



مدیریت و کنترل پروژه

Management & Project Control

Present by sakineh tojar

منابع درس:

- مدیریت و کنترل پروژه، علی حاج شیر محمدی - جهاد دانشگاهی دانشگاه صنعتی اصفهان
- کنترل پروژه، مجید سبزه پرور - انتشارات ترمه

- Advanced Project Management
 - Harrison- 1982- Gower Press Aldershot
- System Analysis & Project Management
 - Cieland & king-1983- Mc Graw Hill

نحوه ارزیابی

- ▶ پروژه ۴ نمره
- ▶ میان ترم ۵ نمره
- ▶ پایان ترم ۱۱ نمره

stojar685@yahoo.com

تاریخچه مدیریت پروژه، آشنایی با تعاریف و مفاهیم اولیه

تاریخچه مدیریت پروژه

- تاریخچه مدیریت پروژه در جهان را معمولاً به مدیریت پروژه‌های عظیمی همچون ساخت اهرام مصر، دیوار چین و یا بنا نهادن تخت جمشید به دستور داریوش مربوط می‌دانند. هریک از این پروژه‌ها از جمله پروژه‌های بزرگ و پیچیده تاریخ بشریتند که با کیفیت، استاندارد بالا و بکارگیری نیروی عظیم انسانی ساخته شده‌اند
- مدیریت پروژه در دنیای جدید به سالهای ابتدایی دهه ۱۹۰۰ میلادی باز می‌گردد.
- هنری گانت با توسعه نمودار میله‌ای ابداعی خود آغازگر حرکت پرشتاب بعدی طی سالهای دهه ۱۹۵۰ و ۱۹۶۰ میلادی در پروژه‌های نظامی و هوافضای آمریکا و سپس انگلستان گردید.
- نام هنری گانت به عنوان پدر تکنیک‌های برنامه‌ریزی و کنترل پروژه در تاریخ ثبت گردیده است. گانت برای نخستین بار بارچارت را برای برنامه‌ریزی و کنترل پروژه‌های موسسه کشتی‌سازی اش بکار برد. و توانست در خلال جنگ جهانی اول زمان ساخت کشتی های ترابری خود را به میزان چشم‌گیری کوتاه نماید.
- امروزه گانت چارت بدلیل ساده و قابل فهم بودن آن، به عنوان روشی جالب و پرترفدار به شکل وسیعی در دنیا جهت مدیریت زمان پروژه‌ها به کار برده می‌شود. یافته‌های یک پژوهش در میان کاربران نرم افزار برنامه‌ریزی و کنترل پروژه **Microsoft Project** نشان داد که هشتاد درصد مدیران پروژه‌ها در دنیا ترجیح می‌دهند برای برنامه‌ریزی و کنترل پروژه‌هایشان از گانت چارت استفاده نمایند.

تاریخچه مدیریت پروژه-ادامه

- در سال ۱۹۵۷ شرکت تولیدی دوپان به همراه شرکت یونی واک و شرکت رمینگتون یک تیم تحقیقاتی را مامور بررسی روش های جدید مدیریت در امور مهندسی کرد. نتیجه کار این گروه ابداع روش **CPM** بود که اولین بار در پروژه ساخت یک کارخانه برای شرکت دوپان به کار گرفته شد.
- دومین کاربرد روش **CPM** در پروژه تعمیرات اساسی یکی دیگر از کارخانجات دوپان بود که به دلیل سیستم تولید پیوسته در زمان تعمیرات لازم بود که تولید متوقف شود بنابراین هر اقدام و ابتکاری که می توانست در کاهش توقف و رکود تولید موثر باشد کمک مهمی به تولید و اقتصاد شرکت می نمود. مدت زمان رکود تولید قبل از بکارگیری روش **CPM** متوسط ۱۲۵ ساعت بود که با بکارگیری **CPM** برای بار اول به ۹۳ ساعت و در دوره های بعد به ۷۴ ساعت رسید.
- یکی دیگر از نخستین کاربردهای علمی و مدرن مدیریت پروژه مربوط به نیروی دریایی امریکا و پروژه ساخت موشک پولارویس در سال ۱۹۵۸ بود، مدیر پروژه این طرح، برای اولین بار جهت هماهنگ کردن حدود ۳۰۰۰ پیمانکار، ساخت و مونتاژ ۱۲۰۰۰ قطعه و اطمینان از اجرای به موقع پروژه، روشی جدید که امروزه با نام **Pert** شناخته می شود، ابداع نمود. در این تکنیک تاکید ویژه ای بر تعیین رویداد های کلیدی (که لازم است در تاریخ معین به وقوع بپیوندند تا کل پروژه در تاریخ مشخص تکمیل شود) شده بود.

تاریخچه مدیریت پروژه-ادامه

- علاوه بر PERT, CPM برای پروژه هایی که در آنها فعالیت هایی وجود دارند که اجرای آنها جنبه احتمالی داشته و در شروع پروژه مشخص نیست روش GERT ابداع شد و اولین کاربرد آن در پروژه ساخت سفینه فضایی در آمریکا بود.
- تقریبا غالب تکنیک ها و روشهای مدیریت پروژه که ما امروزه از آنها استفاده می کنیم توسط وزارت دفاع , صنایع نظامی و سازمان هوافضای ایالات متحده در خلال سالهای دهه ۱۹۵۰ و ۱۹۶۰ میلادی ابداع و توسعه یافته اند که روشهایی همچون روش Pert, ارزش بدست آمده, مهندسی ارزش و ساختار شکست کار از آن جمله اند. صنعت ساختمان نیز در تکوین و توسعه روشهایی همچون روش مسیر بحرانی, روش نمودار پیش نیازی, استفاده از نمودار شبکه ای و تسطیح منابع یاری رسانده است. در جریان این تحولات, پروژه های بسیار بزرگی همچون پروژه فضایی آپولو و یا ساخت نیروگاههای اتمی در این دوران اجرایی گردیدند.
- ۱۹۶۹: **موسسه بین المللی مدیریت پروژه (PMI)** به عنوان اولین موسسه رسمی مدیران پروژه تاسیس گردید . یکی از مهمترین دستاوردهای تاسیس این موسسه, تدوین **استاندارد جهانی دانش مدیریت پروژه (PMBOK)** بوده است؛ از این پس بود که دگرگونی ها و پیشرفت های حوزه مدیریت پروژه, صورتی منسجم و مدون به خود گرفت.

تعریف پروژه

- طبق تعریف PMI مجموعه تلاش های موقتی برای تحقق یک تعهد در ایجاد یک محصول یا ارائه خدمات مشخص می باشد.
- مجموعه ای از فعالیتها برای دستیابی به منظور خاص یا هدف خاص انجام می گیرد.
- مجموعه اقدامات و عملیات خاص که دارای روابط منطقی با یکدیگر است بوده و برای نیل به هدف یا اهداف معینی انجام می شود.

ویژگی های پروژه

- یک کار منحصر به فرد، جدید و غیر تکراری است
- دارای یک نتیجه عینی در قالب محصول یا ارائه خدمت یا تعهد است.
- موقتی است (یک نقطه شروع و پایان قابل تعریف دارد)
- باید بتوان آن را به اجزا مشخص، غیر تکراری گسسته تقسیم کرد.
- هر جزء دارای زمان، منابع و هزینه خاصی است که روابط و وابستگی خاصی بین آنها حاکم است و نیازمند منابع کاری و مصرفی مختلفی است.
- بودجه آن محدود و قابل پیش بینی است و باید یک حمایت کننده مالی داشته باشد.

یک کار منحصر به فرد، جدید و غیر تکراری

- فعالیت های مورد نیاز به طور کامل و تفصیلی شناخته شده
- برای متخصصان نیز علی رغم احتمال انجام کارهای مشابه ، اما جدید و تازه
- غیرقابل کپی در اجرای پروژه های بعدی به دلیل تفاوت در محیط اجرا

اقدام، خدمات یا تعهد قابل تحویل مشهود

- انتخاب نام پروژه باید بر اساس قلم نهایی قابل تحویل (Deliverable) باشد نه بر اساس اهداف شعار گونه
- بهبود گازرسانی / احداث خط لوله گاز به شهر الف
- طراحی کارخانه / گزارش طراحی تفصیلی کارخانه

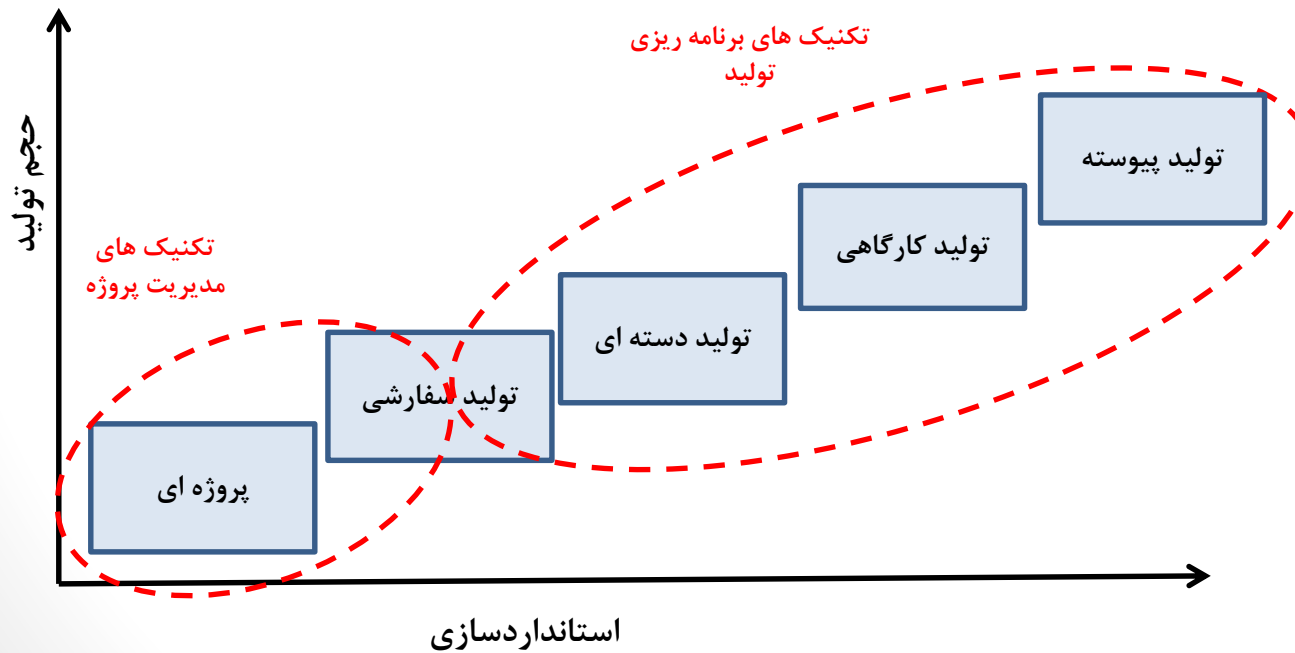
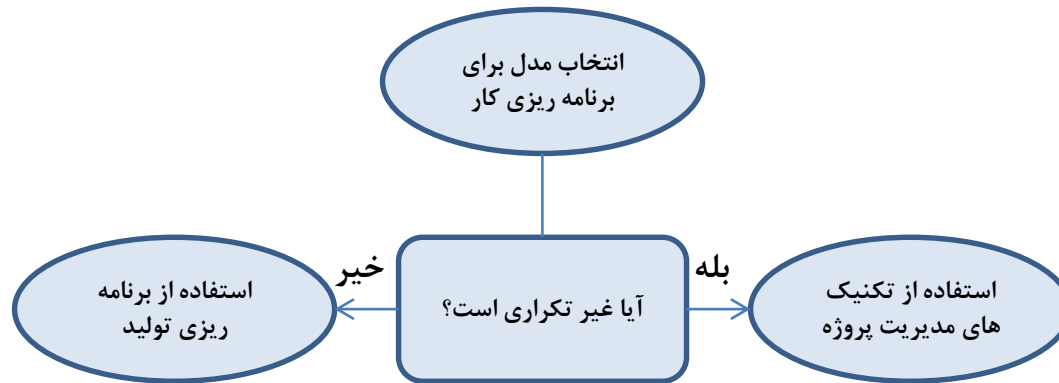
بسته های کاری مشخص، غیر تکراری

- هر بسته کاری (هر جزء) مانند پروژه
- دارای زمان محدود
- غیر تکراری
- موقتی
- و روابط و وابستگی خاصی بین آنها حاکم است
- تحویل شدنی های قابل مدیریت و نه شعارگونه

بودجه محدود و قابل پیش بینی

- حامی مالی: کارفرما، مشتری، سازمان مستقل
- منوط بودن آغاز پروژه به : مشخص شدن حامی

مقایسه یک پروژه با فرایند تولید و عملیات



مقایسه بین پروژه ها با فرایندهای عملیات

پروژه ها	فرایندهای تولیدی و عملیات
▪ غیر تکراری و موقتی هستند (شروع و پایان دارند) ▪ تولید خروجی منحصر به فرد ▪ تخصیص های کاری از پیش تعیین شده ندارند.	▪ ادامه دار هستند (تکرار همان فرایند بارها و بارها) ▪ تولید خروجی های یکسان در هر بار تکرار فرایند ▪ تخصیص های کاری از پیش تعیین شده دارند.

انواع پروژه

1- پروژه اجرایی:

همانند احداث پالایشگاه، احداث سد ، احداث ساختمان و ...

2- پروژه مطالعاتی و تحقیقاتی:

همانند مطالعه توجیه اقتصادی یک پروژه، مطالعات اجتماعی و فردی یک منطقه یا شهر و ...

3- پروژه خدماتی :

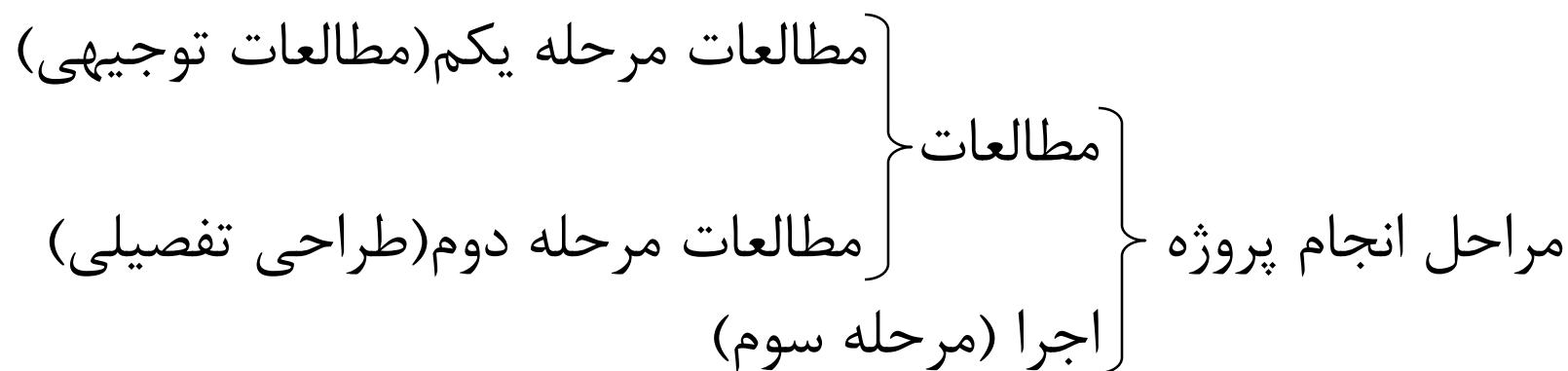
همانند زیبا سازی شهر، بهبود ترافیک ، دفع زباله و ...

پروژه، طرح و برنامه

- در زبانهای گوناگون و حتی در سازمانهای مختلف هر کشور در مورد واژههای **برنامه**، **طرح** یا **پروژه**، اختلافات لغوی، معنایی و قانونی وجود دارد؛ از این رو چهارچوب آنان روشن و آشکار نیست و گاه به جای یکدیگر نیز استفاده می‌شوند.
- آرمانها و اهداف تعیین‌شده حکومت در سطح برنامه‌ریزی **بلندمدت** یا **استراتژیک**، **برنامه (Plan)** نامیده می‌شود که این برنامه‌ها دارای اهداف کیفی می‌باشند. مانند برنامه توسعه صنایع شیمیایی، برنامه توسعه شبکه راه‌های کشوری؛ دستیابی به این اهداف و آرمانها در یک فاصله زمانی بلندمدت که معمولاً بین ده تا بیست‌وپنج سال است، امکانپذیر می‌باشد.
- پس از اینکه برنامه‌ها در سطح برنامه‌ریزی بلندمدت مشخص گردیدند، هر برنامه در سطح **برنامه‌ریزی میان‌مدت** یا **تاکتیکی** توسط مدیریت طراز اول یا سیستم اجرایی کشور به مجموعه‌ای از **طرحها (Program)** یا برنامه‌های اجرایی تفکیک می‌شود که شامل مجموعه‌ای از تصمیمات مقطعی یا اجرایی هستند که ظرف پنج تا ده سال آینده باید اجرا و به نتایج موردنظر برسند.
- هر طرح در سطح برنامه‌ریزی کوتاه‌مدت یا اجرایی توسط واحدهای ستادی یا سطوح مدیریت میانی نظام اجرایی کشور به مجموعه کارها و عملیاتی که آن را **پروژه (Project)** می‌نامند، تبدیل و تقسیم می‌شود.

مراحل انجام پروژه

بطور کلی مراحل انجام یک پروژه را می توان بصورت ذیل بیان کرد:

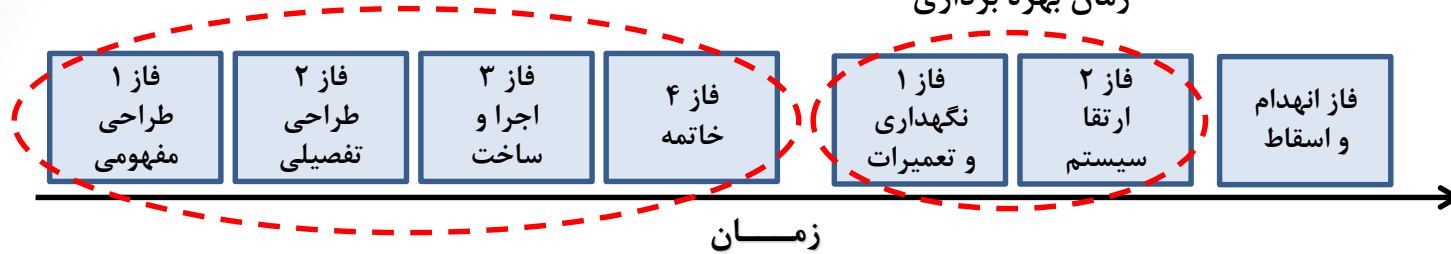


که معمولاً مراحل ۱ و ۲ و نظارت بر اجرای مرحله ۳ توسط مشاور انتخاب شده از طرف کارفرما انجام میشود و اجرا توسط پیمانکار مورد نظر کارفرما.

چرخه حیات پروژه

زمان ساخت

زمان بهره برداری



میزان کوشش (منابع)

هزینه

پیشرفت

شروع آهسته

رشد

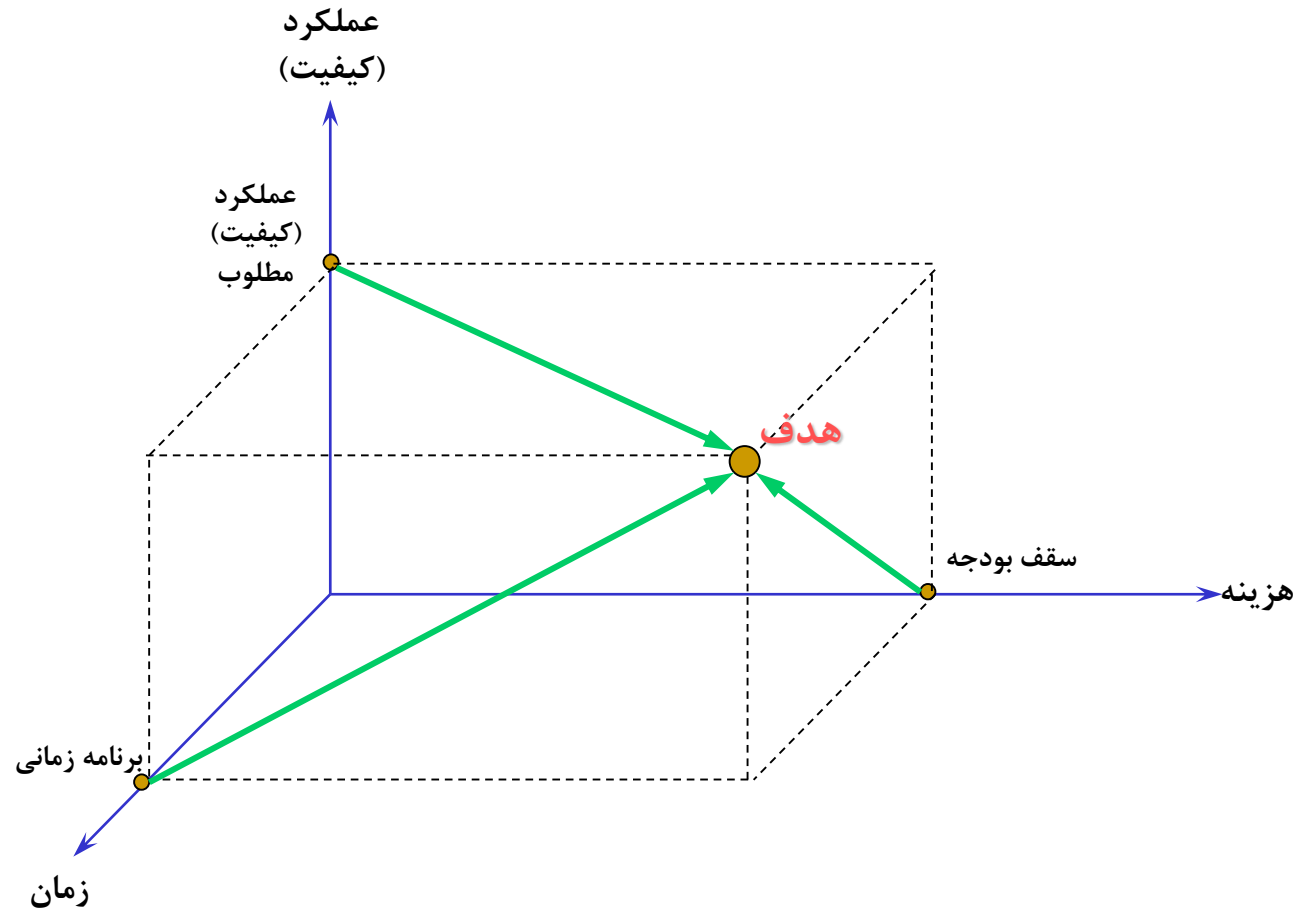
اوج

آغاز زوال - نزدیک به اختتام

اختتام و پایان کار

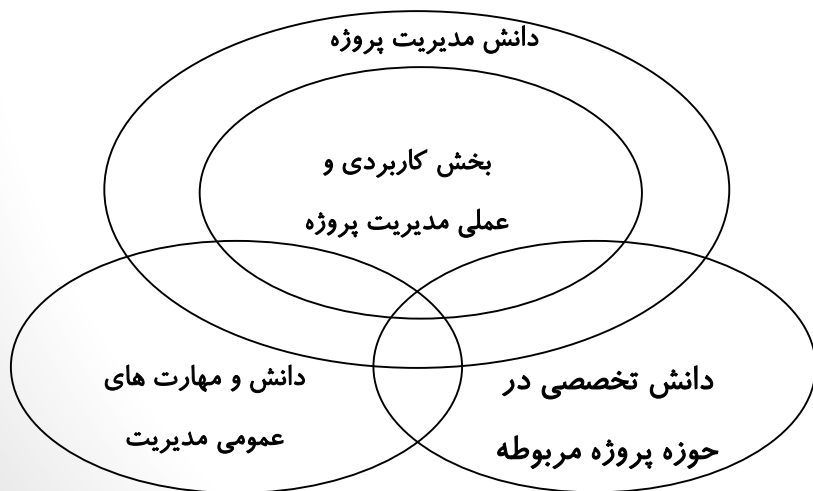
زمان

محدودیت‌های پروژه



مدیریت پروژه

- مدیریت پروژه عبارتست از به کارگیری دانش‌ها، مهارت‌ها، ابزار و تکنیک‌های لازم در اداره جریان اجرای فعالیت‌ها، به منظور نیل به اهداف پروژه و انتظارات کارفرما.
- مهم ترین رسالت مدیریت پروژه ایجاد تعهد و مسئولیت در قبال برنامه زمان بندی است که مانع از به تاخیر افتادن پروژه و هزینه های مرتبط می گردد.
- لازمه عدم تکرار اشتباهات و الگوبرداری از هدایت موفق پروژه ها مستندسازی پروژه است که با پیاده سازی مدیریت پروژه تحقق می یابد.



مدیریت / کنترل پروژه

تعریف برنامه‌ریزی:

- فرآیند برنامه‌ریزی، تعیین توالی و توازی فعالیت‌های لازم برای اجرای یک پروژه با در نظر گرفتن زمان مورد نیاز برای اجرای هر فعالیت و کیفیت تعیین شده برای آن فعالیت است.

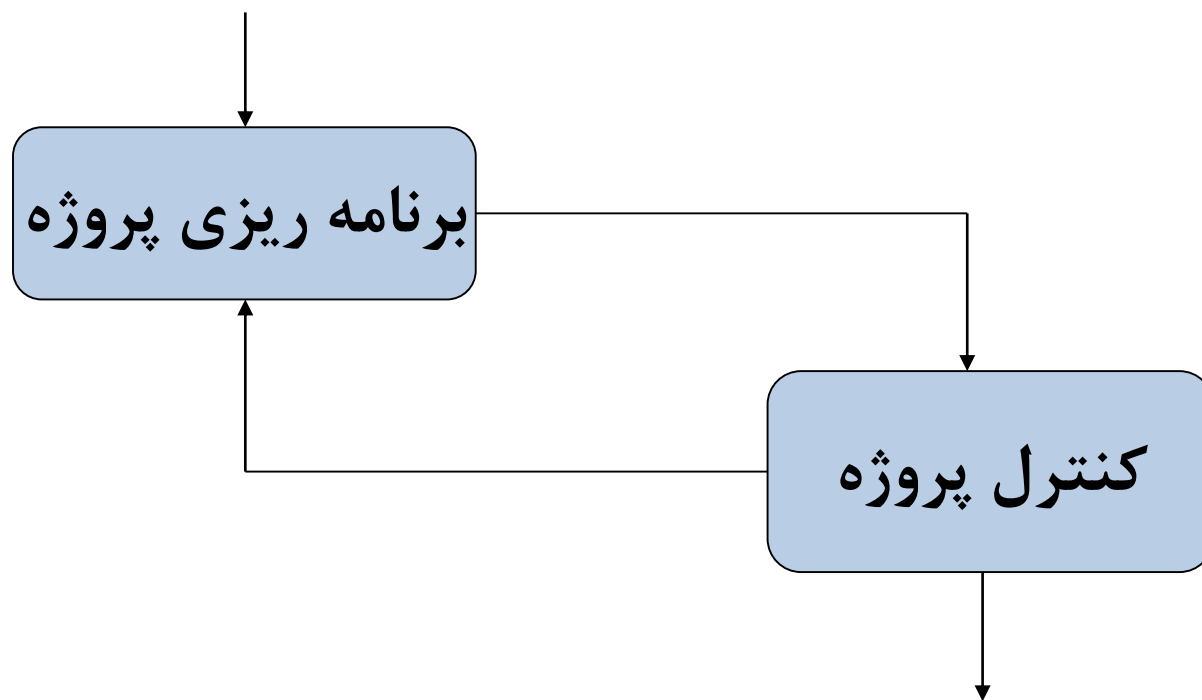
تعریف کنترل پروژه:

- کنترل پروژه فرایندی است در جهت حفظ مسیر پروژه برای دستیابی به یک تعادل اقتصادی موجه بین سه عامل هزینه، زمان و کیفیت در حین اجرای پروژه، که از ابزار و تکنیک‌های خاص خود در انجام این مهم کمک می‌گیرد. در واقع کنترل، اجرای دقیق و کامل برنامه تدوین‌شده برای پروژه است، به گونه‌ای که هنگام خروج از برنامه بتوان با تشخیص علل و طرح اقتصادی‌ترین فعالیت‌ها، پروژه را به نزدیک‌ترین حالت ممکن در مسیر اولیه و اصلی خود بازگرداند.

برنامه ریزی پروژه – کنترل پروژه

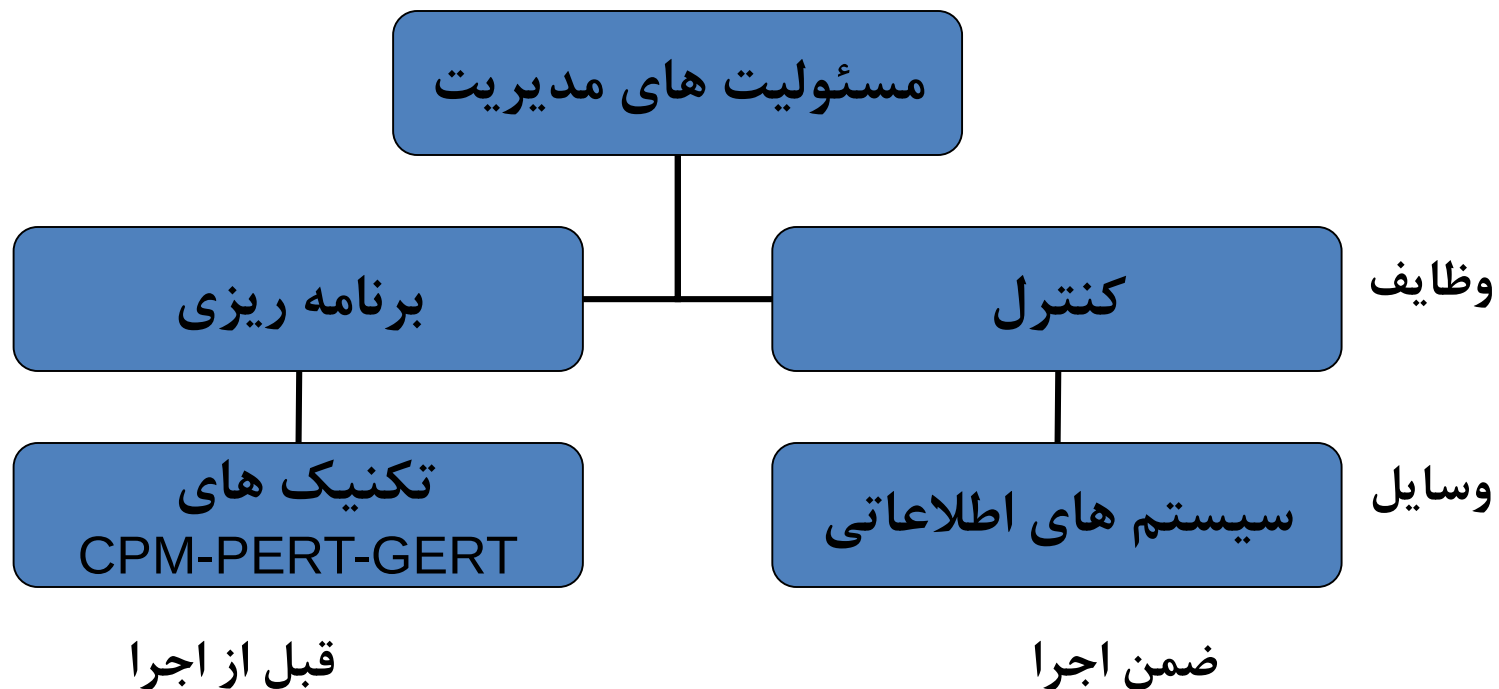
- **برنامه ریزی**، بر روی تعیین اهداف و جهت ها متمرکز است و **کنترل**، کارها را به سمت آن هدف و جهت ها هدایت می کند.
- **برنامه ریزی**، منابع را به فعالیتهای تخصیص می دهد و **کنترل**، برای استفاده مؤثر و مناسب از منابع کوشش می کند.
- **برنامه ریزی**، عواملی مثل نوع فعالیت، حجم و اندازه فعالیت، مدت زمان اجرا، منابع مصرفی و... را برای فعالیت ها پیش بینی می کند و **کنترل** پروژه در عمل اجرای دقیق آنها را مدیریت می کند.
- **برنامه ریزی**، انگیزه لازم را به منظور دستیابی به اهداف تعیین شده در کارکنان ایجاد می کند و **کنترل**، در صورت نیل به اهداف، برای تشویق آنها مورد استفاده قرار می گیرد.

فرایند برنامه ریزی و کنترل پروژه



وظایف مدیر پروژه

ایجاد هماهنگی لازم در اجرای فعالیتها برای کاربرد مناسب منابع و امکانات، به منظور رسیدن به هدف نهایی پروژه، وظیفه اصلی مدیر پروژه است.



برخی تعاریف دیگر

- **فعالیت:** کوچکترین جزء عملیاتی تشکیل دهنده یک پروژه را گویند.

مثلاً جوش کاری، اجرای آسفالت، اجرای فونداسیون، ... در یک پروژه سازه

- **مدت فعالیت:** مدت زمان انجام یک فعالیت در پروژه را مدت فعالیت گویند. این زمان میتواند کم یا زیاد باشد اما صفر یا بی نهایت ممکن نیست.

- **منابع:** به کلیه امکانات و وسایلی گفته میشود که برای انجام آن فعالیت مورد نیاز است. که به سه دسته عمده تقسیم میشوند:

۱- منابع انسانی ۲- ماشین آلات و تجهیزات ۳- مواد و مصالح

منابع (Resources)

منابع مصرفی یا تجدیدناپذیر Non-Renewable	منابع کاری یا تجدیدپذیر Renewable
شامل: انواع ملزومات و مواد مصرفی مانند: گچ، سیمان، کاغذ، ❖ مشخصه اصلی: با اتمام یک فعالیت مقدار منابع برآورد شده به اتمام می رسند.	شامل: انواع نیروی انسانی و تجهیزات نیروی انسانی مانند: کارگر، بنا، مهندس، تجهیزات مانند: لودر، کامیون، بیل مکانیکی، ❖ مشخصه اصلی: با اتمام یک فعالیت منابع واگذار شده به آن بیکار یا آزاد می شوند.

اصطلاحات مهم

- پیمان کار اصلی یا عمومی: با کارفرما قرارداد می بندد و مسئولیت کامل اتمام پروژه، اختیار تفویض به پیمانکار جزء جهت کارهای تخصصی را دارد.
- پیمانکار جزء: یک پیمانکار با تخصص خاص، که برای یک پیمانکار عمومی دیگر کار می کند.
- کنسرسیوم: مجموعه ای از شرکت ها یا اشخاص جهت انجام یک پروژه شکل گرفته اند که انجام آن فعالیت یا پروژه فراتر از توانایی هر یک از اعضا به صورت منفرد است.

ذینفعان پروژه

- ذینفعان پروژه افراد و سازمان های درگیر در پروژه یا عواملی هستند که به نحوی تحت تاثیر فعالیت های پروژه بوده و مالکیت، حقوق و یا علاقه مندی در قبال پروژه داشته یا برای این زمینه مدعی هستند.

- موفقیت در اجرای پروژه مستلزم شناسایی ذینفعان و در نظر گرفتن خواسته های آنان در چرخه حیات پروژه است.

- ذینفعان پروژه به دو دسته کلی تقسیم می شوند:

ذینفعان خارجی

رقبا

رسانه ها

خریداران

نهادها و
تشکل ها

سهام داران
فرعی

سازمان های قانون گذار
و کمیسیون ها

جامعه و شهروندان
طرفداران محیط زیست

ذینفعان داخلی

حامی مالی
پروژه

کارفرما و
مالک پروژه

مدیر پروژه و
تیم پروژه

مشتریان
پروژه

مشاور

پیمانکاران

سهامداران
اصلی

قراردادهای پیمانکاری داخلی

- روش خود اجرا (امانی): کارفرما خود دارای دانش فنی، افراد متخصص و ماشین آلات، دفتر فنی است.
- روش طرح و ساخت (۲ عاملی): کارفرما + پیمانکار
کارفرما از طریق یک قرارداد اجرای پروژه را به پیمانکار واگذار می کند.
- روش متعارف (۳ عاملی): کارفرما + طراح (مشاور) + پیمانکار
کارفرما از طریق قراردادهای جداگانه با مشاور و پیمانکار پروژه را به اجرا می گذارد در این قرارداد طراحی توسط مشاور انجام شده و اجرا از طریق مناقصه به یک یا چند پیمانکار واگذار می شود. (ریسک هماهنگی بر عهده کارفرما است)
- روش مدیریت اجرا (۴ عاملی): ۳ عاملی + مدیریت طرح
همانند قرارداد ۳ عاملی است با این تفاوت که کارفرما برای حداقل سازی ریسک پروژه، عامل طرح یا مدیریت پیمان را که وظیفه هماهنگی بین سه رکن اصلی پروژه را بر عهده دارد به کار می گیرد.

قراردادهای جدید (بین المللی)

- کلید در دست (تحويل کلید یا کلیدگردان) TurnKey
- طراحی مهندسی + تامین تجهیزات (E.P)

Engineering+Procurement

- طراحی مهندسی + تامین تجهیزات + ساخت (E.P.C)

Engineering+Procurement+Construction

- ساخت، بهره برداری، انتقال (B.O.T)

Build+Operate+Transfer

- ساخت، تملک، بهره برداری (B.O.O)

Build+Own+Operate

- ساخت، تملک، بهره برداری + انتقال (B.O.O.T)

Build+Own+Operate+Transfer

قراردادهای جدید (بین المللی)

- ساخت، انتقال، بهره برداری (B.T.O)

Build+Transfer+Operate

- ساخت، انتقال (B.T)

Build+Transfer

- بیع متقابل (Buy Back)

- تامین مالی (Finance)

واگذاری کار و نحوه توافق قیمت داخلی

- قرارداد براساس فهرست بها
- قرارداد بر اساس موافقت نامه مدیریت
- قرداد بر اساس برنامه ریزی پیشرفت کار
- قرارداد قیمت مقطوع
- قرارداد مترمربع زیربنا

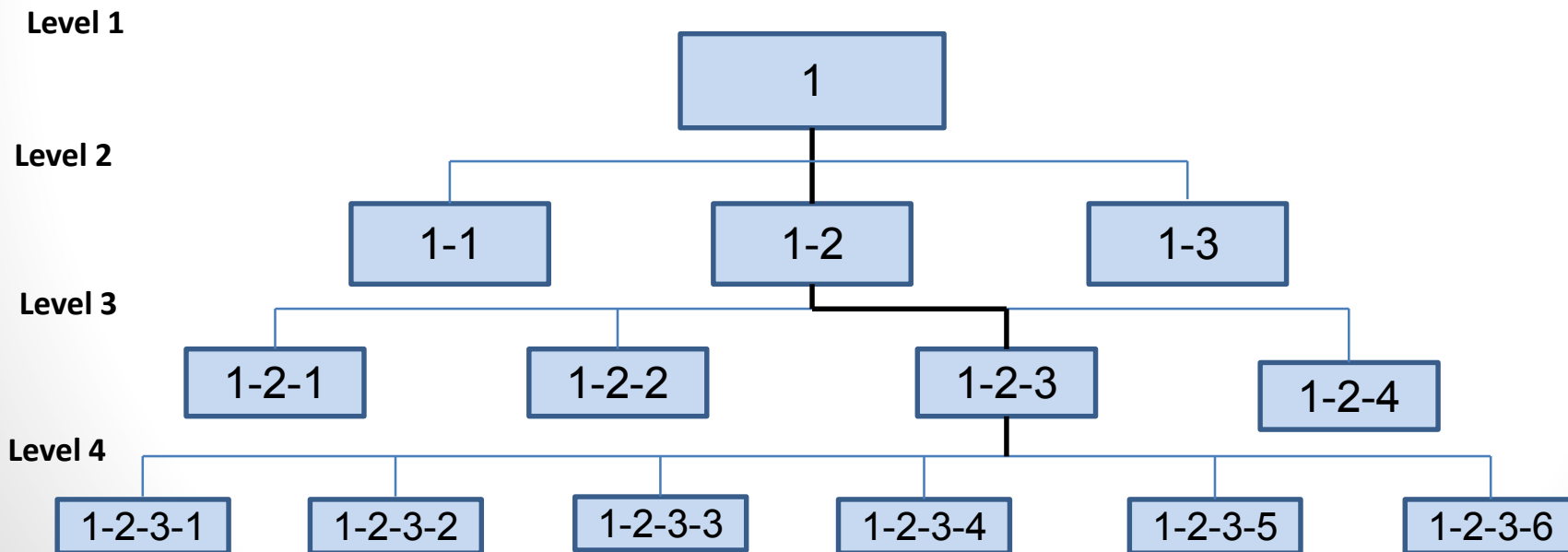
عوامل موثر در انتخاب نوع قرارداد

- قوانین ملی
- روش سرمایه گذاری
- فرهنگ کار و مدیریت در سازمان کارفرما
- بزرگی و پیچیدگی پروژه نسبت به سازمان کارفرما
- زمان و هزینه لازم و محدودیت های مربوطه
- توانمندی فنی و مدیریتی کارفرما
- ریسک هزینه ها
- الزامات و خواسته های خاص ذی نفعان
- استراتژی اجرایی پروژه
- ...

شناسایی فعالیت های پروژه

❖ ابزار مورد استفاده در برنامه ریزی پروژه، جهت شناسایی فعالیت ها ساختار شکست کار WBS (Work Breakdown Structure) نام دارد.

- WBS یک توصیف سلسه مراتبی از کارهایی است که می بایست انجام شوند تا اقلام قابل تحویل پروژه حاصل شده و پروژه به اتمام برسد.



روش های تهیه نمودار WBS

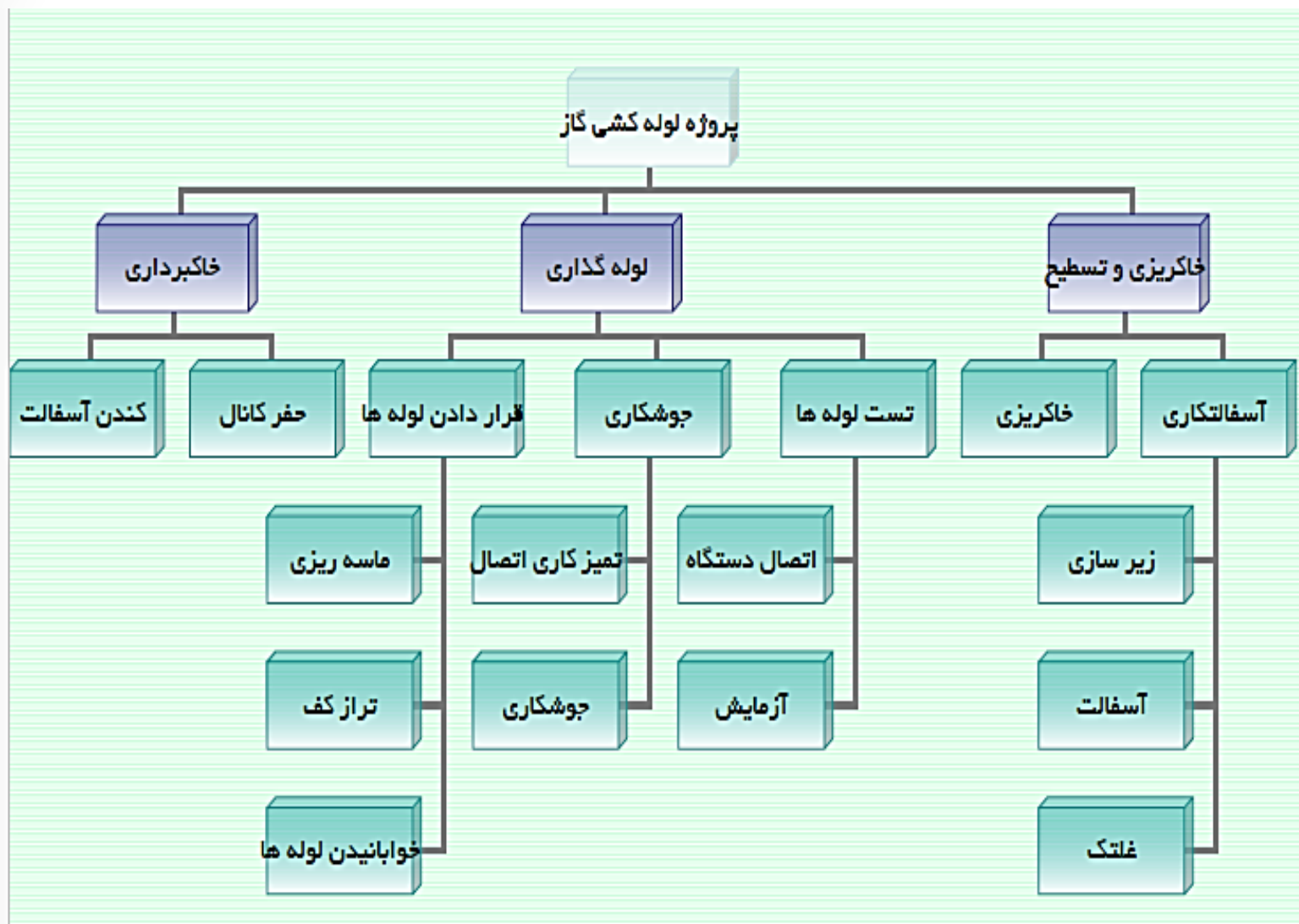
- **براساس مراحل اجرای پروژه:** در سطح یک مراحل اصلی پروژه تعریف م شوند. (مثلا در پروژه لوله کشی گاز سطح یک خاکبرداری لوله گذاری و خاکریزی و تسطیح قرار دارد)
- **بر اساس فرایند مونتاژ محصول نهایی:** در این روش عکس نمودار مونتاژ عمل می شود ابتدا محصول نهایی در سطح صفر قرار گرفته و در یک فرایند دمونتاز آن را به محصولات اصلی در سطح های پایین تر تبدیل می کنیم. (مثال فرایند تولید اتومبیل در سطح صفر و مونتاژ بدنه، مونتاژ موتور، مونتاژ شاسی در سطح یک قرار می گیرد و به همین ترتیب ادامه می دهیم.)
- **بر اساس واحدهای اجرایی انجام دهنده پروژه:** در سطح اول نام واحدهای اجرایی نوشته می شود و در سطح دوم کارهای اصلی هر واحد اجرایی نشان داده می شود. (مثلا در پروژه حفر چاه و نصب پمپ در سطح یک واحدهای حفاری، ساختمان، مکانیک و برق قرار می گیرند.)
- **بر اساس مکان جغرافیایی:** (مثلا در پروژه ساختمان ۲۰ طبقه بر اساس هر طبقه سطوح را مشخص می کنیم.)
- **بر اساس چرخه عمر پروژه:** در سطح اول فازهای پروژه قرار می گیرند.
- **بر اساس پیمانکاران اصلی و فرعی**
- **بر اساس سیستم های مورد نیاز پروژه**
- **بر اساس اقلام قابل حمل و نقل پروژه**

روش های تهیه نمودار WBS

- بر اساس مراحل اجرای پروژه:
- هدف پروژه در سطح صفر آورده می شود.
- در سطح اول مراحل اصلی پروژه تعریف می شوند.
- در صورت نیاز هر یک از مراحل سطح اول به مراحل ریزتر تجزیه می شوند.
- پس از تهیه WBS آن دسته از باکس هایی که تجزیه نشده اند کوچکترین واحد عملیاتی پروژه را نشان می دهند.

روش های تهیه نمودار WBS

• براساس مراحل اجرای پروژه:



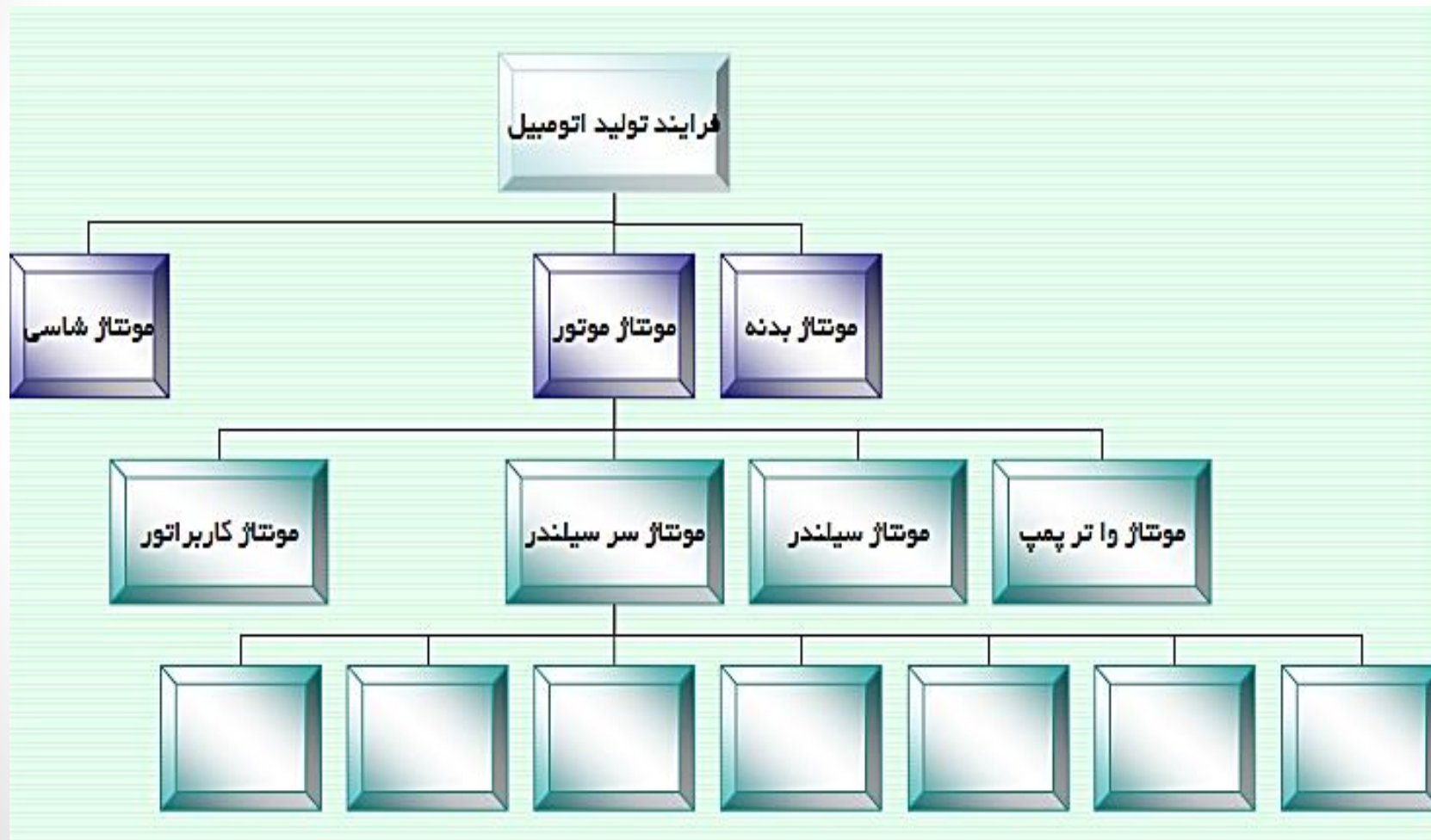
روش های تهیه نمودار WBS

- بر اساس فرایند مونتاژ محصول نهایی:

- در این روش عکس نمودار مونتاژ عمل می شود. ابتدا محصول نهایی در سطح صفر در نظر گرفته می شود و در یک فرایند دمونتاژ آنرا به محصولات اصلی در سطح ۱ سپس ۲ تجزیه می کنیم و در صورت نیاز به همین شکل ادامه می دهیم.

روش های تهیه نمودار WBS

• براساس فرایند مونتاژ محصول نهایی:



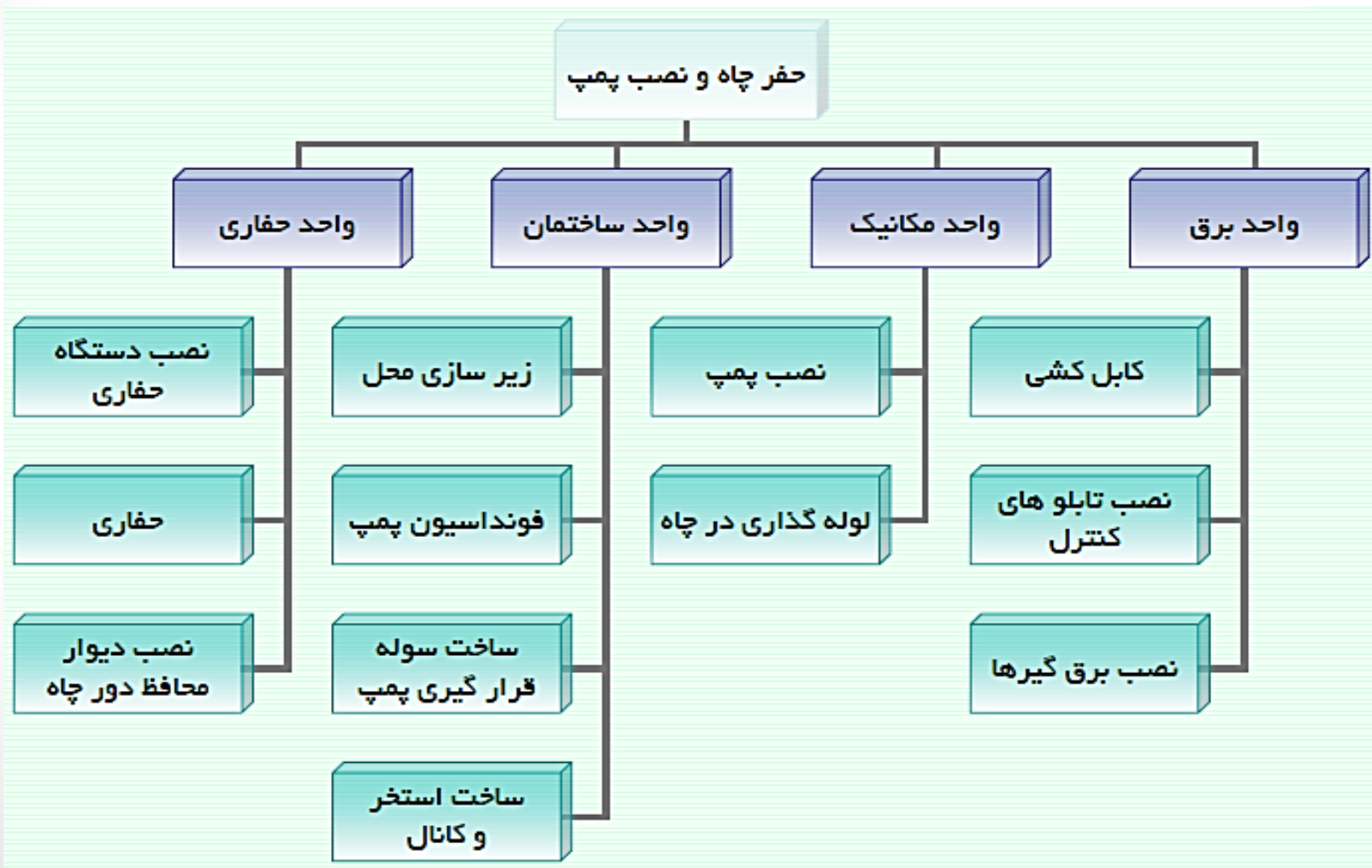
روش های تهیه نمودار WBS

- بر اساس واحد های اجرایی (بخش های سازمانی) انجام دهنده پروژه:

- در سطح اول نام واحد های اجرایی پروژه نوشته می شود.
- در سطح دوم کارهای اصلی که بر عهده هر واحد اجرایی است نشان داده می شوند.
- در صورت نیاز می توان عناصر را ریزتر نمود.

روش های تهیه نمودار WBS

• بر اساس واحد های اجرایی انجام دهنده پروژه:



شبکه و ساختار آن

ساختار اولیه شبکه

اولین اقدامات برای شروع ساخت شبکه، تهیه اطلاعات است، که نمونه این اطلاعات در زیر آورده شده است:

ردیف	سؤال	مورد کاربرد پاسخها
۱	موضوع پروژه چیست؟	تنظیم و ترسیم شبکه
۲	چه کارهایی لازمند؟	
۳	با چه ترتیبی؟	
۴	چگونه؟	پاسخ گویی به سؤالات بعدی
۵	توسط چه کسی؟	نمودار سازمانی - مسئولیت ها
۶	با چه امکاناتی؟	موازنه زمان - هزینه
۷	با چه محدودیت هایی؟	تسطیح و تخصیص منابع
۸	چه اطلاعاتی؟	سیستم های اطلاعات مدیریت

روش های تهیه اطلاعات و تنظیم شبکه

۱- روش مدیریت اجرایی

تیمی متشکل از ۳ یا ۴ نفر شامل مدیر پروژه، مهندسین یا مشاوران فنی آگاه به CPM خواهد بود. در این روش به دلیل محدودیت نفرات اختلاف سلیقه ها کاهش می یابد ولی در نتیجه این محدودیت، جمع آوری دقیق مطالب ممکن است با مشکل مواجه شود.

۲- روش کنفرانسی

تیم از روش مدیریت اجرایی بزرگتر است (۱۵ تا ۲۰ نفر) و برای هر کار نفر خاص تعیین می گردد و زمان زیادی صرف می شود ولی احتمال اشکال در آن کم است و جلسات در قالب کنفرانس هایی و هر قسمت به طور تخصصی برگزار می شود.

۳- روش مشاوره ای

کار به دفاتر مشاور مدیریت صنعتی و مهندسی صنایع واگذار می شود. که مزایای زیادی دارد.

مراحل ایجاد شبکه پروژه

❖ در شروع برنامه ریزی، لازم است کارها یا فعالیت هایی که باید در یک پروژه، عملی شوند تعریف شده و وابستگی های بین آنها معلوم گردد. لذا نمایش شبکه ای یک پروژه از اولین اقدامات در امور برنامه ریزی بوده و پایه و تکیه گاه اصلی برای سایر امور برنامه ریزی می باشد.



❖ **تعیین توالی فعالیت ها**، فرایند شناسایی و تدوین ارتباط و وابستگی فعالیت ها از لحاظ تقدم و تاخر با یکدیگر است.

انواع وابستگی ها

● وابستگی های طبیعی

که به علت خواص ویژه و طبیعی فعالیتها و ارتباطات منطقی بین فعالیتها ایجاد می شوند. مثلاً در یک ساختمان "نصب کاشی کف سیستم بهداشتی" پس از "عایق کاری کف" انجام می شود.

● وابستگی های امکاناتی

که به دلیل محدودیت منابع ایجاد می شود. مثلاً در یک دانشگاه ظاهراً فعالیت "ثبت نام دانشجویان" با فعالیت "اعلام نتایج نمرات به دانشجویان" وابستگی ندارد ولی ممکن است به دلیل محدودیت منابع انسانی، یک نفر پس از تکمیل اولی به دومی بپردازد.

انواع روابط میان دو فعالیت

□ منظور از رابطه (Relationship) یا بستگی (Dependency) میان دو فعالیت، تعریف قیود و الزامات ضروری میان شروع یا خاتمه یک فعالیت با شروع و خاتمه هر یک از فعالیت های بعدی (Successor activities) و هر یک از فعالیت های قبلی (Predecessor Activities) آن است.

✓ روابط میان هر دو فعالیت از فعالیت های یک پروژه را می توان به چهار نوع، به شرح زیر گروه بندی کرد:

- | | |
|-------------------|-------------------------|
| (۱) رابطه فیزیکی | (۲) رابطه منطقی |
| (۳) رابطه سازمانی | (۴) رابطه محدودیت منابع |

انواع روابط میان دو فعالیت-ادامه

(۱) رابطه فیزیکی (Physical Relationship):

رابطه میان ماهیت، طبیعت یا فیزیک دو فعالیت به گونه ای است که شروع یکی از آنها قبل از خاتمه دیگری ممکن نیست. مثل اغلب روابط میان فعالیتهای یک پروژه (حفر کانال و لوله گذاری).

(۲) رابطه منطقی (Logical Relationship):

اجرای یکی از فعالیت ها به خاتمه دیگری بستگی ندارد اما منطقی است (یا به صلاح است) که یکی از آنها پس از دیگری اجرا شود. مثلاً مدیر پروژه تاکید دارد قبل از اجرای فعالیت انجام هر بخش، فعالیت مطالعه بخش بعدی را نباید اجرا کرد.

انواع روابط میان دو فعالیت-ادامه

(۳) رابطه سازمانی:

برخی از موارد، بخشنامه ها، آئین نامه ها و مقررات وضع شده از طرف مدیریت رده اول سازمان مولد پروژه، ما را به رعایت روابط خاصی میان دو فعالیت ملزم می نماید. رابطه سازمانی از نظر مدیریت سازمان منطقی است و نقض آن، عدم رعایت قوانین و مقررات را باعث می شود.

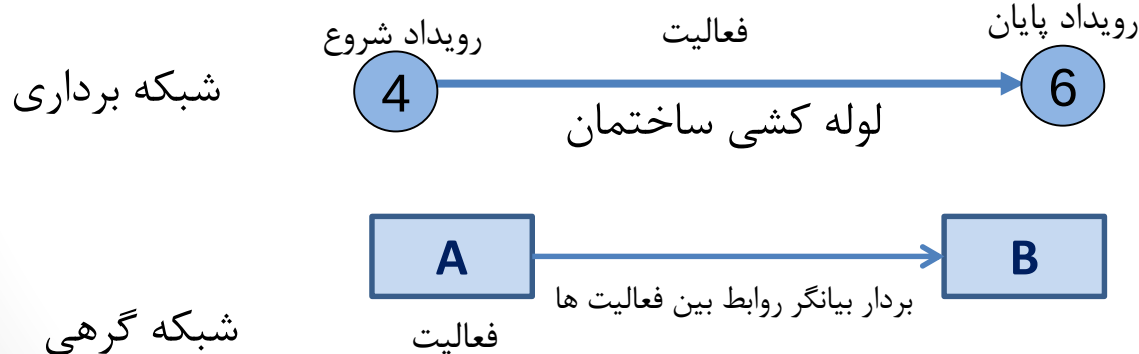
(۴) رابطه محدودیت منابع:

محدودیت استفاده از منابع اجرایی ما را وادار میکند که فعالیتی را بعد از خاتمه دیگری اجرا کنیم. این نوع بستگی ناشی از نیاز دو فعالیت به منابع اجرایی می باشد که مقدار آن محدود است.

تعاریف مرتبط با شبکه

- شبکه‌هایی که در آنها فعالیت‌ها بر روی کمان‌ها نشان داده می‌شوند را شبکه برداری یا AOA نامند. Activity On Arrow
- شبکه‌هایی که در آنها فعالیت‌ها بر روی گره‌ها نشان داده می‌شوند را شبکه گره‌ای یا AON نامند. Activity On Node

مثل شکل زیر :



تعاریف مرتبط با شبکه - ادامه

- فعالیت: جزئی از پروژه است که انجام آن به صرف زمان، منابع، انرژی، نیروی انسانی و ... دارد و دارای نقاط آغاز و پایان قابل تعریف هستند.

- فعالیت های مجازی یا موهومی (Dummy Activity):

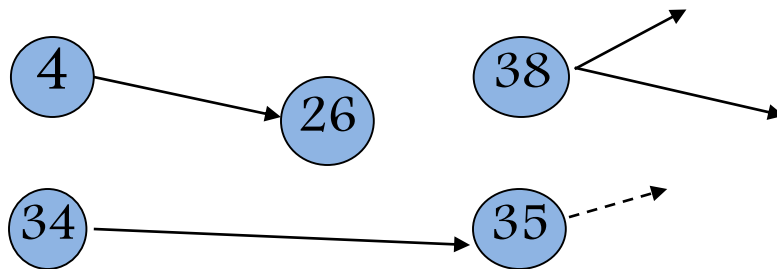
فعالیت هایی هستند که ضمن اجرای پروژه وجود نداشته و به منابعی مثل زمان یا سایر منابع احتیاج ندارند و تنها به منظور نشان دادن وابستگی های بین عملیات پروژه، به شبکه اضافه می شوند و به وسیله بردار خط چین نشان داده می شوند.



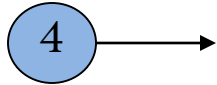
تعاریف مرتبط با شبکه - ادامه

- رویداد یا گره (Event/Node): نقاط آغاز یا پایان یک فعالیت، یا دسته ای از فعالیت ها را رویداد گویند.

رویداد ها عبارت از مقطع زمانی می باشد و لذا در برگیرنده زمان نبوده بلکه نشان دهنده تاریخ ها می باشد. رویداد ها را بوسیله دایره ای که داخل آن شماره نوشته شده است، نشان می دهند .

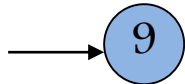


تعاریف مرتبط با شبکه - ادامه



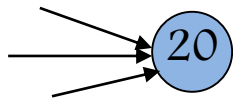
● گره / رویداد پایه (Tail Event/Node):

گره ای که در نقطه آغازین بردار مربوط به آن فعالیت قرار گرفته .



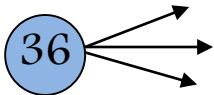
● گره / رویداد پایان (Head Event/ Node):

گره ای که در پایان فعالیت واقع شده است.



● گره / رویداد پوششی (Merge Event/Node):

گره / رویدادی است که نقطه پایان چند فعالیت باشد.



● گره / رویداد جوششی (Burst Event/Node):

گره / رویدادی است که نقطه آغازین چند فعالیت باشد.

تعاریف مرتبط با شبکه - ادامه

- فعالیت پیش نیاز (Precedent Activity):

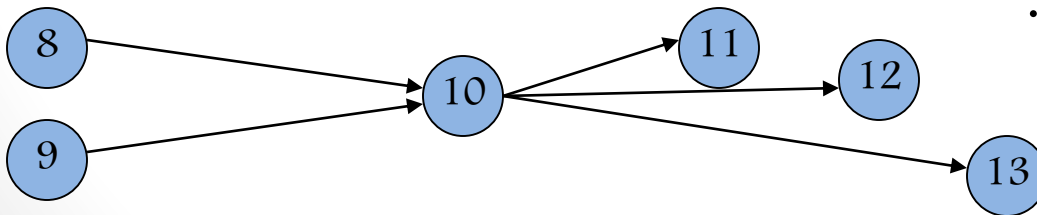
فعالیت A را در صورتی پیش نیاز فعالیت B می گویند که بلافاصله بعد از تکمیل A فعالیت B قابل شروع شدن باشد.

- فعالیت وابسته / پی آمد (Succeeding Activity):

فعالیت B را در صورتی وابسته به فعالیت A میگویند که فعالیت B بلافاصله بعد از تکمیل A قابل شروع شدن باشد.

- گره / رویداد مرکب (Complex Node):

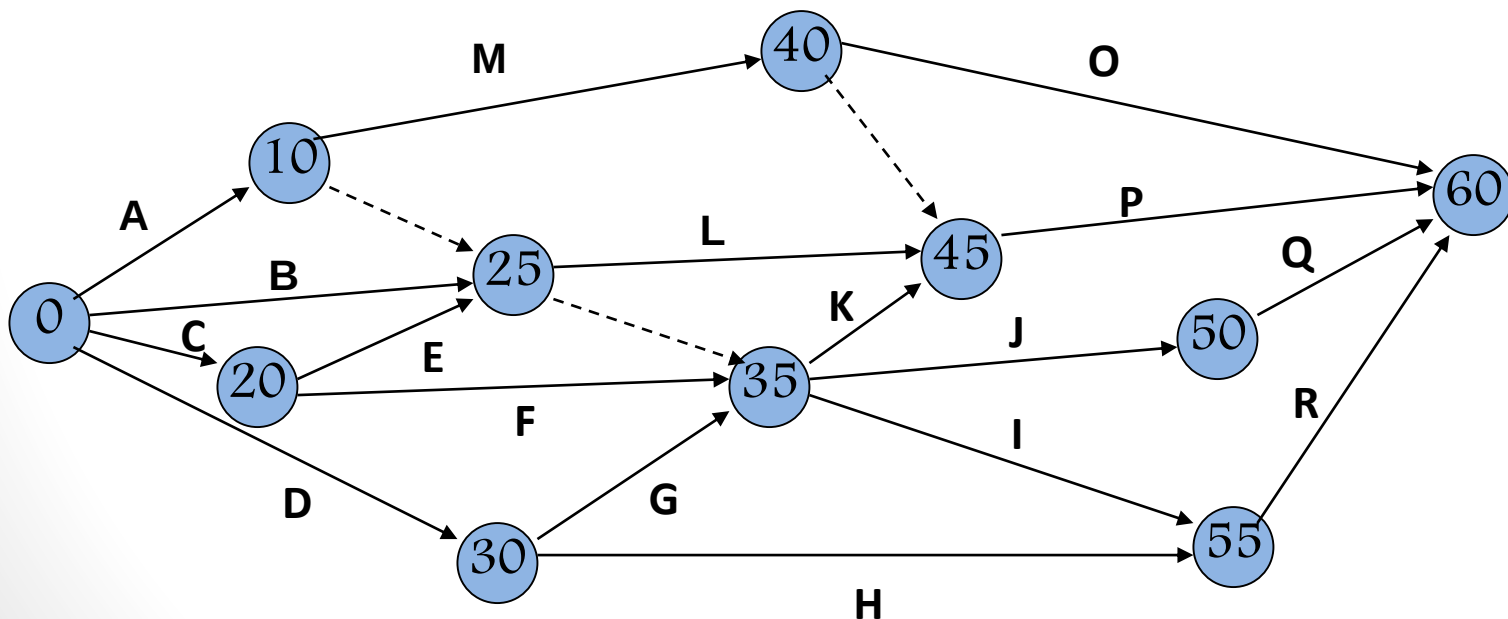
گرهی است که بیش از یک بردار به آن وارد و بیش از یک بردار از آن خارج شده باشد.



تعاریف مرتبط با شبکه - ادامه

● شبکه:

مجموعه ای است که نشان دهنده فعالیت های لازم از آغاز تا پایان یک پروژه و وابستگی های بین آنها است مثلاً شبکه زیر:



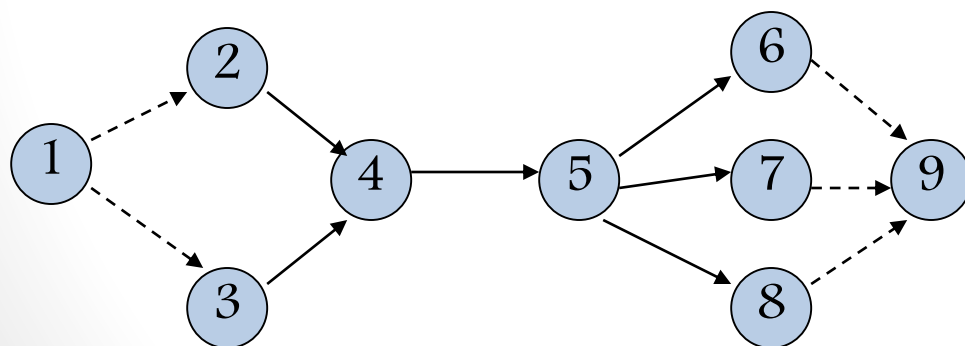
قوانین رسم شبکه های برداری

۱- هر فعالیت باید فقط یک بار روی شبکه ظاهر شود.

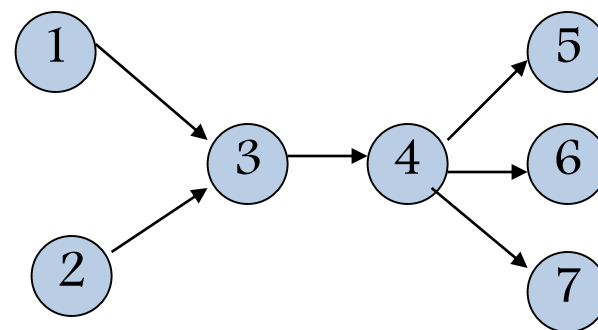
۲- دو فعالیت نباید دارای یک اسم مشابه باشند.

۳- واحد زمان در شبکه باید همواره یکسان باشد مثلا زمان همگی فعالیت ها به واحد "روز" یا "هفته" نشان داده شود.

۴- شبکه باید فقط دارای یک رویداد آغازین و یک رویداد پایانه باشد.



درست



نادرست

قوانین رسم شبکه های برداری

۵- پیش از رسم بردار مربوط به هر فعالیت، باید بردار مربوطه به کلیه فعالیت های ماقبل که پیش نیاز فعالیت مربوطه هستند، رسم شده باشد.

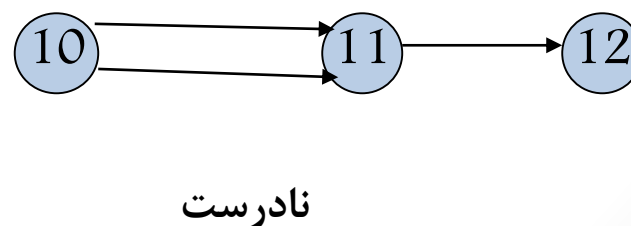
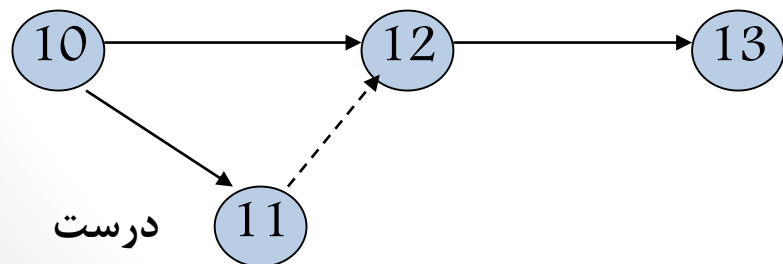
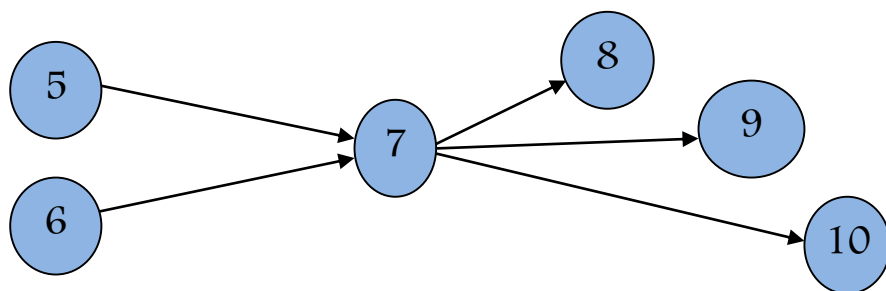
۶- یک بردار فقط و فقط نشان دهنده وضعیت تقدم و تأخر انجام فعالیتی است که با آن بردار معرفی می شود. به عبارت دیگر، شکل ظاهری بردار (طول، پهنا، زاویه و...) ارزش و معنی خاصی ندارد.

۷- به منظور شناسایی گره ها (رویدادها)، آنها را کد گذاری می کنند، که هیچ دو یا چند گرهی نباید شماره یکسان داشته باشد.

۸- رویدادها باید به گونه ای شماره گذاری شوند که همواره شماره رویداد پایه هر فعالیت از شماره رویداد پایان آن کوچکتر باشد.

قوانین رسم شبکه های برداری

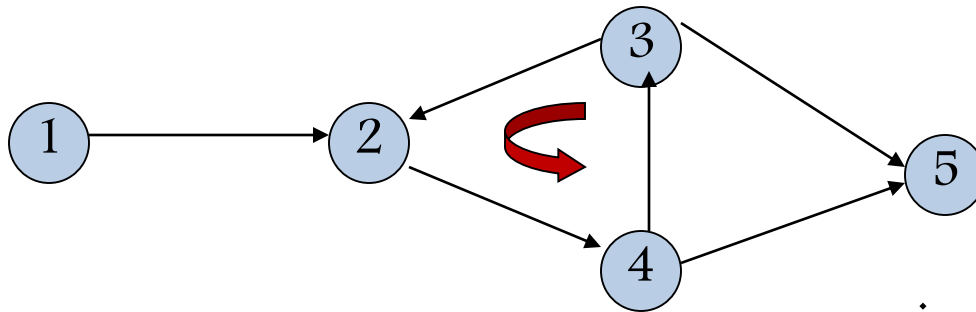
۹- هر تعداد فعالیت می توانند از یک رویداد آغاز شوند یا به یک رویداد ختم شوند ولی دو فعالیت نمی توانند دارای یک رویداد پایه و یک رویداد پایان باشند. یعنی دو رویداد را فقط یک بردار می تواند به هم وصل نماید.



اشتباهات عمومی در ترسیم شبکه

● ایجاد حلقه (Loop):

در صورت عدم رعایت منطق شبکه، احتمال به وجود آمدن حلقه در جریان ترسیم وجود دارد. مشهود است که چنین امری در طبیعت غیر ممکن است.

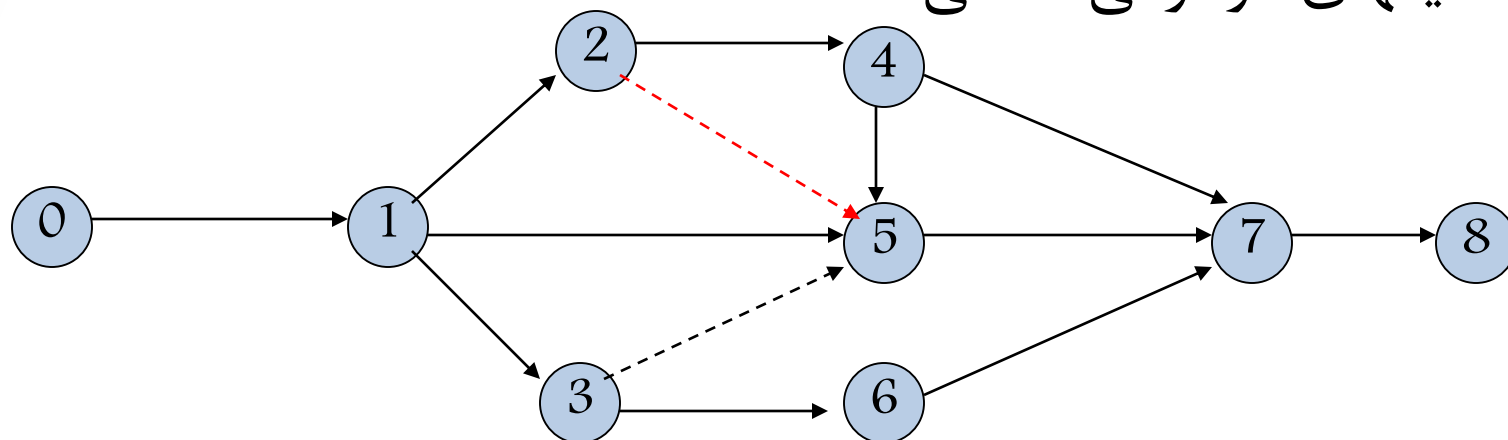


● وابستگی های غیر ضروری

در شرایطی که چند فعالیت در یک شبکه احتیاج به یک گره مشترک دارند، وابستگی غیر ضروری بروز می کند که این مسئله با فعالیت های موهوم برطرف می شود. البته این مسئله باعث طولانی تر شدن زمان پروژه و محدودیت در نحوه کاربرد منابع می گردد.

اشتباهات عمومی در ترسیم شبکه - ادامه

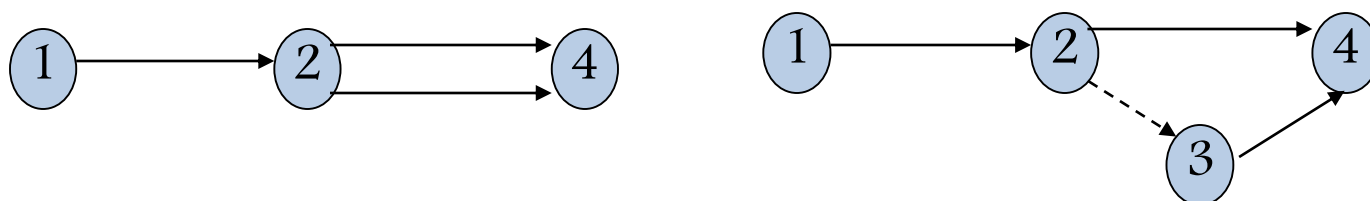
● فعالیتهای موهومی اضافی



فعالیت موهومی ۳-۵ نشان می دهد که ۵-۷ به ۱-۳ وابسته است. اگر ۳-۵ از شبکه حذف شود، این وابستگی نیز از بین می رود پس وجود فعالیت ۳-۵ ضروری است. ولی برای آغاز ۵-۷ لازم است ۱-۲ انجام شده باشد. که اگر ۲-۵ را حذف کنیم، باز این وابستگی از طریق ۲-۴ و ۴-۵ حفظ شده است، پس فعالیت ۲-۵ غیر ضروری است.

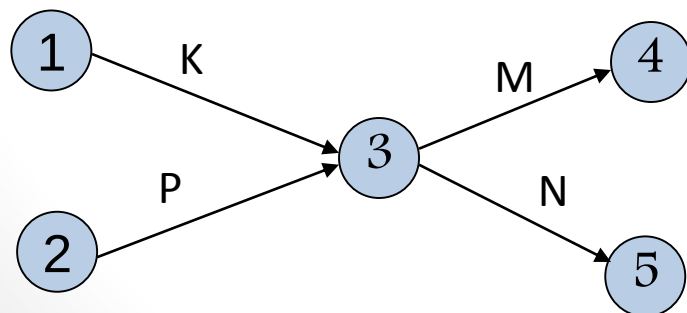
کاربرد صحیح فعالیت های موهومی

- فعالیت هایی که از یک رویداد آغاز می شوند و به یک رویداد ختم می شوند:



- قطع وابستگی های غیر ضروری

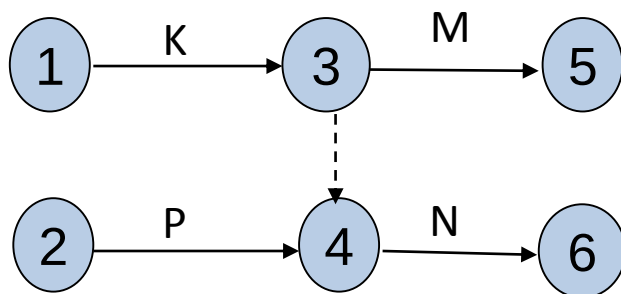
در شرایطی که چند فعالیت در یک شبکه احتیاج به یک رویداد مشترک دارند، ولی در عین حال، کاربرد این رویداد وابستگی ناخواسته ای در شبکه ایجاد می نماید، این وابستگی ها با فعالیت های موهوم برطرف می شود.



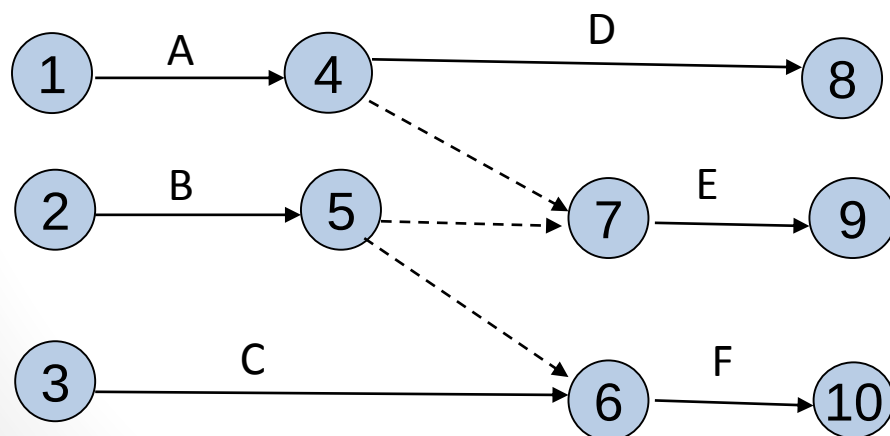
پیش نیاز	فعالیت
----	K
----	P
K	M
K,P	N

کاربرد صحیح فعالیت های موهومی

- با استفاده از فعالیت موهومی وابستگی غیر ضروری شبکه اسلاید قبل به شکل مقابل اصلاح می شود



● مثال



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

مثال رسم شبکه

- پروژه ای با عنوان ” ایجاد پل عابر پیاده در یکی از خیابان های شهر “ مطرح است. برای اجرای این پروژه، فعالیت هایی که تعریف شده به همراه مدت زمان اجرا و روابط منطقی بین آنها در جدول زیر آورده شده است و از فعالیت های جزئی تر آن چشم پوشی شده است، شبکه برداری این پروژه را رسم نمایید.

ردیف	کد	شرح فعالیت	مدت اجرا (هفته)	فعالیت پیش نیاز
۱	A	بررسی شرایط منطقه مطالعه اولیه	۲	-
۲	B	بررسی شرایط و تعیین امکانات مورد نیاز	۳	A
۳	C	تامین منابع مالی	۱	A
۴	D	ساخت قطعات فلزی و تجهیزات	۱۵	C
۵	E	مهیا سازی فونداسیون نصب	۸	B,C
۶	F	تحويل و نصب پل	۳	D,E
۷	G	آزمایش و کنترل پل قبل از بهره برداری	۱	F

محاسبات شبکه (برداری)

روش مسیر بحرانی (CPM)

در سال های دهه ۱۹۵۰ گروهی از دانشمندان علوم تحقیق در عملیات به فکر ایجاد روش های کامل تری برای برنامه ریزی پروژه ها افتادند.

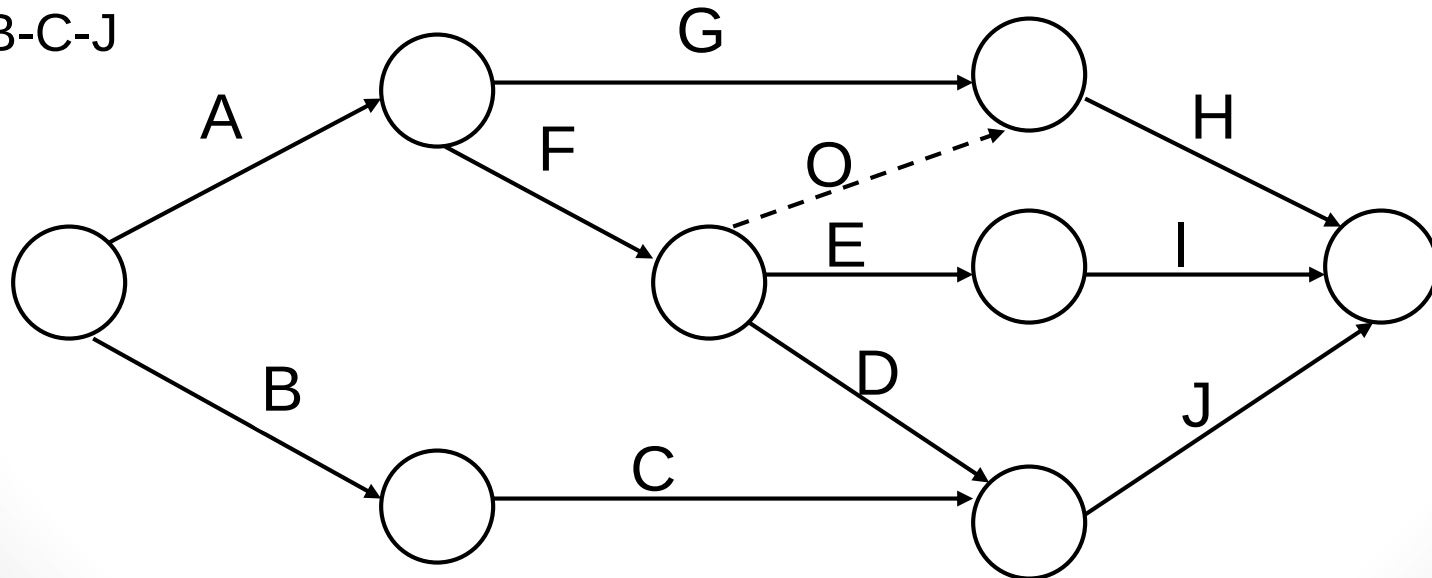
شرکت تولیدی ”دوپان-Du pant “ یک گروه تحقیقاتی را مأمور بررسی کاربرد های روش های جدید مدیریت در امور مهندسی شرکت نمود.

نهایتاً این گروه در سال ۱۹۵۷ به سرپرستی مورگان واکر، موفق به ابداع روش مسیر بحرانی (Critical Path Method) شد. و اولین بار در پروژه ساخت یک کارخانه برای شرکت دوپان، با سرمایه گذاری ۱۰ میلیون دلار به کار رفت.

راه (مسیر) شبکه

• راه‌های (مسیرهای) شبکه: یک سری از فعالیت‌ها که از رویداد آغازین شبکه شروع، و به رویداد پایانی شبکه ختم میشوند را راه یا مسیر می‌نامند. (Network Paths)

A-F-E-I
A-F-O-H
A-F-D-J
A-G-H
B-C-J



تعریف مرتبط با CPM

D_{ij}	(Duration):	برآورد مدت زمان اجرا فعالیت (i-j)
E_i	(Earliest Event time):	زودترین زمان وقوع واقعه i
L_i	(Latest Event time):	دیرترین زمان وقوع واقعه i
ES_{ij}	(Earliest Start time):	زودترین زمان شروع فعالیت (i-j)
EF_{ij}	(Earliest Finished time):	زودترین زمان پایان فعالیت (i-j)
LS_{ij}	(Latest Start time):	دیرترین زمان شروع فعالیت (i-j)
LF_{ij}	(Latest Finished time):	دیرترین زمان پایان فعالیت (i-j)

تعریف مرتبط با CPM-ادامه

S_{ij} (Total Slack or Total Float): فرجه یا شناوری کل برای فعالیت (i-j)

FS_{ij} (Free Slack or Free Float): فرجه یا شناوری آزاد برای فعالیت (i-j)

T_s (Time Specified for project completion): زمان ختم پروژه

IS_{ij} (Independent slack or Independent Float): فرجه یا شناوری مستقل

محاسبات روش مسیر بحرانی

● حرکت رفت (Forward Pass):

محاسباتی است که از گره شروع پروژه آغاز می شود و گره به گره و فعالیت به فعالیت به سمت گره پایان پروژه پیش می رود و در آن گره خاتمه می پذیرد. که دارای ۳ قانون است:

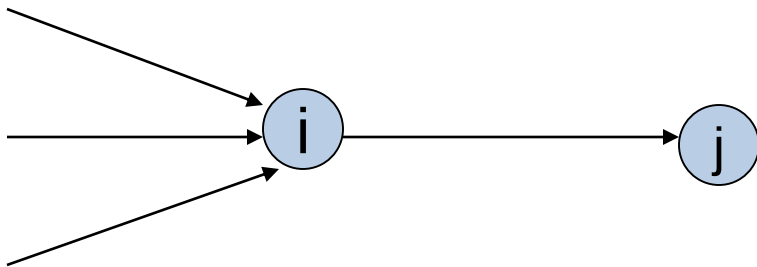
قانون ۱- زودترین زمان وقوع گره شروع را برابر صفر بگیرید
مشروط بر آنکه شماره ۱ به گره شروع تخصیص یافته باشد.

البته این ضابطه برای سهولت کار است و در چگونگی انجام محاسبات تاثیری ندارد.

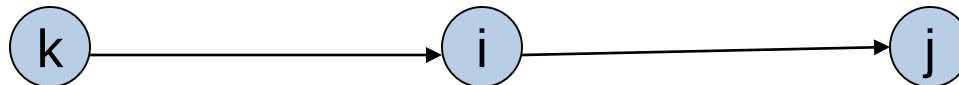
محاسبات روش مسیر بحرانی-ادامه

ادامه محاسبه حرکت رفت :

قانون ۲- زودترین زمان وقوع گره (i) یا شروع فعالیت (i-j) به طوری که گره j بعد از گره i باشد، برابر حداکثر مقدار مربوط به زودترین زمان پایان کلیه فعالیت‌های پیش نیاز آن است، یعنی:



بنابراین ، در گره های ساده مانند گره i در شکل زیر می توان نوشت:



$$E_i, \quad ES_{ij} = \text{Max}(EF_{ki} \quad \forall k)$$

محاسبات روش مسیر بحرانی-ادامه

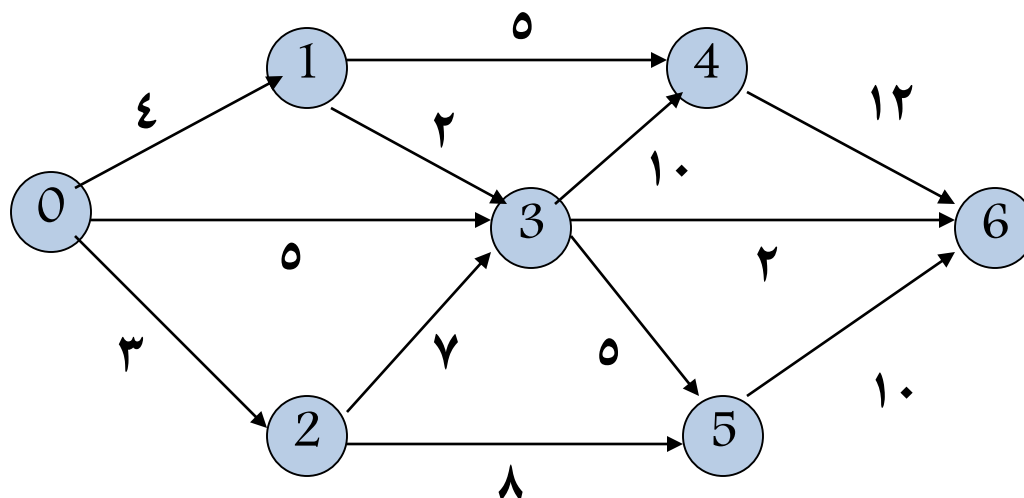
ادامه محاسبه حرکت رفت :

قانون ۳- زودترین زمان ختم فعالیت (i-j) برابر است با زودترین زمان شروع فعالیت، بعلاوه زمان انجام آن فعالیت.

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

مثال

شبکه زیر را نظر بگیرید:



زمان هر فعالیت روی کمان مربوطه نوشته شده است. واحد زمان در این شکل “روز” است. برای شروع محاسبه یک تاریخ برای رویداد آغازین شبکه تعیین می شود.

حل مثال

اگر تاریخ وقوع رویداد آغازین شبکه صفر باشد، زودترین تاریخ وقوع رویداد ۱، برابر با ۴ خواهد بود. $E_1 = 4$ همین طور، زودترین تاریخ وقوع رویداد ۲، برابر با ۳ میباشد. $E_2 = 3$ برای رسیدن به رویداد ۳، سه راه وجود دارد این سه راه عبارتند از:

الف) $0 \rightarrow 3$ (از رویداد صفر به رویداد ۳)

ب) $0 \rightarrow 2 \rightarrow 3$ (از رویداد صفر به رویداد ۲ و از ۲ به رویداد ۳)

ج) $0 \rightarrow 1 \rightarrow 3$ (از رویداد صفر به رویداد ۱ و از ۱ به رویداد ۳)

زمانهای لازم برای عبور از این سه راه :

الف) ۵ ب) $3+7=10$ ج) $4+2=6$

پس برای اینکه رویداد ۳ محقق شود، زودترین تاریخ وقتی است که هر سه فعالیت که به این رویداد می رسند، انجام شده باشند. که این زودترین تاریخ برابر با عدد ۱۰ خواهد بود پس داریم: $E_3 = 10$

حل مثال

رویداد ۴ از دو راه قابل دسترسی است:

الف) از ۱ به ۴ - زمان لازم عبارتست از: $E_1 + D_{1-4} = 4 + 5 = 9$

ب) از ۳ به ۴ - زمان لازم عبارتست از: $E_3 + D_{3-4} = 10 + 10 = 20$
زودترین تاریخ رویداد ۴، برابر با بزرگترین عدد بدست آمده است، یعنی: $E_4 = 20$

به همین ترتیب زودترین تاریخ برای وقوع رویداد ۵، عبارتست از:

$$E_2 + D_{2-5} = 3 + 8 = 11$$

$$E_3 + D_{3-5} = 10 + 5 = 15$$

$$E_5 = 15$$

زودترین تاریخ وقوع رویداد ۶ $E_5 + D_{5-6} = 15 + 10 = 25$

(زودترین تاریخ تکمیل پروژه) عبارتست از: $E_4 + D_{4-6} = 20 + 12 = 32$

$$E_3 + D_{3-6} = 10 + 2 = 12$$

$$E_6 = 32$$

نتایج محاسبات حرکت رفت

ردیف	فعاليتها	D	ES	EF
1	0-1	4	0	4
2	0-2	3	0	3
3	0-3	5	0	5
4	1-3	2	4	6
5	1-4	5	4	9
6	2-3	7	3	10
7	2-5	8	3	11
8	3-4	10	10	20
9	3-5	5	10	15
10	3-6	2	10	12
11	4-6	12	20	32
12	5-6	10	15	25

محاسبات روش مسیر بحرانی-ادامه

● محاسبه حرکت برگشت:

محاسبات حرکت برگشت ، به منظور تعیین دیرترین زمان وقوع هر گره و دیرترین زمان های شروع و پایان هر یک از فعالیت های شبکه انجام می شود و دارای سه قانون می باشد:

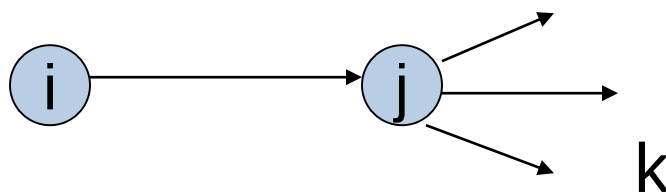
قانون ۱- دیرترین زمان مجاز برای وقوع گره پایانی را برابر با مقدار مورد نظر (از پیش تعیین شده) یا برابر زودترین زمان وقوع آن گره در نظر بگیرید.

یعنی در مرحله تعیین پارامترهای برنامه ریزی پروژه اگر تاریخ پایان پروژه معلوم باشد، در محاسبات حرکت برگشت، دیرترین زمان تحقق گره پایانی پروژه ، معادل با آن قرار داده می شود در غیر اینصورت دیرترین زمان تحقق گره پایان پروژه، برابر با زودترین زمان وقوع آن در نظر گرفته می شود.

محاسبات روش مسیر بحرانی-ادامه

ادامه محاسبه حرکت برگشت:

قانون ۲- دیرترین زمان وقوع گره j یا ختم فعالیت $(i-j)$ را برابر با کوچکترین مقدار دیرترین زمان های شروع فعالیت های بعد از فعالیت $(i-j)$ بگیرید، یعنی:



$$L_j, LF_{ij} = \text{Min}(LS_{jk} \quad \forall k)$$

طبق این قانون، دیرترین زمان پایان کلیه فعالیت هایی که به یک گره وارد می شوند، برابر با دیرترین زمان وقوع آن گره است. همچنین چنانچه فقط یک فعالیت از یک گره خارج شود، دیرترین زمان تحقق آن گره، برابر با دیرترین زمان شروع فعالیت مزبور خواهد بود.

محاسبات روش مسیر بحرانی-ادامه

ادامه محاسبه حرکت برگشت:

قانون ۳- دیرترین زمان شروع فعالیت (i-j) برابر با دیرترین زمان ختم فعالیت منهای مدت زمان اجرای آن است، یعنی:

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

حل مثال

محاسبات حرکت برگشت را برای شبکه مثال قبل انجام می دهیم:
چون زمان خاصی برای T_s مطرح نشده است، دیر ترین زمان وقوع گره پایانی، برابر با زودترین زمان وقوع آن قرار می گیرد.

$$T_6 = E_6 = L_6 = 32$$

حال به دیرترین تاریخ های ممکن برای سایر رویدادهای شبکه توجه می کنیم.
برای رویداد ۴ دیرترین تاریخ ممکن عبارت است از دیرترین تاریخ رویداد ۶ منهای زمان فعالیت ۴-۶ می باشد.

به عبارت دیگر در صورتیکه لازم باشد رویداد ۶ حداکثر تا تاریخ ۳۲ به وقوع بپیوندد، الزاماً باید رویداد ۴ حداکثر تا تاریخ $32 - 12 = 20$ اتفاق افتاده باشد، در غیر اینصورت تاریخ وقوع رویداد ۶ از ۳۲ تجاوز خواهد نمود.

$$L_4 = L_6 - D_{4-6} = 32 - 12 = 20 \quad \text{به همین ترتیب:}$$

$$L_5 = L_6 - D_{5-6} = 32 - 10 = 22$$

ادامه حل مثال

در حرکت بازگشتی از رویداد پایانی به سوی رویداد آغازین و برای رسیدن به رویداد ۳، سه راه وجود دارد:

$$L_6 - D_{3-6} = 32 - 2 = 30 \quad \text{الف) از ۶ به ۳}$$

$$L_4 - D_{3-4} = 20 - 10 = 10 \quad \text{ب) از ۴ به ۳}$$

$$L_5 - D_{3-5} = 22 - 5 = 17 \quad \text{ج) از ۵ به ۳}$$

دیرترین تاریخ ممکن برای وقوع رویداد ۳ عبارت از کوچکترین عددی که بدین طریق محاسبه شده، یعنی عدد ۱۰ خواهد بود. (زیرا در صورتی که رویداد ۳ در هر تاریخی دیرتر از ۱۰ به وقوع بپیوندد فعالیت ۳-۴ دیرتر از تاریخ ۲۰ تکمیل شده و در نتیجه تاریخ وقوع رویداد ۴ از عدد L_4 که قبلاً محاسبه شده تجاوز خواهد کرد) پس داریم: $L_3 = 10$

ادامه حل مثال

به همین ترتیب برای هر رویداد کوچکترین عدد بدست آمده بعنوان دیرترین تاریخ انتخاب می شود:

$$L_4 - D_{1-4} = 20 - 5 = 15$$

$$L_3 - D_{1-3} = 10 - 2 = 8$$

$$L_1 = 8$$

برای رویداد ۱:

$$L_3 - D_{2-3} = 10 - 7 = 3$$

$$L_5 - D_{2-5} = 22 - 8 = 14$$

$$L_2 = 3$$

برای رویداد ۲:

$$L_1 - D_{0-1} = 8 - 4 = 4$$

$$L_3 - D_{0-3} = 10 - 5 = 5$$

$$L_2 - D_{0-2} = 3 - 3 = 0$$

$$L_0 = 0$$

و برای رویداد صفر:

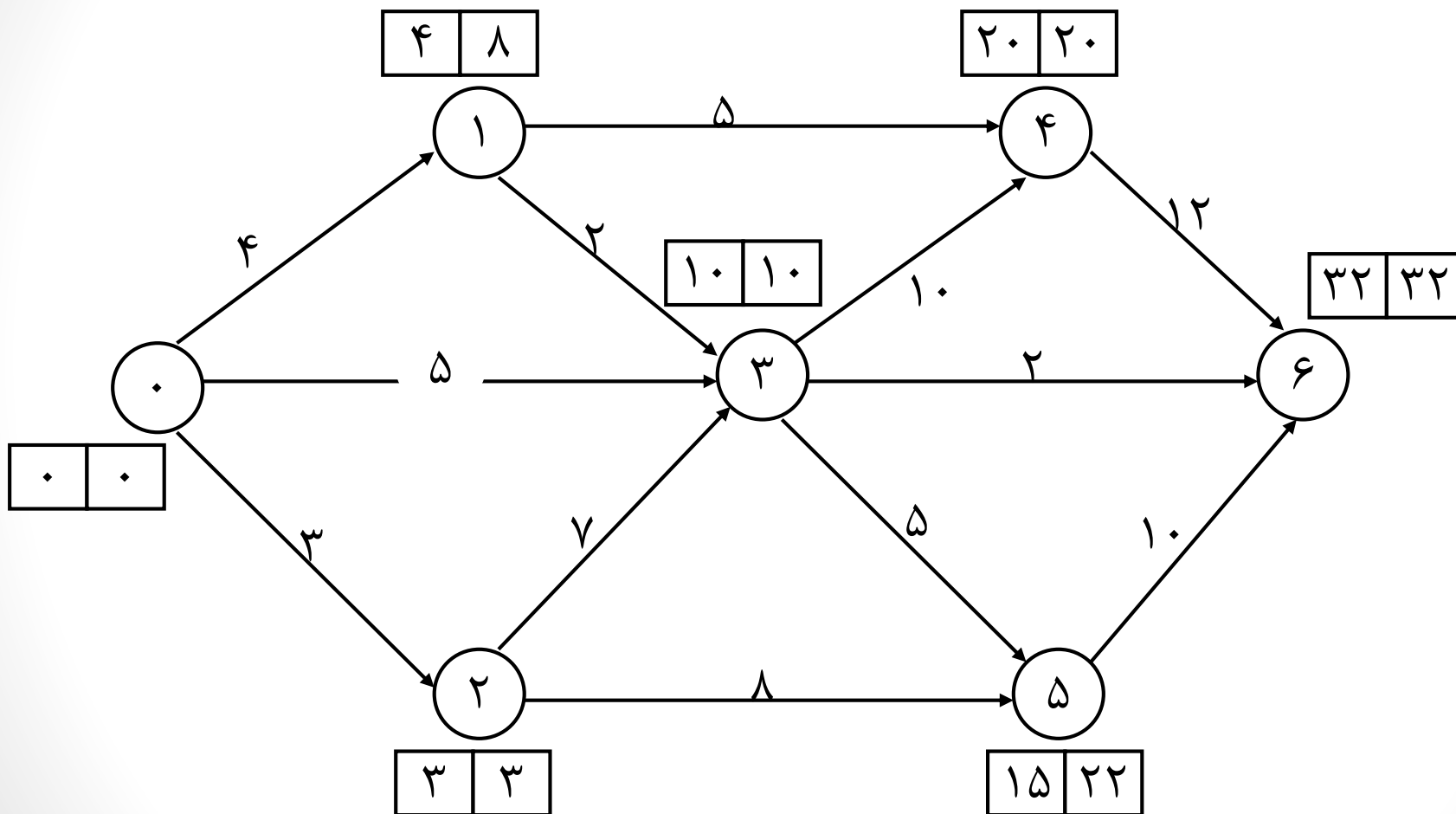
نتایج محاسبات حرکت برگشت

ردیف	فعاليتها	D	LS	LF
1	0-1	4	4	8
2	0-2	3	0	3
3	0-3	5	5	10
4	1-3	2	8	10
5	1-4	5	15	20
6	2-3	7	3	10
7	2-5	8	14	22
8	3-4	10	10	20
9	3-5	5	17	22
10	3-6	2	30	32
11	4-6	12	20	32
12	5-6	10	22	32

ادامه محاسبات رفت و برگشت

- برای سهولت در انجام محاسبات رفت و برگشت، در روی شبکه می توان در کنار هر رویداد (گره) مستطیلی که از دو مربع تشکیل شده قرار داده و به ترتیب که اعداد تا E و L برای گره ها محاسبه می شوند، آنها را در داخل این مربع ها قرار داد و به این ترتیب شبکه زودترین و دیرترین تاریخ های وقوع رویداد ها را نشان می دهد.

شبکه با دیرترین و زودترین تاریخ وقوع



شبکه با دیرترین و زودترین تاریخ وقوع

- با مراجعه به شکل قبل مشاهده می شود که به عنوان مثال گره ۱ می تواند در هر تاریخی بین روزهای ۴ تا ۸ اتفاق بیفتد. در اینجا گفته می شود که رویداد (گره) ۱ دارای شناوری است و مقدار این شناوری عبارتست از:

$$8 - 4 = 4$$

تعریف: مقدار شناوری رویداد عبارتست از تفاضل بین زودترین تاریخ و

$$F_i = L_i - E_i \quad \text{دیرترین تاریخ وقوع:}$$

شناوری در تاریخ های وقوع رویدادها- ادامه

- برای مثال قبل می توان جهت نشان دادن مقدار شناوری های رویداد جدول زیر را تشکیل داد:

شناوری	دیرترین تاریخ وقوع L	زودترین تاریخ وقوع E	رویداد
0	0	0	0
4	8	4	1
0	3	3	2
0	10	10	3
0	20	20	4
7	22	15	5
0	32	32	6

ادامه تعاریف مسیر بحرانی

- **رویداد بحرانی:** در یک شبکه رویدادهائی هستند که دارای شناوری صفر (0) می باشند. زودترین و دیرترین تاریخ های وقوع این رویدادها همواره مساوی بوده و هر تغییری در این تاریخ ها باعث خواهد شد که زمان لازم برای تکمیل پروژه را تغییر دهد.
- **مقدار شناوری یک راه:** عبارت از اختلاف بین کل زمان لازم برای تکمیل پروژه، و جمع زمانهای فعالیت های تشکیل دهنده آن راه می باشد. پس برای یک راه که شامل فعالیت های $1, 2, \dots, m$ باشد داریم:

$$\text{شناوری راه} = E_c - E_s - (D_1 + D_2 + \dots + D_m)$$

ادامه تعاریف مسیر بحرانی

- که در آن E_c, E_s به ترتیب زودترین تاریخ وقوع رویداد آغازین شبکه و تاریخ وقوع رویداد پایانی بوده و D_i عبارت است از زمان لازم برای اجرای فعالیت i لذا در مثال مربوط به شبکه، شناوری راه ۰-۱-۴-۶ داریم:

$$E_6 - E_0 - (D_{0-1} + D_{1-4} + D_{4-6}) = 32 - 0 - (4 + 5 + 12) = 11$$

- **مسیر (راه) بحرانی (Critical path):**
در هر شبکه حداقل یک راه وجود دارد که شامل طولانی ترین زمان می باشد. این راه را مسیر بحرانی می نامند.
مقدار شناوری مسیر بحرانی همواره برابر صفر است. مسیر بحرانی از رویداد آغازین تا پایانی ، همواره از رویدادهای بحرانی عبور می نماید.

ادامه تعاریف مسیر بحرانی

- **فعالیت‌های بحرانی:** فعالیت‌های تشکیل دهنده یک مسیر بحرانی، فعالیت‌های بحرانی نامیده می‌شوند. در روی مسیر که بحرانی باشد، همه فعالیت‌ها بحرانی خواهند بود و رویدادهای پایه و پایان فعالیت‌های بحرانی، همواره بحرانی خواهند هستند (ولی این شرط برای بحرانی بودن فعالیت‌ها کافی نمی‌باشد)
- قبل از توضیح در مورد تشخیص فعالیت‌های بحرانی و در نتیجه مسیر بحرانی، لازم است تاریخ‌ها و شناوری‌های فعالیت‌ها مورد بحث قرار گیرند.

ادامه تعاریف مسیر بحرانی

- تاریخ های فعالیت: علاوه بر تاریخ رویدادها، لازم است زودترین و دیرترین تاریخ های ممکن برای شروع و پایان فعالیت ها نیز برای مدیران و دست اندرکاران اجرا پروژه معلوم باشد.
 - بطور مثال در شکل بعد، زودترین و دیرترین تاریخ های وقوع رویدادهای پایه و پایان فعالیت i-j، همراه با زمان این فعالیت نشان داده شده و این تاریخ ها و زمان ها بر روی یک محور زمان نیز به نمایش درآمده اند.
- پس ۱) زودترین تاریخ شروع فعالیت (i-j) = زودترین تاریخ وقوع رویداد ۱

$$ES_{ij} = E_i$$

ادامه تعاریف مسیر بحرانی

(۲) زودترین تاریخ پایان (i-j) = زودترین تاریخ شروع (i-j) + زمان (i-j)

$$EF_{ij} = ES_{ij} + D_{ij} \Rightarrow EF_{ij} = E_i + D_{ij}$$

(۳) دیرترین تاریخی که فعالیت (i-j) میتواند کامل شود، باید تاریخی باشد که باعث به تاخیر افتادن تاریخ وقوع رویداد J نشده و در نتیجه زمان تکمیل پروژه را به تاخیر نیندازد، پس:

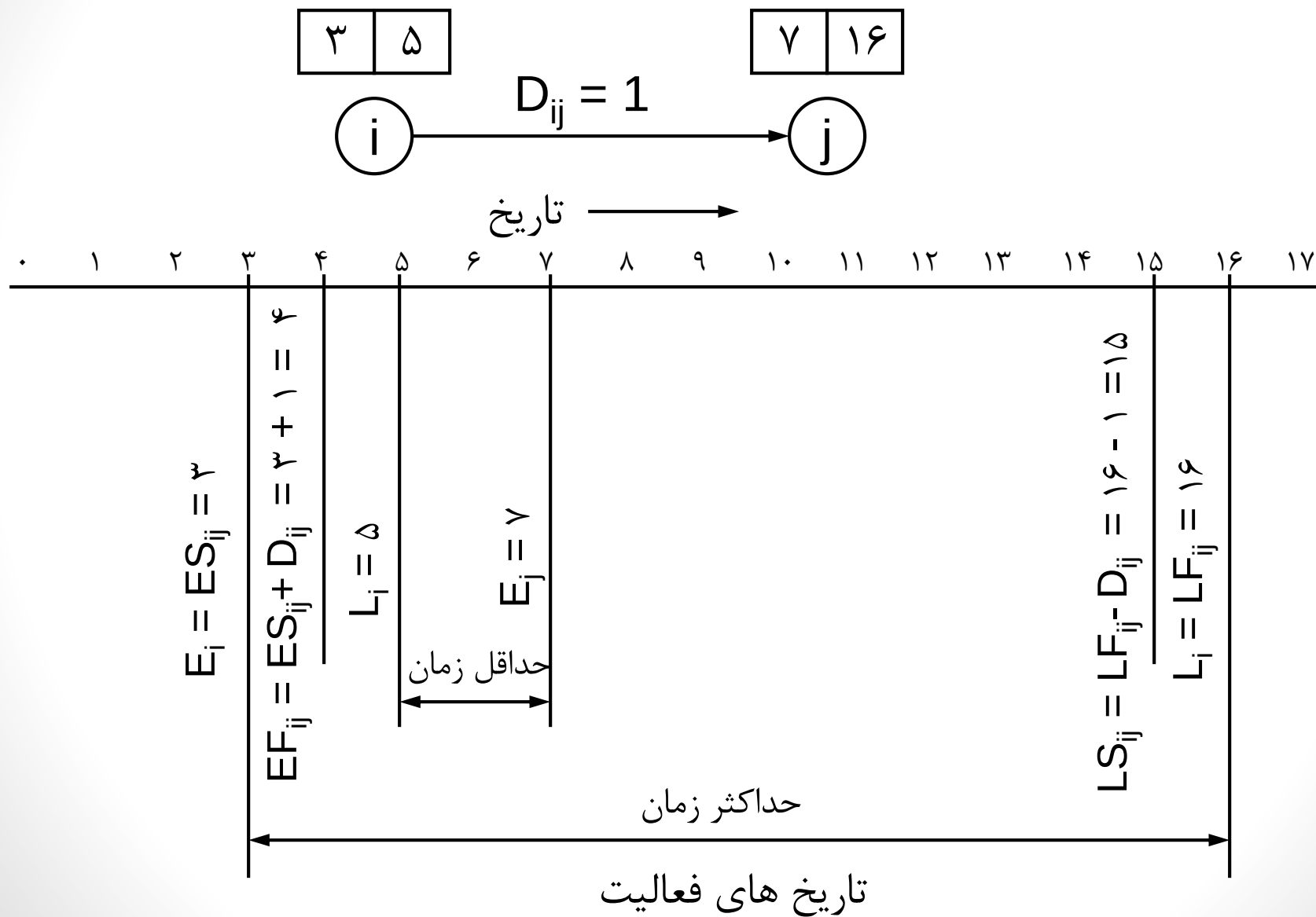
$$LF_{ij} = L_j \quad \text{دیرترین تاریخ پایان (i-j) = دیرترین تاریخ وقوع رویداد J}$$

(۴) برای اینکه (i-j) بتواند حداکثر تا تاریخ LF_{ij} کامل شود، دیرترین تاریخ شروع آن عبارت خواهد بود از:

دیرترین تاریخ شروع (i-j) = دیرترین تاریخ پایان (i-j) - زمان فعالیت (i-j)

$$LS_{ij} = LF_{ij} - D_{ij} \Rightarrow LS_{ij} = L_j - D_{ij}$$

ادامه تعاریف مسیر بحرانی



شناوری فعالیت ها

- با مراجعه به **شکل قبل** می توان نتیجه گرفت که فعالیت i-z را می توان در تاریخ ۳ شروع کرد، ولی حتی اگر شروع این فعالیت تا تاریخ ۱۵ نیز به تعویق بیفتد، به شرط آنکه بتوان فعالیت را در زمان معمولی خود یعنی یک روزه انجام داد، فعالیت در تاریخ ۱۶ که دیرترین تاریخ ممکن برای وقوع رویداد z است تکمیل شده و بنابراین در زمان تکمیل پروژه اثری نخواهد گذاشت.
- در یک شبکه ممکن است تعداد زیادی از فعالیت ها از همین خاصیت انعطاف پذیری در تاریخ های شروع یا پایان برخوردار باشند. در اصطلاح برنامه ریزی، فعالیت هایی را که دارای چنین خاصیتی هستند، فعالیت های دارای شناوری یا فرجه می گویند.

انواع شناوری

ما سه نوع شناوری داریم:

۱- **شناوری جمعی**: مقدار زمانی که یک فعالیت می تواند به تعویق بیفتد، یا به زمان اجرای آن افزوده شود، بدون آنکه در کل زمان اجرای پروژه تاثیری بگذارد، شناوری جمعی (Total Slack (Float) آن فعالیت نامیده می شود.
برای یک فعالیت $i-j$ داریم:

حداکثر زمان قابل دسترس برای فعالیت " $i-j$ " $LF_{ij} - ES_{ij} = L_j - E_i$ و
بنابراین مقدار شناوری جمعی این فعالیت عبارتست از:

$$TF_{ij} = L_j - E_i - D_{ij}$$

انواع شناوری - شناوری جمعی

$$L_j = LF_{ij}, E_i + D_{ij} = EF_{ij}$$

ولی داریم:

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

پس:

$$E_i = ES_{ij}, L_j - D_{ij} = LS_{ij}$$

همینطور داریم:

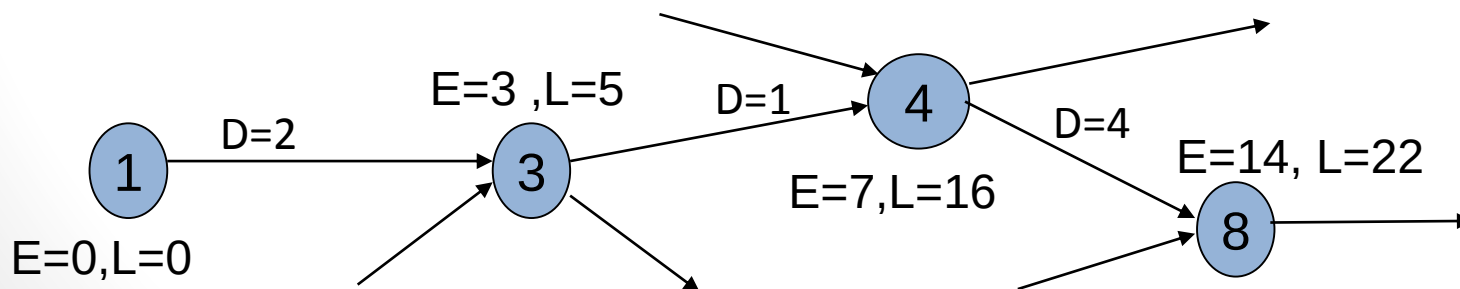
$$TF_{ij} = LS_{ij} - ES_{ij}$$

پس:

مثال: شکل زیر را که بخشی از یک شبکه است، مقدار شناوری جمعی فعالیت (۳-۴)

$$TF_{3-4} = L_4 - E_3 - D_{3-4} = 16 - 3 - 1 = 12$$

عبارتست از:



انواع شناوری - شناوری جمعی - ادامه

- فعالیت (۳-۴) را می توان حداکثر به مقدار شناوری جمعی آن (۱۲) واحد زمان) به تأخیر انداخت و به جای تاریخ ۳ آن را در تاریخ ۱۵ شروع نمود.
- همینطور این فعالیت می تواند در تاریخ ۳ شروع شده، ولی به جای آنکه یک روزه اجرا شود، حداکثر به مقدار ۱۲ روز به زمان اجرای آن افزوده شده و ۱۳ روزه تکمیل گردد. در هر یک از این شرایط، تاریخ رویداد ۴ از ۱۶ تجاوز ننموده و در نتیجه تأثیری بر زمان تکمیل پروژه نخواهد داشت.

انواع شناوری - شناوری آزاد

- در شکل مثال قبل، اگر فعالیت (۳-۴) از کل زمان شناوری خود استفاده نماید، الزاماً رویداد ۳ و ۴ به ترتیب در زودترین و دیرترین تاریخهای ممکن به وقوع می پیوندند. چنین حالتی باعث خواهد شد که مثلاً فعالیت (۴-۸) نتواند در زودترین تاریخ ممکن، یعنی در تاریخ ۷، شروع شود چون هنوز فعالیت (۳-۴) کامل نشده و بنابراین رویداد ۴ به وقوع نپیوسته است.

- مقدار زمانی که یک فعالیت می تواند به تعویق بیفتد، یا به زمان اجرای آن افزوده شود، بدون آنکه بر مقدار شناوری فعالیت های بعد خود تأثیری بگذارد، شناوری آزاد (Free Float) آن فعالیت نامیده

میشود. یعنی:

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

انواع شناوری - شناوری آزاد-ادامه

• ولی:

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

پس داریم:

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

$$FF_{3-4} = E_4 - E_3 - D_{3-4} = 7 - 3 - 1 = 3 \quad \text{در مثال شکل قبل داریم:}$$

انواع شناوری - شناوری مستقل

- در شکل قبل، در صورتی که فعالیت (۳-۴) از زمان شناوری آزاد خود استفاده نماید ، گو اینکه بر فعالیت بعدی خود اثری نمی گذارد ولی رویداد پایه این فعالیت یعنی رویداد ۳ باید الزاماً در زودترین تاریخ ممکن اتفاق بیافتد. چنین امری ایجاب می کند که فعالیت هایی که به رویداد ۳ ختم می شوند نتوانند از حداکثر زمان شناوری خود استفاده نمایند. در شرایطی که لازم باشد آن مقدار شناوری برای یک فعالیت مورد استفاده قرار می گیرد که علاوه بر عدم تاثیر بر فعالیتهای بعد از خود بر فعالیتهای پیش از خود (پیش نیاز های خود) نیز اثری نداشته باشد، مناسب است مقدار شناوری مستقل (Independent Float) فعالیت محاسبه گردد، بنا به تعریف:
- مقدار زمانی که یک فعالیت میتواند به تعویق بیفتد، یا به زمان اجرای آن افزوده شود بدون آنکه بر شناوری فعالیتهای قبل و بعد از خود تاثیری بگذارد، شناوری مستقل آن فعالیت نامیده می شود.

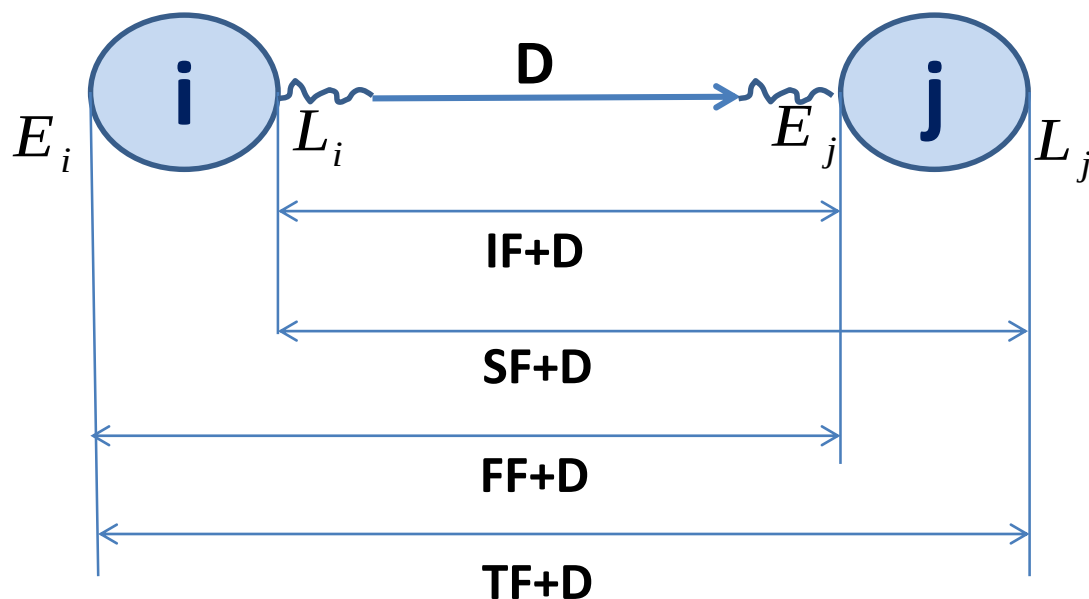
انواع شناوری - شناوری مستقل-ادامه

- پس مقدار شناوری مستقل فعالیت (i-j) عبارتست از : $IF_{ij} = E_j - L_i - D_{ij}$
- در مثال قبل، مقدار شناوری مستقل فعالیت (۳-۴) عبارتست از:

$$IF_{3-4} = E_4 - L_3 - D_{3-4} = 7 - 5 - 1 = 1$$

لازم به یادآوری است که مقدار شناوری مستقل فعالیت ها می تواند کوچکتر از صفر(منفی) باشد. چنین شرایطی در یک فعالیت این معنی را می رساند که فعالیت مربوطه دارای شناوری مستقل نبوده و حتی در شرایطی که این فعالیت در زمان معمولی خود اجرا می شود، بر شناوری فعالیت های پیش نیاز و پی آمد خود تأثیر خواهد گذاشت. در شرایطی که مقدار شناوری یک فعالیت منفی باشد، در محاسبات برنامه ریزی، شناوری آن را برابر با صفر (۰) منظور می نمایند.

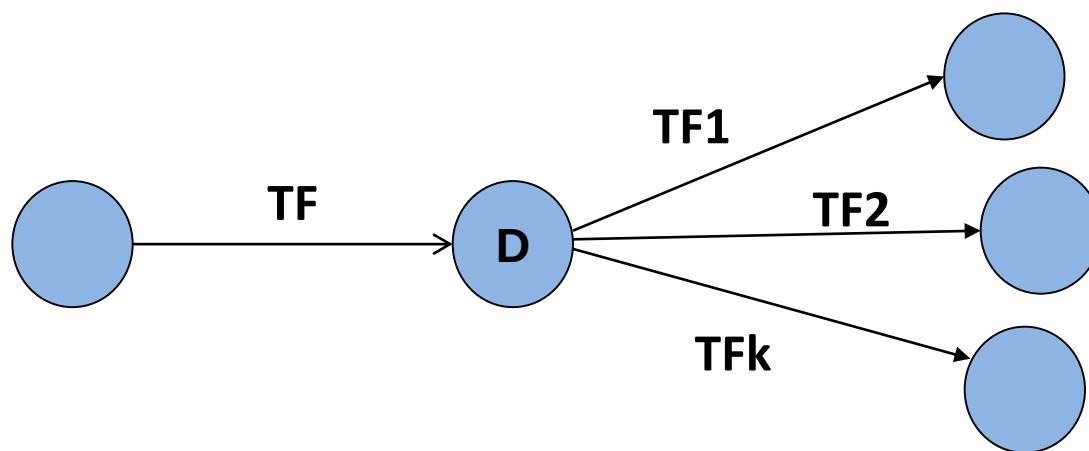
انواع شناوری - به صورت شماتیک



		j	
i		زودترین	دیرترین
	زودترین	شناوری آزاد	شناوری کل
	دیرترین	شناوری مستقل	شناوری ایمنی

روابط بین شناوری کل در یک شبکه

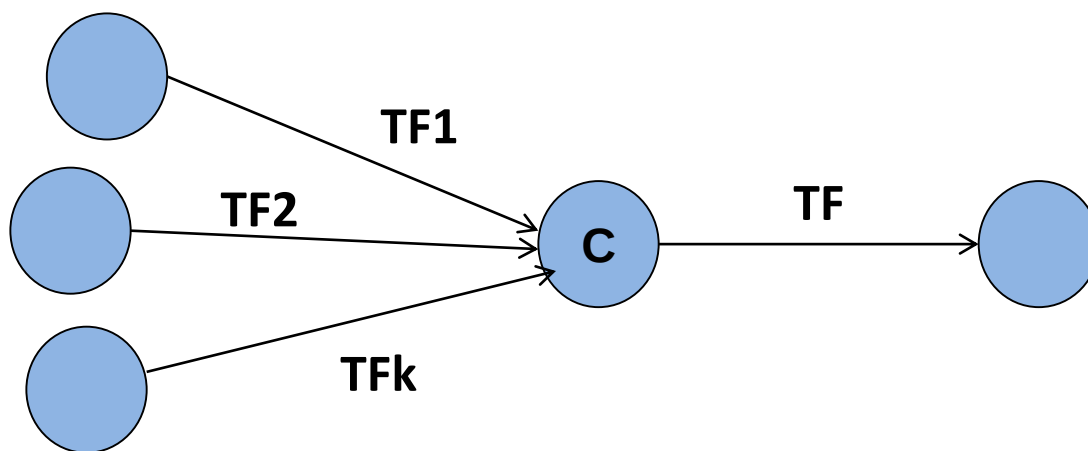
نمایش گره بازشونده D و رابطه بین فعالیت‌های اطراف این گره



$$TF = \text{Min} \{TF_1, TF_2, \dots, TF_k\}$$

روابط بین شناوری کل در یک شبکه

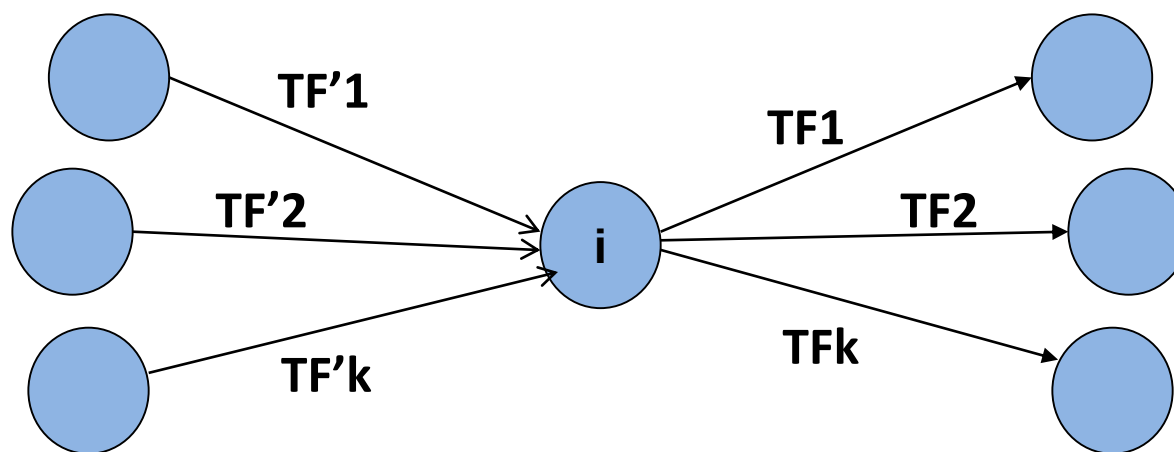
نمایش گره جمع شونده C و رابطه فرجه های کل فعالیتهای اطراف آن



$$TF = \text{Min} \{TF_1, TF_2, \dots, TF_k\}$$

روابط بین شناوری کل در یک شبکه

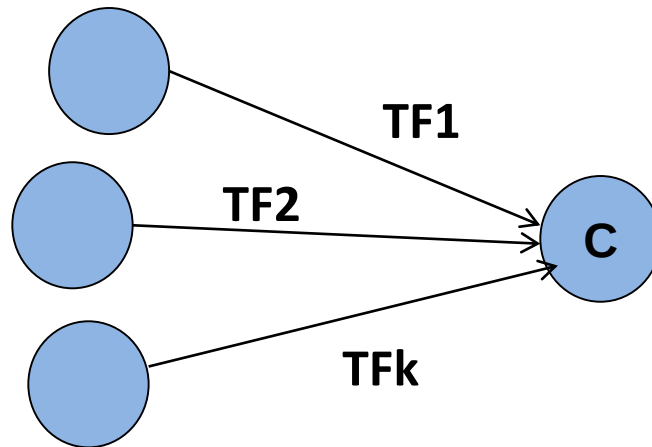
نمایش گره جمع شونده او رابطه فرجه های کل فعالیت های اطراف آن



$$\text{Min} \{TF'_1, TF'_2, \dots, TF'_k\} = \text{Min} \{TF_1, TF_2, \dots, TF_k\}$$

روابط بین شناوری آزاد و شناوری کل در یک شبکه

روابط بین فرجه آزاد و فرجه کل تنها در مورد گره های جمع شونده مانند شکل زیر مطرح می باشد



$$FF_1 = TF_1 - \text{Min} \{TF_1, TF_2, \dots, TF_k\}$$

$$FF_2 = TF_2 - \text{Min} \{TF_1, TF_2, \dots, TF_k\}$$

$$FF_k = TF_k - \text{Min} \{TF_1, TF_2, \dots, TF_k\}$$

تعیین فعالیتهای بحرانی و مسیر های بحرانی شبکه

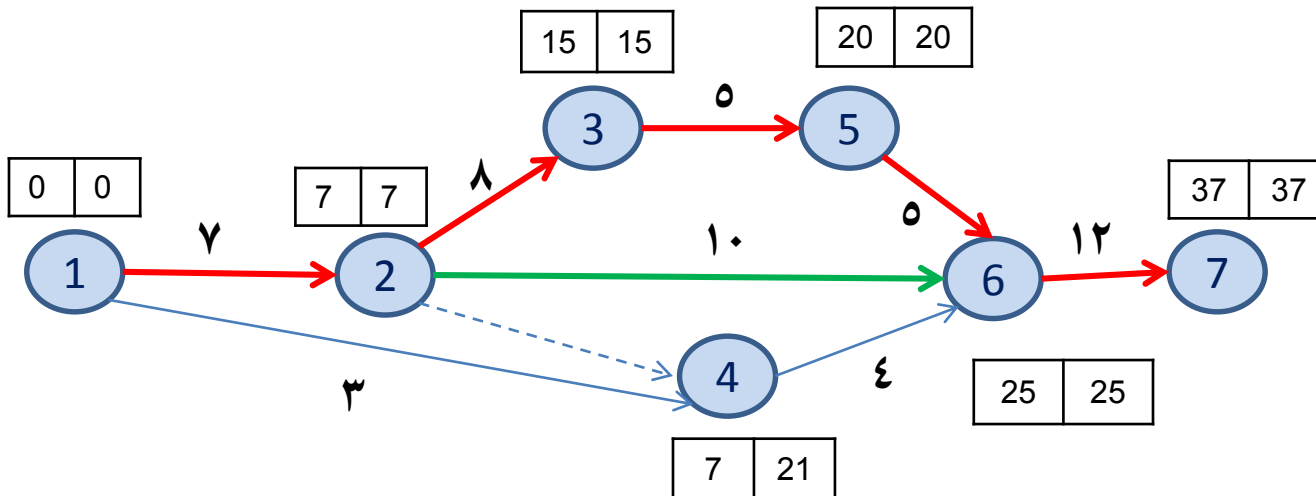
- قبلاً گفته شد که در هر شبکه مسیر یا مسیر هایی که دارای طولانی ترین زمان باشند، مسیر بحرانی نامیده شده و فعالیت های روی این مسیرها، فعالیت های بحرانی نامیده میشود. پس:

- **فعالیت های بحرانی در یک شبکه، فعالیت هایی هستند که شناوری جمعی آنها برابر صفر باشد.**

بدیهی است هر مسیری که شامل یک یا چند فعالیت بحرانی باشد، الزاماً همگی فعالیت های موجود بر روی آن بحرانی نخواهد بود. در یک شبکه ممکن است بیش از یک مسیر بحرانی وجود داشته باشد و حتی در مواردی ممکن است همه فعالیتها و در نتیجه همه مسیرهای یک شبکه بحرانی باشند (در عمل بسیار نادر است).

تعیین فعالیتهای بحرانی و مسیر های بحرانی شبکه-ادامه

- در یک شبکه ممکن است رویدادهای پایه و پایان آنها بحرانی باشند ولی آن فعالیت ها بحرانی نباشند، شبکه زیر این موضوع را بهتر نشان می دهد.



تعیین فعالیتهای بحرانی و مسیر های بحرانی شبکه-ادامه

- جدول زیر مقادیر شناوری جمعی فعالیتهای شبکه نشان داده شده و فعالیتهای بحرانی مشخص گردیده اند. فعالیت ۶-۲ گو اینکه دارای رویداد پایه و پایان بحرانی است ولی این فعالیت بحرانی نبوده و در حقیقت از ۸ واحد زمان، شناوری جمعی برخوردار است.
- شبکه بحرانی با خطوط ضخیم مشخص شده است.

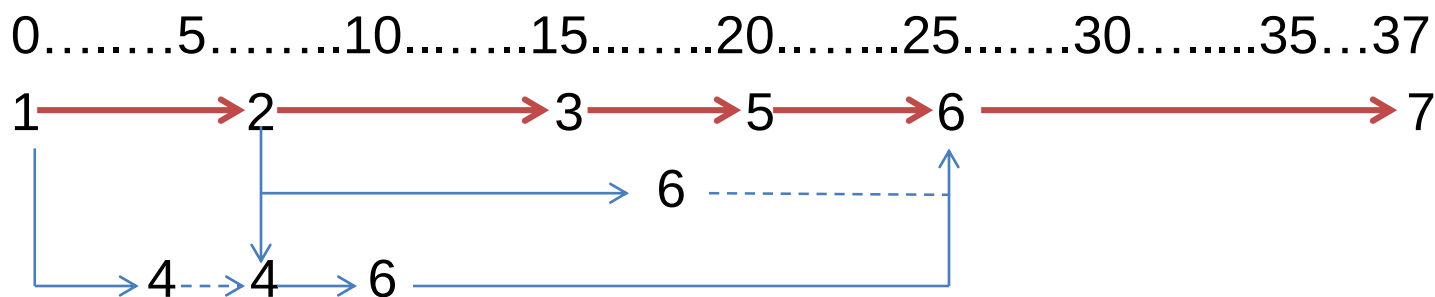
فعالیت	شناوری جمعی	ملاحظات
۱-۲	$7-0-7=0$	بحرانی
۲-۳	$15-7-8=0$	بحرانی
۱-۴	$21-0-3=18$	
۲-۴	$21-7-0=14$	
۳-۵	$20-15-5=0$	بحرانی
۲-۶	$25-7-10=8$	
۴-۶	$25-7-4=14$	
۵-۶	$25-20-5=0$	بحرانی
۶-۷	$37-25-12=0$	بحرانی

فعالیت‌های بحرانی شبکه

- تفکیک فعالیت‌های بحرانی از سایر فعالیت‌های شبکه از آن نظر شایسته اهمیت است که مدیران و مسؤولان اجرایی بتوانند این فعالیت‌ها را با دقت و توجه بیشتری زیر نظر و کنترل داشته و از به تعویق افتادن یا طولانی تر شدن زمان اجرای آنها جلوگیری نمایند.
- چون هرگونه تأخیری در تاریخ تکمیل این فعالیت‌ها، تاریخ تکمیل پروژه را به تعویق خواهد انداخت.
- شکل اسلاید بعد، شبکه مربوط به شکل قبلی با مقیاس زمان را نشان می‌دهد.

فعالیت‌های بحرانی شبکه - ادامه

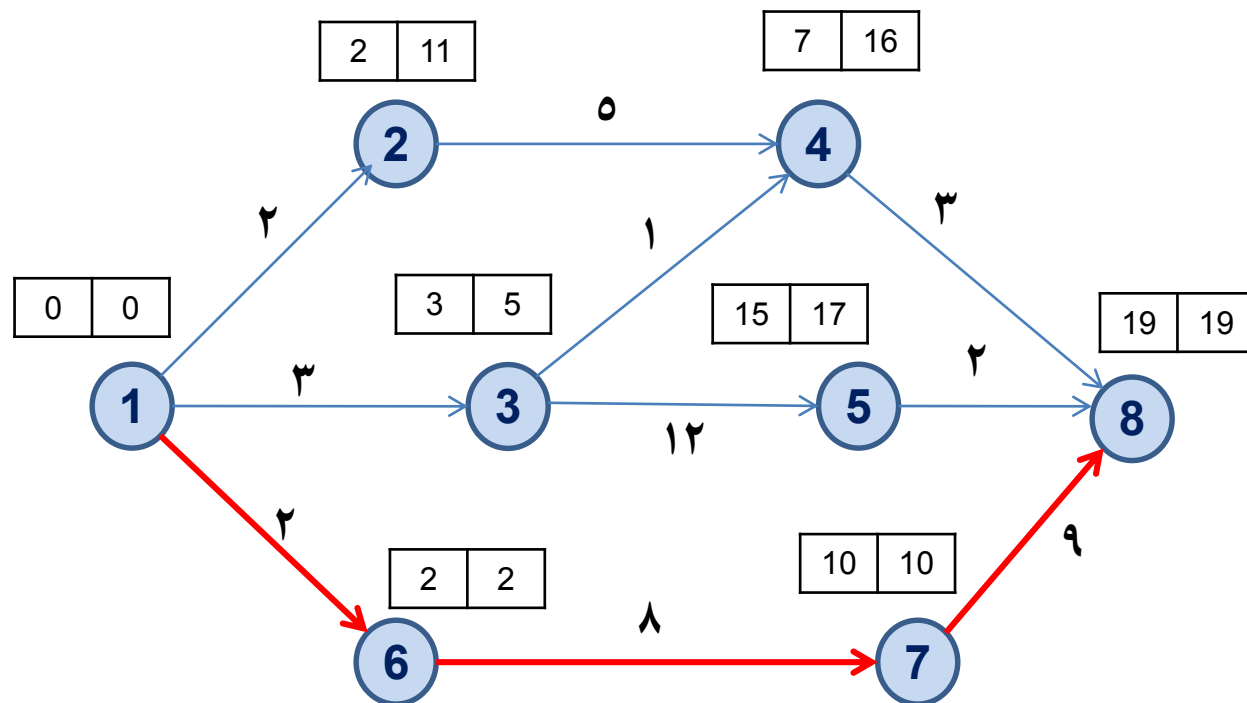
- در شکل زیر فعالیت‌های بحرانی، مسیر بحرانی ۱-۲-۳-۵-۶-۷ را تشکیل داده اند. سایر فعالیت‌های پروژه (فعالیت‌های ۴-۶ و ۴-۶ و ۲-۶) بحرانی نیستند. همانگونه که در شکل ملاحظه می شود فعالیت های غیر بحرانی را می توان تا حدود معینی دیرتر شروع نمود، یا زمان لازم برای اجرای آنها را طولانی تر نمود، بدون آنکه زمان تکمیل پروژه به تأخیر بیفتد.



جدول محاسبات اصلی

- بهتر است در گوشه سمت راست صفحه ای که بر روی آن شبکه پروژه ترسیم شده است جدولی مثل جدول بعد تشکیل داده و اطلاعات مربوط به زمان ها را در آن نشان داد. این جدول مربوط به شکل بعد که محاسبات پیشروی و بازگشتی انجام گرفته، می باشد.
- مسیر بحرانی شامل فعالیتهای دارای شناوری صفر ($TF=0$) بوده و این مسیر در شکل بعد مشخص شده است.

جدول محاسبات اصلی - مثال



جدول محاسبات اصلی-ادامه

$$ES_{3-5} = E_3 = 3$$

$$EF_{3-5} = E_3 + D_{3-5} = 3 + 12 = 15$$

$$LS_{3-5} = L_5 - D_{3-5} = 17 - 12 = 5$$

$$LF_{3-5} = L_5 = 17$$

$$TF_{3-5} = L_5 - E_3 - D_{3-5} = 17 - 3 - 12 = 2$$

$$FF_{3-5} = E_5 - E_3 - D_{3-5} = 15 - 3 - 12 = 0$$

$$IF_{3-5} = E_5 - L_3 - D_{3-5} = 15 - 5 - 12 = -2$$

$$\Rightarrow IF_{3-5} = 0$$

- زودترین تاریخ شروع
- زودترین تاریخ پایان
- دیرترین تاریخ شروع
- دیرترین تاریخ پایان
- شناوری جمعی
- شناوری آزاد
- شناوری مستقل

جدول محاسبات اصلی-ادامه

ملاحظات	شناوری مستقل IF	شناوری آزاد FF	شناوری جمعی TF	دیرترین تاریخ پایان LF	دیرترین تاریخ شروع LS	زودترین تاریخ پایان EF	زودترین تاریخ شروع ES	زمان D	فعالیت i-j
	0	0	9	11	9	2	0	2	1-2
	0	0	2	5	2	3	0	3	1-3
بحرانی	0	0	0	2	0	2	0	2	1-6
	(-9)0	0	9	16	11	7	2	5	2-4
	1	3	12	16	15	4	3	1	3-4
	(-2)0	0	2	17	5	15	3	12	3-5
	0	9	9	19	16	10	7	3	4-8
	0	2	2	19	17	17	15	2	5-8
بحرانی	0	0	0	10	2	10	2	8	6-7
بحرانی	0	0	0	19	10	19	10	9	7-8

ترتیب بندی فعالیتها به ترتیب درجه بحرانی بودن

- یکی از دلایل لزوم تفکیک فعالیت های شبکه به فعالیتهای بحرانی و غیر بحرانی، آن است که برای مدیریت و مسئولین، این امکان فراهم باشد که توجه خود را به فعالیتهای بحرانی معطوف داشته و تاریخ های شروع و پایان آنها تحت کنترل داشته باشند.
- در یک شبکه ، علاوه بر فعالیتهای بحرانی که دارای شناوری جمعی صفر هستند، ممکن است فعالیت های دیگری نیز وجود داشته باشند که گرچه دارای شناوری جمعی صفر نیستند و در نتیجه طبق تعریف بحرانی نامیده نمی شوند، ولی مقدار شناوری جمعی آنها بسیار کم میباشد. چنین فعالیت هایی در اصطلاح برنامه ریزی نیمه بحرانی یا Sub-Critical نامیده می شوند.

ترتیب بندی فعالیتها به ترتیب درجه بحرانی بودن-ادامه

- در صورتی که مثلاً تاریخ اجرای یک فعالیت زیر بحرانی با شناوری جمعی ۲ روز، به مدت ۲ روز به تأخیر بیفتد دیگر امکان به تعویق انداختن تاریخ اجرای آن وجود نداشته و عملاً این فعالیت حالت بحرانی خواهد داشت.
- بنابراین، برای کنترل نحوه پیشرفت کار مناسب است که توجه مسئولین پروژه به فعالیت های مختلف، بستگی به مقدار شناوری این فعالیت ها داشته و به هر میزان که شناوری فعالیتی کمتر است، دقت و توجه بیشتری از سوی مدیریت به آن معطوف گردد.

ترتیب بندی فعالیتها به ترتیب درجه بحرانی بودن-ادامه

- برای مرتب کردن فعالیتها به ترتیب میزان بحرانی بودن آنها به روش زیر عمل میکنیم:

۱- فعالیتها را به ترتیبی گروه بندی میکنیم که هرگروه دارای فعالیت هایی باشد که شناوری جمعی آنها با یکدیگر مساوی است.

۲- گروهها را به ترتیب افزایش شناوری جمعی فعالیت های آنها مرتب می کنیم.

۳- در داخل هر گروه، فعالیتها را به ترتیب افزایش زودترین تاریخ ممکن برای شروع، مرتب می کنیم.

ترتیب بندی فعالیتها به ترتیب درجه بحرانی بودن-ادامه

- در صورتی که روش بالا را برای فعالیت های مربوط به شبکه نشان داده شده در شکل و جدول قبل اعمال کنیم، فعالیت ها به ترتیب نشان داده شده در ستون سوم جدول زیر قرار خواهند گرفت:

گروه	فعالیت	فعالیت به ترتیب افزایش ES	میزان بحرانی بودن
۱	۷-۸	۱-۶	حداکثر
	۱-۶	۶-۷	
	۶-۷	۷-۸	
۲	۱-۳	۱-	
	۵-۸	۳-۵	
	۳-۵	۵-۸	
۳	۱-۲	۱-۲	
	۴-۸	۲-۴	
	۲-۴	۴-۸	
۴	۳-۴	۳-۴	حداقل

به هنگام سازی پروژه

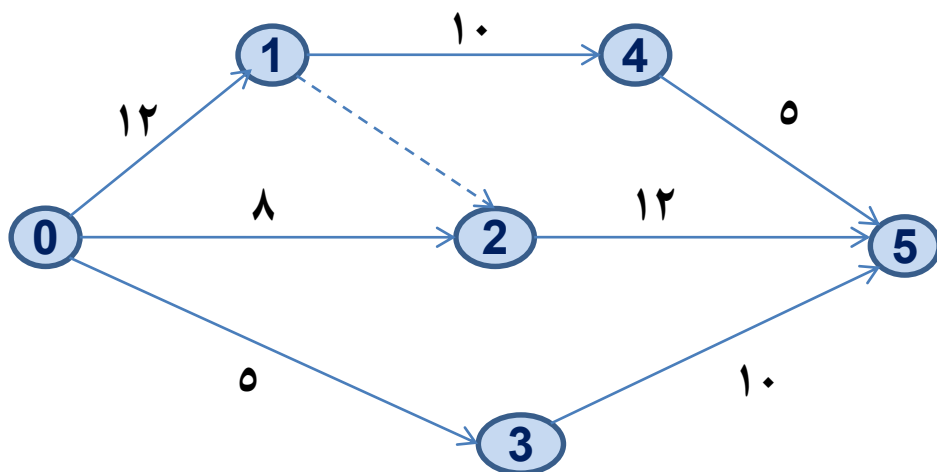
❖ الگوریتم به هنگام سازی

- گام ۱: تاریخ به هنگام سازی بعنوان زودترین زمان شروع برای فعالیت های نیمه تمام در نظر گرفته می شود
- گام ۲: برای فعالیت های نیمه تمام زمان باقی مانده برای تکمیل بعنوان زمان فعالیت در نظر گرفته می شود
- گام ۳: برای فعالیت های تکمیل شده زمان فعالیت برابر صفر در نظر گرفته می شود
- گام ۴: محاسبات رفت و برگشت طبق معمول با اطلاعات مربوطه انجام می شود

به هنگام سازی پروژه

❖ مثال

شبکه فعالیت های یک پروژه و زمان آنها مطابق شکل زیر است.



گزارش پیشرفت کار مربوط به تاریخ انتهای روز دهم حاوی اطلاعات زیر می باشد:

۱- کار ۰-۳ تکمیل شده است.

۲- کار ۳-۵ شروع شده ولی هنوز ۳ روز دیگر برای تکمیل این کار، زمان لازم است.

۳- کار ۰-۲ شروع شده ولی هنوز ۲ روز دیگر برای تکمیل این کار، زمان لازم است.

به هنگام سازی پروژه

❖ مثال

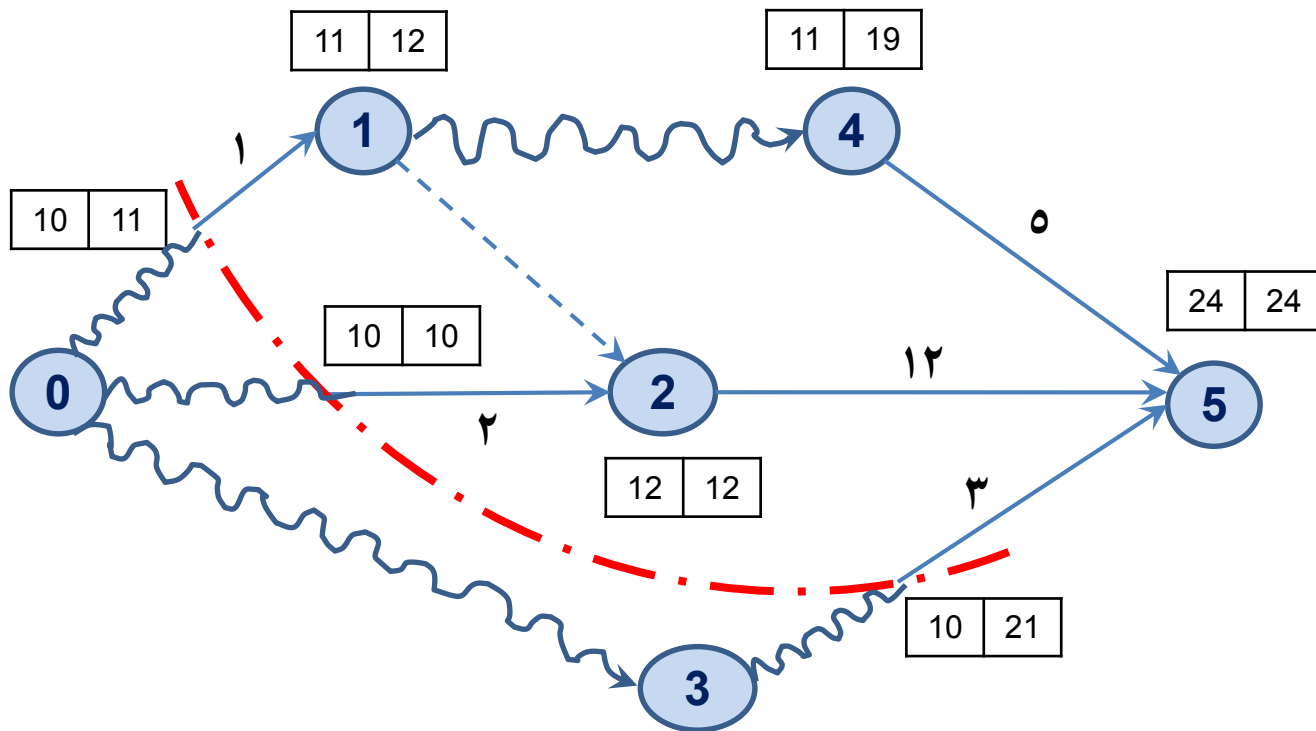
۴- کار ۰-۱ که بر اساس تخمین های اولیه قرار بود تا انتهای روز ۱۲ تکمیل شود، اینک با سرعت بیشتری پیش می رود و تا انتهای روز ۱۱ به پایان خواهد رسید.

۵- کار ۱-۴ که در فاز برنامه ریزی وابسته به ۰-۱ تشخیص داده شده بود با تغییری که در روش اجرای آن داده شد به صورت مستقل از ۰-۱ قابل اجرا گردیده و هم اکنون تکمیل شده است.

۶- سایر کارهای پروژه تا به حال شروع نشده اند.

شبکه را به هنگام کنید.

به هنگام سازی پروژه



محاسبات زمان در شبکه با تاریخ های تعیین شده بعضی از رویدادها

در شرایطی ممکن است برخی رویدادهای پروژه دارای تاریخ های مشخصی باشند که الزاماً می بایست حداکثر تا آن تاریخ ها به وقوع پیوسته باشند. به عنوان مثال ممکن است لازم باشد رویدادی که در انتهای عملیات خاک برداری واقع شده به علت فصلبالاتر رفتن احتمال بارندگی در پاییز، حداکثر تا آخر تابستان به وقوع بپیوندد.

اگر دیرترین تاریخ تعیین شده برای وقوع رویدادی T_P نامیده شده و دیرترین تاریخ محاسبه شده برای آن (بر اساس محاسبات معمولی پیشروی و بازگشتی) L نامیده شود، بنابراین در حرکت بازگشتی دیرترین تاریخ ممکن برای این رویداد، برابر با عدد کوچکترین بین L و T_P انتخاب می شود.

$$L = \text{Min} \{L, T_P\}$$

محاسبات زمان در شبکه با تاریخ های تعیین شده بعضی از رویدادها

- در شرایطی ممکن است برخی رویدادهای پروژه دارای تاریخ های مشخصی باشند که الزاماً می بایست حداکثر تا آن تاریخ ها به وقوع پیوسته باشند. به عنوان مثال ممکن است لازم باشد رویدادی که در انتهای عملیات خاک برداری واقع شده به علت بالا رفتن احتمال بارندگی در پاییز، حداکثر تا آخر تابستان به وقوع بپیوندد.

- اگر دیرترین تاریخ تعیین شده برای وقوع رویدادی T_P نامیده شده و دیرترین تاریخ محاسبه شده برای آن (بر اساس محاسبات معمولی پیشروی و بازگشتی) L نامیده شود، بنابراین در حرکت بازگشتی دیرترین تاریخ ممکن برای این رویداد، برابر با عدد کوچکترین بین L و T_P انتخاب می شود.

$$L = \text{Min} \{L, T_P\}$$

- واضح است که همواره برای هر رویدادی باید $T_P \geq E$ باشد در غیر اینصورت لازم خواهد شد که مسئولین پروژه با انجام تغییراتی در روش های اجرای فعالیت ها، یا در منطق شبکه، رویداد موردنظر را در تاریخ تعیین شده قابل وقوع نمایند.

محاسبات زمان در پروژه های دارای تاریخ تعیین شده برای تکمیل

- در مواردی ممکن است تاریخ تکمیل پروژه ضمن قرارداد مشخص شده باشد و این تاریخ با زودترین تاریخ ممکن برای تکمیل پروژه، که با محاسبات پیشروی و بازگشتی تعیین شده است، مغایرت داشته باشد.
- در صورتی که تاریخ قراردادی برای وقوع رویداد C (رویداد پایانه) را T_C بنامیم، در شرایطی که داشته باشیم:

$$T_C > L_C (= E_C)$$

آنگاه L_C را برابر با T_C در نظر گرفته و محاسبات بازگشتی را بر اساس مقدار $T_C = L_C$ انجام می دهیم. واضح است که در این حالت، همگی مسیرها و فعالیت های پروژه (و از جمله مسیرها و فعالیت های بحرانی)، دارای مقداری شناوری خواهند بود. و هیچ فعالیت بحرانی وجود نخواهد داشت ولی مسیرهایی در شبکه وجود خواهند داشت که دارای طولانی ترین زمان می باشند.

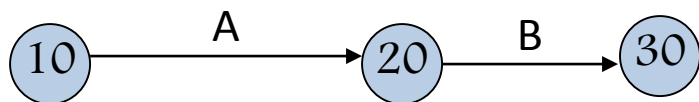
محاسبات زمان در پروژه های دارای تاریخ تعیین شده برای تکمیل

- روشن است که در صورت تساوی L_C و T_C تغییری در محاسبات و تاریخ های رویدادها رخ نخواهد داد.
- و در صورتی که $T_C < L_C$ باشد، تکمیل پروژه در تاریخ T_C با توجه به شرایط موجود امکان پذیر نمی باشد. در چنین حالاتی، برای امکان پذیر نمودن تکمیل پروژه در تاریخ تعیین شده در قرارداد، باید شرایط اجرا، نظیر سطح منابع و امکانات را افزایش داد و یا در صورت امکان، منطق شبکه را عوض نموده و با قطع وابستگی های بین برخی فعالیت های موجود در مسیر بحرانی، سعی شود که این فعالیت ها به جای اینکه به صورت متوالی انجام شوند به صورت موازی اجرا گردند.

تقسیم فعالیت های پروژه

- در شرایط زیادی ممکن است یک فعالیت وابسته، به جای آنکه لازم باشد منتظر تکمیل کل فعالیت پیش نیاز خود شود پس از تکمیل بخشی از آن هم قابل شروع شدن باشد.

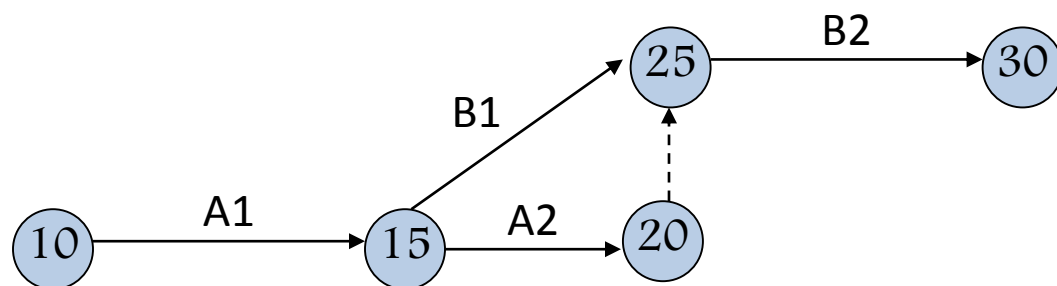
- مثال: فعالیت های A و B به ترتیب عملیات ریخته گری ۱۰۰ قطعه و تراشکاری ۱۰۰ قطعه است این عملیات باید بصورت متوالی انجام شوند.



- در این پروژه در صورتی که به جای آنکه عمل B بعد از تکمیل A شروع شود پس از آنکه مثلاً ۵۰ قطعه ریخته گری شدند عملیات تراشکاری روی آنها شروع شده و در عین حال که عملیات تراشکاری انجام می شود کار ریخته گری ۵۰ قطعه دوم نیز همزمان با آن انجام می شود. با بکارگیری این روش، ممکن است از طول زمانی فعالیت های متوالی در پروژه کاست. بدیهی است که امکان به کارگیری این روش، بستگی به نوع فعالیت و محدودیت های تکنولوژیکی حاکم بر اجرای فعالیت ها دارد.

تقسیم فعالیت های پروژه

- فعالیت A1 ریخته گری ۵۰ قطعه اول، A2 ریخته گری ۵۰ قطعه دوم و B1 تراشکاری ۵۰ قطعه اول، B2 تراشکاری ۵۰ قطعه دوم است



شبکه های گرهی

شبکه های گرهی

- علاوه بر شبکه های برداری، برای نشان دادن فعالیتها و وابستگی های بین آنها، روشهای دیگری نیز ابداع گردیده است.
- شبکه های گره ای که در اوایل دهه ۱۹۶۰ میلادی پایه گذاری شده است، گزینه مناسبی برای نمایش فعالیت های پروژه و وابستگی های بین آنها بوده و در سال های اخیر کاربردهای زیادی را به خود اختصاص داده اند.
- در نمودارهای گره ای، فعالیتها به وسیله گره ها نشان داده شده اند و ارتباطات و وابستگی های بین فعالیت ها توسط بردارها نمایش داده می شوند.
- شبکه های گره ای (AON) اولین بار توسط مهندس Mons. Bernard Roy از شرکت مهندسی مشاور Metra International پایه گذاری شده است.

واقعۀ کلیدی (Milestone)

- در پروژه های واقعی و بزرگ، به دلیل وجود فعالیت های بسیار زیاد، وقایع بسیاری نیز وجود دارد. برخی از این وقایع، از اهمیت و حساسیت فوق العاده ای برخوردار هستند، بطوری که یکی از ملاک های اصلی در تعیین وضعیت پیشرفت پروژه محسوب می شوند. به هر یک از این وقایع نام واقعۀ کلیدی اطلاق می گردد. وقوع هر یک از وقایع کلیدی در پروژه، حاکی از رسیدن پیشرفت پروژه به مقطع خاصی است.
- برای مثال، واقعۀ شروع و واقعۀ پایان، از وقایع کلیدی محسوب می شوند زیرا شروع و پایان هر پروژه برای مسئولین از اهمیت فراوانی برخوردار است.
- واقعۀ کلیدی، در بسیاری از موارد، واقعۀ بحرانی شبکه است اما این موضوع در کلیه موارد صادق نیست، یعنی کلمه وقایع کلیدی یک پروژه لزوماً بحران نیستند، بلکه مشخصات پروژه، نظریات مدیر پروژه، نظریات مدیر بالاتر مدیر پروژه، عوامل جوی، محل انجام پروژه، امکانات و ... تعیین کننده کلیدی بودن یک واقعۀ است.

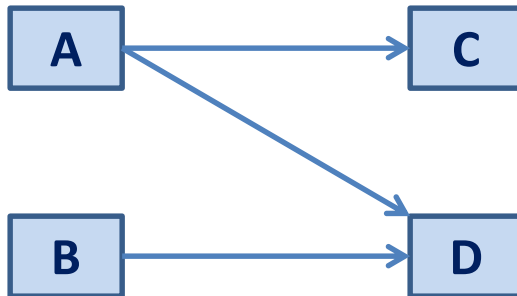
عناصر شبکه های گرهی

- شبکه ها ی گره ای از دو عنصر اصلی، فعالیت و بردارهای نشان دهنده وابستگی تشکیل می شوند.
- فعالیتها را معمولاً بوسیله یک چهار ضلعی (مربع یا مستطیل) و در مواردی به وسیله دایره یا بیضی نشان میدهند، که داخل علامتها، نام یا توضیحی مختصر از فعالیت ها نوشته می شود.
- بردارهای نشان دهنده وابستگی ها برای نشان دادن ارتباطات پیش نیازی بین فعالیت ها مورد استفاده قرار می گیرند. که بردارها با خطوط مستقیم یا شکسته یا منحنی نشان داده می شوند.
- در شکل زیر، دو فعالیت A و B این را می رساند که قبل از شروع فعالیت B باید A تکمیل شده باشد



عناصر شبکه های گرهی - ادامه

- در صورتیکه فعالیت های A، B، C، D بخشی از مجموعه فعالیتهای یک پروژه بوده و بین آنها روابط پیش نیازی زیر برقرار باشد:
- C وابسته به A است.
- D وابسته به A و B است.
- آنگاه شبکه AON برای این فعالیتهای به شکل زیر خواهد بود.



عناصر شبکه های گرهی - ادامه

- یا اگر بین فعالیت های K، L، M، N، P، Q از یک پروژه روابط مطابق جدول زیر برقرار باشد:

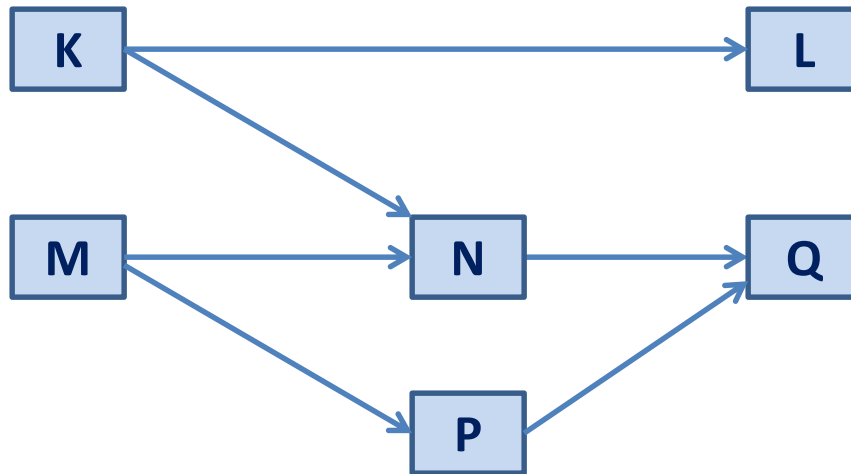
پیش نیازها	فعالیت
---	K
K	L
---	M
K,M	N
M	P
P,N	Q

- آنگاه شبکه AON برای این فعالیت ها مطابق شکل اسلاید بعد خواهد بود.

عناصر شبکه های گرهی - ادامه

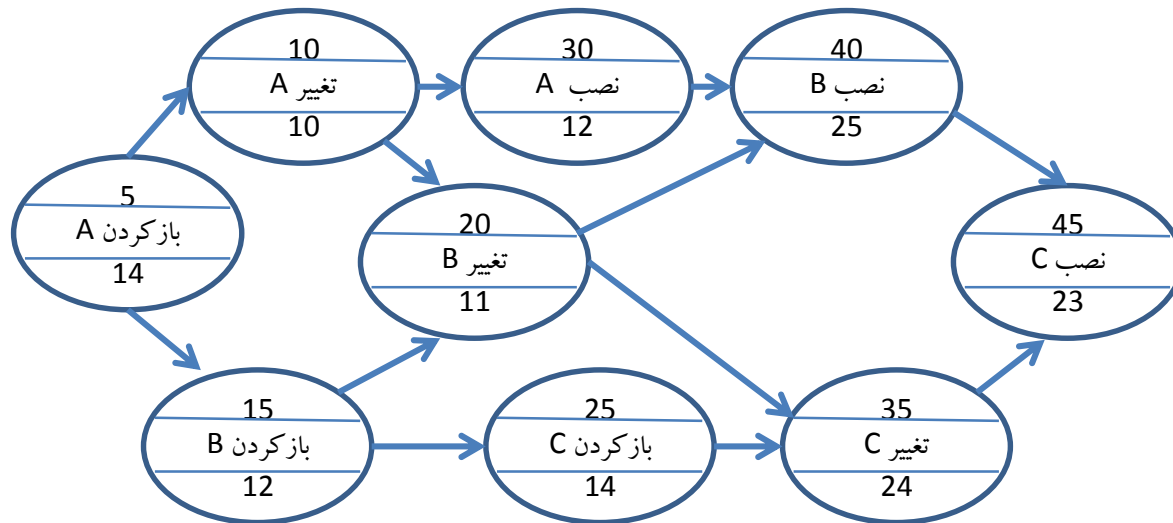
- یکی از مزایای قابل توجه در شبکه های AON، این است که در آنها نیازی به ترسیم فعالیت های مجازی که در شبکه های برداری (AOA) مورد استفاده قرار می گرفتند، نیست.

- عیب شبکه های گره ای نسبت به برداری این است که تعداد گره ها در آن بسیار بیشتر از شبکه برداری است. به همین دلیل چندان مورد استفاده واقع نمی شود.



علائم قابل کاربرد بر روی فعالیت ها

در صورتی که نمایش نتیجه محاسبات زمان ها، بر روی شبکه مورد نیاز نباشد می توان فعالیت ها را به صورت دایره یا بیضی نشان داد. شرح مختصر هر فعالیت نیز در داخل علاامت مربوطه نوشته می شود. شکل زیر یک نمونه شبکه با این نوع علاائم را نشان می دهد.



علائم قابل کاربرد بر روی فعالیت ها

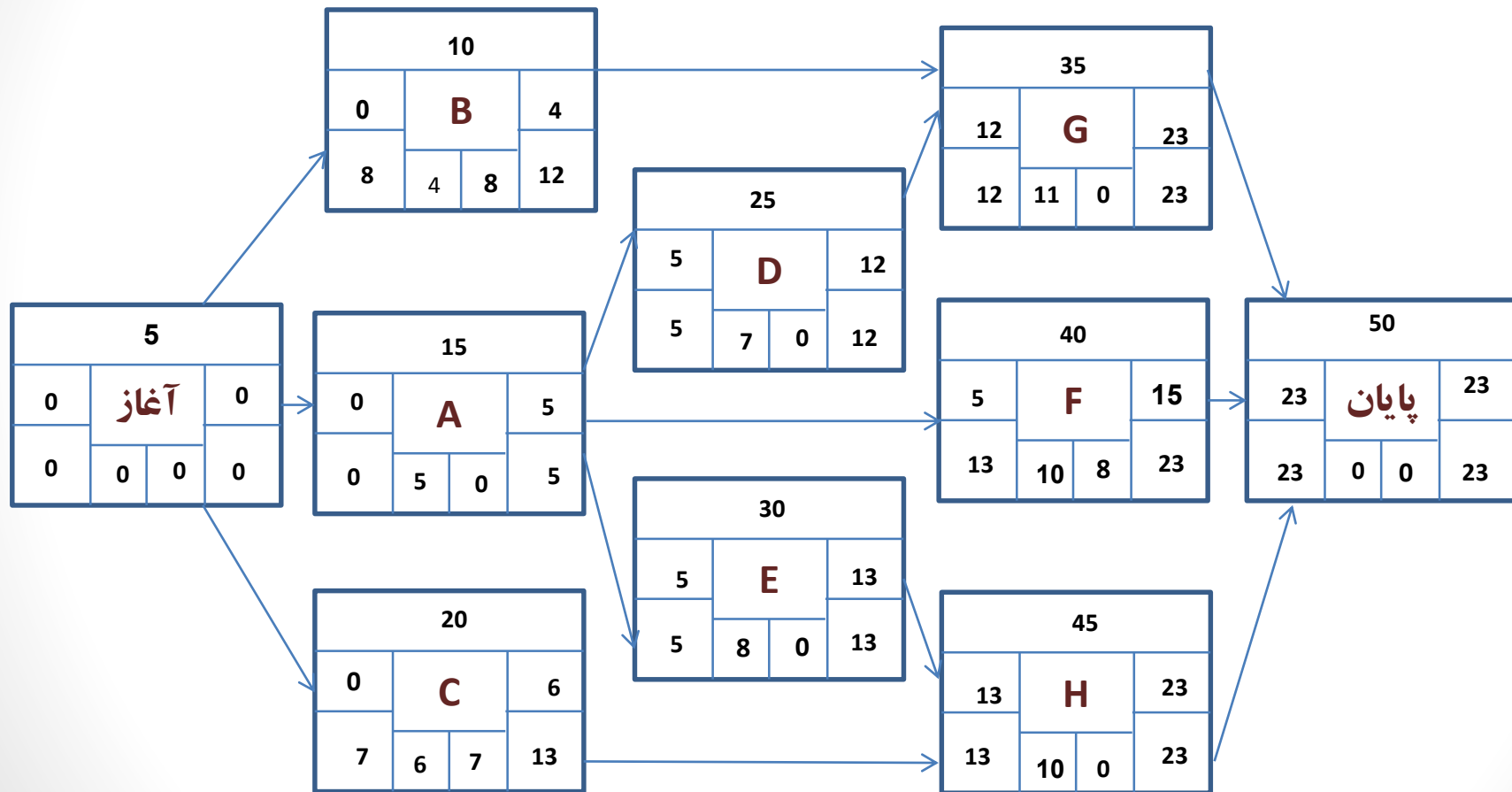
- در قسمت بالای هر فعالیت، شماره هر فعالیت و در قسمت پائینی آن، زمان تخمین زده شده برای اجرا یادداشت می شود.
- در شماره گذاری فعالیت ها مناسب است از شماره هائی با فواصل ۵ تائی یا ۱۰ تائی استفاده شود تا امکان اضافه نمودن یک یا چند فعالیت به شبکه در صورت لزوم وجود داشته باشد و همچنین بهتر است شماره گذاری از سمت حرکت کمان ها رو به افزایش باشد.
- در صورتی که نمایش نتیجه محاسبات زمانهای فعالیتها بر روی شبکه لازم باشد، مناسب است از علامتهای مربعی یا مستطیلی به شکل زیر استفاده شود.

شماره			
ES	شرح مختصر		EF
LS			LF
	D	TF	

محاسبات زمان در شبکه های گرهی

- اصول محاسبات زمان ها در شبکه های گرهی، دقیقاً مطابق اصولی است که برای محاسبات زمان ها در شبکه های برداری بکار گرفته میشود.
- در شکل اسلاید بعد یک شبکه گرهی را ملاحظه می کنید که محاسبات زمان بر روی آن انجام گرفته است.

محاسبات زمان در شبکه های گرهی



محاسبات زمان در شبکه های گره ای – ادامه

- در حرکت پیشروی برای یافتن زودترین تاریخ پایان (EF)، زودترین تاریخ شروع فعالیت (ES) به زمان فعالیت افزوده می شود.
- مثلاً برای فعالیت شماره ۲۵ داریم :

$$EF_{25} = ES_{25} + D_{25} = 5 + 7 = 12$$

- در صورتی که بیش از یک کمان به فعالیتی می رسد، زودترین تاریخ آغاز آن فعالیت برابر با بزرگترین عدد مربوط به EF های فعالیت های پیش نیاز آن فعالیت می باشد. مثلاً برای فعالیت ۳۵ داریم:

$$ES_{35} = \text{Max} (EF_{10}, EF_{25}) = \text{Max} (4, 12) = 12$$

محاسبات زمان در شبکه های گره ای – ادامه

- حرکت بازگشتی نیز به طریق مشابهی انجام می گیرد و در صورتی که بیش از یک کمان از فعالیتی خارج شود، عدد LF مربوط به آن فعالیت برابر با کوچکترین عدد مربوط به LS های فعالیت پیامد آن خواهد بود. مثلاً برای فعالیت ۱۵ داریم:

$$LF_{15} = \text{Min}(LS_{25}, LS_{30}, LS_{40}) = \text{Min}(5, 5, 13) = 5$$

- مقدار شناوری جمعی هر فعالیت نیز، از تفریق اعداد LS و ES مربوط به هر فعالیت قابل محاسبه است. مثلاً برای فعالیت ۴۰ داریم:

$$TF_{40} = LS_{40} - ES_{40} = 13 - 5$$

محاسبات زمان در شبکه های گرهی - ادامه

- خطوط بحرانی در این شبکه ها به راحتی قابل تشخیص می باشند. در شکل قبل فعالیت هائی که دارای شناوری جمعی صفر (۰) هستند با علامت ستاره (*) مشخص گردیده اند.
 - این فعالیت ها طبق آنچه قبلاً گفته شد، بحرانی هستند بنابراین خطوط بحرانی شبکه عبارتند از:
- ۱- مسیر (پایان $\rightarrow 50 \rightarrow 35 \rightarrow 25 \rightarrow 15 \rightarrow$ شروع)
 - ۲- مسیر (پایان $50 \rightarrow 45 \rightarrow 30 \rightarrow 15 \rightarrow$ شروع)

نمودار گانت و شبکه دارای مقیاس زمان



نمودار گانت

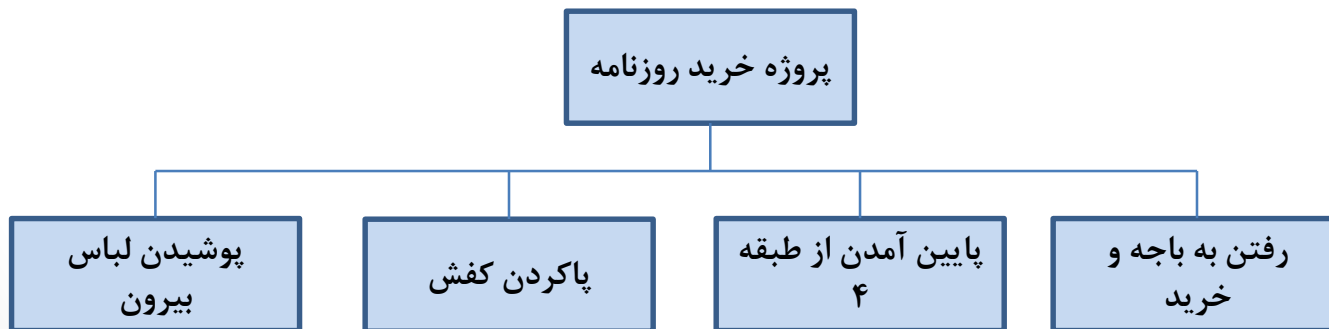
در اوایل قرن بیستم، هنری گانت (۱۸۶۱-۱۹۱۹) و فردریک تیلور (۱۸۵۶-۱۹۱۵) برای برنامه ریزی پروژه ها از یک نمودار که محور افقی آن نشان دهنده عامل زمان بود و محور عمودی آن نشانگر فعالیت های لازم در اجرای پروژه بود، استفاده نمودند. این نمودارها برای نشان دادن زمان های آغاز و پایان فعالیت ها بوده و هنوز هم بسیاری از مؤسسات و سازمان ها از آن استفاده می کنند.

از اشکالات عمده نمودار گانت، این است که ارتباط بین تاریخ های اجرای فعالیت های پروژه، و ترتیب تقدم و تأخر بین آنها در این نمودارها به خوبی مشهود نیست. بنابراین در صورتی که در یک یا چند فعالیت تأخیر رخ دهد، اثرات چنین دیرکدهایی بر سایر فعالیت ها و در نتیجه تکمیل پروژه به راحتی قابل درک نیست.

نمودار گانت

- نمودار گانت عمومی ترین وسیله برای نمایش برنامه های صنعتی است زیرا برای عموم افراد قابل فهم است ولی وسیله مناسبی برای برنامه ریزی نیست.

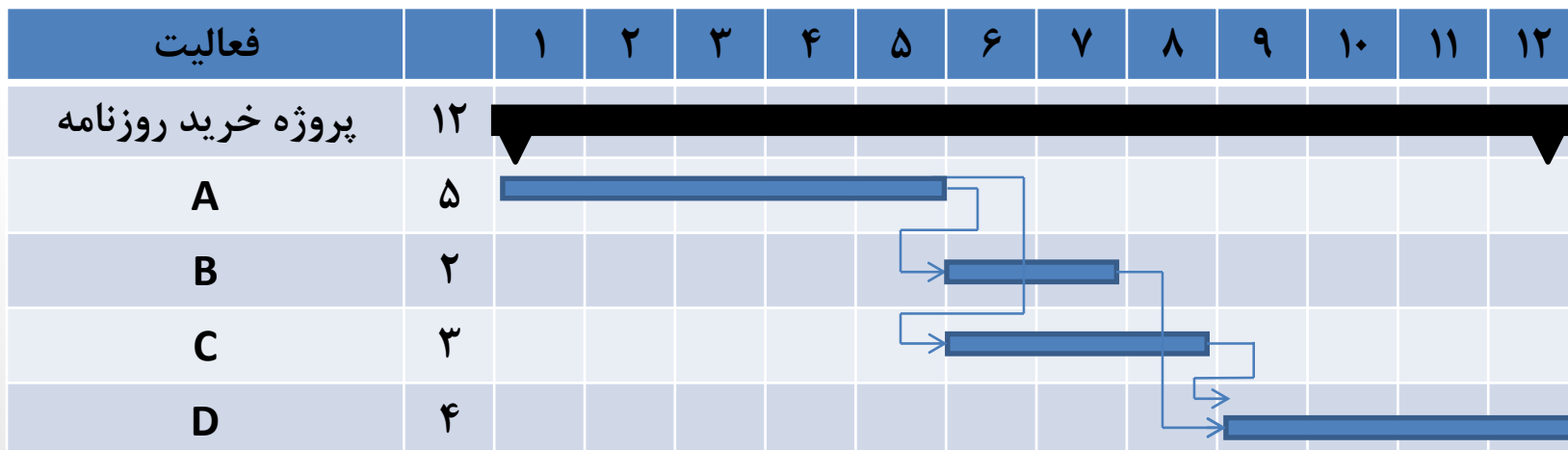
- مثال : پروژه ساده ای را در نظر بگیرید که در آن شخصی که منزلش در طبقه چهارم یک آپارتمان است قصد خرید یک روزنامه از بیرون منزل را دارد. فرض کنید WBS این پروژه به شکل زیر باشد:



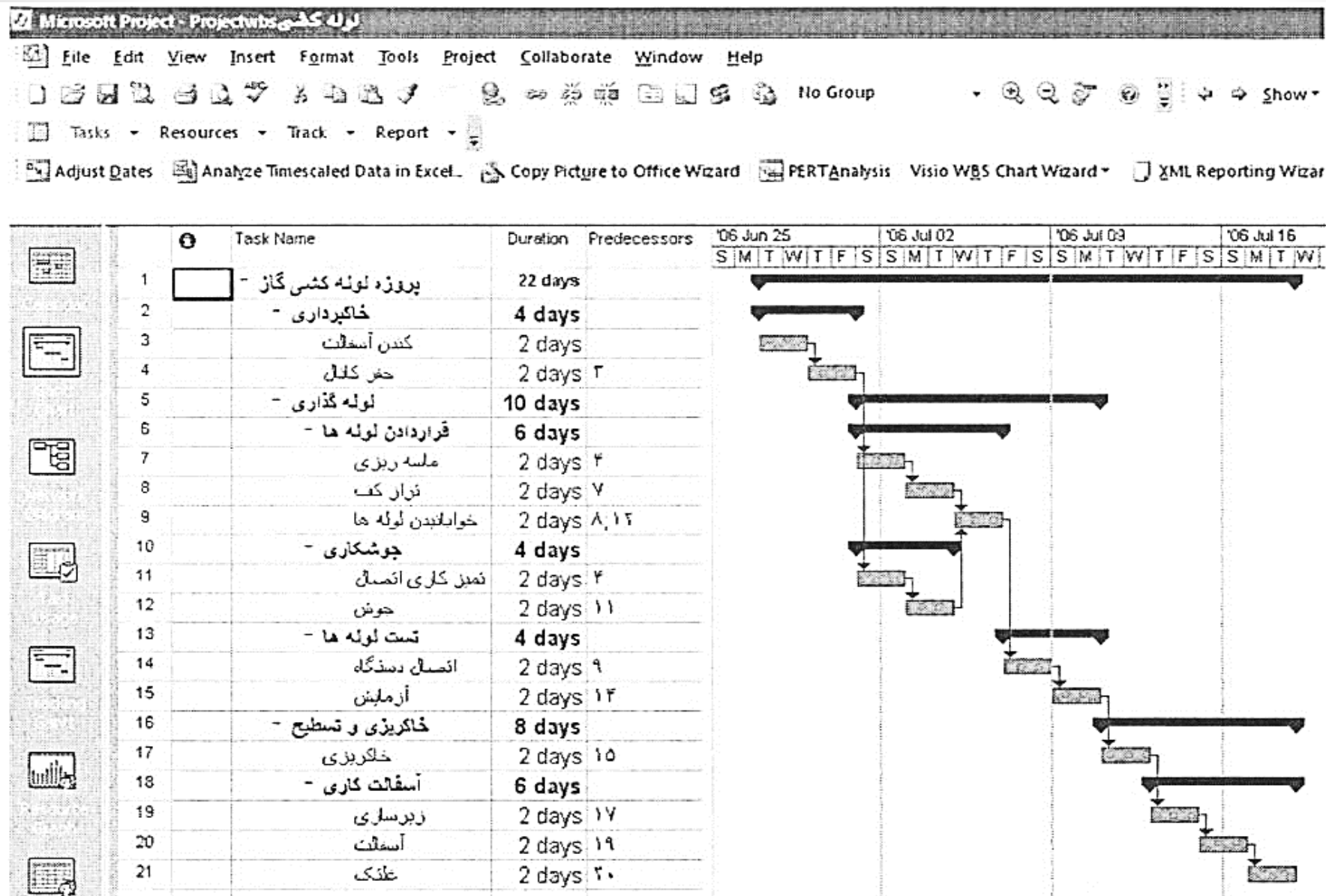
نمودار گانت

- بنابراین با توجه به آخرین سطح فعالیت هایی که این شخص باید برای خرید روزنامه انجام دهد شامل چهار فعالیت به شرح جدول زیر است.

پیشنیاز	زمان	شرح فعالیت	کد فعالیت
-	۵	پوشیدن لباس	A
A	۲	پاکردن کفش	B
A	۳	پایین آمدن از طبقه ۴	C
B,C	۴	رفتن به باجه و خرید	D



نمودار گانت



نمودار گانت و شبکه های دارای مقیاس زمان

- این نمودارها، پایه و اساس نمودارهای میله ای هستند که هم اکنون نیز در برنامه ریزی پروژه ها متداول می باشد. از نارسایی های این نمودارها، عدم قابلیت آنها در نشان دادن ارتباطات (وابستگی ها) بین فعالیت های پروژه است.
- در ترسیم نمودارهای گانت رعایت چند قانون ساده الزامی است که باعث خواهد شد که به میزان قابل توجهی به کارایی آنها افزوده شود.
- در صورت داشتن یک شبکه CPM تبدیل آن به نمودار میله ای، باعث خواهد شد که شبکه حاصل، هم از مزایای نمودار گانت (نشان زمان های فعالیتها) و هم از مزایای شبکه CPM نشان دادن وابستگی های بین فعالیتها) برخوردار باشد.

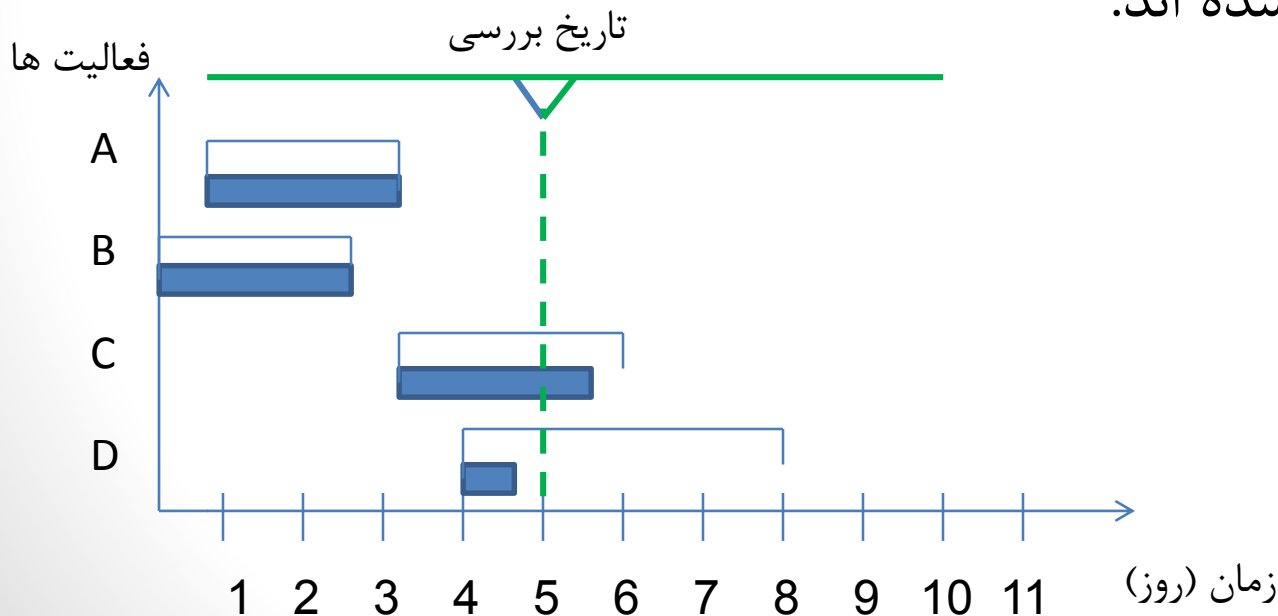
نمودارهای گانت (میله ای)

بر روی یک صفحه مختصات شامل دو محور عمود برهم، محور افقی برای نمایش تاریخ های شروع و پایان فعالیت ها و محور قائم برای نمایش فعالیت ها مورد استفاده قرار می گیرد که علائم مورد استفاده در شبکه گانت به شرح زیر است:

علامت	معنی
┌	آغاز یک فعالیت
└	پایان یک فعالیت
┌───┐	مجموعه نشان دهنده تاریخ های آغاز و پایان و مدت زمان فعالیت
■	مقدار عملی پیشرفت
∇ 	علامت مشخص کننده تاریخ مورد نظر برای بررسی

نمودارهای گانت (میله ای) - مثال

در شکل زیر ملاحظه می کنید فعالیت C طبق برنامه باید در روز سوم شروع و در پایان روز ششم به اتمام برسد و فعالیت D باید در روز چهارم شروع و تا پایان روز هشتم ادامه داشته باشد. علامت V در روز پنجم نشان دهنده آن است که وضعیت پیشرفت امور اجرایی فعالیتها در انتهای روز پنجم مورد بررسی قرار گرفته است. فعالیت A,B تکمیل شده اند.



تبدیل شبکه های CPM به نمودارهای گانت

- شبکه های دارای مقیاس زمان، تلفیقی از نمودارهای گانت و شبکه های CPM بوده و از مزایای هر دو نمودار برخوردار هستند. برای ترسیم این نمودارها، با در دسترس داشتن یک شبکه CPM و با بکار بردن سه دستورالعمل زیر می توان نمودارهای دارای مقیاس زمان را ترسیم کرد.

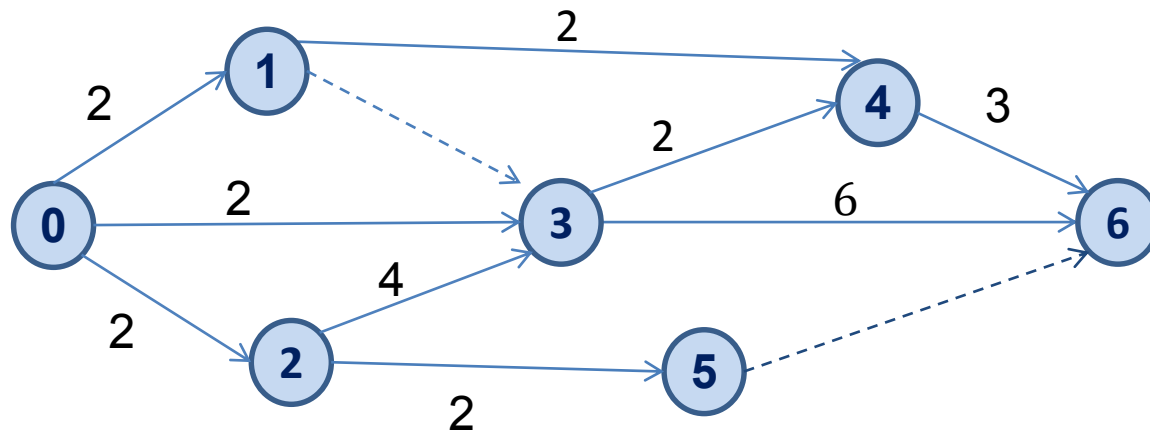
۱- فعالیتها را به ترتیب افزایش شماره رویداد پایان از بالا به پائین بر محور قائم می نویسیم. در شرایطی که دو یا چند فعالیت دارای یک رویداد پایانی مشترک هستند، این فعالیتها به ترتیب افزایش شماره رویداد پایه نوشته می شوند.

۲- از تاریخ آغاز پروژه پاره خطی افقی به طول مناسب با زمان اولین فعالیت از چپ به راست ترسیم می شود. در ابتدا و انتهای پاره خط به ترتیب شماره های رویدادهای پایه و پایان نوشته می شود.

۳- سایر فعالیتها به ترتیب، به نحوی رسم می شوند که شماره پایه فعالیت با رویدادی که دارای همین شماره بوده و در منتهی الیه سمت راست نمودار واقع است در یک راستای قائم قرار گیرد. این دستور باید در مورد فعالیتهای موهوم نیز ترسیم شود.

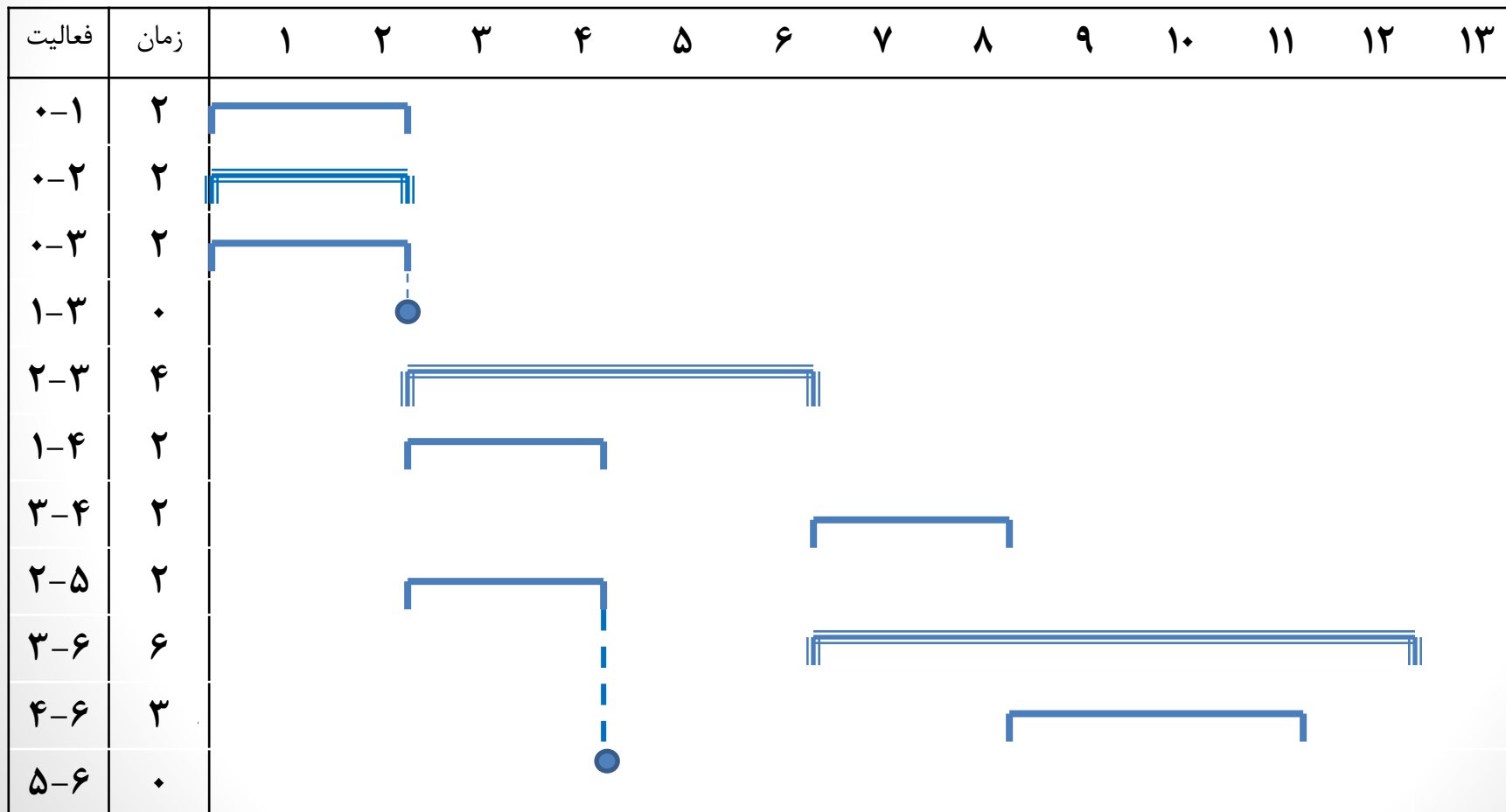
تبدیل شبکه های CPM به نمودارهای گانت - مثال

- شبکه CPM زیر مد نظر است، زمان فعالیتها روی شبکه یادداشت شده است و رویدادها با رعایت قانون بزرگتر بودن شماره رویداد پایان نسبت به پایه شماره گذاری شده اند.



تبدیل شبکه های CPM به نمودارهای گانت-مثال

- توجه : مسیر بحرانی در نمودار زیر شامل فعالیت هایی است بصورت دو خطی بر روی نمودار نشان داده شده، مشخص هستند



بر آورد زمان

برآورد مدت زمان فعالیت ها

- ۱- مدت زمان فعالیت به روش اجرا و منابع در اختیار آن وابسته است.
- ۲- واحد زمانی فعالیت ها به صورت یکسان و استاندارد باشد. مثلاً روز
- ۳- در تخمین مدت زمان فعالیت ها، روز های کاری مورد نظر هستند و نه ایام تقویمی. لازم است که تقویم کاری (روزهای کاری و تعطیل) هر فعالیت مشخص شود.
- ۴- مدت زمان فعالیت ها بطور مستقل از یکدیگر برآورد شوند.
- ۵- دربرآورد مدت زمان فعالیت ها شرایط معمول درنظر گرفته می شوند و اتفاقات غیر مترقبه مانند سیل و زلزله در صورتی که غیرقابل پیش بینی هستند لحاظ نمی گردند.
- ۶- دقت برآورد با توجه به ماهیت فعالیت ها و هدف پروژه صورت می گیرد.
- ۷- کسانی که برآورد زمان را انجام می دهند باید کاملاً مجرب باشند.

فرضیاتی که در برآورد زمان باید مورد توجه قرار داد

- ۱- هنگام برآورد زمان یک فعالیت میزان منابع را همیشه مقداری معقول و متوسط در نظر می گیریم.
- ۲- تخمین زمان انجام کارها به صورت اجرا با سرعت عادی انجام گیرد.
- ۳- نه خوش بینانه و نه بدبینانه بلکه واقع بینانه

روش های تخمین مدت زمان فعالیت ها

روش های تخمین مدت زمان فعالیت ها

از طریق حجم کاری فعالیت

نظرات کارشناسی

آرای گروهی

استفاده از سوابق اطلاعاتی

از طریق تخمین سه زمانه

شکستن فعالیت به اجزای کوچکتر

موازنه زمان و هزینه

موازنه زمان - هزینه

- در موارد بسیاری لازم است پروژه را زودتر از تاریخ محاسبه شده بر روی شبکه تکمیل نمود.
- یکی از راه حل های کوتاه نمودن زمان اجرای پروژه، تسريع در انجام فعاليت ها می باشد. برای کاهش زمان یک فعالیت باید میزان منابع مورد استفاده در آن فعالیت را افزایش داد.
- به عبارت دیگر برای اجرای یک فعالیت در زمانی کوتاه تر از آنچه در شرایط معمولی قابل اجراست، لازم است به حجم منابعی نظیر نیروی کار و تعداد تجهیزات و ماشین آلات افزوده و یا از ماشین آلات پر توان تر استفاده کرد.
- کاهش زمان اجرای پروژه همواره با صرف هزینه همراه است که در مقابل با کاهش زمان تکمیل پروژه، صرفه جویی هایی عاید می شود.

مدل های ممکن در بررسی زمان - هزینه

- برای تغییرات عوامل هزینه و زمان محدودیتی وجود ندارد.
- تاریخ تکمیل مشخص شده است.
- بودجه معینی برای تسریع تاریخ تکمیل تعیین شده است.

مدل اول: برای تغییرات عوامل هزینه و زمان محدودیتی وجود ندارد

- در شرایطی ممکن است تعیین زمان مناسب برای تکمیل پروژه به عهده برنامه ریز گذاشته شده باشد. به این معنی که با صرف هزینه ای مناسب برای اجرای پروژه موافقت شده، ولی تعیین این میزان هزینه ، و در نتیجه تعیین تاریخ مشخصی برای تکمیل که به ازای آن این هزینه مصروف خواهد گردید به عهده برنامه ریز باشد.
- در این شرایط عاملی که باید حداقل شود، جمع هزینه های پروژه است. در صورتی که مدت انجام پروژه بسیار طولانی شود، هزینه هایی مثل سرمایه بلوکه شده، جریمه تاخیر و... افزایش خواهند یافت و اگر مدت انجام پروژه خیلی کاهش یابد هزینه هایی مثل هزینه کاهش زمان فعالیت ها زیاد خواهند بود.
- در این مدل هدف تعیین زمان اقتصادی برای اجرای پروژه است که به ازاء آن جمع هزینه های مستقیم غیر مستقیم در حداقل ممکن باشد.

مدل دوم: تاریخ تکمیل مشخص شده است.

- در بسیاری از پروژه ها، بنا به دلائلی ممکن است تاریخ تکمیل یا T_c تعیین شده باشد. در صورتی که این تاریخ از تاریخ محاسبه شده بر اساس روش محاسبات CPM کمتر (زودتر) باشد، ممکن است فشرده نمودن یا کاهش دادن زمان بعضی از فعالیت ها در پروژه الزامی گردد. در اجرای این امر، ممکن است ترکیب های مختلفی از فعالیت ها که زمان آنها قابل کاهش است مورد نظر قرار گیرند. با کاهش زمان فعالیت های هر یک از ترکیب های مورد نظر این امکان وجود خواهد داشت که تاریخ پروژه را به T_c برسانند.

- در چنین مدلی هدف عبارت از تعیین ترکیب بهینه (اقتصادی ترین ترکیب) برای کاهش فعالیت ها است، به نحوی که با امکان پذیر نمودن اجرای پروژه در میزان اضافه هزینه بابت تسریع، در حداقل ممکن باشد.

مدل سوم: بودجه معینی برای تسریع تاریخ تکمیل تعیین شده است.

- در مدل قبلی (دوم) عامل زمان محدود به TC بوده و عامل قابل تغییر، عبارت از هزینه قابل صرف برای تکمیل پروژه در تاریخ TC بود. در این مدل بر عکس حالت قبل، عامل زمان قابل تغییر بوده، ولی حداکثر مقدار اضافه هزینه ای که برای تسریع پروژه قابل پرداخت است، تعیین شده است.
- در چنین مدلی هدف یافتن بهترین ترکیب کاهش فعالیت ها است، به صورتی که پروژه در زودترین تاریخ ممکن قابل تکمیل شدن بوده، ولی میزان هزینه ای که صرف کاهش زمان فعالیت ها میشود، از بودجه تعیین شده برای این منظور عدول ننماید.

چگونگی موازنه هزینه - زمان (Time-Cost Trade-off)

- در محاسبات CPM فرض بر این است که کلیه فعالیت ها، در زمان پیش بینی شده و معمولی خود قابل انجام هستند. حال در مواردی لازم می شود پروژه حتی زودتر از زمان برنامه ریزی شده به اتمام برسد. طبیعی است برای رسیدن به زمان تکمیل زودتر باید زمان تعدادی از فعالیت ها را کاهش داد. این کاهش زمان توأم با افزایش منابع کاری آن فعالیت ها و صرف هزینه است که آن را انجام ضربتی یا فشرده سازی زمان فعالیت گویند.

- از آنجایی که تاریخ تکمیل پروژه در هر مرحله، حاصل از مجموع زمان های فعالیت هائی است که در مسیر یا مسیرهای بحرانی واقع شده اند، هدف تبادل هزینه و زمان برای دستیابی به زمان تکمیل زودتر پروژه، انتخاب مجموعه ای از فعالیت ها برای فشرده سازی است، بطوریکه هزینه کل فعالیت ها کمینه شود.

چگونگی موازنه هزینه - زمان (مثال)

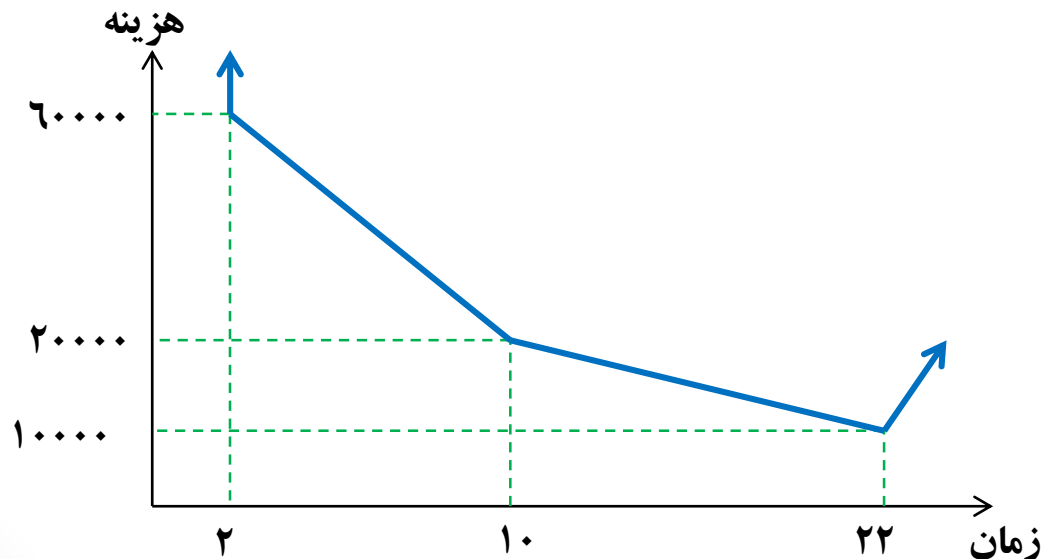
• شخصی می خواهد با اتوبوس از ایران به ترکیه سفر کند در این حالت زمان مسافرت ۲۲ ساعت و هزینه کرایه اتوبوس ۱۰،۰۰۰ تومان است، اگر بخواهیم زمان سفر را کاهش دهیم می توان با صرف هزینه بیشتر با ترن سریع السیر مسافرت کرد، باز هم برای کاهش بیشتر زمان می توان مسافرت با هواپیما را انتخاب نمود. (به شرح جدول زیر)

روش انجام فعالیت	زمان (ساعت)	هزینه (تومان)	
مسافرت با اتوبوس	۲۲	۱۰۰۰۰	حالت نرمال
مسافرت با ترن	۱۰	۲۰۰۰۰	
مسافرت با هواپیما	۲	۶۰۰۰۰	حالت فشرده

چگونگی موازنه هزینه - زمان ، ادامه

- مشاهده می شود کاهش زمان فعالیت تا حد خاصی امکان پذیر است که این حد را حالت فشرده انجام فعالیت گویند.

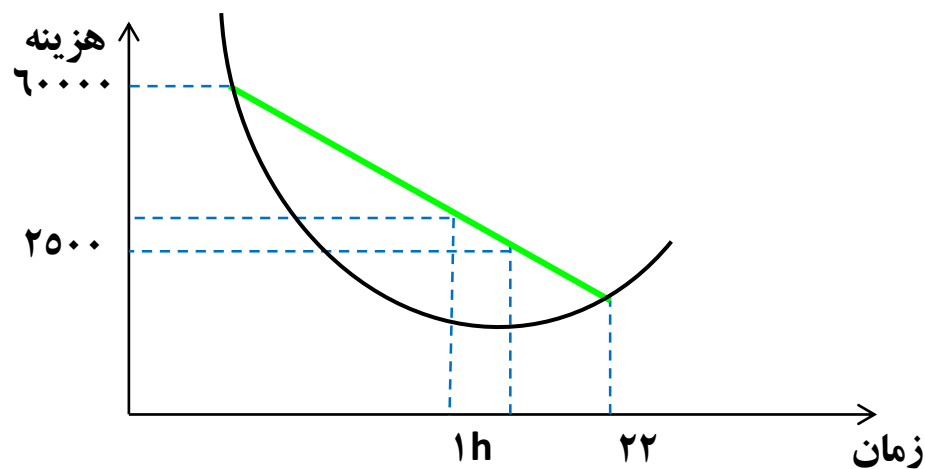
- در مثال قبل چون روش کوتاهتر از مسافرت با هواپیما وجود ندارد، اگر بخواهیم زمان این فعالیت را از ۲ ساعت کمتر کنیم، این کار امکان پذیر نبوده و هزینه آن بینهایت است. پس حالت فشرده این فعالیت، حالت مسافرت با هواپیما است.



چگونگی موازنه هزینه - زمان ، ادامه

- روشهای زیادی برای انجام فعالیت وجود داشته باشد (Multi - Mode) رابطه هزینه - زمان آن بصورت منحنی خواهد بود.

- همانطوری که اشاره شد برای کاهش زمان پروژه به اندازه یک واحد زمانی باید یک یا چند فعالیت که در مسیر یا مسیرهای بحرانی هستند را انتخاب نمود و زمان های آنها را یک واحد کم کرد. این انتخاب باید براساس کمترین هزینه فشرده سازی یک واحد زمانی صورت گیرد، چون بدست آوردن مقدار این هزینه از روی منحنی کار دشواری است، از تقریب شیب خط استفاده می شود.



چگونگی موازنه هزینه - زمان ، ادامه

- این خط مطابق رابطه زیر حساب می شود :

$$\text{شیب خط یا هزینه تسریع یک واحد زمانی} = \frac{|\text{هزینه نرمال} - \text{هزینه فشرده}|}{|\text{زمان نرمال} - \text{زمان فشرده}|}$$

$$\text{هزینه تسریع یک ساعت مسافرت به ترکیه} = \frac{60000 - 10000}{22 - 2} = 2500$$

- به عبارت دیگر به ازای هر یک ساعت زودتر رسیدن به ترکیه باید تقریباً ۲۵۰۰ تومان خرج نمود.

هزینه های مستقیم و غیر مستقیم پروژه

- **هزینه های مستقیم** پروژه هزینه هایی هستند که مستقیماً صرف کاهش زمان پروژه می شود و مقدار آن با کاهش زمان اتمام پروژه افزایش می یابد.
- علاوه بر هزینه های مستقیم که مستقیماً صرف تسریع فعالیت های پروژه می شوند نوع دیگری از هزینه ها به نام هزینه های **غیر مستقیم** وجود دارد که متناسب با طولانی شدن مدت پروژه افزایش می یابند که شامل مخارج غیر مستقیم پروژه مثل آب، برق، انرژی، اجاره محل، بیمه، جریمه دیرکرد و غیره می باشد.
- نکته اصلی در تشخیص هزینه های غیر مستقیم این است که این هزینه ها برای کل پروژه صرف شده و نمی توان آن را بر حسب تک تک فعالیت ها تفکیک نمود.

روش های موازنه هزینه - زمان

- الگوریتم ابتکاری
- روش زیمنس
- برنامه ریزی خطی

دو روش اول در مسائل بزرگ کارائی زیادی ندارند ولی دانستن الگوریتم ابتکاری کمک بزرگی به درک روند محاسبات هزینه های مستقیم و همچنین نحوه مدل سازی آن بوسیله برنامه ریزی خطی می کند.

الگوریتم ابتکاری

- **گام اول:** شیب هزینه یا هزینه تسریع یک واحد زمانی را برای کلیه فعالیت ها محاسبه می کنیم.
- **گام دوم:** برای کلیه فعالیت ها زمان نرمال اجرای آنها را در نظر گرفته و زمان اتمام پروژه یا وقوع رویداد نهائی E_n را محاسبه می کنیم. این زمان را T_f می نامیم.
- هزینه اتمام پروژه در این حالت برابر با مجموع هزینه های اجرای فعالیت ها در حالت نرمال است.
- **گام سوم:** در این مرحله می خواهیم به برنامه $T_f = T_f - 1$ برسیم
برای این کار مسیرهای بحرانی حالت قبل را در نظر گرفته و فعالیت هائی که در مسیرهای بحرانی هستند را فهرست برداری می کنیم سپس فعالیت یا ترکیبی از فعالیت ها که یک واحد تغییر در زمان آنها باعث می شود زمان کل پروژه یک واحد زمانی کاهش یابد را در نظر می گیریم.

الگوریتم ابتکاری - ادامه

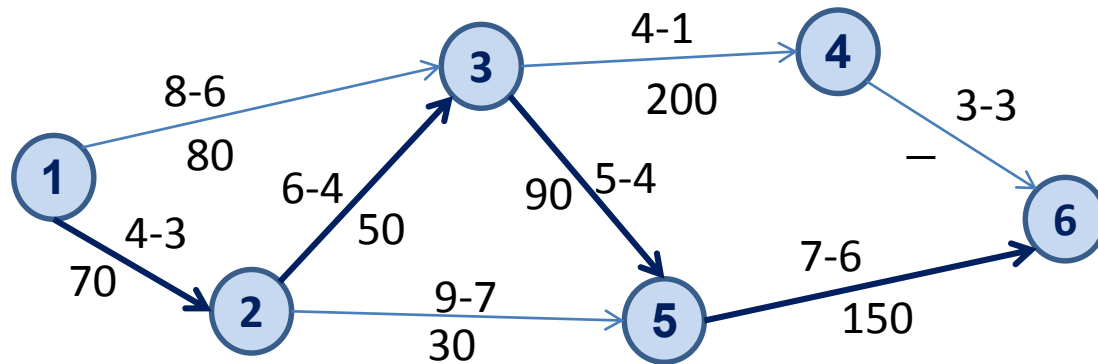
- اینک براساس معیار هزینه تسریع واحد زمانی از فهرست مذکور فعالیت یا ترکیبی از فعالیت ها برای کاهش یک واحد زمانی انتخاب می شوند که دارای کمترین مجموع شیب هزینه باشد. با این انتخاب زمان انجام آن فعالیت یا فعالیت ها را به هنگام و مجموع شیب هزینه آنها را به هزینه مرحله قبل اضافه می کنیم. بدیهی است مقدار تغییر در زمان هر فعالیت بین مقادیر زمان نرمال و فشرده آن میسر است.
- **گام چهارم:** گام سوم را آنقدر تکرار می کنیم تا زمان فعالیت های مسیرهای بحرانی به زمان فشرده آنها برسد. به طوری که دیگر کاهش زمان پروژه به $T_f = T_f - 1$ امکان پذیر نباشد.

الگوریتم ابتکاری - مثال

فعالیت	حالت نرمال		حالت فشرده		شیب هزینه
	زمان (روز)	هزینه (۱۰۰۰ ریال)	زمان (روز)	هزینه (۱۰۰۰ ریال)	
۱-۲	۴	۲۱۰	۳	۲۸۰	۷۰
۱-۳	۸	۴۰۰	۶	۵۶۰	۸۰
۲-۳	۶	۵۰۰	۴	۶۰۰	۵۰
۲-۵	۹	۵۴۰	۷	۶۰۰	۳۰
۳-۴	۴	۵۰۰	۱	۱۱۰۰	۲۰۰
۳-۵	۵	۱۵۰	۴	۲۴۰	۹۰
۴-۶	۳	۱۵۰	۳	۱۵۰	—
۵-۶	۷	۶۰۰	۶	۷۵۰	۱۵۰
مجموع		۳۰۵۰		۴۲۸۰	

الگوریتم ابتکاری – ادامه مثال

- **طبق گام ۱:** شیب هزینه یا هزینه تسریع یک واحد زمانی برای کلیه فعالیت ها را محاسبه و در ستون آخر جدول قبل نوشته شده است. برای راحتی محاسبات شیب هزینه هر فعالیت در زیر پیکان هر فعالیت در شکل زیر نشان داده شده است.
- **طبق گام ۲:** زمان اتمام پروژه با در نظر گرفتن زمان های نرمال فعالیت ها $T_f = 22$ و هزینه آن $C_{22} = 3050$ است.



الگوریتم ابتکاری – ادامه مثال

- مرحله ۱ از گام ۳:

هدف رسیدن به برنامه $T=21$ روز است، یعنی پروژه باید در ۲۱ روز به اتمام برسد. از آنجائی که زمان اتمام پروژه ۲۲ روز حاصل از زمان مسیر بحرانی ۶-۵-۳-۲-۱ است، بنابراین برای کاهش زمان پروژه به اندازه یک روز باید زمان نرمال یکی از فعالیت های این مسیر که دارای هزینه تسریع واحد زمانی کمتری است، یک روز کاهش یابد.

فعالیت ۲-۳ با شیب هزینه ۵۰ دارای کمترین شیب در بین فعالیت های مسیر بحرانی فوق است. پس زمان نرمال این فعالیت که ۶ روز است را یک روز کاهش می دهیم.

- هزینه پروژه در این حالت $C_{21} = 3050 + 50 = 3100$ است.

الگوریتم ابتکاری – ادامه مثال

- مرحله ۲ از تکرار گام ۳:

هدف در این مرحله رسیدن به برنامه $T = 20$ روز است.

نظر به اینکه زمان اتمام ۲۱ روز باز هم حاصل از زمان مسیر بحرانی ۱-۲-۳-۵-۶ است بنابراین برای کاهش زمان پروژه به اندازه ۱ روز باز هم زمان فعالیت ۲-۳ که هزینه تسریع کمتری دارد را یک روز کاهش می دهیم.

با اینکار زمان این فعالیت که در مرحله قبل ۵ شده بود به یک روز دیگر کاهش و به ۴ روز یعنی زمان فشرده اش می رسد.

- هزینه انجام پروژه در این حالت $C_{20} = 3100 + 50 = 3150$ است.

الگوریتم ابتکاری – ادامه مثال

• مرحله ۳ از تکرار گام ۳:

هدف در این مرحله رسیدن به برنامه $T=19$ روز است. از مرحله قبل می دانیم برنامه ۲۰ روزه دارای سه مسیر بحرانی : ۱-۲-۳-۵-۶ و ۱-۲-۵-۶ و ۱-۳-۵-۶ است بنابراین برای کاهش زمان پروژه به اندازه ۱ روز باید ترکیبی از فعالیت ها را انتخاب نمود که زمان هر سه مسیر را یک روز کاهش دهد و دارای کمترین شیب هزینه باشد.

بعنوان مثال می توان فعالیت های ۱-۲ و ۱-۳ را با مجموع شیب هزینه $۷۰+۸۰$ و یا فعالیت ۵-۶ که در هر سه مشترک است را با شیب هزینه ۱۵۰ یک روز کاهش داد. اما یک راه جالب با هزینه کمینه این است که زمان فعالیت های ۱-۲ و ۳-۵ را یک روز کاهش دهیم که در این حالت هزینه تسریع $۷۰+۹۰$ به هزینه های پروژه افزوده می شود اما با اینکار زمان مسیر ۱-۲-۳-۵-۶ به جای ۱۹ روز که هدف برنامه بوده، ۱۸ روز می شود (چون دو فعالیت در این مسیر فشرده شده است)

الگوریتم ابتکاری – ادامه مثال

بنابراین می توان زمان فعالیت ۲-۳ را که اشتراکی با سایر مسیر ها ندارد و قبلاً ۲ روز فشرده شده است یک روز افزایش دهیم و بدین ترتیب ۵۰ هزار ریال را که قبلاً برای فشرده سازی یک روز از زمان این فعالیت در نظر گرفته بودیم پس انداز کنیم، در نتیجه هزینه اضافی برای برنامه ۱۹ روزه $110 = 50 - 90 + 70$ خواهد شد.

هزینه انجام پروژه در این حالت $C_{19} = 3150 + 110 = 3260$ خواهد شد.
زمان ۱-۲ سه روز، فعالیت ۳-۵ چهار روز و ۲-۳ را به پنج روز تغییر می دهیم.

الگوریتم ابتکاری – ادامه مثال

مرحله ۴ از تکرار گام ۴: هدف در این مرحله رسیدن به برنامه $T=18$ روزه است. از مرحله قبل برنامه ۱۹ روزه باز دارای سه مسیر بحرانی ۶-۵-۳ و ۶-۵-۲-۱ و ۶-۵-۳-۱ است. زمان فعالیت های ۲-۱ و ۵-۳ چون به مقدار فشرده اشان رسیده اند را دیگر نمی توان کاهش داد. کم هزینه ترین راه کاهش یک روزه زمان فعالیت ۶-۵ با هزینه تسریع ۱۵۰ است. هزینه انجام پروژه در این حالت $C_{18} = 3260 + 150 = 3410$ و زمان فعالیت ۶-۵ به زمان فشرده اش یعنی ۶ خواهد رسید.

الگوریتم ابتکاری – ادامه مثال

مرحله ۵ از تکرار گام ۳: هدف در این مرحله رسیدن به برنامه $T=17$ روزه است. زمان فعالیت قبل برنامه ۱۸ روزه باز دارای ۳ مسیر بحرانی ۱-۲-۳-۵-۶ و ۱-۲-۵-۶ و ۱-۳-۵-۶ است. زمان فعالیت های ۱-۲ و ۳-۵ و ۵-۶ چون به مقدار فشرده اشان رسیده اند را دیگر نمی توان کاهش داد.

تنها راه کاهش یک روز از زمان هر یک از فعالیت های ۱-۳ و ۲-۳ و ۲-۵-۲ با هزینه تسریع $۳۰+۵۰+۸۰$ است. هزینه انجام پروژه در این حالت $C17 = ۳۴۱۰+۱۶۰ = ۳۵۷۰$ و زمان فعالیت ۱-۳ هفت روز، ۲-۳ چهار روز و ۲-۵ به هشت روز خواهد رسید.

الگوریتم ابتکاری – ادامه مثال

مرحله ۶ از تکرار گام ۳ (گام ۴): هدف در این مرحله رسیدن به $T=16$ روزه است. از مرحله قبل برنامه ۱۷ روزه باز دارای سه مسیر برای ۱-۲-۳-۵-۶ و ۱-۲-۵-۶ و ۱-۳-۵-۶ است. اما فقط می توان فعالیتهای ۱-۳ و ۲-۵ را یک روز فشرده کرد سایر فعالیتهای به زمان فشرده خود رسیده اند.

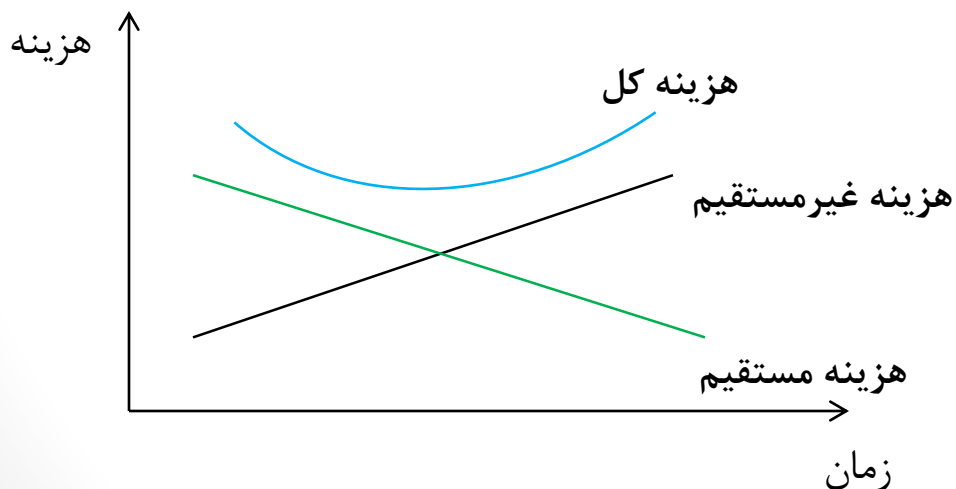
امکان فشرده سازی بیشتر آنها وجود ندارد. با فشرده سازی این دو فعالیت تنها زمان مسیرهای دوم و سوم فوق به ۱۶ روز می رسند. اما زمان مسیر بحرانی اول همان ۱۷ روز باقی خواهد ماند و چون به هیچ طریق امکان کاهش زمان این مسیر وجود ندارد، زمان پروژه همان ۱۷ روز و با هزینه مرحله قبل $C_{17} = 3570$ باقی خواهد ماند.

الگوریتم ابتکاری – ادامه مثال

- فرض کنید در مثال قبل هزینه انرژی، اجاره وسایل و بیمه کارگران از قرار روزی ۶۰ هزار ریال و هزینه های ناشی از دیرکرد کار از قرار روزی ۹۰ هزار ریال باشد. در اینصورت مجموع هزینه های غیرمستقیم پروژه از قرار روزی ۱۵۰ هزار ریال خواهد بود یعنی به طور مثال برای برنامه اتمام ۲۰ روزه، مجموع هزینه های غیر مستقیم $150 \times 20 = 3000$ هزار ریال خواهد بود.
- مقادیر این هزینه ها برای برنامه های مختلف اتمام پروژه در جدول بعد محاسبه شده است که این هزینه ها بر خلاف هزینه های مستقیم با افزایش طول پروژه افزایش و با کاهش آن کاهش می یابد.

الگوریتم ابتکاری – ادامه مثال

۱۷	۱۸	۱۹	۲۰	۲۱	۲۲	برنامه اتمام پروژه (روز)
۳۵۷۰	۳۴۱۰	۳۲۶۰	۳۱۵۰	۳۱۰۰	۳۰۵۰	هزینه مستقیم پروژه
۲۵۵۰	۲۷۰۰	۲۸۵۰	۳۰۰۰	۳۱۵۰	۳۳۰۰	هزینه غیرمستقیم پروژه
۶۱۲۰	۶۱۱۰	۶۱۱۰	۶۱۵۰	۶۲۵۰	۶۳۵۰	هزینه کل



الگوریتم زیمنس برای موازنه زمان - هزینه

کاربرد اصلی این الگوریتم، برای حل مسائلی است که پروژه دارای تاریخ تکمیل مشخص و تعیین شده ای (T_p) می باشد و این تاریخ از تاریخی که بر اساس محاسبات معمولی CPM با در نظر گرفتن زمان های معمولی فعالیت ها محاسبه شده است، کوچکتر (زودتر) باشد.

برای ارائه روش زیمنس، ابتدا به تعاریف زیر می پردازیم:

$$C_{ij} = \left| \frac{C_f - C_n}{D_f - D_n} \right| = \text{ضریب (شیب) هزینه}$$

C_f = هزینه فشرده

C_n = هزینه معمولی

D_f = زمان فشرده

D_n = زمان معمولی

الگوریتم زیمنس - ادامه تعاریف

• طول مسیر D_P

$$\sum D_{ij} = D_P = \text{طول مسیر یا طول زمانی مسیر}$$

• زمان قابل کاهش فعالیت TA_{ij}

$$TA_{ij} = D'_n - D_f \quad \text{زمان قابل کاهش فعالیت}$$

D'_n زمان فعلی فعالیت $i-j$ می باشد (قبل از شروع کاهش ها $D'_n = D_n$ است.)

• ضریب هزینه موثر $i-j$ EC_{ij}

$$EC_{ij} = \frac{C_{ij}}{N_{ij}} \quad \text{ضریب هزینه موثر}$$

که در آن N_{ij} تعداد مسیرهایی است که فعالیت $i-j$ بر روی آنها قرار گرفته و به اندازه کافی کوتاه نشده اند.

الگوریتم زیمنس - ادامه تعاریف

- مقدار کاهش لازم مسیر TR

$$TR \begin{cases} \text{اگر } TP > \text{طول فعلی باشد} & TP - \text{طول فعلی مسیر} \\ \text{اگر } TP < \text{طول فعلی باشد} & . \end{cases}$$

حال برای درک بهتر الگوریتم زیمنس، با حل مثالی کاربرد این روش را تشریح می نمائیم.

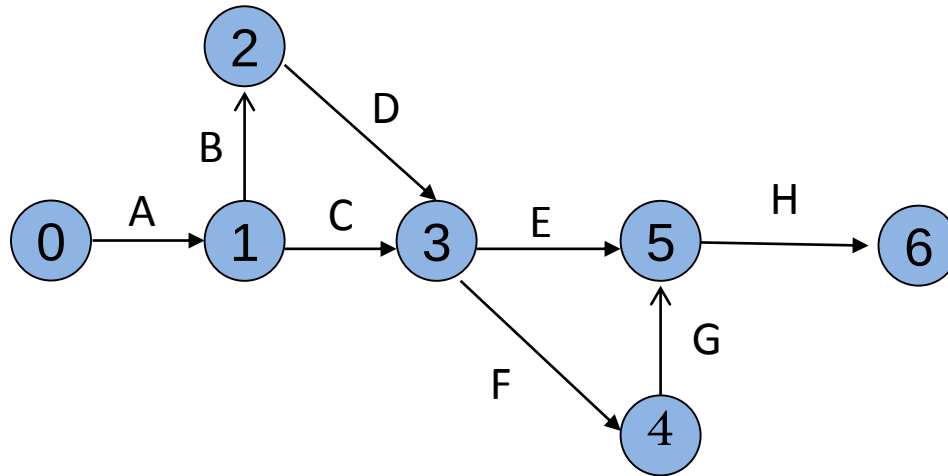
مثال الگوریتم زیمنس

پروژه ای با فعالیت های A تا H با روابط پیش نیازی و شرایط فشردگی زمان هایی مطابق جدول زیر مورد نظر است. لازم است زمان پروژه از مقدار معمولی خود که ۲۵ هفته است به ۲۲ هفته کاهش یابد. هدف بهترین ترکیب کاهش فعالیت ها در مدت انجام ۲۲ هفته برای پروژه است.

فعالیت	پیش نیازها	زمان معمولی	زمان فشرده	ضریب هزینه
A	----	۴	۳	۳
B	A	۵	۴	۵
C	A	۳	۳	--
D	B	۶	۵	۷
E	C,D	۴	۳	۱۰
F	C,D	۲	۱	۲
G	F	۳	۱	۱
H	E,G	۵	۴	۸

حل مثال الگوریتم زیمنس

- قدم اول: شبکه مربوط به پروژه طرح شده را رسم می کنیم:



- زمان قرارداد برای پروژه برابر با ۲۲ هفته تعیین شده است ($T_p = 22$)
با توجه به این امر مسیر هایی که به اندازه کافی کوتاه مطابق جدول بعد مشخص می شوند.

حل مثال الگوریتم زیمنس

همانطور که مشاهده می شود دو مسیری که در آنها $TR > 0$ است، قابل کاهش بوده و لذا برای تحلیل انتخاب می شوند.

جدول بعدی شکل مناسبی برای کاربرد روش زیمنس می باشد:

$TR = \sum D_n - T_p$	زمان $\sum D_n$	مسیرهای شبکه
-6	16	ACEH
-5	17	ACFGH
+3	25	ABDFGH
+2	24	ABDEH

حل مثال الگوریتم زیمنس

	مسیرهای قابل کاهش		ضریب هزینه C_{ij}	زمان کاهش TA_{ij}	CE_{ij} ضرایب هزینه مؤثر				
	A-B-D-E-H	A-B-D-F-G-H			شماره دور				
					1	2	3	4	
A			3	10	1.5	1.5	*	*	
B			5	10	2.5	2.5	5	*	
D			7	1	3.5	3.5	7	7	
E			10	1	10	10	10	10	
F			2	1	2	2	2	2	
G			1	1	1	*	*	*	
H			8	1	4	4	8	8	
طول مسیر	24	25	شماره دور	نوع کاهش				هزینه کاهش	هزینه کل
کاهش	2	3	0					0	0
لازم	2	1	1	کاهش G به مدت دو هفته				2	2
مسیر	1	0	2	کاهش A به مدت یک هفته				3	5
TR	0	-1	3	کاهش B به مدت یک هفته				5	10
	0	0	4	افزایش G به مدت یک هفته				-1	9

کاربرد برنامه ریزی ریاضی برای حل مدل های موازنه زمان - هزینه

- برای بررسی و حل شبکه های بزرگ می توان از روش های برنامه ریزی ریاضی برای بررسی و حل مدل های مختلف زمان- هزینه استفاده نمود.
- روش های برنامه ریزی ریاضی از آن نظر که حالت های عمومی و عملی زیادی را که ضمن اجرای پروژه پیش می آیند می پوشانند کاربرد زیادی داشته و دسترسی به انواع نرم افزارهای موجود جهت حل مسائل برنامه ریزی ریاضی به وسیله کامپیوتر عملیات محاسبات را تسریع می نماید.

کاربرد برنامه ریزی ریاضی برای حل مدل های موازنه زمان - هزینه

- برای فرموله کردن مسائل برای اینکه با کاربرد متدهای برنامه ریزی ریاضی قابل حل باشند، ابتدا به تعاریف زیر می پردازیم:

$D_{n(i-j)}$ زمان معمولی فعالیت $i-j$

$D_{f(i-j)}$ زمان فشرده فعالیت $i-j$

K_n جمع هزینه های مستقیم پروژه در شرایطی که همه فعالیت های در زمان معمولی خود اجرا شوند.

$C_{(i-j)}$ ضریب هزینه فعالیت $i-j$

$d_{(i-j)}$ زمان عملی (برنامه ریزی شده) برای اجرای فعالیت $i-j$

n تعداد رویدادهای شبکه به نحوی که رویداد آغازین ۱ و پایانی n باشد.

t_i تاریخ عملی (برنامه ریزی شده) برای وقوع رویداد i

مدل اول: تعیین زمان بهینه پروژه

- در اینجا هدف یافتن زمان بهینه برای پروژه است به گونه ای که جمع هزینه ها برابر با حداقل مقدار ممکن شود.
- با فرض جمع هزینه های غیرمستقیم، برابر با H واحد پول در هر واحد زمان برای کل هزینه های غیرمستقیم پروژه داریم:

$$H (t_n - t_1)$$

- اضافه هزینه مستقیم فعالیت $i-j$ بابت کاهش زمان D_n از d_{ij} به عبارتست از:

$$C_{ij} \cdot (D_{n(ij)} - d_{ij})$$

- پس اضافه هزینه کل پروژه برابر است با:

$$\sum_i \sum_j C_{ij} \cdot (D_{n(ij)} - d_{ij})$$

مدل اول: تعیین زمان بهینه پروژه

- جمع هزینه های پروژه = اضافه هزینه مستقیم + هزینه های مستقیم در شرایط معمولی + هزینه های غیرمستقیم

$$Z = H(t_n - t_1) + K_n + \sum_i \sum_j C_{ij} \cdot (D_{n(ij)} - d_{ij})$$

- تابع بالا باید حداقل شود و متغیرهای مسئله t_1 ، t_n و d_{ij} هستند.
- طبیعتاً برای جواب هایی که در حل معادله بالا ممکن است به دست آیند محدودیت هایی وجود دارد و لازم است مسئله به صورتی فرموله شود که محدودیت های حاکم بر متغیرها در جواب ها رعایت شده باشند.

محدودیت های حاکم بر متغیرها

$$t_j - t_i \geq d_{ij}$$

$$D_{f(ij)} \leq d_{ij} \leq D_{n(ij)}$$

$$t_i \geq 0, \quad i=1,2,\dots,n$$

■ با توجه به تابع هزینه و محدودیت های فوق مساله به صورت زیر فرموله می شود

$$\text{Min } Z = H(t_n - t_1) + \sum_i \sum_j C_{ij} \cdot (D_{n(ij)} - d_{ij}) + K_n$$

$$t_j - t_i \geq d_{ij} \quad i,j=1,2,\dots,n$$

$$D_{f(ij)} \leq d_{ij} \leq D_{n(ij)}$$

$$t_i \geq 0$$

مدل دوم: تعیین بهترین ترکیب کاهش برای تکمیل پروژه در تاریخ مشخص

- در این مدل لازم است پروژه در تاریخ تعیین شده T_p تکمیل شود بنابراین هدف یافتن بهترین (اقتصادی ترین) ترکیب برای کاهش زمان های فعالیت ها می باشد.
- زمان کل پروژه $t_n - t_1 \leq T_p$ بنابراین:

$$\text{Min } Z = \sum_i \sum_j C_{ij} \cdot (D_{n(ij)} - d_{ij})$$

$$t_j - t_i \geq d_{ij} \quad i, j = 1, 2, \dots, n$$

$$D_{f(ij)} \leq d_{ij} \leq D_{n(ij)}$$

$$t_n - t_1 \leq T_p$$

$$t_i \geq 0$$

مدل سوم: بودجه معینی برای کاهش زمان پروژه تعیین شده است

- در این مدل بودجه مشخصی به مبلغ B در اختیار مدیر پروژه قرار گرفته است تا با استفاده از این مبلغ زمان پروژه را از زمان معمولی به حداقل زمان ممکن کاهش دهد.
- بنابراین تابعی باید حداقل شود زمان کل پروژه است. $(t_n - t_1)$

$$\text{Min } Z = (t_n - t_1)$$

$$t_j - t_i \geq d_{ij} \quad i, j = 1, 2, \dots, n$$

$$D_{f(ij)} \leq d_{ij} \leq D_{n(ij)} \quad T_p$$

$$\sum_i \sum_j C_{ij} \cdot (D_{n(ij)} - d_{ij}) \leq B$$

$$t_i \geq 0$$

تخصیص و تسطیح منابع

برنامه ریزی و تخصیص منابع

- در مراحل قبلی از برنامه ریزی، شناخت روابط میان فعالیتهای پروژه و برآورد مدت زمان اجرای آنها مورد نظر بودند، و فرض بر این بود که منابع (نیروی انسانی، تجهیزات، ابزار و ماشین آلات، مواد، مصالح و پول) مورد نیاز برای اجرای پروژه در زمان اجرا، آماده می باشد. اما غالباً مدیران پروژه در استفاده از منابع مورد نیاز محدودیت دارند.
- مدیر پروژه علاوه بر احساس مسئولیت علاقه و توجه به اجرای پروژه در چارچوب برنامه زمانی و بودجه از پیش تعیین شده، باید منابع اجرای پروژه خود را تراز نماید.
- روشهای متعددی برای برنامه ریزی، تخصیص و تراز کردن منابع ابداع شده اند که به چند نمونه آن اشاره می شود.

منابع چیستند؟ (Resources)

- نیروی انسانی، ماشین آلات و تجهیزات، منابعی هستند که فقط وقت آنها در پروژه مصرف شده و در موجودیت آنها تغییری ایجاد نمی شود. (استفاده از آنها در اجرای هر فعالیت، موجب از بین رفتن آنها نمی شود. از این رو آنها را منابع غیر مصرفی می نامند.
- حال آنکه مواد اولیه و مصالح، که با مصرف آنها از مقدار موجودیشان کاسته می شود منابع مصرفی نامیده می شوند.

برنامه ریزی تخصیص منابع محدود

- در این حالت فرض بر این است از هر نوع منبع تعداد محدودی در دسترس باشد و بخواهیم پروژه را با همین تعداد منابع انجام دهیم.
- حال این سؤال مطرح است که زمان شروع فعالیتها با در نظر گرفتن محدودیت منابع و روابط وابستگی بین فعالیتها چگونه باشد تا پروژه با حداقل تأخیر ممکن نسبت به زمان اتمام محاسبه شده، به اتمام برسد.

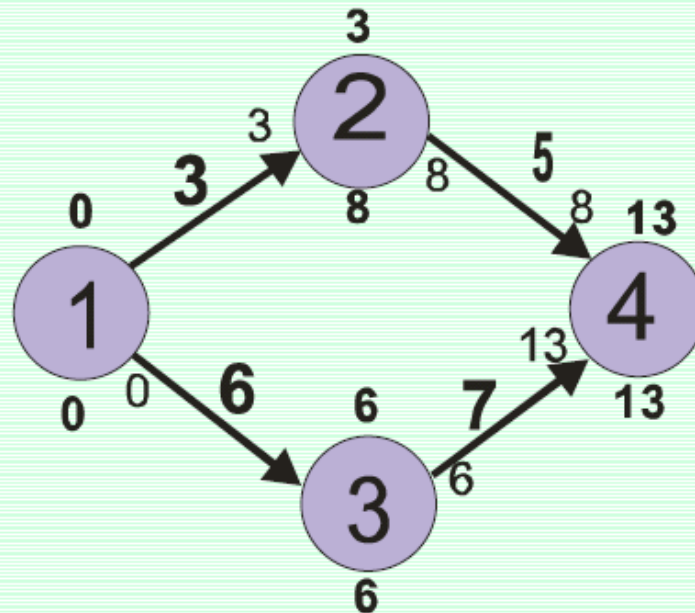
برنامه ریزی تخصیص منابع محدود RCPSP

(Resource – Constrained Project Scheduling Problem)

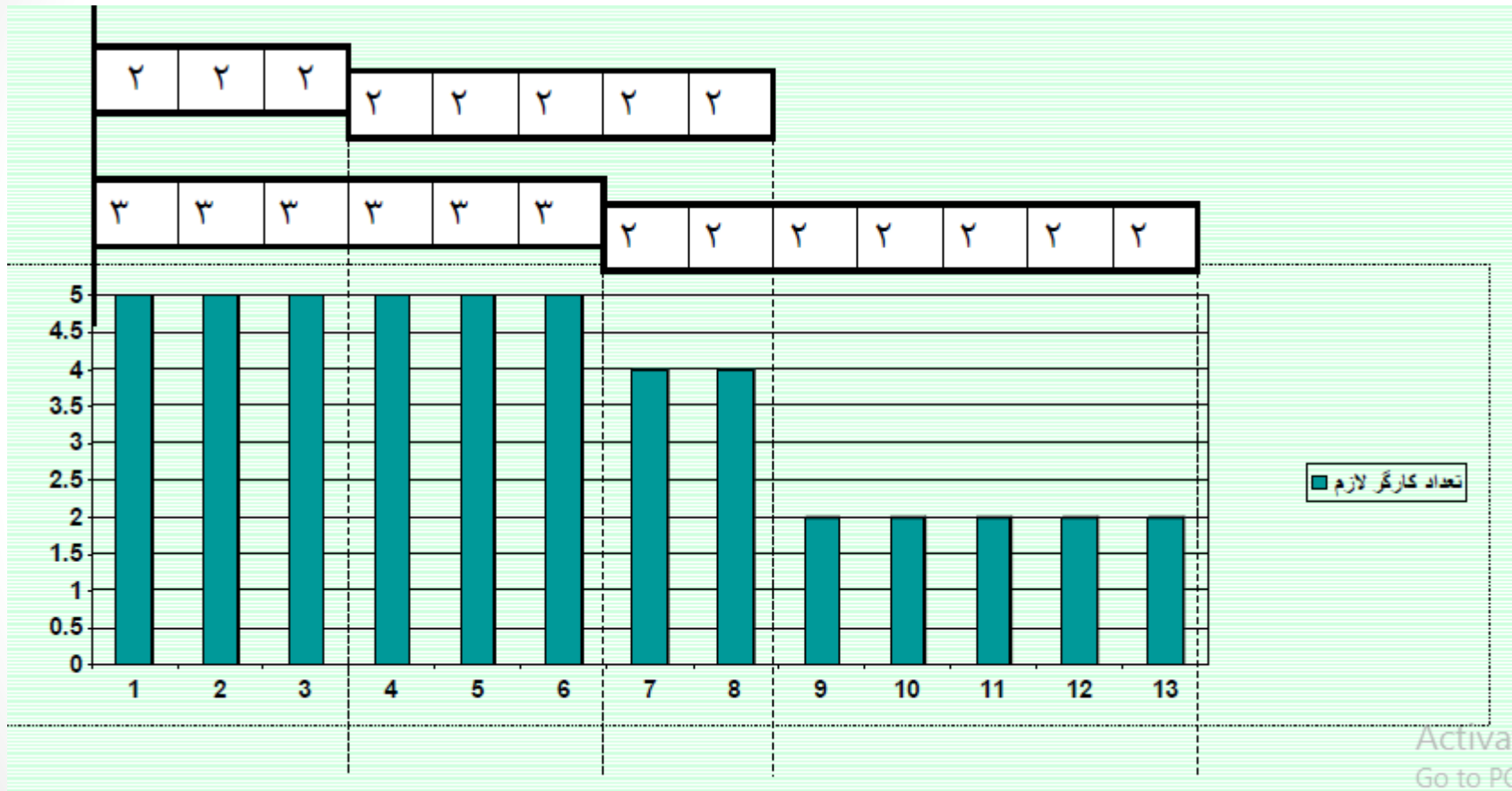
- مثلاً فرض کنید تعداد کارگران مورد نیاز یک پروژه ۵ نفر ولی تعداد کارگر موجود محدود به ۴ نفر باشد ($R=4$) یعنی محدودیتی از نظر تعداد منابع محدودیت منابع، جابجائی یا شیفت دادن برخی فعالیتها به سمت راست ست.
- این کار ممکن است باعث طولانی شدن زمان پروژه گردد. بنابراین به روشی نیازمندیم که به کمک آن فعالیتها را طوری برنامه ریزی کنیم که:
- اولاً پروژه با حداقل تأخیر غیرمجاز (نسبت به E_n) به اتمام برسد.
- ثانیاً پروژه با تعداد ($R=4$) کارگر قابل انجام باشد.
- در مقایسه با مدل سازی برنامه ریزی ریاضی، اولی هدف و دومی محدودیت است.

الگوریتم تخصیص منابع محدود

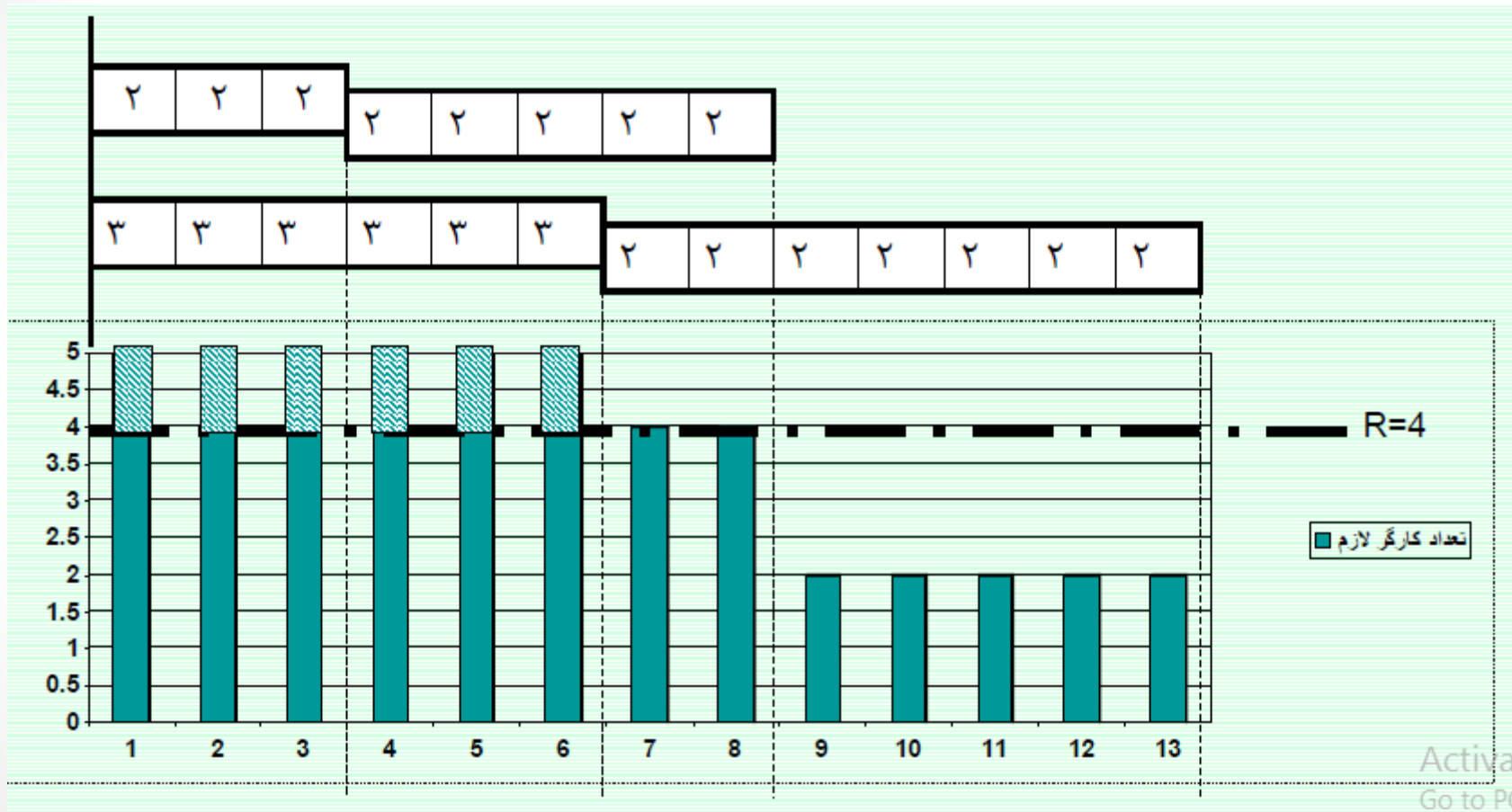
فعالیت	1-2	2-4	1-3	3-4
کارگر لازم	2	2	3	2



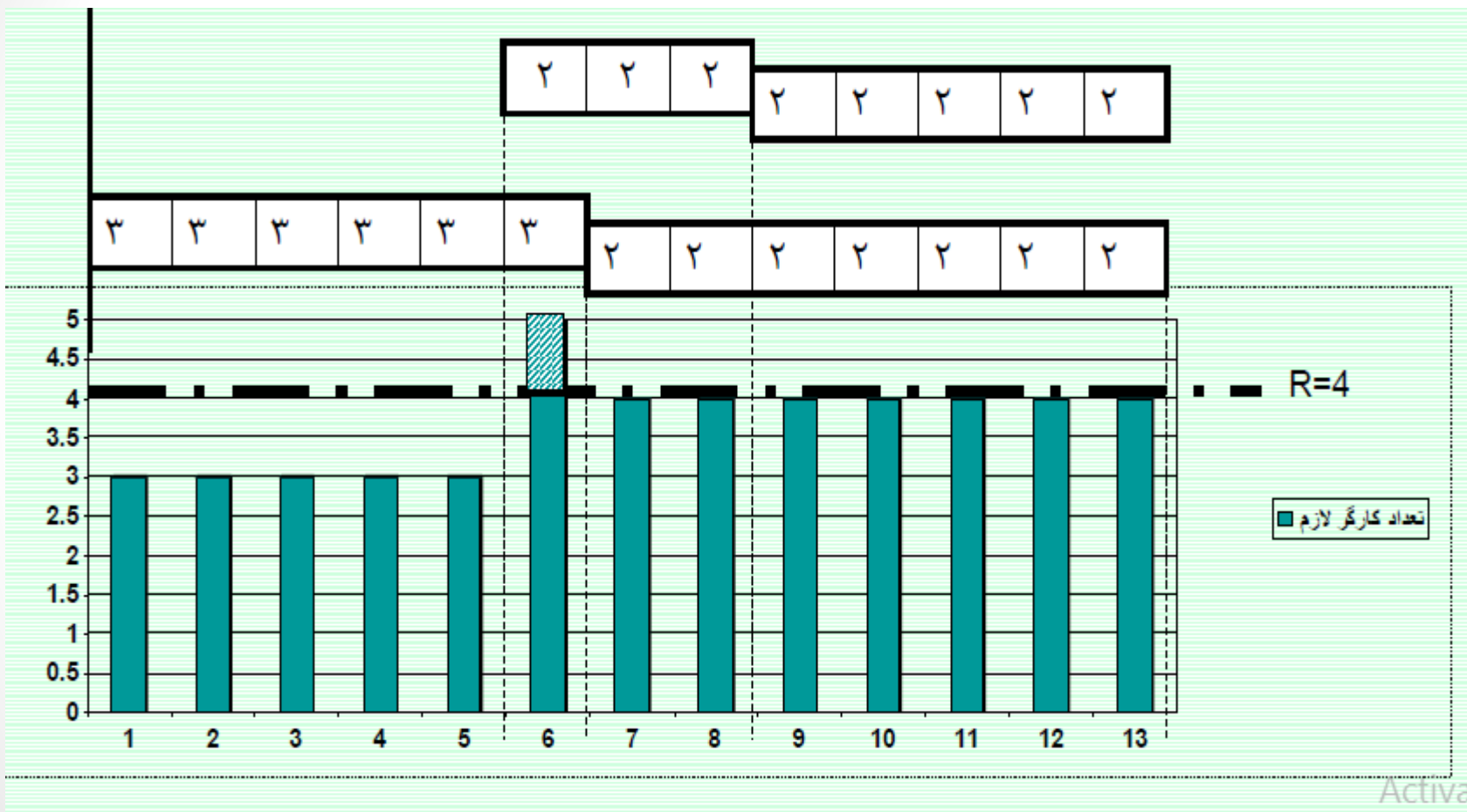
الگوریتم تخصیص منابع محدود



سطح منابع قابل دسترسی



استفاده از زمان شناوری و شیفت فعالیت ها به راست



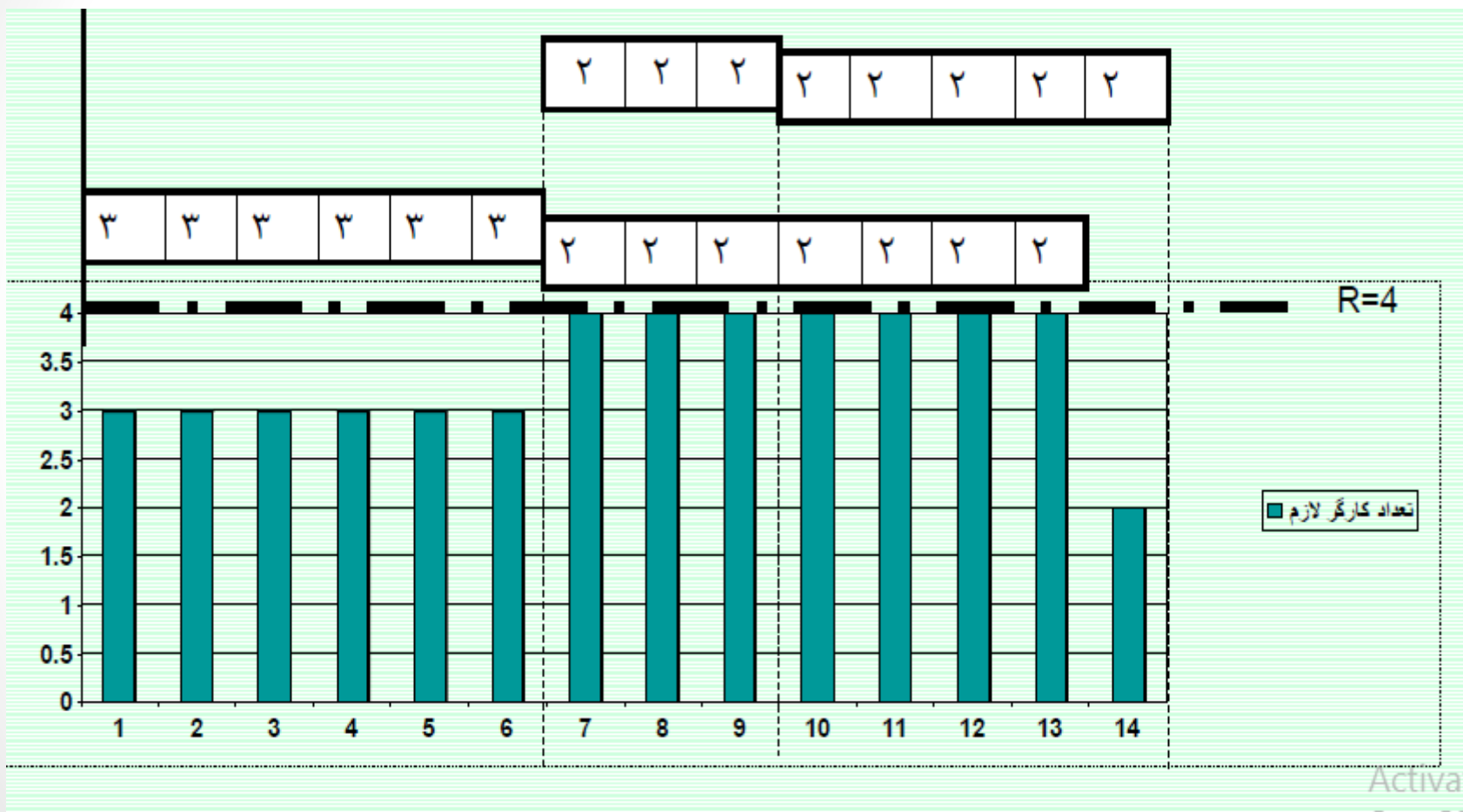
شیفت فعالیت ها به راست بیشتر از زمان شناوری

- در صورتی که در منابع پروژه دارای محدودیت هایی باشیم می بایست 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.

نکته:

- ✓ در ابتدای کار فعالیت های بحرانی شبکه را مدنظر می گیریم. زیرا فعالیت های بحرانی از نظر زمان و تاریخ اجرا قابلیت هیچ گونه تغییراتی را ندارند
- ✓ اگر در یک شبکه سطح منابع لازم برای اینکه فقط فعالیت های بحرانی اجرا شوند از سقف منابع قابل دسترسی بالاتر باشد هیچ چاره ای جز تمدید زمان پروژه یا اضافه کردن به سقف منابع وجود ندارد.

شیفت فعالیت ها به راست بیشتر از زمان شناوری



مثالی برای تخصیص منابع محدود

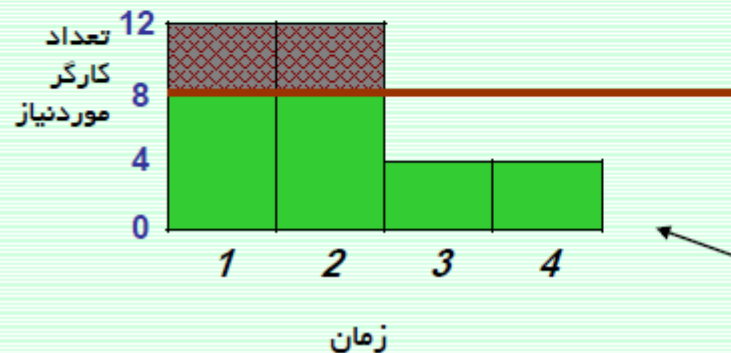
نمودار گانت پروژه

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

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



Resource Graph

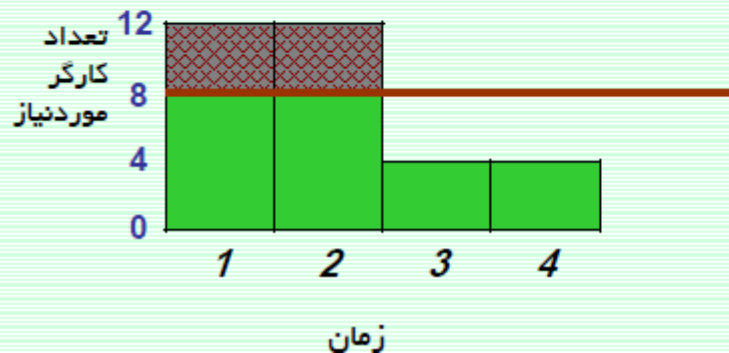
استراتژیهای حل مسئله منابع محدود

- 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 اضافه کاری در جهت حل مسئله
- ۵- افزایش مدت زمان پروژه

۱- استفاده از شناوری فعالیتها

نمودار گانت پروژه

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



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

۱- استفاده از شناوری فعالیتها

نمودار گانت پروژه

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



اطلاعات فعالیتهای پروژه

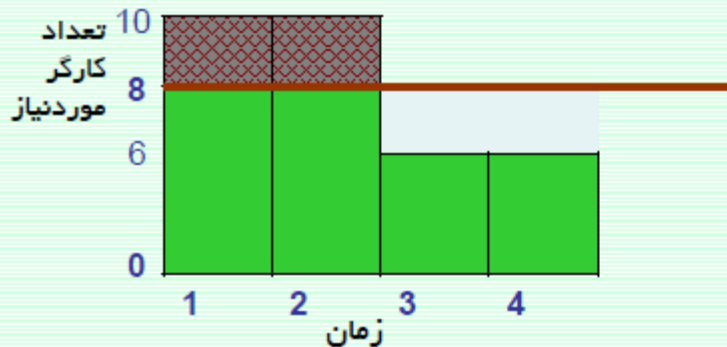
کد فعالیت	پیشنیاز	مدت	تعداد کارگر مورد نیاز
A	-	1	4
B	A	1	4
C	-	2	8
D	C	2	4

تعداد کارگر در دسترس طی هر روز: 8 نفر

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

نمودار گانت پروژه

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



اطلاعات فعالیتهای پروژه

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

تعداد کارگر در دسترس طی هر روز: 8 نفر

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

نمودار گانت پروژه

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

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

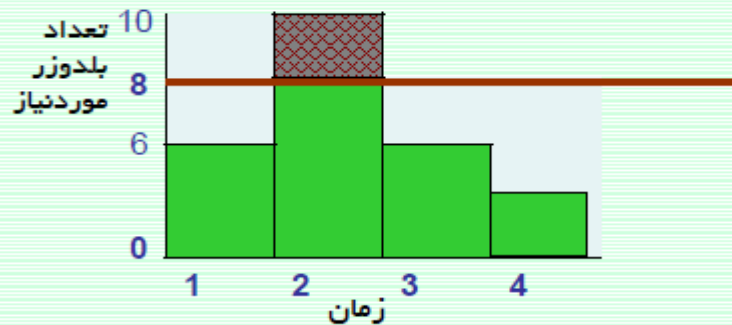
• افزایش مدت زمان فعالیت B به دو روز و کاهش کارگر
موردنیاز به روزی دو کارگر



۳- گسیختگی زمانبندی یک فعالیت

نمودار گانت پروژه

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



اطلاعات فعالیت‌های پروژه

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

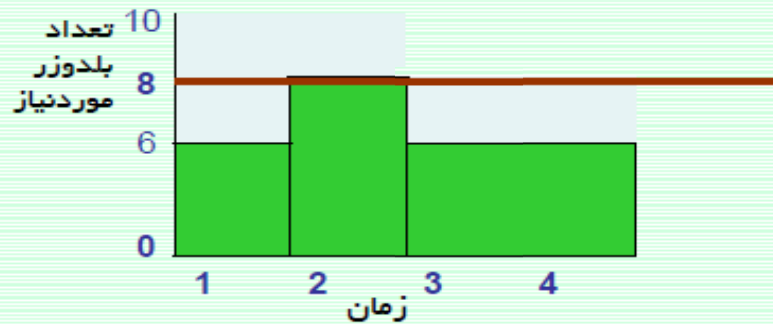
تعداد بلدوزر در دسترس طی هر روز: 8 دستگاه

۳- گسیختگی زمانبندی یک فعالیت

نمودار گانت پروژه

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

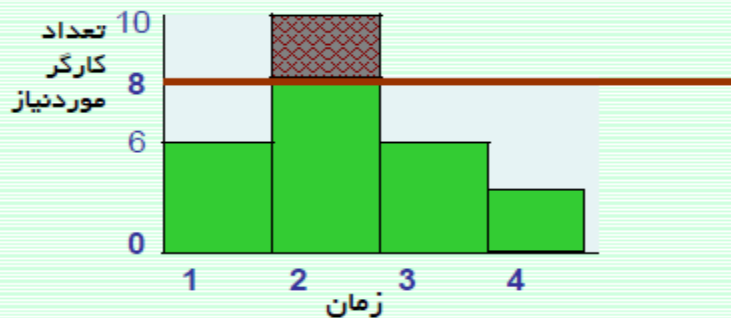
* شکستن فعالیت A به دو بخش



۴ - استفاده از اضافه کاری 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 کارگر مورد نیاز
A	-	2	2
B	A	1	2
C	-	1	4
D	C	1	8
E	D	2	4

تعداد کارگر در دسترس طی هر روز: 8 نفر

۴ - استفاده از اضافه کاری در جهت حل مسئله

نمودار گانت پروژه

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

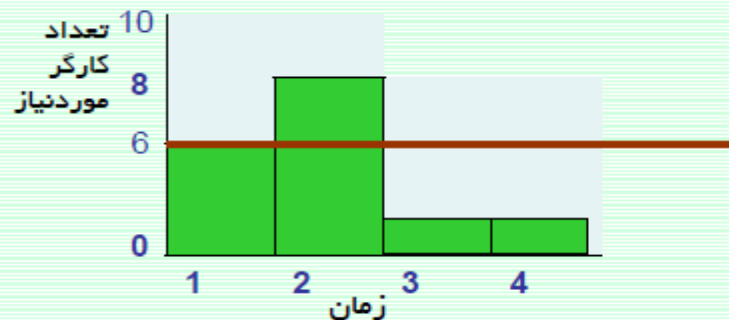
• در روز دوم با دادن اضافه کاری به کارگران، جبران کسری منابع صورت پذیرد.



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 مورد نیاز
A	-	2	4
B	A	2	1
C	-	1	2
D	C	1	4
E	D	2	1

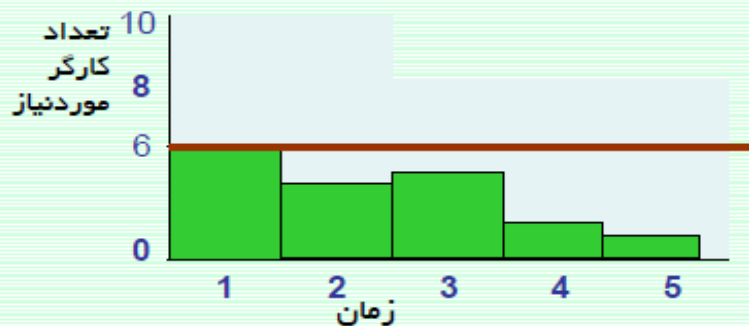
تعداد کارگر در دسترس طی هر روز: 6 نفر

۵- افزایش مدت زمان پروژه

نمودار گانت پروژه

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

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



الگوریتم تخصیص منابع محدود

- در این الگوریتم برای اجرای فعالیتها به ترتیب و در مرحله اول، کمترین زمان شناوری و در مرحله دوم کمترین زمان برای اجرای فعالیتها مد نظر قرار می گیرد.

- لازم به ذکر است، در عمل به جای کاربرد شناوری، از عامل زمانی «دیرترین زمان شروع فعالیت» LS استفاده می شود.

- دیرترین زمان شروع در این الگوریتم همان نتیجه را بدست می دهد که عامل زمان شناوری بدست خواهد داد.

- مقدار شناوری جمعی یک فعالیت عبارت از تفاضل مقادیر دیرترین و زودترین تاریخهای شروع فعالیت می باشد. حال در یک مقطع زمانی معین T که دو فعالیت هر دو قابل شروع شدن هستند، زودترین تاریخ شروع برای هر دوی آنها همان عدد T خواهد بود. بنابراین هر کدام که LS بزرگتری داشته باشد، شناوری جمعی بیشتری خواهد داشت.

الگوریتم تخصیص منابع محدود

- فرضیات

- ۱- پروژه باید توسط یک شبکه (برداری یا گرهی) معرفی شود
- ۲- مقدار حداکثر منابع قابل دسترسی در مقاطع مختلف زمان اجرای پروژه باید مشخص باشند.
- ۳- مقدار منبع لازم برای هر فعالیت باید معین و در طول زمان اجرای فعالیت ثابت باشد.

- 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 اضافه کاری در جهت حل مسئله

الگوریتم تخصیص منابع محدود

قدم ۱- با انجام محاسبات پیشروی و بازگشتی، زودترین و دیرترین تاریخهای وقوع رویدادهای شبکه، و در نتیجه، زودترین تاریخهای شروع فعالیتهای را محاسبه می کنیم. (محاسبه ES و LS) در این محاسبات تاریخ وقوع رویداد آغازین را برابر با عدد یک در نظر می گیریم.

قدم ۲ - مجموعه فعالیتهای EAS (مجموعه فعالیتهای واجد شرایط $Eligible$ Activity Set) را مشخص کنید.

این مجموعه شامل فعالیتهایی است که هنوز برنامه ریزی نشده اند و همچنین یا پیشنهاد ندارند یا پیشنهاد آنها تا زمان T برنامه ریزی شده باشند.

قدم ۳ - براساس مجموعه فعالیتهای EAS ، مجموعه OSS (مجموعه فعالیتهای مرتب شده برای برنامه ریزی $Ordered Scheduling Set$) را تشکیل دهید. در این مجموعه فعالیتهای EAS براساس ترتیب صعودی LS مرتب شده اند و در صورت تساوی LS ملاک ترتیب صعودی مدت زمان فعالیت است

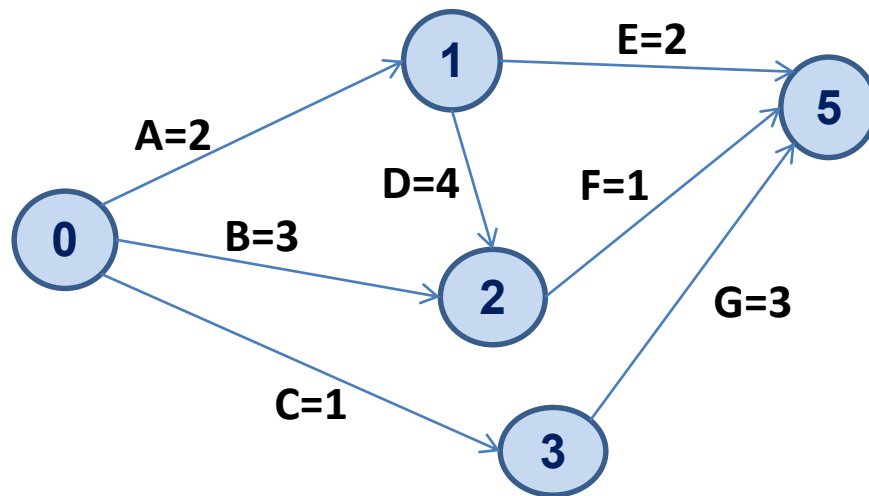
الگوریتم تخصیص منابع محدود

قدم ۴- فعالیتهای OSS را به ترتیب، در صورتی که برای فعالیت در کل زمان اجرا، منابع کافی وجود دارد آن فعالیت را برای شروع در زمان T برنامه ریزی کنید.

قدم ۴- در صورتیکه همه فعالیتهای برنامه ریزی شده اند توقف کنید. در غیر این صورت $T = T + 1$ و به قدم ۲ بازگردید.

الگوریتم تخصیص منابع محدود (مثال)

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



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

الگوریتم تخصیص منابع محدود (مثال)

T=1

EAS	A	B	C
ES	1	1	1
LS	1	4	4
OSS	A	C	B

T=2

EAS	B	D	E	G
ES	2	3	3	2
LS	4	3	6	5
OSS	B	G		

T=3

EAS	B	D	E
ES	3	3	3
LS	4	3	6
OSS	D	B	E

T=4

EAS	B	E
ES	4	4
LS	4	6
OSS	B	E

T=5

EAS	B	E
ES	5	5
LS	4	6
OSS	B	E

T=6

EAS	B
ES	6
LS	4
OSS	B

T=7

EAS	B	F
ES	7	7
LS	4	7
OSS	B	F

T=10

EAS	F	
ES	10	
LS	7	
OSS	F	

تسطیح منابع (Resource Leveling)

- در این حالت فرض بر این است مقدار کافی از منابع مورد نیاز موجود است اما هدف از تعیین برنامه در چنین حالتی به حداقل رساندن هزینه های ناشی از نوسانات سطوح منابع مختلف است. بطوریکه تاخیر غیر مجازی در هیچ یک از فعالیتهای پروژه پیش نیاید، منظور از نوسانات در نیروی انسانی استخدام و اخراج و در مورد ماشین آلات نصب و راه اندازی می باشد.

- در صورتی که واحد زمان مثلاً "روز" و واحد سطح منابع "نفر" باشد. حجم منابع لازم برای کل پروژه R برابر خواهد بود با:

$$R = \sum_{t=1}^{T_c} r_t$$

- که در آن r_t عبارت از سطح منبع مورد نیاز در تاریخ t می باشد.

- پس متوسط نفرات لازم در هر روز برای پروژه عبارت میشود از:

$$r = \frac{R}{T_c} = \frac{\sum_{t=1}^{T_c} r_t}{T_c}$$

تسطیح منابع (Resource Leveling)

- در یک حالت ایده آل، باید رابطه زیر به ازای تمام مقادیر ممکن t برقرار باشد:

$$r_{t+1} - r_t = 0, (0 < t < T_c)$$

- در عمل، لازم است سعی شود رابطه زیر که عبارت از مجموع مربعات تفاضل میزان احتیاج به منابع در تاریخ های مختلف در طول زمان اجرای پروژه است به حداقل برسد:

$$\sum_{t=1}^{T_{c-1}} (r_{t+1} - r_t)^2$$

- در اینجا، برنامه ریزی ریاضی (غیر خطی) زیر مطرح می شود:

$$\begin{aligned} & \text{Min} \sum_{t=1}^{T_{c-1}} (r_{t+1} - r_t)^2 \\ & s.t. \end{aligned}$$

$$\sum_{t=1}^{T_c} r_t = R$$

تسطیح منابع (Resource Leveling)

- با توجه به منفی نبودن اجزای تابع هدف، مقدار تابع وقتی مینیمم می شود که داشته باشیم:

$$r_{t+1} = r_t, \quad (t = 1, 2, \dots, T_c - 1) \quad \text{و در این صورت}$$

$$r_{t+1} = r_t = \frac{R}{T_c}$$

- حال به جای تابع هدف معرفی شده قبلی، تابع زیر را در نظر میگیریم:

$$\text{Min} \sum_{t=1}^{T_c} (r_t)^2$$

s.t.

$$\sum_{t=1}^{T_c} r_t = R$$

جواب این مسئله برنامه ریزی ریاضی نیز، همان $r = \frac{R}{T_c}$ برای همه مقادیر t خواهد بود. به عبارت دیگر، همان جوابهایی را که از برنامه ریزی ریاضی اولی قابل انتظار است، از برنامه ریزی ریاضی اخیر نیز خواهیم داشت

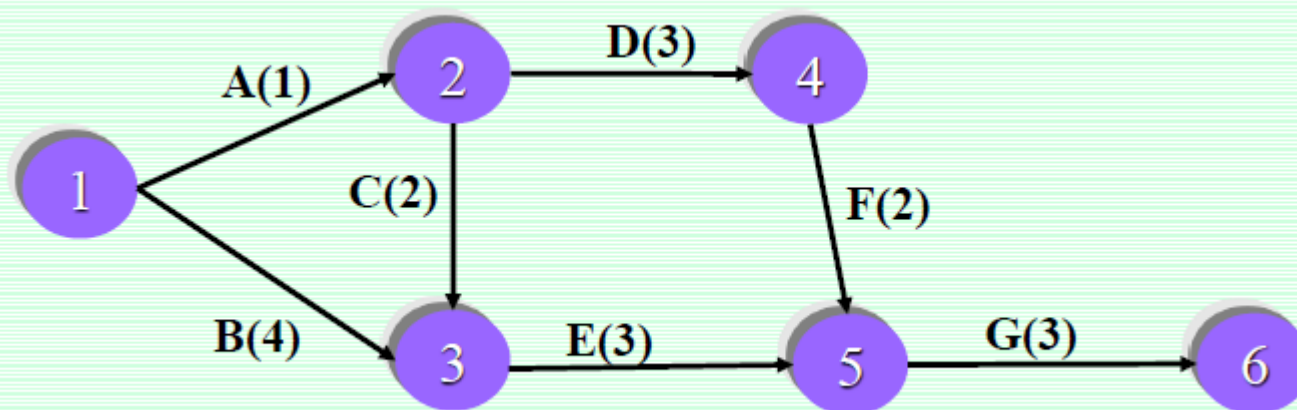
الگوریتم برگس (Burgess) برای تسطیح منابع

- روش برگس برای برنامه ریزی پروژه ها در شرایط عدم محدودیت در سطح منابع و وجود محدودیت در تاریخ اجراء پروژه، می باشد.
- این الگوریتم سعی دارد که میزان نوسان در سطح منابع مورد نیاز را به حداقل برساند. قدم های این الگوریتم بشرح زیر است:
- قدم ۱- فعالیتها را به ترتیب افزایش شماره رویداد پایانی و در صورت که دو فعالیت دارای یک شماره رویداد پایانی هستند، به ترتیب افزایش شماره پایه از بالا به پائین در جدولی قرار می دهیم
- قدم ۲- از آخرین فعالیت پائین لیست شروع نموده و فعالیتها را به ترتیبی برنامه ریزی می کنیم که رابطه $Z = \sum_{t=1}^{T_c} (\sum r_{t_{ij}})^2$ در آن حداقل باشد.
- توضیح: t_{ij} عبارت از سطح منبع مورد نیاز برای اجرای فعالیت ij در تاریخ t می باشد.

الگوریتم برگس (Burgess) برای تسطیح منابع

- در صورتی که این رابطه در دو یا چند وضعیت مختلف حداقل شد، وضعیتی را انتخاب می کنیم که فعالیت از حداکثر شناوری خود استفاده کرده باشد.
(بدیهی است در این عملیات موقعیت فعالیت های بحرانی ثابت است)
- قدم ۳- عملیات مربوط به قدم ۲ را به ترتیب برای سایر فعالیت ها از پائین به بالا تکرار میکنیم.
- قدم ۴- بعد از کامل شدن عملیات مربوط به قدم ۳، قدم های ۲ و ۳ را تکرار می کنیم. در این عملیات در اغلب موارد لازم است فعالیت ها به سمت راست هدایت شوند.

مثال

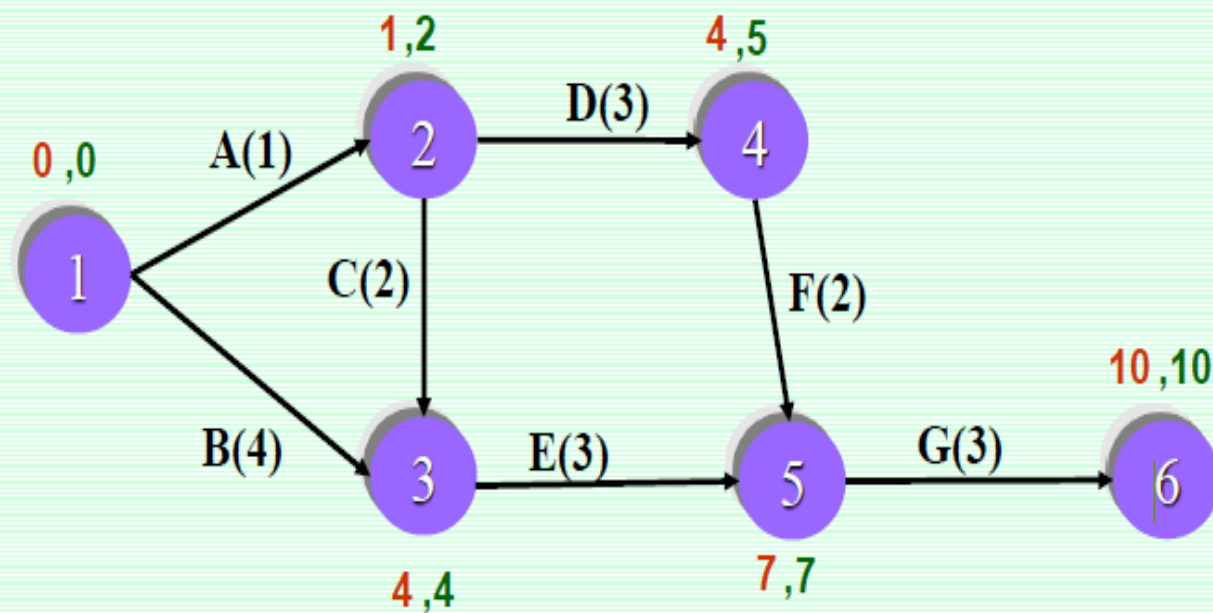


	A	B	C	D	E	F	G
تعداد کارگر	1	2	3	2	1	4	4

کارگر را بعنوان منبع نامحدود در نظر بگیرید.

مثال

حل مسئله و اجرای الگوریتم:



مثال

[illegible]

مثال

ACTIVITY	ES	LS	r	T										
				0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1-2	0	1	1											
1-3	0	0	2											
2-3	1	2	3											
2-4	1	2	2											
3-5	4	4	1											
4-5	4	5	4											
5-6	7	7	4								4	4	4	
r _t											4	4	4	
(r _t) ²											16	16	16	

مثال

ACTIVITY	ES	LS	r	T										
				0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1-2	0	1	1											
1-3	0	0	2											
2-3	1	2	3											
2-4	1	2	2											
3-5	4	4	1											
4-5	4	5	4						4	4				
5-6	7	7	4								4	4	4	
r _t									4	4	4	4	4	
(r _t) ²									16	16	16	16	16	

مثال

ACTIVITY	ES	LS	r	T										
				0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1-2	0	1	1											
1-3	0	0	2											
2-3	1	2	3											
2-4	1	2	2											
3-5	4	4	1					1	1	1				
4-5	4	5	4						4	4				
5-6	7	7	4								4	4	4	
r _t								1	5	5	4	4	4	
(r _t) ²								1	25	25	16	16	16	

مثال

ACTIVITY	ES	LS	r	T										
				0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1-2	0	1	1											
1-3	0	0	2											
2-3	1	2	3											
2-4	1	2	2		2	2	2							
3-5	4	4	1					1	1	1				
4-5	4	5	4						4	4				
5-6	7	7	4								4	4	4	
r_t					2	2	2	1	5	5	4	4	4	
$(r_t)^2$					4	4	4	1	25	25	16	16	16	

مثال

ACTIVITY	ES	LS	r	T											
				0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
1-2	0	1	1												
1-3	0	0	2	2	2	2	2								
2-3	1	2	3			3	3								
2-4	1	2	2		2	2	2								
3-5	4	4	1					1	1	1					
4-5	4	5	4						4	4					
5-6	7	7	4								4	4	4		
r _t				2	4	7	7	1	5	5	4	4	4		
(r _t) ²				4	16	49	49	1	25	25	16	16	16		

مثال

ACTIVITY	ES	LS	r	T											
				0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
1-2	0	1	1	1											
1-3	0	0	2	2	2	2	2								
2-3	1	2	3			3	3								
2-4	1	2	2		2	2	2								
3-5	4	4	1					1	1	1					
4-5	4	5	4					4	4						
5-6	7	7	4								4	4	4		
r _t				3	4	7	7	1	5	5	4	4	4		
(r _t) ²				9	16	49	49	1	25	25	16	16	16		

Z=222

بررسی مجدد 1

ACTIVITY	ES	LS	r	T										
				0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1-2	0	1	1	1										
1-3	0	0	2	2	2	2	2	2						
2-3	1	2	3			3	3							
2-4	1	2	2		2	2	2	2						
3-5	4	4	1					1	1	1				
4-5	4	5	4						4	4				
5-6	7	7	4								4	4	4	
r_t				3	4	7	7	1	5	5	4	4	4	
$(r_t)^2$				9	16	49	49	1	25	25	16	16	16	

بررسی مجدد 1

ACTIVITY	ES	LS	r	T										
				0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1-2	0	1	1	4										
1-3	0	0	2	2	2	2	2	2						
2-3	1	2	3			3	3							
2-4	1	2	2			2	2	2						
3-5	4	4	1					1	1	1				
4-5	4	5	4						4	4				
5-6	7	7	4								4	4	4	
r_t				3	2	7	7	3	5	5	4	4	4	
$(r_t)2$				9	4	49	49	9	25	25	16	16	16	

Z=218

بررسی مجدد 2

ACTIVITY	ES	LS	r	T										
				0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1-2	0	1	1	1										
1-3	0	0	2	2	2	2	2	2						
2-3	1	2	3			3	3							
2-4	1	2	2			2	2	2						
3-5	4	4	1					1	1	1				
4-5	4	5	4					4	4					
5-6	7	7	4							4	4	4		
r_t				3	2	7	7	3	5	5	4	4	4	
$(r_t)^2$				9	4	49	49	9	25	25	16	16	16	

بررسی مجدد 2

ACTIVITY	ES	LS	r	T										
				0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1-2	0	1	1	1										
1-3	0	0	2	2	2	2	2	2						
2-3	1	2	3		3	3								
2-4	1	2	2			2	2	2						
3-5	4	4	1					1	1	1				
4-5	4	5	4						4	4				
5-6	7	7	4								4	4	4	
r_t				3	5	7	4	3	5	5	4	4	4	
$(r_t)2$				9	25	49	16	9	25	25	16	16	16	

Z=206

تسطیح منابع در شرایط وجود بیش از یک منبع

- در شرایطی که بیش از یک نوع منبع مورد نظر باشد روش برگس با همان اصول بیان شده قابل استفاده است.
- فرض کنیم در یک پروژه دو منبع مختلف A و B مورد نظر بوده و سطح احتیاجات هر فعالیت I_j به این دو منبع به ترتیب r_{ij} و r'_{ij} باشد.
- در این صورت عدد S مربوط به مجموع مربعات که باید مینیمم شود (تابع هدف) عبارت خواهد بود از:

$$\text{Min } S = \sum_{t=1}^{T_c} [(\sum_{ij} r_{t_{ij}})^2 + (\sum_{ij} r'_{t_{ij}})^2]$$

شبکه های پیش نیازی (PN)

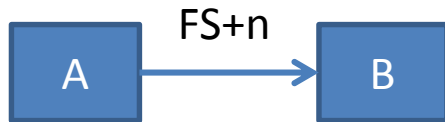
شبکه های پیش نیازی

Precedence Network (PN)

- شبکه های CPM و PERT از این محدودیت برخوردارند که شروع هر فعالیت فقط پس از اتمام کامل فعالیت های پیش نیاز آن امکان پذیر هستند.
- در موارد بسیاری رعایت کردن این محدودیت الزامی نیست و علاوه بر آن انواع دیگری از ارتباطات وجود دارد که روش های سنتی مسیر بحرانی دارای انعطاف لازم برای حل شبکه هایی با این ارتباطات زمانی نیستند.
- بنابراین برای رفع این نارسایی ها با توسعه و بهسازی CPM به شبکه هایی دارای ارتباطات پیش نیازی PN رسیده ایم.
- در مدل های سنتی CPM و PERT فقط یک نوع رابطه بین فعالیت ها وجود دارد و آن اینست که کلیه ی فعالیت هایی که به یک رویداد می رسند باید کامل اجرا شده باشند تا فعالیت هایی که از رویداد خارج می شوند قابلیت شروع داشته باشند. که به این نوع ارتباط پایان به آغاز FS گویند.

انواع ارتباطات بین فعالیت ها

- بطور کلی ۴ نوع رابطه پیش نیازی بین فعالیت ها وجود دارد:
- پایان به شروع (FS) Finish to Start
- ارتباط از فعالیتی که می باید خاتمه یابد به فعالیتی که می تواند پس از خاتمه آن شروع شود.
- بدین ترتیب آغاز فعالیت پی آمد منوط به پایان فعالیت پیش نیاز است.

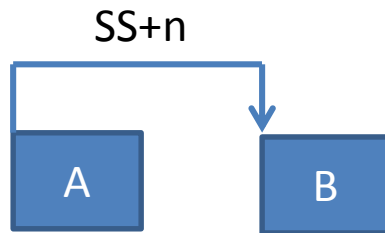


- A: قالب بندی
- B: بتن ریزی

- ارتباط می تواند همراه با یک تاخیر زمانی Lag باشد.
- $FS+n$ یعنی بین پایان فعالیت پیش آیند تا آغاز فعالیت پس آیند حداقل n واحد زمانی لازم است.

انواع ارتباطات بین فعالیت ها

- شروع به شروع (SS) Start to Start
- ارتباط از فعالیتی که می باید شروع شود به فعالیتی که می تواند پس از آغاز آن شروع شود.
- بدین ترتیب آغاز فعالیت پی آمد منوط به شروع فعالیت پیشنهاد است.

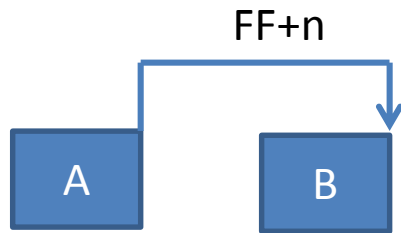


- A: سفیدکاری
- B: رنگ کاری

- $SS+n$ یعنی بین آغاز فعالیت پیش آیند تا آغاز فعالیت پس آیند حداقل n واحد زمانی لازم است.

انواع ارتباطات بین فعالیت ها

- پایان به پایان (Finish to Finish (FF
- ارتباط از فعالیتی که می باید خاتمه یابد به فعالیتی که می تواند پس از خاتمه آن پایان پذیرد.
- بدین ترتیب تکمیل فعالیت پی آمد وابسته به پایان فعالیت پیشنهاد است.



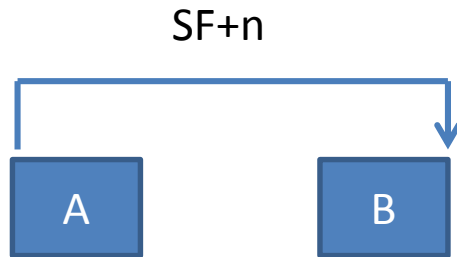
A: محوطه سازی

B: ایجاد فضای سبز

- $FF+n$ یعنی بین پایان فعالیت پیش آیند تا پایان فعالیت پس آیند حداقل n واحد زمانی لازم است.

انواع ارتباطات بین فعالیت ها

- شروع به پایان (SF) Start to Finish
- ارتباط از فعالیتی که می باید شروع شود به فعالیتی که می تواند پس از آغاز آن خاتمه یابد.
- بدین ترتیب تکمیل فعالیت پی آمد منوط به شروع فعالیت پیشنیاز است.



- A: تولید محصول جدید
- B: تبلیغات محصول قبلی

- SF+n یعنی بین آغاز فعالیت پیش آیند تا پایان فعالیت پس آیند حداقل n واحد زمانی لازم است.

مثال کاربرد روابط پیش نیازی

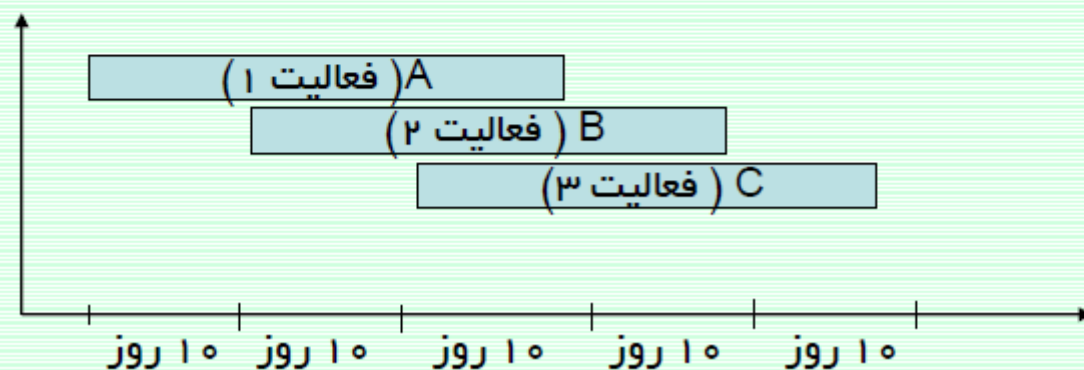
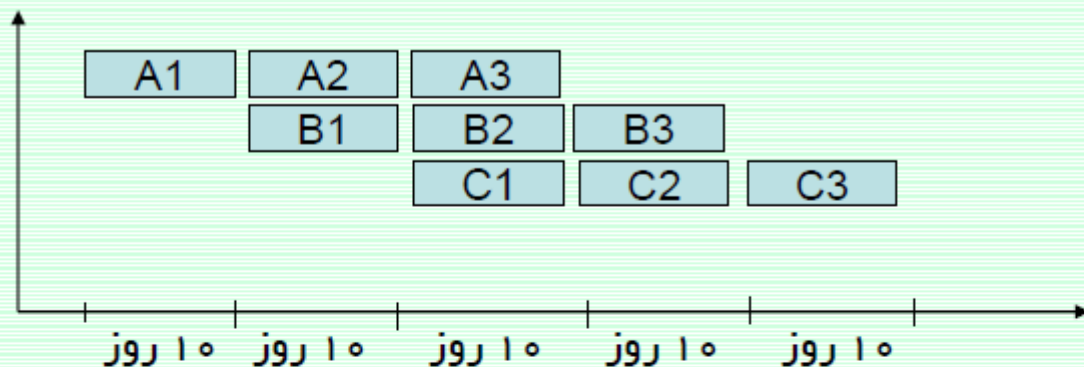
۱- رابطه FS در وابستگی ها:

- زمان ریختن بتون تا خشک شدن آن
- گچ کاری تا عملیات رنگ کاری
- دیوار کشی تا گچ کاری
- کندن کانال تا گذاردن لوله در کانال

۲- رابطه SS در وابستگی ها:

- ۳ فعالیت کندن کانال، لوله گذاری و پر کردن کانال وجود دارد.
کندن کانال (۳۰ کیلومتر) A
- لوله گذاری (۳۰ کیلومتر) B
- پر کردن کانال (۳۰ کیلومتر) C

مثال کاربرد روابط پیش نیازی



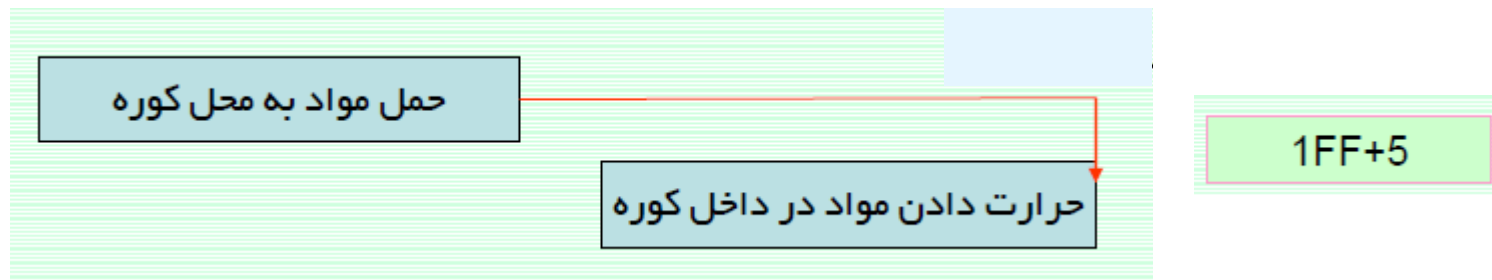
1SS+10

2SS+10

مثال کاربرد روابط پیش نیازی

۳- رابطه FF در وابستگی ها:

- فعالیت ۱ : حمل مواد به محل کوره
- فعالیت ۲ : حرارت دادن مواد در داخل کوره

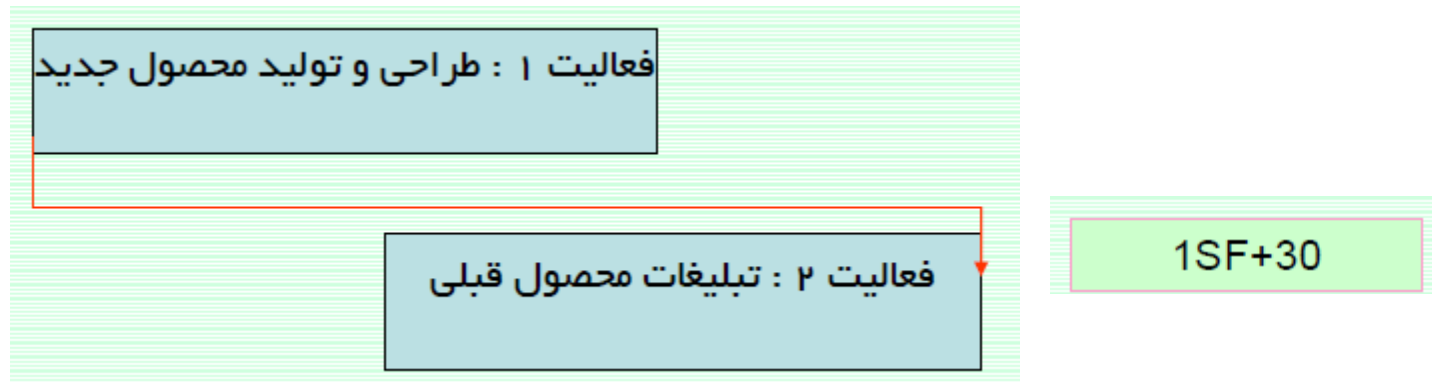


- مواد به تدریج وارد کارگاه شده و پس از رسیدن به مقدار مشخصی فعالیت ۲ یعنی حرارت دادن مواد در کوره آغاز می گردد. اگر حرارت دادن در کوره دقیقا نیاز به ۵ ساعت داشته باشد باید از انتهای فعالیت ۱ یعنی ورود کامل مواد به کارگاه تا انتهای فعالیت ۲ یعنی حرارت دادن مواد ۵ ساعت فاصله باشد.

مثال کاربرد روابط پیش نیازی

۴- رابطه SF در وابستگی ها:

- فعالیت ۱ : طراحی و تولید محصول جدید
- فعالیت ۲ : تبلیغات محصول قبلی



- تبلیغات محصول قبلی پایان نمی پذیرد مگر آنکه حداقل n روز (مثلا ۳۰ روز) از شروع طراحی و تولید محصول جدید گذشته باشد (تا تولیدات محصول قبلی به اتمام رسد)

محاسبات زمان بندی در شبکه پیش نیازی

محاسبات رفت

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

- قواعد محاسبات رفت
- گام اول:

$$ES(\text{start}) = 0$$

برای همه فعالیت های بدون فعالیت پیش نیازی
ولی به ازای تمامی فعالیت های دارای پیش نیاز

نهایتا ES برابر با حداکثر مقادیری است
که از این فرمول ها به دست آید.

نوع رابطه قبلی	نحوه محاسبه ES_B
SS_{AB}	$ES_B = ES_A + SS_{AB}$
FS_{AB}	$ES_B = EF_A + FS_{AB}$
FF_{AB}	$ES_B = EF_A + FF_{AB} - D_B$
SF_{AB}	$ES_B = ES_A + SF_{AB} - D_B$

محاسبات زمان بندی در شبکه پیش نیازی

محاسبات رفت

- گام دوم:

زودترین زمان پایان هر فعالیت به زودترین زمان آغاز همان فعالیت وابسته است

- $EF_i = ES_i + D_i$

- $T_F = \text{Max}\{EF_j\}$ حداقل زمانی است که پروژه انجام می شود.

محاسبه ESj با داشتن روابط وابستگی غیر صفر با فعالیت قبلی

نحوه محاسبه ES_B	نوع رابطه قبلی
$ES_B = ES_A + SS_{AB}$	SS_{AB}
$ES_B = EF_A + FS_{AB}$	FS_{AB}
$ES_B = EF_A + FF_{AB} - D_B$	FF_{AB}
$ES_B = ES_A + SF_{AB} - D_B$	SF_{AB}

محاسبات زمان بندی در شبکه پیش نیازی

ES _A	DA	EF _A
A		



	DB	
B		

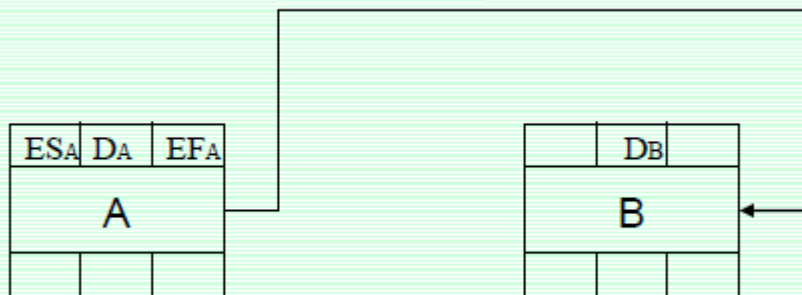
محاسبات رفت

نوع رابطه قبلی	نحوه محاسبه ES_B
SS_{AB}	$ES_B = ES_A + SS_{AB}$
FS_{AB}	$ES_B = EF_A + FS_{AB}$
FF_{AB}	$ES_B = EF_A + FF_{AB} - D_B$
SF_{AB}	$ES_B = ES_A + SF_{AB} - D_B$

Active
Go to P

محاسبات زمان بندی در شبکه پیش نیازی

محاسبات رفت

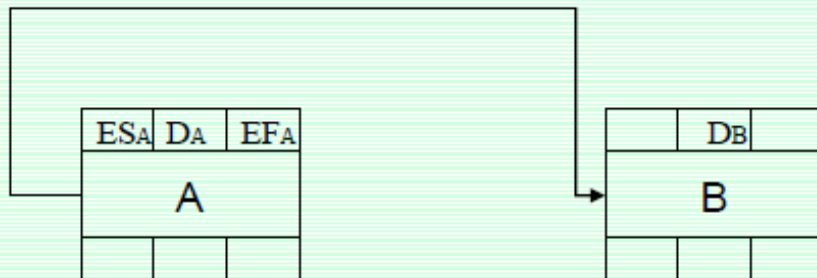


نوع رابطه قبلی	نحوه محاسبه ES_B
SS_{AB}	$ES_B = ES_A + SS_{AB}$
FS_{AB}	$ES_B = EF_A + FS_{AB}$
FF_{AB}	$ES_B = EF_A + FF_{AB} - D_B$
SF_{AB}	$ES_B = ES_A + SF_{AB} - D_B$

Activity
Go to F

محاسبات زمان بندی در شبکه پیش نیازی

$ES_B = ES_A + L_{SS}$



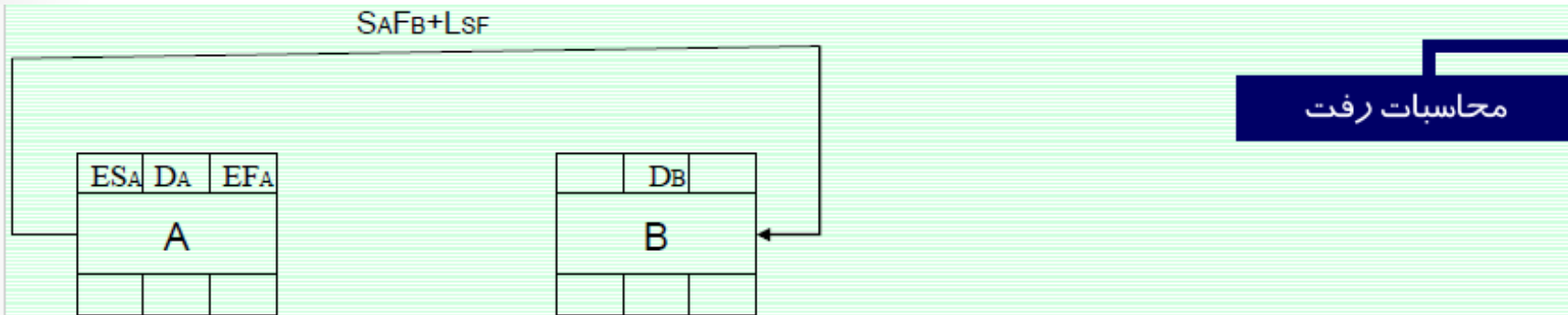
محاسبات رفت

$$ES_B = ES_B + L_{SS}$$

نوع رابطه قبلی	نحوه محاسبه ES_B
SS_{AB}	$ES_B = ES_A + SS_{AB}$
FS_{AB}	$ES_B = EF_A + FS_{AB}$
FF_{AB}	$ES_B = EF_A + FF_{AB} - D_B$
SF_{AB}	$ES_B = ES_A + SF_{AB} - D_B$

Active
Go to F

محاسبات زمان بندی در شبکه پیش نیازی



$$ES_B = ES_A + LSF - DB$$

نحوه محاسبه ES_B	نوع رابطه قبلی
$ES_B = ES_A + SS_{AB}$	SS_{AB}
$ES_B = EF_A + FS_{AB}$	FS_{AB}
$ES_B = EF_A + FF_{AB} - D_B$	FF_{AB}
$ES_B = ES_A + SF_{AB} - D_B$	SF_{AB}

محاسبات زمان بندی در شبکه پیش نیازی

محاسبات برگشت

$$\begin{aligned} \text{دیرترین زمان شروع فعالیت } i &= LSi && \text{(Latest Start)} \\ \text{دیرترین زمان پایان فعالیت } i &= LFi && \text{(Latest Finish)} \end{aligned}$$

- قواعد محاسبات برگشت

- گام اول:

$$LF(\text{finish}) = T_F$$

برای همه فعالیت های بدون فعالیت بعدی

- گام دوم:

دیرترین زمان شروع هر فعالیت به دیرترین زمان پایان همان فعالیت وابسته است

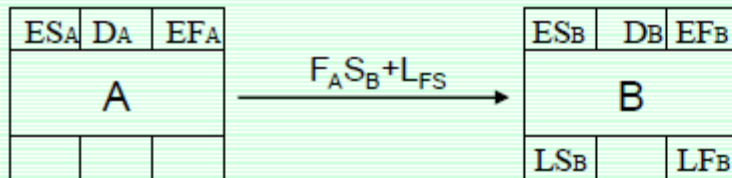
$$LSi = LFi - Di$$

محاسبه LF_j با داشتن روابط وابستگی غیر صفر با فعالیت بعدی

به ازای تمامی فعالیت های دارای پس نیاز J
نهایتاً LF برابر با حداقل مقادیری است که از فرمول های زیر به دست می آیند

نوع رابطه قبلی	نحوه محاسبه LF_A
SS_{AB}	$LF_A = LS_B - SS_{AB} + D_A$
FS_{AB}	$LF_A = LS_B - FS_{AB}$
FF_{AB}	$LF_A = LF_B - FF_{AB}$
SF_{AB}	$LF_A = LF_B - SF_{AB} + D_A$

محاسبات زمانبندی در شبکه پیش نیازی



محاسبات برگشت

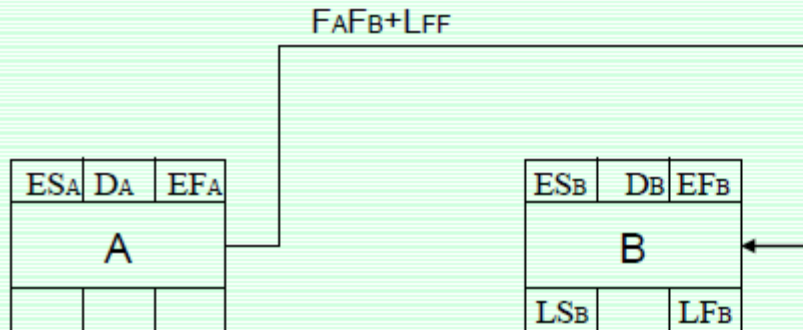
$$LF_A = LS_B - L_{FS}$$

نوع رابطه قبلی	نحوه محاسبه LF_A
SS_{AB}	$LF_A = LS_B - SS_{AB} + D_A$
FS_{AB}	$LF_A = LS_B - FS_{AB}$
FF_{AB}	$LF_A = LF_B - FF_{AB}$
SF_{AB}	$LF_A = LF_B - SF_{AB} + D_A$

Active
Go to P

محاسبات زمانبندی در شبکه پیش نیازی

محاسبات برگشت



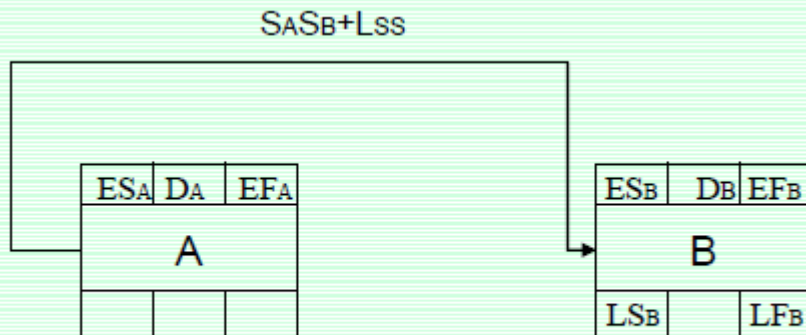
$$LF_A = LF_B - LFF$$

نحوه محاسبه LF_A	نوع رابطه قبلی
$LF_A = LS_B - SS_{AB} + D_A$	SS_{AB}
$LF_A = LS_B - FS_{AB}$	FS_{AB}
$LF_A = LF_B - FF_{AB}$	FF_{AB}
$LF_A = LF_B - SF_{AB} + D_A$	SF_{AB}

Activate Windows
Go to Settings to activate Windows.

محاسبات زمانبندی در شبکه پیش نیازی

محاسبات برگشت



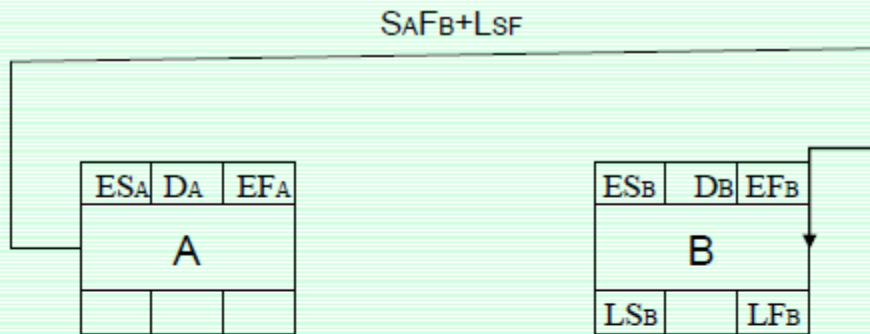
$$LF_A = LS_B - LSS + DA$$

نحوه محاسبه LF_A	نوع رابطه قبلی
$LF_A = LS_B - SS_{AB} + D_A$	SS_{AB}
$LF_A = LS_B - FS_{AB}$	FS_{AB}
$LF_A = LF_B - FF_{AB}$	FF_{AB}
$LF_A = LF_B - SF_{AB} + D_A$	SF_{AB}

Activate
Go to P

محاسبات زمانبندی در شبکه پیش نیازی

محاسبات برگشت



$$LF_A = LF_B - LSF + D_A$$

نحوه محاسبه LF_A	نوع رابطه قبلی
$LF_A = LS_B - SS_{AB} + D_A$	SS_{AB}
$LF_A = LS_B - FS_{AB}$	FS_{AB}
$LF_A = LF_B - FF_{AB}$	FF_{AB}
$LF_A = LF_B - SF_{AB} + D_A$	SF_{AB}

Active
Go to P

محاسبه شناوری کل در شبکه پیش نیازی

محاسبات رفت

- 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 تاخیر بیفتد. محاسبات فرجه کل در شبکه PN مشابه شبکه برداری است.
- اما چون در اینجا یک فعالیت را با اندیس i مشخص می کنیم، تنها اندیس فرمول های ارائه شده در روابط قبلی را باید تغییر داد، در نتیجه خواهیم داشت
 - $TF = LFi - EFi$
 - $TF = LSi - ESi$

شبکه های دارای زمان احتمالی (PERT)

شبکه های دارای زمان احتمالی PERT

Program Evaluation & Review Technique (PERT)

- در محاسبات CPM تاریخی منحصر بفرد برای تکمیل پروژه ها تعیین می شود. ولی برای استفاده کنندگان بطور ضمنی محرز است که علیرغم دقتی که در تخمین زمان ها به عمل آمده است، تاریخ تعیین شده نمی تواند قطعی باشد.
- در صورتی که پروژه ها در شرایط و محیطی اجرا شوند که عوامل موثر در تعیین سرنوشت آنها دستخوش نوسانات زیادی نباشند، می توان با روش های CPM محاسبات را انجام داد و به نتایج تقریبا قابل قبولی دست یافت.

شبکه های دارای زمان احتمالی PERT

Program Evaluation & Review Technique (PERT)

- در شرایطی و در داخل جوامعی که عوامل گوناگون اقتصادی، سیاسی، اجتماعی و ... (و مسلماً عوامل طبیعی) برخوردار از تغییراتی سریع هستند و همین طور در شرایطی که جوامع از پیشرفت های سریع فناوری برخوردارند شرایط اجرای پروژه دچار تغییر شده و مناسب است که برنامه ریزی و مشخصه های زمانی توأم با احتمال بیان شوند.
- در محاسبات PERT عامل احتمال نیز دخالت داده می شود.
- آگاهی از میزان احتمال وقوع پدیده ها مدیران و مسئولین پروژه را در تصمیم گیری ها یاری خواهد نمود.

سیستم تخمین زمان در محاسبات پرت

- در روش PERT غالباً از ۳ تخمین برای مدت زمان فعالیت استفاده می شود:
- Optimistic Time زمان خوش بینانه
- Most Likely Time زمان محتمل
- Pessimistic Time زمان بد بینانه

سیستم سه زمانه در دامنه ۰ تا ۱۰۰

• t_O یا زمان خوش بینانه عبارت است از حداقل زمانی که یک فعالیت در شرایط یکسان صرف خواهد نمود.

• t_m زمان محتمل عبارت است از آن مقدار زمانی که از حداکثر فراوانی در تابع توزیع زمان برخوردار می باشد.

• t_P زمان بد بینانه عبارت است از حداکثر زمانی که یک فعالیت در شرایط یکسان صرف خواهد نمود.

• در سیستم سه زمانه با دامنه ۰ تا ۱۰۰ (اگر اعداد t_O و t_P در دو انتهای منحنی قرار گرفته و در نتیجه کل مساحت زیر منحنی را بین خود جای دهند فاصله بین آنها تقریباً ۶ برابر انحراف معیار منحنی توزیع خواهد بود.

$$t_P - t_O = 6S \quad S = \frac{t_P - t_O}{6}$$

سیستم سه زمانه در دامنه ۰ تا ۱۰۰

- مقدار میانگین، یا زمان مورد انتظار فعالیت ($t = t_e$) نیز با استفاده از یک فرمول میانگین حسابی با وزن W برای مقدار t_m قابل محاسبه است.

$$\bar{t} = t_e = \frac{t_O + W t_m + t_P}{2 + W}$$

- با انتخاب اعداد بزرگتری برای W ، زمان مورد انتظار به زمان محتمل نزدیکتر خواهد شد. انتخاب عدد $W=4$ در تجربه نتایج قابل قبولی ارائه کرده که در اینجا نیز از آن استفاده می شود.

$$t_e = \frac{t_O + 4t_m + t_P}{6}$$

- بدیهی است اگر اعداد t_O و t_P نسبت به t_m در فواصل مساوی قرار گرفته باشند انتخاب هر عددی برای W نتیجه یکسان خواهد داد.

سیستم سه زمانه در دامنه ۵ تا ۹۵

• t_O یا زمان خوش بینانه عبارت است از آن مقدار زمانی که فقط در ۵ درصد از موارد ممکنست یک فعالیت در شرایط یکسان، کمتر از این مقدار زمان را صرف کند.

• t_m زمان محتمل عبارت است از آن مقدار زمانی که از حداکثر فراوانی در تابع توزیع زمان برخوردار می باشد.

• t_P زمان بد بینانه عبارت است از آن مقدار زمانی که فقط در ۵ درصد از موارد ممکنست یک فعالیت در شرایط یکسان، کمتر از این مقدار زمان را صرف کند.

• در سیستم سه زمانه با دامنه ۵ تا ۹۵ (اگر اعداد t_O و t_P به ترتیب در نقاط ۵ درصد و ۹۵ درصد منحنی قرار گیرند فاصله بین آنها تقریباً $3/2S$ خواهد بود.

$$t_P - t_O = 3/2S \quad S = \frac{t_P - t_O}{3/2}$$

سیستم سه زمانه در دامنه ۵ تا ۹۵

• مقدار میانگین، یا زمان مورد انتظار فعالیت ($t = t_e$)

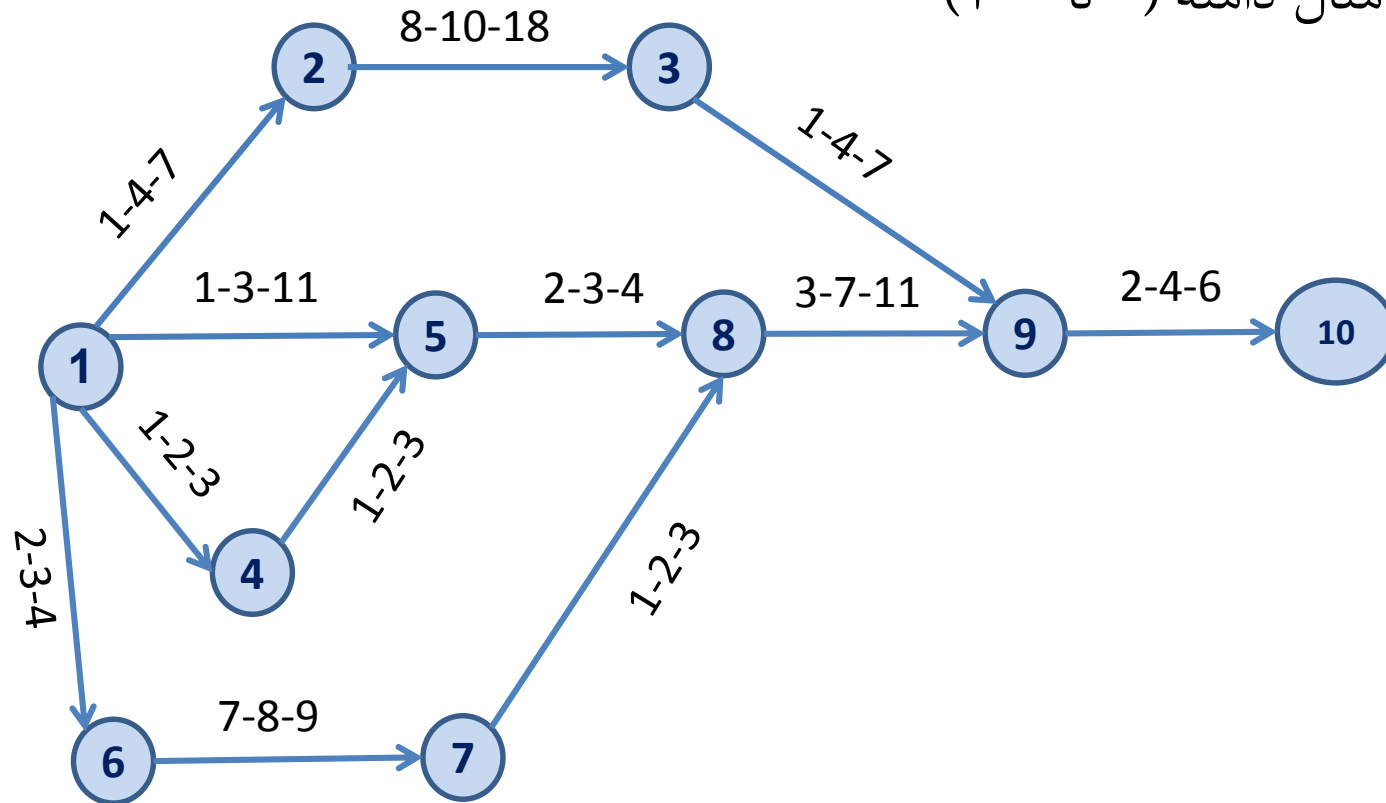
$$t_e = \frac{t_O + 4t_m + t_P}{6}$$

محاسبات شبکه های دارای زمان احتمالی PERT

- پس از محاسبات زمان های مورد انتظار t_e برای فعالیت ها محاسبات بر روی شبکه های پرت همانند شبکه CPM انجام می شود و با جایگزینی اعداد t_e به جای زمان های تخمین زده شده D در محاسبا CPM، حرکات پیشروی و بازگشتی بر روی شبکه انجام شده و بدین وسیله زمان های مورد انتظار برای وقوع رویدادهای شبکه و در نتیجه برای تاریخ تکمیل پروژه محاسبه می شوند.

محاسبات شبکه های دارای زمان احتمالی PERT

• مثال دامنه (۰ تا ۱۰۰)



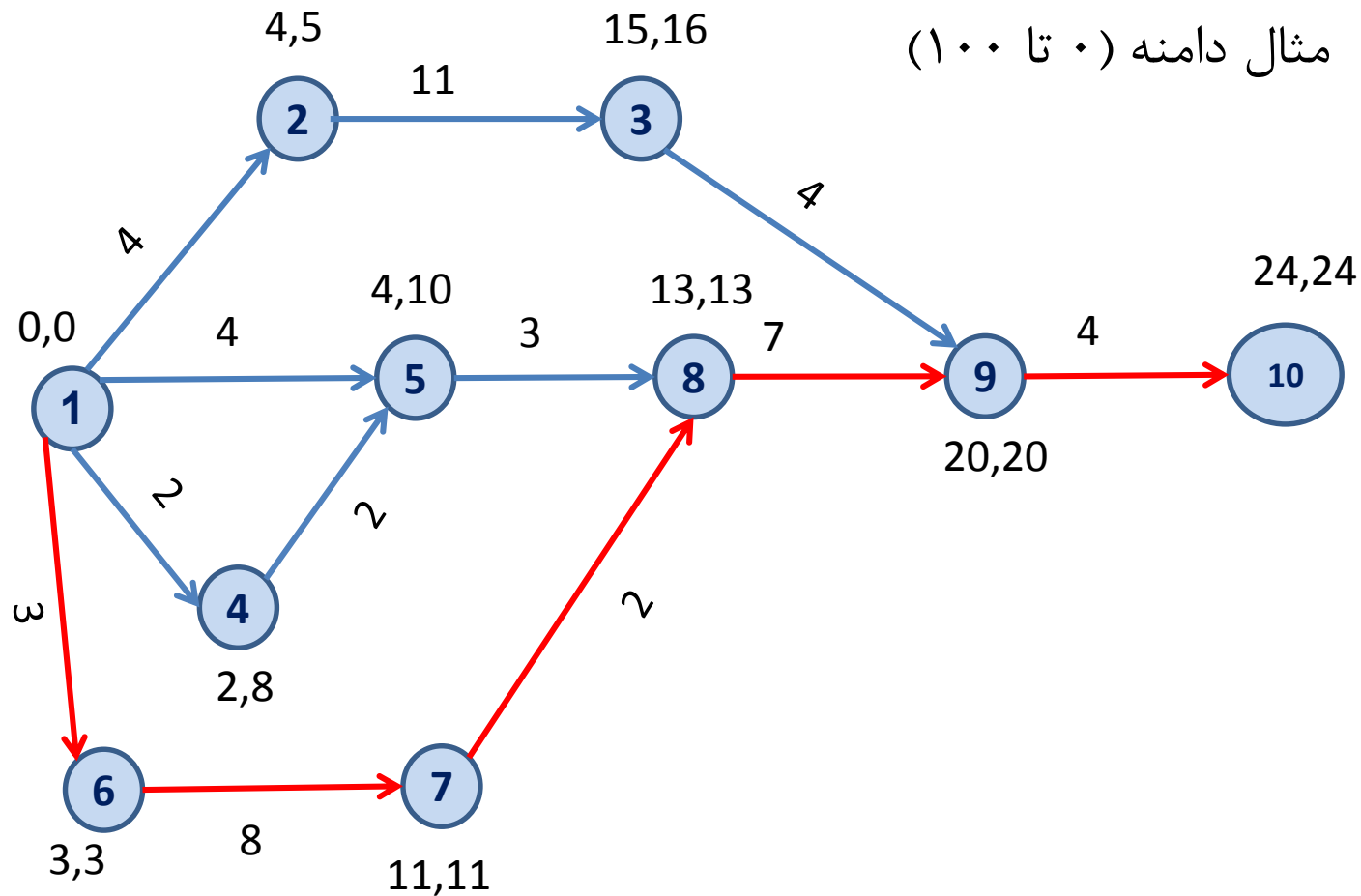
محاسبات شبکه های دارای زمان احتمالی PERT

● مثال دامنه (۰ تا ۱۰۰)

فعالیت	t_o	t_m	t_P	t_e	S	S^2
1-2	1	4	7	4	1	1
2-3	8	10	18	11	5/3	25/9
1-4	1	2	3	2	1/3	1/9
1-5	1	3	11	4	5/3	25/9
4-5	1	2	3	2	1/3	1/9
1-6	2	3	4	3	1/3	1/9
6-7	7	8	9	8	1/3	1/9
5-8	2	3	4	3	1/3	1/9
7-8	1	2	3	2	1/3	1/9
3-9	1	4	7	4	1	1
8-9	3	7	11	7	4/3	16/9
9-10	2	4	6	4	2/3	4/9

محاسبات شبکه های دارای زمان احتمالی PERT

● مثال دامنه (۰ تا ۱۰۰)



محاسبات شبکه های دارای زمان احتمالی PERT

- مثال دامنه (۰ تا ۱۰۰)
- مسیر بحرانی عبارتست از 1-6-7-8-9-10
- زمان مورد انتظار برای تکمیل پروژه عبارتست از:

$$t_e = 3 + 8 + 2 + 7 + 4 = 24$$

- مقدار واریانس رویداد پایانی شبکه :

$$V_T = S_T^2 = S_{1-6}^2 + S_{6-7}^2 + S_{7-8}^2 + S_{8-9}^2 + S_{9-10}^2 =$$

$$\frac{1}{9} + \frac{1}{9} + \frac{1}{9} + \frac{16}{9} + \frac{4}{9} = \frac{23}{9}$$

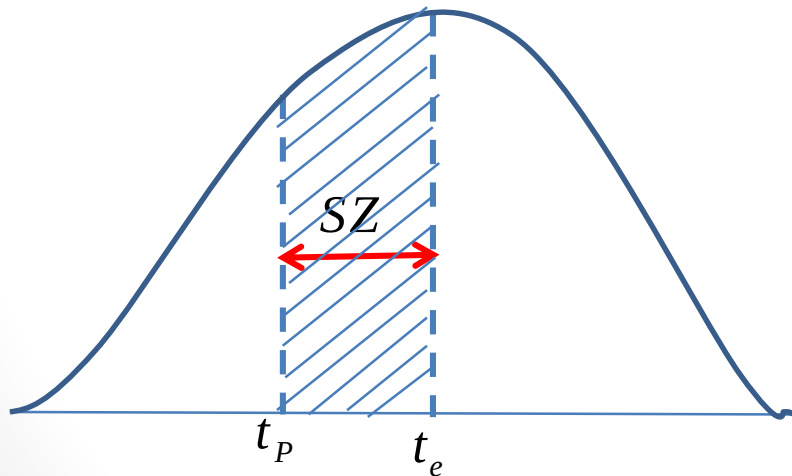
$$S_T = \sqrt{S^2} = \sqrt{\frac{23}{9}} = 1.6$$

مقادیر احتمال و سطوح اطمینان

- در شکل زیر زمان مورد نظر (یا زمان برنامه ریزی شده) با t_e نشان داده شده است در صورتی که تعداد انحراف معیارهای بین فاصله t_e تا t_p را Z بنامیم داریم:

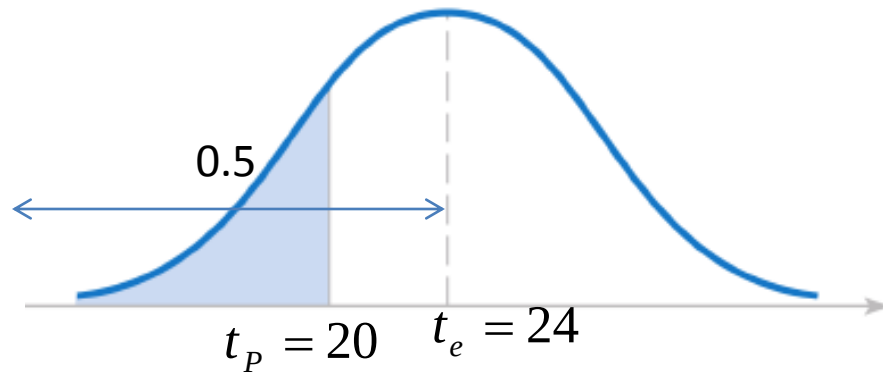
$$SZ = t_e - t_p$$

$$Z = \frac{t_e - t_p}{S}$$



مقادیر احتمال و سطوح اطمینان

- در مثال قبل احتمال اینکه بتوان پروژه را در حداکثر ۲۰ واحد زمانی تکمیل نمود چقدر است؟



$$Z = \frac{t_e - t_p}{S} = \frac{24 - 20}{1/6} = 2.5$$

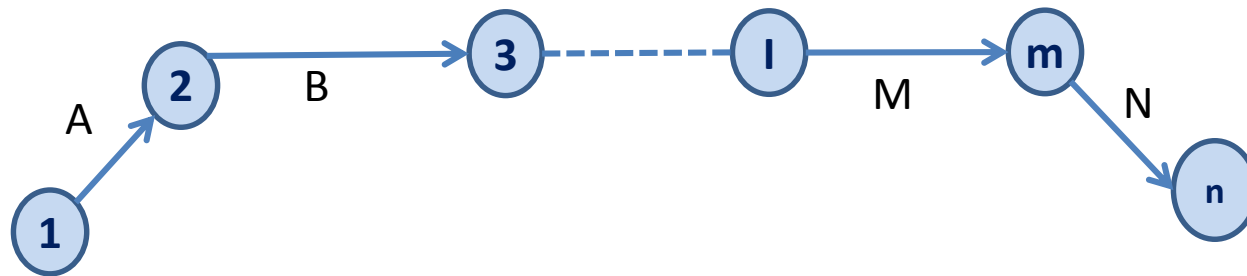
- طبق جدول نرمال مساحت محصور بین t_p و t_e برابر ۰/۴۹۳۸ است بنابراین قسمت رنگی منحنی برابر است با:

$$P(T \leq 20) = 0.5 - 0.4938 = 0.0062$$

$$P(T \leq 20) = 0.62\%$$

واریانس رویدادهای داخلی شبکه

- واریانس تاریخ وقوع رویداد پایانه شبکه، در حقیقت واریانس تاریخ اختتام پروژه است.
- علاوه بر رویداد پایانه ممکن است لازم باشد تاریخ وقوع و واریانس در تاریخ وقوع رویدادهای مهم داخلی شبکه نیز محاسبه گردند.



- بر اساس قضیه حد مرکزی داریم:

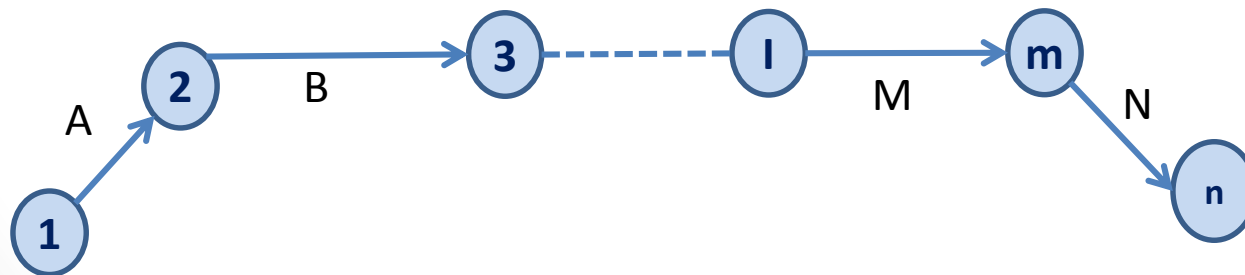
$$\begin{aligned} S_n^2 &= S_{1-2}^2 + S_{2-3}^2 + \dots + S_{l-m}^2 + S_{m-n}^2 \\ &= S_A^2 + S_B^2 + \dots + S_M^2 + S_N^2 \end{aligned}$$

با حذف جمله آخر سمت راست تساوی اولی، جمله های مانده، در جمع برابر با واریانس رویداد m می باشند. بنابراین:

واریانس رویدادهای داخلی شبکه

$$S_n^2 = S_m^2 + S_{m-n}^2$$

- به عبارت دیگر:
- واریانس یک رویداد برابر با جمع واریانس رویداد قبلی و واریانس فعالیتی که این دو رویداد را به هم وصل کرده می باشد.
- در صورتی که بیش از یک فعالیت به رویدادی می رسند (رویدادهای پوششی) بزرگترین جمعی که از این طریق به دست می آید به عنوان واریانس رویداد انتخاب می شود.



احتمال شرطی وقوع رویدادها

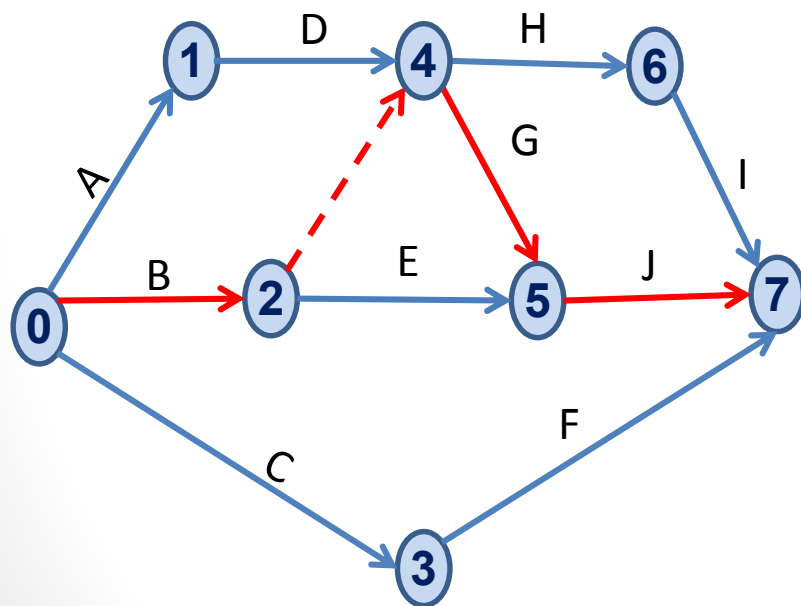
- در محاسبات واریانس رویداد پایانه و رویداده ای داخلی شبکه فرض بر آن بود که رویداد آغازین در تاریخ معینی (مثلا صفر یا یک) به وقوع می پیوندد به عبارت دیگر تاریخ آغاز پروژه مشخص و غیرقابل تغییر است. بنابراین در محاسبات واریانس رویداد پایانه و سایر رویدادها، واریانس رویداد آغازین صفر در نظر گرفته می شود.
- علاوه بر این ممکن است در پروژه ای لازم باشد رویدادهای قابل اهمیتی که در شبکه وجود دارند، در تاریخ معین و غیرقابل تغییری به وقوع بپیوندند.
- واضح است که در این حالت واریانس این رویداد ها برابر صفر است و این امر به واریانس رویدادهای قبلی آنها بستگی ندارد ولی بر واریانس رویداد های بعدی تاثیر می گذارد.

مثال

• با توجه به اطلاعات داده شده

(الف) احتمال وقوع رویداد ۷ در تاریخ ۳۹ یا قبل از آن را محاسبه کنید

(ب) قسمت الف را در صورتی که تاریخ وقوع رویداد ۴ به طور مشخص در تاریخ ۲۰ باشد مجدد محاسبه کنید.



S	t_e	فعالیت	S	t_e	فعالیت
	4	F		4	A
0.8	8	G	0.9	20	B
	3	H		4	C
	5	I		2	D
0.6	12	J		2	E

احتمال شرطی وقوع رویدادها

- مسیر بحرانی ۰-۲-۴-۵-۷ و زمان آن (زمان مورد انتظار تکمیل پروژه) برابر با $۲۰+۸+۱۲=۴۰$ است.

$$P(T_7 \leq 39) = ?$$

● الف)

$$S_7 = S_T = \sqrt{S_B^2 + S_G^2 + S_J^2} = \sqrt{0.9^2 + 0.8^2 + 0.6^2} = 1.345$$

$$Z = \frac{T_e - T_P}{S} = \frac{40 - 39}{1.345} = 0.743$$

$$P(T_7 \leq 39) = 0.5 - 0.2713 = 0.2287 = 22.87\%$$

احتمال شرطی وقوع رویدادها

- (ب) اگر رویداد ۴ در تاریخ ۲۰ به وقوع بپیوندد
- زمان مورد انتظار برای تکمیل پروژه:

$$T = T_4 + T_{e_{4-5}} + T_{e_{5-7}} = 20 + 8 + 12 = 40$$

$$S_7 = \sqrt{S_4^2 + S_{4-5}^2 + S_{5-7}^2} = \sqrt{0 + 0.8^2 + 0.6^2} = 1$$

$$Z = \frac{T_e - T_P}{S} = \frac{40 - 39}{1} = 1$$

$$P(T_7 \leq 39 \mid T_4 = 20) = 0.5 - 0.3413 = 0.1587 = 15.87\%$$

- که نسبت به حالت الف که در حالت عدم وجود شرط بخصوصی برای رویدادهای داخلی شبکه به دست آمد کوچکتر است.

خطا در محاسبات پرت

- در محاسبات پرت برای تعیین واریانس رویداد پایانه، واریانس مسیر بحرانی (طولانی ترین مسیر) محاسبه می شود
- در شبکه پرت اصولاً نمی توان گفت که یک مسیر حتماً بحرانی است یا اینکه بعضی از مسیرها به هیچ وجه نمی توانند بحرانی باشند.
- در شبکه پرت وقتی که از مسیر طولانی تر صحبت می کنیم منظور مسیری است که انتظار می رود طولانی تر باشد.
- موارد زیر میزان اشتباه در تعیین مسیر بحرانی (طولانی ترین مسیر) را افزایش می دهد.

۱- بالا بودن انحراف معیار بر روی سایر مسیرها (پخش شدگی زمان)

۲- زیاد بودن تعداد فعالیت هایی که به یک رویداد می رسند

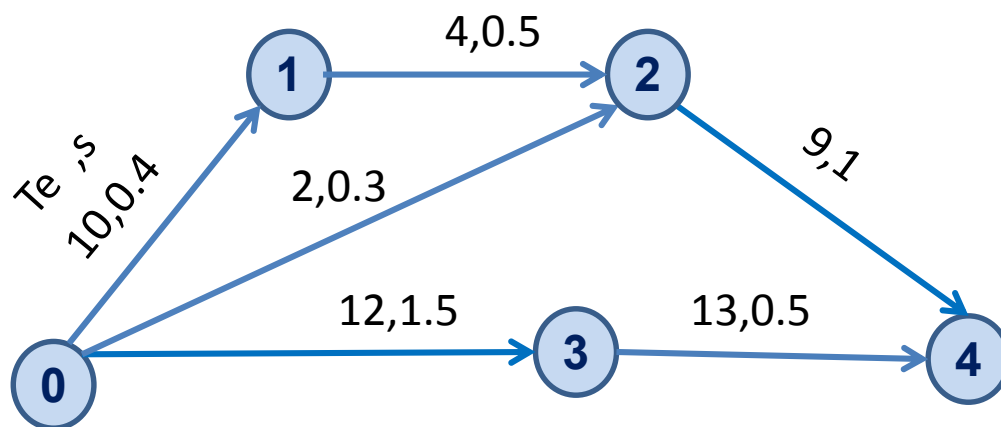
۳- زیاد بودن تعداد مسیرهای موازی در شبکه

خطا در محاسبات پرت

- طبق یک قانون ساده: در صورتی که تفاوت بین مقادیر متوسط زمان (زمان های مورد انتظار) برای دو مسیر که به یک رویداد می رسند، از مقدار انحراف معیار هر یک از این دو مسیر بزرگتر باشد، مقدار خطا قابل اغماض خواهد بود.
- در شرایطی که بیش از دو مسیر به یک رویداد می رسند، این موضوع در مورد دو مسیری که طولانی ترین زمان های مورد انتظار (میانگین) را دارند قابل بررسی می باشد.

مثال

• خطا در شبکه زیر را بررسی کنید.



مثال

• با توجه به مقادیر زمان و واریانس داده شده در شکل داریم:

$$t_{e_{0-1-2-4}} = 23$$

$$t_{e_{0-2-4}} = 11$$

$$t_{e_{0-3-4}} = 25$$

• دو مسیر بزرگتر عبارتند از :

۰-۱-۲-۴ و ۰-۳-۴

$$S_{0-3-4} = \sqrt{0.5^2 + 1.5^2} = 1.58$$

$$S_{0-1-2-4} = \sqrt{0.4^2 + 0.5^2 + 1^2} = 1.19$$

$$\text{Max} \{1.58, 1.19\} = 1.58$$

$$1.58 < t_{e_{0-3-4}} - t_{e_{0-1-2-4}} = 25 - 23 = 2$$

✓ خطا قابل اغماض است

شبیه سازی مونت کارلو

- در شرایطی که میزان خطا قابل چشم پوشی نباشد، روشن است که انجام محاسبات شبکه های پرت مطابق آنچه گفته شد اطمینان کافی را به برنامه ریز نخواهد داد.
- در این شرایط به جای انجام محاسبات معمولی پرت بر روی شبکه مناسب تر است که از روش های شبیه سازی برای حل شبکه ها استفاده شود.
- در روش مونت کارلو محاسبات مربوط به زمان مورد انتظار و انحراف معیار در زمان مورد انتظار برای تکمیل پروژه (یا برای رویدادهای مهم شبکه) به صورت تجربی انجام می گیرد.
- به این معنی که با ساخت مدل های ریاضی، زمان لازم برای اجرای هر فعالیت به صورت تصادفی و با توجه به تابع توزیع زمانی آن تعیین می شود.
- سپس محاسبات به صورت معمول برای شبکه های CPM بر روی شبکه پرت انجام و تاریخ تکمیل پروژه تعیین می شود.

شبیه سازی مونت کارلو

- نکته اساسی و مهم در روش های شبیه سازی آن است که به جای انجام محاسبات در یک دور، زمان های فعالیت ها به دفعات بسیار زیاد به صورت تصادفی تعیین و هر بار با انجام محاسبات تاریخ خهایی مربوطه تعیین می شوند.
- و در نهایت تاریخ مورد انتظار برای تکمیل پروژه از محاسبه میانگین تاریخ هایی که در هر دور از محاسبات به دست آمده اند تعیین می گردد.
- در شبیه سازی مونت کارلو با توجه به اینکه زمان های اختصاص داده شده به هر فعالیت در دوره های مختلف با یکدیگر متفاوت هستند بنابراین مسیر های بحرانی نیز که در دوره های مختلف محاسبات تعیین می شوند ممکن است با یکدیگر متفاوت باشند.
- بنابراین یکی از مزایای این روش اینست که به جای مشخص کردن یک مسیر بحرانی برای یک شبکه (که همواره نمی تواند قابل اطمینان باشد) سطح احتمال اینکه هر یک از فعالیت های پروژه بحرانی شوند را مشخص می نماید.

کاربرد شبیه سازی مونت کارلو

- برای شبیه سازی مونت کارلو طبق گام های زیر عمل می کنیم:
 - ابتدا یک شبکه پرت با n فعالیت (که برای همگی فعالیت های آن آمار زمانی لازم جهت تهیه هیستوگرام توزیع زمانی مربوط به آن فعالیت موجود است) را در نظر می گیریم. (لازم است شبیه سازی را برای N دور، شبیه سازی نموده و نتایج حاصله را تجزیه و تحلیل کنیم.
- ۱- هیستوگرام تجمعی تابع توزیع زمانی را برای هر فعالیت را رسم می کنیم.
 - ۲- برای هر دور شبیه سازی n عدد تصادفی انتخاب می کنیم.
 - ۳- اولین عدد تصادفی انتخاب شده را برای فعالیت اولی، دومین عدد تصادفی را برای فعالیت دومی، به کار گرفته و بدین ترتیب یک سری زمانی تصادفی برای n فعالیت شبکه به دست می آوریم.
 - ۴- زمان های به دست آمده را روی شبکه اضافه کرده و با محاسبات معمول CPM زمان کل پروژه و فعالیت های بحرانی را مشخص می کنیم.

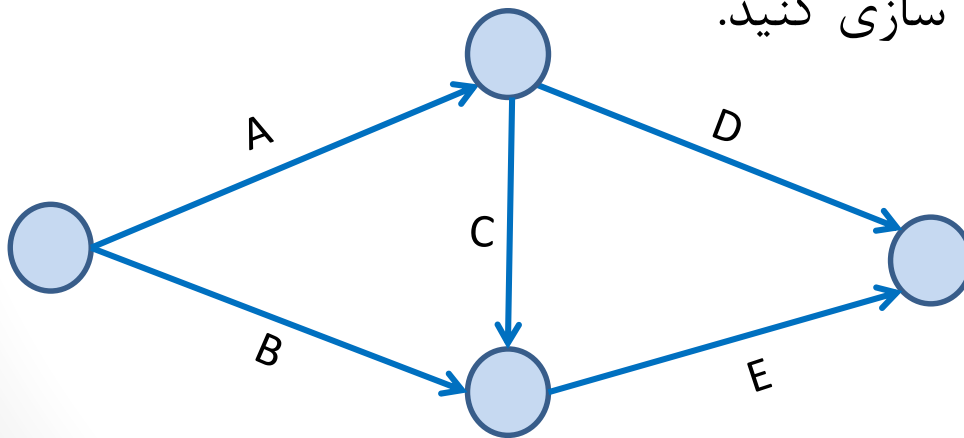
کاربرد شبیه سازی مونت کارلو

۵- عملیات قدم های ۲ تا ۴ را تکرار می کنیم (این عملیات به تعداد N دفعه تکرار می شوند)

۶- نتایج به دست آمده از عملیات ۱ تا ۵ را در جدولی قرار داده و مطابق مثال زیر تجزیه و تحلیل می کنیم.

مثال:

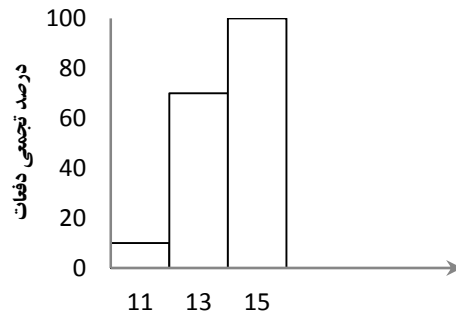
شبکه زیر را برای $N=4$ شبیه سازی کنید.



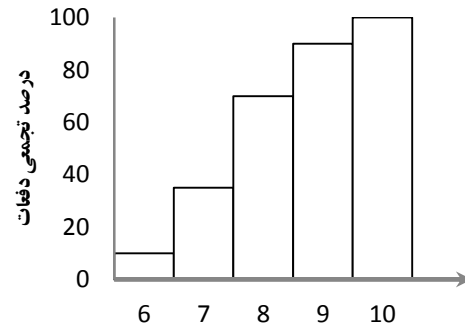
کاربرد شبیه سازی مونت کارلو

- هیستوگرام های تجمعی توزیع زمانی فعالیت های شبکه برا اساس آمار توزیع زمانی هر فعالیت که در دسترس است مطابق زیر است.

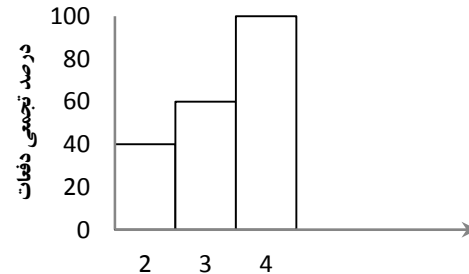
B



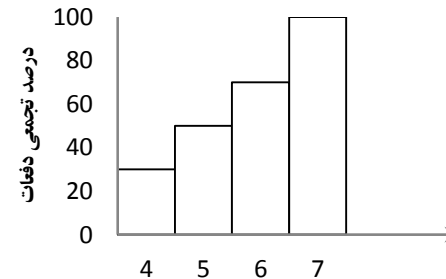
A



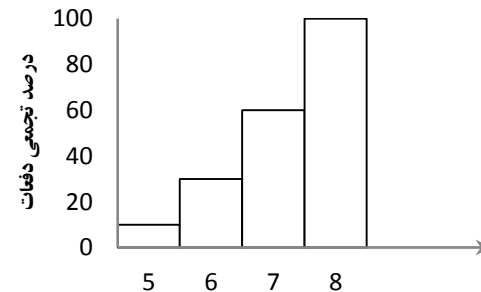
D



C



E

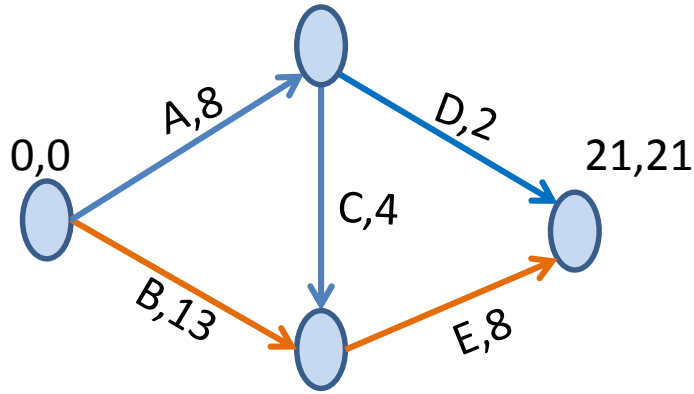


کاربرد شبیه سازی مونت کارلو

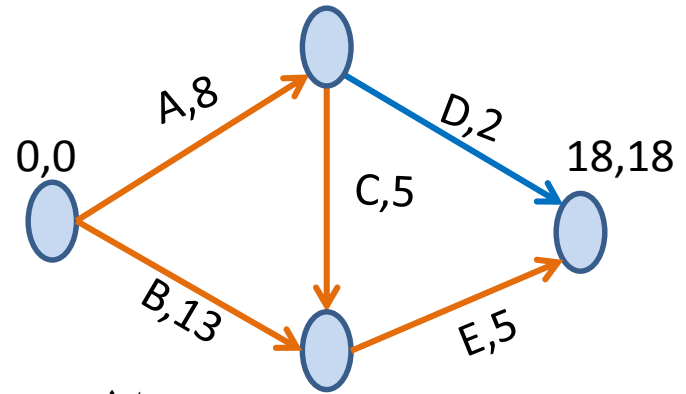
- اعداد تصادفی از دو رقم سمت چپ اعداد واقع در ستون اول سمت چپ جدول پیوسته انتخاب شده اند.

فعالیت						دور
E	D	C	B	A		
۰۳	۳۰	۴۵	۲۴	۵۱	عدد تصادفی	اول
۵	۲	۵	۱۳	۸	زمان	
۹۱	۲۱	۰۹	۱۵	۶۴	عدد تصادفی	دوم
۸	۲	۴	۱۳	۸	زمان	
۵۴	۸۵	۲۷	۰۷	۵۰	عدد تصادفی	سوم
۷	۴	۴	۱۱	۸	زمان	
۵۳	۶۲	۳۹	۰۸	۶۵	عدد تصادفی	چهارم
۷	۴	۵	۱۱	۸	زمان	

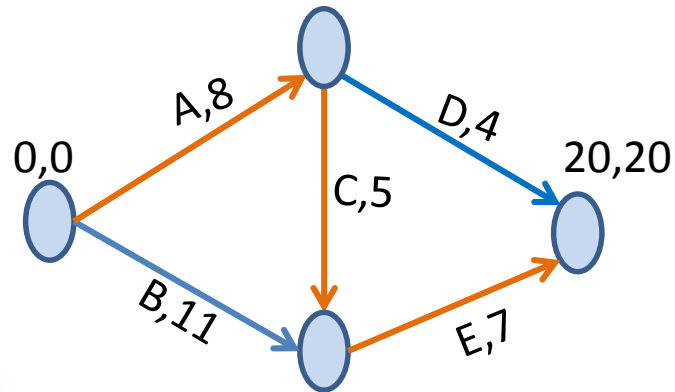
کاربرد شبیه سازی مونت کارلو



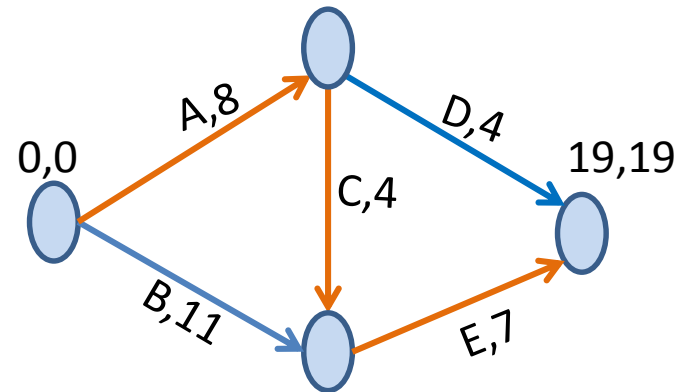
دور دوم



دور اول



دور چهارم



دور سوم

کاربرد شبیه سازی مونت کارلو

- میانگین زمان (زمان مورد انتظار) برای تکمیل پروژه یا مقدار متوسط طول زمانی مسیر بحرانی، از فرمول زیر به دست می آید.

- $$\bar{T} = \frac{\sum_{i=1}^N T_i}{N}$$
 میانگین زمان

T_i عبارت است از زمان به دست آمده در شبیه سازی در دور i

$$\bar{T} = \frac{\sum_{i=1}^N T_i}{N} = \frac{18 + 21 + 19 + 20}{4} = 19.5$$

کاربرد شبیه سازی مونت کارلو

$$S_T = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (T_i - \bar{T})^2}{N - 1}}$$

زمان شبکه	مسیر بحرانی	E	D	C	B	A	شماره دور
18	A-C-E,B-E	5	2	5	13	8	اول
21	B-E	8	2	4	13	8	دوم
19	A-C-E	7	4	4	11	8	سوم
20	A-C-E	7	4	5	11	8	چهارم
19.5	متوسط زمان شبکه	%100	%0	%75	%50	%75	درصد دفعات بحرانی

$$S_T = \sqrt{\frac{(19.5 - 18)^2 + (19.5 - 21)^2 + (19.5 - 19)^2 + (19.5 - 20)^2}{4 - 1}} = 1.29$$

شبکه های دارای فعالیت های احتمالی (GERT)

شبکه های دارای فعالیت های احتمالی GERT

Graphical Evaluation & Review Technique (GERT)

- در برنامه ریزی و اجرای یک پروژه، علاوه بر عامل زمان که می تواند معین نبوده بلکه تابع احتمال باشد، پارامترهای زیاد دیگری نیز وجود دارند که پیش بینی دقیق آنها در فاز برنامه ریزی امکان پذیر نیست.
- ممکن است در حین اجرای پروژه، انجام بعضی از فعالیت ها، الزامی تشخیص داده شود ولی در زمان برنامه ریزی و قبل از شروع عملیات اجرایی، به طور یقین نتوان بیان کرد که اجرای چنین فعالیتی در این پروژه الزامی است.
- در عمل در بسیاری از مراحل ممکن است لزوم یا عدم لزوم اجرای یک فعالیت بستگی به انجام و نتیجه فعالیت های ماقبل آن داشته باشد.
- برای تولید یک محصول جدید، لازم است قبل از تولید محصول به تعداد زیاد، یک نمونه یا مدل از محصول مورد نظر ساخته شده و مورد آزمایش قرار گیرند. در صورتی که نتایج رضایت بخش باشند می توان به تعداد انبوه تولید کرد، ولی در صورت عدم رضایت باید مدل را تغییر داد. فعالیت مربوط به تغییرات در طرح مدل، در زمان برنامه ریزی پروژه تولید محصول جدید جنبه احتمالی دارد و فقط بعد از آزمایش می توان لزوم یا عدم لزوم آن را بطور قطعی بیان بیان نمود.

شبکه های دارای فعالیت های احتمالی GERT

Graphical Evaluation & Review Technique (GERT)

- در برنامه ریزی و اجرای یک پروژه، علاوه بر عامل زمان که می تواند معین نبوده بلکه تابع احتمال باشد، پارامترهای زیاد دیگری نیز وجود دارند که پیش بینی دقیق آنها در فاز برنامه ریزی امکان پذیر نیست.
- ممکن است در حین اجرای پروژه، انجام بعضی از فعالیت ها، الزامی تشخیص داده شود ولی در زمان برنامه ریزی و قبل از شروع عملیات اجرایی، به طور یقین نتوان بیان کرد که اجرای چنین فعالیتی در این پروژه الزامی است.
- در عمل در بسیاری از مراحل ممکن است لزوم یا عدم لزوم اجرای یک فعالیت بستگی به انجام و نتیجه فعالیت های ماقبل آن داشته باشد.
- برای تولید یک محصول جدید، لازم است قبل از تولید محصول به تعداد زیاد، یک نمونه یا مدل از محصول مورد نظر ساخته شده و مورد آزمایش قرار گیرند. در صورتی که نتایج رضایت بخش باشند می توان به تعداد انبوه تولید کرد.

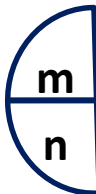
اصول کاربرد شبکه های گرت

- در شبکه های معمولی CPM همگی خروجی های یک رویداد باید الزاماً عملی می شدند. در صورتی که در شبکه گرت خروجی ها می توانند احتمالی باشند و همه ی آنها لازم نیست که اجرا شوند.
- همچنین برای اینکه امکان شروع فعالیت خروجی رویداد، فراهم شود تکمیل شدن یکی از فعالیت های ورودی کافی خواهد بود در صورتی که در شبکه های CPM لازم بود همگی فعالیت های ورودی تکمیل شوند تا فعالیت های خروجی رویداد قابل شروع شدن باشند.
- شبکه های گرت امکان تشکیل حلقه دارند ولی در شبکه های CPM این امکان وجود نداشت. با توجه به وجود حلقه در شبکه های گرت، هر فعالیت امکان چند بار تکرار شدن را دارد.
- و نیز بعضی از فعالیت های نشان داده شده در شبکه، ممکن است اصلاً اجرا نشوند.

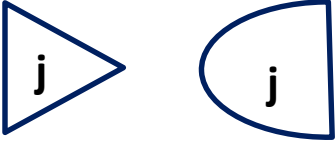
علائم و اختصارات در شبکه های گرت

- یک رویداد را وقتی می گوئیم رسمی شده یا رسمیت یافته که رویداد در شرایطی باشد که فعالیت های خروجی آن قابل آغاز شدن باشند.
- چون در یک شبکه گرت یک فعالیت ممکن است به دفعات تکرار شوند، بنابراین عبارت تکمیل شدن m فعالیت ورودی به این معنی نیست که m فعالیت مختلف تکمیل شده اند بلکه ممکن است مثلاً یک فعالیت برای m بار تکرار شده باشد.
- وجود حرف A مشخص می کند که m فعالیت تکمیل شده الزاماً باید متفاوت باشند.
- وجود حرف H بیانگر این نکته است که به محض رسمی شدن رویداد، تمام فعالیت های ورودی متوقف می شوند.

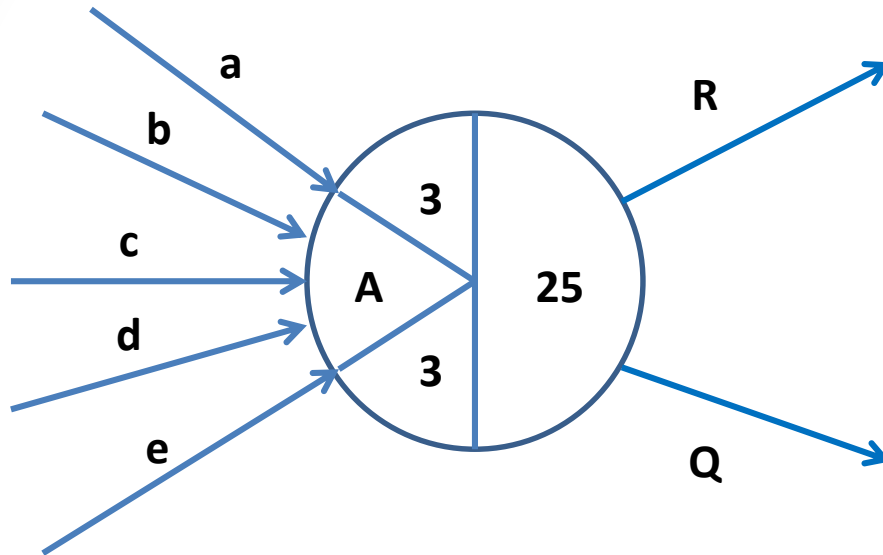
علائم و اختصارات در شبکه های گرت

علامت	معنی
	در اولین بار، رویداد، بعد از تکمیل شدن m فعالیت ورودی، رسمی می شود. در دفعات بعدی، برای رسمی شدن رویداد، لازم است n فعالیت ورودی تکمیل شوند.
	در اولین بار، رویداد، بعد از تکمیل شدن m فعالیت مختلف ورودی ، رسمی می شود. در دفعات بعدی، برای رسمی شدن رویداد، لازم است n فعالیت مختلف ورودی تکمیل شوند.
	در اولین بار، رویداد، بعد از تکمیل شدن m فعالیت ورودی، رسمی می شود. به محض رسمی شدن رویداد، تمام فعالیت های ورودی متوقف می شوند. در دفعات بعدی، برای رسمی شدن رویداد، لازم است n فعالیت ورودی تکمیل شوند. با رسمی شدن رویداد، تمام فعالیت های ورودی متوقف می شوند.
	در اولین بار، رویداد، بعد از تکمیل شدن m فعالیت مختلف ورودی ، رسمی می شود. به محض رسمی شدن رویداد، تمام فعالیت های ورودی متوقف می شوند. در دفعات بعدی، برای رسمی شدن رویداد، لازم است n فعالیت مختلف ورودی تکمیل شوند. با رسمی شدن رویداد، تمام فعالیت های ورودی متوقف می شوند.

علائم و اختصارات در شبکه های گرت

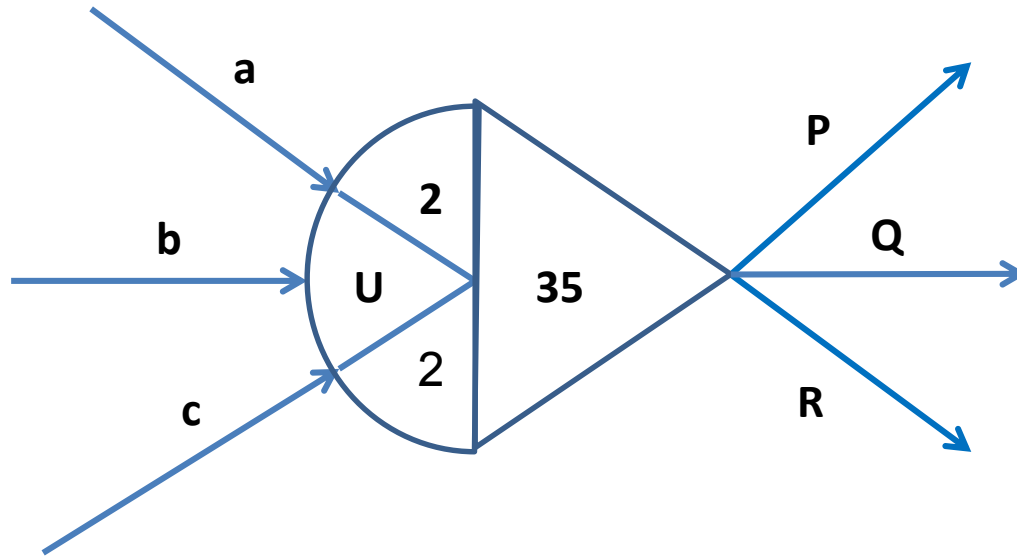
علامت	معنی
	رویداد با خروجی معین: با رسمی شدن رویداد، همگی فعالیت های خروجی از رویداد، الزاما اجرا می شوند.
	رویداد با خروجی احتمالی: با رسمی شدن رویداد، یکی و فقط یکی از فعالیت های خروجی از رویداد، اجرا می شوند.

علائم و اختصارات در شبکه های گرت



- رسمی شدن رویداد ۲۵ برای اولین بار و برای بارهای بعدی احتیاج به اجرا شدن سه فعالیت مختلف از بین فعالیت های ورودی دارد. مثلا اجرا شدن a, b, c یا b, d, e
- با رسمی شدن رویداد، هر دو فعالیت P, Q باید اجرا شوند

علائم و اختصارات در شبکه های گرت



- برای رسمی شدن رویداد ۳۵ باید برای اولین بار و بارهای بعدی دو فعالیت ورودی که الزاما با یکدیگر متفاوتند تکمیل شوند. با رسمی شدن رویداد، باید سومین فعالیت (که هنوز تکمیل نشده است) متوقف گردد.
- هر سه فعالیت خروجی یکی و فقط یکی قابل اجراست.

اطلاعات قابل ارائه روی شبکه های گرت

- یک فعالیت در یک شبکه گرت می تواند شامل یک سری مشخصات و شرایط باشد که برای نشان دادن این مشخصات و شرایط به طور معمول، به ترتیب نشان داده شده در شکل زیر عمل می شود:



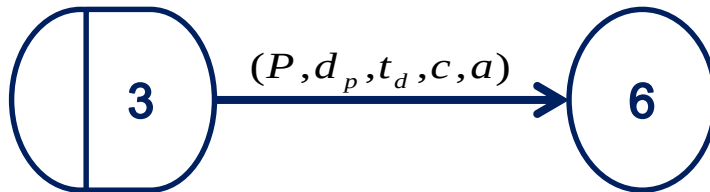
- P = احتمال اجرا شدن فعالیت

بدیهی است در صورتی که $P=1$ باشد، سمت خروجی رویداد ۳ به نیم دایره تبدیل می شود)

- d_p یک مجموعه پارامترهای نشان دهنده تابع توزیع زمان فعالیت مثلا (میانگین، حداقل، حداکثر و انحراف معیار)

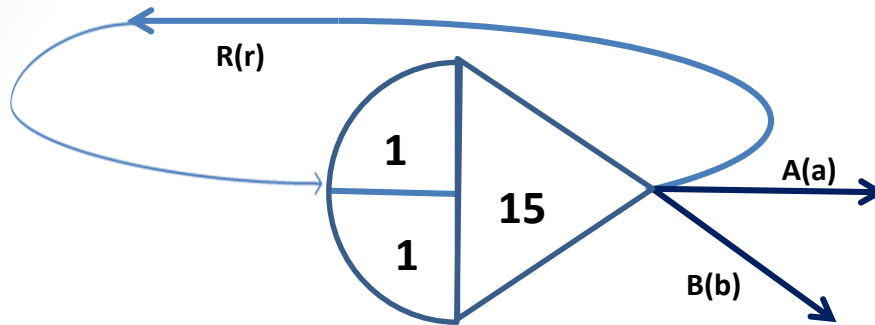
- t_d نوع توزیع زمان فعالیت مثلا (نرمال، پواسون، بتا یا ...)

اطلاعات قابل ارائه روی شبکه های گرت



- c شمارنده دفعاتی که این فعالیت در این شبکه اجرا می شود.
- این شمارنده نشان می دهد که در ضمن اجرای پروژه، این فعالیت چند بار تا به حال تکرار شده است. بنابراین هر بار که این فعالیت اجرا شود به این شمارنده به مقدار یک واحد اضافه می شود.
- a نام یا شماره فعالیت مثلا (الف، A ، ۳-۶، یا ...)

آنالیز شبکه های گرت

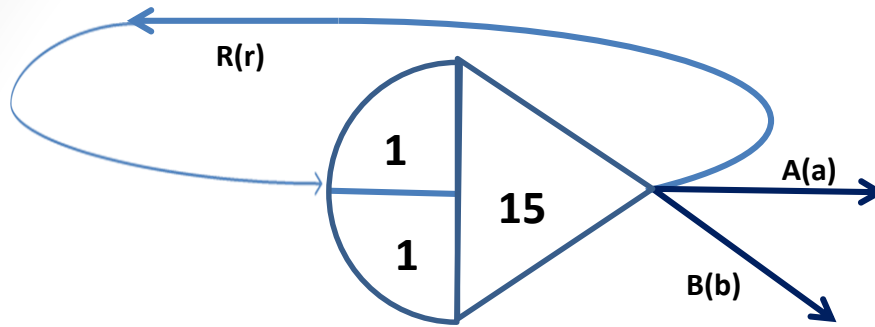


- یک رویداد با خروجی های A ، B و R که به ترتیب، احتمال اجرای آنها a ، b و r است نشان داده شده است. فعالیت R ممکن است به دفعات و به طور نامحدود تکرار شود.

- هر بار که رویداد ۱۵ در این شکل رسمی می شود، احتمال اجرای یکی از سه فعالیت A ، B یا R وجود دارد. بنابراین در صورتی که لازم باشد احتمال اجرا شدن A در شرایطی که رویداد به تعداد n دفعه متوالی رسمی شده است، محاسبه شود، خواهیم داشت:

$$\text{احتمال اجرای } A = a + a.r + a.r^2 + \dots + a.r^n = a(1 + r + r^2 + \dots + r^n)$$

آنالیز شبکه های گرت



$$A \text{ احتمال اجرای } A = a + a.r + a.r^2 + \dots + a.r^n = a(1 + r + r^2 + \dots + r^n)$$

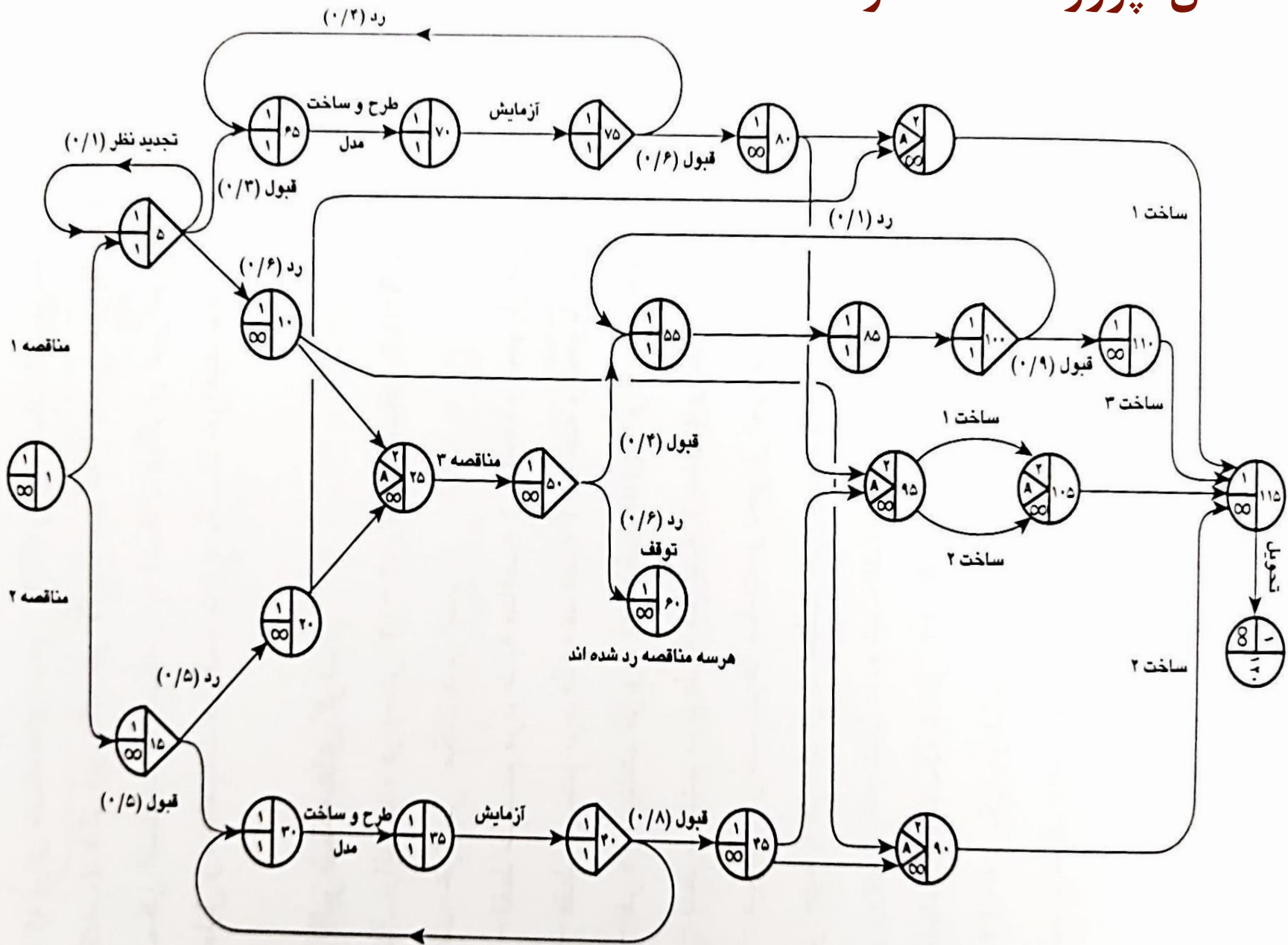
داخل پرانتز، یک تصاعد هندسی با قدر نسبت r می باشد، بنابراین:

$$A \text{ احتمال اجرای } A = \frac{a(1 - r^{n+1})}{1 - r}$$

حال در صورتی که n نامحدود باشد داریم:

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{a(1 - r^{n+1})}{1 - r} = \frac{a}{1 - r} \quad (r < 1)$$

مثال: پروژه مناقصه و ساخت



مثال: پروژه مناقصه و ساخت

- برای شبکه اسلاید قبل، ۵ حالت خروجی امکان پذیر است:
 - ۱- فقط سیستم مربوط به مناقصه ۱ ساخته و تحویل می شود.
 - ۲- فقط سیستم مربوط به مناقصه ۲ ساخته و تحویل می شود.
 - ۳- هر دو سیستم مربوط به مناقصه های ۱ و ۲ ساخته و تحویل می شوند.
 - ۴- فقط سیستم مربوط به مناقصه ۳ ساخته و تحویل می شود.
 - ۵- هیچ کدام از سیستم ها ساخته و تحویل نمی شوند.

- احتمال مواجهه با هر یک از حالات بالا به شکل زیر محاسبه می شود:

$$(a) \text{ احتمال قبولی مناقصه ۱} = \frac{0.3}{1-0.1} = \frac{1}{3}$$

$$(b) \text{ احتمال رد شدن مناقصه ۲} = 0.5 = \frac{1}{2}$$

$$\text{احتمال } a \text{ و } b = \frac{1}{3} \times \frac{1}{2} = \frac{1}{6}$$

مثال: پروژه مناقصه و ساخت

۲- فقط سیستم مربوط به مناقصه ۲ ساخته و تحویل می شود.

$$(a) \text{ احتمال رد شدن مناقصه ۱} = \frac{0.6}{1-0.1} = \frac{2}{3}$$

$$(b) \text{ احتمال قبولی مناقصه ۲} = 0.5 = \frac{1}{2}$$

$$\text{احتمال } a \text{ و } b = \frac{2}{3} \times \frac{1}{2} = \frac{1}{3}$$

۳- هر دو سیستم مربوط به مناقصه های ۱ و ۲ ساخته و تحویل می شوند.

$$(a) \text{ احتمال قبولی مناقصه ۱} = \frac{1}{3}$$

$$(b) \text{ احتمال قبولی مناقصه ۲} = \frac{1}{2}$$

$$\text{احتمال } a \text{ و } b = \frac{1}{3} \times \frac{1}{2} = \frac{1}{6}$$

مثال: پروژه مناقصه و ساخت

۴- فقط سیستم مربوط به مناقصه ۳ ساخته و تحویل می شود.

$$(a) \text{ احتمال رد شدن مناقصه ۱} = \frac{2}{3}$$

$$(b) \text{ احتمال رد شدن مناقصه ۲} = 0.5 = \frac{1}{2}$$

$$(c) \text{ احتمال قبولی مناقصه ۳} = \frac{4}{10}$$

$$\text{احتمال } a \text{ و } b \text{ و } c = \frac{2}{3} \times \frac{1}{2} \times \frac{4}{10} = \frac{2}{15}$$

مثال: پروژه مناقصه و ساخت

۵- هیچ کدام از سیستم ها ساخته و تحویل نمی شوند.

$$(a) \text{ احتمال رد شدن مناقصه } ۱ = \frac{2}{3}$$

$$(b) \text{ احتمال رد شدن مناقصه } ۲ = 0.5 = \frac{1}{2}$$

$$(c) \text{ احتمال رد شدن مناقصه } ۳ = \frac{6}{10}$$

$$\text{احتمال } a \text{ و } b \text{ و } c = \frac{2}{3} \times \frac{1}{2} \times \frac{6}{10} = \frac{1}{5}$$

بدیهی است که جمع احتمالات ۵ حالت بالا باید مساوی با یک باشد.

$$\frac{1}{6} + \frac{1}{3} + \frac{1}{6} + \frac{2}{15} + \frac{1}{5} = 1$$

کنترل هزینه

کنترل هزینه

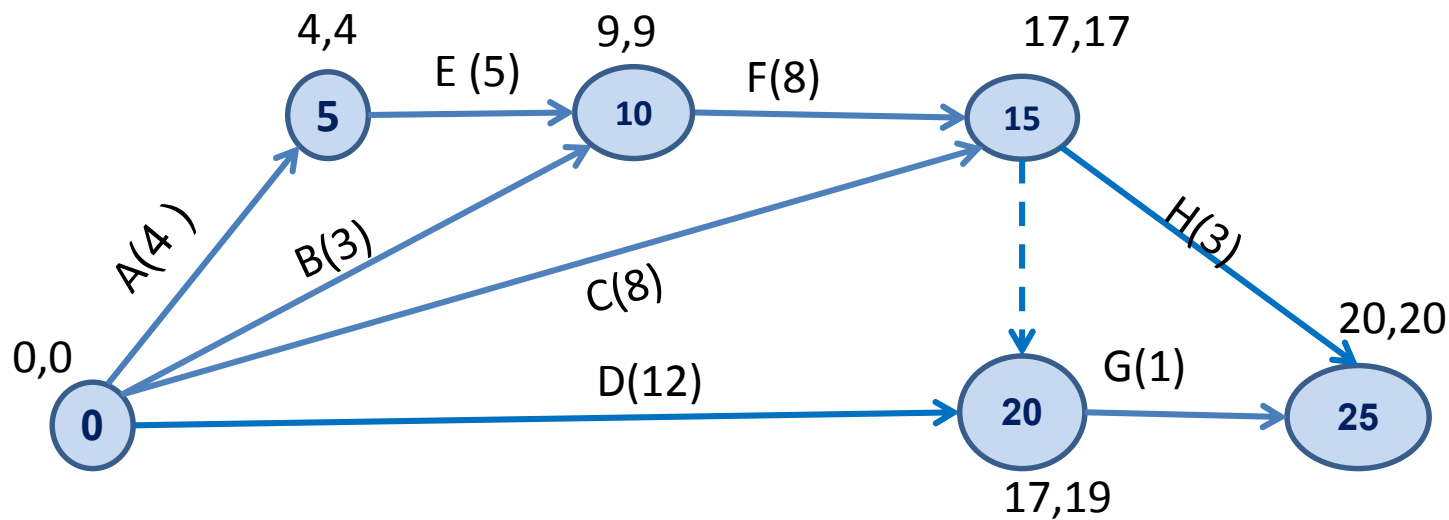
- یکی از عوامل اساسی که لازم است در مرحله اجرای پروژه، مورد بررسی و کنترل قرار گیرد، نحوه صرف بودجه تعیین شده برای پروژه می باشد.
- در مقاطع مختلف زمانی، همواره این سوال مورد توجه مسئولین پروژه خواهد بود که آیا هزینه صرف شده، نسبت به حجم کار انجام شده، از مقداری که در برنامه تنظیم بودجه پیش بینی گردیده است فراتر رفته یا در این مورد تعادل لازم وجود دارد؟
- تورم بیش از حد در قیمت مصالح و یا نیروی انسانی، همچنین اتفاقاتی که در برنامه ریزی پروژه پیش بینی نشده بودند ولی در حین اجرا پیش آمده اند، ممکن است باعث افزایش هزینه ها (یا احیاناً کاهش هزینه ها) شده باشند.
- علاوه بر این عوامل که عملاً غیرقابل کنترل می باشند، ممکن است عواملی نظیر کاهش کارایی، یا سوء استفاده در روش های تدارک و مصرف مواد و مصالح، به وجود آورنده تناقض در بودجه برنامه ریزی شده نسبت به هزینه عملی صرف شده باشند.

کنترل هزینه

- همچنین این گونه نارسایی ها ممکن است نتیجه ضعف در مدیریت فنی، مدیریت انسانی، مدیریت مالی و یا روش های نظارت بر نحوه اجرای پروژه ها باشند.
- به طور کلی اگر سرعت مصرف بودجه نسبت به سرعت کار انجام شده تناقضی را نشان دهد، لازم خواهد بود که بررسی چنین ناقضی در صدر وظایف مسئولین کنترل پروژه قرار گیرد.
- برای این امر، داشتن شاخص های مناسبی از نحوه صرف هزینه و پیشرفت کار، وسیله ای کارا در دست مدیران و مسئولین کنترل پروژه خواهد بود.
- یک شاخص مناسب از نحوه صرف هزینه، تقریباً ترکیبی از انواع پارامترهای موثر در کارایی روش اجرای پروژه را در بردارد.

کنترل هزینه

• زمان فعالیت ها به واحد هفته بر روی شکل نشان داده شده است.



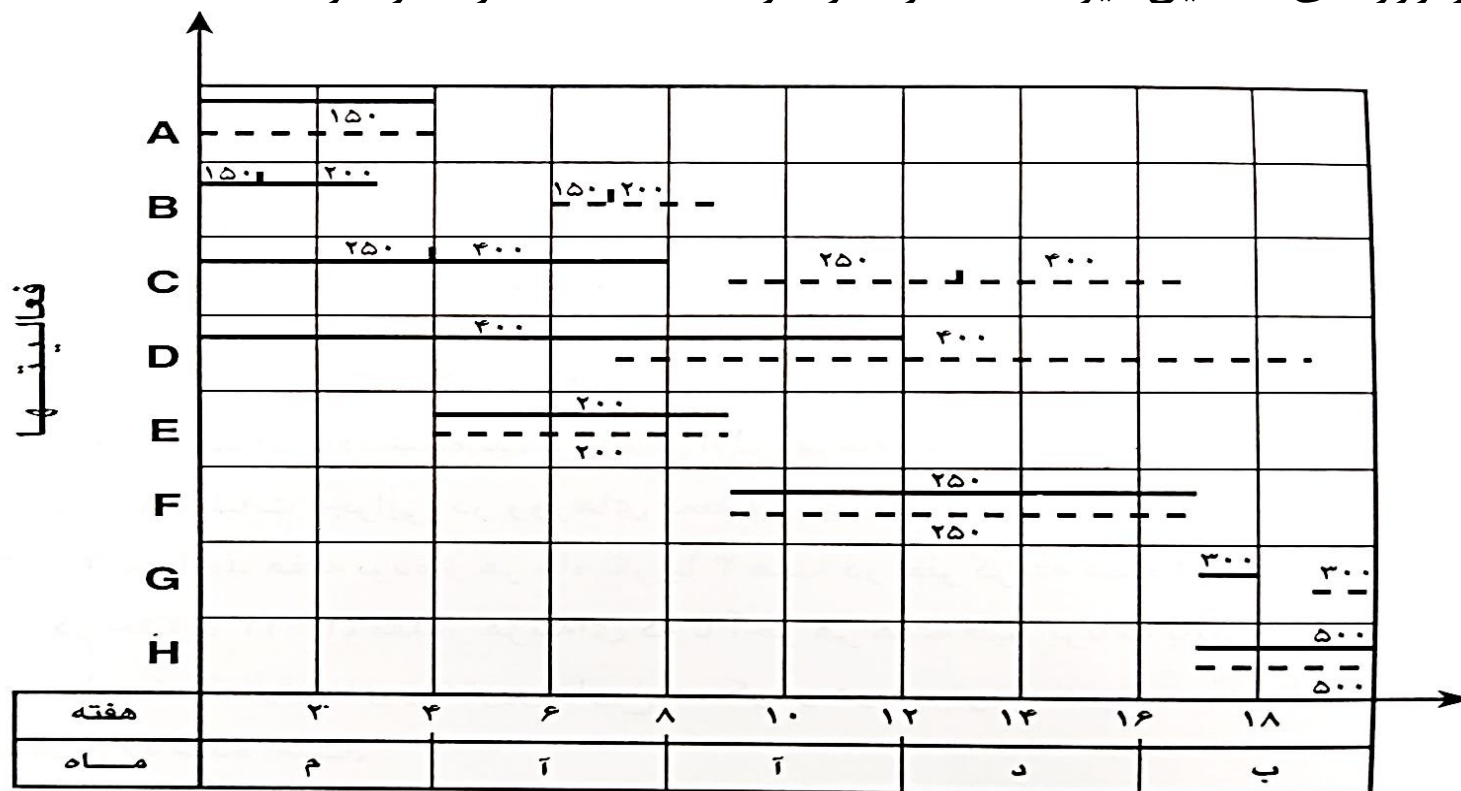
کنترل هزینه

- هزینه های لازم برای اجرای هر فعالیت طبق آنچه که ضمن برنامه ریزی پیش بینی شده است در جدول زیر نشان داده شده است.

فعالیت	هزینه (واحد پول در هفته)
A	150
B	هفته اول: 150 ، دو هفته آخر: 200
C	چهار هفته اول: 250 ، چهار هفته آخر: 400
D	400
E	200
F	250
G	300
H	500

کنترل هزینه

- در نمودار زیر هر یک از فعالیت ها در زودترین و دیرترین تاریخ ممکن برای شروع فعالیت نشان داده شده اند.
- پروژه در اول مهر آغاز شده و در آخر بهمن خاتمه می یابد. (عملیات اجرایی در روزهای تعطیل نیز ادامه دارند و هر ماه ۴ هفته در نظر گرفته شده است.)



———— زودترین تاریخ
 - - - - - دیرترین تاریخ

کنترل هزینه

در جداول زیر مقدار هزینه ای که تا آخر هر هفته طبق برنامه باید صرف شود، در شرایطی که فعالیت ها در زودترین و دیرترین تاریخ ممکن آغاز شوند نشان داده شده اند.

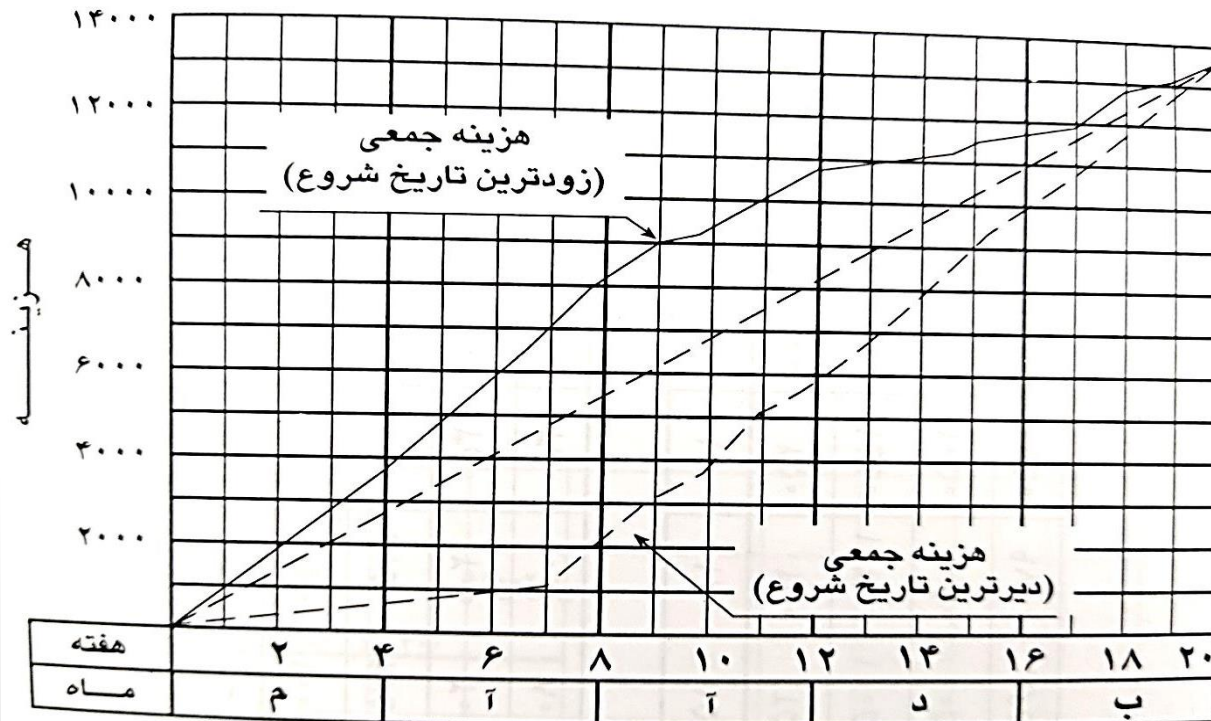
هفته		۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰
زودترین تاریخ	هزینه هفتگی	۹۵۰	۱۰۰۰	۱۰۰۰	۸۰۰	۱۰۰۰	۱۰۰۰	۱۰۰۰	۱۰۰۰	۶۰۰	۶۵۰
	هزینه جمعی	۹۵۰	۱۹۵۰	۲۹۵۰	۳۷۵۰	۴۷۵۰	۵۷۵۰	۶۷۵۰	۷۷۵۰	۸۳۵۰	۹۰۰۰
دیرترین تاریخ	هزینه هفتگی	۱۵۰	۱۵۰	۱۵۰	۱۵۰	۲۰۰	۲۰۰	۳۵۰	۸۰۰	۸۰۰	۹۰۰
	هزینه جمعی	۱۵۰	۳۰۰	۴۵۰	۶۰۰	۸۰۰	۱۰۰۰	۱۳۵۰	۲۱۵۰	۲۹۵۰	۳۸۵۰

هفته		۱۱	۱۲	۱۳	۱۴	۱۵	۱۶	۱۷	۱۸	۱۹	۲۰
زودترین تاریخ	هزینه هفتگی	۶۵۰	۶۵۰	۲۵۰	۲۵۰	۲۵۰	۲۵۰	۲۵۰	۸۰۰	۵۰۰	۵۰۰
	هزینه جمعی	۹۶۵۰	۱۰۳۰۰	۱۰۵۵۰	۱۰۸۰۰	۱۱۰۵۰	۱۱۳۰۰	۱۱۵۵۰	۱۲۳۵۰	۱۲۸۵۰	۱۳۳۵۰
دیرترین تاریخ	هزینه هفتگی	۹۰۰	۹۰۰	۹۰۰	۱۰۵۰	۱۰۵۰	۱۰۵۰	۱۰۵۰	۹۰۰	۹۰۰	۸۰۰
	هزینه جمعی	۴۷۵۰	۵۶۵۰	۶۵۵۰	۷۶۰۰	۸۶۵۰	۹۷۰۰	۱۰۷۵۰	۱۱۶۵۰	۱۲۵۵۰	۱۳۳۵۰

نمودار جریان نقدینگی

● جمع هزینه در دو حالت دیرترین و زودترین زمان ممکن با هم برابر و مقدار آن ۱۳۳۵۰ واحد پولی است.

● با در نظر گرفتن شناوری فعالیت ها ممکن است بتوان آنها را به صورتی برنامه ریزی کرد که منحنی هزینه جمعی به صورت خط-نقطه مانند شکل زیر نزدیک شود. در این شرایط مقدار بودجه که در هر هفته مصرف خواهد شد تقریباً ثابت و برابر $\frac{13350}{20} = 667.5$ واحد پول خواهد بود.



شاخص های هزینه و پیشرفت کار

- در روش های معمولی برای کنترل هزینه های پروژه، معمولاً در مقاطع مختلف زمان، در طول اجرای پروژه، مقدار عملی هزینه صرف شده تا یک تاریخ مشخص، با مقداری که طبق برنامه باید صرف می گردید، مورد مقایسه قرار می گیرد.
- در صورتی که حجم کار انجام شده تا این مقطع زمان، نسبت به آنچه که در برنامه پیش بینی شده متفاوت باشد بدون اطلاع از حجم کار انجام شده نمی توان در مورد میزان هزینه های صرف شده نسبت به بودجه برنامه ریزی شده اظهار نظر کرد.
- فقط در صورتی که حجم کار انجام شده کمتر از حجم کار برنامه ریزی شده باشد می توان با مقایسه هزینه های صرف شده نسبت به بودجه برنامه ریزی شده در مورد آن اظهار نظر کرد.

شاخص های هزینه و پیشرفت کار

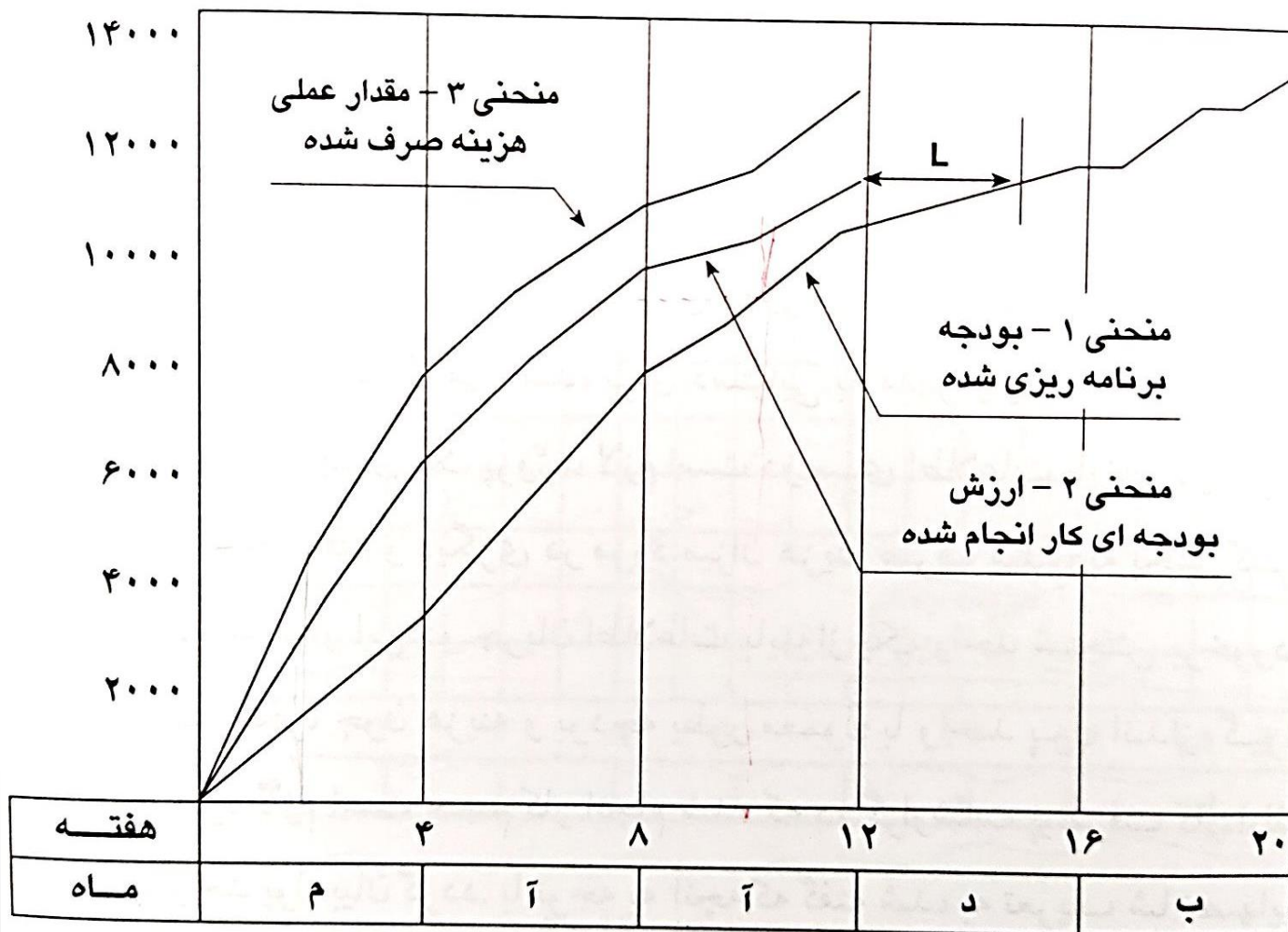
- کمتر یا بیشتر بودن هزینه در مقایسه با بودجه، بستگی به حجم کار انجام گرفته تا مقطع زمانی مورد نظر خواهد داشت.
- بنابراین لازم است دو سری اطلاعات شامل: ۱- حجم کار انجام گرفته ۲- میزان هزینه صرف شده، به واحد کنترل ارسال شود.
- همچنین ساختار این دو جریان اطلاعات باید از یک واحد سنجش برخوردار باشد بنابراین لازم است حجم کار انجام شده با واحد پول بیان شود.

• شاخص های کنترل هزینه

- ✓ مقدار عملی هزینه صرف شده: مقدار پولی که تا لحظه بررسی، برای اجرای عملیات صرف گردیده است.
- ✓ بودجه برنامه ریزی شده: مقدار پولی که طبق برنامه می بایست تا لحظه بررسی مصرف می گردید.
- ✓ ارزش بودجه ای کار انجام شده: مقدار پولی که طبق بودجه تعیین شده برای هر فعالیت، می بایست برای جمع کارهای انجام شده تا لحظه بررسی مصرف می گردید.

نمودار جریان نقدینگی

• وضعیت پیشرفت کار و صرف هزینه تا انتهای هفته ۱۲ (آخر آذر ماه)



شاخص های هزینه و پیشرفت کار

- مقادیر زیر در آخر هفته ۱۲ قابل برداشت هستند:

بودجه برنامه ریزی شده = ۱۰۳۰۰ واحد پولی a

ارزش بودجه ای کار انجام شده = ۱۱۴۰۰ واحد پولی b

مقدار عملی هزینه صرف شده = ۱۲۶۰۰ واحد پولی c

$a - c = 10300 - 12600 = -2300$ = مقدار ظاهری اختلاف هزینه

$b - c = 11400 - 12600 = -1200$ = مقدار حقیقی اختلاف هزینه

- علامت منفی بیانگر این حقیقت است که هزینه صرف شده از آنچه که باید صرف می شد بیشتر بوده است. به عبارت دیگر راندمان هزینه کمتر از واحد بوده است.

$$\text{بازدهی هزینه} = \frac{\text{ارزش بودجه ای کار انجام شده}}{\text{مقدار عملی هزینه صرف شده}} \times 100$$

$$\text{بازدهی هزینه} = \frac{11400}{12600} \times 100 = 90.5\%$$

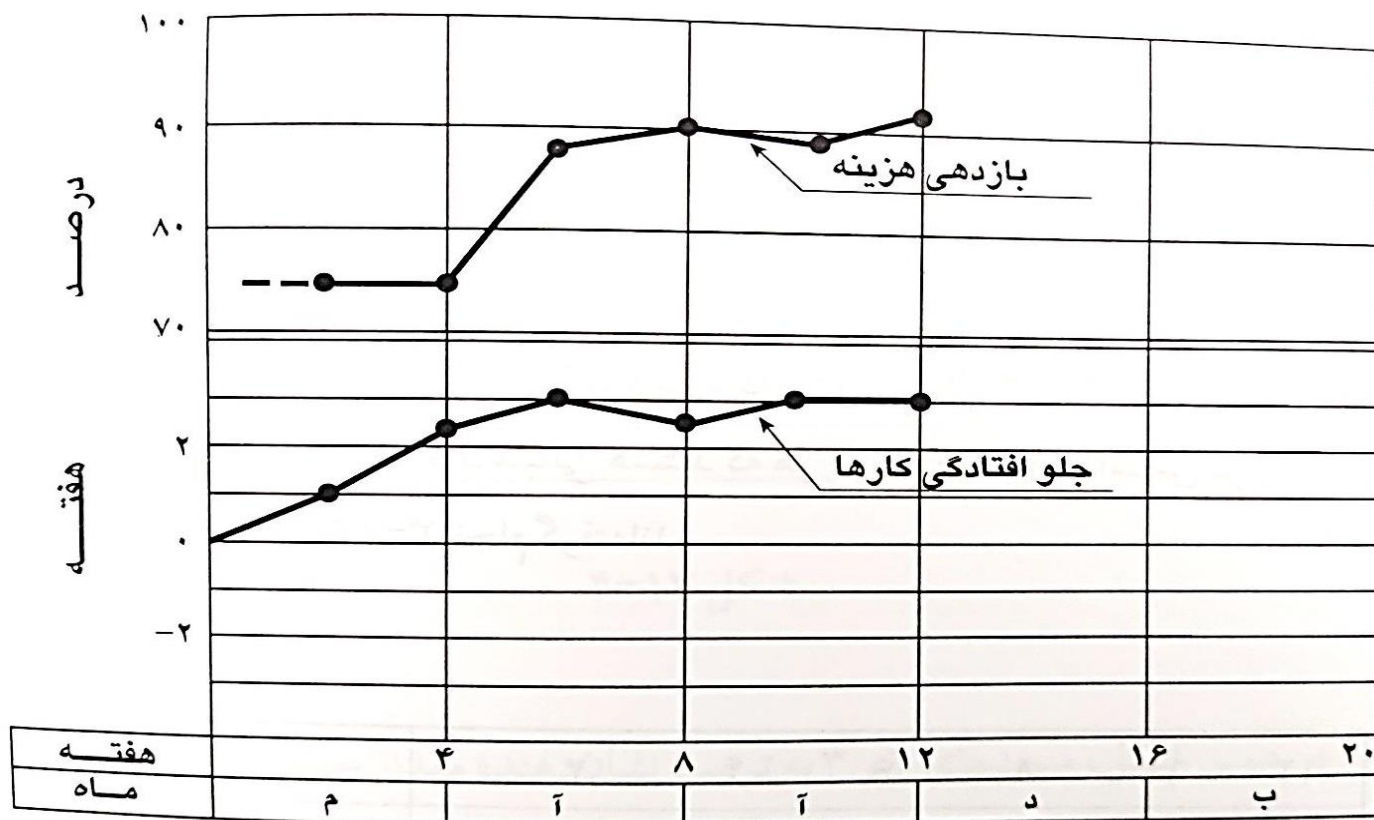
بازدهی هزینه

● مقادیر بازدهی هزینه برای مقاطع مختلف زمانی و تا پایان هفته ۱۲ و هر دو هفته یک بار در جدول زیر نشان داده شده است.

شماره هفته	۰	۲	۴	۶	۸	۱۰	۱۲
ارزش بودجه‌ای کار انجام شده	۰	۳۱۵۰	۶۰۰۰	۸۰۰۰	۹۵۰۰	۱۰۵۰۰	۱۱۴۰۰
مقدار عملی هزینه صرف شده	۰	۴۲۰۰	۷۹۰۰	۹۱۰۰	۱۰۶۰۰	۱۱۹۰۰	۱۲۶۰۰
درصد بازدهی هزینه	-	۷۵	۷۵	۸۸	۸۹/۵	۸۸/۲	۹۰/۵

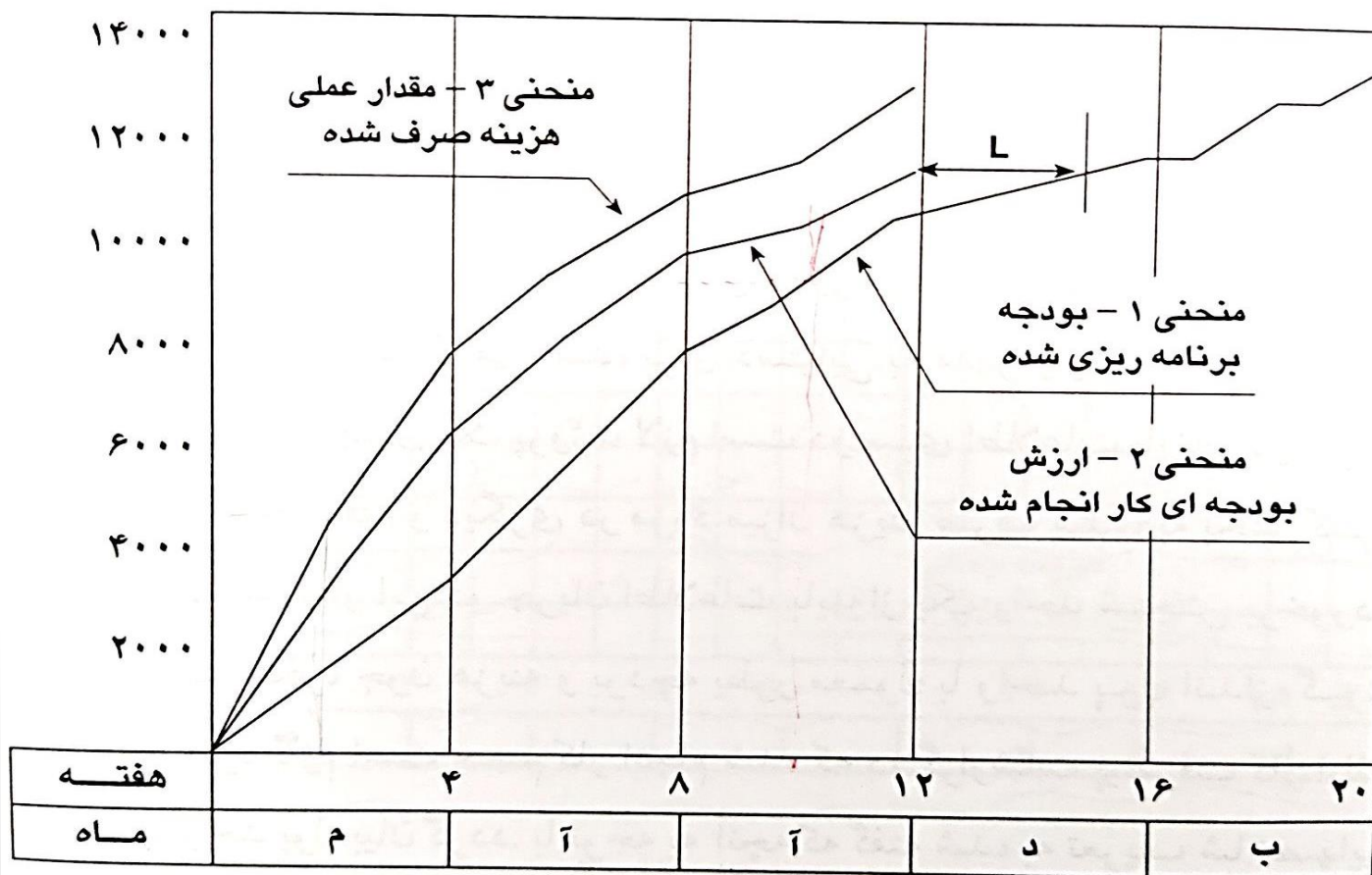
نمودار بازدهی هزینه

- در قست پایین نمودار بازدهی هزینه، منحنی نشان دهنده مقدار جلو بودن کار از برنامه، بر اساس واحد هفته نشان داده شده است.
- وقتی منحنی ارزش بودجه ای کار انجام شده بالاتر از منحنی بودجه برنامه ریزی شده قرار بگیرد مشخص است که کارها در عمل از آنچه که در برنامه پیش بینی شده سریعتر انجام گرفته و در حقیقت از برنامه جلو افتاده اند.



نمودار بازدهی هزینه

● مقدار جلو افتادگی در هر مقطع زمانی، برابر با فاصله افقی بین منحنی ارزش بودجه ای کار انجام شده در همان مقطع زمانی و منحنی بودجه برنامه ریزی شده می باشد. این مقدار در پایان هفته ۱۲ با حرف L نشان داده شده است.



نمودار بازدهی هزینه

- روشن است که در صورتی که سرعت اجرای کارها از آنچه که در برنامه پیش بینی شده کندتر باشد منحنی ارزش بودجه ای کار انجام شده پایین تر از منحنی بودجه برنامه ریزی شده قرار می گرفت و در نتیجه مقادیر L کوچکتر از صفر می شدند.
- و منحنی نشان داده شده در اسلاید قبل که بیانگر میزان جلو افتادگی کارها بود در زیر خط صفر قرار گرفته و در نتیجه میزان عقب افتادگی کارها را نشان می داد.