تعریف پروژه

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

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

انواع پروژه

۱- پروژه اجرایی:

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

۲- پروژه مطالعاتی و تحقیقاتی:

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

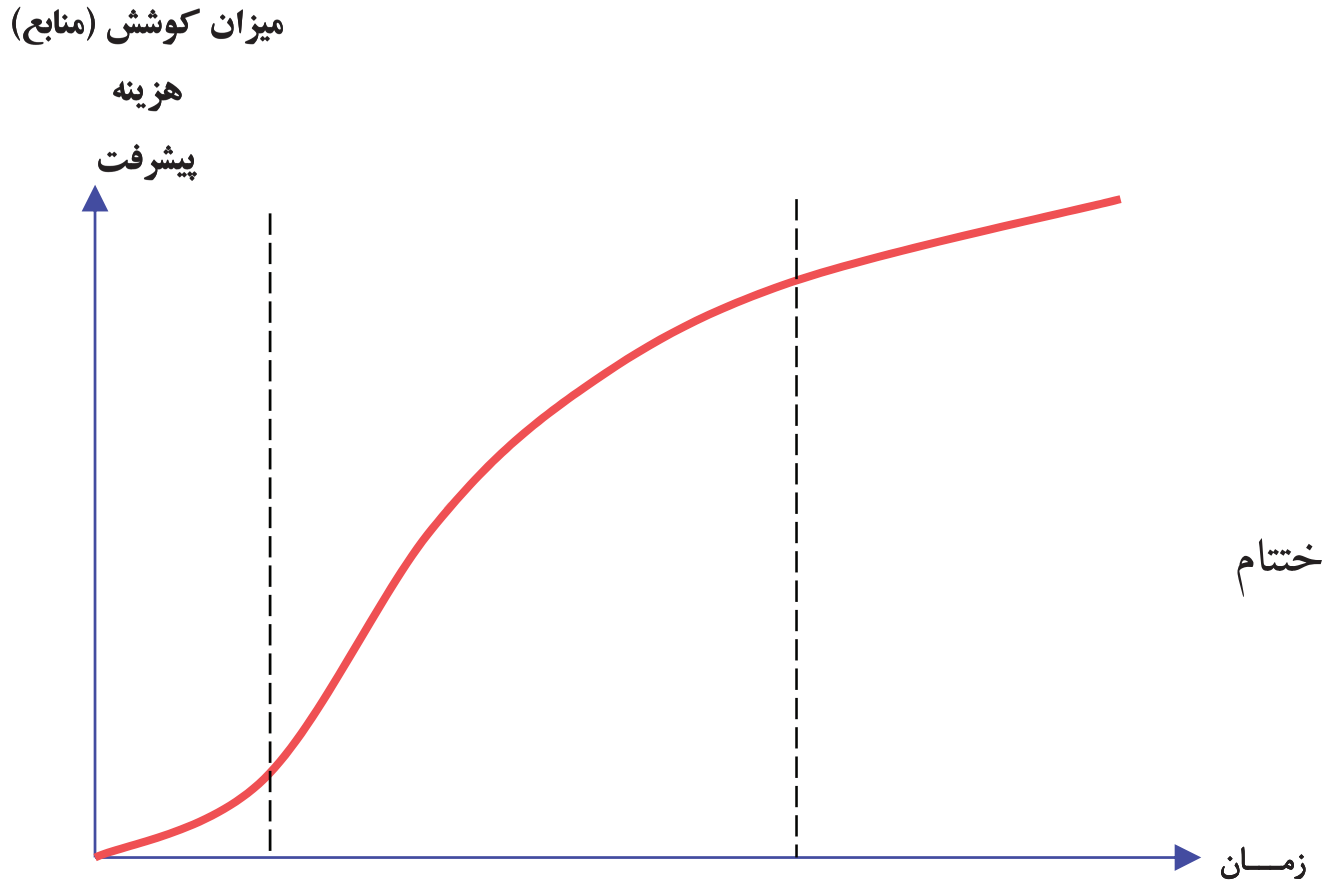
۳- پروژه خدماتی :

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

ویژگی های پروژه

- موقتی بودن
- دارای هدف یا اهداف تعیین شده می باشد.
- همواره محدودیتهایی به پروژه اعمال می شوند.
- دارای چرخه حیات می باشد.
- هر پروژه پدیده ای یکتا است.
- همواره با عدم قطعیت همراه است.

چرخه حیات پروژه



شروع آهسته

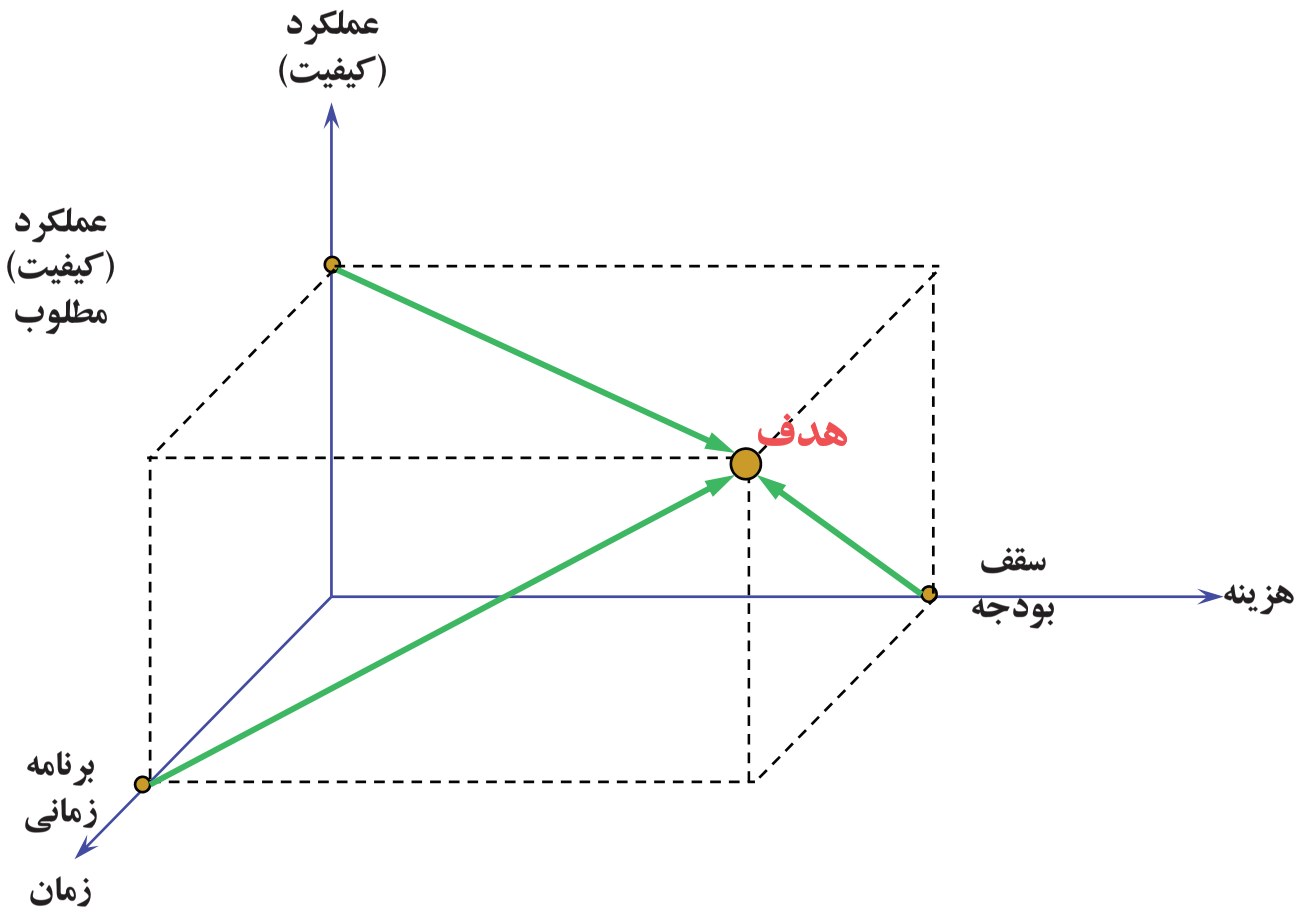
رشد

اوج

آغاز زوال – نزدیک به اختتام

اختتام و پایان کار

محدودیت‌های پروژه



پروژه چیست ؟ مدیریت و کنترل پروژه به چه معناست ؟

- 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 معمولا 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 .

پروژه چیست ؟ مدیریت و کنترل پروژه به چه معناست ؟

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 می گیرد . در واقع کنترل ، اجرای دقیق و کامل برنامه تدوین‌شده برای پروژه است ، بگونه‌ای 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 باز گرداند .

تاریخچه مدیریت پروژه به چه زمانی باز می‌گردد ؟

- تاریخچه مدیریت پروژه در جهان را معمولا 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 .
- یک مدیر پروژه وقتی به شهر اسرارآمیز هخامنشیان سری می‌زند و در هر گوشه‌ای از آن به نقوش هنرمندانه برجسته باستانی برخورد می کند بدون شک دچار حیرت می گردد که چگونه چنین پروژه عظیمی قریب دو هزار و پانصد سال پیش با چنین کیفیت منحصر به فردی ساخته شده که علی‌رغم ویرانی و به آتش کشیده شدن پیاپی توسط اسکندر و تسخیر کنندگان پس از او همچنان به عنوان نماد حیرت‌انگیز پروژه ایرانی از آن یاد می‌شود . هرچند به دستور کوروش ، مهندسان و سازندگان پاسارگاد موظف بودند شرح کار خود و همچنین برنامه کاری روز بعد خود را در لوحه‌هایی که به نام کارنامک مشهور بود , بنگارند اما امروزه جز با تکیه بر حدسیات نمی‌توان اظهارنظر قاطعی پیرامون نحوه دقیق مدیریت پروژه‌های عظیم عهد باستان ابراز داشت ، چرا که متاسفانه تاکنون هیچ مدرک و نشانه‌ای دال بر چگونگی بکار بستن روشها و تکنیکهای مدیریت پروژه در این طرحها یافت نشده است .

تاریخچه مدیریت پروژه به چه زمانی باز می‌گردد ؟

- اما تاریخچه مدیریت پروژه در دنیای جدید به سالهای ابتدایی دهه ۱۹۰۰ میلادی باز می گردد ؛ جایی که 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 . هرچند نام پرآوازه هنری گانت به عنوان پدر تکنیک‌های برنامه‌ریزی و کنترل پروژه در تاریخ ثبت گردیده است لیکن سالهای دهه ۱۹۵۰ و ۱۹۶۰ به عنوان سالهای آغازین رشد و توسعه مدیریت پروژه در دنیای معاصر شناخته می‌شود . این سالها سرآغاز تکوین و توسعه بسیاری از روشها و دانشهای مربوط با مدیریتهای نه‌گانه پروژه است که سالها بعد توسط نرم‌افزارهای مختلف عملیاتی و در پروژه‌ها بکار گرفته شدند .
- تغییرات سریع تکنولوژیک ، بازارهای شدید رقابتی و رایزنی فشرده و قدرتمندانه شرکتها ، همه‌وهمه سازمانها و بنگاههای متولی پروژه را تشویق به تغییر سیستم مدیریتی خود نمود . در هنگامه نبرد انتخاب بین غرق شدن یا شنا کردن و یا تطبیق و سازگاری یا مرگ و نابودی ، مدیریت پروژه و پروژه‌مداری درمدیریت تنها انتخاب و راه نجات فراروی پیمانکاران و سازمانها بود

تاریخچه مدیریت پروژه

- گانت چارت در اوائل دهه ۱۹۰۰ میلادی :
- تاریخچه تکوین بارچارت به دوران جنگ جهانی اول میرسد ؛ جائیکه یک آمریکایی به نام هنری گانت برای نخستین بار بارچارت را برای برنامه‌ریزی و کنترل پروژه‌های موسسه کشتی‌سازی‌اش بکار برد . به پاسداشت این اقدام نام گانت قبل از عنوان بارچارت تداعی کننده این اقدام ارزشمند است . کتاب مرجع مهندسان صنایع اشاره می‌دارد که هنری گانت به کمک ابزار ابداعی خود در خلال جنگ جهانی اول توانست زمان ساخت کشتیهای ترابری خود را به میزان چشم‌گیری کوتاه نماید . امروزه گانت چارت بدلیل ساده و قابل فهم بودن آن , به عنوان روشی جالب و پرطرفدار 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 **Micro Soft 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

- مدیریت پروژه در دهه ۱۹۵۰ و ۱۹۶۰ میلادی :
- تقریبا غالب تکنیک‌ها 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 یافته‌اند که روشهایی همچون روش Pert , ارزش بدست آمده , مهندسی ارزش و ساختار شکست کار از آن جمله‌اند . صنعت ساختمان نیز در تکوین و توسعه روشهایی همچون روش مسیر بحرانی , روش نمودار پیش‌نیازی , استفاده از نمودار شبکه‌ای و تسطیح منابع یاری رسانده است . در جریان این تحولات , پروژه‌های بسیار بزرگی همچون پروژه فضایی آپولو و یا ساخت نیروگاههای اتمی در این دوران اجرایی گردیدند .
- یکی از نخستین کاربردهای علمی و مدرن مدیریت پروژه در ساخت اولین زیردریایی هسته‌ای در دهه ۱۹۵۰ در آمریکا صورت گرفت ؛ دریاسالاری به نام (Adm. Hyman Rickover)مدیر پروژه این طرح ، برای اولین بار جهت هماهنگ کردن صدها پیمانکار ، هزاران منبع و اطمینان از اجرای به موقع پروژه ، روشی جدید که امروزه با نام Pert شناخته می‌شود ، ابداع نمود . هرچند بدون وجود کامپیوتر عملیات دستی محاسبه مسیربحرانی بسیار دشوار بود اما کمک بسیار زیاد این روش و اجرای موفقیت‌آمیز پروژه مذکور موجب شد تا همگان به اهمیت علم جدید پی برند . سالیان پس از آن ، این تکنیک در پروژه‌های ساخت فضاپیماها و دیگر پروژه‌های نظامی و غیر آن ، بارها و بارها استفاده شد .
- پیشرفت مهم دیگر بدست آمده در این سالها , تعریف و تکوین مفهوم مسئولیت واحد برای پروژه‌های چندبخشی بود ؛ این مفهوم هنگامی به کار می‌رود که یک فرد در پروژه مسئولیت کاری را در پروژه از ابتدا تا تکمیل پروژه برعهده می گیرد . عملی ساختن این مفهوم , تیم پروژه را در به اشتراک نهادن منابع و یاری رساندن به یکدیگر در ماتریس ساختار سازمانی پروژه کمک می کند .

تاریخچه مدیریت پروژه–ادامه

- ۱۹۶۰ : پژوهشهای عملی Nasaپیرامون مفهوم ماتریس ساختار سازمانی پروژه‌ها .
- ۱۹۶۲ :Nasa سیستم Pert را معرفی نمود . در این تکنیک تاکید ویژه‌ای بر مفاهیم ساختار شکست کار و کنترل هزینه شده بود .
- ۱۹۶۳ :معرفی مفهوم ارزش بدست آمده در پروژه‌ها توسط نیروی هوایی آمریکا .
- ۱۹۶۳ :مفهوم چرخه حیات پروژه توسط نیروی هوایی ایالات متحده تکوین یافت .
- ۱۹۶۳ :برای اولین بار در پروژه پولاریس در انگلستان , رسما در قرارداد از پیمانکاران خواسته شد تا سیستم مدیریت پروژه را در مدیریت فعالیتهایشان به کار گیرند .
- ۱۹۶۴ :برای نخستین بار سیستم مدیریت پیکربندی پروژه توسط Nasa به عنوان مجموعه رویه‌های اداری برای تعریف , مستندسازی و خصوصا کنترل فیزیکی سیستم یک پروژه و همچنین بازنگری و مستندسازی تغییرات پیشنهادی در این سیستم طراحی گردید .
- ۱۹۶۵ :وزارت دفاع و Nasa در امریکا , سیستم قراردادهای خود را از قراردادهای هزینه به‌علاوه درصدی از سود , به سیستم قراردادهای هزینه به‌علاوه جایزه یا قراردادهای قیمت ثابت تغییر دادند .
- ۱۹۶۵ :در اواسط دهه ۱۹۶۰ میلادی دنیا شاهد رشد شگرف استفاده از تکنیک‌های مدیریت پروژه نوین در صنعت ساختمان بود .

تاریخچه مدیریت پروژه–ادامه

- ۱۹۶۵ :
- شکست پروژه ساخت بمب‌افکن TSR-2 , عملا مشکلات و دردسرهای همزمانی تولید و توسعه ، پیش از تکمیل طراحی در پروژه‌ها را به اثبات رسانید . فقدان مدیریت صحیح بر افزایش دستور کار پروژه , هزینه‌ها و تاخیرهای پروژه را بسیار بالا برد و در نهایت موجب شکست پروژه گردید .
- ۱۹۶۶ :
- یافته‌های یک پژوهش منتشره در این سال نشان داد که اغلب ، زمان کافی برای مراحل تعریف و آماده‌سازی پروژه در چرخه حیات پروژه‌ها در نظر گرفته نشده و دقیقا به همین دلیل مغایرتهای فراوانی در کنترل استاندارد زمان و هزینه پروژه‌ها و همچنین کنترل ناکافی تغییرات طراحی بوجود می آید .
- ۱۹۶۹ :
- موسسه بین‌المللی مدیریت پروژه به عنوان اولین موسسه رسمی مدیران پروژه تاسیس گردید . یکی از مهمترین دستاوردهای تاسیس این موسسه , تدوین استاندارد جهانی دانش مدیریت پروژه بوده است ؛ ازین پس بود که دگرگونیها و پیشرفتهای حوزه مدیریت پروژه ، صورتی منسجم و مدون به خود گرفت .

مدیریت پروژه

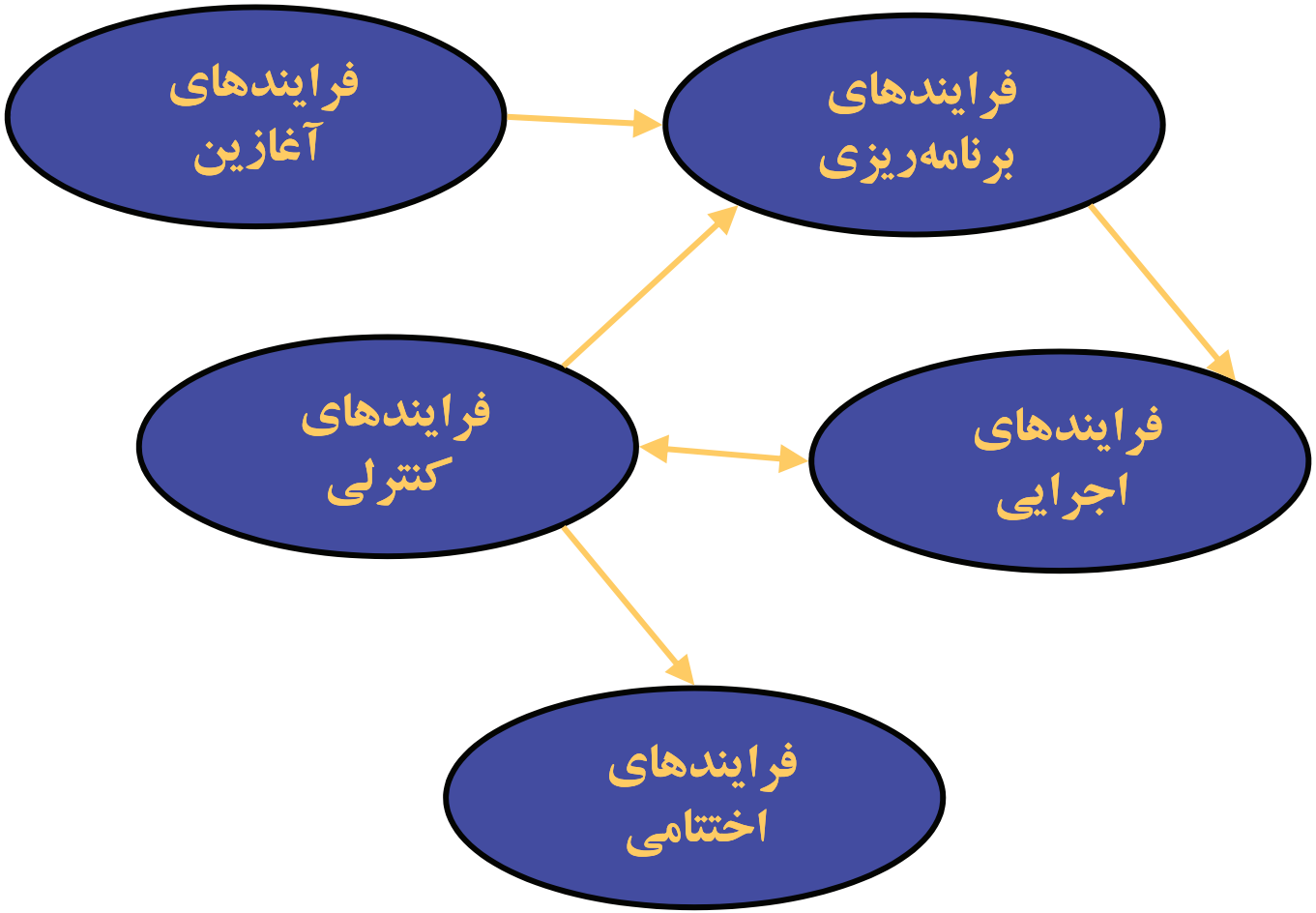
مدیریت پروژه عبارتست از به‌کارگیری دانش‌ها، مهارت‌ها، ابزار و تکنیک‌های لازم در اداره جریان اجرای فعالیت‌ها ، به‌منظور نیل به اهداف پروژه و انتظارات کار فرما.

مدیریت پروژه–ادامه

برای اجرای هر پروژه، مجموعه فرایندهای مختلف صورت می‌گیرد. یک فرایند شامل مجموعه فعالیتهای لازم‌الاجرا برای حصول به یک نتیجه مشخص است. این فرایندها توسط مجریان پروژه انجام می‌شود.

- **فرایندهای مدیریت پروژه**
- **فرایندهای تهیه محصول پروژه** (تهیه، تولید و ارایه محصول)

فرآیندهای مدیریت پروژه



مراحل انجام پروژه

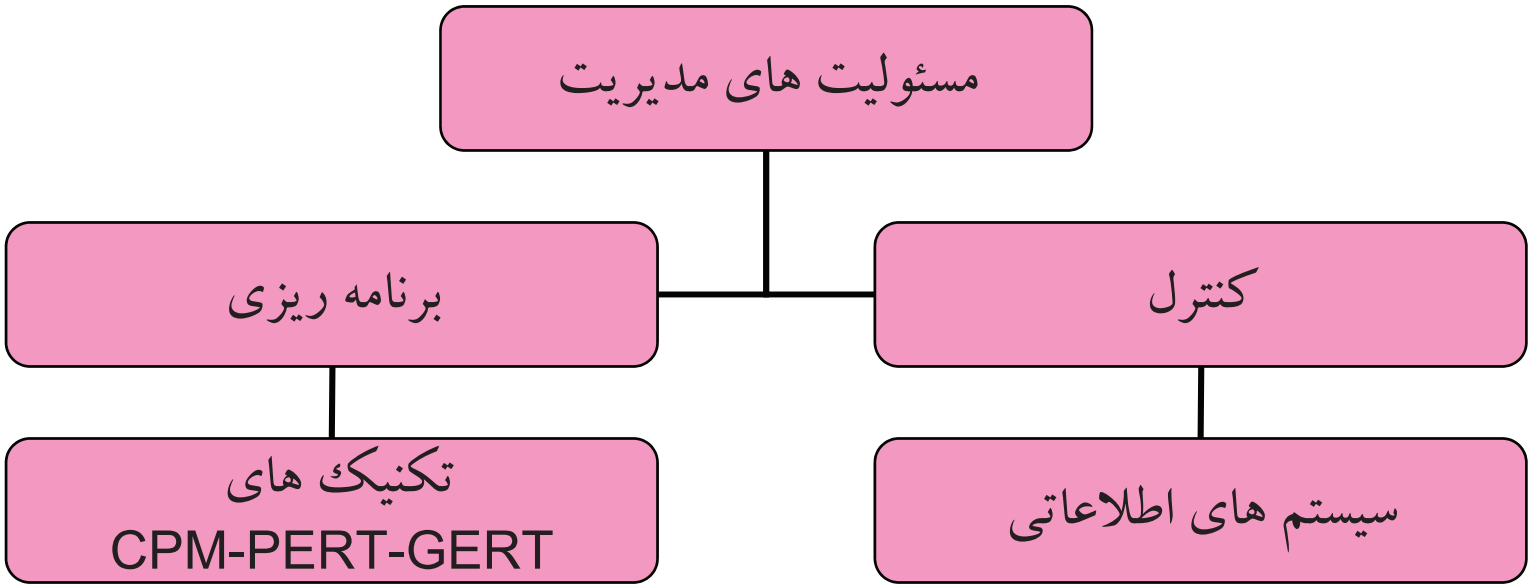
بطور کلی مراحل انجام یک پروژه را میتوان بصورت ذیل بیان کرد:

- مراحل انجام پروژه
  - مطالعات
    - مطالعات مرحله یکم(مطالعات توجیهی)
    - مطالعات مرحله دوم(طراحی تفصیلی)
  - اجرا (مرحله سوم)

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

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.



کارکرد مدیریت پروژه در چیست ؟

- همان‌گونه که در گامهای پیشین بیان کردیم ، مدیریت‌پروژه مجموعه ابزارهایی برای برنامه‌ریزی و هدایت پروژه به سوی اهداف موردنظر است ؛ این اهداف بر پایه رضایت‌مندی مشتری و توجه به سه عامل زمان ، کیفیت و هزینه استوارند .
- در نگاه اول ممکن است ابزارها و روش‌های مورد استفاده در مدیریت پروژه زاید ، زمان‌بر و هزینه‌زا باشند ، اما باید توجه داشت که مدیریت پروژه تنها راهی است که می‌تواند شما را از انجام به‌موقع پروژه مطمئن سازد . مدیریت پروژه راهیست برای استفاده مناسب از انسان ، ماشین و پول در راستای اجرای درست و به‌هنگام یک کار نو ، کاری که باید در همان اولین اجرا درست انجام شود .
- مدیریت پروژه یا مدیریت بر مبنای پروژه ، روش کارایی در مدیریت ، برای برخورد با کارهای نو و ایجاد توازن در توجه به محدوده پروژه ، هزینه و کیفیت در قالب زمان و در محیطی مملوء از ریسک است . هدف از آموزش مدیران پروژه توانمندسازی آنان در برابر مشکلات پروژه و آماده‌سازی آنها برای ورود به فضای جدید و ناشناخته پروژه است

کارکرد مدیریت پروژه در چیست ؟-ادامه

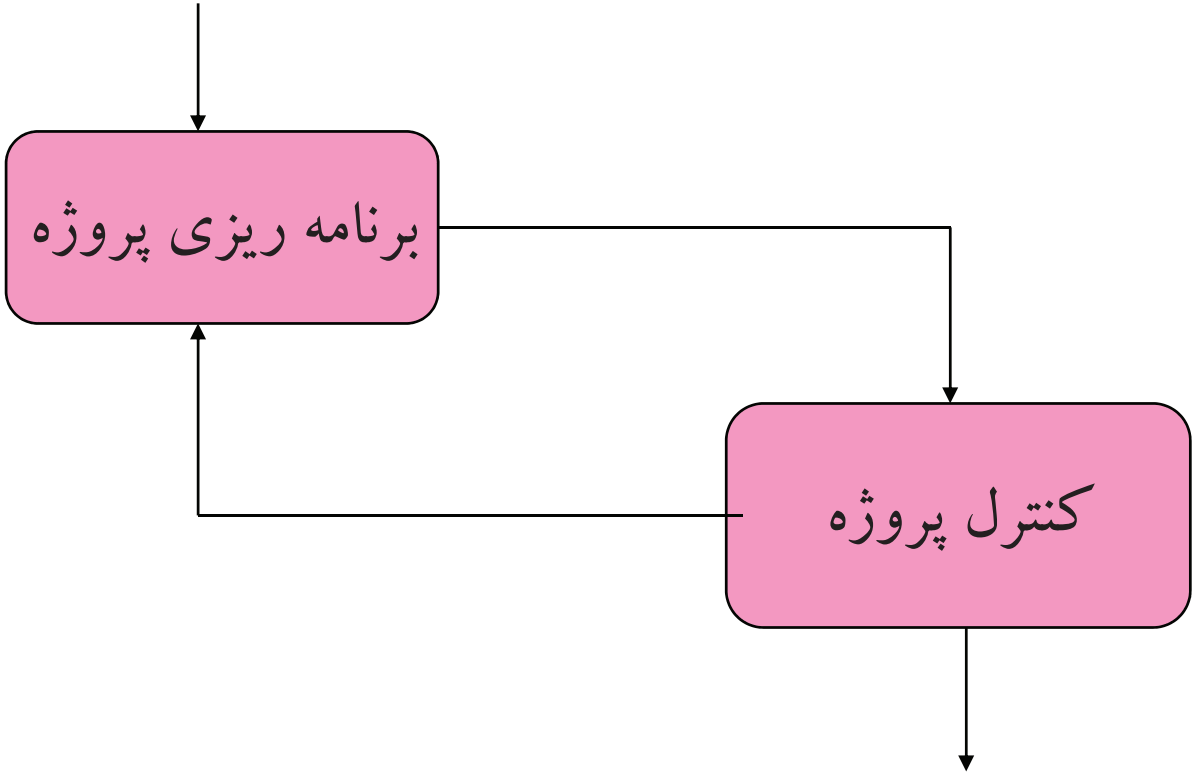
- فنون مدیریت پروژه سوالات زیر را پاسخ می‌گویند :

- چگونه می‌توان کارهای لازم برای اتمام موفقیت‌آمیز پروژه را تعریف کرد ؟
- مدت زمان اجرای پروژه چقدر خواهد بود و چه هزینه‌ای در بر خواهد داشت ؟
- چگونه می‌توان گروه مناسب کاری برای اجرای پروژه ایجاد نمود ؟
- چه مقدار کار و وظایف را بر عهده یک نفر می‌توان گذاشت و چگونه می‌توان از اجرای آن اطمینان یافت ؟
- چگونه می‌توان انگیزه کاری را در بین افراد یک گروه زنده نگه داشت ؟
- چگونه باید با افزایش هزینه‌ها برخورد کرد ؟
- آیا بودجه و هزینه تحت کنترل است ؟
- در چه مواقعی و کجا ، پروژه در معرض شکست قرار می‌گیرد ؟
- برای اطمینان از انجام به‌موقع کارها چه باید نمود ؟
- آیا می‌توان تشخیص داد که پروژه واقعا بر روی برنامه حرکت می‌کند یا خیر ؟

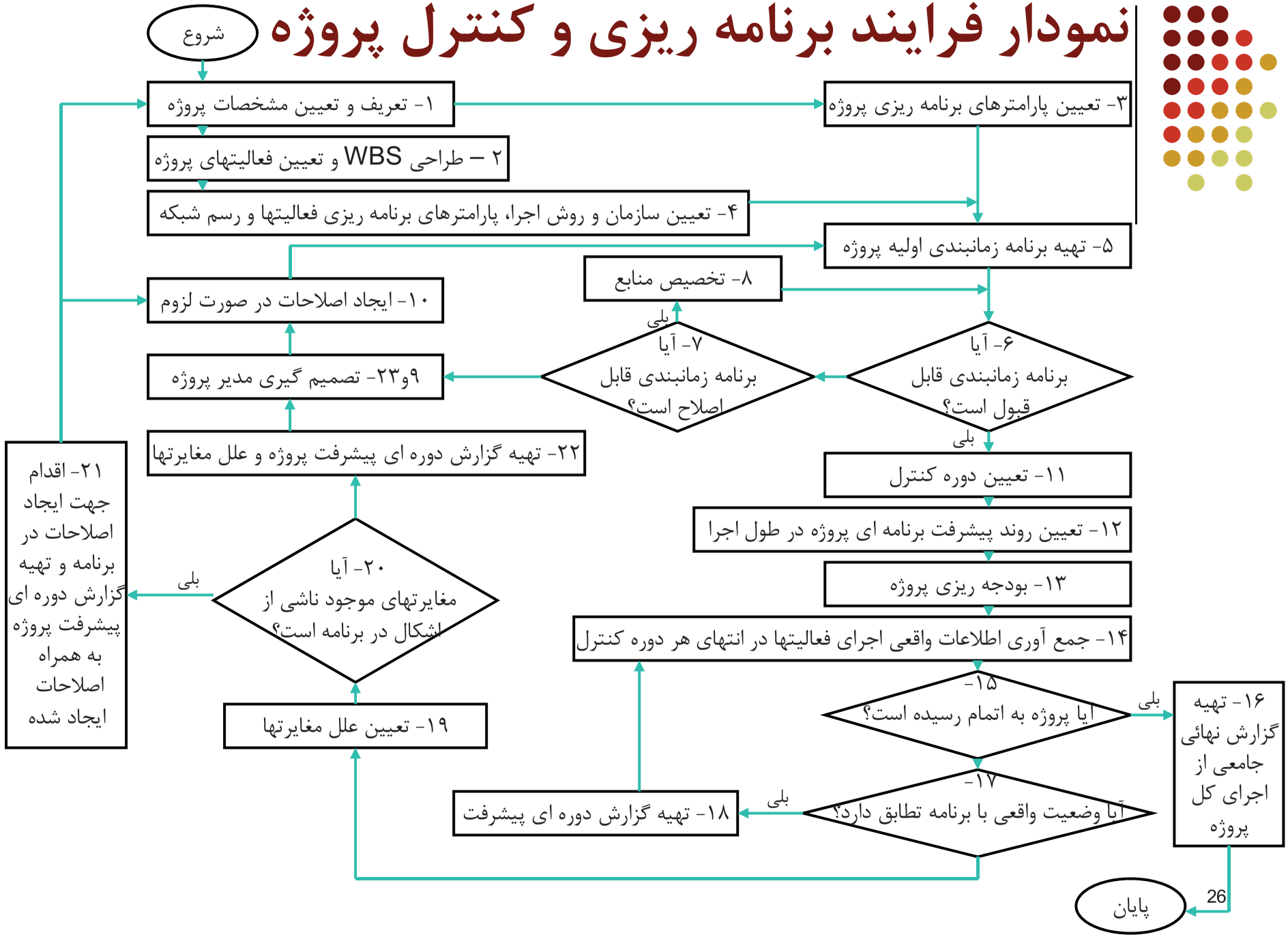
برنامه ریزی پروژه – کنترل پروژه

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

فرایند برنامه ریزی و کنترل پروژه



نمودار فرایند برنامه ریزی و کنترل پروژه



گام های برنامه ریزی و کنترل پروژه

۱- تعریف پروژه و تعیین مشخصات آن
۲- طراحی ساختار اجزای WBS
۳- تعیین پارامتر های برنامه ریزی پروژه
۴- تهیه اطلاعات فعالیتها و شبکه پروژه
۵- تهیه برنامه زمان بندی اولیه پروژه
۶- قابل قبول بودن برنامه
۷- قابل اصلاح بودن برنامه
۸- تخصیص منابع
۹- تصمیم گیری مدیر پروژه
۱۰- اقدام برای ایجاد اصلاحات
۱۱- تعیین دوره کنترل
۱۲- تعیین درصد پیشرفت پروژه
۱۳- بودجه ریزی پروژه
۱۴- جمع آوری اطلاعات واقعی
۱۵- مرحله زمانی انجام پروژه
۱۶- تهیه گزارش نهایی
۱۷- تطابق با برنامه
۱۸- تهیه گزارش دوره ای
۱۹- تعیین علل مغایرتها
۲۰- وجود یا نبود اشکال در برنامه
۲۱- اقدام جهت ایجاد اصلاحات
۲۲- تهیه گزارش دوره ای
۲۳- تصمیم گیری مدیر پروژه

سؤالات روز اول

1. فرق فعالیت با پروژه چیست؟
2. چرخه حیات یک پروژه را تعریف نمایید.
3. برای شروع مرحله سوم یک پروژه آیا لازم است مرحله دوم به اتمام برسد؟ توضیح دهید.
4. تفاوت پیمانکار با مشاور را شرح دهید.
5. پیمانکار اصلی و فرعی چیست؟
6. هدف از انجام "برنامه ریزی و کنترل پروژه" چیست؟

ساختار شبکه

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.

نمودار شبکه ای به صورتهای مختلف قابل ارائه میباشد ولی متداولترین آنها از نوع **شبکه های برداری** میباشد.

در نوع دیگر شبکه ها، فعالیتها در داخل گره ها نشان داده میشود.

(که بعد ها به آن می پردازیم)

ساختار اولیه شبکه

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

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

روشهای تهیه اطلاعات و تنظیم شبکه

۱- روش مدیریت اجرایی

تیمی متشکل از ۳ یا ۴ نفر شامل مدیر پروژه، مهندس یا مشاور فنی آگاه به CPM خواهد بود که به دلیل محدودیت نفرا ت اختلاف سلیقه ها کاهش می یابد ولی در نتیجه محدودیت امکان 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 میگردد ولی زمان زیادی صرف میشود ولی احتمال اشکال در آن کم است و جلسات در قالب کنفرانس های هر قسمت تخصصی برقرار میشود.

۳- روش مشاوره ای

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

تعاریف مرتبط با شبکه

- شبکه هایی که در آنها فعالیتها بر روی کمانها نشان داده می شوند را شبکه برداری یا AOA نامند. Activity On Arrow
- شبکه هایی که در آنها فعالیتها بر روی گره ها نشان داده می شوند را شبکه گره ای یا AON نامند.Activity On Node
- 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.

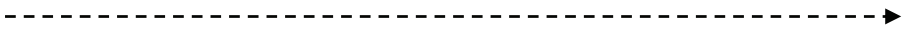
مثل شکل زیر :

لوله کشی ساختمان

تعاریف مرتبط با شبکه- ادامه

- فعالیتهای مجازی یا موهوم (Dummy Activity):

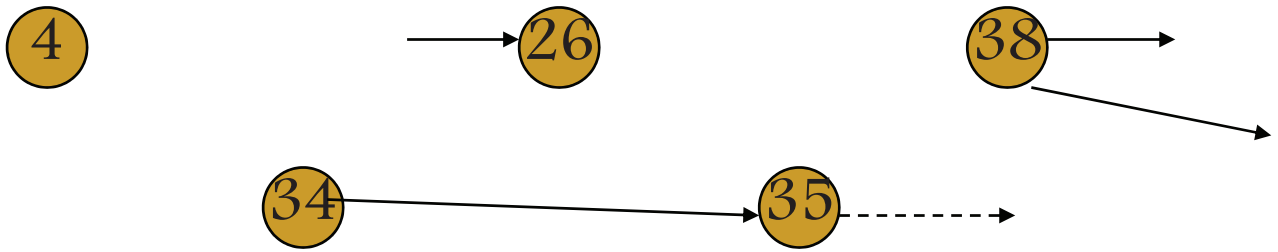
فعالیتهایی هستند که ضمن اجرای پروژه وجود نداشته و به منابعی مثل زمان یا سایر منابع احتیاج ندارند و تنها به منظور نشان دادن وابستگی های بین عملیات پروژه، به شبکه اضافه میشوند وبه وسیله بردار خط چین نشان داده میشوند.



تعاریف مرتبط با شبکه- ادامه

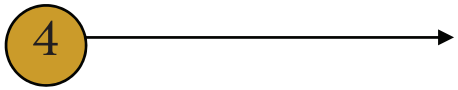
- رویداد یا گره(Event/Node) : نقاط آغاز یا پایان یک فعالیت، یا دسته ای از فعالیت ها را رویداد گویند.

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



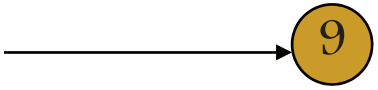
تعاریف مرتبط با شبکه- ادامه

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



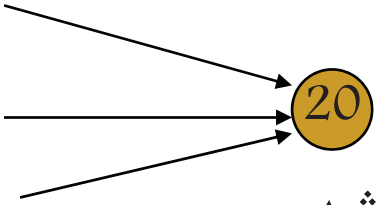
گره ای که در نقطه آغازین بردار مربوط به آن فعالیت قرار گرفته .

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



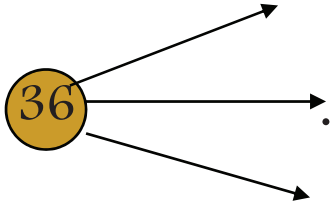
گره ای که در پایان فعالیت واقع شده است.

- 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.

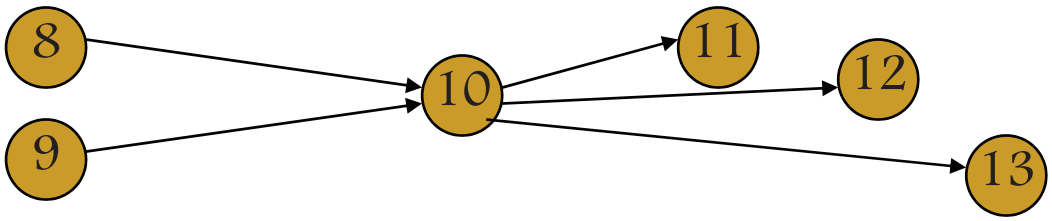
تعاریف مرتبط با شبکه- ادامه تعاریف مرتبط با شبکه- ادامه

- فعالیت پیش نیاز(Precedent Activity):

فعالیت A را در صورتیکه پیش نیاز فعالیت B میگویند که بلافاصله بعد از تکمیل A فعالیت B قابل شروع شدن باشد.

- گره / رویداد مرکب (Complex Node):

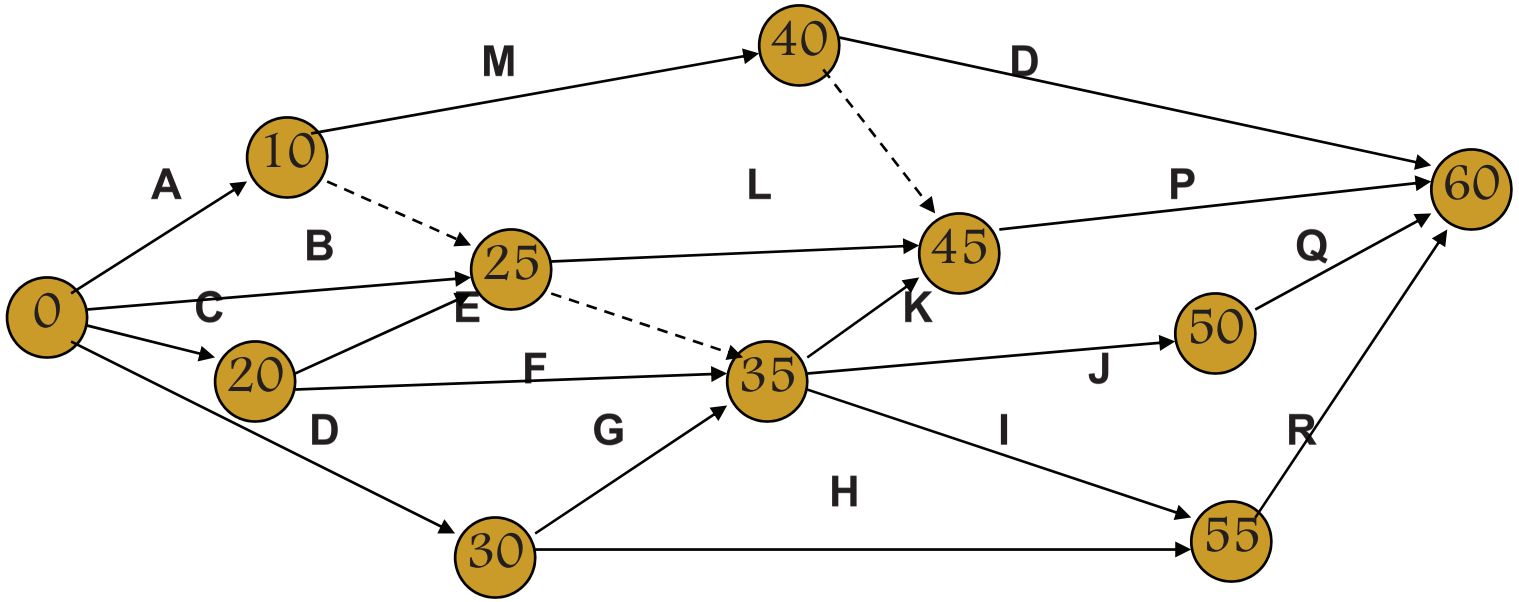
گره ای است که بیش از یک بردار به آن وارد و بیش از یک بردار از آن خارج شده باشد.



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

۲- یک بردار فقط و فقط نشان دهنده وضعیت تقدم وتأخر انجام فعالیتی است که با آن بردار معرفی میشود. به عبارت دیگر، شکل ظاهری بردار(طول،پهنا،زاویه و...) ارزش ومعنی خاصی ندارد.

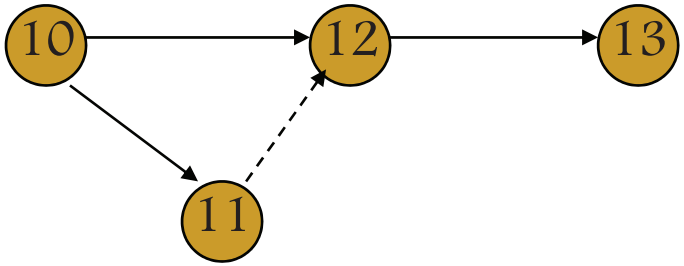
۳- به منظور شناسایی گره ها، آنها را کد گذاری می کنند، که هیچ دو یا چند گره ای نباید شماره یکسان داشته باشد.

قوانین رسم شبکه های برداری

۴- هر دو گره را فقط یک بردار میتواند به هم وصل نماید

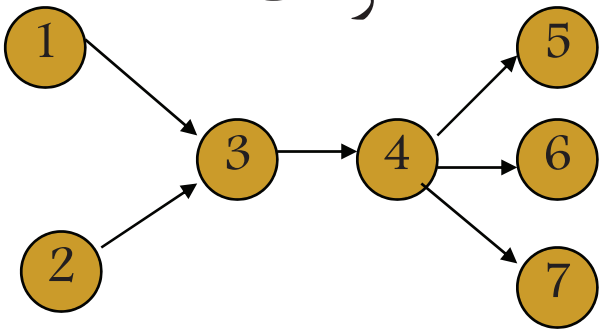
نادرست

درست

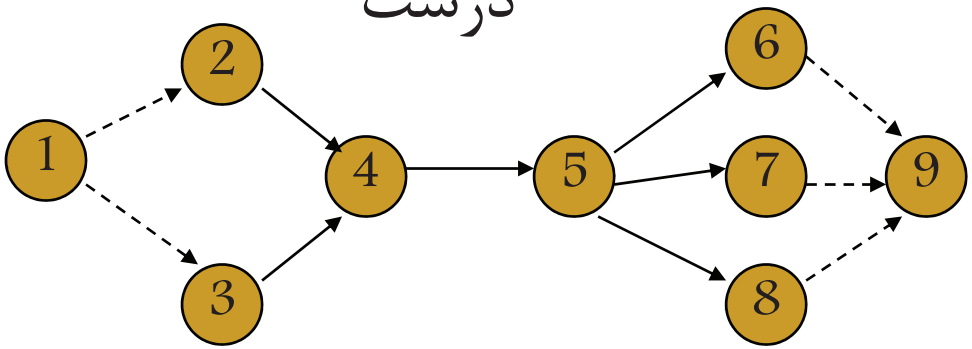


۵- شبکه فقط میتواند یک گره شروع و یک گره پایان داشته باشد.

نادرست



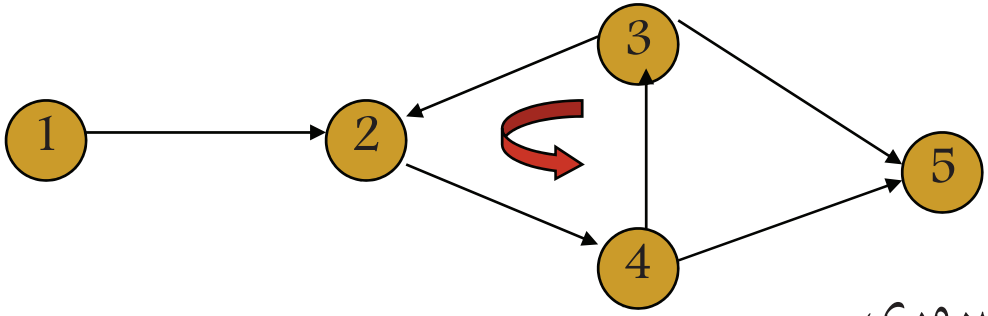
درست



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.

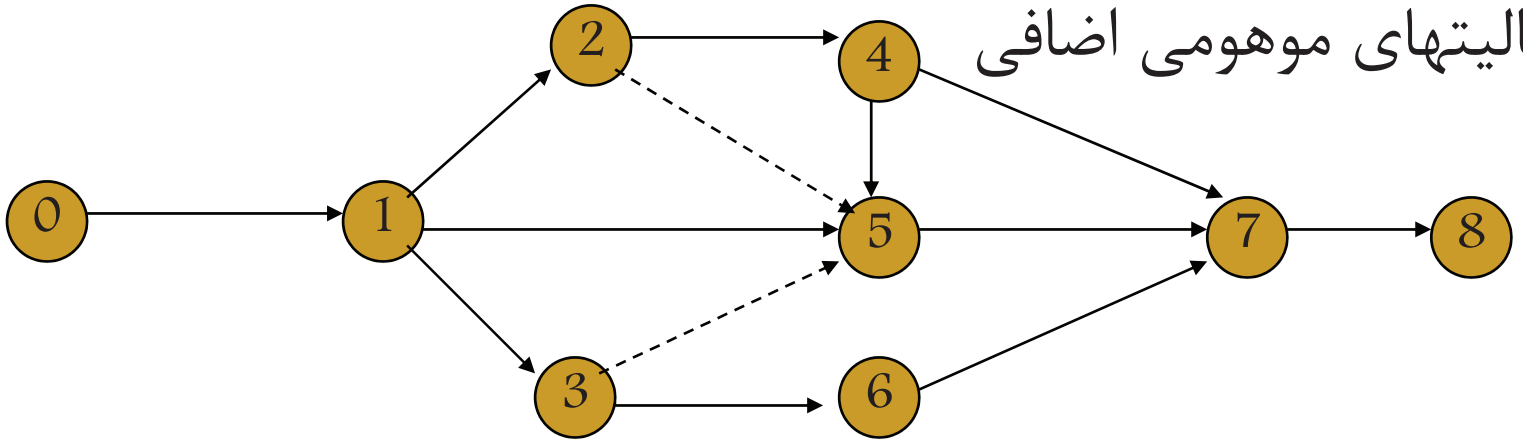


- وابستگی های غیر ضروری

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

اشتباهات عمومی در ترسیم شبکه- ادامه

- فعالیتهای موهومی اضافی



فعالیت موهومی ۵-۳ نشان میدهد که ۷-۵ به ۳-۱ وابسته است. اگر ۵-۳ از شبکه حذف شود، این وابستگی نیز از بین میرود پس وجود فعالیت ۵-۳ ضروری است.ولی برای آغاز ۷-۵ لازم است ۲-۱ انجام شده باشد. که اگر ۵-۲ را حذف کنیم، باز این وابستگی از طریق ۴-۲ و۵-۴ حفظ شده است، پس فعالیت ۵-۲ غیر ضروری است.

انواع وابستگی ها

- وابستگی های طبیعی

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

- وابستگی های امکاناتی

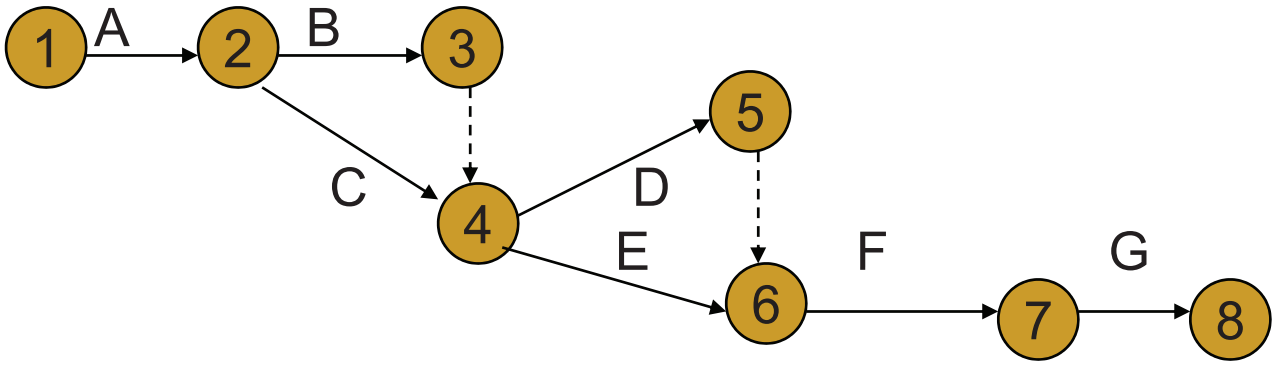
که به دلیل محدودیت منابع ایجاد می شود. مثلاً در یک دانشگاه ظاهراً فعالیت" ثبت نام دانشجویان" با فعالیت " اعلام نتایج نمرات به دانشجویان" وابستگی ندارد ولی ممکن است به دلیل محدودیت منابع انسانی، یکنفر پس از تکمیل اولی به دومی بپردازد.

مثال رسم شبکه

- پروژه ای با عنوان " ایجاد پل عابر پیاده در یکی از خیابانهای شهر" مطرح است. برای اجرای این پروژه، فعالیتهایی که تعریف شده به همراه مدت زمان اجرا و روابط منطقی بین آنها در جدول زیر آورده شده است و از فعالیتهای جزئی تر آن چشم پوشی شده است، شبکه برداری این پروژه رارسم نمایید.

ردیف	کد	شرح فعالیت	مدت اجرا (هفته)	فعالیت پیش نیاز
۱	A	برسی 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	تحویل و نصب پل	۳	D,E
۷	G	آزمایش وکنترل پل قبل از بهره برداری	۱	F

جواب رسم شبکه



انواع روابط میان دو فعالیت

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

روابط میان هر دو فعالیت از فعالیتهای 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 فعالیتها 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 میشود.

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 .

نمودار گانت

در اوایل قرن بیستم، هنری گانت(۱۹۱۹-۱۸۶۱)و فردریک تیلور(۱۹۱۵-۱۸۵۶)

برای برنامه ریزی پروژه ها از یک نمودار که محور افقی آن نشان دهنده عامل زمان بود و محور عمودی آن نشانگر فعالیتهای لازم در اجرای پروژه بود، استفاده نمودند. این نمودارها برای نشان دادن زمان های آغاز و پایان فعالیتها بوده و هنوز هم بسیاری از مؤسسات و سازمانها از آن استفاده میکنند.

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

روش مسیر بحرانی(CPM)

در سالهای دهه ۱۹۵۰ گروهی از دانشمندان علوم تحقیق در عملیات به فکر ایجاد روشهای کاملتری برای برنامه ریزی پروژه ها افتادند.

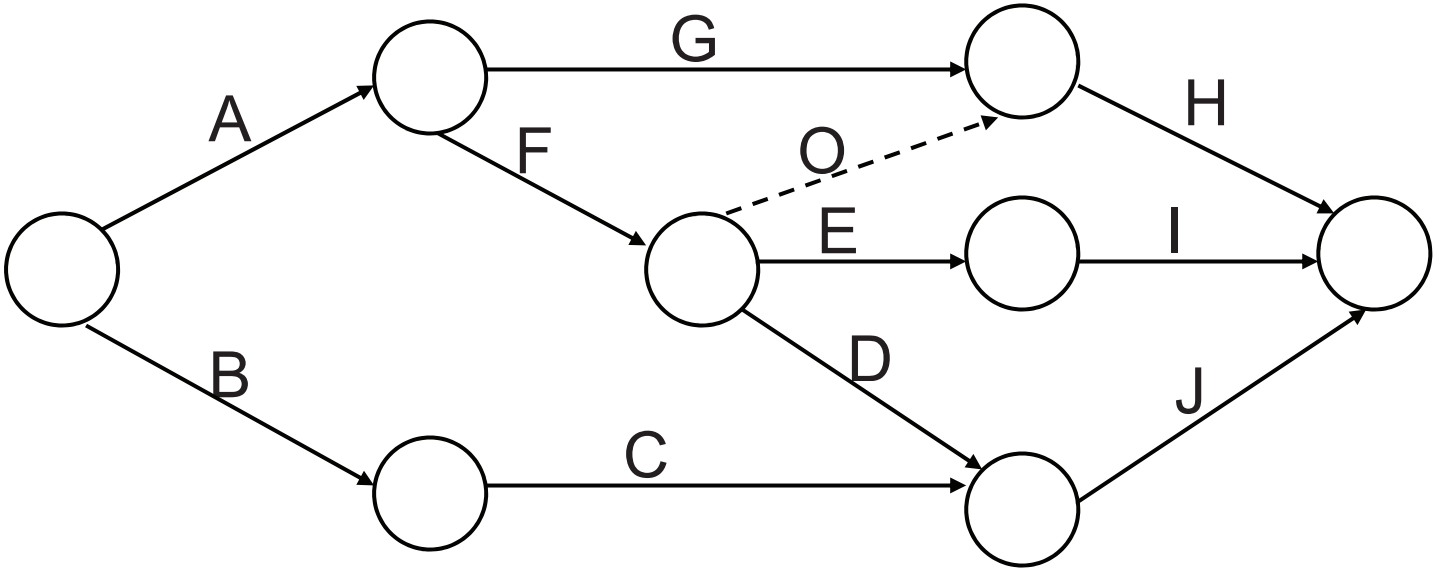
شرکت تولیدی "دوپان-Du pant " یک گروه تحقیقاتی را مأمور بررسی کاربرد های روشهای جدید مدیریت در امور مهندسی شرکت نمود.

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

پیش از پرداختن به این روش، با تعاریف زیر آشنا میشویم:

راه (مسیر) شبکه

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 Start 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

RS_{ij} (Interfering Slack or Interfering Float): فرجه یا شناوری تداخلی

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 میرود و در آن گره خاتمه می پذیرد. که دارای ۳ قانون است:

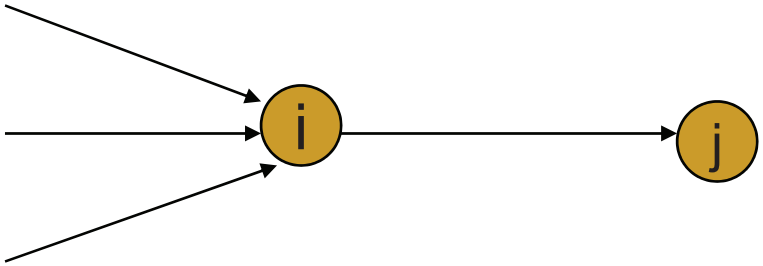
قانون ۱- زودترین زمان وقوع گره شروع را برابر صفر بگیرید $E_1 = 0$ مشروط بر آنکه شماره ۱ به گره شروع تخصیص یافته باشد.

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:



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

محاسبات روش مسیر بحرانی-ادامه

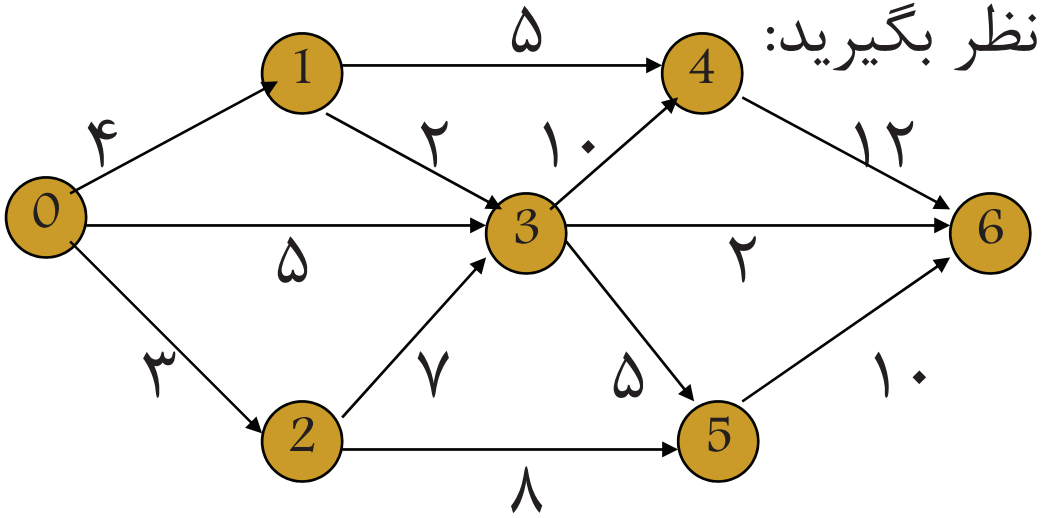
ادامه محاسبه حرکت رفت :

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) ۳←۰ (از رویداد صفر به رویداد ۳)

ب) ۳←۲←۰ (از رویداد صفر به رویداد ۲ و از ۲ به رویداد ۳)

ج) ۳←۱←۰ (از رویداد صفر به رویداد ۱ و از ۱ به رویداد ۳)

زمانهای لازم برای عبور از این سه راه :

الف) ۵ ب) ۱۰=۷+۳ ج)۶=۲+۴

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

حل مثال-ادامه

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

(زودترین تاریخ تکمیل پروژه) عبارتست از:

$E_5 + D_{5-6} = 15 + 10 = 25$

$E_4 + D_{4-6} = 20 + 12 = 32$

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

$E_6 = 32$

نتایج محاسبات حرکت رفت

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

محاسبات روش مسیر بحرانی-ادامه

- محاسبه حرکت برگشت:

محاسبات حرکت برگشت ، به منظور تعیین دیرترین زمان وقوع هر گره و دیرترین زمانهای شروع و پایان هر یک از فعالیتهای شبکه انجام میشود و دارای سه قانون میباشد:

قانون۱- 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.

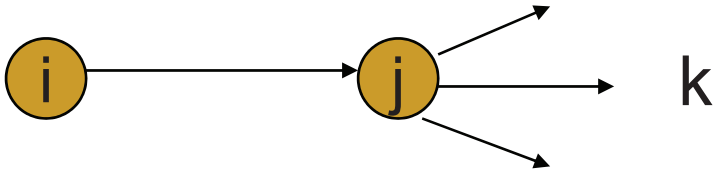
$$L_n = T_s \ or \ E_n$$

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 میشود در غیر اینصورت دیرترین زمان تحقق گره پایان پروژه، برابر با زودترین زمان وقوع ان در نظر گرفته میشود.

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 زمانهای شروع فعالیتهای بعد از فعالیت**(i-j)** بگیرید، یعنی:



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

طبق این قانون، دیرترین زمان پایان کلیه فعالیتهایی که به یک گره وارد میشوند، 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 برا ی شبکه مثال قبل انجام میدهیم:

چون زمان خاصی برای T_s مطرح نشده است، دیر ترین زمان وقوع گره پایانی، برابر با زودترین زمان وقوع آن قرار میگیرد.

$$T_6 = E_6 = L_6 = 32$$

حال به دیر ترین تاریخ های ممکن برای سایر رویدادهای شبکه توجه میکنیم.

برای رویداد ۴ دیرترین تاریخ ممکن عبارت است از دیرترین تاریخ رویداد ۶ منهای زمان فعالیت ۶-۴ میباشد.

به عبارت دیگر در صورتیکه لازم باشد رویداد ۶ حداکثر تا تاریخ ۳۲ به وقوع بپیوندد، الزاماً باید رویداد ۴ حداکثر تا تاریخ ۲۰=۱۲-۳۲ اتفاق افتاده باشد، در غیر اینصورت تاریخ وقوع رویداد ۶ از ۳۲ تجاوز خواهد نمود. $L_4 = L_6 - D_{4-6} = 32 - 12 = 20$

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:

الف) از ۶ به ۳

$$L_6 - D_{3-6} = 32 - 2 = 30$$

ب) از ۴ به ۳

$$L_4 - D_{3-4} = 20 - 10 = 10$$

ج) از ۵ به ۳

$$L_5 - D_{3-5} = 22 - 5 = 17$$

دیرترین تاریخ ممکن برای وقوع رویداد ۳ عبارت از کوچکترین عددی که بدین طریق محاسبه شده، یعنی عدد ۱۰ خواهد بود. (زیرا در صورتیکه رویداد ۳ در هر تاریخی دیرتر از ۱۰ به وقوع بپیوندد فعالیت ۴-۳ 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:

برای رویداد ۱:

$$L_4 - D_{1-4} = 20 - 5 = 15$$
$$L_3 - D_{1-3} = 10 - 2 = 8$$
$$L_1 = 8$$

برای رویداد ۲:

$$L_3 - D_{2-3} = 10 - 7 = 3$$
$$L_5 - D_{2-5} = 22 - 8 = 14$$
$$L_2 = 3$$

و برای رویداد صفر:

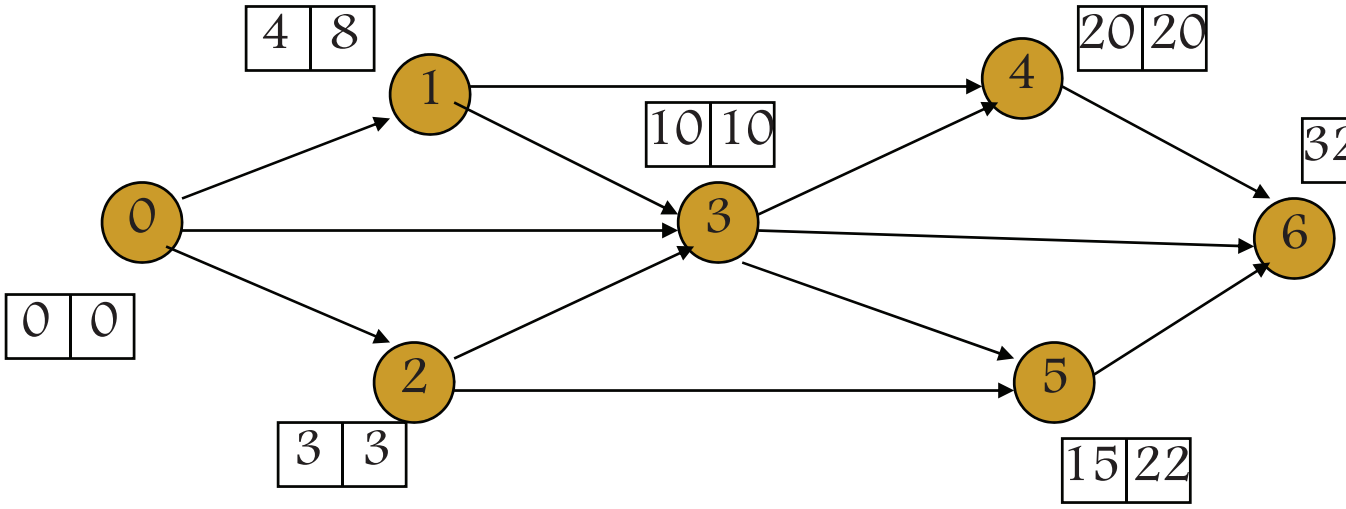
$$L_1 - D_{0-1} = 8 - 4 = 4$$
$$L_3 - D_{0-3} = 10 - 5 = 5$$
$$L_2 - D_{0-2} = 3 - 3 = 0$$
$$L_0 = 0$$

نتایج محاسبات حرکت برگشت

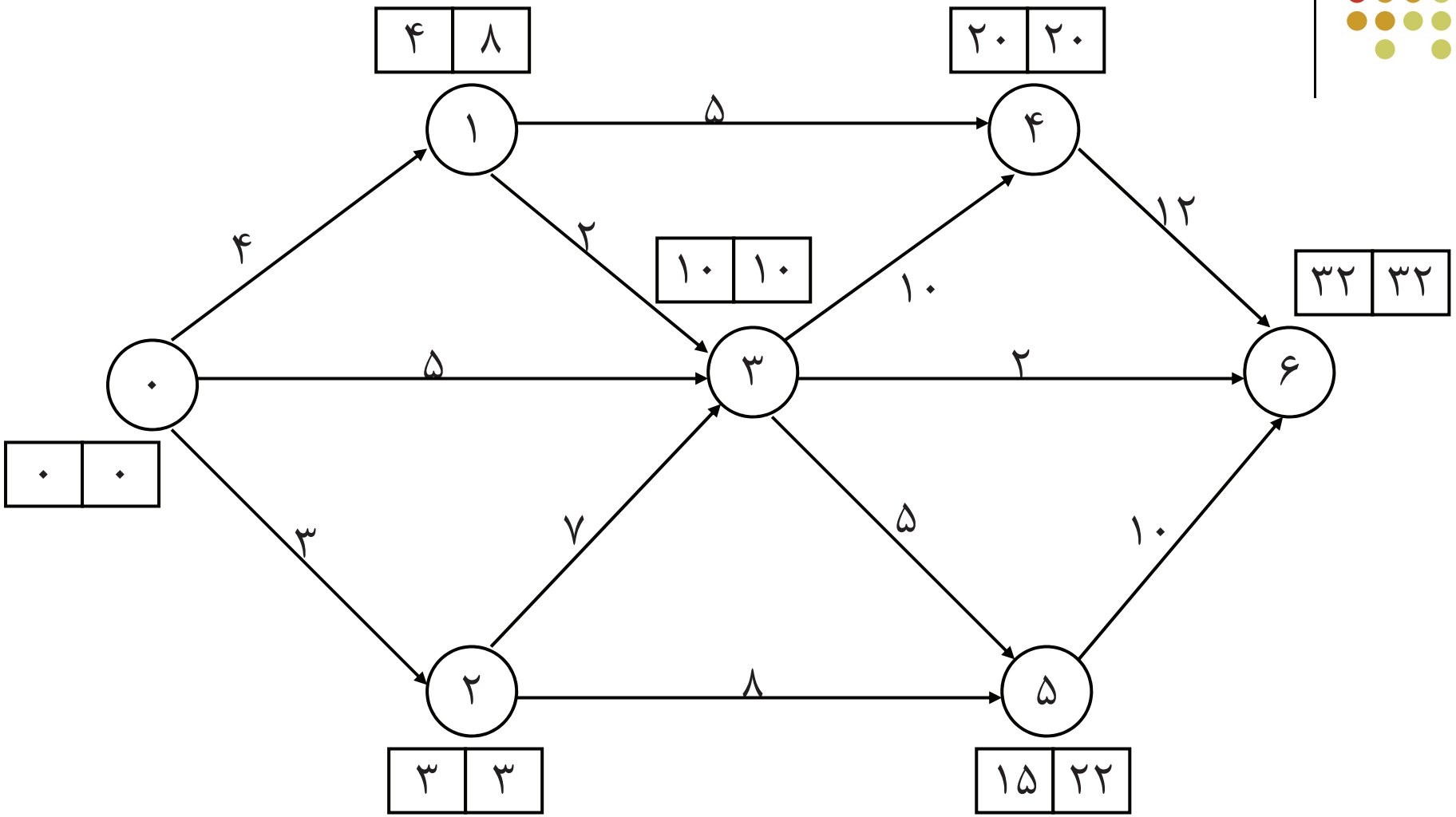
LF	LS	D	فعالیتها	ردیف
8	4	4	0-1	1
3	0	3	0-2	2
10	5	5	0-3	3
10	8	2	1-3	4
20	15	5	1-4	5
10	3	7	2-3	6
22	14	8	2-5	7
20	10	10	3-4	8
22	17	5	3-5	9
32	30	2	3-6	10
32	20	12	4-6	11
32	22	10	5-6	12

ادامه محاسبات رفت و برگشت

- برای سهولت در انجام محاسبات رفت و برگشت، در روی شبکه میتوان 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 میدهد.



شبکه با دیرترین و زودترین تاریخ وقوع



شناوری در تاریخ های وقوع رویدادها

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

$$۸-۴=۴$$

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

$$F_i = L_i - E_i$$

شناوری در تاریخ های وقوع رویدادها– ادامه

- برای مثال قبل میتوان جهت نشان دادن مقدار شناوریهای رویداد جدول زیر را تشکیل داد:

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

ادامه تعاریف مسیر بحرانی

- **رویداد بحرانی:** در یک شبکه رویداد هائی 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.
- **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)
- **مقدار شناوری یک راه:** عبارت از اختلاف بین کل زمان لازم برای تکمیل پروژه ،و جمع زمانهای فعالیتهای تشکیل دهنده آن راه میباشد. پس برای یک راه که شامل فعالیتهای1,2,...m باشد داریم:

شناوری راه = $E_c - E_s - (D_1 + D_2 + ... + D_m)$

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 ۶-۴-۱-۰ 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 میباشد. 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 نمی باشد)

قبل از توضیح در مورد تشخیص فعالیتهای بحرانی و در نتیجه مسیر بحرانی، لازم است تاریخ ها و شناوری های فعالیت ها 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 فعالیتها 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 زمانها بر روی یک محور زمان نیز به نمایش درآمده اند.

پس ۱) زودترین تاریخ شروع فعالیت(i-j) = زودترین تاریخ وقوع رویداد I

$$ES_{ij} = E_i$$

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 :

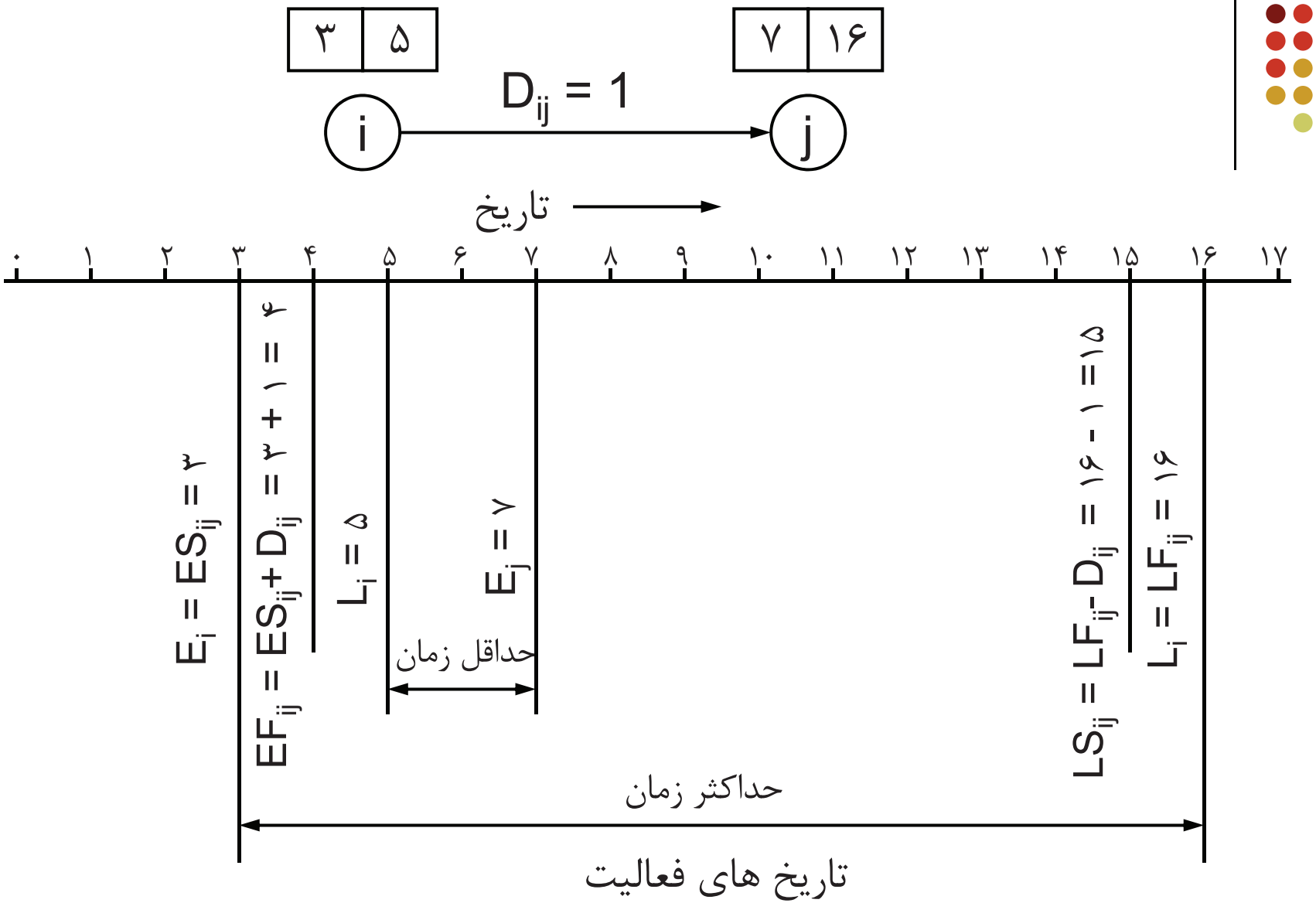
دیرترین تاریخ پایان (i-j) = دیرترین تاریخ وقوع زویداد j

$$LF_{ij} = L_j$$

۴) برای اینکه(i-j) بتواند حداکثر تا تاریخLF_{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)

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


۳
۵
۷
۱۶
$D_{ij} = 1$
i
j
تاریخ
۰ ۱ ۲ ۳ ۴ ۵ ۶ ۷ ۸ ۹ ۱۰ ۱۱ ۱۲ ۱۳ ۱۴ ۱۵ ۱۶ ۱۷
$E_i = ES_{ij} = ۳$
$EF_{ij} = ES_{ij} + D_{ij} = ۳ + ۱ = ۴$
$L_i = ۵$
$E_j = ۷$
حداقل زمان
$LS_{ij} = LF_{ij} - D_{ij} = ۱۶ - ۱ = ۱۵$
$L_j = LF_{ij} = ۱۶$
حداکثر زمان
تاریخ های فعالیت

شناوری فعالیت ها

- با مراجعه به شکل قبل میتوان نتیجه گرفت که فعالیت i-j را میتوان در تاریخ ۳ شروع کرد، ولی حتی اگر شروع این فعالیت تا تاریخ ۱۵نیز 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 jاست 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، فعالیتهایی را که دارای چنین خاصیتی هستند، فعالیتهای دارای شناوری یا فرجه میگویند.

انواع شناوری

ما سه نوع شناوری داریم:

۱- **شناوری جمعی:** مقدار زمانی که یک فعالیت میتواند 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

- ولی داریم: $L_j = LF_{ij}\ , E_i + D_{ij} = EF_{ij}$

پس :

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

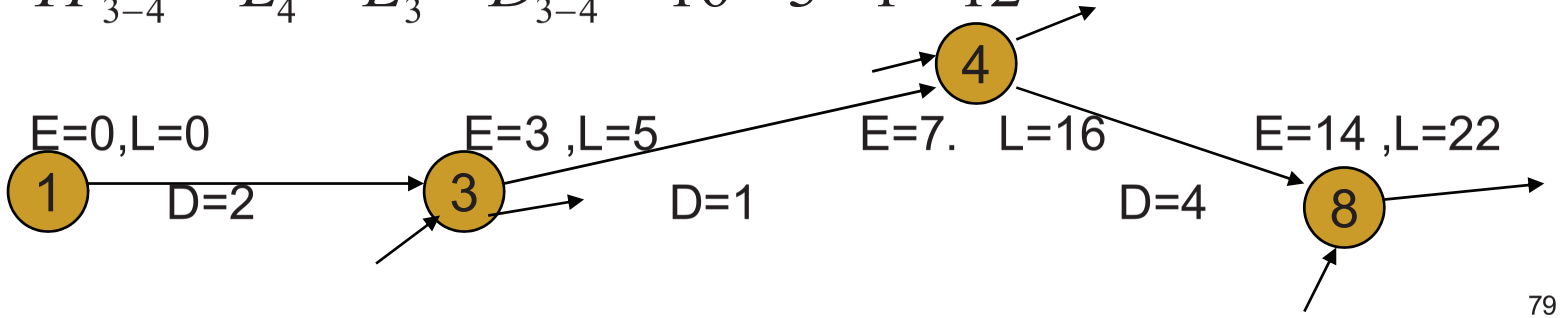
همینطور داریم: $E_i = ES_{ij}\ , L_j - D_{ij} = LS_{ij}$

پس :

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

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

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



انواع شناوری– شناوری جمعی-ادامه

- فعالیت (۴-۳) را میتوان 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 میتواند 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 (۴-۳) از کل زمان شناوری خود استفاده نماید، الزاماً رویداد ۳و۴ به ترتیب در زودترین و دیرترین تاریخهای ممکن به وقوع می پیوندند. چنین حالتی باعث خواهد شد که مثلاً فعالیت (۸-۴) نتواند در زودترین تاریخ ممکن، یعنی در تاریخ ۷، شروع شود چون هنوز فعالیت(۴-۳) کامل نشده و بنابراین رویداد ۴ به وقوع نپیوسته است.
- مقدار زمانی که یک فعالیت میتواند به تعویق بیفتد،یا به زمان اجرای آن افزوده شود، بدون آنکه برمقدار شناوری فعالیتهای 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 :

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

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

انواع شناوری– شناوری مستقل

- در شکل قبل، در صورتی که فعالیت (۴-۳) از زمان شناوری آزاد خود استفاده نماید ، گو اینکه بر فعالیت بعدی خود اثری نمیگذارد ولی رویداد پایه این فعالیت یعنی رویداد ۳ باید الزاماً در زودترین تاریخ ممکن اتفاق بیافتد. چنین امری ایجاب میکند که فعالیتهایی که به رویداد ۳ ختم میشوند نتوانند از حداکثر زمان شناوری خود استفاده نمایند. در شرایطی که لازم باشد آن مقدار شناوری برای یک فعالیت مورد استفاده قرار میگیرد 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 میشود

انواع شناوری – شناوری مستقل–ادامه

- پس مقدار شناوری مستقل فعالیت (i-j) عبارتست از:

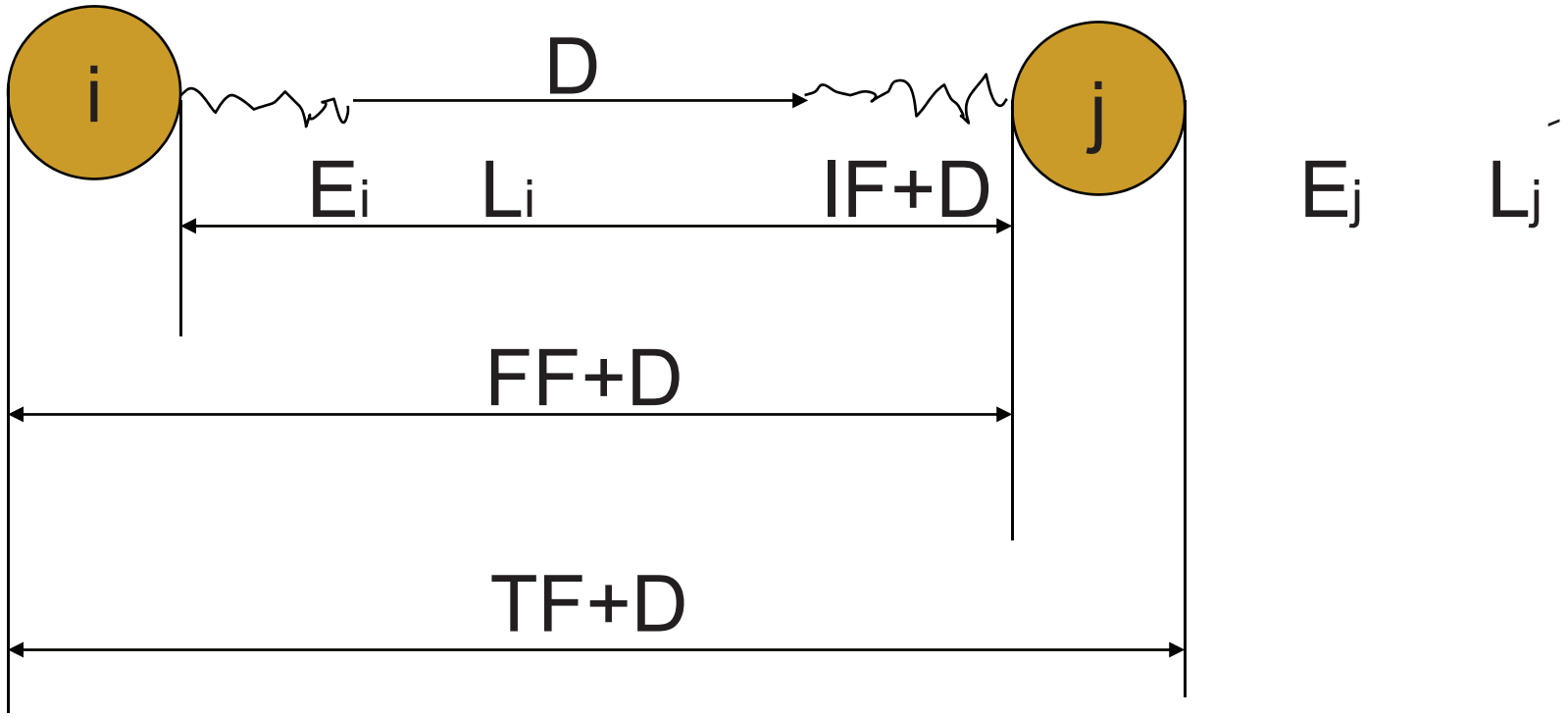
$$IF_{ij} = E_j - L_i - D_{ij}$$

در مثال قبل ، مقدار شناوری مستقل فعالیت (۴-۳) عبارتست از:

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

لازم به یادآوری است که مقدار شناوری مستقل فعالیتها میتواند کوچکتر از صفر(منفی) باشد. چنین شرایطی در یک فعالیت این معنی را میرساند که فعالیت مربوطه دارای شناوری مستقل نبوده و حتی در شرایطی که این فعالیت در زمان معمولی خود اجرا میشود، بر شناوری فعالیتهای 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



تعیین فعالیتهای بحرانی و مسیر های بحرانی شبکه

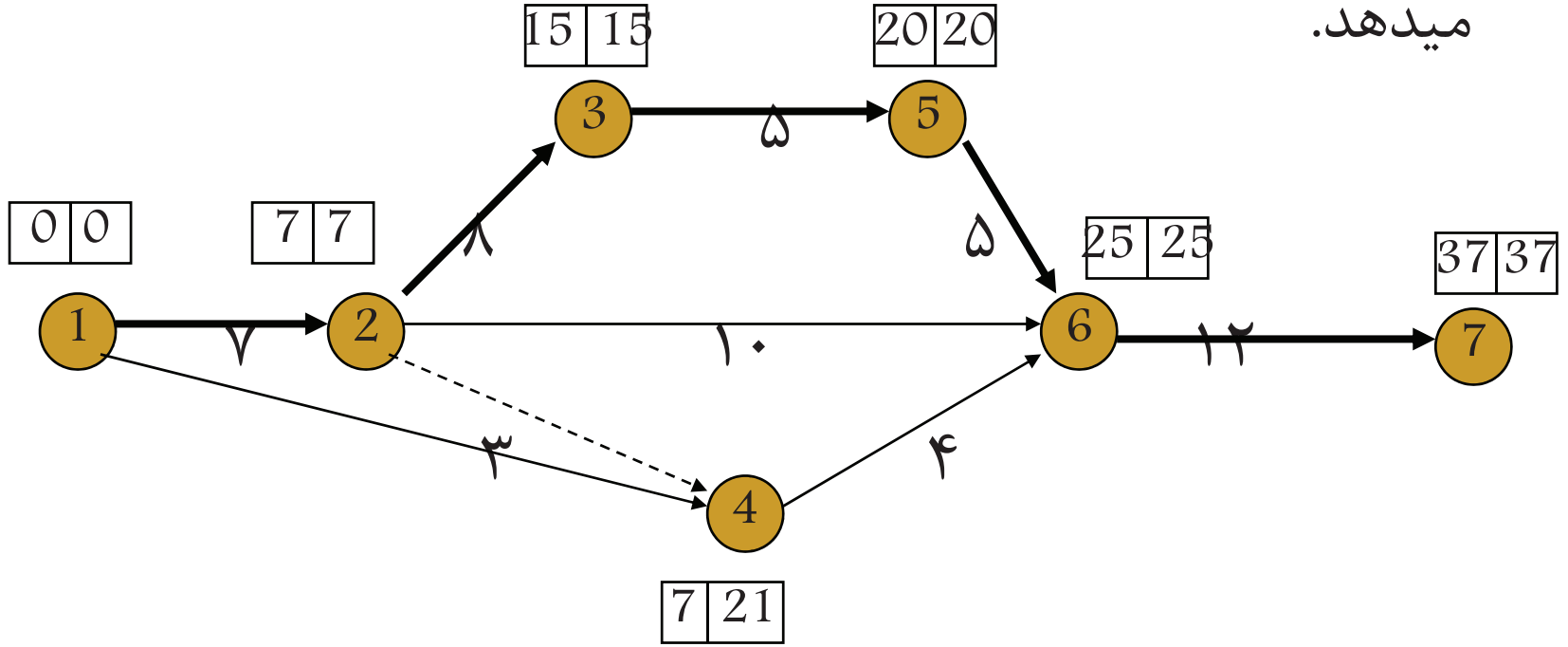
- قبلاً گفته شد که در هر شبکه مسیر یا مسیر هایی که دارای طولانی ترین زمان باشند، مسیر بحرانی نامیده شده و فعالیتهای روی این مسیرها، فعالیتهای بحرانی نامیده میشود. پس:

فعالیتهای بحرانی در یک شبکه، فعالیتهایی هستند که شناوری جمعی آنها برابر صفر باشد.

بدیهی است هر مسیری که شامل یک یا چند فعالیت بحرانی باشد، الزاماً همگی فعالیتهای 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 فعالیتها بحرانی نباشند، شبکه زیر این موضوع را بهتر نشان میدهد.



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 ودر حقیقت از ۸ واحد زمان، شناوری جمعی برخوردار است. شبکه بحرانی با خطوط زخیم مشخص شده است.

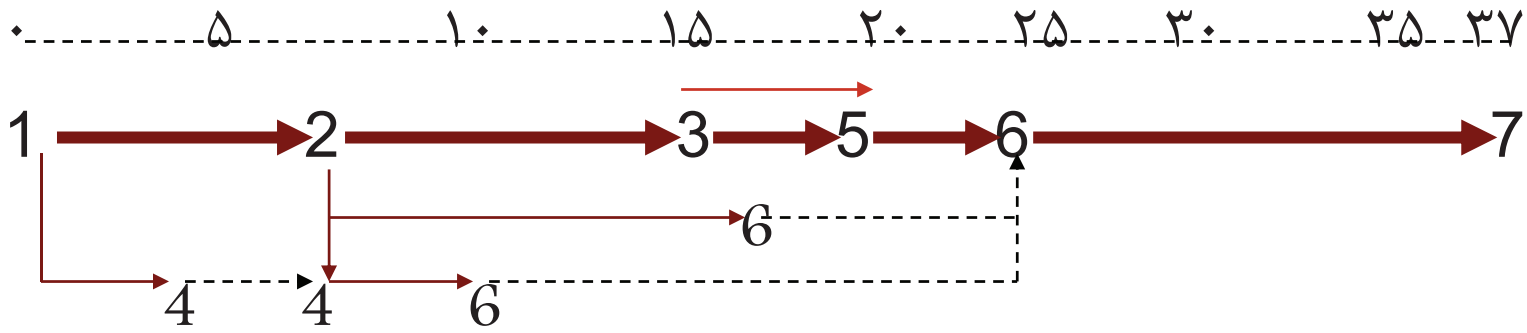
فعالیت	شناوری جمعی	ملاحضات
۱-۲	۷-۰-۷=۰	بحرانی
۲-۳	۱۵-۷-۸=۰	بحرانی
۱-۴	۲۱-۰-۳=۱۸	
۲-۴	۲۱-۷-۰=۱۴	
۳-۵	۲۰-۱۵-۵=۰	بحرانی
۲-۶	۲۵-۷-۱۰=۸	
۴-۶	۲۵-۷-۴=۱۴	
۵-۶	۲۵-۲۰-۵=۰	بحرانی
۶-۷	۳۷-۲۵-۱۲=۰	بحرانی

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 ۷-۶-۵-۳-۲-۱ را تشکیل داده اند. سایر فعالیتهای پروژه (فعالیتهای ۴-۱ و۶-۴ و۶-۲) بحرانی نیستند . همانگونه که در شکل ملاحظه میشود فعالیتهای غیر بحرانی را میتوان تا حدود معینی دیرتر شروع نمود، یا زمان لازم برای اجرای آنها را طولانی تر نمود، بدون آنکه زمان تکمیل پروژه به تأخیر بیفتد.

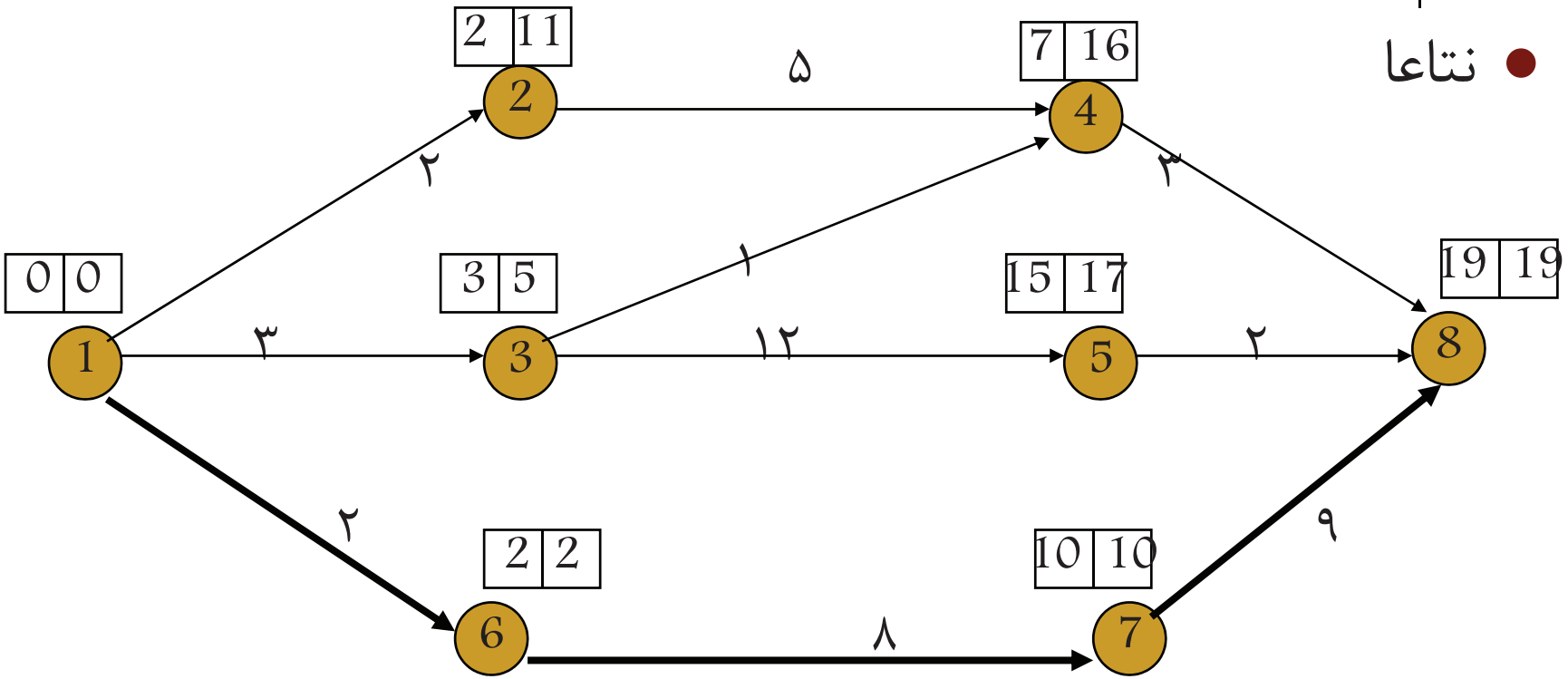


جدول محاسبات اصلی

- 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 زمانها را در آن نشان داد. این جدول مربوط به شکل بعد که محاسبات پیشروی و بازگشتی انجام گرفته،میباشد.
- مسیر بحرانی شامل فعالیتهای دارای شناوری صفر (TF=0) بوده و این مسیر در شکل بعد مشخص شده است.

جدول محاسبات اصلی- مثال

- نتاعا



جدول محاسبات اصلی-ادامه

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

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

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

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

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

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

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

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

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

جدول محاسبات اصلی-ادامه

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

ترتیب بندی فعالیتها به ترتیب درجه بحرانی بودن

- یکی از دلایل لزوم تفکیک فعالیتهای 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 فعالیتهای 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 فعالیتهایی در اصطلاح برنامه ریزی " نیمه بحرانی" یا Sub-Critical نامیده میشوند.

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 فعالیتهای مختلف، بستگی به مقدار شناوری این فعالیتها داشته و به هر میزان که شناوری فعالیتی کمتراست، 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 فعالیتهایی باشد که شناوری جمعی آنها با یکدیگر مساوی است.

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

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

ترتیب بندی فعالیتها به ترتیب درجه بحرانی بودن-ادامه

- در صورتی که روش بالا را برای فعالیتهای مربوط به شبکه نشان داده شده در شکل وجدول قبل اعمال کنیم، فعالیتها 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	۱-۳	
	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

واقعه کلیدی(Milestone)

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

وابستگی ربطی

- این نوع وابستگی که از نوع وابستگی طبیعی است، وقتی مطرح میشود که شروع یا پایان فعالیتی با شروع یا پایان فعالیت یا فعالیتهای دیگر رابطه زمانی داشته باشد.

- بنابراین چهار حالت ممکن است بین هردو فعالیت از پروژه وجود داشته باشد.

- SSیا شروع به شروع(Start to start): شروع فعالیت دوم با شروع فعالیت یکم رابطه زمانی دارد
- SF یا شروع به پایان (Start to Finish):پایان فعالیت دوم با شروع فعالیت یکم رابطه زمانی دارد
- FS یا پایان به شروع (Finish to start):شروع فعالیت دوم با پایان فعالیت یکم رابطه زمانی دارد
- FFیا پایان به پایان (Finish to finish):پایان فعالیت دوم با پایان فعالیت یکم رابطه زمانی دارد

شبکه های گره ای

- 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 فعالیتهای پروژه و وابستگی های بین آنها بوده و در سالهای 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 ها ی بین فعالیتها توسط بردارها نمایش داده میشوند.
- شبکه های گره ای (AON) اولین بار توسط مهندس Mons. Bernard Roy از شرکت مهندسی مشاور Metra International پایه گذاری شده است.

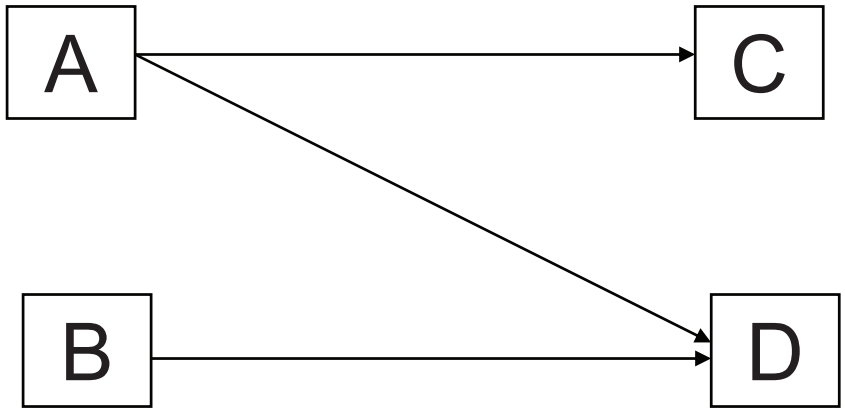
عناصر شبکه های گره ای

- شبکه ها ی گره ای از دو عنصر اصلی، **فعالیت** و **بردارهای نشان دهنده وابستگی** تشکیل میشوند.
- 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 فعالیتها نوشته میشود.
- **بردارهای نشان دهنده وابستگی ها** برای نشان دادن ارتباطات پیش نیازی بین فعالیتها مورد استفاده قرار میگیرند. که بردارها با خطوط مستقیم یا شکسته یا منحنی نشان داده میشوند.
- در شکل زیر ، دو فعالیت A و B این را میرساند که قبل از شروع فعالیت B باید فعالیت A تکمیل شده باشد.

عناصر شبکه های گره ای – ادامه

- در صورتیکه فعالیت های A ، B، C و 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 فعالیتها به شکل زیر خواهد بود.



عناصر شبکه های گره ای – ادامه

یا اگر بین فعالیتهای P,N,M,L,K و Q از یک پروژه روابط مطابق جدول زیر برقرار باشد:

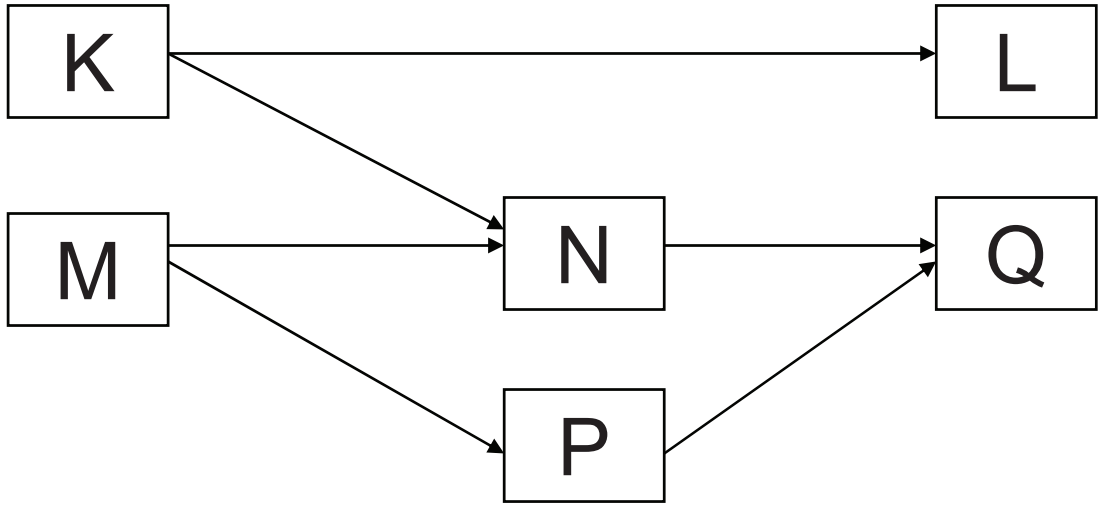
فعالیت	پیش نیازها
K	--
L	K
M	--
N	K,M
P	M
Q	P,N

آنگاه شبکه AON برای این فعالیتها مطابق شکل اسلاید بعد خواهد بود.

عناصر شبکه های گره ای – ادامه

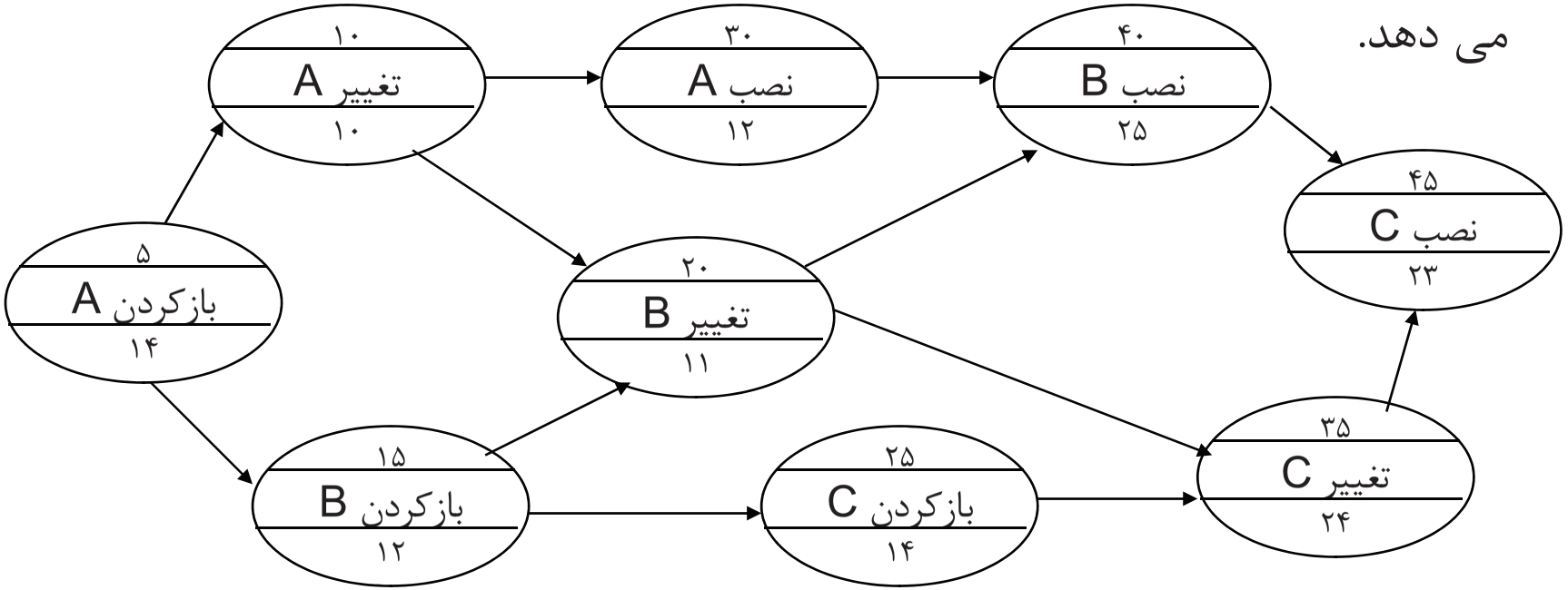
یکی از مزایای قابل توجه در شبکه های AON، این است که در آنها نیازی به ترسیم فعالیتهای مجازی که در شبکه های برداری (AOA) مورد استفاده قرار می گرفتند، نیست.

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 فعالیتها

- درصورتیکه نمایش نتیجه محاسبات زمانها، بر روی شبکه مورد نیاز نباشد می توان فعالیتها را به صورت دایره یا بیضی نشان داد. شرح مختصر هر فعالیت نیز در داخل علامت مربوطه نوشته می شود. شکل زیر یک نمونه شبکه با این نوع علائم را نشان می دهد.



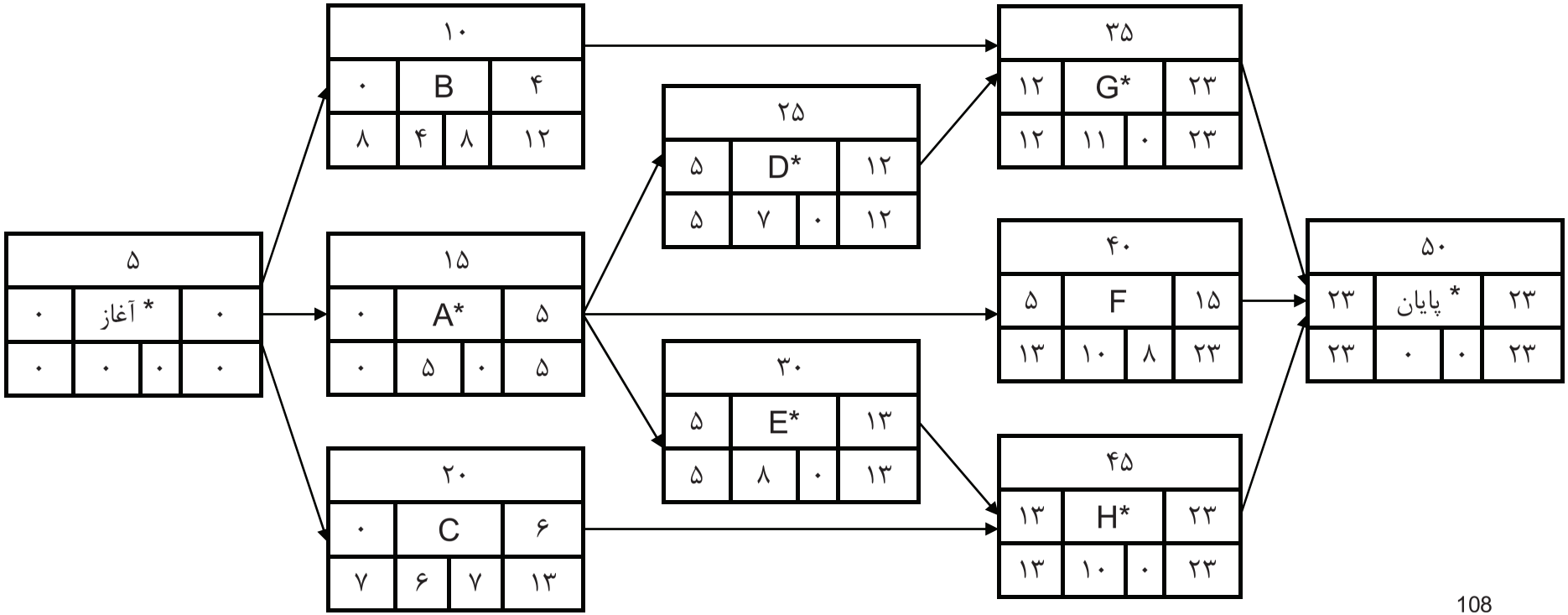
علائم قابل کاربرد بر روی فعالیتها- ادامه

- 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 فعالیتها 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 کمانها رو به افزایش باشد.
- در صورتیکه نمایش نتیجه محاسبات زمانهای فعالیتها بر روی شبکه لازم باشد، مناسب است از علامتهای مربعی یا مستطیلی به شکل زیر استفاده شود.

<table>
<tr><td colspan="4">شماره</td></tr>
<tr><td>ES</td><td colspan="2" rowspan="2">شرح
مختصر</td><td>EF</td></tr>
<tr><td rowspan="2">LS</td><td rowspan="2">LF</td></tr>
<tr><td>D</td><td>TF</td></tr>
</table>

محاسبات زمان در شبکه های گره ای

- اصول محاسبات زمانها در شبکه های گره ای، دقیقاً مطابق اصولی است که برای محاسبات زمانها در شبکه های برداری بکار گرفته میشد. در شکل بعد یک شبکهٔ گره ای را ملاحظه می کنید که محاسبات زمان بر روی آن انجام گرفته است.



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 میشود. مثلاً برای فعالیت شماره ۲۵ داریم :

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

در صورتیکه بیش از یک کمان به فعالیتی می رسد، زودترین تاریخ آغاز آن فعالیت برابر با بزرگترین عدد مربوط به EF های فعالیتهای 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 صورتیکه 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:

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

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 گره ای- ادامه

خطوط بحرانی در این شبکه ها به راحتی قابل تشخیص می باشند. در شکل قبل فعالیتهائی که دارای شناوری جمعی صفر (۰) هستند با علامت ستاره (*) مشخص گردیده اند.

این فعالیتها طبق آنچه قبلاً گفته شد، بحرانی هستند بنابراین خطوط بحرانی شبکه عبارتند از:

۱- مسیر (پایان ۵۰ ← ۳۵ ← ۲۵ ← ۱۵ ← شروع)

۲- مسیر (پایان ۵۰ ← ۴۵ ← ۳۰ ← ۱۵ ← شروع)

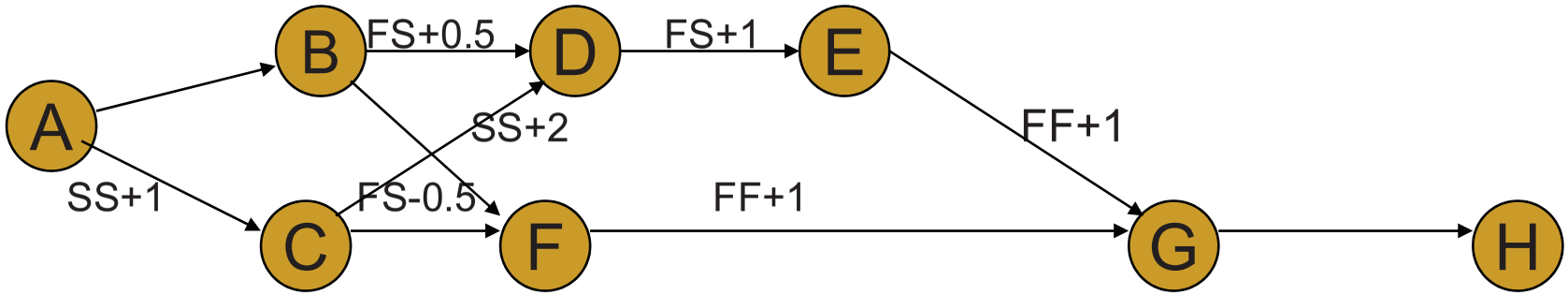
شبکه تقدمی یا مستطیلی (Precedence Network)

- **شبکه تقدمی**، نوعی شبکه گرهی است که در آن گروهی از روابط بین فعالیتها که از نوع وابستگی ربطی می باشند، نمایش پذیر هستند. بنابراین چنانچه برخی از وابستگی ها بین فعالیتهای یک پروژه از نوع ربطی باشد، الزاماً باید از شبکه تقدمی برای مدل سازی آن پروژه استفاده کرد.شبکه تقدمی خود به دو نوع یکم و دوم تفکیک می شوند:
- **شبکه تقدمی نوع یکم**

ابتدا شبکه گرهی اساسی رسم میگردد و سپس نوع وابستگی ربطی بین هر دو فعالیت و میزان تاخیر مربوط بر روی برداری که رابطه آن دو فعالیت را نشان می دهد، نوشته می شود.

مثال شبکه تقدمی نوع یکم

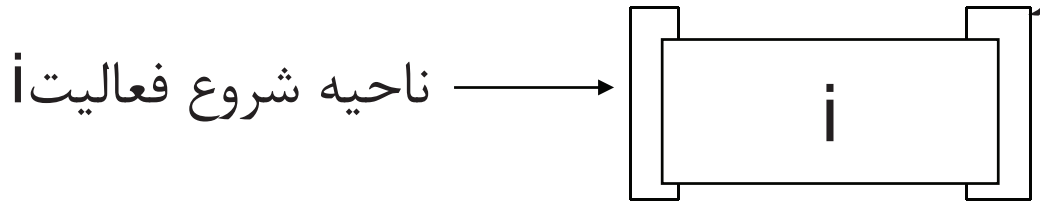
کد فعالیت	شرح فعالیت	مدت اجرا (هفته)	پیش نیاز ها
A	امکان سنجی	۲	-
B	بررسی منابع مورد نیاز	۳	A
C	منابع مالی مورد نیاز	۲	ASS+1
D	سفارش ساخت	۱	BFS+0.5,CSS+2
E	ساخت تجهیزات	۸	DFS+1
F	ساخت اتاق اداری	۷	B,CFS-0.5
G	تحویل و نصب تجهیزات	۳	EFF+1,FFF+1
H	راه اندازی آزمایشی	۱	G



شبکه تقدمی نوع دوم

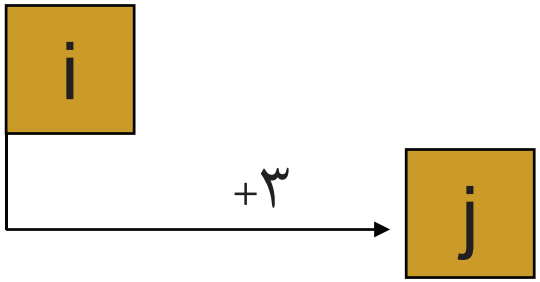
در شبکه تقدمی نوع دوم،گره ها به صورت مربع یا مستطیل رسم میشوند و دارای دو ناحیه شروع و پایان به شکل زیر هستند. چنانچه شروع فعالیتی با فعالیت بعدی ارتباط زمانی داشته باشد، بردار خروجی از گره متناظر با این فعالیت، از ناحیه شروع خارج میگردد و اگر پایان فعالیت با فعالیت بعدی ارتباط زمانی داشته باشد، بردار مزبور از ناحیه پایان خارج میشود.

به همین ترتیب بردار ورودی به گره مربوط به فعالیت دوم (بعدی) از طریق ناحیه شروع یا پایان به آن گره وارد میشود .در این حالت ۴ حالت ممکن است رخ دهد که در ادامه بیان میشود.



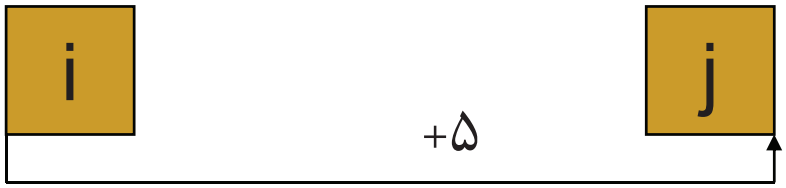
شبکه تقدمی نوع دوم-ادامه

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

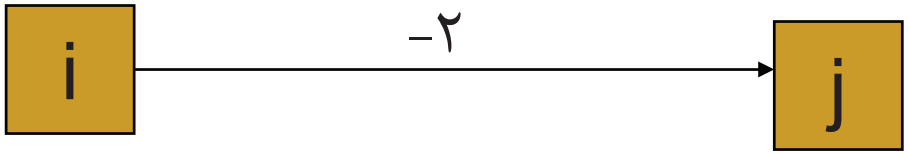


شبکه تقدمی نوع دوم-ادامه

ب) **رابطه شروع به پایان:** چنانچه شروع فعالیت یکم(i) با پایان فعالیت دوم (j) ارتباط زمانی داشته باشد (SF)، بین آنها را بصورت شکل زیر میتوان رسم کرد

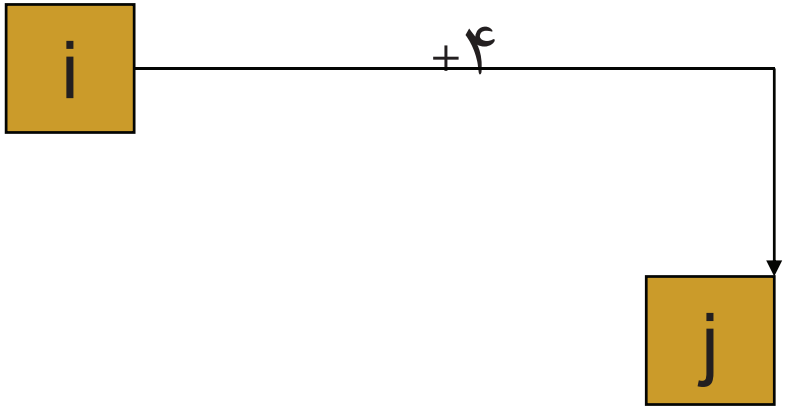


ج) **پایان به شروع :** یک نمونه از رابطه زمانی پایان فعالیت **i** با شروع فعالیت **j** با تاخیر منفی در شکل زیر ارائه شده است. دراین مثال، فعالیت **j** دو روز پیش از اتمام فعالیت **i** میتواند آغاز شود.



شبکه تقدمی نوع دوم-ادامه

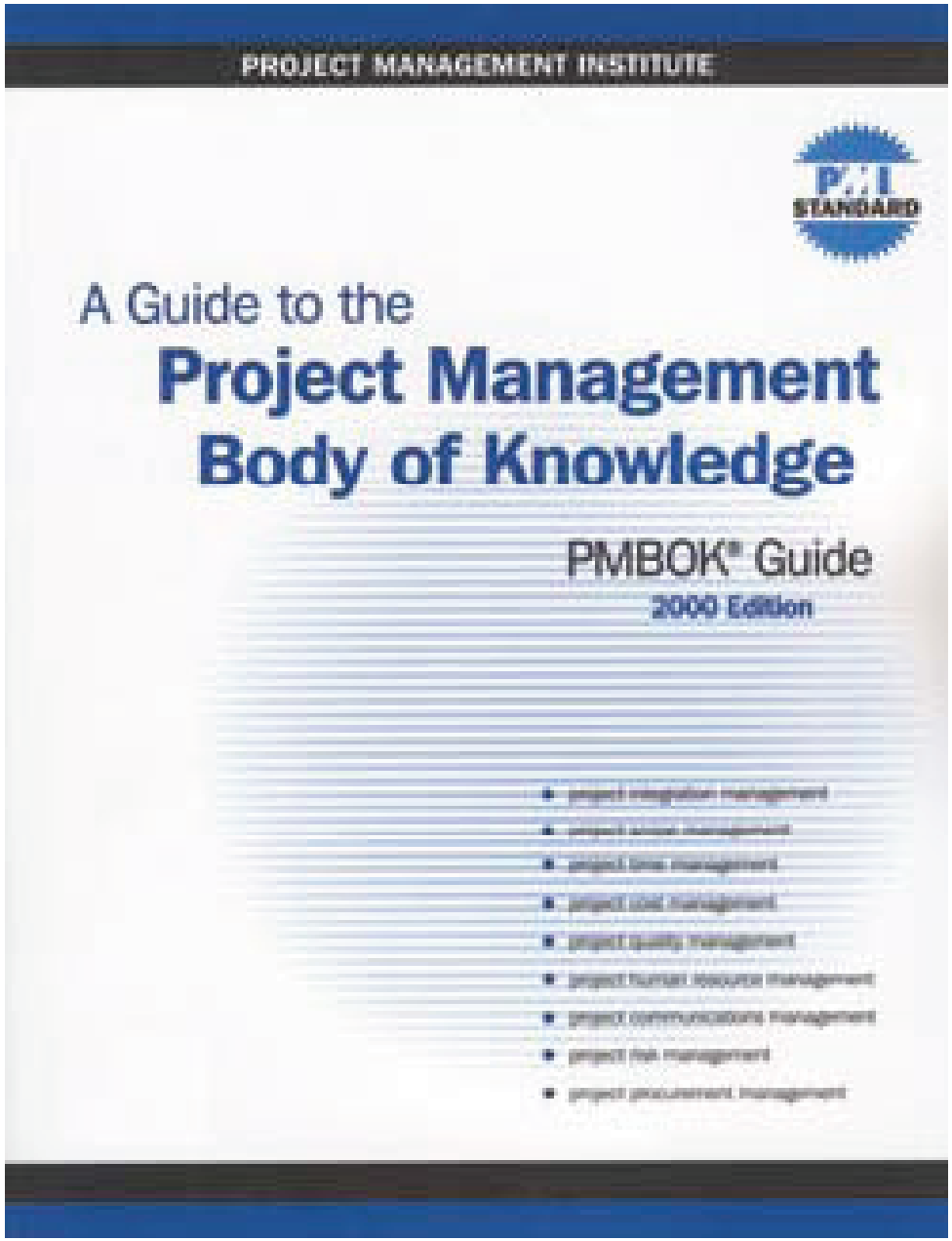
د) **پایان به پایان :** آخرین حالتی که ممکن است وجود داشته باشد، رابطه زمانی پایان فعالیت یکم با پایان فعالیت دوم است. شکل زیر چنین رابطه زمانی را بین فعالیتهای i و j ارائه میکند.



مقایسه شبکه های تقدمی

مزایا و معایب شبکه تقدمی نوع دوم نسبت به نوع یکم عبارتند از:

- **مزیت :** شکل ظاهری تقدمی نوع دوم، حاوی اطلاعات بیشتری است زیرا نقاط مختلف یک گره،معنی یکسانی ندارد و بنابراین نقطه خروج بردار از گره یا ورود آن به گره مفهوم خاص خود را دارد.
- **عیب یکم:** رسم شبکه تقدمی نوع دوم از رسم شبکه تقدمی نوع یکم دشوارتر است. این دشواری هنگامی بیشتر جلوه میکند که تعداد قابل توجهی از بردارها به یک گره وارد و تعداد متنابهی ار آن خارج شوند.
- **عیب دوم:** شکل ظاهری شبکه تقدمی نوع دوم زیبا نیست.


PROJECT MANAGEMENT INSTITUTE
PMI STANDARD
A Guide to the
Project Management
Body of Knowledge
PMBOK® Guide
2000 Edition

معرفی استانداردهای PM وآشنایی با PMBOK

- با توجه به اهمیت دانش مدیریت پروژه در سالهای اخیر، استانداردهای متنوعی در این زمینه پدید آمده اند. این استاندارد ها بر اساس تجربه افراد خبره و متخصص در امر مدیریت پروژه شکل گرفته است و به عبارتی از دل پروژه ها پدید آمده است.
- تمرکز استانداردها معمولاً روی اصول کلی است و از بیان جزئیات و متدولوژیها پرهیز میکنند. زیرا این جزئیات ممکن است در هر پروژه متفاوت باشد. هر چند دانستن یک استاندارد منجر به طراحی یک سیستم جامع مدیریت پروژه نمیشود ولی با توجه به اینکه استانداردها حاصل تلاش و تجربیات خبرگان بوده و از دل پروژه ها بیرون آمده اند آگاهی از آنها بسیار سودمند است.

برخی از استانداردهای معروف مدیریت پروژه

ردیف	نام استاندارد	دامنه کاربرد
۱	PMBOK	جهانی
۲	ISO 10006	جهانی
۳	Professional Methodologies	جهانی
۴	PRINCE 2	نیمه جهانی
۵	BS 6079	ملی
۶	DIN 69 900	ملی
۷	AIPM	ملی
۸	APMBOK	ناحیه ای
۹	IPMA Competence Base Line	ناحیه ای

- معروفترین و گسترده ترین استاندارد در بین استانداردهای فوق PMBOK (Project Management Body Of Knowledge) یا استاندارد PMI (Project Management Institute) دانش مدیریت پروژه است که توسط توسعه داده شده است.

استانداردهای معروف مدیریت پروژه

- استاندارد ISO 10006 حکم راهنما را دارد لذا برای شرکتهای پروژه محور که بدنبال گواهینامه ISO هستند، همان ISO 9001 انطباق داده میشود.
- استاندارد Prince 2 استانداردی است که تا حدودی مبتنی بر متدولوژی میباشد.
- PMBOK یک کتاب راهنما یا مرجع اصلی دارد تحت عنوان "PMBOK Guide-2004 Edition" که هر چهار سال یکبار ویرایش میشود.

Project Stakeholders
Project Sponsor
Project Manager
Project Management Team
Suppliers
Vendors
Project Team
Customers
Senior Management
Influencers
End Users
PMO
Performing Organization
Functional Management
Senior Management
PMO

آشنایی با استاندارد مرجع PMBOK

- **تاریخچه:**

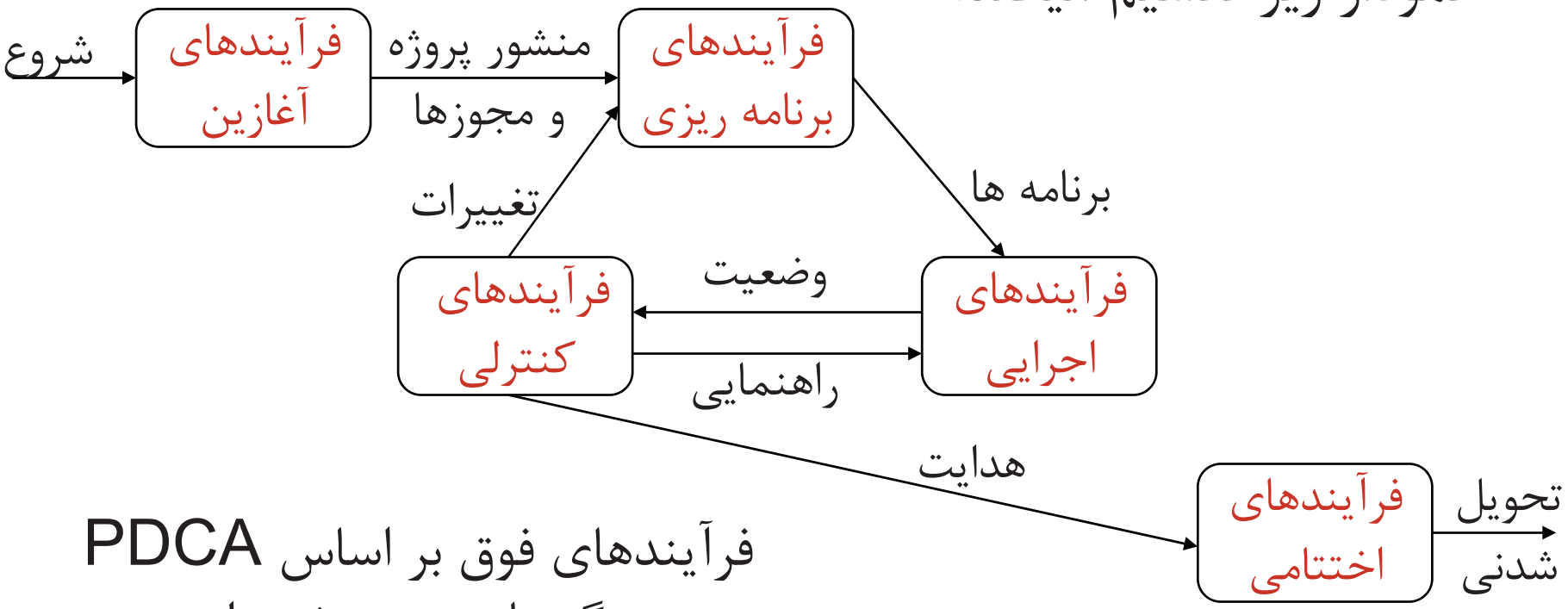
انجمن مدیریت پروژه ایالات متحده آمریکا PMI در سال ۱۹۶۹ تاسیس شد. این انجمن در سال ۱۹۷۶ تصمیم گرفت نظرات مدیران پروژه را مستند کند که نتیجه این فعالیت در سال ۱۹۸۷تحت عنوان Project Management Body Of Knowledge به چاپ رسید.

در سال ۱۹۹۶ اولین نسخه رسمی استاندارد PMBOK به چاپ رسید و در سال ۱۹۹۹ به تایید ANSI رسید.

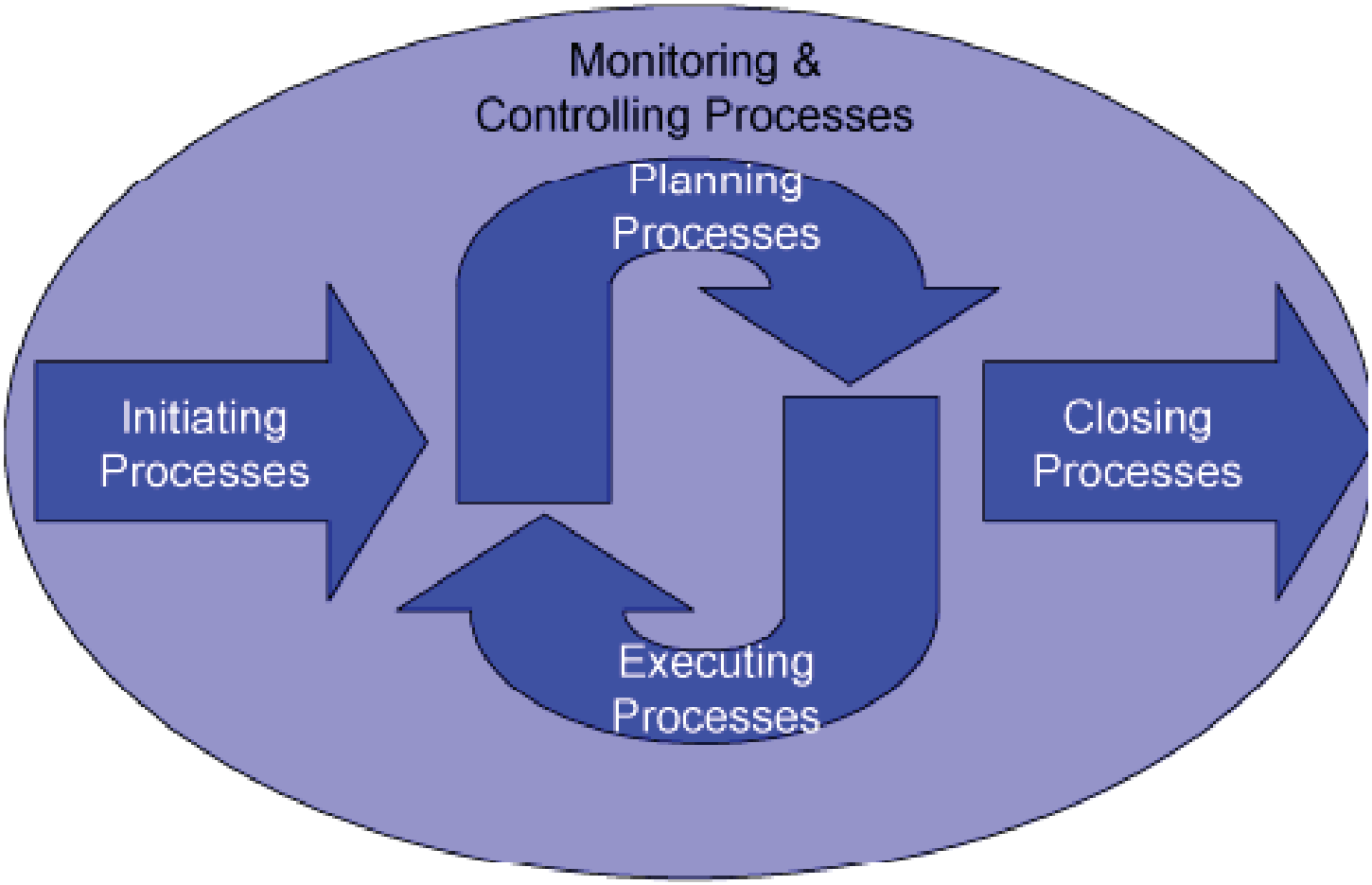
در پایان سال ۲۰۰۴ بیش از یک میلیون نسخه از کتاب راهنمای PMBOK فروخته شده بود و نزدیک به ۷۵۰۰۰ نفر مدرک PMP دریافت کرده اند.

فرایندهای PMBOK

- استاندارد PMBOK مراحل انجام پروژه را به ۵ فرایند به شرح نمودار زیر تقسیم میکند.



فرآیندهای فوق بر اساس PDCA دمینگ پایه ریزی شده اند.


Monitoring &
Controlling Processes
Planning
Processes
Initiating
Processes
Closing
Processes
Executing
Processes

فرایندهای PMBOK

۱- گروه فرآیندهای آغازین (Initiating Process Group)

فعالیتهای لازم برای اخذ مجوزها و اختیارات رسمی شروع یک پروژه را گویند.
خلاصه این فعالیتها شامل دو مرحله اصلی زیر است:

۱-۱- **تهیه چارت پروژه :** شامل اخذ مجوزهای پروژه، اقدامات اولیه، شناسایی حامی مالی، ذینفعان و افراد کلیدی، مستند سازی نیازها، تشکیل تیم آغازین پروژه و مدیر آن، برنامه ها، جلسات مذاکره، رویه های کنترلی آغازین، بیانیه پروژه(Statement of Work).

۱-۲- **ایجاد بیانیه(اولیه) محدوده پروژه:** این سند شامل مستندات نیازهای تحویل شدنی های اصلی، محدوده های اصلی یا مرزهای پروژه، روشهای تایید و کنترل سطح بالای محدوده میشود.

فرایندهای PMBOK

۲- گروه فرآیندهای برنامه ریزی (Planning Process Group)

این فعالیتها بسیار وسیع تر از فعالیتهای زمانبندی پروژه (Project Scheduling) هستند. در واقع Scheduling زیر مجموعه Planning است (نمونه این فعالیتها در جدول بعد آمده است).

۳- گروه فرآیندهای اجرایی (Executing Process Group)

شامل تمام اقدامات و هماهنگی های لازم برای اجرای برنامه ها و تولید شدنی ها طبق کیفیت و مشخصات خواسته شده است. (نمونه این اقدامات در جدول بعد آمده است).

فرایندهای PMBOK

۴- گروه فرآیندهای کنترلی (Controlling Process Group)

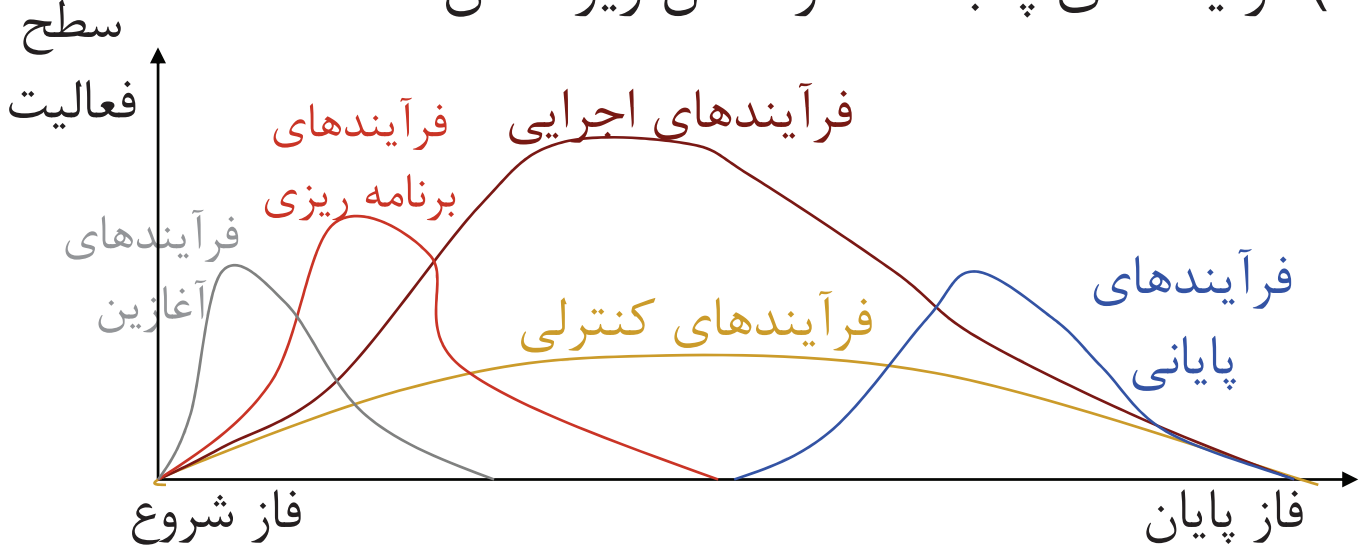
فعالیتهایی شبیه کنترل و اندازه گیری عملکردها ونتایج، مقایسه نتایج عملکردها با پیش بینی ها، شناخت علل انحرافات و انتخاب یک استراتژی مناسب و...(که قسمتی از آنها در جدول بعد آمده است).

۵- گروه فرآیندهای اختتامی (Closing Process Group)

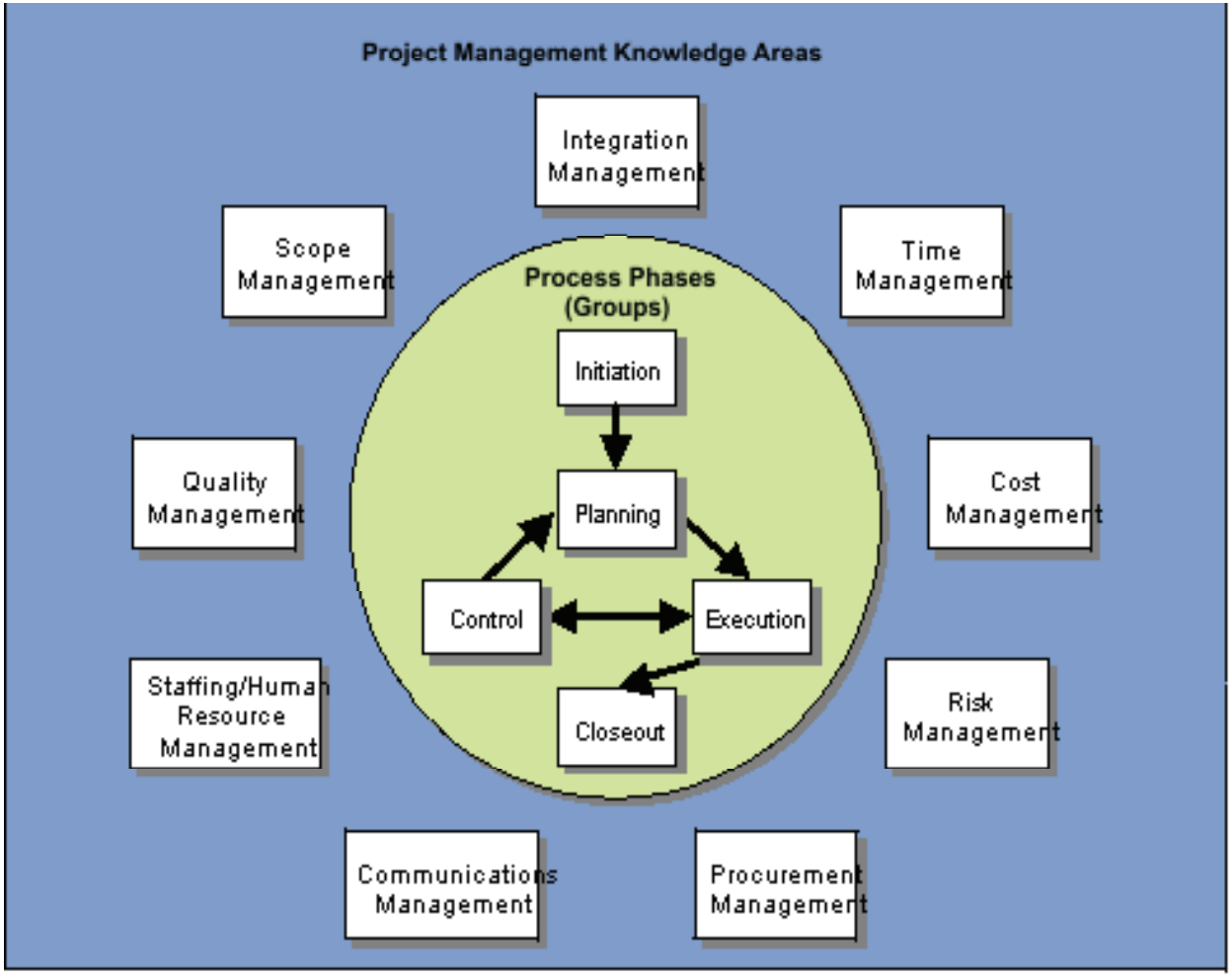
فرآیندهای مورد نیاز برای خاتمه رسمی پروژه است. این فعالیتها شامل تحویل اقلام قابل تحویل و یا پایان دادن به یک پروژه منحل شده (Cancelled Project) است.

همپوشانی فرآیندهای پنجگانهPMBOK

همپوشانی(Overlap) فرآیندهای پنجگانه در شکل زیر نشان داده شده است.



دانشهای نه گانه مدیریت پروژه PMBOK



در استاندارد PMBOK برای هدایت موفق پروژه ها۹ سطح دانش به شرح شکل روبرو تشخیص داده شده است.

دانشهای نه گانه مدیریت پروژه PMBOK

- **۴ سطح دانش پایه ای:** از نه سطح نشان داده شده در شکل قبل ۴ مورد آن (مدیریت محدوده، زمان، هزینه و کیفیت) را سطوح دانش پایه ای گویند. زیرا مستقیماً منجر به تولید تحویل شدنی ها و تأمین اهداف پروژه می شوند.
- **۴ سطح دانش تسهیل کننده :** ۴ دانش مدیریت منابع انسانی، ارتباطات، ریسک و تدارکات را گویند. زیرا حکم وسیله های کمک کننده برای دستیابی به تحویل شدنی ها و اهداف را دارند.
- **یک سطح دانش ارتباط دهنده :** سطح دانش مدیریت یکپارچگی پروژه وظیفه هماهنگ سازی هشت سطح بالا را داشته و موجب استانداردسازی آنها می گردد بنابراین بر سایر سطوح دانش تأثیر گذاشته و از آنان تأثیر می پذیرد.

جایگاه نه سطح دانش در ۵ گروه فرایندی

در هر یک از سطوح دانش لازم است کارها و وظایفی انجام شود. جایگاه این وظایف با توجه به مرحله یا گروه فرایندی تعیین می شود. تعداد این فعالیتها که در واقع بیانگر وظایف تیم مدیریت پروژه است در استاندارد PMBOK شامل ۴۴ وظیفه یا فرایند است.

در ادامه ضمن توصیف گروه نه گانه و زیر فرایندهای ۴۴گانه، جایگاه این فرایندها در جدولی مشخص می گردد.

جایگاه نه سطح دانش در ۵ گروه فرایندی

۱- مدیریت یکپارچگی پروژه Project Integration Management

فرایندهای لازم برای اطمینان از هماهنگی اجزاء مختلف پروژه و فرایندهای آن را گویند. این فرایندها ۷ مورد بوده که عبارتند از:

۱- تهیه منشور یا چارت پروژه	Develop Project Charter
۲- تهیه بیانیه یا سند محدوده پروژه	Develop Project Scope Statement
۳- تهیه برنامه جامع مدیریت پروژه	Develop Project Management Plan
۴- هدایت و مدیریت اجرای پروژه	Direct & Manage Project Execution
۵- پایش و کنترل کار پروژه	Monitor & Control Work Project
۶- کنترل هماهنگ و یکپارچه تغییرات	Integrate Change Control
۷- خاتمه پروژه	Close Project

جایگاه نه سطح دانش در ۵ گروه فرایندی

۲- مدیریت محدوده پروژه Scope Management

فرآیندهای لازم برای اطمینان از اینکه تمام فعالیتهای مورد نیاز برای انجام کامل پروژه شناسایی شده و در محدوده پروژه به عنوان دستور کار قرار گرفته است.
تعداد این فرآیندها ۵ مورد هستند که عبارتند از:

۱- برنامه ریزی محدوده پروژه Scope Planning

۲- تعریف محدوده پروژه Scope Definition

۳- ایجاد ساختار شکست کار Create WBS

۴- تایید محدوده کار Scope verification

۵- کنترل محدوده پروژه Scope Control

جایگاه نه سطح دانش در ۵ گروه فرایندی

۳- مدیریت زمان پروژه Time Management

فرآیندهای لازم برای اطمینان از انجام به موقع پروژه را گویند. این فرایندها ۶ مورد بوده که عبارتند از:

۱- تعریف فعالیتها Activity Definition

۲- تعیین توالی فعالیتها Activity Sequencing

۳- برآورد منابع فعالیتها Activity Resource Estimating

۴- برآورد زمان فعالیتها Activity Duration Estimating

۵- تهیه برنامه زمانبندی Schedule Development

۶- کنترل زمانبندی Schedule Control

جایگاه نه سطح دانش در ۵ گروه فرایندی

۴- مدیریت هزینه پروژه Cost Management

فرآیندهای لازم برای اطمینان از انجام پروژه تحت بودجه تعیین شده را گویند. این فرآیندها ۳ مورد بوده که عبارتند از:

۱- برآورد هزینه Cost Estimation

۲- بودجه بندی هزینه Cost Budgeting

۳- کنترل هزینه Cost Control

جایگاه نه سطح دانش در ۵ گروه فرایندی

۵- مدیریت کیفیت پروژه Quality Management

فرآیندهای لازم برای اطمینان از انجام پروژه تحت نیازهای کیفی تعیین شده را گویند. این فرآیندها ۳ مورد بوده که عبارتند از:

۱- برنامه ریزی کیفی Quality Planning

۲- اجرای تضمین کیفی Perform Quality Assurance

۳- اجرای کنترل کیفیت Quality Control

جایگاه نه سطح دانش در ۵ گروه فرایندی

۶- مدیریت منابع انسانی Human Resource Management

فرآیندهای لازم برای هدایت و رهبری نیروی انسانی را گویند. این فرآیندها از علم مدیریت و رفتار شناسی نشأت گرفته و ۴مورد بوده که عبارتند از:

۱- برنامه ریزی منابع انسانی Human Resource Planning

۲- جذب نیروی انسانی و کارکنان Staff Acquisition

۳- تشکیل تیم پروژه Team Development

۴- مدیریت تیم پروژه Manage Project Team

جایگاه نه سطح دانش در ۵ گروه فرایندی

۷- مدیریت ارتباطات Communication Management

فرآیندهای لازم برای اطمینان از تولید به موقع و مناسب اطلاعات، جمع آوری، پخش، نگهداری و به هنگام سازی اطلاعات را گویند.
این فرآیندها ۴ مورد بوده که عبارتند از:

۱- برنامه ریزی اطلاعات Communication Planning

۲- توزیع اطلاعات Information Distribution

۳- گزارش عملکرد Performance Reporting

۴- مدیریت ذینفعان پروژه Stakeholders Manage

جایگاه نه سطح دانش در ۵ گروه فرایندی

۸- مدیریت ریسک Risk Management

فرآیندهای لازم برای اطمینان از شناسایی ریسک، تحلیل کمی و کیفی آن، واکنش به ریسک و کنترل ریسک، به منظور کاهش خطرات احتمالی و اثرات منفی بر پروژه را گویند. این فرآیندها ۶ مورد بوده که عبارتند از:

۱- برنامه مدیریت ریسک Risk Management Planning

۲- شناسایی ریسک Risk identification

۳- تحلیل کیفی ریسک Qualitative Risk Analysis

۴- تحلیل کمی ریسک Quantitative Risk Analysis

۵- برنامه ریزی واکنش به ریسک Risk Response Planning

۶- کنترل و پایش ریسک Risk Monitoring & Control

جایگاه نه سطح دانش در ۵ گروه فرایندی

۹- مدیریت تدارکات Procurement Management

فرآیندهای لازم برای اطمینان از تامین و تدارک کالا و خدمات، خارج از سازمان مادر (مجری) را گویند. این فرآیندها ۶ مورد بشرح زیر است:

۱- برنامه سفارشات خرید و در خواستها Purchasing & Request Planning

۲- برنامه عقد قراردادها Contracting Plan

۳- درخواست و برگزاری مناقصه ها Request & Performing Tenders

۴- گزینش برندگان مناقصه Select Winners

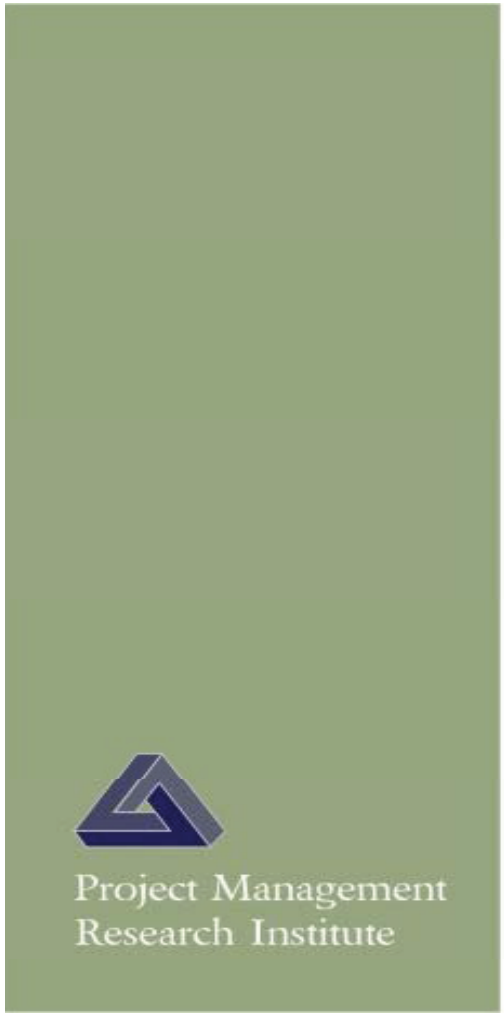
۵- اداره قرارداد Contract Handling

۶- خاتمه قرارداد Ending Contract

فرآیندهای ۴۴ گانه حاصل از جایگاه ۹ سطح دانش در ۵ گروه فرآیندی PMBOK:2004

دانشهای ۹ گانه مدیریت پروژه	گروههای فرآیندی ۵ گانه				
	۱- آغازین	۲- برنامه ریزی	۳- اجرایی	۴- کنترلی	۵- اختتامی
۱- مدیریت یکپارچگی	● تهیه چارت پروژه ● تهیه سند محدوده	● تهیه برنامه پروژه	● اجرای برنامه پروژه	● کنترل یکپارچه تغییر ● کنترل و پایش کار	● خاتمه پروژه
۲- مدیریت محدوده		● برنامه ریزی محدوده ● تعریف محدوده ● ایجاد WBS		● ممیزی محدوده ● کنترل تغییر محدوده	
۳- مدیریت زمان		● تعریف فعالیتها ● تعیین توالی فعالیتها ● برآورد منابع فعالیتها ● برآورد مدت فعالیتها ● تهیه زمان بندی پروژه		● کنترل زمانبندی	
۴- مدیریت هزینه		● برآورد هزینه ● بودجه بندی هزینه		● کنترل هزینه	
۵- مدیریت کیفیت		● برنامه ریزی کیفیت	● تضمین کیفیت	● کنترل کیفیت	
۶- مدیریت منابع انسانی		● برنامه ریزی سازمانی ● چذب نیروی انسانی	● تشکیل و تکمیل تیم پروژه	● مدیریت تیم پروژه	
۷- مدیریت ارتباطات		● برنامه ریزی سازمانی	● توزیع اطلاعات	● گزارش عملکرد ● مدیریت ذینفعان	
۸- مدیریت ریسک		● برنامه ریزی ریسک ● شناسایی ریسک ● تحلیل کیفی ریسک ● تحلیل کمی ریسک ● برنامه پاسخ به ریسک		● کنترل و پایش ریسک	
۹- مدیریت تدارکات		● برنامه خرید سفارش ● برنامه قراردادها	● برگزاری مناقصه ● انتخاب برندگان	● اداره قرارداد ها	● خاتمه پیمان

نمونه گواهینامه



Project Management Research Institute

is pleased to present

Your Name Here

this certificate of participation on successfully completing
the Project Management Essentials online learning module.

date

Director

موازنه زمان – هزینه

- در موارد بسیاری لازم است پروژه را زودتر از تاریخ محاسبه شده بر روی شبکه تکمیل نمود. یکی از راه حلهای کوتاه نمودن زمان اجرای پروژه، تسریع در انجام فعالیتها میباشد.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 میشود.

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 ممکنست 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 فعالیتها زیاد خواهند بود.
- در این مدل هدف تعیین زمان اقتصادی برای اجرای پروژه است که به ازاء آن جمع هزینه های مستقیم و 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 فعالیتها در پروژه الزامی گردد. در اجرای این امر، ممکن است ترکیبهای مختلفی از فعالیتها که زمان آنها قابل کاهش است مورد نظر قرار گیرند. با کاهش زمان فعالیتهای هر یک از ترکیبهای 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 فعالیتها است، به نحوی که با امکان پذیر نمودن اجرای پروژه در تاریخ تعیین شده یا T_C، 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 T_c بوده و عامل قابل تغییر، عبارت از هزینه قابل صرف برای تکمیل پروژه در تاریخ T_c 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 فعالیتها است، به صورتی که پروژه در زودترین تاریخ ممکن قابل تکمیل شدن بوده، ولی میزان هزینه ای که صرف کاهش زمان فعالیتها میشود، از بودجه تعیین شده برای این منظور عدول ننماید.

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

در محاسبات CPM فرض براین است که کلیه فعالیتها، 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 فعالیتها را کاهش داد. این کاهش زمان توأم با افزایش منابع کاری آن فعالیتها و صرف هزینه است که آن را انجام ضربتی یا فشرده سازی زمان فعالیت گویند.

از آنجائیکه تاریخ تکمیل پروژه در هر مرحله، حاصل از مجموع زمانهای فعالیتهائی 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 فعالیتها برای فشرده سازی است، بطوریکه هزینه کل فعالیتها کمینه شود.

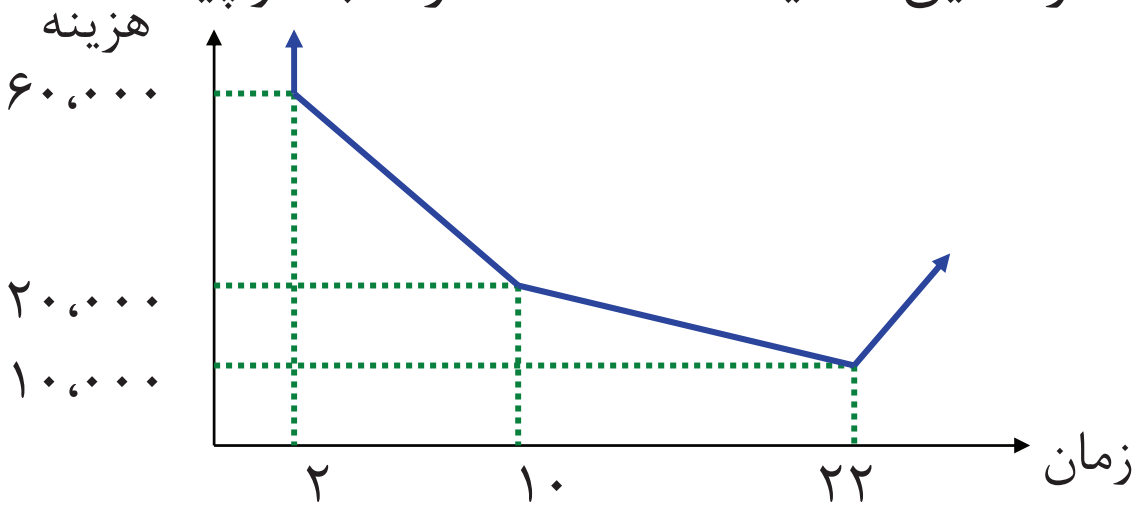
چگونگی موازنه هزینه- زمان (مثال)

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	۱۰،۰۰۰	حالت نرمال
مسافرت با ترن	۱۰	۲۰،۰۰۰	
مسافرت با هواپیما	۲	۶۰،۰۰۰	حالت فشرده

چگونگی موازنه هزینه- زمان ، ادامه

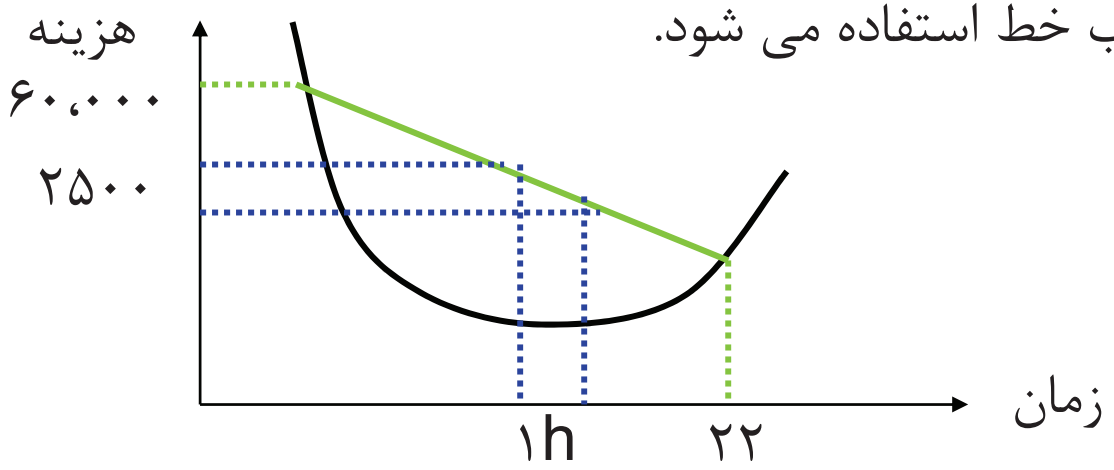
مشاهده می شود کاهش زمان فعالیت تا حد خاصی امکان پذیر است که این حد را **حالت فشرده** انجام فعالیت گویند. در مثال قبل چون روش کوتاهتر از مسافرت با هواپیما وجود ندارد، اگر بخواهیم زمان این فعالیت را از ۲ ساعت کمتر کنیم، این کار امکان پذیر نبوده و هزینه آن بینهایت است. پس حالت فشرده این فعالیت، حالت مسافرت با هواپیما است.



چگونگی موازنه هزینه- زمان ، ادامه

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

همانطوریکه 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 زمانهای 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 :

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

$$\text{هزینه تسریع یک ساعت مسافرت به ترکیه} = \frac{۶۰،۰۰۰ - ۱۰،۰۰۰}{۲۲ - ۲} = ۲۵۰۰ \text{ تومان}$$

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

هزینه های مستقیم پروژه

هزینه های مستقیم پروژه هزینه هائی هستند که مستقیماً صرف کاهش زمان پروژه می شود و مقدار آن با کاهش زمان اتمام پروژه افزایش می یابد :

۱- الگوریتم ابتکاری ۲- روش زیمنس ۳- برنامه ریزی خطی

دو روش اول در مسائل بزرگ کارآئی 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 فعالیتها محاسبه می کنیم.
- گام دوم: برای کلیه فعالیتها 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 فعالیتها 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 فعالیتهائی که در مسیرهای بحرانی هستند را فهرست برداری می کنیم سپس فعالیت یا ترکیبی از فعالیتها 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

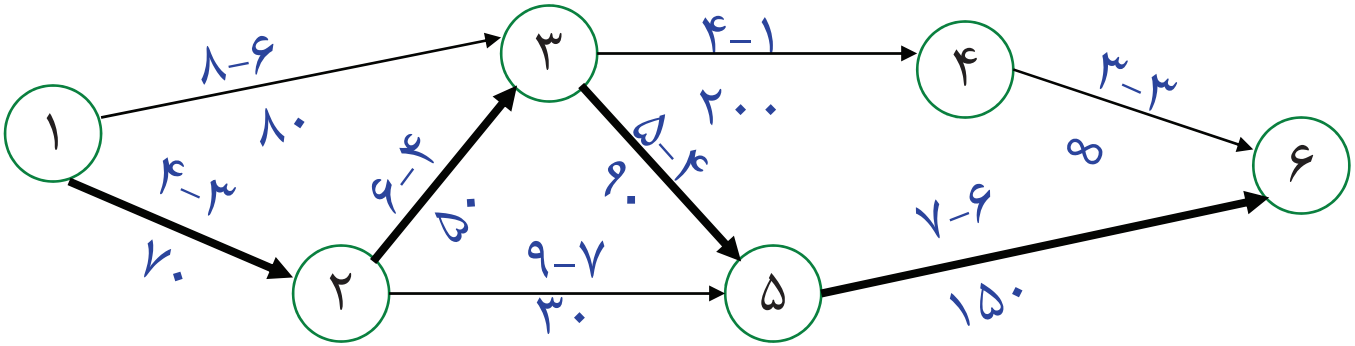
- اینک براساس معیار هزینه تسریع واحد زمانی از فهرست مذکور فعالیت یا ترکیبی از فعالیتها برای کاهش یک واحد زمانی انتخاب میشوند که دارای کمترین مجموع شیب هزینه باشد. با این انتخاب زمان انجام آن فعالیت یا فعالیتها را به هنگام و مجموع شیب هزینه آنها را به هزینه مرحله قبل اضافه می کنیم. بدیهی است مقدار تغییر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

الگوریتم ابتکاری – مثال

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

الگوریتم ابتکاری – ادامه مثال

- طبق گام ۱ : شیب هزینه یا هزینه تسریع یک واحد زمانی برای کلیه فعالیتها 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 بعدی نشان داده شده است.
- طبق گام ۲ : زمان اتمام پروژه با در نظر گرفتن زمانهای نرمال فعالیتها $T_f = 22$ و هزینه آن $C_{22} = 3050$ است.



الگوریتم ابتکاری –ادامه مثال

- مرحله ۱ از گام ۳: هدف رسیدن به برنامه T=21 روزه است، یعنی پروژه باید در ۲۱ روز به اتمام برسد. از آنجائیکه 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 فعالیتهای این مسیر که دارای هزینه تسریع واحد زمانی کمتری است، یک روز کاهش یابد. فعالیت ۳-۲ با شیب هزینه ۵۰ دارای کمترین شیب در بین فعالیتهای مسیر بحرانی فوق است. پس زمان نرمال این فعالیت که ۶ روز است را یک روز کاهش می دهیم.
  هزینه پروژه در این حالت ۳۱۰۰ = ۵۰ + ۳۰۵۰ = C_{21} است.

الگوریتم ابتکاری – ادامه مثال

- مرحله ۲ از تکرار گام ۳:

هدف دراین مرحله رسیدن به برنامه T=20 روزه است. نظر به اینکه زمان اتمام ۲۱ روز باز هم حاصل از زمان مسیر بحرانی ۶-۵-۳-۲-۱ است بنابراین برای کاهش زمان پروژه به اندازه ۱ روز باز هم زمان فعالیت ۳-۲ که هزینه تسریع کمتری دارد را یک روز کاهش میدهیم. 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 میرسد. هزینه انجام پروژه دراین 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 روزه است . از مرحله قبل میدانیم برنامه ۲۰ روزه دارای سه مسیر بحرانی : ۶-۵-۳-۲-۱ و ۶-۵-۲-۱ و ۶-۵-۳-۱ است بنابراین برای کاهش زمان پروژه به اندازه ۱ روز باید ترکیبی از فعالیتها را انتخاب نمود که زمان هر سه مسیر را یک روز کاهش دهد و دارای کمترین شیب هزینه باشد. بعنوان مثال میتوان فعالیتهای ۲-۱ . ۳-۱ را با مجموع شیب هزینه ۷۰+۸۰ و یا فعالیت ۶-۵ که در هر سه مشترک است را با شیب هزینه ۱۵۰یک روز کاهش داد. اما یک راه جالب با هزینه کمینه این است که زمان فعالیتهای ۲-۱و ۵-۳ را یک روز کاهش دهیم که در این حالت هزینه تسریع ۷۰+۹۰ به هزینه ها ی پروژه افزوده میشود اما با اینکار زمان مسیر ۶-۵-۳-۲-۱ به جای ۱۹ روز که هدف برنامه بوده، ۱۸ روزه میشود(چون دو فعالیت در این مسیر فشرده شده است)

الگوریتم ابتکاری – ادامه مثال

بنابراین میتوان زمان فعالیت ۳-۲ 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 درنظر گرفته بودیم پس انداز کنیم، در نتیجه هزینه اضافی برای برنامه ۱۹ روزه ۱۱۰=۵۰-۹۰+۷۰ خواهد شد. هزینه انجام پروژه دراین حالت ۳۲۶۰=۱۱۰+۳۱۵۰=C_{19} خواهد شد. زمان فعالیت ۲-۱ سه روز، فعالیت ۵-۳ چهار روز و ۳-۲ را به پنج روز تغییر میدهیم.

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 ۶-۵-۳-۲-۱ 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 دیگه نمیتوان کاهش داد. کم هزینه ترین راه کاهش یک روزه زمان فعالیت ۶-۵ با هزینه تسریع ۱۵۰ است. هزینه انجام پروژه در اینحالت C_{18}=۳۲۶۰+۱۵۰=۳۴۱۰ 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 ۶-۵-۳-۲-۱ و ۶-۵-۲-۱و ۶-۵-۳-۱ است. زمان فعالیتهای ۲-۱و ۵-۳و ۶-۵ چون به مقدار فشرده اشان رسیده اند را دیگر نمیتوان کاهش داد. تنها راه کاهش یک روز از زمان هر یک از فعالیتهای ۳-۱و ۳-۲و ۵-۲ با هزین تسریع ۳۰+۵۰+۸۰ است. هزینه انجام پروژه در اینحالت ۳۵۷۰=۱۶۰+۳۴۱۰=C_{17} و زمان فعالیت ۳-۱ هفت روز،۳-۲ چهار روز و ۵-۲ به هشت روز خواهد رسید.

الگوریتم ابتکاری – ادامه مثال

- مرحله ۶ از تکرار گام ۳ (گام ۴): هدف دراین مرحله رسیدن به برنامه T=16 روزه است. از مرحله قبل برنامه ۱۷ روزه باز دارای سه مسیر برای ۶-۵-۳-۲-۱-و۶-۵-۲-۱و ۶-۵-۳-۱ است. اما فقط میتوان فعالیتهای ۳-۱ و ۵-۲ را یک روز فشرده کرد سایر فعالیتها 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 میرسند. 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}=۳۵۷۰ باقی خواهد ماند.

هزینه های غیر مستقیم پروژه

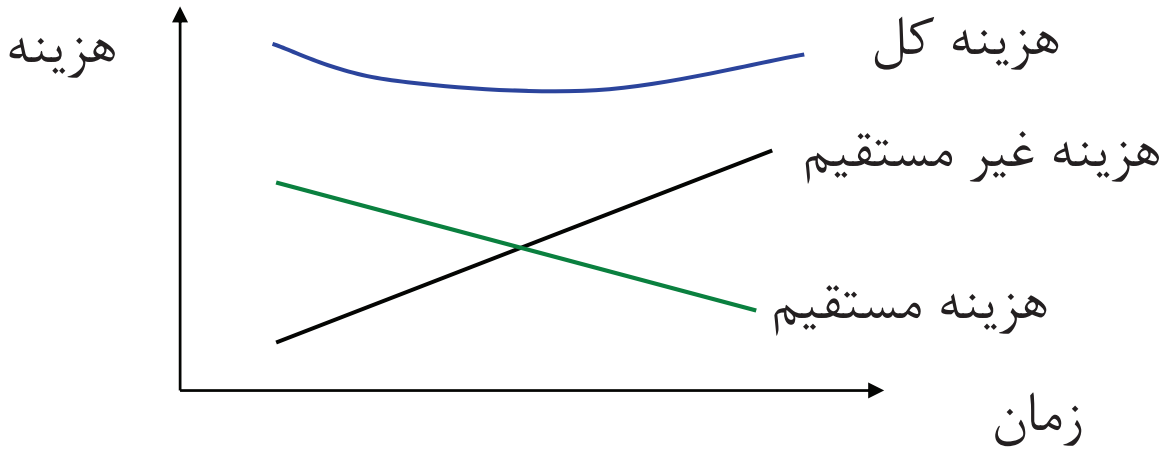
- علاوه بر هزینه های مستقیم که مستقیماً صرف تسریع فعالیتهای پروژه میشوند نوع دیگری از هزینه ها به نام هزینه های غیر مستقیم وجود دارد که متناسب با طولانی شدن مدت پروژه افزایش می یابند که شامل مخارج غیر مستقیم پروژه مثل آب، برق، انرژی، اجاره محل، بیمه، جریمه دیرکرد و غیره میباشد.
- نکته اصلی در تشخیص هزینه های غیر مستقیم این است که این هزینه ها برای کل پروژه صرف شده و نمیتوان آنرا بر حسب تک تک فعالیتها تفکیک نمود.

ادامه مثال قبل

- 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 غیر مستقیم پروژه از قرار روزی ۱۵۰ هزار ریال خواهد بود یعنی بطور مثال برای برنامه اتمام ۲۰ روزه، مجموع هزینه های غیر مستقیم ۲۰*۱۵۰=۳۰۰۰ 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.

ادامه مثال قبل

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



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) میباشد و این تاریخ از تاریخی که بر اساس محاسبات معمولی CPM با در نظر گرفتن زمانهای معمولی فعالیتها محاسبه شده است، کوچکتر(زودتر) باشد.
- برای ارائه روش زیمنس، ابتدا به تعاریف زیر می پردازیم:

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

C_f =هزینه فشرده(تعجیلی)

C_n =هزینه معمولی

D_f =زمان فشرده(تعجیلی)

D_n =زمان معمولی

الگوریتم زیمنس- ادامه تعاریف

- **طول مسیر(D_p)**

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

- **زمان قابل کاهش فعالیت(TA_{ij})**

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

D'_n = زمان فعلی فعالیت **i-j** میباشد(قبل از شروع کاهش ها، $D'_n = D_n$ است)

- **ضریب هزینه مؤثر i-j (EC_{ij})**

ضریب هزینه مؤثر= $EC_{ij} = \frac{C_{ij}}{N_{ij}}$

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

الگوریتم زیمنس- ادامه تعاریف

- **مقدار کاهش لازم مسیر = TR**

$$TR \begin{cases} \text{طول فعلی مسیر} - TP & \text{(اگر TP < طول فعلی باشد)} \\ 0 \text{ (صفر)} & \text{(اگر TP> طول فعلی باشد)} \end{cases}$$

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

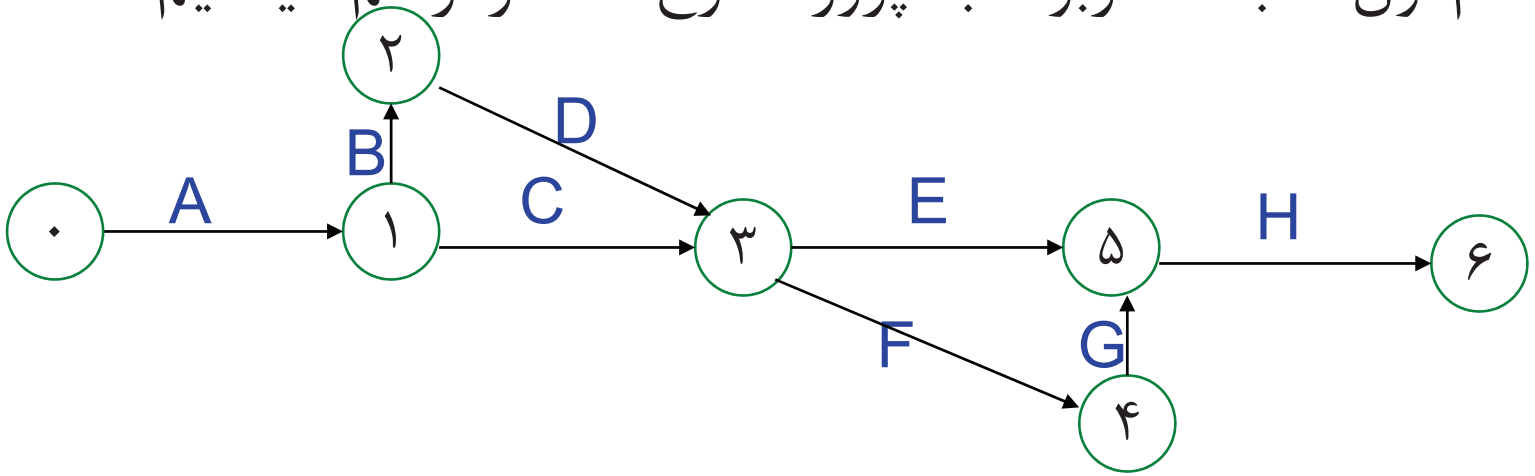
مثال الگوریتم زیمنس

پروژه ای با فعالیتهای A تا H با روابط پیش نیازی و شرایط فشردگی زمانهایی 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 فعالیتها 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 میکنیم:



زمان قرارداد برای پروژه برابر با ۲۲ هفته تعیین شده است(Tp=22)

با توجه به این امر مسیر هایی که به اندازه کافی کوتاه مطابق جدول بعد مشخص می شوند.

حل مثال الگوریتم زیمنس

مسیرهای شبکه	زمان $(\sum D_n)$	$TR = \sum D_n - T_p$
A C E H	16	-6
A C F G H	17	-5
A B D F G H	25	+3
A B D E H	24	+2

همانطور که مشاهده میشود دو مسیری که در آنها TR>0 است، قابل کاهش بوده و لذا برای تحلیل انتخاب میشوند.

جدول بعدی شکل مناسبی برای کاربرد روش زیمنس میباشد:

حل مثال الگوریتم زیمنس

	مسیرهای قابل کاهش		ضریب هزینه C_{ij}	زمان کاهش TA_{ij}	ضرایب هزینه مؤثر CE_{ij} شماره دور				
	A-B-D-F-G-H	A-B-D-E-H			1	2	3	4	5
A			3	10	1.5	1.5	*	*	*
B			5	10	2.5	2.5	5	*	*
D			7	1	3.5	3.5	7	7	7
E			10	1	10	10	10	10	10
F			2	1	2	2	2	2	2
G			1	201	1	*	*	*	*
H			8	1	4	4	8	8	8

طول مسیر	24	25	شماره دور	نوع کاهش	هزینه کاهش	هزینه کل
کاهش لازم مسیر TR	2	3	0		0	0
	2	1	1	کاهش Gبه مدت دو هفته	2	2
	1	0	2	کاهش Aبه مدت یک هفته	3	5
	0	-1	3	کاهش Bبه مدت یک هفته	5	10
	0	0	4	افزایش Gبه مدت یک هفته	-1	9

نمودار گانت وشبکه های دارای مقیاس زمان

- این نمودارها، پایه واساس نمودارهای میله ای هستند که هم اکنون نیز در برنامه ریزی پروژه ها متداول میباشد. از نارسائیهای این نمودارها، عدم قابلیت آنها در نشان دادن ارتباطات (وابستگی ها) بین فعالیتهای 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 دادن زمانهای فعالیتها) و هم از مزایای شبکه CPM (نشان دادن وابستگی های بین فعالیتها) برخوردار باشد.

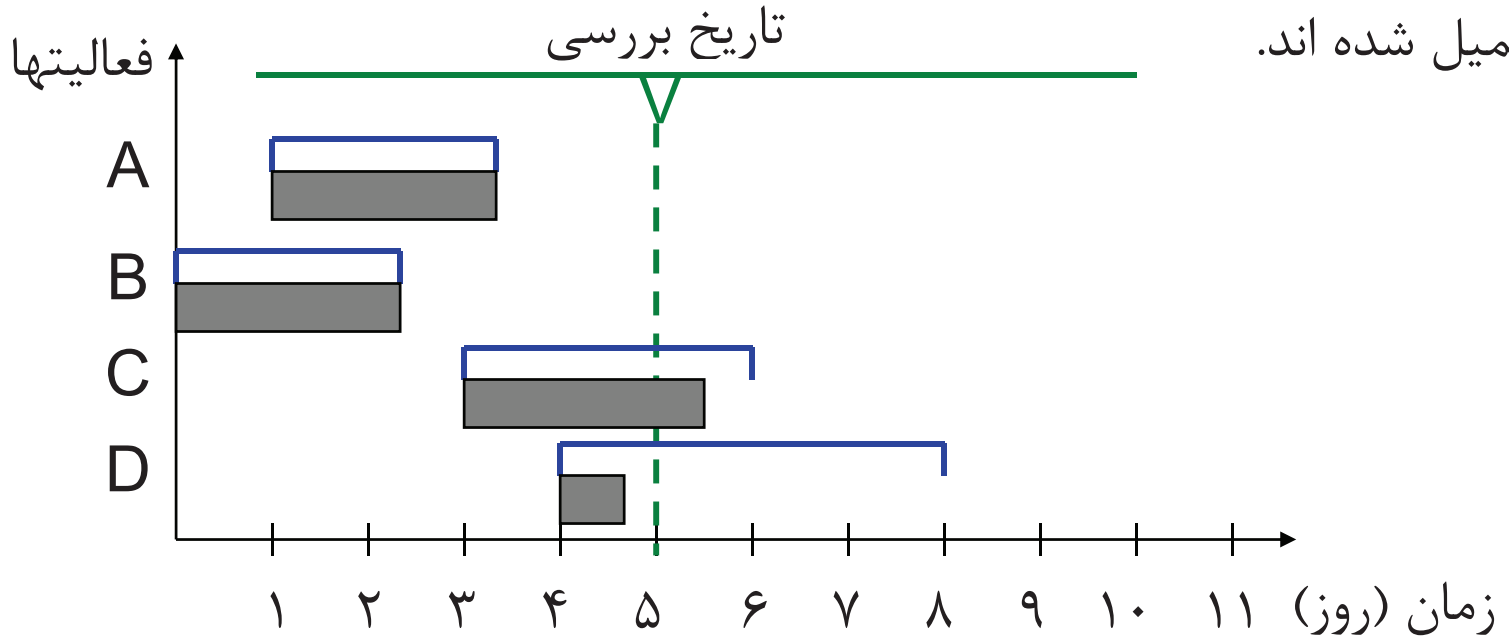
نمودارهای گانت (میله ای)

بر روی یک صفحه مختصات شامل دو محور عمود برهم، محور افقی برای نمایش تاریخهای شروع و پایان فعالیتها و محور قائم برای نمایش فعالیتها 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 تاریخهای 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 اجرائی 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.

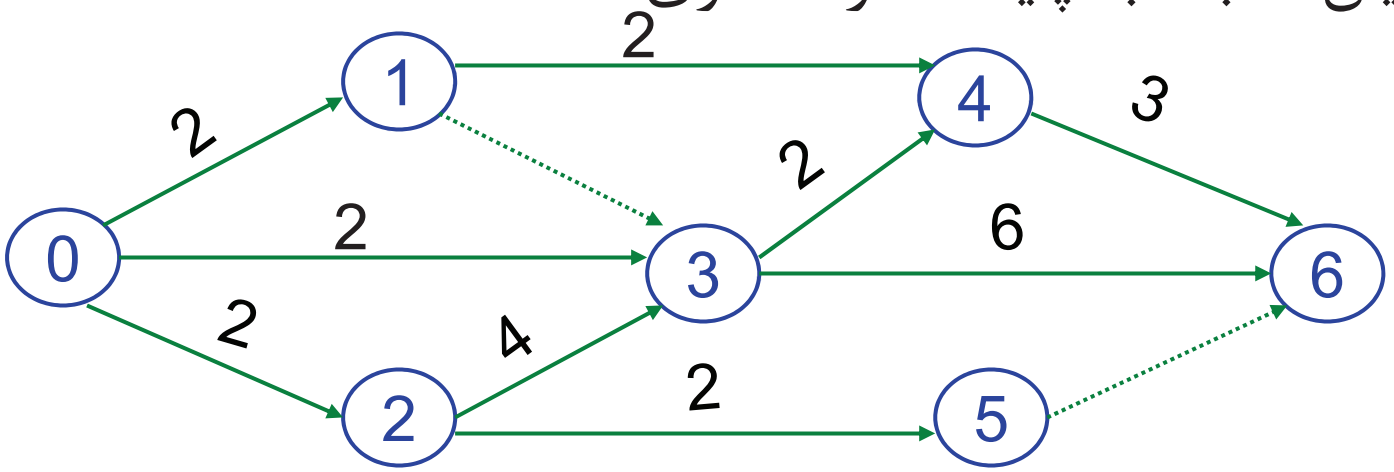
۱- فعالیتها را به ترتیب افزایش شماره رویداد پایان از بالا به پائین بر محور قائم می نویسیم. در شرایطی که دو یا چند فعالیت دارای یک رویداد پایانی مشترک هستند، این فعالیتها به ترتیب افزایش شماره رویداد پایه نوشته می شوند.

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.

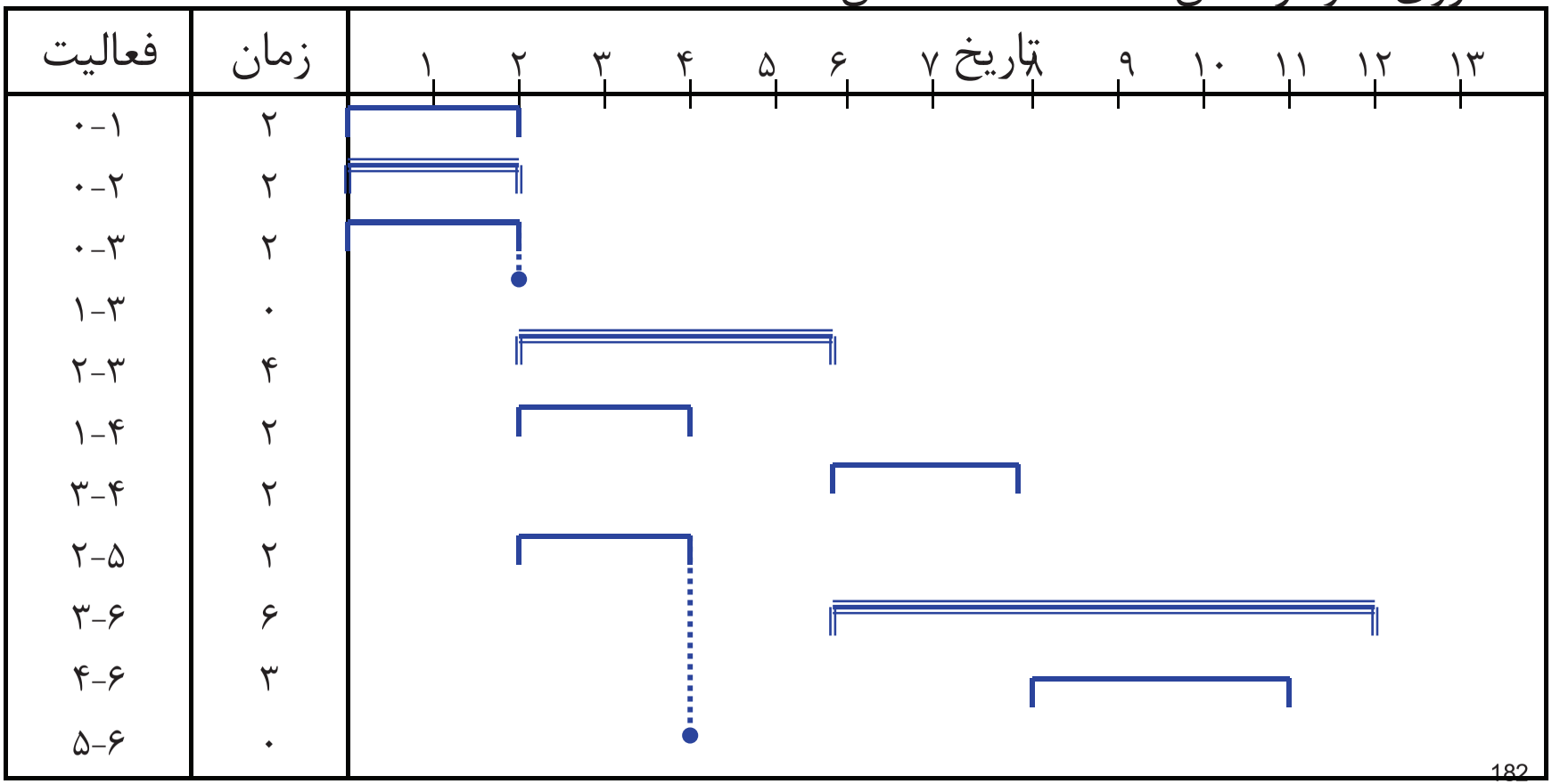
تبدیل شبکه های CPM به نمودارهای گانت- مثال

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 فعالیتهائی است که بصورت دو خطی که بر روی نمودار نشان داده شده، مشخص هستند.



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 میباشد.
- اما غالباً مدیران پروژه در استفاده ازمنابع 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(Level) نماید.
- روشهای متعددی برای برنامه ریزی، تخصیص و تراز کردن منابع ابداع شده اند که در دوره به چند نمونه آن اشاره میشود.

منابع چیستند؟ (Resources)

- تاکنون کوشش خود را صرف بهینه نمودن زمان(Time) نمودیم که بی تردید در راس سایر منابع قرار دارد. حال به استفاده بهینه از سایر منابع، یعنی نیروی انسانی(Man) ، تجهیزات و ماشین آلات(Machine) مصالح و مواد اولیه(Material) و پول(Money) خواهیم پرداخت.
- نیروی انسانی، ماشین آلات و تجهیزات، منابعی هستند که استفاده از آنها در اجرای هر فعالیت، موجب از بین رفتن آنها نمیشود. از این رو آنها را منابع قابل استفاده مجدد (Renewable Resources) مینامند.
- حال آنکه مواد اولیه و مصالح، منابع مصرف شدنی (Non-Renewable Resources) هستند.

برنامه ریزی تخصیص منابع محدود (RCPSP)
(Resource – Constrained Project Scheduling Problem)

- جزو معروفترین مسائل برنامه ریزی پروژه محسوب می شود که از دهه ۱۹۵۰ تاکنون ذهن متخصصین را به خود مشغول داشته و هزاران تز دکترا و فوق لیسانس در این زمینه ارائه شده است.
- 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)- ادامه
(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 در دسترس وجود داشته باشد در اینصورت تنها راه برای برخورد با محدودیت منابع، جابجائی یا شیفت دادن برخی فعالیتها به سمت راست است. 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

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 میگیرد.

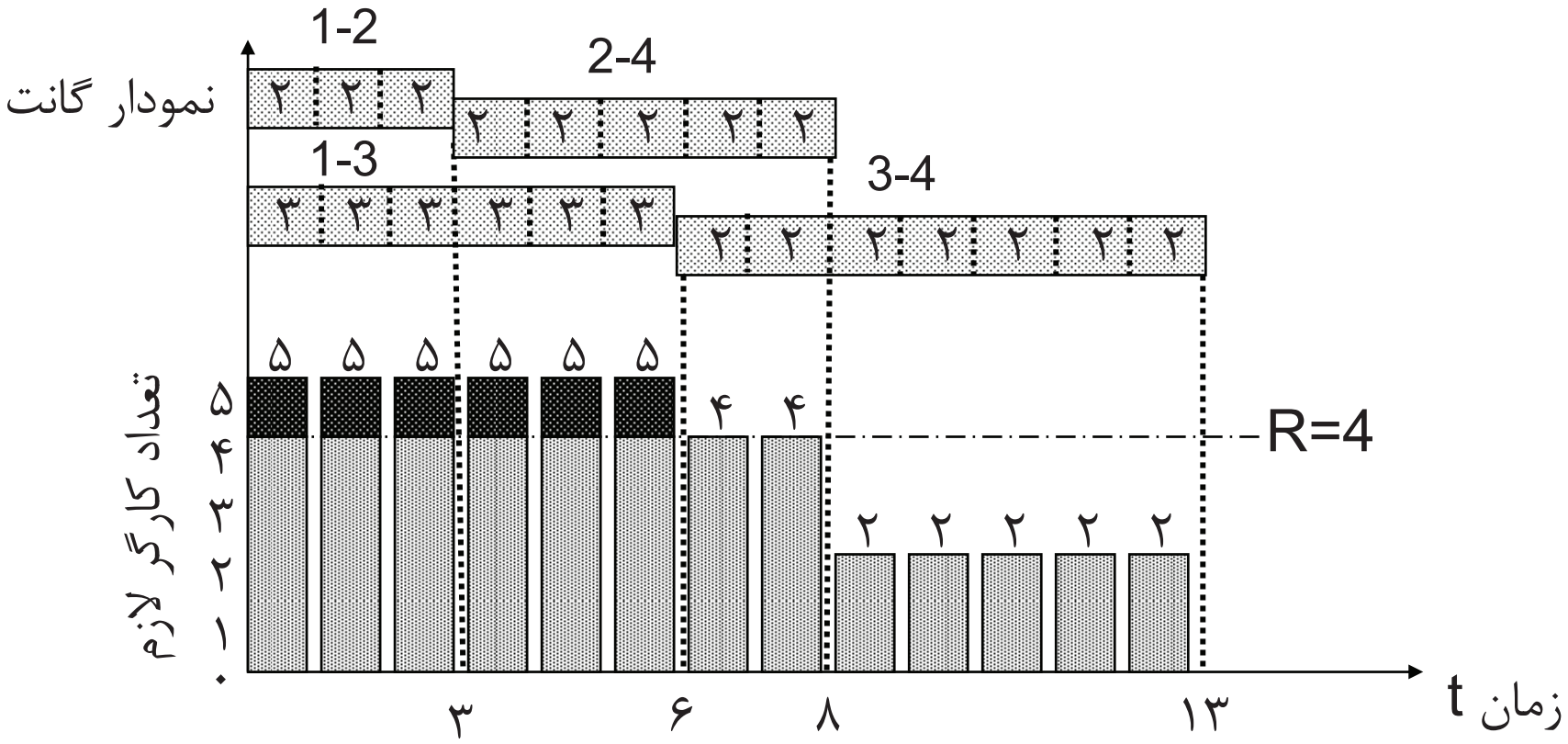
لازم به ذکر است، در عمل به جای کاربرد شناوری، از عامل زمانی «دیرترین زمان شروع فعالیت» (LS)استفاده می شود.

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 هرکدام که LSبزرگتری داشته باشد، شناوری جمعی بیشتری خواهد داشت.

برنامه ریزی تخصیص منابع محدود (RCPSP)- ادامه
(Resource – Constrained Project Scheduling Problem)

نمایش مازاد بر محدودیت منابع در (Resource Graph)



پیش فرضهای الگوریتم تخصیص منابع محدود

۱- پروژه مورد نظر باید به وسیله یک شبکه CPM معرفی شده باشد.

۲- مقادیر 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.

۴- انقطاع در امور اجرای فعالیتها مجاز نیست و باید تا تکمیل فعالیت بطور مداوم ادامه داشته باشد.

شرح الگوریتم

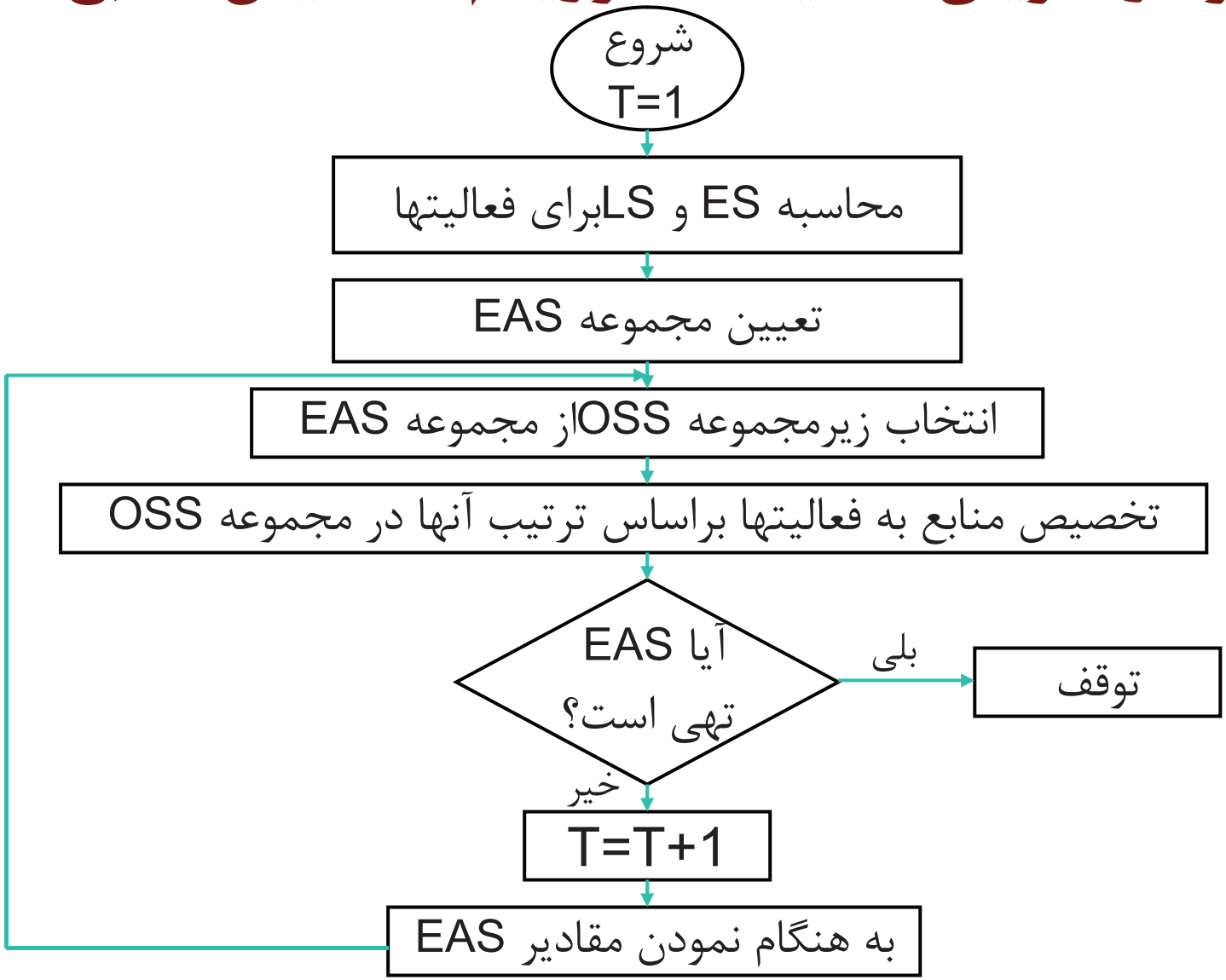
- قدم اول : با انجام محاسبات پیشروی و بازگشتی، زودترین و دیرترین تاریخهای وقوع رویدادهای شبکه، و در نتیجه، زودترین تاریخهای شروع فعالیتها را محاسبه می کنیم. (محاسبه ES و LS) در این محاسبات تاریخ وقوع رویداد آغازین را برابر با عدد یک در نظر می گیریم.
- قدم دوم : مجموعه فعالیتهای واجد شرایط یا EAS (Eligible Activity Set) (T=1) را مشخص می کنیم. این مجموعه شامل فعالیتهائی است که برنامه ریزی نشده اند، ولی فعالیتهای پیش نیاز آنها برنامه ریزی شده اند.
- قدم سوم: از مجموعه فعالیتهای واجد شرایط (EAS) زیرمجموعه فعالیتهای آماده شروع و اولویت بندی شده یا OSS (Ordered Scheduling Set)را برمی گزینیم. زیر مجموعه OSSشامل فعالیتهائی است که در آنها ES≤T بوده و به ترتیب افزایش دیرترین تاریخ شروع (LS) ترتیب بندی شده باشند.
- **نکته :** در صورت تساوی مقادیر LS دو یا چند فعالیت، این فعالیتها به ترتیب افزایش زمانهای اجرای (D)ترتیب بندی می شوند.

شرح الگوریتم – ادامه

- قدم چهارم : فعالیتهای مرتب شده در زیرمجموعه OSS را به ترتیب مورد نظر قرار داده و در صورتیکه برای آنها و برای کل زمان اجرای فعالیت، منابع کافی وجود دارد، آن فعالیتها را برای شروع در تاریخ T برنامه ریزی می کنیم. هر فعالیتی که برنامه ریزی شد، مجموعه EAS، و میزان منابع باقیمانده را به هنگام می کنیم.
- قدم پنجم : در صورتیکه همه فعالیتها برنامه ریزی شده اند، متوقف می شویم. در غیر این صورت به T یک واحد اضافه نموده (T=T+1)و پس از به هنگام نمودن ES برای فعالیتهائی که پیش نیاز آنها در قدم چهارم برنامه ریزی شده اند، به قدم دوم برمیگردیم.

شکل بعد نمودار جریان عملیات برای الگوریتم تخصیص منابع می باشد.

نمودار جریان عملیات الگوریتم تخصیص منابع



الگوریتم برنامه ریزی تخصیص منابع محدود – مثال (RCPSP)

در این مثال حالتی بررسی می شود که در آن فعالیتها فقط به یک نوع منبع نیاز دارند و جدول محاسبات انجام شده آن به شرح زیر است:

فعالیت	D_{ij}	LS_{ij}
1-2	2	4
1-3	2	3
1-4	3	0
2-5	4	6
3-6	3	5
3-7	3	7
4-7	7	3
5-8	2	10
6-8	4	8
7-9	5	10
8-9	3	12

با توجه به اطلاعات زیر

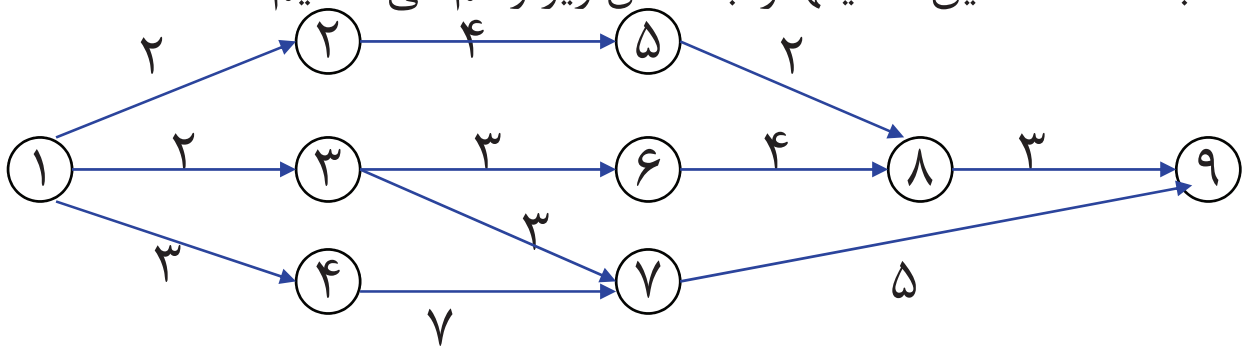
فعالیت	1-3	1-4	3-6	4-7	2-5	5-8	7-9
تعداد وسایل لازم r_{ij}	4	4	3	5	2	3	6

که در آن فعالیتهائی که نیامده اند ماهیتشان به گونه ای است که احتیاج به منبعی ندارند، مثل فعالیت خشک شدن رنگ.

حال در صورتیکه تعداد منبع قابل دسترس محدود به عدد ۸ باشد بوسیله الگوریتم فوق می خواهیم کوتاهترین زمان ختم پروژه و زمان اتمام فعالیتها را مشخص کنیم.

الگوریتم برنامه ریزی تخصیص منابع محدود – حل مثال (RCPSP)

- برای سادگی فهم، شبکه AOA این فعالیتها را به شکل زیر رسم می نمائیم:



- مرحله اول: T=0 و R=8 و چون فعالیتهای 1-2, 1-3, 1-4 پیش نیاز ندارند می توانند برنامه ریزی شوند. حال مقدار منابع در دسترس را به ترتیب OSS به فعالیتها تخصیص داده و زمان پایان آنها را برنامه ریزی می کنیم. با توجه به اینکه $r_{14}=4$ است ۴ تا از R=8 منبع موجود را به فعالیت 1-4 اختصاص داده و در نتیجه این فعالیت که در زمان T=0 برنامه ریزی شده در زمان $T+D_{14}=0+3=3$ به اتمام می رسد. چون $r_{13}=4$ است، ۴ منبع باقیمانده را نیز به فعالیت 1-3 تخصیص می دهیم که زمان اتمام آن $T+D_{13}=0+2=2$ خواهد شد. چون فعالیت 1-2 به منبعی احتیاج ندارد پس آن را نیز برنامه ریزی کرده بطوریکه در زمان ۲ پایان پذیرد.

الگوریتم برنامه ریزی تخصیص منابع محدود – حل مثال (RCPSP)

- مرحله دوم: در این مرحله T را برابر کوچکترین زمان اتمام فعالیتهای مرحله قبل یعنی ۲ جلو می بریم. از مرحله قبل پیدا است که در زمان ۲ فعالیتهای 1-2,1-3 به اتمام میرسند با اتمام فعالیت 1-3، ۴ واحد منبع و با اتمام فعالیت 1-2، صفر واحد منبع آزاد میگردد. در نتیجه T=2, R=4 خواهد بود. برای EAS چون فعالیتهای 1-2 ,1-3 تمام شده اند فعالیتهای پس نیاز آنها شامل 2-5,3-6,3-7 می تواند برنامه ریزی شوند. اما چون فقط R=4 واحد منبع موجود است فعالیت 2-5 را نمی توان برنامه ریزی نمود.
- مرحله سوم: در این مرحله T=3یعنی زمان اتمام فعالیت 1-4 قرار می دهیم. با اتمام این فعالیت ۴ واحد منبع آزاد می گردد، از طرفی یک واحد منبع استفاده نشده در مرحله دوم داشتیم در نتیجه کل منبع در دسترس ما در این زمان R=5 خواهد بود تنها نکته جدید در مورد EAS است و آن اینکه چون فعالیت 2-5 در مرحله قبل به دلیل کمبود منابع برنامه ریزی نشد مجدداً تکرار گردیده است.

سایر مراحل تکرار گامها به همین ترتیب طی می گرددو پروژه در پایان روز شانزدهم به پایان میرسد.

الگوریتم برنامه ریزی تخصیص منابع محدود – حل مثال (RCPSP)

		مرحله اول			مرحله دوم			مرحله سوم	
			T=0	R=8		T=2	R=4	T=3	R=5
گام ۲	EAS	1-2	1-3	1-4	2-5	3-6	3-7	2-5	4-7
	LS_{ij}	4	3	0	6	5	7	6	3
	D_{ii}	2	2	3	4	3	3	4	7
گام ۳	OSS	1-4	1-3	1-2	3-6	2-5	3-7	4-7	2-5
	r_{ij}	4	4	0	3	2	0	5	2
زمان پایان	$T+D_{ij}$	3	2	2	5	--	5	10	--

الگوریتم برنامه ریزی تخصیص منابع محدود – حل مثال (RCPSP)

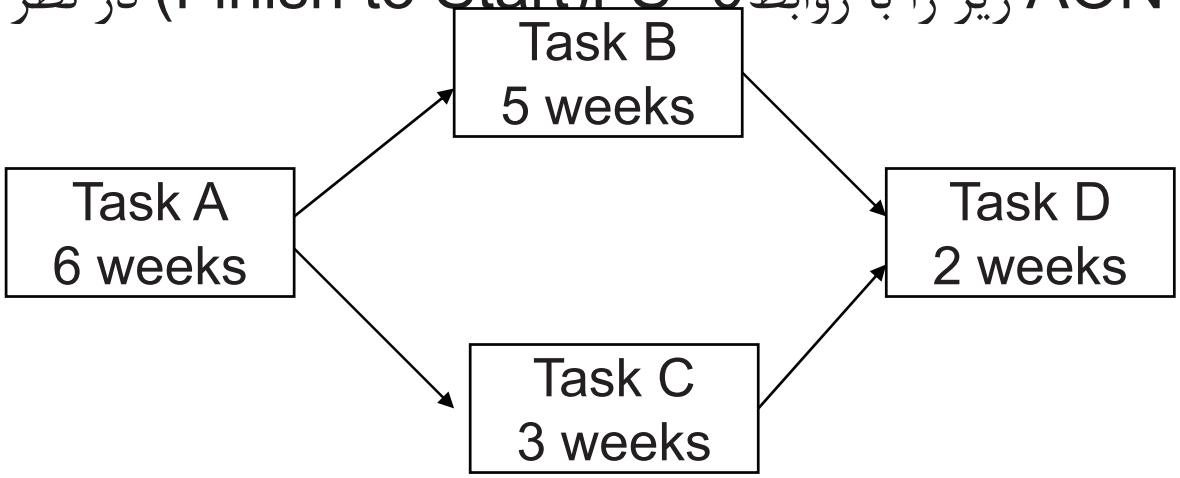
		مرحله چهارم		مرحله پنجم	مرحله ششم	مرحله هفتم	
		T=5	R=3	T=9 R=3	T=10 R=5	T=11	R=8
گام ۲	EAS	2-5	6-8	5-8	7-9	7-9	8-9
	LS_{ij}	6	8	10	10	10	12
	D_{ii}	4	4	2	5	5	3
گام ۳	OSS	2-5	6-8	5-8	7-9	7-9	8-9
	r_{ij}	2	0	3	6	6	0
زمان پایان	$T+D_{ij}$	9	9	11	--	16	14

مسئله تخصیص منابع تجدید ناپذیر(مصرفی)

- منابع مورد استفاده در پروژه ها ممکنست حالت مصرفی داشته، و در نتیجه مصرف، از موجودی کاسته میشود. مواد ومصالح که در کار اجراء پروژه ها مصرف میشوند چنین حالتی را دارند.

لذا محدودیت آنها بر اساس دوره های زمانی نبوده، بلکه روی مصرف کل میباشد. با مثال زیر موضوع را بیشتر شرح میدهیم:

- مثال: شبکه AON زیر را با روابط (Finish to Start)FS=0 در نظر بگیرید.



مسئله تخصیص منابع تجدید ناپذیر(مصرفی)

- فرض کنید اطلاعات فعالیتهای این شبکه به قرار جدول زیر باشد:

فعالیت	زمان فعالیت	تعداد منبع مصرفی	ES_i	LS_i
A	6	6	0	6
B	5	12	6	6
C	3	10	6	8
D	2	8	11	11

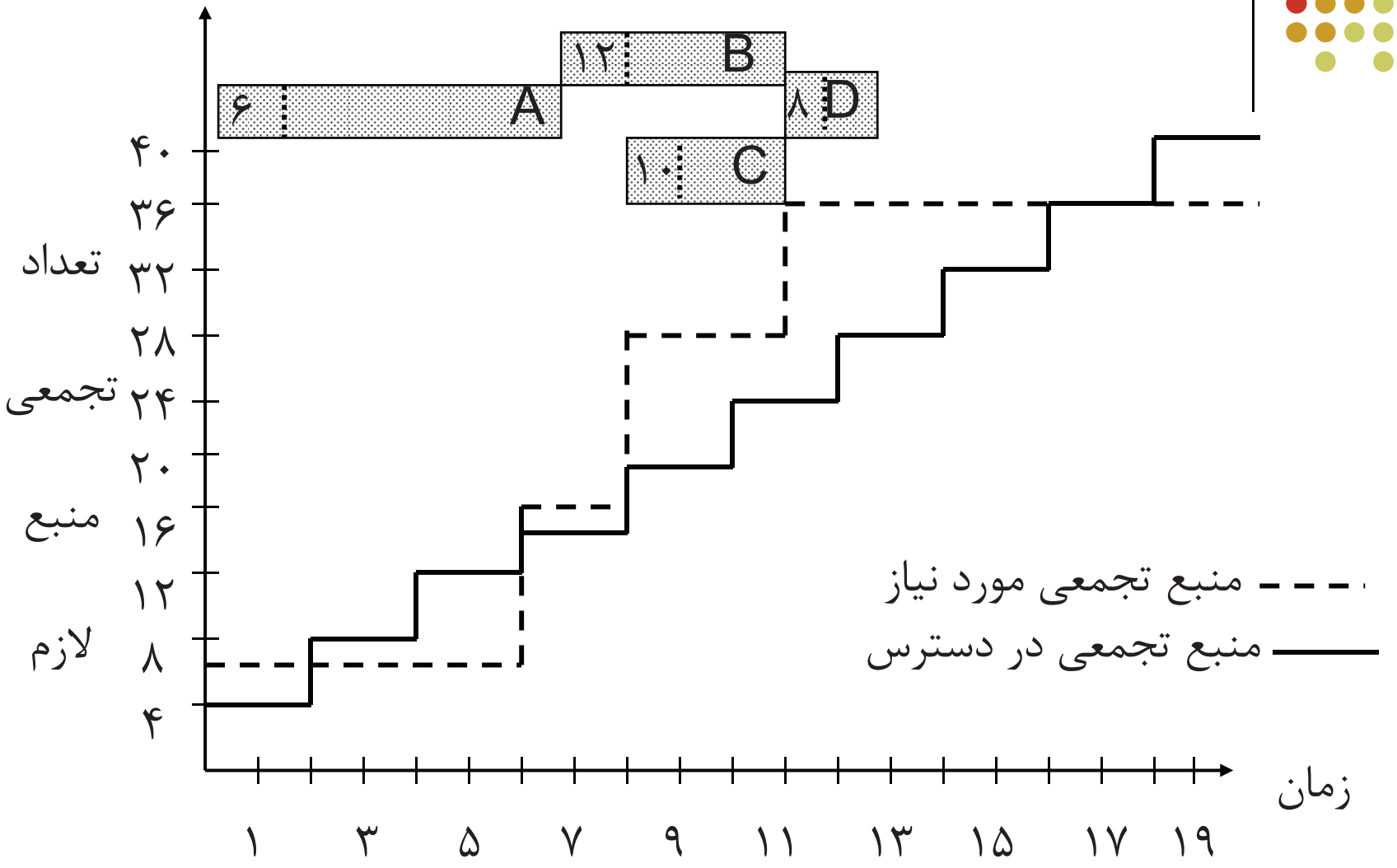
یک فعالیت زمانی میتواند شروع شود که تمامی منابع مورد نیاز مصرفی آن در لحظه شروع در دسترس باشد. فرض کنید طبق قرارداد باید هر دو هفته یکبار ۴ واحد از منبع مصرفی در ابتدای پریود های زمانی T=1,3,5,...,19 (یکی در میان در ۱۹ دوره)

پس مجموعاً ۱۰ پریود باید تحویل شود. یعنی کلاً ۴۰ (۴*۱۰) واحد از منبع مصرفی تا آخر پروژه تحویل داده خواهد شد. اگر محدودیت منابع وجود نداشته باشد، پروژه ۱۳ روز طول خواهد کشید. مجموع نیاز منابع فعالیتها ۳۶ واحد میباشد

مسئله تخصیص منابع تجدید ناپذیر(مصرفی)

- گراف منابع در حالتیکه فعالیتها بر حسب LS(دیرترین زمان شروع) برنامه ریزی شده اند،در اسلاید بعد آورده شده است.
- مقدار نیاز هر فعالیت در ابتدای گانت آن نمایش داده شده است.
- مقادیر تجمعی در دسترس و مقادیر نیازمندی فعالیتها به ترتیب با خطوط توپر و خط چین رسم شده اند..
- هر برنامه ای که منحنی خط چین آن زیر منحنی توپر بیفتد موجه(Feasible) خواهد بود.

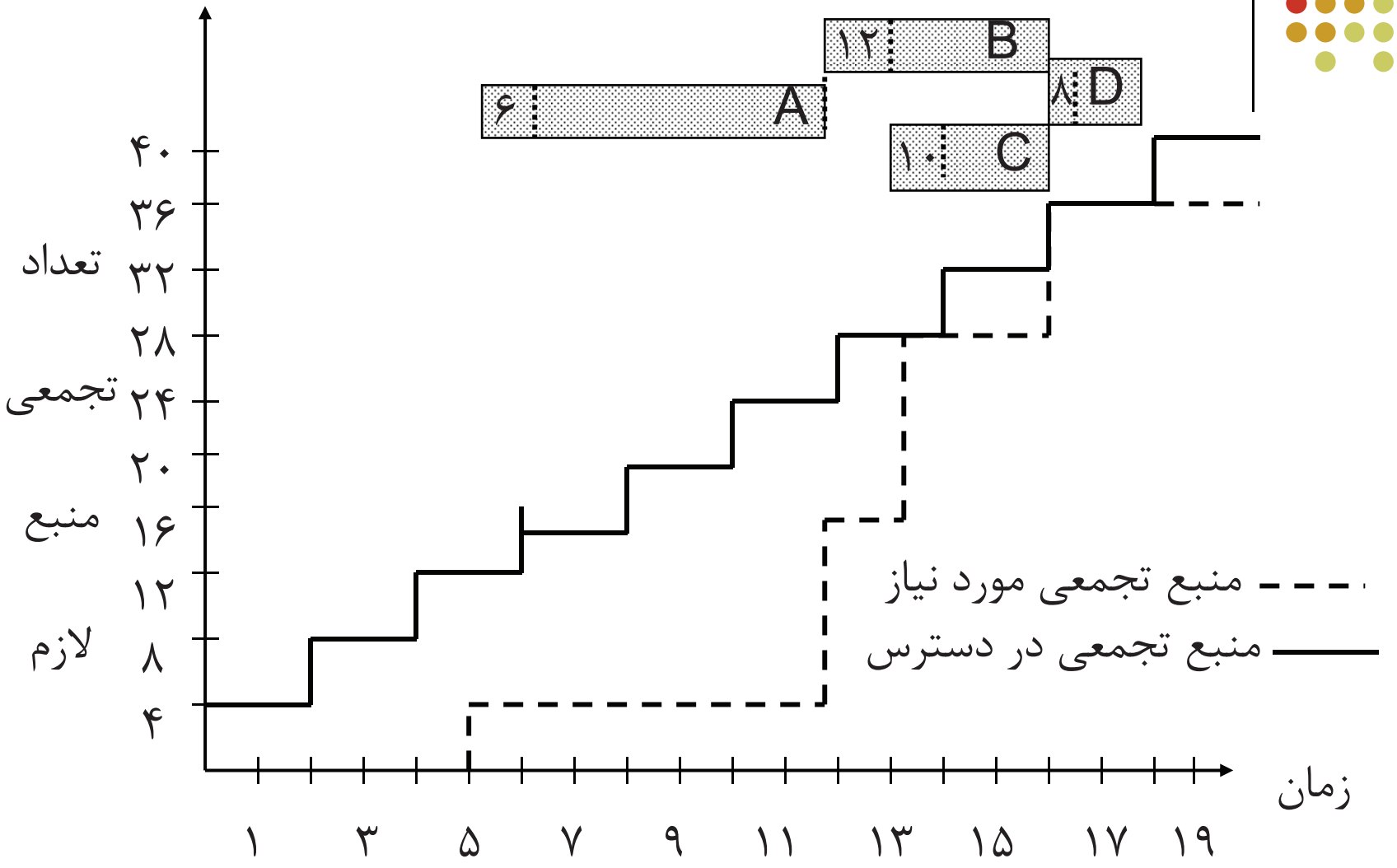
مسئله تخصیص منابع تجدید ناپذیر(مصرفی)



مسئله تخصیص منابع تجدید ناپذیر(مصرفی)

- در گراف قبل با وجودیکه فعالیتها در زمان LS برنامه ریزی شده اند، برنامه حاصله موجه نیست .
- برای دستیابی به یک برنامه موجه مجبوریم تاخیر غیر مجاز را پذیرفته و برخی از فعالیتها را حتی بیش از LS به تاخیر بیاندازیم.
- نتیجه این اقدام در گراف بعد نشان داده شده است.
- در شکل بعد سعی شده که با حداقل شیفت فعالیتها به سمت راست،خط چین به زیر خط توپر بیفتد.

مسئله تخصیص منابع تجدید ناپذیر(مصرفی)



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 میباشد.
- 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 میباشد.

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

$$r = \frac{R}{T_C} = \frac{\sum r_t}{T_C}$$

تسطیح منابع (Resource Leveling)-ادامه

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

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

در عمل ، لازم است سعی شود رابطه زیر که عبارت از مجموع مربعات تفاضل میزان احتیاج به منابع در تاریخهای 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 میشود:

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

$$s.t.$$

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

تسطیح منابع(Resource Leveling)-ادامه

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

$$r_{t+1} = r_t \quad , \quad (t = 1,2,...T_C - 1)$$

و در اینصورت:

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

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

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

$$s.t.$$

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

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،میباشد.
- 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 میدهیم.

قدم ۲- از آخرین فعالیت پائین لیست شروع نموده و فعالیتها را به ترتیبی برنامه ریزی میکنیم که رابطه $Z = \sum_{t=1}^{T_c} (\sum r_{t_{ij}})^2$ در آن حداقل باشد.

توضیح: $r_{t_{ij}}$ عبارت از سطح منبع مورد نیاز برای اجرای فعالیت ij در تاریخ t میباشد.

الگوریتم برگس(Burgess) برای تسطیح منابع

در صورتی که این رابطه در دو یا چند وضعیت مختلف حداقل شد، وضعیتی را انتخاب میکنیم که فعالیت از حداکثر شناوری خور استفاده کرده باشد.

(بدیهی است در این عملیات موقعیت فعالیتهای بحرانی ثابت است)

قدم ۳- عملیات مربوط به قدم ۲ را به ترتیب برای سایر فعالیتها از پائین به بالا تکرار میکنیم.

قدم ۴- بعد از کامل شدن عملیات مربوط به قدم ۳، قدم های ۲و۳ را تکرار میکنیم. در این عملیات در اغلب موارد لازم است فعالیتها به سمت راست هدایت شوند.

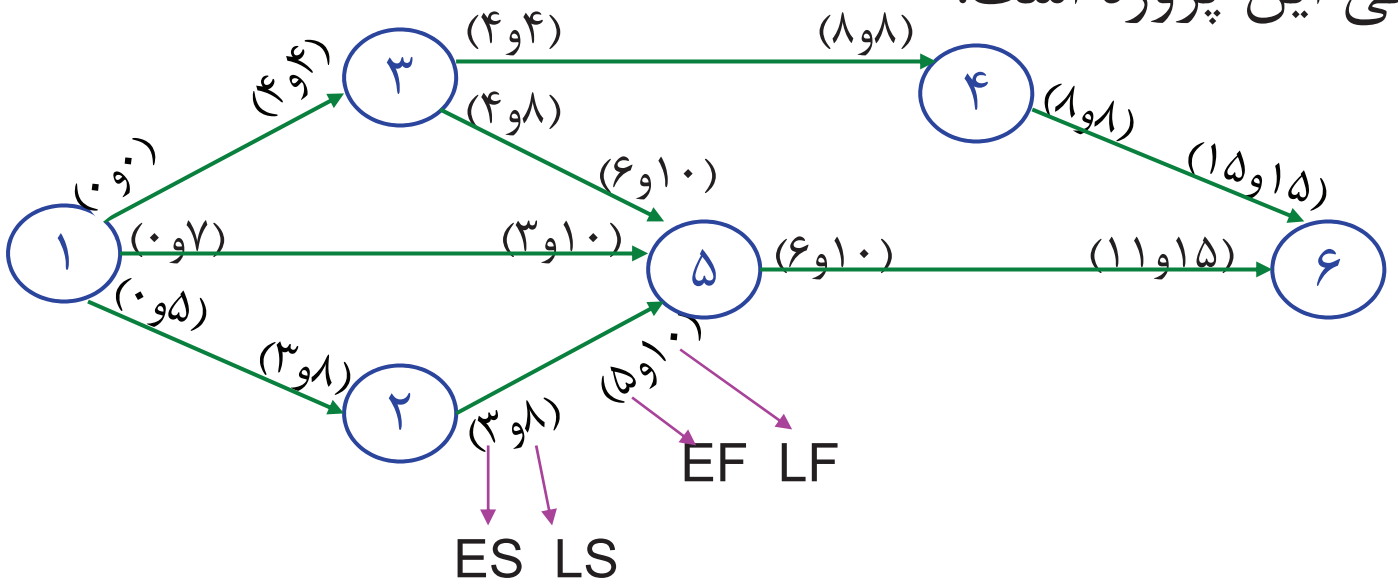
مثال الگوریتم برگس(Burgess) برای تسطیح منابع

مثال: پروژه ای با اطلاعات مندرج در جدول زیر برای اجرا انتخاب شده است. اگر برای انجام فعالیتهای این پروژه فقط یک نوع منبع یعنی نیروی انسانی(کارگر) مورد نیاز باشد و تعداد نیروی انسانی در دسترس محدودیتی نداشته باشد، برنامه زمان بندی قابل قبول برای اجرا فعالیتها پروژه تعیین کنید.

فعالیت	پیش نیاز	مدت اجرا (روز)	تعداد کارگر مورد نیاز(نفر)
A(1-2)	-	۳	۳
B(1-3)	-	۴	۲
C(3-4)	B	۴	۲
D(1-5)	-	۳	۴
E(2-5)	A	۲	۶
F(3-5)	B	۲	۳
G(4-6)	C	۷	۴
H(5-6)	D,E,F	۵	۵

مثال الگوریتم برگس(Burgess) برای تسطیح منابع

با استفاده از مشخصات جدول قبل، شبکه برداری پروژه مطابق شکل زیر رسم میگردد. سپس محاسبات زمانبندی به روشCPM انجام شده و نتایج روی شبکه قرار میگیرد که مسیر ۶-۴-۳-۱ تنها مسیر بحرانی این پروژه است.



فعالیت	D	ES	LF	کارگر r_{ij}	زمان (روز)														
					۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳	۱۴	۱۵
۱-۲	۳	۰	۸	۳	۳	۳	۳												
۱-۳	۴	۰	۴	۲	۲	۲	۲	۲											
۳-۴	۴	۴	۸	۲					۲	۲	۲	۲							
۱-۵	۳	۰	۱۰	۴	۴	۴	۴												
۲-۵	۲	۳	۱۰	۶				۶	۶										
۳-۵	۲	۴	۱۰	۳					۳	۳									
۴-۶	۷	۸	۱۵	۴									۴	۴	۴	۴	۴	۴	۴
۵-۶	۵	۶	۱۵	۵							۵	۵	۵	۵	۵				
$(\sum_{t=1}^{n} r_{t_{ij}})^2$					۸۱	۸۱	۸۱	۶۴	۱۲۱	۲۵	۴۹	۴۹	۸۱	۸۱	۸۱	۱۶	۱۶	۱۶	۱۶

$Z=855^{211}$

به منظور کاهش مقدار Z بر اساس الگوریتم برگس، تغییراتی در زمان بندی انجام فعالیتها ی غیر بحرانی در داخل مدت زمان شناوری آنها (ابتدا، آخرین فعالیت در جدول یعنی ۶-۵ و سپس به ترتیب ، فعالیتهای غیر بحرانی ردیفهای قبلی) ایجاد میشود که در اثر آن گزینه جدید زیر ارائه میشود:

فعالیت	ES	LF	زمان (روز)														
			۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳	۱۴	۱۵
۱-۲	۰	۸	۳	۳	۳												
۱-۳	۰	۴	۲	۲	۲	۲											
۳-۴	۴	۸					۲	۲	۲	۲							
۱-۵	۰	۱۰		۴	۴	۴											
۲-۵	۳	۱۰							۶	۶							
۳-۵	۴	۱۰					۳	۳									
۴-۶	۸	۱۵									۴	۴	۴	۴	۴	۴	۴
۵-۶	۶	۱۵											۵	۵	۵	۵	۵
$(\sum_{i=1}^{n} r_{t_{ij}})^2$			۲۵	۸۱	۸۱	۳۶	۲۵	۲۵	۶۴	۶۴	۱۶	۱۶	۸۱	۸۱	۸۱	۸۱	۸۱

Z=838

مثال الگوریتم برگس (Burgess) – ادامه

در مرحله بعد، تغییرات جدیدی در زمان بندی انجام فعالیتهای غیر بحرانی مطابق با روش برگس انجام میگیرد.

نهایتاً مقدار Z معادل با ۸۱۴،کمترین میزان و بهترین گزینه محاسبه میشود.