



## برنامه ریزی و کنترل پروژه

### (روش مسیر بحرانی)

نویسنده: جعفر صادقی نامور<sup>۱)</sup>

امروزه تهیه و اجرای برنامه‌ها، طرحها و پروژه‌ها با استفاده از سیستم‌های نوین و منظم برنامه‌ریزی و کنترل انجام می‌گیرد. این سیستمها مخصوصاً در چهار دهه اخیر پیشرفت چشمگیری داشته و اکثراً با استفاده از کامپیوتر و بسته‌های نرم‌افزاری عمل می‌کنند. در این مقاله از بین سیستمهای گوناگون برای برنامه‌ریزی و کنترل عملیات دو سیستم که رایج‌ترین این روشها هستند در حدودی که بدون استفاده از کامپیوتر قابل استفاده باشند ارائه می‌شود. این دو عبارتند از روش نمودار میله‌ای موسوم به نمودار گانت و روش مسیر بحرانی.

قبل از شرح دو روش برنامه‌ریزی و کنترل مورد نظر به مزایای استفاده از فنون برنامه‌ریزی اشاره می‌شود:

- برنامه‌ریزی کامل قبل از شروع کار را ملزم می‌سازد.
- هماهنگی را افزایش می‌دهد.
- موارد مشکل و دارای مسئله را، اغلب از پیش مشخص می‌کند.
- مسئولیتها را تعیین و تفکیک می‌کند.
- تفکر را تصحیح و آگاهی استفاده‌کننده را از مسائل درگیر و اهمیت نسبی آنها را در تمامی عملیات افزایش می‌دهد.

---

۱- مدیرکل آمارهای بازرگانی و خدمات مرکز آمار ایران.

- توجه مدیریت را به آن دسته از فعالیتهای که با مشکلاتی مواجه بوده و یا بنظر می‌رسد با مشکلاتی توأم باشند، جلب می‌نماید.
- زمانهای شروع و تکمیل بهینه را برای هر یک از فعالیتهای موجود در عملیات مشخص می‌کند.
- این امکان را بوجود می‌آورد که برنامه، طرح یا پروژه مجدداً برای تطبیق با شرایط محیطی تغییر یافته و بررسی شود.
- گزارش پیشرفت کار و صدور دستورالعملها را امکان‌پذیر می‌سازد.
- وسیله مفیدی برای آموزش کارکنان در روشهای انجام عملیات است.
- مناسبترین وسیله برای نشان دادن ارتباط سازمانی است.

### روش نمودار میله‌ای

- این روش برای نمایش فعالیت به صورت یک میله و برحسب زمان طراحی و ایجاد شده‌است. روش مزبور توسط هنری ال. گانت<sup>۱)</sup> بوجود آمده و به همین دلیل اغلب به نام پدیدآورنده آن نمودار گانت نامیده می‌شود.
- روش ترسیم فعالیت به صورت یک نمودار میله‌ای را می‌توان نخستین اقدام علمی برای حل و تسهیل کار برنامه‌ریزی و کنترل فعالیتهای و کارها به شمار آورد. این روش در ابتدا برای برنامه‌ریزی عملیات تولیدی و فرایندهای تکراری به کار می‌رفت. اما بعدها از این روش برای برنامه‌ریزی و نمایش فعالیتهای پروژه‌های ساختمانی که از اهمیت و کثرت فراوانی برخوردار بودند، نیز استفاده شد.
- مزایای این روش را می‌توان در چند مقوله خلاصه کرد:
- روش ساده‌ای است.
  - برای همه افراد قابل درک است.
  - وسیله خوبی برای برنامه‌ریزی و کنترل کارهای تکراری است.

۱- Henry L.Gant

اگرچه امروزه با پیدایش روشهای مبتنی بر تحلیل شبکه، روش نمودار میله‌ای ارزش خود را از دست داده است ولی بعلت سادگی آن هنوز در مواردی به کار گرفته می‌شود.

نقاط ضعف این روش به طور خلاصه به شرح زیر است:

- روابط میان فعالیتها را به طور روشن و واضح، مشخص نمی‌کند.
- اثر تاخیر یک فعالیت و عقب افتادن آن از برنامه‌زمانی بر زمان خاتمه پروژه، قابل ارزیابی و اندازه‌گیری نیست.

- برنامه‌ریزی و زمانبندی فعالیتها در این روش به طور همزمان انجام می‌گیرد. از اینرو ممکن است که برنامه‌ریزی تحت‌الشعاع زمانبندی قرار گیرد.
- تغییر و اصلاح نمودارهای میله‌ای وقت زیادی می‌طلبد.
- با دریافت اطلاعات پیشرفت فعالیتها و نمایش آن بر روی نمودار میله‌ای، نمی‌توان مدت لازم برای خاتمه پروژه را ارزشیابی و محاسبه کرد.

### روش مسیر بحرانی<sup>۱)</sup>

این روش همانطور که از نام آن برمی‌آید، مبتنی بر تحلیل مسیرهای آن است. شبکه، مسیرهای متعددی پیدا می‌کند که دست کم یکی از آنها از بقیه بزرگتر است که آنرا مسیر بحرانی می‌نامند. مسیر بحرانی بزرگترین یا طولانی‌ترین (از نظر زمان) مسیر پروژه است و از این رو، مدت اجرای پروژه برابر با طول این مسیر است.

مسیر بحرانی از فعالیتهای بحرانی تشکیل می‌شود. فعالیت بحرانی به طور خلاصه، فعالیتی است که هیچگونه مجالی برای تاخیر از برنامه زمانی ندارد. بنابراین هر مقدار زمانی که این فعالیتها، از برنامه زمانی عقب بیفتد مدت اجرای پروژه را به همان مقدار افزایش خواهد داد.

فعالیت بحرانی در تعریف فنی آن، فعالیتی است که آزادی عمل جمعی آن برابر تفاضل زودترین و دیرترین تاریخ خاتمه پروژه است و چون غالباً دیرترین تاریخ خاتمه

۱- Critical path Method = C.P.M.

پروژه، با زودترین تاریخ آن برای فعالیت بحرانی برابر است؛ در نتیجه فعالیت بحرانی فعلیتی است که آزادی عمل جمعی آن برابر صفر است. فعالیت‌های غیر بحرانی فعالیت‌هایی هستند که آزادی عمل جمعی آنها صفر نیست و به عبارت بهتر، دیر یا زود اجرا شدن آنها (البته به اندازه مقدار آزادی عمل جمعی آنها) موجب افزایش یا کاهش مدت اجرای پروژه نخواهد شد. مهمترین نقاط قوت و مزایای این روش در مقایسه با روش نمودار میله‌ای به شرح زیر است:

- برنامه‌ریزی را از زمانبندی و برآورد مدت اجرا تفکیک می‌کند.
- روابط میان فعالیتها را به خوبی و به روشنی نشان می‌دهد.
- با دریافت اطلاعات پیشرفت فعالیتها، مقایسه آن با برنامه پیش‌بینی شده به سادگی و سرعت امکان‌پذیر است.
- فعالیت‌های بحرانی و غیر بحرانی به سادگی قابل تشخیص هستند.
- مسائل و مشکلات اجرایی، تا حد قابل توجهی مشخص می‌شود.
- از اینرو آثار آنها بر برنامه‌زمانی قابل ارزشیابی است و می‌توان برای کاهش یا حذف مسائل و مشکلات راه‌حل‌های مناسب را مورد بررسی و مطالعه قرار داد.
- پس از آموزش همگانی این روش، ارتباطات میان افراد و واحدهای سهام در اجرای امور تسهیل می‌شود و توسعه می‌یابد.
- مسئولیتها و تعهدات افراد و واحدهای سهام در اجرای امور کاملاً مشخص می‌شود.
- قابلیت انعطاف دارد و بسادگی به روز درمی‌آید.
- تغییر و اصلاح برنامه، در وضعیتهای جدید و پیش‌بینی نشده به سهولت انجام می‌شود.
- هر قسمتی از یک شبکه را می‌توان بسادگی تغییر داد.
- مسئول سازمان مجبور به تفکر در مورد چگونگی اجرای فعالیت‌های مختلف

است. از اینرو اعتماد و اطمینان نسبت به خاتمه بموقع برنامه را تقویت یا آن را افزایش می‌دهد.

البته روش مسیر بحرانی دارای نقاط ضعف هم هست که مهمترین آنها به شرح زیر می‌باشد:

- کاربرد کامل روش به آموزش همگانی و تجربه نسبتاً کافی نیاز دارد.

- هزینه تهیه و استفاده آن نسبت به روش نمودار میله‌ای بیشتر است.

- این احتمال وجود دارد که استفاده از این روش به تدریج به صورت هدف درآید.

آیا روش مسیر بحرانی تمام مشکلات ما را حل می‌کند؟ افرادی که آشنایی کافی با روشهای تحلیل شبکه‌ای ندارند یا فقط با روش نمودار میله‌ای کار کرده‌اند، این سؤال برایشان مطرح است که آیا روش سی پی ام می‌تواند مشکلات ما را حل کند؟ آیا این روش مدت اجرای برنامه‌ها را کاهش می‌دهد؟ و بالاخره آیا این روش، برنامه‌ریزی ما را بهتر می‌کند؟

سی پی ام روش و وسیله‌ای نیست که خود به تنهایی با مسائلی که غالباً پروژه را در برمی‌گیرند مبارزه کند بلکه وسیله‌ای است که تصویری کامل و روشن از مراحل مختلف اجرای برنامه ترسیم می‌کند. هر قدر اطلاعات لازم به طور کامل، درست، دقیق و مستمر و به روز در آمده، در اختیار سیستم باشد تصاویر و اطلاعاتی که تهیه می‌کند کاملتر، روشتر و دقیق‌تر خواهد بود.

سی پی ام نمی‌تواند آمارگیر یا وسایط نقلیه را بموقع بکار بگیرد. سی پی ام نمی‌تواند مانع بروز خطا در داده آمایی شود بلکه یک وسیله‌است. همانطور که یک فرهنگ واژه‌ها نمی‌تواند داستان بنویسد سی پی ام هم نمی‌تواند مشکلات، نابسامانیها و عدم آینده‌نگریها را برطرف کند.

هدف اصلی استفاده از این سیستم بهینه کردن زمان، هزینه و کیفیت هزینه در جهت تامین هدفهای پروژه است.

این روش فقط اطلاعات لازم برای تصمیم‌گیری و انجام واکنشهای مقتضی و مناسب

را تهیه می‌کند حفظ برنامه‌زمانی در مقابل تاخیرها، مسائل و مشکلات و تغییرات به واکنشهای مناسب و فوری مدیر مسئول طرح و سایر دست اندرکاران طرح بستگی دارد. سی پی ام به هیچ وجه جایگزین تفکر و برنامه‌ریزی نمی‌شود بلکه برعکس برای کسب موفقیت در استفاده از آن، به برنامه‌ریزی و تفکر دقیق حتی بیش از گذشته نیاز است.

دستیابی به موفقیت کامل به هنگام بهره‌گیری از این روش به حمایت کافی و صمیمانه و همکاری موثر مدیریت طراز اول سازمان و افراد واحدهای سهام نیاز دارد.

### مراحل تهیه سی پی ام (CPM)

#### تهیه لیست فعالیتها

در این مرحله پروژه به اجزا و عناصر تشکیل دهنده آن یعنی فعالیتها تقسیم می‌شود. شناخت فعالیتها یکی از مهمترین و پردرسترتین کارها از دیدگاه هماهنگی همه جانبه و کامل میان برنامه‌ریزان و تحلیل‌گران است. و به علت نقش مهمی که در موفقیت سیستم دارد این کار با همکاری کارشناسان واحدهای مربوط صورت می‌گیرد.

با انجام کار تفکیک پروژه، لیستی از فعالیتها تهیه می‌شود. در سیستمهای ماشینی به هر فعالیت کد خاصی داده می‌شود ولی در سیستم غیرماشینی فعالیتها با نام اختصاری یا کد می‌تواند مشخص شود.

#### تعیین روابط میان فعالیتها

با در اختیار داشتن لیست فعالیتها، روابط میان آنها را مشخص می‌کنند. برای انجام این کار، جدولی تهیه می‌شود که در آن فعالیتهای قبلی (پیش نیاز) هر یک از فعالیتها مشخص می‌شود. تهیه این جدول بدون همکاری مدیران و کارشناسان واحدها عملاً غیرممکن است.

در یک مثال فرضی پروژه‌ای از ۹ فعالیت تشکیل شده که در جدول ذیل منعکس است و ستون آخر پیش‌نیاز را نشان می‌دهد.

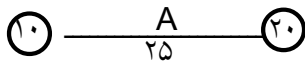
| شماره ردیف | شرح فعالیت | کد فعالیت | فعالیت‌های قبلی (پیش نیاز) |
|------------|------------|-----------|----------------------------|
| ۱          | .....      | A         | -                          |
| ۲          | .....      | B         | A                          |
| ۳          | .....      | C         | A                          |
| ۴          | .....      | D         | A                          |
| ۵          | .....      | E         | D                          |
| ۶          | .....      | F         | D                          |
| ۷          | .....      | G         | C                          |
| ۸          | .....      | H         | B,D,G                      |
| ۹          | .....      | K         | -                          |

### ترسیم شبکه

قبل از ترسیم شبکه باید به تعاریف و قراردادهای زیر توجه شود:

- فعالیت (که قبلاً تعریف شد) حتماً دارای بعد زمانی است. فعالیت بوسیله یک بردار — نشان داده می‌شود.

- معمولاً در روی بردار نام فعالیت یا کد مربوط نوشته می‌شود. در زیر بردار زمان مورد نیاز برای فعالیت درج می‌شود. ابتدا و انتهای بردار با دو شماره که معمولاً در داخل دایره قرار داده می‌شود، مشخص می‌گردد و فعالیت با ذکر دو شماره مذکور نیز خوانده می‌شود، مثلاً فعالیت A یا فعالیت ۲۰ - ۱۰ به صورت زیر نشان داده می‌شود: زمان پیش‌بینی شده برای این فعالیت ۲۵ روز است.



- فعالیت مجازی با بردار نقطه‌چین نشان داده می‌شود و بیانگر هیچ کاری نبوده بلکه فقط بیان کننده یک ارتباط منطقی در داخل شبکه است. فعالیت مجازی نیاز به

زمان ندارد. به عبارت دیگر زمان فعالیت مجازی صفر است.

- قبل از شروع یک فعالیت باید کلیه فعالیتهای ماقبل آن در شبکه رسم شده باشد.

- طول بردار و زاویه شعاعی آن بیانگر هیچگونه ارزشی در شبکه نیست.

باتوجه به جدول مثال موارد زیر مشخص می شود:

فعالتهای A و K فعالتهای ابتدایی یا شروع هستند زیرا قبل از آنها فعالیت دیگری شروع نمی شود.

فعالتهای B و C و D پس از فعالیت A قرار می گیرند.

فعالیت G پس از C قرار می گیرد.

فعالتهای E، F و H پس از D قرار می گیرند.

فعالیت H پس از B، D و G می آید.

فعالتهای E، F، H و K فعالتهای انتهایی هستند؛ زیرا این فعالتهای پیش نیاز فعالیت دیگری نیستند.

### برآورد مدت اجرای فعالیتهای

مدت اجرای فعالیتهای با توجه به حجم عملیات هر یک از فعالیتهای و امکانات اختصاص یافته به آن تعیین می شود. در تعیین مدت زمان لازم برای انجام فعالیت پیچیدگیهای خاصی وجود دارد و معمولاً دو نوع زمان به صورت عادی و ضربتی در نظر گرفته می شود که در اینجا از ورود به این مقوله خودداری می شود.

## تصویر

| مدت اجرا<br>(برحسب روز) | فعالیت‌های قبلی<br>(پیش نیاز) | کد فعالیت | شرح فعالیت | شماره<br>ردیف |
|-------------------------|-------------------------------|-----------|------------|---------------|
| ۱۵                      | -                             | A         | .....      | ۱             |
| ۲۵                      | A                             | B         | .....      | ۲             |
| ۱۸                      | A                             | C         | .....      | ۳             |
| ۱۴                      | A                             | D         | .....      | ۴             |
| ۲۵                      | D                             | E         | .....      | ۵             |
| ۳۰                      | D                             | F         | .....      | ۶             |
| ۱۵                      | C                             | G         | .....      | ۷             |
| ۲۵                      | B,D,G                         | H         | .....      | ۸             |
| ۳۰                      | -                             | K         | .....      | ۹             |

نمودار میله‌ای مثال نمونه

| کد فعالیت | مهر   |       |       | آبان  |       |       | آذر  |       |       |
|-----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|-------|-------|
|           | ۱-۱۰  | ۱۱-۲۰ | ۲۱-۳۰ | ۱-۱۰  | ۱۱-۲۰ | ۲۱-۳۰ | ۱-۱۰ | ۱۱-۲۰ | ۲۱-۳۰ |
| A         | ————— |       |       |       |       |       |      |       |       |
| B         |       | ————— |       |       |       |       |      |       |       |
| C         |       | ————— |       | ————— |       |       |      |       |       |
| D         |       | ————— |       |       |       |       |      |       |       |
| E         |       |       |       | ————— |       |       |      |       |       |
| F         |       |       |       | ————— |       |       |      |       |       |
| G         |       |       |       | ————— |       |       |      |       |       |
| H         |       |       |       |       |       | ————— |      |       |       |
| K         | ————— |       |       |       |       |       |      |       |       |

### قانون شماره‌گذاری فعالیتها

فعالیتها با اعداد طبیعی و به صورت مسلسل می‌تواند شماره‌گذاری شود ولی معمولاً از اعدادی که به ۵ یا ۱۰ قابل قسمت هستند، استفاده می‌شود. این شیوه استفاده از اعداد امکان اضافه کردن فعالیت‌های دیگر را در مراحل بعدی و در صورت نیاز بدون تغییر تمام شماره‌ها فراهم می‌کند.

اولین فعالیت (اولین بردار) را مثلاً با اعداد ۱۰ و ۲۰ شماره‌گذاری می‌کنیم. بردارهای بعدی به ترتیب از چپ به راست و از بالا به پایین شماره‌گذاری می‌شود. شماره فعالیت‌های دارای ارزش محاسباتی نیستند بلکه تنها به منظور تسهیل نمودن مراجعه به هر فعالیت به کار برده می‌شوند. باید توجه داشت که شماره اول هر بردار باید کوچکتر از شماره انتهای بردار باشد و ضمناً شماره‌های بردارهای بعدی نمی‌تواند از بردارهای قبلی کوچکتر باشد.

### تعیین مسیر بحرانی

به منظور مشخص نمودن مسیر بحرانی ضروری است که زودترین و دیرترین زمان هر فعالیت را در شبکه محاسبه کنیم.

زودترین زمان شروع؛ زودترین زمانی است که یک فعالیت می‌تواند آغاز شود. دیرترین زمان شروع؛ دیرترین زمانی است که یک فعالیت می‌تواند آغاز شود. بدون اینکه زمان انجام پروژه را به تاخیر اندازد و برابر است با دیرترین زمان پایان فعالیت منهای بعد زمانی فعالیت.

زودترین زمان خاتمه؛ زودترین زمانی است که یک فعالیت می‌تواند پایان یابد و برابر است با زودترین زمان شروع فعالیت به اضافه بعد زمانی آن.

دیرترین زمان خاتمه؛ دیرترین زمانی است که یک فعالیت می‌تواند پایان یابد؛ بدون اینکه انجام پروژه را به تاخیر اندازد و برابر است با دیرترین زمان شروع فعالیت به اضافه بعد زمانی آن.

روشی که برای محاسبه زودترین زمان شروع بکار می‌رود به روش «حرکت به سمت جلو» موسوم است. برای محاسبه این زمان باید مراحل زیر رعایت گردد:

زودترین زمان شروع فعالیت ابتدایی را مساوی صفر قرار می‌دهیم. برای فعالیت‌های دیگر شبکه به زودترین زمان شروع هر فعالیت، بعد زمانی فعالیت بعدی را اضافه نموده و از بین آنها بیشترین مقدار بدست آمده را انتخاب و ثبت می‌کنیم.

روشی که برای دیرترین زمان پایان کار استفاده می‌شود، به «روش حرکت به سمت عقب» موسوم است و برای محاسبه این زمان مراحل زیر رعایت می‌گردد:

دیرترین زمان خاتمه فعالیت انتهایی را برابر با زودترین زمان خاتمه فعالیت انتهایی فرض می‌کنیم. برای فعالیت‌های دیگر شبکه از دیرترین زمان پایان فعالیت بعدی بعد زمانی فعالیت مربوط کسر و از بین آنها کمترین مقدار بدست آمده را انتخاب می‌کنیم.

مسیر بحرانی شامل آن دسته از فعالیت‌های است که زودترین و دیرترین زمان خاتمه فعالیت آنها برابر است.

مثال قبلی را با محاسبات بعمل آمده در جدول زیر توسعه داده و مسیر بحرانی آنرا ترسیم می‌کنیم.

| کد فعالیت | مدت اجرا | زمانهای شروع |         | زمانهای خاتمه |         | آزادی عمل جمعی |
|-----------|----------|--------------|---------|---------------|---------|----------------|
|           |          | زودترین      | دیرترین | زودترین       | دیرترین |                |
| A         | ۱۵       | ۰            | ۰       | ۱۵            | ۱۵      | ۰              |
| B         | ۲۵       | ۱۵           | ۲۳      | ۴۰            | ۴۸      | ۸              |
| C         | ۱۸       | ۱۵           | ۱۵      | ۳۳            | ۳۳      | ۰              |
| D         | ۱۴       | ۱۵           | ۲۹      | ۲۹            | ۴۳      | ۱۴             |
| E         | ۲۵       | ۲۹           | ۴۸      | ۵۴            | ۷۳      | ۱۹             |
| F         | ۳۰       | ۲۹           | ۴۳      | ۵۹            | ۷۳      | ۱۴             |
| G         | ۱۵       | ۳۳           | ۳۳      | ۴۸            | ۴۸      | ۰              |
| H         | ۲۵       | ۴۸           | ۴۸      | ۷۳            | ۷۳      | ۰              |
| K         | ۳۰       | ۰            | ۴۳      | ۳۰            | ۷۳      | ۴۳             |

## تصویر

مثال دیگر:

| کد فعالیت | فعالتهای قبلی (پیش نیازها) | مدت اجرا (ماه) |
|-----------|----------------------------|----------------|
| A         | -                          | ۱۰             |
| B         | -                          | ۴              |
| C         | A, B                       | ۴              |
| D         | A                          | ۸              |
| E         | B                          | ۶              |
| F         | C, E                       | ۶              |
| G         | C, D, E                    | ۲              |
| H         | G                          | ۱              |
| I         | D, F, G                    | ۱              |
| J         | C, E                       | ۴              |
| K         | J                          | ۸              |
| L         | H, I, K                    | ۴              |

