کنترل پروژه

PROJECT CONTROL

کتاب های مرجع

- جزوه درسي كنترل پروژه دكتر ترابي (دانشگاه شريف)
- مدیریت و کنترل پروژه علی حاج شیر محمدی
- کنترل پروژه مجید سبزه پرور

کنترل پروژه

پروژه عبارت است از مجموعه فعالیت ها ی مرتبط به هم که برای رسیدن به یک یا چند هدف طراحی شده ضروری هستند که عموما هدف یگانه و غیر تکراری است .

مدر و همکاران ۱۹۸۳

مدیریت پروژه :

هدف مدیریت پروژه عبارت است از پیش بینی برآورد هرچه بیشتر مشکلات و مسائل و نظرات (تا آنجا که امکان دارد) برای برنامه ریزی و سازماندهی و کنترل فعالیت ها به گونه ای که پروژه با موفقیت علیرغم مشکلات و خطرات به پایان برسد.

دنیس لاک ۱۹۹۶

- بنابراین اموری ازقبیل :
- ۱ – احداث کارخانه ۲ – انجام یک سمینار
- ۳ – تالیف یک کتاب ۴ – تولید یک محصول جدید
- ۵ – یک برنامه فضایی ۶ – انجام یک عمل جراحی

مراحل انجام یک پروژه :

هر پروژه ای که انجام می شود زمانی صرف آن می گردد ، دوره زمانی اجرای یک پروژه از یک نظریه و فکر شروع می شود تا به هدف می رسد ، در این دوره زمانی پروژه مراحلی را طی می کند.

مراحل انجام یک پروژه

- ۱ – مرحله نظری :
- از یک نظریه و یک فکر شروع می شود ، پروژه تعریف می گردد . امکان انجام آن بررسی می گردد . توجیه اقتصادی آن انجام می شود . حجم کار برآورد هزینه ها و نیروی کار (دیدهای کلان) در این مرحله انجام می شود.

- ۲ – طرح و برنامه ریزی
- تهیه نقشه ها و لیست فعالیت ها و جزئیات آن ها ، زمان گذاری فعالیت ها و تعیین رابطه بین فعالیت ها در این مرحله انجام می شود .

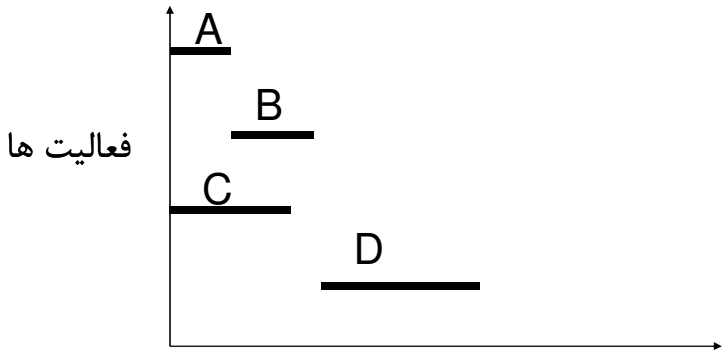
مراحل انجام یک پروژه

- مرحله اجراء
- اجرای پروژه و کنترل انجام آن و پیشرفت آن مطابق آنچه که طرحریزی گردیده است .

- مرحله اختتام
- تحویل پروژه به کارفرما ، تعدیل نیروی انسانی و تحویل موقت کار

◆این مراحل با یکدیگر همپوشانی دارند

◆ از بدوی ترین ابزارهای برنامه ریزی در اوائل قرن ۲۰ هنری گانت ، فردریک تیلور از نموداری استفاده کردند که امروز ، این نمودار ، به نمودار گانت مشهور است .



◆ زمان و تاریخ های شروع و پایان فعالیت ها

از مشکلات این نمودار :

۱ – تقدم و تاخر فعالیت ها بخوبی قابل درک نمی باشد.

۲ – هرگاه انجام یک فعالیت به تاخیر افتد اثر این تاخیر در انجام سایر فعالیت ها به خوبی قابل بررسی نمی باشد .

۳ – در حجم زیاد فعالیت ها بسیار گنگ و مبهم می باشد.

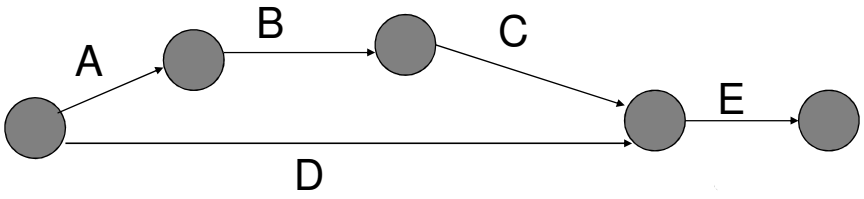
در سال های ۱۹۵۰ تا ۱۹۵۵ گروهی از محققین تحقیق در عملیات روش دیگری را ابداع کردند که با عنوان

(طولانی ترین مسیر غیر قابل کاهش رویداد ها)

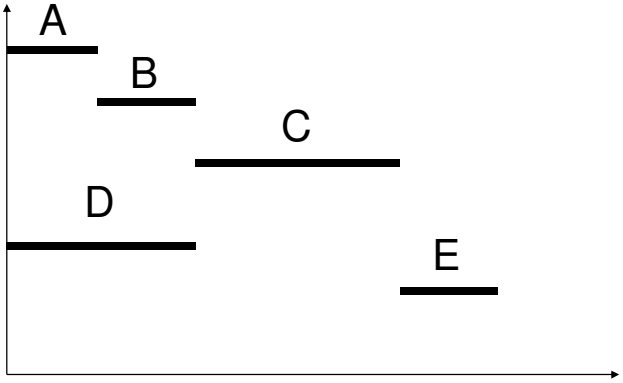
که بعد ها به روش CPM مشهور شد .

- مثال :

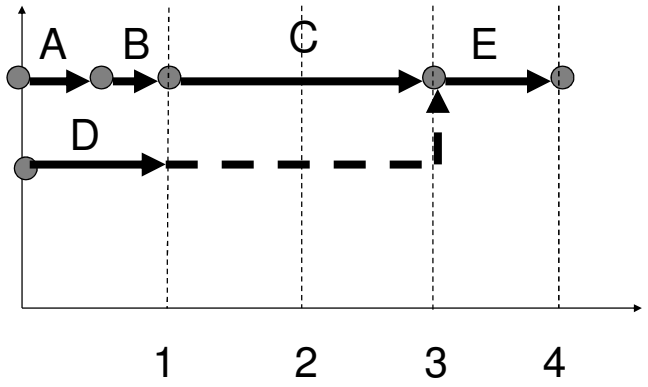
فعالیت	شرح	زمان
A	رفتن به محل	نیم روز
B	انتخاب موضوع و گرفتن عکس	نیم روز
C	ظهور فیلم و چاپ عکس	۲ روز
D	تهیه قاب عکس	۱ روز
E	قاب کردن عکس	نیم روز



- فعالیت E دو پیشنیاز دارد یعنی عمل قاب کردن عکس بعداز خرید قاب عکس و گرفتن عکس و ظهور آن بنابراین E وابسته به فعالیت های C و D می باشد . اگر فعالیت های فوق را در قالب یک نمودار گانت بیان کنیم داریم :



- در نمودار گانت اخیر فعالیت C وابسته به D بوده در حالی که با مراجعه به موضوع پروژه یا شکل شبکه ای آن می توان فهمید که چنین نمی باشد .
- از تلفیق نمودار های گانت و شبکه ای نمودار دیگری بدست می آید که مزایای هر دو نمودار را دارا می باشد.



- شکل اخیر نشان می دهد که فعالیت D می تواند ۲ روز به تاخیر افتد در صورتیکه سایر فعالیت ها باید به موقع شروع و خاتمه یابند .
- نمایش شبکه ای فعالیت های یک پروژه به دو صورت امکان پذیراست .
- ۱ – شبکه های برداری AOA فعالیت ها با بردار مشخص می شوند.
- ۲ – شبکه های گره ای AON فعالیت ها با گره ها مشخص می شوند.
- تعریف فعالیت :
- جزئی از پروژه است که جهت انجام آن زمان و منبع و هزینه مصرف می شود.

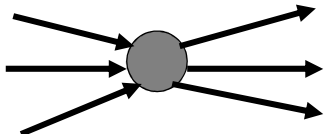
- فعالیت مجازی
- فعالیتی است که وجود خارجی ندارد و زمان و منبعی صرف آن نمی گردد و صرفا جهت نشان دادن وابستگی ها مورد استفاده قرار می گیرد ، و به صورت خط چین نمایش داده می شود. (فعالیت Dummy)

- واقعه یا رویداد
- نقطه آغاز یا پایان یک یا چند فعالیت را رویداد می نامند. رویداد ها مقاطع زمانی هستند و زمان نمی باشند و بوسیله دایره در ابتدا و انتهای فعالیت نشان داده می شوند . بنابراین هر فعالیت دارای یک رویداد آغازین و یک رویداد پایانی است .

- رویدادی که نقطه آغاز چندین فعالیت باشد را رویداد جوششی و رویدادی که نقطه پایان چند فعالیت باشد را رویداد پوششی می نامند .

رویداد جوششی رویداد پوششی

- هم جوششی و هم پوششی



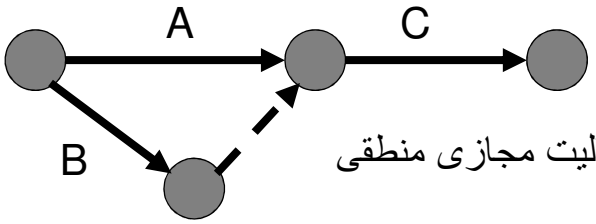
- انواع فعالیت های مجازی
- فعالیت مجازی منطقی فعالیت مجازی غیر منطقی

- یکی از قوانین رسم شبکه آن است که بین هر دو رویداد با
- یک فعالیت نشان داده می شود.

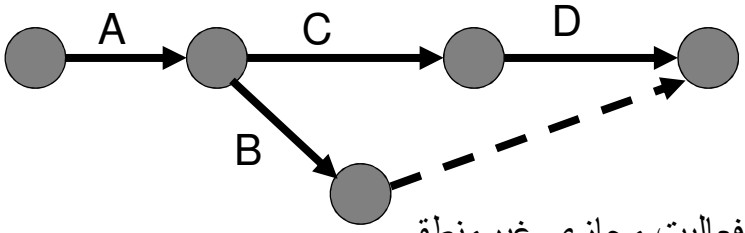
- فعالیت مجازی منطقی فعالیتی است که اگر حذف گردد منطق رسم شبکه دچار مشکل می گردد.

- فعالیت مجازی غیر منطقی فعالیتی است که اگر حذف شود منطق شبکه دچار مشکل نخواهد شد .

- شکل صفحه بعد این مسئله را بیان می کند.

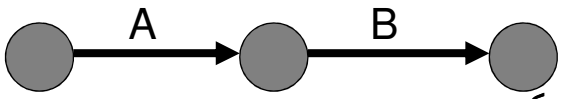


فعالیت مجازی منطقی



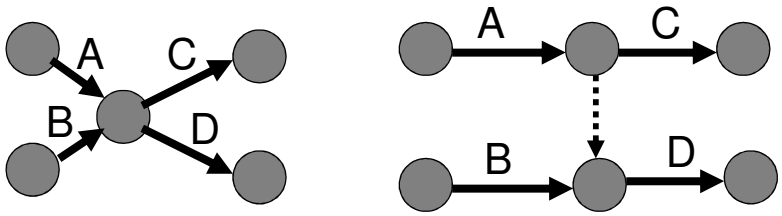
فعالیت مجازی غیرمنطقی

- فعالیت پیش نیاز
- فعالیت A را پیش نیاز فعالیت B گویند یا B را به A وابسته گویند هرگاه A به اتمام برسد B می تواند شروع گردد ، بنابراین شروع B به خاتمه A بستگی دارد.



- قوانین رسم شبکه
- ۱ – هر فعالیت تنها یک بار ظاهر می شود.
- ۲ – دو فعالیت نباید دارای اسم مشابه باشند.
- ۳ – شبکه باید دارای یک رویداد آغازین و یک رویداد پایانی باشد.
- ۴ – بین هر دو رویداد با یک فعالیت نشان داده می شود.
- ۵ طول بردار نشان دهنده فعالیت با زمان ارتباط ندارد.
- ۶ – شبکه دارای راستای جغرافیایی خاصی نمی باشد، اما بهتر است شبکه از چپ به راست ترسیم گردد.
- ۷ – شماره گذاری رویداد ها به گونه ای باشد که شماره رویداد آغازین از شماره رویداد پایانی کوچکتر باشد و دو رویداد با یک شماره موجود نباشد.
- ۸ – پیش نیازها و وابستگی ها به صورتی است که شروع یک فعالیت از یک رویداد هنگامی است که رویداد رخ داده باشد، یعنی تمام فعالیت های منتهی به آن رویداد انجام شده باشند.
- ۹ – واحد زمانی کلیه فعالیت ها یکسان است.
- ۱۰ – شبکه باید با حداقل تعداد فعالیت مجازی منطقی ترسیم گردد.
- ۱۱ – در شبکه ترسیم شده نباید حلقه ایجاد شود.

- مثال – فرض کنید بخشی از اطلاعات یک پروژه به صورت زیر باشد:
- فعالیت C به فعالیت A وابستگی داشته باشد (A<C)
- فعالیت D به A و B وابستگی داشته باشد. (A,B<D)



شبکه غلط　　شبکه درست

تمرین

- باتوجه به قوانین رسم شبکه ، شبکه های زیر را ترسیم کنید:

1- A<D,M B<M C<E,M	2- A<C,D B<D,E	3-A<D,E B<E C<F
4- A<F,D B<M C<E,G D<M E<M	5- A<D B<D,E C<E,F,D D<G,H,M F<M E<H,M	

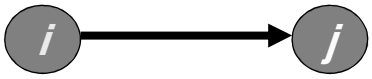
محاسبات در شبکه

- بعد از رسم شبکه باید برای هر فعالیت زمانی را در نظر گرفت . این زمان را باید از افراد خبره و کارشناس دریافت کرد.
- هدف از محاسبات در شبکه پاسخ به سئوالات زیر است :
- الف – پروژه چند روز طول می کشد.
- ب – زودترین و دیرترین شروع و خاتمه هر فعالیت چه موقعی است .
- برای پاسخ به سئوالات فوق دو سری محاسبه لازم است .

- ۱ – محاسبات حرکت رفت ۲ – محاسبات حرکت برگشت

محاسبات حرکت رفت در شبکه

- در محاسبات حرکت رفت با زودترین زمان ها سروکار داریم :



d_{ij} زمان لازم برای اجرای فعالیت ij

E_i زودترین زمان وقوع رویداد i ام

ES_{ij} زودترین زمان شروع فعالیت ij

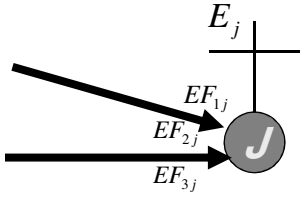
EF_{ij} زودترین زمان ختم فعالیت ij

محاسبات حرکت رفت در شبکه

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

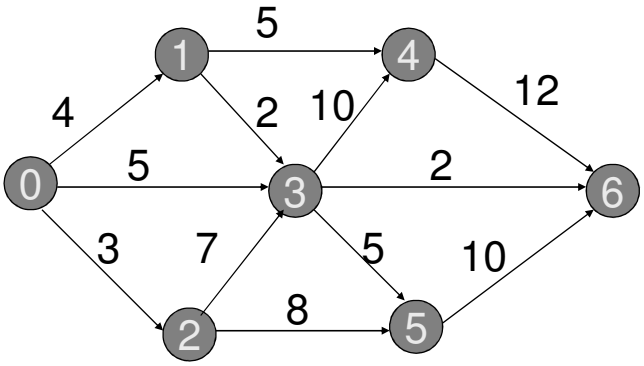
هنگام برخورد با گره های پوششی داریم :

$$E_j = \max_i \{EF_{ij}\}$$



محاسبات حرکت رفت در شبکه

- در محاسبات حرکت رفت ابتدا ES گره شروع را صفر در نظر گرفته و به توسط دو فرمول فوق این محاسبات انجام می شود.



بخشی ازاین محاسبات برای گره های ۰ و ۱ و ۲ و۳ به صورت زیر است :

$$E_0 = 0$$
$$E_1 = 0 + 4 = 4 = EF_{01}$$
$$E_2 = 0 + 3 = 3 = EF_{02}$$
$$EF_{03} = 0 + 5 = 5$$
$$EF_{13} = E_1 + d_{13} = 4 + 2 = 6$$
$$EF_{23} = E_2 + d_{23} = 3 + 7 = 10$$
$$E_3 = \max\{EF_{13}, EF_{03}, EF_{23}\} = \max\{6,5,10\} = 10$$

محاسبات حرکت برگشت

- در محاسبه حرکت برگشت به دنبال محاسبه دیرترین ها می باشیم .

- در محاسبات حرکت برگشت داریم :
  - d_{ij} زمان انجام فعالیت ij
  - L_i دیرترین زمان وقوع واقعه (رویداد) i ام
  - LS_{ij} دیرترین زمان شروع فعالیت ij
  - LF_{ij} دیرترین زمان خاتمه فعالیت ij

محاسبات حرکت برگشت

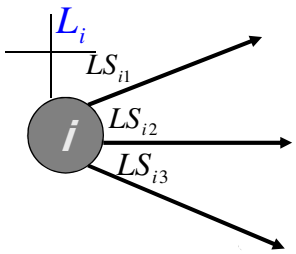
- فرمول های لازم برای انجام محاسبات برگشت به شرح زیر است :

$$L_j = LF_{ij}$$

$$LS_{ij} = LF_{ij} - d_{ij}$$

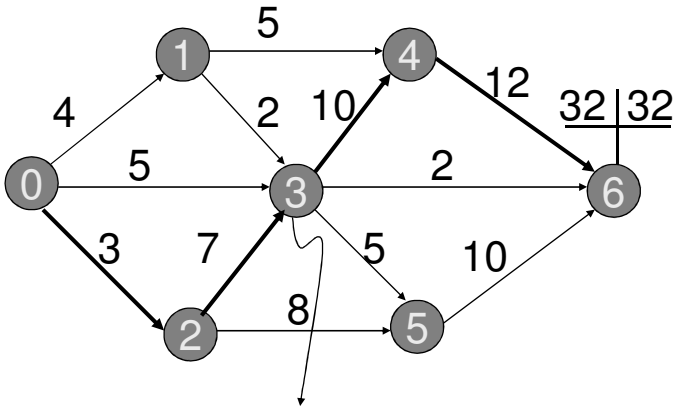
- در گره های جوششی داریم :

$$L_i = \min_j \{LS_{ij}\}$$



محاسبات حرکت برگشت

- در محاسبات حرکت برگشت اگر گره نهایی دارای زمان از پیش تعیین شده ای نباشد ، دیرترین زمان ختم پروژه را برابرزودترین زمان ختم پروژه در نظرگرفته برای مثال مورد بحث داریم :



محاسبات برای گره ۳ به صورت زیر است

$$LF_{46} = LF_{36} = LF_{56} = L_6 = 32$$
$$LS_{46} = LF_{46} - d_{46} = 32 - 12 = 20$$
$$LS_{36} = LF_{36} - d_{36} = 32 - 2 = 30$$
$$LS_{56} = LF_{56} - d_{56} = 32 - 10 = 22$$
$$L_4 = LS_{46} = 20 = LF_{34}$$
$$L_5 = LS_{56} = 22 = LF_{35}$$
$$LS_{34} = LF_{34} - d_{34} = 20 - 10 = 10$$
$$LS_{35} = LF_{35} - d_{35} = 22 - 5 = 17$$
$$E_3 = Min\{LS_{34}, LS_{36}, LS_{35}\} = Min\{10,30,17\} = 10$$

انواع شناوری ها

- فرجه یا شناوری (Slack) به چند بخش تقسیم می گردد :
- ۱ – شناوری کل Total Float (TF) فعالیت ij
- ۲ – شناوری آزاد Free Float (FF) فعالیت ij
- 3 – شناوری ایمنی Safety Float (SF) فعالیت ij
- ۴ – شناوری مستقل Independent Float (IF) فعالیت ij
- ۱ – شناوری کل :
- مقدار زمانی است که یک فعالیت می تواند به تعویق افتد یا بر طول زمان انجام آن اضافه گردد بدون آنکه در زمان انجام پروژه تاثیر گذارد.

$$TF_{ij} = L_j - d_{ij} - E_i$$
$$TF_{ij} = LF_{ij} - (E_i + d_{ij})$$
$$TF_{ij} = LF_{ij} - EF_{ij} = LS_{ij} - ES_{ij}$$

$$TF_{36} = LF_{36} - EF_{36} = 32 - 12 = 20$$
$$TF_{46} = LF_{46} - EF_{46} = 32 - 32 = 0$$
$$TF_{56} = LF_{56} - EF_{56} = 32 - 25 = 7$$

- 2 - شناوری آزاد:
- مقدار زمانی که فعالیت می تواند به تعویق افتد یا به زمان اجرای آن اضافه شود بدون آنکه در شناوری فعالیت بعدی تاثیر بگذارد . این نوع شناوری در واقعه های پوششی اتفاق می افتد.

$$FF_{ij} = E_j - EF_{ij}$$

در مثال مورد بحث داریم :

$$FF_{13} = E_3 - EF_{13} = 10 - 6 = 4$$
$$FF_{03} = E_3 - EF_{03} = 10 - 5 = 5$$
$$FF_{23} = E_3 - EF_{23} = 10 - 10 = 0$$
$$FF_{35} = E_5 - EF_{35} = 15 - 15 = 0$$
$$FF_{25} = E_5 - EF_{25} = 15 - 11 = 4$$

شناوری آزاد هر فعالیت بخشی از شناوری کل آن فعالیت می باشد.در مثال مورد بحث شناوری کل فعالیت 35 ، ۵ روز است در صورتیکه شناوری آزاد فعالیت 35 صفر است ، همچنین در مورد فعالیت 25 شناوری کل ۲۱ روز است در صورتیکه شناوری آزاد این فعالیت ۴ روز است و این بدان معنی است که ۴ روز از آن ۲۱ روز در شروع فعالیت بعدی ، یعنی فعالیت 26 اثر ندارد.مسیر با کمترین فرجه کل را مسیر بحرانی گویند.

3– شناوری ایمنی

اگر فعالیت های قبل از فعالیت ij در دیرترین زمان خود یعنی L_i به اتمام برسند در اینصورت حداکثر زمانی که فعالیت ij می تواند تاخیر مجاز داشته باشد بدون آنکه در زمان اتمام پروژه تاثیر بگذارد شناوری ایمنی نامیده می شود. $SF_{ij} = L_j - d_{ij} - L_i$

برای فعالیت ۵-۳ داریم :

$$SF_{35} = L_5 - d_{35} - L_3 = 22 - 5 - 10 = 7$$

- ۴ – شناوری مستقل :

  اگر فعالیت های قبل از فعالیت ij در دیرترین زمان خود یعنی L_i به اتمام برسند و اگر فعالیت های بعدی فعالیت ij در زودترین زمان خود یعنی E_j شروع شوند در اینصورت فرجه ای که برای فعالیت ij باقی خواهد ماند را فرجه مستقل گویند .

$$IF_{ij} = \mathrm{Max}\{0 ; E_j - d_{ij} - L_i\}$$

به طور مثال داریم :

$$IF_{35} = \mathrm{Max}\{0 , E_5 - d_{35} - L_3\} = \mathrm{Max}\{0, 15 - 10 - 5\} = 0$$

◆ بین فرجه ها روابط زیر برقرار است .

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

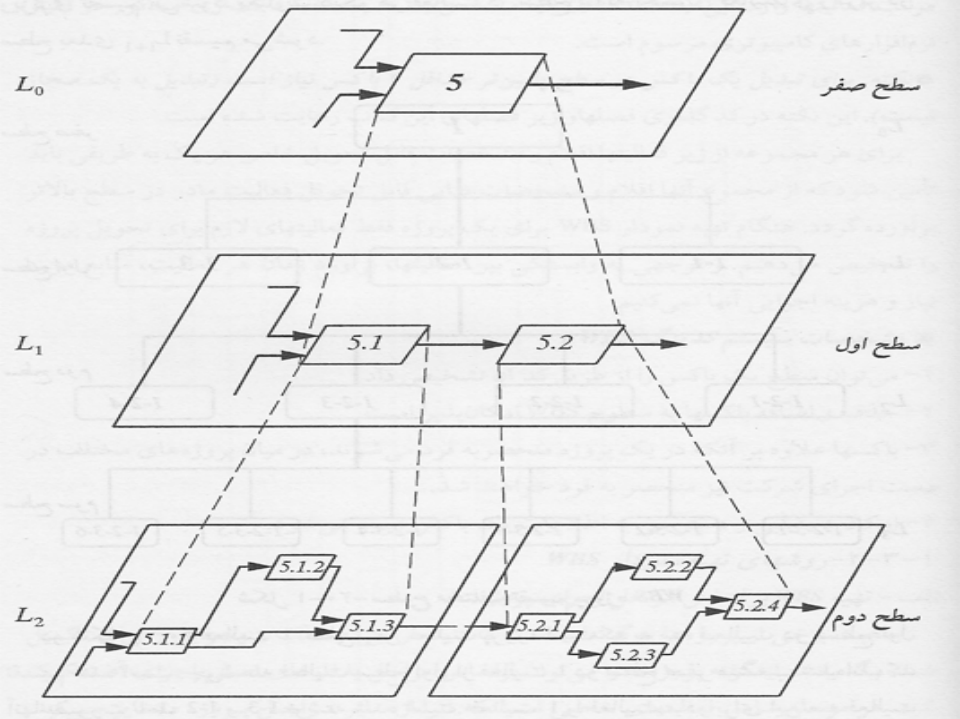
$$IF_{ij} \leq SF_{ij} \leq TF_{ij}$$

◆ هیچ رابطه ای بین فرجه آزاد و فرجه ایمنی وجود ندارد.

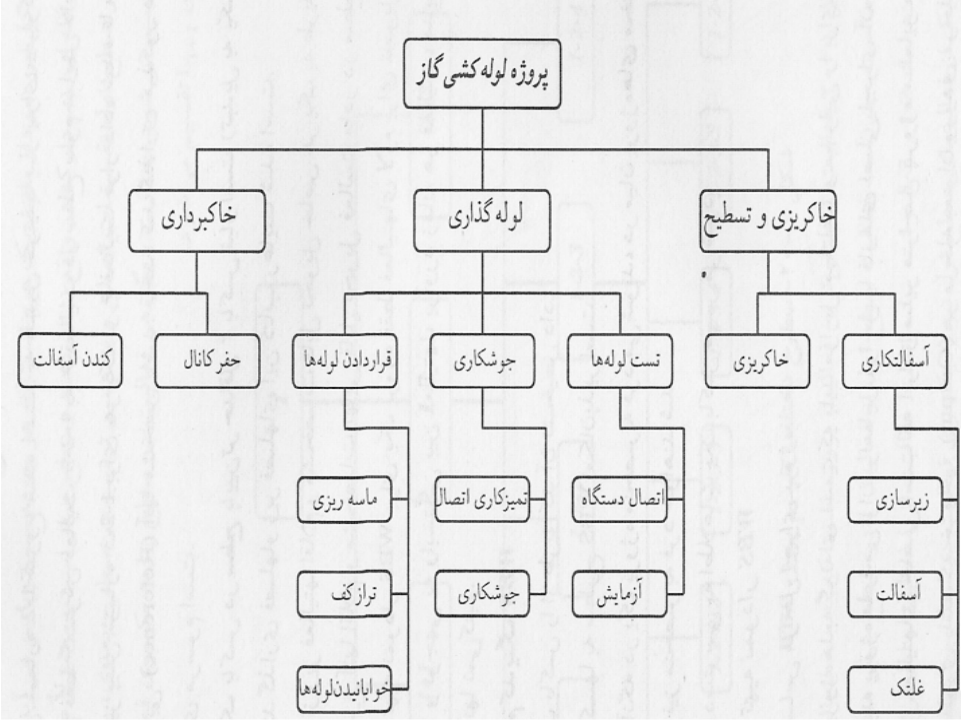
فعالیت های قبلی \ فعالیت های بعدی	زودترین	دیرترین
زودترین	آزاد	کل
دیرترین	مستقل	ایمنی

آشنایی با WBS
Work Breakdown Structure

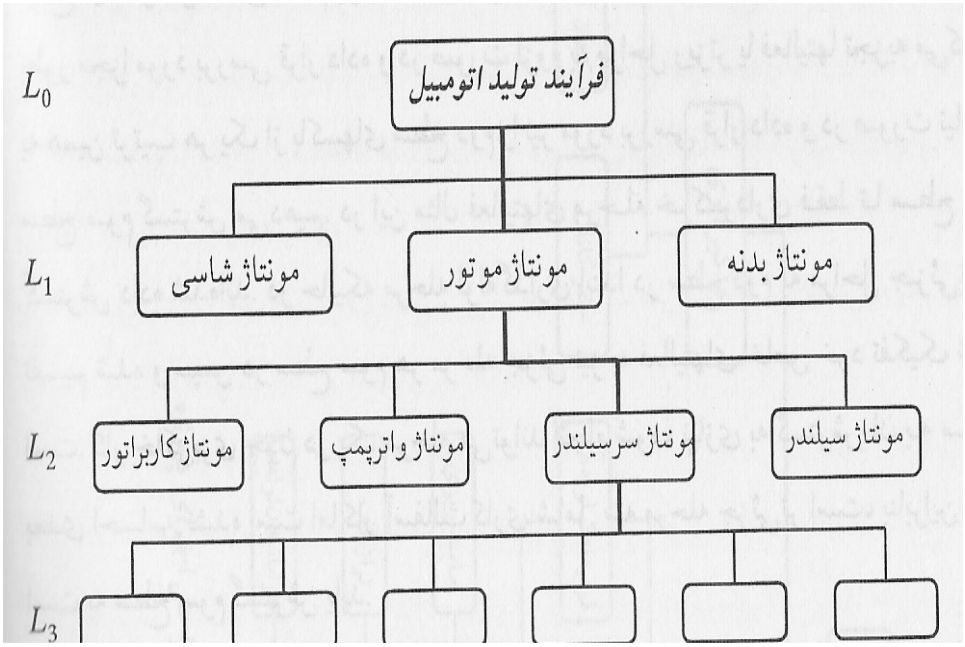
◆ در پروژه های بزرگ که تعداد فعالیت های آن زیاد است به جای تهیه یک شبکه برای کلیه فعالیت ها بهتر است از روش سلسله مراتبی (Hierarchical) ابتدا یک شبکه مادر برای فعالیت های اصلی پروژه تعریف می گردد سپس زیر شبکه هر فعالیت مادر را رسم و به همین ترتیب در صورت نیاز زیر فعالیت هر فعالیت زیر شبکه مرحله قبل را رسم نمود ، شناسایی فعالیت ها با این روش را ساختار تقسیم پروژه یا به طور اختصار WBS گویند.شکل صفحه بعد این تعریف را برای فعالیت ۵ در شبکه مادر را نشان می دهد .



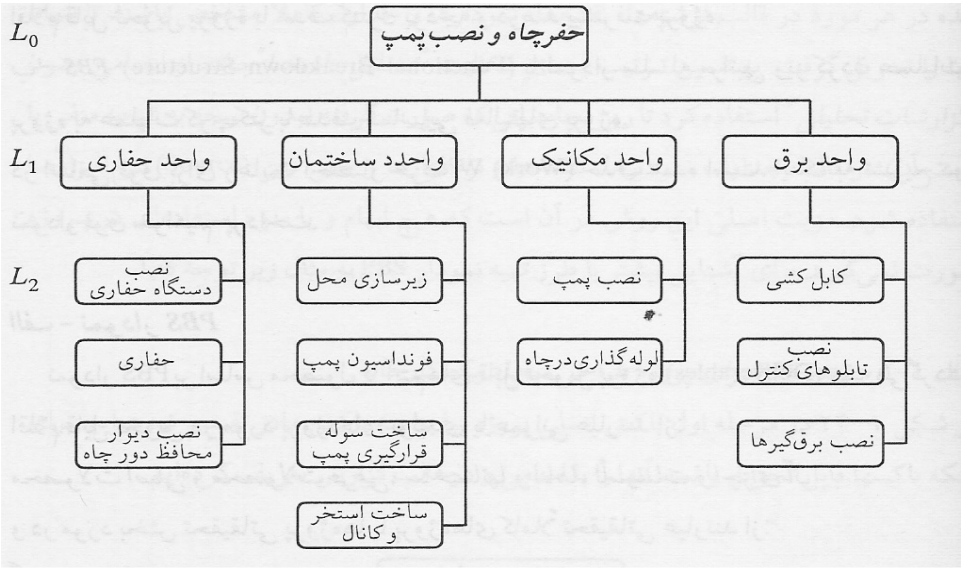
- برای ترسیم فعالیت ها براساس WBS باید از یک سیستم کد بندی فعالیت ها استفاده گردد. این قاعده کدگذاری در همه نرم افزار ها ی کامپیوتری مرسوم است .
- روش های تهیه نمودار WBS
- ماهیت برخی از پروژه ها به گونه ای است که باید مراحل مختلف و مجزایی را برای تکمیل شدن بگذرانند. این گونه پروژه ها را می توان براساس مراحل یا فاز های اصلی اجرای آن تفکیک کرد . هر مرحله شامل فعالیت های خاصی است که آن را از سایر مراحل پروژه متمایز می کند . خاصیت مراحل به گونه ای است که خروجی هر مرحله به عنوان ورودی مرحله بعدی مورد استفاده قرار می گیرد . بدین ترتیب تا یک مرحله پایان نپذیرد مراحل بعدی وابسته به آن شروع نخواهد شد . اکثر پروژه های عمرانی چنین شرایطی را دارا می باشند . در شکل صفحه بعد یک پروژه لوله کشی گاز را می توان مشاهده کرد.



تهیه WBS براساس فرآیند مونتاژ محصول نهایی



تهیه WBS براساس واحد های اجرایی انجام دهنده پروژه

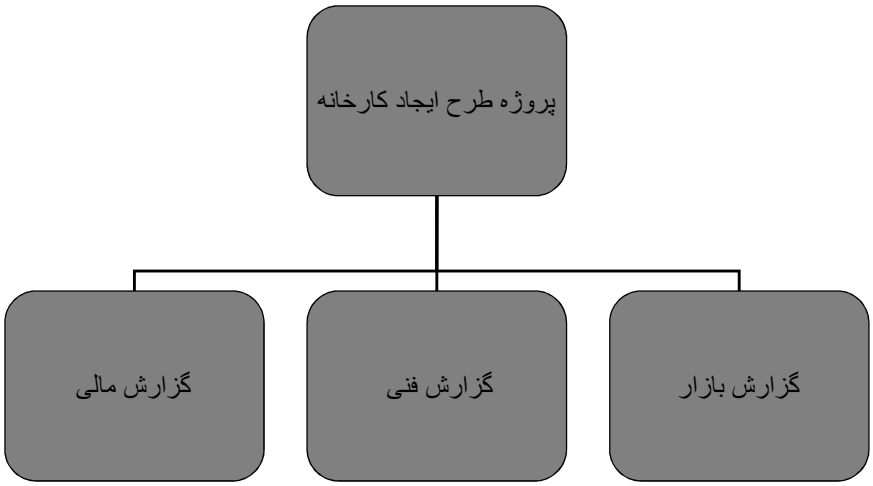


در مدیریت پروژه به جای رسم یک WBS دو نمودار WPBS و WFBS را می توان رسم کرد.

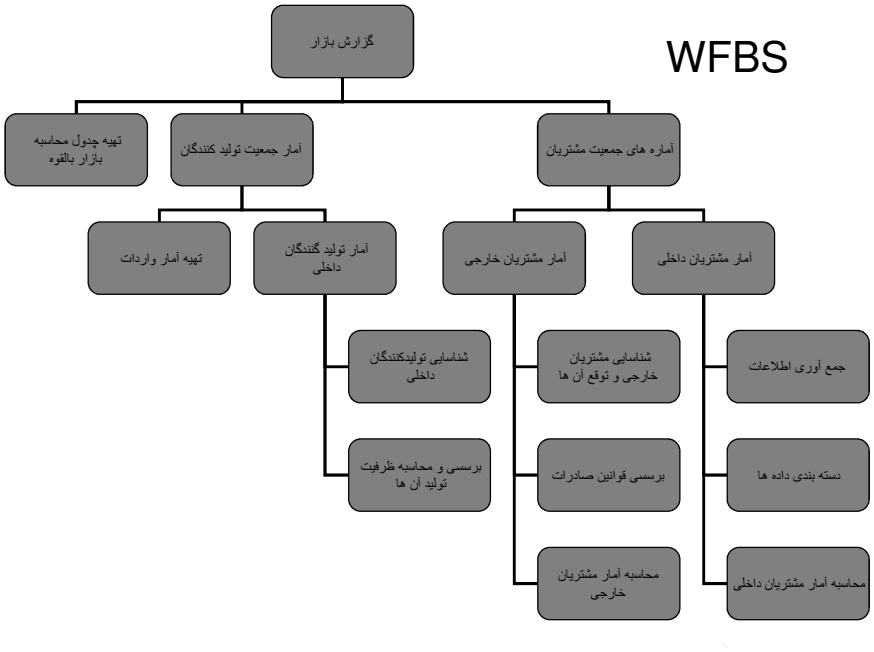
نمودار WPBS نمودار ریز کردن محصول به اقلام قابل تحویل پروژه با هدف کنترل بودجه و در صد پیشرفت پروژه

نمودار WFBS نمودار ریز کردن عملیات پروژه به عملیات کوچکتر با هدف شناسایی فعالیت های پروژه

تهیه WPBS برای پروژه ایجادکارخانه



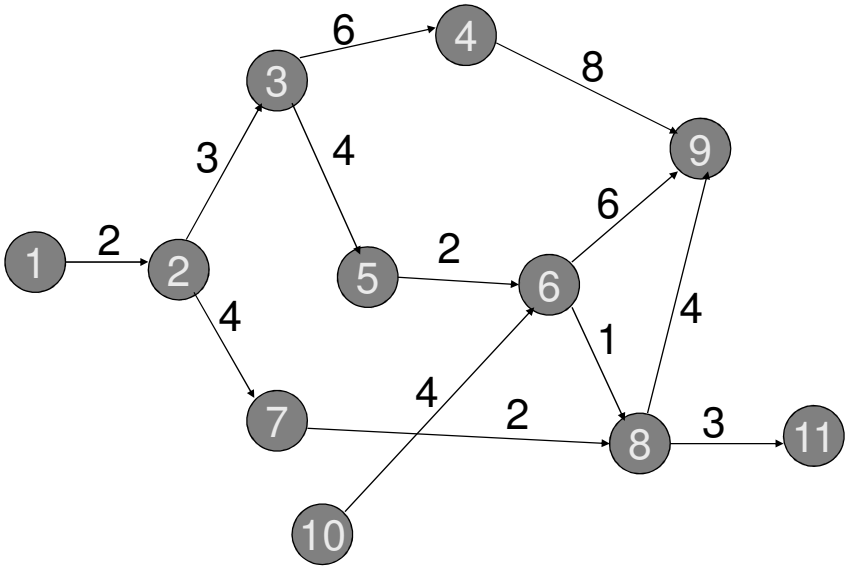
WFBS



انطباق برنامه با شرایط خاص

- به دلائل مختلف اغلب ممکن است وضعیتی پیش آید که زمان یک یا چند واقعه بینابینی از پیش تعیین شده باشد ، در این حالت دستورالعمل زیر به کار می رود .
- زمان شروع طرح ها یعنی زمان های وقوع واقعه های آغازی آ ن ها را به عنوان زودترین زمان وقوع در نظر می گیریم .
- زمان وقوع یا برنامه ریزی شده مربوط به واقعه های بینابینی یا پایانی را به عنوان دیرترین زمان وقوع آن ها واقعه ها را در نظر می گیریم و محاسبات برگشت به عقب با این مقادیر انجام می گیرد.

مثال زیر را در نظر بگیرید:



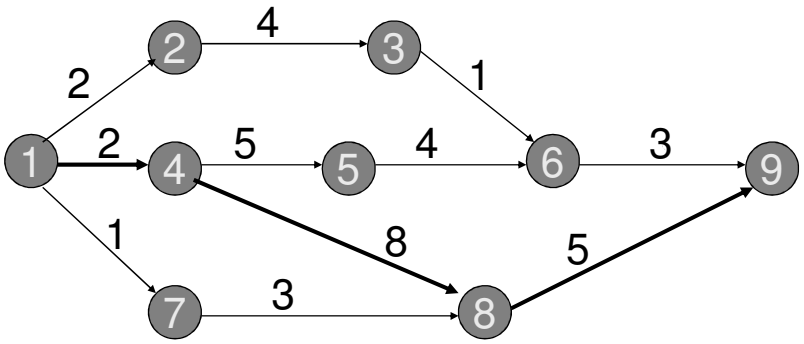
فرض کنید واقعه ۱۱ دارای زمان از پیش تعیین شده ۱۴ و برای واقعه ۹ زمان از پیش تعیین شده ۲۰ داشته باشیم . در این حالت باید در محاسبات حرکت رو به به عقب این مقادیر مورد استفاده قرار گیرد و از این طریق تسریع سازی ها و شناوری ها و فعالیت های بحرانی را مشخص کرد .

بروز آوری برنامه اجرایی

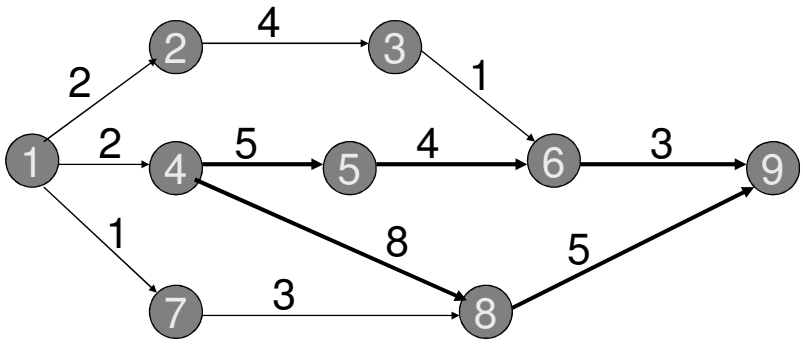
- بعد از گذ شتن مدتی از زمان اجرای پروژه ممکن است برخی از فعالیت ها از برنامه عقب بوده و برخی دیگر از برنامه جلو تر باشند و برخی دیگر به موقع ، در این حالت باید اطلاعات فعلی را از پروژه دریافت کرده و محاسبات حرکت روبه جلو را با اطلاعات جدید ادامه می دهیم ، این عمل ممکن است منجر به تغییر در مسیر بحرانی ایجاد کند .

- مثال – اطلاعات زیردر روز پنجم از یک پروژه به صورت زیر در اختیار قرار داده شده است . با توجه به شبکه پروژه مربوطه اطلاعات شبکه را بروز آوری کنید.

فعالیت	زمان شروع	زمان ختم
۱-۲	۱	۳
۲-۳	۵	-
۱-۴	۰	۲
۴-۵	۳	-
۴-۸	۲	-
۱-۷	۵	-
۶-۹	-	-



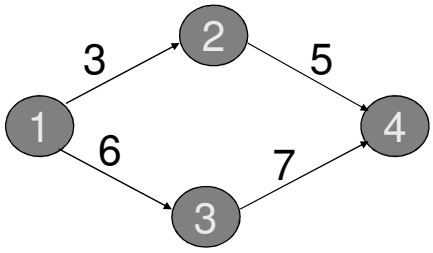
قبل از بروز آوری پروژه



بعد از بروز آوری پروژه

مدل LP شبکه CPM

فرض کنید E_i زمان وقوع واقعه i ام باشد



$$Min \;\; Z = E_4 - E_1$$

$$st: \quad E_2 - E_1 \geq 3$$

$$E_3 - E_1 \geq 6$$

$$E_4 - E_2 \geq 5$$

$$E_4 - E_3 \geq 7$$

$$E_{1,2,3,4} \geq 0$$

تخصیص منابع

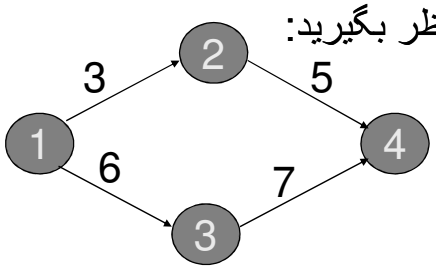
- برای انجام فعالیت ها فقط زمان مورد استفاده قرار نمی گیرد بلکه باید منبع هم مورد استفاده قرار گیرد. این منابع محدود یا نامحدود می باشند .
- اگر منابع محدود باشد هدف آن است که پروژه با کمترین تاخیر به اتمام برسد.
- اگرمنابع نامحدود باشند هدف آن است که نوسانات استفاده از منابع به حداقل ممکن برسد.

فرضیات در تخصیص منابع

- ۱- طرح هائیکه برای تعیین برنامه در نظر گرفته می شونددارای یک زمان شروع و یک تاریخ ختم هستند.
- ۲- طرح در دست برنامه ریزی بوسیله یک شبکه برداری که از نظر تکنیکی قابل انجام باشد مشخص می شود.
- ۳ – مقدار و سطح قابل دسترس از هر منبع در هر دوره زمانی معلوم و مشخص است .
- ۴- مقدار منبع لازم برای هر فعالیت معلوم بوده و احتیاج به آن مقدار در طول مدت اجرای آن فعالیت ثابت است .

تخصیص منابع محدود

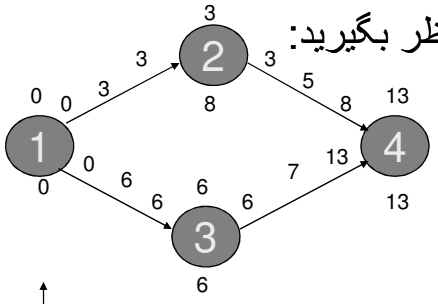
◆ شبکه ساده زیر را در نظر بگیرید:

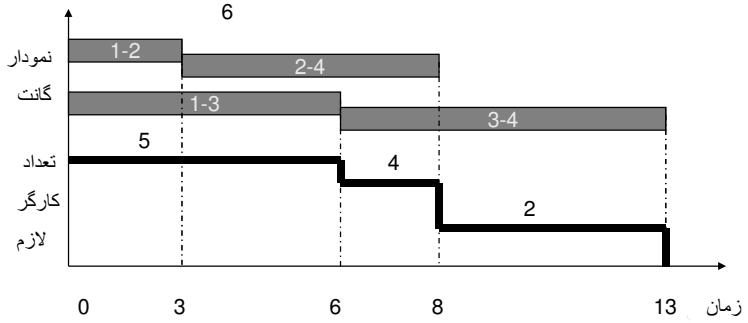


فعالیت	۱-۲	۲-۴	۱-۳	۳-۴
کارگر	۲	۲	۳	۲

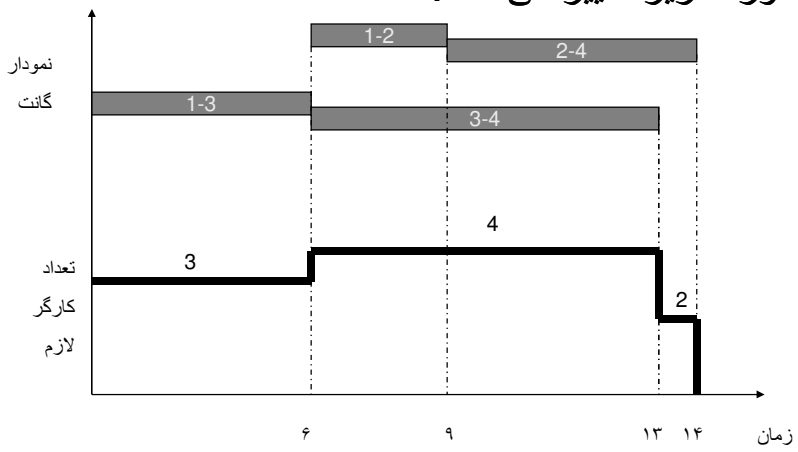
تخصیص منابع محدود

◆ شبکه ساده زیر را در نظر بگیرید:





◆ اگر تعداد کارگران در هر روز حداکثر ۴ نفر باشد شکل به صورت زیر تغییر می کند :



الگوریتم تخصیص منابع محدود

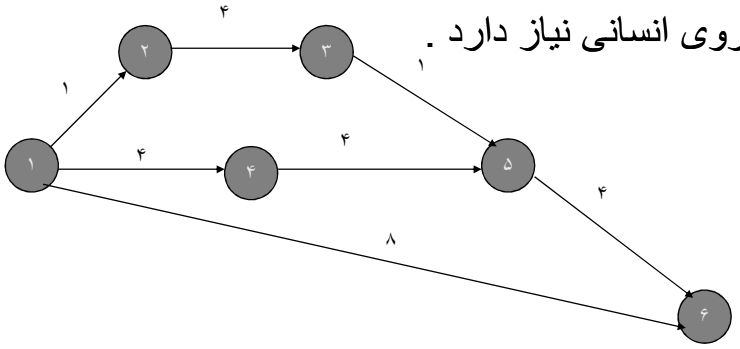
◆ قدم اول – ابتدا محاسبات رفت و برگشت را انجام دهید و T=1 قرار داده و سطح محدود منبع را در نظر بگیرید.

◆ قدم دوم – مجموعه EAS (مجموعه فعالیت های واجد شرائط) را تشکیل دهید . این مجموعه فعالیت هایی را شامل می شود که فعالیت های ماقبل آن ها برنامه ریزی شده اند. چنانچه این مجموعه تهی باشد متوقف شوید .

◆ قدم سوم – مجموعه OSS را تشکیل دهید . این مجموعه فعالیت های مرتب شده صعودی براساسLS آن ها می باشد چنانچه LS ها یکسان باشد معیار دوم d می باشد و ES این فعالیت ها کوچکتر یا مساوی زمان جاری الگوریتم باشد .(T)

◆ قدم چهارم – شروع به تخصیص کنید تا آنجا که منبع در اختیار باشد و سپس زمان T را جلوبرده و سطح منبع در دسترس را تعیین کرده و به قدم دوم بروید.

◆ مثال زیر را در نظر بگیرید. هر فعالیت در هر روز به یک نیروی انسانی نیاز دارد .



محاسبات رفت و برگشت را برای زمان شروع T=1 انجام می دهیم و ES و LS هر فعالیت را مشخص می کنیم ، جدولی به صورت زیر رسم می کنیم .

فعالیت	منبع	d	ES	s	LS	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳
۱-۲	۱	۱	۱	۲	۳	۱												
۱-۴	۱	۴	۱	۰	۱	۱	۱	۱	۱									
۱-۶	۱	۸	۱	۴	۵		۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱				
۲-۳	_	۴	۲	۲	۴		_	_	_	_								
۳-۵	۱	۱	۶	۲	۸								*	۱				
۴-۵	۱	۴	۵	۰	۵					۱	۱	۱	۱					
۵-۶	۱	۴	۹	۰	۹									*	۱	۱	۱	۱
مصرف شده						۲	۲	۲	۲	۲	۲	۲	۲	۲	۱	۱	۱	۱
مصرف نشده						۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۱	۱	۱	۱

تخصیص منابع نامحدود

- در تخصیص منابع نامحدود به دلیل نامحدود بودن منبع پروژه نباید به تاخیر افتد زیرا در هر زمان منبع به وفور یافت می شود . بنابراین هدف در این نوع تخصیص حداقل کردن نوسانات استفاده از منابع در طول زمان اجرای پروژه می باشد .
- اگر R میزان کل نفر روز مورد نیازدر طول زمان اجرای پروژه باشد.
- بنابراین $r_t = \frac{R}{T_S}$ میزان نفر روز مورد نیاز در زمان t را نشان می دهد .

$$Min \quad Z = \sum_{t=1}^{T_S} (r_{t-1} - r_t)^2$$

$$st: \quad \sum_{t=1}^{T_S} r_t = R$$

$$r_t \geq 0 \quad \forall \quad t = 1,2,3,...,T_S$$

- از آنجایی که همه اجزاء تابع هدف مثبت می باشند ، لذا مینیمم فوق هنگامی اتفاق می افتد که z=0 شود یعنی داشته باشیم :

$$r_t = r_{t-1}$$

- بنابراین ضابطه معقول ***<u>حداقل مجموع مربعات تفاضل</u>*** منابع دوستون پشت سر هم را می توان به شکل ساده تری بیان کرد . بدین صورت که جواب مسئله برنامه ریزی ریاضی زیر مشابه مسئله قبلی می باشد.

$$Min \quad Z = \sum_{t=1}^{T_S} r_t^2$$

$$st: \quad \sum_{t=1}^{T_S} r_t = R$$

$$r_t \geq 0 \quad \forall \quad t = 1,2,3,...,T_S$$

- بنابراین ضابطه ***حداقل مجموع مربعات تفاضل*** به ***حداقل مجموع مربعات*** تبدیل می گردد.

از آنچه که گفته شد می توان نتیجه گرفت که در جریان تخصیص منبع نامحدود از ضابطه یا اندازه گیر زیر برای هر منبع می توان استفاده کرد :

$$\min \sum_{t} \left(\sum_{j} r_{tj} \right)^2$$

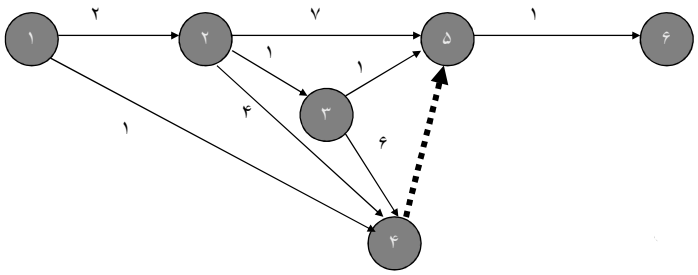
که در آن **t** معرف زمان تخصیص منبع و **j** معرف فعالیتی است که در زمان **t** در حال اجرا می باشدو به مقدار r_{tj} از منبع مورد نظر احتیاج دارد.

الگوریتم برگسBurgess

- بعد از انجام محاسبات رفت و برگشت در ازاء نقطه شروع یک و قرار دادن اطلاعات در جدولی مشابه جدول تخصیص منابع محدود قدم های زیر طی می گردد :
- قدم ۱ – ابتدا فعالیت ها را در جدول فوق برحسب شماره گره انتهایی مرتب می کنیم اگر شماره گره انتهایی یکسان باشد آن ها را به ترتیب شماره گره ابتدایی مرتب می کنیم .
- قدم ۲ – از آخرین فعالیت جدول شروع کرده و تخصیص منابع را با در نظر گرفتن حداقل مجموع مربعات انجام می دهیم اگر دو یا چند وضعیت پیدا شوند که حداقل مجموع مربعات آن ها یکسان باشد وضعیتی را انتخاب می کنیم که بتواند از شناوری حداکثر استفاده را به نماید به عبارت دیگر فعالیت را تا آنجا که ممکن است دیرتر برنامه ریزی می کنیم .

◆ قدم ۳ – پس از آنکه تمام فعالیت ها برنامه ریزی شدند . مجددا از پایین ترین فعالیت جدول برای فعالیت های غیر بحرانی آن ها را در محدوده شناوری خود طوری جابجا می کنیم که مجموع مربعات بیشترین کاهش را نشان دهد . چنانچه کاهش بیشتری امکان پذیر نباشد الگوریتم متوقف می گردد.

◆ برای مثال شبکه زیر را درنظر بگیرید :

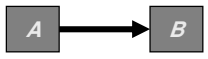


فعالیت	منبع	مدت	ES	s	LS	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰
۱-۲	۵	۲	۱	۰	۱	۵	۵								
۲-۳	۲	۱	۳	۰	۳			۲							
۱-۴	۴	۱	۱	۸	۹				۴						
۲-۴	۴	۴	۳	۳	۶					۴	۴	۴	۴		
۳-۴	۱	۶	۴	۰	۴					۱	۱	۱	۱	۱	
۲-۵	۲	۷	۳	۰	۳			۲	۲	۲	۲	۲	۲	۲	
۳-۵	۲	۱	۴	۵	۹									۲	
۴-۵	-	-	۶	۴	۱۰									-	
۵-۶	۴	۱	۱۰	۰	۱۰										۴
						۵	۵	۴	۷	۷	۷	۷	۷	۵	۴
۳۵۲						۲۵	۲۵	۱۶	۴۹	۴۹	۴۹	۴۹	۴۹	۲۵	۱۶

شبکه های پیش نیازی PN

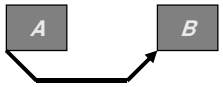
- یکی از محدودیت های شبکه های برداری در آن است که تنها یک رابطه وابستگی یا تقدم و تاخر را مجاز دانسته و این بدان معنی است که شروع فعالیت محدود به پایان کلیه فعالیت های پیش نیازی می باشد. موارد بسیاری در عمل وجود دارد که در آن شروع یک فعالیت بعد از گذشتن مدتی از زمان انجام فعالیت پیش نیازی می تواند شروع گردد ، یا ممکن است محدودیتی برای شروع آن وجود نداشته باشد ولی پایان آن لازم است بعد از گذشتن مدتی از پایان فعالیت پیش نیازی باشد . با استفاده از روابط پیش نیازی تعریف شده در اسلاید بعدی این شبکه ها را می توان ترسیم و محاسبات را درآن ها نشان داد.

- انواع روابط وابستگی در شبکه PN



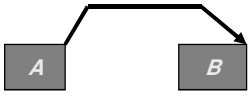
$F_A S_B = n$

پایان به شروع (Finish to Start) فعالیتB تا n واحد زمانی بعد از فعالیت A نمی تواند شروع شود



$S_A S_B = n$

شروع به شروع (Start to Start) فعالیت B تا n واحد زمانی بعد از شروع فعالیت A نمی تواند شروع شود



$F_A F_B = n$

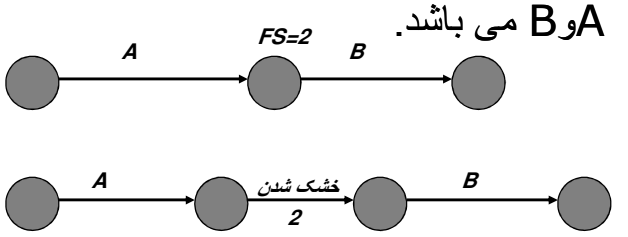
پایان به پایان (Finish to Finish) فعالیت B تا n واحد زمانی بعد از پایان فعایت A نمی تواند پایان یابد.

$S_A F_B = n$

شروع به پایان (Start to Finish) فعالیت B تا n واحد زمانی بعد از شروع فعالیت A نمی تواند پایان یابد.

مثال برای FS

- فرض کنید پس از پایان عمل بتن ریزی A باید ۲ روز برای خشک شدن آن صبر کرد تا فعالیت B شروع گردد .
- این زمان مستقل از زمان شناوری فعالیت B می باشد . این کار معادل تعریف یک فعالیت ۲ روزه بین فعالیت های AوB می باشد.

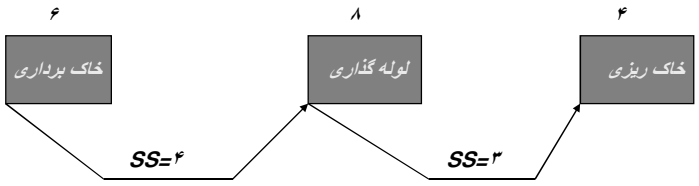


مثال برای SS

- فرض کنید در یک پروژه ساختمانی فعالیت A ریختن ملات کف و فعالیت B موزائیک کردن باشد ، بنابراین واضح است که B نمی تواند شروع گردد مگر آنکه n واحد زمانی از ریختن ملات گذشته باشد، اما برای شرو, B لازم نیست تا A به اتمام برسد :

$$S_A S_B = n$$

◆ در مثال دیگر فرض کنید سه فعالیت خاک برداری ، لوله گذاری و خاک ریزی سه فعالیت باشد ، وقتی ۵۰ % فعالیت خاک برداری انجام شد فعالیت لوله گذاری می تواند شروع گردد و وقتی ۵۰ % فعالیت لوله گذاری انجام شد ، فعالیت خاک ریزی می تواند انجام شود . با توجه به اینکه این ۳ فعالیت به ترتیب دارای زمان های ۶ و ۸ و ۴ می باشد می توان این شبکه را به صورت زیر نشان داد :

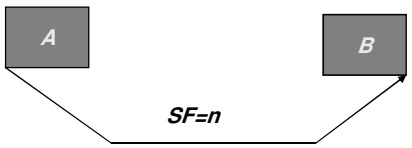


مثال برای FF

◆ فرض کنید فعالیت A چسباندن موکت و فعالیت B تمیز کاری شامل برداشتن ضایعات و ... باشد . بنابراین انجام بخشی از B قبل یا همزمان با A امکان پذیر است . در این صورت B قبل از اتمام A به پایان نمی رسد . به طور مثال B ، ۲۰ دقیقیه بعد از پایان A به اتمام می رسد .

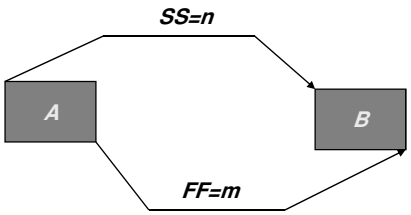
مثال برای SF

- این حالت در عمل به ندرت اتفاق می افتد و کمترین کاربرد را دارد . فرض کنید A فعالیت طراحی و تولید محصول جدید و B فعالیت تبلیغات محصول قبلی باشد ، در این صورت پس از گذشت n واحد زمانی از شروع فعالیت طراحی و تولید محصول جدید ، B می تواند خاتمه یابد .



فعالیت با بیش از یک رابطه

- در بعضی موارد ممکن است بین ۲ فعالیت بیش از یک رابطه وابستگی وجود داشته باشد . در مثال ریختن ملات کف و موزائیک کاری کف ، ماهیت کار به گونه ای است که نه تنها بین شروع این دوفعالیت n واحد زمانی باید فاصله باشد بلکه بین خاتمه این دو فعالیت هم باید m واحد زمانی فاصله باشد .



توجه داشته باشد در شبکه های پیش نیازی نباید loop وجود داشته باشد

رسم شبکه های PN

- گام های لازم برای رسم شبکه های PN
- ۱ – ابتدا فعالیت های پروژه را به وسیله نمودار WBS و FBS شناسایی و زمان گذاری کنید .
- ۲ – پیش نیاز ها را مشخص کنید .
- ۳ – نوع و مقدار روابط وابستگی مابین فعالیت ها را از طریق نظرات متخصصین و کارشناسان و پیمانکاران مربوطه بدست می آوریم و با علائمی که گفته شده نشان می دهیم .
- این شبکه ها به صورت AON ترسیم شده و در نشان دادن وابستگی های PN صرفا با خط ساده آن را نشان می دهیم.

مثال

- یک پروژه ساختمانی را در نظر بگیرید که در آن تعدادی واحد مسکونی مشابه به صورت سری ساخته می شوند برای کوچک شدن مثال در اینجا تنها ۳ واحد مسکونی را در نظر بگیرید ، فرض کنید برای هر واحد باید ۵ فعالیت زیر اجرا شود .

نوع فعالیت	زمان فعالیت (ساعت)
۱- پاک کردن فعالیت و شیب بندی	۸ ساعت
۲ – قرار دادن قالب های بتن	۱۲ ساعت
۳ – لوله گذاری فاضلاب	۱۶ ساعت
۴ – نصب میل گرد ها بتنی	۹ ساعت
۵ – بتن ریزی و صافکاری	۴ ساعت

- فرض کنید شماره های ۱ تا ۵ را برای فعالیت های ساختمان ۱ و شماره های ۶ تا ۱۰ را برای فعالیت های ساختمان شماره ۲ و شماره های ۱۱ تا ۱۴ را برای فعالیت های ساختمان شماره ۳ در نظر بگیریم :
- ۱ – باید محوطه قبل از قرار دادن قالب های بتن یا لوله ها ی فاضلاب پاک شود . $F_1S_2 = 0 \quad F_1S_3 = 0$
- ۲ – قالب های بتن و لوله های فاضلاب را می توان همزمان قرار داد ، ولی لوله گذاری فاضلاب باید حداقل ۲ ساعت قبل از اتمام قرار دادن قالب های بتن به پایان برسد . $F_3F_2 = 2$
- ۳ – تنها پس از ۷ ساعت از شروع قرار دادن قالب ها ی بتن و لوله گذاری فاضلاب می توان نصب میل گرد های بتنی را شروع کرد این کار نمی تواند قبل از اتمام لوله گذاری فاضلاب یا یک ساعت قبل از اتمام قراردادن قالبهای بتن به اتمام برسد . $S_2S_4 = 7 \quad S_3S_4 = 7$ $F_2F_4 = 1 \quad F_3F_4 = 0$

۴ – قبل از شروع بتن ریزی لازم است ۲ ساعت صرف بازرسی چهار فعالیت اول شود . $F_4S_5 = 2$

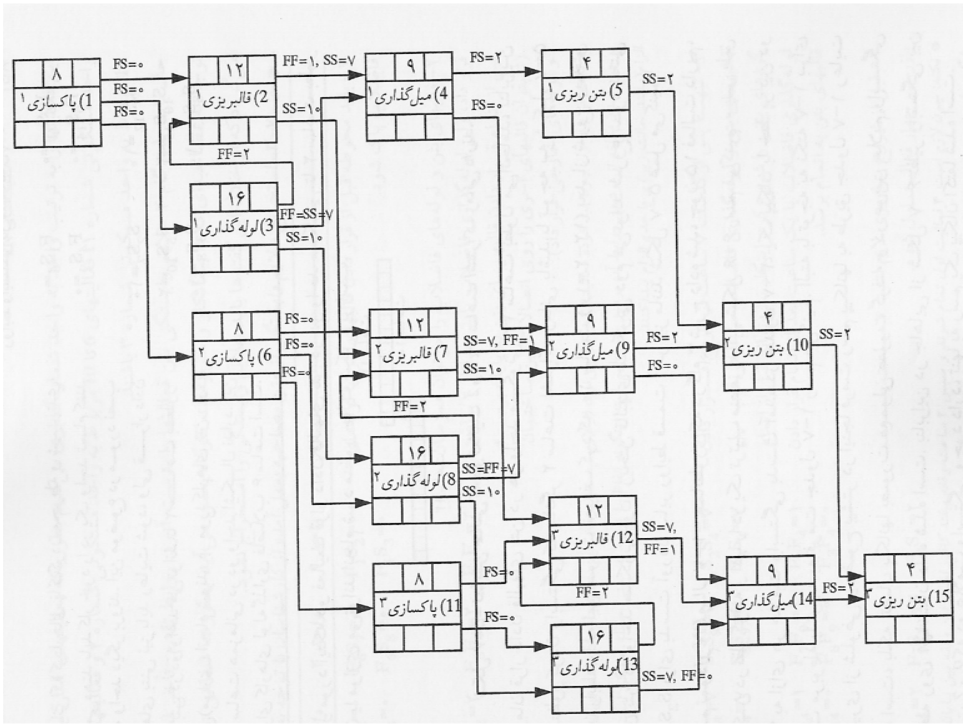
۵ – کارگرانی که کارهای پاک کردن محوطه و شیب بندی را انجام می دهند باید کار خود را در یک واحد تمام کنند سپس به واحد دیگر بروند . این موضوع در مورد نصب میل گرد ها ی بتنی نیز باید رعایت شود . ولی قرار دادن قالب های بتن در دو واحد می تواند تا ۲ ساعت به طور همزمان (موازی) انجام شوند . در مورد کارهای بتن ریزی نیز تا ۲ ساعت همزمانی در ۲ واحد اشکال ندارد .

$$S_2S_7 = 10$$

$$S_5S_{10} = 2$$

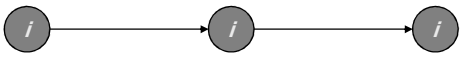
$$S_3S_8 = 10$$

شبکه صفحه بعدی اطلاعات فوق را نشان می دهد .



محاسبات رفت و برگشت در شبکه های PN

◆ برای سه فعالیت i و J و K به صورت زیر داریم :



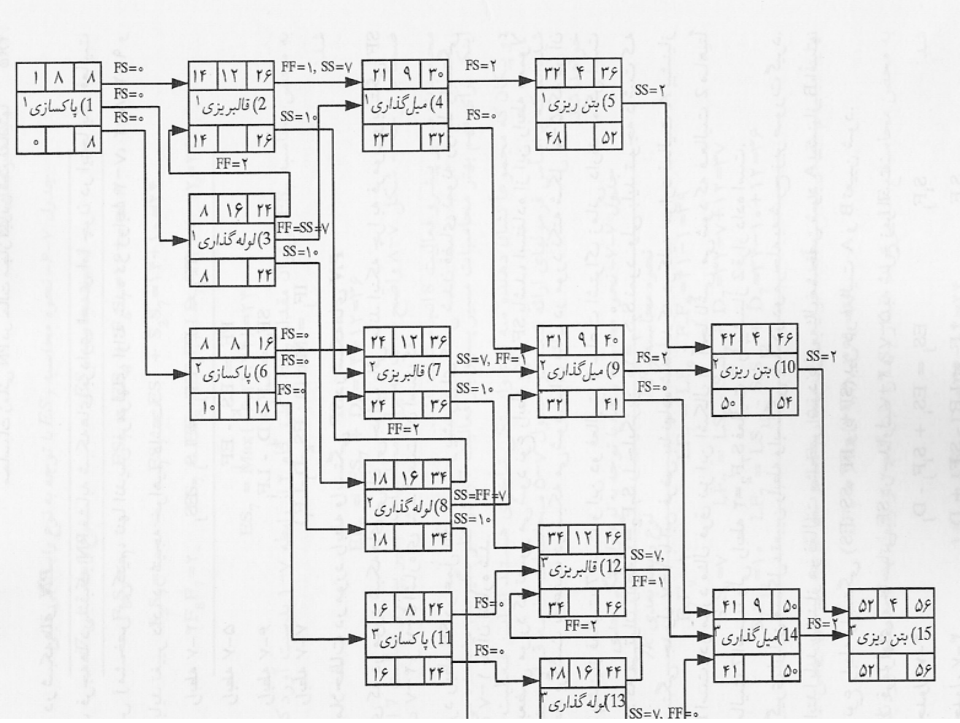
◆ در حرکت رفت :

نوع رابطه قبلی ij	نحوه محاسبه ES_j
F_iS_j	$ES_j = EF_i + F_iS_j$
S_iS_j	$ES_j = ES_i + S_iS_j$
F_iF_j	$ES_j = EF_i + F_iF_j - D_j$

در محاسبات حرکت بر گشت داریم :

ij نوع رابطه بعدی	LF_j نحوه محاسبه
F_jS_k	$LF_j = LS_k + F_jS_k$
S_jS_k	$LF_j = LS_k - S_jS_k + D_j$
F_jF_k	$LF_j = LF_k - F_iF_j$

محاسبات برای شبکه مثال قبلی به صورت زیر انجام شده است.

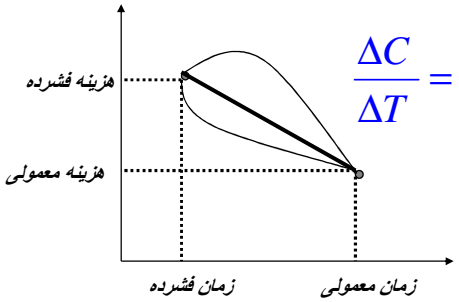


آنالیز هزینه و زمان

- همانطور که قبلا گفته شد ، برای انجام فعالیت به غیر از زمان به منبع هم نیاز است . در برخی از فعالیت ها می توان با صرف هزینه بیشتر از مدت زمان اجرای آن ها کاست و بدین ترتیب زمان انجام پروژه را کوتاه کرد.
- نقطه معمولی هزینه و زمان
- زمانی است که فعالیت با صرف هزینه ای معقول به اتمام برسد .
- نقطه فشرده هزینه وزمان

کوتاهترین زمانی است که با صرف هزینه بیشترمی توان فعالیت را انجام داد .

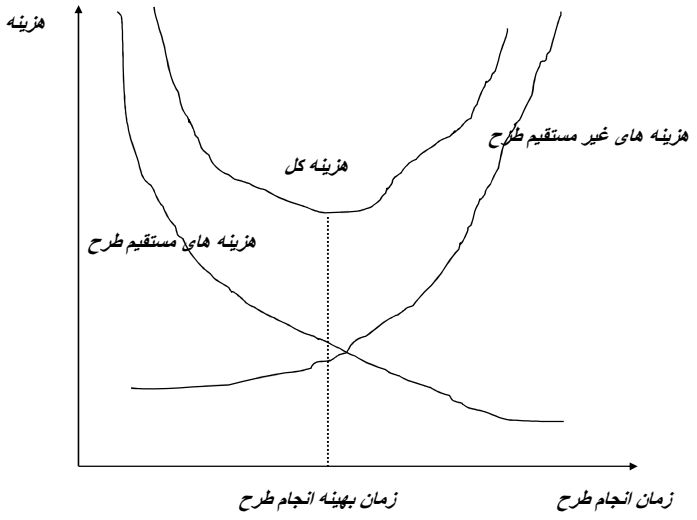
- شکل زیر این نقاط را نشان می دهد :



$$\frac{\Delta C}{\Delta T} = \frac{C_{crash} - C_{normal}}{T_{normal} - T_{crash}}$$ شیب هزینه =

- اگر زمان های معمولی برای همه فعالیت ها در نظر گرفته شوند هزینه مستقیم طرح حداقل خواهد بود و مدت اجرا حداکثر
- اگر مدت اجرای طرح را بخواهیم کاهش دهیم باید تخصیص منابع روی فعالیت هایی که در مسیر بحرانی هستند صورت گیرد.
- اگر زمان های حداقل ممکن برای فعالیت ها در نظر گرفته شوند هزینه مستقیم طرح حداکثر خواهد بود و مدت اجرا حداقل .

- اگر هزینه اجرای طرح را بخواهیم تقلیل دهیم و مدت اجرای طرح در سطح کمترین مقدار خود که در بند ج مطرح شده است بماند فقط می توان زمان های فعالیت های غیر بحرانی را حداکثر به اندازه زمان شناوری آن ها افزایش داد.
- انواع هزینه ها
- هزینه های مستقیم :
- هزینه هایی هستند که مستقیما برای اجرای فعالیت صرف می گردد هزینه نیروی انسانی ، هزینه مواد و مصالح مصرفی از این دسته اند. رفتار این هزینه ها سبت به زمان انجام طرح نزولی است .
- هزینه های غیر مستقیم :
- هزینه هایی ازقبیل نظارت ، اجاره ؛ جریمه دیرکرد یا پاداش بعنوان حسن انجام کار، هزینه های بالاسری از این دسته اند ورفتار این هزینه ها نسبت به زمان انجام طرح سیری صعودی دارند.



محاسبات هزینه و زمان

این محاسبات براساس سه دستورالعمل زیر بنا شده است .

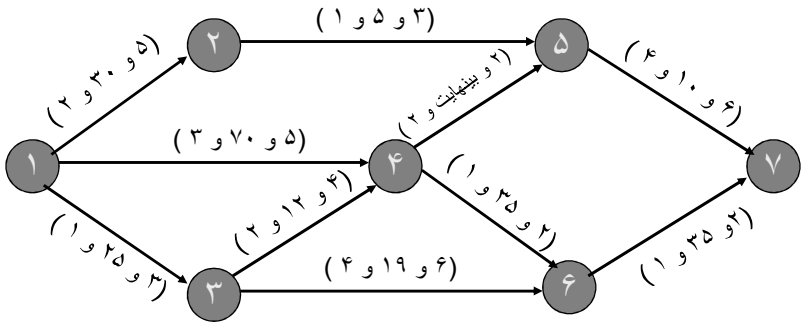
هدف از این محاسبات بدست آوردن منحنی تغییرات هزینه های مستقیم طرح می باشد .

دستورالعمل اول : در صورتیکه تمام فعالیت های مسیر بحرانی به حداقل زمان اجرای خود رسیده اند توقف کنید . اگر شبکه دارای بیش از یک مسیر بحرانی باشد به دستورالعمل سوم بروید ، در غیر اینصورت فعالیت با کمترین شیب هزینه را در مسیر بحرانی انتخاب کنید ، اگر چند فعالیت در مسیر بحرانی دارای کمترین شیب بودند آن فعالیتی را انتخاب کنید که کاهش زمان کمتری دارد. در صورتیکه کاهش زمان در فعالیت با کمترین شیب هزینه منجر به غیر بحرانی شدن مسیر بحرانی گردد به دستورالعمل دوم بروید در غسر اینصورت زمان فعالیت را کاهش داده افزایش هزینه را محاسبه کرده و محاسبات رفت شبکه را تا انتها ادامه دهید و به دستورالعمل اول برگردید.

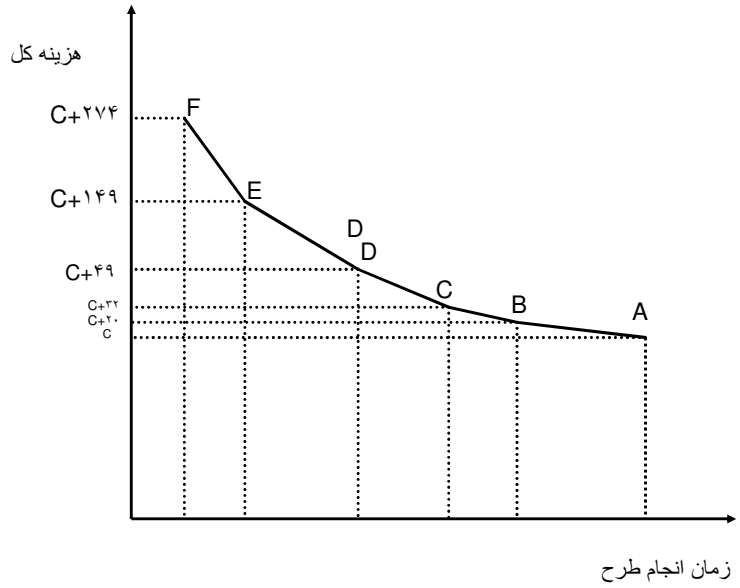
- دستورالعمل دوم :
- در فعالیت انتخاب شده با حداقل هزینه به اندازه ای کاهش ایجاد کنید که مسیر بحرانی فعلی عوض نشود اما اگر مسیر دیگری بحرانی شد مانعی ندارد . عملیات کاهش زمان و محاسبه هزینه و محاسبات رفت را در شبکه انجام دهید و به دستورالعمل اول برگردید .
- دستورالعمل سوم :
- فعالیت های روی مسیر های بحرانی به دودسته تقسیم می شوند
  ۱ – فعالیت هایی که در بخشی یا همه مسیر های بحرانی مشترکند.
- ۲ – سایر فعالیت های مسیرهای بحرانی

◆ ترکیبی از فعالیت ها را بگونه ای انتخاب کنید که مجموع شیب هزینه فعالیت های انتخاب شده در ترکیب کمترین مقدار ممکن باشد ، به طوریکه کاهش زمان در فعالیت های ترکیب ، کاهش زمان در کلیه مسیر های بحرانی تاثیر گذارد . مقدار کاهش زمان ، حداقل میزان کاهش در بین فعالیت های یک ترکیب می باشد . بعد ازمشخص شدن ترکیب مناسب عملیات کاهش زمان و افزایش هزینه و محاسبات شبکه راا نجام دهید.

◆ برای آشنایی با این دستورالعمل ها به مثال زیر دقت کنید:



مرحله	زمان طرح	هزینه مستقیم	کاهش زمان	افزایش هزینه	نقطه
۱	۱۵	C	۲	۲۰	A
۲	۱۳	C+۲۰	۱	۱۲	B
۳	۱۲	C+۳۲	۱	۱۷	C
۴	۱۱	C+۴۹	۱	۱۰۰	D
۵	۱۰	C+۱۴۹	۱	۱۲۵	E
۶	۹	C+۲۷۴	-	-	F



شبکه پرت

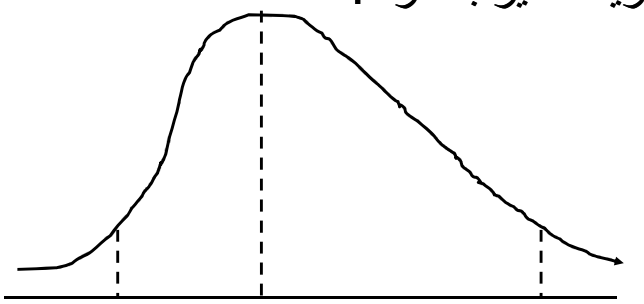
Program Evaluation & Review Technique

- در این شبکه ها برای هر فعالیت سه زمان برآورد می گردد . ایده کلی براین است که زمان انجام یک فعالیت خود از یک تابع توزیعی پیروی می کند که میانگین و انحراف در این توزیع باید مشخص گردد .

شبکه های پرت PERT CHART

- در شبکه های CPM زمان انجام فعالیت ها قطعی می باشد. اما در شبکه های پرت زمان انجام هر فعالیت به سه شکل برآورد می گردد .
- ۱ – زمان خوشبینانه – Optimistic Time
- اگر تمام حوادث و پدیده ها در مناسبترین حالت خود اتفاق افتد و نیروی لازم به اندازه کافی وجود داشته باشد حداقل زمان انجام فعالیت می باشد.
- ۲ – زمان محتمل – Most likely Time
- محتمل ترین زمان انجام فعالیت (زمان با بیشترین احتمال)
- ۳ – زمان بدبینانه – Pessimistic Time
- حداکثر زمانی که یک فعالیت می تواند به طول می انجامد .

در این شبکه ها هدف تعیین احتمال اتمام پروژه در زمان های مختلف می باشد تا در تصمیم گیری های مدیریت تاثیر بگذارد .



- بنابراین هر فعالیت دارای یک زمان متوسط و یک انحراف معیارخواهد بود که به صورت زیر برآورد می گردد :

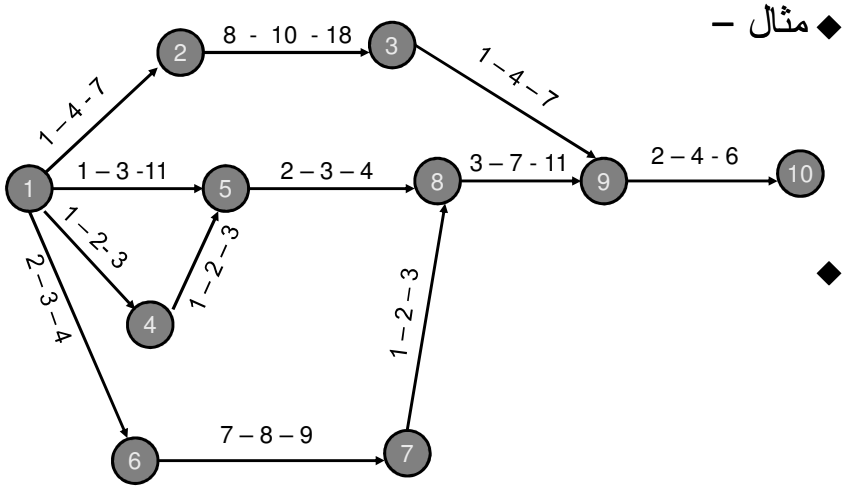
$$t_e = \frac{t_o + 4t_m + t_p}{6} \qquad \sigma = \left(\frac{t_p - t_o}{6}\right)$$

وبر طبق قضیه حد مرکزی اگر N متغیر تصادفی که هر یک توزیع خاصی داشته باشند . مجموع همه یا بخشی از این متغیر ها دارای توزیع نرمال بوده به طوریکه میانگین و واریانس تابع از رابطه زیر محاسبه می گردد:

$$T = t_1 + t_2 + \cdots + t_N$$

$$V_t = V_{t_1} + V_{t_2} + \cdots + V_{t_N}$$

◆ مثال –



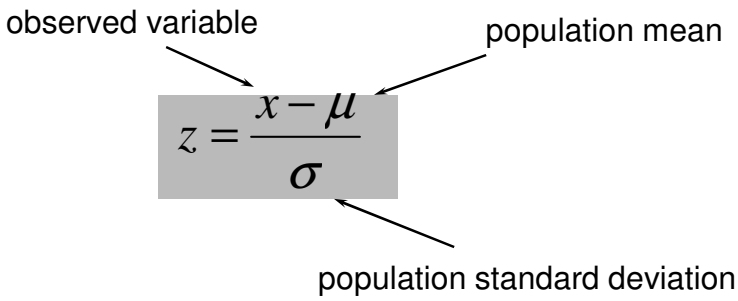
◆

S2	s	te	tp	tm	to	فعالیت
1	1	4	7	4	1	1-2
25/9	5/3	11	18	10	8	2-3
1/9	1/3	2	3	2	1	1-4
25/9	5/3	4	11	3	1	1-5
1/9	1/3	2	3	2	1	4-5
1/9	1/3	3	4	3	2	1-6
1/9	1/3	8	9	8	7	6-7
1/9	1/3	3	4	3	2	5-8
1/9	1/3	2	3	2	1	7-8
1	1	4	7	4	1	3-9
16/9	4/3	7	11	7	3	8-9
4/9	2/3	4	6	4	2	9-10

- محاسبات رفت و برگشت براساس زمان مورد انتظار انجام می گیرد . در مثال فوق زمان مورد انتظار برای تکمیل پروژه به صوزت زیر است :
- Te = 3+8+2+7+4 =24
- و واریانس لازم برای تکمیل پروژه عبارت است از :
- V = 1/9+1/9+1/9+16/9+4/9 = 23/9
- چنانچه شبکه دارای بیش از یک مسیر بحرانی باشد . مسیر با بیشترین واریانس مسیر بحرانی می باشد .
- برای محاسبه احتمالات از جدول توزیع نرمال استفاده می گردد. (صفحه بعد)

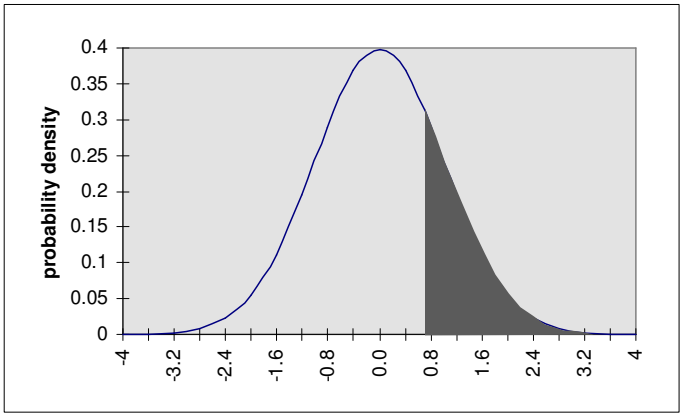
Relating the general pattern to the particular case: the Z transform

- few substances have a mean=0, s.d.=1
- need to scale or "transform":



usually use the sample mean and s.d.

Reading Normal probabilities



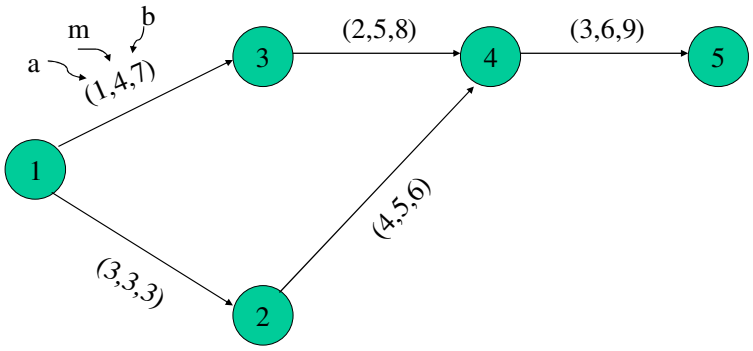
P(z>0.75)=0.2266 (from tables)

Normal distribution table

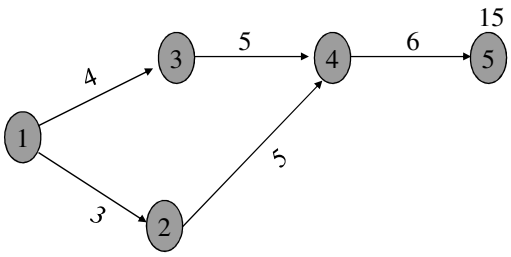
Areas under the standard normal curve

z	0.00	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09
0.0	0.5000	0.4960	0.4920	0.4880	0.4840	0.4801	0.4761	0.4721	0.4681	0.4641
0.1	0.4602	0.4562	0.4522	0.4483	0.4443	0.4404	0.4364	0.4325	0.4286	0.4247
0.2	0.4207	0.4168	0.4129	0.4090	0.4052	0.4013	0.3974	0.3936	0.3897	0.3859
0.3	0.3821	0.3783	0.3745	0.3707	0.3669	0.3632	0.3594	0.3557	0.3520	0.3483
0.4	0.3446	0.3409	0.3372	0.3336	0.3300	0.3264	0.3228	0.3192	0.3156	0.3121
0.5	0.3085	0.3050	0.3015	0.2981	0.2946	0.2912	0.2877	0.2843	0.2810	0.2776
0.6	0.2743	0.2709	0.2676	0.2643	0.2611	0.2578	0.2546	0.2514	0.2483	0.2451
0.7	0.2420	0.2389	0.2358	0.2327	0.2296	0.2266	0.2236	0.2206	0.2177	0.2148
0.8	0.2119	0.2090	0.2061	0.2033	0.2005	0.1977	0.1949	0.1922	0.1894	0.1867
0.9	0.1841	0.1814	0.1788	0.1762	0.1736	0.1711	0.1685	0.1660	0.1635	0.1611
1.0	0.1587	0.1562	0.1539	0.1515	0.1492	0.1469	0.1446	0.1423	0.1401	0.1379
1.1	0.1357	0.1335	0.1314	0.1292	0.1271	0.1251	0.1230	0.1210	0.1190	0.1170
1.2	0.1151	0.1131	0.1112	0.1093	0.1075	0.1056	0.1038	0.1020	0.1003	0.0985
1.3	0.0968	0.0951	0.0934	0.0918	0.0901	0.0885	0.0869	0.0853	0.0838	0.0823
1.4	0.0808	0.0793	0.0778	0.0764	0.0749	0.0735	0.0721	0.0708	0.0694	0.0681
1.5	0.0668	0.0655	0.0643	0.0630	0.0618	0.0606	0.0594	0.0582	0.0571	0.0559
1.6	0.0548	0.0537	0.0526	0.0516	0.0505	0.0495	0.0485	0.0475	0.0465	0.0455
1.7	0.0446	0.0436	0.0427	0.0418	0.0409	0.0401	0.0392	0.0384	0.0375	0.0367
1.8	0.0359	0.0351	0.0344	0.0336	0.0329	0.0322	0.0314	0.0307	0.0301	0.0294
1.9	0.0287	0.0281	0.0274	0.0268	0.0262	0.0256	0.0250	0.0244	0.0239	0.0233
2.0	0.02275	0.02222	0.02169	0.02118	0.02068	0.02018	0.01970	0.01923	0.01876	0.01831
2.1	0.01786	0.01743	0.01700	0.01659	0.01618	0.01578	0.01539	0.01500	0.01463	0.01426
2.2	0.01390	0.01355	0.01321	0.01287	0.01255	0.01222	0.01191	0.01160	0.01130	0.01101
2.3	0.01072	0.01044	0.01017	0.00990	0.00964	0.00939	0.00914	0.00889	0.00866	0.00842
2.4	0.00820	0.00798	0.00776	0.00755	0.00734	0.00714	0.00695	0.00676	0.00657	0.00639
2.5	0.00621	0.00604	0.00587	0.00570	0.00554	0.00539	0.00523	0.00508	0.00494	0.00480
2.6	0.00466	0.00453	0.00440	0.00427	0.00415	0.00402	0.00391	0.00379	0.00368	0.00357
2.7	0.00347	0.00336	0.00326	0.00317	0.00307	0.00298	0.00289	0.00280	0.00272	0.00264
2.8	0.00256	0.00248	0.00240	0.00233	0.00226	0.00219	0.00212	0.00205	0.00199	0.00193
2.9	0.00187	0.00181	0.00175	0.00169	0.00164	0.00159	0.00154	0.00149	0.00144	0.00139

◆ مثال زیر را در نظر بگیرید:



الف) احتمال ختم پروژه را قبل از 19 روز حساب کنید .
ب) با احتمال 99 درصد پروژه چند روز طول می کشد ؟
ج) با چه احتمالی بین 13 تا 18 روز طول می کشد ؟



فعالیت	زمان	واریانس
۳ – ۱	۴	۱
۲ – ۱	۳	۰
۴ – ۲	۵	۹/۱
۴ – ۳	۵	۱
۵ – ۴	۶	۱

$$\mu = 15 \qquad \sigma = \sqrt{3}$$

$$z = \frac{19-15}{\sqrt{3}} = 2.3 \Rightarrow normal \;\; table \;\Rightarrow 0.978$$

$$\mu = 15 \qquad \sigma = \sqrt{3}$$

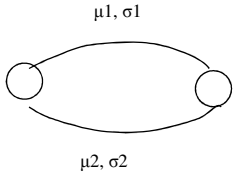
$$z_{0.99} = \frac{x-15}{\sqrt{3}} = 2.33 \Rightarrow normal \quad table$$

$$x = 19.04$$

$$p(13 \le T \le 18) = p(\frac{13-15}{\sqrt{3}} \le z \le \frac{18-15}{\sqrt{3}}) =$$

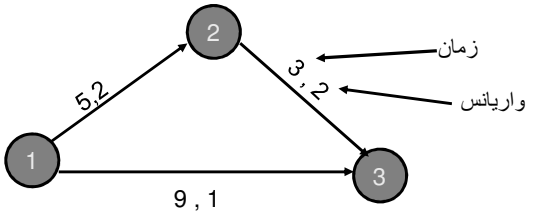
$$p(-1.15 \le z \le 1.73) = 0.4788 + 0.3744 = 0.8532$$

اعتبار محاسبات پرت :



$\mu 1 - \mu 2 > Max(\sigma 1 , \sigma 2)$

- اعتبار دارد , در غیر این صورت اعتبار ندارد .
- هنگام محاسبه واریانس مسیر در برخورد با وقایع قطعی , واریانس فعالیتهای قبلی آنها صفر خواهد شد .



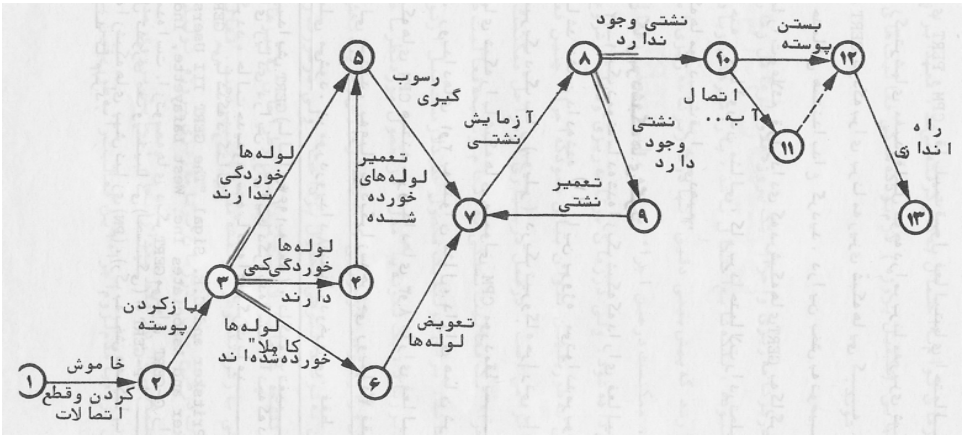
- 1>max(1,2) ➔ تناقض
- ممکن است مسیر ۱ ۲ ۳ بحرانی گردد .

در این حالت ا ز شبیه سازی استفاده می گردد .

شبکه های GERT

- در CPM وقوع فعالیت و زمان انجام آن قطعی بود.
- در PERT وقوع فعالیت قطعی ولی زمان احتمالی بود.
- در GERT وقوع فعالیت احتمالی ولی زمان انجام آن قطعی است .
- مثال – در برنامه ریزی تعمیرات نگهداری هنگامی که درب دیگ بخار باز شود ممکن است برخی از لوله ها به علت پوسیدگی تعویض گردند بنابراین انجام این فعالیت احتمالی است . و در صورتی که تعویض لازم باشد مدت تعویض ۳ ساعت می باشد. شبکه زیر را درنظر بگیرید:

در شبکه های گرت امکان حلقه وجود دارد
در هر یک از گره های ۳ و ۸ فقط یکی از فعالیت ها انجام خواهد شد



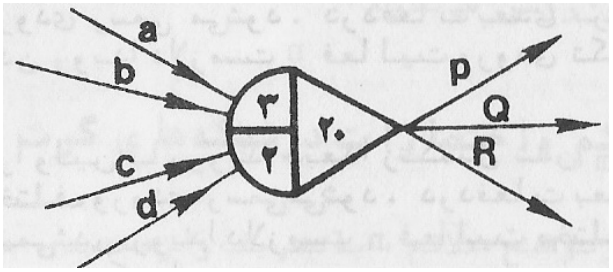
علائم و اختصارات در شبکه های GERT

علامت	معنی
	علائم سمت ورودی
	در اولین بار رویدا دبعد ازتکمیل شدن m فعالیت ورودی رسمی می‌شود. دردفعات بعدی برای رسمی شدن رویدا دلازمست n فعالیت ورودی تکمیل‌شوند.
	در اولین بار رویدا دبعد ازتکمیل شدن m **فعالیت مختلف** ورودی رسمی‌می‌شود. دردفعات بعدی برای رسمی‌شدن رویدا دلازمست n **فعالیت مختلف** ورودی تکمیل شوند.
	در اولین بار رویدا دبعد ازتکمیل شدن m فعالیت ورودی رسمی‌می‌شود. به محض رسمی شدن رویدا د تمام فعالیتهای ورودی متوقف می‌شوند. در دفعات بعدی برای رسمی‌شدن رویدا دلازمست n فعالیت ورودی تکمیل شوند. با رسمی‌شدن رویدا د تمام فعالیتهای ورودی متوقف می‌شوند.
	در اولین بار رویدا دبعد ازتکمیل شدن m **فعالیت مختلف** ورودی رسمی می‌شود. به محض رسمی شدن رویدا دتمام فعالیتهای ورودی متوقف می‌شوند. دردفعات بعدی برای رسمی شدن رویدا د لازمست n **فعالیت مختلف** ورودی تکمیل شوند. با رسمی شدن رویدا دتمام فعالیتهای ورودی متوقف می‌شوند.

جدول ۱۲-۱

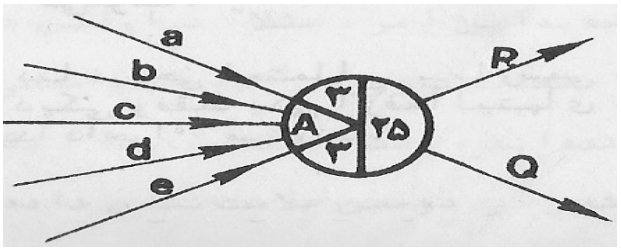
	علائم سمت خروجی
	رویدا دباخروجی معین. با رسمی شدن رویدا د همگی فعالیتهای خروجی ازرویدا د الزاما" اجراء می‌شوند.
	رویدا دباخروجی احتمالی. با رسمی شدن رویدا دیکی وفقط یکی ازفعالیتهای خروجی ازرویدا داجراء می‌شوند.
	یا
	حرف ل درعلائم بالانشان دهنده شماره رویدا دمی‌باشد.

مثال



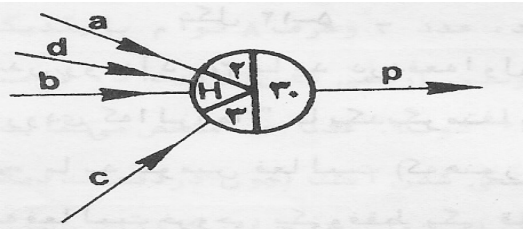
- برای وقوع رویداد فوق در دفعه اول لازم است تا ۳ فعالیت از ۴ فعالیت فوق انجام شود . لازم به توضیح است که این سه فعالیت می توانند مختلف نباشند به طور مثال ۲ بار a اجرا شود و یک بار b ولی در دفعات بعد ۲ فعالیت از ۴ فعالیت فوق باید اجرا شود . با وقوع پیدا کردن رویداد فوق یکی از سه فعالیت p یا Q یا R اجرا خواهد شد.

مثال



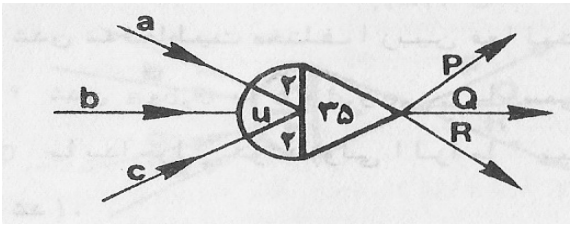
- برای رسمی شدن رویداد ۲۵ برای اولین بار باید ۳ فعالیت مختلف از ۵ فعالیت ورودی اجرا شوند . برای دفعات بعد هم ۳ فعالیت مختلف باید اجرا شوند . با رسمیت پیدا کردن رویداد هر دو فعالیت Q وR اجرا خواهند شد.

مثال



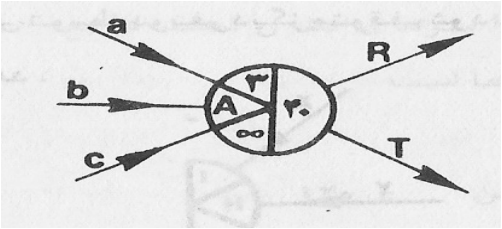
- برای رسمی شدن رویداد ۳۰ در دفعه اول نیاز به تکمیل دو فعالیت از ۴ فعالیت ورودی می باشد الزامی نیست که این دو فعالیت مختلف باشندو در دفعات بعد نیاز به تکمیل ۳ فعالیت (نه الزاما متفاوت) می باشد. با رسمی شدن رویداد سایر فعالیت های نیمه تمام متوقف خواهند شد . H به معنی Halt می باشد.

مثال



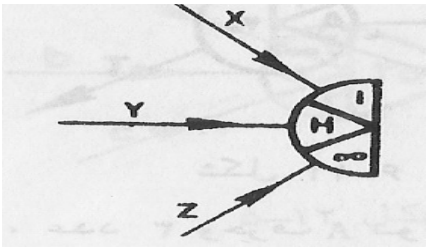
- برای رسمی شدن رویداد ۳۵ برای دفعه اول یا دفعات بعد باید ۲ فعالیت لزوما متفاوت انجام شوند و سومین فعالیت باید متوقف گردد. و سه فعالیت خروجی فقط یکی قابل اجراء است .

مثال



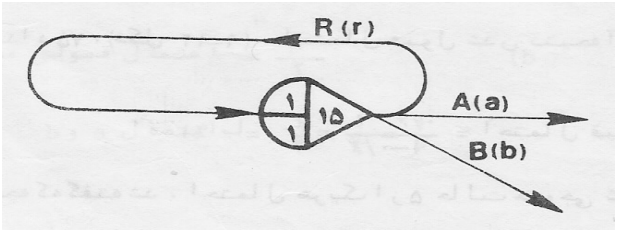
- این رویداد یک بار قابل اجرا بوده و برای رسمیت یافتن آن لازم است تا هر سه فعالیت فوق اجرا شوند و با رسمیت یافتن رویداد ۳۰ هر دوفعالیت R وT باید اجرا شوند .
- رویداد فوق یک رویداد CPM ای است .

مثال



- برای رسمیت یافتن این رویداد لازم است تا یکی از این سه فعالیت تکمیل گردد. دفعه بعدی در کار نیست . در اینجا H یا A فرقی نمی کند.
- خرید قطعه یدکی کمیاب توسط سه خریدار اعزام شده به بازار ، چنانچه یکی از ان ها موفق به خرید شود فعالیت دو نفر دیگر متوقف می گردد.

آنالیز شبکه گرت



- a وb وr احتمال اجرای فعالیت های A وB وR را نشان می دهد . فعالیت R می تواند بینهایت بار اجرا شود . هر بار که رویداد ۱۵ رسمیت یابد احتمال اجرای یکی از سه فعالیت A یاB یا R وجود دارد .
- بنابراین باید بتوان احتمال اجرای A را در شرایطی که رویداد n بار رسمیت یابد محاسبه کرد.

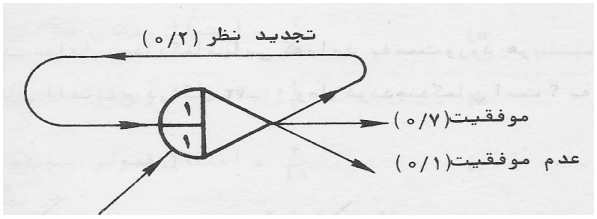
احتمال اجرای a $= a + a.r^2 + a.r^3 + ... + a.r^n$

احتمال اجرای a $= a(1 + r + r^2 + r^3 + ...) = \frac{a(1 - r^{n+1})}{1 - r}$

- اگر n به سمت بینهایت میل کند داریم :

احتمال اجرای a $= \frac{a}{1 - r}$

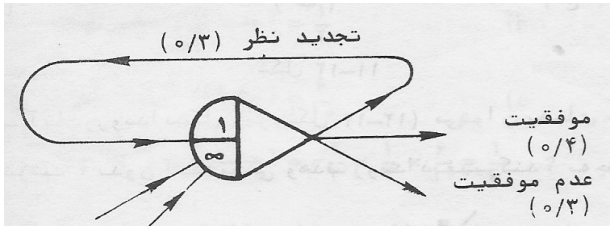
مثال



◆ احتمال عدم موفقیت چقدر است ؟

$$\frac{0.1}{1-0.2}=0.125$$

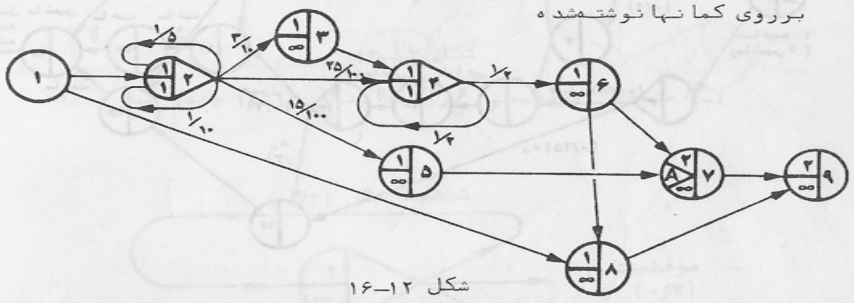
مثال



◆ احتمال موفقیت در رویداد فوق ۰.۴ است زیرا این رویداد فقط ۱ بار رسمیت می یابد.

مثال

۶ ـ درشبکه GERT که‌درشکل ۱۲ـ۱۶ نشان داده‌شده، احتمال اجراء شدن فعالیتهای احتمالی (به‌شرط رسمی شدن رویدادمربوطه)، برروی کمانها نوشته‌شده



شکل ۱۲ـ۱۶

باچه‌احتمالی هریک ازفعالیتهای زیراجراء خواهندگردید؟

الف ـ فعالیت ۳ـ۲ ب ـ فعالیت ۴ـ۲

ج ـ فعالیت ۵ـ۲ د ـ فعالیت ۶ـ۴

هـ ـ فعالیت ۹ـ۷

احتمال رخداد فعالیت ۳-۲ $= \dfrac{0.3}{1-(0.2+0.1)} = \dfrac{3}{7}$

احتمال رخداد فعالیت ۴-۲ $= \dfrac{0.25}{1-(0.2+0.1)} = \dfrac{25}{70} = \dfrac{5}{14}$

احتمال رخداد فعالیت ۵-۲ $= \dfrac{0.15}{1-(0.2+0.1)} = \dfrac{15}{70} = \dfrac{3}{14}$

احتمال رخداد فعالیت ۶-۴ $= \left(\dfrac{3}{7}+\dfrac{5}{14}\right)\times 1 = \dfrac{11}{14}$

احتمال رخداد فعالیت ۹-۷ $= 0$ زیرا لازم است فعالیت ۵-۲ و یکی از دو فعالیت ۳-۲ یا ۴-۲ انجام شود.