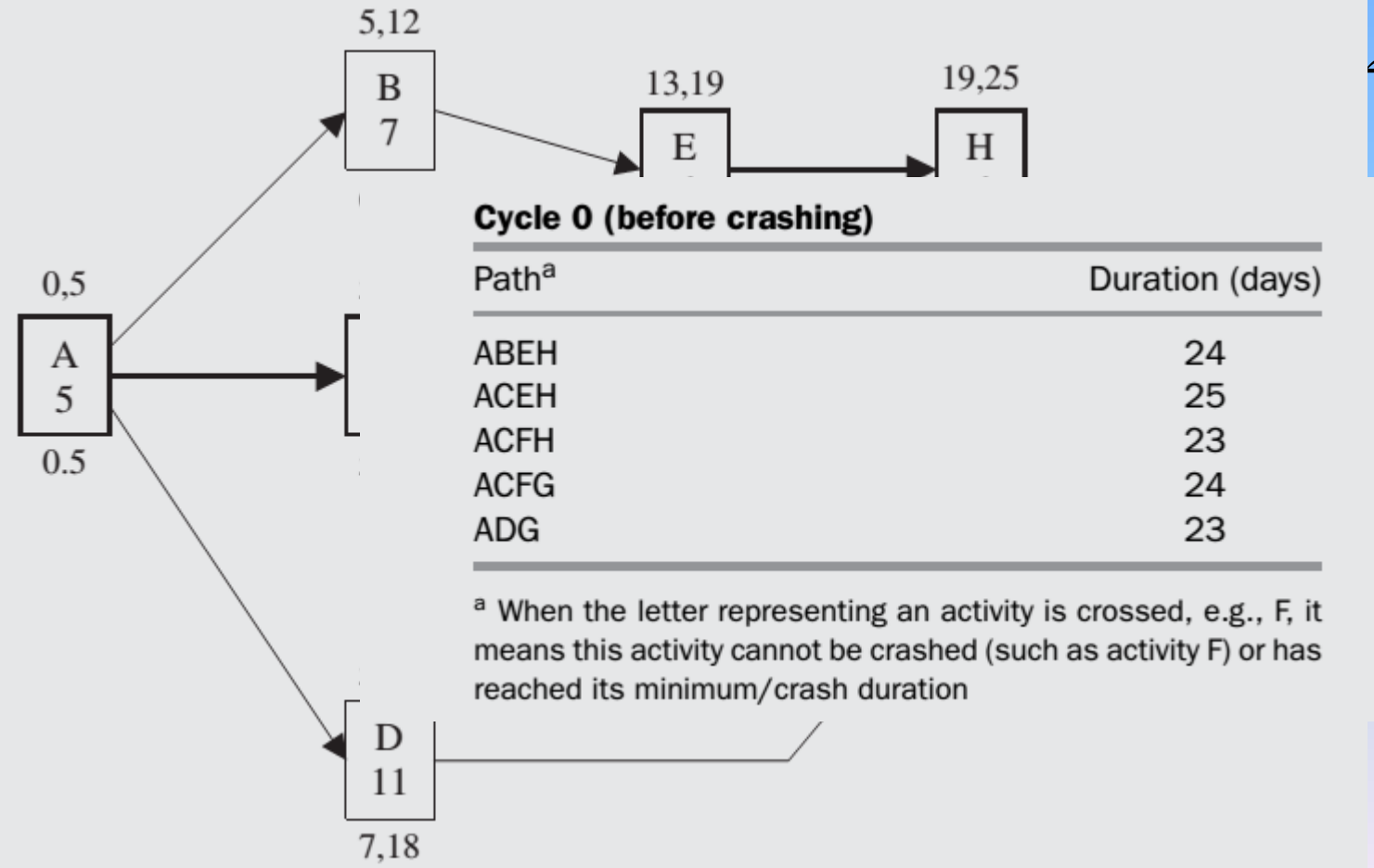
پروژه ای با شبکه ی زمانبندی زیر را در نظر بگیرید:

در صورتی که هزینه های غیر مستقیم به ازای هر روز ۱۲۰$ باشد زمان بهینه برای این پروژه چند روز است.



مثال:

- جدول زمان معمولی و فشرده و هزینه های مستقیم مربوطه برای هر یک ازفعالیتها به



Cycle 0 (before crashing)

Path[a]	Duration (days)
ABEH	24
ACEH	25
ACFH	23
ACFG	24
ADG	23

[a] When the letter representing an activity is crossed, e.g., F, it means this activity cannot be crashed (such as activity F) or has reached its minimum/crash duration

برنامه‌ریزی منابع

الف- تخصیص منابع محدود

تخصیص منابع محدود

در محاسبات قبل، فرض براین بود که منابع موردنیاز به اندازه کافی در دسترس باشند.

درصورتیکه در منابع پروژه دارای محدودیتهایی باشیم می‌بایست محدودیت منابع را در زمانبندی پروژه منعکس نمود. زیرا در زمانبندی پروژه، میزان منابع موردنیاز باید از منابع در دسترس کمتر باشد.

اگر زمانبندی مراحل قبل محدودیت منابع را مراعات نکرد به تغییراتی در زمانبندی نیاز است که ممکن است به افزایش مدت پروژه منتج شود. این تغییرات غالبا به جابجایی زمانبندی برخی از فعالیتهای پروژه برمی‌گردد که طبیعتا منجر به تعییراتی در زمانهای نیاز به منابع می‌شود.

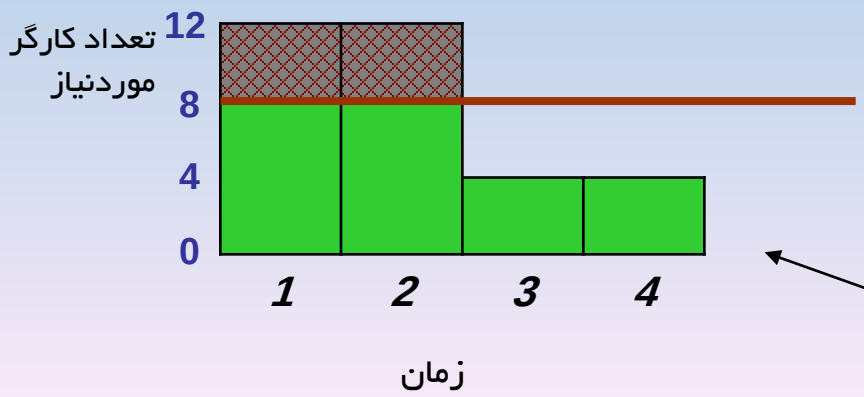
مثالی برای تخصیص منابع محدود

اطلاعات فعالیتهای پروژه

کد فعالیت	پیشنیاز	مدت	تعداد کارگر موردنیاز
A	-	1	4
B	A	1	4
C	-	2	8
D	C	2	4

نمودار گانت پروژه

نام/کد فعالیت	1	2	3	4
A				
B				
C				
D				



تعداد کارگر در دسترس طی هر روز: 8 نفر

Resource Gragh

استراتژیهای حل مسئله منابع محدود

۱- استفاده از شناوری فعالیتها

۲- طولانی کردن مدت فعالیت و کاهش نیاز به منابع در واحد زمان

۳- گسیختگی زمانبندی یک فعالیت

۴- استفاده از اضافه‌کاری در جهت حل مسئله

۵- افزایش مدت زمان پروژه

۱ – استفاده از شناوری فعالیتها

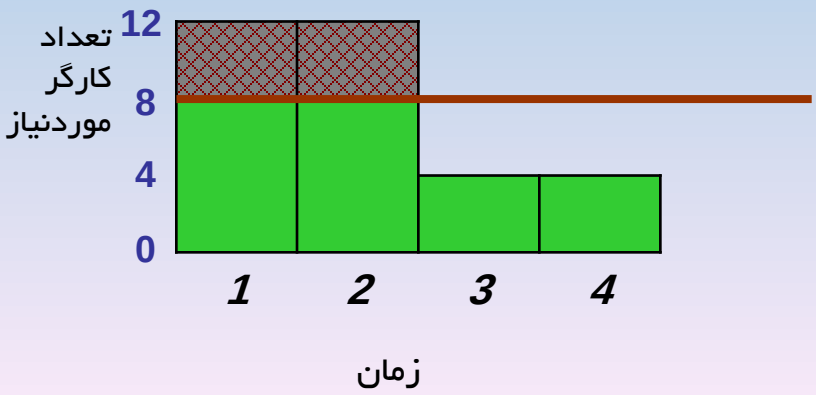
اطلاعات فعالیتهای پروژه

کد فعالیت	پیشنیاز	مدت	تعداد کارگر موردنیاز
A	-	1	4
B	A	1	4
C	-	2	8
D	C	2	4

تعداد کارگر در دسترس طی هر روز: 8نفر

نمودار گانت پروژه

نام/کد فعالیت	1	2	3	4
A				
B				
C				
D				



۱ – استفاده از شناوری فعالیتها

اطلاعات فعالیتهای پروژه

کد فعالیت	پیشنیاز	مدت	تعداد کارگر موردنیاز
A	-	1	4
B	A	1	4
C	-	2	8
D	C	2	4

تعداد کارگر در دسترس طی هر روز: 8 نفر

نمودار گانت پروژه

نام/کد فعالیت	1	2	3	4
A				
B				
C				
D				

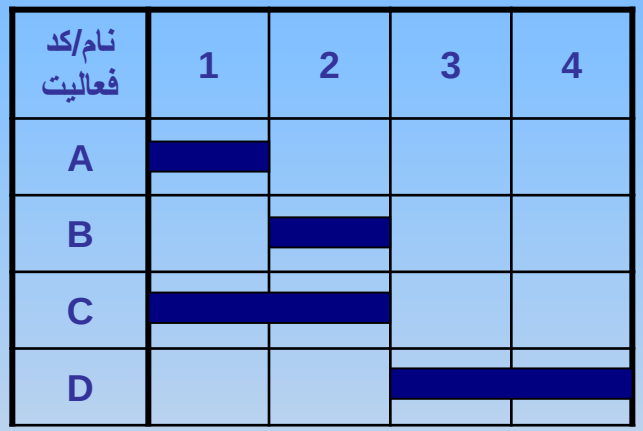
۲– طولانی کردن مدت فعالیت و کاهش نیاز به منابع در واحد زمان

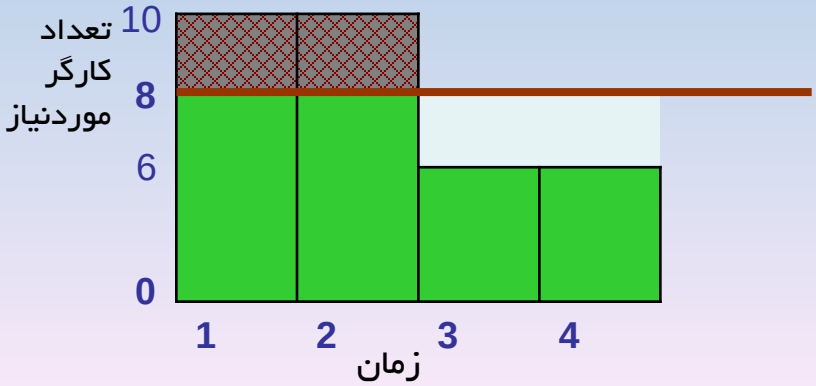
اطلاعات فعالیتهای پروژه

کد فعالیت	پیشنیاز	مدت	تعداد کارگر موردنیاز
A	-	1	4
B	A	1	4
C	-	2	6
D	C	2	6

تعداد کارگر در دسترس طی هر روز: 8 نفر

نمودار گانت پروژه





۲– طولانی کردن مدت فعالیت و کاهش نیاز به منابع در واحد زمان

نمودار گانت پروژه

نام/کد فعالیت	1	2	3	4
A				
B				
C				
D				

- افزایش مدت زمان فعالیت A به دو روز و کاهش کارگر موردنیاز به روزی دو کارگر

- افزایش مدت زمان فعالیت B به دو روز و کاهش کارگر موردنیاز به روزی دو کارگر

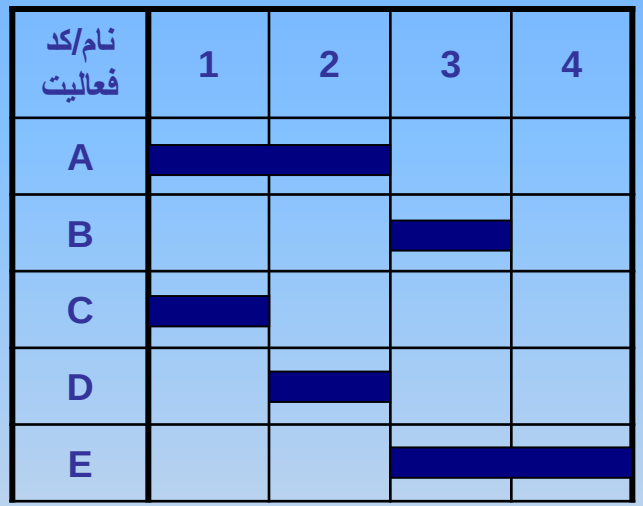
۳- گسیختگی زمانبندی یک فعالیت

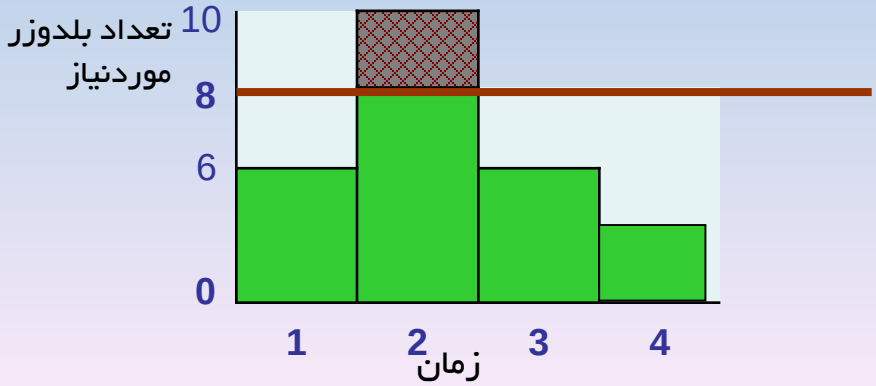
اطلاعات فعالیتهای پروژه

کد فعالیت	پیشنیاز	مدت	تعداد بلدوزر موردنیاز
A	-	2	2
B	A	1	2
C	-	1	4
D	C	1	8
E	D	2	4

تعداد بلدوزر در دسترس طی هر روز: 8 نفر

نمودار گانت پروژه



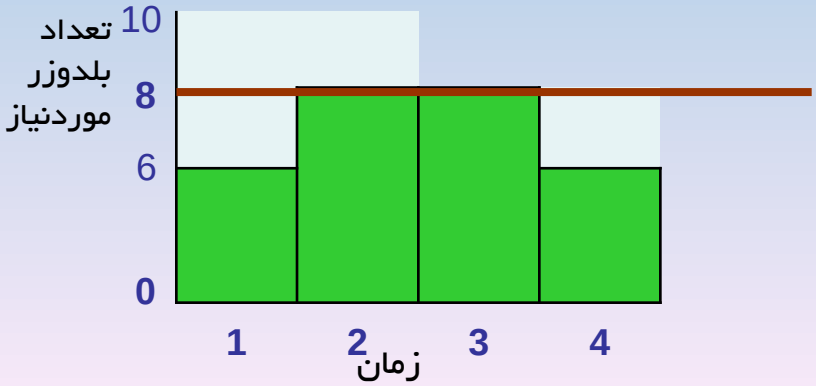


۳- گسیختگی زمانبندی یک فعالیت

نمودار گانت پروژه

نام/کد فعالیت	1	2	3	4
A	■		■	
B				■
C	■			
D		■		
E			■	■

- شکستن فعالیت A به دو بخش



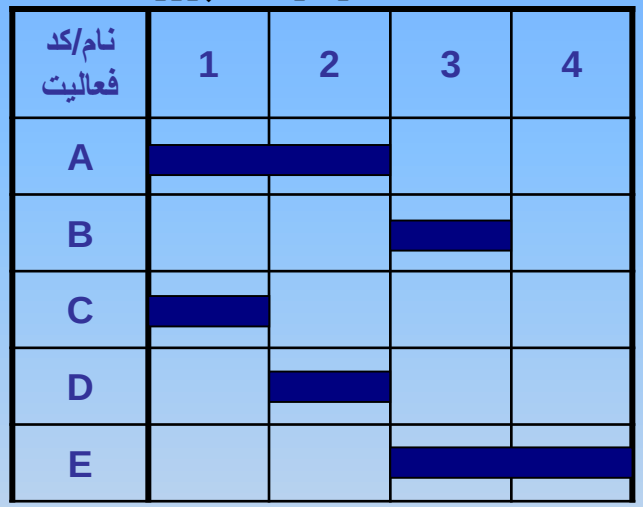
۴– استفاده از اضافه‌کاری در جهت حل مسئله

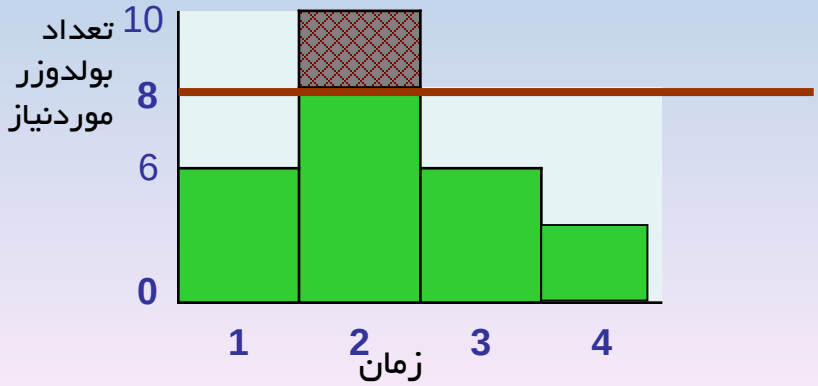
اطلاعات فعالیتهای پروژه

کد فعالیت	پیشنیاز	مدت	تعداد بولدوزر موردنیاز
A	-	2	2
B	A	1	2
C	-	1	4
D	C	1	8
E	D	2	4

تعداد بولدوزر در دسترس طی هر روز: 8 نفر

نمودار گانت پروژه

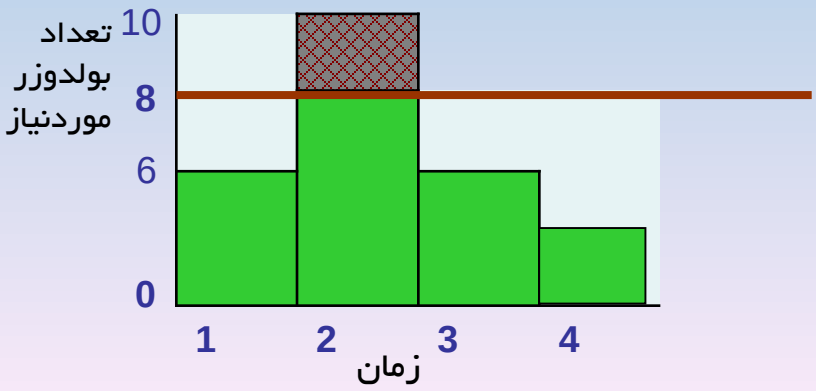




۴- استفاده از اضافه‌کاری در جهت حل مسئله

نمودار گانت پروژه

نام/کد فعالیت	1	2	3	4
A				
B				
C				
D				
E				



• در روز دوم با دادن اضافه‌کاری به راننده بولدوزر و تامین بولدوزر، جبران کسری منابع صورت پذیرد.

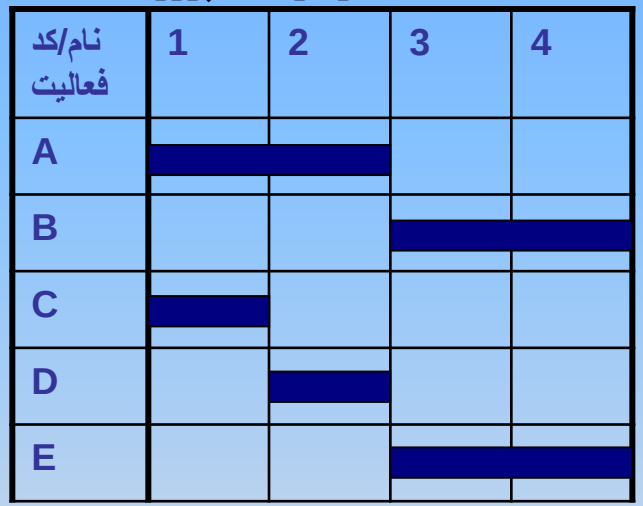
۵- افزایش مدت زمان پروژه

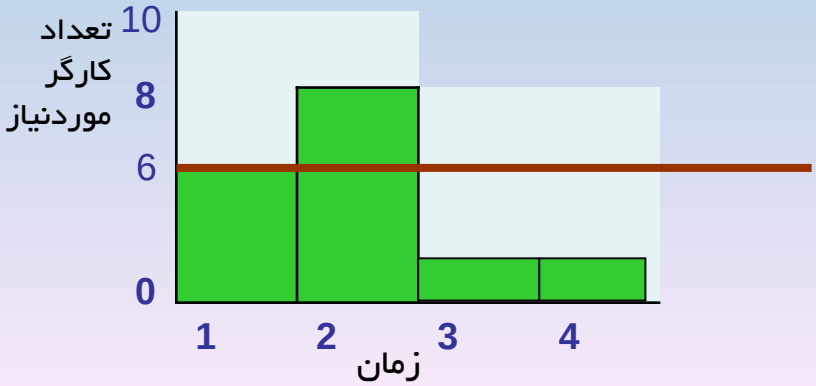
اطلاعات فعالیتهای پروژه

کد فعالیت	پیشنیاز	مدت	تعداد کارگر موردنیاز
A	-	2	4
B	A	2	1
C	-	1	2
D	C	1	4
E	D	2	1

تعداد کارگر در دسترس طی هر روز: 6 نفر

نمودار گانت پروژه

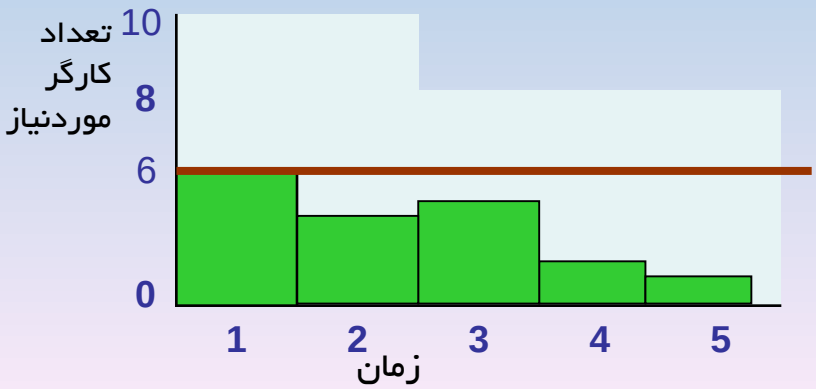




۵- افزایش مدت زمان پروژه

نمودار گانت پروژه

نام/کد فعالیت	1	2	3	4	5
A	■	■			
B			■	■	
C	■				
D			■		
E				■	■



- با افزایش یک واحد زمانی به مدت پروژه، کسری منابع جبران گردید.

الگوریتم تخصیص منابع محدود

فرضیات:

در گام اول با توجه به هزینه بر بودن برخی راهکارها، امکان بکارگیری استراتژی‌های زیر وجود ندارد:

۱- طولانی کردن مدت فعالیت و کاهش نیاز به منابع در واحد زمان

۲- گسیختگی زمانبندی یک فعالیت

۳- استفاده از اضافه‌کاری در جهت حل مسئله

راهکارهای موجود به ترتیب اولویت

۱. استفاده از شناوری فعالیتها

۲. افزایش مدت زمان پروژه

الگوریتم تخصیص منابع محدود

گام‌های الگوریتم:

گام ۱- محاسبات زمانبندی رفت و برگشت معمول را انجام دهید و شمارنده زمان را صفر قرار دهید T=0

گام ۲- مجموعه فعالیتهای EAS (مجموعه فعالیتهای واجد شرایط Eligible Activity Set) را مشخص کنید. این مجموعه شامل فعالیتهایی است که هنوز برنامه‌ریزی نشده اند و همچنین یا پیشنیاز ندارند یا پیشنیاز آنها تا زمان T برنامه‌ریزی و تمام شده باشند.

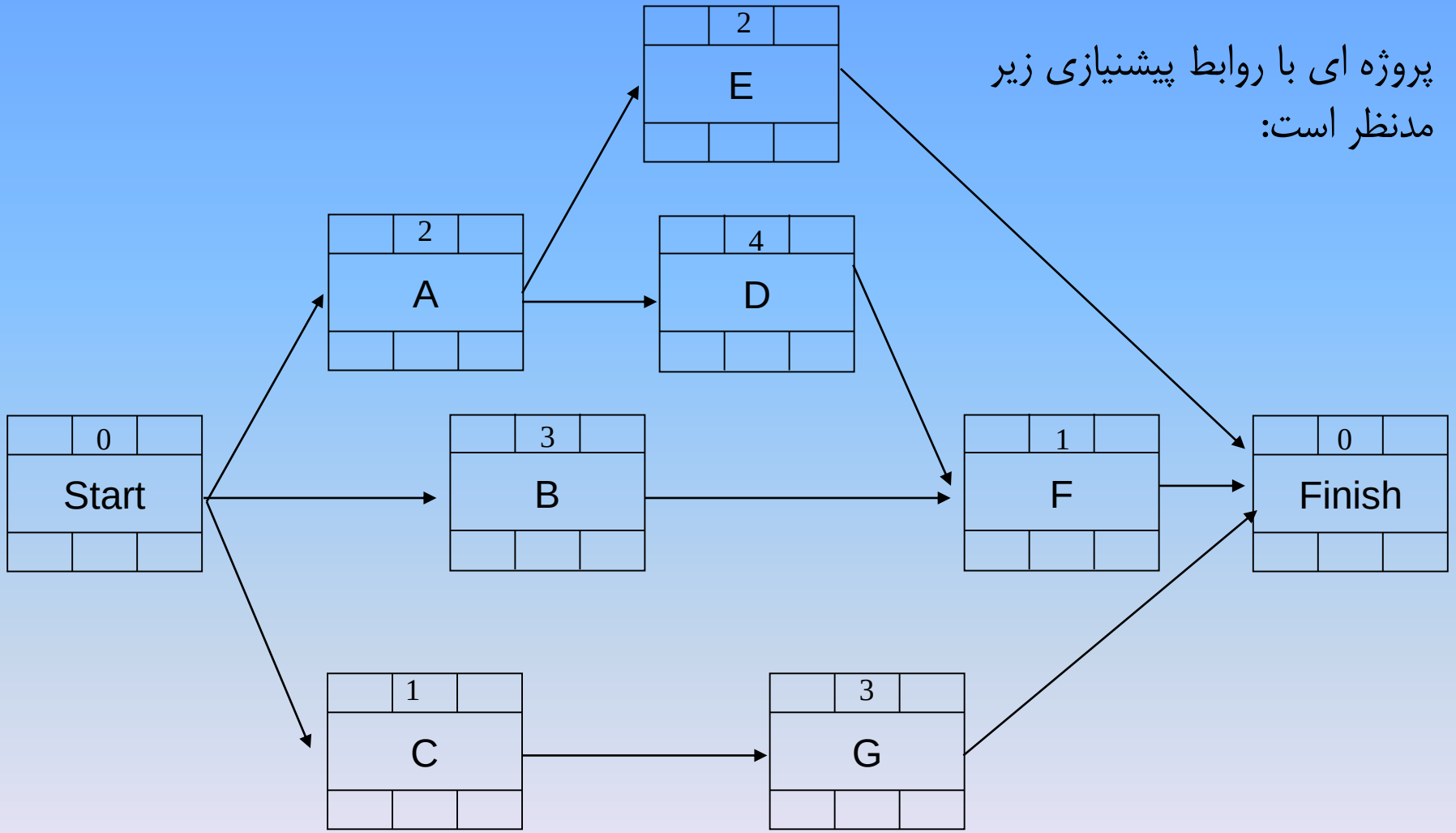
گام ۳- براساس مجموعه فعالیتهای EAS، مجموعه OSS (مجموعه فعالیتهای مرتب شده برای برنامه‌ریزی Ordered Scheduling Set) را بر اساس قوانین ارجحیت تشکیل دهید. در این قوانین مجموعه فعالیتهای EAS براساس ترتیب صعودی LS مرتب شده‌اند و کمترین LS یا با توجه به فرض بالا فعالیت با کمترین شناوری انتخاب می شود. درصورت تساوی LS ملاک ترتیب صعودی مدت زمان فعالیت است.

گام ۴- فعالیتهای OSS را به ترتیب، درصورتی که برای فعالیت در کل زمان اجرا، منابع کافی وجود دارد آن فعالیت را برای شروع در زمان T برنامه‌ریزی کنید.

گام ۵- در صورتیکه همه فعالیتها برنامه‌ریزی شده‌اند توقف کنید. درغیر این صورت T=T+1 و به قدم ۲ بازگردید.

مثال

پروژه ای با روابط پیشنیازی زیر مدنظر است:



مثال از تخصیص منابع محدود:

در این پروژه، به دو نوع منبع نیاز است ماشین آلات ویژه (منبع نوع P) و کارگر (منبع نوع Q)

برای اجرای پروژه، ۴ ماشین ویژه و ۵ کارگر در اختیار داریم.

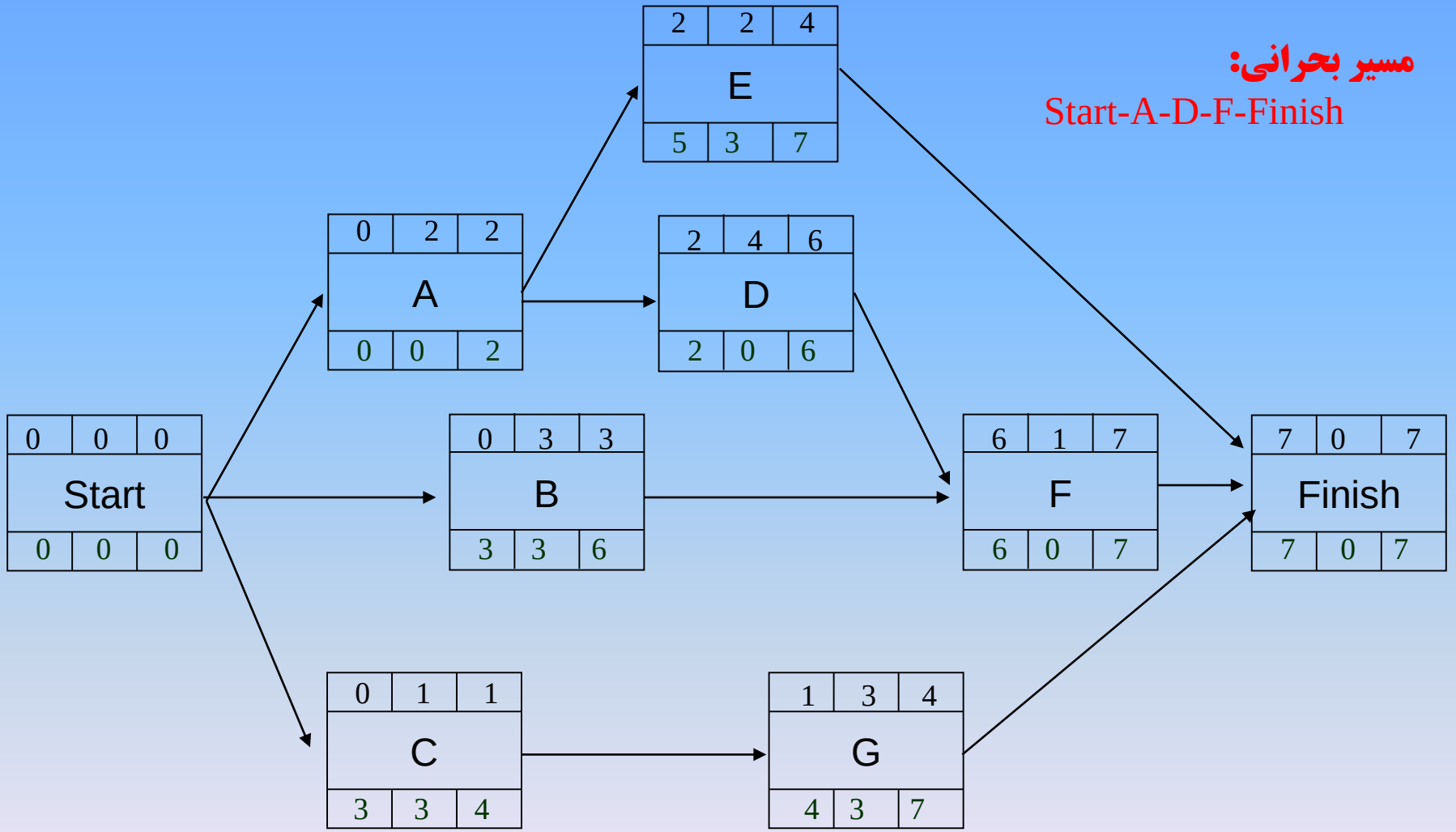
میزان نیاز فعالیتها به منابع در جدول زیر نشان داده شده است.

فعالیت		A	B	C	D	E	F	G
منابع	P	2	4	0	2	0	3	0
	Q	0	0	3	0	5	0	4

حل مسئله و اجرای الگوریتم:

مسیر بحرانی:

Start-A-D-F-Finish



ACTIVITY	ES	LS	D	T									
				0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
A	0	0	2										
B	0	3	3										
C	0	3	1										
D	2	2	4										
E	2	5	2										
F	6	6	1										
G	1	4	3										
مقدار منبع P تخصیص داده نشده				4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
مقدار منبع Q تخصیص داده نشده				5	5	5	5	5	5	5	5	5	5

ACTIVITY	ES	LS	D	T 0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
A	0	0	2											
B	0	3	3											
C	0	3	1											
D	2	2	4											
E	2	5	2											
F	6	6	1											
G	1	4	3											
مقدار منبع P تخصیص داده نشده				4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	
مقدار منبع Qتخصیص داده نشده				5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	

مرحله اول : **T=0**

EAS={A,B,C}

LS: 0 , 3 , 3

OSS: A→C→B

ACTIVITY	ES	LS	D	T									
				0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
A	0	0	2	2/0		2/0								
B	0	3	3											
C	0	3	1											
D	2	2	4											
E	2	5	2											
F	6	6	1											
G	1	4	3											
مقدار منبع P تخصیص داده نشده				2		2		4		4		4		4
مقدار منبع Qتخصیص داده نشده				5		5		5		5		5		5

مرحله اول : **T=0**

✓

EAS={A,B,C}

LS: 0 , 3 , 3

OSS: A→C→B

ACTIVITY	ES	LS	D	T									
				0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
A	0	0	2	2/0		2/0								
B	0	3	3											
C	0	3	1	0/3										
D	2	2	4											
E	2	5	2											
F	6	6	1											
G	1	4	3											
مقدار منبع P تخصیص داده نشده				2		2		4		4		4		4
مقدار منبع Qتخصیص داده نشده				2		5		5		5		5		5

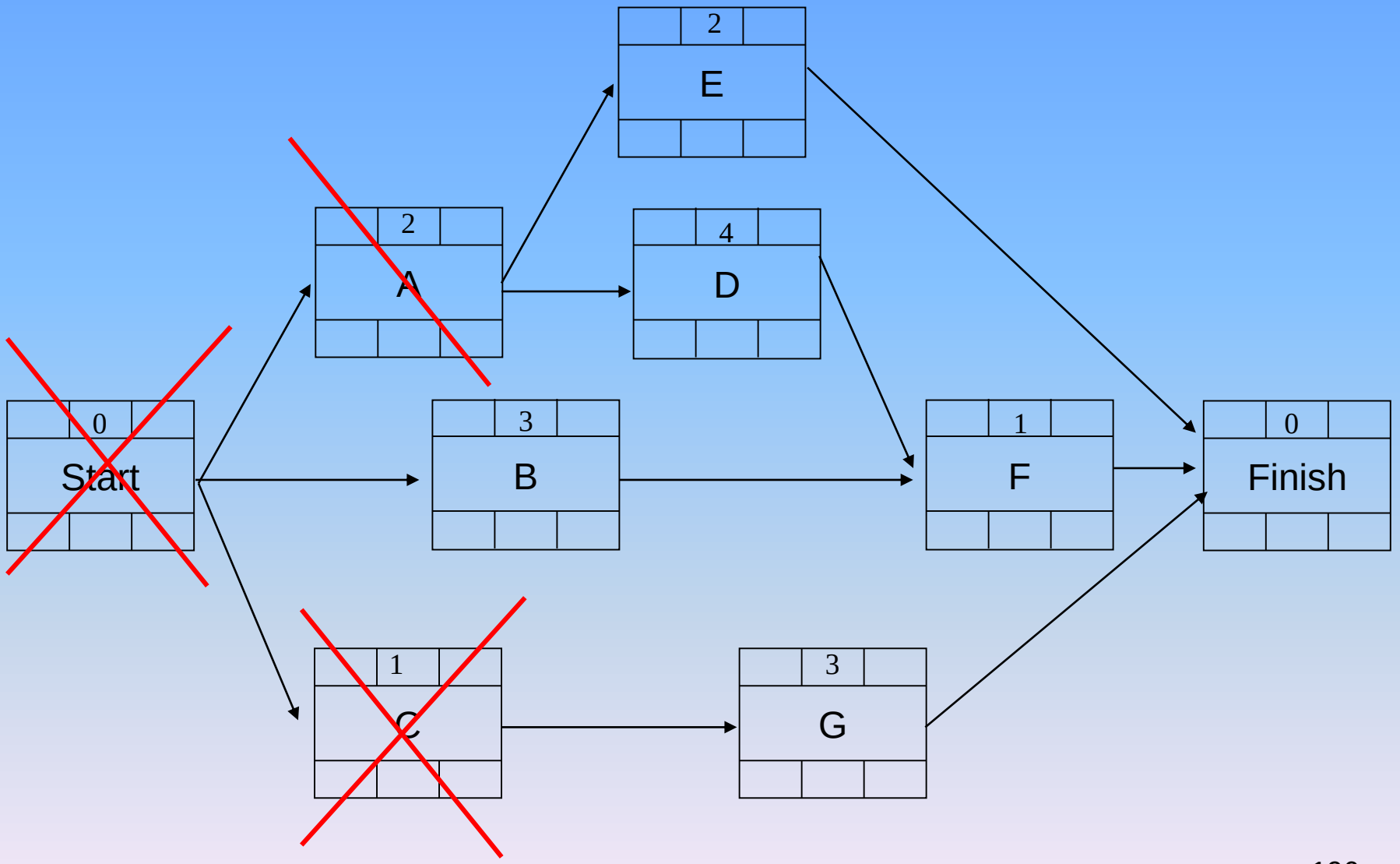
مرحله اول : **T=0**

EAS={A,B,C}

LS: 0 , 3 , 3

OSS: A✓→C✓→B✗

مرحله دوم : T=1



ACTIVITY	ES	LS	D	T									
				0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
A	0	0	2	2/0		2/0								
B	0	3	3											
C	0	3	1	0/3										
D	2	2	4											
E	2	5	2											
F	6	6	1											
G	1	4	3											
مقدار منبع P تخصیص داده نشده				2		2		4	4	4	4	4	4	4
مقدار منبع Qتخصیص داده نشده				3		5		5	5	5	5	5	5	5

مرحله دوم : **T=1**

EAS={B,G}

LS: 3 , 4

OSS: B→G

ACTIVITY	ES	LS	D	T									
				0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
A	0	0	2	2/0		2/0								
B	0	3	3											
C	0	3	1	0/3										
D	2	2	4											
E	2	5	2											
F	6	6	1											
G	1	4	3			0/4	0/4	0/4						
مقدار منبع P تخصیص داده نشده				2		2	4	4	4	4	4	4	4	4
مقدار منبع Qتخصیص داده نشده				3		1	1	1	5	5	5	5	5	5

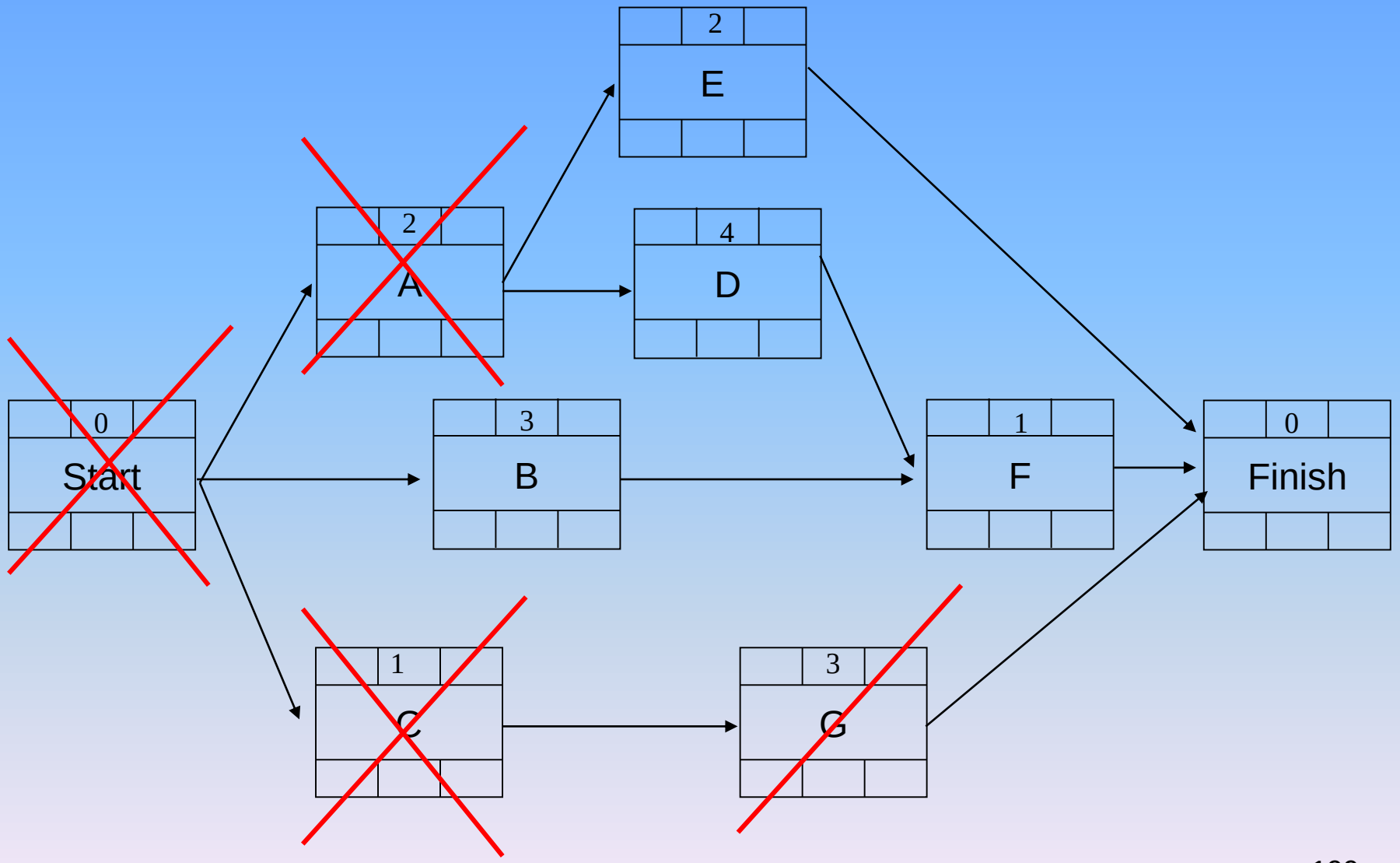
مرحله دوم : **T=1**

EAS={B,G}

LS: 3 , 4

OSS: B→G (B: ✗ , G: ✓)

مرحله سوم : T=2



ACTIVITY	ES	LS	D	T									
				0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
A	0	0	2	2/0		2/0								
B	0	3	3											
C	0	3	1	0/3										
D	2	2	4											
E	2	5	2											
F	6	6	1											
G	1	4	3			0/4	0/4	0/4						
مقدار منبع P تخصیص داده نشده				2		2	4	4	4	4	4	4	4	4
مقدار منبع Qتخصیص داده نشده				3		1	1	1	5	5	5	5	5	5

مرحله سوم : **T=2**

EAS={B,E,D}

LS: 3 , 5 , 2

OSS: D→B →E

ACTIVITY	ES	LS	D	T									
				0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
A	0	0	2	2/0		2/0								
B	0	3	3											
C	0	3	1	0/3										
D	2	2	4			2/0	2/0	2/0	2/0					
E	2	5	2											
F	6	6	1											
G	1	4	3		0/4		0/4	0/4						
مقدار منبع P تخصیص داده نشده				2	2	2	2	2	2	4	4	4	4	
مقدار منبع Qتخصیص داده نشده				3	1	1	1	5	5	5	5	5	5	

مرحله سوم : **T=2**

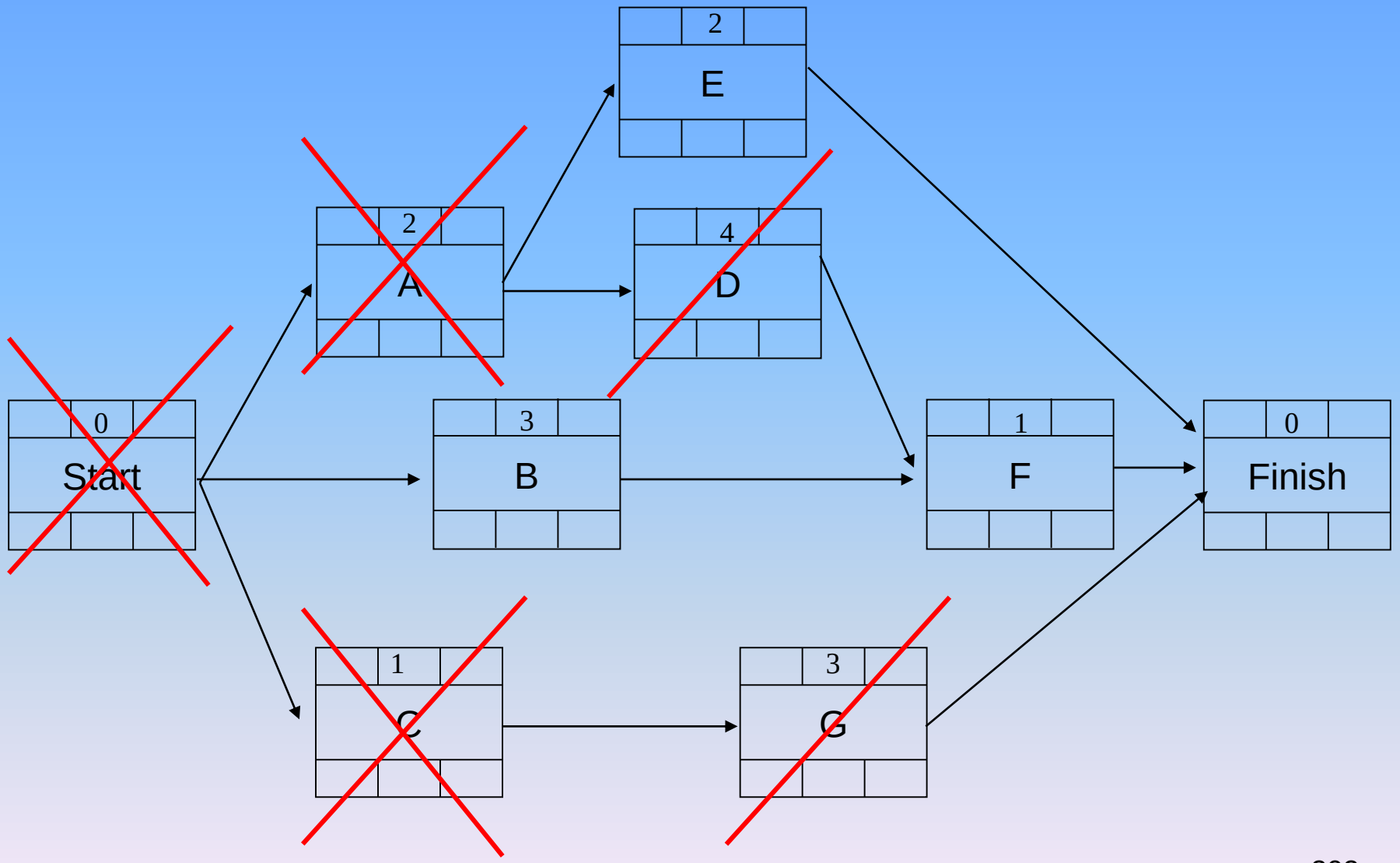
✓ ✗ ✗

EAS={B,E,D}

LS: 3 , 5 , 2

OSS: D→B →E

مرحله چهارم : T=3



ACTIVITY	ES	LS	D	T									
				0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
A	0	0	2	2/0		2/0								
B	0	3	3											
C	0	3	1	0/3										
D	2	2	4				2/0	2/0	2/0	2/0				
E	2	5	2											
F	6	6	1											
G	1	4	3			0/4		0/4		0/4				
مقدار منبع P تخصیص داده نشده				2		2	2	2	2	2	4	4	4	4
مقدار منبع Qتخصیص داده نشده				3		1	1	1	5	5	5	5	5	5

مرحله چهارم : **T=3**

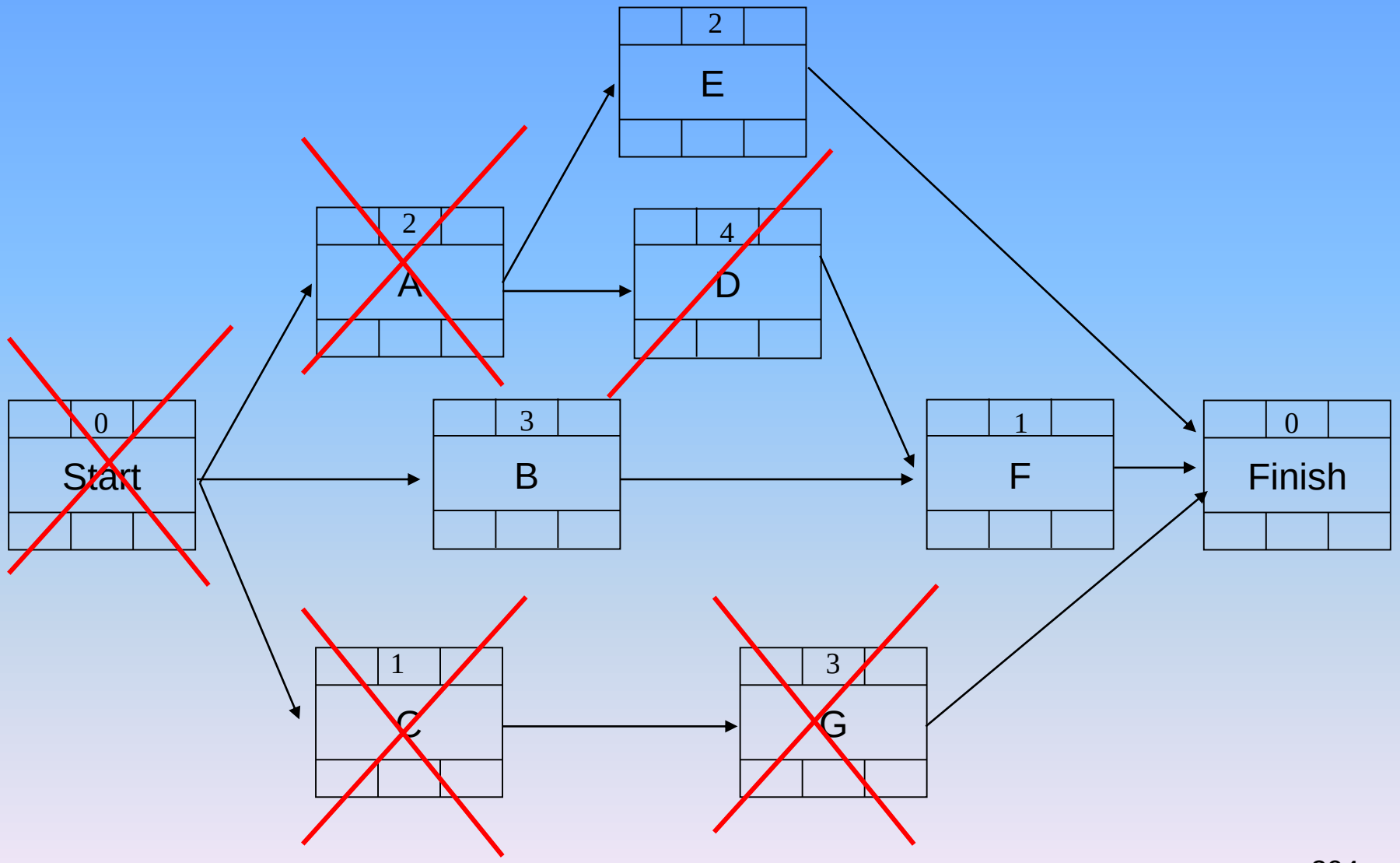
× ×

OSS: B →E

EAS={B,E}

LS: 3 , 5

مرحله پنجم : T=4



ACTIVITY	ES	LS	D	T									
				0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
A	0	0	2	2/0	2/0								
B	0	3	3										
C	0	3	1	0/3									
D	2	2	4			2/0	2/0	2/0	2/0				
E	2	5	2										
F	6	6	1										
G	1	4	3		0/4	0/4	0/4						
مقدار منبع P تخصیص داده نشده				2	2	2	2	2	2	4	4	4	4
مقدار منبع Qتخصیص داده نشده				3	1	1	1	5	5	5	5	5	5

مرحله پنجم : **T=4**

×

EAS={B,E}

OSS: B →E

LS: 3 , 5

ACTIVITY	ES	LS	D	T									
				0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
A	0	0	2	2/0	2/0								
B	0	3	3										
C	0	3	1	0/3									
D	2	2	4			2/0	2/0	2/0	2/0				
E	2	5	2					0/5	0/5				
F	6	6	1										
G	1	4	3		0/4	0/4	0/4						
مقدار منبع P تخصیص داده نشده				2	2	2	2	2	2	4	4	4	4
مقدار منبع Qتخصیص داده نشده				3	1	1	1	0	0	5	5	5	5

مرحله پنجم : **T=4**

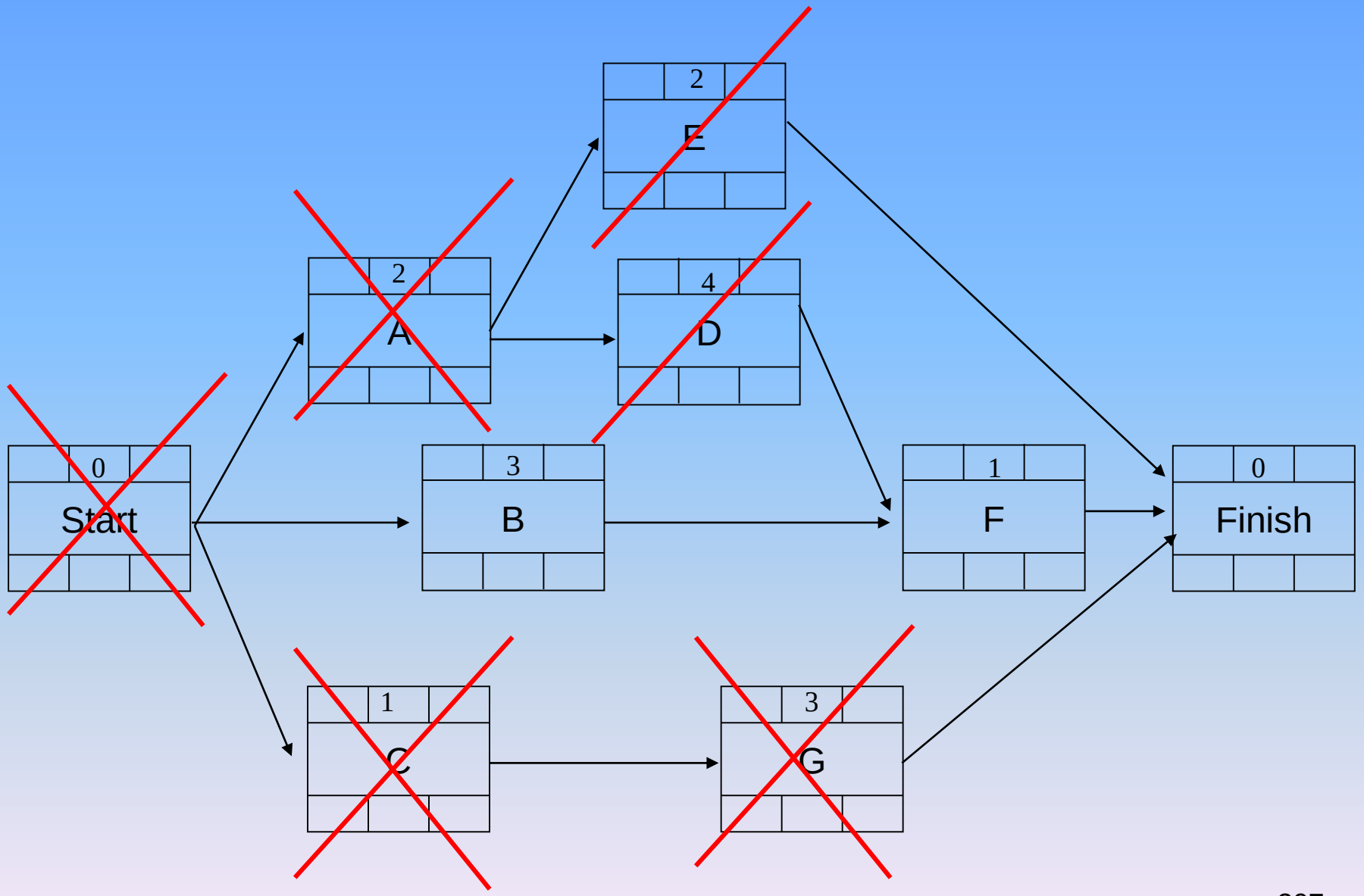
✓ ✗

OSS: B →E

EAS={B,E}

LS: 3 , 5

مرحله ششم : T=5



ACTIVITY	ES	LS	D	T									
				0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
A	0	0	2	2/0	2/0								
B	0	3	3										
C	0	3	1	0/3									
D	2	2	4			2/0	2/0	2/0	2/0				
E	2	5	2					0/5	0/5				
F	6	6	1										
G	1	4	3		0/4	0/4	0/4						
مقدار منبع P تخصیص داده نشده				2	2	2	2	2	2	4	4	4	4
مقدار منبع Qتخصیص داده نشده				3	1	1	1	0	0	5	5	5	5

مرحله ششم : **T=5**

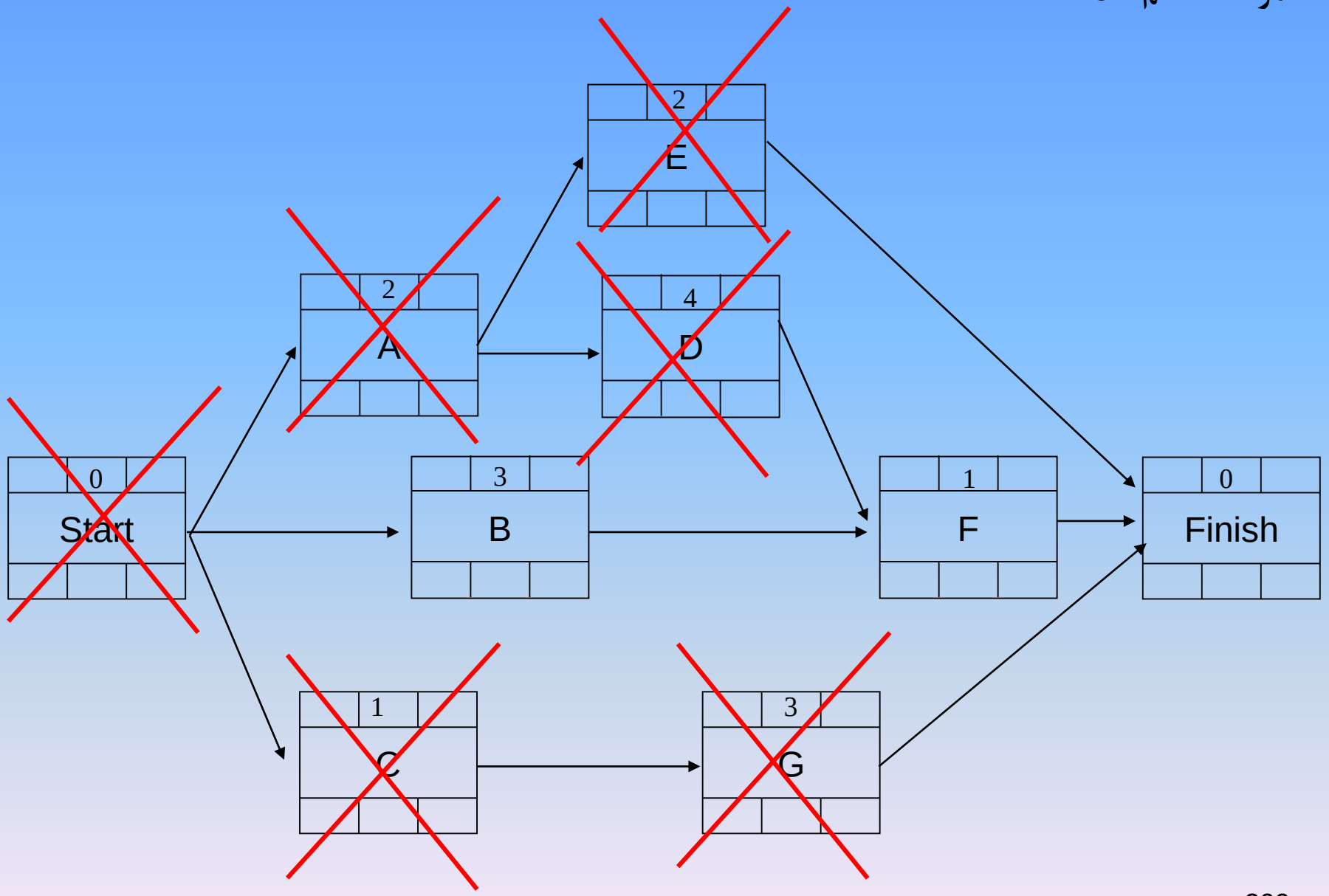
×

EAS={B}

OSS: B

LS: 3

مرحله هفتم : T=6



ACTIVITY	ES	LS	D	T									
				0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
A	0	0	2	2/0	2/0								
B	0	3	3										
C	0	3	1	0/3									
D	2	2	4			2/0	2/0	2/0	2/0				
E	2	5	2					0/5	0/5				
F	6	6	1										
G	1	4	3		0/4	0/4	0/4						
مقدار منبع P تخصیص داده نشده				2	2	2	2	2	2	4	4	4	4
مقدار منبع Qتخصیص داده نشده				3	1	1	1	0	0	5	5	5	5

مرحله هفتم : **T=6**

EAS={B}

LS: 3

OSS: B

ACTIVITY	ES	LS	D	T									
				0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
A	0	0	2	2/0	2/0									
B	0	3	3							4/0	4/0	4/0		
C	0	3	1	0/3										
D	2	2	4			2/0	2/0	2/0	2/0					
E	2	5	2					0/5	0/5					
F	6	6	1											
G	1	4	3		0/4	0/4	0/4							
مقدار منبع P تخصیص داده نشده				2	2	2	2	2	2	0	0	0	4	
مقدار منبع Qتخصیص داده نشده				3	1	1	1	0	0	5	5	5	5	

مرحله هفتم : **T=6**

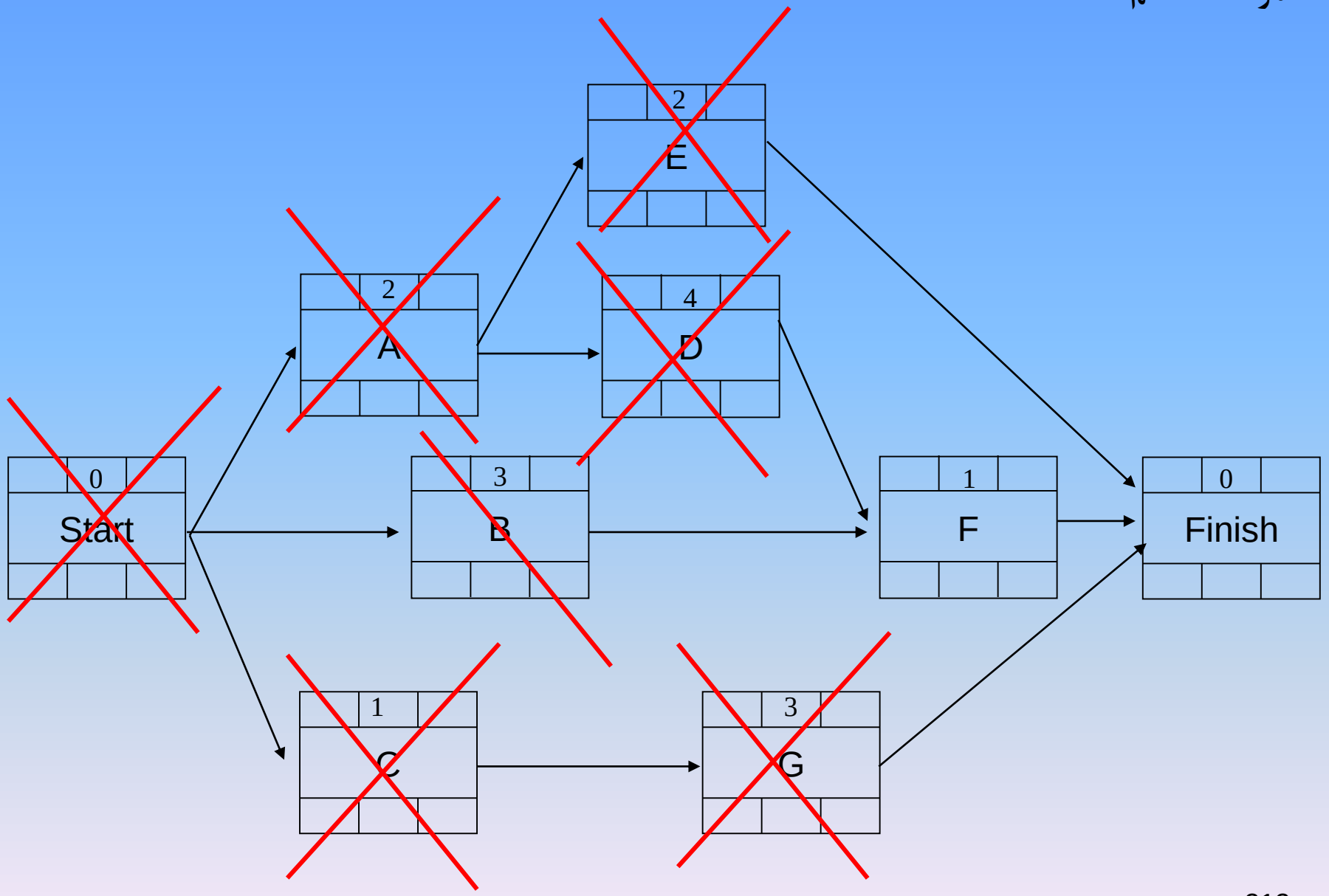
✓

OSS: B

EAS={B}

LS: 3

مرحله هشتم : T=7

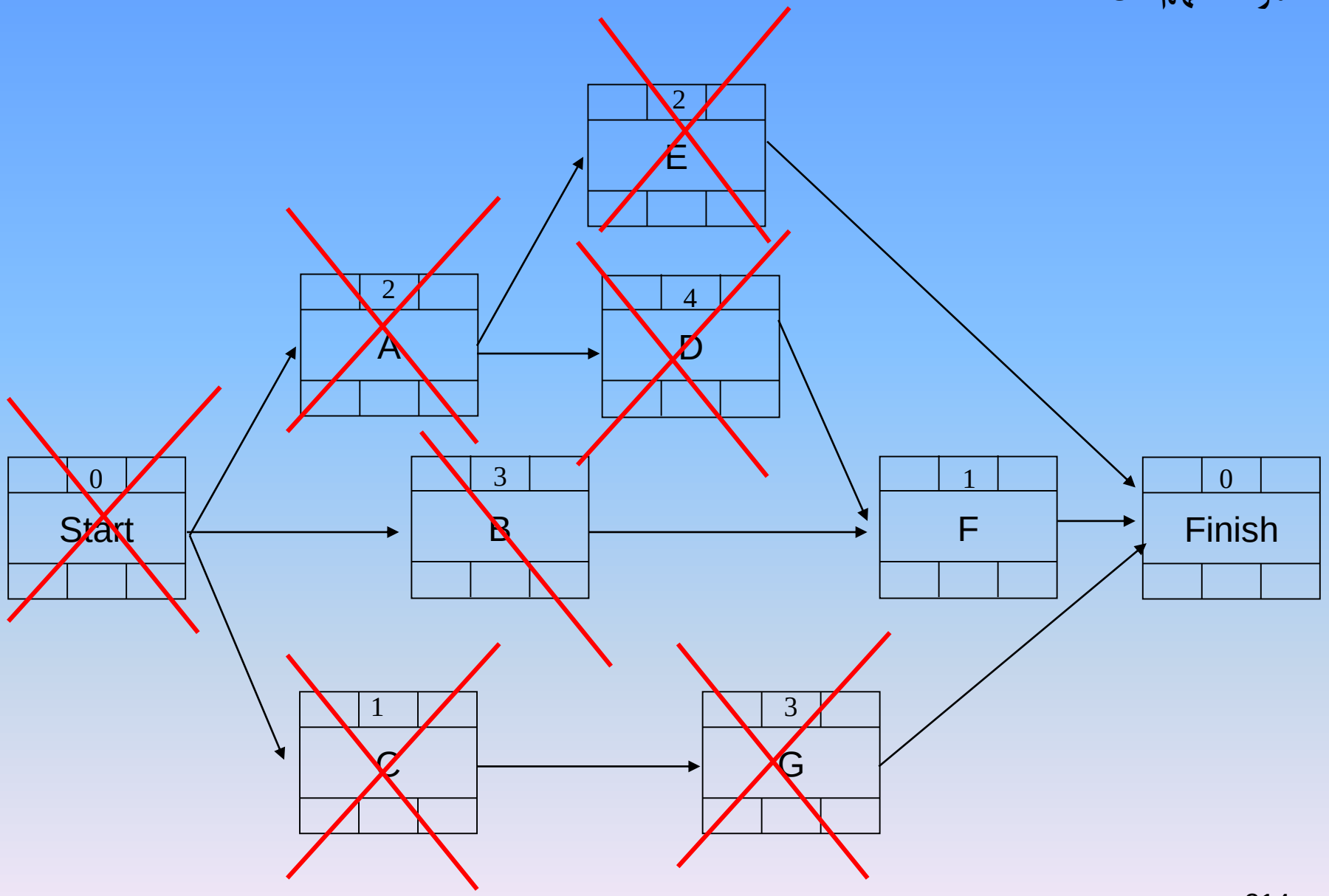


ACTIVITY	ES	LS	D	T									
				0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
A	0	0	2	2/0	2/0									
B	0	3	3							4/0	4/0	4/0		
C	0	3	1	0/3										
D	2	2	4			2/0	2/0	2/0	2/0					
E	2	5	2					0/5	0/5					
F	6	6	1											
G	1	4	3		0/4	0/4	0/4							
مقدار منبع P تخصیص داده نشده				2	2	2	2	2	2	0	0	0	4	
مقدار منبع Qتخصیص داده نشده				3	1	1	1	0	0	5	5	5	5	

مرحله هشتم : **T=7**

EAS={}

مرحله نهم : **T=8**

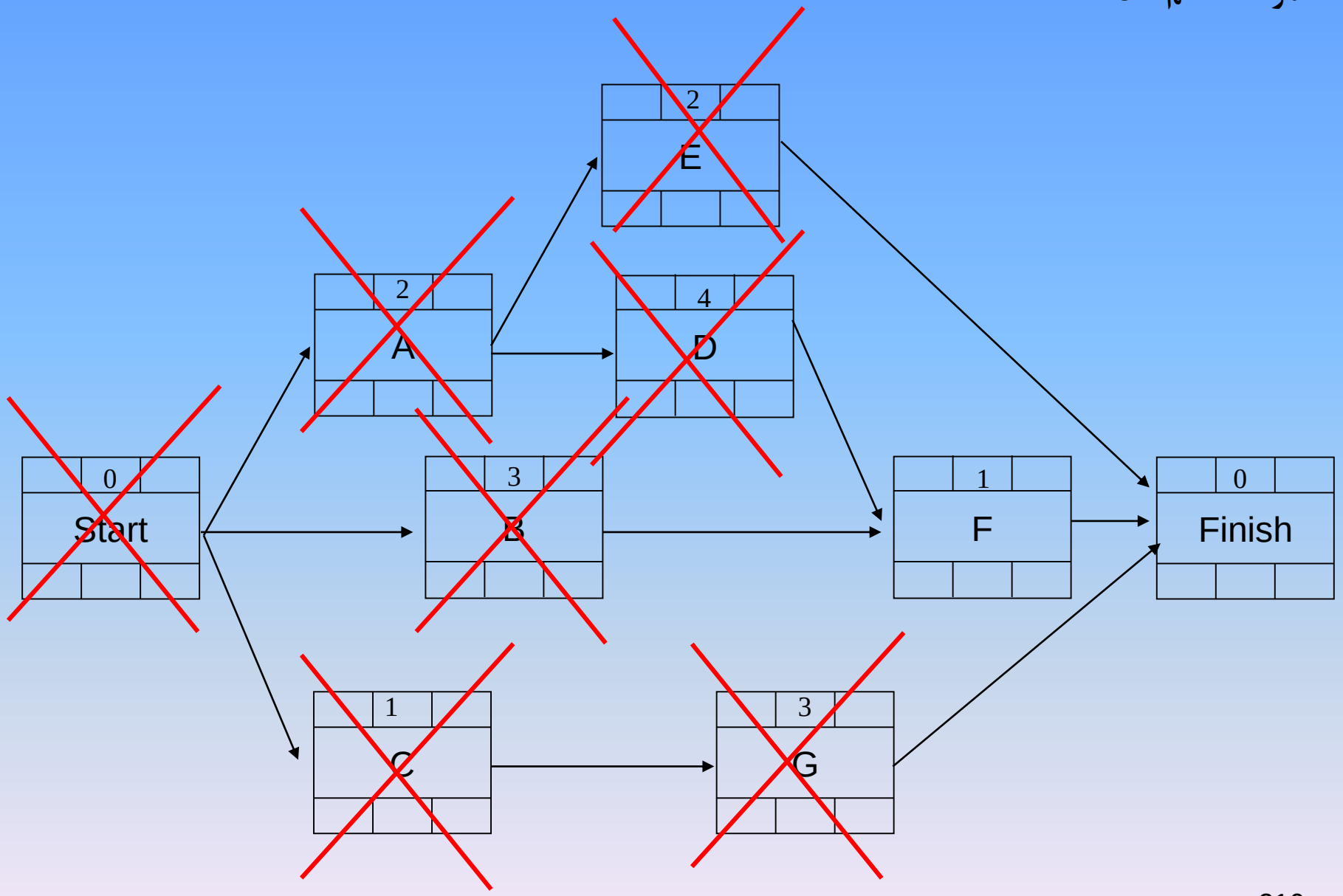


ACTIVITY	ES	LS	D	T									
				0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
A	0	0	2	2/0	2/0									
B	0	3	3							4/0	4/0	4/0		
C	0	3	1	0/3										
D	2	2	4			2/0	2/0	2/0	2/0					
E	2	5	2					0/5	0/5					
F	6	6	1											
G	1	4	3		0/4	0/4	0/4							
مقدار منبع P تخصیص داده نشده				2	2	2	2	2	2	0	0	0	4	
مقدار منبع Qتخصیص داده نشده				3	1	1	1	0	0	5	5	5	5	

مرحله نهم : **T=8**

EAS={}

مرحله دهم : T=9



ACTIVITY	ES	LS	D	T									
				0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
A	0	0	2	2/0	2/0									
B	0	3	3							4/0	4/0	4/0		
C	0	3	1	0/3										
D	2	2	4			2/0	2/0	2/0	2/0					
E	2	5	2					0/5	0/5					
F	6	6	1											
G	1	4	3		0/4	0/4	0/4							
مقدار منبع P تخصیص داده نشده				2	2	2	2	2	2	0	0	0	4	
مقدار منبع Qتخصیص داده نشده				3	1	1	1	0	0	5	5	5	5	

مرحله دهم : **T=9**

EAS={F}

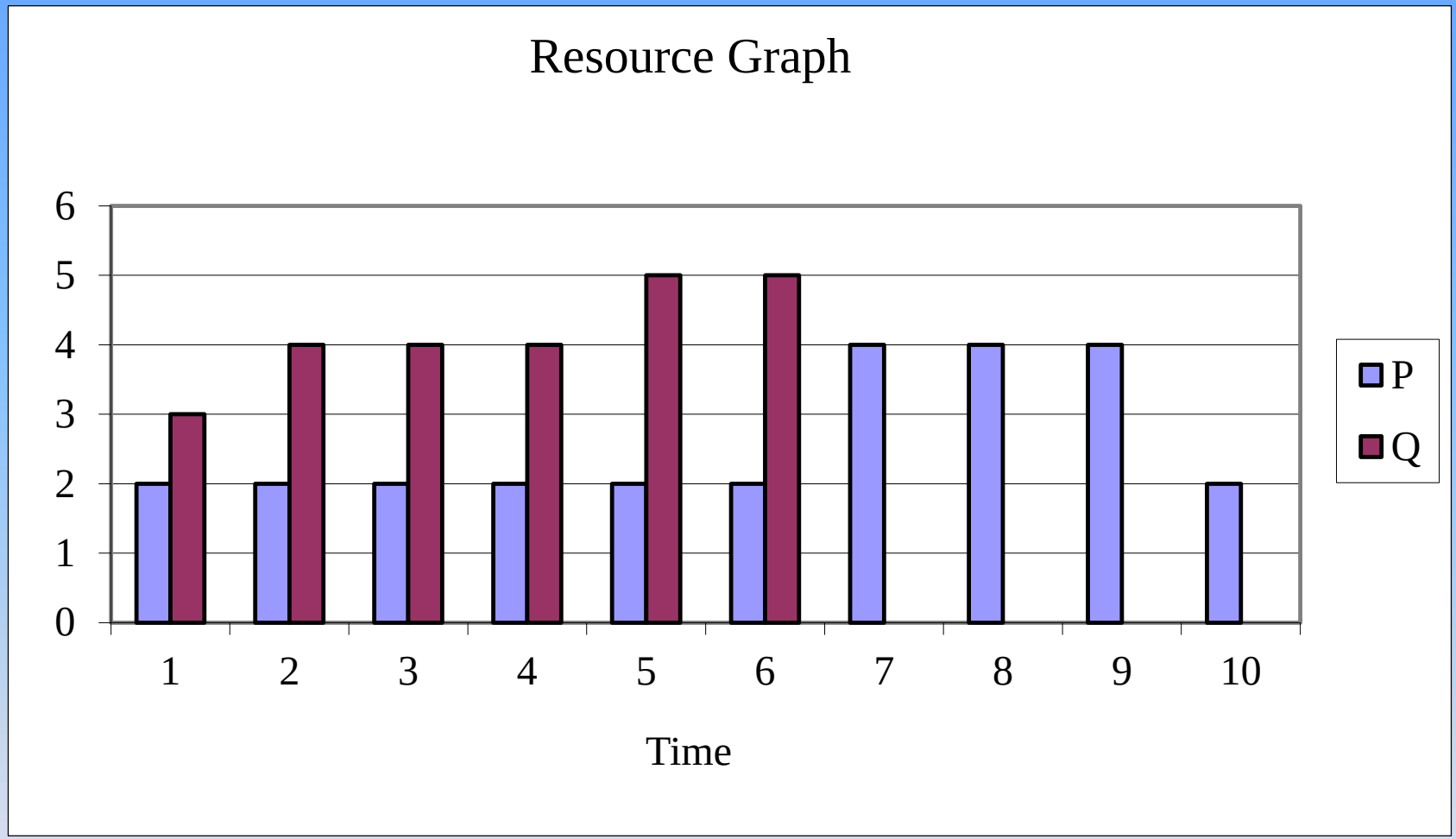
OSS: F

ACTIVITY	ES	LS	D	T									
				0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
A	0	0	2	2/0	2/0									
B	0	3	3							4/0	4/0	4/0		
C	0	3	1	0/3										
D	2	2	4			2/0	2/0	2/0	2/0					
E	2	5	2					0/5	0/5					
F	6	6	1										3/0	
G	1	4	3		0/4	0/4	0/4							
مقدار منبع P تخصیص داده نشده				2	2	2	2	2	2	0	0	0	1	
مقدار منبع Qتخصیص داده نشده				3	1	1	1	0	0	5	5	5	5	

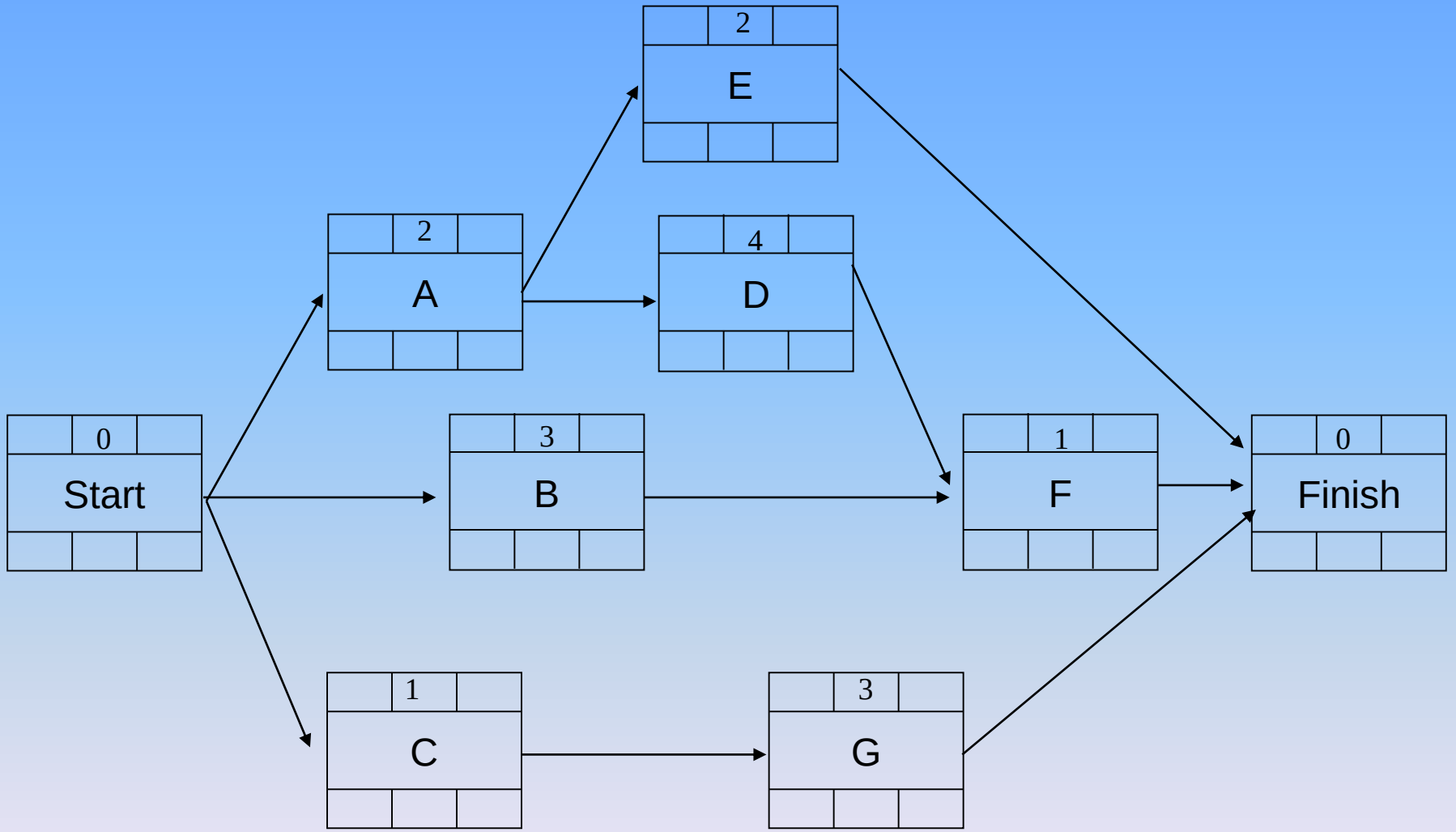
مرحله دهم : **T=9**

OSS: F ✓

EAS={F}


Resource Graph
6
5
4
3
2
1
0
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
Time
P
Q

تمرین

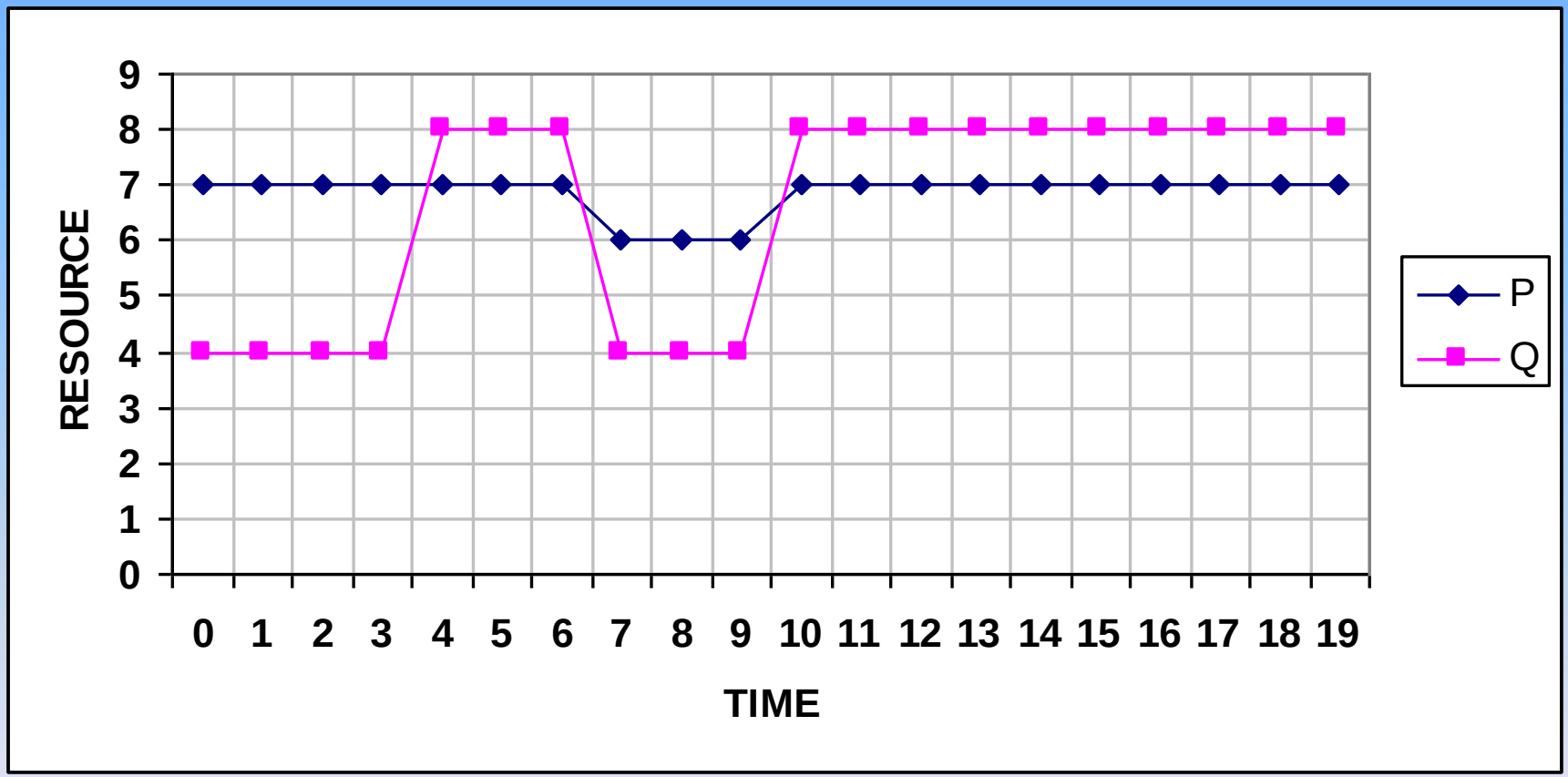


تمرین

در این پروژه، به دو نوع منبع نیاز است ماشین آلات ویژه (منبع نوع P) و کارگر (منبع نوع Q)
میزان نیاز فعالیتها به منابع در جدول زیر نشان داده شده است.

	A	B	C	D	E	F	G
P	**2**	**4**	**1**	**2**	**0**	**3**	**1**
Q	**1**	**2**	**3**	**3**	**3**	**3**	**4**

میزان منابع در دسترس



برنامه ریزی و کنترل پروژه

جزوه شماره ۶– PERT

استاد: امیرمسعود تاکی

تکنیکهای اولیهً زمانبندی پروژه در اواخر دههً ۱۹۵۰ میلادی ابداع شدند. اولین روش نظام‌مند که در جهت زمانبندی پروژه با هدف بهینگی توسعه داده شد، روش مسیر بحرانی[1] می‌باشد. این روش که تجزیه و تحلیل مسیر بحرانی نیز نام دارد[2] نتیجهً همکاری دوپونت[3] و رمینگتون رند[4] در سال ۱۹۵۷ میلادی است. در این روش مدت انجام فعالیتها به صورت یک مقدار عددی تخمین زده می شود و فرض می شود که تغییرات این مدت بسیار ناچیز و قابل چشم پوشی است. این شرایط در پروژه هایی عینیت دارد که سابقاً نمونه ای شبیه به آنها اجرا شده و یا تجاربی از مدت اجرای فعالیتها در دست باشد.

همزمان با معرفی روش مسیر بحرانی در زمانبندی پروژه ها، نیروی دریایی ایالات متحده با همکاری مشاوران مدیریت بوز آلن همیلتون[5] و همینطور شرکت هواپیماسازی لاکهید[6] ، تکنیک ارزیابی و مرور پروژه[7] را در زمانبندی پروژهً زیردریایی پولاریس ارایه کرد. موفقیت این روش در زمانبندی پروژهً پولاریس به گسترش استفاده از این روش در سالهای بعد منتهی شد. کاربرد اصلی روش ارزیابی و مرور برنامه در پروژه‌هایی است که عدم قطعیت در مدت انجام فعالیتها وجود دارد و نمی توان از یک مقدار عددی ثابت برای تخمین زمان انجام فعالیتها استفاده کرد.

[1] Critical Path Method (CPM)
[2] Critical Path Analysis (CPA)
[3] De Pont
[4] Remington Rand
[5] Booz-Allen Hamilton
[6] Lockheed Corporation
[7] Project Evaluation & Review Technique (PERT)

مثال

فعالیت طراحی موتور جدید در یک پروژه تحقیقاتی .

از ۱۰ نفر کارشناس مربوطه در خصوص مدت زمان فعالیت نظرخواهی شده و اطلاعات زیر حاصل شده است.

درصد کارشناسان دارای نظر	تعداد کارشناس دارای نظر	مدت زمان فعالیت (ماه)
۱۰/۰	۱	۱
۲۰/۰	۲	۲
۵۰/۰	۵	۳
۱۰/۰	۱	۵
۱۰/۰	۱	۶

میانگین مدت زمان: ۳.۱

واریانس مدت زمان: ۱.۸۹

استفاده از تخمین سه زمانه

در روش PERT غالباًاز ۳ تخمین برای مدت زمان فعالیت استفاده می‌کنند:

زمان خوش بینانه (a) Optimistic Time **:**

تعداد کمی از کارشناسان این حدس را زده‌اند و این تعداد با دید خوشبینانه زمان را پیش بینی کرده اند. و این زمان کمترین مقدار است.

زمان محتمل (m) Most Likely Time **:**

زمانی که بیشترین تعداد کارشناسان این حدس را زده‌اند و یا در بیشتر مواقع زمان انجام فعالیت این باشد.

زمان بد بینانه (b) Pessimistic Time **:**

تعداد کمی از کارشناسان این حدس را زده‌اند و این تعداد با دید بدبینانه زمان را پیش بینی کرده اند. و این زمان کمترین مقدار است.

مثال

فعالیت طراحی موتور جدید در یک پروژه تحقیقاتی .

از ۱۰ نفر کارشناس مربوطه در خصوص مدت زمان فعالیت نظرخواهی شده و اطلاعات زیر حاصل شده است.

مدت زمان فعالیت (ماه)	تعداد کارشناس دارای نظر	درصد کارشناسان دارای نظر	
۱	۱	۱۰/۰	a=1
۲	۲	۲۰/۰	
۳	۵	۵۰/۰	m=3
۵	۱	۱۰/۰	
۶	۱	۱۰/۰	b=6

فرمولهای تقریب میانگین و واریانس فعالیتها

میانگین مدت زمان فعالیت $E(D)= (a+4m+b)/6$

واریانس مدت زمان فعالیت

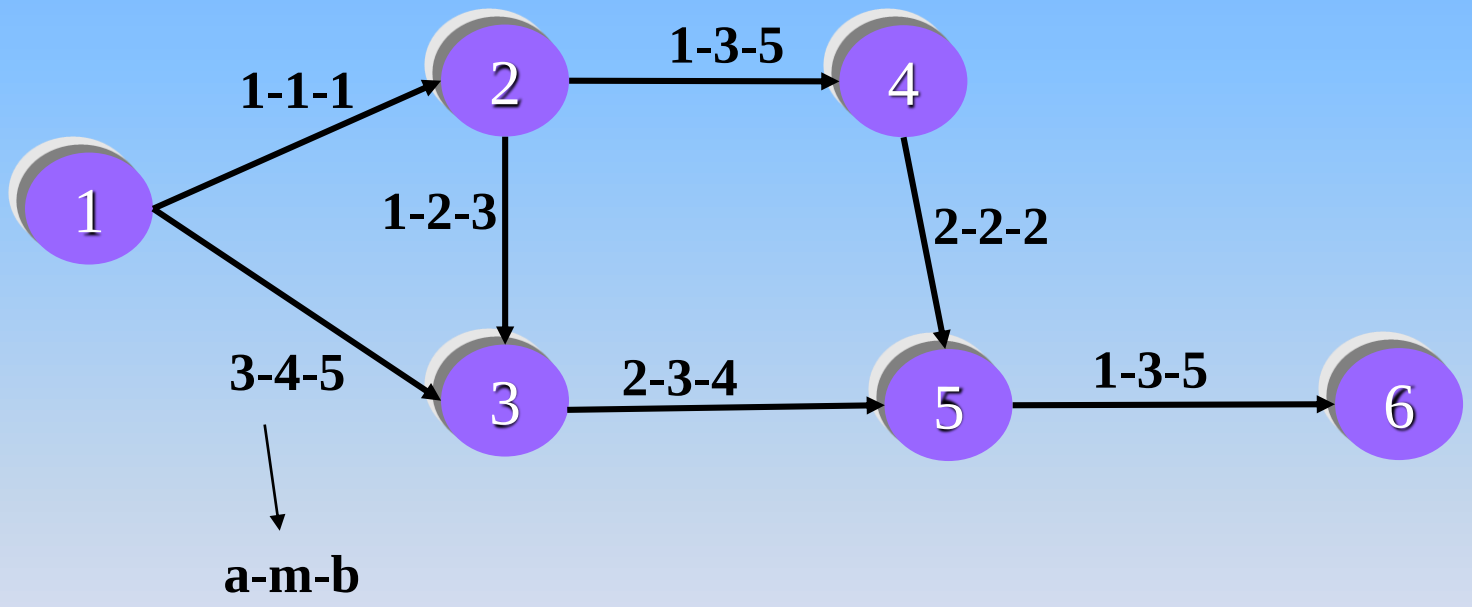
- $Var(D)= [(b-a)/6]^2$ سیستم بازه ٪۰ تا ٪۱۰۰
- $Var(D)= [(b-a)/3.2]^2$ سیستم بازه ٪۵ تا ٪۹۵

محاسبات زمانبندی در PERT

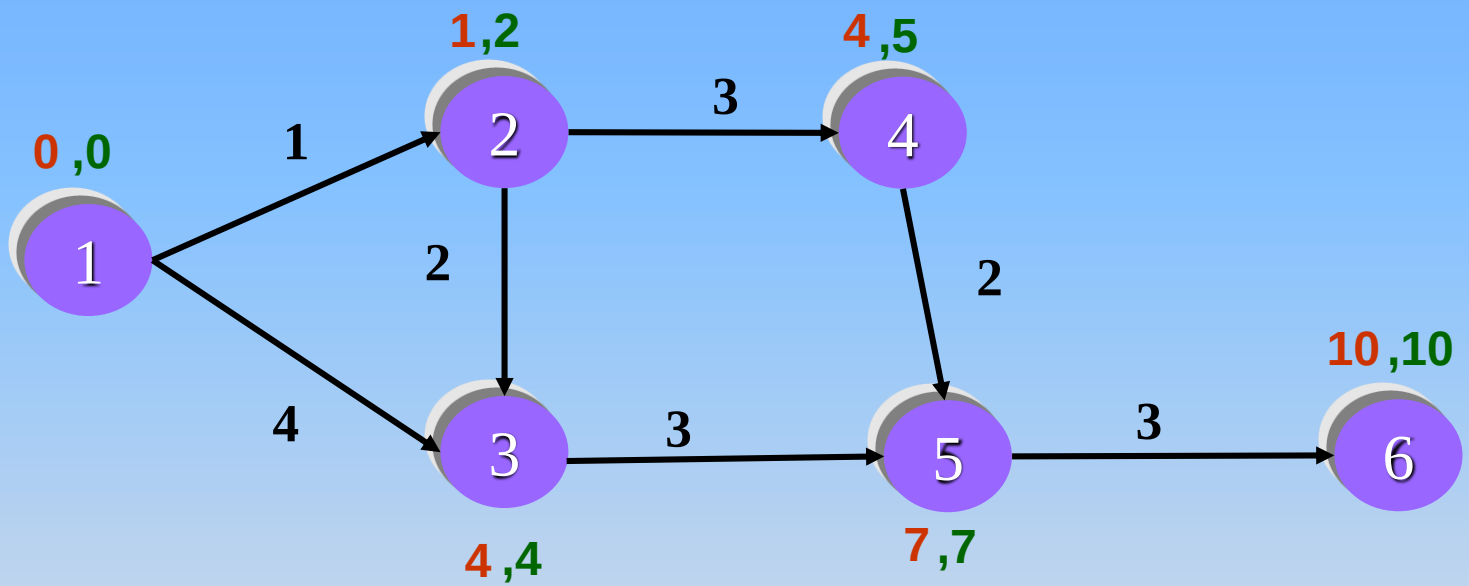
- گام اول در محاسبات زمانبندی بر اساس روش PERT محاسبه میانگین و انحراف معیار فعالیتهاست.
- گام دوم محاسبات رفت و برگشت با استفاده از میانگین زمان فعالیتهاست.
- گام سوم تشخیص مسیر بحرانی است.
- گام چهارم انجام تحلیل ها می‌باشد.

مثال

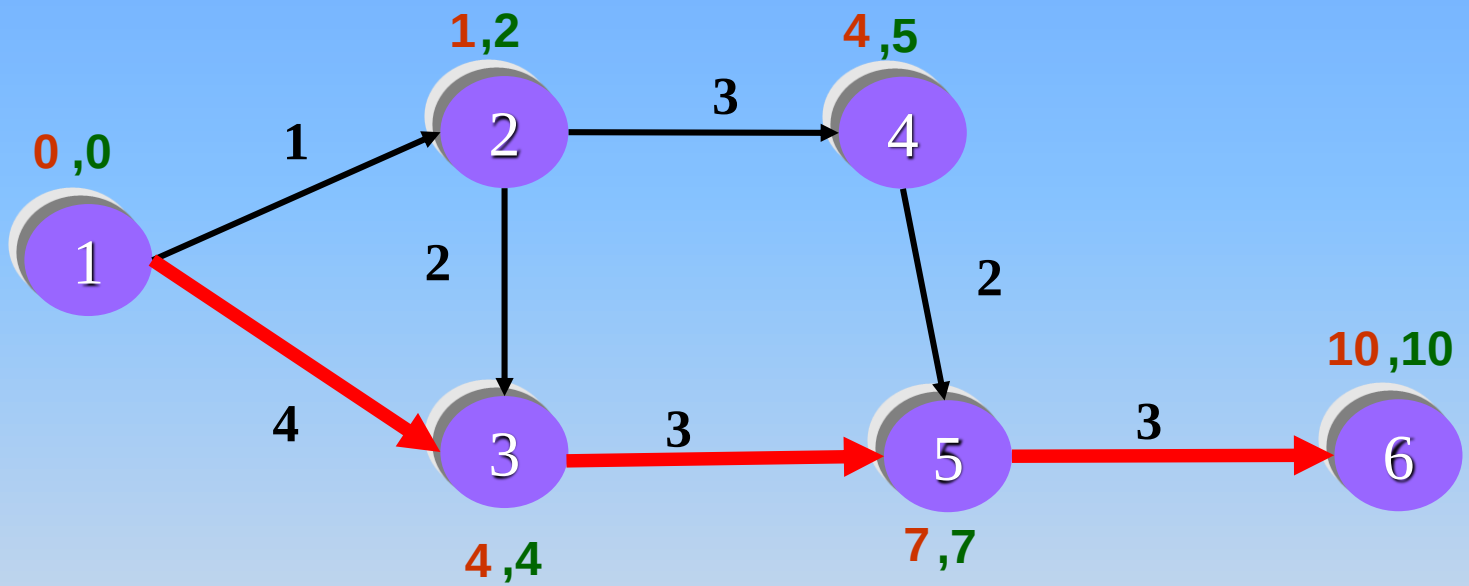
سیستم بازه ٪۰ تا ٪۱۰۰



فعالیت	1-2	1-3	2-3	2-4	3-5	4-5	5-6
میانگین مدت زمان	1	4	2	3	3	2	3
واریانس مدت زمان	0	$\frac{1}{9}$	$\frac{1}{9}$	$\frac{4}{9}$	$\frac{1}{9}$	0	$\frac{4}{9}$


0 ,0
1
1,2
2
4 ,5
4
10 ,10
6
4 ,4
3
7 ,7
5
1
3
2
4
3
2
3

تشخیص مسیر بحرانی



مسیرهای بحرانی شامل فعالیتهای ۳-۱ و ۵-۳ و ۶-۵ میباشد.

- مدت زمان اجرای پروژه برابر است با مجموع فعالیتهای مسیر بحرانی.
- اگر T برابر مدت زمان اجرای پروژه تعریف شود می‌توان گفت که T برابر مدت زمان مسیر بحرانی است یا به عبارتی T برابر مجموع مدت زمان فعالیتهای مسیر بحرانی است و چون زمان فعالیتها متغیر تصادفی(احتمالی)می‌باشد و مدت زمان آنها از هم مستقل است طبق قضیه حد مرکزی T دارای توزیع نرمال با میانگین زمان مسیر بحرانی و واریانس برابر مجموع واریانسهای فعالیتهای مسیر بحرانی است.

T=D(1-3)+D(3-5)+D(5-6)

$E[T]=E[D(1-3)]+E[D(3-5)]+E[D(5-6)]$ $E[T]=4+3+3=10$

$Var[T]=Var\,[D(1-3)]+Var\,[D(3-5)]+Var\,[D(5-6)]$ $Var[T]=\frac{1}{9}+\frac{1}{9}+\frac{4}{9}$

$=\frac{6}{9}$

$T \sim N(10, \frac{6}{9})$

مقادیر احتمال و سطوح اطمینان:

$$P(T \le H) = P(Z \le \frac{H - E(D)}{\sqrt{Var(D)}})$$

با محاسبه ی Z و استفاده از جداول مساحت های منحنی نرمال احتمال وقوع برای زمانهای کمتر از زمان H حساب می شود.

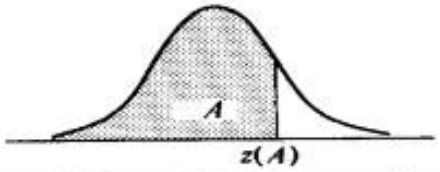
برای آگاهی از نحوه محاسبه احتمالات در توزیع نرمال استاندار ویدئوی زیر را ببینید:

https://www.aparat.com/v/TNt5d

با چه احتمالی پروژه در کمتر از ۱۱ روز به اتمام میرسد؟

$$P(T \le 11) = P(Z \le \frac{11-10}{\sqrt{\frac{6}{9}}}) = P(Z \le 1.5) = 0.9332$$

Entry is area A under the standard normal curve from $-\infty$ to $z(A)$



z	.00	.01	.02	.03	.04	.05	.06	.07	.08	.09
.0	.5000	.5040	.5080	.5120	.5160	.5199	.5239	.5279	.5319	.5359
.1	.5398	.5438	.5478	.5517	.5557	.5596	.5636	.5675	.5714	.5753
.2	.5793	.5832	.5871	.5910	.5948	.5987	.6026	.6064	.6103	.6141
.3	.6179	.6217	.6255	.6293	.6331	.6368	.6406	.6443	.6480	.6517
.4	.6554	.6591	.6628	.6664	.6700	.6736	.6772	.6808	.6844	.6879
.5	.6915	.6950	.6985	.7019	.7054	.7088	.7123	.7157	.7190	.7224
.6	.7257	.7291	.7324	.7357	.7389	.7422	.7454	.7486	.7517	.7549
.7	.7580	.7611	.7642	.7673	.7704	.7734	.7764	.7794	.7823	.7852
.8	.7881	.7910	.7939	.7967	.7995	.8023	.8051	.8078	.8106	.8133
.9	.8159	.8186	.8212	.8238	.8264	.8289	.8315	.8340	.8365	.8389
1.0	.8413	.8438	.8461	.8485	.8508	.8531	.8554	.8577	.8599	.8621
1.1	.8643	.8665	.8686	.8708	.8729	.8749	.8770	.8790	.8810	.8830
1.2	.8849	.8869	.8888	.8907	.8925	.8944	.8962	.8980	.8997	.9015
1.3	.9032	.9049	.9066	.9082	.9099	.9115	.9131	.9147	.9162	.9177
1.4	.9192	.9207	.9222	.9236	.9251	.9265	.9279	.9292	.9306	.9319
1.5	.9332	.9345	.9357	.9370	.9382	.9394	.9406	.9418	.9429	.9441
1.6	.9452	.9463	.9474	.9484	.9495	.9505	.9515	.9525	.9535	.9545
1.7	.9554	.9564	.9573	.9582	.9591	.9599	.9608	.9616	.9625	.9633
1.8	.9641	.9649	.9656	.9664	.9671	.9678	.9686	.9693	.9699	.9706
1.9	.9713	.9719	.9726	.9732	.9738	.9744	.9750	.9756	.9761	.9767
2.0	.9772	.9778	.9783	.9788	.9793	.9798	.9803	.9808	.9812	.9817
2.1	.9821	.9826	.9830	.9834	.9838	.9842	.9846	.9850	.9854	.9857
2.2	.9861	.9864	.9868	.9871	.9875	.9878	.9881	.9884	.9887	.9890
2.3	.9893	.9896	.9898	.9901	.9904	.9906	.9909	.9911	.9913	.9916
2.4	.9918	.9920	.9922	.9925	.9927	.9929	.9931	.9932	.9934	.9936
2.5	.9938	.9940	.9941	.9943	.9945	.9946	.9948	.9949	.9951	.9952
2.6	.9953	.9955	.9956	.9957	.9959	.9960	.9961	.9962	.9963	.9964
2.7	.9965	.9966	.9967	.9968	.9969	.9970	.9971	.9972	.9973	.9974
2.8	.9974	.9975	.9976	.9977	.9977	.9978	.9979	.9979	.9980	.9981
2.9	.9981	.9982	.9982	.9983	.9984	.9984	.9985	.9985	.9986	.9986
3.0	.9987	.9987	.9987	.9988	.9988	.9989	.9989	.9989	.9990	.9990
3.1	.9990	.9991	.9991	.9991	.9992	.9992	.9992	.9992	.9993	.9993
3.2	.9993	.9993	.9994	.9994	.9994	.9994	.9994	.9995	.9995	.9995
3.3	.9995	.9995	.9995	.9996	.9996	.9996	.9996	.9996	.9996	.9997
3.4	.9997	.9997	.9997	.9997	.9997	.9997	.9997	.9997	.9997	.9998

با چه احتمالی پروژه بین ۹ تا ۱۱ روز به اتمام میرسد؟

$$P(9 \le T \le 11) = P(\frac{9-10}{\sqrt{\frac{6}{9}}} \le Z \le \frac{11-10}{\sqrt{\frac{6}{9}}}) = P(-1.5 \le Z \le 1.5)$$

$$= P(Z \le 1.5) - P(Z \le -1.5) = 0.93 - 0.07 = 0.86$$

زمانی که به احتمال ۹۰ درصد پروژه قبل از آن به اتمام رسیده است؟

$$P(T \le H) = P(Z \le \frac{H-10}{\sqrt{\frac{4}{9}}}) = 0.90$$

$$\frac{H-10}{\sqrt{\frac{4}{9}}} = 1.28 \quad \Rightarrow \quad \textbf{H=10.85}$$