بنام خدا

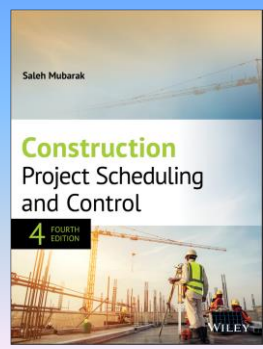
# روش های برنامه ریزی و کنترل پروژه

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:**

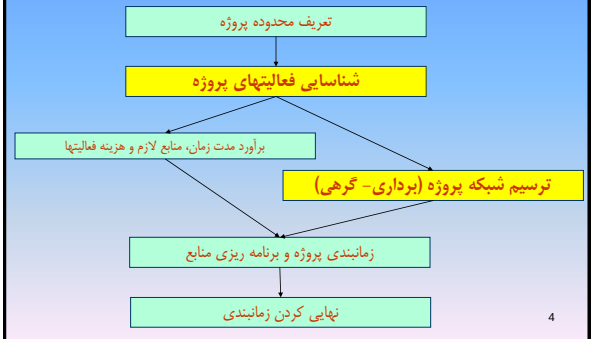
**www.construction.blog.ir**

**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.**

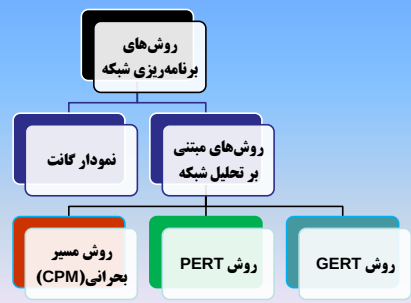
- Automation in Construction
- Journal of Construction Engineering and Management – ASCE
- Journals in the field of Construction Management



## فرآیند برنامه‌ریزی در یک نگاه



## دسته‌بندی کلی روش‌های برنامه‌ریزی شبکه:




6

## دسته‌بندی کلی روش‌های برنامه‌ریزی شبکه:

۱- روش نمودار گانت:(Gantt Chart)

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

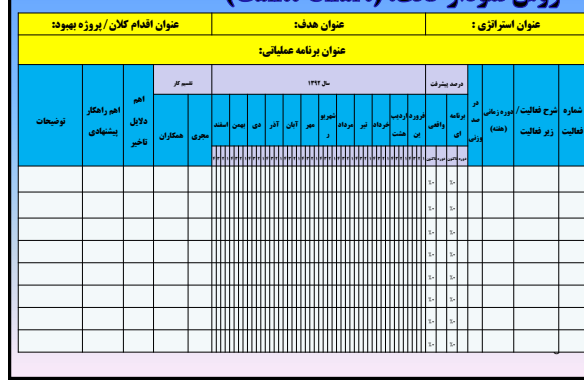
**۱-۲- روش مسیر بحرانی:** در این روش فعالیت‌ها و زمان‌های انجام هر فعالیت مشخص و قطعی هستند. (Critical Path Method) یا (CPM)

**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)

**۳-۲- 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)

5

## روش نمودار گانت: (Gantt Chart)




## 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.

7

## 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.

9

## 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

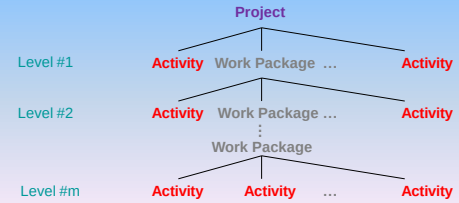
10

## 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.



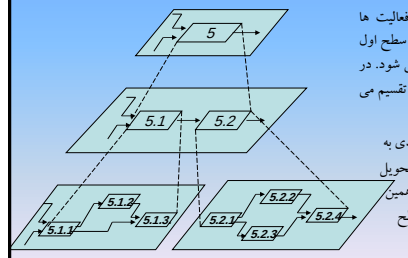

11

## 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.




12

## 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.

13

## 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؟

14

## 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؟

15

## شناسایی فعالیتهای پروژه

*Identify Project Activites*

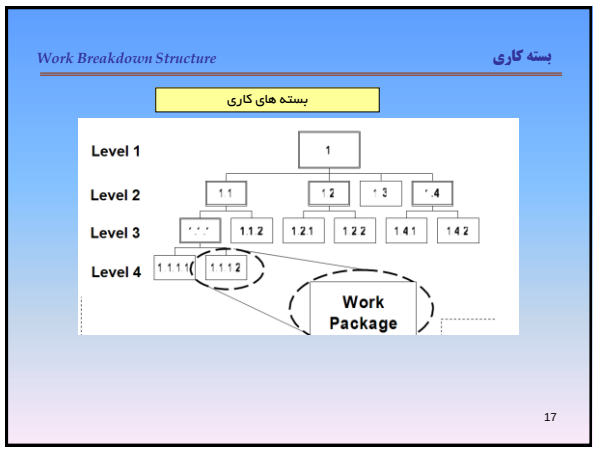
جمع بندی شناسایی فعالیتها

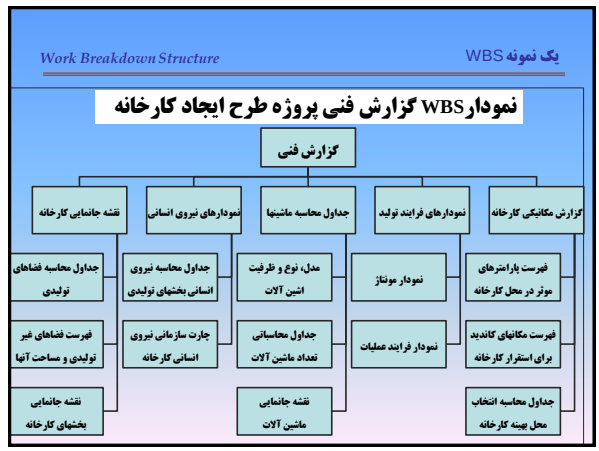
- لیست فعالیتهای پروژه
- الگوسازی **WBS** در سازمانهایی که پروژه های یکسان دارند.
- دیکشنری **WBS**

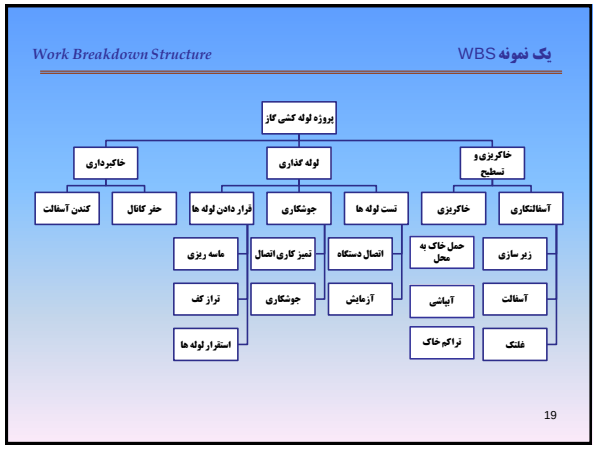
**تعریف فعالیت Activity or Task**

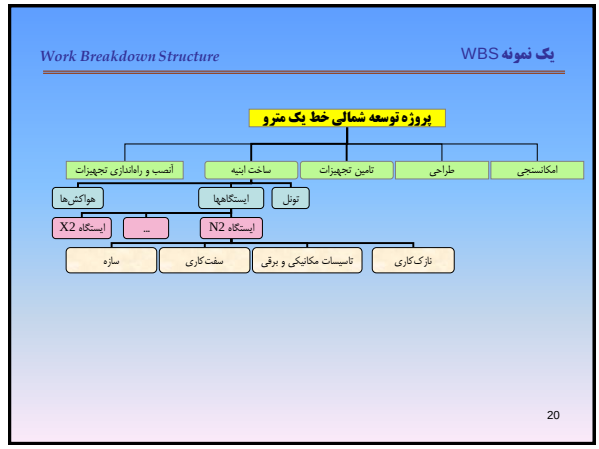
**فعالیت کوچکترین واحد کنترل در نمودار WBS است که سطح بعدی نداشته و دارای زمان بوده و معمولا نیازمند منابع و هزینه است.**

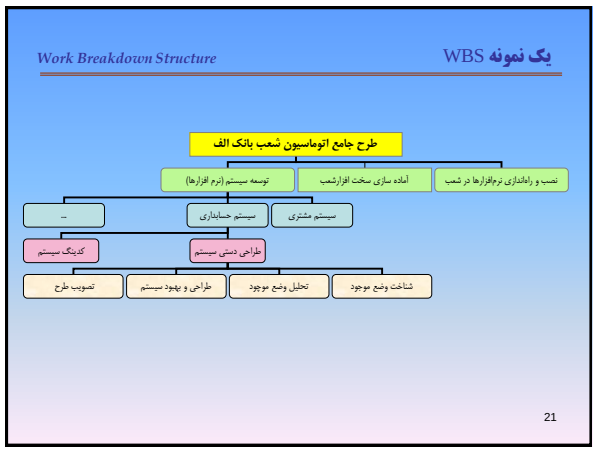
16

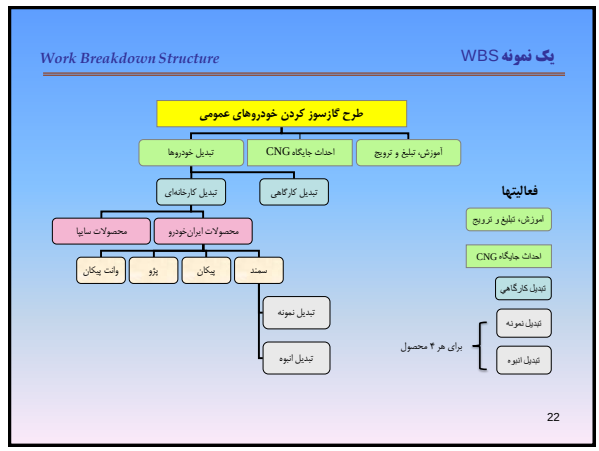

Work Breakdown Structure
بسته کاری
بسته های کاری
Level 1
Level 2
Level 3
Level 4
1
1.1
1.2
1.3
1.4
1.1.2
1.2.1
1.2.2
1.4.1
1.4.2
1.1.1.1
1.1.1.2
Work Package
17

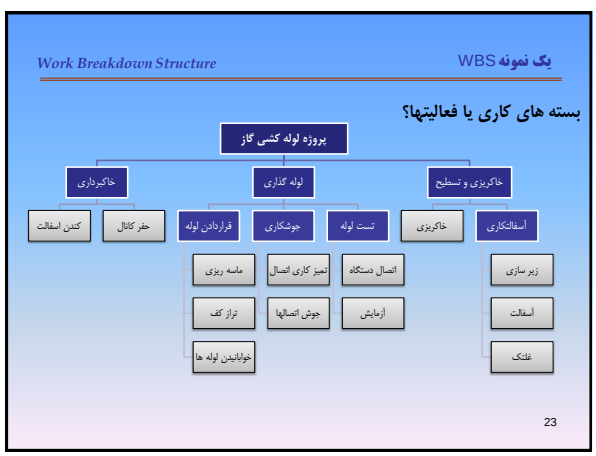

Work Breakdown Structure
یک نمونه WBS
نمودار WBS گزارش فنی پروژه طرح ایجاد کارخانه
گزارش فنی
نقشه جانمایی کارخانه
نمودارهای نیروی انسانی
جداول محاسبه ماشینها
نمودارهای فرایند تولید
گزارش مکانیکی کارخانه
جداول محاسبه فضاهای تولیدی
جداول محاسبه نیروی انسانی بخشهای تولیدی
مدل، نوع و ظرفیت اشین آلات
نمودار مونتاژ
فهرست پارامترهای موثر در محل کارخانه
فهرست فضاهای غیر تولیدی و مساحت آنها
چارت سازمانی نیروی انسانی کارخانه
جداول محاسباتی تعداد ماشین آلات
نمودار فرایند عملیات
فهرست مکانهای کاندید برای استقرار کارخانه
نقشه جانمایی بخشهای کارخانه
نقشه جانمایی ماشین آلات
جداول محاسبه انتخاب محل بهینه کارخانه

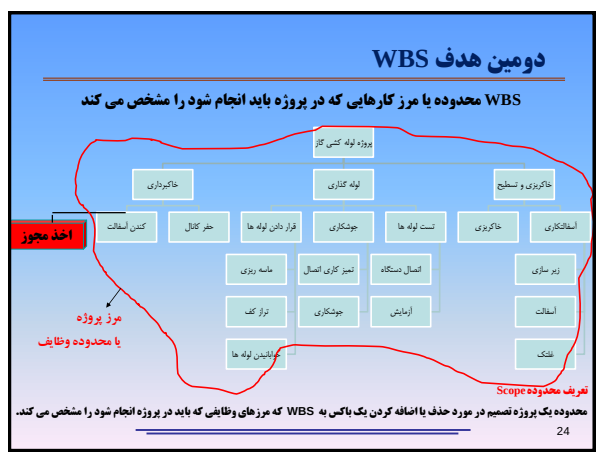

Work Breakdown Structure
یک نمونه WBS
پروژه لوله کشی گاز
خاکبرداری
لوله گذاری
خاکریزی و تسطیح
کندن آسفالت
حفر کانال
قرار دادن لوله ها
جوشکاری
تست لوله ها
خاکریزی
آسفالتکاری
ماسه ریزی
تراز کف
استقرار لوله ها
تمیز کاری اتصال
جوشکاری
اتصال دستگاه
آزمایش
حمل خاک به محل
آبپاشی
تراکم خاک
زیر سازی
آسفالت
غلتک
19


Work Breakdown Structure
یک نمونه WBS
پروژه توسعه شمالی خط یک مترو
امکانسنجی
طراحی
تامین تجهیزات
ساخت ابنیه
نصب و راه‌اندازی تجهیزات
تونل
ایستگاهها
هواکش‌ها
ایستگاه N2
...
ایستگاه X2
نازک‌کاری
تاسیسات مکانیکی و برقی
سفت‌کاری
سازه
20


Work Breakdown Structure
یک نمونه WBS
طرح جامع اتوماسیون شعب بانک الف
نصب و راه‌اندازی نرم‌افزارها در شعب
آماده سازی سخت افزارشعب
توسعه سیستم (نرم افزارها)
سیستم مشتری
سیستم حسابداری
...
طراحی دستی سیستم
کدینگ سیستم
شناخت وضع موجود
تحلیل وضع موجود
طراحی و بهبود سیستم
تصویب طرح
21


Work Breakdown Structure
یک نمونه WBS
طرح گازسوز کردن خودروهای عمومی
آموزش، تبلیغ و ترویج
احداث جایگاه CNG
تبدیل خودروها
تبدیل کارگاهی
تبدیل کارخانه‌ای
محصولات سایپا
محصولات ایران‌خودرو
سمند
پیکان
پژو
وانت پیکان
تبدیل نمونه
تبدیل انبوه
فعالیتها
آموزش، تبلیغ و ترویج
احداث جایگاه CNG
تبدیل کارگاهی
تبدیل نمونه
تبدیل انبوه
برای هر ۴ محصول
22


Work Breakdown Structure
یک نمونه WBS
بسته های کاری یا فعالیتها؟
پروژه لوله کشی گاز
خاکبرداری
لوله گذاری
خاکریزی و تسطیح
کندن اسفالت
حفر کانال
قراردادن لوله
جوشکاری
تست لوله
خاکریزی
آسفالتکاری
ماسه ریزی
تراز کف
خوابانیدن لوله ها
تمیز کاری اتصال
جوش اتصالها
اتصال دستگاه
آزمایش
زیر سازی
آسفالت
غلتک
23


دومین هدف WBS
WBS محدوده یا مرز کارهایی که در پروژه باید انجام شود را مشخص می کند
پروژه لوله کشی گاز
خاکبرداری
لوله گذاری
خاکریزی و تسطیح
کندن آسفالت
حفر کانال
قرار دادن لوله ها
جوشکاری
تست لوله ها
خاکریزی
آسفالتکاری
اخذ مجوز
ماسه ریزی
تمیز کاری اتصال
اتصال دستگاه
زیر سازی
تراز کف
جوشکاری
آزمایش
آسفالت
خوابانیدن لوله ها
غلتک
مرز پروژه
یا محدوده وظایف
تعریف محدوده Scope
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.
24

# ایجاد شبکه پروژه

25



## مراحل ایجاد شبکه پروژه

شناخت فعالیتها (بسته‌های کاری)

تعیین زمان ،توالی و روابط بین فعالیتها

ترسیم 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.

26



## 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

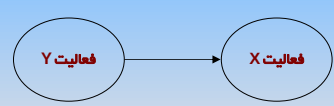
وابستگی‌های بین فعالیتهای اجرایی و محیط خارج از پروژه موردنظر است.

27



## تعیین توالی فعالیتها (بسته‌های کاری)

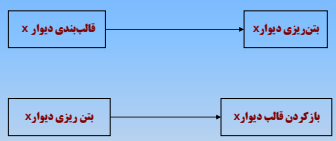
**تعریف :** به فعالیت Y پیش‌نیاز فعالیت X گفته می‌شود اگر انجام فعالیت X به انجام فعالیت Y وابسته باشد.




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

28

چند مثال








مستندسازی توالی فعالیتها

جدول تعیین پیشنیاز فعالیتها

| کد فعالیت | عنوان فعالیت | پیشنیازها | | |
|---|---|---|---|---|
| | | الزامی | ترجیحی | خارجی |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |





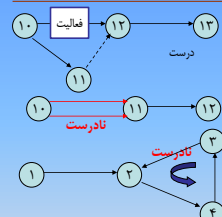
ترسیم شبکه پروژه

انواع شبکه پروژه

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



## 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.

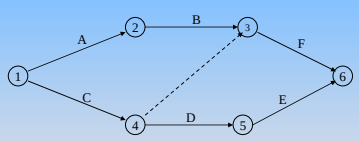
۴. در شبکه حلقه یا LOOP ایراد مفهومی ایجاد می کند.

۵. برای تعریف برخی از وابستگی های بین فعالیتها می توانیم از فعالیت موهومیDummy 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



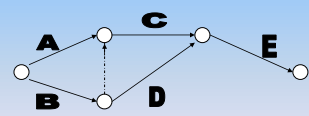

| کد فعالیت | پیشنیاز |
|---|---|
| A | - |
| B | A |
| C | - |
| D | C |
| E | D |
| F | B;C |

**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 |

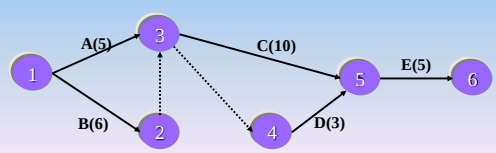







مثال

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








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 $= \mathbf{Max}\{ES_k + D_{ki}\}$ 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

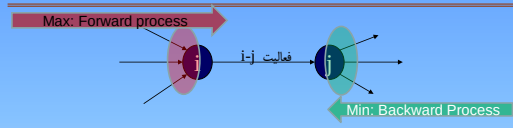
دیرترین تاریخ ممکن برای وقوع یک رویداد (LF) دیرترین تاریخی است که ممکن است همه فعالیتهایی که به آن رویداد می رسند انجام گیرند بدون آنکه در تاریخ تکمیل پروژه اثری بگذارد.

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

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



## محاسبات زمانبندی در شبکه برداری

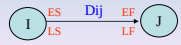



زودترین زمان وقوع گره **i** = **ES** زودترین زمان شروع فعالیت **ij**

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

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

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



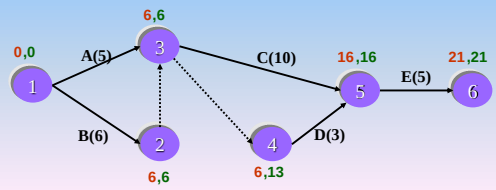

**سوال:** به نظر شما اختلاف LF – EF معرف چه برهه ای در انجام فعالیتهاست؟



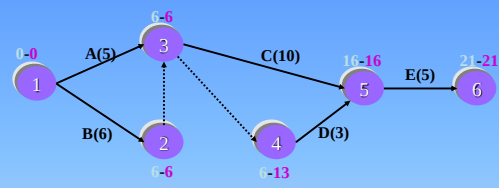
## محاسبات زمانبندی پروژه در شبکه‌های برداری

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 |

## مفهوم شناوری و مسیر بحرانی:

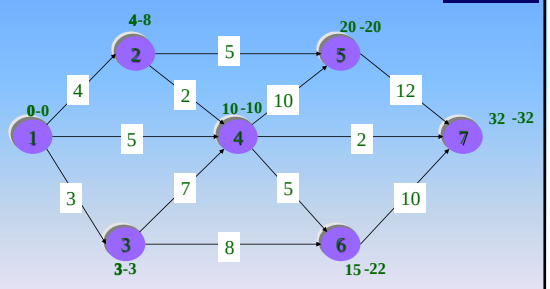
- شناوری یک مسیر عبارت است از: اختلاف بین کل زمان لازم برای تکمیل پروژه و جمع زمانهای فعالیتهای تشکیل دهنده ی آن مسیر. برای یک مسیر با فعالیتهای ۱, ۲ , ۳ ,..., m شناوری برابر است:
- شناوری راه: Ec-Es-(D1+D2+…+Dm)

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.

42

مثال




41

## 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)

44

**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 |

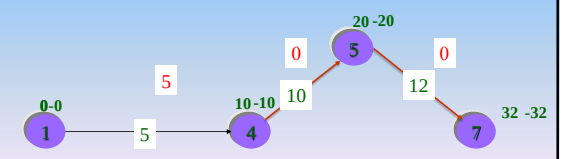
## شناوری کل:

- 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:





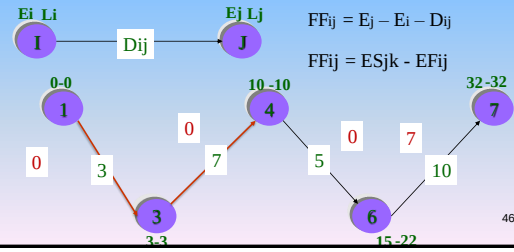

## شناوری آزاد:

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.

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

$FF_{ij} = ES_{jk} - EF_{ij}$






## 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.

$IFij = Max\{0 ; E_j - D_{ij} - L_i\}$

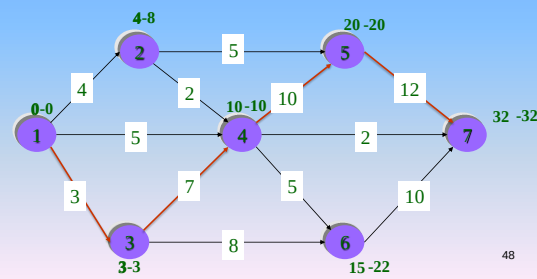
- شناوری مستقل همیشه مثبت است.
- رابطه ی زیر همواره بین شناوری های فعالیتهای برقرار است:

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



## 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= ESjk - EFi

| 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 |

49

## 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.

50

## 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)

51

## چند نکته در ترسیم شبکه گره ای

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

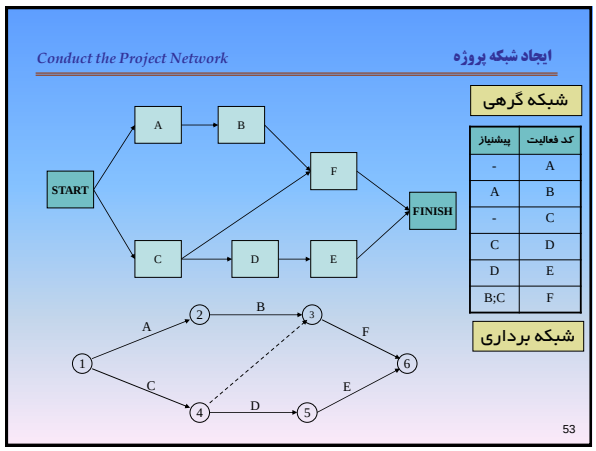
۲) شبکه گره‌ای حتماً با گره شروع آغاز می شود و سپس تمام فعالیت های بدون پیش نیاز به گره شروع متصل می شود.

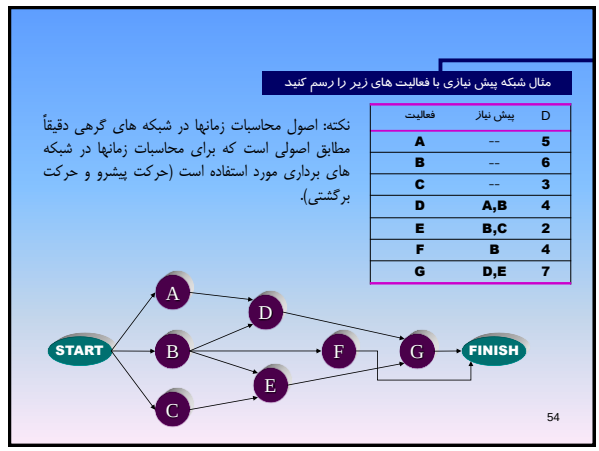
۳) شبکه گره ای حتماً با گره پایان به اتمام می رسد لذا فعالیت هایی که پس نیاز ندارند به گره پایان متصل می شوند.

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.

52


Conduct the Project Network
ایجاد شبکه پروژه
شبکه گرهی
کد فعالیت
پیشنیاز
A -
B A
C -
D C
E D
F B;C
START
FINISH
شبکه برداری
53


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).
START
FINISH
54

زمانبندی پروژه:
زمانبندی شبکه های گرهی
55

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.
56

## 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 $i\}$

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**

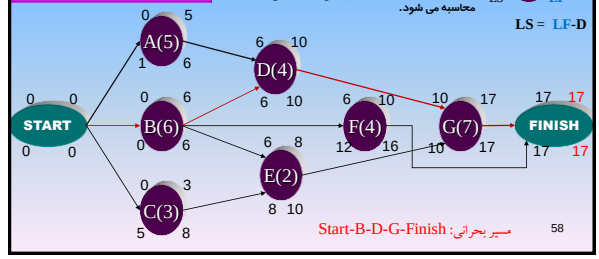
در حرکت رفت مقدار زودترین زمان ممکن یا ES محاسبه می شود

EF=ES+D

ES EF
i (D)
LS LF

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

LS = LF-D




مسیر بحرانی: Start-B-D-G-Finish



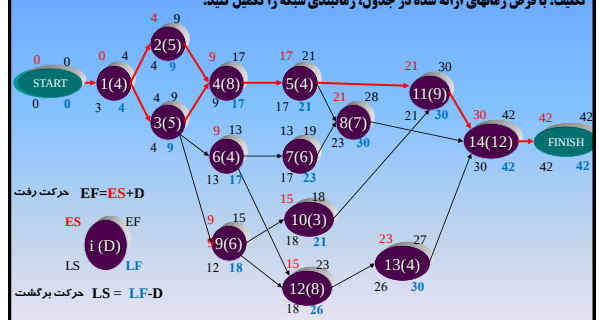
**مثال: پروژه ی ساختمانی**

| 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 | ۸و۱۱و۱۳ | 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.

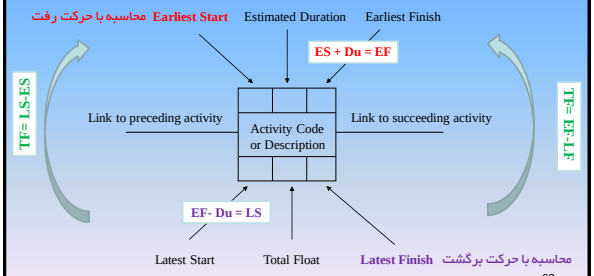
•در یک شبکه، فعالیت‌هایی با شناوری صفر، بحرانی هستند. یعنی فعالیت‌هایی که زودترین و دیرترین زمان شروع و یا پایانشان باهم برابر است (LF=EF یا LS=ES) بحرانی محسوب می‌شوند.

•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.





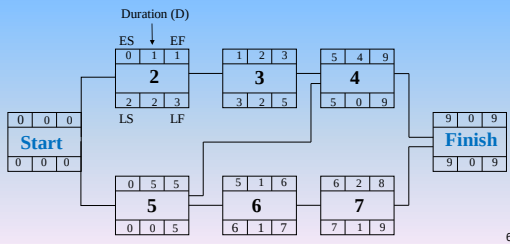
محاسبات زمانبندی در شبکه گرهی







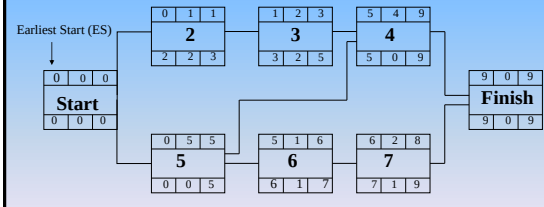

مثالی از زمانبندی در شبکه های گرهی



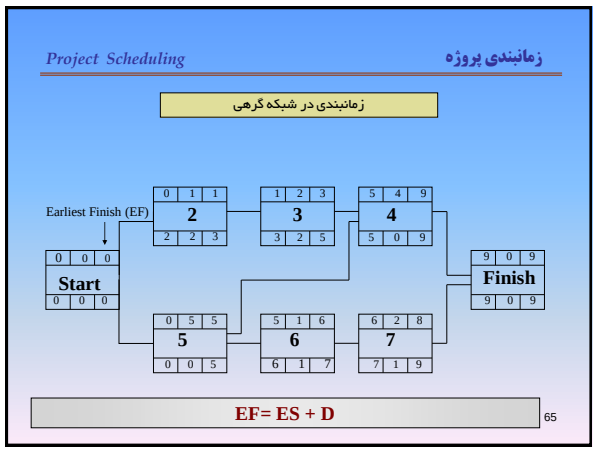


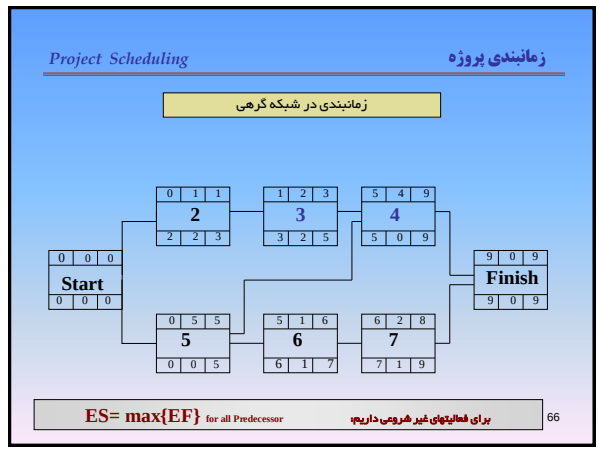


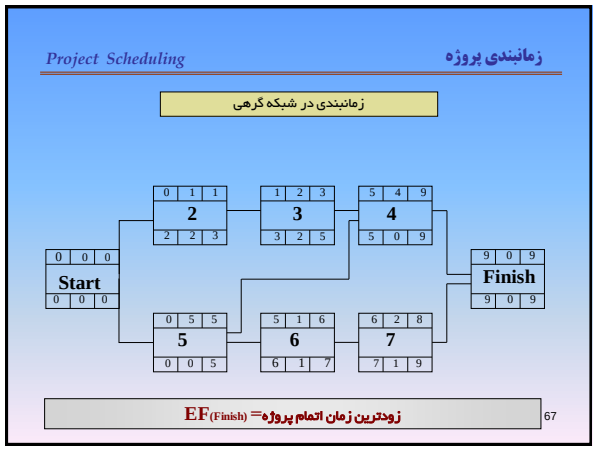

زمانبندی در شبکه گرهی

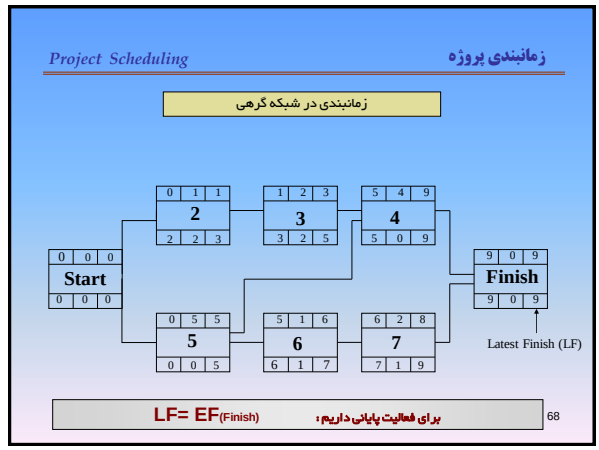


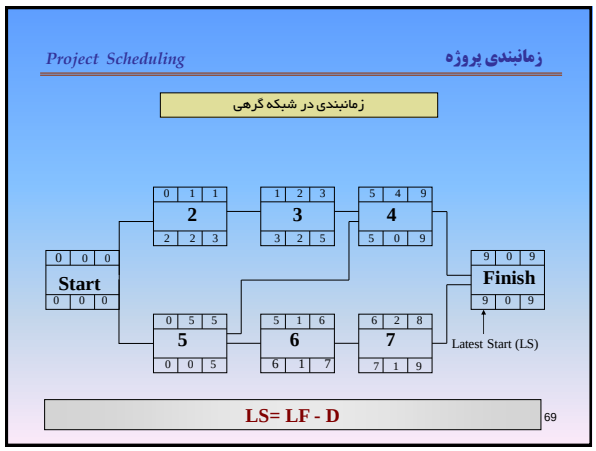

ES= 0 برای فعالیت هرومی داریم ،

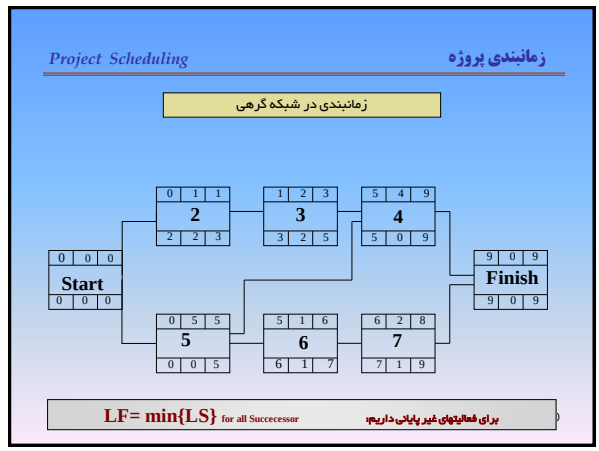

Project Scheduling
زمانبندی پروژه
زمانبندی در شبکه گرهی
Earliest Finish (EF)
Start
2
3
4
5
6
7
Finish
EF= ES + D
65

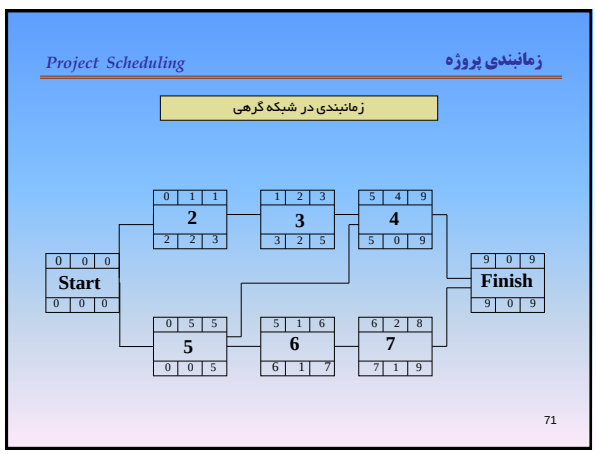

Project Scheduling
زمانبندی پروژه
زمانبندی در شبکه گرهی
Start
2
3
4
5
6
7
Finish
ES= max{EF} for all Predecessor
برای فعالیتهای غیر شروعی داریم:
66

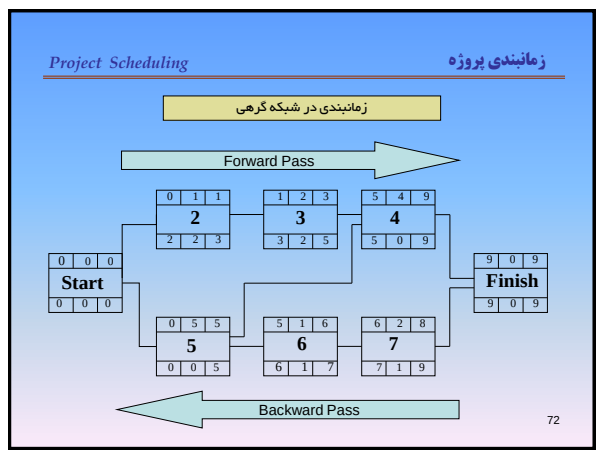

Project Scheduling
زمانبندی پروژه
زمانبندی در شبکه گرهی
Start
2
3
4
5
6
7
Finish
EF(Finish) =زودترین زمان اتمام پروژه
67


Project Scheduling
زمانبندی پروژه
زمانبندی در شبکه گرهی
Start
2
3
4
5
6
7
Finish
Latest Finish (LF)
LF= EF(Finish)
برای فعالیت پایانی داریم :
68


Project Scheduling
زمانبندی پروژه
زمانبندی در شبکه گرهی
Start
Finish
2
3
4
5
6
7
Latest Start (LS)
LS= LF - D
69


Project Scheduling
زمانبندی پروژه
زمانبندی در شبکه گرهی
Start
Finish
2
3
4
5
6
7
LF= min{LS} for all Succecessor
برای فعالیتهای غیر پایانی داریم:


Project Scheduling
زمانبندی پروژه
زمانبندی در شبکه گرهی
Start
Finish
2
3
4
5
6
7
71


Project Scheduling
زمانبندی پروژه
زمانبندی در شبکه گرهی
Forward Pass
Start
Finish
2
3
4
5
6
7
Backward Pass
72

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:

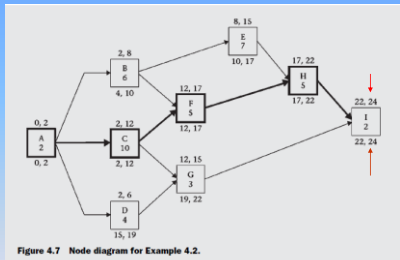



Figure 4.7 Node diagram for Example 4.2.

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.

77

## برآورد مدت زمان فعالیتها

*Activity Duration Estimating*

روشهای تخمین مدت زمان فعالیت

- ۱- از طریق حجم کاری فعالیت
- ۲- نظرات کارشناسی
- ۳- آرای گروهی و روش دلفی
- ۴- استفاده از سوابق اطلاعاتی
- ۵- از طریق تخمین سه‌زمانه
- ۶- شکستن فعالیت به اجزای کوچکتر

78

## برآورد مدت زمان فعالیتها

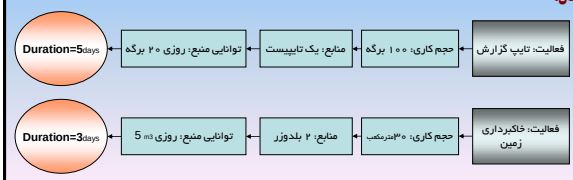
*Activity Duration Estimating*

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:**




## برآورد مدت زمان فعالیتها

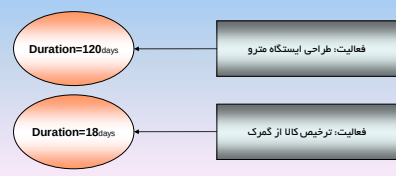
*Activity Duration Estimating*

روشهای تخمین مدت زمان فعالیت

۲- نظرات کارشناسی

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

**مثال:**




80

برآورد مدت زمان فعالیتها — Activity Duration Estimating

روشهای تخمین مدت زمان فعالیت

۳- آرای گروهی و روش دلفی

**مراحل انجام روش دلفی**:

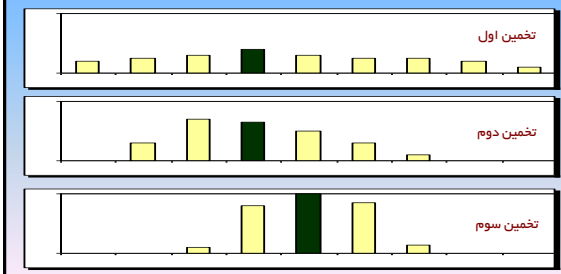
فاول (Fawle 1978) مراحل زیر را برای انجام روش دلفی پیشنهاد کرده‌است:

- 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 — Activity Duration Estimating

روشهای تخمین مدت زمان فعالیت

۳- آرای گروهی و روش دلفی




برآورد مدت زمان فعالیتها — Activity Duration Estimating

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

83

برآورد مدت زمان فعالیتها — Activity Duration Estimating

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

$$Duration=(O+4M+P)/6$$

84

## برآورد مدت زمان فعالیتها

*Activity Duration Estimating*

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.

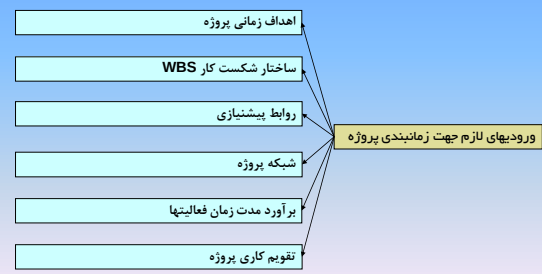
بیشترین کاربرد این روش در مواقعی است که **WBS** در سطوح بالا متوقف شده و بصورت کلان به برنامه‌ریزی نگاه می‌شود.

85

## زمانبندی پروژه

*Project Scheduling*

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



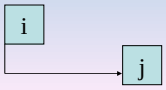

86

## 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:**

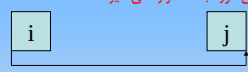
**الف- شروع به شروع:** در این حالت شروع فعالیت یکم (i) با شروع فعالیت دوم(j) رابطه زمانی دارد (رابطه SS). طریقه رسم بردار ارتباطی بین این دو فعالیت، در شکل زیر ارائه شده است. در این شکل، بردار مزبور از یک نقطه واقع بر ناحیه شروع فعالیت (گره) i خارج و به یک نقطه واقع بر ناحیه شروع فعالیت (گره) j وارد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



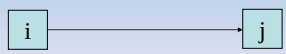

87

## 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.



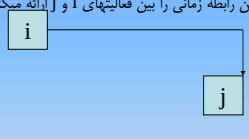

**ج) پایان به شروع:** یک نمونه از رابطه زمانی پایان فعالیت i با شروع فعالیت j با تاخیر منفی در شکل زیر ارائه شده است. دراین مثال، فعالیت j دو روز پیش از اتمام فعالیت i میتواند آغاز شود.




88

## 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 بیافتد.

TF = LSi - ESi

OR

TF = LFi - EFi

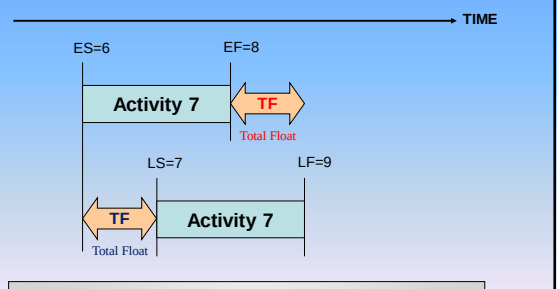
### شناوری آزاد (Free Float (FF :

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

{ مجموعه فعالیت های پس نیاز i=j}

شناوری کل در شبکه گرهی

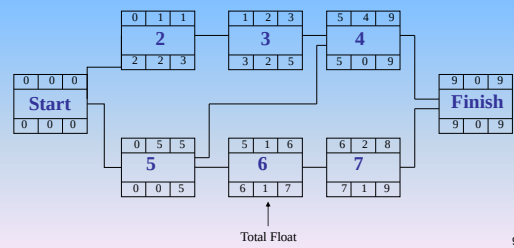



TF=LS-ES or TF=LF-EF





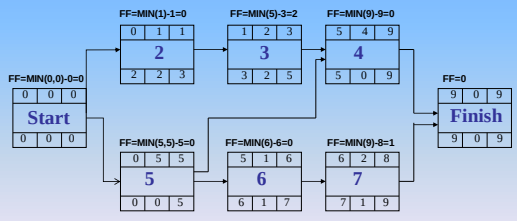
شناوری کل در شبکه گرهی








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.

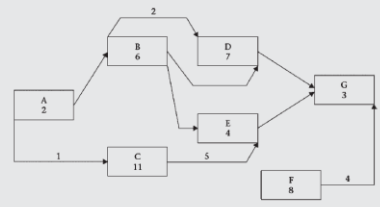
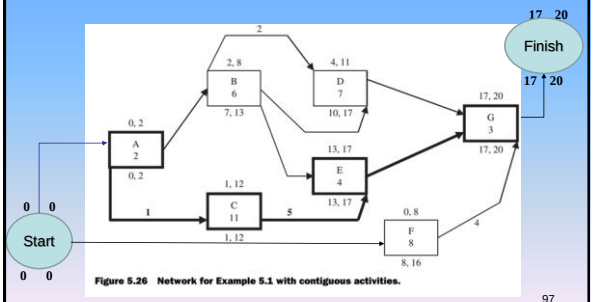



**Figure 5.22 Network for Example 5.1.**

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



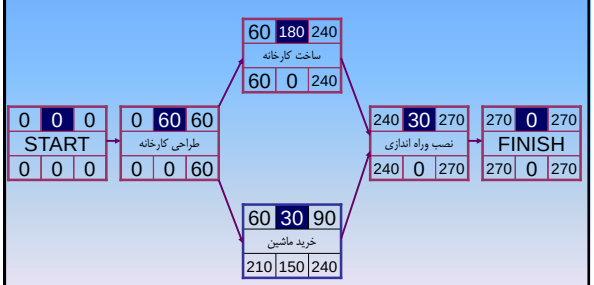



مثال : طراحی وایجاد یک کارخانه را در نظر بگیرید

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.

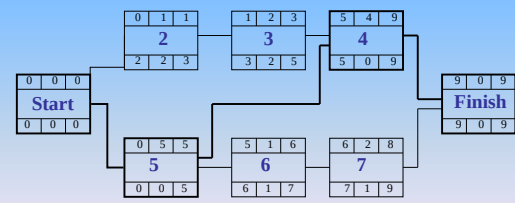








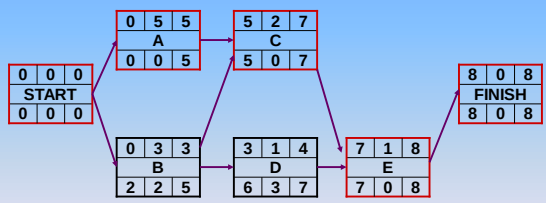

زمانبندی در شبکه گرهی



## نمودار میله ای زمانبندی پروژه – گانت چارت GANTT CHART:

مثال

پروژه با شبکه ی زیر را درنظر بگیرید






## نمودار گانت GANTT CHART

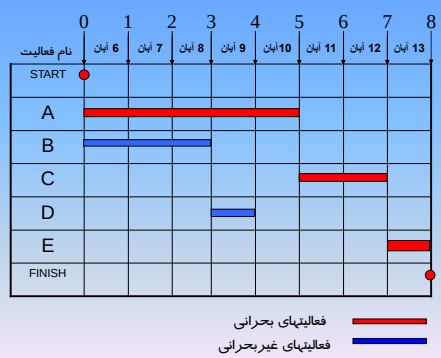
## تنظیم برنامه مبنای پروژه یا (Baseline):

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.



## نمودار گانت با تعیین فعالیتهای بحرانی



بنام خدا

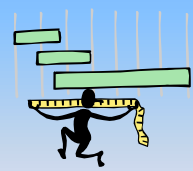
# برنامه ریزی و کنترل پروژه

جزوه شماره ۲– کنترل پروژه

**استاد: امیرمسعود تاکی**

105

## فرآیند کنترل پروژه



106

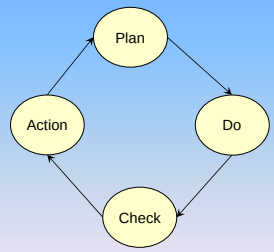
*Project Control Process* فرآیند کنترل پروژه

مقدمه‌ای بر کنترل پروژه

فرآیند برنامه‌ریزی پروژه

اجرا

فرآیند کنترل پروژه



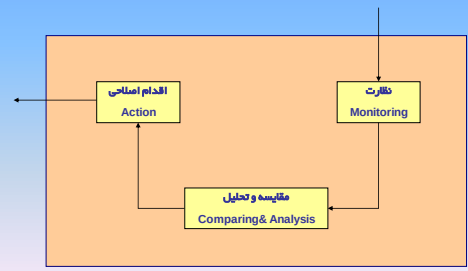

ارتباط فرآیندهای برنامه‌ریزی و کنترل پروژه

چرخه دمینگ در برنامه‌ریزی و کنترل

107

*Project Control Process* فرآیند کنترل پروژه

تجزیه فرآیند کنترل پروژه




108

کنترلهای مرسوم در کنترل پروژه

۱. کنترل زمانی پروژه

۲. کنترل پیشرفت پروژه

۳. کنترل هزینه پروژه

۴. کنترل کیفیت 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

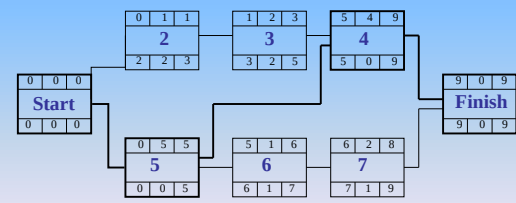
برای انجام کنترل زمانی باید به این سوالات پاسخ دهیم:

- 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

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

**نمودار گانت پروژه (براساس زودترین زمانهای وقوع)**

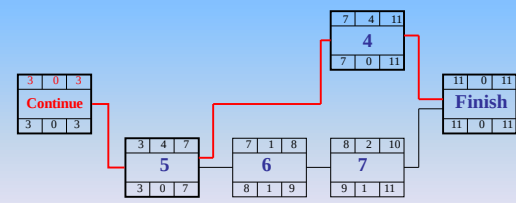
| نام/کد فعالیت | ۱۰ بهمن | ۱۱ بهمن | ۱۲ بهمن | ۱۳ بهمن | ۱۴ بهمن | ۱۵ بهمن | ۱۶ بهمن | ۱۷ بهمن | ۱۸ بهمن |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Start | | | | | | | | | |
| 2 | | | | | | | | | |
| 3 | | | | | | | | | |
| 4 | | | | | | | | | |
| 5 | | | | | | | | | |
| 6 | | | | | | | | | |
| 7 | | | | | | | | | |
| Finish | | | | | | | | | |





مثال برای کنترل زمانی پروژه

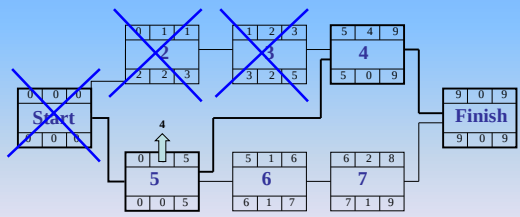
ترسیم شبکه براساس اطلاعات جدید و انجام محاسبات زمانبندی بر روی آن:








مثال برای کنترل زمانی پروژه



مثال برای کنترل زمانی پروژه

**نمودار گانت بهنگام پروژه**

| نام/کد فعالیت | ۱۰ بهمن | ۱۱ بهمن | ۱۲ بهمن | ۱۳ بهمن | ۱۴ بهمن | ۱۵ بهمن | ۱۶ بهمن | ۱۷ بهمن | ۱۸ بهمن | ۱۹ بهمن | ۲۰ بهمن |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Start | | | | | | | | | | | |
| 2 | | | | | | | | | | | |
| 3 | | | | | | | | | | | |
| 4 | | | | | | | | | | | |
| 5 | | | | | | | | | | | |
| 6 | | | | | | | | | | | |
| 7 | | | | | | | | | | | |
| Finish | | | | | | | | | | | |

شناوری کل

**شرح نمادها (Legends):** برنامه اولیه

برنامه بازنگری شده (برنامه بهنگام)





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.

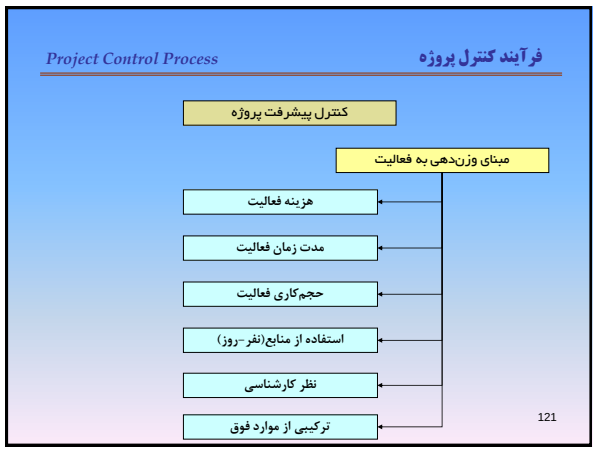


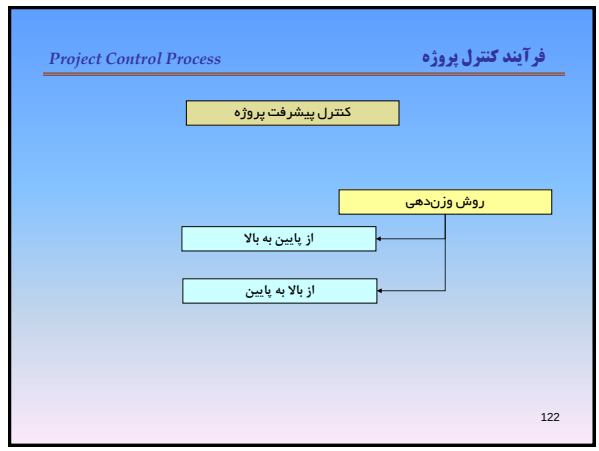


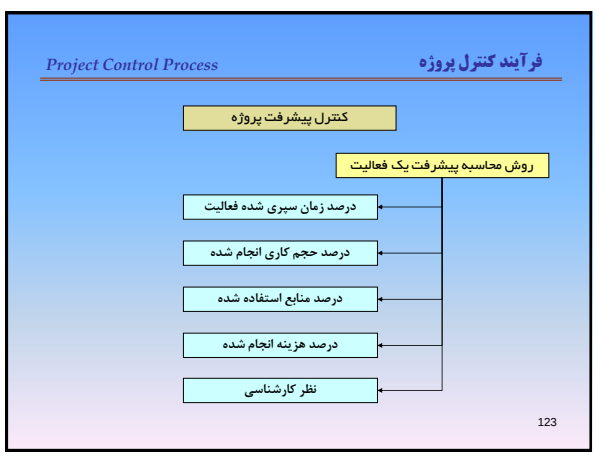
۲. کنترل پیشرفت پروژه

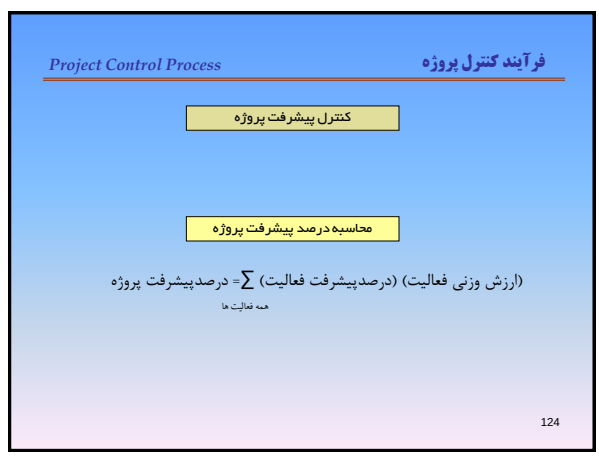
- کنترل پیشرفت پروژه فرآیندی است که در هنگام اجرای پروژه بررسی می‌کند آیا حجم کار انجام شده در پروژه (تا مقطع بررسی) با برنامه زمانبندی هماهنگی دارد یاخیر؟ درصد پیشرفت پروژه به عنوان شاخص اصلی کنترل این مساله استفاده می‌شود؟

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


Project Control Process
فرآیند کنترل پروژه
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
121


Project Control Process
فرآیند کنترل پروژه
کنترل پیشرفت پروژه
روش وزن‌دهی
از پایین به بالا
از بالا به پایین
122


Project Control Process
فرآیند کنترل پروژه
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
123


Project Control Process
فرآیند کنترل پروژه
کنترل پیشرفت پروژه
محاسبه درصد پیشرفت پروژه
(ارزش وزنی فعالیت) (درصدپیشرفت فعالیت) ∑= درصدپیشرفت پروژه
همه فعالیت ها
124

مثال برای کنترل پیشرفت پروژه

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

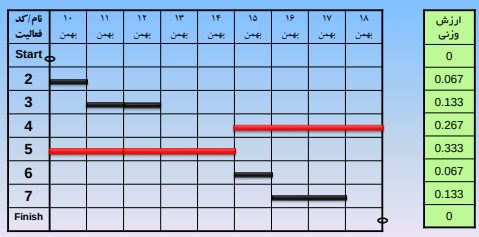
| کد فعالیت | تاریخ شروع واقعی | تاریخ پایان واقعی | مدت زمان باقیمانده | درصد پیشرفت فعالیت |
|---|---|---|---|---|
| ۲ | ۱۰ بهمن ساعت ۸ | ۱۰ بهمن ساعت ۱۷ | | ٪۱۰۰ |
| ۳ | ۱۱ بهمن ساعت ۸ | ۱۲ بهمن ساعت ۱۷ | | ٪۱۰۰ |
| ۵ | ۱۲ بهمن ساعت ۸ | - | ۴ | ٪۲۰ |
| سایر فعالیتها شروع نشده اند. | | | | ٪۰ |





مثال برای کنترل پیشرفت پروژه

نمودار گانت پروژه




| ارزش وزنی |
|---|
| 0 |
| 0.067 |
| 0.133 |
| 0.267 |
| 0.333 |
| 0.067 |
| 0.133 |
| 0 |





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

= 26.6%

مثال برای کنترل پیشرفت پروژه

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

**= 40%**

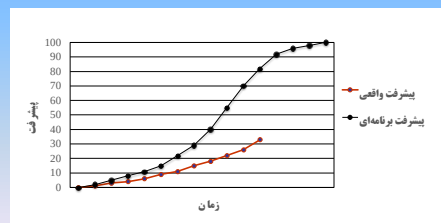
**درصد تاخیر پروژه** = 40% - 26.6% = 13.4%





کنترل پیشرفت پروژه

نمودار روند پیشرفت پروژه S-Curve



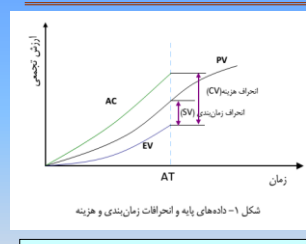





- یکی از دغدغه های اصلی ذینفعان پروژه ها آن است که بتوانند پروژه خود را طبق برنامه زمانبندی از پیش تعیین شده و بودجهٔ تخصیص داده شده به پایان برسانند.
- EVM با یکپارچه سازی سه بعد مدیریت زمان، مدیریت هزینه و مدیریت محدودهٔ پروژه، امکان اندازه گیری دقیق وضعیت پیشرفت پروژه و اتخاذ تصمیمات به موقع را برای 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.








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

## فرآیند کنترل پروژه — *Project Control Process*

**مثال برای کنترل هزینه 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 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Start | | | | | | | | | |
| 2 | 100 | | | | | | | | |
| 3 | | 150 | 150 | | | | | | |
| 4 | | | | | | 200 | 200 | 200 | 200 |
| 5 | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 | 150 | | | |
| 6 | | | | | | | 50 | 50 | |
| 7 | | | | | | | | | |
| Finish | | | | | | | | | |
| BCWS | 150 | 350 | 550 | 600 | 650 | 1000 | 1250 | 1500 | 1700 |

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



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

| | نماد | توصیف |
|---|---|---|
| داده‌های پایه | PV' | مقدار بودجه از پیش تعیین شده برای انجام فعالیت‌ها در دوره‌های زمانی معین است. از ترسیم PV برای کل پروژه، منحنی S یا منحنی اندازه‌گیری عملکرد به‌دست می‌آید. |
| | AC' | در واقع هزینه واقعی (پرداخت شده) فعالیت‌ها است. هزینه 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' | همان بودجه 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 بودجه‌های 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 در نتیجهٔ 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'=EV/AC | نشان دهندهٔ کارایی تیم پروژه در استفاده از منابع مالی پروژه است. |
| | SPI'=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 |

## فرآیند کنترل پروژه — *Project Control Process*

**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



## فرآیند کنترل پروژه — *Project Control Process*

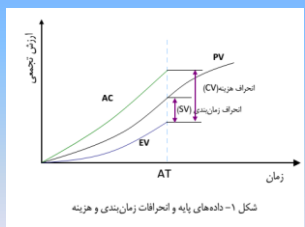
**کنترل هزینه پروژه**

**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 | ۱۳ 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**

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 زير 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 بيش از بودجه | طبق زمانبندي بيش از بودجه | عقب از زمانبندي بيش 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 | T0B11110 | T0B11111 | T0B11112 | T0B11113 |
|---|---|---|---|---|
| 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 | T0B11110 | 39,000 | — | 176,500 | 13,200 | 59,700 |
| Common Earth | T0B11111 | 20,000 | 2.50 | 50,000 | 7,800 | 17,950 |
| Clay | T0B11112 | 8,000 | 5.50 | 44,000 | 1,200 | 5,850 |
| Rock | T0B11113 | 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:

دو اصطلاح دیگر

Budgeted cost at completion BAC

Estimated cost at completion EAC

**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. | $EAC=AC+\frac{BAC-EV}{CPI*SPI}$ |
| عملکـرد هزینـه‌ای پـروژه در آینده متاثر از نسـبتی از عملکـرد زمان‌بندی و عملکرد هزینه‌ای فعلی پروژه است. | $EAC=AC+\frac{BAC-EV}{0.8CPI+0.2SPI}$ |
| عملکـرد هزینـه‌ای پروژه در آینده متاثر از عملکرد هزینه‌ای پروژه در سـه 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

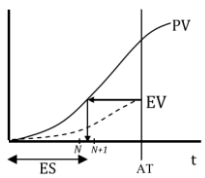
**EAC METHODS: Time**

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:

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

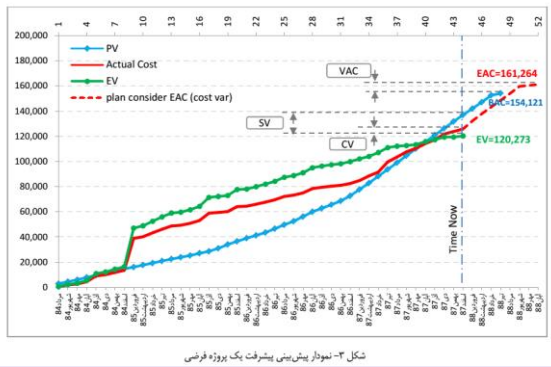
فرمول محاسبه ی زمان نهایی اتمام پروژه:

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

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

145

## برنامه ریزی و کنترل پروژه

جزوه شماره ۳– موازنه زمان و هزینه

**استاد: امیرمسعود تاکی**

146

*Time - Cost Tradeoff* **موازنه زمان–هزینه**

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**

147

*Time - Cost Tradeoff* **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.

148

Time - Cost Tradeoff

موازنه زمان–هزینه

روشهای کاهش مدت زمان فعالیت

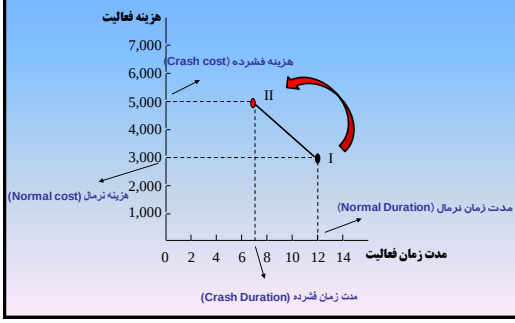
- افزایش منابع
- افزایش ساعات کاری
- تغییر روش اجرا
- افزایش بهره‌وری

149

Time - Cost Tradeoff

موازنه زمان–هزینه

تاثیر کاهش مدت زمان فعالیت بر هزینه های آن




150

Time - Cost Tradeoff

موازنه زمان–هزینه

رویکرد حل مدل شماره یک

تعیین مدت زمانی که زمانبندی اولیه پروژه می‌بایست کاهش یابد.

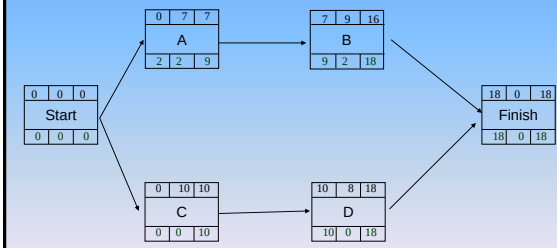
تعیین بهترین ترکیب کاهش مدت زمان فعالیتها، بطوریکه حداقل افزایش هزینه را بدنبال داشته و مدت زمان پروژه را به زمان مقرر برساند.

151

Time - Cost Tradeoff

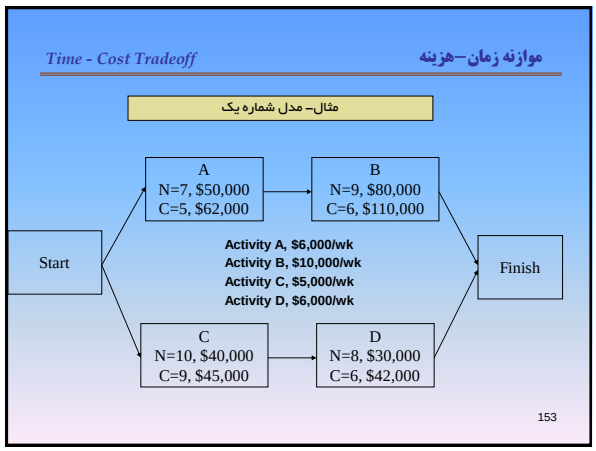
موازنه زمان–هزینه

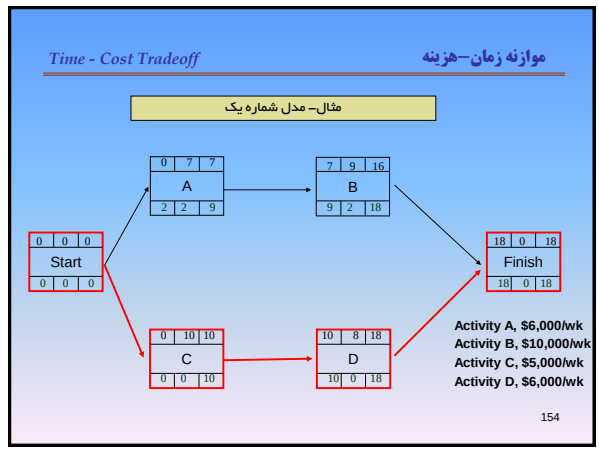
مثال– مدل شماره یک

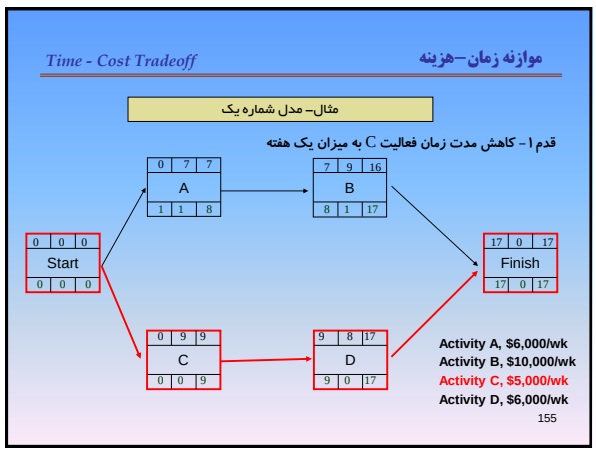


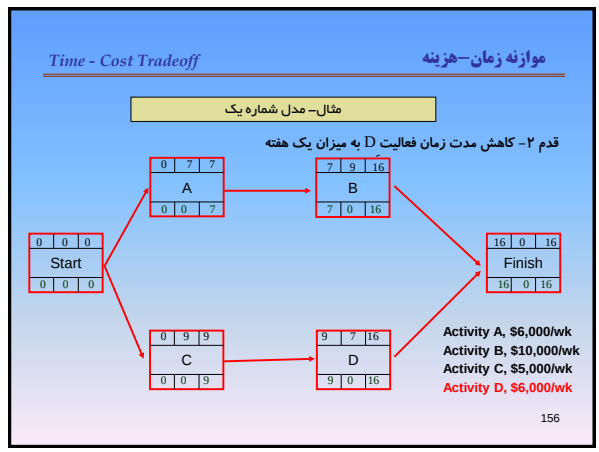

مدت زمان مقرر برای اتمام پروژه ۱۵ هفته می‌باشد.

152


Time - Cost Tradeoff
موازنه زمان–هزینه
مثال– مدل شماره یک
A
N=7, $50,000
C=5, $62,000
B
N=9, $80,000
C=6, $110,000
Start
Finish
Activity A, $6,000/wk
Activity B, $10,000/wk
Activity C, $5,000/wk
Activity D, $6,000/wk
C
N=10, $40,000
C=9, $45,000
D
N=8, $30,000
C=6, $42,000
153

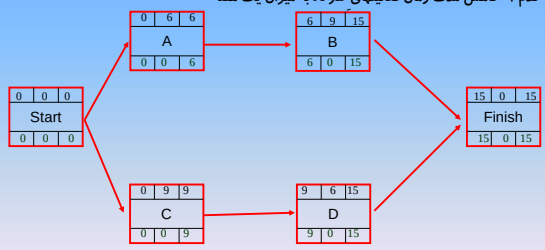

Time - Cost Tradeoff
موازنه زمان–هزینه
مثال– مدل شماره یک
Start
A
B
C
D
Finish
Activity A, $6,000/wk
Activity B, $10,000/wk
Activity C, $5,000/wk
Activity D, $6,000/wk
154


Time - Cost Tradeoff
موازنه زمان–هزینه
مثال– مدل شماره یک
قدم ۱– کاهش مدت زمان فعالیت C به میزان یک هفته
Start
A
B
C
D
Finish
Activity A, $6,000/wk
Activity B, $10,000/wk
Activity C, $5,000/wk
Activity D, $6,000/wk
155


Time - Cost Tradeoff
موازنه زمان–هزینه
مثال– مدل شماره یک
قدم ۲– کاهش مدت زمان فعالیت D به میزان یک هفته
Start
A
B
C
D
Finish
Activity A, $6,000/wk
Activity B, $10,000/wk
Activity C, $5,000/wk
Activity D, $6,000/wk
156

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 برابر۲۳۰۰۰ دلار گردید.



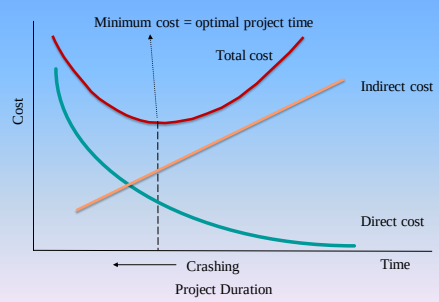


مدل۲– کاهش هزینه‌های پروژه

- 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.












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.

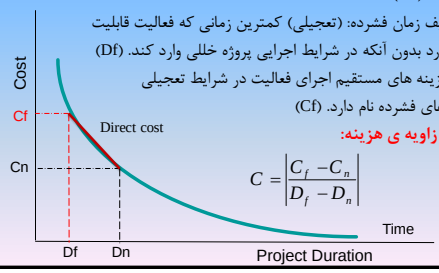
## زمانهای ممکن برای انجام فعالیتها:

- 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:**

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





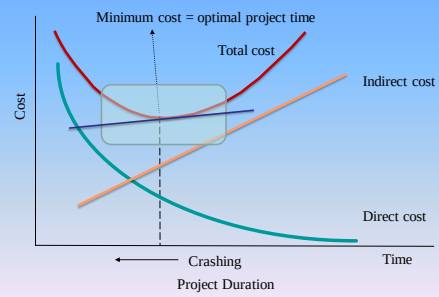

## تغییرات مجموع هزینه ها و نقطه ی زمان بهینه:

- 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.



## موازنه زمان–هزینه

*Time - Cost Tradeoff*



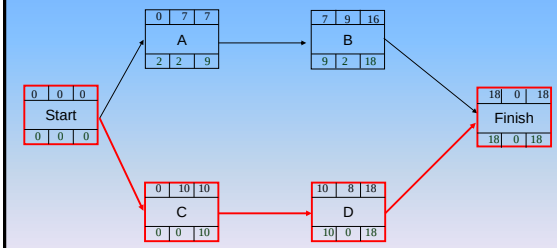



## موازنه زمان–هزینه

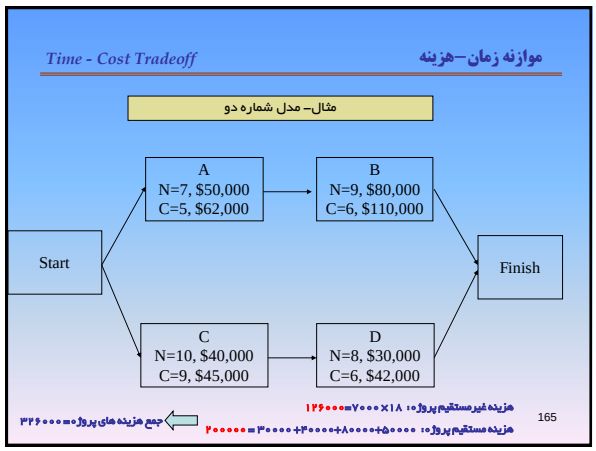
*Time - Cost Tradeoff*

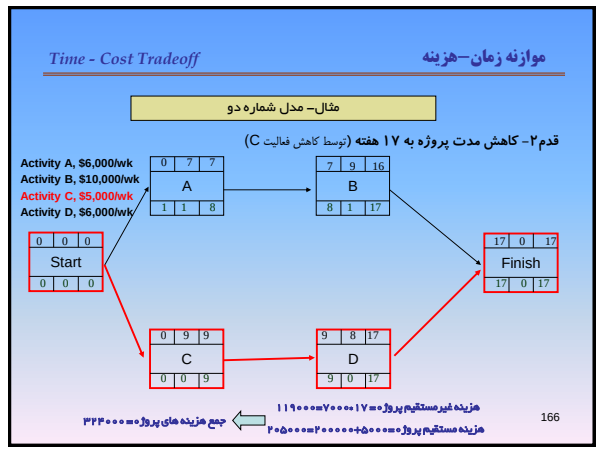
**مثال– رویکرد شماره دو**

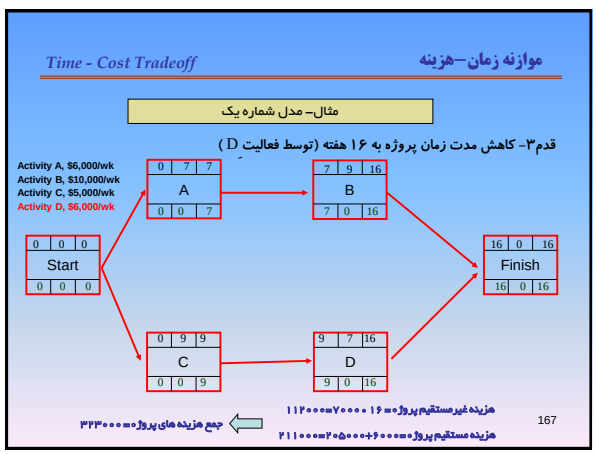
**قدم ۱ – انجام محاسبات زمانبندی با زمانهای نرمال**

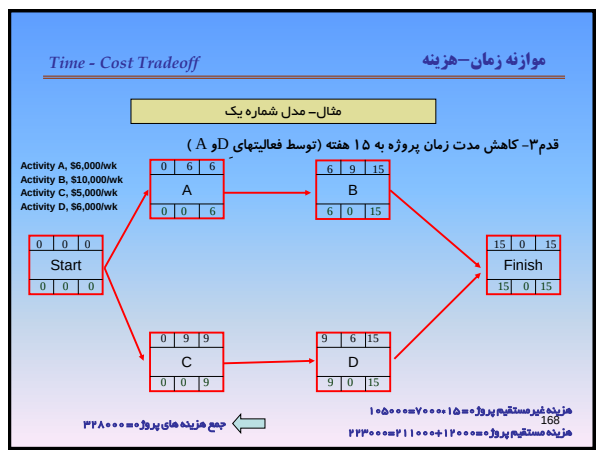



هزینه غیرمستقیم پروژه در هر هفته برابر ۷۰۰۰ دلار است.


Time - Cost Tradeoff
موازنه زمان–هزینه
مثال– مدل شماره دو
A
N=7, $50,000
C=5, $62,000
B
N=9, $80,000
C=6, $110,000
Start
Finish
C
N=10, $40,000
C=9, $45,000
D
N=8, $30,000
C=6, $42,000
هزینه غیرمستقیم پروژه: ۱۸×۷۰۰۰=۱۲۶۰۰۰
هزینه مستقیم پروژه: ۳۰۰۰۰+۴۰۰۰۰+۸۰۰۰۰+۵۰۰۰۰=۲۰۰۰۰۰
جمع هزینه های پروژه=۳۲۶۰۰۰
165

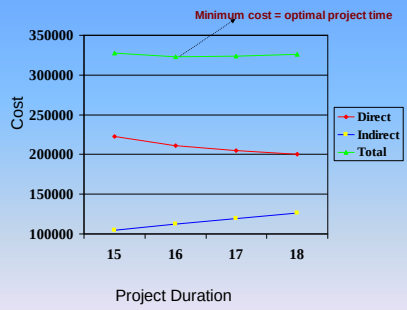

Time - Cost Tradeoff
موازنه زمان–هزینه
مثال– مدل شماره دو
قدم۲- کاهش مدت پروژه به ۱۷ هفته (توسط کاهش فعالیت C)
Activity A, $6,000/wk
Activity B, $10,000/wk
Activity C, $5,000/wk
Activity D, $6,000/wk
A
B
Start
Finish
C
D
هزینه غیرمستقیم پروژه=۷۰۰۰×۱۷=۱۱۹۰۰۰
هزینه مستقیم پروژه=۲۰۰۰۰۰+۵۰۰۰۰=۲۰۵۰۰۰
جمع هزینه های پروژه=۳۲۴۰۰۰
166


Time - Cost Tradeoff
موازنه زمان–هزینه
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
A
B
Start
Finish
C
D
هزینه غیرمستقیم پروژه=۷۰۰۰×۱۶=۱۱۲۰۰۰
هزینه مستقیم پروژه=۶۰۰۰+۲۰۵۰۰۰=۲۱۱۰۰۰
جمع هزینه های پروژه=۳۲۳۰۰۰
167


Time - Cost Tradeoff
موازنه زمان–هزینه
مثال– مدل شماره یک
قدم۳- کاهش مدت زمان پروژه به ۱۵ هفته (توسط فعالیتهای Dو A )
Activity A, $6,000/wk
Activity B, $10,000/wk
Activity C, $5,000/wk
Activity D, $6,000/wk
A
B
Start
Finish
C
D
هزینه غیرمستقیم پروژه=۷۰۰۰×۱۵=۱۰۵۰۰۰
هزینه مستقیم پروژه=۱۲۰۰۰+۲۱۰۰۰۰=۲۲۳۰۰۰
جمع هزینه های پروژه=۳۲۸۰۰۰
168

## موازنه زمان–هزینه

*Time - Cost Tradeoff*

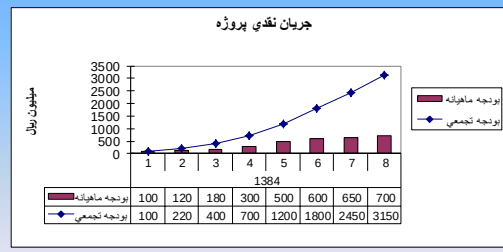



169

## جریان نقدی پروژه

*Project Cash Flow*

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



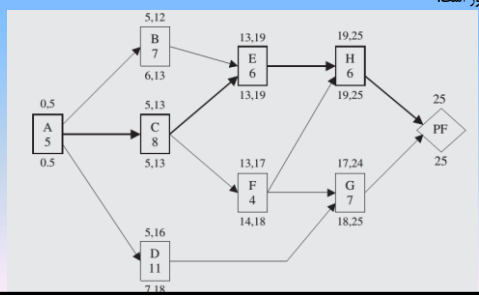

| | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| بودجه ماهیانه | 100 | 120 | 180 | 300 | 500 | 600 | 650 | 700 |
| بودجه تجمعي | 100 | 220 | 400 | 700 | 1200 | 1800 | 2450 | 3150 |

170

## مثال:

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

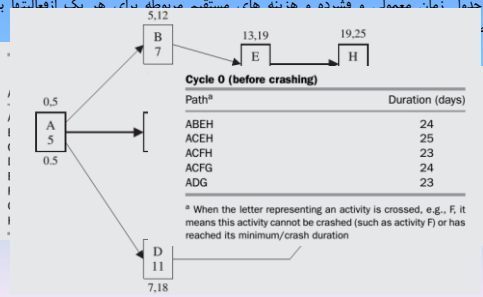
در صورتی که هزینه های غیر مستقیم به ازای هر روز ۱۲۰$ باشد زمان بهینه برای این پروژه چند روز است.




171

## مثال:

- جدول زمان معمول و فشرده و هزینه های مستقیم مربوطه برای هر یک از فعالیت‌ها به




172

# برنامه‌ریزی منابع

## الف- تخصیص منابع محدود

173



### 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.

174



### 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

176



### مثالی برای تخصیص منابع محدود

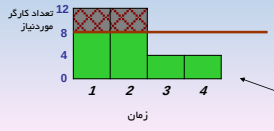
**اطلاعات فعالیتهای پروژه**

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

تعداد کارگر در دسترس طی هر روز: 8 نفر

**نمودار گانت پروژه**

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




Resource Gragh

175

Resource Planning برنامه‌ریزی منابع

۱ – استفاده از شناوری فعالیتها

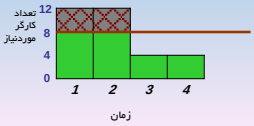
اطلاعات فعالیتهای پروژه

| 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 | | | | |




178

Resource Planning برنامه‌ریزی منابع

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 | | | | |




177

Resource Planning برنامه‌ریزی منابع

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

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

179

Resource Planning برنامه‌ریزی منابع

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

• 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

نمودار گانت پروژه

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



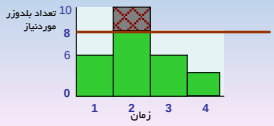

180

Resource Planning برنامه‌ریزی منابع

۳- گسیختگی زمانبندی یک فعالیت

نمودار گانت پروژه

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




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

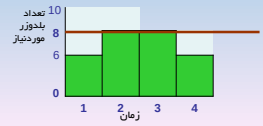
181

Resource Planning برنامه‌ریزی منابع

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

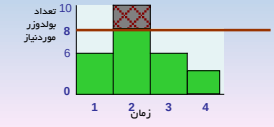
182

Resource Planning برنامه‌ریزی منابع

۴- استفاده از اضافه‌کاری در جهت حل مسئله

نمودار گانت پروژه

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




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

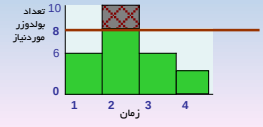
183

Resource Planning برنامه‌ریزی منابع

۴- استفاده از اضافه‌کاری در جهت حل مسئله

نمودار گانت پروژه

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



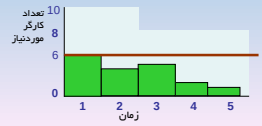

• در روز دوم با دادن اضافه‌کاری به راننده بولدوزر و تامین بولدوزر، جبران کسری منابع صورت پذیرد.

184

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.

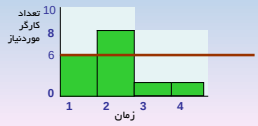




۵- افزایش مدت زمان پروژه

نمودار گانت پروژه

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




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





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.





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

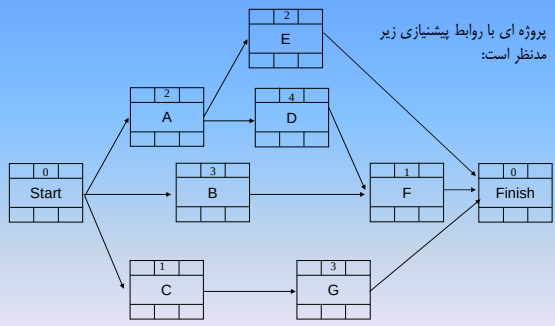
راهکارهای موجود به ترتیب اولویت

۱. استفاده از شناوری فعالیتها

۲. افزایش مدت زمان پروژه

## مثال

پروژه ای با روابط پیشنیازی زیر مدنظر است:




189

## مثال از تخصیص منابع محدود:

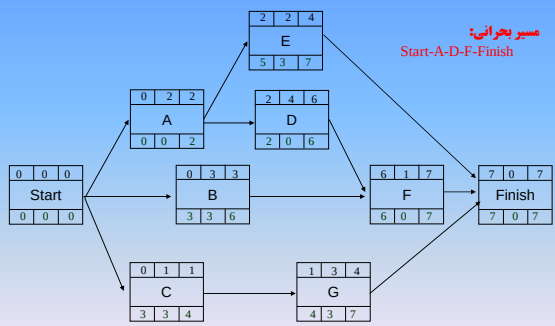
در این پروژه، به دو نوع منبع نیاز است ماشین آلات ویژه ( منبع نوع **P**) و کارگر (منبع نوع **Q**)
برای اجرای پروژه، ۴ ماشین ویژه و ۵ کارگر در اختیار داریم.
میزان نیاز فعالیتها به منابع در جدول زیر نشان داده شده است.

| 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 |

190

## حل مسئله و اجرای الگوریتم:

**مسیر بحرانی:**
Start-A-D-F-Finish




191

| 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 |

192

| 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 |

مرحله اول : T=0

EAS={A,B,C}

LS: 0 , 3 , 3

OSS: A→C→B

193

| 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 4 4 4 4 |
| مقدار منبع Q تخصیص 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 ✓

194

| 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 4 |
| مقدار منبع Q تخصیص داده نشده | 2 | 5 | 5 | 5 5 5 5 5 5 5 |

مرحله اول : T=0

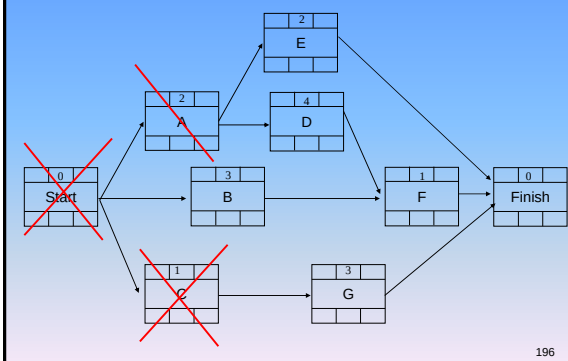
EAS={A,B,C}

LS: 0 , 3 , 3

OSS: A→C→B ✓ ✓ ×

195

مرحله دوم : T=1




196

| 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 | 4 | |
| مقدار منبع Qتخصیص داده نشده | | | | 3 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | |

مرحله دوم : T=1

× 

EAS={B,G} OSS: B→G

LS: 3 , 4

197

| 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

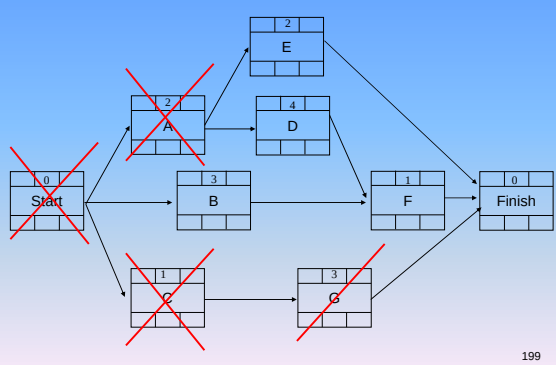
× ✓

EAS={B,G} OSS: B→G

LS: 3 , 4

198

مرحله سوم : T=2




199

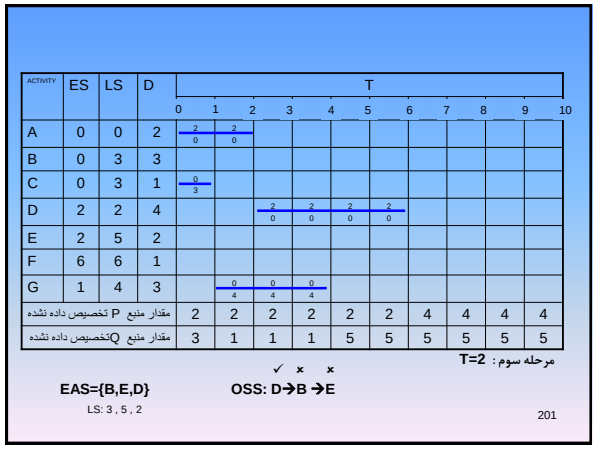
| ACTIVITY | ES | LS | D | T 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| A | 0 | 0 | 2 | 2/0 | 2/0 | | | | | | | | | |
| B | 0 | 3 | 3 | | | | | | | | | | | |
| C | 0 | 3 | 1 | 0/3 | | | | | | | | | | |
| D | 2 | 2 | 4 | | | | | | | | | | | |
| 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 | |

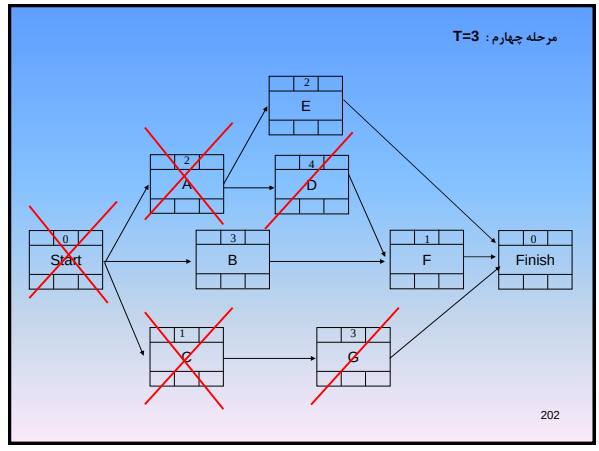
مرحله سوم : T=2

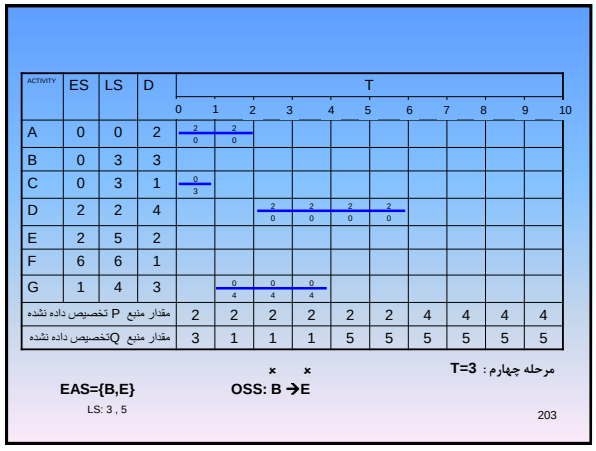
EAS={B,E,D} OSS: D→B →E

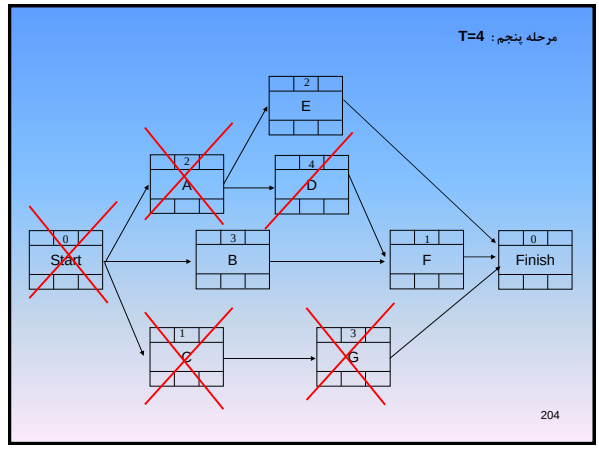
LS: 3 , 5 , 2

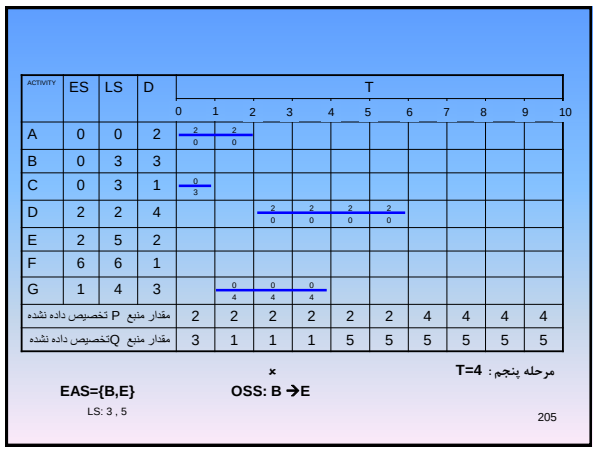
200

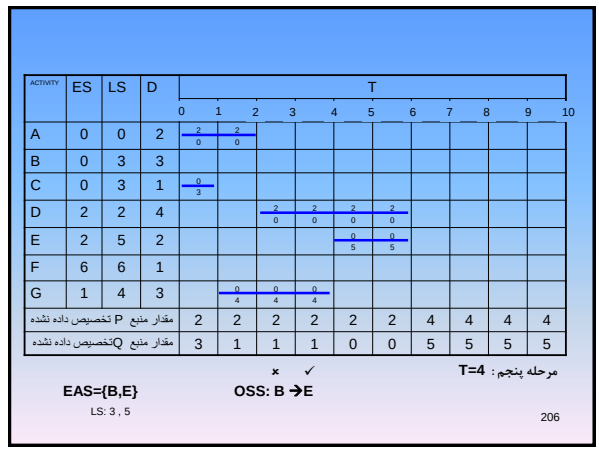

ACTIVITY
ES
LS
D
T
0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
A 0 0 2
B 0 3 3
C 0 3 1
D 2 2 4
E 2 5 2
F 6 6 1
G 1 4 3
مقدار منبع P تخصیص داده نشده 2 2 2 2 2 2 4 4 4 4
مقدار منبع Qتخصیص داده نشده 3 1 1 1 5 5 5 5 5 5
مرحله سوم : T=2
✓ × ×
EAS={B,E,D}
OSS: D→B →E
LS: 3 , 5 , 2
201

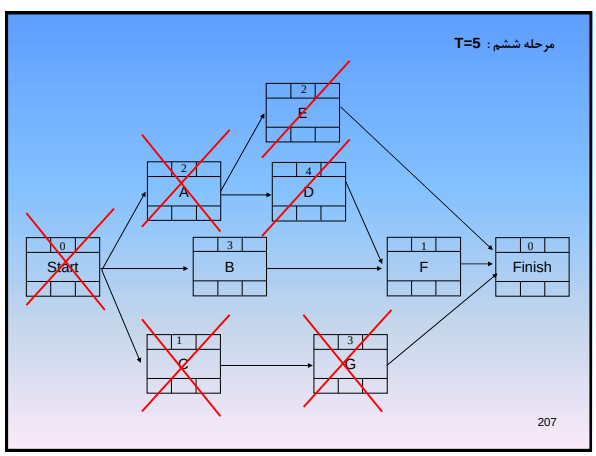

مرحله چهارم : T=3
Start
A
B
C
D
E
F
G
Finish
202

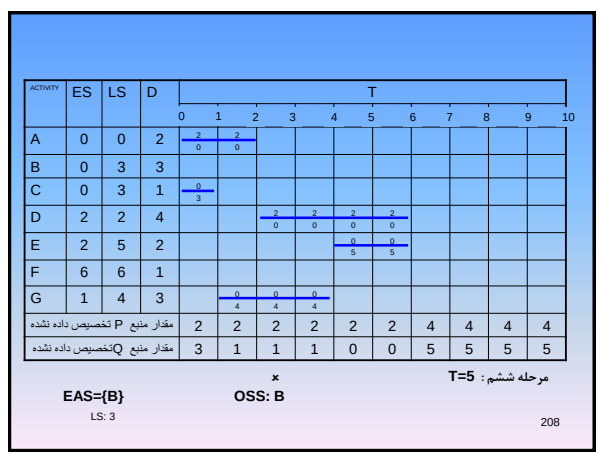

ACTIVITY
ES
LS
D
T
0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
A 0 0 2
B 0 3 3
C 0 3 1
D 2 2 4
E 2 5 2
F 6 6 1
G 1 4 3
مقدار منبع P تخصیص داده نشده 2 2 2 2 2 2 4 4 4 4
مقدار منبع Qتخصیص داده نشده 3 1 1 1 5 5 5 5 5 5
مرحله چهارم : T=3
× ×
EAS={B,E}
OSS: B →E
LS: 3 , 5
203

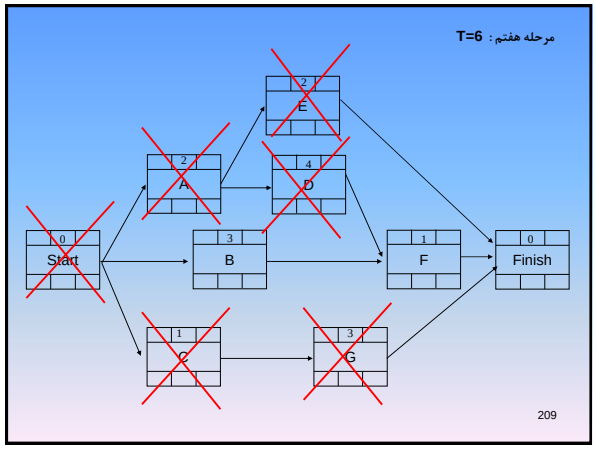

مرحله پنجم : T=4
Start
A
B
C
D
E
F
G
Finish
204

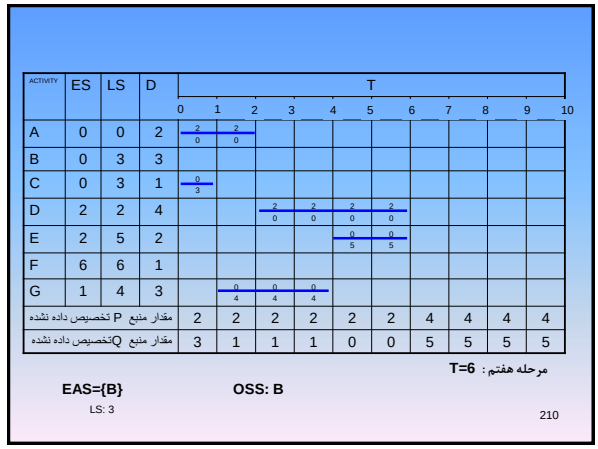

ACTIVITY
ES
LS
D
T
0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
A 0 0 2
B 0 3 3
C 0 3 1
D 2 2 4
E 2 5 2
F 6 6 1
G 1 4 3
مقدار منبع P تخصیص داده نشده 2 2 2 2 2 2 4 4 4 4
مقدار منبع Qتخصیص داده نشده 3 1 1 1 5 5 5 5 5 5
مرحله پنجم : T=4
×
EAS={B,E}
OSS: B →E
LS: 3 , 5
205

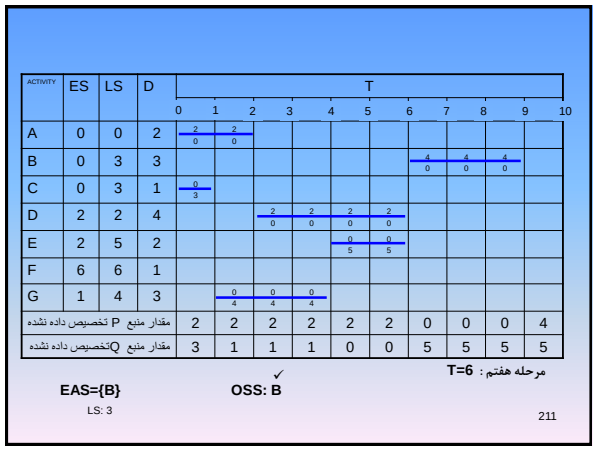

ACTIVITY
ES
LS
D
T
0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
A 0 0 2
B 0 3 3
C 0 3 1
D 2 2 4
E 2 5 2
F 6 6 1
G 1 4 3
مقدار منبع P تخصیص داده نشده 2 2 2 2 2 2 4 4 4 4
مقدار منبع Qتخصیص داده نشده 3 1 1 1 0 0 5 5 5 5
مرحله پنجم : T=4
× ✓
EAS={B,E}
OSS: B →E
LS: 3 , 5
206

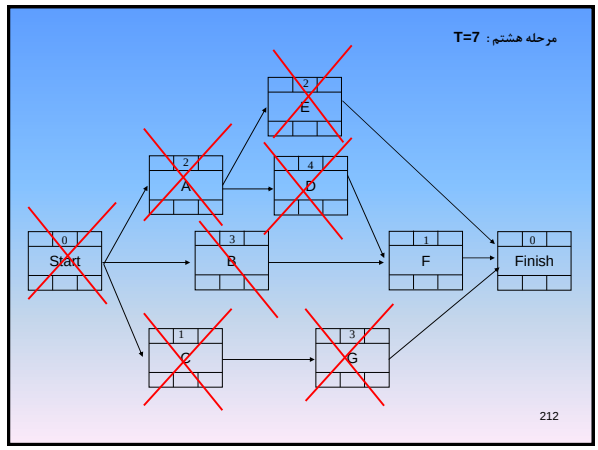

مرحله ششم : T=5
Start
A
B
C
D
E
F
G
Finish
207


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 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
208


مرحله هفتم : T=6
Start
A
B
C
D
E
F
G
Finish
209


ACTIVITY
ES
LS
D
T
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 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
210


ACTIVITY
ES
LS
D
T
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 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
EAS={B}
LS: 3
OSS: B
211

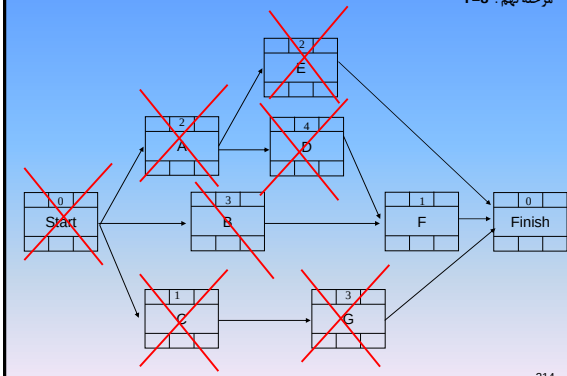

مرحله هشتم : T=7
Start
A
B
C
D
E
F
G
Finish
212

| 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={}

213



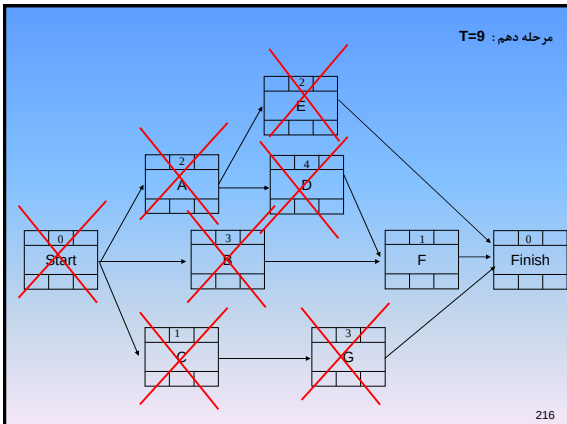

214

| 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 | |

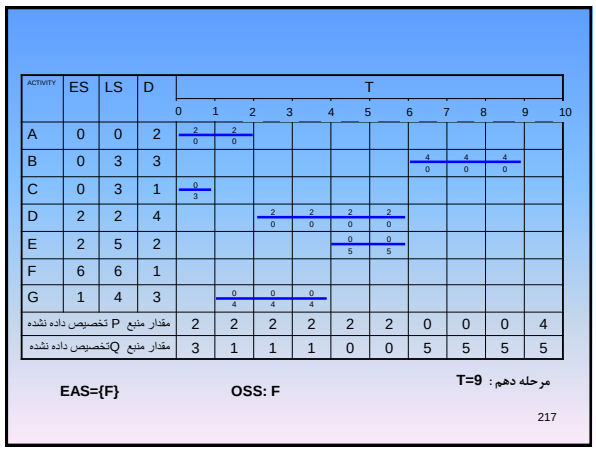
مرحله نهم : T=8

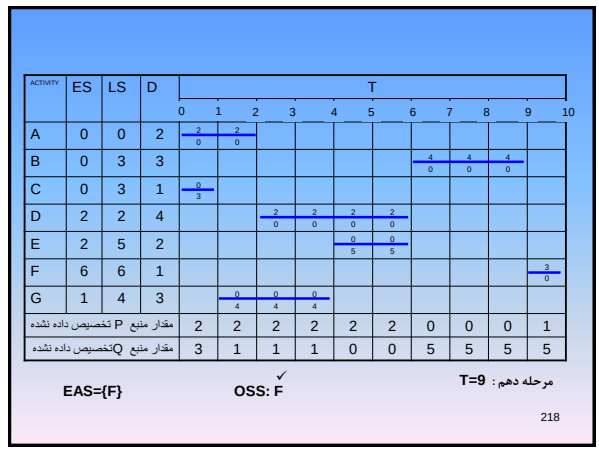
EAS={}

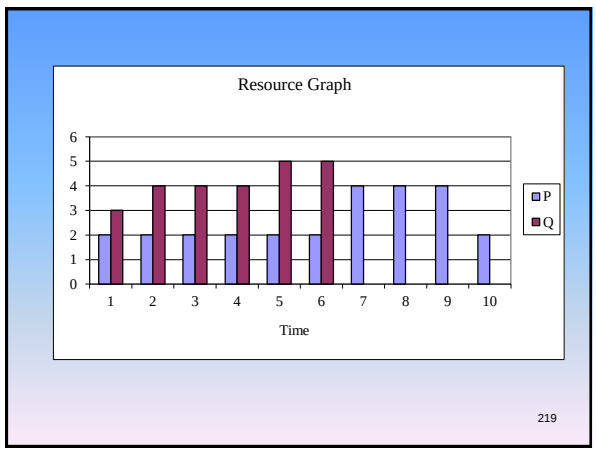
215

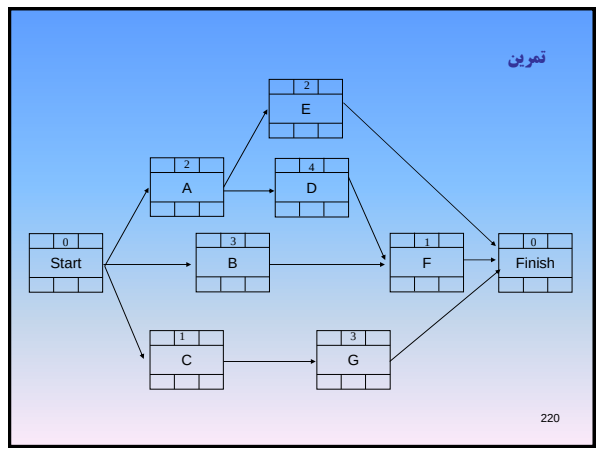



216


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 2 2 2 2 2 2 0 0 0 4
مقدار منبع Q تخصیص داده نشده 3 1 1 1 0 0 5 5 5 5
EAS={F}
OSS: F
مرحله دهم : T=9
217


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 2 2 2 2 2 2 0 0 0 1
مقدار منبع Q تخصیص داده نشده 3 1 1 1 0 0 5 5 5 5
EAS={F}
OSS: F
مرحله دهم : T=9
218


Resource Graph
6
5
4
3
2
1
0
1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
Time
P
Q
219


تمرین
Start
A
B
C
D
E
F
G
Finish
220

## تمرین

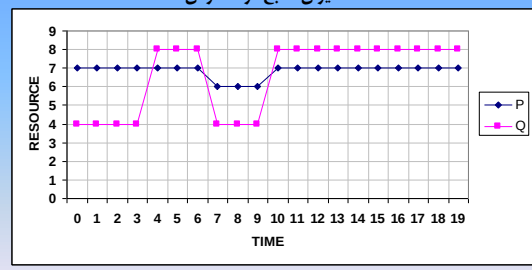
در این پروژه، به دو نوع منبع نیاز است ماشین آلات ویژه ( منبع نوع P) و کارگر (منبع نوع Q)
میزان نیاز فعالیتها به منابع در جدول زیر نشان داده شده است.

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



## تمرین

میزان منابع در دسترس






# برنامه ریزی و کنترل پروژه

## جزوه شماره ۶– PERT

**استاد: امیرمسعود تاکی**



## تکنیک ارزیابی و بازنگری برنامه *Program Evaluation & Review Technique ( PERT)*

تکنیکهای اولیهٔ زمانبندی پروژه در اواخر دههٔ 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] نتیجهٔ 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 پروژهٔ زیردریایی پولاریس ارایه کرد. موفقیت این روش در زمانبندی پروژهٔ 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 فعالیّتها 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)

## استفاده از تخمین سه زمانه

در روش PERTغالباًاز ۳ تخمین برای مدت زمان فعالیت استفاده می‌کنند:

**زمان خوش بینانه** Optimistic Time (a) :
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** Most Likely Time (m) :
زمانی که بیشترین تعداد کارشناسان این حدس را زده‌اند و یا در بیشتر مواقع زمان انجام فعالیت این باشد.

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

| 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





## 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٪





## 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 ⇐ a=1 |
| ۲۰/۰ | ۲ | ۲ |
| ۵۰/۰ | ۵ | ۳ ⇐ m=3 |
| ۱۰/۰ | ۱ | ۵ |
| ۱۰/۰ | ۱ | ۶ ⇐ b=6 |

**محاسبات زمانبندی در PERT**

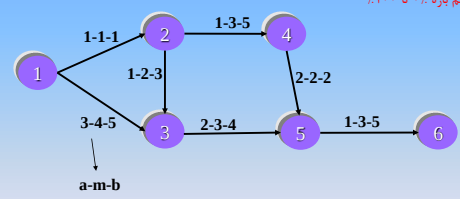
- گام اول در محاسبات زمانبندی بر اساس روش PERT محاسبه میانگین و انحراف معیار فعالیتهاست.
- گام دوم محاسبات رفت و برگشت با استفاده از میانگین زمان فعالیتهاست.
- گام سوم تشخیص مسیر بحرانی است.
- گام چهارم انجام تحلیل ها می‌باشد.





**مثال**

سیستم بازه ٪۰ تا ٪۱۰۰



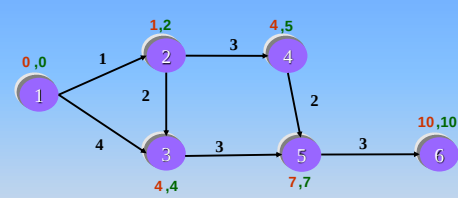




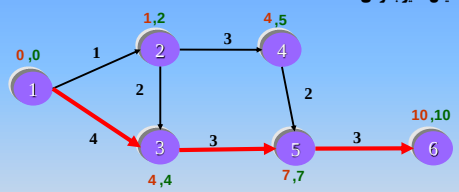

| فعالیت | 1-2 | 1-3 | 2-3 | 2-4 | 3-5 | 4-5 | 5-6 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| میانگین مدت زمان | 1 | 4 | 2 | 3 | 3 | 2 | 3 |
| واریانس مدت زمان | 0 | $\frac{1}{9}$ | $\frac{1}{9}$ | $\frac{4}{9}$ | $\frac{1}{9}$ | 0 | $\frac{4}{9}$ |







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:**

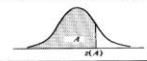
https://www.aparat.com/v/TNt5d

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؟

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

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