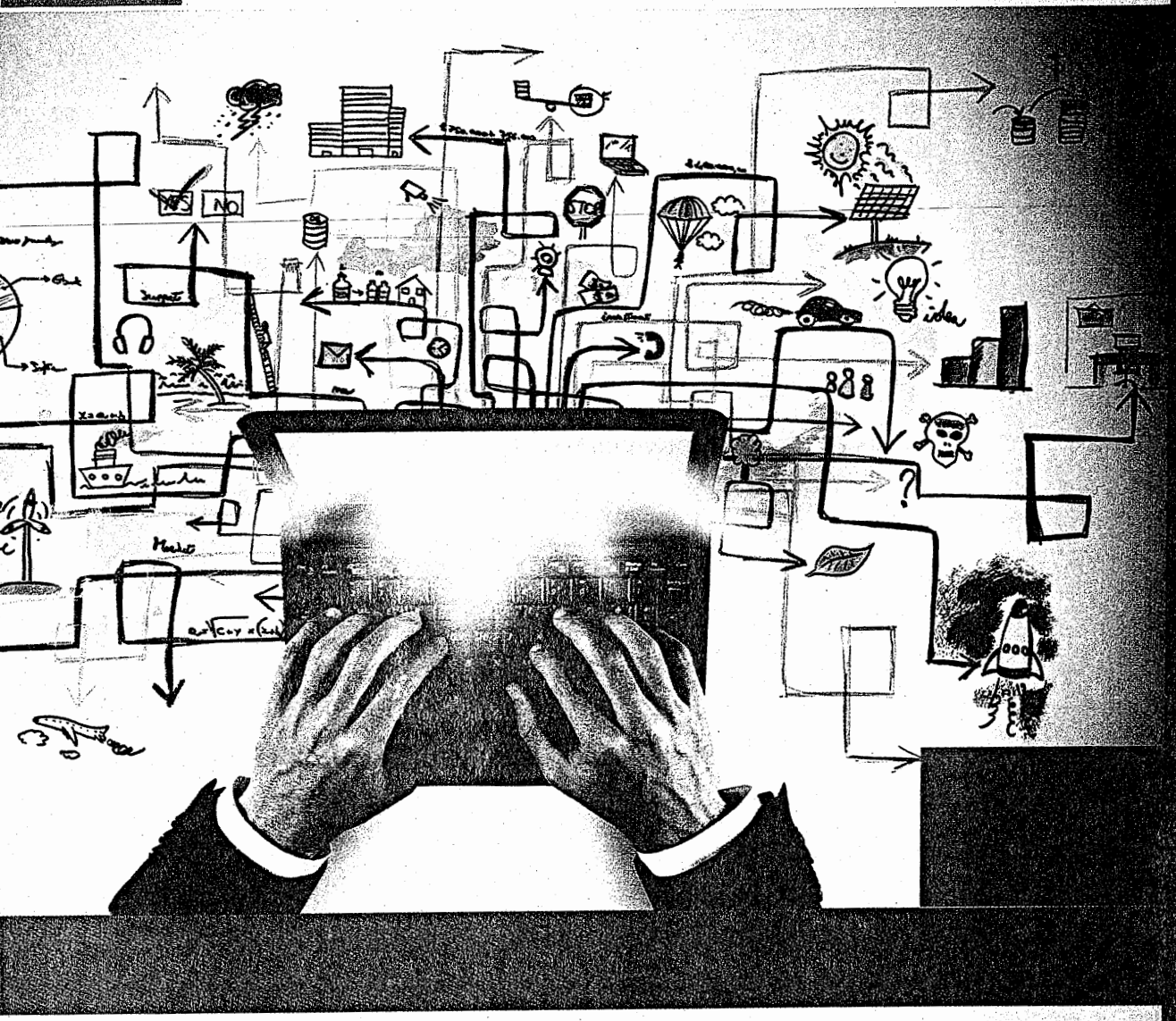
وزارت علوم تحقیقات و فناوری
مرکز نشر دانشگاهی
دانشگاه جامع علمی کاربردی



# کنترل پروژه

سیدحسن قدسی‌پور، ناصر شمس قارنه، محمد نوروزی

# کنترل پروژه

**سیدحسن قدسی‌پور**

عضو هیئت علمی دانشگاه صنعتی امیرکبیر

**ناصر شمس قارنه**

عضو هیئت علمی دانشگاه صنعتی امیرکبیر

**محمد نوروزی**

مرکز نشر دانشگاهی
۱۵۷۲

فنی و مهندسی (صنایع)
۱۶

# کنترل پروژه

سیدحسن قدسی‌پور، ناصر شمس قارنه، محمد نوروزی

ویراستار و نسخه‌پرداز: زهره رهیده
حروفچین و صفحه‌آرا: شیلا افشائی
طراح جلد: علیرضا دربانی
ناظر چاپ: حمیدرضا دمیرچی
دانشگاه جامع علمی‌کاربردی؛ مرکز نشر دانشگاهی
چاپ اول ۱۳۹۹
تعداد ۲۰۰۰
چاپ و صحافی: شرکت چاپ و انتشارات سازمان اوقاف و امور خیریه
۲۳۰۰۰ تومان

نشانی فروشگاه مرکزی: خیابان انقلاب، روبه‌روی سینما سپیده، پاساژ خبیری، تلفن: ۶۶۴۰۸۸۹۱، ۶۶۴۱۰۶۸۶

فروش اینترنتی: www.iup.ac.ir

17193164741000111111

حق چاپ برای دانشگاه جامع علمی‌کاربردی و مرکز نشر دانشگاهی محفوظ است

فهرست‌نویسی پیش از انتشار کتابخانهٔ ملی جمهوری اسلامی ایران

سرشناسه: قدسی‌پور، سیدحسن، ۱۳۳۵ـ
عنوان و نام پدیدآور: کنترل پروژه/ سیدحسن قدسی‌پور، ناصر شمس قارنه، محمد نوروزی
مشخصات نشر: تهران: دانشگاه جامع علمی‌کاربردی؛ مرکز نشر دانشگاهی، ۱۳۹۸
مشخصات ظاهری: سیزده، ۱۶۳ ص.: مصور، جدول، نمودار.
فروست: مرکز نشر دانشگاهی؛ ۱۵۷۲. فنی و مهندسی (صنایع)؛ ۱۶.
شابک: 978-600-5607-99-4 978-964-01-1572-5
وضعیت فهرست‌نویسی: فیپا
یادداشت: کتابنامه.
موضوع: مدیریت طرح‌ها
موضوع: Project management
موضوع: مدیریت طرح‌ها ـ برنامه‌ریزی
موضوع: Project management - Planning
موضوع: مدیریت طرح‌ها ـ کنترل کیفی
موضوع: Project management – Quality control
موضوع: مدیریت طرح‌ها ـ نرم‌افزار
موضوع: Project management-Software
موضوع: مدیریت طرح‌ها ـ استانداردها
موضوع: Project management-Standards
شناسه افزوده: شمس‌قارنه، ناصر، ۱۳۳۸ـ
شناسه افزوده: نوروزی، محمد، ۱۳۵۰ـ
شناسه افزوده: دانشگاه جامع علمی‌کاربردی
شناسه افزوده: مرکز نشر دانشگاهی
شناسه افزوده: Iran University Press
رده‌بندی کنگره: ۶۹ HD
رده‌بندی دیویی: ۶۵۸/۴۰۴
شماره کتابشناسی ملی: ۵۹۲۳۵۲۷

بسم‌الله‌الرحمن‌الرحیم

# فهرست


| عنوان | صفحه |
|---|---|
| **پیشگفتار ناشر** | **نه** |
| **پیشگفتار** | **یازده** |
| **۱ تعاریف** | **۱** |
| ۱.۱ تعاریف | ۱ |
| ۱.۱.۱ تعریف مدیریت | ۲ |
| ۲.۱.۱ تعریف پروژه | ۲ |
| ۳.۱.۱ تعریف مدیریت پروژه | ۴ |
| ۲.۱ تفاوت پروژه و عملیات | ۴ |
| ۳.۱ اهداف مشترک پروژه‌ها | ۶ |
| ۱.۳.۱ زمان | ۷ |
| ۲.۳.۱ هزینه | ۷ |
| ۳.۳.۱ عملکرد | ۷ |
| ۴.۳.۱ ارتباط بین زمان-هزینه و عملکرد | ۸ |
| ۴.۱ مزایای مدیریت و کنترل پروژه | ۸ |

| عنوان | صفحه |
|---|---|
| ۵.۱ معایب مدیریت و کنترل پروژه | ۹ |
| ۶.۱ خصوصیات مدیران پروژه | ۱۰ |
| ۷.۱ تاریخچهٔ مدیریت پروژه | ۱۱ |
| ۱.۷.۱ گانت چارت در اوایل قرن بیستم | ۱۲ |
| ۲.۷.۱ مدیریت پروژه در سال‌های ۱۹۵۰ تا ۱۹۸۰ میلادی | ۱۲ |
| ۸.۱ سال‌های ۱۹۸۰ به بعد | ۱۳ |
| **۲ مدیریت پروژه در یک نگاه** | ۱۴ |
| ۱.۲ رویکرد فرایندی | ۱۵ |
| ۱.۱.۲ فرایندهای آغازین پروژه | ۱۵ |
| ۲.۱.۲ فرایندهای برنامه‌ریزی پروژه | ۱۶ |
| ۳.۱.۲ فرایندهای اجرایی پروژه | ۱۷ |
| ۴.۱.۲ فرایندهای کنترلی پروژه | ۱۸ |
| ۵.۱.۲ فرایندهای اختتامی پروژه | ۲۰ |
| ۲.۲ رویکرد مدیریتی | ۲۱ |
| ۱.۲.۲ مدیریت یکپارچگی پروژه | ۲۱ |
| ۲.۲.۲ مدیریت محدوده پروژه | ۲۲ |
| ۳.۲.۲ مدیریت زمان پروژه | ۲۲ |
| ۴.۲.۲ مدیریت هزینهٔ پروژه | ۲۲ |
| ۵.۲.۲ مدیریت کیفیت پروژه | ۲۳ |
| ۶.۲.۲ مدیریت منابع پروژه | ۲۳ |
| ۷.۲.۲ مدیریت ارتباطات پروژه | ۲۳ |
| ۸.۲.۲ مدیریت ریسک پروژه | ۲۴ |
| ۹.۲.۲ مدیریت تدارکات پروژه | ۲۴ |
| ۱۰.۲.۲ مدیریت ذی‌نفعان پروژه | ۲۴ |

| عنوان | صفحه |
| --- | --- |
| **۳ برنامه‌ریزی پروژه** | ۲۶ |
| ۱.۳ منشور پروژه و برگ شرح کار | ۲۷ |
| ۱.۱.۳ منشور پروژه | ۲۷ |
| ۲.۱.۳ برگ شرح کار | ۲۷ |
| ۳.۱.۳ محتویات برگ شرح کار | ۲۸ |
| ۴.۱.۳ نمونه‌ای از برگ شرح کار | ۲۹ |
| ۵.۱.۳ مراحل تهیه برگ شرح کار | ۳۱ |
| ۶.۱.۳ نکات مهم در تهیه برگ شرح کار | ۳۲ |
| ۲.۳ ساختار شکست کار | ۳۳ |
| ۱.۲.۳ تعریف ساختار شکست کار | ۳۳ |
| ۲.۲.۳ روش تهیه ساختار شکست کار | ۳۴ |
| ۳.۲.۳ معیارها و ضوابط تقسیم‌کار به فعالیت‌ها | ۳۷ |
| ۴.۲.۳ انواع ساختار شکست کار | ۳۸ |
| ۵.۲.۳ کیفیت ساختار شکست کاری خوب و مناسب | ۳۸ |
| ۶.۲.۳ فواید ساختار شکست کار | ۴۱ |
| ۷.۲.۳ نتیجه | ۴۱ |
| **۴ زمان‌بندی پروژه** | ۴۳ |
| ۱.۴ تهیه فهرست فعالیت‌ها و توالی آنها | ۴۴ |
| ۱.۱.۴ تهیه فهرست فعالیت‌ها | ۴۴ |
| ۲.۱.۴ توالی فعالیت‌ها | ۴۵ |
| ۲.۴ تخمین زمان انجام فعالیت‌ها | ۴۷ |
| ۱.۲.۴ فواید تخمین | ۴۸ |
| ۲.۲.۴ روش‌های تخمین زمان | ۴۸ |
| ۳.۲.۴ موانع انجام تخمین دقیق | ۴۹ |
| ۴.۲.۴ انواع تخمین زمان | ۵۰ |

| عنوان | صفحه |
| --- | --- |
| ۵.۲.۴ فرضیات مهم در برآورد زمان | ۵۱ |
| ۶.۲.۴ مراحل تخمین زمان | ۵۱ |
| ۳.۴ ایجاد و توسعهٔ زمان‌بندی | ۵۲ |
| ۱.۳.۴ روش‌های زمان‌بندی | ۵۳ |
| ۲.۳.۴ شبکه‌های برداری | ۵۵ |
| ۳.۳.۴ شبکه‌های گره‌ای | ۶۸ |
| ۴.۳.۴ شبکه‌های پیش‌نیازی | ۷۲ |
| ۴.۴ کنترل زمان‌بندی | ۸۶ |
| ۱.۴.۴ شناخت و تبیین وضعیت فعلی | ۸۷ |
| ۲.۴.۴ هدایت پروژهٔ به سمت وضعیت مطلوب | ۹۳ |
| ۵.۴ شبکه‌های با زمان‌های احتمالی | ۹۵ |
| ۱.۵.۴ برآورد سه زمانی | ۹۶ |
| ۲.۵.۴ میانگین زمان فعالیت در برآوردهای سه‌زمانه | ۹۷ |
| ۳.۵.۴ محاسبات زمان کل شبکه در شبکه‌های دارای زمان احتمالی | ۹۷ |
| **۵ مدیریت هزینه پروژه** | ۱۰۳ |
| ۱.۵ برآورد هزینه | ۱۰۴ |
| ۱.۱.۵ برآورد قیاسی | ۱۰۴ |
| ۲.۱.۵ برآورد پارامتریک | ۱۰۵ |
| ۳.۱.۵ روش برآورد سیستماتیک | ۱۰۵ |
| ۴.۱.۵ سایر روش‌ها | ۱۰۶ |
| ۵.۱.۵ تشریح روش سیستماتیک | ۱۰۶ |
| ۲.۵ بودجه‌ریزی | ۱۱۱ |
| ۱.۲.۵ بودجهٔ موردنیاز | ۱۱۱ |
| ۲.۲.۵ نحوهٔ تأمین بودجهٔ پروژه | ۱۱۲ |

| عنوان | صفحه |
|---|---|
| ۳.۵ کنترل هزینه | ۱۱۳ |
| ۴.۵ تحلیل هزینه | ۱۱۳ |
| ۱.۴.۵ تعاریف | ۱۱۴ |
| ۲.۴.۵ رابطهٔ بین هزینه‌های مستقیم و زمان انجام یک پروژه | ۱۱۶ |
| ۳.۴.۵ بررسی هزینهٔ کل | ۱۱۸ |
| ۴.۴.۵ الگوریتم حداقل‌سازی هزینه‌های مستقیم پروژه | ۱۲۰ |
| ۵.۴.۵ کاربرد برنامه‌ریزی خطی در تحلیل هزینه ـ زمان (یک تقریب) | ۱۲۹ |
| ۶.۴.۵ کاربرد برنامه‌ریزی خطی در تحلیل هزینه ـ زمان(چند تقریب) | ۱۳۴ |
| **۶ استانداردهای مدیریت پروژه** | ۱۴۲ |
| ۱.۶ پیکره دانش مدیریت پروژه (PMBOK) | ۱۴۳ |
| ۲.۶ استاندارد پرینس۲ | ۱۴۳ |
| ۳.۶ استاندارد APM | ۱۴۴ |
| ۴.۶ استاندارد جامعه مدیریت پروژه ژاپن | ۱۴۴ |
| **۷. آموزش نرم‌افزار MSP** | ۱۴۶ |
| ۱.۷ ایجاد ساختار شکست کار در MSP | ۱۴۷ |
| ۲.۷ تخمین زمان پروژه | ۱۵۲ |
| ۳.۷ تنظیم تقویم کاری | ۱۵۳ |
| ۴.۷ ایجاد روابط و وابستگی بین فعالیت‌ها | ۱۵۸ |
| منابع | ۱۶۲ |

## پیشگفتار ناشر

جهان معاصر عرصهٔ رقابت در زمینهٔ کیفیت‌بخشی و ارائهٔ خدمات مطلوب است. اصلی‌ترین عامل موفقیت در این رقابت، مطلوبیت نهایی محصولات و خدمات است که جز با تحقیق و پژوهش علمی‌کاربردی و توجه خاص به مؤلفه‌های استانداردسازی،کیفیت‌بخشی، نیازهای بازار کار و پاسخگویی به مطالبات عمومی میسر نمی‌شود.

از آنجا که ارتقای کمّی و کیفی نظام آموزش‌های علمی کاربردی و اعتلای امر آموزش و پژوهش مهارتی، یکی از اهداف اساسی نظام آموزش عالی در توسعهٔ علمی کشور به شمار می‌رود، دانشگاه جامع علمی‌کاربردی با هدف اصلاح هرم شغلی و تربیت نیروی انسانی ماهر در بخش‌های مختلف تأسیس و مشغول فعالیت شد. با توجه به رسالت این دانشگاه، مبنی بر آموزش و پژوهش در مرزهای فناوری و ایجاد اشتغال، با به‌کارگیری استانداردهای لازم دانش‌آموختگانی تربیت می‌شوند که علاوه بر تأمین نیاز بازار کار، در کارآفرینی نیز خلاق و توانمند باشند.

گسترهٔ مخاطبان دروس مهارت‌های مشترک، فقر منابع درسی در این زمینه و نیز تأکید رئیس محترم دانشگاه جامع علمی‌کاربردی مبنی بر اجرای برنامه‌های ارتقای کیفیت آموزش‌های عالی علمی‌کاربردی، انتشارات دانشگاه را بر آن داشت تا با همکاری مرکز نشر دانشگاهی، به‌عنوان یکی از مراکز مهم در عرصهٔ نشر علم و تأمین محتوای علمی، به تولید و نشر منابع مورد نیاز این دروس اقدام کند. حاصل این تعامل، مجموعه کتاب‌هایی است که با یاری خداوند متعال و همت استادان، مدرسان، مؤلفان، و دست‌اندرکاران این دو مجموعه مطابق با سرفصل‌های دروس مهارت‌های مشترک آماده شود و در دسترس دانشجویان قرار گیرد. بی‌تردید، انتقادها و

پیشنهادهای صاحبنظران و مدرسان در راستای توسعهٔ نظام آموزش‌های علمی‌کاربردی در ارتقای کیفیت این کتاب‌ها تأثیرگذار خواهد بود. به همین منظور می‌توانید نظرات خود را از طریق ایمیل daftaretamin1397@gmail.com با ما در میان بگذارید.

در پایان، مراتب قدردانی خود را از مؤلفان محترم کتاب و دیگر عزیزانی که زحمات بی دریغ آنها نقش مهم و اساسی در شکل‌گیری و چاپ این مجموعه داشته‌اند، اعلام می‌کنیم.

**مرکز اسناد و انتشارات دانشگاه جامع علمی‌کاربردی**

**و مرکز نشر دانشگاهی**

**زمستان ۱۳۹۷**

# پیشگفتار

زندگی روزمره انسان‌ها و جوامع بشری مملو از کارهای تکراری است. برای مثال انسان هرروز غذا می‌خورد، به محل کار می‌رود، وظایف روزانهٔ خود را انجام می‌دهد. این کارها عموماً تکراری است و هرروز ممکن است چند بار اجرا شوند. همچنین ممکن است در طول زندگی خود برای اخذ مدرک کارشناسی یا کارشناسی ارشد به ادامه تحصیل یا برای خرید یا ساخت مسکن یا اخذ گواهینامه رانندگی اقدام کند که عموماً این کارها یک‌بار انجام و کمتر (به شکل یکسان) تکرار می‌شوند. به طور کلی کارهای تکراری و روزمره را عملیات (Operation) و غیرتکراری و منحصربه‌فرد را پروژه (Project) می‌نامند. پروژه‌ها در زندگی فردی و اجتماعی انسان‌ها نقش مهمی ایفا می‌کنند.

در هر جامعه‌ای، لازمهٔ رشد اقتصادی، اجرای برنامه‌های راهبردی در زمینه‌های مختلف است؛ برخی از این زمینه‌ها عبارت‌اند از: خودروسازی، داروسازی، نفت و گاز، حمل و نقل، کشاورزی، هوشمندسازی، اتوماسیون و ... .

با توجه به اینکه هر برنامهٔ راهبردی از چند برنامه، طرح، پروژه و عملیات تشکیل می‌شود و برای اجرای هر برنامهٔ راهبردی باید سالانه سبدی از پروژه‌ها و طرح‌ها انتخاب شده و به طور بهینه مدیریت شوند تا منافع حاصل حداکثر شود؛ می‌توان گفت که توسعهٔ یک کشور شامل اجرای انبوهی از پروژه‌های هدفمند است.

در کشور سالانه هزاران پروژه در سطوح مختلف ملی، استانی و... نظیر ساخت فرودگاه‌ها، بزرگراه‌ها، بیمارستان‌ها، نیروگاه‌ها، سدها، هواپیماها، کشتی‌ها، مدارس،

دانشگاه‌ها، کارخانه‌ها و واحدهای تولیدی در حال اجراست که ضرورت توجه به مدیریت این پروژه‌ها و بهینه‌سازی مصرف بودجه، منابع و ... را بیش از پیش ضروری می‌کند.

تعهد اتمام پروژه در موعد مقرر و انجام آن با هزینه‌های مصوب به لحاظ کیفیت مطلوب و نیز در نظر گرفتن ریسک فعالیت‌ها، جلوگیری از دوباره‌کاری‌ها، تخصیص بهینهٔ منابع و ... از اهم مسائلی است که در مدیریت و کنترل پروژه بحث و بررسی می‌شود.

در سال‌های اخیر کتاب‌هایی در زمینهٔ مدیریت پروژه و استانداردهای مربوطه تدوین شده اما ضعف ارتباط بین برنامه‌های راهبردی توسعهٔ کشور و انتخاب و اجرای پروژه‌ها همچنان محسوس است.

برای رفع این مشکل و توسعهٔ فرهنگ برنامه‌ریزی راهبردی در کشور، نیاز به تدوین متونی در این زمینه بیش از پیش احساس می‌شود. متونی که از مدیریت پروژه آغاز شده و به مدیریت طرح، مدیریت سبد، برنامه‌ریزی‌های راهبردی و انسجام آنها می‌پردازد.

خلأ منابعی در این زمینه نه تنها در سطح کشور بلکه در سطح جهانی دیده می‌شود، چرا که این متون در کشور ما انگشت‌شمار بوده و در سطح جهان نیز مسبوق به سابقه‌ای طولانی نیست؛ به طوری که نخستین استاندارد مدیریت طرح توسط مؤسسهٔ مدیریت پروژه (PMI) در سال ۲۰۰۶ منتشر شد که سابقه‌ای کمتر از پانزده سال دارد. آنچه مسلم است هنوز ابتدای این راه در جهان هستیم و نیاز به گسترش این متون در جهان و ایران بسیار احساس می‌شود.

مدیریت پروژه از مدیریت مسائل روزمره و شخصی (هنر زندگی کردن) آغاز شده و تا مدیریت مسائل کلان و برنامه‌های راهبردی کشور و جامعه پیش می‌رود، از این‌رو برای آموزش مدیریت پروژه لازم است متونی مناسب از سطوح دبیرستانی تا سطوح عالی تهیه و تدوین شود.

کتاب حاضر با هدف تربیت تکنیسین‌های مدیریت پروژه، برای کارها و پروژه‌های کوچک تدوین شده است. از این رو جامعهٔ هدف آن هنرجویان دانشگاه‌های علمی کاربردی، فنی و حرفه‌ای و دوره‌های آزاد در این سطوح هستند. در برخی از قسمت‌های کتاب مطالبی برای مطالعهٔ آزاد در نظر گرفته شده که برای دانشجویان یا هنرجویان مقطع کاردانی اختیاری و صرفاً برای افزایش دانش آنهاست. در حالی که با افزودن این بخش به متن اصلی این کتاب برای دانشجویان دوره‌های کارشناسی نیز مفید خواهد بود. از این رو مطالعهٔ کتاب حاضر به تمامی دانشجویان مقاطع کاردانی و کارشناسی و افراد عملیاتی در سطح مدیریت کارگاه‌ها و پروژه‌ها توصیه می‌شود.

امید است در آینده‌ای نه‌چندان دور مباحث پیشرفته در این زمینه نظیر مدیریت کیفیت، مدیریت ریسک و ... نیز تدوین شود و در اختیار علاقه‌مندان قرار گیرد.

همچنین به نظر می‌رسد با توسعهٔ مدیریت راهبردی در کشور در سال‌های اخیر، ضرورت پرداختن به متون مربوط به مدیریت طرح، سبد و برنامه‌ریزی راهبردی رو به افزایش است که البته تلاش تمامی دست‌اندرکاران و مسئولان مربوطه را می‌طلبد.

این کتاب شامل هفت فصل است که در فصل اول مقدمه (ضرورت و اهمیت بحث)، تعاریف تفاوت پروژه و عملیات، اهداف مشترک پروژه‌ها، مزایا و معایب کنترل پروژه و ... مطرح شده است و فصل دوم به مفهوم مدیریت پروژه رویکردهای فرایندی و مدیریتی، پرداخته و در فصل سوم برنامه‌ریزی پروژه، منشور پروژه، شرح کار و ساختار شکست کار بررسی و تحلیل شده است.

فصل چهارم به زمان‌بندی پروژه پرداخته که شامل تهیه فهرست فعالیت‌ها، توالی آنها، تخمین زمان انجام فعالیت‌ها، و ایجاد توسعهٔ زمان‌بندی (شبکه‌های برداری، گره‌ای و پیش‌نیازی، محاسبات رفت‌وبرگشت و...) است. در پایان فصل کنترل زمان‌بندی و شبکه‌های احتمالی (پرت) بررسی و احتمال مشروط و شبیه‌سازی را برای مطالعهٔ آزاد دانشجویان مطرح می‌کند. فصل پنجم به مدیریت هزینه (که شامل برآورد هزینه، بودجه‌ریزی و کنترل هزینه است) پرداخته و در پایان این فصل بحث مهم تحلیل هزینه‌ـزمان ارائه شده است.

فصل ششم به بیان استانداردهای مهم مدیریت پروژه و فصل هفتم به آموزش نرم‌افزار ام.اس.پی (MSP) پرداخته است.

لازم می‌دانیم از تمامی عزیزانی که در تهیه این کتاب ما را یاری داده‌اند به‌ویژه آقای مهندس نجفی از همکاران مرکز تحقیقات مهندسی صنایع بهره‌وری دانشگاه صنعتی امیرکبیر و نیز دوستان و همکاران مرکز نشر دانشگاهی (به‌ویژه سرکار خانم می آبادی) تشکر و قدردانی کنیم.

پیشاپیش قدردان عزیزانی هستیم که در جهت ارتقای این کتاب از نظرات ارزندهٔ خود دریغ نورزیده و ما را از راهنمایی خود بهره‌مند می‌کنند.

امید است این نوشتار در جهت توسعهٔ مدیریت پروژه و ارتقای مدیریت راهبردی کشور مؤثر افتد.

**مؤلفان**

**پاییز ۱۳۹۸**

# ۱

# تعاریف

**اهداف فصل**

**هدف کلی:** آشنایی دانشجویان با برخی اصطلاحات رایج در علم مدیریت پروژه

**اهداف جزئی**

ـ آشنایی دانشجویان با مفهوم مدیریت،
ـ آشنایی دانشجویان با مفهوم پروژه،
ـ آشنایی دانشجویان با مدیریت پروژه،
ـ آشنایی دانشجویان با مزایا و معایب مدیریت پروژه،
ـ آشنایی دانشجویان با تفاوت پروژه و عملیات،
ـ آشنایی دانشجویان با اهداف مشترک پروژه‌ها،
ـ آشنایی دانشجویان با خصوصیات مدیران،
ـ آشنایی دانشجویان با تاریخچهٔ مدیریت پروژه.

## ۱.۱ تعاریف

کلمه «مدیریت پروژه» از دو واژهٔ «مدیریت» و «پروژه» تشکیل شده که ابتدا به تعریف این دو واژه و سپس مدیریت پروژه می‌پردازیم.

## ۱.۱.۱ تعریف مدیریت

تاکنون، تعاریف متعددی برای مدیریت عرضه شده است. گروهی از محققان معتقدند که مدیریت عبارت است از:

- انجام کار توسط دیگران،
- تصمیم‌گیری در سازمان‌ها،
- برنامه‌ریزی، سازمان‌دهی، رهبری، هماهنگی و کنترل،
- علم و هنر هماهنگی کوشش‌ها و مساعی اعضای سازمان و استفاده از منابع برای نیل به اهداف سازمانی،
- بازی کردن نقش‌هایی نظیر رهبری سازمان، منبع اطلاعاتی، تصمیم‌گیرنده و رابط برای اعضای سازمان.

مدیریت از دید کارکردی شامل وظایفی نظیر برنامه‌ریزی، تصمیم‌گیری، سازمان‌دهی، نوآوری، هماهنگی، ارتباطات، رهبری، انگیزش و کنترل می‌شود. (الوانی ۱۳۸۲، رضاییان ۱۳۸۳).

تری ویلیام مدیریت را «حل مسئله» ذکر کرده و آن را کمک به افراد یا گروه‌ها برای حل مسائل آنها می‌داند. او مسائل را به دو دسته «رام» و «آشفته» تقسیم می‌کند و معتقد است که شناخت مسائل از حل آنها مهم‌تر است. (عادل آذر، جهانیان ۱۳۹۶)

## ۲.۱.۱ تعریف پروژه

منابع مختلف تعاریف متفاوتی از «پروژه» عرضه کرده‌اند. مؤسسهٔ مدیریت پروژه[1] در نسخهٔ ششم کتاب *راهنمای پیکرهٔ دانش مدیریت پروژه*[2] (۲۰۱۷) پروژه را این‌گونه تعریف می‌کند:

---

۱. «مؤسسهٔ مدیریت پروژه «(Project Management Institute (PMI))» از سال ۱۹۹۶ تلاش‌های مستمری را در خصوص توسعهٔ دانش مدیریت انجام داده است که از جمله این تلاش‌ها می‌توان به انتشار کتاب *راهنمای پیکرهٔ دانش مدیریت پروژه* به عنوان استانداردی بین‌المللی اشاره کرد. امروزه این کتاب یکی از مراجع معتبر موجود در زمینه مدیریت پروژه به شمار می‌آید و آخرین ویرایش آن، ویرایش ششم است که در سال ۲۰۱۷ منتشر شده است. توضیحات بیشتر در فصل هفتم مبحث «استانداردهای مدیریت پروژه» آمده است.

2. PMI

**تعاریف ۳**

«پروژه مجموعهٔ تلاش‌های موقتی برای تحقق یک تعهد و ایجاد یک محصول یا ارائه خدمات منحصربه‌فرد است.»

اصطلاح موقتی به این معنی است که پروژه‌ها در زمان‌های معین شروع و خاتمه می‌یابند. اصطلاح منحصربه‌فرد نیز به مفهوم این است که خدمت یا محصول مورد نظر کاملاً یکتا بوده و تکراری نیست.

هارولد کرزنر (۲۰۱۷)[1] تعریف زیر را برای پروژه ارائه می‌دهد:

«پروژه، مجموعه‌ای از فعالیت‌ها یا وظایفی هستند که برای رسیدن به هدفی خاص اجرا می‌شوند و بر خلق ارزش در یک کسب‌وکار تأکید داشته و شرایط زیر را تأمین می‌کنند:

- تاریخ شروع و ختم دارد،
- با بودجهٔ مشخص (محدود) اجرا می‌شود،
- منابع انسانی و غیرانسانی (تجهیزات) محدود دارد،
- از وظایف مختلف تشکیل می‌شود،
- نتیجهٔ پروژه ممکن است منحصربه‌فرد یا تکراری باشد».

تعاریف دیگری نیز از پروژه عرضه شده که می‌توان به تعریف «مدر و همکاران[2]» اشاره کرد. وی پروژه را این‌گونه تعریف می‌کند:

«پروژه عبارت است از مجموعه‌ای از فعالیت‌ها یا وظایف مرتبط باهم، برای رسیدن به یک سری اهداف برنامه‌ریزی‌شده، که عمدتاً این اهداف یگانه و غیرتکراری است».

چنانچه ملاحظه می‌شود در تعریف پروژه در منابع مختلف «داشتن هدف خاص، محدودیت زمان و منابع» تأکید شده است. غیرتکراری و منحصربه‌فرد بودن هدف که مورد تأکید برخی منابع است به این معناست که مانند تولید انبوه، فعالیتی نظیر تولید یک قطعه چندین بار تکرار نمی‌شود؛ گرچه ممکن است یک پروژه ساختمانی، بعد از اتمام دقیقاً تکرار شود. این مفهوم با مفهوم تولید انبوه و تکراری متفاوت است. برای مثال ساختن یک ساختمان، تولید یک محصول دارویی جدید، گسترش خدمات یک تور مسافرتی، تولید یک هواپیما، تولید یک کشتی، ادغام دو سازمان در یکدیگر، اکتشاف نفت در یک منطقه و مواردی نظیر این‌ها همگی پروژه هستند.

---

1. Harold Kerzner (2017)
2. Moder et al(1983)

### ۳.۱.۱ تعریف مدیریت پروژه

با توجه به تعاریفی که از مدیریت و پروژه عرضه شد، هم‌اکنون باید به تعریف «مدیریت پروژه» بپردازیم.

مؤسسه مدیریت پروژه در کتاب *راهنمای پیکرهٔ دانش مدیریت پروژه*، نسخه ششم (۲۰۱۷) این‌گونه بیان می‌کند:

مدیریت پروژه به‌کارگیری دانش، مهارت، ابزار و تکنیک‌های لازم در اجرای فعالیت‌ها به منظور رفع نیازها و احتیاجات پروژه است.

هارولد کرزنر (۲۰۱۷) نیز در تعریف مدیریت پروژه می‌گوید:

«مدیریت پروژه، برنامه‌ریزی، سازمان‌دهی، هدایت و کنترل منابع شرکت جهت تحقق یک هدف نسبتاً کوتاه‌مدت است. که این هدف در راستای دست‌یابی و تکمیل اهداف و آرمان‌های معینی تعریف شده است».

دنیس لاک (۱۹۹۶)[1] مدیریت پروژه را چنین تعریف می‌کند:

«مدیریت پروژه عبارت است از پیش‌بینی مشکلات و مسائل برای برنامه‌ریزی، سازمان‌دهی و کنترل فعالیت‌ها به‌گونه‌ای که پروژه به‌رغم مشکلات با موفقیت به پایان برسد».

## ۲.۱ تفاوت پروژه و عملیات

در صفحهٔ ۴ نسخهٔ دوم کتاب *راهنمای پیکرهٔ دانش مدیریت پروژه* که در سال ۲۰۰۰ منتشر شد درخصوص تفاوت پروژه و عملیات می‌گوید:

پروژه و عملیات[2] از یک‌سو دارای خصوصیات مشترک بوده و از سوی دیگر دارای خصوصیات متفاوت و متمایزکننده‌اند. برای مثال خصوصیات مشترک آنها عبارت‌اند از:

- هر دو به‌وسیله انسان انجام می‌شوند،
- هر دو با کمک منابع اجرا می‌شوند،
- هر دو قابل برنامه‌ریزی، کنترل و اجرا هستند.

و مهم‌ترین خصوصیات متمایزکننده آنها (پروژه و عملیات) به این شرح است:

---

1. Dennis Lock
2. Operation

- درحالی‌که عملیات پیوسته و تکراری‌اند پروژه‌ها موقت و غیرتکراری‌اند. برای مثال در یک واحد تولیدی یک قطعه در روز ممکن است پنجاه بار تولید و به صورت فراوان تکرار شود؛ درحالی‌که یک پروژه ساختمانی یا ساخت یک پل یا کشتی را یک مدیر (یا گروه) آغاز می‌کند. و پس از پایان به مشتری تحویل می‌دهد. تکرار این پروژه‌ها ممکن است به‌زودی عملی نشود. البته ممکن است بعد از مدتی یک پروژهٔ مشابه شروع شود اما امکان اینکه همه‌چیز مشابه بوده و دقیقاً تکرار شود کمتر است.
- پروژه‌ها عموماً ابزاری هستند که برنامهٔ راهبردی سازمان را عملی می‌کنند یا به عبارت دیگر پروژه‌ها اجزای یک برنامهٔ راهبردی هستند؛ درحالی‌که عملیات عموماً در رابطه با کارهای روزمرهٔ سازمان است.
- اهداف پروژه‌ها و عملیات به‌طورکلی باهم متفاوت‌اند. وقتی هدف یک پروژه تأمین شود آن پروژه خاتمه یافته است. برای مثال وقتی هدف پروژه ساختن یک بیمارستان است با ساخته شدن بیمارستان پروژه به اتمام می‌رسد؛ درحالی‌که هدف یک عملیات عموماً تحکیم کسب‌وکار است. برای مثال عملیات تعمیر و نگهداری، حسابداری یا حضوروغیاب و ... برای انسجام و استحکام کسب‌وکار صورت می‌گیرد.

عبارت یا واژهٔ «مدیریت پروژه» در برخی از سازمان‌ها برای مدیریت تولید (محصولات تکی اما تکرارشونده بر اساس سفارش مشتری) به کار برده می‌شود. برای تبیین بیشتر این مطلب لازم است به تشریح انواع تولید بپردازیم:

**تولید پیوسته یا انبوه**[1]: در این تولید یک یا چند محصول انگشت‌شمار در حجم زیاد تولید می‌شود. در این حجم، خط تولید مرتب کارکرده و در تمام مدت سال به طور پیوسته تولید را ادامه می‌دهد (مواد اوّلیه به صورت پیوسته از یک سو وارد و از سویی دیگر محصول نهایی خارج می‌شود، نظیر تولید محصولات شیشه‌ای، دارویی و...) در این تولید، دستگاه‌ها عموماً تک‌منظوره و خاص بوده و فرایند برنامه‌ریزی نسبتاً ساده است.

---

1. Continues

**تولید دسته‌ای یا گروهی**[1]: در این خط تنوع محصولات زیاد و حجم تولید هر محصول ممکن است متغیر باشد. تولید بر طبق نیاز بازار یا سفارش مشتری در زمان‌های مختلف تغییر می‌کند و به تولید محصول دیگری می‌پردازد (مانند خط مونتاژ انواع یخچال‌ها، ماشین‌های لباس‌شویی، بخاری‌ها و...) در این نوع تولید، قابلیت انعطاف خط بالاست از این جهت می‌توان چند محصول را در یک خط تولید کرد که فرایند برنامه‌ریزی نسبتاً پیچیده است.

**تولید کارگاهی یا تکی**[2]: در این نوع تولید برخی اوقات کارها بزرگ هستند و تعداد آنها بسیار محدود و غالباً تکی انجام می‌شوند. محصول بر اساس سفارش مشتری ساخته‌شده و اکثراً طرح «استقرار ثابت» برای آنها پیشنهاد می‌شود به این معنا که کار جابه‌جا نشده، بلکه کارگر جابه‌جا می‌شود (نظیر تولید هواپیما، کشتی، نیروگاه، ساختمان‌های مسکونی و...).

با توجه به ماهیت هر یک از انواع تولید و نیز تعریف پروژه و مدیریت آن می‌توان گفت که «مدیریت پروژه» بیشتر به برنامه‌ریزی تولیدات تکی و کارگاهی و مدیریت تولید به برنامه‌ریزی تولیدات پیوسته و گروهی که تکراری هستند می‌پردازد.

## ۳.۱ اهداف مشترک پروژه‌ها

به‌رغم اینکه هر پروژه دارای یک هدف خاص است، در تمامی پروژه‌ها چند هدف مشترک وجود دارد این اهداف عبارت‌اند از:

- زمان[3]،
- هزینه[4]،
- عملکرد[5].

---

1. Batch Size
2. job shop
3. Time
4. Cost
5. Performance

لازمهٔ موفقیت هر پروژه، دسترسی متعادل و هم‌زمان به اهداف فوق است و خارج شدن هر یک از عوامل مذکور از حدود تعیین‌شده می‌تواند به انجام پروژه‌ای ناموفق و غیر اقتصادی منجر شود.

### ۱.۳.۱ زمان

هر قسمت از پروژه باید در زمان تعیین‌شده به پایان برسد تا پروژه به‌موقع انجام شود. خاتمه دادن به پروژه در زمانی دیرتر از زمان تعیین‌شده ممکن است مشکلاتی را به وجود آورد و انجام پروژه را ناموفق، غیرمفید یا غیر اقتصادی کند. طولانی شدن پروژه نه‌تنها سودآوری طرح را به تأخیر می‌اندازد بلکه افزایش هزینه‌های بالاسری را نیز به همراه دارد. در برخی مواقع، تأخیر، ضررهای جبران ناپذیری را به همراه دارد و ممکن است باعث توقف پروژه شود.

### ۲.۳.۱ هزینه

پروژه باید با هزینهٔ تصویب‌شده یا امکانات مالی مورد نظر به اتمام برسد. چنانچه پروژه با هزینه‌ای بیشتر از مقدار تصویب‌شده اجرا شود از سود کاسته می‌شود و در برخی موارد این کاهشِ سود پروژه را فاقد توجیه اقتصادی می‌کند که در این صورت توقف آن مقرون به‌صرفه است.

### ۳.۳.۱ عملکرد

هر پروژه‌ای ابتدا باید به سرانجام برسد و بعد اهداف و نیازهای تعریف‌شده را تأمین کند. برای مثال، اگر پروژه‌ای به صورت «احداث یک کارخانهٔ تولید مس با ظرفیت تولیدی دویست هزار تن در سال و با کیفیت درجه خلوص ۹۹.۹۹ ٪» تعریف شود، پس از تکمیل و راه‌اندازی این پروژه، در این کارخانه، باید هم تولید به میزان تعیین‌شده (دویست هزار تن در سال) باشد و هم مس‌های تولیدی دارای درجهٔ خلوص مورد نظر (۹۹.۹۹٪) باشند. اگر تولید انجام نشود یا مقدار تولید کمتر از حد تعریف‌شده باشد، یا ظرفیت تولیدی عملی شود، اما محصولات، کیفیت مورد نظر را نداشته باشند، نمی‌توان گفت که پروژه به انجام رسیده است.

بنابراین یکی از مؤلفه‌های موفقیت هر پروژه، دستیابی به اهداف عملکردی آن پروژه است.

دقت شود که عملکرد شامل کیفیت، سود، ریسک و ... است.

### ۴.۳.۱ ارتباط بین زمان ـ هزینه و عملکرد

بدون شک بین سه عامل زمان، هزینه و عملکرد ارتباط بسیار نزدیک و تنگاتنگی وجود دارد و لازمهٔ موفقیت هر پروژه، دسترسی توأمان به هر سه هدف زمان، هزینه و عملکرد تعیین شده است. اگر به کیفیت بیش از زمان و هزینه، اهمیت دهیم، هزینه و زمان افزایش خواهد یافت. اگر محدودیت زمانی داشته باشیم و بخواهیم در زمان مشخصی پروژه را به پایان برسانیم هزینه افزایش یافته و ممکن است کیفیت تقلیل یابد.

اصولاً مدیریت پروژه به معنای برقراری تعادل بین اهداف فوق بوده و مدیر پروژه باید به‌طور مستمر بین زمان، هزینه و عملکرد تعادل برقرار کند. گاهی اوقات از کیفیت کاسته و بر سرعت می‌افزاید و در برخی مواقع کیفیت را بالا برده تا پروژه بیشتر فروش رفته و سود بیشتری نصیب افراد شود و در نتیجه ریسک نیز کمتر شود.

## ۴.۱ مزایای مدیریت و کنترل پروژه

شاید ذهن انسان برای تصمیم‌گیری دربارهٔ یک پروژهٔ کوچک با ابعادی محدود به‌راحتی بتواند بین بخش‌های مختلف پروژه، هماهنگی برقرار و با تحلیل آنها تصمیمی نسبتاً صحیح اتخاذ کند. اما چنانچه ابعاد پروژه گسترده شود، ناگزیر باید برای هماهنگی و مدیریت پروژه از ابزارهای مدیریتی استفاده کند. ابزار مدیریت و کنترل پروژه دارای مزایای و کاربردهای فراوانی است که در زیر به برخی از آنها اشاره می‌شود:

- دست‌یابی به اهداف بهتر صورت می‌گیرد. اهداف به‌خوبی تعریف می‌شوند و با تقسیم‌کار مسئولیت به افراد واگذار می‌شود. از این رو انگیزهٔ کارکنان افزایش می‌یابد؛ چرا که وظیفهٔ هر فرد از قبل مشخص است،
- هماهنگی بین کارکنان بیشتر می‌شود،
- روابط با مشتری شفاف و روشن می‌شود، اغلب نیازهای مشتری در طول انجام پروژه تغییر کرده که باعث بروز اختلاف می‌شود. مدیریت پروژه با ثبت و مستند کردن خواسته‌های خریدار در یک سند معتبر، قابل ارجاع و همچنین با در نظر گرفتن مدیریت اعمال تغییرات، این اختلافات را کاهش می‌دهد،
- پروژه بهتر کنترل می‌شود،
- زمان انجام پروژه کاهش می‌یابد،

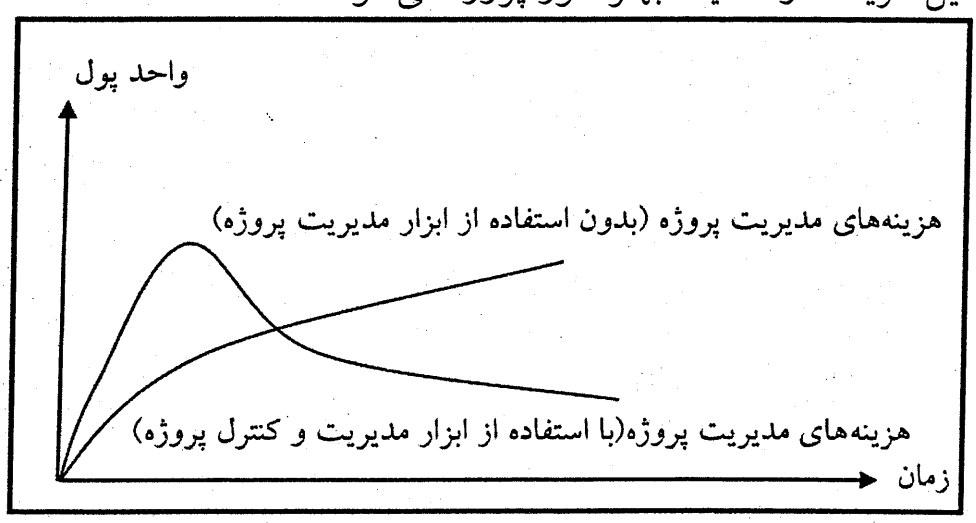
ـ هزینهٔ انجام پروژه کاهش می‌یابد،
ـ کیفیت پروژه افزایش می‌یابد،
ـ قابلیت اطمینان از انجام پروژه بیشتر می‌شود،
ـ سود و اعتبار اجرایی مدیریت سیستم نیز افزایش می‌یابد.

## ۵.۱ معایب مدیریت و کنترل پروژه

هرچند استفاده از ابزار مدیریت پروژه دارای مزایایی است که برخی از آنها را مطرح کردیم اما این ابزار دارای معایب و اشکالاتی است که عبارت‌اند از:

ـ افزایش زمان لازم برای انجام و آماده‌سازی مستندات و مطالعات اولیه به علت زمان‌بر بودن برنامه‌ریزی،
ـ نیاز به آموزش کارکنان و تأمین نیروی انسانی متخصص،
ـ افزایش هزینهٔ مراحل مطالعاتی و اولیه کنترل پروژه.

هزینه‌های مدیریت پروژه عمدتاً شامل سیستم‌های برنامه‌ریزی، زمان‌بندی و کنترل است که بعد از مدتی این هزینه‌ها تقلیل می‌یابند. هزینه‌های اولیه مدیریت پروژه باعث می‌شود که برخی از مدیران، مدیریت پروژه را به صورت عملی دنبال نکنند. شکل ۱.۱ بیانگر هزینه‌های کنترل و مدیریت پروژه است، به‌رغم افزایش هزینه در ابتدای کار، به‌کارگیری مدیریت پروژه در بلندمدت باعث کنترل بهتر سیستم و افزایش تسلط بر پروژه و تقلیل هزینه‌ها و هدایت بهتر امور پروژه می‌شود.




**شکل ۱.۱** نمودار هزینه با و بدون استفاده از ابزار مدیریت پروژه.

## ۶.۱ خصوصیات مدیران پروژه

برخی افراد به اشتباه تصور می‌کنند که مدیریت پروژه عبارت است از طراحی یک‌سری جدول زمان‌بندی، در حالی که مدیر پروژه با موضوع پروژه کاملاً درگیر است و بنا بر مسئولیتی که دارد باید پروژه را سازمان داده و کنترل کند. به طور کلی مدیر پروژه در سه حوزهٔ زیر دارای مسئولیت است:

۱. مسئولیت در برابر سازمان مادر که شامل محافظت از منابع، ارتباطات به‌موقع و درست، ادارهٔ دقیق و شایستهٔ پروژه است.

۲. مسئولیت در برابر پروژه که باید تغییرات مورد نظر مشتری را دریافت و آنها را در طرح پروژه اعمال نماید.

۳. مسئولیت در برابر اعضای گروه؛ مدیر پروژه باید تیم پروژه را راهبری و هدایت نماید.

با توجه به مسئولیت‌های فوق مدیر پروژه باید دارای خصوصیات زیر باشد.

۱. توانایی تأثیرگذاری و برقراری ارتباط با افراد: هرچه تأثیرگذاری مدیر بر افراد بیشتر باشد بهتر می‌تواند افراد را به سمت هدف رهبری کند و هر چه پروژه بزرگتر باشد، اهمیت این مطلب بیشتر خواهد بود. از سوی دیگر هرچه تأثیر مدیر بر افراد بیشتر باشد حیطهٔ مدیریتی او نیز افزایش می‌یابد،

۲. قدرت تصمیم‌گیری: مدیر با تدبیر و تعمق سعی می‌کند صحیح‌ترین تصمیم ممکن را با قاطعیت اتخاذ کند، اما چنانچه مرتکب تصمیم خطایی شد، اشتباه خود را پذیرفته و به اصلاح آن می‌پردازد،

۳. اعتقاد به واقعیت‌ها: مدیر نباید خوش‌بینی بیش‌ازحد داشته باشد بلکه باید واقعیت‌ها را هرچند مخالف میل او باشد، بپذیرد و سعی خود را در جهت رفع موانع و مشکلات به کار گیرد. علاقهٔ شدید مدیر به هدف، نباید مانع پذیرفتن واقعیت‌ها شود،

۴. تعهد و احساس مسئولیت،

۵. صداقت،

۶. ایجاد انگیزش در کارکنان: مدیر باید عوامل ایجاد انگیزش را در کارکنان تشخیص داده و ایشان را در این جهت تشویق و تحریک کند،

۷. ارائهٔ دید و تصویر: مدیر باید آیندهٔ کار و اهداف مطلوب را برای کارکنان به‌خوبی تشریح کند،

۸. توانایی دست‌یابی به منابع کافی نظیر نیروی انسانی، تجهیزات و سایر امکانات،

۹. رویارویی با موانع و مشکلات،
۱۰. ایجاد موازنه بین اهداف (موازنه بین زمان، کیفیت و هزینه)،
۱۱. توانایی ریسک‌پذیری.

علاوه بر موارد فوق یک مدیر پروژه باید دارای پیشینهٔ فنی قوی و توان چیرگی به مشکلات باشد. معمولاً قدرت مدیریت انسان با به دست آوردن تجربه و به مرور زمان بهبود می‌یابد و تثبیت می‌شود. از این رو برخی از ویژگی‌های مذکور ذاتی افراد و برخی نیز قابل اکتساب‌اند.

## ۷.۱ تاریخچهٔ مدیریت پروژه

برای آغاز مدیریت پروژه به مفهوم عام یک زمان مشخص را نمی‌توان در نظر گرفت زیرا اگر مدیریت را تصمیم‌گیری و برنامه‌ریزی بدانیم درواقع ماهیت انسان و وجه تمایز او از سایر موجودات همین برنامه‌ریزی و آینده‌نگری است.

اما تاریخچهٔ مدیریت پروژه در جهان را معمولاً به مدیریت پروژه‌های عظیمی نظیر ساخت اهرام مصر، دیوار چین یا بنا نهادن تخت جمشید به دستور داریوش مربوط می‌دانند؛ هریک از این پروژه‌ها، از پروژه‌های بزرگ و پیچیدهٔ تاریخ بشر به‌شمار می‌آیند که باکیفیت استاندارد بالا و به‌کارگیری نیروی عظیم انسانی ساخته شده‌اند. هرچند به دستور کوروش، مهندسان و سازندگان پاسارگاد موظف بودند شرح کار خود و همچنین برنامهٔ کاری روز بعد خود را در لوحه‌هایی که به نام «کارنامک» مشهور بود، بنگارند، اما امروزه جز با تکیه بر حدسیات نمی‌توان اظهار نظر قاطعی درخصوص نحوهٔ دقیق مدیریت پروژه‌های عظیم عهد باستان ابراز داشت، چراکه متأسفانه تاکنون هیچ مدرک و نشانه‌ای دال بر چگونگی به‌کارگیری روش‌ها و تکنیک‌های مدیریت پروژه در این طرح‌ها یافت نشده است.

اما تاریخچهٔ مدیریت پروژه در دنیای جدید به سال‌های ابتدایی دههٔ ۱۹۰۰ میلادی بازمی‌گردد؛ جایی که «هنری گانت» با توسعه نمودار میله‌ای ابداعی خود، آغازگر حرکت پرشتاب بعدی طی سال‌های دههٔ ۱۹۵۰ و ۱۹۶۰ میلادی در پروژه‌های نظامی و هوافضای امریکا و سپس انگلستان شد. هرچند نام پرآوازهٔ هنری گانت به عنوان پدر روش برنامه‌ریزی و کنترل پروژه در تاریخ ثبت شده است، ولی سال‌های دههٔ ۱۹۵۰ و ۱۹۶۰ به عنوان سال‌های آغازین رشد و توسعهٔ مدیریت پروژه در دنیای معاصر شناخته می‌شود. این سال‌ها سرآغاز تکوین و توسعهٔ بسیاری از روش‌ها و دانش‌های مربوط به

مدیریت‌های نه‌گانهٔ پروژه است که سال‌ها بعد با نرم‌افزارهای مختلف عملیاتی، و در پروژه‌ها، به کار گرفته شدند.

تاریخچهٔ مدیریت پروژه در دنیای معاصر تا شکل‌گیری استاندارد جهانی مدیریت پروژه که سبب قوام یافتن دانش مدیریت پروژه شد، به‌این‌ترتیب است:

## ۱.۷.۱ گانت چارت در اوایل قرن بیستم

تاریخچهٔ تکوین «بارچارت» یا «نمودار میله‌ای[1]» به دوران جنگ جهانی اول می‌رسد؛ جایی که یک امریکایی به نام «هنری گانت» برای نخستین بار، «نمودار میله‌ای» را برای برنامه‌ریزی و کنترل پروژه‌های مؤسسه کشتی‌سازی‌اش به کار برد. امروزه گانت چارت به دلیل ساده و قابل فهم بودن آن به عنوان روشی جالب و پرطرفدار به شکلی وسیع در دنیا برای مدیریت زمان پروژه‌ها به کار برده می‌شود.

## ۲.۷.۱ مدیریت پروژه در سال‌های ۱۹۵۰ تا ۱۹۸۰ میلادی

اغلب تکنیک‌ها و روش‌های مدیریت پروژه که امروزه مورد استفاده قرار می‌گیرند، را وزارت دفاع, صنایع نظامی و سازمان هوافضای ایالات متحده در خلال سال‌های ۱۹۵۰ تا ۱۹۶۰ میلادی ابداع کرد و توسعه داد که روش‌هایی نظیر روش «پرت[2]»، «ارزش کسب‌شده[3]», «مهندسی ارزش[4]» و «ساختار شکست کار[5]» از آن جمله‌اند.

پیشرفت مهم دیگر به‌دست‌آمده در این سال‌ها، تعریف و تکوین مفهوم «مسئولیت واحد» برای پروژه‌های چندبخشی بود. این مفهوم هنگامی به کار می‌رود که یک فرد مسئولیت کاری را در پروژه از ابتدا تا تکمیل پروژه بر عهده گیرد. عملی ساختن این مفهوم، تیم پروژه را در به اشتراک گذاشتن منابع و یاری رساندن به یکدیگر در ماتریس ساختار سازمانی پروژه کمک می‌کند. تکنیک گرت نیز در همین دو دهه به عنوان یکی از تکنیک‌های مدیریت پروژه شناخته شد.

---

1. Bar chart
2. PERT
3. Earned Value (EV)
4. Value Engineering (VE)
5. Work Breakdown Structure (WBS)

در ادامهٔ این پیشرفت‌ها در سال ۱۹۶۹ «مؤسسهٔ مدیریت پروژه» به عنوان نخستین مؤسسهٔ رسمی مدیران پروژه تأسیس شد. یکی از مهم‌ترین دستاوردهای تأسیس این مؤسسهٔ، تدوین استاندارد جهانی «راهنمای پیکرهٔ دانش مدیریت پروژه» بوده و از آن پس دگرگونی‌ها و پیشرفت‌های حوزهٔ مدیریت پروژه، صورتی منسجم و مدون به خود گرفت.

## ۸.۱ سال‌های ۱۹۸۰ به بعد

در این سال‌ها «راهنمای پیکرهٔ دانش مدیریت پروژه» رشد و توسعهٔ قابل‌توجهی یافت به‌گونه‌ای که در این دوره چندین بار تجدیدنظر و نسخهٔ ششم آن در سال ۲۰۱۷ منتشر شد. به طور هم‌زمان استانداردهای دیگری در زمینهٔ مدیریت طرح، مدیریت سبد، بلوغ سازمانی و ... به جهانیان عرضه شد و نیز سازمان‌های دیگری به موازات مؤسسهٔ مدیریت پروژه استانداردهای بهتر و قوی‌تری ارائه کردند که پرینس۲ یکی از مهم‌ترین آنهاست و نقش اصلی رقیب مؤسسهٔ مدیریت پروژه را ایفا می‌کند. در این دوره از مدیریت پروژه هم در سازمان‌های پروژه‌محور و هم سازمان‌های غیر پروژه‌محور (محصول‌محور، مأموریت‌گرا) استقبال شد. در این سال‌ها نه‌تنها سازمان‌های مختلف علاقه‌مند بودند که مدیریت پروژه را برای هدایت امور خود به کار بگیرند بلکه بیشتر تلاش می‌کردند با استفاده از این تکنیک‌ها سرعت انجام پروژه‌های خود را بیشتر کنند.

### تمرینات

۱. پروژه را تعریف کنید. (بر اساس تعریف کتاب پیکره دانش مدیریت پروژه بر اساس تعریف کرزنر و مدر)
۲. یکی از تعاریف مدیریت را بیان کنید
۳. کتاب پیکره دانش مدیریت پروژه چه تعریفی از مدیریت پروژه ارائه می‌دهد؟
۴. تفاوت مدیریت پروژه و مدیریت تولید در چیست؟
۵. انواع تولید را نام ببرید؟ در کدام‌یک از آنها مدیریت پروژه می‌تواند نقش داشته باشد؟
۶. مزایا و معایب مدیریت پروژه چیست؟

# ۲

# مدیریت پروژه در یک نگاه

**اهداف فصل**

**هدف کلی:** آشنایی دانشجویان با دو رویکرد فرایندی و مدیریتی در مدیریت پروژه.

**اهداف جزئی**

- آشنایی دانشجویان با مفهوم مدیریت پروژه،
- آشنایی دانشجویان با پنج فرایند آغازین، برنامه‌ریزی، اجرایی، کنترلی و اختتامی پروژه در رویکرد فرایندی مدیریت پروژه،
- آشنایی دانشجویان با عناوین حوزه‌های دانشی مدیریت پروژه در رویکرد مدیریتی مدیریت پروژه (ده حوزه دانشی).

از یک سو پیچیدگی‌های پروژه‌ها، ازسویی تنوع فرایندها و فنّاوری‌های تولید و از سویی دیگر حجم پروژه‌ها باعث شده تا برای مدیریت پروژه رویکردهای مختلفی ارائه شود، در اینجا دو رویکرد مهم مورد بحث قرار می‌گیرد:

- رویکرد فرایندی،
- رویکرد مدیریتی.

## ۱.۲ رویکرد فرایندی

برای مدیریت یک پروژه از آغاز تا پایان باید مراحل مختلفی طی شود و در هر مرحله باید اقدامات خاصی صورت گیرد. این مراحل یا فرایندها به پنج مرحله یا فاز تقسیم می‌شوند که عبارت‌اند از:

- فرایندهای آغازین پروژه[1]،
- فرایندهای برنامه‌ریزی پروژه[2]،
- فرایندهای اجرایی پروژه[3]،
- فرایندهای کنترلی پروژه[4]،
- فرایندهای اختتامی پروژه[5].

در ادامه به شرح بیشتر این فرایندها می‌پردازیم.

### ۱.۱.۲ فرایندهای آغازین پروژه

مشخص می‌کند که یک پروژه چه وقت، کجا، چگونه و توسط چه کسی به انجام خواهد رسید. یک نکتهٔ مهم که در تعریف مشخص می‌شود اهداف و مقاصد اصلی پروژه است.

تمام مدیران پروژه باید بدانند محصول نهایی به طور مشخص چیست؟ مدیر پروژه باید به‌خوبی با اهداف پروژه آشنایی داشته باشد.

این مرحله، مرحلهٔ آغازین پروژه است و بر چگونگی پیدایش دیدگاه نسبت به پروژه و تعیین اهداف تأکید دارد. در این مرحله، برخی عناصر کلیدی مجزا، گرد هم آمده، هستهٔ اولیه تیم پروژه را برای آغاز فاز دوم یعنی برنامه‌ریزی تشکیل می‌دهند. مراحل عمدهٔ این فاز عبارت‌اند از:

- تعیین انتظارات کلی مشتریان، مدیریت و سایر افراد مهم درگیر،
- تعیین محدودهٔ کلی پروژه،

---

1. Initiating Process
2. Planning Process
3. Executing Process
4. Monitoring and Controlling Process
5. Closing Process

ـ انتخاب اعضای اولیه تیم پروژه،
ـ تعریف اهداف کلی پروژه،
ـ تخمین اینکه پروژه چه چیزی را باید ارائه دهد، اقلام قابل تحویل،
ـ درنهایت تصمیم بر اینکه پروژه (ازنظر فنی و اقتصادی) باید انجام شود یا خیر.

## ۲.۱.۲ فرایندهای برنامه‌ریزی پروژه

برای یک برنامه‌ریزی خوب ابتدا مدیر پروژه و تیم مربوطه‌اش باید مجموعه فعالیت‌های مورد نیاز را برای تکمیل پروژه برآورد و فهرست کنند.

این فهرست، اطلاعات مورد نیاز برای پیش‌بینی منابع کمی و کیفی لازم جهت تکمیل پروژه را در اختیار مدیر پروژه قرار می‌دهد. و نیز مدیر پروژه را قادر می‌سازد تا برآورد مناسبی از بودجه و زمان مورد نیاز پروژه به دست آورد. درنتیجه مبنای خوبی برای اندازه‌گیری درجهٔ موفقیت حاصل از پروژه خواهد داشت. مدیر پروژه می‌تواند فهرست وظایف مشخص هر فرد را در اختیارش قرار دهد و از او بخواهد ظرف مهلت مقرر نتایج کار خود را به وی منعکس کند.

با تهیهٔ این فهرست مدیر پروژه می‌تواند سلسله‌عملیات مورد نیاز برای انجام پروژه و ارتباطات بین فعالیت‌های مختلف پروژه را مشخص، زمان انجام هر فعالیت را برآورد و با توجه به ارتباط بین فعالیت‌ها زمان شروع و خاتمهٔ تمامی عملیات را مشخص کند. این برنامه‌ریزی به مدیران اجازه می‌دهد تا بدانند واقعاً چه وظایفی را در کجا باید انجام گیرد.

مدیر پروژه طی برنامه‌ریزی، باید میزان اهمیت فعالیت‌ها را برآورد کند. با این کار از تمرکز بر فعالیت‌های غیرضروری که منجر به انحراف از مسیر اصلی پروژه و درنتیجه افزایش هزینه‌ها و کاهش بهره‌وری می‌شود جلوگیری می‌کند. در یک برنامه‌ریزی پویا جهت اجتناب از مشکلات مذکور «وظایف کاملاً بحرانی» شناسایی و به آنها بیش از سایر فعالیت‌ها اهمیت داده خواهد شد. مدیر پروژه برای تکمیل پروژه باید منابع مورد نیاز پروژه را مشخص کند. مقدار این منابع باید در حد بهینه باشد؛ زیرا از یک سو استفاده از منابع زیاد منجر به اسراف و افزایش هزینه‌های عملیاتی و از سوی دیگر استفاده از منابع کم باعث رخوت و سستی کارمندان و در نتیجه منجر به تأخیر در تکمیل وظایف بحرانی می‌شود.

مدیر پروژه باید میزان بودجهٔ مورد نیاز جهت تکمیل پروژه را محاسبه و پیش‌بینی کند. درواقع، مرحلهٔ برنامه‌ریزی شامل تعیین منابع لازم برای انجام پروژه، برنامه‌ریزی،

زمان‌بندی و تهیه بودجه پروژه است. از فعالیت‌های مهم این مرحله تبدیل اهداف به فعالیت‌های ملموس و تشکیل گروه‌های کاری برای انجام این فعالیت‌هاست. مراحل عمدهٔ آن عبارت‌اند از:

- تعیین محدودهٔ پروژه (بیان شفاف مرزها و محدودهٔ پروژه)،
- تهیه فهرست فعالیت‌های لازم‌الاجرا،
- تعیین بهترین شکل توالی فعالیت‌ها،
- تخمین مدت‌زمان فعالیت منفرد و توسعهٔ زمان‌بندی‌ها،
- برنامه‌ریزی مدیریت ریسک،
- برنامه‌ریزی مدیریت کیفیت،
- برنامه‌ریزی و تخصیص منابع،
- برآورد و بودجه‌بندی هزینه،
- تهیه یک برنامهٔ کاری و ایجاد مستندی یکپارچه و منسجم،
- گرفتن تأییدیه‌های لازم برای برنامهٔ پروژهٔ.

## ۳.۱.۲ فرایندهای اجرایی پروژه

مدیر پروژه باید سازمانی را تأسیس کند که کارایی و بازدهی پروژه را به حداکثر برساند. ایجاد یک سیستم ارتباطی قوی و سازمان‌دهی مناسب برای پروژه از ضروریات اولیه است. معمولاً مدیر پروژه تصور می‌کند که تهیه یک برنامه خوب و اعلام آن به دیگران کافی است و به نحوهٔ اطلاع‌رسانی و سازمان‌دهی کار توجه نمی‌کند. وی به اشتباه تصور می‌کند که تمامی اطلاعات لازم، خودبه‌خود در اختیار افرادی که به آن اطلاعات نیاز دارند قرار می‌گیرد. در صورتی که مدیر پروژه باید برای برقراری ارتباطات صحیح و مناسب بین افراد تیم پروژه با یکدیگر تلاش کند و بداند چه زمانی و به چه نحوی با دیگر مدیران پروژه یا با مدیران ردهٔ بالاتر از خود ارتباط برقرار کند. اهمیت این مسئله به‌قدری است که در صورت عدم رعایت آن ممکن است پروژه در زمان مقرر خاتمه نیافته یا کیفیت مورد رضایت مشتری را نداشته باشد.

برای داشتن ارتباطات مؤثر و کارآ، مدیر پروژه باید در زمان مناسب با افراد مرتبط با پروژه جلسات مشخصی را برگزار کند تا اطلاعات ضروری و مهم به‌سرعت در بین افراد مبادله شود. همچنین مدیر پروژه باید با ایجاد و اجرای روش‌های مختلف نظیر

ارائهٔ گزارش‌ها، دسته‌بندی مطالب پروژه یا سایر روش‌های ممکن، دسترسی و توزیع اطلاعات پروژه را تسهیل کند.

درواقع مرحلهٔ اجرای پروژه شامل فعالیت‌های هماهنگ‌سازی و راهبری تیم پروژه به سوی انجام مؤثر فعالیت‌های پروژه، مطابق برنامهٔ به‌دست‌آمده در مرحلهٔ پیشین است. در این بخش، بر انجام درست کار توسط منابع تأکید می‌شود. برخی فعالیت‌های مهم این مرحله عبارت‌اند از:

- تأمین منابع مورد نیاز (پول، نیروی انسانی، تجهیزات) برای اجرای درست برنامهٔ پروژه،
- انتخاب و تخصیص کار به پیمانکاران،
- رهبری تیم پروژه،
- برگزاری جلسات با اعضای تیم،
- ارتباط با افراد مهم درگیر،
- حل‌وفصل مناقشات و درگیری‌هایی که در طول اجرای پروژه پدید می‌آیند.

## ۴.۱.۲ فرایندهای کنترلی پروژه

داشتن یک برنامه‌ریزی خوب و سازمان‌دهی قوی به‌تنهایی کافی نیست. مدیر پروژه باید اطمینان داشته باشد که مسیر اجرای پروژه بر اساس برنامه‌ریزی پیش می‌رود و شرایط کار، به‌گونه‌ای است که سازمان در حداکثر کارایی خود قرار دارد.

کنترل عبارت است از دریافت بازخورد (فیدبک) مناسب از عملیات پروژه و یافتن مغایرت‌ها و در صورت لزوم اصلاح این مغایرت‌ها. به عبارت ساده کنترل عبارت است از جمع‌آوری اطلاعاتی در خصوص کارهای انجام‌شده به منظور یافتن میزان پیشرفت کار.

مدیر پروژه باید بر اساس جدول زمان‌بندی در بازه‌های زمانی مشخص، هزینه، زمان و عملکرد اجرای پروژه را کنترل و ارزیابی کند تا بتواند تشخیص دهد که آیا پروژه در زمان مورد نظر تکمیل می‌شود؟ آیا پروژه در مسیر تعیین‌شده ادامه می‌یابد؟ آیا پروژه با کمبود منابع و بودجه روبه‌رو می‌شود؟ تاکنون چه میزان اعتبار صرف شده و در آینده چه میزان اعتبار صرف خواهد شد؟ آیا دست‌یابی به اهداف مورد نظر مشتری امکان‌پذیر است؟

برای کنترل و هدایت زمان، بودجه و عملکرد، باید از روند پیشرفت پروژه گزارش‌های مختلفی تهیه شود. این گزارش‌ها باید بر اساس واقعیات باشد و تنها به انعکاس نقاط مثبت

پروژه نپردازد. مدیر پروژه نباید به‌گونه‌ای رفتار کند که افراد به دنبال ارائهٔ گزارش‌هایی مطابق با میل او باشند و از ارائهٔ گزارش واقعیات ناخوشایند پرهیز کنند.

پس از دریافت گزارش‌ها مدیر پروژه باید با تحلیل و بررسی این گزارش‌ها، شرایط کاری واقعی را با برنامهٔ اصلی مطابقت داده و میزان مغایرت و اختلاف در جدول زمان‌بندی، هزینه و کیفیت ریسک و... را به دست آورد.

مدیر پروژه با تحلیل مغایرت‌ها متوجه می‌شود که آیا مسیر اجرای پروژه در مسیر مناسبی قرار دارد یا خیر؟ برای مثال ممکن است که گزارش‌ها پیشرفت زمانی پروژه را جلوتر از مقدار زمان پیش‌بینی‌شده نشان دهند. نمی‌توان با یک تحلیل سطحی این امر را مطلوب دانست؛ بلکه ممکن است این پیشرفت سریع زمانی به کیفیت پروژه لطمه زده باشد. پیشی گرفتن از زمان‌بندی هنگامی نقطهٔ مثبتی است که تمام کارهای پروژه مطابق رضایت مشتری و به صورت مطلوب انجام شده باشد.

هر مغایرتی بیانگر اتفاقی است که باید مورد توجه مدیر پروژه قرار گیرد. باید با بررسی و تحلیل خود یا تشکیل جلسات با افراد مرتبط، علت انحراف مشخص و بررسی شود.

در برخی مواقع، مدیر پروژه ناگزیر به تغییر برنامه‌ریزی اولیهٔ پروژه می‌شود. این تغییر ممکن است به علل مختلفی از قبیل خراب شدن اجزای یک ماشین در حین کار، برآورد ناصحیح زمان انجام فعالیت‌ها، یا کاهش بودجه پروژه بنا به تصمیم یک‌جانبهٔ مدیریت ردهٔ بالاتر پروژه، به وجود آمده باشد. این تغییرات باید نظام‌مند و بر اساس قاعده باشد و تا حد امکان باید از تجدید برنامه‌ریزی جلوگیری کرد چراکه تکرار زیاد تجدید برنامه‌ریزی نشان‌دهندهٔ ضعف و عدم تسلط مدیر پروژه است.

درمجموع با توجه به مطالب فوق می‌توان گفت: مرحلهٔ کنترل، مرحله‌ای است که در آن بر چگونگی انجام پروژه نظارت می‌شود.

در این مرحله مدیر باید بهترین گزینه را برای حل مشکلات پروژه انتخاب کند و مراحل زیر اجرا شوند:

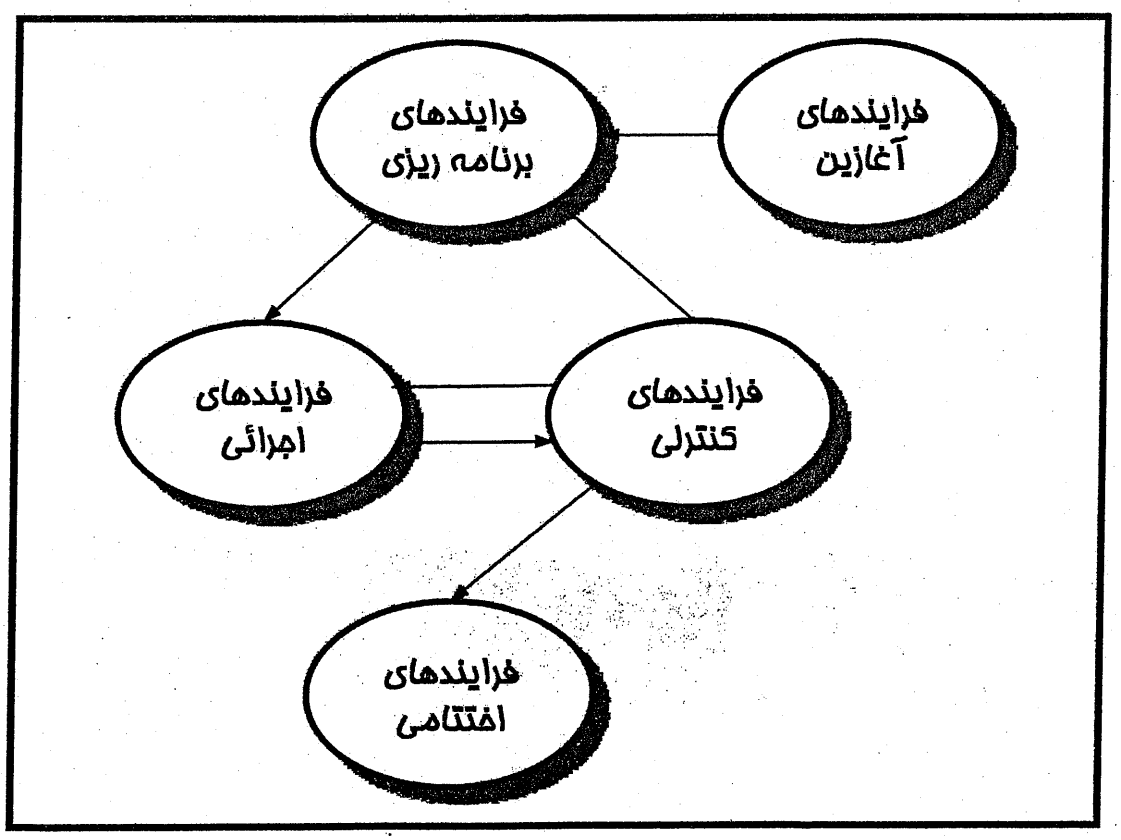
- نظارت بر اجرا و گزارش اختلاف‌ها با برنامه،
- اتخاذ تصمیمات اصلاحی برای منطبق کردن اجرا با برنامه،
- دریافت، ارزش‌گذاری و تصمیم دربارهٔ تغییرات پروژه که از سوی افراد مهم درگیر یا اعضای تیم پروژه پیشنهاد می‌شوند،
- برنامه‌ریزی مجدد پروژه در صورت نیاز،
- تطبیق سطوح منابع در صورت نیاز،

ـ اصلاح محدودهٔ پروژه،
ـ بازگشت به برنامه برای تطبیق نتایج، اهداف و گرفتن تأییدیه‌های لازم.

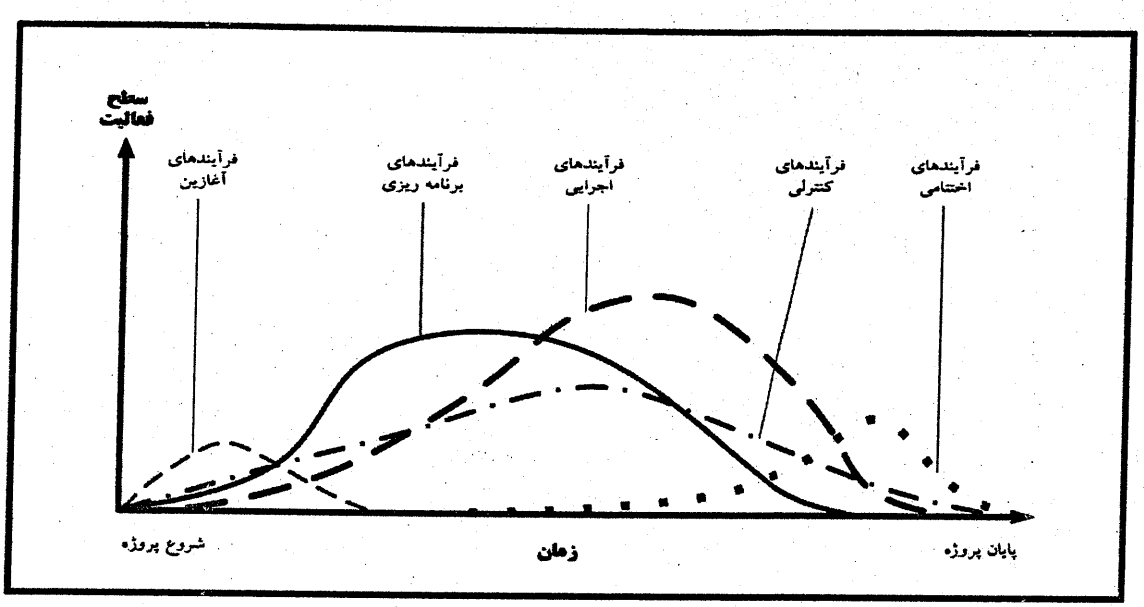
## ۵.۱.۲ فرایندهای اختتامی پروژه

این مرحله، آخرین مرحلهٔ پروژه است؛ زمانی که بازتاب همه فعالیت‌ها و تلاش‌های انجام‌شده را می‌توان دید. بی‌شک مهم‌ترین مرحلهٔ پروژه، بستن آن و هنر مدیر در اتمام موفقیت‌آمیز پروژه است. اغلب پایان پروژه با تمام شدن بودجه و مناقشات پیمانکار و کارفرما همراه است. گرفتن تأییدیه قبول نتایج پایانی پروژه، مهم‌ترین فعالیت این مرحله است؛ مراحل بستن پروژه عبارت‌اند از:

ـ کسب و مستند کردن نتایج و دانش،
ـ بازبینی روند اجرای پروژه و نتایج با تیم پروژه و افراد مهم درگیر،
ـ توقف عملیات اجرایی و انحلال تیم پروژه،
ـ بازبینی تجربیات پروژه،
ـ نوشتن گزارش نهایی پروژه و تسویه‌حساب‌ها.




**شکل ۱.۲** ارتباطات میان گروه‌های فرایندی در یک پروژه.




**شکل ۲.۲** همپوشانی گروه‌های فرایندی در یک پروژه.

لازم به ذکر است فازهای دو تا چهار یعنی برنامه‌ریزی، اجرا و کنترل در یک چرخه قرار دارند که به آن «چرخهٔ حیات پروژه» می‌گویند. این به دلیل ماهیت وابستگی درونی این مراحل به یکدیگر است. برای مثال گاهی لازم است تا برنامه پروژه با توجه به تجربیات به‌دست‌آمده در حین اجرا، یا به واسطهٔ تغییرات پدیدآمده اصلاح و برنامهٔ اصلاحی برای اجرا مجدداً ارسال شود.

در شکل ۱.۲ ارتباطات میان گروه‌های فرایندی و در شکل ۲.۲ همپوشانی گروه‌های فرایندی قابل مشاهده است.

## ۲.۲ رویکرد مدیریتی

مؤسسهٔ مدیریت پروژه با انتشار *راهنمای پیکرهٔ دانش مدیریت پروژه* در سال ۱۹۹۶، آن را به ۹ حوزهٔ مدیریتی تقسیم کرد. در آخرین نسخهٔ این راهنما که در سال ۲۰۱۷ منتشرشد ۱۰ حوزهٔ مدیریتی به شرح زیر مطرح شده است.

### ۱.۲.۲ مدیریت یکپارچگی پروژه[1]

مجموعهٔ فرایندهای لازم، برای شناسایی، تعریف، ترکیب و هماهنگی بین مدیریت‌های مختلف، مدیریت پروژه است.

---

1. Project Integration Management

مدیریت یکپارچگی از جنس متحدسازی، انسجام، یکپارچگی و ارتباطات درونی عناصر پروژه است. همچنین شامل کنترل تغییرات و هماهنگی‌های لازم می‌شود.
مدیریت یکپارچگی از شروع پروژه آغاز می‌شود و تا تکمیل پروژه ادامه می‌یابد.

## ۲.۲.۲ مدیریت محدوده پروژه[1]

مجموعه فرایندهای لازم برای اطمینان از توجه به فعالیت‌های پروژه به صورت جامع و مانع است؛ به طوری که با تحقق آنها هدف پروژه با موفقیت کامل قابل حصول باشد.
محدودهٔ پروژه نشانگر محدودهٔ کارهایی است که باید در پروژه انجام شود و کارهایی که به طور خاص نباید انجام شود. محدودهٔ پروژه معمولاً در طول فرایند راه‌اندازی پروژه، در پوشش منشور پروژه، برگ شرح کار یا سند راه‌اندازی پروژه تعریف می‌شود.

## ۳.۲.۲ مدیریت زمان پروژه[2]

مجموعه فرایندهای لازم برای اطمینان از تکمیل پروژه در مدت‌زمان مصوب است.
به منظور مدیریت زمان پروژ فعالیت‌هایی که نیاز به اجرا دارند در یک ترتیب منطقی قرار می‌گیرند. منابعی به فعالیت‌ها تخصیص می‌یابد و میزان تلاش مورد نیاز برای اجرای هر فعالیت و نیز زمان اجرای آنها تعیین می‌شود.
تخمین مدت‌زمان اجرای هر فعالیت به عوامل مختلفی نظیر طبیعت فعالیت و توانایی‌های منابع و نیز دانش مدیر پروژه ... وابسته است.
مدت‌زمان تخصیص‌یافته به فعالیت‌ها در طول اجرای پروژه تحت نظارت قرار می‌گیرند. اگر فعالیتی بیش ازآنچه برنامه‌ریزی‌شده زمان ببرد، آن جنبه‌ها باید مدیریت شوند.

## ۴.۲.۲ مدیریت هزینهٔ پروژه[3]

مجموعه فرایندهای لازم به‌منظور پیش‌بینی، تخمین بودجهٔ مورد نیاز پروژه و نحوهٔ تأمین آنها و کنترل هزینه‌ها به‌گونه‌ای که پروژه مطابق بودجه مصوب تکمیل شود، است.
مدیریت هزینه، فراهم‌کنندهٔ فرایندهایی جهت تکمیل پروژه در محدودهٔ بودجهٔ، مصوب با توجه به تخمین هزینه‌ها، تأمین بودجه و هزینه‌های کنترل است.

---

1. Project Scope Management
2. Project Time Management
3. Project Cost Management

## ۵.۲.۲ مدیریت کیفیت پروژه[1]

مدیریت کیفیت پروژه شامل فرایندهای برنامه‌ریزی کیفیت، مدیریت (تضمین) کیفیت، کنترل کیفیت پروژه به منظور تأمین اهداف (رضایت) ذی‌نفعان است.

## ۶.۲.۲ مدیریت منابع پروژه[2]

مدیریت منابع پروژه شامل مجموعه فرایندهایی است که به منظور شناسایی، اکتساب (تأمین) و به‌کارگیری بوده تا پروژه به صورت موفقیت‌آمیز تکمیل شود.

مدیریت منابع پروژه مشخص می‌کند که چه نوع منابعی باید به فعالیت‌های پروژه تخصیص یابد. این امر خود نیازمند تحلیل دقیق وابستگی‌هاست و اینکه آیا تداخل منابعی وجود دارد که نیازمند بازنگری در زمان‌بندی باشد یا خیر؟

## ۷.۲.۲ مدیریت ارتباطات پروژه[3]

مجموعه فرایندهای مورد نیاز به منظور اطمینان از اینکه اطلاعات مورد نیاز پروژه به طور مؤثر به‌ذی‌نفعان پروژه برسد یا به عبارت دیگر اطمینان از تولید، جمع‌آوری، دسته‌بندی، ذخیره و توزیع اطلاعات پروژه (مطابق ویژگی‌های هریک) در زمان مقرر و به طور مناسب است.

مدیریت ارتباطات با ارتباط مؤثر و به‌هنگام سروکار دارد. برای این امر باید یک استراتژی ارتباطی ایجاد و در طرح پروژه گنجانده شود. این استراتژی معرف سهامداران کلیدی و نیازهای ارتباطی‌شان است؛ از قبیل نوع اطلاعات مورد نیاز و اینکه چه وقت و چگونه باید این اطلاعات فراهم شود، است.

اطلاعات باید در زمانی که سهامداران نیاز دارند و متناسب با زمینهٔ کاری‌شان برای آنها در دسترس باشد. برای مثال بعید است که یک مدیر اجرایی نیازمند مرور نمودار گانت با تمام جزئیات آن باشد و شاید فقط مروری سطح بالا بر فعالیت‌های کلیدی و مدت‌زمان آنها برای کسب اطلاع از چگونگی اجرای پروژه برایش کفایت کند.

---

1. Project Quality Management
2. Project Human Resource Management
3. Project Communications Management

گزارش پروژه نیز باید به‌گونه‌ای باشد که هیئت‌مدیره، پشتیبان و سهامداران کلیدی از نیازهای اطلاعاتی‌شان از قبیل گزارش وضعیت، گزارش کارایی و پیش‌بینی بودجه آگاه شوند.

## ۸.۲.۲ مدیریت ریسک پروژه[1]

مدیریت ریسک پروژه شامل مجموعه فرایندهای لازم جهت هدایت برنامه، ریسک، شناسایی، تجزیه‌وتحلیل و برنامه‌ریزی مقابله با ریسک پروژه و اجرای آن به منظور افزایش شانس برای وقوع وقایع مثبت و پیامدهای آنها و کاهش وقایع ناگوار و پیامدهای آنهاست.

ریسک وضعیتی است که ممکن است پدیدار گشته و پروژه را تحت تأثیر قرار دهد. فرایند مدیریت ریسک با مروری بر پیش‌فرض‌های اولیه پروژه آغاز و شامل تشخیص ریسک، ایجاد روش‌هایی برای کاهش مضرات آن و تصمیم‌گیری برای چگونگی مدیریت آن می‌شود.

## ۹.۲.۲ مدیریت تدارکات پروژه[2]

مجموعه فرایندهای لازم به منظور تأمین کالا و خدمات مورد نیاز از بیرون پروژه (خارج از افراد پروژه) است.

فرایند تدارکات شامل این است که چه کالا و خدماتی، چه زمانی و چرا باید تهیه شود. بر طبق نیازمندی‌های پروژه باید به گزینه‌هایی نظیر خرید، ساخت و اجاره توجه شود.

## ۱۰.۲.۲ مدیریت ذی‌نفعان پروژه[3]

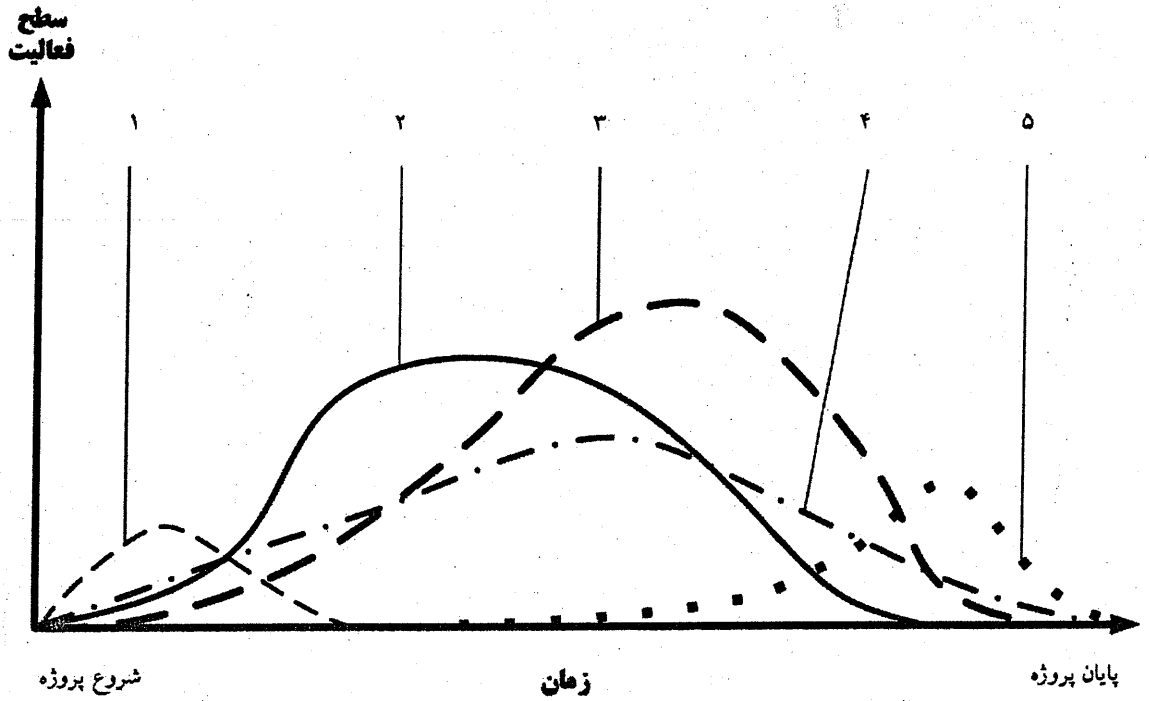
مدیریت ذی‌نفعان پروژه عبارت است از مدیریت و بررسی مجموعه فرایندهای لازم برای شناسایی افراد، گروه‌ها یا سازمان‌هایی که بر پروژه اثرگذار یا از پروژه اثرپذیرند تا انتظارات آنها (ذی‌نفعان) و تأثیراتشان بر پروژه را تحلیل کند. همچنین مدیریت ذی‌نفعان شامل تدوین استراتژی‌های مناسب به منظور ارتباط و تأثیرگذاری ذی‌نفعان در تصمیمات و اجرای پروژه است.

---

1. Project Risk Management
2. Project Procurement Management
3. Project Stakholder Management

## تمرینات

۱. در شکل زیر هر یک از مراحل رویکرد فرایندی مدیریت پروژه را نشان دهید.




۲. رویکرد فرایندی مدیریت پروژه شامل چه فرایندهایی است؟ نام ببرید و بیان کنید که در هر فرایند (مرحله) چه کارهایی باید صورت گیرد.

۳. رویکرد مدیریتی مدیریت پروژه شامل چه مدیریت‌هایی است. آنها را نام برده و توضیح دهید.

# ۳

# برنامه‌ریزی پروژه

**اهداف فصل**

**هدف کلی:** آشنایی دانشجویان با منشور پروژه (یا برگ شرح کار) و ساختار شکست کار.

**اهداف جزئی**

ـ آشنایی دانشجویان با مفهوم منشور پروژه یا برگ شرح کار و محتویات آن،
ـ آشنایی دانشجویان با مراحل تهیه برگ شرح کار یا منشور پروژه،
ـ آشنایی دانشجویان با تعریف ساختار شکست کار،
ـ آشنایی دانشجویان با روش تهیه ساختار شکست کار،
ـ آشنایی دانشجویان با انواع ساختار شکست کار،
ـ آشنایی دانشجویان باکیفیت یک ساختار شکست کار خوب و مناسب.

در مرحلهٔ آغازین بعد از بررسی‌های فنی و اقتصادی و بررسی شرایط مسائل مهم، نسبت به رد و قبول پروژه تصمیم گرفته می‌شود. در صورت مثبت بودن جواب، مرحلهٔ برنامه‌ریزی آغاز می‌شود. برای برنامه‌ریزی مؤثر و موفق پیش از شروع پروژه باید یک‌سری اطلاعات تهیه شود. اهم این اطلاعات عبارت‌اند از:

ـ منشور پروژه یا برگ شرح کار،
ـ ساختار شکست کار.

در ادامه به شرح این دو مطلب می‌پردازیم.

# ۱.۳ منشور پروژه و برگ شرح کار

## ۱.۱.۳ منشور پروژه

*راهنمای پیکرهٔ دانش مدیریت پروژه*، (۲۰۱۷) نسخه ششم، صفحه ۸۱ در تعریف منشور پروژه چنین می‌گوید:

منشور پروژه سندی است که کارفرما (شروع‌کننده پروژه) صادر می‌کند و به مدیر پروژه اجازه می‌دهد که از منابع سازمان برای اجرای پروژه استفاده کند. این سند شامل اطلاعات کلی (سطح بالای) پروژه و از مطالب زیر تشکیل شده است:

۱- هدف پروژه،

۲- اهداف کمّی پروژه و معیارهای موفقیت پروژه،

۳- نیازمندی‌های سطح بالای پروژه،

۴- توصیف کلیات پروژه، مرزها، و محدودهٔ پروژه و اقلام قابل تحویل کلی پروژه،

۵- ریسک کلی پروژه،

۶- زمان‌بندی فعالیت‌های مهم،

۷- منابع مالی پروژه،

۸- ذی‌نفعان مهم پروژه،

۹- نحوهٔ تصویب نیازمندی‌های پروژه (چه کسی یا چه شرایطی اعلام می‌کند پروژه موفق است، شکست‌خورده، ادامه یابد یا منحل شود)،

۱۰- تعیین مدیر پروژه و سطح اختیارات او،

۱۱- اسامی کارفرمایان و افراد مجاز منشور پروژه.

## ۲.۱.۳ برگ شرح کار

هارولد کرزنر (۲۰۰۶) در نسخهٔ نهم کتاب *مدیریت پروژه* خود صفحه ۴۰۷ و کلیم و همکاران (۱۹۹۷)[1] در صفحه ۵۵ کتاب خود از سندی به نام «برگ شرح کار[2]» نام برده‌اند که همان نقش منشور پروژه را ایفا می‌کند و در تعریف این سند چنین می‌گویند:

---

1. Kleim et.al.(1997)
2. Statement Of Work (SOW)

«برگ شرح کار سندی رسمی است که بعد از امضای قرارداد تهیه و در آن مشخصات کلیدی پروژه بیان می‌شود. در ادامه برای توضیح بیشتر این سند می‌افزایند:

در برخی مواقع بین افراد مختلف درگیر پروژه دربارهٔ آرمان‌ها، اهداف، بودجه یا سایر مشخصات کلیدی پروژه، اختلافاتی بروز می‌کند، بهترین وسیله برای حل این اختلافات برگ شرح کار است.

برگ شرح کار دارای فواید بسیاری است که به برخی از آنها اشاره می‌شود:

- برگ شرح کار، نقاط مشترک و اختلاف بین مسئولان پروژه را مشخص کرده و به مدیران پروژه این امکان را می‌دهد که دربارهٔ حل مسائل اختلافی چاره‌اندیشی کنند.
- برگ شرح کار به عنوان یک قرارداد بین مشتری، کارفرما، مدیر پروژه، کارکنان و سایر افراد مرتبط با پروژه، تلقی شده و همه موظف‌اند از محتویات آن تبعیت کنند.

## ۳.۱.۳ محتویات برگ شرح کار

برگ شرح کار شامل مواردی بدین شرح است:

**مقدمه**[1]: شامل اهمیت موضوع، تاریخچه، هدف و نام پروژه نام مدیر پروژه و نام کارفرما و سایر اطلاعات کلی پروژه است.

**آرمان‌ها و اهداف**[2]: در این قسمت آرمان‌ها و اهداف مطرح می‌شوند به‌طوری که هر فردی با مطالعهٔ آن، به‌راحتی و به‌وضوح متوجه اهداف کیفی و کمی پروژه می‌شود.

**حیطه پروژه‌یا محدوده پروژه**[3]: حدود و مرزهای پروژه در این قسمت تبیین می‌شود. در حیطهٔ پروژه دقیقاً مشخص می‌شود که چه کارهایی در این پروژه باید و چه کارهایی نباید انجام شود.

---

1. Introduction
2. Goals and Objectives
3. Project scope

**برنامه‌ها یا فعالیت‌های کلیدی**[1]: در انجام پروژه برخی از فعالیت‌ها کلیدی و مهم هستند که باید مشخص شده و مورد تأیید مدیر، کارفرما و مجریان قرار گیرند.

**افراد مهم درگیر**[2]: افراد مهم درگیر پروژه باید مشخص شوند. این افراد ممکن است شخصیت‌های حقیقی یا حقوقی باشند که به‌نوعی با برخی از قسمت‌های پروژه مرتبط و علاقه‌مند به نتایج آن هستند.

**منابع پروژه**[3]: در این قسمت منابع مهمی که برای انجام فعالیت‌های مختلف پروژه مورد نیاز است بیان می‌شود.

**زمان‌بندی‌های مهم**[4]: زمان‌بندی‌های مهم نظیر شروع و ختم پروژه و نیز برخی از فعالیت‌های مهم میانی پروژه را بیان می‌کند.

**بودجه**[5]: بودجهٔ کل پروژه بیان شده و بهتر است بودجهٔ کل نیز خرد و بودجه‌بندی قسمت‌های مهم نیز مشخص شود.

**اصلاحات**[6]: در این قسمت مراحل تصویب و اعمال هرگونه تغییری در برگ شرح کار بیان می‌شود.

**امضاها**[7]: در پایان، برگ شرح کار و موارد مندرج در آن باید از سوی مشتری (خریدار پروژه)، کارفرما و مدیر پروژه، تأیید شود. امضا به عنوان تأیید تمامی مطالب موجود در برگ شرح کار است.

## ۴.۱.۳ نمونه‌ای از برگ شرح کار

در زیر نمونه‌ای از برگ شرح کار مربوط به پروژهٔ «جابه‌جایی ادارهٔ بازاریابی و فروش» ارائه می‌شود:

---

1. Critical Planning assumptions
2. Key Stakeholder
3. Project Resources
4. Milestone Schedule
5. Budget
6. Amendments
7. Signature

بسمه‌تعالی

**پروژهٔ جابه‌جایی ادارهٔ بازاریابی و فروش**

مدیر پروژه: محمد جعفری

کارفرمای پروژه: علی رحیمی معاون بخش بازاریابی

**مقدمه**

شرکت الف در حال حاضر دارای کارکنانی است که در سطح شهر مشغول به کار هستند. این شرکت قصد دارد به منظور تمرکز تمامی ادارات وابسته، محل کار آن‌ها را به محل جدید منتقل و همهٔ آنها را در یک دفتر مرکزی مستقر کند.

**آرمان‌ها و اهداف**

هدف از پروژه انتقال ادارهٔ بازاریابی از مکان فعلی خود در خیابان انقلاب اسلامی به خیابان شهید بهشتی است. این پروژه باید با بودجه‌ای معادل ۲۰۰،۰۰۰،۰۰۰ ریال و تا ۱۵ شهریور خاتمه یابد و در اثر جابه‌جایی چیزی بیش از ۲ روز اتلاف وقت برای کارکنان نداشته باشد.

**حیطهٔ پروژه**

حیطهٔ پروژه یا حیطهٔ کاری عبارت است از برنامه‌ریزی برای جابه‌جایی، انتخاب افراد مناسب برای اجرای جابه‌جایی و مدیریت کار جابه‌جایی و انتقال. این انتقال فقط شامل ادارهٔ بازاریابی است و سایر بخش‌های وابسته در خیابان انقلاب اسلامی مشمول این برنامه نمی‌شوند.

**برنامه‌ها (یا کارهای) کلیدی**

کار کلیدی و مهمی که در این انتقال تعیین‌کننده است این است که باید ساختمان جدید اول شهریور (پانزده روز قبل از اتمام پروژه) آماده شود و کار ساختمان‌سازی به پایان رسد.

**افراد مهم درگیر در پروژه (ذی‌نفعان پروژه)**

کارکنان بخش بازاریابی و فروش، مشتریان و سایر قسمت‌های متکی بر اطلاعات بخش بازاریابی ازجمله افراد درگیر در پروژه به‌شمار می‌آیند.

**منابع پروژه**

پروژه شامل یک گروه کاری شش نفره شامل کارکنان شرکت و مجریان خارج از شرکت است. منابع داخلی عبارت‌اند از کارکنان بخش بازاریابی، فناوری اطلاعات، دفتر مراسلات و کارگزینی. کارکنان بیرونی نیز باید از شرکت‌های حمل‌ونقل انتخاب شوند.

**زمان‌بندی‌های مهم**

| | |
|---|---|
| • شروع پروژه | ۱ خرداد |
| • مستندسازی نیازمندی‌ها | ۳۰ خرداد |
| • انتخاب شرکت حمل‌ونقل اثاثیه | ۱۵ تیر |
| • تکمیل برنامه جابه‌جایی | ۱۵ مرداد |
| • انتقال به ساختمان جدید | ۱۵ شهریور |

**بودجه**

بودجهٔ پروژه ۲۰۰،۰۰۰،۰۰۰ ریال در نظر گرفته شده است.

**اصلاحات**

تمامی تغییرات انجام‌شده در این برگ شرح کار از طریق فرایندهای مدیریتی بررسی و مطالعه می‌شوند.

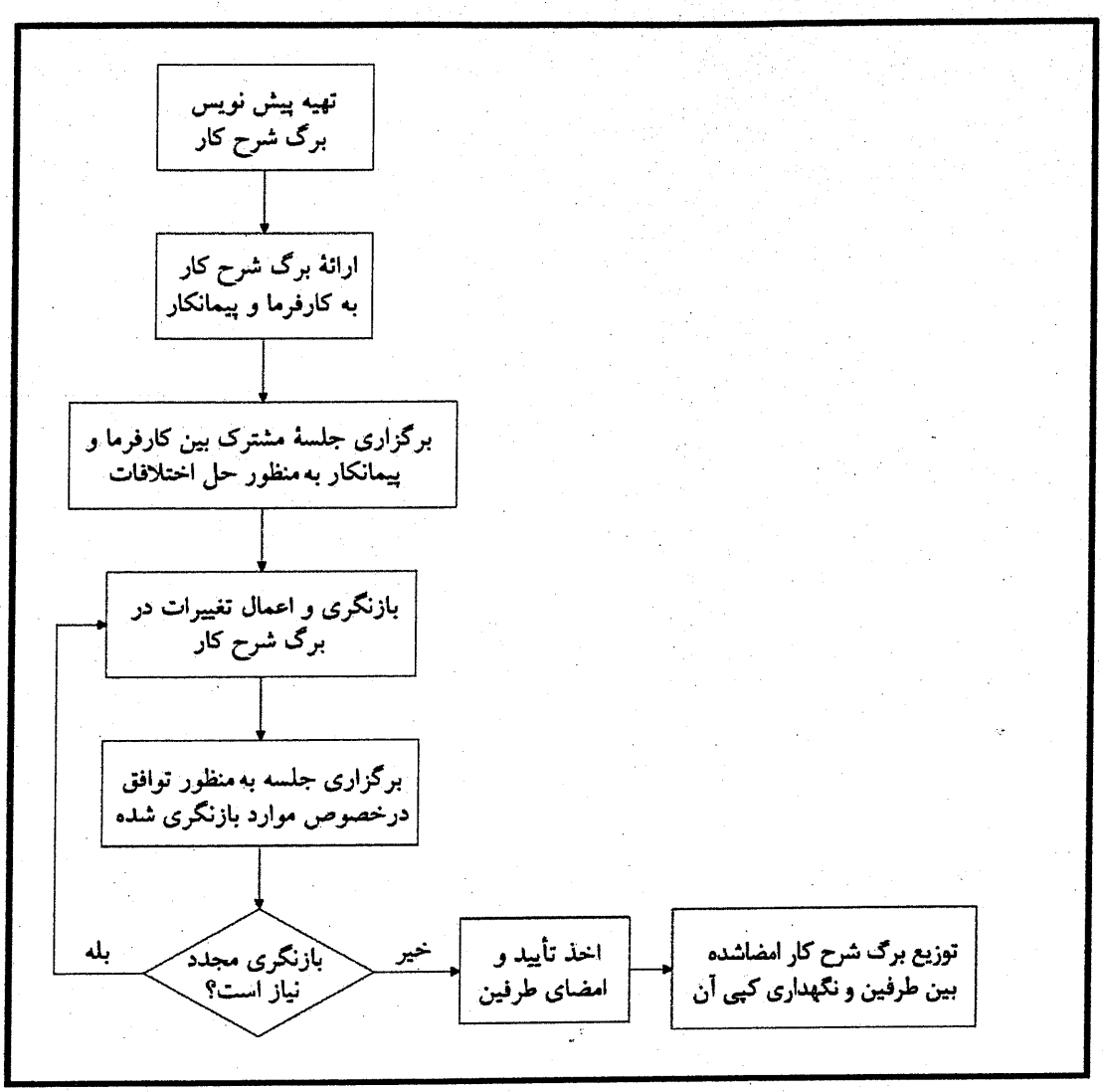
**امضاها**

| | | |
|---|---|---|
| سرپرست پروژه | مدیر پروژه | مشتری |
| تاریخ | تاریخ | تاریخ |

## ۵.۱.۳ مراحل تهیه برگ شرح کار

تهیه برگ شرح کار مشکل است و نیاز به صرف زمان و طی مراحل زیادی به شرح زیر دارد:

ابتدا باید، پیش‌نویس اولیه‌ای از برگ شرح کار تهیه کرده و جهت اظهار نظر در اختیار کارفرما و پیمانکار و مشتریان به صورت جداگانه قرار داد و نظرات آن‌ها را جویا شد. غالباً اختلاف‌نظرهایی بین کارفرما و پیمانکار وجود خواهد داشت. برای حل اختلاف‌نظرها باید، جلسهٔ مشترکی ترتیب داده و برای رفع این اختلافات تلاش کرد. سپس به منظور جلب نظر کارفرما، پیمانکار و مشتریان تغییرات لازم را در برگ شرح کار اعمال کرد و مجدداً جلسه‌ای برای بررسی پیش‌نویس تشکیل داد، در صورتی که توافق حاصل شد و نیازی به بررسی بیشتر نبود، سند را به امضا و تأیید افراد مورد نظر رساند، سپس به تعداد لازم نسخه‌برداری و در اختیار آن‌ها قرار داد. شکل ۱.۳ مراحل تهیهٔ برگ شرح کار را نشان می‌دهد.




**شکل ۱.۳** مراحل تهیه برگ شرح کار.

## ۶.۱.۳ نکات مهم در تهیه برگ شرح کار

درتهیه برگ شرح کار نکاتی بدین شرح باید رعایت شود:

- برگ شرح کار نباید خیلی کلی و عمومی باشد. اگر برگ شرح کار خیلی کلی تنظیم شده باشد هرچند حصول توافق در مورد آن آسان و سریع خواهد بود، اما غالباً در طول پروژه با برداشت‌های متفاوت مواجه شده و باعث بروز اختلافات خواهد شد.
- عبارات موجود در برگ شرح کار باید کاملاً روشن و واضح باشند و از مفاهیمی با معانی مختلف که امکان برداشت‌های متفاوت از آنها وجود دارد در برگ شرح کار استفاده نشود.
- برگ شرح کار باید بر اساس واقعیات تهیه و تنظیم شود. چرا که گاهی اوقات ممکن است مدیر پروژه خواسته‌های غیرواقع‌بینانهٔ مشتری را بدون توجه به

امکان اجرای آن‌ها بپذیرد و در حین اجرای پروژه قادر به انجام آنها نباشد که در این صورت دچار وضعیت نامطلوبی خواهد شد.

- برگ شرح کار برای بایگانی کردن تهیه نشده است؛ از این رو باید آن را بین افراد ذی‌ربط توزیع و همواره پیشرفت کارها با آن مقایسه شود.

در پایان خلاصه‌ای از مطالب عرضه می‌شود. در این قسمت بیان شد که نخستین گام در برنامه‌ریزی تهیه منشور پروژه یا تهیه برگ شرح کار است که در آن کلیات پروژه تبیین شده، به امضا و تأیید ذی‌نفعان مهم پروژه می‌رسد و سپس نوبت تهیه ساختار شکست کار است که در ادامه توضیح داده می‌شود.

## ۲.۳ ساختار شکست کار

### ۱.۲.۳ تعریف ساختار شکست کار

«ساختار شکست کار»[1] در کتاب *راهنمای پیکره دانش مدیریت پروژه* نسخه ششم (۲۰۱۷) در بخش ۵.۴ بحث شده و هارولد کرزنز (۲۰۱۷) نیز این بحث را در بخش ۱۱.۱۳ ارائه می‌کند.

به طور کلی می‌توان گفت:

«ساختار شکست کار» مجموعه‌ای از «فعالیت‌ها[2]» یا «بسته‌های کاری[3]» است که برای انجام پروژه ضروری و قابل‌واگذاری، برنامه‌ریزی، تخصیص منابع و ارزیابی است. هر طرح یا پروژه اعم از طرح‌ها یا پروژه‌های تحقیقاتی، ساختمانی، احداث کارخانه، تولید از طریق مهندسی معکوس، را می‌توان به صورت مجموعه‌ای از بسته‌های کاری و فعالیت‌های مختلف در نظر گرفت. یکی از پایه‌های اصلی مدیریت پروژه تعریف همین بسته‌های کاری و فعالیت‌هاست این اجزا باید:

**قابل مدیریت باشند:** به این معنا که بتوان به هر یک از این اجزا منبع و نیروی انسانی اختصاص داد.

---

1. Work Breakdown Structure (WBS)
2. Activity
3. Work Package

**مستقل باشند:** یعنی وابستگی اجزا و وجه اشتراک آنها به یکدیگر حداقل باشد. چنانچه جزئی با جزء دیگر وجه اشتراک داشته باشد باید آن جزء را به اجزای کوچک‌تری که فاقد وجه اشتراک باشند، تقسیم کرد.

**یکپارچه باشند:** اجزای کاری باید به نحوی در نظر گرفته شوند که بتوان مجموع آنها را به صورت یکپارچه و به منزلهٔ بسته‌ای کلی در نظر گرفت.

**قابل‌اندازه‌گیری باشند:** پیشرفت کاری اجزای کاری را باید بتوان برحسب پیشرفت کاری کل پروژه محاسبه و اندازه‌گیری کرد.

درنهایت، تصویر کامل پروژه، از کنار هم قراردادن این فعالیت‌ها حاصل می‌شود و امکان مدیریت زیر سیستم‌ها و اجزای سازمانی مرتبط با آن‌ها را فراهم می‌آورد.

به عبارت دیگر، ساختار شکست کار، درنهایت پروژه را به تعدادی فعالیت یا بستهٔ کاری که قابلیت زمان‌بندی، تخصیص منابع و نیروی انسانی، مسئولیت‌پذیری، ارزیابی و کنترل را دارند تقسیم می‌کند. هر بستهٔ کاری یک جزء «اجرایی-کنترلی» است که به کارشناس متخصص که اصطلاحاً «مدیر بستهٔ کاری» نام دارد، واگذار می‌شود. مدیر بستهٔ کاری موظف است، یک هدف خاص قابل‌اندازه‌گیری را برای بستهٔ کاری خود تعریف کند. او همچنین باید شرح تفصیلی، مشخصات کیفی، بودجه، نیروی انسانی و زمان مورد نیاز بستهٔ کاری خود را مشخص کند.

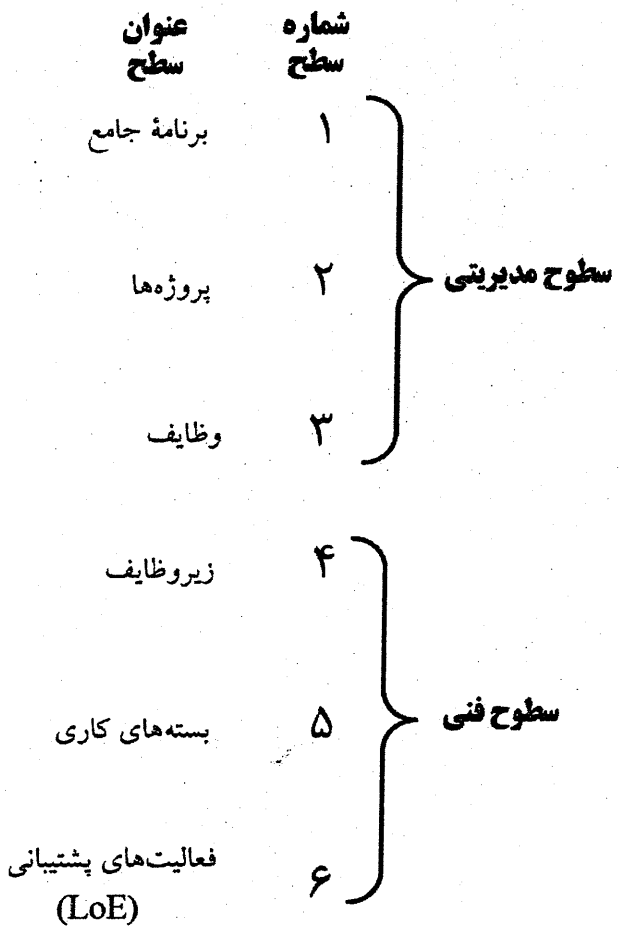
## ۲.۲.۳ روش تهیه ساختار شکست کار

ساختار شکست کار باید یک ترتیب منطقی و روال منظم و روشمند را طی کند. ساختار شکست کار دارای انواع گوناگون و متنوعی است اما عموماً دارای ۶ سطح است. سطح یک «برنامهٔ کلی[1]»، است. یک برنامه ممکن است خود شامل چندین «پروژه» باشد که زمان و هزینهٔ انجام این برنامه برابر با مجموع هزینه و زمان پروژه‌های زیرمجموعهٔ خود است.

---

1. Total Program

سپس هر پروژه به تعدادی «وظیفه[1]» و وظیفه‌ها به تعدادی «زیر وظایف[2]» و هر زیروظیفه نیز به تعدادی «بستهٔ کاری» که شامل چند «فعالیت[3]» است تقسیم می‌شود. برخی از فعالیت‌ها، «فعالیت‌های پشتیبانی» هستند، که به تولید یک محصول منجر نمی‌شوند؛ نظیر هماهنگی‌ها، تماس‌ها، پیگیری‌ها و سایر موارد مشابه.

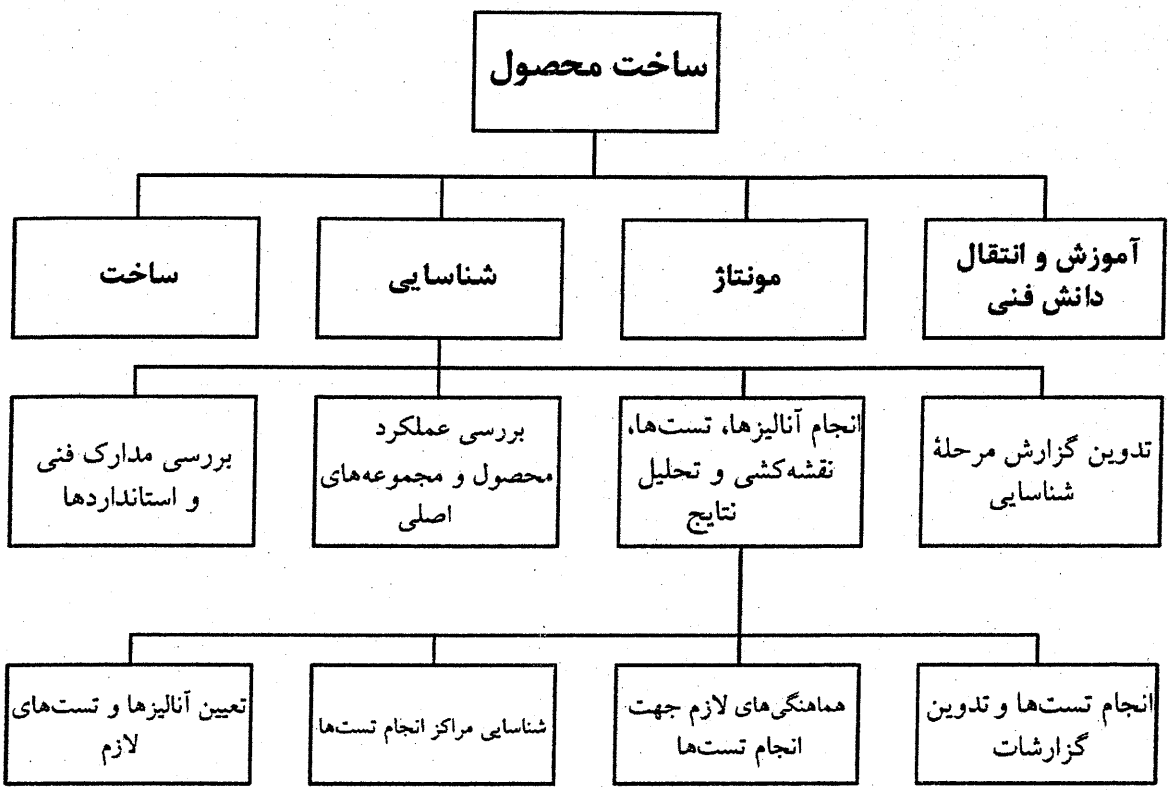



در تهیه ساختار شکست کار ابتدا باید عناصر سطح یک، سپس سطح دو و پس از آن سایر سطوح، مشخص شوند تا ساختار شکست کار تکمیل شود. در شکل ۲.۳ بخشی از یک ساختار شکست کار مربوط به برنامهٔ ساخت محصولی فرضی، نشان داده شده است.

در برخی مواقع می‌توان از ساختار شکست کار پروژه‌های مشابه که قبلاً انجام شده برای تهیه ساختار شکست کار پروژه جدید استفاده کرد.

---

1. Task
2. Subtask
3. Activity /Effort




**شکل ۲.۳** بخشی از یک ساختار شکست کار در ساخت یک محصول.

برای تهیه ساختار شکست کار ابتدا باید به جمع‌آوری اطلاعات مربوط به اجرای پروژه پرداخت که البته کار دشواری است.

عمدتاً دو منبع اطلاعاتی وجود دارد: نخست اسناد موجود و مرتبط با پروژه مانند برگ شرح کار (منشور پروژه)، و دوم افرادی که به طور مستقیم یا غیرمستقیم با پروژه در ارتباط‌اند.

برخی از اسناد موجود، اسنادی مرتبط با پروژه هستند که در آنها افق دید پروژه، نتایج، محصولات و سایر مسائل مرتبط با آن بیان شده است. شرح کار نمونه‌ای از این اسناد است. همچنین، مطالعات و گزارش‌های قبل از تدوین شرح کار نظیر امکان‌سنجی، مطالعات توجیه فنی و اقتصادی پروژه و سایر مطالعات مقدماتی یا مدارکی از قبیل سیاست‌گذاری‌ها، رویه‌های عملیاتی، مطالعات کارسنجی و چارت سازمانی یا هر مستندی که از قبل به منظور انجام پروژه تهیه شده است، منبع مناسبی برای تهیهٔ ساختار شکست کار است.

منبع دیگری که در جمع‌آوری اطلاعات مورد نیاز برای تهیهٔ ساختار شکست کار مفید است، افرادی هستند که به طور مستقیم یا غیرمستقیم با پروژه در ارتباط‌اند. تا

حد امکان باید اطلاعات جزئی و دقیق را از این افراد به دست آورد. و از طریق مشاوره و برگزاری جلسات متعدد توافق و نظر کلی این افراد را در خصوص ساختار شکست کار جلب کرد؛ زیرا این افراد علاوه بر اینکه اطلاعات مورد نیاز شما را در اختیار دارند، ممکن است نظراتشان جهت تأیید ساختار شکست کار تهیه‌شده مهم و اساسی باشد.

### ۳.۲.۳ معیارها و ضوابط تقسیم‌کار به فعالیت‌ها

برای تفکیک کارها و تهیه یک ساختار شکست کار مطلوب و مناسب باید به نکات زیر توجه کرد:

**تفاوت در ماهیت:** باید بین فعالیت‌هایی که با ماهیت و طبیعت فیزیکی متفاوت در درون یک کار قرار دارند تفاوت قائل شد. برای مثال در ساختار شکست کار ساخت یک محصول که دارای فعالیت‌های مکانیکی و فعالیت‌های الکترونیکی است، باید این فعالیت‌ها را از هم تفکیک کرد.

برخی اوقات برای کاهش ریسک یا تسریع در انجام برخی فعالیت‌ها لازم است که فعالیت از دو طریق مجزا و موازی، با دو مسئول مشخص انجام شود. از این رو بهتر است این فعالیت‌ها به صورت دو فعالیت جدا از هم در نظر گرفته شوند.

**تنوع مکان:** چنانچه لازم باشد یک فعالیت مشابه در دو مکان مختلف اجرا شود، بهتر است آن را به صورت دو فعالیت مجزا در نظر گرفت.

**تنوع کیفیت:** گاهی در برخی پروژه‌ها، یک فعالیت، برای اجرا، به منابع مختلفی از نظر تعداد، نوع یا کیفیت منابع مورد مصرف نیاز دارد، تفکیک این فعالیت به دو یا چند فعالیت مختلف امکان تخصیص صحیح‌تر و کنترل بهتر فعالیت را به دنبال دارد.

**مدت‌زمان:** ممکن است طولانی بودن مدت‌زمان برخی فعالیت‌ها موجب عدم کنترل دقیق آنها شود. برای رفع این مشکل بهتر است فعالیت به چند فعالیت کوچکتر تقسیم شود. معمولاً تقسیم فعالیت‌ها تا آنجا ادامه می‌یابد که زمان اجرای هر فعالیت به حدود دو هفته برسد. البته در برخی موارد ممکن است زمان اجرای فعالیت‌ها بیشتر شده و به

یک یا دو ماه هم برسد. در پروژه‌های سه تا یک‌ساله، یک بستهٔ کاری مطلوب دارای مدت‌زمان ۸۰ ساعت یا ۲ تا ۴ هفته‌ای است. البته ایجاد بسته‌های کاری در پروژه‌های بزرگ با اجرای بلندمدت (ده تا پانزده‌ساله)، بسته‌های کاری یا فعالیت حدود یک تا سه ماه منطقی است. به طور کلی مدت‌زمان انجام یک فعالیت یا بستهٔ کاری به افق پروژه یا مدت‌زمان انجام آن بستگی دارد.

## ۴.۲.۳ انواع ساختار شکست کار

روش‌های مختلفی برای تهیه ساختار شکست کار و جود دارد و این کار به میزان مهارت، هنر و تجربهٔ افراد بستگی دارد. از بین روش‌های گوناگون تقسیم‌کار باید روشی را انتخاب کرد که در مراحل مختلف پروژه، مدیریت و کنترل پروژه را تسهیل کند.

به‌طورکلی سه نوع ساختار شکست کار متداول و رایج است که عبارت‌اند از:

- ساختار شکست کار محصولی، که پروژه را به اجزا و زیرمجموعه‌ها تقسیم می‌کند مانند آنکه یک اتومبیل را به مجموعه‌های شاسی، موتور اتاق و .... تقسیم کنیم.
- ساختار شکست کار مرحله‌ای (فازبندی)، در این حالت پروژه به مراحل و فازهای مختلف تقسیم می‌شود.
- ساختار شکست کار وظیفه‌ای (مسئولیتی)، در این حالت پروژه به وظایف مختلف نظیر طراحی، برنامه‌ریزی، تولید و ... تقسیم می‌شود.
- ساختار شکست کار تلفیقی، در برخی موارد ممکن است، ساختار شکست کار، تلفیقی از روش‌های فوق باشد.

## ۵.۲.۳ کیفیت ساختار شکست کاری خوب و مناسب

یک ساختار شکست کار خوب باید دارای مشخصات زیر باشد:

الف. همه کارها تا آخرین سطح تفکیک شده باشند (برای مثال قانون ۸۰ ساعت برای پروژه‌های یک تا سه‌ساله رعایت و به همین ترتیب برای سایر افق‌ها مدت‌زمان مناسب در نظر گرفته شود. مثلاً برای پروژه‌های ده تا پانزده‌ساله قانون سه‌ماهه رعایت شود).

ب. اگر ساختار شکست کار شامل سطوح کافی نباشد امکان دارد یکپارچگی فعالیت‌ها دچار اشکال شود و اگر ساختار شکست کار بیش از حد به سطوح مختلف تقسیم‌بندی شود، منجر به صرف زمان و هزینهٔ بیهوده در مواردی نظیر کدگذاری و کنترل خواهد شد.

ج. هر سطح تا آخرین مورد کدگذاری شده و این کدها منحصربه‌فرد باشند،
د. اسامی تمامی محصولات فرعی نوشته شوند،
هـ. چنانچه انجام کاری ضروری است باید آن را به صورت فعل امری و دستوری بیان و از به کار بردن عبارات مصدری و مبهم اجتناب کرد.
و. فعالیت‌ها اعم از فعالیت‌های مهم، یا غیر مهم، باید مشخص باشد و شفاف بیان شوند.
ز. ساختار شکست کار باید متناسب با آنچه در اجرا روی می‌دهد طراحی و ساخته شود و این ممکن است با آنچه در برنامه‌ریزی صورت می‌گیرد متفاوت باشد. از این رو باید بین مجریان و برنامه‌ریزان در این مورد توافق حاصل شود. ساختار شکست کار تهیه‌شده باید تأیید و تصویب تمامی دست‌اندرکاران مربوطه را به همراه داشته باشد. البته این تأیید، به معنای عدم‌تغییر نیست. ممکن است در حین انجام پروژه تغییراتی در ساختار شکست کار، ضروری و اجتناب‌ناپذیر، به نظر برسد که باید پس از طی مراحل خاص و دقیق، این تغییرات اعمال شود. هر تغییری باید پس از بررسی و طی مراحل خاص خود اجرا شود زیرا تغییر در ساختار شکست کار، تغییر در هزینه و زمان پروژه را به دنبال دارد، از این رو تغییر آن باید طبق فرایند «مدیریت تغییر» صورت گیرد.

در بسیاری مواقع، ساختار شکست کار برنامه را مشتری ارائه می‌دهد و چنانچه پیمانکار بخواهد این ساختار پیشنهادی را اصلاح کند یا آن را توسعه دهد باید به موارد زیر توجه کند.

- پیچیدگی و نیازمندی‌های فنی برنامه (که برخی از آن‌ها در ساختار شکست کار ذکر شده است)،
- هزینهٔ برنامه،
- محدودهٔ زمان برنامه،
- منابع موردنیاز پیمانکار،
- ساختار داخلی پیمانکار و مشتری برای مدیریت، کنترل و گزارش،
- تعداد قراردادها یا پیمانکاران فرعی.

ح. ساختار شکست کار و تشریح کارها باید به‌آسانی قابل‌فهم و درک باشد.
ط. نباید کارها را تا آنجا که ممکن است به کوچکترین سطح تقسیم کنید. فعالیت‌ها نباید آن‌قدر خرد شوند که به هنگام برآورد زمان یا هزینهٔ آنها، هزینه و زمان انجام آنها

غیرمعقول شود. خرد کردن کارها به فعالیت‌های بسیار کوچک و جزئی باعث می‌شود که ساختار شکست کار شامل هزاران کد اضافی شود و این موجب افزایش هزینه‌های مدیریت، کنترل و گزارش‌دهی خواهد شد و حتی ممکن است این هزینه‌ها از سود حاصل از انجام پروژه نیز فراتر رود. برای مثال پروژه‌های ده تا پانزده‌ساله را تا ساعت و دقیقه بشکنیم. این کار درستی به نظر نمی‌رسد.

خرد کردن بیش از حد فعالیت‌ها در سطوح پایینی ساختار شکست کار مشکل ایجاد کرده و طراحی و ایجاد شبکه را پیچیده می‌کند. برای حل این مشکل از «فعالیت‌های کلی» استفاده می‌کنیم. همان‌گونه که اشاره شد، خرد کردن بیش از حد کارها در ساختار شکست کار، منجر به بالا رفتن هزینه‌های کنترل می‌شود؛ از این رو با تعریف فعالیت‌های کلی از صرف این هزینه‌ها جلوگیری می‌شود.

ی. از آنجا که ممکن است در طول اجرا، محدودهٔ فعالیت‌ها تغییر کند، فعالیت‌ها را در ساختار شکست کار به صورت انعطاف‌پذیر در نظر بگیرید که قابلیت تغییر داشته باشند. پس از ایجاد ساختار شکست کار و آغاز اجرای برنامه، حذف یا اضافه کردن یک فعالیت به ساختار شکست کار یا تغییر دادن سطح ساختار شکست کار بسیار پرهزینه خواهد بود و متأسفانه بسیاری از شرکت‌ها در این خصوص دوراندیشی و احتیاط لازم را به کار نمی‌گیرند.

ک. ساختار شکست کار باید حداکثر هماهنگی را با ساختار سازمانی شرکت داشته باشد تا واگذاری و کنترل کارها ساده‌تر و روان‌تر شود. برای مثال اگر سازمان سفارش‌دهنده در ساختار سازمانی خود واحد طراحی دارد، کارهای طراحی پروژه را به صورت یکجا باید در نظر گرفت تا واگذاری و نظارت و کنترل بهتر انجام گیرد.

ل. ساختار شکست کار باید تطابق خوبی با سلسله‌مراتب کار داشته باشد. برای مثال در کارهای اجرایی یک پروژه ساختمانی توالی گودبرداری، کندن پی، بتن‌ریزی، اسکلت فلزی (بتنی)، سفت‌کاری و ظریف‌کاری و ... منطقی به نظر می‌رسد و لازم است در ساختار شکست کار این مراحل تفکیک بشوند.

م. ساختار شکست کار باید حداکثر تطابق را با شرکت‌های پیمانکاری و واگذاری کار به آن‌ها را داشته باشد. برای مثال در برخی از پروژه‌ها ممکن است قسمتی از پروژه به پیمانکاران واگذار شده و قسمتی را خود سازمان انجام دهد.

ن. در طول زمان پروژه باید انواع گزارش‌ها با سطوح مختلف مدیریتی تهیه و به مسئولان مربوطه ارائه شود. گزارشی که از پیشرفت پروژه برای آقای وزیر تهیه شده یا برای بانک (مسئول مالی پروژه) یا مدیران کل و مشتریان و مجریان (برای مثال تکنیسین اجرا) تفاوت‌های عمده‌ای دارد. ساختار شکست کار باید به گونه‌ای تهیه شود که بتوان از آن برای سطوح مختلف مدیریتی گزارش‌های مناسب تهیه کرد.

## ۶.۲.۳ فواید ساختار شکست کار

- ساختار شکست کار، شرح کاملی است از مراحل انجام کارهایی که برای تکمیل پروژهٔ مورد نیاز است.
- ساختار شکست کار، یک پایهٔ منطقی برای واقعی کردن پیش‌بینی زمان و هزینه ارائه می‌دهد.
- ساختار شکست کار پایه و مبنای تکنیک‌های زمان‌بندی نظیر «نمودار برداری[1]» و «نمودار گره‌ای[2]» است.
- ساختار شکست کار این امکان را به مدیر پروژه می‌دهد که بتواند تمامی فعالیت‌ها و سطح‌بندی آنها را مشاهده کرده اطلاعات خوب و مفیدی را در خصوص پروژه کسب کند.
- ساختار شکست کار موجب اصلاح اشکالات پروژه در همان مراحل ابتدایی شده و از تأخیر این اصلاحات به اواخر کار پروژه جلوگیری می‌کند.
- ساختار شکست کار، امکان تهیه یک برنامه‌ریزی خوب را فراهم می‌کند.
- ساختار شکست کار، چارچوب مناسبی را به منظور کاهش هزینه‌ها، کاهش غیبت کارکنان، کاهش ضایعات و بهبود روحیهٔ کارکنان، ایجاد می‌کند.
- یکی از فواید مهم ساختار شکست کار این است که می‌توان از آن به عنوان یک استاندارد کنترل هزینه برای فعالیت‌های آتی پروژه، که ممکن است مشابه فعالیت‌های قبلی باشند استفاده کرد.

## ۷.۲.۳ نتیجه

ساختار شکست کار یکی از عناصر بسیار مهم در پروژه به منظور تعریف، برنامه‌ریزی، سازمان‌دهی و کنترل پروژه و نیز مبنای مهم برای تخمین زمان، هزینه و تخصیص منابع

---

1. Arrow Diagramming
2. Activity on Node

است. بنابراین باید برای تهیه آن زمان و دقت کافی صرف کرد. هرچه ساختار شکست کار دقیق‌تر و شفاف‌تر باشد سایر قسمت‌های کار نیز، مشخص‌تر و دقیق‌تر خواهد بود.

## تمرینات

۱. منشور پروژه و برگ شرح کار را تعریف کنید.
۲. ساختار شکست کار را تعریف کنید.
۳. انواع ساختار شکست کار را بیان کنید.
۴. یک ساختار شکست کار خوب چه خصوصیاتی باید داشته باشد؟
۵. فواید ساختار شکست کار کدام‌اند؟
۶. منظور از اینکه اجزای یک ساختار شکست کار خوب باید قابل‌اندازه‌گیری باشند چیست؟ منابع جمع‌آوری اطلاعات برای تهیه ساختار شکست کار کدام‌اند؟

# ۴

## زمان‌بندی پروژه

### اهداف فصل

**هدف کلی:** آشنایی دانشجویان با مدیریت زمان پروژه.

### اهداف جزئی

ـ آشنایی دانشجویان با مفهوم فعالیت و توالی و تخمین زمان فعالیت‌ها،
ـ آشنایی دانشجویان با انواع شبکه‌های برداری، گره‌ای و پیش‌نیازی،
ـ آشنایی دانشجویان با نحوهٔ محاسبه زمان پروژه در شبکه‌های برداری به روش مسیر بحرانی (CPM)
ـ آشنایی دانشجویان با شبکه‌های با زمان‌های احتمالی ( PERT).

زمان‌بندی پروژه عبارت است از تعیین و محاسبهٔ زمان شروع و خاتمهٔ فعالیت‌های پروژه (و نهایتاً کل پروژه). با توجه به رعایت تقدم و تأخر فعالیت‌ها و در نظر گرفتن وابستگی‌ها، در این مرحله، زمان‌بندی محاسبه‌شده بدون در نظر گرفتن هیچ‌گونه محدودیتی (اعم از بودجه، تجهیزات، نیروی انسانی و...)، انجام می‌شود و در فصول بعد، محدودیت‌ها به ترتیب اعمال شده و زمان‌بندی نهایی و اجرایی پروژه محاسبه می‌شود.

ـ برای زمان‌بندی فعالیت، اقداماتی بدین شرح باید صورت پذیرد:

- تهیه لیست فعالیت‌ها و توالی آنها،
- تخمین زمان انجام فعالیت‌ها،
- ایجاد و توسعه زمان‌بندی،
- کنترل زمان‌بندی.

در ادامه به بحث و بررسی اقدامات لازم برای زمان‌بندی می‌پردازیم.

## ۱.۴ تهیه فهرست فعالیت‌ها و توالی آنها

در این قسمت دو موضوع مورد بحث قرار می‌گیرد:

- تهیه فهرست فعالیت‌ها،
- توالی فعالیت‌ها.

### ۱.۱.۴ تهیه فهرست فعالیت‌ها

عبارت است از شناسایی و مستندسازی و تهیه فهرست فعالیت‌هایی که در خصوص تولید اقلام یا زیراقلام قابل تحویل می‌بایست به اجرا درآیند. فرایند مذکور، به طور ضمنی، نیازمند تعریف فعالیت‌ها به نحوی است که رسیدن به اهداف پروژه را در آینده میسر کند.

روش‌های مختلفی برای تعریف فعالیت‌ها وجود دارد که عبارت‌اند از:

**تجزیه**[1]: همان‌گونه که قبلاً اشاره شد، آخرین سطح ساختار شکست کار، از فعالیت‌ها و یا «بسته‌های کاری[2]» تشکیل شده است. در این مرحله عمل تجزیه، معادل تقسیم بسته‌های کاری، به اجزا و مؤلفه‌های کوچکتر و مدیریت‌پذیرتر مرتبط است، تا از این طریق امکان اعمال کنترل مدیریتی بهتر بر آنها را فراهم آورد. ساختار شکست کار و فهرست فعالیت‌ها معمولاً به توالی یکدیگر ایجاد می‌شوند؛ بدین صورت که ساختار شکست کار، به عنوان مبنایی برای ایجاد و توسعهٔ فهرست نهایی فعالیت‌ها عمل می‌کند. در پاره‌ای از زمینه‌های کاری، ساختار شکست کار و فهرست فعالیت‌ها هم‌زمان و به‌موازات یکدیگر ایجاد شده و توسعه می‌یابند.

---

1. Decomposition
2. Work Packages

**الگوها**[1]: یک فهرست فعالیت یا بخشی از فهرستی که به پروژهٔ پیشین تعلق دارد، غالباً به عنوان الگویی برای پروژهٔ جدید، استفاده می‌شود. فعالیت‌های موجود در الگوها، همچنین می‌توانند، دربردارندهٔ فهرستی از میزان مهارت منابع و ساعات کاری مورد نیاز، شناسایی ریسک‌های مختلف، اقلام قابل تحویل مورد انتظار و اطلاعات توصیفی دیگری نظیر موارد فوق باشند.

با شناسایی فعالیت‌ها، «فهرست فعالیت‌ها[2]» تهیه خواهد شد که دربردارندهٔ تمامی فعالیت‌هایی است که در خلال یک پروژه، اجرا می‌شوند. از سوی دیگر فهرست فعالیت‌ها نیز باید، به شکل ضمیمه‌ای برای ساختار شکست کار، سازمان‌دهی شود، تا از این طریق به تضمین کامل بودن ساختار شکست کار و همچنین عدم شمولیت هیچ‌یک از فعالیت‌هایی که به عنوان بخشی از محدودهٔ پروژه، نیازی به اجرای آنها نیست، کمک کند. فهرست فعالیت‌ها نیز می‌بایست، همچون ساختار شکست کار، دربردارندهٔ توضیحاتی پیرامون هر یک از فعالیت‌ها باشد تا درک صحیح اعضای تیم پروژه را از نحوهٔ اجرای فعالیت‌ها تضمین کند.

در طی استفاده از ساختار شکست کار به منظور شناسایی فعالیت‌های موردنیاز، این امکان وجود دارد که تیم پروژه، اقلام قابل تحویل جاافتاده‌ای را شناسایی یا بعضاً توصیفات مرتبط با برخی از اقلام قابل تحویل را ناکافی و نیازمند اصلاح و تشریح تشخیص دهد. تغییر این موارد و هرگونه به‌روزرسانی نظیر موارد فوق، همواره می‌بایست در ساختار شکست کار پروژه و سایر مستندات مرتبط، نظیر، برآوردهای هزینه‌ای صورت می‌گیرد.

## ۲.۱.۴ توالی فعالیت‌ها

توالی فعالیت، به شناسایی و مستندسازی روابط منطقی میان فعالیت‌ها می‌پردازد. در ویراست دوم کتاب *راهنمای پیکره دانش مدیریت پروژه*، (۲۰۰۰) در صفحه ۶۸ چهار نوع توالی و پیش‌نیازی تعریف می‌شود که عبارت‌اند از:

ـ توالی یا پیش‌نیازی اجباری[3]،

---

1. Templates
2. Activity List
3. Mandatory dependencies

- توالی یا پیش‌نیازی عرفی[1]،
- توالی یا پیش‌نیازی خارجی[2]،
- سنگ‌نشان‌ها[3].

**توالی یا پیش‌نیازی اجباری:** آن دسته از پیش‌نیازی‌هایی است که به خصوصیت ذاتی فعالیت‌ها و طبیعت کاری آنها بستگی دارد. این نوع پیش‌نیازی و توالی به محدودیت‌های فیزیکی وابسته‌اند. برای مثال در یک پروژه ساختمانی توالی اجباری بین دو فعالیت «پی‌ریزی» و «سقف زدن» برقرار است. ابتدا باید پی‌ریزی ساختمان تکمیل و سپس سقف زده شود. از این نوع توالی یا وابستگی به عنوان «منطق سخت[4]» نیز نام برده می‌شود.

**توالی یا پیش‌نیازی عرفی:** آن دسته از پیش‌نیازی‌ها هستند که از نظر فیزیکی اجباری نبوده و در عرف حرفه‌ای‌ها و متخصصان این توالی تعریف می‌شود. این نوع توالی برخاسته از خصوصیات فنّاوری بوده یا نوعی هنجار اجتماعی و کاری است که به صلاحدید متخصصان بستگی دارد. برای مثال در یک پروژهٔ لوله‌کشی آب و سیم‌کشی برق یک توالی عرفی در عرف متخصصان این صنعت جا افتاده است. اگر اجباری در کار پیش آید یا اگر زمان‌بندی پروژه با مشکل روبه‌رو شود این توالی را می‌توان به هم ریخت و برخلاف عرف عمل کرد. این نوع توالی یا پیش‌نیازی یا وابستگی «توالی نرم[5]» نیز نامیده می‌شود.

**توالی یا پیش‌نیازی خارجی:** آن دسته از پیش‌نیازی‌ها هستند که ارتباط بین فعالیت‌های پروژه و بیرون پروژه را بیان می‌کنند. برای مثال فعالیت آزمون در یک پروژهٔ نرم‌افزاری که وابستگی به تحویل یک سخت‌افزار از یک منبع خارجی دارد.

**سنگ‌نشان‌ها:** واقعه‌های مهمی هستند که با وقوع آنها مشخص می‌شود که یک‌سری توالی یا پیش‌نیازی‌ها صورت پذیرفته‌اند.

---

1. Discretionary dependencies
2. External dependencies
3. Milestones
4. Hard logic
5. Soft logic

هارولد کرزنر (۲۰۰۶) در نسخهٔ نهم کتاب خود صفحه ۴۷۹ سه نوع توالی اول را برشمرده و فقط به ذکر آنها اکتفا کرده است. به طور کلی به نظر می‌رسد از بین توالی‌های ذکرشده دو توالی اجباری و عرفی اهمیت بیشتری دارند؛ به‌گونه‌ای که اغلب روش‌های زمان‌بندی با تجدیدنظر در این وابستگی‌ها سعی می‌کنند در زمان‌بندی پروژه بهبود ایجاد کنند.

## ۲.۴ تخمین زمان انجام فعالیت‌ها[1]

تخمین مدت‌زمان فعالیت‌ها، فرایند به‌کارگیری اطلاعات گردآوری‌شده به‌منظور برآورد زمان انجام فعالیت‌هاست. در این فرایند باید از افراد باتجربه و آشنا به ماهیت کار بیشتر باید استفاده شود. برآوردهای مذکور، ضمن در نظر گرفتن کیفیت و میزان دسترسی به اطلاعات ورودی، به‌تدریج گسترش یافته و جامع‌تر می‌شوند؛ بنابراین می‌توان همواره چنین تصور کرد که این تخمین‌ها به مرور زمان، دقیق و دقیق‌تر شده و به حد قابل قبولی از کیفیت می‌رسند. همواره فرد یا گروهی که در تیم پروژه، بیشترین میزان آشنایی را با طبیعت و ذات یک فعالیت ویژه دارد، می‌بایست مدت‌زمان انجام آن را برآورد کرده یا دست‌کم، تأیید کند.

برآورد تعداد دوره‌های کاری (مثلاً روز یا هفته) مورد نیاز جهت تکمیل هر فعالیت، اغلب نیازمند توجه به گذر زمان است. برای مثال: در صورتی که فعالیت عمل‌آوری بتن، نیازمند ۴ روز گذر زمان باشد، در این صورت بسته به شرایط و موقعیت‌های ذیل، ممکن است برای تکمیل آن از ۲ تا ۴ دورهٔ کاری (در اینجا روز)، زمان لازم باشد.

برای تخمین زمان انجام فعالیت‌ها لازم است مشخص شود که:

- کار در چه روزی از هفته آغاز شده است؟
- آیا روزهای پایانی هفته به عنوان دوره‌های کاری در نظر گرفته می‌شود؟

نرم‌افزارهای زمان‌بندی کامپیوتری، مشکل فوق را با بهره‌گیری از تقویم‌های کاری جایگزین، مرتفع کرده‌اند.

پس از تهیه ساختار شکست کار، مدت‌زمان انجام فعالیت‌ها تخمین زده خواهد شد. تخمین، کار دشواری است زیرا عوامل زیادی بر دقت تخمین اثر می‌گذارند.

---

1. Estmiating

### ۱.۲.۴ فواید تخمین

- تخمین زمان، یک برآورد اولیه از زمان مورد نیاز برای انجام فعالیت‌ها و کل پروژه را ارائه می‌دهد. بدون این اطلاعات، نمی‌توان برآورد خوب و دقیقی از زمان انجام پروژه به دست آورد.
- با تخمین می‌توان فعالیت‌های بحرانی و فعالیت‌های دارای فرجهٔ زمانی را مشخص کرد.
- با تخمین می‌توان سطح منابع مورد نیاز برای انجام فعالیت‌ها و کل پروژه را محاسبه و آن را بهینه کرد.
- چنانچه تخمین‌ها دقیق و مورد اطمینان باشند، معیار مناسبی جهت ارزیابی درصد پیشرفت فعالیت‌ها بوده و با توجه به آن می‌توان میزان کارایی افراد را نیز سنجید.

### ۲.۲.۴ روش‌های تخمین زمان

معمولاً از روش‌های متداول ارزیابی کار و زمان یا زمان‌سنجی برای تخمین زمان پروژه‌ها استفاده نمی‌شود؛ زیرا این روش‌ها معمولاً برای کارهای تکراری به کار رفته و نیاز به تعدادی «نمونهٔ مشاهده» دارد. همان‌گونه که گفته شد پروژه‌ها ماهیتی غیرتکراری دارند به همین دلیل باید از روش‌های مناسب‌تری استفاده کرد. برخی ازاین روش‌ها عبارت‌اند از:

**قضاوت کارشناسانه**[1]: برآورد مدت‌زمان فعالیت‌ها، به لحاظ تعداد عوامل دخیل و مؤثر بر آنها نظیر سطوح دسترسی به منابع یا بهره‌وری آنها، اغلب مشکل است. نظرات و قضاوت‌های کارشناسانه که از اطلاعات و سوابق پیشین الگو گرفته‌اند، همواره می‌بایست تا سرحد امکان مورد استفاده قرار گیرند. در صورت عدم دسترسی به چنین کارشناسانی، برآوردها اساساً نامطمئن و پرمخاطره خواهند بود.

**برآورد قیاسی**[2]: منظور از برآورد قیاسی که به آن، «برآورد از بالا به پایین[3]» نیز گفته می‌شود، استفاده از مدت‌زمان واقعی اجرای فعالیت مشابه پیشین به مثابه مبنایی برای برآورد مدت‌زمان اجرای فعالیت آتی است. در برآورد مدت‌زمان اجرای پروژه، هنگامی

---

1. Expert Judgment
2. Analogous Estimating
3. Top-Down Estimating

که حجم محدودی از اطلاعات، دربارهٔ پروژه وجود دارد (برای مثال در خلال مرحله‌های پروژه)، رویه مذکور مکرراً استفاده می‌شود.

برآورد قیاسی، نوعی قضاوت کارشناسانه است. برآورد قیاسی، بیشتر زمانی قابل اعتماد است که فعالیت‌های پیشین، کاملاً شبیه فعالیت مورد نظر و افراد تهیه‌کننده این برآوردها، از تخصص لازم برخوردار باشند.

روش‌های دیگری نیز نظیر حدس و گمان، تخمین بر اساس تجارب گذشته، روش داده‌های استاندارد یا سایر روش‌های مشابه وجود دارد که می‌توان از آنها به منظور تخمین زمان فعالیت‌های پروژه استفاده کرد. درمجموع بهترین راه برای تخمین زمان فعالیت‌ها و زمان پروژه استفاده از نظر کارشناسان است.

### ۳.۲.۴ موانع انجام تخمین دقیق

موانع زیادی بر سر راه تخمین دقیق زمان یک فعالیت وجود دارد که اهم آنها عبارت‌اند از:

**کمبود اطلاعات:** عدم اطلاع کافی از نحوه و چگونگی انجام یک فعالیت مانع تخمین دقیق زمان انجام آن می‌شود که کارهای تحقیقاتی عموماً این‌گونه هستند.

**عدم همکاری:** در برخی مواقع عدم همکاری مشتری، یا مدیران میانی یا اعضای تیم پروژه باعث تخمین‌های نامناسب زمانی شده که این موجب شکست پروژه یا انجام ضعیف آن خواهد شد.

**فشار مدیریت:** برخی مواقع مدیریت تمایل دارد پروژه در یک مدت‌زمان مشخص به اتمام برسد، به همین دلیل، افراد، تحت فشار مدیریت تخمین‌های زمانی غیرواقعی ارائه می‌کنند.

**کمبود وقت:** در برخی مواقع به علل مختلف زمان ارائهٔ تخمین، دارای محدودیت زمانی بوده و زمان کافی برای مشورت و همفکری با کارشناسان و افراد صاحب‌نظر، به منظور ارائهٔ تخمین زمانی دقیق و صحیح، وجود ندارد. نظیر محدودیت زمان برای شرکت در یک مناقصه، برای مثال تا دو روز دیگر امکان شرکت در مناقصه به پایان می‌رسد. در این صورت امکان بررسی دقیق و کافی وجود ندارد.

**ارتباط ضعیف بین اهداف و نیازمندی‌ها:** همان گونه که در مباحث قبلی گفته شد برای انجام یک پروژه باید اهداف آن به‌خوبی تعریف و سپس بر اساس این اهداف با روش ساختار شکست کار اهداف به محصولات، مجموعه‌ها، زیرمجموعه‌ها و درنهایت به فعالیت‌ها تقسیم شود. چنانچه بین این مراحل ارتباطی منطقی و صحیح برقرار نشود، نهایتاً تخمین زمانی پروژه نیز دقیق نخواهد بود.

**شخصیت فرد تخمین‌زننده:** افراد از نظر روان‌شناسی در تخمین زمان فعالیت‌ها مختلف‌اند. برخی به طور کلی از ارائه تخمین اکراه دارند و خیلی دیر و با بررسی‌ها و حساسیت‌های زیاد، تخمین زمانی فعالیت‌ها را ارائه می‌دهند؛ و در مقابل برخی دیگر، خیلی سریع، بی‌مهابا و بدون بررسی لازم، به تخمین زمان فعالیت‌ها مبادرت می‌کنند. برخی دیگر نیز تخمین‌های زمانی را با تنگ‌نظری و برخی با گشاده‌دستی ارائه می‌دهند.

**فاصلهٔ زیاد جغرافیایی:** گاهی بُعد مسافت بین اعضای تیم، مدیر پروژه، مشتری و محل انجام پروژه، مانع تخمین دقیق می‌شود.

لازم به ذکر است که برای تخمین زمانی دقیق و صحیح، باید تمامی سعی و تلاش خود را به کاربست، اما در اغلب موارد، تخمین‌های زمانی، دور از اشتباه نبوده و نیاز به بازنگری و تصحیح دارند.

### ۴.۲.۴ انواع تخمین زمان

عموماً تخمین زمان به یکی از اشکال زیر صورت می‌گیرد.

**تخمین قطعی:** در این نوع تخمین یک زمان «معین» و «قطعی» برای انجام فعالیت برآورد می‌شود این روش بیشتر در کارهای تکراری (نظیر کارهای ساختمانی) استفاده می‌شود.

**تخمین سه زمانی:** در این نوع تخمین سه زمان «خوش‌بینانه»، «محتمل‌ترین» و «بدبینانه» برای انجام فعالیت در نظر گرفته می‌شود. این نوع تخمین عموماً در شبکه‌های احتمالی استفاده می‌شود.

**تخمین تابع توزیع:** در این روش ابتدا تابع توزیع زمان انجام یک فعالیت و سپس با استفاده از تابع مولد گشتاور، میانگین و واریانس زمان انجام فعالیت تخمین زده می‌شود. این نوع تخمین، دارای محاسبات سنگین و پیچیده و نیز دقت مشخص است. این روش بیشتر در شبیه‌سازی‌ها استفاده می‌شود.

**تخمین فاصله‌ای:** در این روش زمان انجام یک فعالیت به صورت یک فاصلهٔ زمانی برای مثال ۳ تا ۴ روز تخمین زده می‌شود. این روش از پیچیدگی‌های خاصی برخوردار است. البته در این زمینه حاجی یخچالی و قدسی‌پور الگوریتمی برای محاسبهٔ زودترین و دیرترین زمان شروع و ختم فعالیت‌های یک پروژه ارائه کرده‌اند. برای اطلاعات بیشتر به مقالات حاجی یخچالی و قدسی‌پور (a۲۰۱۱)[1] و (b۲۰۱۱)[2] مراجعه شود.

**تخمین فازی:** در این روش زمان انجام یک فعالیت به صورت اعداد فازی ارائه می‌شود.

### ۵.۲.۴ فرضیات مهم در برآورد زمان

- در اغلب موارد، واحد برآورد زمان، روز، هفته یا ماه است و به‌ندرت از زمان‌های دیگر نظیر ساعت یا سال استفاده می‌شود. در هر صورت لازم است که یک «واحد زمانی ثابت» برای تمامی فعالیت‌های پروژه در نظر گرفته شود.
- اتفاقات غیرقابل‌کنترل و پیش‌بینی، نظیر آتش‌سوزی، سیل، زلزله و اعتصابات در تخمین‌ها در نظر گرفته نمی‌شوند.
- مدت‌زمان اجرای یک فعالیت در هر پروژه از مدت‌زمان اجرای سایر فعالیت‌های آن پروژه مستقل است.

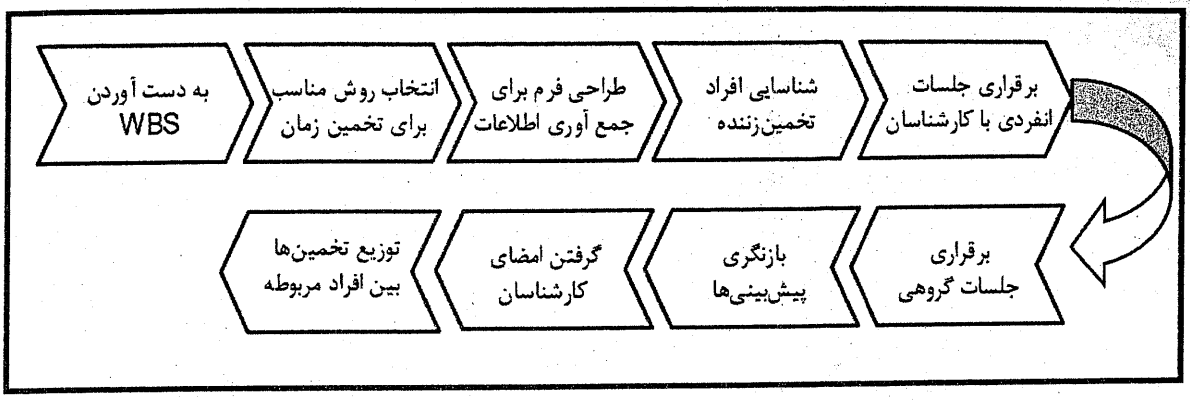
### ۶.۲.۴ مراحل تخمین زمان

برای تخمین مناسب و صحیح مدت‌زمان فعالیت‌ها مراحل زیر باید طی شود:

- ابتدا باید ساختار شکست کار تهیه شود.
- سپس بر اساس میزان مستندات و اطلاعات موجود و میزان دقت مورد نیاز در تخمین زمانی، روشی مناسب برای تخمین زمان‌ها انتخاب شود،
- در این مرحله لازم است فرم مناسبی به منظور جمع‌آوری نظام‌مند (سیستماتیک) تخمین زمان طراحی شود. این فرم باید شامل نام فعالیت، کد فعالیت، شرح فعالیت، زمان اجرا، تجهیزات مورد نیاز، وابستگی‌ها و نوع آن، نام کارشناسان پروژه و محصول باشد،

---

1. Haji-Yakhchali, S. Ghodsypour S.H (2011a)
2. Ibid (2011b)




شکل ۱.۴ نمایش مراحل تخمین زمان.

کارشناسان مناسب را جهت تخمین شناسایی و زمان انجام فعالیت‌ها را با نظر ایشان برآورد کنید،

- چنانچه از طرق گوناگون یا با استفاده از چند تیم متفاوت، به تخمین زمان‌ها اقدام شود و این تخمین‌ها با یکدیگر متفاوت باشد باید جهت حل اختلافات جلساتی با پیش‌بینی‌کنندگان برگزار و در خصوص زمان‌ها توافق حاصل شود،
- لازم است فرم‌های نهایی تخمین زمان به امضا و تأیید تمامی افراد ذی‌ربط برسد؛ زیرا چنانچه افراد بدانند که در پایان کار تخمین، باید نتیجهٔ کار خود را به عنوان سند ارائه و تأیید کنند در تخمین مدت زمان فعالیت‌ها بیشتر دقت می‌کنند،
- در پایان، اسناد تأییدشده که حاوی زمان‌های تخمینی است، فقط باید در بین افراد ذی‌ربط توزیع شود. مراحل تخمین زمان در شکل ۱.۴ ارائه شده است:

## ۳.۴ ایجاد و توسعهٔ زمان‌بندی

همان‌گونه که گفته شد، «زمان‌بندی» عبارت است از تعیین و محاسبهٔ زمان شروع و ختم هر فعالیت (و درنهایت کل پروژه) با توجه به رعایت تقدم و تأخر آنها و در نظر گرفتن وابستگی‌ها.

برنامهٔ زمان‌بندی علاوه بر اینکه زمان شروع و ختم هر فعالیت را ارائه می‌کند دستور اصلی اجرای پروژه نیز هست.

درواقع منظور از ایجاد و توسعهٔ زمان‌بندی، تعیین تاریخ آغاز و پایان تمامی فعالیت‌های یک پروژه است. در صورت غیرواقع‌بینانه بودن تاریخ‌های آغاز و پایان فعالیت‌های یک پروژه، بعید است که پروژهٔ مورد نظر، مطابق با زمان‌بندی خود پایان پذیرد. فرایند ایجاد و توسعهٔ زمان‌بندی (همراه با سایر فرایندهایی که ورودی‌ها را مهیا

می‌کنند، مخصوصاً برآوردهای دوگانه هزینه و زمان) اغلب باید، پیش از تعیین برنامه زمان‌بندی پروژه، بارها و بارها مرور و کنترل شوند.

فواید زمان‌بندی را می‌توان به‌صورت زیر برشمرد:

- شروع و پایان هر فعالیت و درنهایت زمان شروع و ختم کل پروژه را مشخص می‌کند،
- توالی عملیات و وابستگی فعالیت‌ها را نسبت به یکدیگر، مشخص می‌کند،
- در اثر نداشتن زمان‌بندی، انجام فعالیت‌ها، باکیفیت پایین، کارایی کم، هزینهٔ زیاد، اتلاف نیروی انسانی و طولانی شدن زمان همراه خواهد بود،
- با زمان‌بندی می‌توان درصد پیشرفت پروژه را تعیین و مشخص کرد که کدام فعالیت‌ها نیمه‌کاره‌اند، کدام فعالیت‌ها به پایان رسیده‌اند و کدام فعالیت‌ها باید آغاز شوند.

## ۱.۳.۴ روش‌های زمان‌بندی

روش‌های مختلفی برای نمایش زمان‌بندی پروژه وجود دارد که عمده آنها عبارت‌اند از:

- نمودارگانت،[1]
- شبکه‌ها.

که در ادامه، توضیح داده خواهد شد.

### ۱.۱.۳.۴ نمودار گانت

«نمودار گانت» یا «نمودار میله‌ای» یا «بارچارت» یک نمایش ساده از فعالیت‌ها و زمان اجرای آنهاست که روی یکی از محورهای این نمودار شرح یا کد فعالیت و روی محور دیگر زمان انجام فعالیت نشان داده می‌شود.

نمودار میله‌ای حتماً باید دارای مقیاس زمان باشد. این مقیاس ممکن است به ثانیه، دقیقه، ساعت، روز، هفته، ماه، سال یا هر واحد زمانی دیگری متناسب با پروژه باشد.

هر نمودار میله‌ای دارای دو قسمت توخالی و هاشورخورده است که قسمت توخالی مربوط به کل مدت‌زمان برنامه‌ریزی‌شده برای فعالیت و قسمت هاشورخورده مربوط به اجرا یا میزان پیشرفت کار است.

در این نمودار وابستگی‌ها، دیرترین و زودترین زمان‌های ختم و شروع فعالیت‌ها، مسیر بحرانی و زمان شناوری نشان داده نمی‌شود.

---

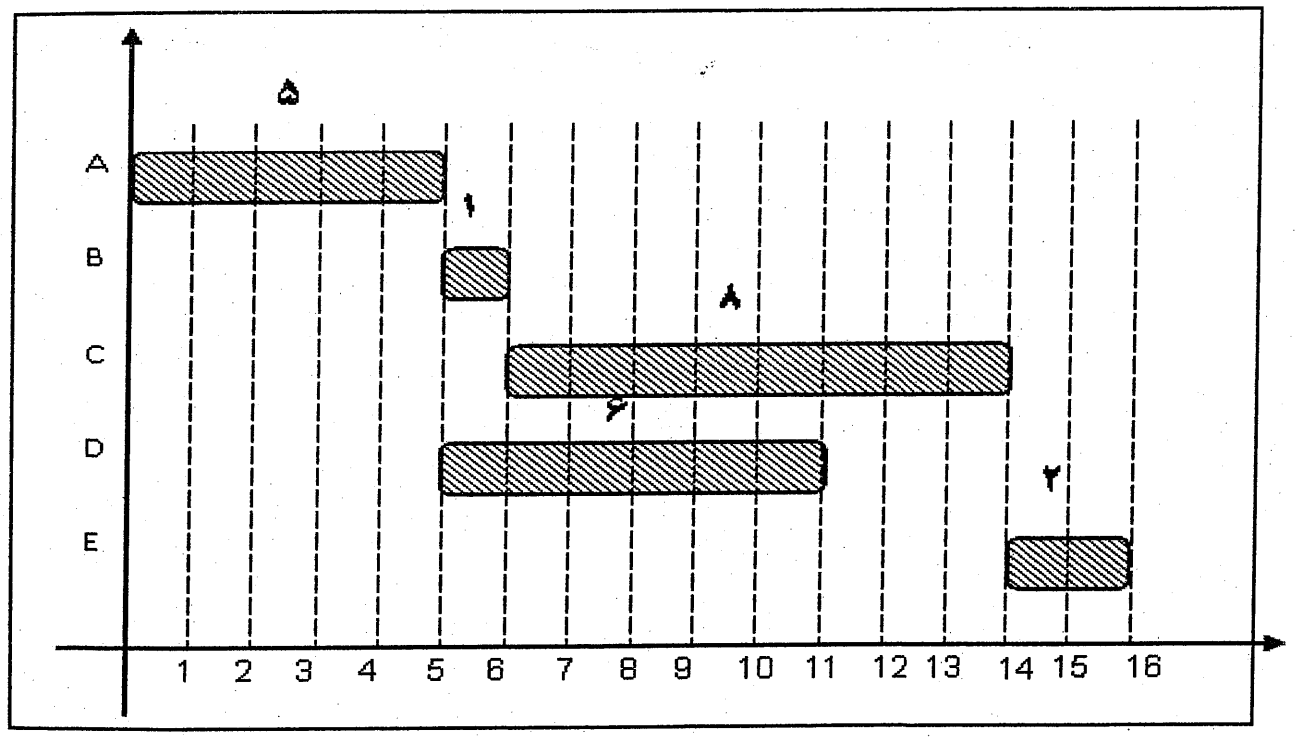
1. Gantt Chart

مهم‌ترین ویژگی این نمودارها این است که بسیار ساده بوده و برای عموم افراد به‌راحتی قابل‌درک است؛ از این رو با تمام نقایصی که برای این نمودارها، ذکر شده، هنوز هم کاربرد داشته و در ارائهٔ بسیاری از گزارشات به مدیران ارشد یا برخی از مسئولان بالاتر استفاده می‌شوند.

مثال: برای تأمین کمبود نیروی برق منطقه‌ای در نظر است پروژه زیر انجام شود:

| فعالیت | شرح | مدت‌زمان | وابستگی |
|---|---|---|---|
| A | مطالعهٔ میزان کمبود و تعیین ظرفیت و محل و نوع نیروگاه | ۵ | – |
| B | انجام سفارشات به کارخانهٔ سازندهٔ نیروگاه | ۱ | A |
| C | حمل و نصب نیروگاه | ۸ | B |
| D | ساختمان خطوط انتقال و ترانسفورماتور | ۶ | A |
| E | اتصال به شبکهٔ توزیع و بهره‌برداری آزمایشی | ۲ | D,C |

در شکل ۲.۴ فعالیت‌های این پروژه، روی یک نمودار گانت نشان داده شده است.




**شکل ۲.۴** نمودار گانت مثال تأمین کمبود نیروی برق منطقه‌ای.

همان‌گونه که اشاره شد نمودار گانت به علت سهولت در فهم و انتقال اطلاعات، کاربرد فراوانی دارد اما با توجه به نقایص و کمبودهای این نمودارها، شبکه‌هایی بدین شرح طراحی شده‌اند:

#### ۲.۱.۳.۴ شبکه‌ها

شبکه‌ها عبارت‌اند از نمایش گرافیکی یک پروژه که ارتباط بین فعالیت‌های مختلف را نشان می‌دهد. شبکه‌ها برحسب اینکه زمان انجام فعالیت قطعی یا غیرقطعی باشد به دو دسته تقسیم می‌شوند:

**شبکه‌های قطعی:** در این شبکه‌ها زمان انجام فعالیت و نیز پیامد آنها قطعی است. این شبکه‌ها عبارت‌اند از:

- شبکه‌های برداری،[۱]
- شبکه‌های گره‌ای،[۲]
- شبکه‌های پیش‌نیازی.[۳]

در برخی منابع از این شبکه‌ها با عنوان شبکه‌های «سنتی» نیز یاد می‌شود.

**شبکه‌های غیرقطعی:** این شبکه‌ها به دو گروه زیر تقسیم می‌شوند:

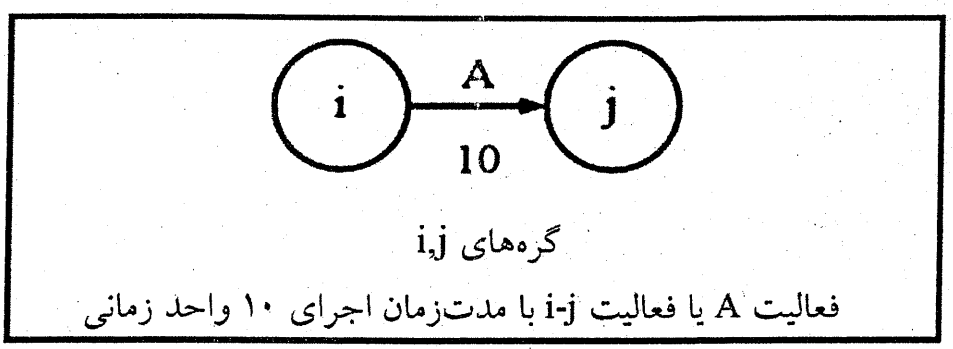
- زمان انجام فعالیت غیرقطعی ولی پیامد فعالیت قطعی است. این شبکه‌ها را شبکه‌های «پرت»[۴] می‌نامند که همان عبارت «تکنیک ارزیابی و مرور پروژه» است.
- زمان انجام فعالیت و پیامد غیرقطعی را شبکه‌های «گرت[۵]» یا «تکنیک ارزیابی گرافیکی و مرور پروژه» می‌نامند.

### ۲.۳.۴ شبکه‌های برداری

شبکهٔ برداری نوعی شبکه است که در آن فعالیت‌ها روی بردارها و واقعه‌ها روی گره‌ها نشان داده می‌شوند. بردارها بیانگر وابستگی فعالیت‌ها هستند. در شکل ۳.۴ یک فعالیت در شبکهٔ برداری نشان داده‌شده است.

---

1. Activity on Arrow(AoA) - Arrow scheme- Arrow Network
2. Activity on Node (AON) – Node Scheme, Node Network
3. Precedence Diagramming Method (PDM) Precedence Network (PN)
4. Project Evaluation and Review Technique (PERT)
5. Graphical Evaluation and Review Technique (GERT)




**شکل ۳.۴** نمایش یک فعالیت در شبکهٔ برداری.

در ترسیم و استفاده از شبکه‌ها اصطلاحاتی مورد استفاده قرار می‌گیرد که بیان آنها ضروری به نظر می‌رسد:

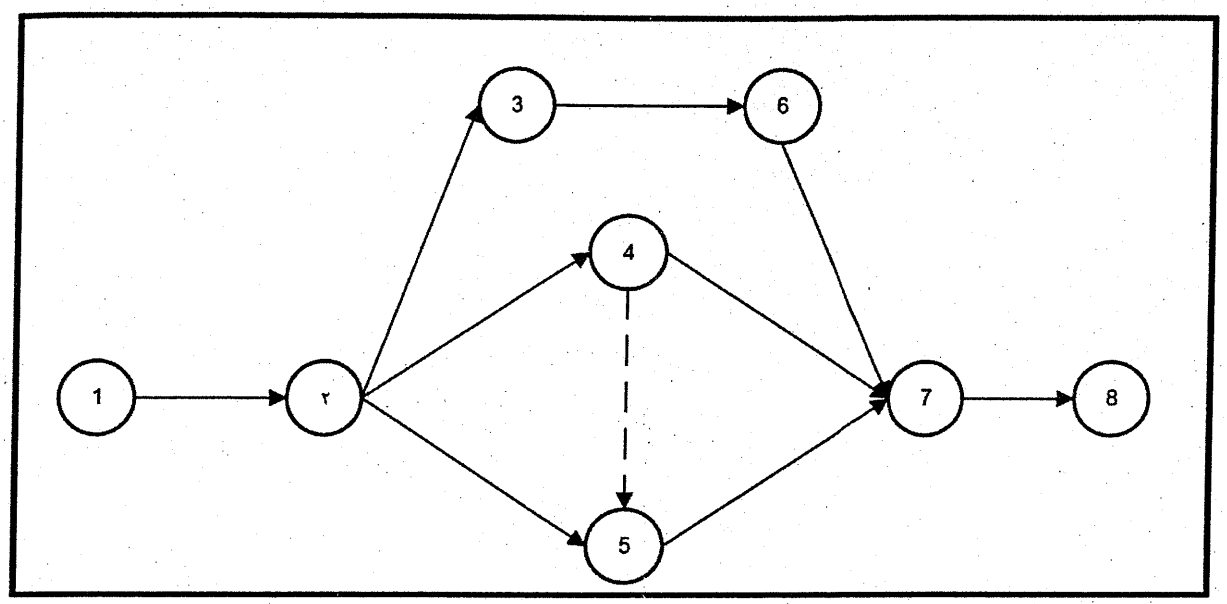
**فعالیت:** قسمتی از پروژه که برای اجرای آن به منبع نیاز است را فعالیت می‌نامیم. یک فعالیت دارای زمان شروع و زمان ختم است. در شبکه‌های برداری، هر فعالیت روی یک بردار نشان داده‌شده و عموماً در زیر بردار مدت‌زمان انجام آن فعالیت ذکر می‌شود. بردارهای خط‌چین فقط نشان‌دهنده وابستگی بوده که آن را یک فعالیت مجازی[۱] می‌نامیم. برای انجام فعالیت مجازی به هیچ منبعی نیاز نداریم و زمان آن نیز صفر است.

**پیش‌نیازی:** هرگاه برای آغاز فعالیت B نیاز به خاتمه یافتن فعالیت دیگر نظیر A باشد بنا به تعریف چنین بیان می‌شود: فعالیت B به فعالیت A وابسته است یا فعالیت A پیش‌نیاز فعالیت B است. یا به عبارت دیگر فعالیت B هنگامی آغاز می‌شود که فعالیت A خاتمه یافته باشد.

**واقعه**[۲]: شروع یا پایان هر فعالیت را بنا به تعریف واقعه گویند. واقعه، گره[۳] یا واصل[۴] نیز نامیده می‌شود. در شکل ۴.۴ و تمامی واقعه‌ها به صورت دایره‌های کوچک با شماره‌های از ۱ تا ۸ مشخص شده‌اند. واقعه‌هایی که نقطهٔ شروع چند فعالیت باشد را واقعهٔ جوششی [۵] گویند نظیر واقعه‌های ۲ و ۴ در شکل ۴.۴ و واقعه‌هایی که نقطهٔ ختم چند فعالیت هستند را واقعه‌های پوششی [۶] گویند، نظیر واقعه‌های ۵ و ۷ در شکل ۴.۴.

---

1. Dummy
2. Event
3. Node
4. connector
5. Burst Event
6. Merge Event




شکل ۴.۴ نمایی از یک شبکه برداری.

### ۱.۲.۳.۴ قواعد ترسیم شبکه‌های برداری

برای ترسیم شبکهٔ برداری باید قواعد زیر رعایت شود:

**قاعدهٔ اول:** قبل از رسم یک فعالیت، باید تمام فعالیت‌های ماقبل آن، که در شبکه از نظر اجرایی مقدم هستند، رسم شده باشند.

**قاعدهٔ دوم:** یک بردار فقط نشان‌دهندهٔ وضعیت تقدم-تأخر انجام فعالیتی است که با آن بردار معرفی می‌شود. طول بردار و زاویهٔ آن بیانگر هیچ‌گونه ارزشی در شبکه نیست.

**قاعدهٔ سوم:** در شماره‌گذاری واقعه‌های شبکه، شمارهٔ واقعه‌ها باید منحصربه‌فرد و غیرتکراری باشد.

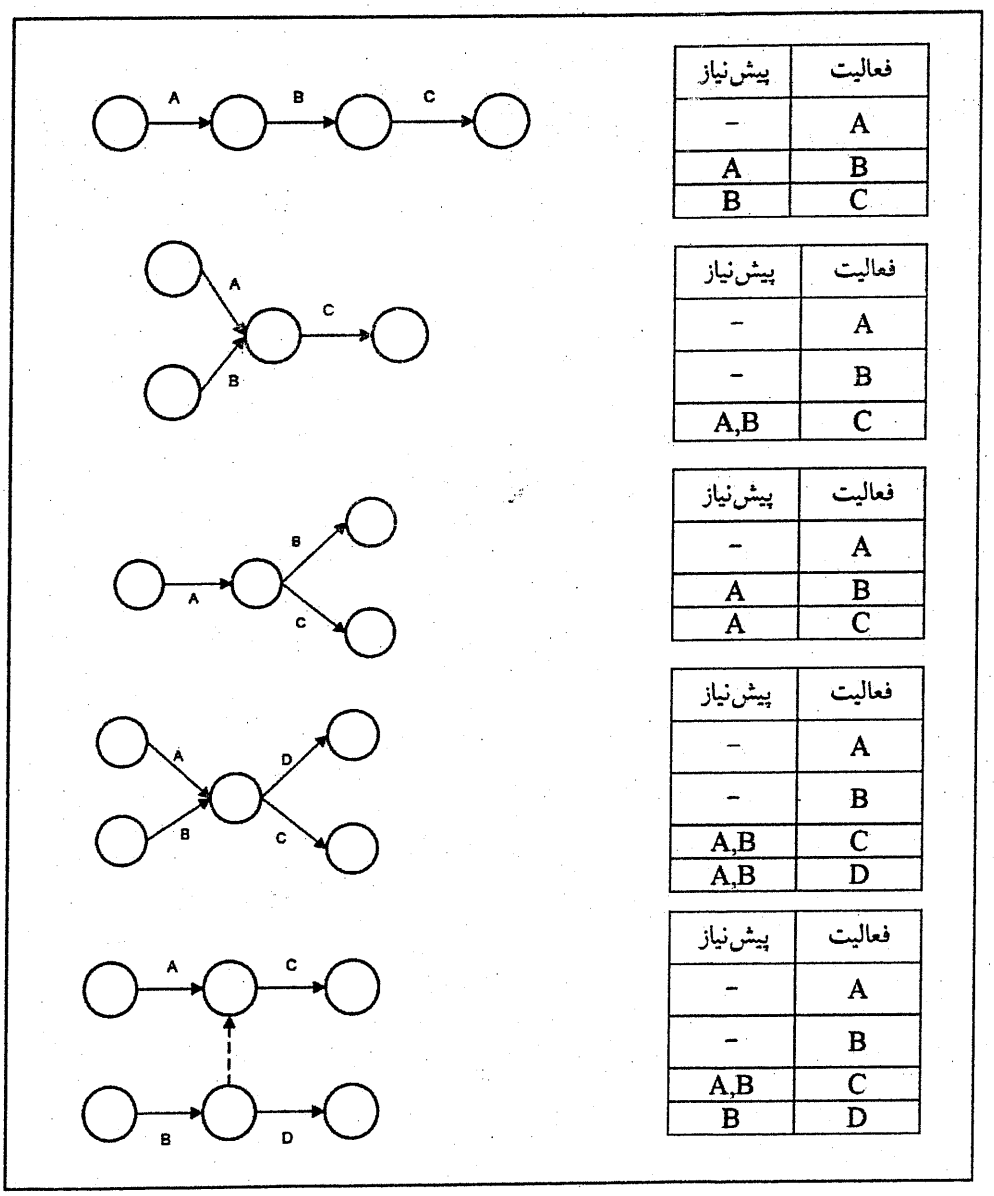
**قاعدهٔ چهارم:** هر دو واقعه را فقط با یک بردار یا فعالیت می‌توان به یکدیگر مرتبط کرد.

**قاعدهٔ پنجم:** شبکه می‌تواند تنها یک واقعهٔ آغازین و یک واقعهٔ پایانی داشته باشد.

در شکل ۵.۴ چند نمونه از نمایش گرافیکی بخشی از یک پروژه (چند فعالیت) با پیش‌نیازی‌های مختلف نمایش داده شده است.

مثال ۱.۴ پروژه‌ای دارای فعالیت‌ها و روابط پیش‌نیازی بیان‌شده در جدول زیر است، شبکهٔ برداری مربوط به این پروژه را رسم کنید.

| فعالیت | پیش‌نیاز |
|---|---|
| A | – |
| B | – |
| C | A |
| D | B |
| E | D, C |
| F | D |




| فعالیت | پیش‌نیاز |
|---|---|
| A | – |
| B | A |
| C | B |

| فعالیت | پیش‌نیاز |
|---|---|
| A | – |
| B | – |
| C | A,B |

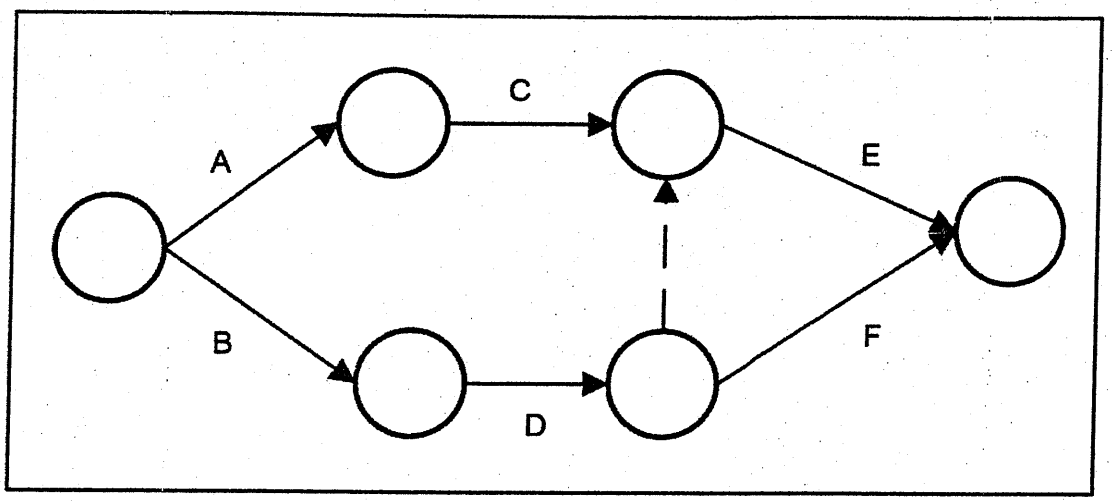
| فعالیت | پیش‌نیاز |
|---|---|
| A | – |
| B | A |
| C | A |

| فعالیت | پیش‌نیاز |
|---|---|
| A | – |
| B | – |
| C | A,B |
| D | A,B |

| فعالیت | پیش‌نیاز |
|---|---|
| A | – |
| B | – |
| C | A,B |
| D | B |

**شکل ۵.۴** چند نمونهٔ نمایش گرافیکی بخشی از یک پروژه (چند فعالیت).

حل: شبکه به صورت زیر خواهد بود:




**شکل ۶.۴** شبکهٔ مثال ۱.۴.

پس از تهیه ساختار شکست کار، تخمین زمان انجام فعالیت‌ها و رسم شبکه، باید به این پرسش‌های اساسی پاسخ داد که اجرای پروژه چه مدت‌زمان طول می‌کشد، در چه تاریخی باید پروژه شروع شود و چه زمانی خاتمه یابد؟ هر فعالیت چه هنگام آغاز شده و چه موقع به اتمام می‌رسد؟ برای پاسخ به این پرسش و محاسبهٔ زمان فعالیت‌ها و زمان پروژه، دو روش اساسی «مسیر بحرانی[۱]» و «پرت[۲]» مطرح است. اگرچه این دو روش تفاوت‌هایی با یکدیگر دارند اما دارای اصول و چارچوب یکسانی هستند، در ادامه ابتدا روش مسیر بحرانی و در قسمت‌های بعدی روش پرت مورد بحث قرار خواهد گرفت.

### ۲.۲.۳.۴ روش مسیر بحرانی

در روش مسیر بحرانی محاسبات شامل دو نوع حرکت در طول شبکه است:

- حرکت به جلو یا حرکت رفت[۳]،
- حرکت به عقب یا حرکت برگشت[۴]،

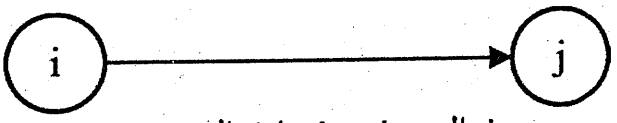
---

1. Critical Path Method (CPM)
2. PERT
3. Forward pass
4. Backward Pass

حرکت به جلو از واقعهٔ آغازین شروع شده و به واقعهٔ پایانی شبکه ختم می‌شود و در این حرکت «زودترین زمان شروع و ختم فعالیت‌ها و رخداد واقعه‌ها» محاسبه می‌شوند.

حرکت به عقب از واقعهٔ پایانی شروع شده و به واقعهٔ آغازین ختم می‌شود و در آن «دیرترین زمان شروع و ختم فعالیت‌ها و رخداد واقعه‌ها» محاسبه می‌شود.

**علائم و اصطلاحات:** برای یک فعالیت که دو گره $j,i$ را به هم وصل می‌کند، اختصارات و علائم زیر تعریف شده است:




فعالیت $i-j$ یا فعالیت $ij$

$D_{ij}$ = مدت‌زمان اجرای فعالیت $ij$

$E_i$ = زودترین زمان وقوع واقعه $i$

$L_i$ = دیرترین زمان وقوع واقعه $i$

$ES_{ij}$ = زودترین زمان شروع فعالیت $ij$

$EF_{ij}$ = زودترین زمان ختم فعالیت $ij$

$LS_{ij}$ = دیرترین زمان شروع فعالیت $ij$

$LF_{ij}$ = دیرترین زمان ختم فعالیت $ij$

$F_{ij} = S_{ij}$ = فرجهٔ کل یا شناوری کل برای فعالیت $ij$

$FS_{ij}$ = فرجهٔ آزاد برای فعالیت $ij$

**محاسبات حرکت رفت:** محاسبات حرکت رفت به منظور تعیین زودترین زمان شروع و ختم فعالیت‌ها و زودترین زمان وقوع واقعه‌های شبکه انجام می‌شود و شامل دستورالعمل‌های زیر است:

*دستورالعمل ۱:* واقعهٔ آغازین شبکه در هر زمان دلخواه می‌تواند رخ دهد که عموماً زمان صفر فرض می‌شود یعنی: $E_1 = ۰$

البته این زمان برای واقعهٔ آغازین، اختیاری است و انتخاب عددی بزرگتر یا مساوی صفر تأثیری بر محاسبات و نتایج حاصل از آنها نمی‌گذارد.

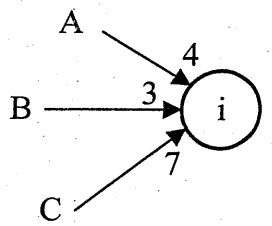
*دستورالعمل ۲:* زودترین زمان ختم یک فعالیت برابر است با حاصل جمع زودترین زمان شروع و مدت‌زمان اجرای آن، به عبارت دیگر:

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

*دستورالعمل ۳:* زودترین زمان رخداد واقعه‌ها (مخصوصاً واقعه‌های پوششی) برابر است با حداکثر زودترین زمان ختم فعالیت‌های منتهی به آن واقعه.

$$E_i = Max\{EF_{ki} \quad \forall k\}$$

برای مثال اگر سه فعالیت منجر به یک واقعه به ترتیب در زمان‌های ۴ و ۳ و ۷ به پایان می‌رسند، زودترین زمان رخداد آن واقع ۷ خواهد بود.




$$E_i = Max\{4,3,7\} = 7$$

یعنی فعالیت A چهار روز دیگر تمام می‌شود و فعالیت B سه روز دیگر و فعالیت C هفت روز دیگر به پایان خواهد رسید؛ از این رو می‌توان گفت که واقعهٔ i هفت روز دیگر به وقوع خواهد پیوست زیرا باید سه فعالیت تمام شوند تا این واقعه رخ دهد.

**محاسبات حرکت برگشت:** محاسبات حرکت برگشت به‌منظور تعیین دیرترین زمان شروع و ختم فعالیت‌ها و دیرترین زمان وقوع واقعه‌ها در یک شبکه انجام می‌شود. این حرکت شامل دستورالعمل‌های زیر است:

**دستورالعمل ۱:** دیرترین زمان رخداد واقعهٔ پایانی برابر است با هر عدد دلخواه البته بزرگتر از زودترین زمان رخداد واقعهٔ پایانی، عموماً آن را برابر با زودترین زمان رخداد واقعهٔ پایانی در نظر می‌گیرند به عبارت دیگر:

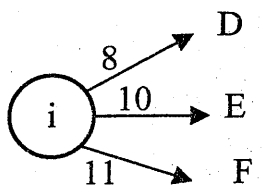
$$L_n \geq E_n$$

**دستورالعمل ۲:** دیرترین زمان شروع یک فعالیت، برابر است با دیرترین زمان ختم آن فعالیت منهای مدت‌زمان اجرای آن فعالیت.

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

**دستورالعمل ۳:** دیرترین زمان رخداد واقعه‌ها (مخصوصاً واقعه‌های جوششی) برابر است با حداقل دیرترین زمان‌های شروع فعالیت‌های منشعب از آن، به عبارت دیگر:

$$L_i = Min\{LS_{ik} \quad \forall_k\}$$



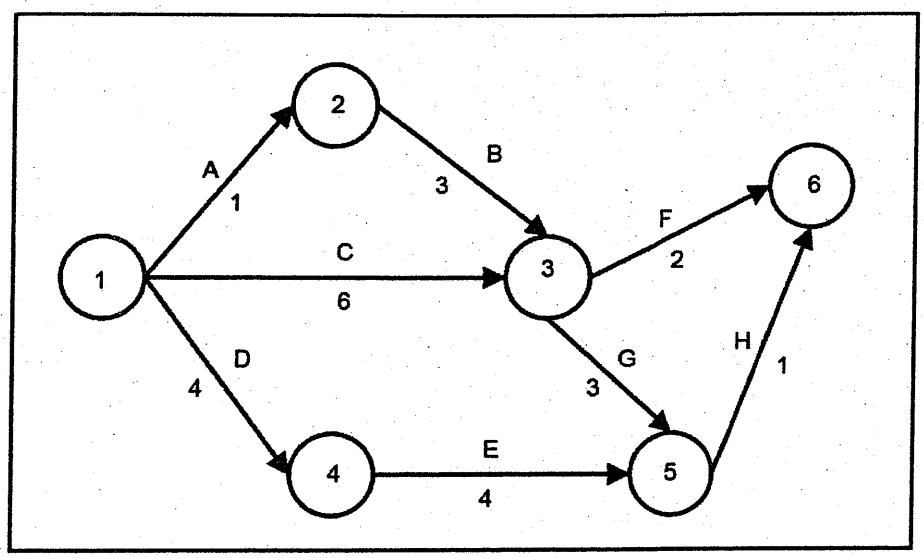

$$L_i = Min\{8,10,11\} = 8$$

برای مثال اگر دیرترین زمان شروع D هشت روز دیگر باشد و دیرترین زمان شروع E ده روز دیگر و دیرترین زمان شروع F برابر یازده روز دیگر در نظر گرفته شده باشد حتماً واقعه $i$ باید در هشت روز دیگر به وقوع بپیوندد تا فعالیت‌ها به تأخیر نیفتند. بنابراین دیرترین زمان رخداد این واقعه برابر ۸ روز است؛ زیرا در غیر این صورت زمان‌بندی با تأخیر مواجه خواهد شد.

**مثال ۲.۴:** چنانچه در یک پروژه رابطهٔ بین فعالیت‌ها به شرح جدول زیر باشد، شبکهٔ برداری آن را رسم کنید و محاسبات حرکت رفت‌وبرگشت را به روش مسیر بحرانی انجام دهید.

**حل:** شبکه برداری مسئله در شکل ۷.۴ نشان داده شده است:

| ردیف | فعالیت | وابستگی | مدت‌زمان (روز) |
|---|---|---|---|
| ۱ | A | - | ۱ |
| ۲ | B | A | ۳ |
| ۳ | C | - | ۶ |
| ۴ | D | - | ۴ |
| ۵ | E | D | ۴ |
| ۶ | F | C,B | ۲ |
| ۷ | G | C,B | ۳ |
| ۸ | H | G,E | ۱ |




**شکل ۷.۴** شبکهٔ مثال ۲.۴.

فرض می‌شود که شروع پروژه (وقوع واقع آغازین) در زمان صفر است. بنابراین داریم:

$$E_1 = 0$$

با توجه به اینکه زودترین زمان وقوع واقعهٔ یک برابر صفر شد، زودترین زمان شروع فعالیت‌های A و C و D برابر می‌شود با:

$$ES_A = ES_C = ES_D = 0$$

و زودترین زمان ختم این فعالیت‌ها برابر می‌شود با:

$$EF_A = ES_A + D_A = 0 + 1 = 1$$
$$EF_C = ES_C + D_C = 0 + 6 = 6$$
$$EF_D = ES_D + D_D = 0 + 4 = 4$$

به طور مشابه برای فعالیت B می‌توان نوشت:

$$EF_B = 4 \quad ES_B = 1 \quad \text{و}$$

با توجه به محاسبات بالا، زودترین زمان وقوع واقعهٔ ۳ برابر است با:

$$E_3 = Max\{EF_B, EF_C\} = Max\{4, 6\} = 6$$

به همین ترتیب بعد از انجام محاسبات زودترین و دیرترین زمان‌های شروع و ختم محاسبه شده که در جدولی بدین شرح ارائه می‌شود.

| ردیف | فعالیت | زمان | زودترین زمان شروع | دیرترین زمان شروع | زودترین زمان ختم | دیرترین زمان ختم |
|---|---|---|---|---|---|---|
| ۱ | A | ۱ | ۰ | ۲ | ۱ | ۳ |
| ۲ | B | ۳ | ۱ | ۳ | ۴ | ۶ |
| ۳ | C | ۶ | ۰ | ۰ | ۶ | ۶ |
| ۴ | D | ۴ | ۰ | ۱ | ۴ | ۵ |
| ۵ | E | ۴ | ۴ | ۵ | ۸ | ۹ |
| ۶ | F | ۲ | ۶ | ۸ | ۸ | ۱۰ |
| ۷ | G | ۳ | ۶ | ۶ | ۹ | ۹ |
| ۸ | H | ۱ | ۹ | ۹ | ۱۰ | ۱۰ |

### ۳.۲.۳.۴ فرجه[1] یا شناوری

چنانچه ملاحظه می‌شود برخی از فعالیت‌ها (نظیر فعالیت C) دارای زودترین زمان شروع و دیرترین زمان شروع یکسان هستند. بنابراین فرجه و فرصتی برای به تأخیر انداختن آنها وجود ندارد و هرگونه تأخیر در انجام آنها باعث تأخیر در انجام پروژه می‌گردد. این فعالیت‌ها را فعالیت‌های بحرانی می‌نامیم.

**نکته مهم:** توجه شود که در محاسبات برگشت دیرترین زمان رخداد واقعهٔ پایانی شبکه را برابر زودترین زمان وقوع آن گرفتیم (یعنی $L_n = E_n$) در این حالت فرجه فعالیت‌های بحرانی صفر است. اما چنانچه $L_n$ را عددی بزرگتر از $E_n$ بگیریم برای مثال چهار واحد بزرگتر از $E_n$، در این صورت فعالیت‌هایی که فرجهٔ آنها ۴ است بحرانی هستند.

به طور کلی سه نوع فرجه برای فعالیت‌ها تعریف می‌شود:

- فرجهٔ کل
- فرجهٔ آزاد
- مسیر بحرانی

**فرجه کل** [2] یک فعالیت، محدودهٔ زمانی است که زمان شروع آن فعالیت می‌تواند در آن محدوده شناوری داشته باشد؛ به‌گونه‌ای که زمان ختم **پروژه** تغییر نکند. (که عموماً این

---

1. Slack Time /Float Time
2. Total Slack

زمان تفاوت بین زودترین و دیرترین زمان شروع یا تفاوت زودترین و دیرترین زمان خاتمه است). به عبارت دیگر فرجهٔ کل حداکثر زمانی است که یک فعالیت می‌تواند تأخیر داشته باشد بدون آنکه بر زمان اتمام پروژه تأثیر بگذارد.

به طور کلی فرجهٔ کل یا فرجه فعالیت $i-j$ برابر است با:

$$F_{ij} = S_{ij} = LS_{ij} - ES_{ij} = LF_{ij} - EF_{ij} = L_j - EF_{ij} = LS_{ij} - E_i$$

برای نمونه، فرجهٔ کل فعالیت ۲.۳ و فعالیت ۱.۲ در مثال قبل برابر ۲ روز است.

**فرجهٔ آزاد** [1] یک فعالیت عبارت است از مدت‌زمانی که یک فعالیت می‌تواند در آن محدوده شناور بوده و تأثیری روی زمان‌های شروع و ختم **فعالیت‌های بعد از آن** نداشته باشد.

فرجهٔ آزاد هر فعالیت از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$FS_{ij} = E_j - EF_{ij} = E_j - (E_i + D_{ij})$$

برای مثال برای فعالیت ۲.۳ فرجه آزاد عبارت است از:

$$FS_{23} = E_3 - E_2 - D_{23} = 6 - 1 - 3 = 2$$

و همچنین فرجهٔ آزاد فعالیت ۱.۲ برابر است با:

$$FS_{12} = E_2 - E_1 - D_{12} = 1 - ۰ - 1 = ۰$$

خلاصهٔ اطلاعات در جدول زیر ارائه شده است:

| ردیف | فعالیت | زمان | ES | LS | EF | LF | فرجه کل | فرجه آزاد |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ۱ | A | ۱ | ۰ | ۲ | ۱ | ۳ | ۲ | ۰ |
| ۲ | B | ۳ | ۱ | ۳ | ۴ | ۶ | ۲ | ۲ |
| ۳ | C | ۶ | ۰ | ۰ | ۶ | ۶ | ۰ | ۰ |
| ۴ | D | ۴ | ۰ | ۱ | ۴ | ۵ | ۱ | ۰ |
| ۵ | E | ۴ | ۴ | ۵ | ۸ | ۹ | ۱ | ۱ |
| ۶ | F | ۲ | ۶ | ۸ | ۸ | ۱۰ | ۲ | ۲ |
| ۷ | G | ۳ | ۶ | ۶ | ۹ | ۹ | ۰ | ۰ |
| ۸ | H | ۱ | ۹ | ۹ | ۱۰ | ۱۰ | ۰ | ۰ |

1. Free Slack

استفاده از فرجهٔ فعالیت A، زمان‌های شروع و ختم فعالیت B را تغییر می‌دهد. بنابراین فرجهٔ آزاد آن صفر است، در حالی که استفاده از فرجهٔ فعالیت B بر شروع و ختم هیچ فعالیت دیگری اثر نمی‌گذارد. از این رو می‌توان گفت که فرجهٔ آزاد آن با فرجهٔ کل (۲ روز) برابر است.

**مسیر بحرانی** در یک شبکه عبارت است از مسیر یا مجموعه فعالیت‌هایی که دارای کمترین زمان شناور هستند، در حالت معمولی که $L_n = E_n$ است، مسیر بحرانی آن مسیر یا مجموعه فعالیت‌هایی است که فرجهٔ آنها صفر باشد. به عبارت دیگر مسیر بحرانی مسیری است که دارای طولانی‌ترین زمان اجرا باشد. در مثال مورد بحث مسیر ۶-۵-۳-۱، مسیر بحرانی است.

هیچ‌گونه تأخیری در زمان انجام فعالیت‌های مسیر بحرانی مجاز نیست. اگر زمان هر یک از فعالیت‌هایی را که در مسیر بحرانی واقع شده‌اند جمع کنیم زمان مسیر بحرانی به دست می‌آید که درواقع همیشه برابر با زمان اتمام پروژه است. در پروژه‌هایی که محدودیت خاصی وجود ندارد مسیر بحرانی از ابتدا تا انتهای شبکه به صورت پیوسته و غیر منقطع است.

#### ۴.۲.۳.۴ علائم مخصوص

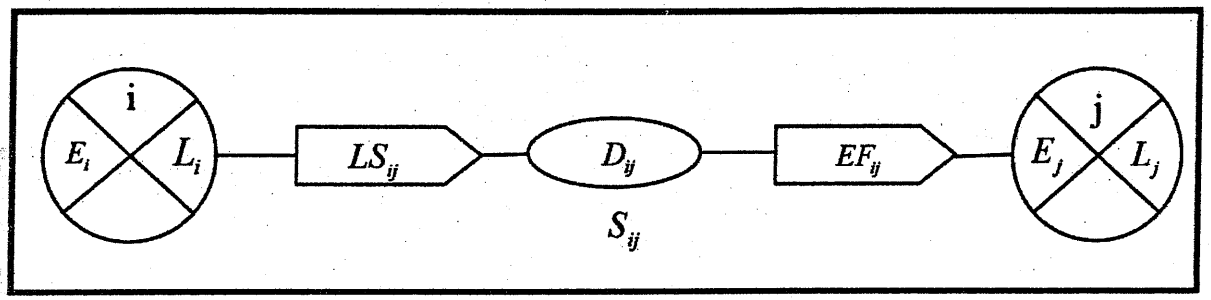
قبل از بیان علائم مخصوص ذکر نکات زیر ضروری است. از آنجا که در محاسبات حرکت رفت، زودترین زمان‌های شروع و ختم محاسبه می‌شوند، می‌توان گفت:

- زودترین زمان شروع هر فعالیت مساوی زودترین زمان رخداد واقعه‌ای است که فعالیت از آن منشعب شده است.
- زودترین زمان ختم هر فعالیت مساوی است با حاصل جمع زودترین زمان شروع و زمان انجام فعالیت
- زودترین زمان رخداد واقعهٔ پایانی (یا واقعه‌های پوششی)، برابر است با زودترین زمان‌های ختم فعالیت‌های منتهی به آن واقعه.

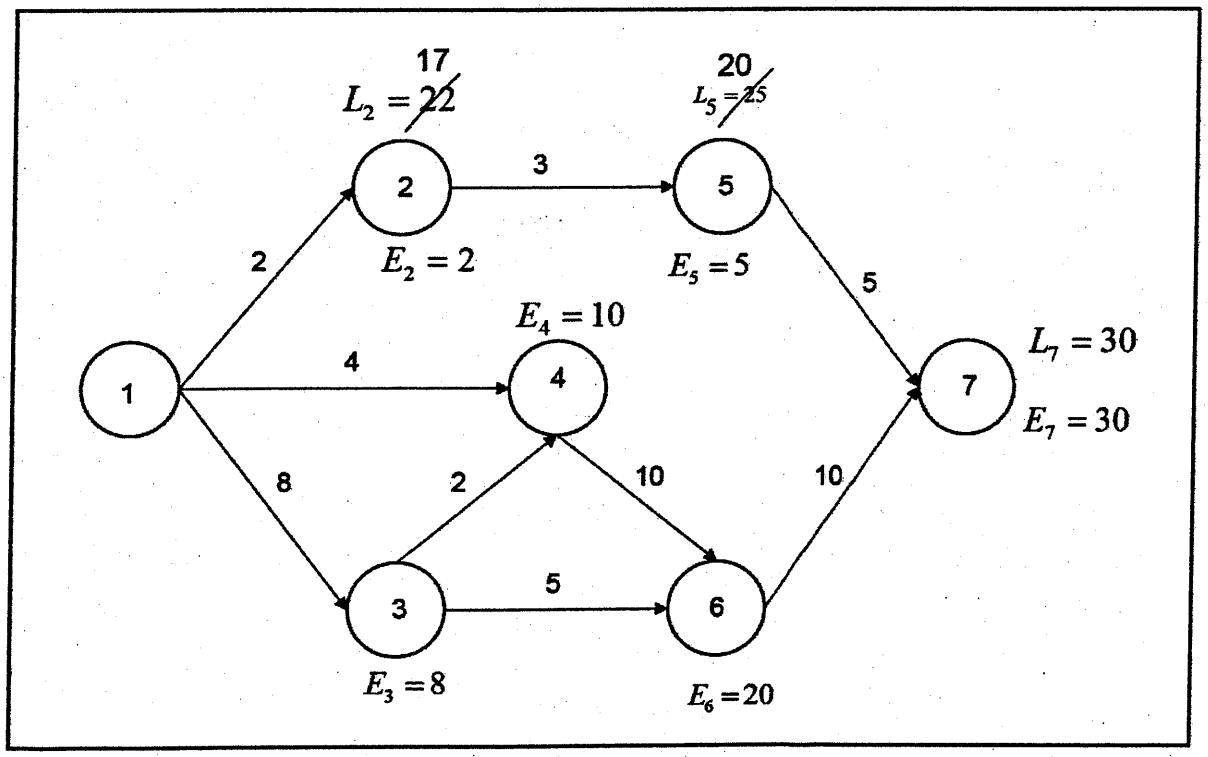
با توجه به مطالب فوق، نیازی به نوشتن زودترین زمان شروع هر فعالیت نیست زیرا زودترین زمان شروع هر فعالیت، همان زودترین زمان رخداد واقعهٔ آغازین فعالیت است ($E_i = ES_{ij}$).

با همین استدلال می‌توان گفت که در محاسبات برگشت نوشتن دیرترین زمان ختم ضرورتی ندارد، زیرا دیرترین زمان ختم هر فعالیت برابر دیرترین زمان رخداد واقعهٔ پایانی همان فعالیت است ($L_j = LF_{ij}$). به همین دلیل در علائم اختصاری، زودترین زمان شروع و دیرترین زمان خاتمهٔ هر فعالیت نمایش داده نمی‌شود. در شکل ۸.۴ علائم اختصاری مربوط به یک فعالیت نشان داده شده است.

برای مثال فعالیت ۸.۵ در مثال قبل به شکل زیر رسم می‌شود.




**شکل ۸.۴** نمایی از علائم اختصاری نمایش یک فعالیت.




**شکل ۹.۴** شبکهٔ مثال ۳.۴.

### ۵.۲.۳.۴ محاسبات زمان در شبکه‌ها با تاریخ‌های از پیش تعیین‌شده

در یک پروژه، ممکن است برای مدت‌زمان انجام برخی از واقعه‌ها، یک زمان از پیش تعیین‌شده، مشخص شده باشد.

برای فعالیت بتن‌ریزی نباید دیرتر از یک روز مشخص(مثل $T_p$) باشد، زیرا ممکن است به علت سرما بتن خراب شود. در این صورت در محاسبات برگشت، مقدار کمینه بین دو زمان از پیش تعیین‌شده ( $T_p$ ) و دیرترین زمان وقوع واقعهٔ ( $L_i$ ) انتخاب می‌شود.

دیرترین زمان وقوع واقعه $i$ام $= Min\{L_i, T_p\}$

**مثال۳.۴:** اطلاعات یک پروژه در شکل ۸.۴ ارائه شده است، محاسبات حرکت رفت‌وبرگشت را انجام دهید. توجه کنید واقعهٔ پنجم نباید دیرتر از روز بیستم به وقوع بپیوندد.

در حالت عادی $L_5$ مساوی ۲۵ است اما تاریخ از قبل تعیین‌شده برابر ۲۰ است. بنابراین دیرترین زمان رخداد واقعه ۵ برابر می‌شود با:

$$L_5 = Min\{20,25\} = 20$$

با توجه به اینکه $L_5$ برابر ۲۰ شده، $L_2$ نیز تحت تأثیر قرار خواهد گرفت:

$$L_2 = 20 - 3 = 17$$

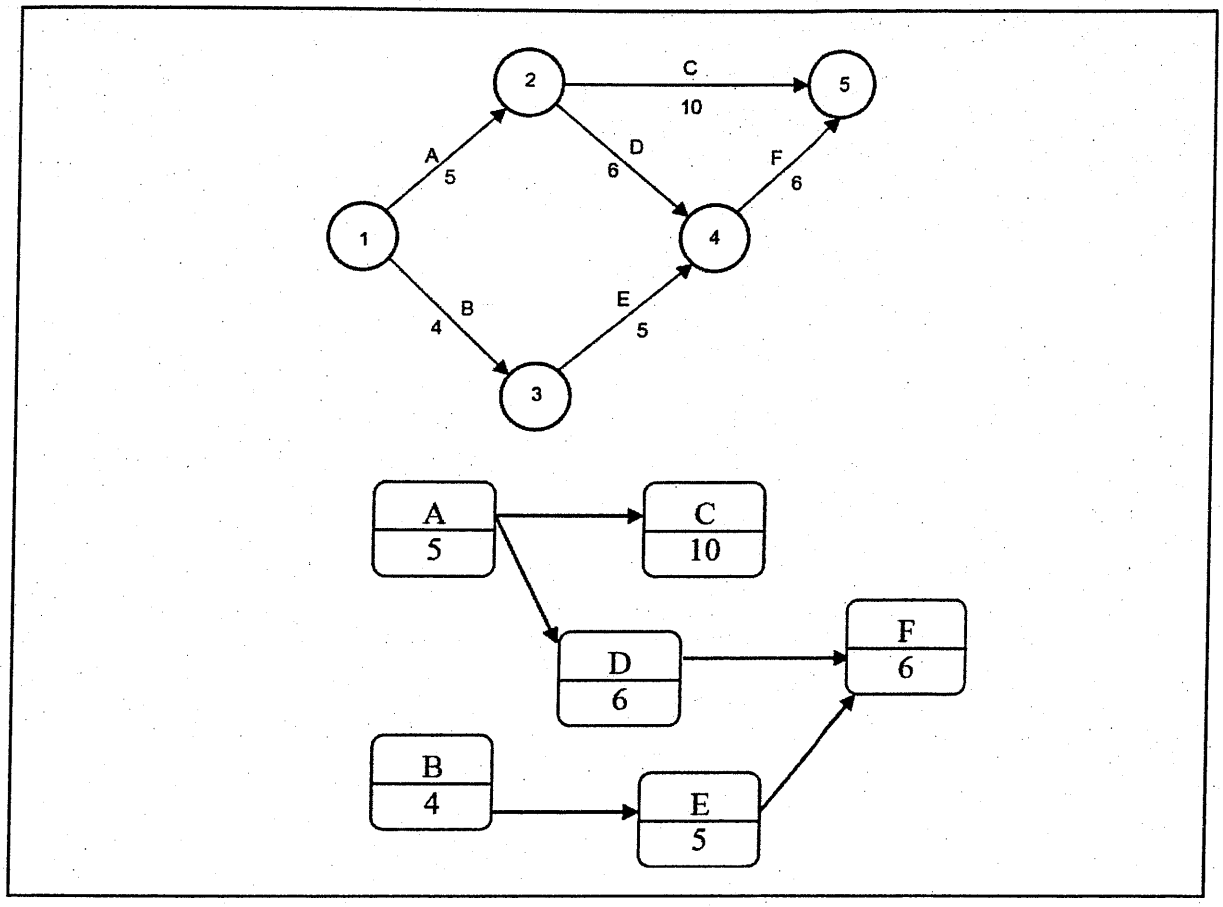
و زمان سایر واقعه‌ها تغییر نخواهد کرد.

### ۳.۳.۴ شبکه‌های گره‌ای

در این شبکه‌ها فعالیت‌ها روی گره‌ها (دایره‌ها یا مربع‌ها) نشان داده می‌شوند و بردارها فقط بیانگر وابستگی‌ها هستند.

**مثال ۴.۴:** در یک پروژه فعالیت‌ها و وابستگی‌های آنها به صورت زیر است شبکهٔ برداری و گره‌ای آن را رسم کنید.

| ردیف | فعالیت | وابستگی | زمان |
|---|---|---|---|
| ۱ | A | – | ۵ |
| ۲ | B | – | ۴ |
| ۳ | C | A | ۱۰ |
| ۴ | D | A | ۶ |
| ۵ | E | B | ۵ |
| ۶ | F | D,E | ۶ |




**شکل ۱۰.۴** نمایش شبکه‌های برداری و گره‌ای مثال ۴.۴.

شبکهٔ برداری و گره‌ای مربوط به این مثال به‌صورت زیر خواهد بود:

### ۱.۳.۳.۴ محاسبات رفت‌وبرگشت در شبکه‌های گره‌ای

قوانین محاسبات رفت‌وبرگشت در شبکه‌های گره‌ای، شباهت زیادی به قوانین مربوطه در شبکه‌های برداری دارد. در حرکت رفت زودترین زمان‌ها و در حرکت برگشت دیرترین زمان‌های شروع و ختم هر فعالیت محاسبه می‌شوند، تعاریف، علائم قراردادی، قوانین حرکت رفت‌وبرگشت عبارت‌اند از:

**الف. تعاریف و علائم قراردادی:**

نام فعالیت: A

مدت‌زمان اجرای فعالیت: $D_i$

شمارشگر (اندیس) فعالیت: $i$

پارامترهای S,LF, LS, EF, ES مانند شبکه‌های برداری تعریف می‌شوند.

**ب. قوانین حرکت رفت:**

*قانون ۱.* زمان شروع پروژه می‌تواند هر عدد دلخواهی باشد ولی عموماً آن را مساوی صفر فرض می‌کنیم.بنابراین زودترین زمان شروع فعالیت‌های آغازین (بدون پیش‌نیاز) برابر عدد دلخواه یا صفر است:

$$ES_1 = 0$$

*قانون ۲.* زودترین زمان ختم هر فعالیت برابر است با زودترین شروع آن به علاوه‌ی مدت‌زمان اجرای آن فعالیت.

$$EF_i = ES_i + D_i$$

*قانون ۳.* زودترین زمان شروع هر فعالیت برابر است با بیشینه (ماکزیمم) زودترین زمان ختم فعالیت‌های پیش‌نیاز آن:

$$ES_i = Max\{EF_j, \forall j\}$$

که در آن j بیانگر فعالیت‌های پیش‌نیاز i است.

زمان ختم پروژه برابر است با بیشینهٔ (ماکزیمم) زمان ختم فعالیت‌های انتهایی (بدون پیامد).

$$EF\ (\text{پروژه}) = T_p = Max\{EF_k, \forall k\}$$

که در آن k بیانگر فعالیت‌های انتهایی (بدون پیامد) است

**ج. قوانین حرکت برگشت:**

*قانون ۱.* دیرترین زمان ختم پروژهٔ هر عدد دلخواه بزرگتر یا مساوی زودترین زمان ختم پروژه است که عموماً برابر زودترین زمان ختم پروژه در نظر گرفته می‌شود.

$$LF\ (\text{پروژه}) \geq EF\ (\text{پروژه}) \Rightarrow LF\ (\text{پروژه}) = EF\ (\text{پروژه}) = T_p$$

*قانون ۲.* دیرترین زمان شروع هر فعالیت (مانند j ) برابر است با دیرترین زمان ختم آن فعالیت منهای زمان انجام آن فعالیت:

$$LS_j = LF_j - D_j$$

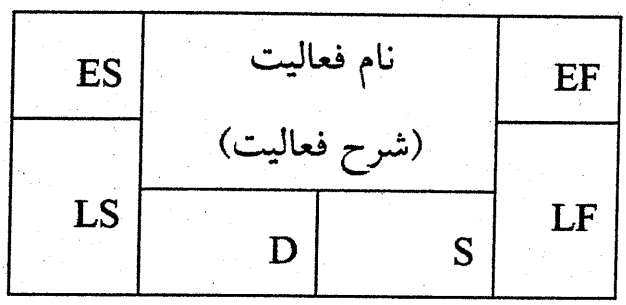
*قانون ۳.* دیرترین زمان ختم هر فعالیت برابر است با کمینه‌ی دیرترین زمان‌های شروع فعالیت‌های پیامد آن.

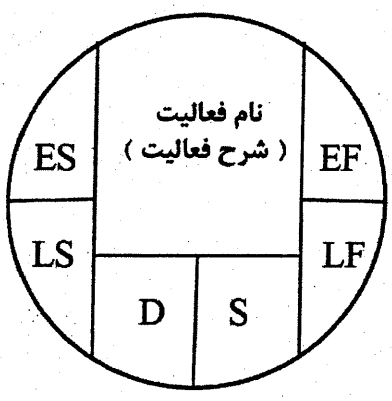
$$LF_i = Min\{LS_j, \forall j\}$$

که در آن j بیانگر فعالیت‌های پیامد فعالیت $i$ است.

### ۲.۳.۳.۴ علائم اختصاری در شبکه‌های گره‌ای

در شبکه‌های گره‌ای فعالیت‌ها را به یکی از دو شکل زیر نشان می‌دهند.




**مثال ۵.۴:** اطلاعات پروژه‌ای در جدول زیر آمده است. شبکهٔ گره‌ای مربوط به آن را رسم کنید و زودترین و دیرترین زمان‌های ختم و شروع فعالیت‌ها را محاسبه کنید.

| فعالیت | پیش‌نیاز | زمان |
|---|---|---|
| A | – | ۲ |
| B | – | ۶ |
| C | – | ۴ |
| D | A | ۳ |
| E | C | ۵ |
| F | A | ۴ |
| G | B,D,E | ۲ |

حرکت رفت

$$ES_1 = 0 \Rightarrow ES_A = 0, ES_B = 0, ES_C = 0$$

$$EF_A = 0 + 2 = 2$$

$$EF_B = 0 + 6 = 6$$

$$EF_C = 0 + 4 = 4$$

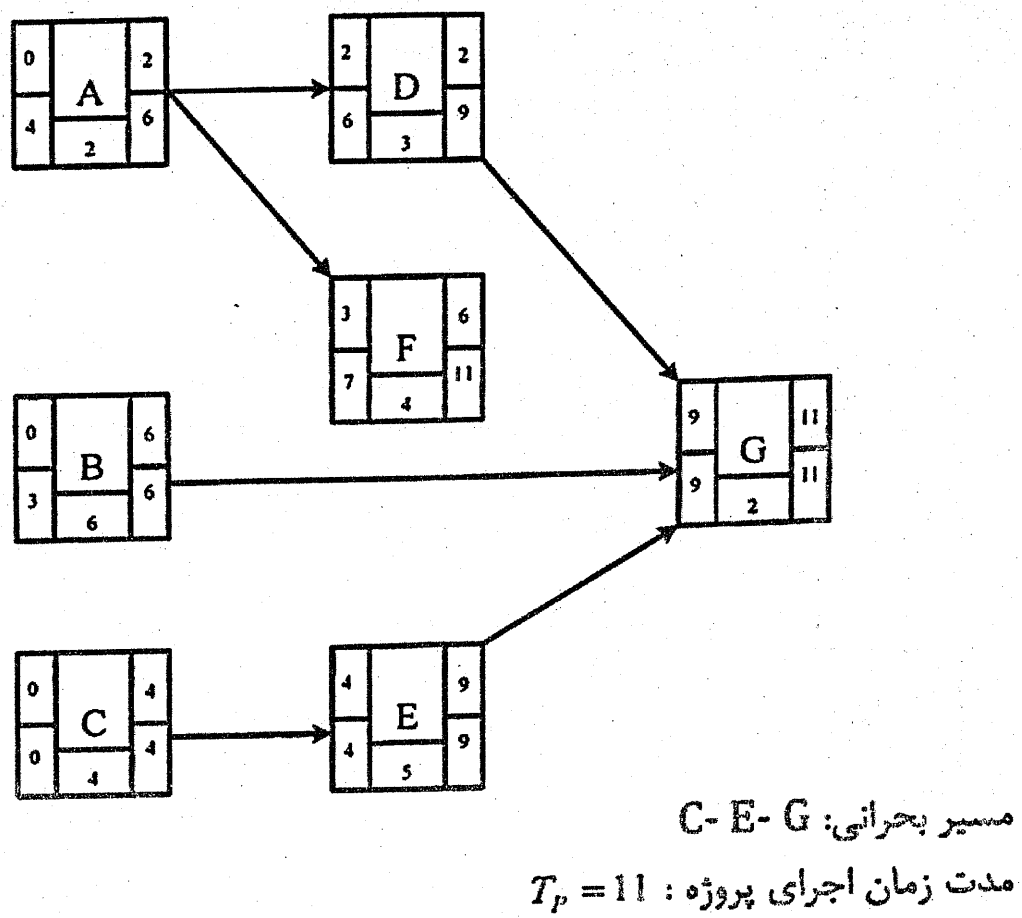
$$ES_D = 2, ES_F = 2, ES_E = 4$$

.

.

.

$$ES_G = MAX\{5,6,9\} = 9$$




**شکل ۱۱.۴** نمایش شبکه و محاسبات مثال ۵.۴.

$$EF_G = 9 + 2 = 11$$

حرکت برگشت

$$LF_G = 11$$

شبکهٔ مثال ۵.۴ با جزئیات محاسبات ($T_P$=11و مسیر بحرانی C- E- G) در شکل ۱۱.۴ نمایش داده‌شده است.

### ۴.۳.۴ شبکه‌های پیش‌نیازی

شبکه‌های پیش‌نیازی در اوایل دههٔ ۱۹۶۰ ابداع شد. این شبکه‌ها حالت تعمیم و توسعه یافتهٔ شبکه‌های گره‌ای هستند. قبل از ابداع و به‌کارگیری شبکه‌های پیش‌نیازی، در شبکه‌های گره‌ای و برداری، فقط یک نوع وابستگی بین فعالیت‌ها تعریف شده که عبارت بود از «پس از پایان فعالیت پیش‌نیاز فعالیت پی‌آمد بلافاصله آغاز می‌شود». به‌عبارت دیگر آغاز فعالیت پیامد به پایان فعالیت پیش‌نیاز وابسته است. در حالی که در شبکه‌های پیش‌نیازی، این نوع وابستگی تنها یک حالت از چهار حالت وابستگی است

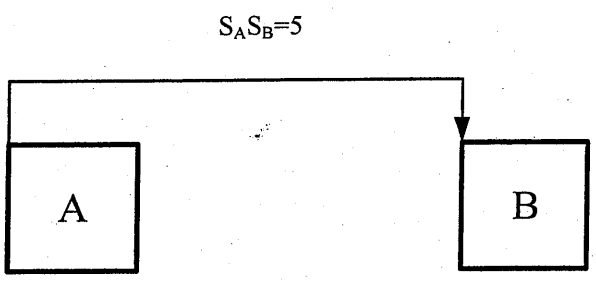
که در این شبکه‌ها تعریف می‌شود؛ علاوه بر اینکه، در شبکه‌های پیش‌نیازی بین فعالیت پیش‌نیاز و پی‌آمد، مدت‌زمان خاصی به عنوان فاصلهٔ زمانی در نظر گرفته شود.

بنابراین، در شبکه‌های پیش‌نیازی هم نوع وابستگی‌ها توسعه‌یافته و هم فاصلهٔ زمانی بین فعالیت پیش‌نیاز و پیامد می‌تواند یک عدد غیر صفر باشد. شبکه‌های پیش‌نیازی انعطاف‌پذیری زیادی داشته و رسم شبکه فعالیت‌ها را تسهیل می‌کند و همچنین در صورت بروز تغییرات در وابستگی‌ها و یا در تعریف فعالیت‌ها، به‌سهولت می‌توان شبکه و ساختار شکست کار را به‌روزرسانی کرد.

### ۱.۴.۳.۴ انواع وابستگی در شبکه‌های پیش‌نیازی

به طور کلی در شبکه‌های پیش‌نیازی چهار نوع وابستگی تعریف می‌شود که عبارت‌اند از:

**آغاز به آغاز**[1]: در این حالت آغاز فعالیت B زمانی است که از آغاز فعالیت A حداقل مدت‌زمان $S_A S_B$ گذشته باشد. این وابستگی به‌صورت زیر نمایش داده می‌شود:




برای مثال فرض کنید در یک پروژه جاده‌سازی، فعالیت A و فعالیت B به‌صورت زیر تعریف شوند:

فعالیت A: خاک‌برداری،

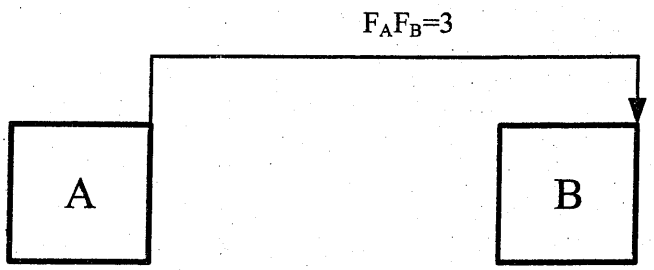
فعالیت B: تسطیح جاده.

در عملیات ساخت جاده، ابتدا باید در قسمت‌های مرتفع و بلندی، خاک‌برداری صورت گرفته و سپس عملیات تسطیح انجام گیرد. در احداث جاده‌های طولانی، شروع هر دو فعالیت، با یک فاصله زمانی کوتاه امکان‌پذیر است. برای مثال بعد از گذشت ۵ روز از عملیات خاک‌برداری، عملیات تسطیح می‌تواند آغاز شود.

---

1. Start to Start (SS)

**پایان به پایان**[1]: در این حالت فعالیت B وقتی پایان می‌پذیرد که از پایان فعالیت A حداقل مدت‌زمان $F_AF_B$ گذشته باشد. این نوع وابستگی به‌صورت زیر نمایش داده می‌شود:



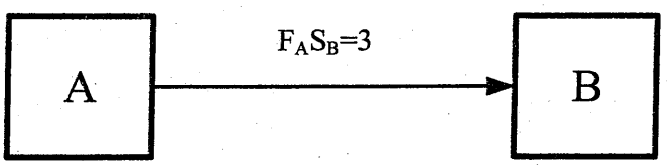

برای مثال فرض کنید که در عملیات تهیه مواد مذاب فعالیت‌های A و B به‌صورت زیر تعریف گردند:

فعالیت A: حمل مواد و ریختن آنها درون کوره،

فعالیت B: حرارت دادن مواد در کوره.

در کوره‌های بزرگ، مواد خام، به‌تدریج داخل کوره ریخته شده و هنگامی‌که آخرین محمولهٔ مواد در کوره ریخته شد، باید مدت‌زمان مشخصی (برای مثال سه ساعت) عملیات حرارت دادن ادامه یابد تا همهٔ مواد به‌خوبی ذوب شوند. در این صورت وابستگی B و A از نوع پایان به پایان است و گفته می‌شود که بین پایان A و پایان B سه ساعت فاصلهٔ زمانی نیاز است.

**پایان به آغاز**[2]: در این حالت، فعالیت B وقتی آغاز می‌شود که از پایان فعالیت A حداقل مدت‌زمان $F_AS_B$ گذشته باشد. این نوع وابستگی به‌صورت زیر نمایش داده می‌شود:




برای مثال فرض کنید در یک عملیات مونتاژ یک سری قطعات رنگ‌آمیزی شده و سپس با یکدیگر مونتاژ می‌گردند. چنانچه فعالیت‌های A و B به‌صورت زیر تعریف گردند:

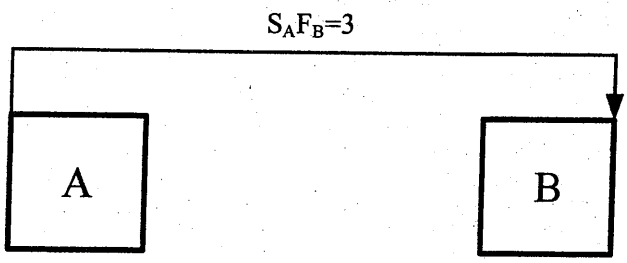
---

1. Finish to Finish
2. Finish to Start

فعالیت A: رنگ‌آمیزی قطعات
فعالیت B: مونتاژ قطعات

بدیهی است که برای آغاز عمل مونتاژ، باید مدت‌زمان مشخصی (برای مثال حداقل سه ساعت) از پایان رنگ‌آمیزی (A) بگذرد تا فعالیت مونتاژ (B) آغاز شود.

**آغاز به پایان**[1]: در این حالت فعالیت B وقتی پایان می‌پذیرد که از آغاز فعالیت A دست‌کم مدت‌زمان $S_AF_B$ گذشته باشد. این نوع وابستگی به‌صورت زیر نمایش داده می‌شود:




برای مثال فرض کنید برای بازاریابی و فروش محصولات یک واحد تولیدی، فعالیت‌های A و B به صورت زیر تعریف شوند:

فعالیت A: عرضهٔ کالای جدید به بازار،
فعالیت B: تبلیغات کالای قدیمی.

چنانچه این واحد تولیدی قدرت تولید یک نوع محصول را در زمان واحد داشته باشد. چنانچه محصول جدید تولید و به بازار عرضه شود، تبلیغات کالای قدیمی به مدت $S_AF_B$ ادامه می‌یابد تا حتی‌الامکان کالاهای قدیمی مانده در انبار فروخته شوند.

این حالت وابستگی کمتر در پروژه‌ها رخ می‌دهد.

### ۲.۴.۳.۴ مزیت شبکه‌های پیش‌نیازی بر شبکه‌های سنتی

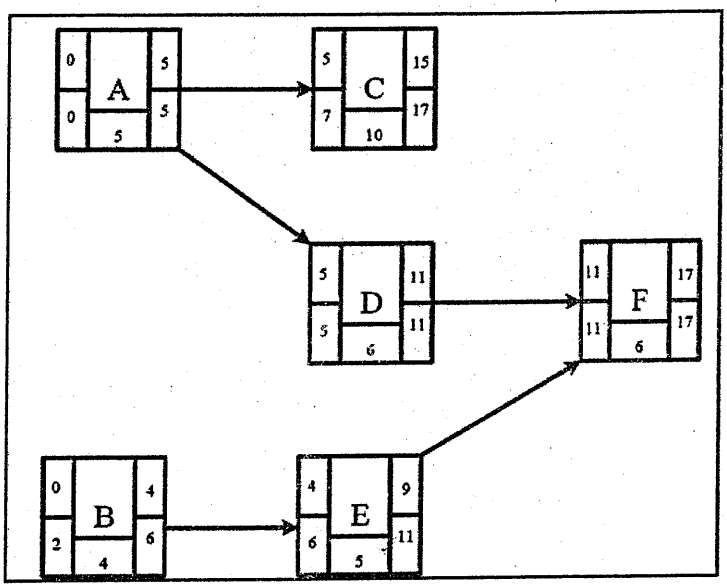
با ارائهٔ مثال زیر به تبیین مزیت شبکه‌های پیش‌نیازی بر شبکه‌های سنتی می‌پردازیم.

**مثال ۶.۴:** شبکهٔ گره‌ای مربوط به جدول صفحهٔ بعد را رسم کنید.

---

1. Start to Finish

| ردیف | فعالیت | وابستگی | زمان |
|---|---|---|---|
| ۱ | A | - | ۵ |
| ۲ | B | - | ۴ |
| ۳ | C | A | ۱۰ |
| ۴ | D | A | ۶ |
| ۵ | E | B | ۵ |
| ۶ | F | D,E | ۶ |




**شکل ۱۲.۴** شبکه گره‌ای مثال ۶.۴.

فرض کنید مدیریت طی تماس با مسئولین مافوق، متوجه می‌شود که مدت‌زمان ۱۷ روز برای اتمام پروژه، به زیان بوده و باید پروژه را زودتر به پایان رساند. پس از برگزاری جلسه‌ای با کارشناسان و با بررسی‌ها مختلف به این نتیجه می‌رسند که چنانچه از یک فناوری جدیدتر استفاده شود می‌توان پروژه را به‌صورت زیر اجرا نمود.

- لزومی ندارد که فعالیت D بعد از اتمام A شروع گردد بلکه بعد از پایان ۲۰٪ فعالیت A می‌توان فعالیت D را آغاز نمود.
- برای شروع فعالیت F لزومی ندارد که D پایان پذیرفته باشد، بلکه فقط برای انجام «یک‌سوم قسمت نهایی» فعالیت F باید فعالیت D تمام شده باشد.

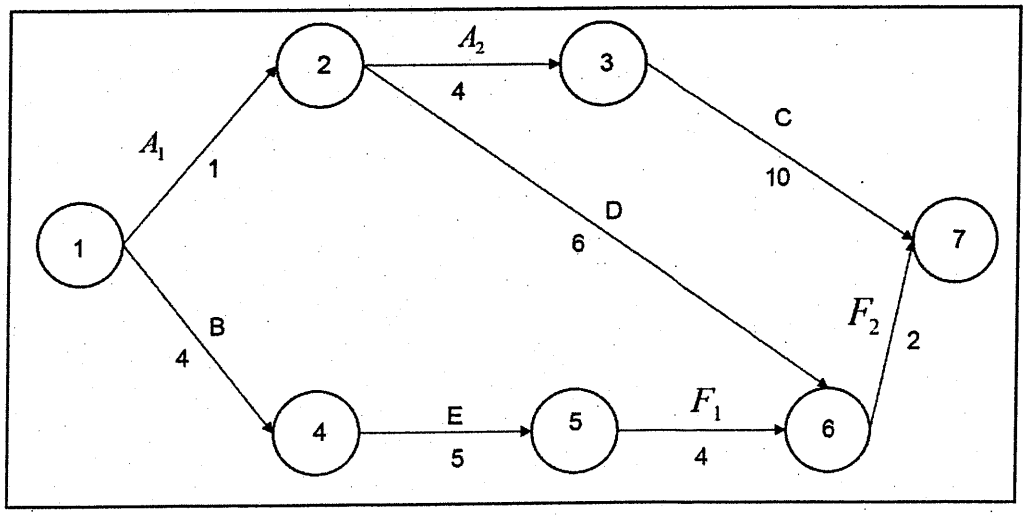
حال با توجه به اطلاعات جدید، شبکه‌های برداری و پیش‌نیازی مسئله را رسم می‌کنیم. برای رسم شبکهٔ برداری لازم است که فعالیت‌های F,A را به دو قسمت (غیرمساوی) تقسیم کنیم، به‌گونه‌ای که:

$$A_1 = \%20A$$
$$A_2 = A - A_1$$
$$F_1 = \frac{2}{3}F$$
$$F_2 = F - F_1$$

اکنون وابستگی‌ها باید دوباره با نظر کارشناسان تعریف شوند (که این مسئله معادل تجدیدنظر در ساختار شکست کار است) موارد تغییر یافته توسط کارشناسان به صورت زیر بیان‌شده است:

| ردیف | فعالیت | پیش‌نیاز | زمان |
|---|---|---|---|
| ۱ | $A_1$ | | ۱ |
| ۲ | $A_2$ | $A_1$ | ۴ |
| ۳ | B | | ۴ |
| ۴ | C | $A_2$ | ۱۰ |
| ۵ | D | $A_1$ | ۶ |
| ۶ | E | B | ۵ |
| ۷ | $F_1$ | E | ۴ |
| ۸ | $F_2$ | $D, F_1$ | ۲ |

دقت شود که پیش‌نیازی‌ها به نحوهٔ اجرا وابسته است و بیشتر جنبهٔ کارشناسی دارد و افراد باتجربه (کارشناسان) باید در این مورد اظهارنظر کنند. با توجه به نظر کارشناسان، این مسئله در شکل ۱۳.۴ نمایش داده شده است:

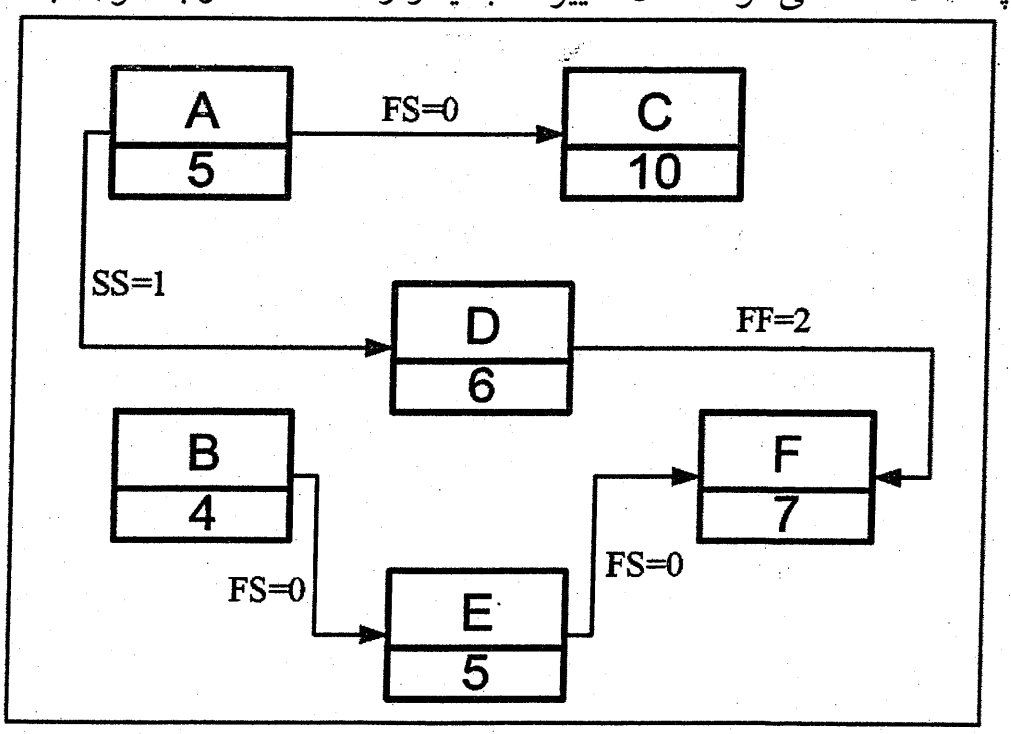



**شکل ۱۳.۴** شبکهٔ برداری مثال ۶.۴ بعد از تجدیدنظر.

با توجه به محاسبات رفت‌وبرگشت ملاحظه می‌شود که مدت‌زمان اجرای این پروژه برابر ۱۵ روز خواهد بود و شبکه دارای دو مسیر بحرانی $B-E-F_1-F_2$ و $A_1-A_2-C$ است. در حالت قبلی مدت‌زمان اجرای پروژه ۱۷ روز بود اما هم‌اکنون به ۱۵ روز کاهش یافته است.

- همان‌گونه که ملاحظه می‌شود چنانچه از شبکه‌های سنتی (برداری یا گره‌ای) استفاده کنیم، اعمال این تغییرات، به تجدیدنظر در ساختار شکست کار شبکه و نیز انجام مجدد محاسبات نیاز دارد. اما چنانچه،شبکه پیش‌نیازی را به کار بگیریم، با توجه به اینکه می‌توان بین فعالیت‌ها چهار نوع وابستگی تعریف کرد و هرکدام از این وابستگی‌ها، می‌توانند دارای فاصله زمانی باشند، اعمال تغییرات بسیار راحت است و نیازی به تغیر ساختار شکست کار و رسم مجدد شبکه نیست؛ بلکه با تغییر چند نوع پیش‌نیازی می‌توان تغییرات را اعمال کرد. برای مثال در این مسئله کافی است رابطهٔ فعالیت‌های A و D به صورت SS برابر ۱ و رابطهٔ فعالیت‌های D و F به صورت FF برابر ۲ تعریف شوند. شبکه پیش‌نیازی روابط جدید در شکل ۱۴.۴ ارائه شده است.

چنانچه ملاحظه می‌شود اعمال تغییرات بسیار راحت است و با توجه به اصول




**شکل ۱۴.۴** شبکه پیش‌نیازی مثال ۶.۴ بعد از تجدیدنظر.

محاسبات رفت‌وبرگشت مدت‌زمان اجرای پروژه برابر ۱۵ روز بوده و دو مسیر بحرانیA-C و B-E-F را خواهیم داشت که محاسبات در این شبکه‌ها در ادامه می‌آید.

### ۳.۴.۳.۴ محاسبات در شبکه‌های پیش‌نیازی

محاسبات زودترین و دیرترین زمان‌های شروع و ختم فعالیت‌ها در این شبکه شامل دو حرکت رفت‌وبرگشت است:

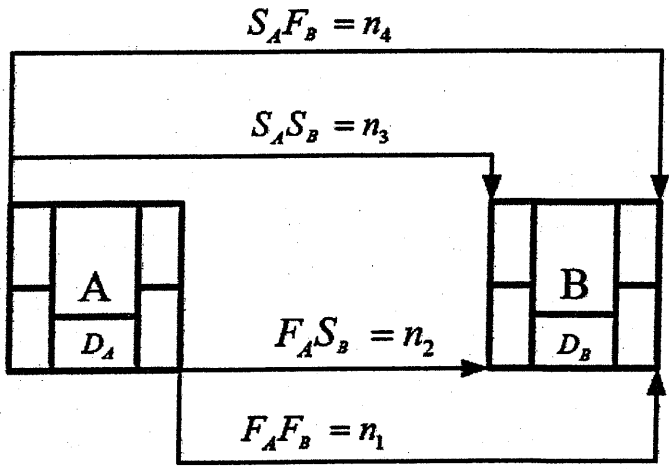
**قوانین حرکت رفت**

۱. زودترین زمان شروع فعالیت (فعالیت‌های) آغازین که پیش‌نیاز ندارند هر عدد دلخواهی می‌تواند باشد و معمولاً برابر صفر در نظر گرفته می‌شود.

۲. زودترین زمان شروع فعالیت‌هایی که پیش‌نیاز دارند بسته به نوع پیش‌نیازی از روابط زیر محاسبه می‌شود:

| نوع رابطهٔ پیش‌نیازی | فرمول محاسبه |
|---|---|
| $F_A S_B$ | $ES_B = EF_A + F_A S_B$ |
| $S_A S_B$ | $ES_B = ES_A + S_A S_B$ |
| $F_A F_B$ | $ES_B = EF_A + F_A F_B - D_B$ |
| $S_A F_B$ | $ES_B = ES_A + S_A F_B - D_B$ |

این روابط در شکل زیر قابل‌مشاهده است:



چنانچه در دو رابطه آخر زودترین زمان شروع عددی منفی شود، مقدار آن، صفر در نظر گرفته می‌شود.

۳. اگر یک فعالیت با سایر فعالیت‌های پیش‌نیاز چند نوع رابطه داشته باشد، طبق فرمول‌های فوق، محاسبات را انجام داده و زودترین زمان شروع آن فعالیت برابر است با بزرگترین زودترین زمان شروع محاسبه شده:

$$ES_B = Max_i \{ES_{B_i}\}$$

$i$ شمارشگر مجموعه فعالیت‌هایی است که با فعالیت B رابطه پیش‌نیازی دارند.

۴. زودترین زمان ختم هر فعالیت برابر است با زودترین زمان شروع آن به‌علاوهٔ مدت‌زمان اجرای آن فعالیت.

$$EF_B = ES_B + D_B$$

۵. زودترین زمان ختم پروژه برابر است با بیشینهٔ (ماکزیمم) زمان ختم فعالیت‌های انتهایی (که بدون پی‌آمد هستند).

$$\text{ES(پروژه)} = T_p = Max_i \{ES_i\}$$

$i$ شمارشگر مجموعه فعالیت‌های بدون پیامد است.

**قوانین حرکت برگشت**

دیرترین زمان ختم پروژه هر عدد دلخواه بزرگتر یا مساوی زودترین زمان ختم پروژه است

$$\text{LF (پروژه)} \geq \text{EF (پروژه)}$$

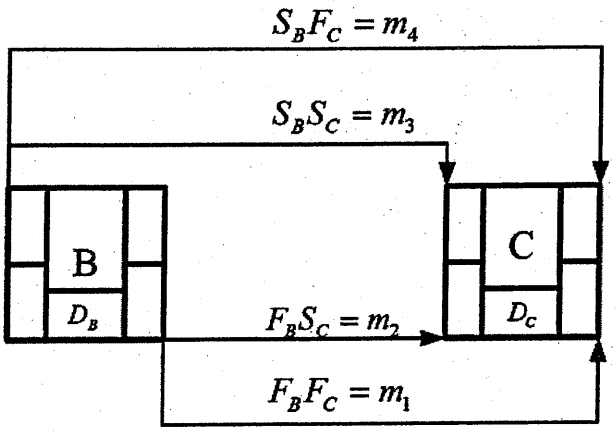
که عموماً برابر زودترین زمان ختم پروژه در نظر گرفته می‌شود.

$$\text{LF (پروژه)} = \text{EF (پروژه)} = T_p$$

دیرترین زمان ختم فعالیت‌هایی که پی‌آمد ندارند برابر با مقدار فوق است.

دیرترین زمان ختم فعالیت‌هایی که پی‌آمد دارند، بسته به نوع رابطهٔ پی‌آمدی از روابط زیر محاسبه می‌شود:

| نوع رابطه پیامدی | فرمول محاسبه |
|---|---|
| $F_B S_C$ | $LF_B = LS_C - F_B S_C$ |
| $F_B F_C$ | $LF_B = LF_C - F_B F_C$ |
| $S_B S_C$ | $LF_B = LS_C - S_B S_C + D_B$ |
| $S_B F_C$ | $LF_B = LF_C - S_B F_C + D_B$ |




روابط فوق در شکل زیر قابل‌مشاهده‌اند:

۳. اگر یک فعالیت با سایر فعالیت‌های پی‌آمد چند نوع رابطه وابستگی داشت، طبق فرمول‌های فوق، محاسبات را انجام داده و دیرترین زمان ختم آن فعالیت برابر است با «کوچک‌ترین دیرترین زمان ختم» محاسبه شده:

$$LF_B = Min\{LF_{B_i}\}$$

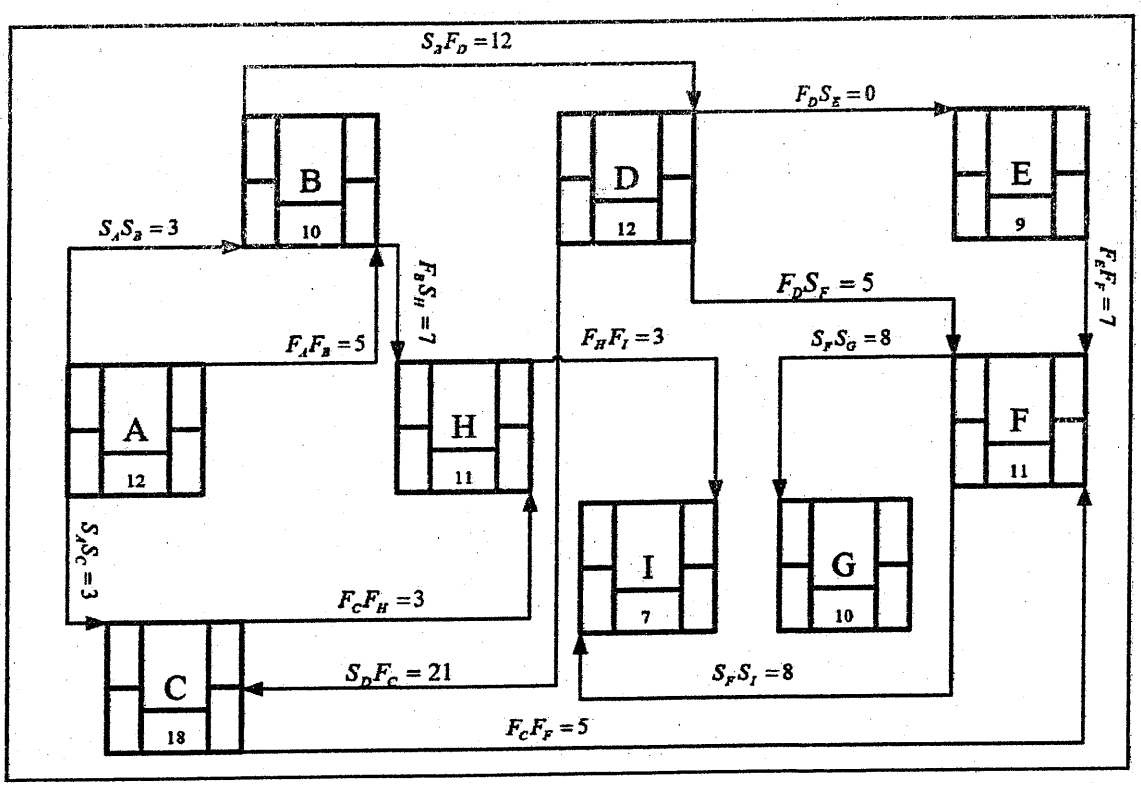
$i$ شمارشگر مجموعه فعالیت‌هایی است که با فعالیت B رابطه پیامدی دارند.

۴. دیرترین زمان شروع هر فعالیت برابر است با دیرترین زمان ختم آن منهای مدت‌زمان اجرای آن فعالیت.

$$LS_B = LF_B - D_B$$

**مثال ۷.۴:** در یک پروژه که زمان انجام فعالیت‌ها و روابط پیش‌نیازی آنها در جدول زیر ارائه شده است، زودترین و دیرترین زمان انجام هر فعالیت را محاسبه کنید.

| فعالیت | زمان (روز) | وابستگی |
|---|---|---|
| A | 12 | ------ |
| B | 10 | $S_A S_B = 3, F_A F_B = 5$ |
| C | 18 | $S_A S_C = 3, S_D F_C = 21$ |
| D | 12 | $S_B F_D = 12$ |
| E | 9 | $F_D S_E = 0$ |
| F | 11 | $F_C F_F = 5, F_D F_F = 5, F_E F_F = 7$ |
| G | 10 | $S_F S_G = 8$ |
| H | 11 | $F_B S_H = 7, F_C F_H = 3$ |
| I | 7 | $S_F S_I = 8, F_H F_I = 3$ |




**شکل ۱۵.۴** شبکهٔ پیش‌نیازی مثال ۷.۴.

با توجه به اطلاعات ارائه‌شده، شبکهٔ پیش‌نیازی مثال ۷.۴ ترسیم شده و در شکل ۱۵.۴ نمایش داده شده است:

برای محاسبهٔ زودترین زمان شروع یک فعالیت، باید مطابق با پیش‌نیازی‌های آن فعالیت، تمامی فرمول‌های مورد نیاز را به کار برده و زودترین زمان‌های شروع را محاسبه و مقدار بیشینهٔ آنها را به عنوان زودترین زمان شروع آن فعالیت در نظر گرفت. به این ترتیب داریم:

**فعالیت A:**

این فعالیت، پیش‌نیازی ندارد و زودترین زمان شروع آن را صفر در نظر می‌گیریم:

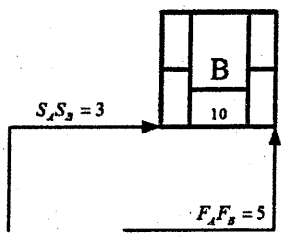
$$ES_A = 0$$

$$EF_A = ES_A + D_A = 0 + 12 = 12$$

فعالیت B: چون دو رابطهٔ پیش‌نیازی دارد و مقدار ES برای آن محاسبه شده و عدد بزرگتر انتخاب می‌شود:

$$\left.\begin{array}{l} ES_B = ES_A + S_AS_B = 0 + 3 = 3 \\ ES_B = EF_A + F_AF_B - D_B = 12 + 5 - 10 = 7 \end{array}\right\} \Rightarrow ES_B = Max\{3,7\} = 7$$

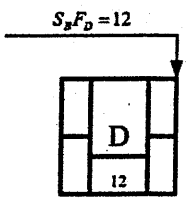
$$EF_B = ES_B + D_B = 7 + 10 = 17$$




**فعالیت D:**

$$ES_D = ES_B + S_BF_D - D_D = 7 + 12 - 12 = 7$$

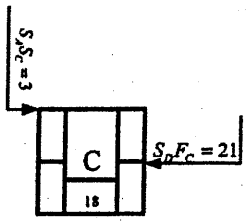
$$EF_D = ES_D + D_D = 7 + 12 = 19$$

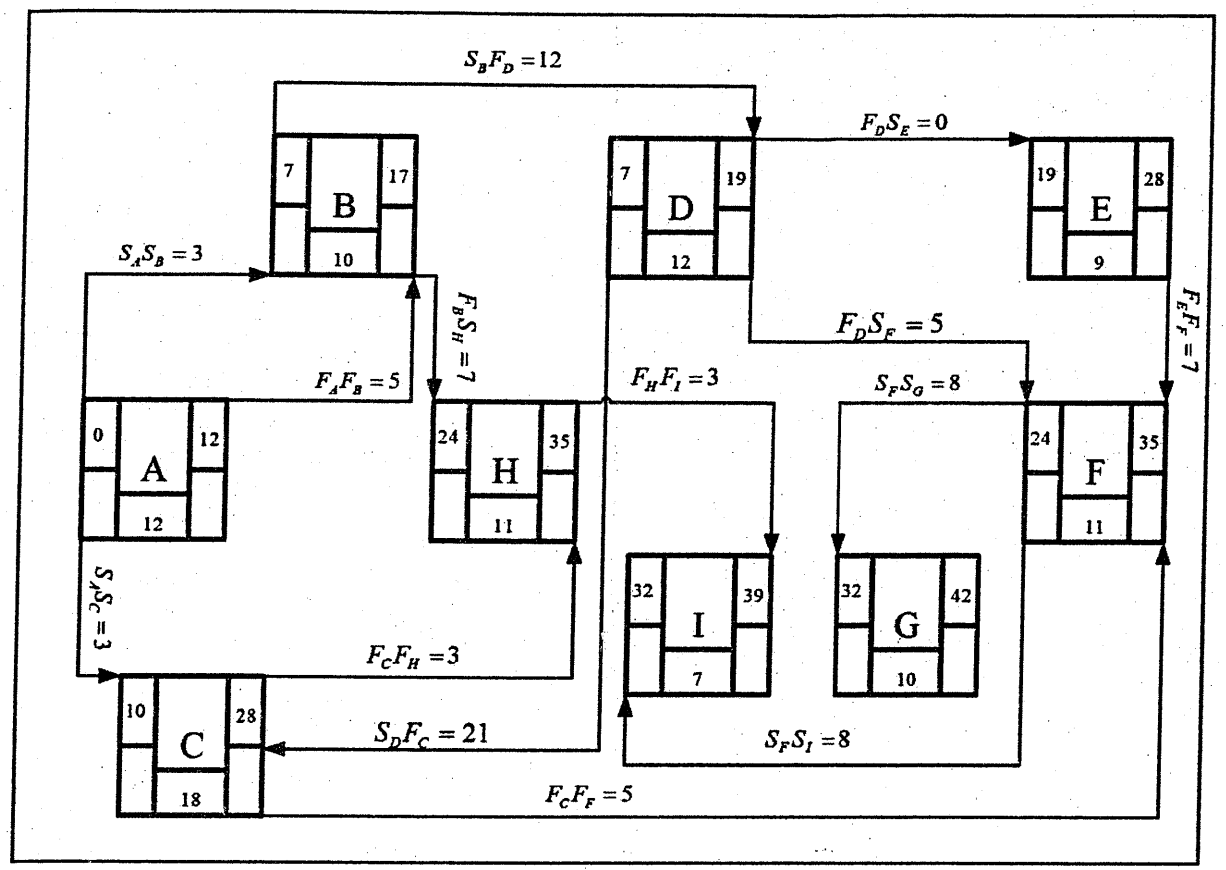



**فعالیت C:**

$$\left.\begin{array}{l} ES_C = ES_A + S_AS_C = 0 + 3 = 3 \\ ES_C = ES_D + S_DF_C - D_C = 7 + 21 - 18 = 10 \end{array}\right\} \Rightarrow ES_B = Max\{3,10\} = 10$$

$$EF_C = ES_C + D_C = 10 + 18 = 28$$






**شکل ۱۶.۴** شبکه و مقادیر زودترین زمان‌های شروع و ختم فعالیت‌های مثال ۷.۴.

به همین ترتیب زودترین زمان شروع و زودترین زمان ختم سایر فعالیت‌ها قابل محاسبه بوده و شبکهٔ این مثال با جزئیات در شکل ۱۶.۴ ارائه شده است.

اینکه فعالیت‌های I وG فعالیت‌های پایانی شبکهٔ فوق هستند و زودترین زمان‌های ختم این دو فعالیت به ترتیب ۳۹ و ۴۲ روز است، زودترین زمان ختم پروژه ۴۲ روز خواهد بود که مقدار بیشینهٔ این دو زمان است.

زودترین زمان ختم پروژه = $Max\{42,39\} = 42$

در ادامه برای محاسبهٔ دیرترین زمان ختم فعالیت‌ها خواهیم داشت:

**فعالیت G:**

این فعالیت، پیامدی ندارد و دیرترین زمان ختم آن هر عدد بزرگتر یا مساوی زودترین زمان ختم پروژه است:

$$LF_G = 42$$

$$LS_G = LF_G - D_G = 42 - 10 = 32$$

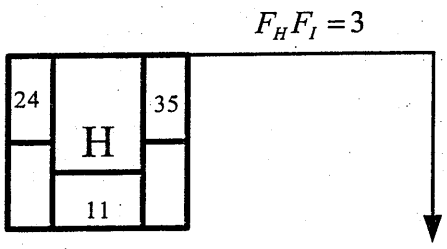
**فعالیت I:**

این فعالیت نیز، پیامدی ندارد و دیرترین زمان ختم آن برابر زودترین زمان ختم پروژه است:

$$LF_I = 42$$

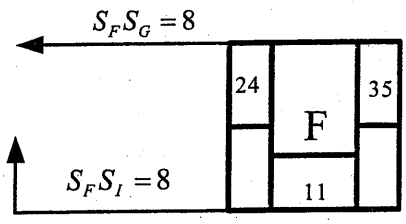
$$LS_I = LF_I - D_I = 42 - 7 = 35$$

**فعالیت H:**




$$LF_H = LF_I - F_H F_I = 42 - 3 = 39$$

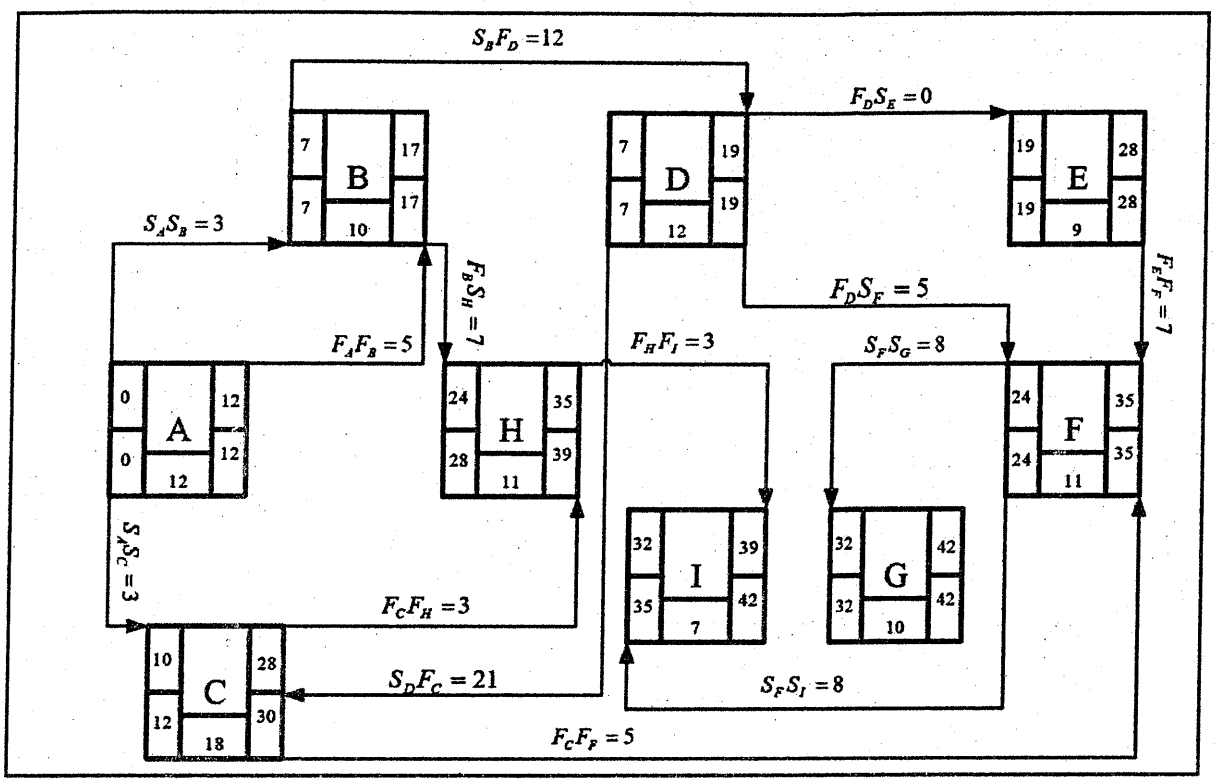
$$LS_H = LF_H - D_H = 39 - 11 = 28$$




فعالیت F:

$$\left.\begin{aligned} LF_F &= LS_G - S_F S_G + D_F = 32 - 8 + 11 = 35 \\ LF_F &= LS_I - S_F S_I + D_F = 35 - 8 + 11 = 38 \end{aligned}\right\} \Rightarrow LF_F = Min\{35,38\} = 35$$

$$LS_F = LF_F - D_F = 35 - 11 = 24$$




**شکل ۱۷.۴** شبکه و مقادیر زودترین زمان‌های شروع و ختم فعالیت‌های مثال ۷.۴.

به همین ترتیب دیرترین زمان ختم و دیرترین زمان شروع سایر فعالیت‌ها قابل‌محاسبه بوده و شبکه به صورت شکل ۱۷.۴ تکمیل می‌گردد:

## ۴.۴ کنترل زمان‌بندی

اصولاً هیچ برنامه‌ریزی بدون کنترل، مفید نخواهد بود و مدیران موفق، پیشرفت کار پروژه را به‌طور مرتب کنترل می‌کنند.

در اغلب موارد به علت بروز مشکلات مختلف پروژه با تأخیر مواجه خواهد شد و انجام فعالیت‌ها مطابق با زمان‌بندی برنامه‌ریزی‌شده پیش نخواهد رفت، در این صورت باید برای کنترل و تقلیل این تأخیرها اقداماتی اصلاحی صورت گیرد.

کنترل زمان‌بندی دارای مزایای زیر است:

- تبیین هرچه دقیق‌تر روابط بین هزینه، زمان و کیفیت در تمامی مدت اجرای پروژه،
- شناخت و تبیین مسائل و مشکلات پروژه و جلوگیری از بروز آنها تا حد امکان،
- شناسایی و به‌کارگیری به‌موقع فرصت‌ها و موقعیت‌هایی که می‌توان برای تسریع در انجام فعالیت‌ها یا کاهش هزینه‌ها استفاده کرد.

کنترل شامل دو مرحلهٔ اصلی است:
مرحلهٔ اول: شناخت و تبیین وضعیت فعلی[1]،
مرحلهٔ دوم: هدایت و راهبری پروژه به سمت وضعیت مطلوب[2].

## ۱.۴.۴ شناخت و تبیین وضعیت فعلی

شیوه‌های مختلفی نظیر بازدید، گزارش‌ها شفاهی (تلفیقی و حضوری)، گزارش‌ها کتبی، جلسات بررسی و هماهنگی جهت دریافت اطلاع از وضعیت جاری پروژه، وجود دارد و مهم‌ترین ابزار برای شناخت وضعیت فعلی پروژه دریافت گزارش‌ها از پیشرفت انجام فعالیت‌ها است.

چنانچه براساس این گزارش‌ها، پیشرفت انجام فعالیت‌ها مطابق با برنامه‌ریزی باشد، نشان‌دهندهٔ وضعیتی خوب و مناسب است و چنانچه با برنامه‌های پیش‌بینی‌شده اختلاف داشته باشد، با هدایت و راهبری باید موانعی که باعث بروز این اختلافات شده را مرتفع کرد.

### ۱.۱.۴.۴ نکات مهم در جمع‌آوری گزارش‌ها

با توجه به اهمیت و تأثیر بسیار زیاد گزارش‌ها در خصوص تجزیه‌وتحلیل شرایط فعلی در تهیه و جمع‌آوری این گزارش‌ها باید به نکات زیر توجه کرد:

- متناسب با نوع پروژه فاصله‌های زمانی مشخصی را جهت تهیه و ارائهٔ گزارش‌ها تعیین کنید.

برای مثال پایان هرروز یا هر هفته یا هرماه را به عنوان زمان جمع‌آوری ارائه گزارش‌ها در نظر بگیرید.

- یک سیستم جمع‌آوری و ارائهٔ گزارش‌ها طراحی کنید، به‌گونه‌ای که تا حد امکان تمامی اعضای پروژه در تهیه و ارائهٔ آن مشارکت داشته باشند.
- هنگام جمع‌آوری اطلاعات و دریافت گزارش‌ها باید از هرگونه قضاوت عجولانه پرهیز کرد. قضاوت‌های عجولانه و ناصحیح از اعتبار و ارزش مدیر پروژه می‌کاهد.

---

1. tracing
2. monitoring

- گزارش‌ها باید به صورت مکتوب یا فیلم یا نوار به طور کلی قابل استناد باشند تا بتوان در مواقع ضروری به آنها دوباره رجوع کرد. به این ترتیب افراد به اهمیت گزارش‌هایی که تهیه می‌کنند پی خواهند برد.

برای تحلیل و بررسی گزارش‌های جمع‌آوری‌شده، از ابزاری مفید نظیر نرم‌افزار، نمودارهای مناسب و ... استفاده کنید.

ممکن است در برخی مواقع وضعیت فعلی از جهت زمان‌بندی جلوتر از برنامه‌ریزی باشد، این مسئله ممکن است به یکی از دلایل زیر رخ دهد:

- اعمال مدیریت قوی،
- انجام فعالیت‌ها با سطح کیفیت پایین‌تر،
- انتخاب فناوری‌های بهتر،
- برآورد نامناسب و غیرواقعی زمان‌ها به هنگام برنامه‌ریزی.

یا دیگر موارد که باید به‌دقت تحلیل و بررسی شوند.

#### ۲.۱.۴.۴ محتوای گزارش‌ها

همان‌گونه که ذکر شد، مدیر پروژه باید یک سیستم مناسب برای جمع‌آوری و ارائهٔ گزارش‌ها طراحی و اجرا کند. در این سیستم باید فرم‌های مناسبی طراحی و در اختیار افراد قرار گیرد تا طبق موارد خواسته‌شده آنها را تکمیل کنند. این فرم‌ها باید شامل موارد زیر باشد:

ردیف، عنوان فعالیت، کد فعالیت، تاریخ شروع فعالیت (برنامه‌ای و واقعی) و وزن فعالیت.

برای محاسبهٔ میزان پیشرفت پروژه، وزن فعالیت‌ها از اهمیت بالایی برخوردار است که در ادامه توضیح داده می‌شود:

*وزن فعالیت‌ها*، در تهیه گزارش‌ها به تمام فعالیت‌های ساختار شکست کار یک وزن تعلق می‌گیرد که بیانگر اهمیت و به‌نوعی سهم آن فعالیت در کل پروژه است.

وزن فعالیت‌ها با روش‌های مختلفی تعیین می‌شوند که اهم آنها عبارت‌اند از:

الف) تعیین وزن فعالیت بر اساس مدت‌زمان اجرای آن: در این حالت نسبت زمان انجام یک فعالیت به زمان اجرای کل پروژه میزان وزن و اهمیت آن فعالیت را مشخص می‌کند و فرمول آن به شرح زیر است:

$$W_i = \frac{d_i}{\sum_{i=1}^{n} d_i}$$

که در آن

$n$: تعداد فعالیت‌های پروژه

$W_i$: وزن فعالیت $i$ام

$d_i$: زمان فعالیت $i$ام

ب) تعیین وزن فعالیت بر اساس هزینهٔ اجرای آن:

در این حالت نسبت هزینهٔ انجام یک فعالیت به کل هزینهٔ اجرای کل پروژه میزان وزن و اهمیت آن فعالیت را مشخص می‌کند:

$$W_i = \frac{c_i}{\sum_{i=1}^{n} c_i}$$

که در آن $c_i$ هزینه انجام فعالیت $i$ام است.

ج) تعیین وزن فعالیت بر اساس میزان منبع مورد نیاز آن:

در این حالت نسبت میزان منبع لازم برای انجام یک فعالیت به کل منابع مورد نیاز جهت اجرای کل پروژه، میزان وزن و اهمیت آن فعالیت را مشخص می‌کند که در آن $r_i$ میزان منبع مورد نیاز فعالیت $i$ام است.

$$W_i = \frac{r_i}{\sum_{i=1}^{n} r_i}$$

د) تعیین وزن فعالیت بر اساس تلفیقی از عوامل زمان، هزینه و منبع:

در این حالت وزن فعالیت بر اساس تلفیقی از وزن شاخص‌های مختلف طبق رابطهٔ زیر تعیین می‌شود.

$$W_i = \alpha_1 \times \frac{d_i}{\sum_{i=1}^{n} d_1} + \alpha_2 \times \frac{c_i}{\sum_{i=1}^{n} c_i} + \alpha_3 \times \frac{r_i}{\sum_{i=1}^{n} r_i}$$

$$\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3 = 1$$

که در آن $\alpha_3, \alpha_2, \alpha_1$ اهمیت هر شاخص است.

### ۳.۱.۴.۴ محاسبه درصد پیشرفت پروژه

پس از تعیین وزن هر فعالیت به یکی از روش‌هایی که ذکر شد، درصد پیشرفت پروژه باید محاسبه شود. به طور کلی درصد پیشرفت پروژه از رابطهٔ زیر محاسبه می‌شود.

$$P = \sum_{i=1}^{n} P_i \quad W_i$$

$P$ = درصد پیشرفت پروژه

$P_i$ = درصد پیشرفت فعالیت $i$ ام

$W_i$ = وزن فعالیت $i$ ام

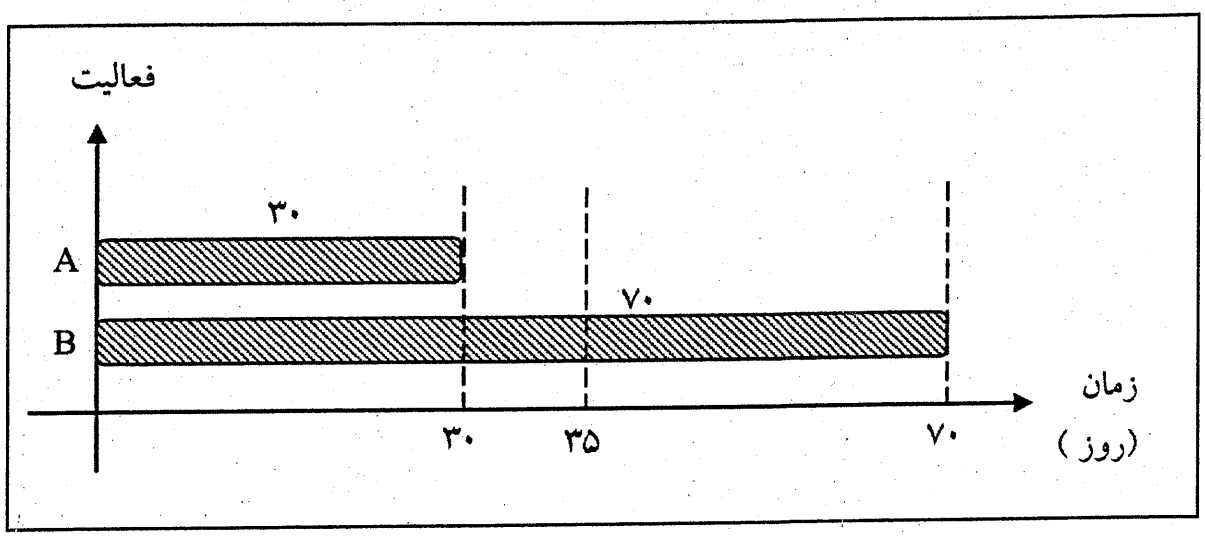
$n$ = تعداد فعالیت‌ها

در رابطهٔ فوق چنانچه مقدار درصد پیشرفت پروژه را بر اساس برنامه‌ریزی مورد نظر باشد، باید به جای $P_i$ مقدار درصد پیشرفت برنامه‌ای را قرار دهیم و اگر میزان درصد پیشرفت واقعی پروژه را بخواهیم باید به‌جای $P_i$ مقدار درصد پیشرفت واقعی فعالیت‌ها را قرار دهیم.

**مثال۸.۴:** یک پروژه شامل دو فعالیت A و B است، فرض کنید در روز سی و پنجم طی گزارشی اعلام شده که از آغاز فعالیت A، ۳ روز و از آغاز فعالیت B، ۱۴ روز گذشته؛ سایر اطلاعات مورد نیاز در جدول زیر ارائه شده است:

| نام فعالیت | زمان انجام فعالیت | پیش‌نیاز | وزن زمانی |
|---|---|---|---|
| A | ۳۰ | ــــ | ۰/۳۰ |
| B | ۷۰ | ــــ | ۰/۷۰ |

با توجه به نمودار گانت پروژه که در شکل ۱۷.۴ ارائه شده میزان پیشرفت واقعی ($P^{ac}$) و میزان پیشرفت برنامه‌ای ($P^{pr}$) هر فعالیت و کل پروژه را محاسبه کنید.




**شکل ۱۸.۴** نمودار گانت چارت، مثال محاسبهٔ درصد پیشرفت.

حل: ابتدا درصد پیشرفت واقعی فعالیت‌ها را محاسبه می‌کنیم:

درصد پیشرفت واقعی فعالیت A

$$P_A^{ac} = \frac{3}{30} \times 100 = 10\%$$

درصد پیشرفت واقعی فعالیت B

$$P_B^{ac} = \frac{14}{70} \times 100 = 20\%$$

درصد پیشرفت (واقعی و برنامه‌ای) پروژه از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$P = P_A \times W_A + P_B \times W_B$$

درصد پیشرفت واقعی کل پروژه برابر است با::

$$P^{ac} = P_A^{ac} \times W_A + P_B^{ac} \times W_B = 0.1 \times (0.30) + 0.2 \times (0.7) = \frac{3}{100} + \frac{14}{100} = 17\%$$

برای محاسبهٔ درصد پیشرفت برنامه‌ای پروژه باید توجه داشت همان‌گونه که در نمودار گانت مشخص است بر اساس برنامهٔ زمان‌بندی، فعالیت A باید در روز سی‌ام پروژه پایان یافته؛ به عبارت دیگر درصد پیشرفت برنامه‌ای فعالیت A برابر ۱۰۰٪ است به همین ترتیب میزان پیشرفت برنامه‌ای فعالیت B برابر ۵۰٪ خواهد بود بنابراین پیشرفت برنامه‌ای کل پروژه برابر است با:

$$P^{pr} = 100\% \times 0.3 + 50\% \times 0.70 = 65\%$$

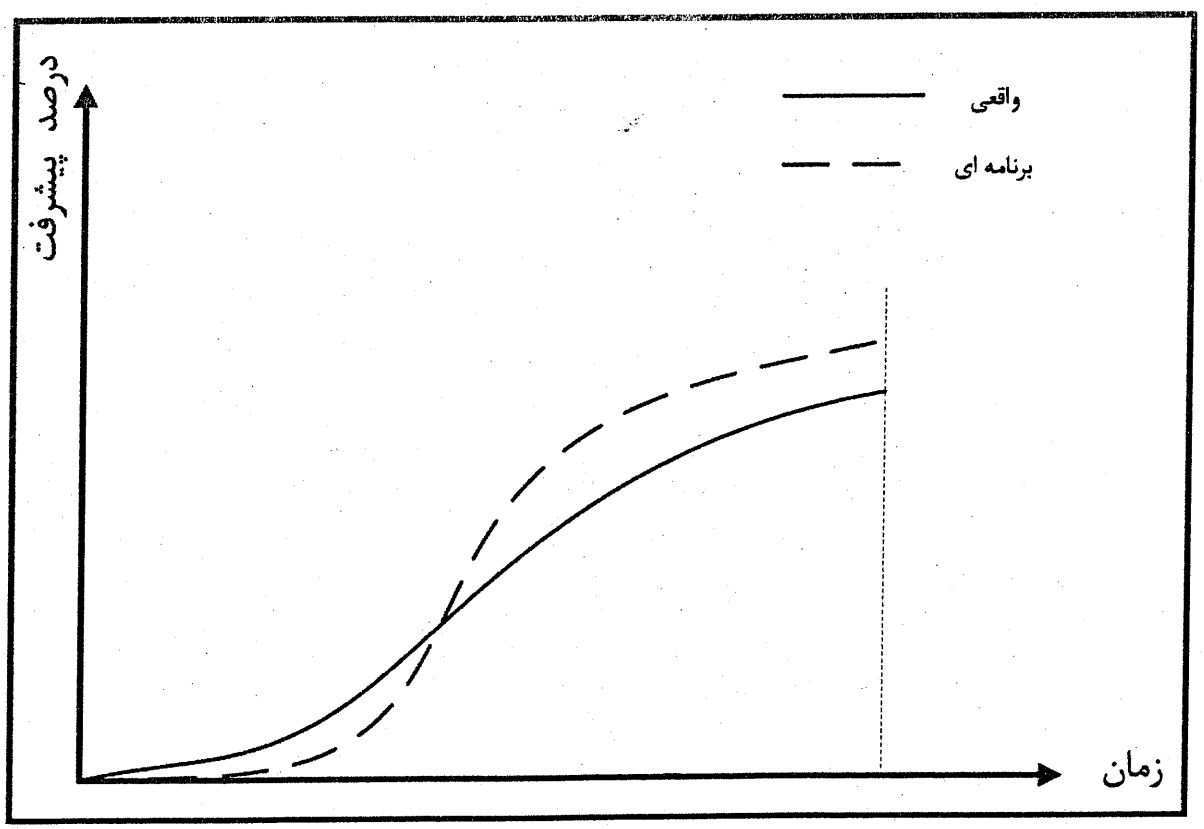
و اختلاف درصد پیشرفت برنامه‌ای پروژه از میزان درصد پیشرفت واقعی آن برابر است با:

$$65\% - 17\% = 48\%$$

به عبارت دیگر در روز سی‌وپنجم این پروژه به میزان ۴۸٪ از زمان برنامه‌ریزی‌شده عقب است.

### ۴.۱.۴.۴ نمودار پیشرفت پروژه

عموماً در شروع پروژه تعداد فعالیت‌ها کم است و به‌تدریج به تعداد آنها افزوده می‌شود و هنگام پایان پروژه نیز تعداد فعالیت‌ها عموماً کم است. از این رو نمودار پیشرفت پروژه به شکل حرف S درمی‌آید به همین دلیل به آن «نمودار اس» گفته می‌شود. از آنجا که بین برنامه‌ریزی و اجرا عموماً اختلاف وجود دارد، این نمودار می‌تواند در هر مقطع زمانی گزارش پیشرفت پروژه را بر اساس واقعیت و برنامه به صورت هم‌زمان گزارش کند. در شکل ۱۹.۴ یک نمونه گزارش پیشرفت برای پروژه‌ای فرضی ارائه شده است.




**شکل ۱۹.۴** نمودار پیشرفت پروژه (واقعی، برنامه‌ای).

## ۲.۴.۴ هدایت پروژه به سمت وضعیت مطلوب

در اغلب موارد بروز مشکلات در روند اجرای پروژه اختلال ایجاد کرده و اجرای پروژه طبق برنامه‌ریزی انجام‌شده، پیش نمی‌رود. بهتر است مدیریت پروژه در مقابل این مشکلات منعطف بوده، تغییرات ایجادشده در پروژه را بپذیرد، آن را مدیریت کند و با برخورد فعال موجب ارتقای کارایی پروژه شود. همان‌گونه که ذکر شد تغییرات باید مدیریت شوند؛ به این معنی که اعمال تغییرات باید بر اساس یک سیستم و نظمی خاص صورت گیرد.

### ۱.۲.۴.۴ دلایل تغییر برنامه پروژه

متناسب با نوع و حجم پروژه، علل و عوامل مختلفی باعث ایجاد تغییر در پروژه می‌شود که در ادامه به آنها اشاره می‌شود:

**تغییر نیازهای مشتری:** برخی مواقع به علت تغییر شرایط یا اشتباه مشتری در تشخیص نیازهای خود تقاضای پروژه تغییر کرده و مجری ناچار به اعمال این تغییرات می‌شود.

**تغییر سیاست‌های دولت:** یکی از عوامل مهم ایجاد تغییر در پروژه‌ها تغییر سایت‌های ارزی اقتصادی، تجاری و ... دولت‌هاست.

کاهش منابع مالی پروژه، تغییر ساختار مدیریت پروژه، غیرواقعی بودن تخمین‌های زمانی یا مالی نیز از دیگر عوامل ایجاد تغییر در پروژه است.

### ۲.۲.۴.۴ نحوهٔ برخورد با تغییرات پروژه

با داشتن روشی نظام‌مند (سیستماتیک) برای مدیریت تغییرات، کارایی انجام یک پروژه و میزان موفقیت آن افزایش خواهد یافت.

برای برخورد با تغییرات پروژه باید ابتدا فعالیت‌های تغییرپذیر و اثرگذار را شناسایی کرده سپس به بررسی راه‌های جایگزین و مقابله با آنها پرداخت.

برای این کار می‌توان جدولی مشابه جدول زیر تهیه و فهرستی از فعالیت‌های مهم و پیشامدهای احتمالی آنها تهیه کرد.

| ردیف | شرح فعالیت یا پیشامد احتمالی | احتمال وقوع | اثر واقعهٔ احتمالی | برنامه‌های جایگزین احتمالی |
|---|---|---|---|---|
| | | | | |
| | | | | |

گرچه این مطالب در قسمت مدیریت ریسک به صورت کامل‌تر بحث و بررسی خواهد شد، ذکر این نکات در این قسمت نیز خالی از لطف نیست. برای مثال جدول زیر برای یک فعالیت تکمیل شده است.

| ردیف | شرح فعالیت یا پیشامد احتمالی | احتمال وقوع | اثر واقعهٔ احتمالی | برنامه‌های جایگزین احتمالی |
|---|---|---|---|---|
| ۱- | عدم تعهد شرکت A در تهیه و فروش ماشین‌آلات | زیاد | تأخیر در انجام فعالیت‌های آتی پروژه | بررسی امکان سفارش خرید ماشین‌آلات به شرکت B |
| ۲- | | | | |
| ۳- | | | | |

با طراحی و تکمیل جدول فوق می‌توان، انعطاف‌پذیری برنامه‌ریزی پروژه را بالا برد و تغییرات را با سهولت و به‌راحتی اعمال کرد. البته این کار هزینه‌هایی را نیز به همراه خواهد داشت. برنامهٔ تغییر باید با نظر کارشناسان، به‌دقت و با زمان‌بندی دقیق طراحی و تأمین شود.

شناسایی تغییرات قبل از بروز عملی آنها به گروه کمک می‌کند تا تغییرات را بهتر و زودتر مدیریت کنند.

گاهی به دلیل تغییر شرایط، تغییر در پروژه نیز اجتناب‌ناپذیر خواهد بود.

اگر ایجاد تغییر در پروژه ضروری باشد باید از اقدام سریع و بدون بررسی جهت اعمال تغییرات، پرهیز کرد. پس از انجام مطالعات و بررسی‌های لازم باید اعمال تغییرات را پذیرفت و در مقابل آن مقاومت نکرد.

ازجمله راه‌های مناسب برای مدیریت صحیح تغییرات و کاهش هزینه‌های اعمال تغییرات ایجاد گروه کارشناسی و متشکل از مدیران بخش‌های مختلف پروژه است. به این ترتیب با بحث و تبادل نظر تصمیمات صحیح در طی چند جلسه اتخاذ خواهد شد.

به کار بستن موارد زیر به افزایش کارایی این جلسات و نشست‌هایی که با کارشناسان برقرار می‌شود کمک می‌کند.

- پس از جمع‌آوری مواردی که به‌منزلهٔ تغییر در پروژه مطرح می‌شود بهتر است آنها را در قالب یک دستور جلسه تهیه و تنظیم کرد.
- باید دستور جلسه را به همراه تاریخ دقیق تشکیل جلسه در اختیار تمامی افراد ذی‌ربط، که باید به جلسه دعوت شوند، قرار داد. به این ترتیب افراد فرصت بیشتری برای تأمل و برنامه‌ریزی پیرامون مسائل خواهند داشت.
- در طول جلسه باید در خصوص مسائل مطرح‌شده در دستور جلسه بحث و از پرداختن به مسائل حاشیه‌ای پرهیز کرد.
- مستند کردن نتایج جلسه و تصمیماتی که در جلسه اتخاذ شده و نیز امضای موارد مصوب از سوی شرکت‌کنندگان ضروری است.
- باید مشارکت تمامی افراد حاضر در جلسه را جلب و زمینه را برای اظهار نظر تمامی افراد فراهم کرد.
- مدت جلسه نباید طولانی و خسته‌کننده شود و در جلساتی که بیش از یک ساعت به طول می‌انجامد لازم است در بین جلسه زمان‌هایی را برای استراحت و تنفس در نظر گرفت.
- پس از نهایی شدن و به تصویب رسیدن موارد تغییر، نیاز به برنامه‌ریزی مجدد این موارد است برنامه‌ریزی مجدد ممکن است باعث تغییر در تخمین‌های زمانی، بودجه، کیفیت محصول، شبکهٔ فعالیت‌ها، چارت سازمانی، ساختار شکست کار، برگه شرح کار، مسئولیت‌ها، روندها و روال‌های کاری یا سایر مسائل مربوط به پروژه شود. این برنامه‌ریزی مجدد باید به‌گونه‌ای انجام شود که حداقل افزایش هزینه و حداکثر بهره‌وری و کارایی را به همراه داشته باشد؛ ضمن آنکه باید مدت‌زمان اجرا و منابع مورد نیاز برنامه‌ریزی مجدد را به صورت دقیق مشخص کرد.

## ۵.۴ شبکه‌های با زمان‌های احتمالی[1]

در شبکه‌های سنتی ــ که قبلاً دربارهٔ آنها بحث شد ــ زمان وقوع فعالیت‌ها قطعی بوده و پیامد آن مشخص است. اما در عمل مواردی پیش می‌آید که به طور قاطع نمی‌توان گفت که یک فعالیت چند روز به طول خواهد انجامید یا چه پیامدی را در پی خواهد

1. Program Evaluation and Review Technique (PERT)

داشت. در حالت اول که زمان فعالیت غیرقطعی است عموماً پروژه با عنوان شبکه با زمان‌های احتمالی (پرت) و در حالت دوم که پیامد غیرقطعی است، پروژه با عنوان شبکه‌های گرت[1] بررسی می‌شود.
در این قسمت شبکه‌های پرت بررسی می‌شوند.
در این شبکه‌ها زمان انجام فعالیت‌ها به یکی از دو حالت زیر تخمین زده می‌شوند.
دو حالت مذکور برای شبکه‌های پرت عبارت‌اند از:
الف: تخمین زمان فعالیت به صورت سه‌زمانه،
ب: تخمین زمان فعالیت به صورت تابع توزیع احتمالی.

### ۱.۵.۴ برآورد سه زمانی

در برخی مواقع برای تخمین زمان انجام یک فعالیت از برآورد سه زمانی استفاده می‌کنیم. در اینجا برای انجام هر فعالیت سه زمان مورد استفاده قرار می‌گیرد. در ادامه این سه زمان ارائه می‌شود:

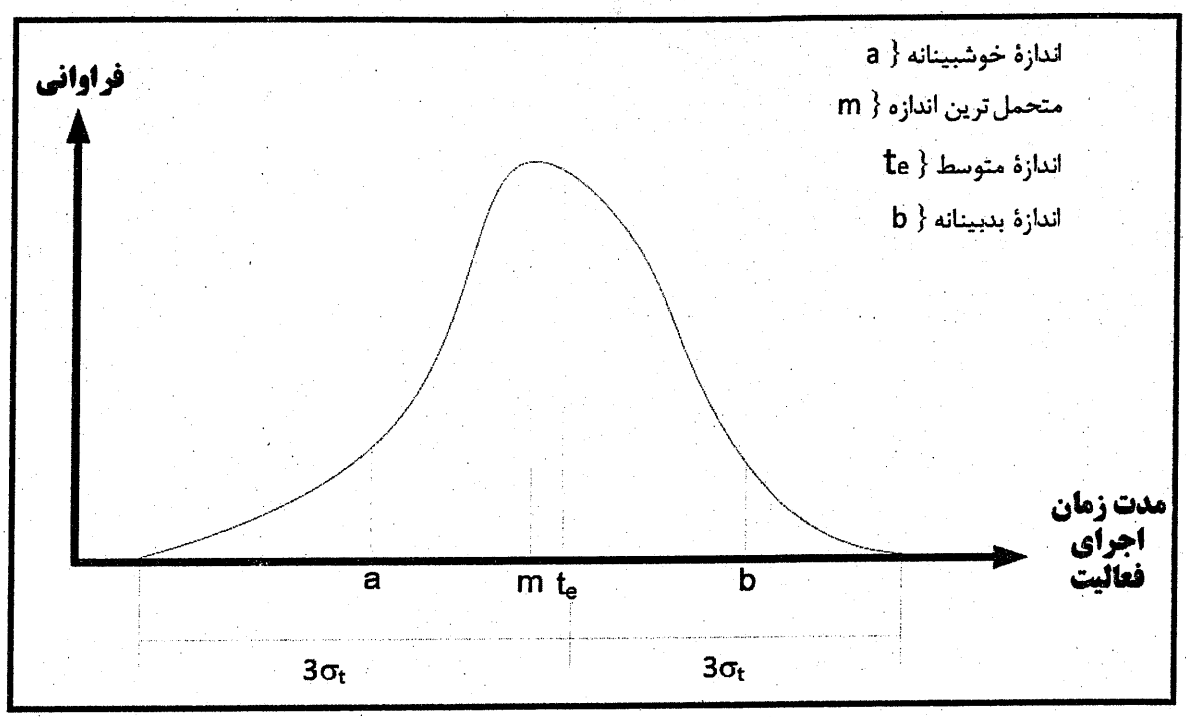
**زمان خوش‌بینانه** (a): زمان خوش‌بینانه (Optimistic Time) که با حرف a نمایش داده می‌شود عبارت است از مدت‌زمانی که انجام فعالیتی فقط یک بار در بیست بار (تحت شرایط اساسی یکسان) از آن مقدار (یعنی a) کمتر شود. (یعنی زمان فعالیت در تکرارهای متعدد معمولاً ۵٪ موارد از این مقدار کمتر است و فقط ۹۵٪ اوقات از این مقدار بیشتر می‌شود).

**محتمل‌ترین زمان** (m): متحمل‌ترین زمان (Most Likely Time) که با حرف m نمایش داده می‌شود عبارت است از مدت‌زمانی که انجام یک فعالیت در اغلب مواقع (تحت شرایط اساسی یکسان) معادل مقدار m شود. (توجه کنید مفهوم محتمل‌ترین زمان با زمان میانگین متفاوت است).

**زمان بدبینانه** (b): زمان بدبینانه (Pessimistic Time) که با حرف b نمایش داده می‌شود. عبارت است از آن مدت‌زمانی که انجام آن فعالیت فقط یک بار در بیست بار (تحت شرایط اساسی یکسان) از آن مقدار (یعنی b ) بیشتر شود. (یعنی زمان فعالیت در تکرارهای متعدد فقط ۵٪ موارد از این مقدار بیشتر است و ۹۵٪ اوقات از این مقدار کمتر می‌شود) این مطالب در شکل ۲۰.۴ ارائه شده است.

---

1. GERT




**شکل ۲۰.۴** تابع توزیع آماری فرضی برای مدت‌زمان اجرای یک فعالیت.

### ۲.۵.۴ میانگین زمان فعالیت در برآوردهای سه‌زمانه

مقدار میانگین مدت‌زمان فعالیت ($t_e$):

در حالت برآورد سه‌زمانه میانگین مدت‌زمان انجام فعالیت ($t_e$) از رابطهٔ زیر به دست می‌آید:

$$t_e = \frac{a + 4m + b}{6}$$

مقدار واریانس زمان فعالیت:

واریانس مدت‌زمان انجام فعالیت را می‌توان از رابطه زیر محاسبه کرد:

$$Var_t = \left(\frac{(b-a)}{3.2}\right)^2 \Rightarrow \sigma_t = \sqrt{Var_t} = \frac{(b-a)}{3.2}$$

روابط فوق برای محدودهٔ ۵ تا ۹۵ درصد است.

### ۳.۵.۴ محاسبات زمان کل شبکه در شبکه‌های دارای زمان احتمالی

برای محاسبات زمان در شبکه‌های پرت، ابتدا زمان میانگین انجام هر فعالیت ($t_e$) محاسبه می‌شود و سپس مطابق آنچه در بحث شبکه‌های سنتی مطرح شد با انجام حرکات رفت‌وبرگشت مسیر بحرانی تعیین می‌شود. مجدداً تأکید می‌شود که در این محاسبات زمان انجام هر فعالیت زمان متوسط فعالیت ($t_e$) در نظر گرفته می‌شود. به این

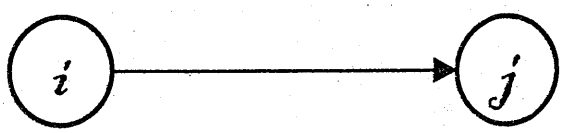
ترتیب زمان وقوع هر واقعه نیز مشخص خواهد شد. سپس واریانس هر فعالیت نیز بر اساس فرمول ارائه شده قبلی محاسبه می‌شود.

در مرحلهٔ بعدی برای یافتن میزان واریانس (پراکندگی) هر یک از واقعه‌ها باید بر اساس دستورالعمل زیر اقدام کرد:

### ۱.۳.۵.۴ دستورالعمل محاسبهٔ پراکندگی زمان وقوع واقعه‌ها

**دستورالعمل یک:** واریانس واقعهٔ آغازین برابر با صفر فرض می‌شود؛ زیرا فرض بر این است که زمان شروع پروژه قطعی است و احتمالی نیست.

**دستورالعمل دو:** اگر واقعهٔ پوششی نباشد، مقدار واریانس آن برابر است با مجموع واریانس واقعهٔ ابتدای آن فعالیت و مقدار واریانس خود آن فعالیت.

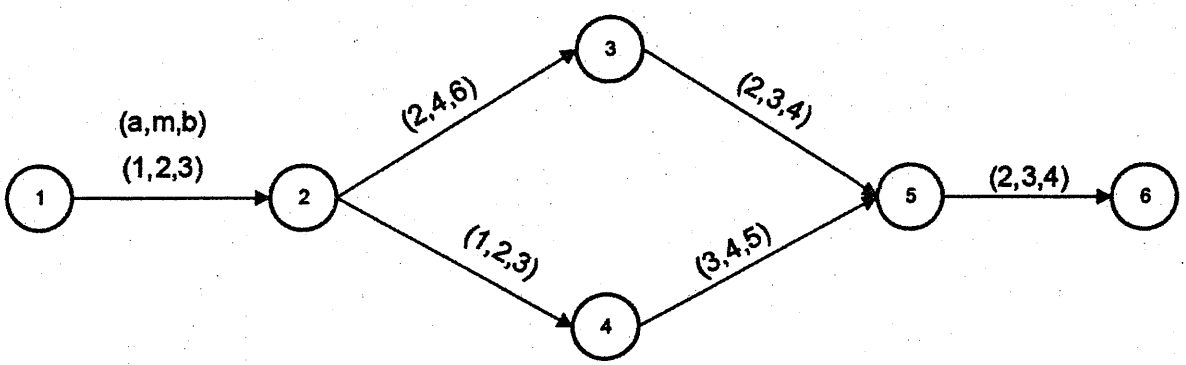



$$Var_j=Var_i+Var_{ij}$$

**دستورالعمل سه:** اگر واقعه پوششی باشد، واریانس واقعه طبق دستورالعمل شماره ۲ برای طولانی‌ترین مسیر و در صورتی که چند مسیر طولانی با میانگین مدت‌زمان یکسان وجود داشته باشد مسیری که دارای بیشترین واریانس است محاسبه می‌شود.

**مثال:** در شبکهٔ زیر، برآورد سه زمانی فعالیت‌ها ارائه شده است. مقادیر میانگین و واریانس زمان انجام فعالیت‌ها را به دست آورید و مسیر بحرانی را مشخص کنید. همچنین احتمال اینکه پروژه در ۱۴ روز به پایان برسد را محاسبه و مشخص کنید به احتمال ۹۹٪ پروژه در چه زمانی پایان می‌یابد.

طبق اطلاعات داده‌شده زمان میانگین و واریانس هر فعالیت طبق روابط زیر قابل محاسبه است:



$$t_e = \frac{a+4m+b}{6} \quad و \quad Var_t = \left(\frac{b-a}{3.2}\right)^2$$

$$t_{e1-2} = \frac{1+4\times2+3}{6} = 2 \ , Var_{1-2} = \left(\frac{3-1}{3.2}\right)^2 = 0.391$$

$$t_{e2-3} = \frac{2+4\times4+6}{6} = 4 \ , Var_{2-3} = \left(\frac{6-2}{3.2}\right)^2 = 1.562$$

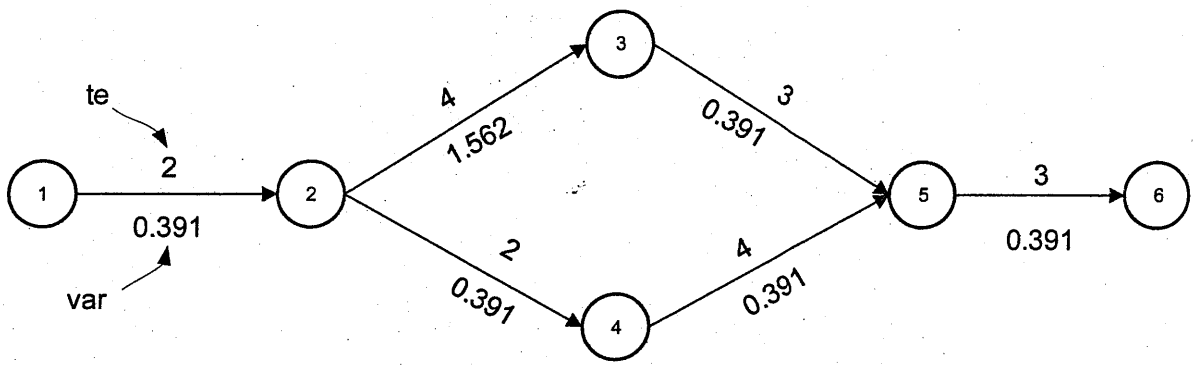
$$t_{e2-4} = \frac{1+4\times2+3}{6} = 2 \ , Var_{2-4} = \left(\frac{3-1}{3.2}\right)^2 = 0.391$$

$$t_{e3-5} = \frac{2+4\times3+4}{6} = 3 \ , Var_{3-5} = \left(\frac{4-2}{3.2}\right)^2 = 0.391$$

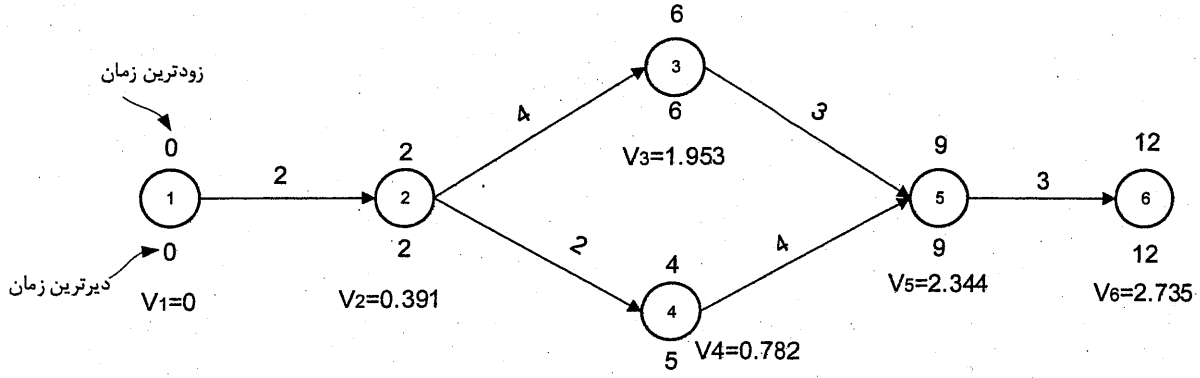
$$t_{e4-5} = \frac{3+4\times4+5}{6} = 4 \ , Var_{4-5} = \left(\frac{5-3}{3.2}\right)^2 = 0.391$$

$$t_{e5-6} = \frac{2+4\times3+4}{6} = 3 \ , Var_{5-6} = \left(\frac{4-2}{3.2}\right)^2 = 0.391$$

در شبکهٔ زیر بر اساس محاسبات انجام‌شده زمان متوسط و واریانس هر فعالیت مشخص شده است.




حال با توجه به زمان‌های متوسط و واریانس فعالیت‌ها، زودترین و دیرترین زمان وقوع وقایع و واریانس آنها محاسبه و بر روی شبکه نمایش داده‌شده است:




چنانچه ملاحظه می‌شود مسیر ۶ـ۵ـ۳ـ۲ـ۱ مسیر بحرانی است.

به شرط استقلال زمان فعالیت‌ها، طبق قضیه حد مرکزی می‌توان نوشت:
میانگین مدت‌زمان ختم پروژه برابر است با:

$$\bar{T}_e = t_{e1-2} + t_{e2-3} + t_{e3-5} + t_{e5-6} = 2 + 4 + 3 + 3 = 12$$

واریانس واقعهٔ ششم برابر است با (طولانی‌ترین مسیر):

$$Var_t = Var_{1-2} + Var_{2-3} + Var_{3-5} + Var_{5-6}$$
$$= 0.391 + 1.562 + 0.391 + 0.391 = 2.735$$

طبق قضیه حد مرکزی متغیر تصادفی T ( مدت‌زمان ختم پروژه )، یک متغیر تصادفی با تابع توزیع نرمال است. با توجه به این مطلب می‌توان به پرسش‌های بعدی مثال پاسخ داد:
احتمال اینکه پروژه در مدت ۱۴ روز انجام شود چقدر است؟

$$p(T \leq 14) = p\left(\frac{T - \bar{T}_e}{\sigma} \leq \frac{14 - \bar{T}_e}{\sigma}\right) = p\left(z \leq \frac{14 - 12}{\sqrt{2.735}}\right)$$
$$= p(z \leq 1.21) = 0.8869$$

در رابطهٔ فوق با استفاده از جدول تابع توزیع نرمال استاندارد مقدار احتمال z=1.21 برابر ۰٫۸۸۶۹ می‌شود. به عبارت دیگر با احتمال ۸۸٪ این پروژه در کمتر از ۱۴ روز خاتمه خواهد یافت.

به‌احتمال ۹۹٪ پروژه در چه زمانی خاتمه خواهد یافت؟
با استفاده از جدول تابع توزیع نرمال مقدار z مربوط به‌احتمال ۹۹٪ برابر است با: ۲٫۳۲۱ بنابراین داریم:

$$p(z \leq 2.321) = 0.99 \Rightarrow p\left(\frac{T - \bar{T}_e}{\sigma} \leq 2.321\right) = 0.99$$

$$\Rightarrow p\left(\frac{T - 12}{\sqrt{2.735}} \leq 2.321\right) = 0.99$$

$$\Rightarrow T = \left(2.321 \times \sqrt{2.735}\right) + 12 \Rightarrow T = 15.8$$

به عبارت دیگر این پروژه با احتمال ۹۹ درصد در کمتر از ۱۶ روز به اتمام خواهد رسید.

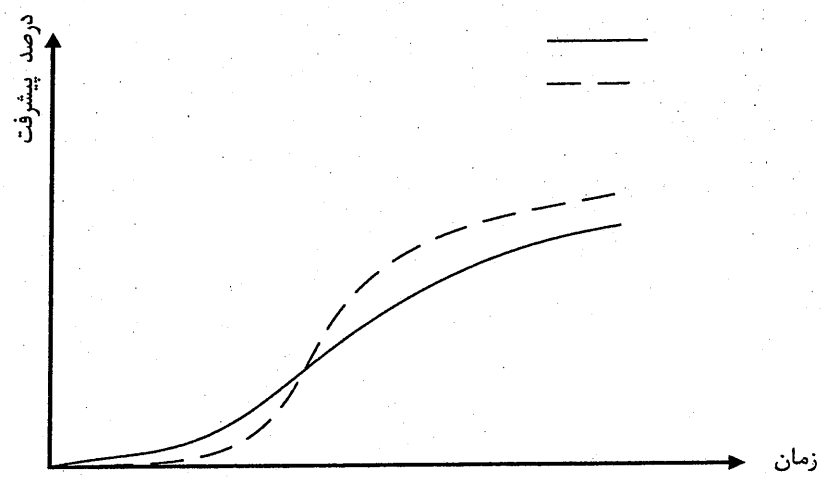
**تمرینات:**

۱. روش‌های تخمین زمان را بیان کنید.

۲. انواع برآورد زمان چیست؟

۳. فرجهٔ کل و فرجهٔ آزاد را تعریف کنید.

۴. کدام‌یک از نمودارهای زیر برای پیشرفت برنامه‌ای است و کدام‌یک واقعی؟ تفسیر کنید. امتداد نمودار تا انتهای آن را تکمیل کنید.




۵. شبکهٔ برداری و شبکهٔ گرهی مربوط به فعالیت‌های زیر را رسم کنید. این شبکه دارای چند فعالیت مجازی است؟

فعالیت I پیامد فعالیت B و قبل از فعالیت Q است.

فعالیت B1 قبل از فعالیت P و پس از اتمام فعالیت‌های Q، K2، و E رخ می‌دهد

فعالیت R پس از اتمام فعالیت B است.

فعالیت S2 پیامد فعالیت‌های R و S1، و قبل از فعالیت P است.

فعالیت K3 پس از فعالیت‌های X، L، و Z بوده و پیش‌نیاز فعالیت‌های G و F است.

فعالیت E2 قبل از فعالیت A1، X، L، و Z قرار دارد.

فعالیت B زمانی می‌تواند آغاز شود که فعالیت‌های A1 و X تکمیل شده باشند.

فعالیت‌های پیش‌نیاز فعالیت S1 عبارت‌اند از E، G، و F.

فعالیت E به فعالیت L و E2 وابسته است و قبل از فعالیت N2، S1، و K2 صورت می‌گیرد.

فعالیت K2 پیامد فعالیت N2، R، و L است.

فعالیت P به فعالیت‌های R و N2 وابسته است.

فعالیت S2 به فعالیت‌های X، F، و E2 وابسته است.

۶. اطلاعات مربوط به شبکه پروژه در جداول زیر آمده است. مطلوب است:

الف. ترسیم شبکه،

ب. محاسبات رفت‌وبرگشت و تعیین زودترین و دیرترین زمان شروع و ختم فعالیت‌ها،

ج. فرجه‌های کل، آزاد، هر یک از فعالیت‌ها،

د. مسیر بحرانی.

| فعالیت | پیش‌نیازی | مدت‌زمان | فعالیت | پیش‌نیازی | مدت‌زمان |
|---|---|---|---|---|---|
| A | – | ۲ | H | C, D | ۷ |
| B | – | ۶ | I | C, D | ۲ |
| C | – | ۴ | J | E | ۵ |
| D | B | ۳ | K | F,G, H | ۴ |
| E | A | ۶ | L | F,G, H | ۳ |
| F | A | ۸ | M | I | ۱۳ |
| G | B | ۳ | N | J, K | ۷ |

۷. برای شبکه PN با مشخصات زیر زودترین و دیرترین زمان انجام هر فعالیت را محاسبه کنید.

| فعالیت | زمان (روز) | وابستگی |
|---|---|---|
| A | ۱۴ | ------ |
| B | ۸ | $F_A F_B = 3$ , $S_A S_B = 2$ |
| C | ۱۶ | $S_D F_C = 20$ , $S_A S_C = 5$ |
| D | ۱۰ | $S_B F_D = 10$ |
| E | ۷ | $F_D S_E = 1$ |
| F | ۸ | $F_E F_F = 5$ , $F_D F_F = 4$ , $F_C F_F = 4$ |
| G | ۱۰ | $S_F S_G = 2$ |
| H | ۱۰ | $F_C F_H = 3$ , $F_B S_H = 7$ |
| I | ۵ | $F_H F_I = 5$ , $S_F S_I = 6$ |

# ۵

## مدیریت هزینه پروژه

**اهداف فصل**

**هدف کلی:** آشنایی دانشجویان با مدیریت هزینه پروژه.

**اهداف جزئی**

- آشنایی دانشجویان با مفهوم برآورد هزینه و بودجه‌ریزی،
- آشنایی دانشجویان با مفهوم کنترل هزینه و بررسی هزینه کل،
- آشنایی دانشجویان با مفهوم پیشرفت پروژه و رسم منحنی پیشرفت پروژه،
- آشنایی دانشجویان با مفهوم هزینه‌های مستقیم و غیرمستقیم پروژه.

همان‌گونه که قبلاً بیان شد مدیریت هزینهٔ پروژه، عبارت است از مجموعه فرایندهای لازم جهت تضمین اینکه پروژه با بودجهٔ مصوب به پایان برسد که شامل برآورد هزینه، تأمین بودجه (بودجه‌ریزی)، کنترل هزینه و تحلیل هزینه است. از آنجا که اضافه و کم کردن برخی فعالیت‌ها ممکن است باعث افزایش هزینهٔ پروژه شود مدیریت هزینه باید به این پرسش مهم پاسخ دهد که چه اقدامی باید صورت گیرد یا متوقف شود تا هزینه در حالت بهینه باشد. از این رو مدیریت هزینه شامل ۴ گام اساسی می‌شود که عبارت‌اند از:

- برآورد هزینه،
- بودجه‌ریزی،
- کنترل هزینه،
- تحلیل هزینه.

## ۱.۵ برآورد هزینه[1]

مدیر پروژه، در این مرحله، تقریب و تخمینی از هزینه‌های مربوط به انجام و تکمیل فعالیت‌های پروژه را به دست می‌آورد.

هزینهٔ اجرای پروژه یکی از حیاتی‌ترین عوامل اجرای پروژه است. مدیر پروژه باید پیش از اجرای پروژه تخمین و برآورد مناسبی از هزینه‌های آن ارائه دهد. در این بخش اهم روش‌های پیش‌بینی هزینه‌ها بررسی می‌شوند که عبارت‌اند از:

- برآورد قیاسی،
- برآورد پارامتریک،
- برآورد سیستماتیک،
- سایر روش‌ها.

### ۱.۱.۵ برآورد قیاسی[2]

برآورد قیاسی که به آن برآورد از بالا به پایین [3] نیز گفته می‌شود، استفاده از هزینهٔ واقعی پروژهٔ مشابه پیشین، به عنوان مبنایی برای برآورد هزینهٔ پروژهٔ جاری است. برآورد قیاسی، نوعی قضاوت کارشناسانه است.

برآورد قیاسی، معمولاً کم‌هزینه‌تر از سایر روش‌ها بوده و از درجهٔ دقت کمتری نیز برخوردار است. این نوع از برآوردها بیشتر زمانی قابل‌اعتمادند که: اولاً پروژه‌های پیشین، شبیه پروژه مورد نظر باشند؛ ثانیاً تهیه‌کنندگان این برآوردها، از تخصص کافی برخوردار باشند.

---

1. Costs Estimating
2. Analogous Estimating
3. Top-Down Estimating

### ۲.۱.۵ برآورد پارامتریک[1]

مدل‌سازی پارامتریک، استفاده از ویژگی‌ها یا پارامترهای هر پروژه در یک مدل ریاضی، به منظور پیش‌بینی هزینهٔ آن است. مدل ریاضی ممکن است ساده یا پیچیده باشد. برای مثال در برآورد پارامتریک هزینهٔ اجرای یک ساختمان ممکن است از رابطهٔ پارامتریک زیر استفاده کنیم:

= هزینه اجرای ساختمان (ساختمان‌سازی)

متراژ محوطه‌سازی پروژه برحسب مترمربع × هزینهٔ اجرای یک مترمربع محوطه‌سازی+

متراژ بنای ساختمان برحسب مترمربع × هزینهٔ اجرای یک مترمربع بنا

ازآنجاکه هزینهٔ محوطه‌سازی (مثل فضای سبز) با هزینهٔ ساخت بنا (نظیر اتاق‌خواب، اتاق پذیرایی، آشپزخانه و ...) متفاوت است. بهتر است متراژ مورد نیاز و هزینهٔ هر یک را جداگانه محاسبه و به صورت پارامتریک هزینهٔ اجرای ساختمان را پیش‌بینی کنیم. قابلیت و اعتماد این مدل‌ها، زمانی در بیشترین حد خود قرار دارد که:

الف: اطلاعات و سوابق پیشین به‌کاررفته در ایجاد و توسعهٔ مدل، دقیق باشند،

ب: پارامترهای به‌کاررفته در مدل، به‌آسانی قابل‌اندازه‌گیری و سنجش باشند،

ج: مدل ساخته‌شده مقیاس‌پذیر باشد. یعنی، به همان خوبی که در یک پروژهٔ بسیار کوچک عمل می‌کند، در خلال یک پروژهٔ بسیار بزرگ نیز به همان اندازه کارآمد باشد.

### ۳.۱.۵ روش برآورد سیستماتیک

روش سیستماتیک که روش پایین به بالا[2] نیز نامیده می‌شود، روشی است که در آن هزینهٔ هر یک از فعالیت‌ها یا بسته‌های کاری به صورت مجزا محاسبه و سپس با جمع کردن آنها هزینهٔ پروژه تخمین زده می‌شود. میزان هزینه و دقت برآورد حاصله، بستگی به اندازهٔ فعالیت‌ها یا بسته‌های کاری و نیز پیچیدگی آنها دارد. این روش با جزئیات و دقت بیشتر در قسمت‌های بعد بررسی خواهد شد.

---

1. Parametric Estimating
2. Bottom-Up Estimating

### ۴.۱.۵ سایر روش‌ها

روش‌های دیگری برای تخمین هزینه وجود دارد که ممکن است ترکیبی از روش‌های فوق یا بر مبنای یکی از روش‌های پیش‌بینی استوار باشد که دقت آن‌ها کمی متفاوت است. این روش‌ها با توجه به ابزارهای رایانه‌ای نظیر نرم‌افزارهای مدیریت پروژه، صفحات گسترده و ابزارهای شبیه‌سازی، آماری، در راستای کمک به انجام برآوردهای هزینه‌ها استفاده می‌شوند.

### ۵.۱.۵ تشریح روش سیستماتیک

در این قسمت به تشریح روش سیستماتیک یا روش پایین به بالا می‌پردازیم. برای این منظور لازم است که دو مطلب زیر بیان شوند:

- انواع هزینه‌های پروژه،
- مراحل روش نظام‌مند سیستماتیک.

#### ۱.۵.۱.۵ انواع هزینه‌های پروژه

انواع هزینه‌های هر پروژه، به طور کلی شامل دو دسته است:

- هزینه‌های مستقیم [1]
- هزینه‌های غیرمستقیم [2]

**هزینه‌های مستقیم:** هزینه‌های مستقیم اجرای یک فعالیت، هزینه‌های مربوط به اجرای آن فعالیت هستند، نظیر هزینه‌هایی چون نیروی کار، مواد اولیه، تدارکات و تجهیزات، خرید تسهیلات، آموزش، و مسافرت.

**هزینه‌های غیرمستقیم:** هزینه‌های غیرمستقیم فعالیت‌ها، هزینه‌هایی هستند که به کل فعالیت‌های پروژه یا گروهی از آن‌ها مرتبط‌اند، از قبیل اجارهٔ محل، هزینهٔ استفاده و نگهداری تجهیزات، و هزینهٔ پشتیبانی عمومی و مدیریتی. در ادامه به شرح این هزینه‌ها می‌پردازیم.

**هزینه‌های مستقیم فعالیت‌ها:** هزینهٔ مستقیم هر فعالیت شامل هزینه‌هایی است که منحصراً صرف آن فعالیت می‌شود. جهت محاسبهٔ هزینهٔ مستقیم یک پروژه، باید هزینهٔ مستقیم

---

1. Direct Costs
2. Indirect Costs

همه فعالیت‌ها را به طور جداگانه محاسبه کرد و سپس مجموع آن‌ها را به دست آورد. هزینه‌های مستقیم شامل موارد متعددی است؛ در پروژه‌های مختلف متناسب با شرایط و سازمان مسئول اجرای آن پروژه، متفاوت است.

در ادامه، به شرح برخی از هزینه‌های مستقیم اشاره می‌پردازیم:

**هزینهٔ نیروی انسانی:** نیروی انسانی که در انجام هر فعالیت به کار گرفته می‌شود، دارای هزینه‌هایی شامل، حقوق ثابت پرداختی، اضافه‌کاری، حق مسکن، حق اولاد، هزینهٔ ایاب و ذهاب، هزینهٔ غذا، بیمه‌های اجتماعی، هزینهٔ استخدام و اخراج کارکنان موقت و حق بازنشستگی است.

**هزینهٔ مواد و مصالح:** مواد و مصالح مورد نیاز هر فعالیت، به منزلهٔ هزینه‌های مستقیم آن فعالیت است. در برآورد هزینه، باید مشخصات مواد اولیه و مصالح و مقدار مورد نیاز برای انجام هر فعالیت با دقت قابل قبولی پیش‌بینی شود. این برآورد با روش‌های مختلفی انجام می‌گیرد و روش انتخابی به شرایط انجام پروژه و امکانات موجود بستگی دارد و نیز می‌تواند با استفاده از مستندات حاصل از تجارب اجرای پروژه‌های مشابه یا با استفاده از تجارب شرکت‌های مشاور یا با استفاده از جداول استاندارد منتشرشده در این زمینه صورت گیرد.

**هزینهٔ ماشین‌آلات و تجهیزات:** تمامی هزینه‌های مربوط به ماشین‌آلات و تجهیزاتی که در انجام فعالیت‌های پروژه مورد استفاده قرار می‌گیرند به منزلهٔ هزینه‌های مستقیم پروژه به‌شمار می‌آیند. این هزینه‌ها، اغلب، شامل هزینهٔ لوازم یدکی و ابزار مصرفی، هزینهٔ تعمیرات و نگهداری، هزینهٔ استهلاک، هزینهٔ کرایه ماشین‌آلات و تجهیزات است. برای برآورد این هزینه باید به افراد متخصص در این زمینه مراجعه کرد. اگرچه هزینه‌های استهلاک به صورت نقدی پرداخت نمی‌شود ولی در برآورد هزینه باید منظور شود.

**هزینهٔ برون‌سپاری انجام فعالیت‌ها:** ممکن است انجام برخی از فعالیت‌های پروژه در خارج از سازمان متولی انجام پروژه صورت گیرد. این هزینه ممکن است برای ساخت قطعات خاص مورد نیاز یا انجام برخی از تست‌ها و بازبینی‌ها توسط بازرسان خارج از سازمان یا انجام بخشی یا تمامی فعالیت‌ها به صورت قرارداد با پیمانکاران خارج از سازمان پرداخت شود.

**هزینهٔ حمل‌ونقل مواد:** این هزینه، شامل تمامی هزینه‌های حمل به داخل یا خارج محل اجرای پروژه و بیمه‌های مربوط به آن است.

**هزینهٔ انرژی و سوخت:** منظور هزینه‌هایی است که برای تأمین انرژی مورد نیاز یک فعالیت خاص پرداخت می‌شود مانند هزینهٔ مصرف برق، گازوئیل، نفت.

ممکن است هزینه‌های دیگری نظیر، هزینه‌های آموزش، طراحی و انجام آزمایشات خاص، هزینه‌های سفر یا ... که جزء هزینه‌های مستقیم پروژه تلقی می‌شود.

**هزینه‌های غیرمستقیم پروژه:** هزینه‌های غیرمستقیم یا هزینه‌های بالاسری، تمامی هزینه‌هایی است که منحصر به یک فعالیت خاص نبوده بلکه برای انجام کل یا قسمتی از پروژه ضروری است. ماهیت این نوع هزینه‌ها در پروژه‌های مختلف، متفاوت است و می‌توان ادعا کرد که برآورد و مدیریت این هزینه‌ها، یکی از مهم‌ترین مراحل انجام پروژه است. و در اغلب موارد، نحوهٔ مدیریت این هزینه‌ها با زمان انجام پروژه رابطهٔ مستقیم دارند.

برخی از هزینه‌های غیرمستقیم عبارت‌اند از:

**هزینهٔ مدیریت و کارکنان ثابت پروژه:** این نوع هزینه‌ها، شامل حقوق و سایر مزایایی است که در بخش هزینه نیروی انسانی به آن‌ها اشاره شد. این هزینه‌ها به مدیران و کارکنان ثابت پروژه مانند نگهبان‌ها، کارکنان قسمت‌های اداری و خدماتی و موارد مشابه پرداخت می‌شود.

**بهرهٔ بانکی:** در صورت تأمین اعتبار پروژه از طریق سیستم بانکی، هزینهٔ ناشی از بهرهٔ بانکی جزئی از هزینه‌های غیرمستقیم پروژه به شمار می‌آید و با افزایش طول مدت اجرای پروژه، این هزینه نیز افزایش می‌یابد.

**هزینهٔ ناشی از دیرکرد انجام پروژه (هزینه تأخیر):** این هزینه‌ها طبق قرارداد و بر اساس توافقی که بین کارفرما و پیمانکار صورت می‌گیرد، تعیین می‌شود و به طور منطقی با افزایش زمان اجرای پروژه، این هزینه نیز افزایش می‌یابد.

**هزینهٔ اجارهٔ محل:** این بخش از هزینه‌ها شامل اجارهٔ دفتر مرکزی، کارگاه، سوله، انبار و یا اجارهٔ محل اجرای پروژه است.

**هزینهٔ خدمات عمومی:** این هزینه‌ها شامل هزینه‌های آب، برق، تلفن، تلکس و موارد نظیر آن است که مربوط به یک فعالیت خاص نبوده و بابت انجام کل پروژه یا قسمتی از آن پرداخت می‌شود.

**بیمه:** شامل هزینه‌های پرداختی جهت بیمهٔ آتش‌سوزی، بیمهٔ حوادث و سایر بیمه‌های مورد استفاده در پروژه است.

**لوازم مصرفی اداری:** شامل هزینهٔ تأمین و خرید اقلامی نظیر کاغذ و نوشت‌افزار، میز و صندلی، و لباس کار و ... است.

**هزینهٔ مشاوره و کنترل پروژه:** این بخش از هزینه‌ها، شامل هزینه‌هایی است که به مهندسان مشاور فنی و بخش کنترل پروژه پرداخت می‌شود.

**هزینهٔ امور اداری و خدماتی:** این بخش از هزینه‌ها شامل هزینه‌هایی است که جهت امور حسابداری، کامپیوتر، تأمین کارکنان، بخش رستوران، نگهبانی و موارد مشابه پرداخت می‌شود.

هزینه‌های دیگری نظیر، هزینه‌های آموزش، هزینهٔ کرایه سرویس‌های ایاب و ذهاب، مالیات و کمک‌های خیریه، هزینهٔ تبلیغات و تشریفات یا موارد مشابه که در مورد کل پروژه هزینه می‌شود نیز جزء هزینه‌های غیرمستقیم پروژه است.

مجموع هزینه‌های انجام پروژه، شامل هزینه‌های مستقیم، هزینه‌های غیرمستقیم و برخی هزینه‌های غیرقابل پیش‌بینی می‌شود که ممکن است در حین انجام پروژه اتفاق بیافتد.

### ۲.۵.۱.۵ مراحل روش سیستماتیک

روش سیستماتیک دارای مراحلی است که باید به ترتیب اجرا شده و درنهایت به تخمین هزینهٔ فعالیت‌ها و هزینهٔ پروژه منجر شود. در این روش بر اساس جدولی که از ساختار شکست کار تهیه شده، هزینه‌های مستقیم مربوط به هر فعالیت مشخص شده و سپس مجموع هزینه‌های پروژه محاسبه می‌شود. این مراحل به شرح زیر است:

۱. ابتدا جدولی مانند جدول زیر طراحی و اطلاعات مربوط به آن را تکمیل کنید.

| نام فعالیت (کد) | شرح فعالیت | زمان اجرا | هزینه‌های مستقیم | | | | جمع |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | نیروی انسانی | مواد اولیه | ماشین‌آلات | هزینه متفرقه | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |

**ستون اول:** نام یا کد فعالیت است که اطلاعات مربوط به آن از ساختار شکست کار پروژه تهیه می‌شود.

**ستون دوم:** شرح فعالیت است که اطلاعات مربوط به این ستون نیز از ساختار شکست کار پروژه تهیه می‌شود.

**ستون سوم:** زمان اجرای هر فعالیت است که در مراحل قبلی پروژه در بخش تخمین زمان برآورد شده است.

**ستون چهارم:** اطلاعات مربوط به هزینه‌های مستقیم هر فعالیت است که متناسب با هزینه‌های مستقیمی که دارد، باید مقدار آن را محاسبه و در جدول ثبت کرد. برای مثال هزینهٔ نیروی انسانی از رابطهٔ زیر محاسبه می‌شود:

مدت‌زمان اجرای فعالیت × نرخ دستمزد= هزینهٔ نیروی انسانی

که نرخ دستمزد یا بر اساس میزان ساعت کار، یا تعداد روز کار، یا سایر عوامل تعریف‌شده برای انواع کارها محاسبه می‌شود. برای مثال در پروژه‌های ساختمانی بسیاری از دستمزدهای نیروی انسانی بر اساس متراژ کار انجام‌شده، محاسبه می‌شود.

در برخی مواقع می‌توان از جداول کمکی برای محاسبهٔ هزینهٔ نیروی انسانی استفاده کرد.

| نام فعالیت (کد) | شرح فعالیت | زمان اجرا | | نرخ دستمزد | | مقدار دستمزد | | هزینه نیروی انسانی |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | عادی | اضافه کاری | عادی | اضافه‌کاری | عادی | اضافه‌کاری | |
| | | | | | | | | |

یا به‌عنوان نمونه‌ای دیگر، هزینهٔ مواد و مصالح از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

مقدار، تعداد یا وزن مواد موردنیاز × هزینه واحد = هزینه مواد

به همین ترتیب سایر هزینه‌های مستقیم پروژه مانند هزینهٔ ماشین‌آلات، آموزش، حمل‌ونقل، سوخت و انرژی نیز، مشابه موارد بالا، محاسبه شده و در «زیرستون‌های» مربوط به ستون چهارم درج می‌شود.

**ستون پنجم:** مجموع هزینه‌های مستقیم هر فعالیت را بر اساس اطلاعات ستون چهارم به دست آورده و در این قسمت ثبت می‌شود.

۲. جمع کل هزینه‌های مستقیم پروژه را محاسبه کنید (که از جمع زدن عمودی عناصر ستون پنجم به دست می‌آید).
۳. پس از محاسبه و برآورد هزینه‌های مستقیم پروژه، هزینه‌های غیرمستقیم پروژه را نیز محاسبه (مانند هزینهٔ اجاره محل، مدیریت و ...) و با هزینهٔ مستقیم فعالیت‌ها جمع کنید (البته برای افزایش دقت، تا پانزده درصد، برای هزینه‌های پیش‌بینی‌نشده، به این مبلغ اضافه شود)، تا هزینهٔ کل پروژه به دست آید. به این ترتیب هزینهٔ کل پروژه پیش‌بینی شده است.

## ۲.۵ بودجه‌ریزی[1]

بودجه‌ریزی عبارت است از تخصیص بودجه به هر یک از فعالیت‌ها یا بسته‌های کاری پروژه، به عبارت دیگر با بودجه‌ریزی یک مبنای هزینه‌ای برای پروژه ایجاد می‌شود که این مبنای هزینه‌ای از تخمین‌ها و برآوردهای قبل نشأت گرفته است. از این مبنای هزینه‌ای می‌توان به عنوان معیاری برای اندازه‌گیری کارایی پروژه استفاده کرد.

بودجه‌ریزی پروژه به‌نوعی نحوهٔ تأمین هزینهٔ پروژه را مورد بحث قرار می‌دهد. از این رو در ادامه دو مطلب را بررسی می‌کنیم:

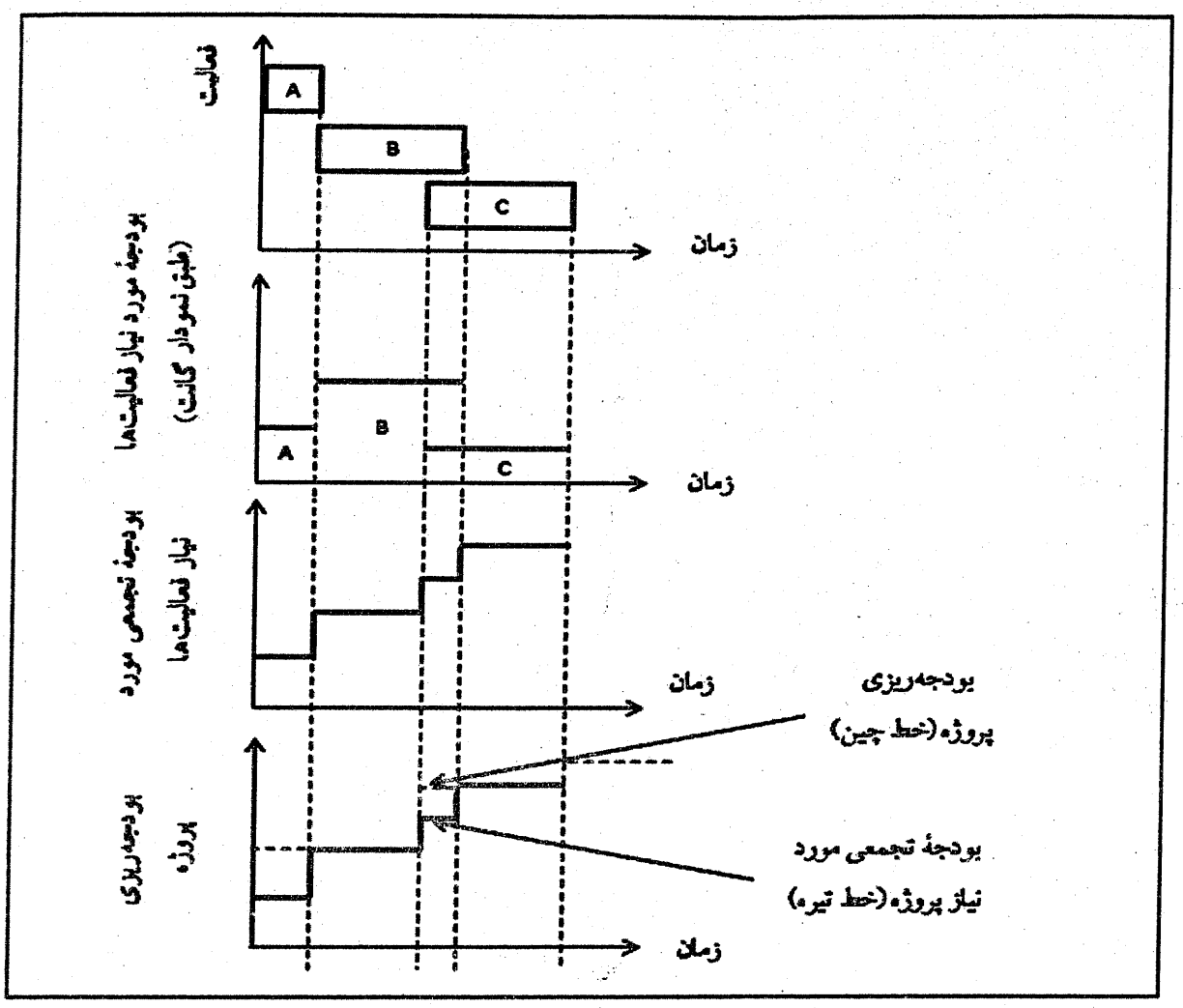
- بودجهٔ مورد نیاز،
- نحوهٔ تأمین بودجهٔ پروژه.

### ۱.۲.۵ بودجهٔ مورد نیاز

برای تأمین بودجهٔ مورد نیاز از نمودار گانت پروژه و بودجهٔ مورد نیاز هر فعالیت (که قبلاً تخمین زده شده) استفاده می‌کنیم. بدین ترتیب که طبق نمودار گانت بودجهٔ مورد نیاز پروژه که زمان اجرای فعالیت‌های آن مشخص شده، تعیین می‌شود، همان‌گونه که در شکل ۱.۵ نشان داده شده است. به این ترتیب میزان بودجهٔ مورد نیاز در مقاطع زمانی مختلف مشخص می‌شود. برای مثال اگر ۱۰۰ میلیون تومان برای انجام یک پروژه ضروری باشد، در این قسمت به این نتیجه می‌رسیم که به ۴۰ میلیون تومان برای آغاز کار، سی میلیون تومان پس از تکمیل سقف اول و سی میلیون تومان در پایان برای نازک‌کاری نیاز است.

---

1. Budgeting




**شکل ۱.۵** بودجهٔ مورد نیاز پروژه و بودجه‌ریزی آن.

## ۲.۲.۵ نحوهٔ تأمین بودجهٔ پروژه

همان‌گونه که قبلاً اشاره شد برای شروع یک پروژه لازم نیست که کل بودجهٔ مورد نیاز به صورت نقد آماده باشد بلکه با در دسترس بودن بخشی از آن نیز می‌توان پروژه را آغاز کرد. (برای مثال برای اکثر پروژه‌ها می‌توان با ۳۰ درصد بودجه که تأمین شد کار را آغاز کرد.) سپس بودجهٔ مورد نیاز در طی چند مرحله تأمین می‌شود. راه‌های مختلفی برای تأمین بودجه وجود دارد که اهم آن‌ها عبارت‌اند از:

۱. پول نقد: توسط کارفرما یا مالک تهیه می‌شود،

۲. وام: عموماً از مؤسسات مالی تهیه می‌شود،

۳. پیش‌فروش: کل یا قسمتی از پروژه به متقاضیان قبل از تکمیل پروژه واگذار می‌شود،
۴. فروش سهام: سهام پروژه عموماً در بازار بورس عرضه می‌شود،
۵. مشارکت: با مشارکت افراد حقیقی و حقوقی در طرح، پروژه انجام می‌شود.

با مشخص شدن میزان بودجهٔ مورد نیاز در مقاطع زمانی مشخص و با تعیین نحوهٔ تأمین آنها نوبت به اجرا می‌رسد که در حین اجرای کنترل از اهمیت زیادی برخوردار است.

## ۳.۵ کنترل هزینه

مدیر پروژه باید حین انجام پروژه، بر نحوهٔ اعمال هزینه‌ها کنترل و نظارت داشته باشد، عدم توجه به این مسئله پروژه را با مشکلات اساسی روبه‌رو خواهد کرد. به‌گونه‌ای که یا پروژه با بودجه و هزینه‌ای بیشتر از مقدار تصویب‌شده اجرا خواهد شد که در این صورت، قیمت تمام‌شدهٔ پروژه افزایش یافته و درنتیجه از سود، کاسته می‌شود یا در برخی موارد، اجرای پروژه به دلیل فقدان توجیه اقتصادی، متوقف می‌شود. به همین دلیل مدیر پروژه باید از میزان اعتبار یا بودجهٔ تخصیص‌یافته، بودجهٔ مصرفی و هزینهٔ انجام کار بعد از تکمیل آن، کاملاً مطلع باشد.

به علت شباهت کنترل هزینه به مطالب کنترل زمان از ذکر توضیحات بیشتر در این قسمت خودداری شده و از مطالب کنترل زمان در این قسمت می‌توان استفاده کرد.

## ۴.۵ تحلیل هزینه

کاهش مدت‌زمان اجرای پروژه، نیاز به صرف هزینه دارد. چنانچه صرف این هزینه، درنهایت، منجر به افزایش سود کل پروژه شود، با مقایسهٔ میزان سود و مقدار هزینه‌ای که برای کاهش زمان انجام پرداخت شده، می‌توان تصمیم گرفت که آیا مدت‌زمان پروژه کاهش یابد یا خیر؟

برای اتخاذ تصمیم صحیح در این مورد، از روش‌های «تحلیل هزینه و زمان» استفاده می‌شود. در این تحلیل‌ها فرض بر این است که:

ـ فعالیت‌هایی در پروژه وجود دارند که می‌توان با صرف منابع بیشتر از مدت‌زمان اجرای آنها کاست.

ـ منابع تخصیص داده‌شده به منظور تقلیل مدت‌زمان اجرا را می‌توان به معیارهای قابل‌اندازه‌گیری (نظیر پول) تبدیل کرد. به عبارت دیگر، مقدار هزینهٔ، تقلیل هر واحد زمان مشخص است.

- فعالیت‌ها از هم مستقل بوده و کاهش مدت‌زمان اجرای یک فعالیت، بر مدت زمان اجرای فعالیت‌های دیگر پروژه، تأثیری ندارد.

### ۱.۴.۵ تعاریف

قبل از توضیح این روش، لازم است به تعریف و توضیح مفاهیمی، که در این تحلیل استفاده می‌شوند، بپردازیم:

#### ۱.۱.۴.۵ زمان معمولی فعالیت [1]

مدت‌زمانی که می‌توان یک فعالیت را، با حداقل هزینه‌های مستقیم، اجرا کرد، زمان معمولی فعالیت می‌گویند و با $D_n$ نمایش داده می‌شود. برای مثال اگر یک فعالیت با دو کارگر در سه روز و با سه کارگر در دو روز و نیم به پایان رسد، مدت‌زمان سه روز، زمان معمولی فعالیت، است.

#### ۲.۱.۴.۵ زمان فشرده فعالیت‌ها [2]

کمترین مدت‌زمان اجرای یک فعالیت (با توجه به شرایط پروژه) را زمان فشرده یا تعجیلی انجام فعالیت گویند و آن را با $D_f$ نمایش می‌دهند.

#### ۳.۱.۴.۵ هزینهٔ معمولی یک فعالیت [3]

مجموع هزینه‌های مستقیم اجرای یک فعالیت در زمان معمولی را هزینهٔ معمولی فعالیت گویند و آن را با $C_n$ نمایش می‌دهند.

#### ۴.۱.۴.۵ هزینهٔ فشردهٔ یک فعالیت [4]

مجموع هزینه‌های مستقیم انجام یک فعالیت، در زمان فشرده را هزینهٔ فشرده یا هزینهٔ تعجیلی فعالیت می‌نامند. و آن را با $C_f$ نمایش می‌دهند.

---

1. Normal activity time
2. Crash activity time
3. Normal activity cost
4. Crash activity cost

### ۵.۱.۴.۵ ضریب زاویهٔ هزینه فعالیت [1]

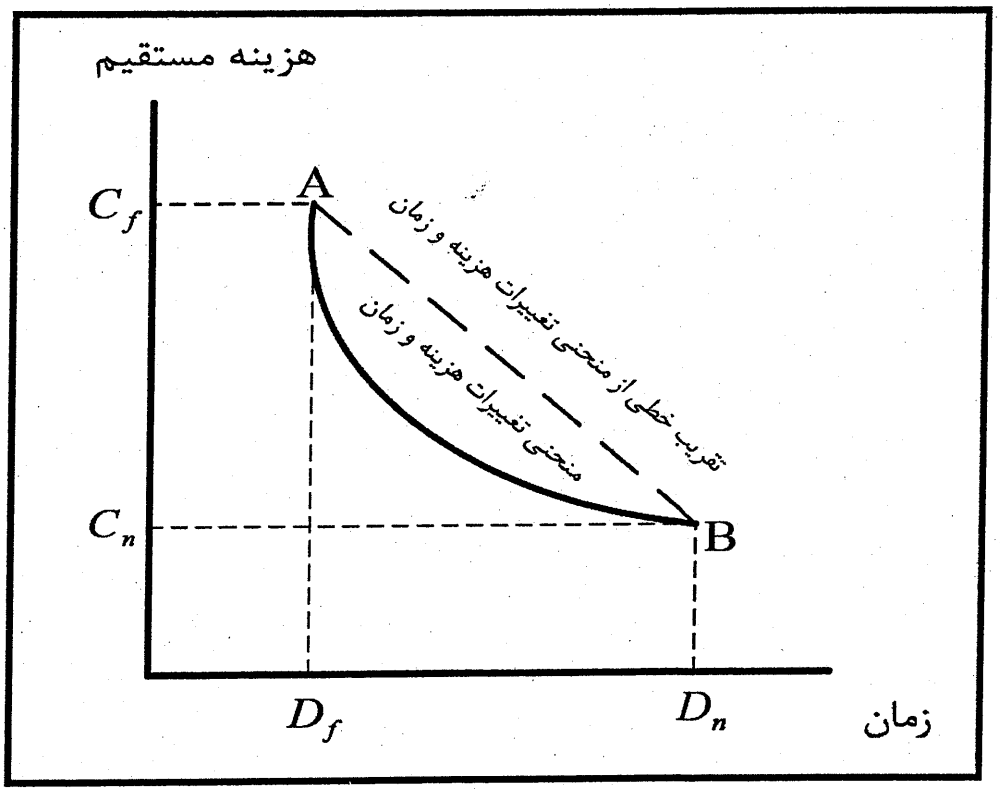
ضریب زاویهٔ هزینهٔ یک فعالیت عبارت است از مقدار تغییر هزینه‌های مستقیم فعالیت به ازای تغییر (کاهش یا افزایش) یک واحد زمان اجرای آن. به عبارت دیگر هزینه‌های مستقیم که بابت کاهش یک واحد زمان از اجرای فعالیت پرداخت می‌شود را ضریب زاویهٔ هزینه می‌نامند. که رابطهٔ آن به صورت زیر است:

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

ضریب زاویهٔ هزینه عموماً منفی است؛ از این رو به‌صورت قدر مطلق بیان می‌شود.

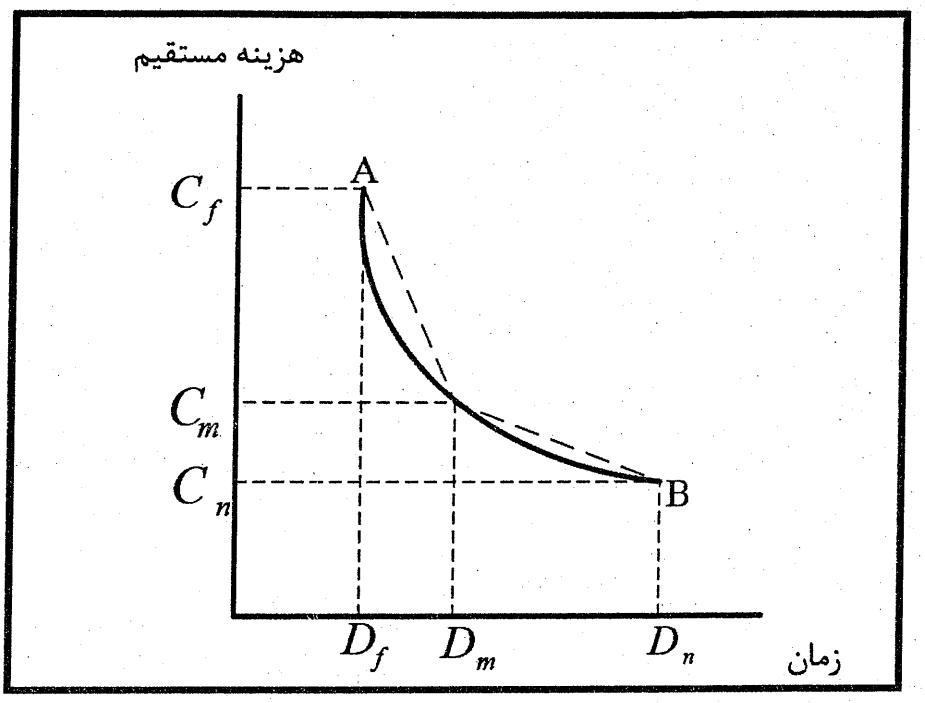
ممکن است رابطهٔ هزینه و زمان به صورت خطی نباشد که می‌توان آن را مانند شکل ۲.۵ تقریب خطی زد.

ممکن است در برخی مواقع برای دقت بیشتر به‌جای یک پاره‌خط از چند پاره‌خط برای تقریب استفاده شود که نمونه آن را در شکل ۳.۵ می‌بینید.




**شکل۲.۵** منحنی تغییرات هزینه، زمان و تقریب خطی آن.

1. Activity cost slop




شکل ۳.۵ منحنی تغییرات هزینه، زمان و تقریب خطی آن (چند تقریب).

### ۲.۴.۵ رابطهٔ بین هزینه‌های مستقیم و زمان انجام یک پروژه

با توجه به تعاریف ذکر شده و با توجه به اینکه مسیر بحرانی طولانی‌ترین مسیر انجام پروژه است حالات زیر به‌وجود خواهد آمد:

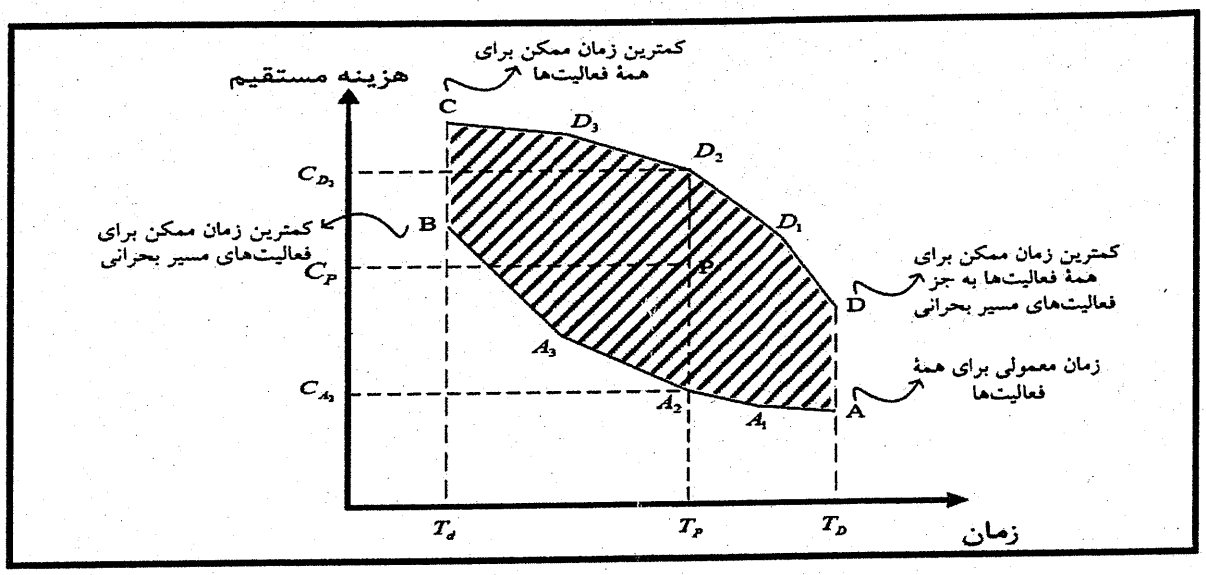
الف. اگر زمان‌های معمولی برای همه فعالیت‌ها در نظر گرفته شوند هزینهٔ مستقیم پروژه حداقل خواهد بود و مدت اجرا حداکثر می‌شود.

ب. اگر بخواهیم مدت‌زمان کل اجرای پروژه را تقلیل بدهیم باید به فعالیت‌های روی مسیر بحرانی منبع بیشتری تخصیص بدهیم (فشرده‌سازی کنیم).

ج. اگر زمان‌های همهٔ فعالیت‌ها، چه بحرانی و چه غیر بحرانی فشرده شوند، هزینه مستقیم پروژه حداکثر و مدت اجرای پروژه حداقل می‌شود.

د. اگر بخواهیم هزینهٔ اجرای پروژه را تقلیل دهیم ولی مانند حالت «ج» زمان اجرا در پایین‌ترین سطح باشد باید فعالیت‌هایی که بحرانی نبوده و بیهوده فشرده شده‌اند را در زمان معمولی خودشان اجرا و فقط زمان فعالیت‌های مسیر بحرانی پروژه را فشرده کنیم. چراکه فشرده‌سازی فعالیت‌های غیر بحرانی در زمان انجام پروژه تأثیری ندارد.

نتیجه‌گیری‌های بالا را می‌توان در شکل ۴.۵ مشاهده کرد، مدت‌زمان کل اجرای پروژه نیز مطابق شکل ۴.۵ بین دو مقدار $T_D$ و $T_d$ محدود می‌شود.




**شکل ۴.۵** منحنی تغییرات هزینه بر اساس زمان پروژه.

توضیح[۱]

هر نقطه در قسمت هاشورخوردهٔ شکل ۴.۵ یک حالت انجام پروژه است که مؤلفهٔ طول آن نقطه، بیانگر زمان اتمام پروژه و مؤلفهٔ عرض آن نقطه، برابر هزینهٔ اتمام پروژه در همان زمان مذکور است. برای مثال نقطهٔ P حالتی از انجام پروژه است که دارای مدت‌زمان اجرای $T_p$ و هزینه $C_p$ است. از طرفی نقطه $A_2$ نیز که در شکل می‌بینید، نحوهٔ دیگری از اتمام پروژه است که مانند P دارای یک زمان اتمام پروژه یعنی $T_p$، است، ولی هزینهٔ $A_2$ به‌مراتب کمتر از هزینهٔ P است $(C_{A_2} < C_p)$. بنابراین در نقطهٔ P هرچند زمان پروژه کمتر شده ولی به علت بی‌توجهی به‌جای آنکه هزینه همان $C_{A_2}$ باشد تبدیل به $C_P$ شده است؛ زیرا در نقطهٔ P زمان فعالیت‌های غیر بحرانی نیز کاهش یافته است و این کار نه‌تنها در زمان اتمام پروژه تأثیری ندارد بلکه هزینه‌بر نیز، هست. مدیر پروژه موظف است، برای زمان‌های ممکن انجام پروژه کمترین هزینهٔ اجرایی را یافته و آن را در اختیار مدیریت قرار

---

۱. مطالبی که داخل کادر با زمینهٔ خاکستری قرار دارند برای دانشجویان (مقطع کاردانی) اجباری نیست و صرفاً برای مطالعهٔ آزاد گنجانده شده است.

دهد، تا وی بر اساس تصمیم خود، هرکدام را که مناسب دید، انتخاب کند. به همین منظور مدیر پروژه، منحنی تغییرات کمترین هزینه اجرایی را برحسب زمان اتمام پروژه به دست می‌آورد. برای مثال در شکل ۴.۵ نمودار خطی $AA_1A_2A_3B$ نمودار مورد توجه است.

در اینجا چند نکته را باید متذکر شد: یکی اینکه دلیل خطی بودن جزء به جزء مسیر $AA_1A_2A_3B$ به علت خطی فرض کردن رابطهٔ بین هزینه و زمان است و دیگر اینکه پیوسته بودن نمودار مذکور باز بر اساس فرض اولیه است و نکتهٔ دیگر قابل توجه در شکل ۴.۵ این است که $DD_1D_2D_3C$ مسیر بیشترین هزینه را برای تقلیل زمان نشان می‌دهد.

حال چگونه می‌توان به مسیر $AA_1A_2A_3B$ که مسیر مطلوب است دست یافت؟

با توضیحات بالا به این نتیجه دست می‌یابیم که باید فشرده‌سازی را از فعالیت‌های مسیر بحرانی که قابل فشرده‌سازی است، آغاز کرد و از بین فعالیت‌های مسیر بحرانی که قابل فشرده‌سازی است، باید فعالیتی را فشرده کرد که به کمترین هزینه برای فشرده شدن نیاز دارد. اما اینجا نکتهٔ دیگری هم وجود دارد و آن اینکه آیا می‌توان همه فعالیت‌های قابل فشرده شدن مسیر بحرانی را حتی با در نظر گرفتن ترتیب صعودی شیب هزینه‌ها فشرده ساخت؟ جواب منفی است، چراکه ممکن است، با فشرده کردن یک فعالیت، مسیر بحرانی از بحرانی بودن خارج و مسیر بحرانی جدیدی در شبکه تشکیل شود. بدیهی است که در این حالت کاهش، زمان فعالیت مورد نظر کاری بیهوده است؛ زیرا که مسیر بحرانی جدید مانع از کاهش زمان کل پروژه می‌شود، این نکته اساس طراحی الگوریتم حداقل‌سازی هزینه‌های مستقیم پروژه است که در ادامهٔ فصل به آن می‌پردازیم.

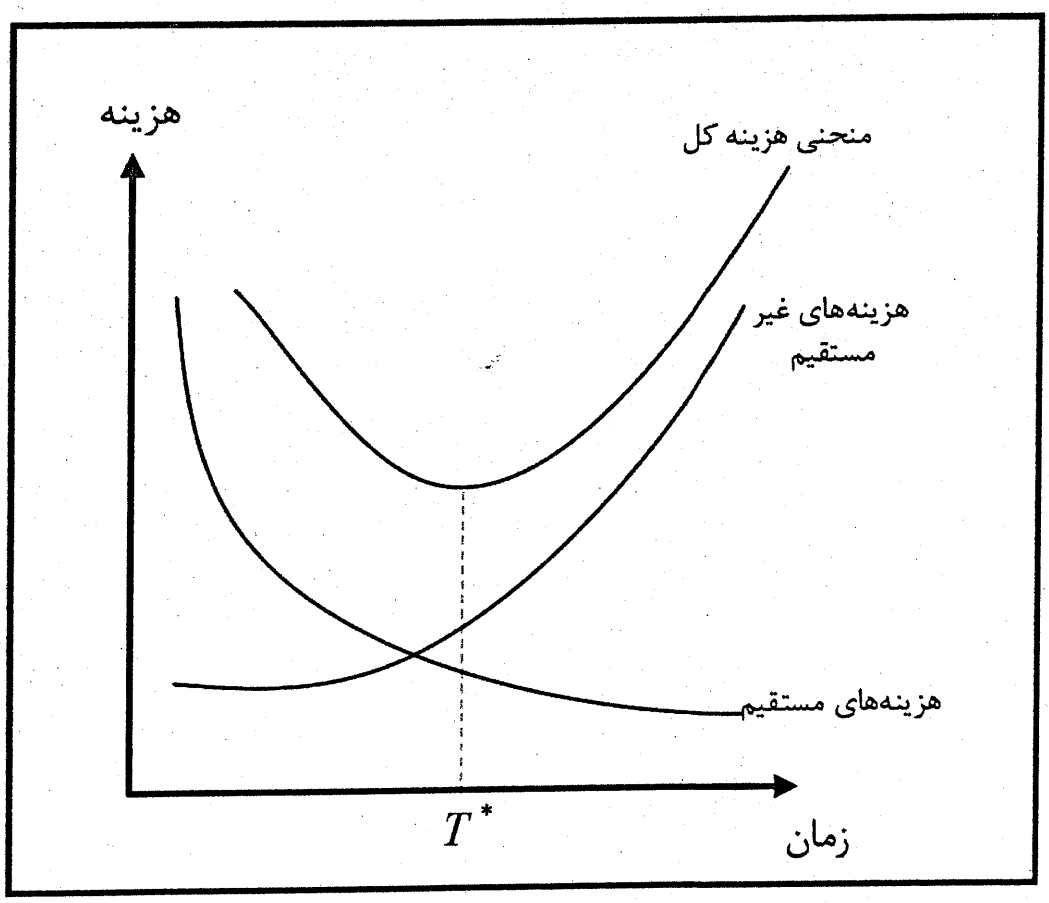
### ۳.۴.۵ بررسی هزینهٔ کل

هزینهٔ کل پروژه شامل مجموع هزینهٔ مستقیم و غیرمستقیم پروژه می‌شود. هزینه‌های مستقیم اجرای فعالیت‌ها در یک پروژه نسبت به افزایش مدت‌زمان اجرای پروژه ماهیتی نزولی دارد؛ در حالی که هزینه‌های غیر مستقیم پروژه نسبت به افزایش زمان اجرای آن ماهیتی صعودی دارند. به عبارت دیگر اگر زمان اجرای پروژه طولانی‌تر شود، هزینه‌های مستقیم کمتر می‌شود؛ زیرا با نیروی کمتر می‌توان پروژه را اجرا کرد و در مقابل هزینه‌های غیرمستقیم بیشتر می‌شود؛ (برای مثال اجارهٔ محل افزایش می‌یابد. شکل ۵.۵

تغییرات هزینه‌های مستقیم و غیرمستقیم یک پروژه را برحسب زمان اجرای پروژه نشان می‌دهد. همان‌طور که دیده می‌شود نقطهٔ کمینه (مینیمم) برای مدت‌زمان اجرای پروژه عبارت است از $T^*$ که مجموع هزینه‌های مستقیم و غیرمستقیم پروژه حداقل می‌شود.[۱]

در اینجا یک پرسش مطرح می‌شود که آیا $T^*$ واقعاً بهترین زمان انجام پروژه است؟

پاسخ این پرسش بدین گونه است که بستگی به سود (یا به عبارت دیگر به بازار و رقبا) دارد، اگر بازار انحصاری است و رقیب دیگری برای پروژه یا اقلام قابل تحویل پروژه وجود ندارد اتمام پروژه در زمان حداقل هزینه بهتر است. اما اگر بازار رقابتی است و احتمال دارد که رقبا محصول را زودتر به بازار عرضه کرده و سهم بازار را به خود اختصاص دهند در این صورت لازم است با فشرده کردن زمان $T^*$ (زمان حداقل هزینهٔ کل) مقدار هزینهٔ اتمام پروژه را بیشتر و سهم بازار را حفظ کرد یا گسترش داد؛ زیرا سود بیشتر می‌شود.




**شکل ۵.۵** منحنی‌های هزینهٔ مستقیم، غیرمستقیم و هزینهٔ کل.

---

۱. بدیهی است که نقطهٔ $T^*$ لزوماً منطبق بر محل تلاقی دو منحنی نیست، بلکه در نقطه‌ای که دو منحنی دارای شیب مساوی و در خلاف جهت هم هستند، واقع می‌شود.

### ۴.۴.۵ الگوریتم حداقل سازی هزینه‌های مستقیم پروژه

در مطالب قبلی اشاره شد که کاهش در مدت‌زمان اجرای یک پروژه، منوط به کاهش در مدت‌زمان اجرای فعالیت‌های واقع در مسیر بحرانی پروژه است. بنابراین الگوریتم در آغاز به بررسی رابطهٔ هزینه و زمان فعالیت‌های واقع در مسیر بحرانی می‌پردازد، حداکثر مقدار زمانی را که در مسیر بحرانی اولیه شبکه می‌توان کاهش داد بستگی به فرجهٔ اولین مسیری که بحرانی می‌شود دارد.

در این الگوریتم هدف این است که تا حد امکان، مدت‌زمان کل پروژه تقلیل یافته و هزینهٔ هر مرحلهٔ تقلیل نیز محاسبه شود. آنگاه با توجه به نتایج به‌دست‌آمده، تصمیم‌گیری بر عهدهٔ مدیریت ارشد پروژه یا کارفرما خواهد بود که پروژه در چه زمانی و با چه هزینه‌ای اجرا شود. این الگوریتم شامل سه گام کلی است:

**گام نخست:** زودترین و دیرترین زمان انجام فعالیت‌ها را محاسبه یا به‌روزرسانی و سپس مسیر یا مسیرهای بحرانی را مشخص کنید. چنانچه همه فعالیت‌های یکی از مسیرهای بحرانی شبکه در فشرده‌ترین زمان خود باشند الگوریتم متوقف می‌شود.

در غیر این صورت، اگر یک مسیر بحرانی، قابل فشرده شدن، وجود دارد به گام دوم مراجعه شود. اگر بیش از یک مسیر بحرانی که همه قابل فشرده شدن هستند، وجود داشته باشد به گام سوم مراجعه شود.

**گام دوم:** شیب هزینه و زمان فعالیت‌های مسیر بحرانی را تعیین و فعالیتی که کمترین شیب را دارد انتخاب کنید. میزان فشرده‌سازی این فعالیت را $\Delta T$ بنامید. آیا با کاهش زمان فعالیت به میزان $\Delta T$ مسیر بحرانی اضافه می‌شود؟ چنانچه مسیر بحرانی اضافه نمی‌شود زمان فعالیت را کاهش دهید. اگر مسیر بحرانی، اضافه می‌شود زمان فعالیت را تا مرز افزایش مسیرهای بحرانی کاهش دهید و سپس به گام نخست بازگردید.

**گام سوم:** فعالیت‌های روی مسیرهای بحرانی شبکه را به دو مجموعه تقسیم کنید:

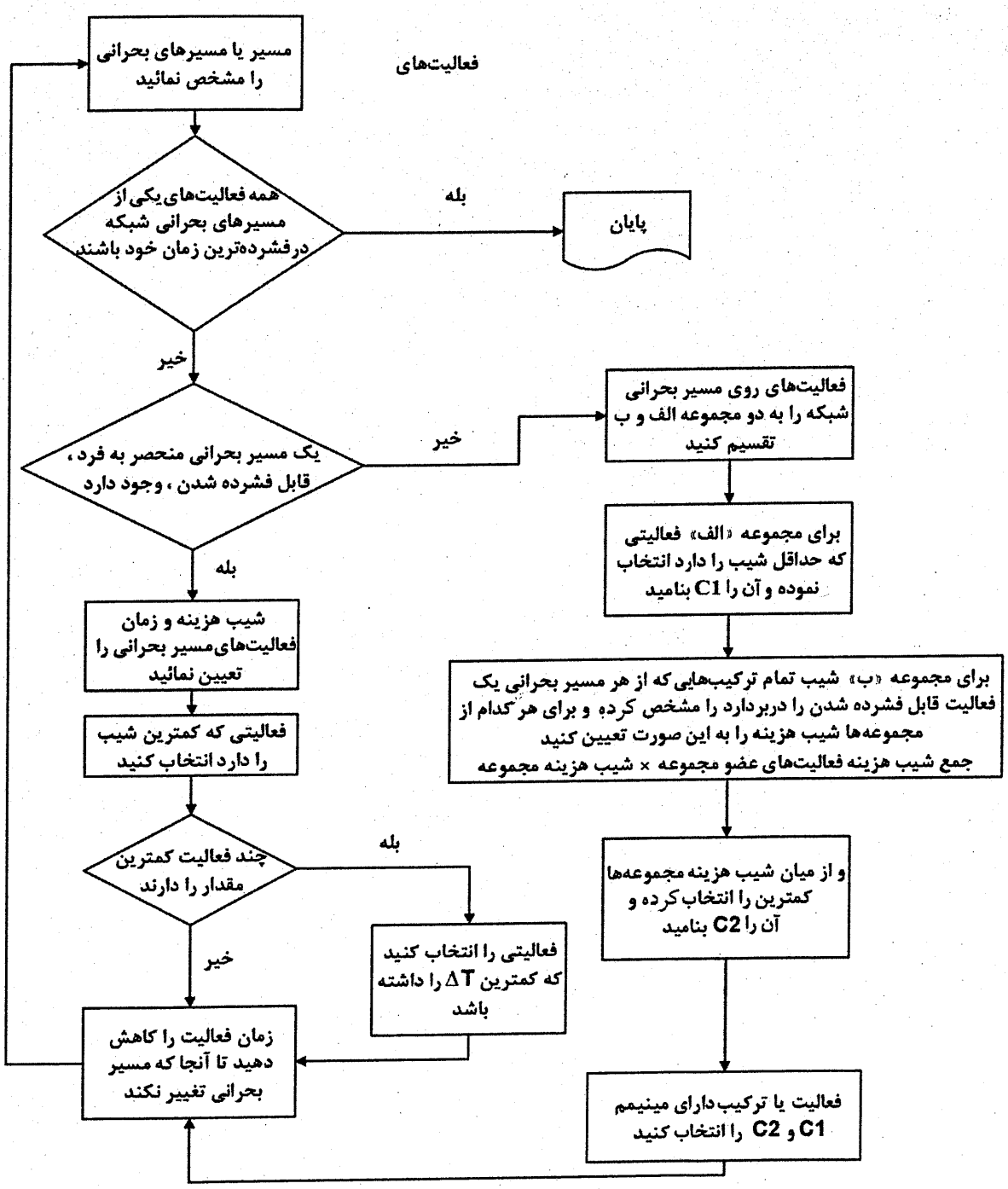
مجموعه «الف»: فعالیت‌هایی که در تمام مسیرها بحرانی مشترک هستند.

مجموعه «ب»: ترکیبی از فعالیت‌ها را انتخاب کنید که با فشرده‌سازی فعالیت‌های این ترکیب، زمان همهٔ مسیرهای بحرانی به طور هم‌زمان کاهش یابد.

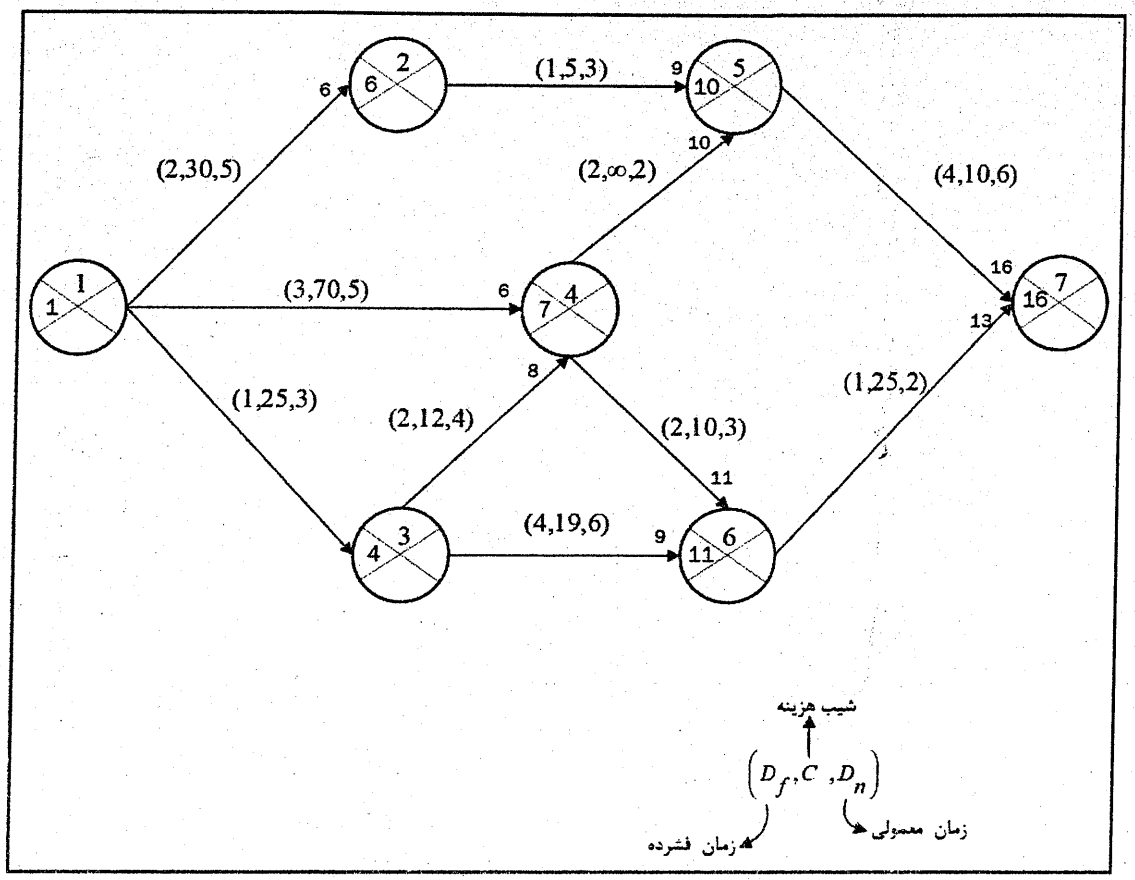
ـ برای مجموعهٔ «الف» فعالیتی که حداقل شیب را دارد انتخاب کنید و آن را $C_1$ بنامید.

ـ برای مجموعه «ب» شیب تمام ترکیب‌های فشرده‌سازی را محاسبه کنید که برابر است با مجموع شیب فعالیت‌های ترکیب مورد نظر، کمترین شیب این ترکیب‌ها را

انتخاب کرده و آن را $C_2$ بنامید. حال مینیمم $C_1$ و $C_2$ را انتخاب و مانند آنچه در گام دوم بیان شد عمل کنید و در پایان به گام نخست مراجعه کنید. این الگوریتم در شکل ۶.۵ نمایش داده شده است.




**شکل ۶.۵** الگوریتم حداقل هزینه‌های مستقیم پروژه.




**شکل ۷.۵** شبکهٔ مثال ۱.۵.

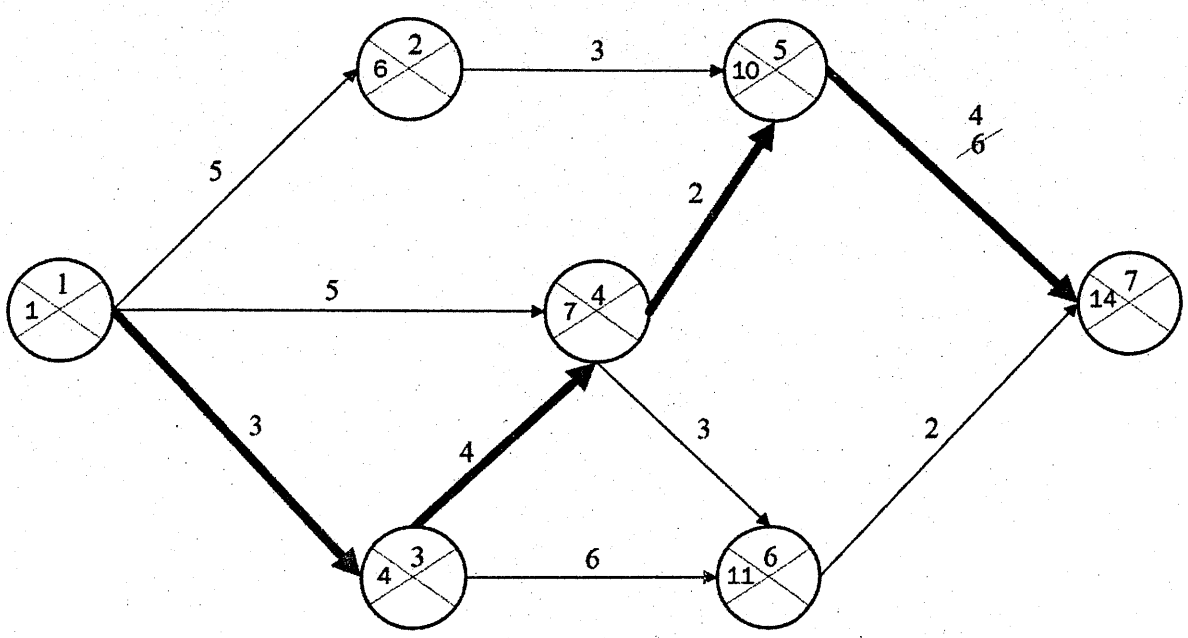
**مثال ۱.۵:** برای شبکه زیر، محاسبات بررسی هزینه و زمان را انجام داده و منحنی تغییرات هزینه‌های مستقیم کل پروژه را نسبت به مدت‌زمان اجرای پروژه به دست آورید. مقادیر زمان معمولی، زمان فشرده و ضریب زاویه‌ی هزینه روی شکل نشان داده شده‌اند.

**حل:**

ابتدا باید محاسبات رفت‌وبرگشت را به‌منظور یافتن مسیر بحرانی انجام داد. با محاسبات مشخص می‌شود که مسیر ۷ـ۵ـ۴ـ۳ـ۱ مسیر بحرانی است. هم‌اکنون محاسبات الگوریتم گام به گام در پی می‌آید:

**دور اول:**

مسیر بحرانی قابل فشرده شدن است پس به گام دوم می‌رویم؛ چراکه یک مسیر بحرانی وجود دارد و کمترین شیب را فعالیت ۵.۷ داشته و با تقلیل زمان آن مسیر بحرانی دیگری به مسئله اضافه نمی‌شود پس این تقلیل را انجام می‌دهیم.




| دور | فعالیت با شیب حداقل | | میزان تقلیل $(\Delta t)$ | | شیب | هزینه فشرده‌سازی | مسیر بحرانی |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| اول | ۵_۷ | $\Delta t = 2$ | ۱۰ | ۲۰ | | | ۱_۳_۴_۵_۷ |

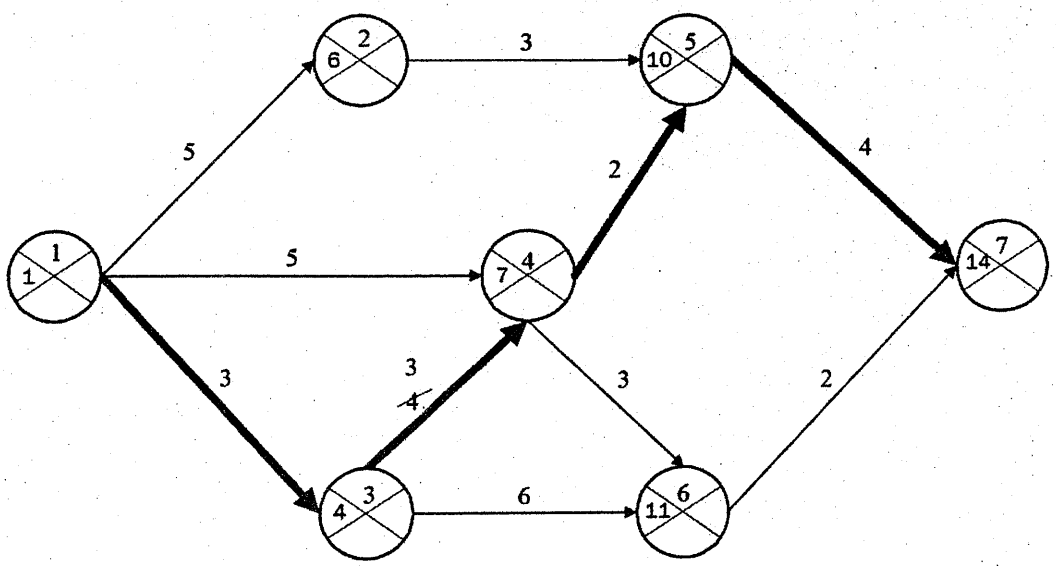
**دور دوم:**

مسیر بحرانی تغییر نکرده است و در فعالیت‌هایی که می‌توان زمانشان را کاهش داد فعالیت ۳.۴ دارای کمترین شیب است. از این رو آن را فقط یک واحد کاهش می‌دهیم، زیرا کاهش بیش از یک روز، مسیر بحرانی فعلی را تبدیل به مسیر غیر بحرانی می‌کند.

| دور | فعالیت با شیب حداقل | میزان تقلیل $(\Delta t)$ | شیب | هزینه فشرده‌سازی | مسیر بحرانی |
|---|---|---|---|---|---|
| دوم | ۳_۴ | $\Delta t = 1$ | ۱۲ | ۱۲ | ۱_۳_۴_۵_۷ |

**دور سوم:**

در این دور با توجه به فشرده‌سازی دو دورهٔ قبلی، دو مسیر بحرانی وجود دارد:




همان‌گونه که در شکل زیر نشان داده شده دو مسیر ۷ـ۵ـ۲ـ۱ و ۷ـ۵ـ۴ـ۳ـ۱ قابل فشرده شدن هستند. از این رو باید مجموعه‌های الف و ب را تشکیل داد:

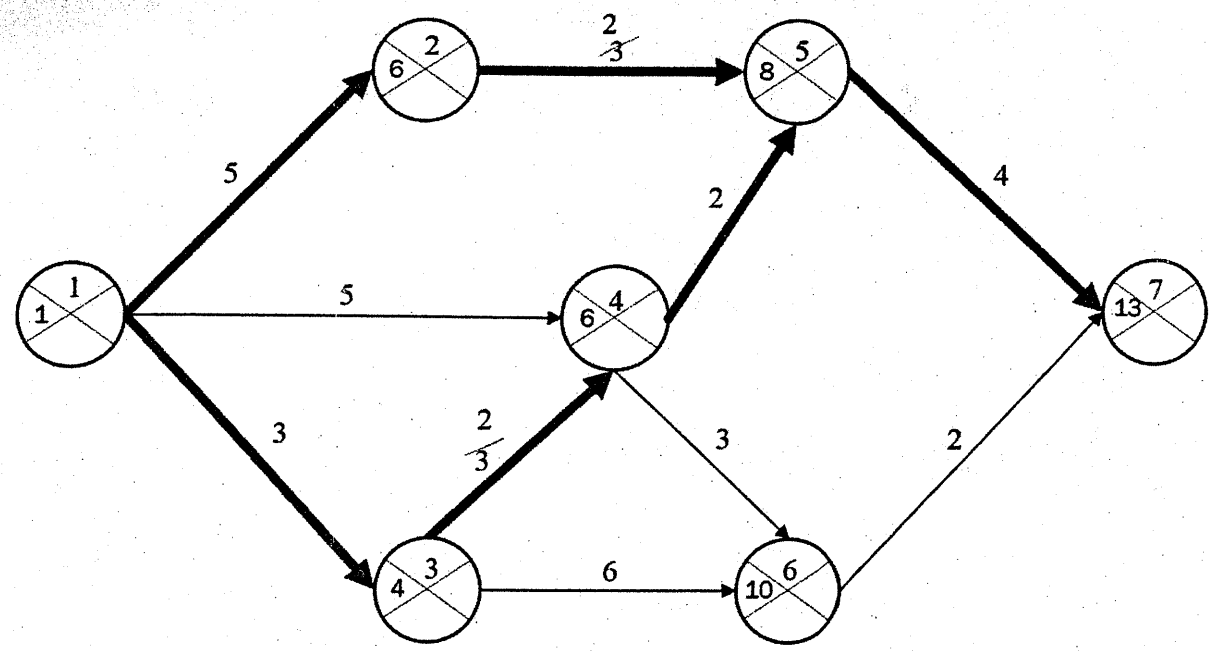
**الف.** مجموعهٔ الف تهی است زیرا که فعالیت ۵.۷ تقلیل زمان داده‌شده و دیگر فعالیتی به‌صورت مشترک در هر دو مسیر، وجود ندارد.

**ب.** ترکیب‌های مختلفی که می‌توان نوشت به شرح زیر است:

| شماره ترکیب | مجموعه ترکیب | حداکثر زمان فشرده‌سازی | شیب مجموعه |
|---|---|---|---|
| ۱ | (۲ـ۱) و (۳ـ۱) | $\Delta t = 2$ | $C = 55$ |
| ۲ | (۲ـ۱) و (۴ـ۳) | $\Delta t = 1$ | $C = 42$ |
| ۳ | (۵ـ۲) و (۳ـ۱) | $\Delta t = 2$ | $C = 30$ |
| ۴ | (۵ـ۲) و (۴ـ۳) | $\Delta t = 1$ | $C = 17$ |

ترکیب ۴ دارای کمترین شیب است؛ چرا که تقلیل ۱ واحدی در دو مسیر بحرانی، آن‌ها را به مسیرهای غیر بحرانی تبدیل نمی‌کند؛ پس تقلیل زمان اعمال می‌شود.

| دور | فعالیت با شیب حداقل | میزان تقلیل $(\Delta t)$ | شیب | هزینه فشرده‌سازی | مسیر بحرانی |
|---|---|---|---|---|---|
| سوم | (۵ـ۲) و (۴ـ۳) | $\Delta t = 1$ | ۱۷ | ۱۷ | ۷ـ۵ـ۴ـ۳ـ۱<br>۷ـ۵ـ۲ـ۱ |




**دور چهارم:**

در این حالت بعد از انجام محاسبات با توجه به تغییرات زمانی سه دور قبل همان‌گونه که در شکل زیر نشان داده شده است، چهار مسیر بحرانی وجود خواهد داشت، که در زیر آورده شده‌اند.

- مسیر ۷ـ۵ـ۴ـ۳ـ۱
- مسیر ۷ـ۵ـ۴ـ۱
- مسیر ۷ـ۵ـ۲ـ۱
- مسیر ۷ـ۶ـ۳ـ۱

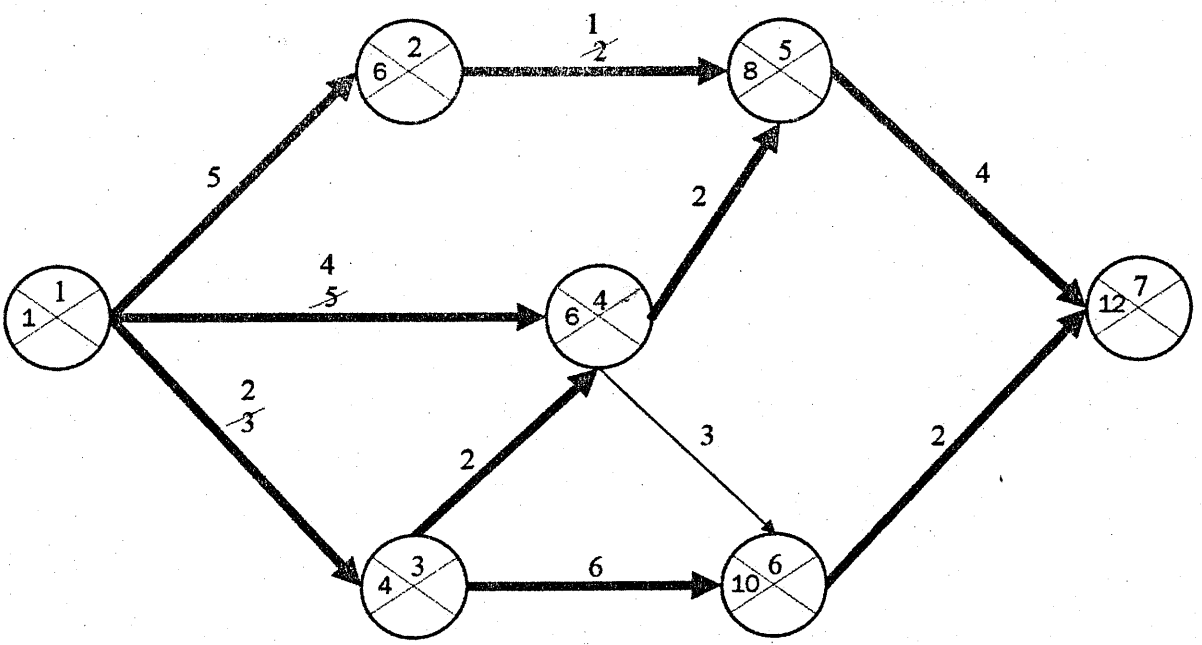
هرکدام از این چهار مسیر قابلیت فشرده شدن دارند پس گام سوم اجرا می‌شود:

- مجموعهٔ الف تهی است.
- مجموعه ب شامل دو ترکیب زیر است:

| شماره ترکیب | مجموعه ترکیب | حداکثر زمان فشرده‌سازی | شیب مجموعه |
|---|---|---|---|
| ۱ | (۲ـ۱) و (۴ـ۱) و (۳ـ۱) | $\Delta t = 2$ | $C = 125$ |
| ۲ | (۵ـ۲) و (۴ـ۱) و (۳ـ۱) | $\Delta t = 1$ | $C = 100$ |

ترکیب ۲ دارای حداقل شیب است و مقدار تقلیل آن یک واحد است که با تقلیل آن مسیرها تبدیل به مسیر غیر بحرانی نمی‌شود. بنابراین تقلیل انجام می‌گیرد.

| دور | فعالیت با شیب حداقل | میزان تقلیل $(\Delta t)$ | شیب | هزینه فشرده‌سازی | مسیر بحرانی |
|---|---|---|---|---|---|
| چهارم | (۵ـ۲) و (۴ـ۱) و (۳ـ۱) | $\Delta t = 1$ | ۱۰۰ | ۱۰۰ | ۱ـ۳ـ۴ـ۵ـ۷<br>۱ـ۴ـ۵ـ۷<br>۱ـ۲ـ۵ـ۷<br>۱ـ۳ـ۶ـ۷ |




دور پنجم:

در این حالت مسیرهای بحرانی همان چهار مسیر بحرانی قبلی است (شکل زیر) که هرکدام را به تنهایی می‌توان تقلیل زمان داد:

- مسیر ۱ـ۳ـ۴ـ۵ـ۷
- مسیر ۱ـ۴ـ۵ـ۷
- مسیر ۱ـ۲ـ۵ـ۷

ـ مسیر ۷ـ۶ـ۳ـ۱

هرکدام از این چهار مسیر قابلیت فشرده شدن را دارند پس گام سوم اجرا می‌شود:

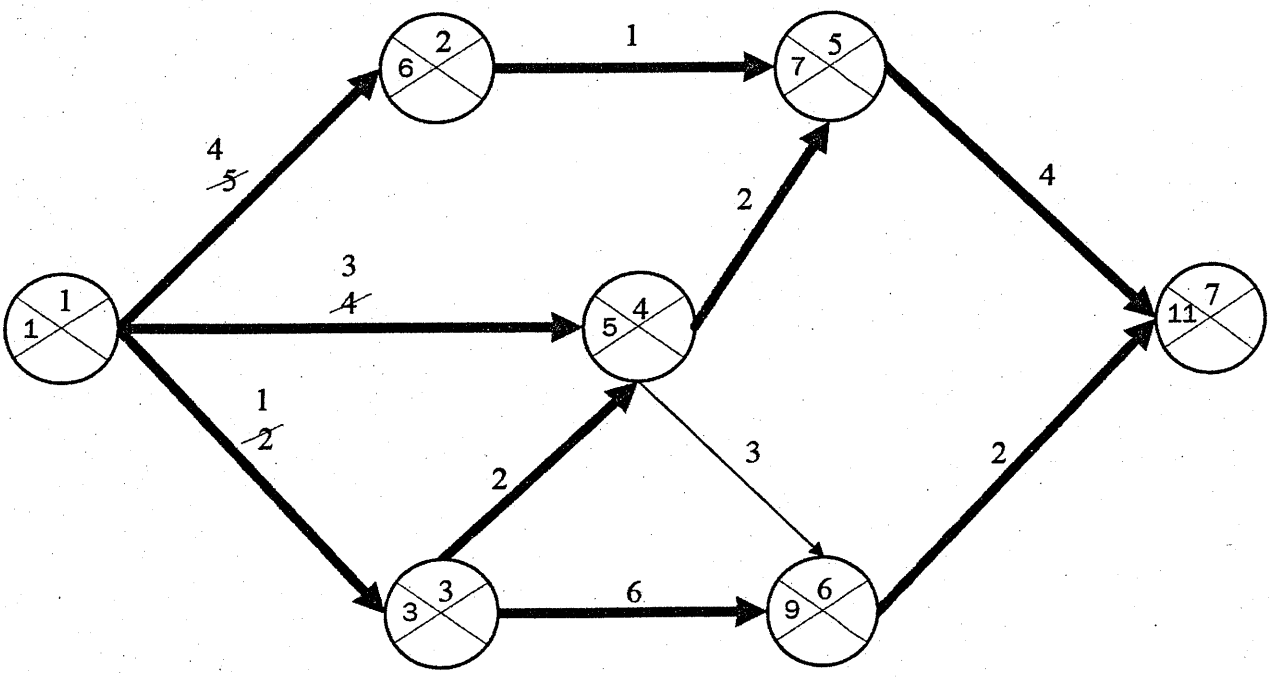
ـ مجموعهٔ الف تهی است.

ـ مجموعهٔ ب فقط شامل ترکیب زیر است:

| شمارهٔ ترکیب | مجموعهٔ ترکیب | حداکثر زمان فشرده‌سازی | شیب مجموعه |
|---|---|---|---|
| ۱ | (۲ـ۱) و (۴ـ۱) و (۳ـ۱) | $\Delta t = 2$ | $C = 125$ |

و مقدار تقلیل آن یک واحد است. بنابراین تقلیل زمانی انجام می‌گیرد.

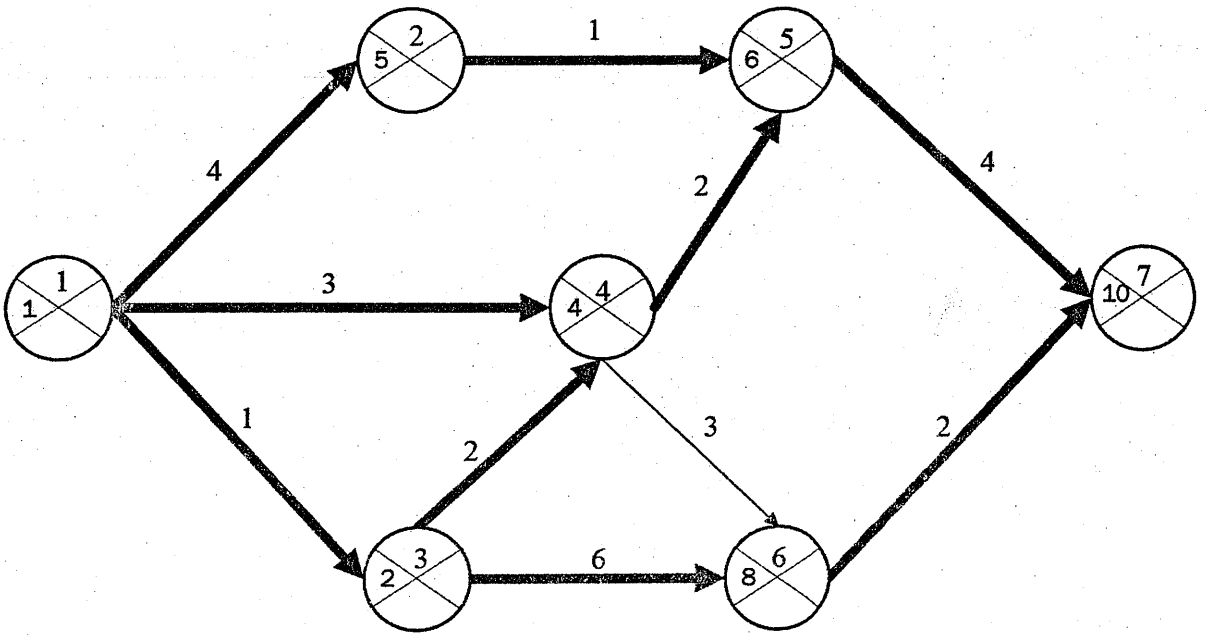
| دور | فعالیت با شیب حداقل | میزان تقلیل $(\Delta t)$ | شیب | هزینه فشرده‌سازی | مسیر بحرانی |
|---|---|---|---|---|---|
| پنجم | (۲ـ۱) و (۴ـ۱) و (۳ـ۱) | $\Delta t = 1$ | ۱۲۵ | ۱۲۵ | ۷ـ۵ـ۴ـ۳ـ۱<br>۷ـ۵ـ۴ـ۱<br>۷ـ۵ـ۲ـ۱<br>۷ـ۶ـ۳ـ۱ |



**دور ششم:**

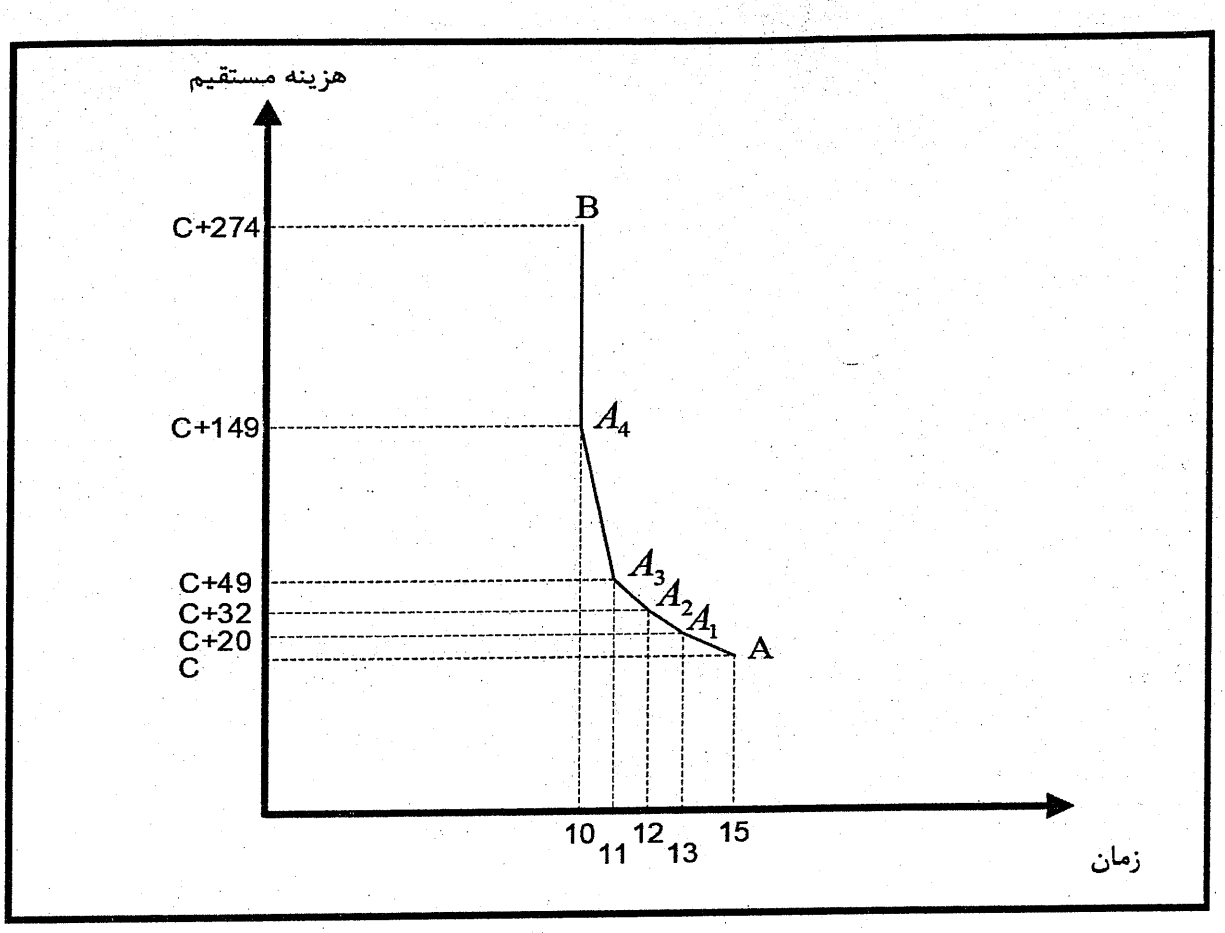
ازآنجاکه مسیرهای ۷ـ۵ـ۴ـ۳ـ۱ و ۷ـ۵ـ۴ـ۱ دارای کمترین زمان ممکن است و در این مسیرها، دیگر فشرده‌سازی زمان نمی‌تواند صورت بگیرد، کار فشرده‌سازی متوقف می‌شود.

با اعمال تغییرات دورهٔ قبل کمترین زمان ممکن برای اتمام پروژه ۹ روز است.




| دور الگوریتم | مدت‌زمان اجرای پروژه | هزینه‌های مستقیم | تقلیل زمان در این دور | افزایش هزینه‌های مستقیم | نقطه معادل در شکل |
|---|---|---|---|---|---|
| اول | ۱۵ | C | ۲ | ۲۰ | A |
| دوم | ۱۳ | C+۲۰ | ۱ | ۱۲ | $A_1$ |
| سوم | ۱۲ | C+۳۲ | ۱ | ۱۷ | $A_2$ |
| چهارم | ۱۱ | C+۴۹ | ۱ | ۱۰۰ | $A_3$ |
| پنجم | ۱۰ | C+۱۴۹ | ۱ | ۱۲۵ | $A_4$ |
| ششم | ۹ | C+۲۷۴ | – | – | B |

مقدار C هزینهٔ انجام پروژه در حالت عادی است. در شکل ۷.۵ تغییرات هزینه‌های مستقیم پروژه نسبت به زمان اجرای آن نشان داده‌شده است.




**شکل ۸.۵** نمایش تغییرات هزینه‌های مستقیم پروژه برحسب مدت‌زمان اجرا.

### ۵.۴.۵ کاربرد برنامه‌ریزی خطی در تحلیل هزینه ـ زمان(یک تقریب)

الگوریتم ارائه‌شده در قسمت قبل الگوریتم تقریبی بوده و جواب دقیق را در برخی موارد محاسبه نمی‌کند. برای محاسبهٔ جواب دقیق می‌توان از برنامه‌ریزی خطی در این زمینه استفاده کرد. در این مسئله فرض بر این است که رابطهٔ بین هزینه و زمان انجام فعالیت‌ها خطی بوده و برای تمامی فعالیت‌های پروژه ضریب زاویه هزینه مشخص است. در این مدل حداقل هزینهٔ کل مورد بررسی قرار می‌گیرد، که در آن هدف، یافتن بهترین زمان انجام پروژه است؛ به‌گونه‌ای که مجموع هزینه‌های مستقیم و بالاسری پروژه حداقل شود. برای ساختن مدل موارد زیر باید موردبحث واقع شود:

- پارامترها
- تابع هدف
- محدودیت‌ها

**پارامترها:** در این مسئله پارامترها به‌صورت زیر تعریف می‌شوند (ر.ک. شکل ۹.۵).

$D_{n_{ij}}$ = زمان معمولی فعالیت $i-j$

$D_{f_{ij}}$ = زمان فشرده فعالیت $i-j$

$C_{ij}$ = ضریب زاویه فعالیت $i-j$

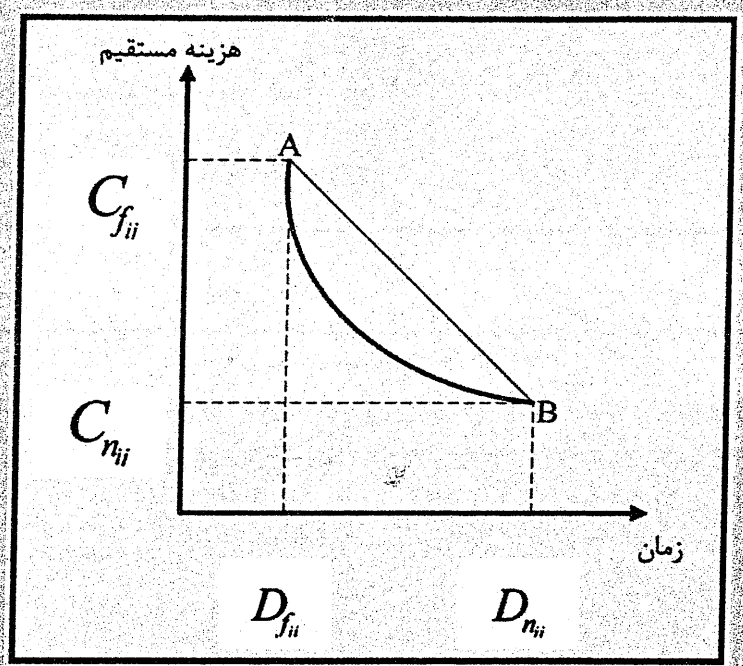
$d_{ij}$ = زمان عملی برای اجرای فعالیت $i-j$

$n$ = تعداد واقعه‌های شبکه

$E_i$ = تاریخ عملی برای وقوع واقعه $i$ام

$K_n$ = هزینه‌های مستقیم اجرای فعالیت‌ها در شرایط معمولی

$H$ = هزینه بالاسری پروژه در هر واحد زمانی




**شکل ۹.۵** نمایش گرافیکی منحنی هزینه و پارامترهای یک فعالیت.

همان‌گونه که قبلاً اشاره شد مدل‌های مختلف در حل مسئله مطرح است. در اینجا مدل حداقل هزینه کل جهت تشریح مسئله ابتدا تابع هدف را تشکیل داده و سپس سایر محدودیت‌ها تعیین می‌گردد.

**تابع هدف:** با توجه به اینکه هدف، حداقل کردن کل هزینه‌هاست می‌توان نوشت:

| هزینه‌های مستقیم اجرای فعالیت‌ها در شرایط معمولی | + | افزایش هزینه‌های مستقیم فعالیت‌ها | + | هزینهٔ بالاسری پروژه | = | تابع هدف |
|---|---|---|---|---|---|---|

افزایش هزینهٔ مستقیم فعالیت i-j برای فشرده‌سازی عبارت است از:

$$\text{افزایش هزینهٔ مستقیم فعالیت } i-j = C_{ij}\left(D_{n_{ij}} - d_{ij}\right)$$

بنابراین افزایش هزینهٔ مستقیم فعالیت‌های پروژه برابر خواهد شد با:

$$\text{افزایش هزینهٔ مستقیم فعالیت‌ها} = \sum\sum C_{ij}\left(D_{n_{ij}} - d_{ij}\right)$$

با توجه به اینکه هزینه‌های مستقیم اجرای فعالیت‌ها در شرایط معمولی $K_n$ بوده و هزینه بالاسری پروژه برابر است با:

$$\text{هزینه بالاسری پروژه} = H(E_n - E_1)$$

بنابراین تابع هدف به شکل زیر درمی‌آید.

$$Min \quad Z = H(E_n - E_1) + \sum\sum C_{ij}\left(D_{n_{ij}} - d_{ij}\right) + K_n$$

**محدودیت‌ها:** محدودیت‌های مسئله عبارت‌اند از:

**الف. محدودیت زمان شروع و ختم:** تفاضل زمان عملی وقوع واقعه انتهایی و ابتدایی هر فعالیت باید بزرگتر یا مساوی مدت‌زمان اجرای فعالیت باشد، یعنی:

$$E_j - E_i \geq d_{ij}$$

این محدودیت بیان‌کنندهٔ وابستگی‌ها یا به عبارت دیگر تقدم و تأخر فعالیت‌هاست. بدیهی است درصورتی‌که فعالیت بحرانی باشد نامعادلهٔ فوق به صورت تساوی درمی‌آید.

**ب. محدودیت زمان معمولی و زمان فشرده:** زمان عملی اجرای هر فعالیت $(d_{ij})$ باید بین زمان معمولی اجرای آن $(D_{n_{ij}})$ و زمان فشرده اجرای آن $(D_{f(i-j)})$ باشد.

$$D_{f_{ij}} \leq d_{ij} \leq D_{n_{ij}}$$

**ج. محدودیت غیر منفی بودن زمان انجام و شروع و ختم هر فعالیت:** بدیهی است زمان انجام هر فعالیت و شروع ختم آن‌ها باید غیر منفی باشند.

$$d_{ij}, E_i \geq 0 \qquad i, j = 1,2\cdots n$$

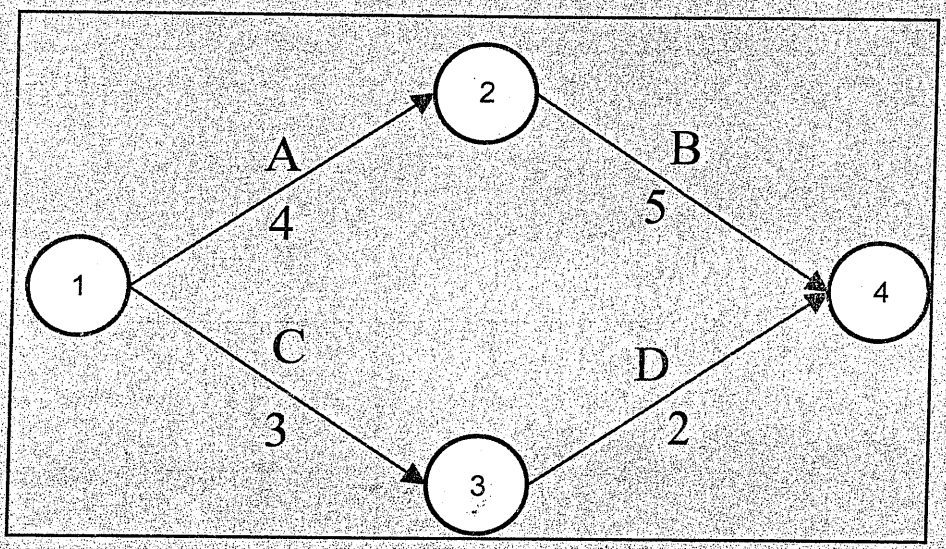
**مدل نهایی مسئله:** با توجه به مطالب فوق مدل کلی برنامه‌ریزی به شکل زیر خواهد بود.

$$Min \quad Z = H\left(E_n - E_1\right) + \sum\sum C_{ij}\left(D_{n_{ij}} - d_{ij}\right) + K_n$$

$$s.t \quad \begin{cases} D_{f_{ij}} \le d_{ij} \le D_{n_{ij}} & \forall i,j \\ E_j - E_i \ge d_{ij} & \forall i,j \\ E_i, d_{ij} \ge 0 & \forall i,j \end{cases}$$

مدل بالا یک مدل برنامه‌ریزی خطی بوده که به روش سیمپلکس قابل حل است.

**مثال۲.۵.** برای شبکه زیر تحلیل هزینه‌ـزمان را انجام دهید. توجه داشته باشید که هزینهٔ بالاسری پروژه در واحد زمان برابر ۶ واحد پولی است.




شکل ۱۰.۵ شبکه مثال ۲.۵.

| فعالیت | وابستگی | زمان معمولی | زمان فشرده | هزینه معمولی | ضریب زاویه |
|---|---|---|---|---|---|
| A | – | ۴ | ۲ | ۱۰۰ | ۲۰ |
| B | A,C | ۵ | ۳ | ۲۰۰ | ۱۰ |
| C | – | ۳ | ۲ | ۳۰۰ | ۳۰ |
| D | C | ۲ | ۲ | ۵۰ | – |

مدل برنامه‌ریزی برای این مثال به صورت زیر است:

$$MinZ = 6\left(E_4 - E_1\right) + 20\left(4 - d_A\right) + 10\left(5 - d_3\right) + 30\left(3 - d_c\right) - 650$$

$$
S.t:\begin{cases}
E_2 - E_1 \geq d_A \\
E_4 - E_2 \geq d_3 \\
E_3 - E_1 \geq d_C \\
E_4 - E_3 \geq d_D \\
E_2 - E_3 \geq d_x \\
2 \leq d_A \leq 4 \\
3 \leq d_B \leq 5 \\
2 \leq d_C \leq 3 \\
2 \leq d_D \leq 2 \\
E_i, d_i \geq 0
\end{cases}
\qquad i, j = 1,2,3,4
$$

در ادامه چند مدل نمونه دیگر ذکر می‌شود:

**مدل حداقل هزینه کل با زمان محدود:** مدل برنامه‌ریزی تحلیل هزینه‌ای را بنویسید که هزینهٔ کل حداقل شده و مدت‌زمان انجام پروژه از یک مدت‌زمان خاص (T) کوچکتر شود.

در این صورت محدودیت زیر به مسئله قبل اضافه می‌شود:

$$E_n - E_1 \leq T$$

بنابراین مدل کلی به‌صورت زیر درمی‌آید:

$$Min\ Z = H(E_n - E_1) + \sum\sum C_{ij}\left(D_{n_{ij}} - d_{ij}\right) + K_n$$

$$
s.t.\begin{cases}
D_{f_{ij}} \leq d_{ij} \leq D_{n_{ij}} & i, j = 1,2,\cdots \\
E_j - E_i \geq d_{ij} & i, j = 1,2,\cdots \\
E_n - E_1 \leq T & \\
E_i, d_{ij} \geq 0 & i, j = 1,2,\cdots
\end{cases}
$$

با تغییر T می‌توان عملکرد هزینه و زمان را مشاهده کرد و منحنی تغییرات هزینه و زمان را رسم نمود.

**مدل حداقل زمان:** مدلی بنویسید که زمان اجرای پروژه حداقل شود:

$$Min\ Z = E_n - E_1$$

$$s.t.\begin{cases} E_j - E_i \geq d_{ij} & i,j = 1,2,\cdots \\ D_{f_{ij}} \leq d_{ij} \leq D_{n_{ij}} & i,j = 1,2,\cdots \end{cases}$$

**مدل حداقل زمان با بودجه معین:** مدل زیر حداقل زمان اجرای پروژه را محاسبه می‌کند برای حالتی که بودجه کل از یک مقدار معینی(مانند B) بیشتر نشود:

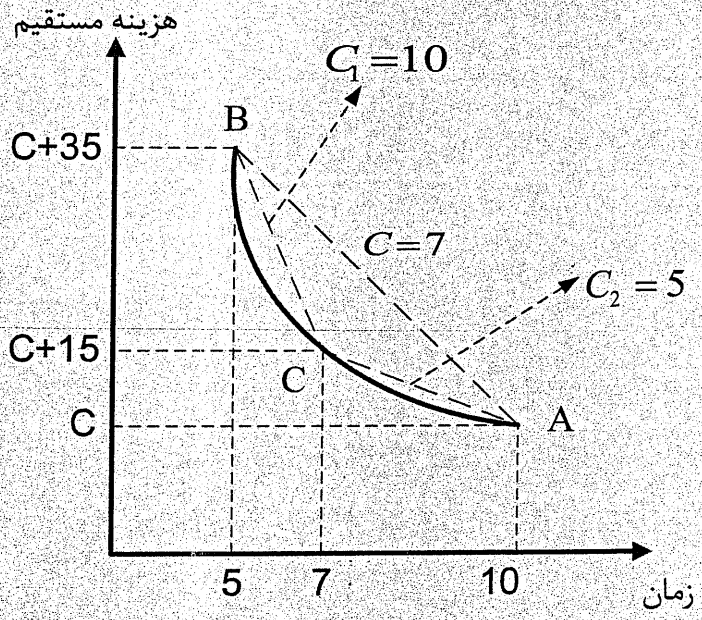
$$Min\ Z = E_n - E_1$$

$$s.t.\begin{cases} E_j - E_i \geq d_{ij} & i,j = 1,2,\cdots \\ D_{f_{ij}} \leq d_{ij} \leq D_{n_{ij}} & i,j = 1,2,\cdots \\ K_n + \sum\sum C_{ij}\left(D_{n_{ij}} - d_{ij}\right) \leq B \end{cases}$$

### ۶.۴.۵ کاربرد برنامه‌ریزی خطی در تحلیل هزینه-زمان(چند تقریب):

برای افزایش دقت تحلیل، از چند نقطه شکست استفاده می‌کنیم. برای مثال، تصور کنید که منحنی هزینه و زمان برای یک فعالیت به شرح زیر است: (به شکل دقت شود)

| | زمان | هزینه |
|---|---|---|
| معمولی | ۱۰ | C |
| فشرده | ۵ | C+۳۵ |




چنانچه برای این فعالیت یک تقریب خطی وجود داشت ضریب زاویه برابر بود با :

$$\frac{(C+35)-C}{10-5}=7$$

اما اگر از دو تقریب(یک نقطه شکست اضافی) استفاده کنیم خواهیم داشت:

$$\text{ضریب زاویه اول}=\frac{(C+35)-(C+15)}{2}=\frac{20}{2}=10$$

$$\text{ضریب زاویه دوم}=\frac{(C+15)-C}{3}=5$$

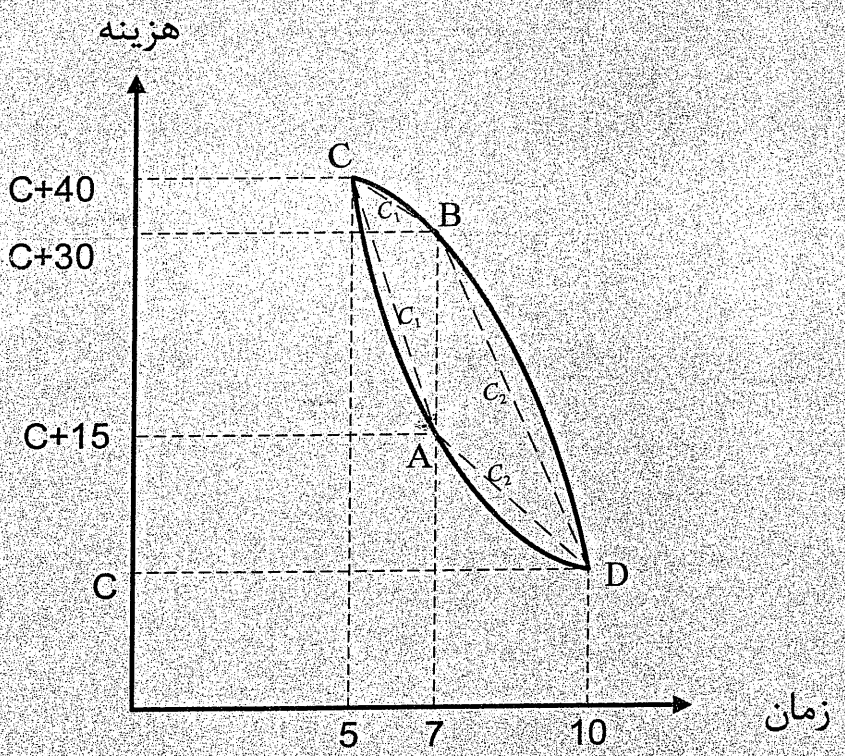
اگر هزینه را با خط AB تقریب بزنید (حالت یک تقریب) هزینهٔ خرید ۳ روز اول یعنی رساندن ۱۰ روز به ۷ روز برابر ۲۱ تومان خواهد شد. در حالی که از دو تقریب (AC و CB) استفاده شود ضریب زاویهٔ AC برابر ۵ است؛ یعنی خرید همین ۳ روز برابر ۱۵ تومان تخمین زده می‌شود که از دقت بالاتری برخوردار و به واقعیت نزدیک‌تر است.

### ۱.۶.۴.۵ مسائل محدب و مقعر

در جدول زیر دو فعالیت A و B و خرید زمان در مورد آن‌ها را در نظر بگیرید. فشرده‌سازی فعالیت A در روزهای اول ارزان‌تر بوده درحالی‌که فعالیت B در روزهای اول گران‌تر است (فعالیت‌هایی که برای انجام آن‌ها سرمایه‌گذاری زیاد مورد نیاز باشد عموماً این حالت را دارد). منحنی هزینه برای فعالیت A محدب و برای فعالیت B مقعر است:

| فعالیت | زمان معمولی | زمان فشرده | ضریب زاویهٔ سه روز اول | ضریب زاویهٔ دو روز دوم | حالت |
|---|---|---|---|---|---|
| A | ۱۰ | ۵ | ۵ | ۱۰ | محدب $C_2 \leq C_1$ روزهای اول ارزان‌تر |
| B | ۱۰ | ۵ | ۱۰ | ۵ | مقعر $C_2 \geq C_1$ روزهای آخر ارزان‌تر |

این مطلب در نمودار زیر نشان داده شده است.



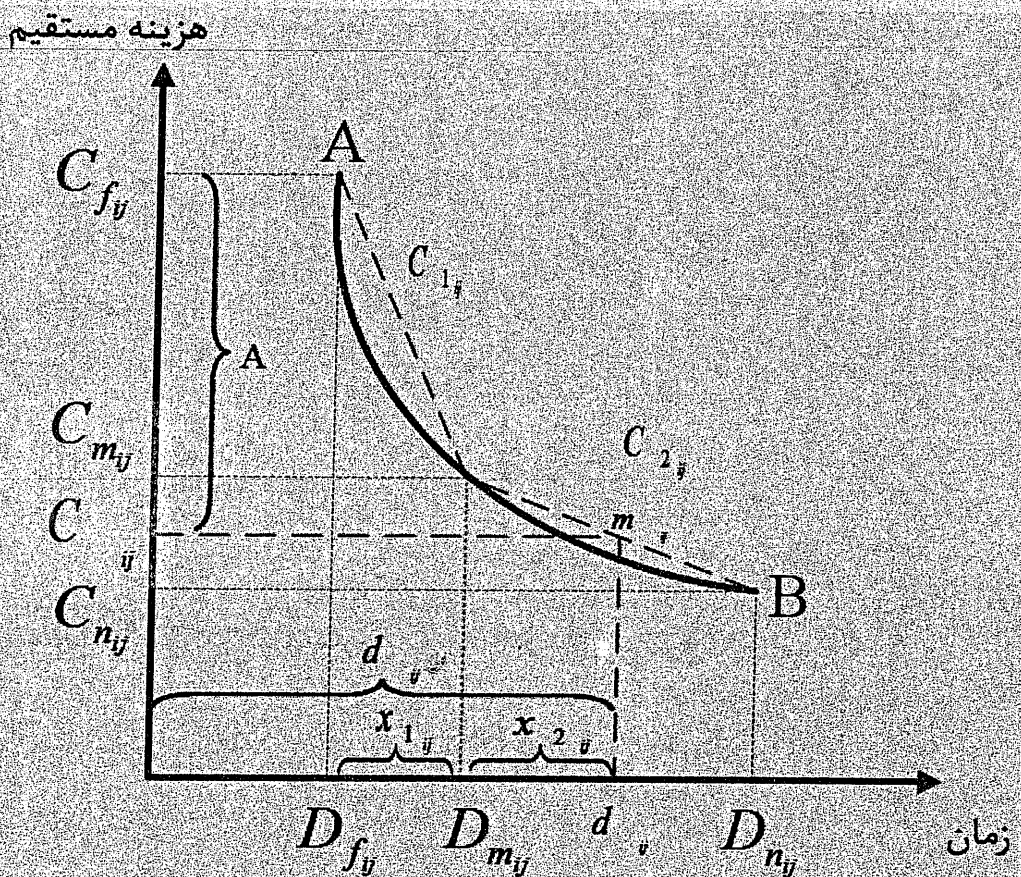

به عبارت دیگر، در حالت محدب، منحنی تغییرات هزینه فشرده‌سازی به‌صورت **DAC** بوده و در حالت مقعر منحنی **DBC** است.

در ادامه به ارائه مدلی با چند نقطهٔ شکست می‌پردازیم. در نمودار ۲.۵ یک نقطهٔ شکست$(D_{m_{ij}}, C_{m_{ij}})$ $m_{ij}$ لحاظ شده و مورد بحث واقع می‌شود. اگر تعداد نقاط شکست بیشتر شود در روش حل تفاوتی ایجاد نخواهد شد. برای تبیین این موضوع لازم است مطالب زیر تشریح شود:

- پارامترهای مسئله
- تابع هدف
- محدودیت‌ها

### ۲.۶.۴.۵ پارامترهای مسئله

پارامترهای مسئله بدین صورت تعریف می‌شوند:




$D_{n_{ij}}$ = زمان انجام فعالیت i-j در زمان معمولی

$D_{m_{ij}}$ = زمان انجام فعالیت i-j در نقطه شکست

$D_{f_{ij}}$ = زمان انجام فعالیت i-j در زمان فشرده

$C_{n_{ij}}$ = هزینه مستقیم انجام فعالیت i-j در زمان معمولی

$C_{m_{ij}}$ = هزینه مستقیم انجام فعالیت i-j در نقطه شکست

$C_{f_{ij}}$ = هزینه مستقیم انجام فعالیت i-j در زمان فشرده

$X_{1_{ij}}$ = مقدار زمان خریداری نشده از شیب اول

$x_{2_{ij}}$ = مقدار زمان خریداری نشده از شیب دوم

$d_{ij}$ = زمان عملی انجام فعالیت i-j

$m_{ij}$ = نقطه شکست فعالیت i-j

ضریب زاویه‌های هزینه‌ها( $C_{1_{ij}}, C_{2_{ij}}$ ) به‌صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$C_{1_{ij}} = \frac{C_{f_{ij}} - C_{m_{ij}}}{D_{mij} - D_{f_{ij}}}$$

$$C_{2_{ij}} = \frac{C_{m_{ij}} - C_{n_{ij}}}{D_{n_{ij}} - m_{ij}}$$

### ۳.۶.۴.۵ تابع هدف

تابع هدف مسئله به‌صورت زیر تعریف می‌شود:

$Min \quad Z =$ هزینه‌های غیرمستقیم پروژه + هزینه‌های مستقیم پروژه

هزینه‌های غیرمستقیم پروژه، به‌صورت زیر است (مانند قبل):

$$H(E_n - E_1)$$

برای محاسبه هزینه‌های مستقیم پروژه، تغییر متغیر زیر را تعریف می‌کنیم:

$$d_{ij} = D_{f_{ij}} + x_{1_{ij}} + x_{2_{ij}}$$

در این صورت هزینهٔ مستقیم اجرای فعالیت $ij$ به‌صورت زیر محاسبه می‌شود:

هزینه مستقیم اجرای فعالیت $ij$ = $C_{f_{ij}} - A$

با جای‌گذاری A داریم:

هزینه مستقیم اجرای فعالیت $ij$ = $C_{f_{ij}} - (C_{1_{ij}} x_{1_{ij}} + C_{2_{ij}} x_{2_{ij}})$

با جمع زدن هزینه مستقیم کل فعالیت‌ها، تابع هدف به‌صورت زیر درمی‌آید:

$$Min \quad Z = H(E_n - E_1) + \sum\sum \; C_{f\,ij} - (C_{1_{ij}} x_{1_{ij}} + C_{2_{ij}} x_{2_{ij}})$$

که معادل است با:

$$Min \quad Z = H(E_n - E_1) - \sum_i \sum_j \; (C_{1_{ij}} x_{1_{ij}} + C_{2_{ij}} x_{2_{ij}}) + K'_n$$

که $K'_n$ مجموع مقادیر ثابت مثل $C_{f\,ij}$ها و... است.

**۴.۶.۴.۵ محدودیت‌ها**

محدودیت‌های مسئله بدین شرح است:

دقت شود که $x_{2_{ij}}, x_{1_{ij}}$ از مبدأ مختصات تعریف نشده‌اند، بنابراین مسئله

$$\begin{cases} E_j - E_i \geq D_{f_{ij}} + X_{1_{ij}} + X_{2_{ij}} & \forall\ i,j \\ \circ \leq X_{1_{ij}} \leq D_{m_{ij}} - D_{f_{ij}} \\ \circ \leq X_{2_{ij}} \leq D_{n_{ij}} - D_{m_{ij}} \end{cases}$$

برنامه‌ریزی خطی به‌صورت کلی زیر درمی‌آید:

$$Min\ \ Z = H(E_n - E_1) - \sum_i \sum_j (C_{1_{ij}} x_{1_{ij}} + C_{2_{ij}} x_{2_{ij}}) + K'_n$$

$$\begin{cases} E_j - E_i \geq D_{f_{ij}} + X_{1_{ij}} + X_{2_{ij}} & \forall\ i,j \\ \circ \leq X_{1_{ij}} \leq D_{m_{ij}} - D_{f_{ij}} \\ \circ \leq X_{2_{ij}} \leq D_{n_{ij}} - D_{m_{ij}} \end{cases}$$

**حل مدل:** در حل مدل با توجه به تعریف $X_{1_{ij}}$، $X_{2_{ij}}$، $d_{ij}$ (که به‌صورت $d_{ij} = D_{f_{ij}} + X_{1_{ij}} + X_{2_{ij}}$ تعریف شد) حتماً ابتدا باید $X_1$ مقدار گرفته و به حداکثر خود برسد و سپس $X_2$ مقدار قبول کند. هنگامی $X_2$ می‌تواند مقدار (غیر صفر) بگیرد که $X_1$ به حداکثر خود رسیده باشد. خوشبختانه در حالتی که مسئله به صورت محدب باشد این مطلب عملی است؛ زیرا $C_1 > C_2$ است.

اما در حالت مقعر که $C_2$ از $C_1$ بزرگ‌تر است، ابتدا $X_2$ مقدار می‌گیرد و سپس $X_1$ مقدار خواهد گرفت که این مطلب مشکل‌ساز می‌شود. برای حل این مشکل یکسری متغیر صفر و یک به مسئله اضافه نموده و سپس اقدام به حل مسئله می‌کنیم.

**حل مدل در حالت کلی:** برای حل مشکل فوق متغیرهای $r_{ij}$ (که به‌صورت صفر و یک تعریف شده‌اند) را به مسئله اضافه نموده و مسئله را به‌صورت کلی زیر می‌نویسیم:

$$Min \quad Z = H(E_n - E_1) - \sum_i \sum_j (C_{1_{ij}} x_{1_{ij}} + C_{2_{ij}} x_{2_{ij}}) + K'_n$$

St:

$$E_j - E_i \geq D_{f_{ij}} + x_{1_{ij}} + x_{2_{ij}}$$

$$(D_{m_{ij}} - D_{f_{ij}}) r_{ij} \leq x_{1_{ij}} \leq (D_{m_{ij}} - D_{f_{ij}})$$

$$0 \leq x_{2_{ij}} \leq r_{ij} (D_{n_{ij}} - D_{m_{ij}})$$

$$x_{1_{ij}}, x_{2_{ij}} \geq 0 \quad r_{ij} = 0,1$$

این مدل هم حالت مقعر و هم حالت محدب را حل می‌کند، بدین ترتیب که در برنامه‌ریزی فوق $r_{ij}$ها دو حالت دارند؛ چنانچه $r_{ij}$ برابر صفر شود، دو محدودیت آخر به صورت زیر درمی‌آیند:

$$0 \leq x_{1_{ij}} \leq D_{n_{ij}} - D_{f_{ij}}$$

$$0 \leq x_{2_{ij}} \leq 0$$

در این حالت $x_{2_{ij}}$ مقداری نگرفته و $x_{1_{ij}}$ بین حداکثر و حداقل خود مقدار قبول می‌کند.

چنانچه $r_{ij}$ برابر یک شود؛ دو محدودیت آخر به صورت زیر درمی‌آیند:

$$(D_{m_{ij}} - D_{f_{ij}}) \leq x_{1_{ij}} \leq (D_{m_{ij}} - D_{f_{ij}})$$

$$0 \leq x_{2_{ij}} (D_{n_{ij}} - D_{m_{ij}})$$

در این حالت $x_{1ij}$ حداکثر مقدار خود را پذیرفته و $x_{2_{ij}}$ مقداری بین صفر و حداکثر خود قبول می‌کند.

## تمرینات

۱. انواع هزینهٔ پروژه را نام ببرید و توضیح دهید که هر کدام شامل چه هزینه‌هایی است؟

۲. روش‌های پیش‌بینی هزینه را بیان کنید.

۳. اطلاعات یک شبکه به‌صورت جدول صفحهٔ بعد داده شده است.

با توجه به موارد مندرج در جدول زیر، با استفاده از الگوریتم حداقل‌سازی هزینه‌های مستقیم پروژه، (الگوریتم تقریبی)، محاسبات بررسی هزینه و زمان را انجام داده و منحنی تغییرات هزینه‌های پروژه را نسبت به زمان اجرای پروژه رسم کنید.

| فعالیت | پیش‌نیاز | زمان فشرده | زمان نرمال | هزینه فشرده | هزینه نرمال |
|---|---|---|---|---|---|
| A | - | 2 | 4 | 600 | 300 |
| B | A | 1 | 2 | 800 | 650 |
| C | A | 3 | 5 | 480 | 240 |
| D | B,C | 1 | 3 | 300 | 100 |
| E | B | 2 | 4 | 1600 | 1000 |
| F | C | 1 | 2 | 1150 | 1100 |
| G | D,E,F | 2 | 3 | 500 | 300 |
| جمع | | | | 5430 | 3690 |
| هزینه غیرمستقیم در هرروز 250 واحد پولی است. | | | | | |

۴. برای شبکهٔ ارائه شده در تمرین ۳، چنانچه بخواهیم تحلیل هزینهٔ زمان را به صورت دقیق انجام دهیم:

الف. مدل برنامه‌ریزی خطی مسئله را بنویسید.

ب. ابتدا جواب بهینهٔ مسئله را با استفاده از روش سیمبلکس (نرم‌افزارهای مربوطه) به‌دست آورده و سپس این پاسخ را برحسب هزینه‌های غیرمستقیم پروژه و شیب هزینهٔ فعالیت‌ها تحلیل کنید.

# ۶

# استانداردهای مدیریت پروژه

**اهداف فصل**

**هدف کلی:** آشنایی دانشجویان با استانداردهای مختلف مدیریت پروژه.

**اهداف جزئی**

- آشنایی دانشجویان با استاندارد «پیکره دانش مدیریت پروژه» (PMBOK)،
- آشنایی دانشجویان با استاندارد پرینس۲ (PRINCE2)،
- آشنایی دانشجویان با استاندارد (APM)،
- آشنایی دانشجویان با استاندارد جامعه مدیریت پروژهٔ ژاپن (JPMF).

با گسترش حوزهٔ تجاری شرکت‌ها و جهانی‌شدن پروژه‌ها، امروزه استفاده از استانداردها برای هم‌زبانی افراد درگیر در پروژه و اطمینان از اجرای درست کار ضروری است. استانداردها، علاوه بر تبیین کار و تعیین چگونگی اجرای صحیح عملیات، به عنوان مرجعی برای افراد گروه پروژه به هنگام بروز اختلافات، مطرح‌اند. قوت استانداردها در جامع بودن آن‌ها، سادگی، مقبولیت عام استفاده‌کنندگان و تضمین برای اجرای درست کار است. با توجه به جهانی شدن شرکت‌های ساخت و تولید و گسترش بازارهای کار، مدیران پروژه‌ها بهتر است با استانداردهای مدیریت پروژه آشنا شوند؛ بهره‌گیری از آنها می‌تواند آنها را در اجرای برنامه‌های پروژه یاری کند.

مؤسسات و کشورهای گوناگونی اقدام به تدوین استانداردهای مخصوص خود در زمینه مدیریت پروژه کرده‌اند؛ اما در این میان چهار استاندارد دارای اهمیت و مقبولیت بیشتری هستند.

## ۱.۶ پیکره دانش مدیریت پروژه (PMBOK)[1]

این استاندارد در مؤسسهٔ مدیریت پروژه[2] (PMI) تدوین شده و استفاده از آن بسیار متداول است. پس از تدوین PMBOK، مؤسسهٔ ملی استاندارد امریکا نیز آن را با کد ANSI/PMI 99-001-2000 در زمینهٔ مدیریت پروژه ثبت کرده است. در این استاندارد دانش مدیریت پروژه در ۹ مدیریت بیان شده است که در ادامه به آن اشاره خواهد شد. در این میان تفاوت‌های اندکی بین دو نسخهٔ مؤسسهٔ مدیریت پروژه و مؤسسهٔ استاندارد وجود دارد؛ مؤسسهٔ مدیریت پروژه نگاهی نظری و مؤسسهٔ استاندارد نگاهی اجرایی‌تر دارد. PMBOK نظیر سایر استانداردها، هرساله توسط هیئت منتخبی از مؤسسهٔ مدیریت پروژه بازبینی می‌شود و در صورت نیاز به تغییر، ویرایش جدیدی از آن عرضه می‌شود.

## ۲.۶ استاندارد پرینس۲

این استاندارد در ابتدا برای مدیریت پروژه‌های نرم‌افزاری توسعه داده شد و سپس برای استفاده در تمامی پروژه‌ها تعمیم یافته و به همین دلیل پسوند ۲ به آن اضافه شده است. پرینس۲ به معنای «پروژه در محیط‌های کنترل‌شده»[3] است که سازمان تجارت دولتی[4] (OGC) (وابسته به وزارت تجارت انگلستان) آن را توسعه داده است.

استفاده از این استاندارد در سال‌های اخیر رشد عمده‌ای داشته و در حال حاضر رقیب اصلی PMBOK به شمار می‌آید. پرینس ۲ از چهار جزء اصلی تشکیل شده است:

- اصول،
- مضمون‌ها،
- فرایندها،

---

1. Project Management Body Of Knowledge
2. Project Management Institute
3. Project in Controlled Enviroment (prince2)
4. Organization of Govrnmental Commerce

ـ متناسب‌سازی روش با محیط پروژه.

اصول پرینس۲ درس‌آموخته‌هایی خوب و بد و قابل به‌کارگیری در تمامی پروژه‌هاست که بر هفت اصل استوار است. این اصول عبارت‌اند از: استمرار توجیه کسب‌وکار، یادگیری از تجربیات، تعریف نقش‌ها، مسئولیت متناسب‌سازی با محیط پروژه و ... . نکتهٔ قابل توجه اینکه اصول کاری که باید انجام شود را توصیف می‌کند نه نحوهٔ انجام آنها را.

مضمون‌ها مؤلفه‌های مدیریت پروژه را توصیف می‌کنند و مدیران پروژه باید به این مضامین مستمر توجه کنند. پرینس۲ هفت مضمون دارد که عبارت‌اند از: مورد کسب‌وکار، سازمان، کیفیت، برنامه‌ها، ریسک، تغییر و پیشرفت.

پرینس۲ یک رویکرد مبتنی بر فرایند برای مدیریت پروژه است. هفت فرایند در پرینس۲ وجود دارد که مجموعه‌ای از فعالیت‌های مورد نیاز برای هدایت، مدیریت و تحویل موفقیت‌آمیز پروژه را ارائه می‌دهند.

متناسب‌سازی به معنای استفاده مناسب از پرینس۲ برای هر پروژه است، تا اطمینان حاصل شود که برنامه‌ریزی، کنترل و حاکمیت به نحو صحیح صورت می‌گیرد. پرینس۲ می‌تواند برای تمامی پروژه‌ها با هر مقیاس پیچیدگی و فرهنگ به صورت کلی یا بخشی از یک پروژه اجرا شود.

## ۳.۶ استاندارد APM [1]

این استاندارد را «مرکز مطالعات مدیریت پروژه انگلستان» زیر نظر پروفسور «موریس» در دانشگاه یومیست تهیه و تدوین کرده است. این استاندارد شامل هفت قسمت است که در این هفت قسمت مفاهیم کلیدی در زمینهٔ مدیریت پروژه تشریح شده‌اند.

## ۴.۶ استاندارد جامعه مدیریت پروژه ژاپن [2]

این استاندارد را «انجمن پیشرفت مهندسی ژاپن» تهیه کرده است. دیدگاه این استاندارد برخلاف استانداردهای فوق بر این اساس است که چگونه مدیریت پروژه می‌تواند

---

1. Association For Project Management(APM)
2. Japanese Project Management Forum (JPMF)

محرک خلاقیت و ایجاد ارزش تجاری شود. این استاندارد نیز مدیریت پروژه را به چهار قسمت تقسیم کرده است .

استانداردهای دیگری نیز چون استاندارد ISO 1006 تدوین شده‌اند که نه عمومیت استانداردهای بالا را دارند و نه مقبولیت عام آنها را. در انتخاب استاندارد مورد نظر لازم است نوع پروژه، محیط اجرا و نظر مشتریان و حامیان پروژه را در نظر گرفت و با مدیرانی که پیش از این پروژه‌ای مشابه را مدیریت کرده‌اند، مشورت کرد.

# ۷

# آموزش نرم‌افزار MSP

**اهداف فصل**

**هدف کلی:** آشنایی دانشجویان با نحوهٔ کار نرم‌افزار ام اس پی.

**اهداف جزئی**

- آشنایی دانشجویان با نحوهٔ ایجاد ساختار شکست کار در نرم‌افزار MSP،
- آشنایی دانشجویان با نحوهٔ تخمین زمان پروژه در نرم‌افزار MSP،
- آشنایی دانشجویان با نحوهٔ تنظیم تقویم کاری پروژه در نرم‌افزار MSP.

با توجه به گستردگی مباحث مدیریت پروژه که به بخشی از آن‌ها در این کتاب اشاره شد، نرم‌افزارهای متنوع و متعددی طراحی، پیاده‌سازی و منتشرشده است. هر یک از این نرم‌افزارها، بنا بر اهداف و رویکرد طراحان، عمدتاً بخشی از موضوعات را پوشش می‌دهند. ازآنجاکه کارکرد اصلی نرم‌افزارها نظیر سایر ابزارها، تسهیل‌گری یا توانمندسازی است، هر یک از این نرم‌افزارها نیز در بخشی از زمینه‌های مدیریت پروژه برخی امور را برای کاربر تسهیل کرده یا او را توانمند می‌سازند. بنابراین شاید بهتر باشد یک مدیر پروژه به یک جعبه‌ابزار یا یک مجموعه نرم‌افزار دسترسی داشته باشد.

در این فصل سعی شده، یکی از فراگیرترین نرم‌افزارهای مدیریت پروژه یعنی نرم‌افزار MSP و نحوهٔ کار با آن به صورت تفصیلی تشریح شود. این نرم‌افزار با مباحث مطرح‌شده در این کتاب نیز بسیار هماهنگ بوده و بسیاری از موضوعات آن را پوشش می‌دهد.

معمولاً کاربران نرم‌افزارهای مدیریت پروژه در کنار این نرم‌افزار، با نرم‌افزاری به نام پریماور[1] نیز برخورد می‌کنند و این دو نرم‌افزار ازجمله پرکاربردترین نرم‌افزارهای مدیریت پروژه به‌ویژه در پروژه‌های اجرایی کشورمان هستند. چنانچه بیان شد تنوع این نرم‌افزارها خصوصاً با توسعهٔ فضای مجازی و شبکه‌های اینترنتی که موجب توسعهٔ برخی نرم‌افزارهای مدیریت پروژه تحت وب شده است، بسیار زیاد و قابل توجه است و پرداختن به آنها از موضوع این کتاب خارج است.

در ادامه نحوهٔ کار با نرم‌افزار MSP توضیح داده خواهد شد. در اینجا لازم است یادآور شویم که هدف از این بخش ارائهٔ مباحث کاربردی نرم‌افزار متناسب با مباحث مطرح‌شدهٔ قبلی در این کتاب است و هدف آشنایی کامل با تمامی قابلیت‌ها و جعبه‌ابزارهای نرم‌افزار نیست و علاقه‌مندان برای آشنایی با تمامی نوارابزارها یا فرامین نرم‌افزار می‌توانند به کتاب‌هایی که به صورت تفصیلی در این زمینه تألیف شده است مراجعه کنند.

در ضمن در متن به برخی فایل‌ها جهت فهم بهتر مطالب اشاره شده که خوانندگان محترم می‌توانند با مراجعه به لوح فشرده به این فایل‌ها دسترسی داشته باشند.

## ۱.۷ ایجاد ساختار شکست کار در MSP

اتمام موفق پروژه، نیازمند وجود برنامه‌ای است که در این برنامه تمامی فعالیت‌ها و تلاش‌هایی که باید انجام شود، و نیز، وظایف و مسئولیت هر فرد در قبال انجام این فعالیت‌ها، بودجه و زمان لازم برای انجام آنها مشخص شده است.

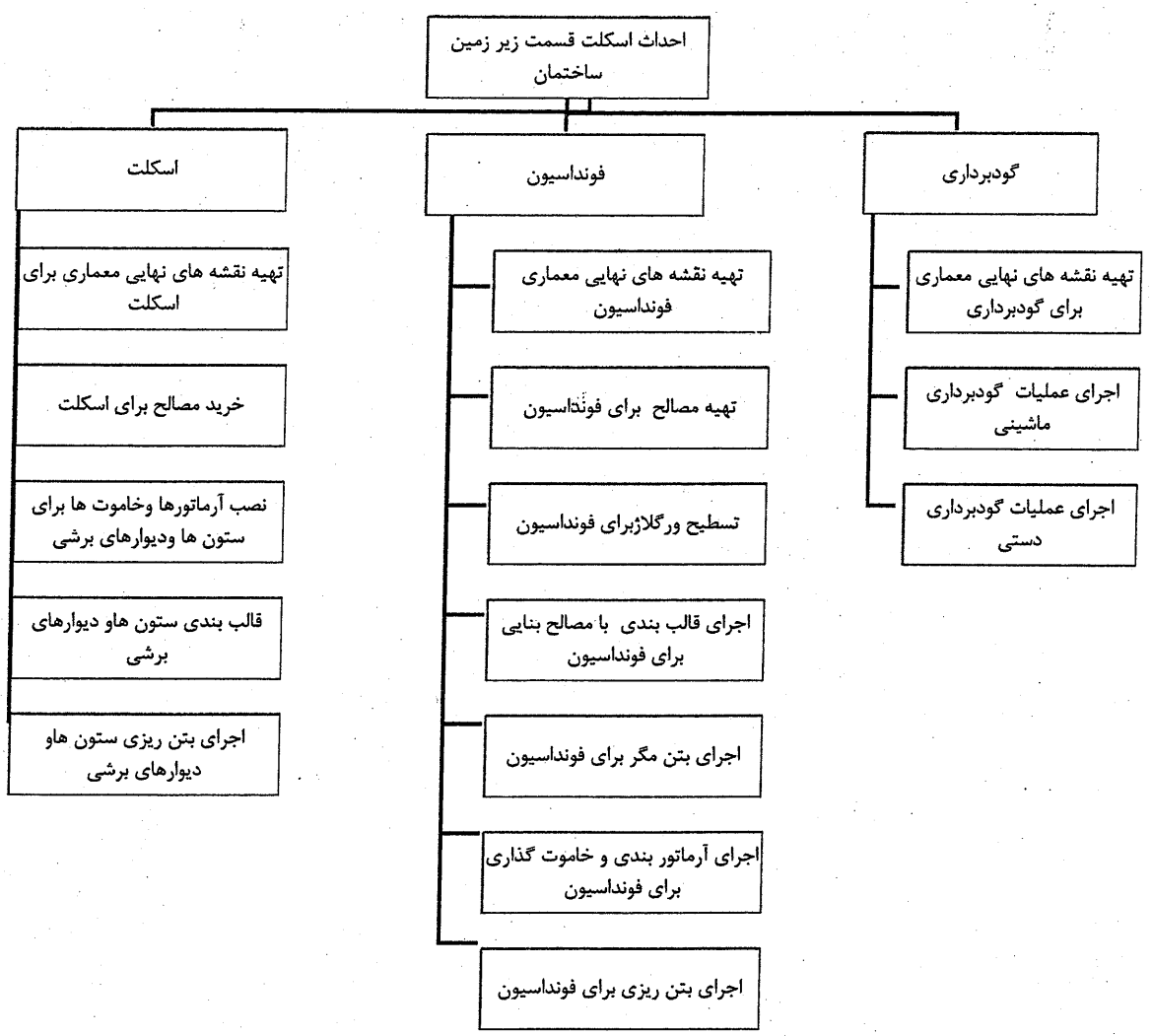
آماده‌سازی این برنامه بر عهدهٔ مدیر پروژه و تیم مدیریت پروژه است. این برنامه‌ریزی به همراه تفصیل و جزئیات آن باید پیش از آغاز اجرای پروژه صورت گیرد. یکی از گام‌های اساسی ایجاد این برنامه تهیهٔ «ساختار شکست کار» یا WBS است. در

---

1. Primavera Project Planner (P3)

فصل سوم (برنامه‌ریزی پروژه) توضیحات مفصلی در خصوص تعریف و ویژگی‌های WBS مطرح شده است.

یکی از روش‌های تهیهٔ WBS، شکست کار بر اساس اقلام قابل تحویل (دستاوردهای) پروژه است. برای مثال، پروژهٔ «احداث اسکلت قسمت زیرزمین ساختمان امیر» را در نظر بگیرید، در این پروژه سه مرحلهٔ قابل تحویل تعریف شده است که عبارت‌اند از «گودبرداری»، «فونداسیون» و «اسکلت»، و هر مرحلهٔ قابل تحویل دارای یک‌سری فعالیت است که نمودار درختی WBS این پروژه در شکل ۱.۷ رسم شده و تمامی فعالیت‌های مورد نیاز هر یک از وظایف اصلی را در سطوح بعدی نمایش می‌دهد.



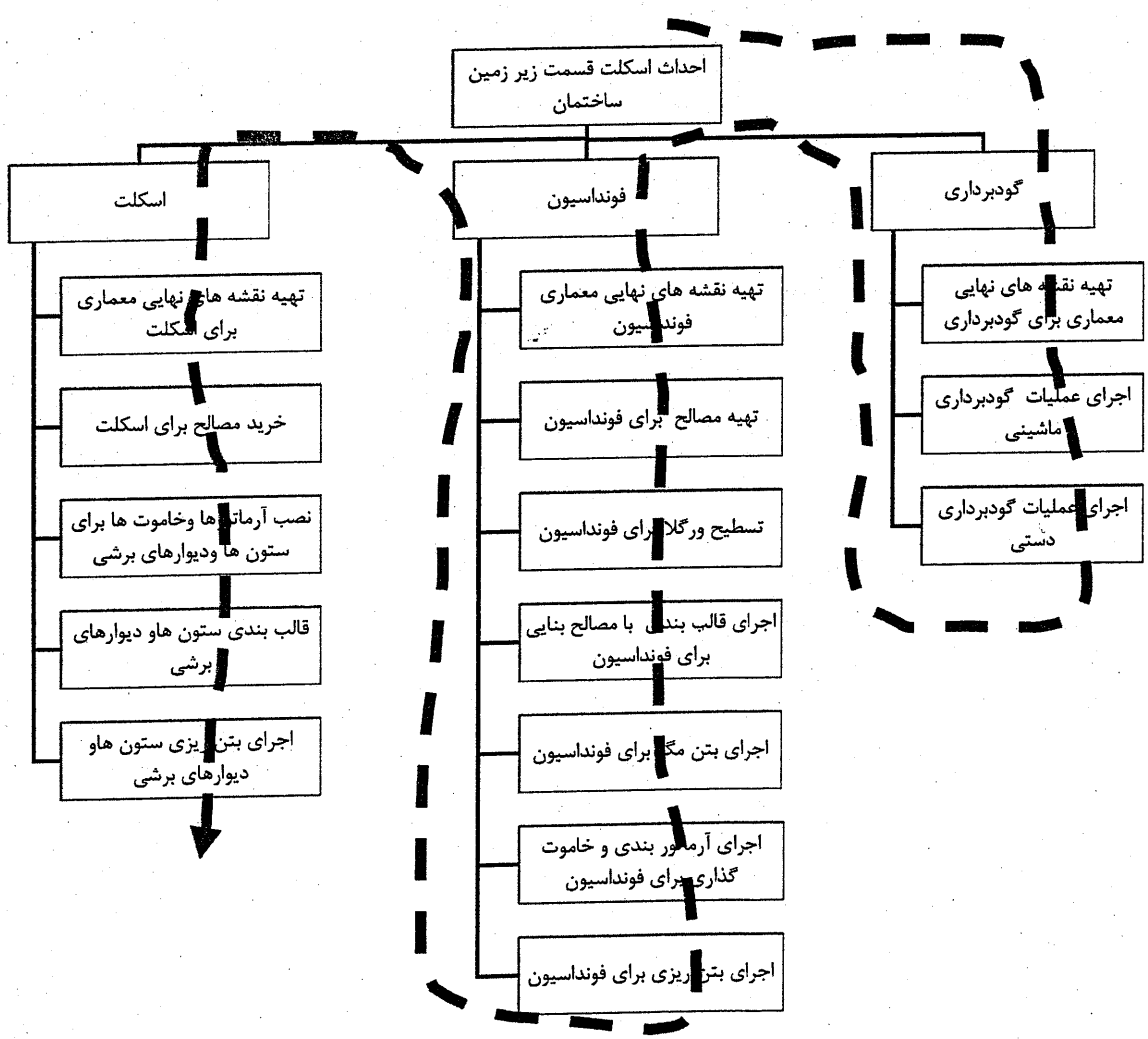

**شکل ۱.۷** نمودار درختی ساختار شکست کار احداث اسکلت زیرزمین ساختمان امیر.

تا اینجا طرح WBS مربوط به پروژه تهیه شد. حال باید این ساختار را در نرم‌افزار اجرا کرد.

ابتدا نرم‌افزار MSP2013 را اجرا کنید. به طور پیش‌فرض، نرم‌افزار نمای Gantt Chart را نمایش می‌دهد. چنانچه نمای Gantt Chart قابل‌مشاهده نیست از منوی View بر روی Gantt Chart کلیک کنید تا نمای Gantt Chart ظاهر شود.

در این نما ابتدا باید اطلاعات مربوط به WBS و عنوان تک‌تک فعالیت‌ها را به ترتیبی که در شکل زیر مشخص شده است، در ستون Task Name وارد کنید.

فایل "P01" را باز کنید. همان‌گونه که ملاحظه می‌کنید، عنوان فعالیت‌ها در ستون Task Name به همین ترتیبی که ذکر شد، درج شده است.




**شکل ۲.۷** نمودار درختی ساختار شکست کار احداث اسکلت زیرزمین ساختمان امیر.

پس از ورود اطلاعات مربوط به فعالیت‌ها باید آنها را بر اساس ساختار شکست کار طراحی‌شده سطح‌بندی کرد. نرم‌افزار MSP فعالیت‌ها را به صورت اصطلاحاً "Outline" دسته‌بندی می‌کند.

در این نوع دسته‌بندی، باید فعالیت‌ها را در قالب یک‌سری «بستهٔ کاری[1]» دسته‌بندی کرد. هر بستهٔ کاری شامل یک فعالیت اصلی[2] و یک یا چند زیرفعالیت[3] است.

در این مثال، فعالیت‌های گودبرداری، فونداسیون و اسکلت به عنوان فعالیت‌های اصلی هستند. ابتدا، فعالیت اصلی اسکلت را به همراه زیر فعالیت‌های آن در قالب یک بستهٔ کاری دسته‌بندی کنید. برای این منظور زیرفعالیت‌های مربوط به فعالیت اصلی اسکلت را انتخاب کنید (فعالیت‌های شماره ۱۵ تا ۱۹) برای انتخاب چند فعالیت می‌توانید به یکی از سه روش زیر عمل کنید:

روی فعالیت اول چپ کلیک کنید کلید Ctrl صفحه‌کلید را پایین نگه داشته، بر روی فعالیت‌های مورد نظر بعدی، یک‌به‌یک کلیک کنید.

روی فعالیت اول چپ کلیک کنید کلید Shift را پایین نگه داشته روی آخرین فعالیت مورد نظر کلیک کنید. فعالیت ابتدایی و انتهایی و تمامی فعالیت‌های بین آنها انتخاب می‌شود.

کلید سمت چپ موس را روی فعالیت اول فشار دهید. کلید ماوس را پایین نگه داشته و نشانگر ماوس را تا آخرین فعالیت موردنظر بکشید .

حال آیکون Indent را که به‌صورت در نوارابزار منوی Task وجود دارد کلیک کنید. به این ترتیب فعالیت‌های ۱۵ تا ۱۹ به عنوان زیرفعالیت‌های فعالیت ۱۴ (اسکلت) تعیین شدند.

همین کار را برای زیرفعالیت‌های فونداسیون و زیرفعالیت‌های گودبرداری انجام دهید.

چنانچه به‌اشتباه، فعالیتی را زیرمجموعهٔ فعالیت دیگری قرار دادید، می‌توانید با انتخاب آن فعالیت و کلیک کردن روی آیکون Outdent که به شکل در

---

1. Work Package
2. Summary Task
3. Sub Task

نوارابزار کنار آیکون Indent قرار دارد، آن فعالیت را، از زیرمجموعهٔ مذکور خارج کنید.

از طرفی، فعالیت‌های اصلی گودبرداری، فوندانسیون و اسکلت به عنوان زیرمجموعهٔ فعالیت اصلی «احداث اسکلت قسمت زیرزمین ساختمان» به شمار می‌آیند. از این رو باید این فعالیت‌ها را، زیرفعالیت «احداث اسکلت ساختمان» قرار دهید، برای این کار سه فعالیت مذکور (فعالیت‌های ۶،۲و۱۴) را انتخاب و بر روی آیکون Indent کلیک کنید.

به‌این‌ترتیب ساختار WBS به‌طور کامل در نرم‌افزار پیاده خواهد شد. در فایل "P02" فعالیت‌های دسته‌بندی‌شده، قابل‌مشاهده‌اند.

در کنار هر «فعالیت اصلی» یک علامت ▬ وجود دارد که با کلیک بر روی آن به صورت ✚ درآمده و تمامی زیرفعالیت‌های مربوط به آن مخفی می‌شوند و با کلیک بر روی علامت ✚ می‌توان آن‌ها را دوباره ظاهر ساخت.

برای نمایش یا مخفی کردن زیرفعالیت‌های مربوط به یک فعالیت اصلی، می‌توان از آیکون‌های Show Subtask و Hide Subtask که به شکل ✚ و ▬ در نوارابزار منوی Task قرار دارند نیز استفاده کرد.

چنانچه ساختار WBS دارای سطوح متعدد و تعداد فعالیت فراوانی باشد، برخی اوقات نیاز است سطح خاصی از ساختار WBS قابل‌مشاهده باشد، برای نمایش سطح خاصی از WBS می‌توانید مسیر زیر را طی کنید:

از زبانه View بر روی Outline و سپس Show و درنهایت سطح (level) مورد نظر را کلیک کنید.

علاوه بر فعالیت‌های اصلی (Summary Task) و زیرفعالیت‌ها ( Sub Task) نوع دیگری از فعالیت‌ها نیز وجود دارد که به آن‌ها Milestone گفته می‌شود.

Milestone یک رویداد مهم در پروژه مانند آغاز یک مرحلهٔ خاص، عقد یک قرارداد مهم، تحویل یک قلم مهم یا موارد مشابه است که شما در مسیر پیگیری و کنترل اجرای پروژه می‌خواهید آنها را به صورت خاص نشانه‌گذاری کنید. در صورتی که فعالیتی را با عنوان Milestone قرار دهید و بر روی آن دو بار کلیک کنید صفحهٔ Task Information باز می‌شود. تب (زبانه) Advanced را انتخاب و

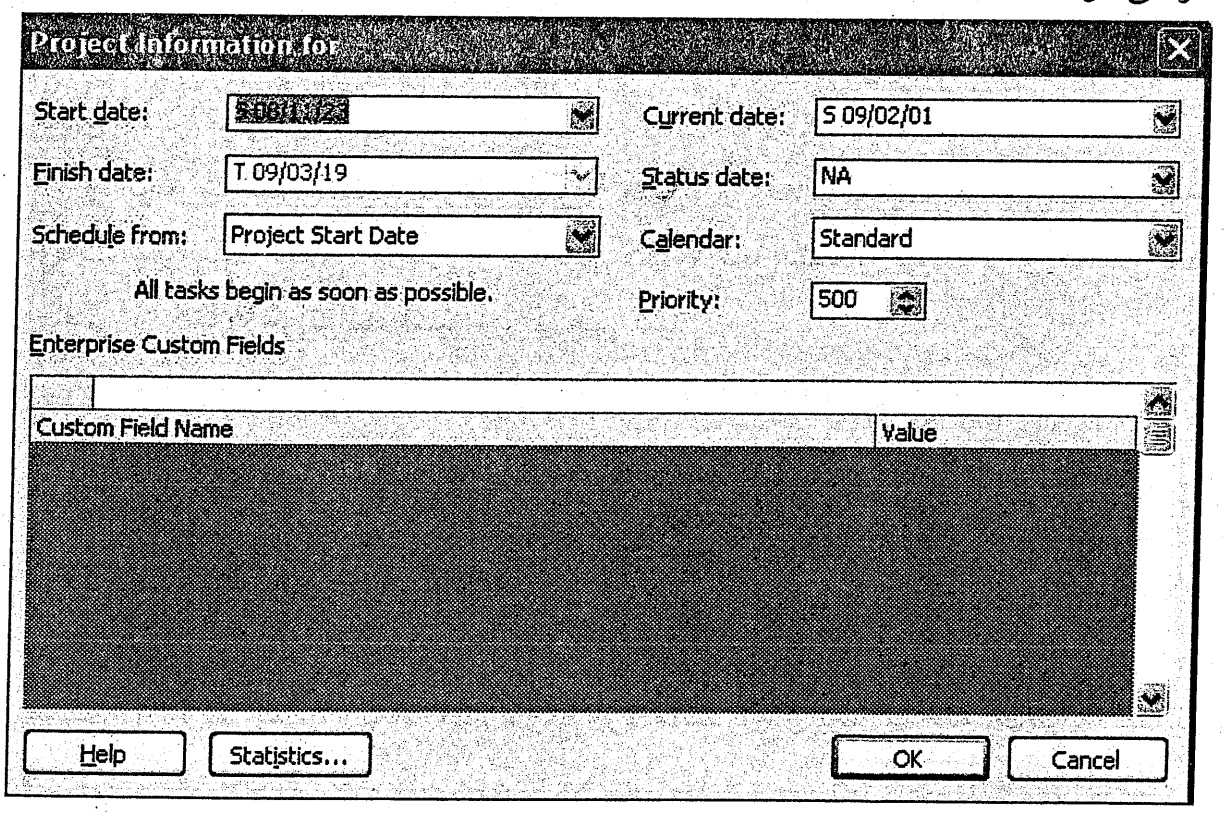
در انتهای صفحه، روی مربع مقابل گزینه Mark task as milestone کلیک کنید تا علامت ✓ در آن درج شود سپس بر روی دکمهٔ ok کلیک کنید. فعالیت مذکور با عنوان Milestone تعیین و در نمای گانت چارت علامتی به شکل لوزی مقابل این فعالیت رسم شده است.

## ۲.۷ تخمین زمان پروژه

برای برآورد مدت‌زمان کل پروژه، پس از سازمان‌دهی فعالیت‌ها بر اساس WBS مورد نظر، باید اطلاعات مربوط به مدت‌زمان انجام هر یک از فعالیت‌ها را وارد کنید.

پیش از تعیین مدت‌زمان تک‌تک فعالیت‌ها، باید زمان شروع پروژه را تعیین و برای تعیین زمان شروع پروژه مسیر زیر را طی کنید:

از منوی Project بر روی Projet Information کلیک کنید صفحهٔ زیر (شکل ۳.۷) ظاهر می‌شود.




شکل ۳.۷ صفحه Projet Information.

در این صفحه روی نمای مقابل قسمت Start date، کلیک کرده و از تقویم نمایان‌شده تاریخ شروع پروژه را انتخاب و دکمهٔ OK را کلیک کنید. به این ترتیب تاریخ شروع پروژه تعیین می‌شود و زمان شروع و پایان سایر فعالیت‌ها بر اساس این تاریخ خواهد بود. حال می‌توان اطلاعات مربوط به مدت‌زمان انجام هر یک از فعالیت‌ها را وارد کرد.

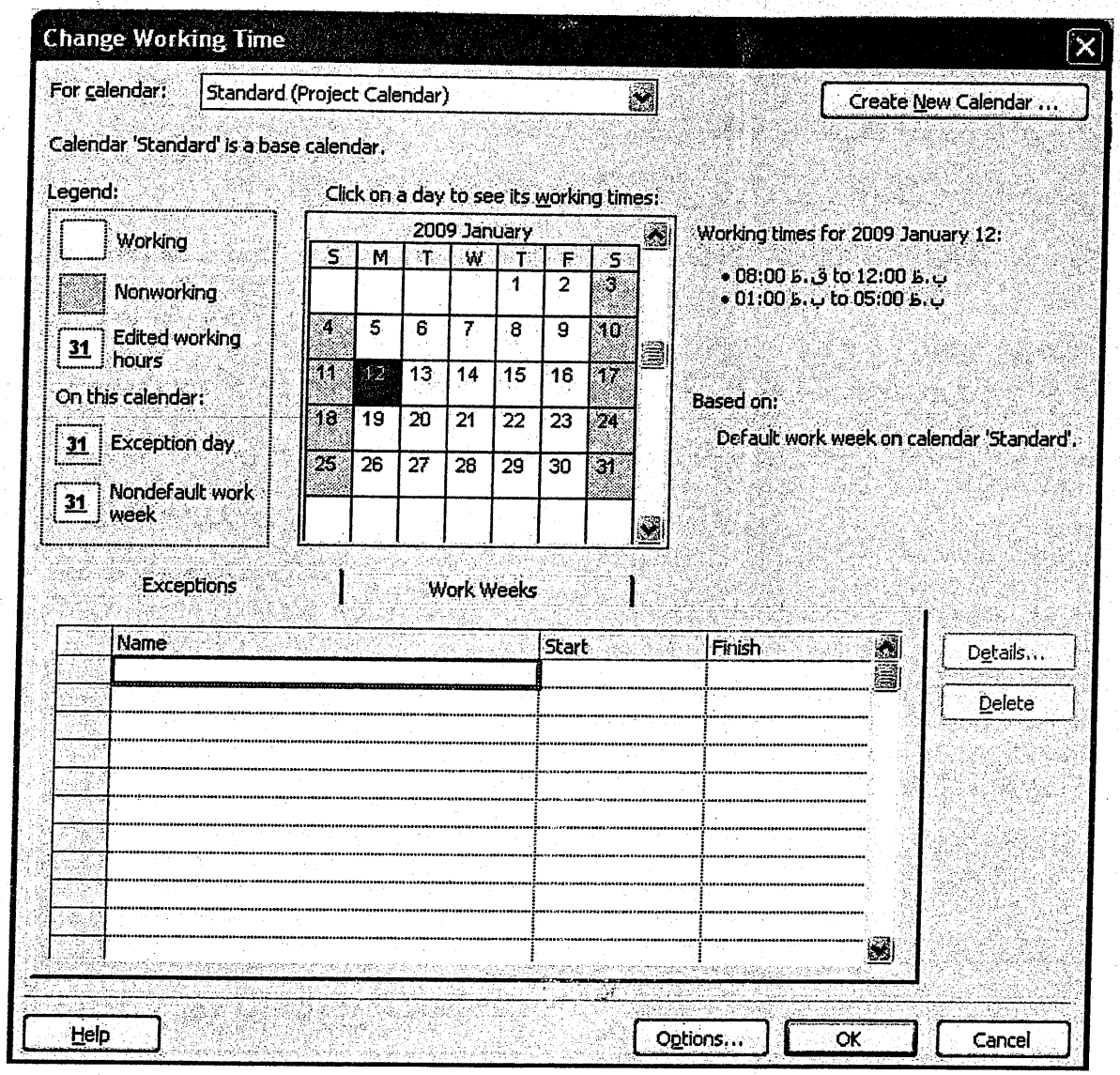
همان‌گونه که در مبحث تخمین زمان، در بخش مدیریت زمان پروژه، آموخته‌اید روش‌های مختلفی برای تخمین زمان فعالیت‌ها وجود دارد معمولاً مدت‌زمان فعالیت‌ها از یکی از سه روش زیر تخمین زده می‌شود.

- قضاوت کارشناسانه،
- برآورد قیاسی،
- محاسبه بر اساس روش‌های زمان‌سنجی.

پس‌ازاینکه مدت‌زمان هر یک از فعالیت‌ها را به هر روش مناسب آن، برآورد کردید این زمان‌های برآوردشده را در ستون Duration نمای گانت چارت در مقابل هر فعالیت وارد کنید.

## ۳.۷ تنظیم تقویم کاری

برای انجام صحیح زمان‌بندی پروژه، باید تقویم مورد استفاده در نرم‌افزار را نیز مطابق با نیازهای پروژه تنظیم کرد. تقویم مورد استفاده در MSP تقویم میلادی و تقویم مورد استفاده در ایران تقویم شمسی است. از این رو این تقویم را باید متناسب با تقویم شمسی تغییر داده و اصلاح کرد. برای اصلاح تقویم از منوی Project روی Change Working Time کلیک کنید تا صفحهٔ زیر (شکل ۴.۷) ظاهر شود.



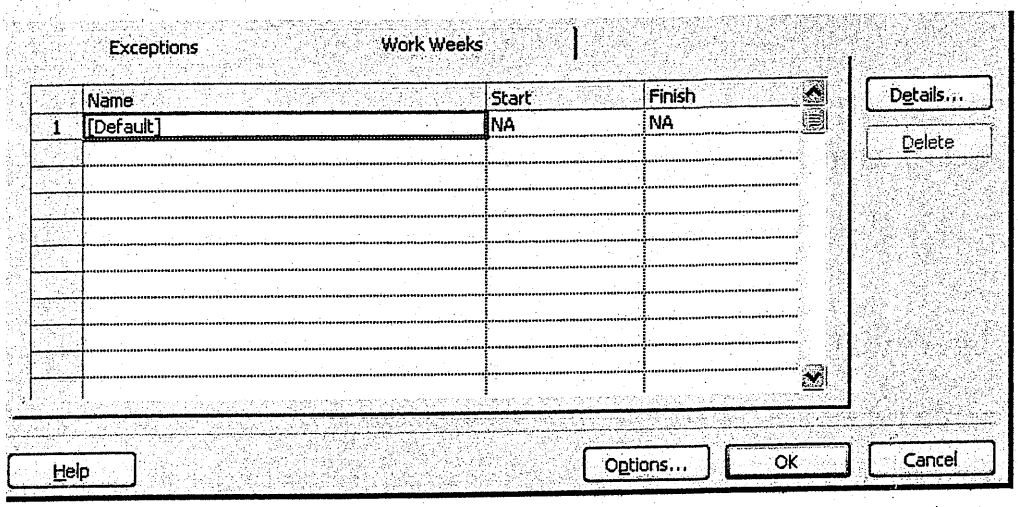

**شکل ۴.۷** صفحه Change Working Time.

در بالای صفحه، سمت راست دکمهٔ Create New Calendar وجود دارد با زدن این دکمه می‌توان تقویم جدید ایجاد کرد. چنانچه در موارد خاص، به تقویم ویژه‌ای نیاز داشتید، به ایجاد تقویم جدید اقدام کنید، در غیر این صورت، تقویم جاری نرم‌افزار را که تحت عنوان Standard است را اصلاح کنید و به‌کارگیرید.

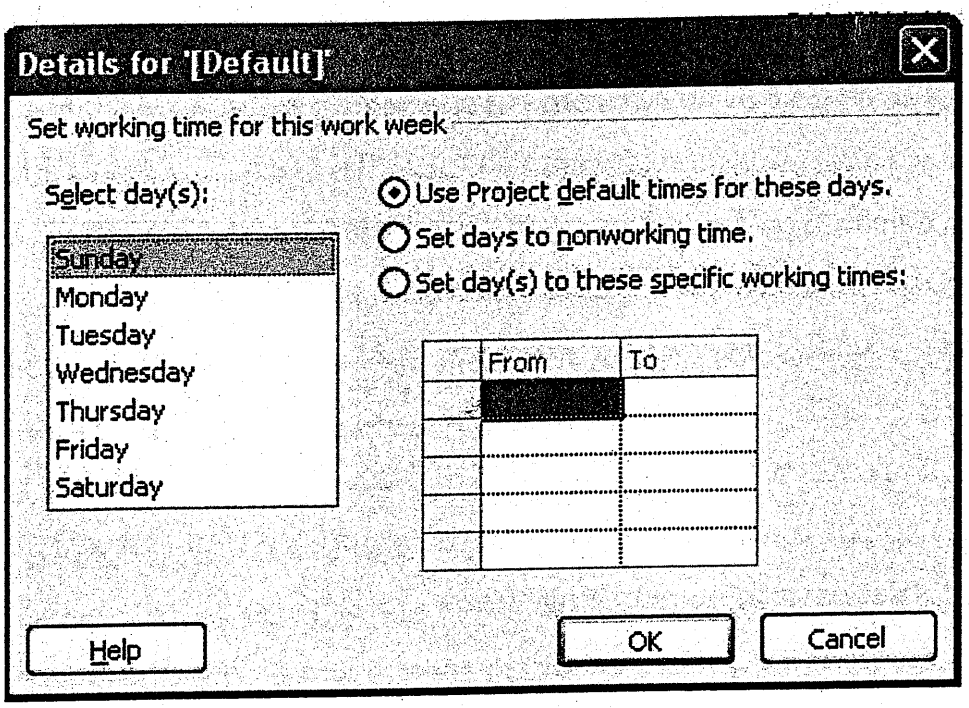
برای اصلاح تقویم در پایین صفحهٔ Change Working Time دو زبانه به نام‌های Work Weeks و Exceptions وجود دارد.

بر روی زبانهٔ Work Week کلیک کنید.

در ستون Name عبارت [Default] نوشته شده است. روی این عبارت دو بار کلیک کنید یا دکمه Details را بزنید. صفحهٔ Details for [Default] گشوده می‌شود.




**شکل ۵.۷** زبانهٔ Work Week.




**شکل ۶.۷** تنظیم ساعات کاری روزهای هفته.

در سمت چپ این صفحه روزهای هفته درج شده است. در سمت راست سه گزینه وجود دارد:

- Use Project default times for these days

با انتخاب این گزینه زمان‌های کاری پیش‌فرض نرم‌افزار MSP برای آن روز هفته در نظر گرفته می‌شود.

این زمان‌های پیش‌فرض به صورت زیر است:

- روزهای شنبه و یکشنبه تعطیل،
- سایر روزهای هفته از ساعت ۸ـ۱۲ صبح و ۱۳ـ۱۷ بعدازظهر.

با انتخاب این گزینه، نرم‌افزار روزی از هفته را که انتخاب کرده‌اید، به عنوان روز تعطیل در نظر می‌گیرد.

- Set days to nonworking time

با انتخاب این گزینه می‌توانید ساعات کاری مورد نظر خود را برای روزی از هفته که انتخاب کرده‌اید، تعیین کنید.

- Set day(s) to these specific working times

همان‌گونه که می‌دانید در تقویم شمسی، روزهای جمعه تعطیل و معمولاً روزهای پنجشنبه ساعت کاری تا قبل از ظهر و روزهای شنبه و یکشنبه نیز روزهای کاری و غیرتعطیل‌اند.

حال می‌بایست این اصلاحات را در تقویم پیش‌فرض نرم‌افزار، اعمال کرد.

در صفحهٔ Details for [Default] روی روز Sunday ( یکشنبه ) از ستون سمت چپ کلیک کرده در سمت راست گزینهٔ سوم (Set day(s) to these...) را انتخاب کنید.

در پایین این گزینه جدولی با دو ستون From و To قرار دارد، در ردیف اول ستون From عدد ۸ و در ستون To عدد ۱۲ را تایپ کنید.

به ردیف دوم رفته در ستون From عدد ۱۳ و در ستون To عدد ۱۷ را تایپ کنید.

حال در ستون سمت چپ روز Saturday (شنبه) را انتخاب کرده کارهای قبلی را که برای روز یکشنبه انجام دادید تکرار کنید. به‌این‌ترتیب روزهای شنبه و یکشنبه طبق تقویم شمسی به عنوان روز کاری تعیین می‌شود.

حال روز جمعه (Friday) را انتخاب کنید. همان‌گونه که ملاحظه می‌کنید نرم‌افزار به‌صورت پیش‌فرض این روز را روز کاری در نظر گرفته، اما در تقویم شمسی این روز، تعطیل است. از این رو گزینهٔ دوم (Set days to nonworking time) را از سمت راست انتخاب کنید به‌این‌ترتیب روز جمعه روز تعطیل خواهد شد.

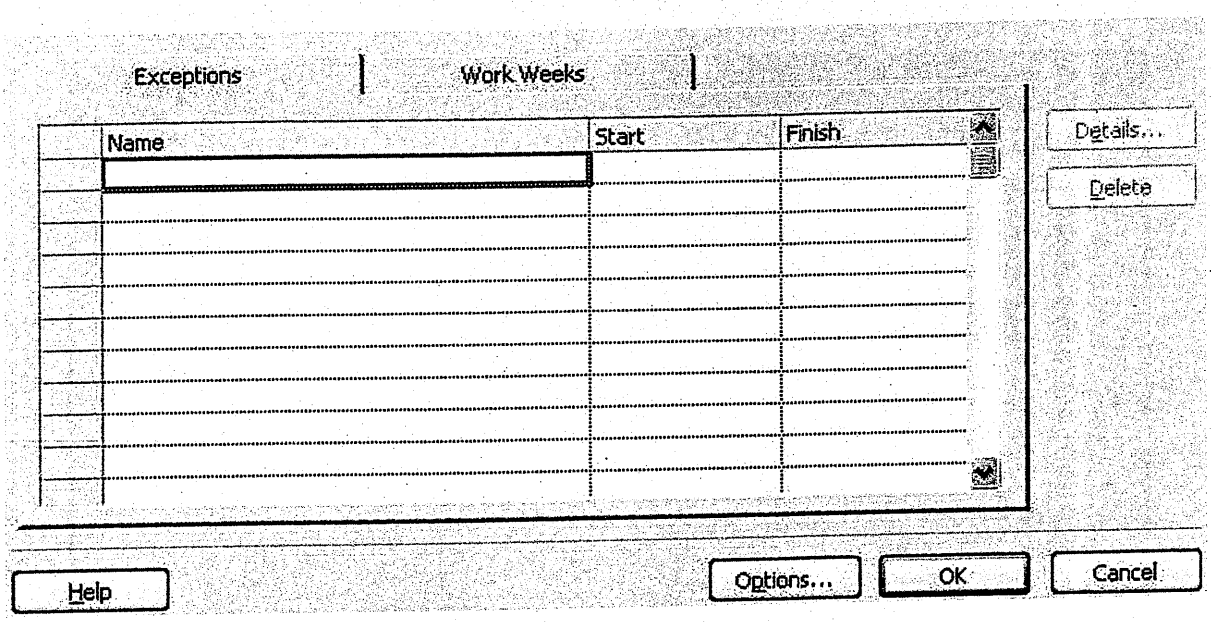
حال روز پنجشنبه (Tursday) را انتخاب کنید. گزینهٔ سوم را انتخاب و ردیف دوم جدول From/To را حذف کنید.

حال بر روی دکمهٔ OK در صفحهٔ Details for [Default] کلیک کنید.

همان‌گونه که ملاحظه می‌کنید تقویم کاری اصلاح‌شده و روزهای جمعه به عنوان روز تعطیل به رنگ خاکستری درآمده است و سایر روزها نیز روز کاری است.

چنانچه در تقویم کاری پروژه، روز یا روزهای خاصی تعطیل باشد یا اینکه در آن ایام، ساعات کاری با دیگر روزها متفاوت باشد اصلاحات مربوط به این روز یا روزهای خاص را می‌توان به صورت زیر در تقویم اعمال کرد.

بر روی زبانه Exceptions کلیک کنید.




**شکل ۷.۷** تنظیم ساعات کاری روزهای هفته.

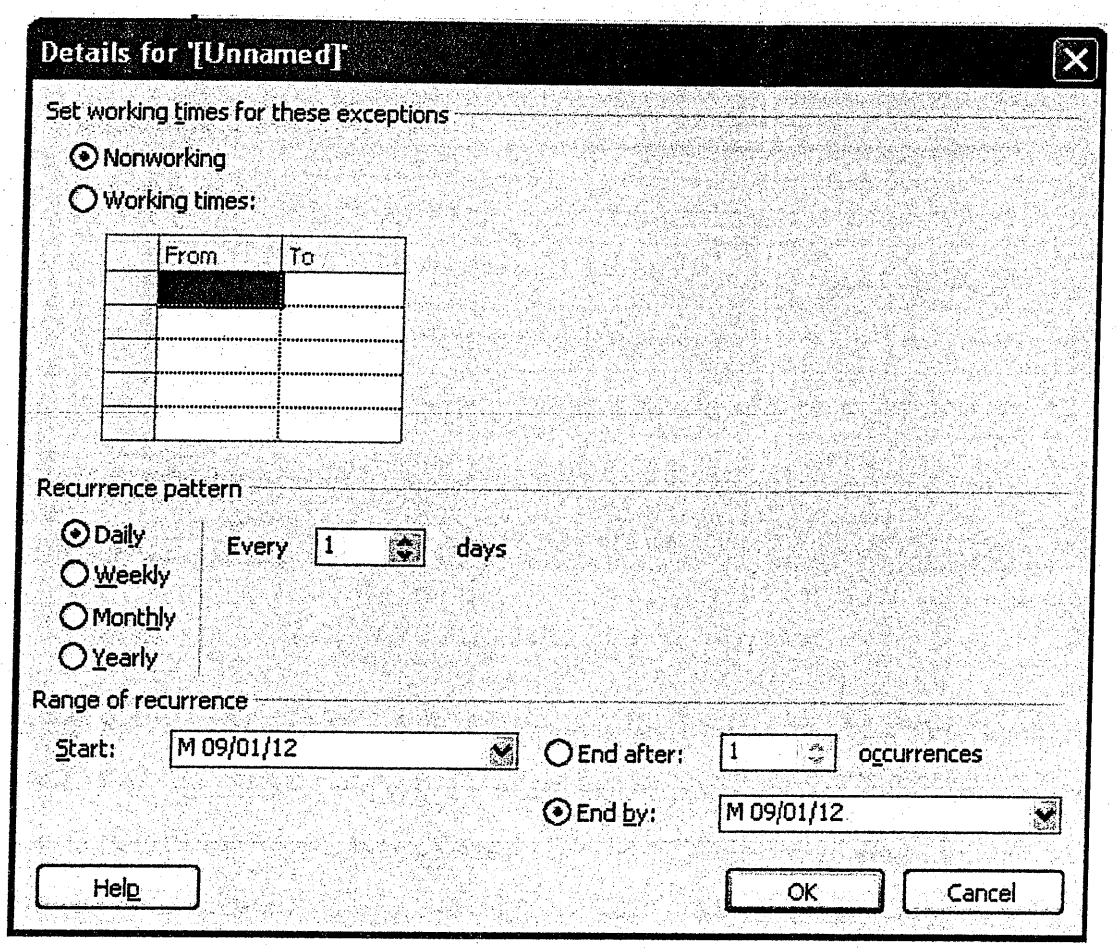
در این صفحه جدولی وجود دارد. در ستون Name عنوان آن روز خاص را تایپ کنید. (برای مثال «عید نوروز») در ستون Start تاریخ شروع این ایام تعطیل (برای مثال ۲۰ مارس) و در ستون Finish تاریخ پایان این ایام تعطیل را مشخص کنید (برای مثال ۲۳ مارس).

همان‌گونه که ملاحظه کردید، هنگامی که ستون Start را کلیک می‌کنید می‌توانید با زدن فلش آبی‌رنگ ظاهرشده در گوشهٔ سلول مربوطه، تقویم ماهانه را ملاحظه کنید. با زدن دکمه‌های فلش آبی‌رنگ سمت چپ و راست روی تقویم ماهانه، می‌توانید ماه مورد نظر را تغییر دهید تا به ماه مارس برسید. در تقویم مربوط به ماه مارس روی روز بیستم کلیک کنید. به همین ترتیب در ستون Finish نیز تاریخ ۲۳ مارس را انتخاب کنید. به این ترتیب روزهای ۲۰ تا ۲۳ مارس روز تعطیل در نظر گرفته خواهد شد.

البته زبانهٔ Exception فقط مربوط به روزهای تعطیل خاص نیست. نرم‌افزار به صورت پیش‌فرض روز انتخابی را روز تعطیل فرض می‌کند، اگر شما بخواهید در روزهای خاصی از یک یا چند هفته، ساعات کاری را افزایش یا کاهش دهید، می‌توانید در این قسمت این تغییرات را اعمال کنید. در ستون Name عنوان آن روز(های) خاص را تایپ و روی دکمه Details کلیک کنید؛ صفحه‌ای مطابق شکل ۶.۸ ظاهر می‌شود. در بالای صفحه گزینه Working Time را انتخاب نموده در جدول From/To ساعات کاری موردنظر را درج نمایید.

شما در زبانه Exceptions، می‌توانید تنظیمات زیر را اعمال کنید:

در قسمت Recurrence pattern چنانچه این تغییرات در دوره‌های زمانی دیگر نیزقابل تکرار است، می‌توانید تنظیمات مربوطه را انجام دهید.




**شکل ۸.۷** تنظیم ساعات کاری روزهای هفته.

برای مثال تعطیلات نوروز هر سال به صورت ثابت در تاریخ‌های تنظیم‌شده تکرار می‌شود. از این رو می‌توان در این قسمت گزینهٔ Yearly را انتخاب کرد.

در قسمت Range of recurrence شروع و پایان بازهٔ زمانی اجرای تغییرات اعمال‌شده را در قسمت Start و End by یا تعداد دوره‌های مورد نظر را در قسمت End after مشخص کنید. برای مثال تعداد سال‌هایی که می‌خواهید تعطیلات نوروز اعمال شود را تعیین کنید.

به‌این‌ترتیب پس از انجام تمامی تنظیمات، تغییرات مربوط به تقویم کاری پروژه انجام گرفته است و می‌توان مراحل بعدی را پیگیری کرد.

## ۴.۷ ایجاد روابط و وابستگی بین فعالیت‌ها

فایل «P03» را باز کنید:

در این فایل تغییرات مربوط به تقویم و زمان‌بندی فعالیت‌ها صورت گرفته است.

حال باید نوع ارتباط و وابستگی بین فعالیت‌ها را تعریف کرد. به طور کلی بین فعالیت‌ها چهار نوع وابستگی تعریف می‌شود:

**آغاز به آغاز:**[1] در این حالت فعالیت B وقتی آغاز می‌شود که از آغاز فعالیت A حداقل مدت‌زمان $S_A S_B$ گذشته باشد. برای مثال فرض کنید در یک پروژهٔ جاده‌سازی، فعالیت A خاک‌برداری و فعالیت B تسطیح جاده تعریف شده باشند.

در عملیات ساخت جاده، ابتدا باید در قسمت‌های مرتفع و بلندی، خاک‌برداری و سپس عملیات تسطیح صورت گیرد. در احداث جاده‌های طولانی، شروع هر دو فعالیت، با یک فاصلهٔ زمانی کوتاه امکان‌پذیر است. برای مثال بعد از گذشت ۵ روز از عملیات خاک‌برداری، عملیات تسطیح می‌تواند آغاز شود. در این صورت گفته می‌شود که فعالیت B به صورت آغاز به آغاز به فعالیت A وابسته است.

**پایان به پایان**[2]: در این حالت فعالیت B وقتی پایان می‌یابد که از پایان فعالیت A حداقل مدت‌زمان $F_A F_B$ گذشته باشد. برای مثال فرض کنید که در عملیات تهیه مواد مذاب، فعالیت A و B به‌صورت زیر باشند:

A: حمل مواد خامی که باید ذوب شوند به سمت کوره و ریختن آن‌ها درون کوره.

B: حرارت دادن مواد در کوره.

در کوره‌های بزرگ، مواد خام، به‌تدریج داخل کوره ریخته می‌شود و هنگامی که آخرین محمولهٔ مواد در کوره ریخته شد، باید مدت‌زمان مشخصی (برای مثال سه ساعت) عملیات حرارت دادن ادامه باید تا همهٔ مواد به‌خوبی ذوب شوند. در این صورت وابستگی A و B از نوع پایان به پایان است و گفته می‌شود که بین پایان فعالیت A تا پایان فعالیت B سه ساعت فاصلهٔ زمانی نیاز است.

**پایان به آغاز**[3]: در این حالت، فعالیت B وقتی آغاز می‌شود که از پایان فعالیت A حداقل مدت‌زمان $F_A S_B$ گذشته باشد.

برای مثال فرض کنید در یک عملیات مونتاژ یک‌سری قطعات رنگ‌آمیزی شده و سپس به یکدیگر مونتاژ می‌شوند. در این عملیات، فعالیت A، رنگ‌آمیزی قطعات و فعالیت B مونتاژ قطعات تعریف شده‌اند.

بدیهی است که برای انجام عمل مونتاژ، باید مدت‌زمان مشخصی (برای مثال دو ساعت) از پایان رنگ‌آمیزی (A) بگذرد تا فعالیت مونتاژ (B) بتواند شروع شود.

---

1. Start to Start
2. Finish to Finish
3. Finish to Start

**آغاز به پایان**[1]:در این حالت فعالیت B وقتی پایان می‌پذیرد که از آغاز فعالیت A حداقل مدت‌زمان $S_A F_B$ گذشته باشد.

برای مثال فرض کنید که در جریان تعویض شیفت‌های کاری کارکنان فعالیت A و B به صورت زیر تعریف شده باشند.

A: آغاز به کار کارکنان شیفت صبح،

B: پایان کار کارکنان شیفت شب.

معمولاً پس از سپری شدن زمان مشخصی از پایان شیفت شب، کارکنان این شیفت، کارهای لازم را به کارکنان شیفت صبح تحویل داده، پس از اینکه کارکنان شیفت صبح مستقر شده و کار خود را آغاز کردند، کارکنان شیفت شب می‌توانند محل کار را ترک کنند.

این حالت وابستگی به‌ندرت در پروژه‌ها رخ می‌دهد.

نرم‌افزار MSP به صورت پیش‌فرض نوع پیش‌نیازی بین فعالیت‌ها را FS در نظر می‌گیرد.

حال با توجه به اینکه در پروژه مورد نظر فعالیت‌ها با یکدیگر چه نوع رابطه‌ای دارند، باید این ارتباطات را بین آن‌ها برقرار کرد.

برای برقراری ارتباطات مذکور ۵ روش وجود دارد:

فعالیت‌هایی که با هم رابطه FS دارند را انتخاب کنید. (نحوهٔ انتخاب هم‌زمان چند فعالیت توضیح داده شده). در این مثال فعالیت‌های ۳و۴و۵و۷و۸ را انتخاب و در منوی Task بر روی آیکن link Task که به شکل است کلیک کنید. بین تمامی فعالیت‌های فوق رابطهٔ FS برقرار خواهد شد.

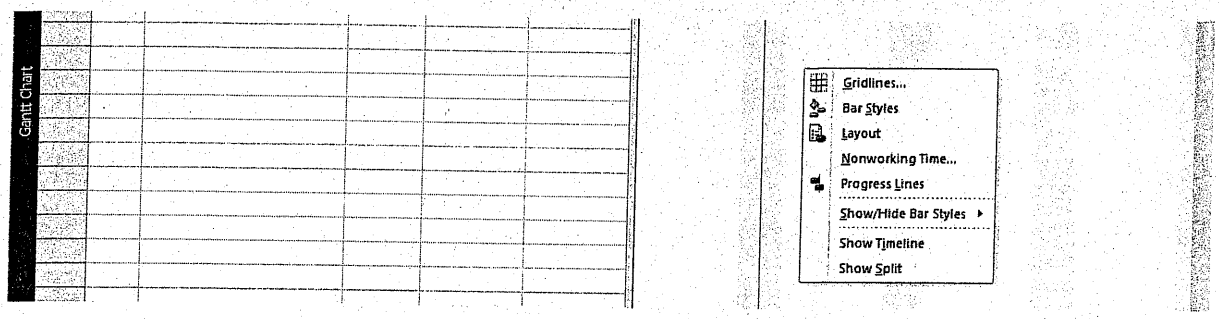
فرض کنید فعالیت ۱۲ با فعالیت ۱۳ رابطهٔ پیش‌نیازی FS دارد. در نمای میله‌ای گانت چارت، کلید موس را روی میله آبی‌رنگ فعالیت ۱۲ ببرید. نشانه‌گر موس به‌صورت ✥ درمی‌آید. حال کلید سمت چپ موس را فشار داده، پایین نگه داشته و بر روی میلهٔ آبی‌رنگ فعالیت ۱۳ بکشید. نشانه‌گر موس به صورت درمی‌آید. آن را رها کنید. ملاحظه می‌کنید که بین فعالیت‌های ۱۲ و ۱۳ رابطهٔ پیش‌نیازی FS برقرار شده است.

فرض کنید بین فعالیت‌های ۱۸ و ۱۹ رابطهٔ FS برقرار است، در نمای گانت چارت در ردیف ۱۹ در ستون Predecessors عدد ۱۸ را تایپ کنید و کلید Enter را بزنید؛ بین فعالیت‌های ۱۸ و ۱۹ رابطه FS برقرار خواهد شد.

صفحهٔ نمایش نرم‌افزار را با اجرای دستور Split Show دوبخشی کنید. برای اجرای

---

1. Start to Finish




**شکل ۹.۷** ایجاد صفحهٔ دوبخشی.

این دستور، بر روی نمای گانت چارت راست کلیک کرده سپس Split Show را فعال کنید. پایین نمای گانت چارت صفحه‌ای مطابق شکل ۹.۷ ظاهر می‌شود.

**نکته:** در این صورت صفحهٔ نمایش نرم‌افزار، به‌صورت «صفحهٔ نمایش دوبخشی» ظاهر می‌شود، شما می‌توانید صفحهٔ نمایش داده‌شده در هر یک از دو بخش را تغییر دهید. نرم‌افزار به صورت پیش‌فرض در صفحهٔ پایینی، نمای «Resources & Predecessors» را نمایش می‌دهد، برای تغییر این نما می‌توانید روی قسمت خاکستری‌رنگ سمت چپ صفحهٔ پایینی کلیک کرده و در زبانهٔ Task قسمت Gantt Chart یکی از نماها را انتخاب کنید.

با انتخاب هرکدام از موارد می‌توانید آنها را در صفحهٔ پایینی نمایش دهید. همچنین می‌توانید با روش دیگری هر نمای دلخواهی را در هر یک از صفحات نمایش داده‌شده ظاهر کنید. برای این کار در هر یک از دو صفحه‌ای که می‌خواهید نمای آن را تغییر دهید کلیک کرده و در منوی View از نوارابزار نمای مورد نظر خود را انتخاب کنید.

پس از فعال کردن Split Show نرم‌افزار به صورت پیش‌فرض در صفحهٔ پایینی، نمای «Resources & Predecessors» را نمایش می‌دهد، که برای تعریف روابط و پیش‌نیازی فعالیت‌ها استفاده می‌شود. بین فعالیت‌های ۱۵ و ۱۶ رابطه SS برقرار است. در نمای Gantt chart بر روی فعالیت ۱۶ کلیک کنید. همان‌گونه که ملاحظه می‌کنید در صفحهٔ پایینی «نمای دوبخشی» در قسمت Name نام فعالیت ۱۶ درج شده است. سمت راست این صفحه مربوط به پیش‌نیازی است.

در ستون دوم آن (Predecessors Name) کلیک کنید از نمای موجود می‌توانید فعالیت ۱۵ را انتخاب یا در ستون کناری آن (ID) شماره فعالیت ۱۵ را تایپ کنید. در ستون Type نوع پیش‌نیازی، که SS است را انتخاب کنید. در ستون Lag می‌توانید مقدار فرجه‌ای را که بین آغاز این دو فعالیت در نظر دارید تایپ کنید (برای مثال یک

روز). برای مخفی کردن نمای Split مجدداً در صفحه راست کلیک و Split Show را غیرفعال کنید.

فرض کنید بین فعالیت‌های ۸ و ۹ رابطهٔ SS برقرار است. برای برقراری این رابطه روی فعالیت ۹ دو بار کلیک کنید یا در منوی Project بر روی Task Information کلیک کنید، صفحهٔ Task Information نمایان می‌شود.

در صفحهٔ Task Information زبانه Predecessors را انتخاب و در جدول پایینی در ستون ID شماره فعالیت ۸ را تایپ کنید. همان‌گونه که ملاحظه می‌کنید نام فعالیت ۸ در ستون Task Name درج می‌شود. در ستون Type نوع رابطه را که SS است انتخاب کنید. اگر فرجهٔ زمانی بین آغاز این دو فعالیت وجود دارد آن را در ستون Lag تایپ کنید (مثلاً ۱ روز) و کلید OK را بزنید، بین دو فعالیت ۸ و ۹ رابطهٔ SS برقرار شد.

فایل "P04" را باز کنید روابط بین فعالیت‌ها در این فایل مشخص شده است.

موارد تکمیلی بسیاری در خصوص کار با نرم‌افزار MSP وجود دارد که برای جلوگیری از تطویل مباحث این کتاب، از آنها صرف‌نظر شده است.

## منابع

الوانی، سید مهدی، (۱۳۸۲)، *مدیریت عمومی*. چاپ نوزدهم، انتشارات نی، تهران.

رضاییان، علی، (۱۳۸۳)، *اصول مدیریت*. انتشارات سمت، تهران.

آذر عادل و سعید جهانیان (۱۳۹۶)، *روش‌شناسی علم مدیریت* اثر تری ویلیام. مرکز نشر دانشگاهی، تهران.

"Project Management Institute, A Guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK® Guide)" 1st Edition,(1996).

"Project Management Institute, A Guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK® Guide)" 2ed Edition,(2000).

"Project Management Institute, A Guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK® Guide)" sixth Edition,(2017).

Moder, J.J-; Phillips, R.C and Davis,W.E: "Project management with CPM, PERT and Precedence Diagramming, 3rd Ed, Van Nostrand Reinhold," New York, (1983).

Harold Kerzner," Project Management: A Systems Approach to Planning, Scheduling, and Controlling ", Ninth Edition (2006), Jhon Wily, USA.

Harold Kerzner," Project Management: A Systems Approach to Planning, Scheduling, and Controlling ", Twelfth Edition (2017), Jhon Wily, USA.

Dennis Lock " the Essentials of Project Management" Gower, USA, (1996).

Kleim, R.L.; Ludin, I.S. and Robertson, K.L "Project Management Methodology A practical Guide for the Next Millennium" Marcel Dekker, INC. New York USA, (1997).

Haji-Yakhchali, S. Ghodsypour S.H " Computing latest starting times of activities in internal-valued networks with minimal time legs" European Journal of Operational Research, (2011a).

Haji-Yakhchali, S. Ghodsypour S.H "on the latest starting times and criticality of activities in a network with imprecise duration" Applied Mathematical Modeling, (2011b).