



مدیریت و کنترل پروژه

گردآوری:

مازیار زاهدی سرشت

شهرزاد خسروی

کتاب فروشی
چیتا

مجموع
تجاری کرستان
طبقه همکف
واحد ۱۵۹
۳۳۲۸۷۱۹۵



انتشارات نگاه دانش

سرشناسه : زاهدی سرشت، مازیار
 عنوان و نام پدیدآور : مدیریت و کنترل پروژه / تألیف مازیار زاهدی سرشت، شهرزاد خسروی
 مشخصات نشر : تهران: نگاه دانش، ۱۳۹۵
 مشخصات ظاهری : ۳۲۰ ص
 شابک : ۹۷۸-۹۶۴-۱۵۷-۳۲۰-۳
 وضعیت فهرست‌نویسی : فیفا
 موضوع : مدیریت طرح‌ها
 شناسه افزوده : خسروی، شهرزاد
 رده‌بندی کنگره : HD۶۹/م۴ز۲۵ ۱۳۹۵
 رده‌بندی دیویی : ۶۵۸/۴۰۴
 شماره کتابشناسی ملی : ۴۲۰۹۸۵۷

هدفمند بخوانید

فرید الکترونیک کتاب‌های نگاه دانش

www.negahedanesh.com



اخبار کتاب‌های نگاه دانش

[Telegram.me/negahedanesh](https://t.me/negahedanesh)

انتشارات نگاه دانش

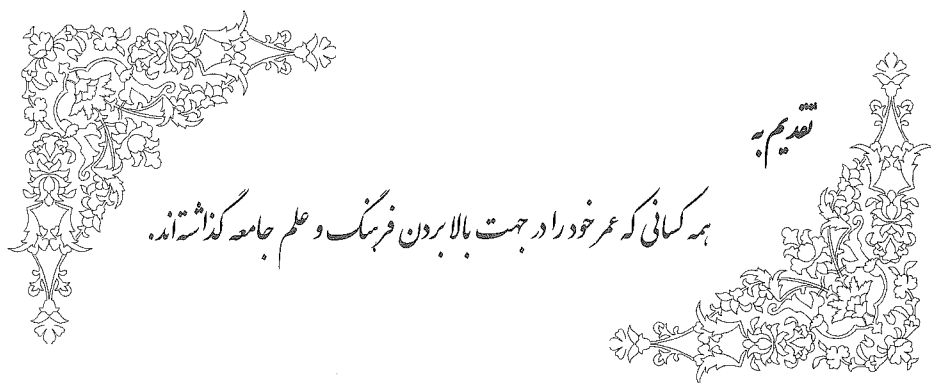
مدیریت و کنترل پروژه	♦ نام کتاب:
مازیار زاهدی سرشت - شهرزاد خسروی	♦ مؤلفین:
نگاه دانش	♦ ناشر:
امیر محمدی - ۰۹۱۲۲۰۷۷۷۲۸	♦ طراحی:
کبری صابری	♦ حروف‌نگاری، صفحه‌آرایی (نگاه دانش):
اول، ۱۳۹۵	♦ نوبت چاپ:
۱۰۰۰ نسخه	♦ تیراژ:
۲۵،۰۰۰ تومان	♦ قیمت:
باختر / شاهین / چاوش	♦ لیتوگرافی / چاپ و صحافی:
۹۷۸-۹۶۴-۱۵۷-۳۲۰-۳	♦ شابک:

تذکره کلیه حقوق این اثر برای ناشر محفوظ است و هیچ شخص حقیقی و حقوقی حق چاپ و برداشت تمام یا قسمی از اثر را به صورت چاپ، فتوکپی، جزو و حق دست‌نویس ندارد. متخلفین به موجب بند ۵ ماده ۲ قانون حمایت از نشریات تحت پیگرد قانونی قرار می‌گیرد.

انتشارات نگاه دانش: انقلاب - خ ۱۲ فروردین - ساختمان ناشران پلاک ۲۷۱ - طبقه ۲ - واحد ۴

تلفن: ۶۶۹۵۴۸۹۲

تلفکس: ۶۶۴۸۶۱۵۴



پیشگفتار

کتابی که در دست دارید، گردآوری درس مدیریت و کنترل پروژه در حد کارشناسی رشته مهندسی صنایع و برای مطالعه داوطلبان کنکور کارشناسی ارشد مهندسی صنایع می‌باشد.

در این کتاب که شامل درس و نکات در هر فصل می‌باشد، سوالات چهارگزینه‌ای هم گنجانده شده است. در انتهای هر فصل تست‌های تألیفی و کنکور رشته مهندسی صنایع با پاسخ تشریحی آورده شده‌اند. امیدواریم این کتاب که گردآوری از چند کتاب مرجع داخلی و خارجی می‌باشد مورد استفاده قرار بگیرد.

در انتها جهت انتقاد و پیشنهاد می‌توانید از طریق پست الکترونیکی zahedi_s@yahoo.com یا پایگاه اینترنتی [www.zahediseresht.com\(ir\)](http://www.zahediseresht.com(ir)) با نویسنده کتاب ارتباط برقرار کنید.

مازیار زاهدی سرشت

شهرزاد خسروی

تابستان ۱۳۹۵

فهرست مطالب

۷	فصل ۱: مفاهیم کلی مدیریت پروژه
۷	تعریف پروژه
۸	ویژگی‌های پروژه
۸	تعریف عملیات
۸	تفاوت پروژه‌ها با عملیات
۹	تعریف مدیریت پروژه
۹	تعریف طرح (Program)
۹	تعریف سبد پروژه (پورتفولیو)
۱۰	دفتر مدیریت پروژه و دفتر پروژه
۱۱	شایستگی‌های مدیر پروژه
۱۱	ساختارهای سازمانی
۱۲	ساختارهای ماتریسی
۱۵	ذی‌نفعان پروژه
۱۵	گروه‌های فرایندی
۱۷	حوزه‌های دانش مدیریت پروژه
۱۷	فرایندهای مدیریت پروژه
۱۷	مدیریت یکپارچگی پروژه
۱۹	مدیریت محدوده پروژه
۲۲	مدیریت زمان پروژه
۲۳	مدیریت هزینه پروژه
۲۳	مدیریت کیفیت پروژه
۲۳	مدیریت منابع انسانی پروژه
۲۴	مدیریت ارتباطات پروژه
۲۴	مدیریت ریسک پروژه
۲۵	مدیریت تدارکات پروژه
۲۶	مدیریت ذی‌نفعان پروژه
۲۶	نمودارهای گانت
۲۷	PERT، CPM و یا GERT؟
۲۹	سوال
۳۷	پاسخ
۴۱	فصل ۲: شبکه‌های برداری (AOA)
۴۱	تعاریف شبکه
۵۶	محاسبات زمانی یا روش مسیر بحرانی در شبکه‌های AOA

۵۹	محاسبات مسیر پیشرو
۶۱	محاسبات مسیر پسرو
۶۴	شناوری فعالیت‌ها
۷۵	به هنگام کردن شبکه
۷۶	محاسبات زمانی در پروژه‌های دارای تاریخ تعیین شده برای تکمیل
۷۸	سوال
۹۲	پاسخ

فصل ۳: شبکه‌های گره‌ای (AON) ----- ۱۰۳

۱۱۱	تبدیل انواع روابط وابستگی به وابستگی SS
۱۱۲	امکان وجود بیش از یک رابطه وابستگی بین دو فعالیت
۱۱۳	آشنایی با روابط وابستگی حداقل و حداکثر
۱۱۴	تبدیل روابط حداقلی به حداکثری و برعکس
۱۱۶	پنجره زمانی
۱۱۷	محاسبات زمانی
۱۲۳	محاسبه فرجه‌ها در شبکه‌های گره‌ای
۱۳۰	سوال
۱۴۳	پاسخ

فصل ۴: تخصیص و تسطیح منابع ----- ۱۵۵

۱۵۶	محدودیت‌های امکانات و زمان
۱۵۶	هیستوگرام منابع
۱۶۳	تخصیص منابع
۱۶۴	الگوریتم تخصیص منابع محدود (الگوریتم برنامه‌ریزی موازی)
۱۷۳	تسطیح منابع نامحدود
۱۷۵	روش برگس برای تسطیح منابع نامحدود
۱۸۱	سوال
۱۸۷	پاسخ

فصل ۵: موازنه زمان - هزینه ----- ۱۹۵

۱۹۶	حالاتی که ممکن است موازنه زمان - هزینه انجام شود
۱۹۸	هزینه‌های مستقیم
۱۹۸	هزینه‌های غیرمستقیم
۱۹۹	زمان معمولی
۱۹۹	زمان فشرده
۲۰۰	هزینه‌های معمولی
۲۰۰	هزینه‌های فشرده
۲۰۰	ضریب زاویه هزینه
۲۰۱	تغییرات مجموع هزینه‌ها و نقطه زمان بهینه

۲۰۱	روش ابتکاری در موازنه زمان - هزینه
۲۰۵	قدم‌های روش ابتکاری در مسائل موازنه زمان و هزینه
۲۱۲	الگوریتم زیمنس برای موازنه زمان - هزینه
۲۱۹	برنامه‌ریزی ریاضی برای حل مدل‌های موازنه زمان - هزینه
۲۲۰	مدل ۱: تعیین زمان بهینه پروژه
۲۲۲	مدل ۲: تعیین بهترین ترکیب کاهش زمان برای تکمیل پروژه در زمان مشخص
۲۲۳	مدل ۳: بودجه معینی برای کاهش زمان پروژه تعیین شده باشد
۲۲۵	سوال
۲۲۵	پاسخ

فصل ۶: شبکه‌های پرت و گرت

۲۴۳	پرت
۲۴۴	سیستم ۳ زمانه در فاصله صفر تا ۱۰۰
۲۴۵	سیستم سه زمانه در فاصله ۵ تا ۹۵ درصد
۲۴۶	محاسبات زمانی در شبکه‌های دارای زمان احتمالی PERT
۲۵۲	مقدار خطا در محاسبات PERT
۲۵۳	گرت
۲۵۴	علائم و اختصارات در شبکه‌های GERT
۲۵۷	آنالیز شبکه‌های GERT
۲۶۳	سوال
۲۸۰	پاسخ

فصل ۷: مدیریت ارزش کسب شده

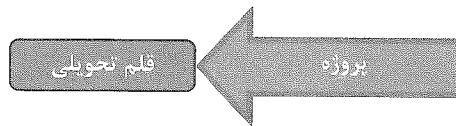
۲۹۳	ارزش برنامه‌ریزی شده
۲۹۴	بودجه مصوب کل
۲۹۵	هزینه‌های واقعی
۲۹۵	ارزش کسب شده
۲۹۶	شاخص‌های اندازه‌گیری عملکرد
۲۹۶	آنالیز واریانس
۲۹۶	شاخص‌های عملکردی
۳۰۳	روش تخمین آماری هزینه پایانی پروژه
۳۰۴	محاسبه EAC با فرض عملکرد ۱۰۰ درصد در آینده
۳۰۴	محاسبه EAC با شاخص عملکرد هزینه تجمعی
۳۰۵	محاسبه EAC با استفاده از CPI و SPI تجمعی
۳۰۵	شاخص عملکرد مورد نیاز برای تکمیل کار باقی مانده
۳۰۹	سوال
۳۱۶	پاسخ
۳۲۰	منابع

فصل ۱

مفاهیم کلی مدیریت پروژه

تعریف پروژه

پروژه عبارت است از مجموعه فعالیت‌های موقت برای تحقق یک محصول، خدمت یا نتیجه مشخص که در یک واژه، قلم تحویلی (deliverable) نامیده می‌شود.



پروژه‌ها شامل فعالیت‌هایی هستند که باید در تاریخ‌هایی معین، با هزینه‌های معین و کیفیتی تعیین شده، اجرا شوند.

پروژه‌ها ممکن است کارهایی باشند که انجام آنها در فواصل زمانی مشخصی لازم می‌شود. مثلاً: بستن حساب‌های کارخانه در انتهای سال مالی، تعمیرات اساسی یک پالایشگاه هر دو سال یک بار و... . همین طور ممکن است پروژه‌ها شامل کارهایی باشند که فقط یک بار توسط سازمان انجام خواهند گرفت مثل پروژه احداث سد، پروژه احداث تونل، پروژه‌های تحقیقاتی، پروژه احداث ساختمانی و پروژه‌های IT.



با توجه به تعریف فوق، برگزاری سمینار، انتشار یک کتاب، راه اندازی یک خط در یک کارخانه، داخلی سازی یک محصول توسط یک کارخانه، تغییر ساختار سازمانی، تدوین یک سیستم اطلاعات مدیریت جدید برای سازمان، تدوین و یا بهبود متدلوژی مدیریت پروژه سازمان، پروژه می باشند.

ویژگی های پروژه

- پروژه یک کار منحصر به فرد، جدید و غیر تکراری است.
- پروژه برای تحقق یک قلم تحویلی (محصول، خدمت و یا نتیجه) انجام می شود که بعد از اتمام پروژه قابل تحویل باشد.
- پروژه موقتی است یعنی یک نقطه شروع و پایان مشخص داشته و زمان آن نامحدود نیست.
- زمانی یک پروژه پایان می یابد که اهداف آن حاصل شده باشد و یا پروژه متوقف گردد.
- افزایش بیشتر اطلاعات پروژه به صورت گام به گام: ابهامات پروژه (*Uncertainty*) رفته رفته جای خود را به اطلاعات و کشفیات جدید (*Discovery*) می دهد. (تفصیل فزاینده)

تعریف عملیات

- عملیات مجموعه فعالیت های مستمر برای ایجاد خروجی تکراری می باشد. عملیات نیاز به منابع جهت انجام مجموعه کارهای استانداردها و نهادینه شده دارد.
- ویژگی های مشترک عملیات و پروژه ها عبارتند از:
- نیاز به نیروی انسانی دارند.
 - محدودیت منابع دارند.
 - برنامه ریزی، کنترل و اجرا می شوند.

تفاوت پروژه ها با عملیات

عملیات	پروژه ها
مستمر و تکراری همیشه پایدار هستند برای حفظ سازمان	موقتی و منحصر به فرد خاتمه می یابند برای ارائه یک قلم تحویلی

تعریف مدیریت پروژه

مدیریت پروژه کاربرد دانش، مهارت، ابزار و تکنیک‌های لازم در اداره جریان اجرایی فعالیت‌ها به منظور برآورده‌سازی الزامات پروژه می‌باشد.

وظایف اصلی مدیریت پروژه را می‌توان ایجاد هماهنگی لازم در اجرای فعالیت‌ها برای کاربرد مناسب منابع و امکانات به منظور رسیدن به هدف نهایی پروژه دانست. مدیریت پروژه بایستی به ایجاد تعادل میان محدودیت‌های مختلف پروژه بپردازد. این محدودیت‌ها عبارتند از:

- زمان
- هزینه
- محدوده
- کیفیت
- منابع
- ریسک

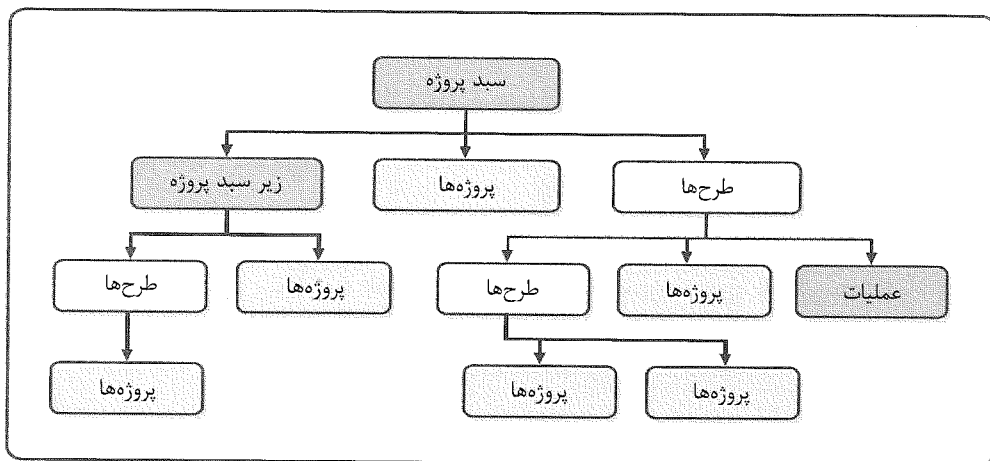
تعریف طرح (Program)

به گروهی از پروژه‌های به هم مرتبط که برای دستیابی به یک منفعت سازمانی به طور هماهنگ مدیریت می‌شوند طرح گفته می‌شود.

پروژه‌های یک طرح با توجه به خروجی‌شان به هم مرتبط می‌شوند. در صورتی که ارتباط میان پروژه‌ها، تنها مشتری یکسان، تکنولوژی و یا منابع یکسان باشد بهتر است که به عنوان یک پورتفولیو دیده شود.

تعریف سبد پروژه (پورتفولیو)

به مجموعه‌ای از پروژه‌ها، طرح‌ها و سایر کارها که الزاماً به هم مرتبط نمی‌باشند و صرفاً به منظور کنترل، هماهنگی و بهینه‌سازی کل سبد کنار هم جمع شده‌اند پورتفولیو گفته می‌شود.



دفتر مدیریت پروژه و دفتر پروژه

دفتر مدیریت پروژه یک واحد سازمانی است که مسئولیت آن در یک طیف، حمایتی تا هدایتی می‌باشد. دفتر مدیریت پروژه با توجه به نوع، میزان کنترل و نفوذ آن متفاوت است. دفتر مدیریت پروژه در سه حالت زیر قرار دارد.

■ **حمایتی:** وظیفه دفتر مدیریت پروژه در این حالت یک نقش مشاوره‌ای است که این نقش را از طریق فراهم آوردن روش‌های اجرایی، مستندات، الگوها، آموزش و دروس آموخته سایر پروژه‌ها ایفا می‌کند. سطح کنترل دفتر مدیریت پروژه در این حالت بسیار کم است.

■ **کنترلی:** وظیفه دفتر مدیریت پروژه در این حالت بررسی تطابق اجرا با روش‌های اجرایی، متدلوژی‌ها، الگوها و فرم‌ها است. سطح کنترل دفتر مدیریت پروژه در این حالت متوسط است.

■ **هدایتی:** در این حالت دفتر مدیریت پروژه کنترل همه پروژه‌ها را از طریق مدیریت آنها برعهده دارد. در این حالت سطح کنترل دفتر مدیریت پروژه بالا است.

اقدامات اساسی که توسط دفتر مدیریت پروژه انجام می‌شود به شرح زیر می‌باشد:

- مدیریت منابع مشترک میان پروژه‌های مربوط به دفتر مدیریت پروژه
- شناسایی و تدوین متدلوژی مدیریت پروژه، راهکارهای برتر و استانداردها
- هدایت، مربی‌گری و نظارت

■ پایش انطباق با استانداردهای مدیریت پروژه، خط مشی‌ها و روش‌های اجرایی به وسیله پایش‌های دوره‌ای پروژه. دفتر مدیریت پروژه یک نقش دائمی است و لازم به ذکر است که دفتر پروژه یا طرح اغلب بخشی از سازمان یک پروژه بزرگ جهت حمایت از تیم مدیریت پروژه یا طرح است.

شایستگی‌های مدیر پروژه

- شایستگی‌های مدیر پروژه در سه حوزه زیر دسته‌بندی می‌شود:
- دانش: آنچه که مدیر پروژه در خصوص دانش مدیریت پروژه می‌داند.
- عملکرد: عملکرد به بکارگیری دانش توسط مدیر پروژه بر می‌گردد.
- شخصی: شایستگی‌های شخصی اشاره به شایستگی‌هایی دارد که مدیر پروژه در زمان مدیریت پروژه به آن صورت رفتار می‌کند. مانند رهبری، تیم‌سازی، ایجاد انگیزه، ارتباطات، مذاکره، مدیریت تعارض و ...

ساختارهای سازمانی

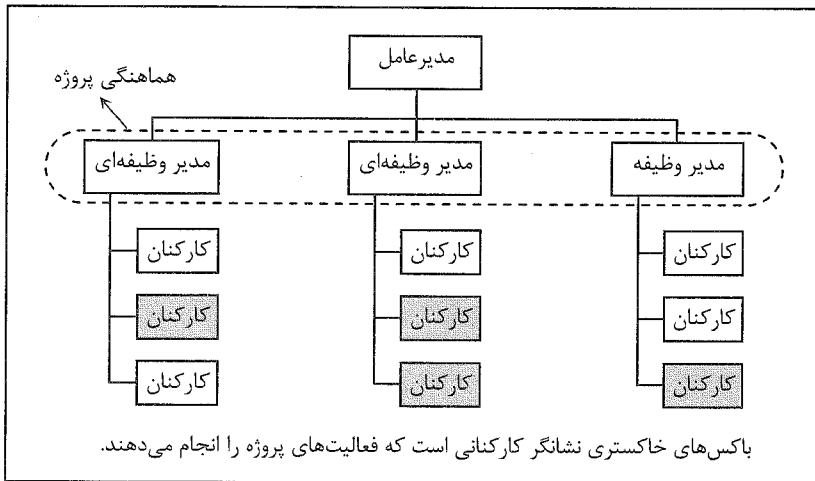
ساختار سازمانی می‌تواند در یک طیف از وظیفه‌ای تا پروژه‌ای متفاوت باشد. به صورت کلی ساختارهای سازمانی یا وظیفه‌ای هستند یا ماتریسی یا پروژه‌ای. ساختارهای ماتریسی خود به سه دسته ضعیف، متعادل و قوی تقسیم می‌شوند.

ویژگی‌های هریک از ساختارها در جدول زیر به صورت خلاصه آمده است:

پروژه‌ای	ماتریسی قوی	ماتریسی متعادل	ماتریسی ضعیف	وظیفه‌ای	
زیاد تا کامل	متوسط تا زیاد	کم تا متوسط	کم	هیچ و یا خیلی کم	اختیار مدیر پروژه
زیاد تا کامل	متوسط تا زیاد	کم تا متوسط	کم	هیچ و یا خیلی کم	دسترسی به منابع
مدیر پروژه	مدیر پروژه	مشترک	مدیر وظیفه‌ای	مدیر وظیفه‌ای	چه کسی بودجه پروژه را مدیریت می‌کند
تمام وقت	تمام وقت	تمام وقت	پاره وقت	پاره وقت	نقش مدیر پروژه
تمام وقت	تمام وقت	پاره وقت	پاره وقت	پاره وقت	کارکنان اداری مدیریت پروژه



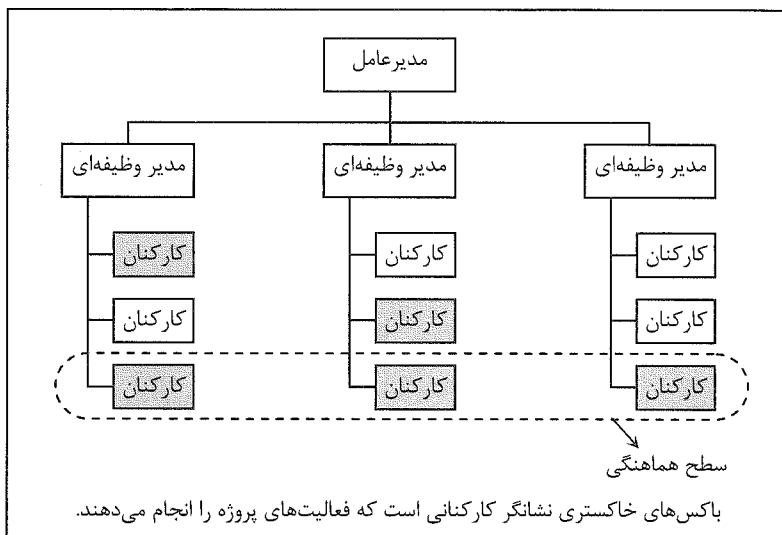
در ساختار وظیفه‌ای، هر نفر دارای یک مدیر است و افراد بر اساس تخصص خودشان دسته‌بندی می‌شوند مثل بازاریابی، مهندسی، حسابداری و ... هر دپارتمان کار خود را مستقل از کارهای دیگران انجام می‌دهد.



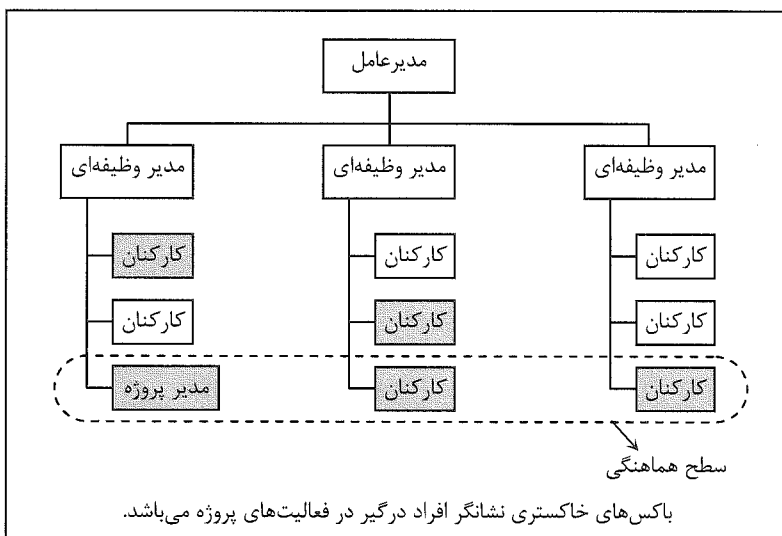
ساختار وظیفه‌ای

ساختارهای ماتریسی

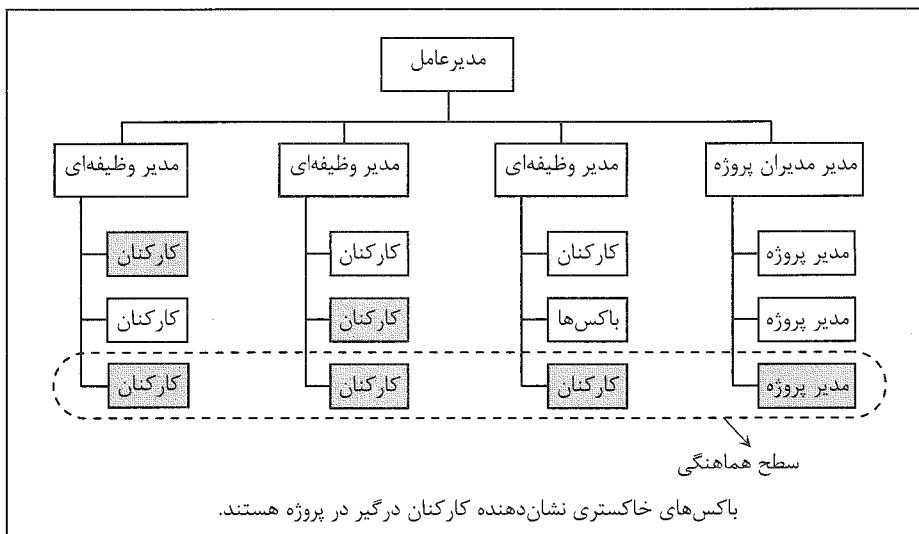
ساختارهای ماتریسی منعکس‌کننده ویژگی‌های ساختار وظیفه‌ای و پروژه‌ای است. ساختار ماتریسی ضعیف بیشتر ویژگی‌های ساختار وظیفه‌ای را دارا می‌باشد و ساختار ماتریسی قوی ویژگی‌های ساختار پروژه‌ای را دارد. نقش مدیر پروژه در ساختار ماتریسی ضعیف بیشتر یک هماهنگ‌کننده است تا مدیر پروژه.



ساختار ماتریسی ضعیف

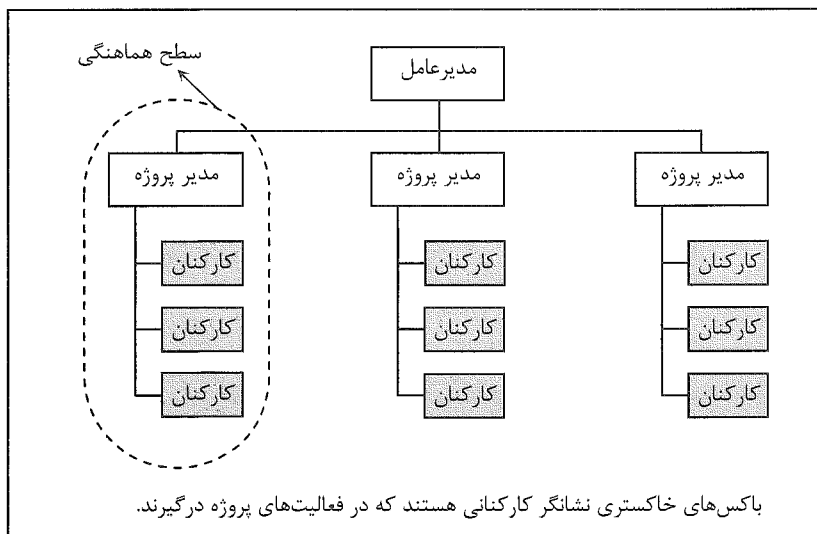


ساختار ماتریسی متعادل



سازمان ماتریسی قوی

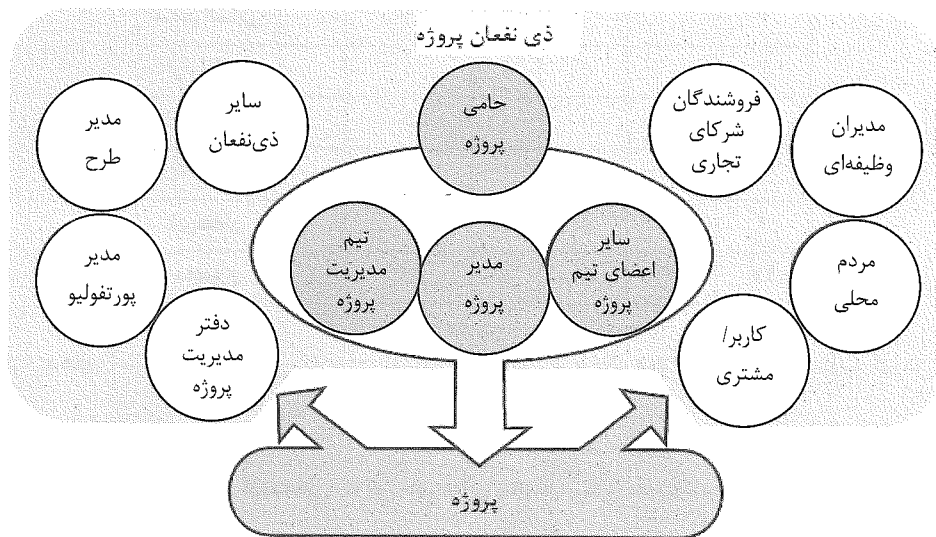
در مقابل سازمان‌های وظیفه‌ای، سازمان‌های پروژه‌ای قرار دارند. در سازمان‌های پروژه‌ای اغلب تیم پروژه در یک محل قرار دارند و منابع تقریباً به طور کامل در دسترس مدیر پروژه است.



سازمان پروژه‌ای

ذی‌نفعان پروژه

ذی‌نفعان پروژه افراد حقیقی و یا حقوقی هستند که بر پروژه اثر می‌گذارند و یا از پروژه تأثیر می‌پذیرند و یا خود تصور می‌کنند که از پروژه تأثیر می‌پذیرند. این افراد می‌توانند داخل پروژه و یا خارج از آن باشند. همچنین رویکرد آنها نسبت به پروژه می‌تواند مثبت، خنثی و یا منفی باشد. نمونه‌ای از ذی‌نفعان در شکل زیر نمایش داده می‌شود:



گروه‌های فرایندی

استاندارد PMBOK، ۴۷ فرایند مدیریت پروژه را در ۱۰ حوزه دانش و ۵ گروه فرایندی دسته‌بندی می‌نماید.

۵ گروه فرایندی عبارتند از: فرایندهای آغازین، فرایندهای برنامه‌ریزی، فرایندهای اجرا، فرایندهای کنترل و فرایندهای اختتام. شکست این ۴۷ فرایند در ۱۰ حوزه دانش و ۵ گروه فرایندی در جدول زیر آمده است.



	آغاز	برنامه‌ریزی	اجرا	کنترل	اختتام	مجموع
یکپارچگی	۱	۱	۱	۲	۱	۶
محدوده		۴		۲		۶
زمان		۶		۱		۷
هزینه		۳		۱		۴
کیفیت		۱	۱	۱		۳
منابع انسانی		۱	۳			۴
ارتباطات		۱	۱	۱		۳
ریسک		۵		۱		۶
تدارکات		۱	۱	۱	۱	۴
ذی‌نفعان	۱	۱	۱	۱		۴
مجموع	۲	۲۴	۸	۱۱	۲	۴۷

- فرایندهای آغازین: فرایندهایی که برای تعریف یک پروژه و یا یک فاز از پروژه و مصوب کردن آن انجام می‌شود.
- فرایندهای برنامه‌ریزی: فرایندهایی که در حوزه‌های مختلف زمان، هزینه، محدوده، کیفیت، ریسک و... اقدام به برنامه‌ریزی پروژه می‌کنند.
- فرایندهای اجرا: فرایندهایی که مرتبط با اجرای برنامه‌های پروژه به منظور تحویل اقلام تحویلی می‌باشد.
- فرایندهای پایش و کنترل: فرایندهایی که برای ردیابی، پایش و کنترل فرایندها و عملکرد پروژه به کار می‌رود.
- فرایندهای اختتام: فرایندهایی که برای نهایی‌سازی تمام فعالیت‌های پروژه به کار می‌رود.

حوزه‌های دانش مدیریت پروژه

فرایندهای مدیریت پروژه از بعد دیگر به ۱۰ حوزه دانش تقسیم‌بندی می‌شود:

مدیریت یکپارچگی	ایجاد یکپارچگی میان تمامی حوزه‌های دانش
مدیریت محدوده	چه کاری انجام شود/ چه کاری انجام نشود
مدیریت زمان	تکمیل به موقع
مدیریت هزینه	تکمیل در بودجه تدوین شده
مدیریت کیفیت	رعایت استانداردها
مدیریت منابع انسانی	تیم پروژه
مدیریت ارتباطات	اطلاعات پروژه
مدیریت ریسک	عدم قطعیت‌های پروژه
مدیریت تدارکات	پیمانکاران خارج از سازمان
مدیریت ذی نفعان	ذی نفعان پروژه

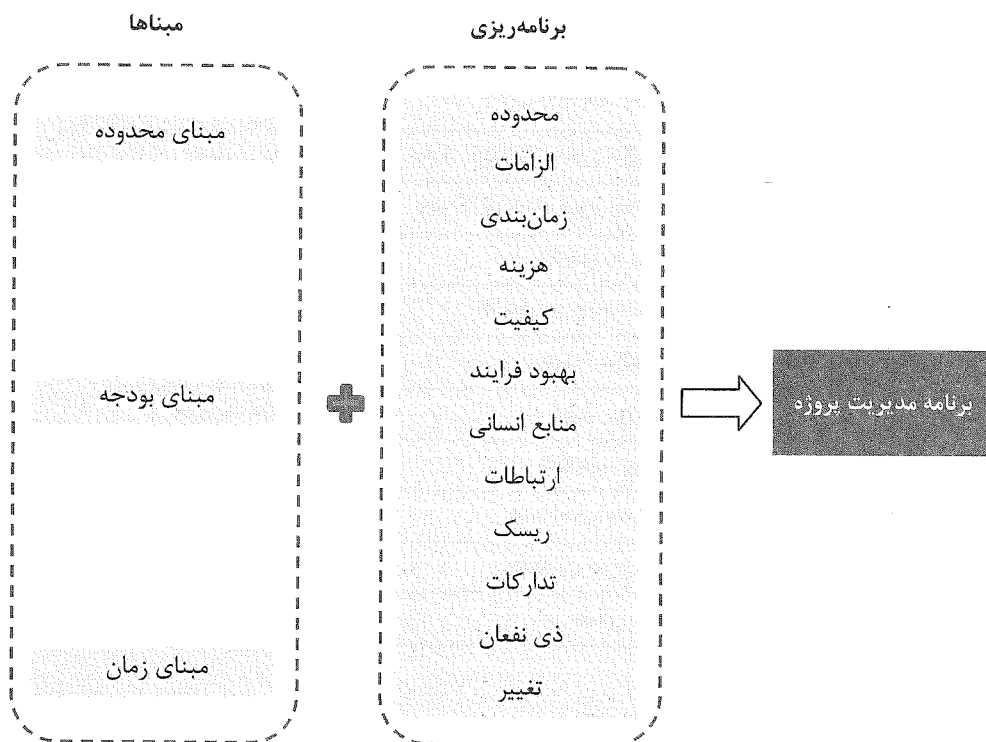
فرایندهای مدیریت پروژه

در این بخش تک تک فرایندهای مدیریت پروژه به تفکیک در هر حوزه دانشی به طور خلاصه شرح داده می‌شود.

مدیریت یکپارچگی پروژه

فرایندهای این حوزه عبارتند از:

۱. تدوین منشور پروژه: منشور پروژه سندی است که توسط حامی پروژه انتشار یافته و به طور رسمی موجودیت پروژه را تصویب و اختیار به کارگیری منابع سازمانی را در جهت انجام فعالیت‌های پروژه، به مدیر پروژه واگذار می‌کند.
۲. تدوین برنامه مدیریت پروژه: برنامه مدیریت پروژه مستندی است که چگونگی اجرا، پایش و کنترل و اختتام پروژه را تشریح می‌کند.



۳. هدایت و مدیریت کارهای پروژه: انجام کارهای تدوین شده در برنامه مدیریت پروژه با هدف دستیابی به اقلام تحویلی پروژه.

۴. پایش و کنترل کارهای پروژه: اگرچه تمامی حوزه های دانش برای خود، فرایندهای کنترلی دارند ولیکن در برخی موارد نیاز است که با تحلیل یکپارچه پروژه برخی از اقدامات صورت پذیرد.

۵. انجام کنترل یکپارچه تغییرات

قدم‌های کنترل یکپارچه تغییرات به شرح زیر است:



۶. اختتام پروژه

اختتام پروژه شامل مراحل زیر است:

- اختتام رسمی پروژه
- تحویل اقلام تحویلی
- اخذ پذیرش رسمی کار
- ارزیابی موفقیت و یا شکست پروژه
- آزادسازی نیروهای پروژه

مدیریت محدوده پروژه

فرایندهای این حوزه عبارتند از:

۱. برنامه مدیریت محدوده

برنامه‌های مدیریت محدوده تعیین می‌کند که فرایندهای مدیریت محدوده را چه کسی، چه زمانی، چگونه، با چه تیمی و با چه بودجه‌ای انجام می‌دهد.

۲. جمع‌آوری الزامات

• فرایند شناسایی نیازهای ذی نفعان به منظور برآورده‌سازی اهداف پروژه

• شناسایی نیازها، خواسته‌ها و انتظارات ذی‌نفعان (الزامات مربوط به محصول، الزامات مربوط به مدیریت پروژه)

• دسته‌بندی و اولویت‌بندی الزامات

• بررسی و در نتیجه پذیرش و یا رد الزامات

۳. تعریف محدوده: تدوین شرح تفصیلی محدوده پروژه (بیانیه محدوده پروژه، *project scope statement*) -

تهیه مشخصات پروژه اعم از فنی و غیر فنی

۴. تدوین *WBS*: ساختار شکست کار، شکست سلسله مراتبی پروژه به اجزای ریزتر می‌باشد که قدرت

مدیریت روی آنها نیز بیشتر می‌باشد. (قابل مدیریت‌تر)

 **نکته.** سطح اول ساختار شکست کار، نام پروژه است.

 **نکته.** آخرین سطح ساختار شکست کار، بسته کاری نامیده می‌شود.

 **نکته.** ساختار شکست کار نشان‌دهنده منابع، زمان و توالی نیست. نشان‌دهنده محدوده پروژه است.

 **نکته.** هر عنصر ساختار شکست کار، بایستی یک کد شناسایی‌کننده داشته باشند.

اهداف اصلی نمودار *WBS*:

۱. نمایش محدوده و مرزهای پروژه

۲. عبارتی دیگر هدف نمودار *WBS* تعریف محدوده کار پروژه در قالب تحویل شدنی‌ها و شکست بیشتر

این تحویل شدنی‌ها به اجزای سازنده آنها می‌باشد.

مزایای استفاده از نمودار *WBS*:

۱. جلوگیری از فراموش شدن برخی اقلام تحویلی و فعالیت‌ها در زمان شناسایی فعالیت‌ها

۲. اقلام اصلی و میانی قابل تحویل پروژه مشخص شده و فعالیت‌ها در راستای تحویل این اقلام تعریف

می‌شود.

۳. محدوده پروژه مشخص می‌شود.

معیارهای اصلی برای شکستن یک باکس WBS به اجزای کوچک‌تر:

تعداد سطوح WBS محدودیت خاصی ندارد و به مواردی مانند حجم پروژه، مشخصات اجزای پروژه، وسعت ناحیه یا منطقه مورد استفاده پروژه، نوع و سطح برنامه‌ریزی و کنترل (بسته به اینکه برای کارفرما، مشاور یا پیمانکار مدنظر باشد)، تنوع تخصص‌های مورد نیاز و... بستگی دارد. تعداد سطوح ایجاد شده در هر شاخه از نمودار WBS، لزوماً با تعداد سطوح شاخه دیگر یکسان نخواهد بود.

■ شکسته شدن کار با توجه به ماهیت آن

■ اقتصادی بودن و سهولت مدیریت، برنامه‌ریزی و کنترل

■ نیاز به شکست با توجه به سطح گزارش‌دهی مورد نیاز کارفرما یا پیمانکار

دیکشنری WBS:

پس از آنکه WBS پروژه طراحی و تهیه شد لازم است جزئیات هر یک از باکس‌های WBS یا بسته‌های کاری مشخص گردد.

دیکشنری WBS توصیف بیشتری از تک تک اجزای WBS ارائه می‌دهد که شامل و نه محدود به

موارد زیر است:

■ کدشناسایی

■ توصیف کار

■ سازمان مسئول

■ لیست مایلستون‌ها

■ لیست فعالیت‌های مرتبط

■ منابع مورد نیاز

■ تخمین هزینه

■ الزامات کیفیت

■ معیارهای پذیرش



۵. صحت‌گذاری محدوده: بررسی هر قلم تحویلی به صورت مجزا توسط کارفرما و اخذ پذیرش رسمی مکتوب از کارفرما

۶. کنترل محدوده: پایش محدوده پروژه و مدیریت تغییرات در حوزه محدوده واریانس از محدوده به دو معنا است:

- انجام آن کاری که در محدوده نیست.
- انجام ندادن کاری که در محدوده هست.

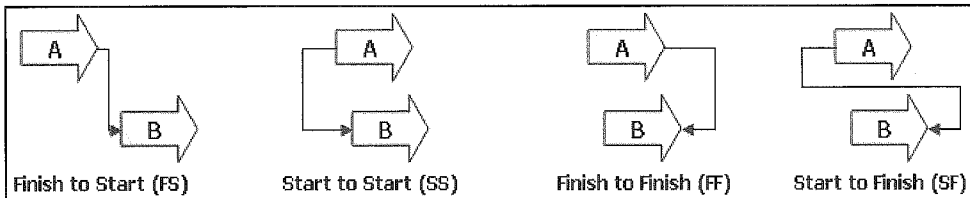
مدیریت زمان پروژه

فرآیندهای این حوزه عبارتند از:

۱. برنامه مدیریت زمان: برنامه‌های مدیریت زمان تعیین می‌کند که فرآیندهای مدیریت زمان را چه کسی، چه زمانی، چگونه، با چه تیمی و با چه بودجه‌ای انجام می‌دهد.

۲. تعریف فعالیت‌ها

۳. تعیین توالی فعالیت‌ها



۴. تخمین منابع فعالیت‌ها: تخمین منابع مورد نیاز از قبیل نیروی انسانی، مواد و تجهیزات

۵. تخمین مدت زمان فعالیت‌ها: تخمین مدت زمان مورد نیاز برای تکمیل هر فعالیت با توجه به تخمین منابع

۶. تدوین برنامه زمان‌بندی

۷. کنترل برنامه زمان‌بندی

مدیریت هزینه پروژه

فرآیندهای این حوزه عبارتند از:

۱. برنامه مدیریت هزینه: برنامه مدیریت هزینه تعیین می‌کند که فرآیندهای مدیریت هزینه را چه کسی، چگونه، چه زمانی، با چه تیمی و با چه بودجه‌ای انجام می‌دهد.
۲. تخمین هزینه: تخمین ارزش مالی منابع مورد نیاز برای انجام فعالیت‌ها
۳. تدوین بودجه: تعیین مبنای بودجه بر اساس تخمین هزینه و برنامه زمان‌بندی
۴. کنترل بودجه

مدیریت کیفیت پروژه

فرآیندهای این حوزه عبارتند از:

۱. برنامه مدیریت کیفیت: تعیین روش‌های اجرایی، دستورالعمل‌ها و استانداردهای پروژه
۲. تضمین کیفیت: فرایند ممیزی الزامات کیفیت و فرایندها برای حصول اطمینان از تطابق با روش‌های اجرایی و دستورالعمل‌ها
۳. کنترل کیفیت: فرایند نظارت و ثبت نتایج اجرای فعالیت‌های کیفیت برای ارزیابی عملکرد و پیشنهاد تغییرات مورد نیاز

مدیریت منابع انسانی پروژه

فرآیندهای این حوزه عبارتند از:

۱. برنامه مدیریت منابع انسانی پروژه:
 - تهیه ساختار سازمانی
 - تعیین نقش‌ها، اختیارات و مسئولیت‌ها
 - تهیه روش جذب، حفظ، پاداش، توسعه و ترک کار کارکنان
۲. جذب تیم پروژه: حصول اطمینان از دسترس بودن تیم پروژه برای انجام فعالیت‌ها می‌باشد.



۳. توسعه تیم پروژه: توسعه تیم پروژه فرایند بهبود شایستگی، تعاملات میان افراد و فضای کار بمنظور ارتقا عملکرد پروژه است.

۴. مدیریت تیم پروژه: فرایند بررسی عملکرد اعضای تیم پروژه، ارائه بازخورد به ایشان، حل معضلات و اعمال تغییرات به منظور بهبود عملکرد اعضای تیم پروژه می‌باشد.

مدیریت ارتباطات پروژه

فرآیندهای این حوزه عبارتند از:

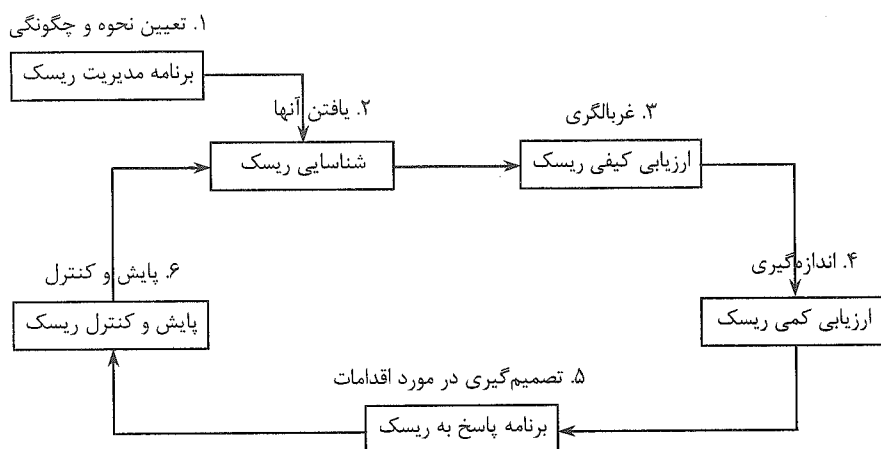
۱. برنامه مدیریت ارتباطات پروژه: سندی است که مشخص می‌کند چه کسی، چه چیزی را، چه وقت، از طرف چه کسی دریافت می‌کند و می‌تواند ابزار مفیدی جهت حصول اطمینان از ارتباطات موثر باشد.
۲. مدیریت ارتباطات: اجرای برنامه مدیریت ارتباطات بدین معنا که این فرایند مشتمل بر ایجاد، جمع‌آوری، توزیع، ذخیره‌سازی، بازیابی و در نهایت انهدام اطلاعات پروژه می‌باشد.
۳. کنترل ارتباطات: فرایند پایش و کنترل ارتباطات به منظور حصول اطمینان از آنکه نیازهای اطلاعات ذی‌نفعان برآورده شده و پیشنهاد اقدام اصلاحی به منظور بهبود اثربخشی و کارایی ارتباطات ارائه گردیده باشد.

مدیریت ریسک پروژه

فرآیندهای این حوزه عبارتند از:

۱. تدوین برنامه مدیریت ریسک پروژه
۲. شناسایی ریسک
۳. ارزیابی کیفی ریسک
۴. ارزیابی کمی ریسک
۵. برنامه پاسخ به ریسک
۶. کنترل ریسک

به صورت خلاصه فرآیندها و نحوه ارتباط آنها در حوزه مدیریت ریسک به شرح شکل زیر است:



مدیریت تدارکات پروژه

فرآیندهای این حوزه عبارتند از:

۱. تدوین برنامه مدیریت تدارکات پروژه

• تهیه لیست خرید یا تدارکات

• تهیه اسناد خرید/تدارکات

• تعیین فروشندگان بالقوه و نوع قرارداد

۲. انجام تدارکات: فرایند اخذ پاسخ فروشندگان، بررسی اسناد، انتخاب فروشنده و عقد قرارداد می‌باشد.

۳. کنترل تدارکات: فرایند مدیریت ارتباطات میان پیمانکار و کارفرما، پایش عملکرد قرارداد و انجام

تغییرات ضروری در قرارداد پیمانکاران می‌باشد.

۴. اختتام قراردادهای فرعی: به فرایند تکمیل هریک از قراردادهای فرعی گفته می‌شود که باید قبل از

اختتام کل پروژه صورت پذیرد.



مدیریت ذی‌نفعان پروژه

فرآیندهای این حوزه عبارتند از:

۱. شناسایی ذی‌نفعان: شناسایی ذی‌نفعان و تعیین قدرت و تاثیر آنها
۲. برنامه مدیریت ذی‌نفعان: تعیین برنامه برخورد با ذی‌نفعان
۳. مدیریت مشارکت ذی‌نفعان: فرایند برقراری ارتباط و کار کردن با ذی‌نفعان به منظور برآورده‌سازی نیازها و انتظارات ذی‌نفعان و ارتقا مناسب مشارکت ذی‌نفعان در پروژه
۴. کنترل مشارکت ذی‌نفعان: فرایند پایش ارتباطات ذی‌نفعان پروژه و تنظیم استراتژی‌ها و برنامه‌ها به منظور جذب مشارکت ذی‌نفعان

نمودارهای گانت

اولین ملاحظات علمی برای دستیابی به روش‌های برنامه‌ریزی در اوایل قرن بیستم توسط هنری گانت و فردریک تیلور به عمل آمده است. این دو دانشمند برای برنامه‌ریزی پروژه‌ها از یک نمودار که محور افقی آن نشان‌دهنده عامل زمان (تاریخ‌ها) و محور عمودی آن نشانگر فعالیت‌های لازم در اجرای پروژه بود استفاده نمودند. این نمودارها که بعداً به نمودارهای گانت و نمودارهای میله‌ای مشهور شدند از ساده‌ترین نمودارها برای نشان دادن زمان‌های آغاز و پایان فعالیت‌ها بوده و هنوز در بسیاری از سازمان‌ها به عنوان تنها روش برنامه‌ریزی مورد استفاده قرار می‌گیرند.

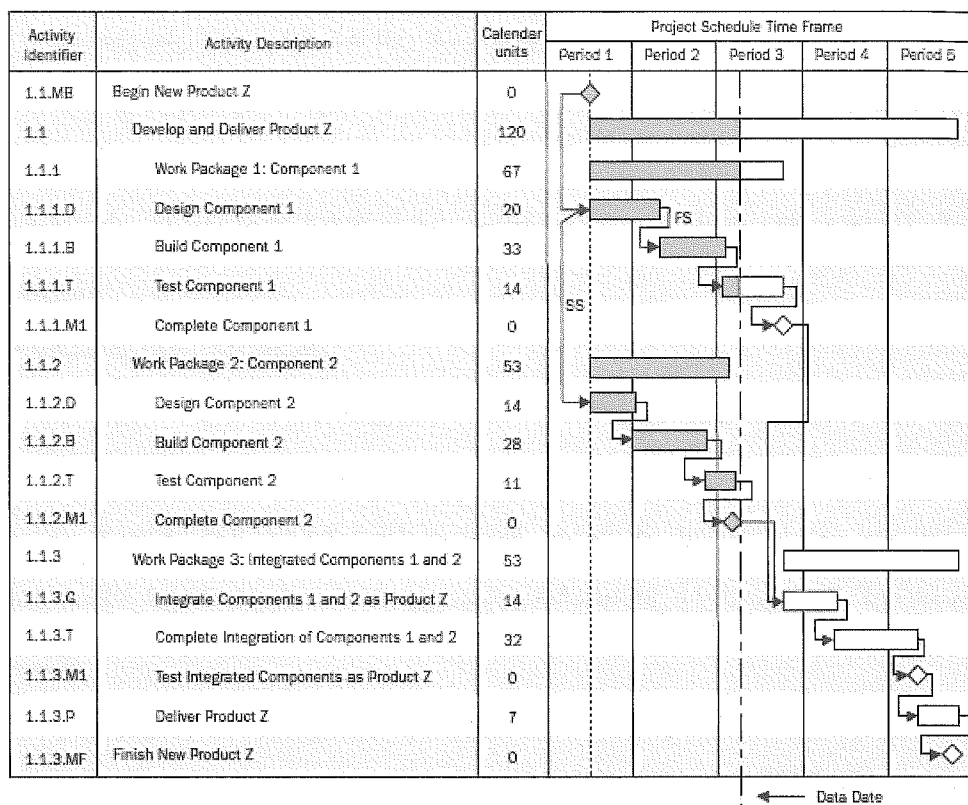
در نمودارهای گانت ارتباط بین تاریخ‌های اجرای فعالیت‌های پروژه و ترتیب تقدم و تأخر بین آنها

به خوبی مشهود نیست.

Activity Identifier	Activity Description	Calendar units	Project Schedule Time Frame				
			Period 1	Period 2	Period 3	Period 4	Period 5
1.1	Develop and Deliver New Product Z	120					
1.1.1	Work Package 1: Component 1	67					
1.1.2	Work Package 2: Component 2	53					
1.1.3	Work Package 3: Integrated Components 1 and 2	53					

گانت چارت

برای رفع نارسایی مربوط به عدم امکان تشخیص زمان فعالیت‌ها در نمودارهای شبکه می‌توان آنها را با مقیاس زمان رسم نمود. چنین نمودارهایی در حقیقت تلفیقی از نمودارهای گانت و شبکه هستند و مزایای هر دو را دارند. در شکل زیر پروژه مورد مثال به صورت نمودار شبکه با مقیاس زمان ترسیم گردیده است.



نمودار شبکه با مقیاس زمان

PERT، CPM و یا GERT؟

با توجه به اجرای فعالیت‌ها در یک پروژه آنها را به دو گروه تقسیم می‌کنند: فعالیت‌های معین، فعالیت‌های احتمالی.

■ فعالیت‌های معین

در یک پروژه تعدادی از فعالیت‌ها هستند که در زمان برنامه‌ریزی مشخص است که به طور قطعی و مسلم این فعالیت‌ها انجام خواهند شد.



■ فعالیتهای احتمالی

در مقابل فعالیتهای معین در یک شبکه ممکن است کارهایی وجود داشته باشند که با وجود اینکه احتمال انجام آنها وجود دارد ولی این احتمال صد در صد نیست.

از نظر طول زمان اجرا نیز فعالیتهای قابل تقسیم به دو گروه می‌باشند: فعالیتهای دارای زمان معین، فعالیتهای دارای زمان احتمالی

■ فعالیتهای دارای زمان معین

فعالیهایی که زمان اجرای آنها تقریباً ثابت و مشخص بوده و یا دارای نوسانات و تغییرات کمی می‌باشد.

■ فعالیتهای دارای زمان احتمالی

در یک پروژه ممکن است فعالیتهایی وجود داشته باشند که زمان اجرای آنها ثابت نبوده و حتی در موارد بسیاری زمان اجرای آنها نسبت به حد متوسط کاهش یا افزایش زیادی را نشان دهد.

پس از تعاریفی که از انواع فعالیتهای از نظر احتمال اجرا و از نظر ثابت بودن یا متغیر بودن زمان به عمل آمد ذکر این نکته لازم است که در موارد بسیاری فعالیتهای قابل قرار گرفتن در یک گروه بخصوص نیستند.

برای پروژه‌هایی فاقد فعالیتهای و زمان‌های احتمالی، کاربرد روش *CPM* بیشتر است.

برای پروژه‌هایی فاقد فعالیتهای احتمالی ولی دارای زمان‌های احتمالی، روش *PERT* مناسب‌تر است.

برای پروژه‌هایی دارای فعالیتهای احتمالی، کاربرد روش *GERT* بیشتر است.

نوع فعالیت		از نظر اجرا	
		معین	احتمالی
از نظر زمان	معین	<i>CPM</i>	<i>GERT</i>
	احتمالی	<i>PERT</i>	



سوال



۱. کدامیک از ویژگی‌های زیر مربوط به پروژه نمی‌باشد؟

- (۱) دارای محدودیت منابع
- (۲) نیاز به برنامه‌ریزی، اجرا و کنترل
- (۳) ایجاد یک خدمت و یا نتیجه منحصر به فرد
- (۴) مستمر و تکراری

۲. شما در حال مدیریت ارائه یک داروی جدید در بازار هستید. نقش شما:

- (۱) مدیر وظیفه‌ای است زیرا شما دانش بسیار خوبی در خصوص صنعت داروسازی دارید.
- (۲) مدیر پروژه است زیرا شما یک محصول جدید با یک زمان‌بندی مشخص ارائه می‌دهد.
- (۳) مدیر عملیات، زیرا شما بایستی کارهای تکراری انجام دهید.
- (۴) مدیر طرح، زیرا شما پروژه‌های متعددی را به منظور انجام اثر بخش کار خود در حال انجام هستید.

۳. تمامی موارد زیر از ویژگی‌های پروژه است به غیر از:

- (۱) موقت
- (۲) دارای آغاز و پایان مشخص
- (۳) فعالیت‌های به هم مرتبط
- (۴) قابل تکرار

۴. کارهای عملیاتی از کارهای پروژه از این منظر متفاوت است که کارهای عملیاتی

- (۱) منحصر به فرد هستند.
- (۲) موقت هستند.
- (۳) مستمر و تکراری هستند.
- (۴) بخشی از فعالیت‌های یک پروژه هستند.

۵. نگهداری مستمر از محصولات یک پروژه، بسیار ضروری است. عملیات نگهداری بایستی

- (۱) به عنوان یکی از فعالیت‌های فاز اختتام پروژه در نظر گرفته شود.
- (۲) در چرخه عمر پروژه به عنوان یک فاز مجزا در نظر گرفته می‌شود زیرا هزینه زیادی را شامل می‌شود.
- (۳) به عنوان یک پروژه نبایستی لحاظ گردد زیرا پروژه آغاز و پایان مشخصی دارد.
- (۴) به عنوان یک پروژه مجزا بایستی در نظر گرفته شود.



۶. طرح چیست؟

- (۱) اقداماتی است که توسط مدیریت انجام می‌شود.
- (۲) وسیله برای کسب منافع و کنترل پروژه‌های به هم مرتبط است.
- (۳) مجموعه از پروژه‌های به هم نا مرتبط است که به صورت یکپارچه مدیریت می‌گردد.
- (۴) یک پروژه بسیار بزرگ از ابعاد مالی و حجم انجام کار است.
۷. کدامیک از موارد زیر به عنوان یک فعالیت سازمانی مستمر در نظر گرفته می‌شود؟
- (۱) زیر پروژه (۲) پروژه (۳) طرح (۴) پورتفولیو
۸. در کدام گزینه‌های زیر هر دو سازمان دارای خصوصیت منحصر به فرد و موقتی است؟
- (۱) سازمان دائمی و سازمان پروژه (۲) سازمان پروژه و سازمان طرح
- (۳) سازمان پروژه و سازمان سبد پروژه (۴) سازمان طرح و سازمان سبد پروژه

۹. کدامیک از موارد زیر عرفاً در قالب یک پروژه انجام نمی‌گیرد؟

- (۱) تولید یک مجموعه هزارتایی لاستیک اتومبیل
- (۲) طراحی یک سفینه فضایی با سطحی به مساحت ۳۰۰ متر مربع
- (۳) نوسازی یک مجتمع آپارتمانی با ۱۰۰۰ اتاق
- (۴) توسعه یک نرم افزار کاربردی جدید با ۱۰,۰۰۰ خط کد

۱۰. بهترین تعریف برای طرح کدام است؟

- (۱) یک مجموعه از پروژه‌های مرتبط
- (۲) هر ترکیبی از کار وظیفه‌ای و فعالیت‌های پروژه‌ای با یک مدیر مشترک
- (۳) یک گروه از پروژه‌ها که مستقلاً مدیریت شده و محصولات مشابهی تولید می‌کنند
- (۴) یک گروه از پروژه‌هایی که در حمایت از اهداف سازمانی هماهنگ گردیده است

۱۱. خط مشی‌ها، متدلوژی‌ها، و الگوها برای مدیریت پروژه توسط فراهم می‌شود.

- (۱) حامی پروژه (۲) واحد وظیفه‌ای (۳) دفتر مدیریت پروژه (۴) مدیر پروژه

۱۲. یکی از اعضای تیم ادعا می‌کند که نمی‌داند از میان پروژه‌هایی که بر روی آن کار می‌کند کدام اولویت دارد. چه کسی بایستی اولویت پروژه را تعیین کند؟

- (۱) مدیر پروژه (۲) تیم مدیریت پروژه (۳) دفتر مدیریت پروژه (۴) تیم پروژه

۱۳. در کدام نوع سازمان افراد در فاز اختتام حداقل استرس را دارند؟

- (۱) سازمان پروژه‌ای (۲) ماتریسی ضعیف (۳) ماتریسی قوی (۴) وظیفه‌ای

۱۴. کدامیک از موارد زیر، جز مدیریت یکپارچگی نمی‌باشد؟

- (۱) در فاز اختتام پروژه محصول نهایی تحویل مشتری خود می‌گردد.
(۲) تغییر در محدوده پروژه منجر به تغییر در برنامه زمان‌بندی و هزینه می‌شود.
(۳) ارزیابی کیفی ریسک بر اساس ریسک‌های شناسایی شده و احتمال و پیامد آنها
(۴) تصویب پروژه و تعیین رسمی مدیر پروژه

۱۵. آنچه منجر به آن می‌شود که فعالیت پس نیاز با تعجیل انجام گردد؟

- (۱) زمان *Lead* (۲) زمان *Lag* (۳) زمان *Lag* منفی (۴) گزینه الف و سوم

۱۶. در کدامیک از ساختارها به پروژه‌ها کمترین توجه می‌شود؟

- (۱) وظیفه‌ای (۲) ماتریسی (۳) هماهنگ‌کننده (۴) پروژه‌ای

۱۷. در ساختار پروژه‌ای، تیم پروژه

- (۱) به مدیران زیادی گزارش می‌دهد. (۲) هیچ وفاداری نسبت به پروژه ندارد.
(۳) به مدیر وظیفه‌ای گزارش می‌دهد. (۴) هیچ خانه‌ای ندارد.

۱۸. در پروژه افراد از این موضوع شکایت دارند که آدم‌های مختلف از آنها انتظار کارهای متفاوت دارند.

در این حالت چه ساختاری وجود دارد؟

- (۱) وظیفه‌ای (۲) پروژه‌ای (۳) ماتریسی (۴) هماهنگ‌کننده

۱۹. چه کسی بیشترین قدرت را در سازمان پروژه‌ای دارد؟

- (۱) مدیر پروژه (۲) مدیر وظیفه‌ای
(۳) تیم (۴) همه افراد قدرت را شریک هستند



۲۰. تاییدیه رسمی آنکه پروژه تمامی الزامات مشتری را برآورده‌سازی می‌کند در کدام فرایند بدست می‌آید؟

- (۱) تضمین کیفیت (۲) صحه‌گذاری محدوده (۳) اختتام پروژه (۴) گزارش عملکرد

۲۱. کدامیک از موارد زیر از طریق WBS قابل پیگیری است؟

- (۱) زمان (۲) هزینه (۳) عملکرد (۴) محدوده

۲۲. مستند اولیه که وجود پروژه را نشان می‌دهد کدام است؟

- (۱) ساختار شکست کار (۲) برنامه مدیریت پروژه
(۳) منشور پروژه (۴) گزارش کنترل پیکره‌بندی

۲۳. تسطیح منابع بر روی پروژه اثر می‌گذارد با احتمالاً

- (۱) کوتاه کردن زمان آن
(۲) طولانی کردن زمان آن
(۳) برآورده‌سازی نیاز مشتری
(۴) زمان کوتاه‌تر ولی پرهزینه‌تر نسبت به قبل از تسطیح منابع

۲۴. هدف از فعالیت‌های موهومی در شبکه‌های AOA

- (۱) شناسایی فعالیتی که با فعالیت دیگر می‌تواند جایگزین گردد
(۲) نشان‌دهنده وابستگی میان فعالیت‌ها
(۳) نشان‌دهنده فعالیتی که نیازی نیست
(۴) نشان‌دهنده مایلستون

۲۵. تمامی فعالیت‌های زیر در فاز آغازین انجام می‌شود به غیر از:

- (۱) تدوین بیانیه محدوده (۲) تعیین مدیر پروژه
(۳) شناسایی ذی‌نفعان کلیدی (۴) تعیین توجیه کسب و کار

۲۶. در کدامیک از گروه‌های فرایندی بودجه پروژه تدوین می‌گردد؟

- (۱) آغازین (۲) قبل از فعالیت‌های برنامه‌ریزی
(۳) برنامه‌ریزی (۴) اجرا

۲۷. منشور پروژه در کدام گروه فرایندی تدوین می‌گردد؟

- (۱) آغازین (۲) برنامه‌ریزی (۳) اجرا (۴) کنترل

۲۸. در کدام گروه فرایندی مدیر پروژه به پروژه منصوب می‌گردد؟

- (۱) آغازین (۲) برنامه‌ریزی (۳) اجرا (۴) کنترل

۲۹. ویژگی‌های فرایندهای مدیریت پروژه عبارتند از:

- (۱) تکراری (۲) منحصر به فرد (۳) غیر ضروری (۴) استاندارد شده

۳۰. بیشترین منابع و زمان پروژه در کدام گروه فرایندی صرف می‌گردد؟

- (۱) آغازین (۲) برنامه‌ریزی (۳) اجرا (۴) کنترل

۳۱. در کدام گروهی فرایندی آنالیز و تجزیه و تحلیل کار انجام شده صورت می‌گیرد؟

- (۱) آغازین (۲) برنامه‌ریزی (۳) اجرا (۴) کنترل

۳۲. ساختار شکست کار بهترین وسیله برای برقراری ارتباط بین می‌باشد.

- (۱) تیم (۲) مدیر پروژه (۳) مشتری (۴) تمامی ذی‌نفعان

۳۳. ساختار کدگذاری ساختار شکست کار منجر می‌شود به:

- (۱) تخمین سیستماتیک هزینه برای عناصر ساختار شکست کار

(۲) توجیه اقتصادی پروژه

(۳) تشخیص سطحی که یک عنصر شکست کار در آن قرار دارد

(۴) مورد استفاده در نرم افزار

۳۴. مدیر پروژه از استفاده می‌کند برای حصول اطمینان از اینکه اعضای تیم دقیقاً بدانند که هر

بسته کاری شامل چه مواردی است.

- (۱) بیانیه محدوده (۲) محدوده پروژه (۳) دیکشنری WBS (۴) برنامه زمان‌بندی



۳۵. تعیین کدامیک از موارد زیر در منشور پروژه الزامی نیست؟

- (۱) فهرست دقیق فعالیت‌های پروژه
(۲) اختیارات و مسئولیت‌های مدیر پروژه
(۳) بودجه و زمان تقریبی پروژه
(۴) ذی‌نفعان کلیدی پروژه

۳۶. اگر محدوده پروژه افزایش یابد در صورت ثابت بودن زمان کدام جمله صحیح‌تر است؟

- (۱) هزینه و کیفیت پروژه افزایش می‌یابد
(۲) هزینه پروژه افزایش و کیفیت آن کاهش می‌یابد
(۳) هزینه و کیفیت پروژه کاهش می‌یابد
(۴) هزینه پروژه کاهش و کیفیت آن افزایش می‌یابد

۳۷. کدام گزینه جزو اهداف اصلی تهیه نمودار WBS نیست؟

- (۱) شناسایی فعالیت‌ها پروژه
(۲) تعیین روابط وابستگی ما بین فعالیت‌ها
(۳) تعیین محدوده پروژه
(۴) گزینه ۱ و ۲

۳۸. کدامیک از موارد زیر جزو اقلام قابل تحویل به شمار می‌روند؟

- (۱) جمع‌آوری اطلاعات (۲) هدفمند کردن یارانه‌ها (۳) گزارشات (۴) ساختن برج

۳۹. برای شکستن یک باکس به اجزای کوچکتر در نمودار WBS کدام معیار مناسب است؟

- (۱) باید ماهیت کار اجازه داده و کنترل آن به سهولت انجام شده یا اقتصادی باشد.
(۲) باکس‌ها می‌تواند با توجه به سطح گزارش‌دهی ریز شوند.
(۳) باکس‌ها با توجه به نحوه برون سپاری ریز شوند.
(۴) همه موارد فوق

۴۰. اثر تغییر کدامیک از موارد زیر، باعث تغییرات برنامه در سطح وسیع‌تری خواهد شد؟

- (۱) محدوده (۲) زمان (۳) هزینه (۴) کیفیت

۴۱. کدامیک از موارد زیر از ویژگی‌های پروژه نیست؟

- (۱) هدف مشخص
(۲) بکارگیری منابع و مهارت‌های گوناگون
(۳) منحصر به فرد و تکراری
(۴) زمان شروع و پایان مشخص

۴۲. کدامیک از موارد زیر پروژه می‌باشد؟

- (۱) ارسال گزارشات هفتگی به کارفرما
- (۲) توسعه پل طبقاتی صدر
- (۳) آماده شدن برای کارهای روزانه دفتر کار
- (۴) فروش اسباب‌بازی در فروشگاه

۴۳. اعضای تیم پروژه همواره با این تهدید روبرو هستند که پروژه متوقف شود. در کدام ساختار سازمانی، این تهدید قوی‌تر است.

- (۱) وظیفه‌ای
- (۲) ماتریسی ضعیف
- (۳) ماتریسی قوی
- (۴) پروژه‌ای

۴۴. در این ساختار مدیر پروژه بالاترین سطح اختیارات و استقلال را در سازمان دارد.

- (۱) ماتریسی قوی
- (۲) ماتریسی ضعیف
- (۳) پروژه‌ای
- (۴) وظیفه‌ای

۴۵. نمودار گانت در نشان دادن کدامیک از موارد زیر سودمند است؟

- (۱) سطح تلاش هر فعالیت
- (۲) تاریخ شروع و پایان هر فعالیت و نیز مدت زمان مورد انتظار آن
- (۳) منابع در دسترس که برای انجام فعالیت‌ها تخصیص می‌یابد.
- (۴) روابط تقدم و تأخیر فعالیت‌ها

۴۶. کدامیک از موارد زیر در مورد مدت زمان وقایع مهم (Milestone) صحیح است؟

- (۱) کوتاه‌تر از مدت زمان طولانی‌ترین فعالیت است.
- (۲) مدت زمان ندارد.
- (۳) کوتاه‌تر از مدت زمان فعالیت‌هایی است که نشان می‌دهد.
- (۴) همواره ثابت است.

۴۷. کدام گزینه در مورد اقلام تحویل دادنی (deliverable) صحیح نیست؟

- (۱) اقلام تحویل دادنی باید در ابتدای پروژه، تعریف، توصیف و مورد توافق واقع شوند.
- (۲) اقلام تحویل دادنی می‌تواند محصول، خدمات و یا نتیجه باشد.
- (۳) زمانی که اقلام تحویل دادنی شناسایی شد، دیگر نیایستی تا انتهای پروژه تغییر یابد.
- (۴) فرآیند تحویل‌گیری اقلام تحویلی بایستی در ابتدای پروژه تعریف گردد.



۴۸. برخی از همکاران شما به شما می‌گویند که آنها پروژه را برنامه‌ریزی، اجرا و کنترل با استفاده از مایلستون‌های نهایی با مدت زمان ۱ الی ۴ هفته می‌نمایند. شما در این خصوص چگونه فکر می‌کنید؟

(۱) رویکرد بسیار خوبی است زیرا مایلستون می‌تواند برای محاسبات بازنگری میان فازهای پروژه مورد استفاده قرار گیرد.

(۲) رویکرد بسیار خوبی است زیرا زمان تیم صرف اندازه‌گیری پیشرفت پروژه نمی‌شود.

(۳) این رویکرد اشتباه است زیرا مایلستون، یک نقطه کلیدی با مدت زمان صفر برای نشان دادن یک دستاورد در پروژه است.

(۴) رویکرد خوبی است زیرا مایلستون یک زمان ثابت و یا یک زمان تحمیلی به پروژه را نشان می‌دهد.

۴۹. کدام جمله در خصوص مزایا ساختار شکست کار صحیح نمی‌باشد.

(۱) مشخص شدن محدوده پروژه

(۲) مشخص شدن اقلام قابل تحویل نهایی و میانی

(۳) مشخص شدن روابط پیش‌نیازی میان اقلام قابل تحویل

(۴) جلوگیری از فراموش شدن فعالیت‌ها در زمان شناسایی فعالیت‌ها

۵۰. یک مدیر پروژه برای اطمینان از شرایط ختم پروژه کدام یک از گزینه‌های زیر را باید انجام دهد یا دنبال نماید؟
(صنایع ۹۰)

(۲) برنامه‌ریزی مدیریت ریسک

(۱) تعریف محدوده پروژه

(۴) تکمیل و تهیه بیانیه‌ی محدوده‌ی پروژه

(۳) بازرسی و بررسی محدوده پروژه

۵۱. کدام جمله در خصوص ساختار شکست کار (WBS) صحیح نیست؟
(صنایع ۹۴)

(۱) نمایش مایلستون‌های ضروری خارج از پروژه با شکلی متفاوت

(۲) عدم تعیین وابستگی فعالیت‌ها و بسته‌های کاری پروژه

(۳) عدم در نظر گرفتن انتظارات ذی‌نفعان

(۴) سطوح شکست بیشتر در WBS، لزوماً نشانگر کنترل و برنامه‌ریزی دقیق‌تر پروژه نیست.



۱. گزینه ۴

۲. گزینه ۲

۳. گزینه ۴

۴. گزینه ۳

۵. گزینه ۳

۶. گزینه ۲

۷. گزینه ۴

۸. گزینه ۲

۹. گزینه ۱

۱۰. گزینه ۱

۱۱. گزینه ۳

۱۲. گزینه ۳

اولویت پروژه‌ها بایستی توسط کسی انجام شود که در داخل پروژه نباشد.

۱۳. گزینه ۴

۱۴. گزینه ۳

۱۵. گزینه ۴

۱۶. گزینه ۱

۱۷. گزینه ۴

۱۸. گزینه ۳

۱۹. گزینه ۱



۲۰. گزینه ۲

۲۱. گزینه ۴

۲۲. گزینه ۳

۲۳. گزینه ۲

۲۴. گزینه ۲

۲۵. گزینه ۱

۲۶. گزینه ۳

۲۷. گزینه ۱

۲۸. گزینه ۱

۲۹. گزینه ۴

۳۰. گزینه ۳

۳۱. گزینه ۴

۳۲. گزینه ۴

۳۳. گزینه ۳

۳۴. گزینه ۳

۳۵. گزینه ۱

۳۶. گزینه ۲

۳۷. گزینه ۴

۳۸. گزینه ۳

۳۹. گزینه ۴

۴۰. گزینه ۱

۴۱. گزینه ۳

۴۲. گزینه ۲

۴۳. گزینه ۴

از آنجایی که در ساختار سازمانی پروژه‌ای، تیم پروژه کاملاً به پروژه تخصیص می‌یابد بنابراین با متوقف شدن پروژه، کار آنها نیز اتمام می‌یابد و بایستی به دنبال جذب شدن در یک پروژه دیگر باشند. در این ساختار، اغلب ستاد سازمان نیز هیچ حمایتی از اعضای تیم پروژه انجام نمی‌دهد.

۴۴. گزینه ۳

۴۵. گزینه ۲

۴۶. گزینه ۲

۴۷. گزینه ۳

اقدام تحویلی می‌تواند در طول پروژه طی فرآیند «مدیریت یکپارچه تغییرات» تغییر یابد. تنها بایستی اثرات تغییرات بر زمان و هزینه پروژه دیده شود.

۴۸. گزینه ۳

مایلستون زمان ندارد و یک مقطع کلیدی با مدت زمان صفر در پروژه است که برای جلسات بازنگری پروژه در سطح کلان و مدیریتی نیز می‌تواند بکار گرفته شود.

۴۹. گزینه ۳

۵۰. گزینه ۳

«تعریف پروژه»، «برنامه‌ریزی مدیریت ریسک» و «تکمیل و تهیه بیانیه محدوده پروژه» همه در فاز برنامه‌ریزی انجام می‌شود. تنها گزینه‌ای که در فاز کنترل انجام می‌گردد بازرسی و بررسی محدوده پروژه است که در آن مدیر پروژه به این موضوع می‌پردازد که آیا تمام محدوده پروژه انجام شده است و یا خیر. در این فرآیند تأیید رسمی مشتری پروژه هم بر روی محدوده اخذ می‌گردد.



۵۱. گزینہ ۳

ساختار شکست کار، نمایش گرافیکی به صورت سلسله مراتبی از محدوده پروژه می باشد. به بیان دیگر در ساختار شکست کار مشخص می گردد که چه کارهایی در محدوده پروژه بایستی انجام شود. مایلستون های خود پروژه در WBS بیان نمی گردد ولیکن در صورتی که برخی از کارها توسط سازمان های دیگر قرار باشد انجام گیرد جهت مدیریت تعاملات مایل ستون های ضروری خارج از پروژه با مشکلی متفاوت که قابل تشخیص باشد نشان داده می شود.

در زمان تدوین WBS، هنوز فعالیت ها استخراج نشده است لذا ساختار شکست کار وابستگی میان فعالیت ها و بسته های کاری را نشان نمی دهد. الزامات و انتظارات ذی نفعان پروژه قبل از تدوین ساختار شکست کار استخراج شده است و بر اساس اولویت بندی ذی نفعان و برقراری تعادل میان انتظارات آنان اهداف پروژه شکل گرفته است. در ساختار شکست کار انتظارات ذی نفعان کلیدی در حوزه محدوده مشخص می گردد و نه تمامی ذی نفعان در تمامی حوزه ها. شکست سطوح ساختار شکست کار به عوامل زیاد بستگی دارد که یکی از آنها نیز به کنترل و برنامه ریزی دقیق تر است. ولی نمی توان نتیجه گرفت که در صورتی که ساختار شکست کار به سطوح بیشتری شکسته شود الزاماً کنترل و نظارت دقیق تر بر پروژه انجام می شود.

فصل ۲

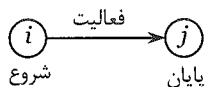
شبکه‌های برداری (AOA)

تعاریف شبکه

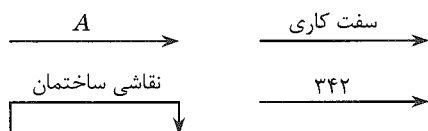
- شبکه‌هایی که در آنها فعالیت‌ها روی کمان‌ها نمایش داده می‌شوند را شبکه‌های AOA^1 می‌نامند که آنها را شبکه‌های برداری هم می‌نامند.
- شبکه‌هایی که در آنها فعالیت‌ها بر روی گره‌ها نمایش داده می‌شوند را شبکه‌های AON^2 می‌نامند که آنها را شبکه‌های گره‌ای هم می‌نامند.
- فعالیت عبارت است از جزئی از مجموعه امور لازم در اجزای یک پروژه، که انجام آن احتیاج به صرف زمان، منبع، انرژی، بودجه و... دارد. هر فعالیت واضح است که دارای نقاط آغاز و پایان می‌باشد. به عنوان مثال برای ساخت یک ساختمان یک زمان شروع و یک زمان پایانی موجود است که هر فعالیت برای ساخت ساختمان هم دارای زمان شروع و خاتمه می‌باشد. فونداسیون، سفت کاری، تأسیسات، لوله‌کشی و... هر کدام یک فعالیت محسوب شده و دارای آغاز و پایان می‌باشند. بدون شک هر فعالیت را می‌توان به فعالیت‌های کوچکتر تقسیم کرد. به عنوان مثال می‌توان سفت کاری ساختمان را به فعالیت‌های بتون‌ریزی، آجرچینی و... تقسیم کرد.

¹ Activity on Arrow

² Activity on Node

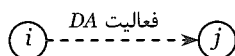


فعالیت‌ها در شبکه‌های برداری می‌توانند به صورت زیر نمایش داده شوند:



که روی هر کمان شرح مختصری از فعالیت ولی کاملاً گویای آن نوشته خواهد شد.

- فعالیت موهومی^۱، فعالیتی می‌باشد که ضمن اجرای پروژه وجود نداشته، و هیچ نوع منبعی برای آن احتیاج نخواهد بود. این فعالیت تنها برای نشان دادن وابستگی روی شبکه‌ها نمایش داده می‌شود. فعالیت موهومی (DA) را با خط چین روی شبکه نمایش می‌دهیم.

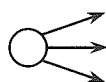


- نقطه آغاز و یا پایان یک فعالیت را رویداد^۲ می‌نامیم. که همان گره‌ها در شبکه‌های AOA می‌باشند.

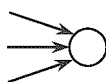


- رویداد پوششی^۳، رویدادی است که نقطه پایان چند فعالیت می‌باشد یعنی چند فعالیت به آن ختم می‌شود.

- رویداد جوششی^۴، رویدادی است که نقطه آغاز چند فعالیت می‌باشد یعنی چند فعالیت از آن آغاز می‌شود.



رویداد جوششی



رویداد پوششی

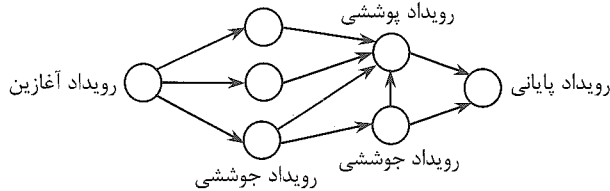
^۱ Dummy Activity

^۲ Event

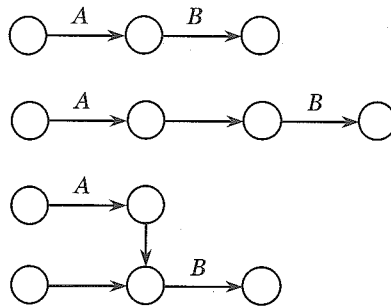
^۳ Merge Event

^۴ Burst Event

نکته. رویداد آغازین، اولین رویدادی است که در شبکه وجود دارد و رویداد پایانی آخرین رویداد شبکه می‌باشد. رویداد آغازین همان رویدادی است که فقط کمان‌ها از آن خارج شده و هیچ کمانی به آن وارد نشده و رویداد پایانی گره‌ای می‌باشد که فقط کمان به آن وارد شده و از آن کمانی خارج نشده.

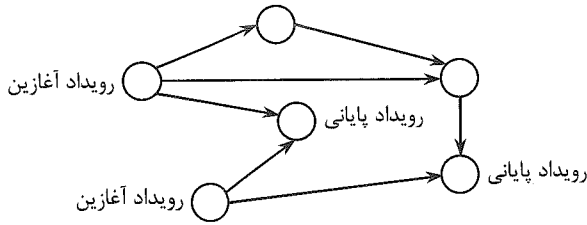


■ فعالیت پیش نیاز، فعالیت A را پیش نیاز B می‌نامند به طوری که فعالیت B بتواند بعد از اتمام A بلافاصله شروع شود. ولی هیچ الزامی ندارد که حتماً B بلافاصله بعد از اتمام A شروع شود. یعنی الزاماً فعالیت B پشت به پشت A نمی‌باشد. به شکل‌های زیر دقت کنید که A یکی از پیش‌نیازهای B می‌باشد.



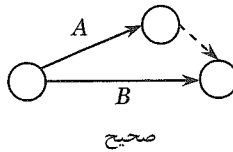
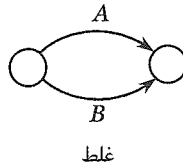
■ قوانین رسم شبکه‌های برداری (AOA)

- قانون ۱- هر فعالیت فقط باید یک بار روی شبکه ظاهر شده باشد.
- قانون ۲- دو فعالیت نباید دارای اسم یکسان باشند.
- قانون ۳- هر شبکه باید فقط دارای یک رویداد (گره) آغازین و یک رویداد پایانی باشد.
- شکل زیر دارای دو رویداد آغازین و دو رویداد (گره) پایانی می‌باشد.



که قانون ۳ در شبکه فوق نقض گردیده است.

قانون ۴- هر تعداد فعالیت می‌تواند از یک رویداد (گره) شروع شوند و یا به یک رویداد (گره) خاتمه یابند ولی نمی‌توانند چند فعالیت دارای رویداد آغاز و رویداد پایان یکسان باشند.



قانون ۵- شبکه دارای مقیاس زمان نمی‌باشد پس طول کمان‌ها و کوتاه و بلند بودن آنها نمایش‌دهنده مفهوم خاصی نمی‌باشند.

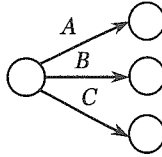
قانون ۶- هر فعالیت تا زمانی که پیش نیازهای آن به اتمام نرسیده نمی‌تواند آغاز شود. چون در شبکه‌های برداری تنها رابطه موجود بین فعالیت‌ها رابطه *Finish to Start (FS)* می‌باشد. یعنی بعدی تنها زمانی می‌تواند شروع شود که قبلی به اتمام رسیده باشد.

قانون ۷- اگر شروع یک فعالیت مستلزم به اتمام رسیدن چند فعالیت باشد به طوری که رابطه‌ای بین این چند فعالیت نباشد از فعالیت مجازی استفاده می‌کنیم که نشان‌دهنده ترتیب فعالیت‌ها باشد.

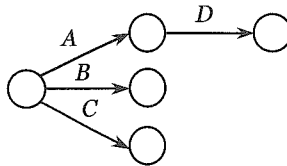
به عنوان مثال به جدول پیش‌نیاز زیر دقت کنید.

فعالیت	پیش‌نیاز
A	-
B	-
C	-
D	A و B

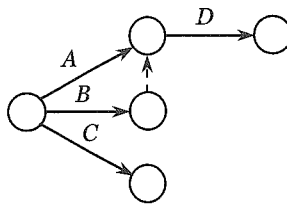
طبق مطالب ذکر شده در جدول از آنجایی که A و B و C پیش نیاز ندارند پس شبکه را باید به صورت زیر شروع کنیم.



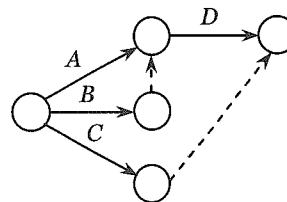
برای شروع D حتماً باید A و B به اتمام رسیده باشند ولی این سوال پیش می‌آید که فعالیت D از گره پایانی فعالیت A آغاز شود یا گره پایانی فعالیت B از هر کدام که شروع شود دیگری پیش نیاز D حساب نمی‌شود. فرض کنید D از رویداد (گره) پایانی A شروع شود.



ولی شبکه فوق نشان‌دهنده این نمی‌باشد که B هم پیش نیاز فعالیت D می‌باشد. با رسم فعالیت موهومی می‌توان این موضوع را نمایش داد.

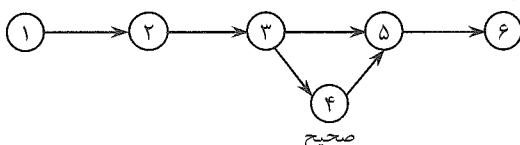
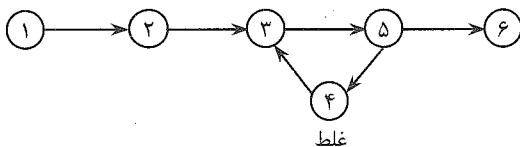


و چون دارای دو گره پایانی می‌باشند با یک فعالیت موهومی شبکه را اصلاح می‌کنیم.



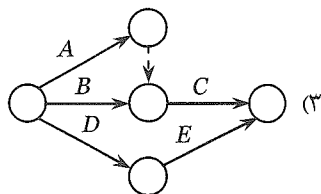
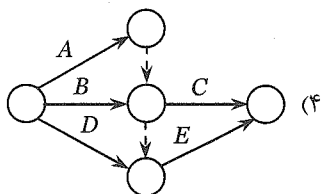
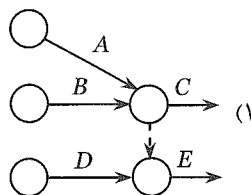
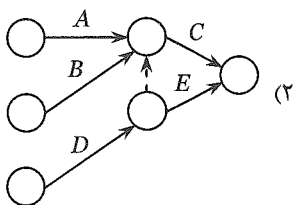


قانون ۸- شماره رویداد آغازین هر فعالیت باید از شماره رویداد پایان آن فعالیت کمتر باشد. به طور خلاصه فعالیت‌ها از سمت گره با شماره کوچکتر به سمت گره با شماره بزرگتر می‌باشند. در غیر این صورت ممکن است در شبکه دور به وجود آید.



مثال. کدام شبکه نمایش رابطه پیش‌نیازی جدول زیر می‌باشد.

فعالیت	پیش‌نیاز
A	-
B	-
C	A و B
D	-
E	A و B و D



حل.

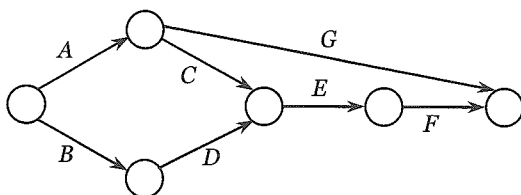
گزینه‌های (۱) و (۲) هر دو غلط می‌باشند زیرا طبق قانون (۴) یک گره آغازین و یک گره پایانی برای هر شبکه باید موجود باشد. گزینه (۳) غلط است زیرا پیش نیاز E باید A و B باشند ولی در شکل فقط D پیش نیاز E است.

در گزینه (۴) برای آنکه A و B را پیش نیاز C کنیم از یک فعالیت موهومی و برای آنکه A و B را پیش نیاز E کنیم از یک فعالیت موهومی دیگر استفاده می‌کنیم. پس گزینه (۴) صحیح است. ☐

مثال. شبکه مربوط به جدول مقابل را رسم کنید.

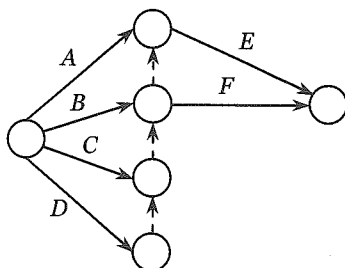
فعالیت	پیش نیاز
A	-
B	-
C	A
D	B
E	C و D
F	E
G	A

حل.



☐

مثال. شبکه زیر را در نظر بگیرید:





جدول پیش‌نیازی آن کدام است؟

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

(۱)

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

(۲)

فعالیت	A	B	C	D	E	F
پیش‌نیاز	-	-	-	-	A	B

(۳)

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

(۴)

حل.

پیش‌نیاز E فعالیت‌های A و B و C و D می‌باشند.

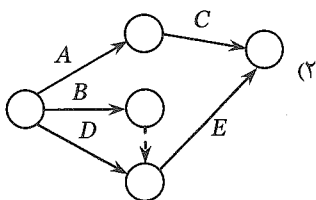
پیش‌نیاز F فعالیت‌های B و C و D می‌باشند.

پس تنها گزینه صحیح (۱) می‌باشد.

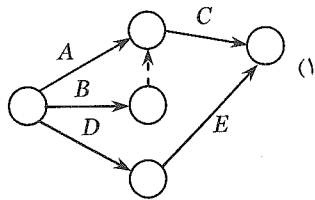


مثال. شبکه جدول فعالیت زیر کدام است؟

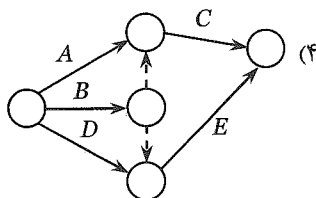
فعالیت	A	B	C	D	E
پیش‌نیاز	-	-	A,B	-	B,D



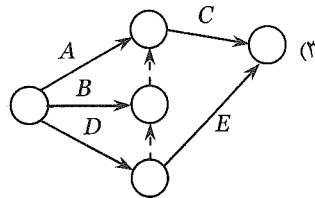
(۲)



(۱)

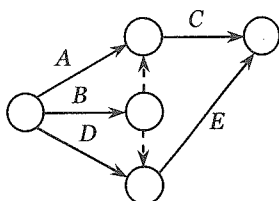


(۴)



(۳)

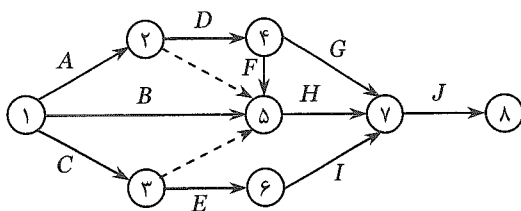
حل.



گزینه (۴) صحیح است.



مثال. شبکه زیر را در نظر بگیرید.



این شبکه دارای چند فعالیت موهومی اضافی می‌باشد؟

(۴) صفر

(۳) سه

(۲) دو

(۱) یک

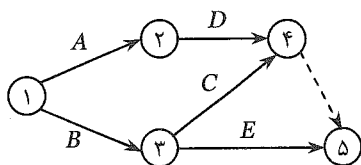
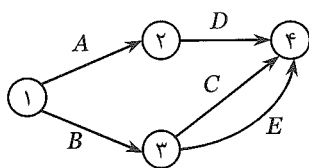
حل.

از آنجایی که $1 \xrightarrow{A} 2 \xrightarrow{D} 4 \xrightarrow{F} 5 \xrightarrow{H} 7$ است پس A خود به خود پیش‌نیاز H می‌باشد بنابراین نیازی به فعالیت موهومی $2 \dashrightarrow 5$ نمی‌باشد. زیرا فعالیت موهومی معرفی شده فقط پیش‌نیاز بودن A برای H را نمایش می‌دهد. پس گزینه (۱) صحیح است.

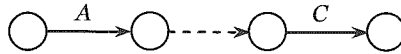


چه زمانی فعالیت موهومی (مجازی) استفاده می‌گردد؟

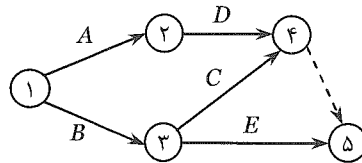
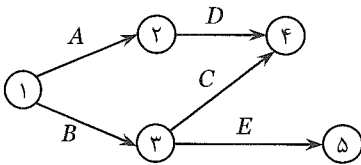
هرگاه بین دو گره دو فعالیت وجود داشته باشد آنگاه قوانین شبکه AOA نقض گردیده است که این مشکل را می‌توان با یک فعالیت موهومی برطرف کرد. بین دو گره ۴ و ۳ دو کمان وجود دارد می‌توان آن را به صورت زیر نوشت:



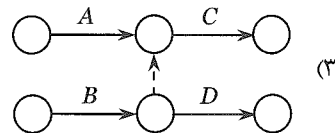
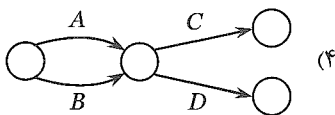
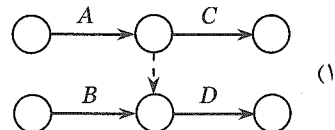
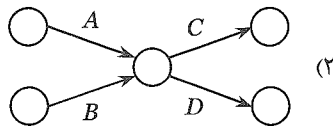
زمانی که دو یا چند فعالیت پیش نیاز یک فعالیت باشند ولی بین آنها هیچ ارتباطی برقرار نباشد و این فعالیت‌ها به سمت یک گره همگرا نباشند، فعالیت موهومی رسم می‌کنیم.



زمانی که بیش از یک گره پایانی یا آغازین داشته باشیم. هر دو گره ۴ و ۵ پایانی می‌باشند و امکان حذف گره ۵ وجود ندارد زیرا آنگاه فعالیت E باید به گره ۴ وصل شود که بین ۴ و ۵ دوتا فعالیت به وجود می‌آید که قوانین شبکه AOA نقض می‌شود پس کافی است یک کمان موهومی از ۴ به ۵ رسم کنیم که همانند شکل زیر خواهد شد.



 **مثال.** فرض کنید در یک شبکه فعالیت‌های A و B پیش نیاز C باشند و نیز فعالیت B پیش نیاز D باشد. کدام شبکه برداری زیر نشان‌دهنده این روابط می‌باشد؟



حل.

در گزینه (۱) A و B پیش نیاز D می‌باشند که غلط است. در گزینه (۲) A و B هر دو پیش نیاز C و D می‌باشند که غلط است. گزینه (۴) هم غلط است زیرا گره‌های آغازین و پایانی فعالیت‌های A و B یکسان است. پس تنها گزینه صحیح (۳) می‌باشد.



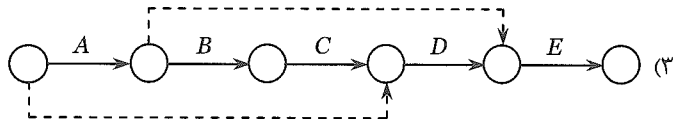
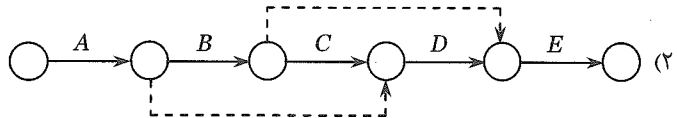
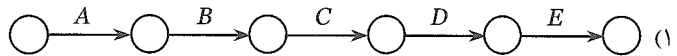
مثال. کدام گزینه برای بخشی از یک پروژه صحیح می‌باشد؟

- انجام B مشروط به انجام A

- انجام C مشروط به انجام B

- انجام D مشروط به انجام A و C

- انجام E مشروط به انجام B و C و D



(۴) هیچ کدام

حل.

طبق شکل گزینه (۱):

■ A پیش‌نیاز B

■ A و B پیش‌نیاز C

■ A و B و C هر سه پیش‌نیاز D

■ A و B و C و D همگی پیش‌نیاز E می‌باشند که نیازهای صورت سوال را برآورده می‌کنند. پس



گزینه (۱) صحیح است.



مثال: در یک شبکه رابطه فعالیت‌های پروژه‌ای به صورت جدول زیر می‌باشد. برای رسم شبکه

AOA آن به ترتیب چند رویداد (گره)، چند فعالیت و چند فعالیت مجازی (موهومی) نیاز است؟

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

(۲) ۸ رویداد، ۸ فعالیت و ۶ موهومی

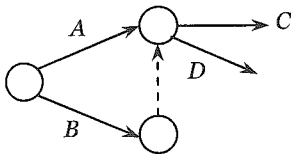
(۱) ۸ رویداد، ۶ فعالیت و ۵ موهومی

(۴) ۵ رویداد، ۶ فعالیت و ۳ موهومی

(۳) ۶ رویداد، ۶ فعالیت و ۳ موهومی

حل.

چون C و D هر دو پیش نیازشان A می‌باشد به هر طریق عمل کنیم رابطه زائد پیش می‌آید

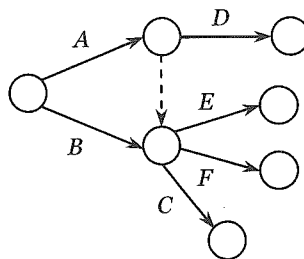


همانند شکل مقابل:

در این شکل A و B هر دو پیش نیاز C و D می‌باشند در

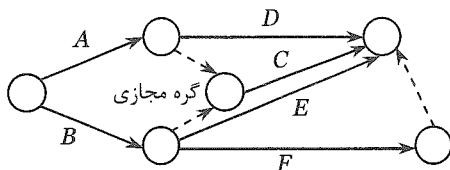
صورتی که در صورت سوال پیش نیاز D فقط A باید باشد.

و یا به صورت شکل زیر:



که رابطه زائد بین A و E یا F به وجود می‌آید.

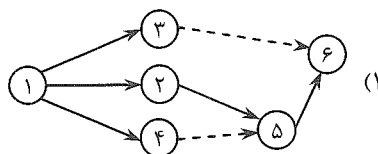
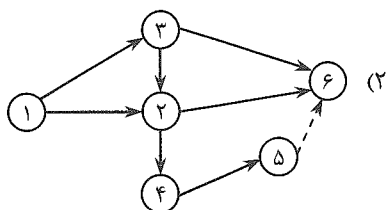
ولی با یک گره مجازی چنین مشکلی برطرف می‌شود.



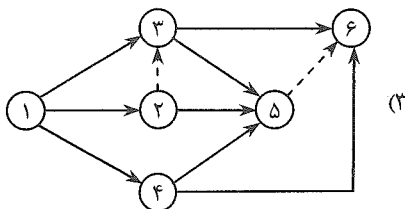
پس گزینه (۳) صحیح است.

نکته. گره مجازی گره‌ای می‌باشد که از بوجود آمدن روابط زائد در شبکه جلوگیری می‌کند.

مثال. کدام یک از شبکه‌های زیر به عنوان یک شبکه AOA صحیح می‌باشد؟



(۴) تمام گزینه‌ها غلط است.



حل.

گزینه (۱) غلط است زیرا فعالیت موهومی ۳-۶ اضافه است زیرا می‌توانستیم مستقیم (۱) را به (۶) وصل کنیم. گزینه (۲) غلط است زیرا فعالیت موهومی ۵-۶ اضافی می‌باشد زیرا می‌توانستیم به طور مستقیم (۴) را به (۶) وصل کنیم.



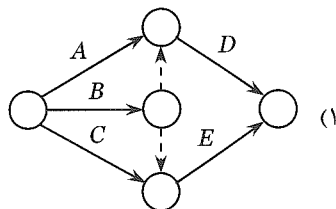
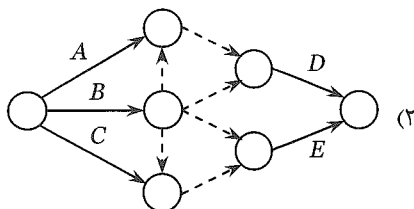
پس گزینه (۳) صحیح است.



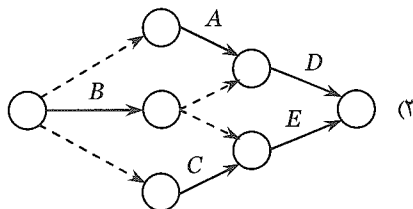
مثال. کدام یک از گزینه‌ها صحیح‌ترین شبکه با کمترین کمان موهومی برای جدول پیش نیاز

فعالیت زیر صحیح است؟

فعالیت	A	B	C	D	E
پیش نیاز	-	-	-	A و B	B و C



(۴) گزینه‌های ۲ و ۳



حل.

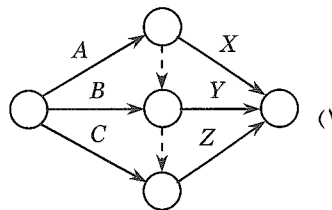
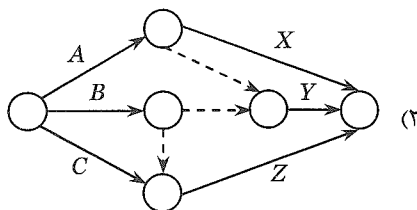
گزینه (۱) صحیح است.



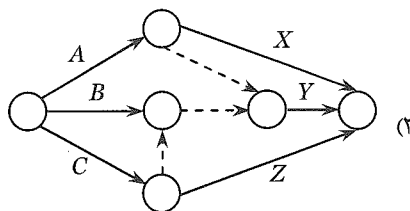
مثال. قسمتی از یک شبکه و جدول پیش نیازهای آن به صورت زیر می‌باشد. کدام شبکه با

کمترین فعالیت موهومی برای آن صحیح است؟

فعالیت	A	B	C	X	Y	Z
پیش نیاز	-	-	-	A	A و B	B و C



(۴) تمام گزینه‌ها



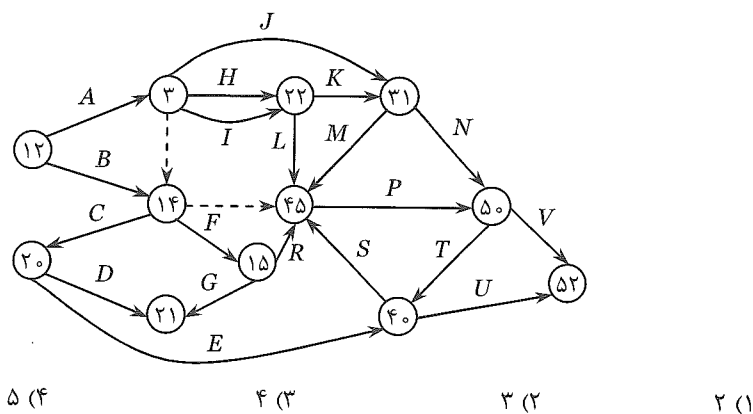
حل.

گزینه (۱) غلط است زیرا پیش‌نیاز Z فعالیت‌های A و B و C می‌باشند. گزینه (۳) غلط است زیرا پیش‌نیاز Y فعالیت‌های B و C می‌باشند.

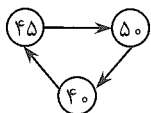


پس گزینه (۲) صحیح است.

مثال. در شکل زیر چند مورد از قوانین رسم شبکه رعایت نشده است؟



حل.



- در شبکه دور وجود دارد و از گره شماره بزرگتر به کوچکتر وصل شده
- فعالیت‌های H و I گره‌های آغازین و پایانی یکسان دارند.
- گره‌های (۵۲) و (۲۱) رویدادهای پایانی می‌باشند. یعنی دو رویداد پایانی داریم.
- فعالیت موهومی (۴۵) - (۱۴) اضافی می‌باشد.

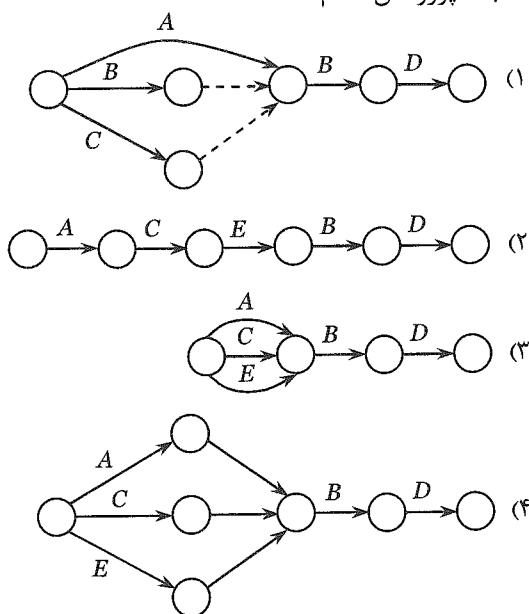


پس گزینه (۳) صحیح است.

مثال. برای قاب کردن یک عکس فعالیت‌های زیر انجام می‌شود:

- A - تهیه شیشه
- B - مونتاژ عکس آماده شده در قاب
- C - ساختن قاب
- D - وصل کردن حلقه‌های آویز به قاب
- E - آماده‌سازی عکس

شبکه پروژه آن کدام است؟



حل.

تهیه شیشه، ساختن قاب و آماده‌سازی عکس پیش‌نیاز نمی‌خواهند ولی هر سه پیش‌نیاز مونتاژ عکس در قاب عکس می‌باشند. همه آنها هم پیش‌نیاز وصل کردن حلقه‌های آویز در قاب می‌باشند. گزینه (۱) صحیح است.



محاسبات زمانی یا روش مسیر بحرانی^۱ در شبکه‌های AOA

در روش مسیر بحرانی (CPM) زودترین و دیرترین زمان وقوع رویدادها، فرجه فعالیت‌ها و مسیر بحرانی پروژه محاسبه می‌گردد که درک این محاسبات بر روی شبکه‌های AOA راحت‌تر می‌باشد. روش CPM در روزهای اول اختراع به نام "فعالیت‌های زنجیره اصلی" نامیده می‌شدند که بعدها اصطلاح "فعالیت‌های بحرانی" به صورت جامع جایگزین آن گردید.

برای انجام محاسبات به منظور یافتن تاریخ‌ها و تعیین فعالیت‌های بحرانی یا مسیر بحرانی دو نوع عبور یا حرکت محاسباتی که در اصطلاح به آنها حرکات "پیشرو" و "پسرو" خواهیم گفت انجام می‌گیرد.

^۱ Critical Path Method (CPM)

فعالیت ij را که رویداد پایه آن i و رویداد پایان آن j می‌باشد را در نظر بگیرید. علائم و حروف به کار گرفته شده در این رفتن به صورت زیر می‌باشد:



D_{ij} ← زمان لازم (تخمین زده شده) برای اجرای فعالیت ij

E_i ← زودترین زمان وقوع رویداد i

L_i ← دیرترین زمان وقوع رویداد i

ES_{ij} ← زودترین زمان ممکن برای شروع فعالیت ij

EF_{ij} ← زودترین زمان ممکن برای پایان فعالیت ij

LF_{ij} ← دیرترین زمان ممکن برای پایان فعالیت ij

F_i ← زمان شناوری رویداد i

TF_{ij} ← زمان شناوری جمعی فعالیت ij

FF_{ij} ← زمان شناوری آزاد فعالیت ij

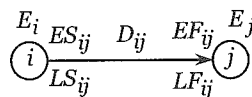
IF_{ij} ← زمان شناوری مستقل فعالیت ij

SF_{ij} ← زمان شناوری ایمنی ij

S ← رویداد آغازین شبکه

C ← رویداد پایانی شبکه

نحوه نمایش آنها روی رویدادها و فعالیت ij به صورت زیر می‌باشد:



برای جلوگیری از شلوغی روی شکل می‌توان ES_{ij} ، EF_{ij} ، LS_{ij} و LF_{ij} را روی شکل ننوشت، زیرا

به دست آوردن آنها از روی E_i و L_i ها امکان پذیر می‌باشد.



واضح است که

$$ES_{ij} = E_i$$

$$EF_{ij} = E_i + D_{ij} \quad \text{یا} \quad EF_{ij} = ES_{ij} + D_{ij}$$

$$LS_{ij} = L_i$$

$$LF_{ij} = L_i + D_{ij} \quad \text{یا} \quad LF_{ij} = LS_{ij} + D_{ij}$$

می‌باشند. از طرفی داریم

$$E_j = EF_{ij}$$

$$L_j = LF_{ij}$$

پس کافی است روی شبکه فقط اعداد زیر نمایش داده شوند.



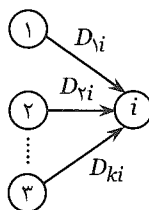
نکته. E_i زودترین زمان ممکن برای وقوع رویداد i ، زودترین زمانی می‌باشد که همگی

فعالیت‌هایی که به این رویداد ختم می‌شوند پایان یافته باشند.

نکته. L_i دیرترین زمان ممکن برای وقوع رویداد i ، دیرترین زمانی است که ممکن است همه

فعالیت‌هایی که به آن رویداد ختم می‌شوند، انجام شوند. بدون آنکه در تاریخ تکمیل تأثیری بگذارد.

نکته. گره پوششی زیر را در نظر بگیرید:

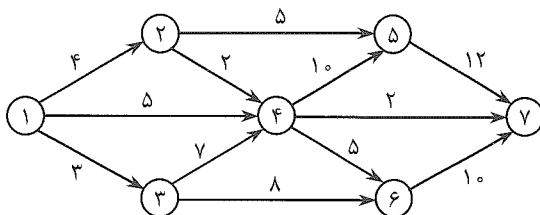


از آنجایی که طبق فرض مدل‌های شبکه یک فعالیت وقتی می‌تواند شروع شود که کلیه فعالیت‌های پیش‌نیازی آن به اتمام رسیده باشد پس داریم:

$$E_i = \max \{ EF_{1i}, EF_{2i}, \dots, EF_{ki} \}$$

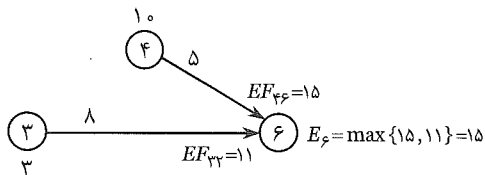
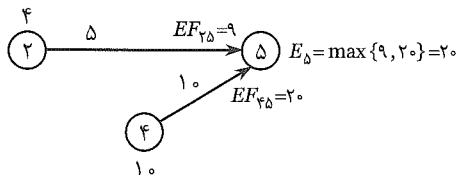
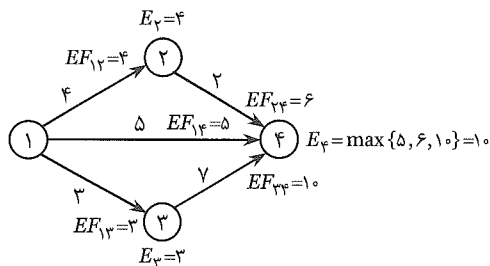
محاسبات مسیر پیشرو

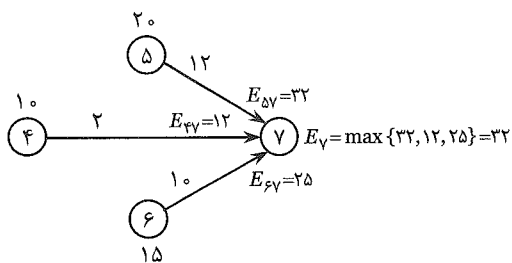
شبکه زیر را در نظر بگیرید که در آن اعداد نشان داده شده روی هر کدام از کمان‌ها نمایش‌دهنده D_{ij} می‌باشد که نشان‌دهنده زمان انجام فعالیت می‌باشد.



در حرکت پیشرو و زودترین زمان ممکن برای وقوع رویدادها در نظر گرفته می‌شود. $E_1 = 0$.

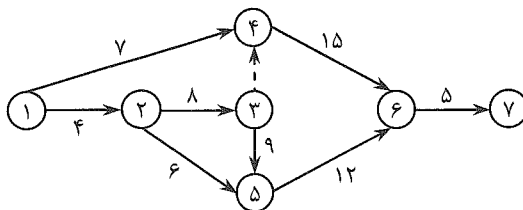
می‌باشد. $E_3 = E_1 + D_{13} = 3$ و $E_2 = E_1 + D_{12} = 4$ هستند.





چون $E_V = 32$ شد پس زودترین زمان وقوع رویداد ۷، ۳۲ می‌باشد.

مثال. زودترین زمان انجام رویداد ۷ کدام است؟



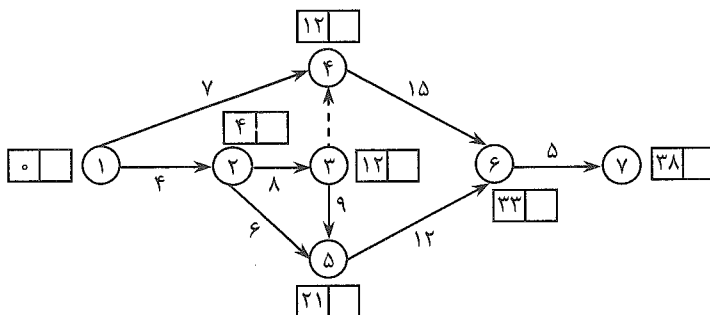
۱۸ (۴)

۴۸ (۳)

۲۸ (۲)

۳۸ (۱)

حل.

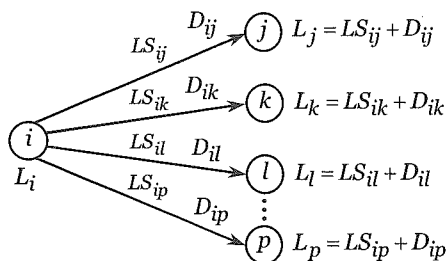


پس گزینه (۱) صحیح است.

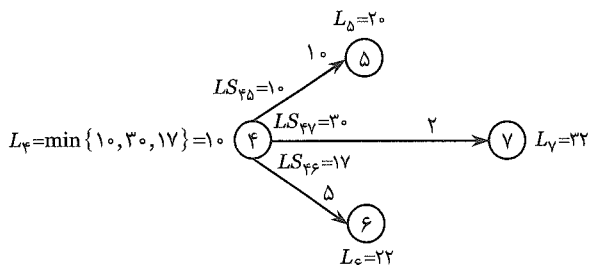
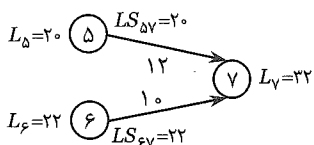
توجه! زمان فعالیت موهومی را صفر در نظر می‌گیریم.

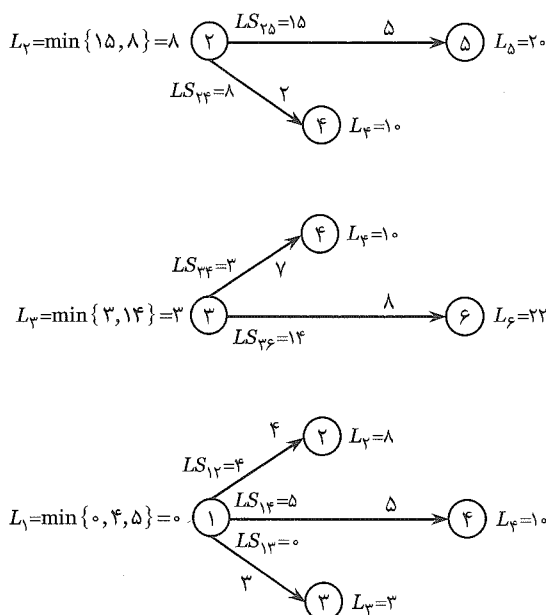
محاسبات مسیر پسرو

دومین مرحله محاسبات CPM محاسبات مسیر پسرو می‌باشد. محاسبات از گره آخر شروع می‌شود و به صورت پسرو به سمت گره اول پیش می‌رویم که در این فرآیند دیرترین زمان وقوع هر رویداد یعنی L_i ، دیرترین زمان پایان هر فعالیت LF_{ij} و دیرترین زمان شروع هر فعالیت یعنی LS_{ij} محاسبه می‌گردد. به شکل زیر که در آن گره i یک گره جوششی می‌باشد دقت نمایید:

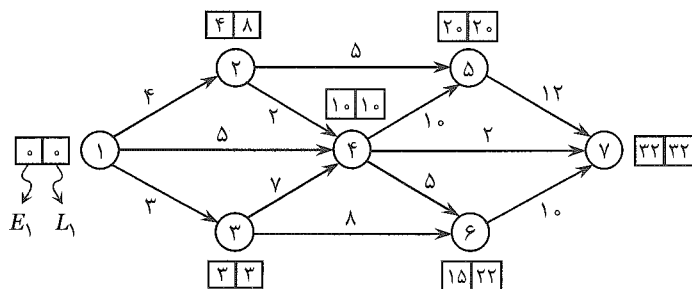


واضح است که $L_i = \min\{LS_{ij}, LS_{ik}, LS_{il}, LS_{ip}\}$ زیرا دیرترین زمان مجاز وقوع رویداد i نمی‌تواند بیشتر از کمترین دیرترین زمان مجاز شروع فعالیت‌های بعد از خود تأخیر داشته باشد به عنوان مثال فرض کنید که ۲ فعالیت از گره i شروع خواهند شد که دیرترین زمان شروع یکی پس فردا و دیگری فردا می‌باشد پس دیرترین زمان رویداد i فردا می‌باشد. برای محاسبه پس رو قرار دهید $L_V = E_V = ۳۲$ آنگاه داریم:





برای سهولت در محاسبه می‌توان در روی شبکه، در کنار هر گره مستطیلی که شامل دو قسمت می‌باشد را نوشت که در اولین خانه آن کمترین زمان رویداد E_i و در دومین خانه آن بیشترین زمان رویداد یعنی L_i را می‌نویسیم.



نکته: مسیری که دارای طولانی‌ترین زمان باشد را مسیر بحرانی می‌نامند.

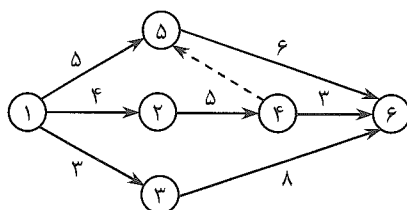
■ شنواری^۱ در زمان وقوع رویدادها زمانی وجود دارد که $L_j - E_j \neq 0$ باشد و $F_j = L_j - E_j$ را شنواری^۱ گره می‌نامیم.

^۱ Float

■ مسیر بحرانی^۱، مسیری می‌باشد که تمام فعالیت‌های آن (کمان‌های آن) دارای شناوری صفر باشند. یعنی هر تغییر در وقوع آن باعث تأخیر در زمان اجرای پروژه می‌شود. در شبکه فوق مسیر بحرانی ۱-۳-۴-۵-۷ می‌باشد.

نکته. امکان دارد یک شبکه بیش از یک مسیر بحرانی داشته باشد.

مثال. شبکه زیر را در نظر بگیرید.



کدام یک از مسیرهای زیر بحرانی می‌باشد؟

۱-۳-۶ (۴)

۱-۲-۴-۵-۶ (۳)

۱-۲-۴-۶ (۲)

۱-۵-۶ (۱)

حل.

مجموع زمان فعالیت‌هایی که بر روی یک مسیر قرار می‌گیرند مدت زمان یک مسیر را نمایش می‌دهند.

$$۱-۵-۶ \Rightarrow ۵+۶=۱۱ = \text{مدت زمان}$$

$$۱-۲-۴-۶ \Rightarrow ۴+۵+۳=۱۲ = \text{مدت زمان}$$

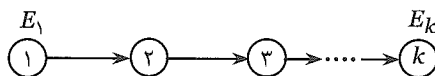
$$۱-۲-۴-۵-۶ \Rightarrow ۴+۵+۰+۶=۱۵ = \text{مدت زمان}$$

$$۱-۳-۶ \Rightarrow ۳+۸=۱۱ = \text{مدت زمان}$$



پس گزینه (۳) صحیح است.

■ شناوری یک راه عبارتست از اختلاف بین کل زمان لازم برای تکمیل پروژه و جمع زمان‌های فعالیت‌های تشکیل‌دهنده راه. فرض کنید یک راه شامل فعالیت‌های زیر باشد:



$$\text{شناوری راه} = E_k - E_1 - (D_{12} + D_{23} + \dots + D_{(k-1)k})$$

^۱ Critical path



 نکته. شناوری راه مسیر بحرانی صفر می‌باشد.

شناوری فعالیت‌ها

■ شناوری جمعی^۱ (کل)، میزان زمانی می‌باشد که یک فعالیت می‌تواند به تعویق بیافتد یا به زمان اجرای آن فعالیت اضافه شود، بدون آنکه در زمان اجرای پروژه تأثیری گذاشته شود. شناوری جمعی فعالیت ij را TF_{ij} می‌نامیم.

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

■ شناوری آزاد^۲، میزان زمانی می‌باشد که یک فعالیت می‌تواند به تعویق بیافتد، یا به زمان اجرای آن فعالیت افزوده شود، بدون آنکه بر مقدار شناوری فعالیت‌های بعد از خود تأثیری بگذارد. شناوری آزاد فعالیت ij را FF_{ij} می‌نامیم.

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

 نکته. در صورتی که فعالیت ij از فرجه آزاد خود استفاده کند، به فعالیت‌های بعد از خود اجازه استفاده از فرجه را می‌دهد.

■ شناوری مستقل^۳، میزان زمانی می‌باشد که یک فعالیت می‌تواند به تعویق بیافتد، یا به زمان اجرای آن فعالیت افزوده شود، بدون آنکه بر فعالیت‌های قبل و بعد از خود تأثیری بگذارد. شناوری مستقل فعالیت ij را IF_{ij} می‌نامیم.

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

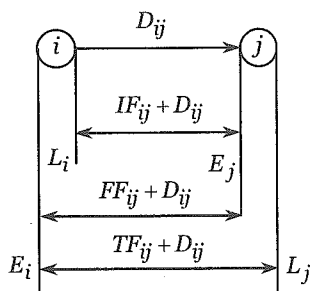
 نکته. در صورتی که فعالیت ij از فرجه مستقل خود استفاده کند به همه فعالیت‌های قبل و بعد از خود اجازه استفاده از فرجه را می‌دهد.

¹ Total Float (TF)

² Free Float (FF)

³ Independent Float (IF)

مقدار شناوری جمعی، آزاد و مستقل یک فعالیت ij روی شکل نمایش داده شده است.



■ شناوری ایمنی^۱، میزان زمانی می‌باشد که فعالیت می‌تواند به تعویض بیافتد، یا به زمان اجرای آن اضافه شود، بدون آنکه بر فعالیت‌های قبل از خود تأثیری بگذارد. شناوری ایمنی ij را SF_{ij} می‌نامیم.

$$SF_{ij} = L_j - L_i - D_{ij}$$

👉 نکته. فعالیت‌های بحرانی در یک شبکه آنهایی هستند که شناوری جمعی آنها صفر باشد.

👉 نکته. در صورتی که فرجه کل فعالیت ij صفر باشد، در این صورت تمامی فرجه‌های دیگر هم برابر صفر می‌باشند.

👉 نکته. واضح است که $IF_{ij} \leq FF_{ij} \leq TF_{ij}$ می‌باشد ولی بین فرجه ایمنی و آزاد ij هیچ ارتباطی برقرار نمی‌باشد.

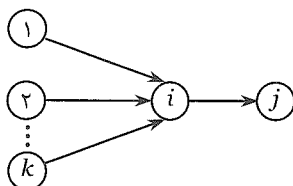
👉 نکته. شناختن فعالیت‌های بحرانی (فعالیت‌هایی که روی مسیر بحرانی قرار دارند) به این دلیل اهمیت دارد که کوچکترین تأخیر در زمان شروع و پایان فعالیت بحرانی باعث به تأخیر افتادن زمان کل پروژه می‌گردد.

👉 نکته. فرجه کل می‌تواند منفی شود و بدین معنی است که در اتمام پروژه تأخیر وجود دارد.

^۱ Safety Float (SF)

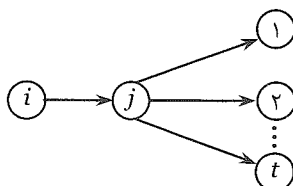


نکته.



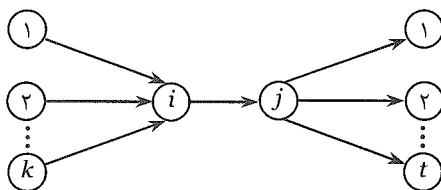
$$\min\{TF_{1i}, TF_{2i}, \dots, TF_{ki}\} = TF_{ij}$$

نکته.



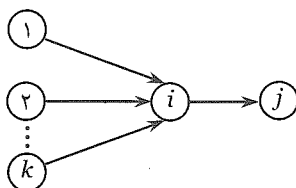
$$TF_{ij} = \min\{TF_{j1}, TF_{j2}, \dots, TF_{jt}\}$$

نکته.



$$\min\{TF_{1i}, TF_{2i}, \dots, TF_{ki}\} = TF_{ij} = \min\{TF_{j1}, TF_{j2}, \dots, TF_{jt}\}$$

نکته.



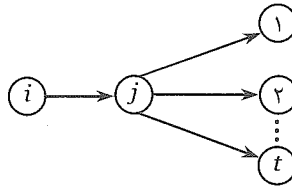
$$TF_{1i} - FF_{1i} = TF_{2i} - FF_{2i} = \dots = TF_{ki} - FF_{ki}$$

نکته. در نکته قبل تفاضل بین فرجه‌های کل هر دو فعالیت ورودی با تفاضل بین فرجه‌های آزاد آن

دو فعالیت با هم برابر است. به عنوان مثال:

$$TF_{1i} - TF_{2i} = FF_{1i} - FF_{2i}$$

نکته. 



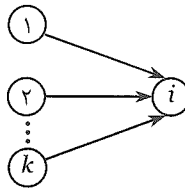
$$FF_{j1} - IF_{j1} = FF_{j2} - IF_{j2} = \dots = FF_{jt} - IF_{jt}$$

نکته.  در نکته قبل تفاضل بین فرجه‌های آزاد هر دو فعالیت خروجی از یک گره با تفاضل

فرجه‌های مستقل آنها برابر است. به عنوان مثال:

$$FF_{j1} - FF_{j2} = IF_{j1} - IF_{j2}$$

نکته.  برای رویداد پوششی i داریم:



$$F_i F_i = T_i F_i - \min \{ T_1 F_i, T_2 F_i, \dots, T_k F_i \}$$

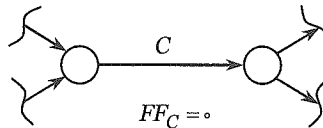
$$F_2 F_i = T_2 F_i - \min \{ T_1 F_i, T_2 F_i, \dots, T_k F_i \}$$

⋮

$$F_k F_i = T_k F_i - \min \{ T_1 F_i, T_2 F_i, \dots, T_k F_i \}$$

نکته.  اگر فقط یک فعالیت واردشونده به یک رویداد باشد آنگاه، شنواری آزاد آن فعالیت صفر

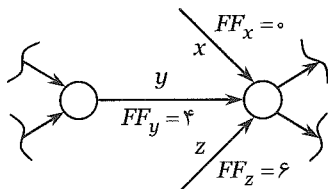
می‌باشد.



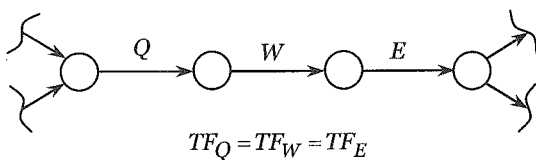


نکته: در رویدادهای پوششی حداقل یکی از فعالیت‌های واردشونده به این رویداد شناوری آزاد صفر

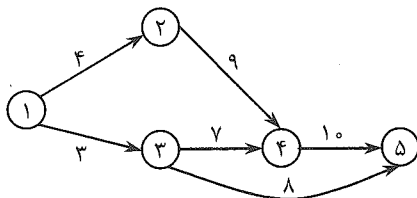
دارد.



نکته: شناوری کل فعالیت‌های روی زنجیری از فعالیت‌ها، یکسان می‌باشد.



■ شبکه برداری زیر را در نظر بگیرید:



به ۵ سوال بعد پاسخ دهید.

مثال: زمان مسیر بحرانی چقدر است؟

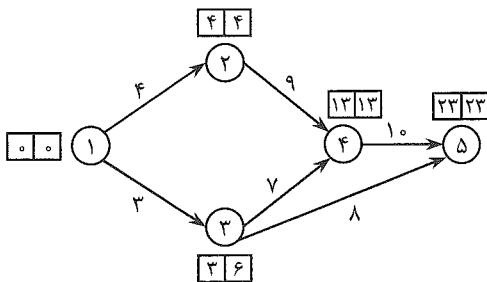
۲۶ (۴)

۲۴ (۳)

۲۳ (۲)

۱۱ (۱)

حل.



پس گزینه (۲) صحیح است.

 مثال. شناوری مستقل فعالیت ۳-۴ چند است؟

- (۱) صفر (۲) ۳ (۳) ۱ (۴) ۶

حل.

$$IF_{34} = E_4 - L_3 - D_{34} = 13 - 6 - 7 = 0$$

گزینه (۱) صحیح است.

 مثال. شناوری آزاد فعالیت ۳-۴ چند است؟

- (۱) صفر (۲) ۱ (۳) ۳ (۴) ۶

حل.

$$FF_{34} = E_4 - E_3 - D_{34} = 13 - 3 - 7 = 3$$

گزینه (۳) صحیح است.

 مثال. شناوری کل (جمع) فعالیت ۳-۴ چند است؟

- (۱) صفر (۲) ۱ (۳) ۳ (۴) ۶

حل.

$$TF_{34} = L_4 - E_3 - D_{34} = 13 - 3 - 7 = 3$$

گزینه (۳) صحیح است.

 مثال. شناوری کل مسیر بحرانی چند است؟

- (۱) صفر (۲) ۱ (۳) ۴ (۴) ۶

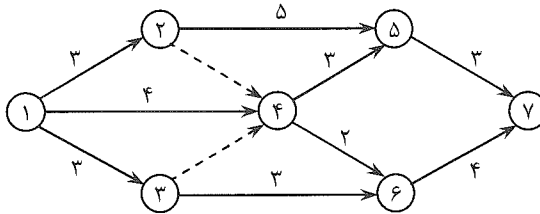
حل.

شناوری کل مسیر بحرانی صفر می‌باشد.



مثال با توجه به شبکه فعالیت‌های نشان داده شده زودترین و دیرترین زمان اتمام پروژه زیر چقدر

است؟



(۱) زودترین زمان اتمام پروژه ۱۱ روز بوده ولی در مورد دیرترین زمان اتمام پروژه نمی‌توان اظهارنظر کرد. زیرا

دیرترین زمان انجام پروژه به محدودیت‌های دیگر ربط دارد.

(۲) زودترین زمان اتمام پروژه ۱۲ روز بوده ولی در مورد دیرترین زمان اتمام پروژه نمی‌توان اظهارنظر نمود.

(۳) زودترین و دیرترین زمان اتمام پروژه ۱۱ روز می‌باشد.

(۴) زودترین ۹ روز و دیرترین زمان اتمام پروژه ۱۱ روز می‌باشد.

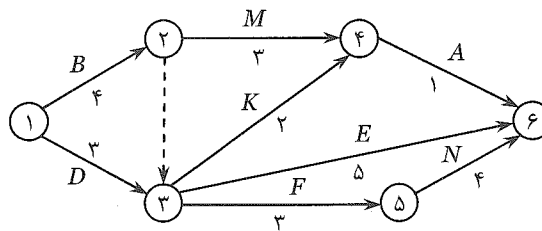
حل.

زودترین و دیرترین زمان اتمام پروژه همان زمان مسیر بحرانی می‌باشد که با هم برابر هستند پس



فقط گزینه (۳) می‌تواند صحیح باشد.

مثال در شبکه زیر مقدار شناوری مستقل و شناوری آزاد فعالیت K از راست به چپ کدام است؟



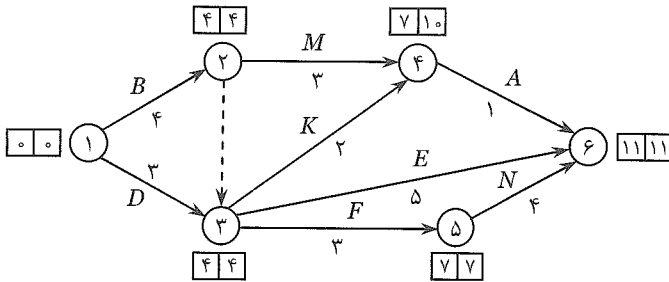
۴ و ۴ (۴)

۱ و ۴ (۳)

۴ و ۱ (۲)

۱ و ۱ (۱)

حل.



$$IF_{34} = E_4 - L_3 - D_{34} = 7 - 4 - 2 = 1$$

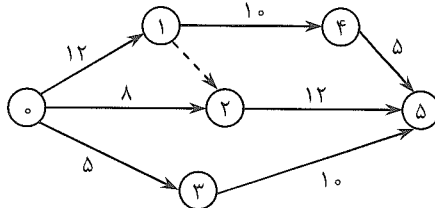
$$FF_{34} = E_3 - E_4 - D_{34} = 7 - 4 - 2 = 1$$



پس گزینه (۱) صحیح است.

مثال در شبکه زیر زودترین زمان ختم پروژه و دیرترین زمان وقوع رویداد ۲، چنانچه پروژه از

مقطع قراردادی صفر شروع شود به ترتیب از راست به چپ عبارتست از:



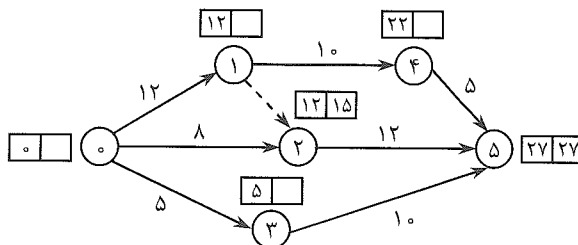
(۴) ۲۷ و ۱۵

(۳) ۲۷ و ۱۲

(۲) ۲۳ و ۱۷

(۱) ۲۲ و ۱۵

حل.



گزینه (۴) صحیح است.



مثال در جدول زیر فعالیت‌های یک پروژه به همراه زمان و پیش‌نیاز نشان داده شده است اگر

زمان فعالیت F ، ۲ واحد افزایش یابد، در آن صورت زمان کل پروژه و تعداد مسیر بحرانی

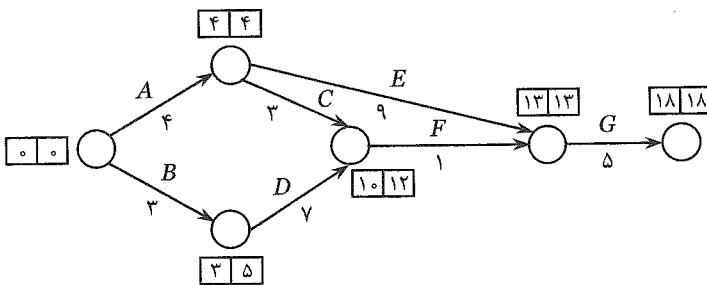
شبکه

فعالیت	A	B	C	D	E	F	G
پیش‌نیاز	-	A	A	B	A	C و D	E و F
زمان	۴	۳	۳	۷	۹	۱	۵

(۱) ثابت می‌ماند، افزایش می‌یابد. (۲) ثابت می‌ماند، ثابت می‌ماند.

(۳) افزایش می‌یابد، ثابت می‌ماند. (۴) افزایش می‌یابد، افزایش می‌یابد.

حل.



مسیر بحرانی AEG می‌باشد. در صورتی که به زمان F ، ۲ واحد اضافه شود. چون F داخل مسیر

بحرانی نمی‌باشد پس زمان بحرانی همان ۱۸ باقی خواهد ماند ولی مسیر $BDFG$ هم بحرانی خواهد

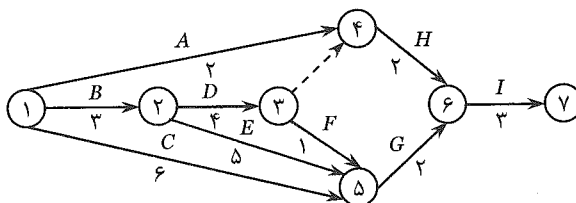
شد. پس زمان مسیر بحرانی ثابت ولی تعداد مسیر بحرانی افزایش خواهد یافت. پس گزینه (۱)

صحیح است.



مثال شبکه زیر را که مربوط به یک پروژه است در نظر بگیرید. زمان ختم پروژه، دیرترین زمان

وقوع رویداد ۳ و زودترین زمان وقوع رویداد ۶ به ترتیب کدام است؟



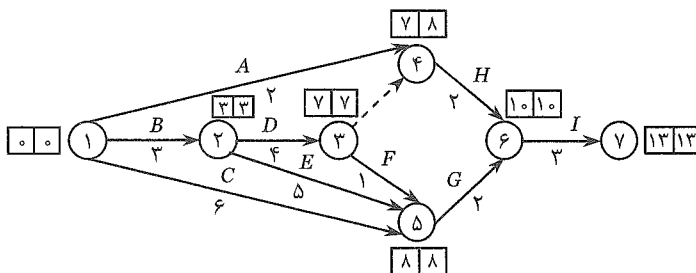
(۴) ۱۳ و ۷ و ۱۰

(۳) ۱۳ و ۱۰ و ۷

(۲) ۱۱ و ۱۰ و ۷

(۱) ۱۱ و ۷ و ۱۰

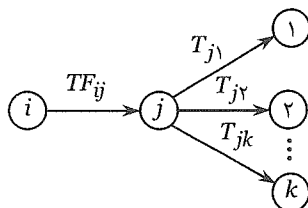
حل.



□

پس گزینه (۴) صحیح است.

مثال. بین شنآوری کل فعالیت‌های زیر کدام رابطه برقرار است؟



$$TF_{ij} = \max\{TF_{j1}, TF_{j2}, \dots, TF_{jk}\} \quad (۲) \quad TF_{ij} = TF_{j1} + TF_{j2} + \dots + TF_{jk} \quad (۱)$$

$$TF_{ij} = \min\{TF_{j1}, TF_{j2}, \dots, TF_{jk}\} \quad (۴) \quad TF_{ij} = \min\{0, TF_{j1}, TF_{j2}, \dots, TF_{jk}\} \quad (۳)$$

حل.

□

گزینه (۴) صحیح است.

■ جدول پیش‌نیازی زیر را در نظر بگیرید:

فعالیت	A	B	C	D	E	F	G	H	I
پیش‌نیاز	-	A	A	B	B و C	C	D و E	E و F	G و H
مدت زمان	۵	۴	۳	۵	۶	۴	۳	۵	۴

به ۲ سوال بعد پاسخ دهید.

مثال. مسیر بحرانی کدام است؟

(۴) ABEHI و ACFHI

(۳) ABEHI

(۲) ABDGH

(۱) ACFHI



حل.

فقط کافی است زمان‌های روی مسیرها را، در صورتی که پیش‌نیازی رعایت شده باشد، محاسبه

کنیم، هر کدام زمان بیشتری داشته باشد بحرانی می‌باشد، که گزینه (۳) صحیح می‌شود.



مثال در سوال قبل در کدام صورت، مسیر $ACEGI$ هم یک مسیر بحرانی می‌شود؟

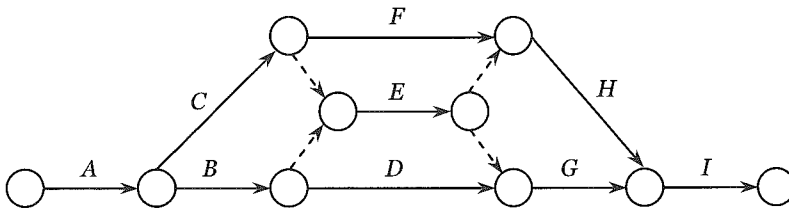
(۱) از فعالیت E ، سه روز کم شود و فعالیت G ، شش روز شود.

(۲) فعالیت C پنج روز شود و از فعالیت E ، یک روز کم شود.

(۳) فعالیت C پنج روز شود و فعالیت E هفت روز شود.

(۴) فعالیت C ، چهار روز شود و فعالیت G پنج روز شود.

حل.



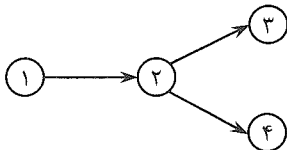
روی شکل زمان C را ۴ و زمان G را پنج روز در نظر بگیرید. مسیر $ACEGI$ هم همانند $ABEGI$ بحرانی خواهد شد.



گزینه (۴) صحیح است.

مثال شکل زیر قسمتی از یک شبکه CPM را نشان می‌دهد، با استفاده از اطلاعات داده شده

شناسایی مستقل فعالیت ۲-۳ کدام است؟



$$FF_{23} = 10$$

$$IF_{24} = 5$$

$$FF_{24} = 8$$

(۴) اطلاعات کافی نیست.

(۳) ۵

(۲) ۷

(۱) صفر

حل.

$$FF_{۲۳} = E_۳ - E_۲ - D_{۲۳} = ۱۰ \quad (*)$$

$$\left. \begin{aligned} IF_{۲۴} &= E_۴ - L_۲ - D_{۲۴} = ۵ \\ FF_{۲۴} &= E_۴ - E_۲ - D_{۲۴} = ۸ \end{aligned} \right\} \begin{aligned} E_۴ - L_۲ &= ۳ \Rightarrow (*) \text{ و } (**) \Rightarrow E_۲ - L_۲ = -۱۰ + ? \\ \text{تفاوت ۱۰} \end{aligned}$$

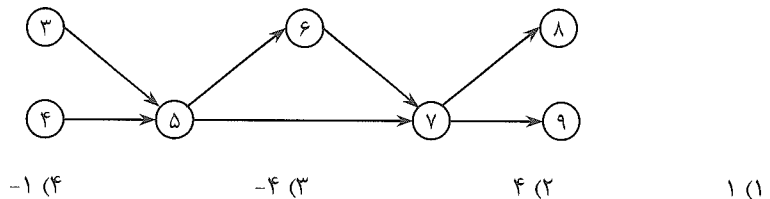
$$IF_{۲۳} = E_۳ - L_۲ - D_{۲۳} = ? \quad (**) \Rightarrow ? = ۷$$



پس گزینه (۲) صحیح است.

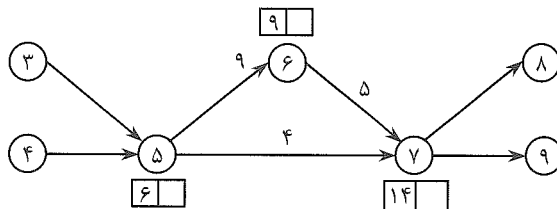
مثال. شکل زیر بخشی از یک شبکه برداری می‌باشد اگر $E_۵ = ۶$ و $EF_{۵۶} = ۹$ و $D_{۶۷} = ۵$ و

$D_{۵۷} = ۴$ آنگاه $TF_{۶۷} - TF_{۵۷}$ برابر است با:



حل.

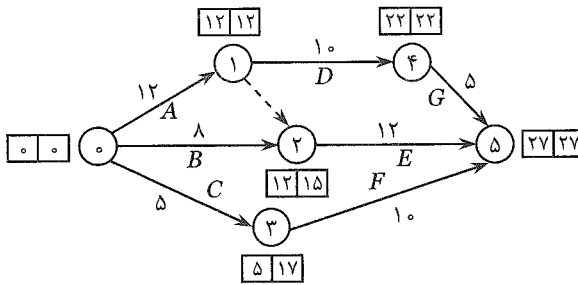
$$TF_{۶۷} - TF_{۵۷} = \cancel{L_۷} - E_۶ - D_{۶۷} - (\cancel{L_۷} - E_۵ - D_{۵۷}) = -E_۶ + E_۵ - D_{۶۷} + D_{۵۷} = -۹ + ۶ - ۵ + ۴ = -۴$$



گزینه (۳) صحیح است.

به هنگام کردن شبکه

گاهی اوقات در اجرای یک پروژه در زمانی خاص گزارشی از عملکرد و انجام فعالیت‌ها داده می‌شود که این گزارش‌ها ممکن است به زودتر انجام شدن پروژه و یا حتی به تأخیر افتادن آن بیانجامد. به شبکه زیر دقت کنید که محاسبات زمانی آن انجام شده است.



حال فرض کنید که در روز دهم گزارشی دریافت می‌شود که نشان‌دهنده پیشرفت قسمتی از پروژه می‌باشد.

۱. فعالیت F هفت روز از فعالیتش گذشته است.

۲. فعالیت C شروع شده و به اتمام رسیده است.

۳. فعالیت B هنوز دو روز مانده تا به اتمام برسد.

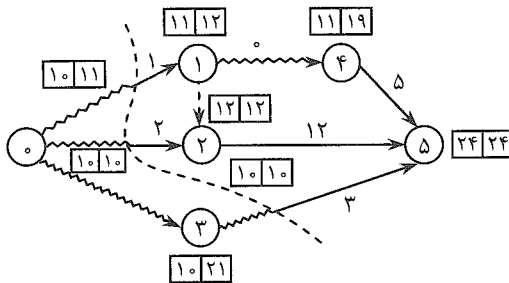
۴. فعالیت A یک روز به اتمامش باقی مانده است.

۵. فعالیت D بدون پیش‌نیازی فعالیت A به اتمام رسیده است.

و بقیه فعالیت‌ها هنوز شروع نشده‌اند.

با توجه به اطلاعات داده شده شبکه برداری را برای روز دهم به روز می‌کنیم. و دوباره محاسبات

زمانی را از ابتدا شروع می‌کنیم. فعالیت انجام شده را هم به صورت ~~~~~ نمایش می‌دهیم:



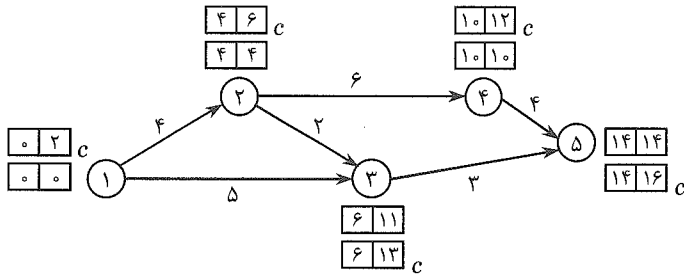
محاسبات زمانی در پروژه‌های دارای تاریخ تعیین شده برای تکمیل

موقعی ممکن است هنگام عقد قرارداد تاریخ تکمیل پروژه مشخص شده باشد و این تاریخ با زودترین

زمان ممکن برای تکمیل پروژه، که با محاسبات پسرو و پیشرو به دست آمده، یکی نباشد. تاریخ قرارداد

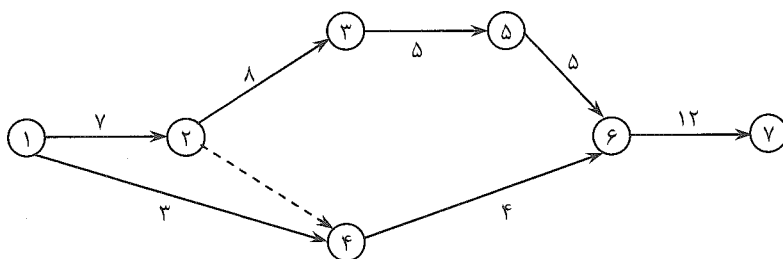
را T_c می‌نامیم و در صورتی که داشته باشیم $T_c > L (=E)$ آنگاه $L = T_c$ قرار می‌دهیم و با آن محاسبات

بازگشتی را انجام می‌دهیم. واضح است که در این حالت تمام مسیرها حتی مسیر بحرانی هم دارای شناوری خواهند شد دیگر مسیر بحرانی نداریم. در شکل زیر فرض کنید $T_c = 16$ باشد. محاسبات زمانی برگشت آن با $L_5 = 16$ شروع خواهند شد.



سوال

۱. شبکه زیر را که مربوط به یک پروژه است در نظر بگیرید. (زمان فعالیت‌ها زیر بردارها درج شده است) (زمان ختم پروژه، زودترین زمان رویداد ۴ و دیرترین زمان رویداد ۴ کدام است؟)



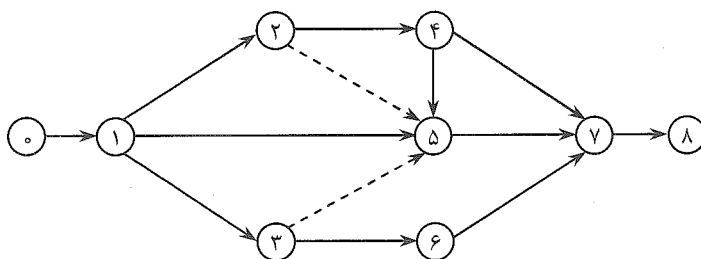
۲۵، ۷، ۲۵ (۴)

۲۱، ۷، ۳۷ (۳)

۲۵، ۳، ۳۷ (۲)

۲۱، ۳، ۲۵ (۱)

۲. شبکه زیر را در نظر بگیرید. کدام جمله در خصوص این شبکه صحیح است؟



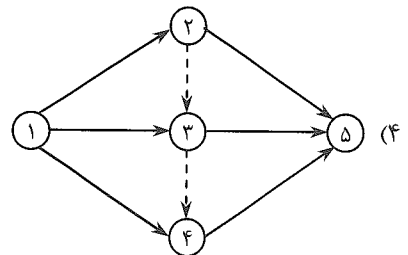
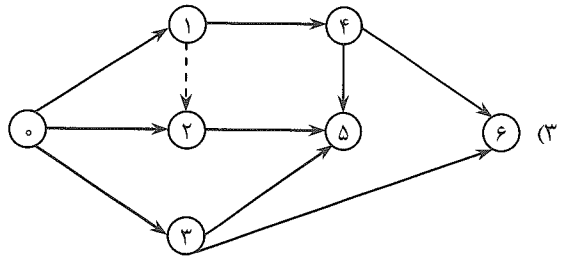
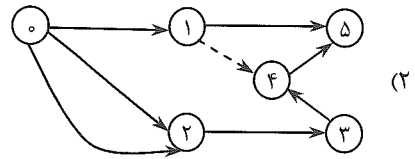
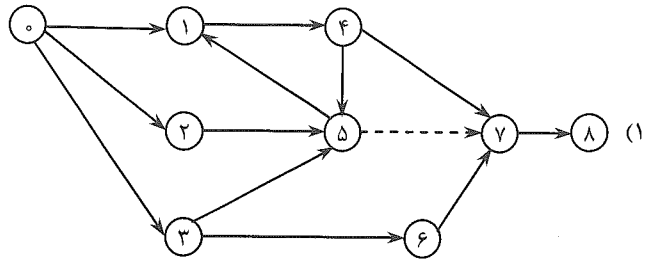
(۲) فعالیت موهومی ۳-۵ اضافی است.

(۱) فعالیت موهومی ۲-۵ اضافی است.

(۴) تمامی فعالیت‌های موهومی ضروری است.

(۳) فعالیت‌های موهومی ۳-۵ و ۲-۵ اضافی است.

۳. کدامیک از شبکه‌های زیر از نظر قوانین رسم شبکه صحیح است؟



۴. روابط زیر را در نظر گرفته و برای رسم شبکه AOA به چند فعالیت مبهمی نیاز است؟

پیش نیاز	فعالیت	
-	A	۰ (۱)
-	B	۱ (۲)
A	C	۲ (۳)
A	D	۳ (۴)
B, C	E	
B, C, D	F	
D, E	G	



۵. مسیر بحرانی به چه فعالیت‌هایی اطلاق می‌شود؟

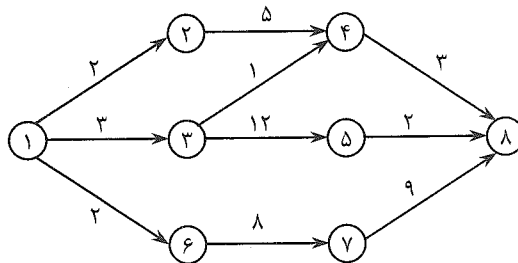
(۱) به لحاظ شروع و پایان انعطاف پذیری نداشته باشد.

(۲) بیشترین میزان شناوری را داشته باشد.

(۳) بیشترین منابع را به خود تخصیص دهد.

(۴) دارای کوتاه‌ترین مسیر از نظر زمانی باشد.

۶. شبکه زیر را در نظر بگیرید.



فرجه جمعی (Total float)، فرجه آزاد (Free float) و فرجه مستقل (Independent float)

فعالیت ۴-۲ به ترتیب عبارتند از:

(۱) ۹، ۰، -۹ (۲) ۹، ۱، ۰ (۳) ۱۲، ۱، -۹ (۴) ۹، ۰، ۰

۷. در شبکه فوق، در صورتی که زمان فعالیت ۶-۷ به اندازه ۲ واحد اضافه شود چه اتفاقی در تاریخ

تکمیل پروژه خواهد داشت؟

(۱) به اندازه دو واحد زمان تکمیل افزایش می‌یابد. (۲) به اندازه یک واحد زمان تکمیل افزایش می‌یابد.

(۳) اثری بر روی زمان تکمیل پروژه نخواهد داشت. (۴) با اطلاعات فوق نمی‌توان اظهار نظر نمود.

۸. کدام جمله الزاماً صحیح نیست؟

(۱) پروژه می‌تواند چندین مسیر بحرانی داشته باشد

(۲) پروژه می‌تواند شناوری منفی داشته باشد

(۳) پروژه می‌تواند اصلاً مسیر بحرانی نداشته باشد

(۴) دیاگرام شبکه، در پایان هر تغییر برای فعالیت‌ها تغییر نمی‌کند

۹. کدام جمله در مورد تعریف مسیر بحرانی صحیح است؟

- (۱) مسیر بحرانی، نشانگر کوتاه‌ترین مسیر در شبکه است.
- (۲) فعالیت‌های روی مسیر بحرانی شناوری محدود دارند.
- (۳) فعالیت‌های روی مسیر بحرانی دارای زودترین زمان شروع و دیرترین زمان شروع برابر هستند. همچنین نشانگر فعالیت‌هایی هستند که کوتاه‌ترین زمان ممکن را برای اتمام پروژه ایجاد می‌کنند.
- (۴) فعالیت‌های روی مسیر بحرانی دارای زودترین زمان آغاز و دیرترین زمان پایان برابر هستند به نحوی که با انجام آن فعالیت‌ها زودترین زمان اتمام پروژه به دست آید.

۱۰. با توجه به جدول زیر برای رسم شبکه AOA به چند فعالیت موهومی نیاز داریم؟

فعالیت	پیش‌نیازی	زمان	(۱)
A	-	۱۰	(۲) ۱
B	-	۱۰	(۳) ۲
C	-	۱۰	(۴) ۳
D	-	۱۰	
E	A	۸	
F	A	۶	
G	B	۵	
H	C	۱۰	
I	C	۱۰	
J	D	۸	
K	E	۶	
L	F,G,C	۹	
M	I,J	۱۰	
N	K,L	۱۵	
P	H,M	۱۰	

۱۱. در شبکه مربوط سوال قبل، زودترین زمان و دیرترین زمان اتمام پروژه عبارتند از:

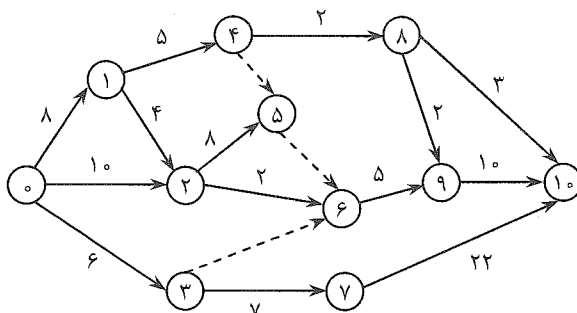
- (۱) ۳۰ و ۴۰ (۲) ۳۰ و ۳۰ (۳) ۴۰ و ۴۰ (۴) ۴۰ و ۴۵

۱۲. در شبکه دو سوال قبل، چند مسیر بحرانی وجود دارد؟

- (۱) ۰ (۲) ۱ (۳) ۲ (۴) ۳



شبکه زیر را در نظر بگیرید و زمان آغاز را صفر در نظر بگیرید. به دو سوال بعد پاسخ دهید.



۱۳. مدت زمان کل پروژه عبارتست از:

۳۵ (۴)

۳۲ (۳)

۳۰ (۲)

۲۵ (۱)

۱۴. فعالیت xy را در نظر بگیرید.

$$ES_{xy} = 15 \quad LF_{xy} = 42 \quad D_{xy} = 8 \quad TF_{xy} = ?$$

با توجه به آنکه به هر یک از رویدادهای x یا y ممکن است فعالیت‌های دیگری وارد و یا خارج شود

کدام گزینه صحیح است؟

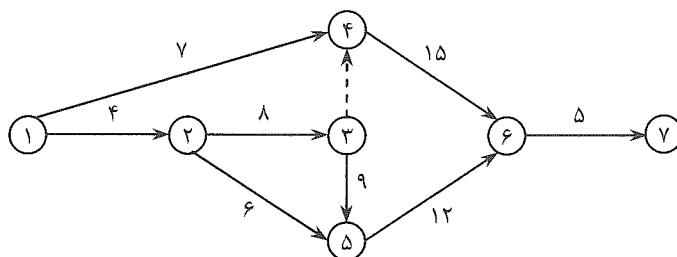
۴) اطلاعات کافی نیست.

۱۹ (۳)

۲۷ (۲)

۳۰ (۱)

۱۵. زودترین زمان انجام رویداد ۷ کدام است؟



۱۸ (۴)

۴۸ (۳)

۲۸ (۲)

۳۸ (۱)

۱۶. در یک شبکه رابطه فعالیت‌های پروژه‌ای به صورت جدول زیر می‌باشد. برای رسم شبکه AOA آن به ترتیب چند رویداد (گره)، چند فعالیت و چند فعالیت موهومی نیاز است؟

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

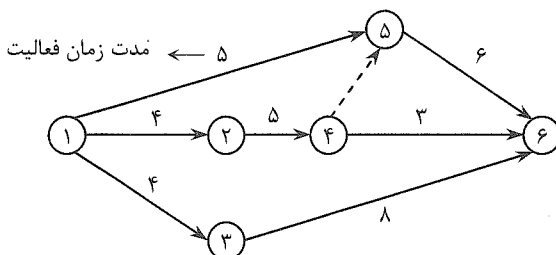
(۲) ۶ رویداد، ۶ فعالیت، ۳ موهومی

(۱) ۸ رویداد، ۶ فعالیت، ۳ موهومی

(۴) ۵ رویداد، ۶ فعالیت، ۳ موهومی

(۳) ۸ رویداد، ۶ فعالیت، ۵ موهومی

۱۷. شبکه زیر را در نظر بگیرید:



زمان مسیر بحرانی به چه میزان است؟

۱۵ (۴)

۱۳ (۳)

۱۲ (۲)

۱۱ (۱)

۱۸. در مسأله قبل، شناسایی کلی فعالیت ۴-۶ به چه میزان است؟

۳ (۴)

۲ (۳)

۱ (۲)

۰ (۱)

۱۹. در دو سوال قبل، شناسایی کل مسیر بحرانی به چه میزان است؟

۳ (۴)

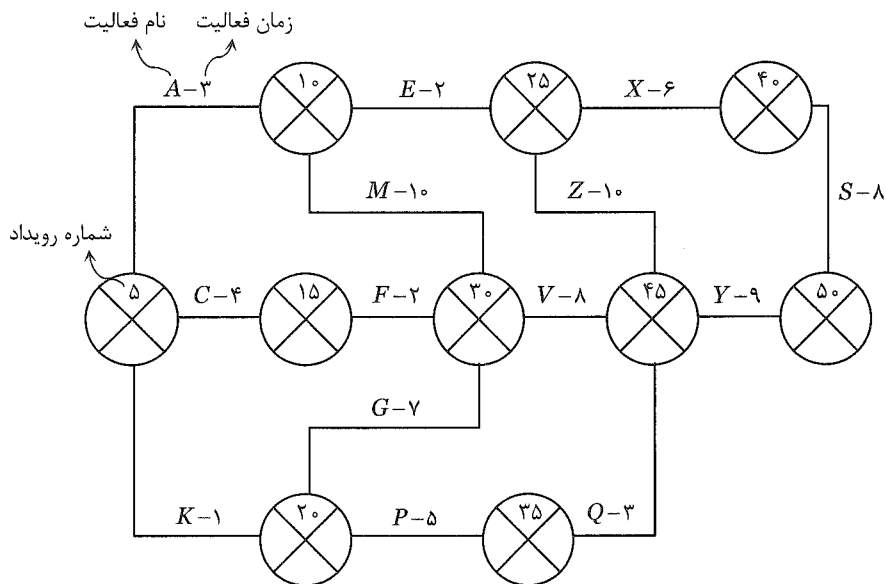
۲ (۳)

۱ (۲)

۰ (۱)



شبکه بردار زیر را در نظر بگیرید:



به دو سوال بعد پاسخ دهید.

۲۰. زمان مسیر بحرانی چند است؟

۳۶ (۴)

۳۲ (۳)

۳۱ (۲)

۳۰ (۱)

۲۱. برای فعالیت M به ترتیب از راست به چپ چند است؟

۴ و ۱۲ و ۰ و ۰

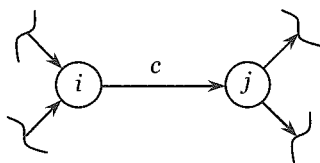
۳ و ۰ و ۰ و ۰ و ۰

۲ و ۷ و ۷ و ۰ و ۰

۱ و ۳ و ۴ و ۲

۲۲. رویدادهای i و j را در نظر بگیرید که مابین آنها فقط فعالیت c وجود دارد شناسایی آزاد فعالیت c

چند است؟



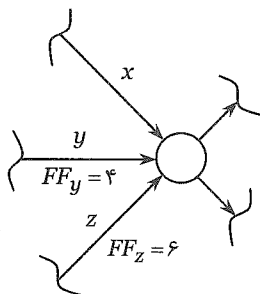
۴) قابل محاسبه نیست.

۳) $E_j + E_i$

۲) $E_j - E_i$

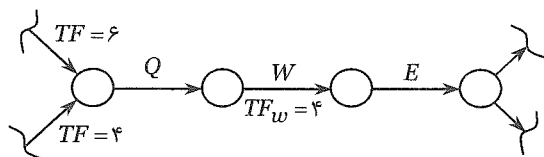
۱) صفر

۲۳. قسمتی از یک شبکه برداری را در نظر بگیرید. شنواری آزاد x کدام است؟



- (۱) صفر (۲) ۴ (۳) ۶ (۴) ۱۰

۲۴. قسمتی از شبکه برداری را در نظر بگیرید. کدام گزینه صحیح است؟



- (۱) $TF_E = 4$, $FF_E = 0$ (۲) $TF_E = 4$, $FF_E = 4$
 (۳) $TF_E = 6$, $FF_E = 0$ (۴) $TF_E = 6$, $FF_E = 6$

۲۵. کدام گزینه در مورد شنواری آزاد فعالیت n صحیح نمی‌باشد؟

(۱) شنواری آزاد فعالیت n برابر است با زودترین زمان پایان فعالیت n منهای زودترین زمان شروع فعالیت‌های بعد از فعالیت n

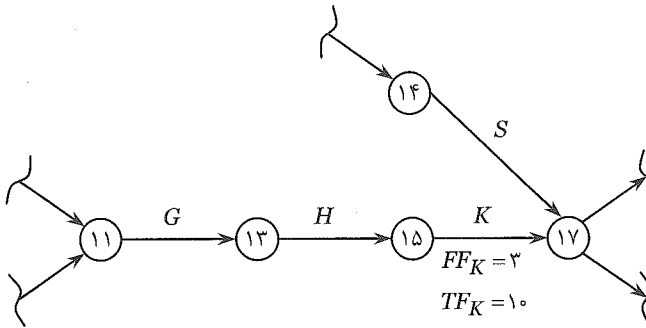
(۲) شنواری آزاد فعالیت n برابر است با زودترین زمان شروع فعالیت‌های بعد از فعالیت n منهای زودترین زمان پایان فعالیت n

(۳) شنواری آزاد فعالیت n برابر است با شنواری کل فعالیت n منهای شنواری رویداد انتهایی فعالیت n

(۴) در صورتی که n یک فعالیت بحرانی باشد شنواری آزاد آن صفر می‌باشد.



■ ■ ■ قسمتی از یک شبکه برداری را در نظر بگیرید:



به دو سوال بعد پاسخ دهید:

۲۶. TF_H و FF_H از راست به چپ کدام است؟

- (۱) ۰ و ۰ (۲) ۰ و ۰ (۳) ۱۰ و ۳ (۴) ۰ و ۱۰

۲۷. TF_G و FF_G از راست به چپ چند است؟

- (۱) ۰ و ۰ (۲) ۱۰ و ۰ (۳) ۱۰ و ۱۰ (۴) ۳ و ۱۰

۲۸. جدول پیشینازی زیر را در نظر بگیرید:

زمان	پیشینازها	فعالیت
۶	-	A
۱	A	B
۸	-	C
۵	C	D
۹	B, C	E
۱۲	D, E	F
۳	F	G

برای رسم شبکه برداری آن حداقل چند فعالیت موهومی مورد نیاز است؟

- (۱) ۳ (۲) ۲ (۳) ۰ (۴) ۱

۲۹. در سوال قبل زمان مسیر بحرانی و تعداد مسیر بحرانی است.

- (۱) ۳۲ و ۲ (۲) ۳۲ و ۱ (۳) ۳۱ و ۲ (۴) ۳۱ و ۱

۳۰. در دو سوال قبل IF_D چند است؟

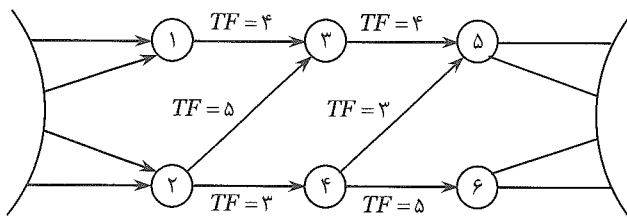
۳ (۴)

۴ (۳)

۲ (۲)

صفر (۱)

۳۱. شکل زیر را در نظر بگیرید:



در صورتی که زودترین زمان رویداد ۵ برابر ۴۰ باشد، دیرترین زمان رویداد ۵ چند است؟

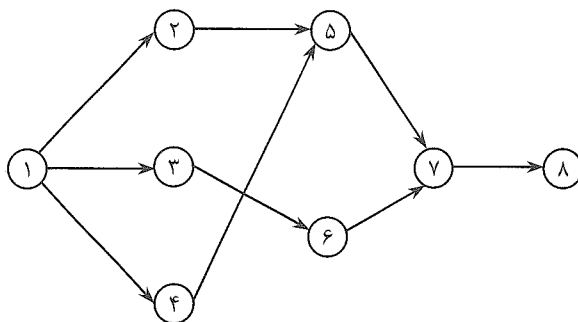
۴۵ (۴)

۴۴ (۳)

۴۳ (۲)

۴۰ (۱)

۳۲. شبکه CPM زیر را در نظر بگیرید:



در صورتی که شناوری فعالیت‌های ۱-۲ و ۱-۳ و ۱-۴ به ترتیب برابر ۰ و ۵ و ۳ باشند و فعالیت

۱-۳ به مدت ۴ روز با تأخیر شروع شود، کدام عبارت زیر صحیح می‌باشد؟

(۱) فعالیت ۶-۷ به مدت حداقل ۲ روز با تأخیر شروع می‌شود.

(۲) فعالیت ۶-۷ به مدت حداقل ۳ روز با تأخیر شروع می‌شود.

(۳) فعالیت ۶-۷ به مدت حداقل ۱ روز با تأخیر شروع می‌شود.

(۴) فعالیت ۶-۷ بدون تأخیر می‌تواند شروع شود.



۳۳. فعالیت‌های یک پروژه، به همراه زمان و پیش‌نیازشان در جدول زیر داده شده است. اگر زمان فعالیت F یک واحد افزایش یابد، در آن صورت زمان کل پروژه و تعداد مسیر بحرانی شبکه

(منابع ۹۰)

فعالیت	A	B	C	D	E	F
پیش‌نیاز	-	-	-	A	A, B	C
زمان	۷	۲	۵	۳	۵	۶

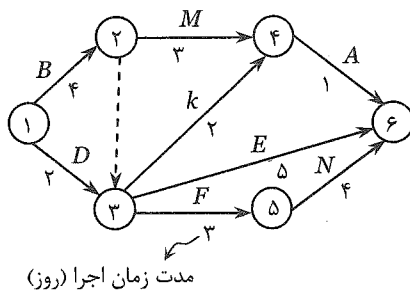
- (۱) افزایش می‌یابد، ثابت می‌ماند. (۲) افزایش می‌یابد، افزایش می‌یابد.
(۳) ثابت می‌ماند، افزایش می‌یابد. (۴) ثابت می‌ماند، ثابت می‌ماند.

(منابع ۹۰)

۳۴. کدام گزینه زیر صحیح است؟

- (۱) مسیر بحرانی به شما کمک می‌کند تا متوجه شوید چقدر زمان برای اجرای پروژه نیاز است.
(۲) دیاگرام شبکه در پایان هر تغییر، برای فعالیت‌ها تغییر می‌یابد.
(۳) پروژه هیچ گاه شناوری منفی نمی‌تواند داشته باشد.
(۴) همیشه فقط یک مسیر بحرانی وجود دارد.

۳۵. در شبکه زیر مقدار شناوری مستقل و شناوری آزاد فعالیت K به ترتیب از راست برابر است با: (منابع ۹۱)



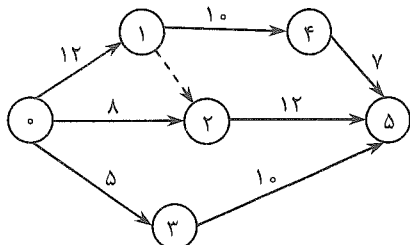
۴ و ۴ (۴)

۱ و ۴ (۳)

۴ و ۱ (۲)

۱ و ۱ (۱)

۳۶. در شبکه مقابل زودترین زمان ختم پروژه و دیرترین زمان وقوع رویداد ۲، چنانچه پروژه از مقطع قراردادی صفر شروع شود، به ترتیب عبارتند از (به ترتیب از راست به چپ) (صنایع ۹۱)



(۱) ۲۲ و ۱۵ (۲) ۲۳ و ۱۷ (۳) ۲۷ و ۱۲ (۴) ۲۷ و ۱۵

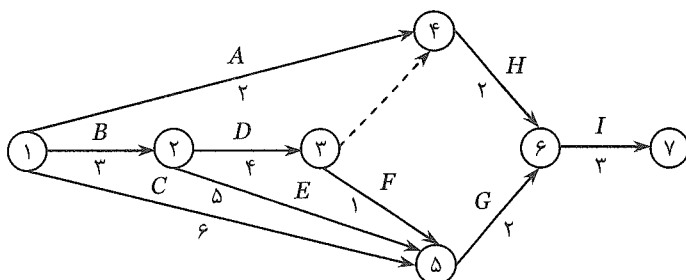
۳۷. در جدول زیر، فعالیت‌های یک پروژه به همراه زمان و پیشنیاز آن‌ها داده شده است. اگر زمان فعالیت F ، ۲ واحد افزایش یابد، در آن صورت زمان کل پروژه و مقدار مسیر بحرانی شبکه (صنایع ۹۲)

فعالیت	A	B	C	D	E	F	G
پیشنیاز	-	-	A	B	A	C, D	E, F
زمان	۴	۳	۳	۷	۹	۱	۵

(۱) ثابت می‌ماند، افزایش می‌یابد. (۲) ثابت می‌ماند، ثابت می‌ماند.

(۳) افزایش می‌یابد، ثابت می‌ماند. (۴) افزایش می‌یابد، افزایش می‌یابد.

۳۸. شبکه زیر را که مربوط به یک پروژه است در نظر بگیرید. (زمان فعالیت‌ها زیر بردار مربوط درج شده‌اند). زمان ختم پروژه، دیرترین زمان وقوع رویداد ۳ و زودترین زمان وقوع رویداد ۶، به ترتیب کدام است؟ (صنایع ۹۲)

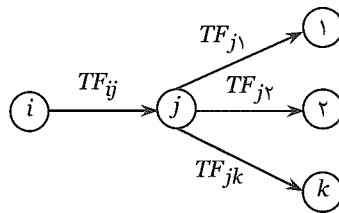


(۱) ۱۱ و ۷ و ۱۰ (۲) ۱۱ و ۱۰ و ۷ (۳) ۱۳ و ۱۰ و ۷ (۴) ۱۳ و ۷ و ۱۰



(منابع ۹۲)

۳۹. بین شنواری کل فعالیت‌های روبه‌رو، کدام رابطه برقرار است؟

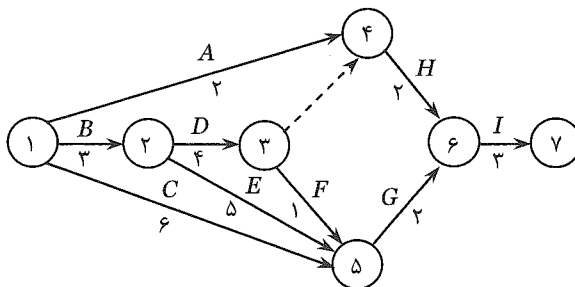


$$TF_{ij} = \max(TF_{j1}, TF_{j2}, \dots, TF_{jk}) \quad (۲) \quad TF_{ij} = (TF_{j1} + TF_{j2} + \dots + TF_{jk}) \quad (۱)$$

$$TF_{ij} = \min(TF_{j1}, TF_{j2}, \dots, TF_{jk}) \quad (۴) \quad TF_{ij} = \min(0, TF_{j1} + TF_{j2} + \dots + TF_{jk}) \quad (۳)$$

۴۰. شبکه زیر را که مربوط به یک پروژه است در نظر بگیرید. (زمان فعالیت‌ها، زیر بردار مربوطه درج شده است) زمان ختم پروژه، دیرترین زمان وقوع رویداد ۳ و زودترین زمان وقوع رویداد ۶ به ترتیب

(منابع ۹۳)



۷، ۱۰، ۱۳ (۴)

۱۰، ۷، ۱۳ (۳)

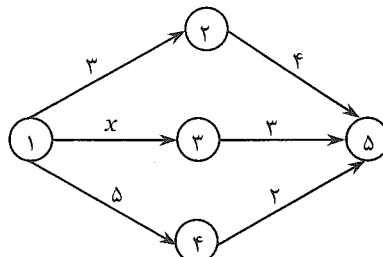
۷، ۱۰، ۱۱ (۲)

۱۰، ۷، ۱۱ (۱)

۴۱. در شبکه زیر، شنواری کل فعالیت ۱-۳ کدام است؟ (توجه شود که اعداد روی کمان نشانگر زمان

(منابع ۹۴)

فعالیت بوده و مسیر ۱-۳-۵ مسیر غیربحرانی پروژه است.)



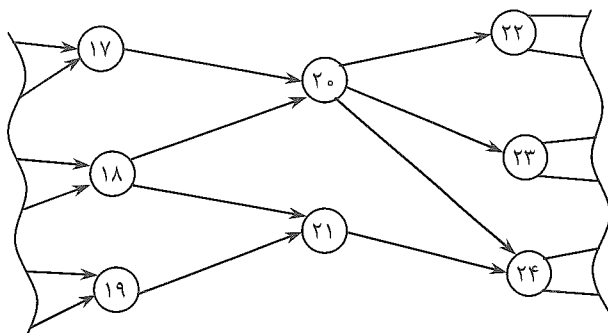
$$0 < TF < 4 \quad (۴)$$

$$TF \leq 4 \quad (۳)$$

$$TF \geq 4 \quad (۲)$$

$$TF = 4 \quad (۱)$$

۴۲. قسمتی از شبکه برداری پروژه‌ای ارائه شده است. می‌دانیم شناوری کل فعالیت $۱۷-۲۰$ ($TF_{۱۷-۲۰}$) برابر ۴ و $TF_{۱۸-۲۰}=۸$ و $TF_{۱۹-۲۰}=۳$ و همچنین زودترین زمان وقوع رویداد ۲۰ ($E_{۲۰}$) برابر ۳۵ می‌باشد. با توجه به مطالب ارائه شده، کدام رابطه صحیح نمی‌باشد؟ (منابع ۹۴)

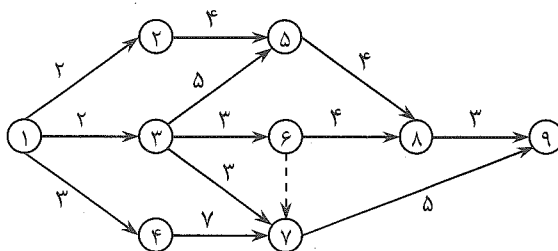


(۲) $FF_{۱۷-۲۰}=۰$ شناوری آزاد فعالیت $۱۷-۲۰$

(۱) $TF_{۲۰-۲۴}=۳$

(۳) $SF_{۲۰-۲۲}=۵$ شناوری ایمنی فعالیت $۲۰-۲۲$ (۴) $LS_{۲۰-۲۲}=۴۳$ دیرترین زمان شروع فعالیت $۲۰-۲۲$

۴۳. شبکه برداری پروژه زیر را در نظر بگیرید؛ که زمان فعالیت‌ها بر روی هر بردار نمایش داده شده است. زمان فعالیت‌های ۸-۹ و ۷-۹ به دلایل فنی به یکدیگر وابسته‌اند؛ یعنی در اثر افزایش یک واحدی زمان فعالیت ۸-۹، لازم است به زمان فعالیت ۷-۹، $۰/۵$ واحد اضافه شود. حداکثر میزانی که می‌توان زمان فعالیت ۸-۹ را افزایش داد به طوری که مسیر بحرانی شبکه تغییر نکند و حداقل مدت زمان تکمیل پروژه در این حالت، به ترتیب کدام است؟ (منابع ۹۵)



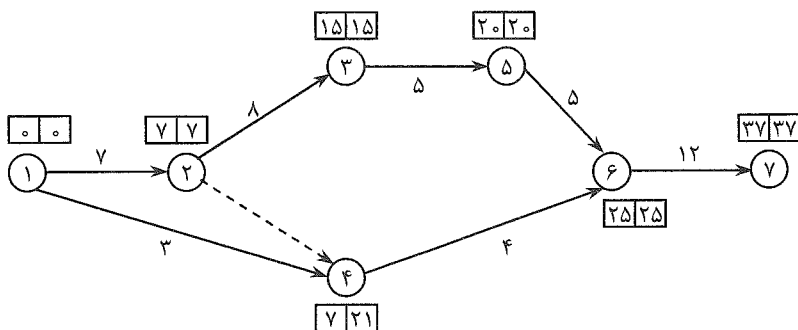
(۴) $۱/۵$ و $۱۵/۷۵$

(۳) ۲ و ۱۶

(۲) ۱ و $۱۵/۵$

(۱) ۱۵ و ۱

۱. گزینه ۳



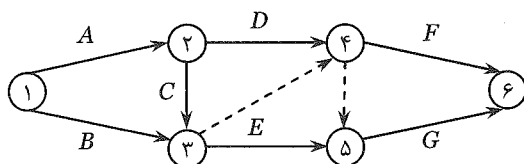
۲. گزینه ۱

فعالیت موهومی ۳-۵ نشان می‌دهد که فعالیت ۵-۷ وابسته به فعالیت ۱-۳ است و اگر حذف گردد این وابستگی نشان داده نمی‌شود. فعالیت موهومی ۲-۵ نشان می‌دهد که فعالیت ۵-۷ وابسته به فعالیت ۱-۲ است که اگر حذف گردد این وابستگی از طریق فعالیت ۲-۴ و ۴-۵ نشان داده می‌شود بنابراین این فعالیت موهومی اضافی است.

۳. گزینه ۴

در گزینه ۱ بین فعالیت‌های ۱-۴-۵ حلقه وجود دارد.
در گزینه ۲ بین رویدادهای ۰ و ۲، دو ارتباط وجود دارد.
در گزینه ۳ دو گره پایانی ۶ و ۵ وجود دارد.

۴. گزینه ۳

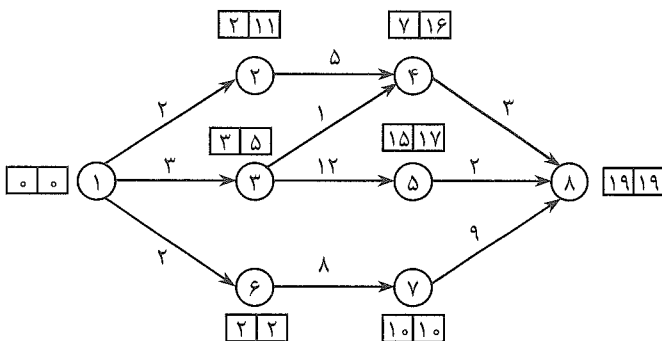


با دو فعالیت موهومی می‌توان شبکه را رسم نمود.

۵. گزینه ۱

از آنجایی که مسیر بحرانی شناوری صفر دارد از نظر شروع و پایان حداقل انعطاف‌پذیری را دارد.

۶. گزینه ۴



$$\text{Total Float} = 16 - 2 - 5 = 9$$

$$\text{Free Float} = 7 - 2 - 5 = 0$$

$$\text{Independent Float} = 7 - 11 - 5 = -9 \Rightarrow \min\{0, -9\} = 0$$

لازم به ذکر است که شناوری مستقل منفی، صفر در نظر گرفته می‌شود.

۷. گزینه ۱

از آنجایی که مسیر بحرانی ۸-۷-۶-۱ مسیر بحرانی است، دو واحد افزایش در زمان فعالیت منجر به افزایش در زمان کلی پروژه می‌شود.

۸. گزینه ۳

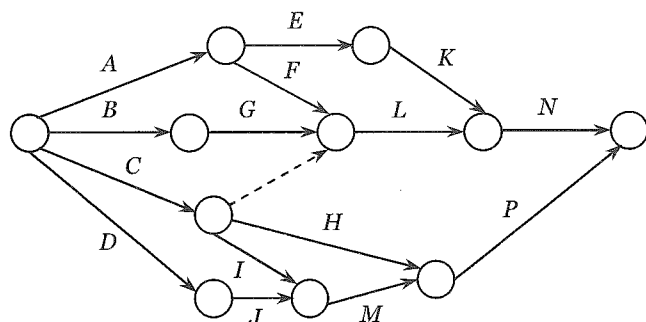
گزینه ۳ غلط است زیرا هر پروژه حتماً حداقل یک مسیر بحرانی دارد.

۹. گزینه ۳

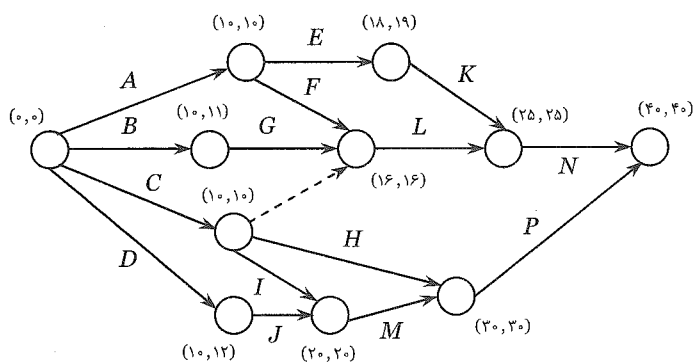
فعالیت‌های روی مسیر بحرانی دارای شناوری صفر هستند بنابراین زودترین زمان شروع آن با دیرترین زمان شروع آن برابر است. از سوی دیگر مسیر بحرانی طولانی‌ترین مسیر در شبکه است همچنین طول این مسیر کوتاه‌ترین زمان را برای تکمیل پروژه ایجاد می‌کند.

۱۰. گزینه ۲

شبکه رسم شده AOA به صورت زیر است.



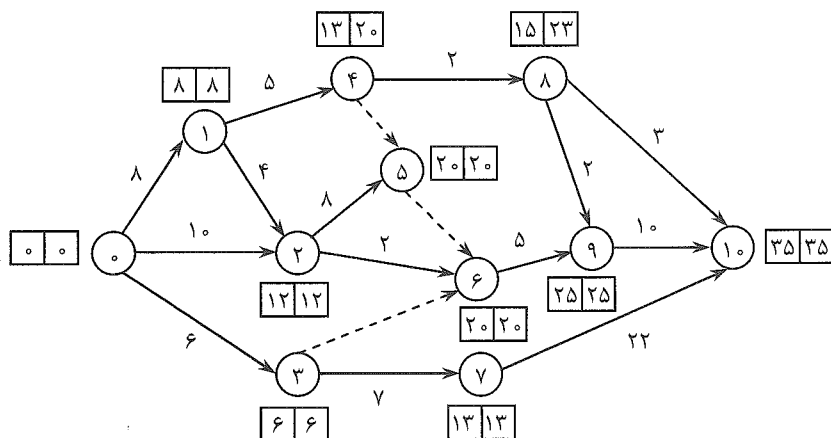
گزینه ۱۱



گزینه ۱۲

دو مسیر بحرانی $A-F-L-N$ و $C-I-M-N$ هستند.

گزینه ۱۳

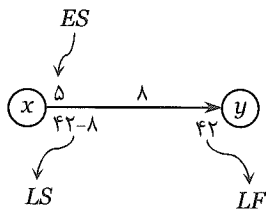


با توجه به محاسبات انجام شده، کل زمان پروژه ۳۵ است.

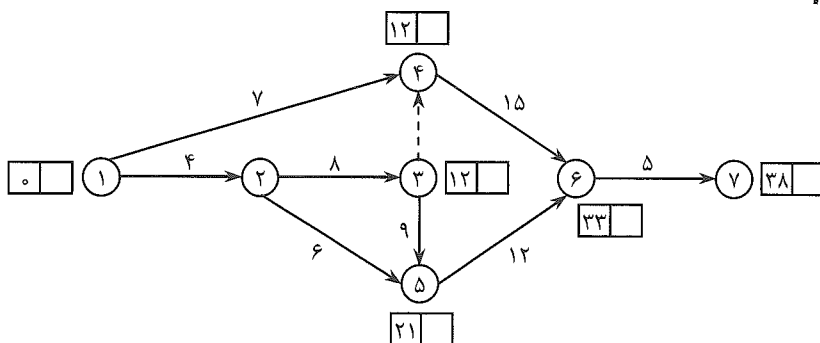
۱۴. گزینه ۳

از آنجایی که $TF_{xy} = LS_{xy} - ES_{xy}$ می‌باشد، با توجه به شکل زیر فقط کافی بود LS را به دست آوریم:

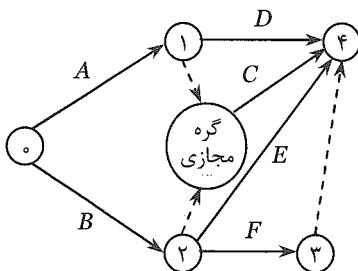
$$TF_{xy} = 34 - 15 = 19$$



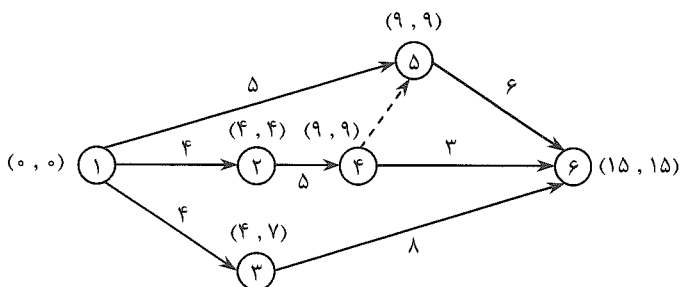
۱۵. گزینه ۱



۱۶. گزینه ۲



۱۷. گزینه ۴





گزینه ۱۸

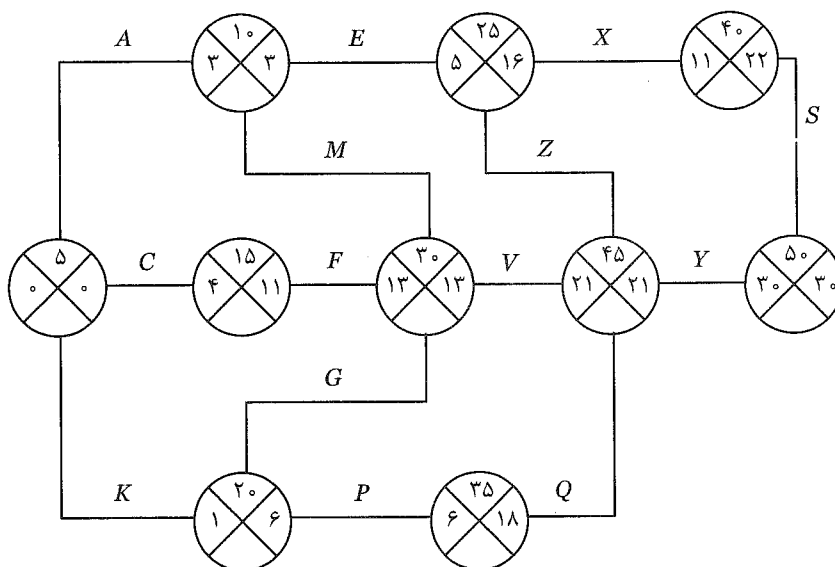
$$TF_{f-e} = L_f - E_f - D_{f-e} = 15 - 9 - 3 = 3$$

گزینه ۱۹

همواره تمامی شناوری‌های مسیرهای بحرانی برابر با صفر است.

گزینه ۲۰

ابتدا محاسبات زمانی را روی شبکه برداری انجام می‌دهیم.



گزینه ۲۱

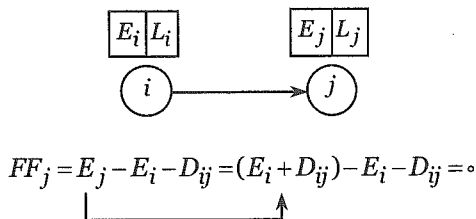
$$TF_M = 13 - 3 - 10 = 0$$

چون $IF, SF, FF \leq TF$ می‌باشند پس همگی شناورهای صفر می‌باشند.

طبق محاسبات سوال قبل گزینه (۳) صحیح است.

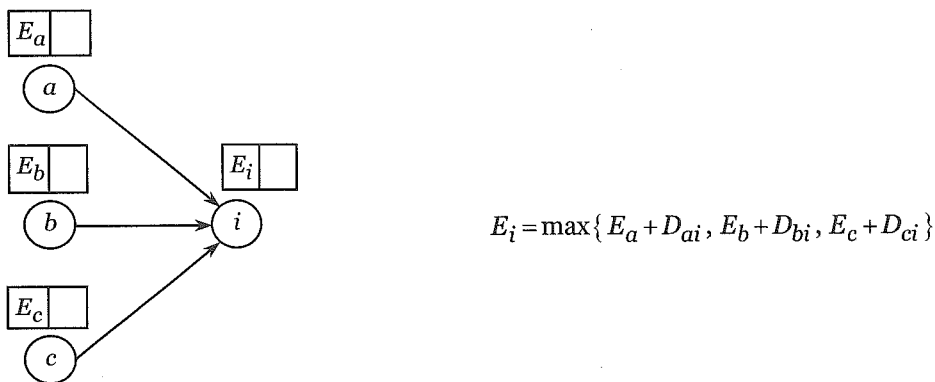
۲۲. گزینه ۱

نکته. در صورتی که فقط یک فعالیت به یک رویداد وارد شده باشد $FF = 0$ می‌باشد.



۲۳. گزینه ۱

نکته. در صورتی که چند فعالیت به یک رویداد وارد شده باشند، حداقل یکی از آنها $FF = 0$ دارد.



چون فعالیت‌های bi و ci دارای شنواری آزاد غیر صفر می‌باشند پس حتماً $E_i = E_a + D_{ai}$ می‌باشد و داریم:

$$FF_{ai} = E_i - E_a - D_{ai} = (E_a + D_{ai}) - E_a - D_{ai} = 0$$

۲۴. گزینه ۱

نکته. شنواری کل فعالیت‌هایی که روی یک زنجیر از فعالیت‌ها قرار دارند با هم برابر است یعنی

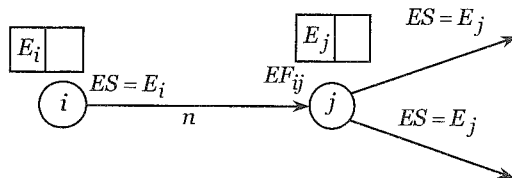
$$TF_Q = TF_W = TF_E = 4$$

و طبق نکته در دو سوال قبل $FF_E = 0$ می‌باشد.



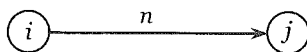
گزینه ۲۵.۱

توضیح گزینه‌های ۱ و ۲:



$$FF_{ij} = E_j - E_i - D_{ij} = E_j - (E_i + D_{ij}) = E_j - EF_n$$

توضیح گزینه ۳:



$$TF_n = L_j - E_i - D_n = L_j + (E_j - E_j) - E_i - D_n$$

$$TF_n = \underbrace{(E_j - E_i - D_n)}_{FF_n} + (L_j - E_j) \Rightarrow FF_n = TF_n - (L_j - E_j)$$

گزینه ۲۶.۱

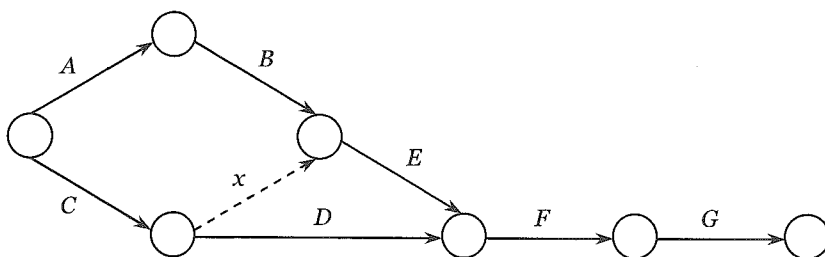
شناوری کل یک مسیر از فعالیت با هم برابر می‌باشند پس $TF_G = TF_H = 10$ می‌باشد. علاوه بر آن شناوری آزاد فعالیت‌هایی که به یک رویداد ختم می‌شوند حداقل یکی از آنها صفر است که چون به

رویدادهای ۱۵ و ۱۳ فقط یک فعالیت وارد شده‌اند پس $FF_H = FF_G = 0$

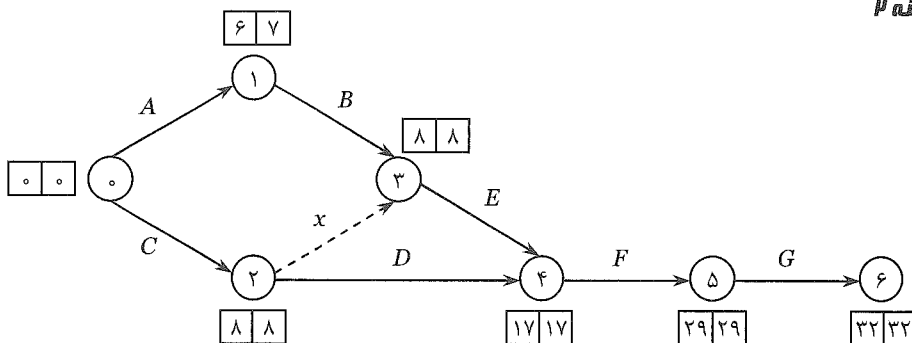
گزینه ۲۷.۲

طبق نکات ذکر شده در سوال قبل $FF_G = 0$ و $TF_G = 10$ است.

گزینه ۲۸.۴



۲۹. گزینه ۲



فقط مسیر $Cx EFG$ بحرانی می‌باشد.

۳۰. گزینه ۳

$$IF_D = E_4 - L_2 - D_D = 17 - 8 - 5 = 4$$

۳۱. گزینه ۲

چون رویداد ۵ یک رویداد پوششی می‌باشد حداکثر شناوری آن برابر است با می‌نیمم شناوری کل فعالیت‌هایی که به آن وارد می‌شوند. پس داریم:

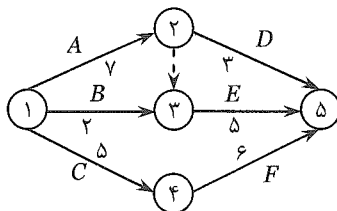
$$L_5 = E_5 + \min \{ TF_{3-5}, TF_{4-5} \} = 40 + \min \{ 4, 3 \} = 43$$

۳۲. گزینه ۴

چون شناوری ۱-۳ برابر ۵ می‌باشد پس به تأخیر افتادن ۴ روزه فعالیت ۳-۱ تأثیری بر زمان شروع ۶-۷ نخواهد داشت.

۳۳. گزینه ۳

شبکه AOA را رسم می‌کنیم. با توجه به شکل مسیر بحرانی ۱-۲-۳-۵ با زمان ۱۲ روز است. اگر زمان F ، یک روز افزایش یابد و ۷ روز شود مسیر $C-F$ نیز ۱۲ روز و بحرانی خواهد شد. بنابراین با افزایش زمان فعالیت F زمان پروژه بدون تغییر می‌ماند ولی تعداد مسیرهای بحرانی افزایش خواهد یافت.





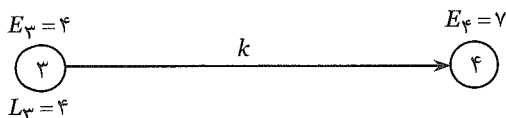
گزینه ۳۴

گزینه (۲) غلط می‌باشد. زیرا دیاگرام شبکه با تغییر در زمان فعالیت‌ها، تغییر نمی‌کند و شکل شبکه همان شکل قبلی خواهد بود.

گزینه (۳) غلط می‌باشد. زیرا شبکه می‌تواند شنواری منفی داشته باشد.

گزینه (۴) غلط می‌باشد. زیرا هر شبکه حداقل یک مسیر بحرانی دارد و می‌تواند حتی بیش از یک مسیر بحرانی داشته باشد.

گزینه ۳۵



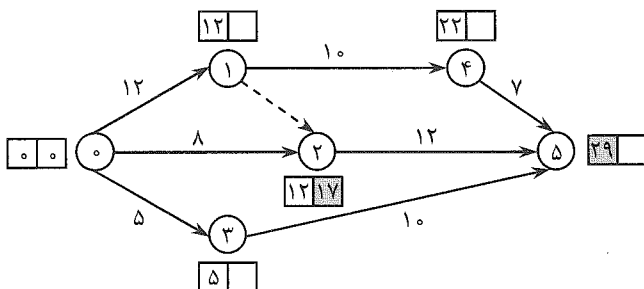
محاسبات زمانی را روی شبکه انجام دهید در مورد فعالیت K به مقادیر نوشته شده روی فعالیت فوق نیاز داریم:

$$IF_K = IF_{34} = E_4 - D_{34} - L_3 = 7 - 2 - 4 = 1$$

$$FF_K = FF_{34} = E_4 - D_{34} - E_3 = 7 - 2 - 4 = 1$$

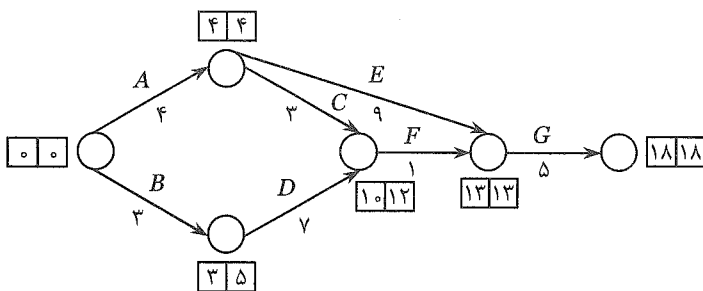
گزینه صحیح ندارد.

محاسبات زمانی را روی شبکه انجام می‌دهیم:



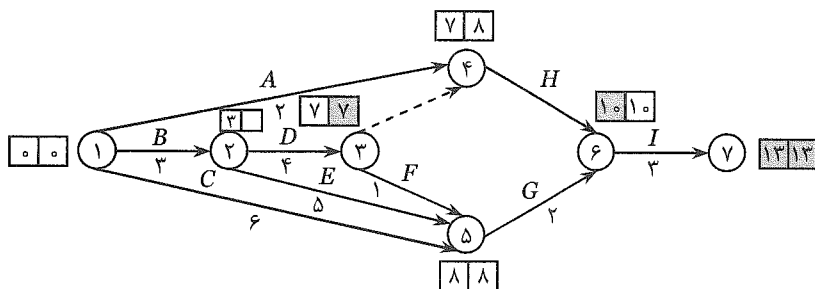
همان طوری که ملاحظه می‌شود مدت زمان پروژه ۲۹ می‌باشد که در گزینه‌ها موجود نیست.

۳۷. گزینه ۱



مسیر بحرانی A-E-G می‌باشد. در صورتی که به زمان F، ۲ واحد اضافه شود. چون F در مسیر بحرانی نمی‌باشد پس زمان بحرانی همان ۱۸ باقی می‌ماند ولی مسیر B-D-F-G هم بحرانی خواهد شد. پس زمان مسیر بحرانی ثابت می‌ماند ولی مقدار (تعداد) مسیر بحرانی افزایش خواهد یافت.

۳۸. گزینه ۴



خانه‌های تیره شده همان اعدادی می‌باشند که در صورت سوال خواسته شده‌اند.

۳۹. گزینه ۴

به نکات داخل فصل در مورد شناسایی دقت شود.

۴۰. گزینه ۳

مسیر بحرانی ۱-۲-۵-۶-۷ و ۱-۲-۳-۵-۶-۷ با زمان ۱۳ روز می‌باشد.

توجه! به حل دو سوال قبل دقت شود.



۴۱. گزینه ۴

از آنجاییکه مسیر ۱-۳-۵ مسیر بحرانی نمی باشد لذا مدت زمان این مسیر، از مدت زمان دو مسیر دیگر یعنی ۱-۲-۵ و ۱-۴-۵ کمتر می باشد. بنابراین خواهیم داشت:

$$x + 3 < 7 \Rightarrow x < 4$$

از سوی دیگر از آنجاییکه این فعالیت یعنی ۱-۳ موهومی نمی باشد، لذا مدت زمان آن از صفر بیشتر می باشد بنابراین $x < 4$. بنابراین شناوری جمعی فعالیت ۱-۳ عبارتست از $7 - 3 - x$ یعنی $4 - x$ که با توجه به آنکه $x < 4$ می باشد در نتیجه $TF < 4$.

۴۲. گزینه ۲

$$\min\{TF_{17-20}, TF_{18-20}\} = \min\{TF_{20-22}, TF_{20-23}, TF_{20-24}\}$$

$$\Rightarrow \min\{4, 3\} = \min\{8, 4, TF_{20-24}\} \Rightarrow TF_{20-24} = 3$$

$$FF_{17-20} = TF_{17-20} - \min\{TF_{17-20}, TF_{18-20}\} \Rightarrow FF_{17-20} = 4 - \min\{3, 4\} = 1$$

$$SF_{20-22} = 5$$

$$TF_{20-22} = LS_{20-22} - ES_{20-22} = LS_{20-22} - E_{20} \Rightarrow 8 = LS_{20-22} - 35 \Rightarrow LS_{20-22} = 43$$

۴۳. گزینه ۳

مسیر بحرانی شبکه ۱-۴-۷-۹ با زمان $T = 15$ می باشد. مسیر ۱-۳-۵-۸-۹ دارای زمان $T = 14$ می باشد. در صورتی که ۸-۹ دو واحد زمان افزایش پیدا کند و زمان آن از ۳ به ۵ تغییر کند، زمان ۷-۹ به ۶ تغییر می کند و زمان مسیر بحرانی ۱-۴-۷-۹ برابر $T = 16$ خواهد شد ولی زمان ۱-۳-۵-۸-۹ هم زمانش برابر $T = 16$ خواهد شد ولی همچنان مسیر ۱-۴-۷-۹ بحرانی می باشد. ولی در صورتی که ۸-۹ بیشتر از ۲ واحد افزایش یابد مسیر ۱-۳-۵-۸-۹ بحرانی خواهد شد و مسیر ۱-۴-۷-۹ از بحرانی بودن خارج خواهد شد.

فصل ۳

شبکه‌های گره‌ای (AON)

علاوه بر شبکه‌های برداری برای نشان دادن فعالیت‌ها و وابستگی‌های بین آنها، روش‌های دیگری نیز ابداع گردیدند، که در مقایسه با شبکه‌های برداری، دارای کاربردهای بهتر و مناسب‌تر می‌باشند. شبکه‌های گره‌ای^۱ روش مناسب‌تری برای نشان دادن رابطه بین فعالیت‌های پروژه و وابستگی بین آنها می‌باشد. شبکه‌های پیش‌نیازی^۲ توسعه گسترده‌ای به شبکه‌های گره‌ای بوده و از این روش الهام گرفته است.

در روش‌های برداری برای نمایش شبکه، فعالیت‌های پروژه به وسیله بردارها نمایش داده می‌شد، و گره‌ها فقط محل تقاطع بردارها را نمایش می‌داد که آن را "رویداد" یا لحظات تکمیل و یا شروع فعالیت‌ها بودند. در نمودارهای گره‌ای، فعالیت‌ها به وسیله گره‌ها نمایش داده می‌شوند و ارتباط بین فعالیت‌ها توسط بردارها نشان داده می‌شود. شبکه‌های گره‌ای (AON) نمادهای رایج دیگری هم به نام *MOP*^۳ یا *MPM*^۴ دارد.

^۱ Activity On Node (AON)

^۲ Precedence Network (PN)

^۳ Method Of Potential

^۴ Metra Potential Method



در شبکه‌های برداری تنها یک رابطه وابستگی "پایان به شروع"^۱ (FS) وجود دارد ولی در شبکه‌های گره‌ای رابطه‌های زیر بین فعالیت‌ها وجود دارد.

وابستگی‌های موجود در شبکه‌های گره‌ای:

۱. پایان به شروع (FS)

۲. شروع به شروع (SS)

۳. پایان به پایان (FF)

۴. شروع به پایان (SF)

همان طوری که ذکر شد در شبکه‌های برداری فقط رابطه شماره ۱ وجود دارد به همین قدرت عمل شبکه‌های گره‌ای از برداری بالاتر می‌باشد زیرا ۳ رابطه دیگر در آنها قابل بررسی می‌باشد. برای عمل ممکن است شروع یک فعالیت صرفاً وابسته به پایان فعالیت یا فعالیت‌های پیش‌نیازی نباشد. بلکه ممکن است شروع یک فعالیت بعد از گذشت مدتی از شروع فعالیت پیش‌نیاز خودش باشد ولی پایان آن حتماً باید بعد از مدتی پس از پایان فعالیت پیش‌نیازی باشد.

رسم شبکه‌های گره‌ای از شبکه‌های برداری بسیار ساده‌تر و راحت‌تر می‌باشد و در شبکه‌های برداری از فعالیت‌های مجازی (بردارهای مجازی) برای نشان دادن ارتباط بین فعالیت‌ها استفاده می‌شد، که در شبکه‌های گره‌ای از چنین کمان‌هایی استفاده نمی‌شود.

برای درک بهتر وابستگی‌های بین فعالیت‌های ذکر شده به صورت

FS = Finish to Start

SS = Start to Start

FF = Finish to Finish

SF = Start to Finish

مثال‌هایی را ذکر می‌کنیم.

¹ Finish to Start

F_{ASB} : این تنها رابطه وابستگی در شبکه‌های AOA می‌باشد، ولی در شبکه‌های AON یکی از روابط است. یعنی شروع فعالیت B می‌تواند پس از پایان فعالیت A باشد. به عنوان مثال یک اتاقی را در نظر بگیرید که گچ کاری شده است و فعالیت گچ کاری را فعالیت A بگیرید شروع فعالیت نقاشی اتاق پس از اتمام فعالیت A یعنی گچ کاری می‌تواند باشد یعنی رابطه نقاشی با گچ کاری F_{ASB} می‌باشد.

S_{ASB} : شروع B می‌تواند پس از شروع فعالیت A انجام شود. به عنوان مثال یک اتاق را در نظر بگیرید که فعالیت A را ملاتریزی کف اتاق و فعالیت B را موزائیک کاری کف اتاق در نظر بگیرید. موزائیک کاری کف اتاق می‌تواند بلافاصله یا با کمی تأخیر از شروع فعالیت A انجام شود.

 نکته. وقتی رابطه S_{ASB} بکار می‌بریم فقط در مورد شروع B محدودیت داریم ولی در مورد پایان B هیچ محدودیتی وجود ندارد و می‌تواند قبل یا بعد از پایان فعالیت A باشد. حتی می‌تواند اتمام فعالیت B همزمان با A باشد.

F_{AFB} : در این وابستگی برای شروع B هیچ محدودیتی ندارد ولی پایان B می‌تواند بعد از پایان فعالیت A باشد. به عنوان مثال فرض کنید می‌خواهیم پس از نقاشی ساختمان، نظافت ساختمان را انجام دهیم. رابطه بین نقاشی ساختمان (فعالیت A) و تمیزکاری ساختمان (فعالیت B) F_{AFB} می‌باشد. زیرا اتمام تمیزکاری نمی‌تواند قبل از اتمام نقاشی ساختمان باشد زیرا نظافت نهایی پس از اتمام نقاشی لازم است ولی انجام نظافت ساختمان می‌تواند همزمان با نقاشی ساختمان هم باشد.

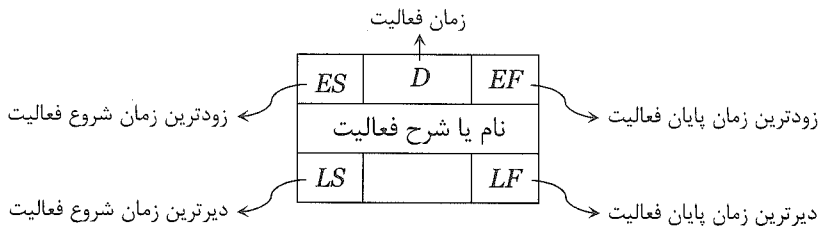
S_{AFB} : فرض کنید فعالیت A را سیستم اینترنتی ثبت نام در یک دانشگاه در نظر بگیریم و فعالیت B را سیستم قدیمی و حضوری بنامیم. فرض کنید بخواهیم فعالیت A را جایگزین B کنیم. واضح است که تا روش ثبت نام اینترنتی شروع به کار نکند سیستم حضوری جمع نخواهد شد. پس خاتمه فعالیت B باید بعد از شروع فعالیت A باشد.

روابط وابستگی در شبکه‌های PV (AON)

توضیح رابطه	نمایش در نمودار گانت	نمونه نمایش شبکه AON	نوع وابستگی
■ فعالیت B حداقل $\pm L$ واحد زمانی بعد از پایان فعالیت A می‌تواند شروع شود. ■ فعالیت B حداقل $\pm L$ واحد زمانی بعد از شروع فعالیت A می‌تواند شروع شود. ■ فعالیت B حداقل $\pm L$ واحد زمانی بعد از پایان فعالیت A می‌تواند پایان یابد. ■ فعالیت B حداقل $\pm L$ واحد زمانی بعد از شروع فعالیت A می‌تواند پایان یابد.			$F_A S_B \pm L (F_A S_B = \pm L)$ $S_A S_B \pm L (S_A S_B = \pm L)$ $F_A F_B \pm L (F_A F_B = \pm L)$ $S_A F_B \pm L (S_A F_B = \pm L)$

به مقادیر L وقفه (lag) گفته می‌شود.

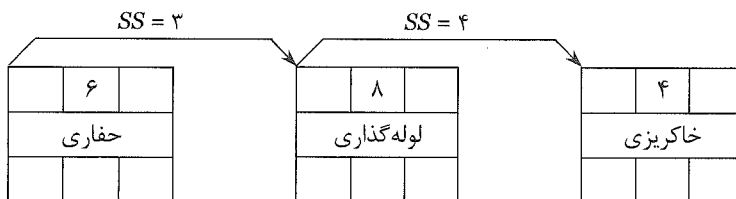
توجه! در شبکه‌های برداری (AOA) رابطه $F_A S_B$ برقرار خواهد بود و $L=0$ می‌باشد یعنی $F_A S_B = 0$ است. اطلاعات و نتیجه محاسبات مسیر پیشرو و پسرو مربوط به هر فعالیت در باکس مربوط به آن فعالیت به صورت شکل زیر نشان داده می‌شود.



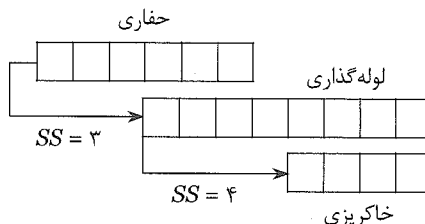
مثال. شبکه AON زیر را رسم کنید.

فرض کنید ۳ فعالیت حفاری، لوله‌گذاری و خاکریزی وجود داشته باشد. کل زمان حفاری ۶ روز - کل زمان لوله‌گذاری ۸ روز - کل زمان خاکریزی ۴ روز می‌باشد.
الف) نصف زمان فعالیت اول طی شود فعالیت دوم می‌تواند شروع شود.
ب) نصف فعالیت دوم طی شود فعالیت سوم می‌تواند شروع شود.
حل.

نصف زمان فعالیت اول ۳ و فعالیت دوم ۴ می‌باشد پس رابطه‌های فعالیت‌ها SS می‌باشد به صورت زیر:



نمودار گانت آن به صورت زیر می‌باشد.





مثال. شبکه زیر را با توجه به رابطه‌های پیش‌نیازی به صورت یک شبکه PN رسم کنید.

الف) فعالیت B و C نمی‌توانند قبل از فعالیت A آغاز شوند.

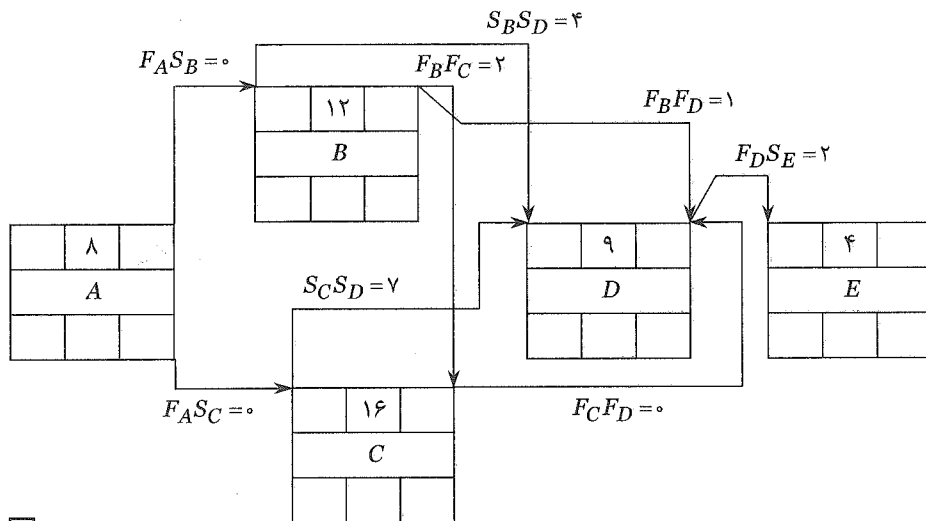
ب) فعالیت‌های B و C می‌توانند همزمان آغاز شوند، ولی لازم است فعالیت B حداقل ۲ ساعت قبل از تکمیل شود.

ج) فعالیت D می‌تواند حداقل ۷ ساعت بعد از آغاز C و حداقل ۴ ساعت بعد از آغاز B شروع و این کار نمی‌تواند قبل از تکمیل فعالیت C تکمیل شود. همچنین فعالیت D نمی‌تواند زودتر از یک ساعت بعد از تکمیل B تکمیل شود.

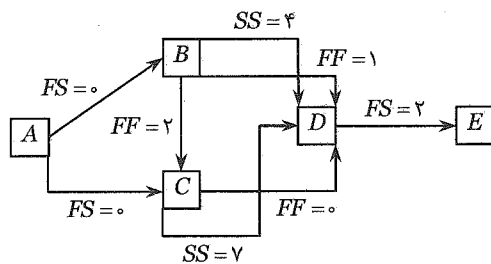
د) حداقل ۲ ساعت، فاصله زمانی بین تکمیل فعالیت D و آغاز فعالیت E لازم است.

ه) زمان‌های فعالیت‌های A و B و C و D و E به ترتیب ۸ و ۱۲ و ۱۶ و ۹ و ۴ است.

حل.



مثال. شبکه PN زیر را در نظر بگیرید. رابطه‌های پیش‌نیازی آن را بنویسید.

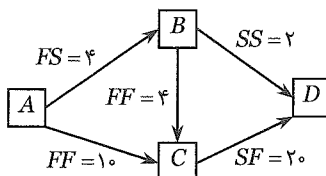


حل.

همان روابطی که در مثال قبل از الف تا د ذکر گردید برای این شکل برقرار است.



مثال. شبکه PN زیر را در نظر بگیرید. رابطه بین فعالیت‌های آن را بنویسید.



حل.

$FS_{AB}=4$: شروع فعالیت B می‌تواند حداقل 4 ساعت بعد از پایان فعالیت A باشد.

$FF_{BC}=4$, $FF_{AC}=10$: پایان فعالیت C حداقل 4 ساعت بعد از پایان فعالیت B و حداقل 10

ساعت بعد از فعالیت پایان A می‌تواند می‌باشد.

$SF_{CD}=20$, $SS_{BD}=2$: شروع فعالیت D حداقل 20 ساعت بعد از شروع B و پایان فعالیت D

حداقل 20 ساعت بعد از شروع فعالیت C است.



مثال. در یک شبکه PN فعالیت x پیش نیاز y است. اجرای فعالیت‌های x و y می‌توانند تا حداکثر

4 ساعت برخورد داشته باشند. زمان‌های x و y به ترتیب 15 و 9 ساعت است. رابطه پیش نیازی

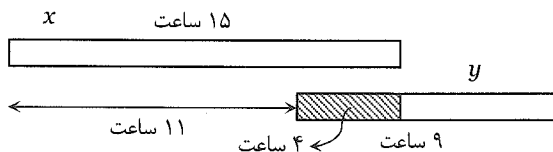
لازم کدام است؟

$$S_x S_y = 11 \quad (4) \quad F_x F_y = 11 \quad (3) \quad S_x S_y = 4 \quad (2) \quad F_x S_y = 0 \quad (1)$$

حل.

چون x پیش نیاز y می‌باشد و تا حداکثر 4 ساعت برخورد می‌توانند داشته باشند پس نمودار گانت

آن به صورت زیر است:



می‌توان نوشت $S_x S_y = 11$ یا می‌توان نوشت $F_x S_y = -4$ که در گزینه‌ها فقط گزینه (4) می‌تواند



صحیح باشد.



مثال: در یک شبکه PN فعالیت x پیش نیاز y می باشد. اجرای فعالیت های x و y می تواند تا

حداکثر ۷ ساعت همپوشانی داشته باشد. زمان های x و y به ترتیب ۲۰ ساعت و ۱۲ ساعت است،

رابطه پیش نیازی لازم کدام است؟

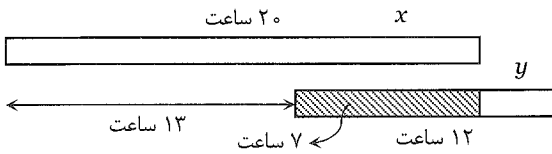
$$S_x S_y = 13 \quad (۴)$$

$$S_x S_y = 8 \quad (۳)$$

$$F_x S_y = 8 \quad (۲)$$

$$F_x S_y = 7 \quad (۱)$$

حل.



پس تنها گزینه صحیح (۴) می باشد که نشان دهنده $S_x S_y = 13$ می باشد.



مثال: در یک شبکه AON فعالیت x پیش نیاز y است. اجرای فعالیت های x و y می توانند

تا حداکثر ۷ ساعت همپوشانی داشته باشند. زمان های x و y به ترتیب ۲۰ ساعت و ۱۵ ساعت

است. رابطه پیش نیازی لازم عبارت است از:

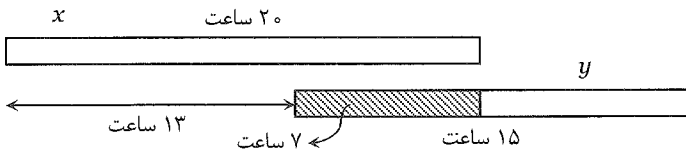
$$S_x S_y = -7 \quad (۴)$$

$$S_x S_y = 13 \quad (۳)$$

$$F_x F_y = 8 \quad (۲)$$

$$F_x F_y = 5 \quad (۱)$$

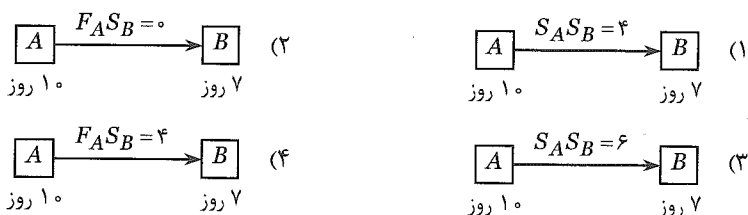
حل.



پس تنها گزینه صحیح (۳) می باشد که $S_x S_y = 13$ است.

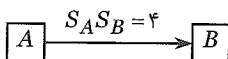


مثال: اگر بعد از عملیات رنگ آمیزی قطعات در یک خط تولید (عمل A) که ۱۰ روز طول می‌کشد و لازم است تا ظرف ۴ روز خشک شود تا بتوان عملیات بعدی یعنی مونتاژ قطعات (عمل B) را انجام داد و این عملیات مونتاژ ۷ روز زمان می‌برد. در این صورت گزینه صحیح برای نشان دادن رابطه پیش‌نیازی کدام یک از موارد زیر است؟



حل.

چون اولین قطعه بعد از ۴ روز خشک می‌شود پس بعد از ۴ روز عملیات بعدی (B) می‌تواند شروع شود.



پس تنها گزینه صحیح (۱) است.

تبدیل انواع روابط وابستگی به وابستگی SS

■ تبدیل F_AS_B به رابطه S_AS_B :

شکل زیر که F_AS_B می‌باشد را در نظر بگیرید:



حال شکل S_AS_B آن را در نظر بگیرید:



حال برای آنکه (۱) به (۲) تبدیل شود می‌توانیم بنویسیم:

$$S_AS_B = S_AF_B + D_A$$

$$S_AS_B = F_AS_B + D_A$$



■ تبدیل $F_A F_B$ به رابطه $S_A S_B$:

شکل زیر که $F_A F_B$ می باشد را در نظر بگیرید:



حال شکل $S_A S_B$ آن را در نظر بگیرید:



برای تبدیل (۱) به (۲) باید بنویسیم:

$$S_A S_B = F_A F_B + D_A - D_B$$

■ تبدیل $S_A F_B$ به رابطه $S_A S_B$:

شکل زیر را که $S_A F_B$ می باشد را در نظر بگیرید:



حال رابطه $S_A S_B$ را در نظر بگیرید:



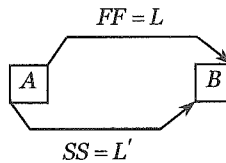
برای تبدیل (۱) به (۲) داریم:

$$S_A S_B = S_A F_B - D_B$$

امکان وجود بیش از یک رابطه وابستگی بین دو فعالیت

در بعضی مواقع ممکن است بیش از یک رابطه وابستگی بین دو فعالیت وجود داشته باشد. همان فعالیت ریختن ملات (A) و موزائیک کاری را در نظر بگیرید. همان طوری که موزائیک کاری نمی تواند قبل از شروع ملات ریختن آغاز شود قبل از ملات ریختن هم نمی تواند خاتمه یابد.

پس رابطه بین A و B به صورت زیر می‌باشد:

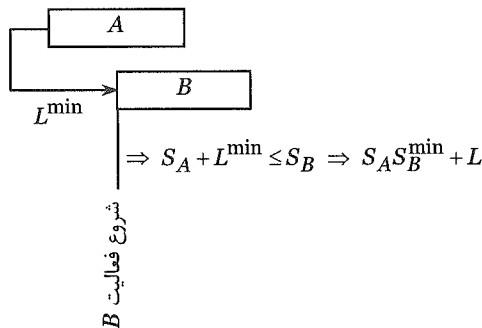


نکته. وجود بیش از یک رابطه وابستگی بین ۲ فعالیت در محاسبات دستی مجاز است ولی در محاسبات نرم‌افزاری مجاز نمی‌باشد. زیرا تمامی روابط وابستگی را می‌توان به SS تبدیل کرد.

آشنایی با روابط وابستگی حداقل و حداکثر

■ روابط وابستگی حداقلی

تا به حال تمام وابستگی‌ها بر حسب حداقل lag بیان شده بود به عنوان مثال وقتی ذکر می‌شد $(S_A S_B + L) S_A S_B = L$ بدین معنی بود که فعالیت B حداقل L واحد زمان می‌توانست بعد از شروع فعالیت A آغاز به کار کند. به شکل زیر دقت کنید:



$\Leftarrow S_A S_B^{\min} + L$ فعالیت B بعد از حداقل L واحد زمانی از شروع فعالیت A می‌تواند آغاز شود.

$\Leftarrow F_A S_B^{\min} + L$ فعالیت B بعد از حداقل L واحد زمانی از پایان فعالیت A می‌تواند شروع شود.

$\Leftarrow F_A F_B^{\min} + L$ فعالیت B بعد از حداقل L واحد زمانی از پایان فعالیت A می‌تواند پایان یابد.

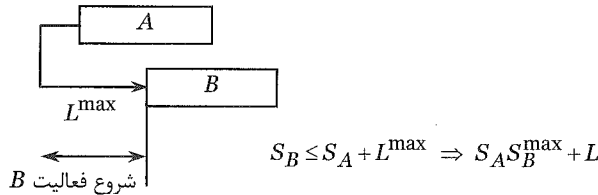
$\Leftarrow S_A F_B^{\min} + L$ فعالیت B بعد از حداقل L واحد زمانی از شروع فعالیت A می‌تواند پایان یابد.

توجه! L می‌تواند مثبت یا منفی باشد.



■ روابط وابستگی حداکثری

گاهی ممکن است روابط وابستگی به صورت حداکثری باشد. مثلاً $S_A S_B^{\max} + L$ را در نظر بگیرید. بدان معنی است که فعالیت B بعد از حداکثر L واحد زمانی از شروع فعالیت A بایستی آغاز گردد.



$S_A S_B^{\max} + L \Leftarrow$ فعالیت B بعد از حداکثر L واحد زمانی از شروع فعالیت A بایستی آغاز شود.

$F_A S_B^{\max} + L \Leftarrow$ فعالیت B بعد از حداکثر L واحد زمانی از پایان فعالیت A بایستی شروع شود.

$F_A F_B^{\max} + L \Leftarrow$ فعالیت B بعد از حداکثر L واحد زمانی از پایان فعالیت A بایستی پایان یابد.

$S_A F_B^{\max} + L \Leftarrow$ فعالیت B بعد از حداکثر L واحد زمانی از شروع فعالیت A بایستی پایان یابد.

توجه! L می تواند مثبت یا منفی باشد.

مثال. اگر اتمام فعالیت j حداقل دو روز بعد از پایان فعالیت i باشد کدام گزینه صحیح است؟

$$(۱) F_i F_j^{\min} + ۲ \quad (۲) F_i F_j^{\min} - ۲ \quad (۳) F_i F_j^{\max} - ۲ \quad (۴) F_i F_j^{\max} + ۲$$

حل.

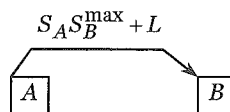
چون ذکر شده اتمام فعالیت j حداقل ۲ روز بعد از اتمام فعالیت i باشد پس $F_i F_j^{\min} + ۲$ یعنی

گزینه (۱) صحیح است.

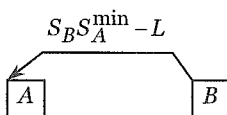


تبدیل روابط حداقلی به حداکثری و برعکس

شکل زیر را در نظر بگیرید:



برای تبدیل رابطه حداکثری به حداقلی بایستی جهت کمان را ابتدا برعکس کرد و مقدار مثبت lag را به منفی یا منفی را به مثبت تبدیل کرد.



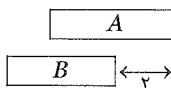
زیرا از شکل اول داریم:

$$S_B \leq S_A + L$$

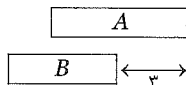
می‌توانیم آن را بنویسیم:

$$S_B - L \leq S_A$$

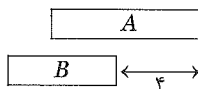
که این همان شکل دوم می‌باشد. یعنی شروع فعالیت A حداقل دو روز قبل از شروع فعالیت B می‌باشد.
 نکته: توجه شود که همواره روابط ذکر شده به صورت "بعد از" خوانده می‌شود. چه L مثبت و چه L منفی باشد. به عنوان مثال $F_A S_B^{\min} + L$ خوانده می‌شود، شروع B می‌تواند حداقل L واحد زمانی "بعد از" پایان A باشد و یا $F_A S_B^{\max} + L$ خوانده می‌شود، شروع B می‌تواند حداکثر L واحد زمانی "بعد از" اتمام A باشد. حال فرض کنید در جمله‌ای گفته شده باشد که اتمام فعالیت B حداقل دو روز قبل از اتمام فعالیت A باشد. یعنی:



چون گفته شده حداقل پس داریم:



یا



پس می‌توانیم به راحتی بنویسیم $(F_B F_A^{\min} + 2) F_B F_A^{\min}$ و یا $(F_A F_B^{\max} - 2) F_A F_B^{\max}$.

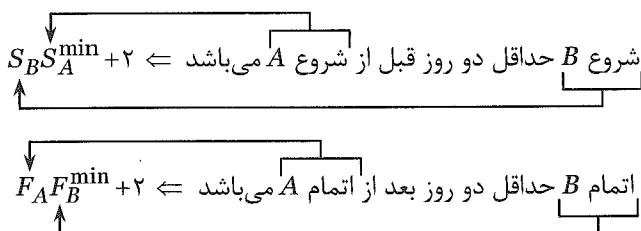
حال برای راحتی کار فرض کنید داشته باشیم:

$$\square_B \square_A^{\min} + L \Leftarrow A \text{ روز قبل از } B \text{ حداقل } L$$

$$\square_A \square_B^{\min} + L \Leftarrow A \text{ روز بعد از } B \text{ حداقل } L$$

در جاهای خالی داخل جمله‌ها هر کدام از کلمه‌های شروع و یا اتمام می‌تواند قرار بگیرد که متناظر آنها در $\square$ ها می‌تواند هر کدام از حروف S یا F قرار بگیرد.

به عنوان مثال جملات زیر را معادل‌سازی می‌کنیم:



مثال. اگر اتمام فعالیت B حداقل دو روز قبل از اتمام فعالیت A باشد، کدام یک از موارد زیر صحیح است؟

$$F_B F_A^{\min} + 2 \quad (۴) \quad F_B F_A^{\max} - 2 \quad (۳) \quad F_A F_B^{\min} \quad (۲) \quad F_A F_B^{\min} + 2 \quad (۱)$$

حل.

طبق توضیحات نکته قبل گزینه (۴) صحیح است.

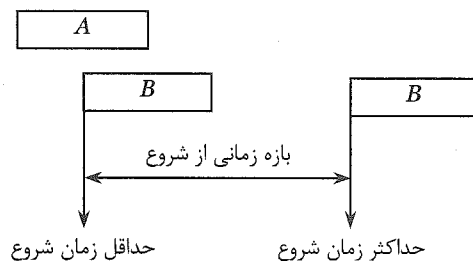


پنجره زمانی

در شرایطی خاص بین دو فعالیت، هم رابطه حداقلی و هم رابطه حداکثری برقرار خواهد بود. آنگاه در این حالت پنجره زمانی یا بازه زمانی ایجاد خواهد شد.

فرض کنید فعالیت A را بگیریم ملاتریزی و فعالیت B را بگیریم موزائیک کاری که زمان شروع آن پس از ملاتریزی حداقل ۱۰ و حداکثر ۳۰ دقیقه می‌باشد پس داریم: $S_A S_B^{\min} + ۱۰$ و $S_A S_B^{\max} + ۳۰$.

واضح است که هر دو رابطه باید تحقق یابند در نتیجه برای شروع فعالیت B محدودیت ۲ طرفه وجود دارد به طوری که شروع فعالیت B می‌تواند در بازه زمانی $[S_A + 10, S_A + 30]$ می‌باشد که آن را پنجره زمانی یا بازه زمانی می‌نامیم.



واضح است $L^{\min} < L^{\max}$ می‌باشد.

نکته. برای محاسبه مقدار پنجره زمانی، باید هر دو رابطه حداقل یا حداکثر از یک نوع رابطه باشند. مثلاً هر دو رابطه SS باشند.

مثال. زمان هر یک از فعالیت‌های A و B برابر ۱۵ روز می‌باشد در صورتی که بین این دو فعالیت $FAS_B^{\max} + 10$ و $SAS_B^{\min} + 4$ برقرار باشد. اندازه بازه زمانی چقدر است؟

حل.

ابتدا $FAS_B^{\max} + 10$ را به $SAS_B^{\max}$ تبدیل می‌کنیم.

$$SAS_B^{\max} = FAS_B^{\max} + D_A = 10 + 15 = 25$$

پس حداکثر زمان شروع B برابر ۲۵ می‌باشد و حداقل زمان شروع آن بر اساس $SAS_B^{\min} + 4$ ، ۴



می‌باشد پس پنجره (بازه) زمانی برابر $25 - 4 = 21$ می‌باشد.

محاسبات زمانی

■ محاسبات زمانی پیشرو

برای محاسبات پیشرو در جهت بردارهای وابستگی از ابتدای شبکه با طی قدم‌های زیر صورت خواهد گرفت. توجه شود که فرض بر این است که وقتی فعالیت شروع می‌شود نباید تا انتهای آن قطع گردد و یا آنکه وقفه‌ای صورت گیرد.



قدم اول- برای تمام فعالیت‌ها قرار دهید $ES_j = 0$.

قدم دوم- زودترین زمان شروع (*Earleat Start*) برای فعالیت‌ها همواره از جدول زیر محاسبه می‌گردد.

نوع رابطه بین ij	محاسبه ES_j
$S_i S_j = L$	$ES_j = ES_i + L$
$S_i F_j = L$	$ES_j = ES_i + L - D_j$
$F_i F_j = L$	$ES_j = EF_i + L - D_j$
$F_i S_j = L$	$ES_j = EF_i + L$

توجه! زودترین زمان پایان فعالیت j ام از رابطه زیر محاسبه خواهد شد.

$$EF_j = ES_j + D_j$$

بعد از آنکه ES_j به ازای تمام روابط فوق به دست آمد مانند مسیر پیشرو در *CPM* بیشترین مقدار

به دست آمده را برای ES_j در نظر بگیرید.

گام ۳- گام ۲ را آنقدر تکرار کنید تا تمام ES_j ها و به دنبال آن EF_j ها برای کلیه فعالیت‌ها به دست آید.

در انتها چون ممکن است چند فعالیت نهایی داشته باشیم زمان اتمام پروژه از رابطه زیر به دست

می‌آید:

$$T_F = \max_{\text{تمام } j \text{ ها}} \{EF_j\} \quad \text{زمان اتمام پروژه}$$

■ محاسبات زمانی پسرو

برای محاسبات پسرو در خلاف جهت بردارهای وابستگی از انتها به ابتدا حرکت می‌کنیم.

قدم اول- برای هر فعالیتی که نهایی می‌باشد (فعالیت بعدی ندارد) قرار دهید $LF_j = T_F$ (در T_F در بالا به دست آمده است).

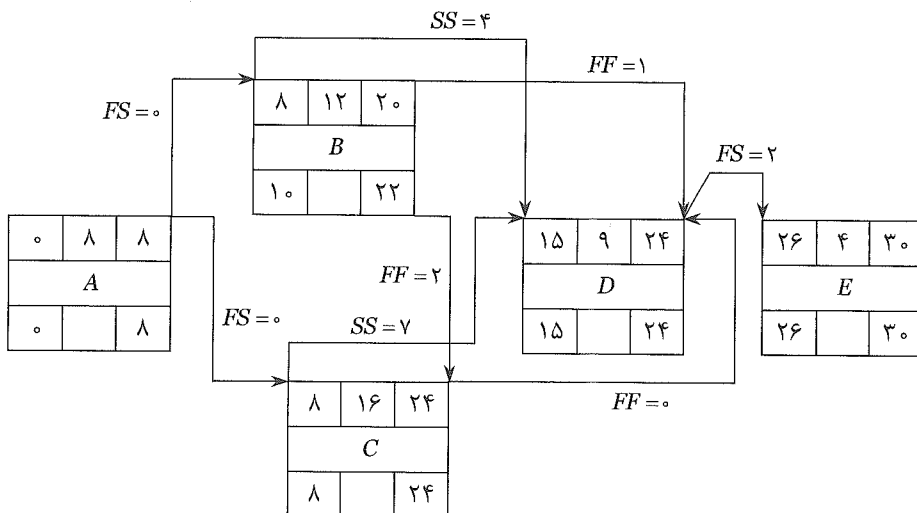
قدم دوم- محاسبه LF_j برای بقیه فعالیت‌ها، بسته به نوع وابستگی بردار بعدی فعالیت j ام یعنی jk چگونه باشد به صورت زیر محاسبه می‌شود.

نوع رابطه بین jk	محاسبه LF_j
$S_j S_k = L$	$LF_j = LS_k - L + D_j$
$S_j F_k = L$	$LF_j = LF_k - L + D_j$
$F_j S_k = L$	$LF_j = LS_k - L$
$F_j F_k = L$	$LF_j = LF_k - L$

مثال. یک شبکه PN از پنج فعالیت A و B و C و D و E با شرایط پیش‌نیازی زیر تشکیل شده است:

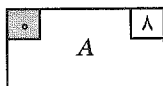
۱. کارهای B و C نمی‌توانند قبل از تکمیل فعالیت A آغاز شوند.
 ۲. فعالیت‌های B و C می‌توانند همزمان آغاز شوند ولی لازم است فعالیت B حداقل دو ساعت قبل از تکمیل C تکمیل شود.
 ۳. فعالیت D می‌تواند حداقل ۷ ساعت بعد از آغاز فعالیت C و حداقل ۴ ساعت بعد از آغاز B آغاز شود ولی این کار نمی‌تواند قبل از تکمیل فعالیت C تکمیل شود همین‌طور فعالیت D نمی‌تواند زودتر از یک ساعت بعد از تکمیل B تکمیل شود.
 ۴. حداقل دو ساعت فاصله زمانی بین تکمیل کار D و آغاز فعالیت E الزامی است.
- زمان‌های A و B و C و D و E به ترتیب ۸ و ۱۶ و ۸ و ۱۲ و ۹ و ۴ و ۳ ساعت هستند.

حل.

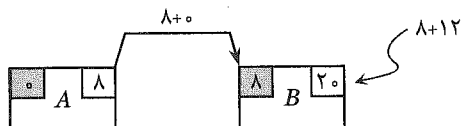




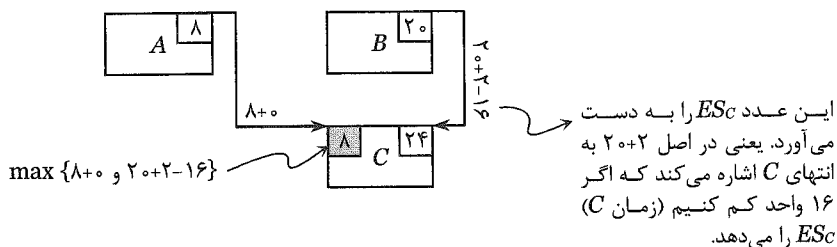
زودترین زمان شروع تمام فعالیت‌ها یعنی  و به دنبال آن زودترین زمان پایان فعالیت‌ها یعنی  را محاسبه می‌کنیم. واضح است که در فعالیت A داریم:



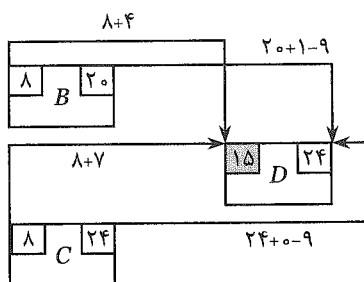
برای فعالیت B تمام روابط ورودی به آن را در نظر می‌گیریم:



حال برای C تمام روابط ورودی را در نظر می‌گیریم:

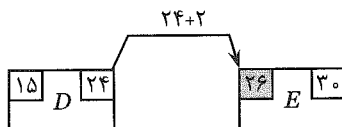


حال تمام روابط ورودی D را می‌نویسیم:



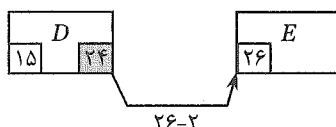
$$ES_D = \max\{8+4, 20+1-9, 8+7, 24+0-9\}$$

حال روابط ورودی E را بررسی می‌کنیم:

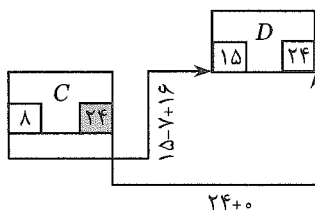


محاسبات برگشت را به صورت زیر انجام می‌دهیم. $LF_E = 30$ قرار می‌دهیم. واضح است $LS_E = 26$ می‌باشد.

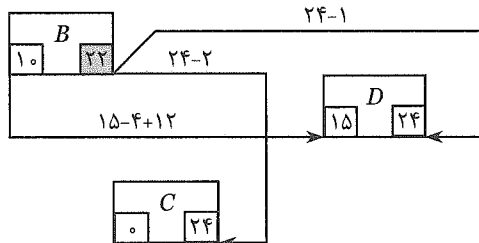
حال تمام روابط خروجی D را در نظر می‌گیریم:



تمام روابط خروجی C را در نظر می‌گیریم:

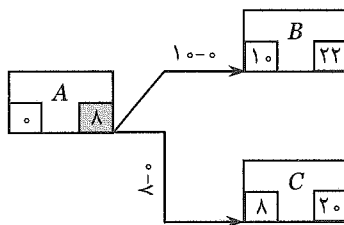


حال تمام روابط خروجی B را می‌نویسیم:



$$LF_B = \min\{24-2, 24-1, 15-4+12\}$$

و در نهایت تمام روابط خروجی A را می‌نویسیم:



توجه شود که چه در محاسبات رفت و چه برگشت هدف در ابتدا پیدا کردن خانه‌هایی می‌باشند که در شکل پررنگ شده‌اند.



مثال. در مثال قبل فرض کنید فعالیت‌های پیش‌نیازی به صورت زیر باشد. شبکه را رسم کنید.

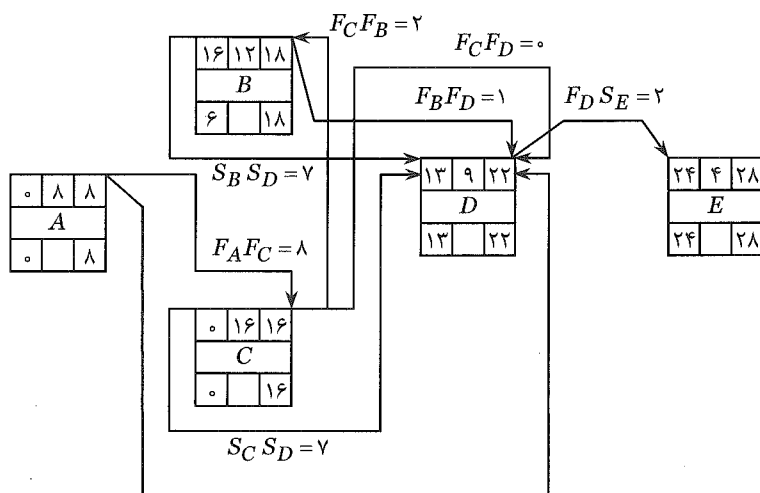
$$F_C F_B = 2 \quad F_A F_C = 8, F_A F_D = 0$$

$$F_C F_D = 0 \quad S_B S_D = S_C S_D = 7$$

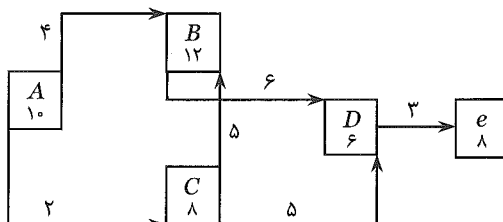
$$F_D S_E = 2 \quad F_B F_D = 1$$

سپس زودترین و دیرترین تاریخ‌های ممکن برای آغاز و پایان فعالیت‌ها را به دست آورید. (زمان هر کدام از فعالیت‌ها را زمان فعالیت‌های مثال قبل بگیرید)

حل.



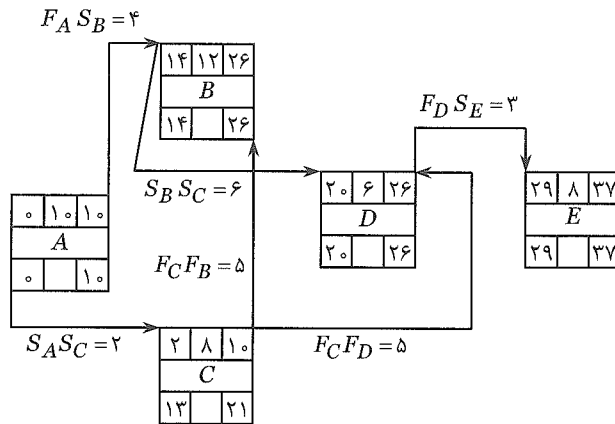
مثال. شبکه زیر را در نظر بگیرید:



الف) هر کدام از روابط را به طور کامل معنی کنید.

ب) مقادیر LS , LF , EF , ES را برای هر کدام از فعالیت‌ها محاسبه کنید.

حل.



محاسبه فرجه‌ها در شبکه‌های گره‌ای

فرجه کل: برای محاسبه فرجه کل یک فعالیت مانند A کافی است دیرترین زمان شروع را منهای زودترین زمان پایان را منهای زودترین زمان شروع یا دیرترین زمان پایان را منهای زودترین زمان شروع کنیم:

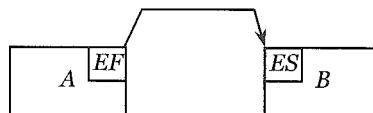
ES_A		EF_A
A		
LS_A		LF_A

$$TF_A = LS_A - ES_A$$

یا

$$TF_A = LF_A - EF_A$$

فرجه آزاد: از آنجایی که فرجه آزاد بیان می‌کند که شناوری به طوری باشد که روی فعالیت‌های بعدی اثر نگذارد پس رابطه فعالیت مورد نظر با فعالیت‌های بعدی را مدنظر قرار می‌دهیم. طبق مطالب ذکر شده رابطه بین فعالیت‌ها ۴ حالت می‌باشد برای هر ۴ حالت شناوری‌های آزاد را محاسبه می‌کنیم:

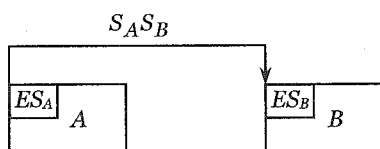


$$FF_A = ES_B - EF_A - F_A F_B$$

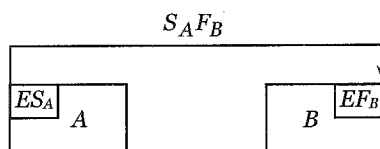


در رابطه فوق از آنجایی که فرجه آزاد با استفاده از زودترین زمان‌ها محاسبه می‌شود پس از ES_B

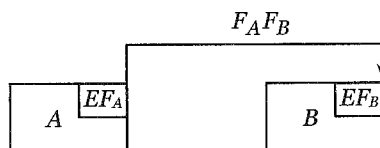
و EF_A استفاده شده است.



$$FF_A = ES_B - ES_A - S_A S_B$$



$$FF_A = EF_B - ES_A - S_A F_B$$

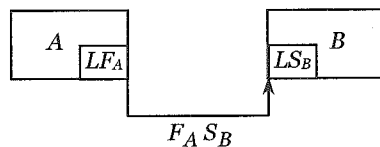


$$FF_A = EF_B - EF_A - F_A F_B$$

فرجه ایمنی: از آنجایی که فرجه ایمنی با استفاده از دیرترین زمان‌ها به دست می‌آید و به طوری است

که بر روی شناوری فعالیت‌های قبلی اثر نگذارد بنابراین برای محاسبه فرجه ایمنی فعالیت B رابطه آن

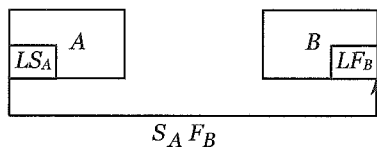
با فعالیت قبلی خود یعنی فعالیت A را به صورت زیر به دست می‌آوریم:



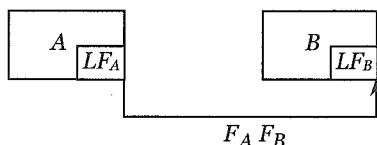
$$SF_B = LS_B - LF_A - F_A S_B$$



$$SF_B = LS_B - LS_A - S_A S_B$$



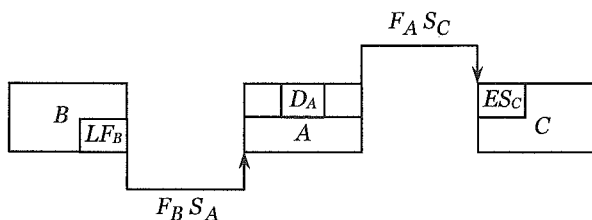
$$SF_B = LF_B - LS_A - S_A F_B$$



$$SF_B = LF_B - LF_A - F_A F_B$$

فرجه مستقل: برای محاسبه فرجه مستقل یک فعالیت گره‌ای چون باید تمام روابط بین فعالیت‌های بعد و قبل آن را در نظر بگیریم، بنابراین باید ۱۶ رابطه برای به دست آوردن فرجه مستقل بیان کنیم زیرا رابطه مثلاً فعالیت B با فعالیت‌های قبلی خودش ممکن است FS ، SS یا SF باشد و با فعالیت بعدی خودش هم ممکن است همین روابط را داشته باشد که ترکیب تمام روابط می‌تواند منجر به ۱۶ رابطه و فرمول گردد. توجه شود که فرجه مستقل به طوری بود که فعالیت B روی فرجه فعالیت‌های قبل و بعد خود هیچ اثری نگذارد.

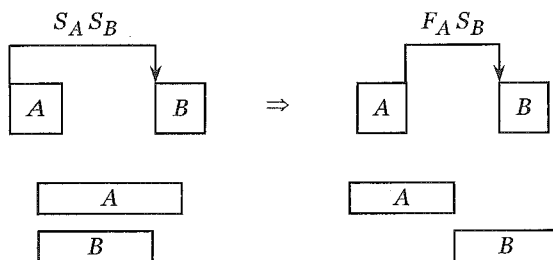
برای راحتی کار می‌توانیم تمام روابط قبل و بعد B را FS در نظر بگیریم و در صورتی که روابط غیر از این بود آنها را به FS تبدیل کنیم و از رابطه زیر برای به دست آوردن فرجه مستقل استفاده کنیم.



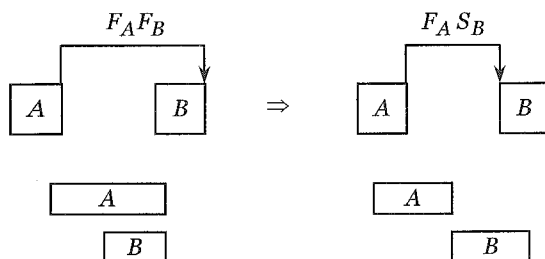
$$IF_A = ES_C - LF_B - D_A - F_B S_A - F_A S_C$$



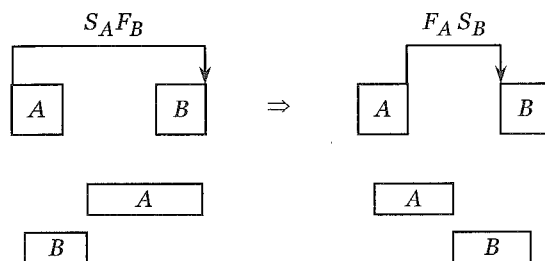
تبدیل روابط به FS:



$$F_A F_B = -D_A + S_A S_B$$

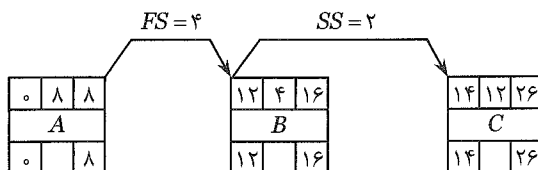


$$F_A S_B = -D_B + F_A F_B$$



$$F_A S_B = -(D_A + D_B) + S_A F_B$$

مثال. شبکه گره‌ای زیر را در نظر بگیرید:

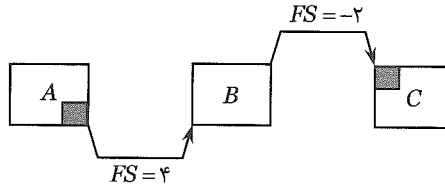


محاسبات زمانی آن انجام شده است. شنواری‌های آزاد، ایمنی و مستقل B را به صورت زیر محاسبه می‌کنیم:

$$FF_B = ES_C - ES_B - S_B S_C = 14 - 12 - 2 = 0$$

$$SF_B = LS_B - LF_A - F_A S_B = 12 - 8 - 4 = 0$$

برای محاسبه IF_B ابتدا تمام روابط را FS می‌کنیم:



$$IF_B = ES_C - LF_A - F_A S_B - F_B S_C - D_B$$

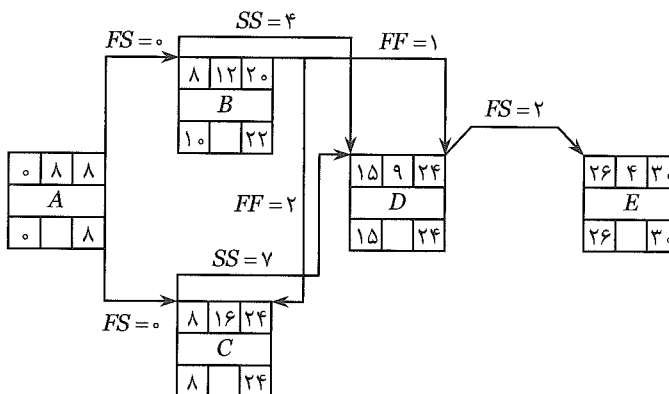
$$IF_B = 14 - 8 - 4 - (-2) - 4 = 0$$

واضح بود که تمام شنواری‌ها صفر به دست آیند. زیرا $TF_B = 0$ می‌باشد:

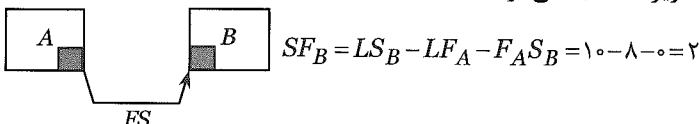
$$TF_B = LF_B - EF_B = LS_B - ES_B = 16 - 16 = 12 - 12 = 0$$

و چون $IF_B, SF_B, FF_B \leq TF_B$ می‌باشد پس $TF_B = IF_B = SF_B = FF_B = 0$ می‌باشند. □

شبکه گره‌ای زیر را در نظر بگیرید. محاسبات زمانی آن انجام شده است.

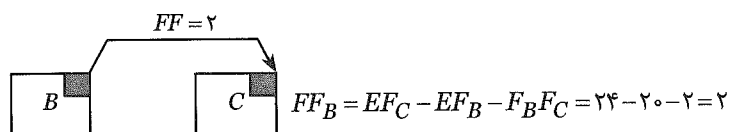
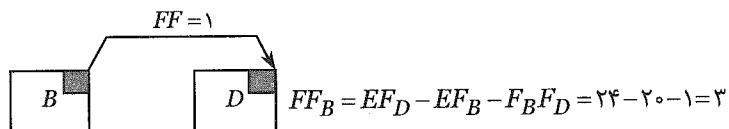
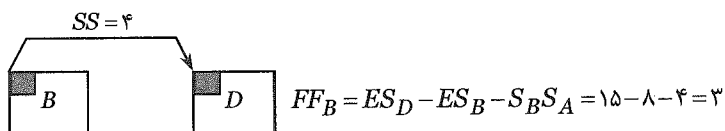


فرجه ایمنی فعالیت B به صورت زیر محاسبه می‌گردد:



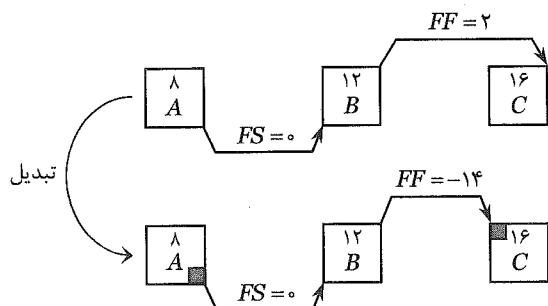


فرجه آزاد فعالیت B به صورت زیر محاسبه می‌گردد:

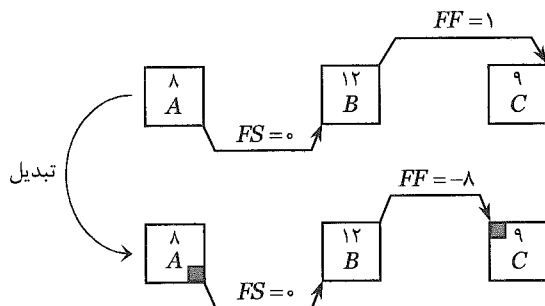


$$FF_B = \min \{3, 3, 2\} = 2$$

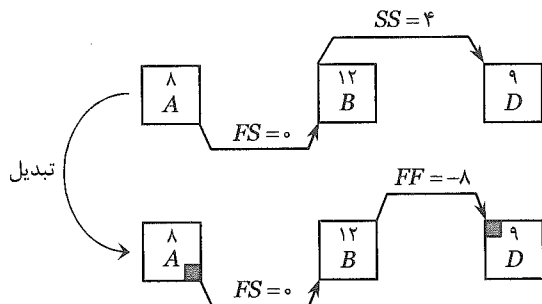
شناوری مستقل فعالیت B به صورت زیر محاسبه می‌گردد:



$$IF_B = ES_C - LF_A - D_B - F_A S_B - F_B S_C = 8 - 8 - 12 - 0 - (-14) = 2$$



$$IF_B = ES_D - LF_A - D_B - F_A S_B - F_B S_D = 15 - 8 - 12 - 0 - (-8) = 3$$



$$IF_B = ES_D - LF_A - D_B - F_A S_B - F_B S_D = 15 - 8 - 12 - 0 - (-1) = 3$$

محاسبه فرجه مستقل B در نهایت به صورت زیر می‌باشد:

$$IF_B = \min\{2, 3, 3\} = 2$$

نکته. توجه شود که فرجه‌های فعالیت‌های بحرانی همگی صفر می‌باشند و نیاز به محاسبه نیست به

عنوان مثال برای فعالیت C داریم:

$$IF_C = FF_C = SF_C = TF_C = 0$$

نکته. در صورتی که برای محاسبه فرجه مستقل فعالیت i بین فعالیت‌های قبل و بعد آن فعالیت

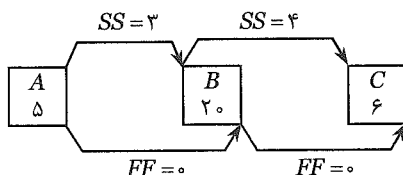
مورد نظر، چند رابطه برقرار باشد و همگی هم دارای $FS=0$ باشند آنگاه می‌توانیم فرجه مستقل را

به صورت زیر به دست آوریم:

$$IF_i = \min_k (ES_k) - \max_j (LF_j) - D_i$$

مثال. شبکه تقدیمی زیر را در نظر بگیرید. اگر شروع فعالیت B ، سه روز به تأخیر بیافتد کل زمان

پروژه چند روز به تأخیر خواهد افتاد؟



حل.

نیازی به محاسبات زمانی نمی‌باشد از آنجایی که فقط یک مسیر وجود دارد همین مسیر بحرانی هم

می‌باشد پس با تأخیر سه روزه در زمان شروع فعالیت B زمان اتمام پروژه سه روز حتماً به تأخیر

خواهد افتاد.

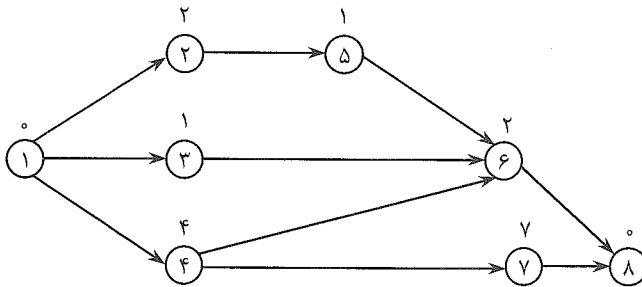


سوال

۱. کدامیک از گزینه‌های زیر صحیح است؟

- (۱) در شبکه‌های گرهی، هر بردار نشان دهنده فعالیت می‌باشد.
- (۲) در شبکه‌های گرهی، فعالیت موهومی به نحو موثری استفاده می‌شود.
- (۳) در شبکه‌های برداری، تعداد فعالیت‌ها با تعداد بردارها برابر است.
- (۴) در شبکه‌های برداری، فعالیت‌های موهومی به نحو موثری استفاده می‌شود.

۲. در شبکه گرهی زیر مدت زمان هر فعالیت بر روی گره آن نوشته شده است. اگر مدت زمان فعالیت ۶ به میزان ۶ واحد افزایش یابد کل مدت زمان پروژه



(۲) به میزان ۱ واحد افزایش می‌یابد

(۱) ثابت می‌ماند

(۴) به میزان ۲ واحد افزایش می‌یابد

(۳) به میزان ۶ واحد افزایش می‌یابد

۳. در یک شبکه گرهی، فعالیت x پیش نیاز فعالیت y است. فعالیت x, y می‌تواند به میزان ۸ واحد همپوشانی داشته باشد. مدت زمان اجرای فعالیت x ۱۵ روز و فعالیت y ، ۱۳ روز می‌باشد. کدامیک از گزینه‌های زیر می‌تواند نمایشگر ارتباط میان این دو فعالیت باشد؟

(۴) $F_x S_y = -7$

(۳) $F_x F_y = 10$

(۲) $S_x S_y = 7$

(۱) $S_x S_y = -7$

■ روابط پیش‌نیازی زیر را در نظر بگیرید.

$$\begin{array}{lllll} F_a S_b = 0 & F_a S_c = 0 & F_b F_c = 2 & S_b S_d = 4 & S_c S_d = 7 \\ F_c F_d = 0 & F_b F_d = 1 & F_d S_e = 2 & & \end{array}$$

مدت زمان فعالیت‌ها نیز به شرح جدول زیر است

فعالیت	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>d</i>	<i>e</i>
مدت زمان	۸	۱۲	۱۶	۹	۴

به ۳ سوال بعد پاسخ دهید:

۴. زودترین زمان تکمیل پروژه عبارتست از:

$$\begin{array}{llll} ۳۴ \text{ (۴)} & ۳۲ \text{ (۳)} & ۳۰ \text{ (۲)} & ۲۸ \text{ (۱)} \end{array}$$

۵. در سوال قبل دیرترین زمان پایان فعالیت *b* عبارتست از:

$$\begin{array}{llll} ۳۰ \text{ (۴)} & ۲۴ \text{ (۳)} & ۲۳ \text{ (۲)} & ۲۲ \text{ (۱)} \end{array}$$

۶. در صورتی که انجام فعالیت *b* به مدت دو روز به تأخیر بیفتد مدت زمان کل پروژه

(۱) ثابت می‌ماند (۲) به مدت یک روز افزایش می‌یابد

(۳) به مدت دو روز افزایش می‌یابد (۴) به مدت سه روز افزایش می‌یابد

۷. کدام جمله صحیح نمی‌باشد؟

(۱) $F_a S_b (+5)$ فعالیت *b* زمانی می‌تواند شروع شود که ۵ واحد زمانی از پایان فعالیت *a* گذشته باشد.

(۲) $S_a S_b (+5)$ فعالیت *b*، ۵ واحد زمانی قبل از شروع فعالیت *a* می‌تواند شروع شود.

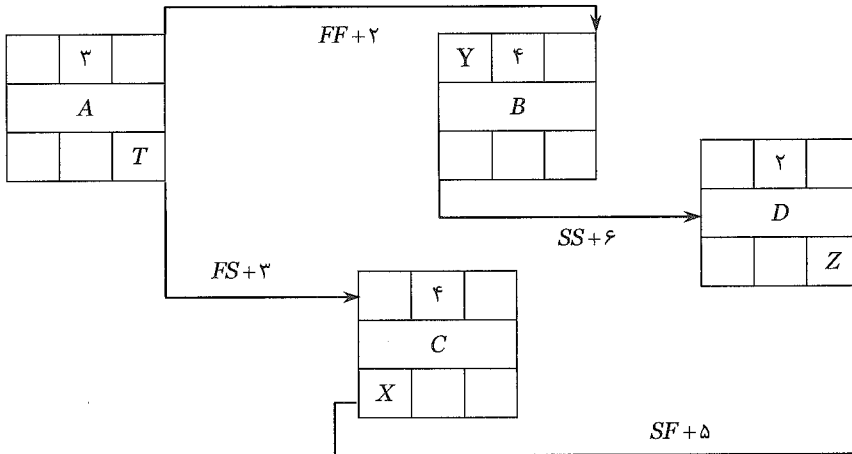
(۳) $F_a F_b (+5)$ فعالیت *b*، ۵ واحد زمانی پس از پایان فعالیت *a* می‌تواند به اتمام برسد.

(۴) $S_a F_b (+5)$ فعالیت *b* نمی‌تواند پایان یابد مگر آنکه ۵ روز از آغاز فعالیت *a* گذشته باشد.



۸. شبکه زیر را در نظر بگیرید. با فرض اینکه آغاز فعالیت A را در تاریخ صفر قرار دهیم کدام رابطه

صحیح است؟



$$T=3 \quad X=4 \quad Y=3 \quad Z=9 \quad (2)$$

$$T=3 \quad X=6 \quad Y=1 \quad Z=11 \quad (1)$$

$$T=3 \quad X=6 \quad Y=3 \quad Z=11 \quad (4)$$

$$T=3 \quad X=6 \quad Y=9 \quad Z=11 \quad (3)$$

۹. جدول فعالیت و محاسبات شبکه‌ای یک شبکه AON به صورت زیر می‌باشد. کدام یک از فعالیت‌ها

در مسیر بحرانی قرار دارند؟

Activity	Duration	ES	EF	LS	LF	FL
A	5	0	5	0	5	
B	10	5	15	7	17	
C	12	5	17	5	17	
D	8	17	25	17	25	
E	6	25	31	25	31	

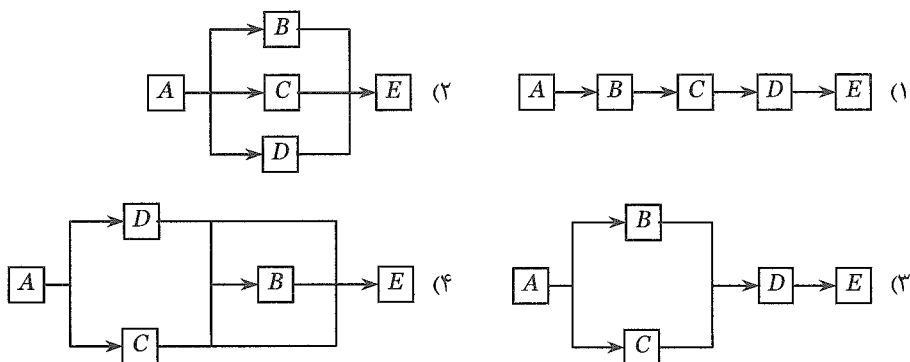
A-B-E (4)

A-C-D-E (3)

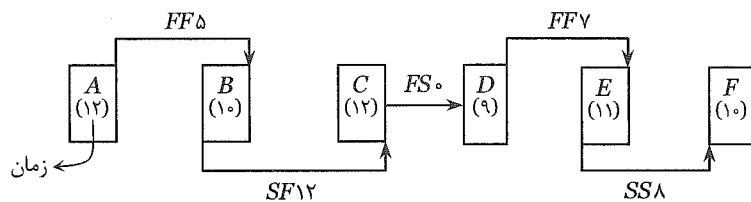
A-B-D-E (2)

A-B-C-D-E (1)

۱۰. با توجه به داده‌های سوال قبل کدام یک از شبکه‌های زیر مربوط به این جدول می‌باشد؟ (فرض بر آن است که ارتباط بین تمام فعالیت‌ها $FS=0$ باشد).



۱۱. شبکه AON زیر را در نظر بگیرید:



اندازه زمان مسیر بحرانی چند است؟

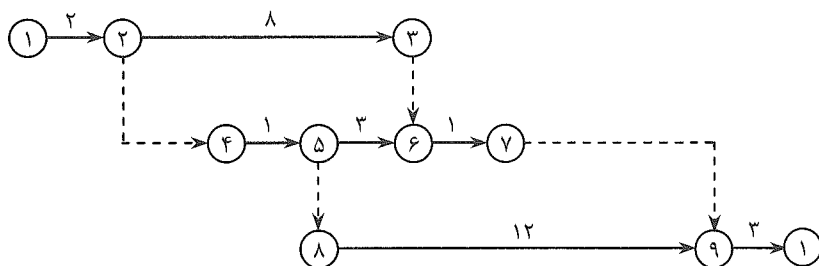
۴۱ (۴)

۳۲ (۳)

۴۲ (۲)

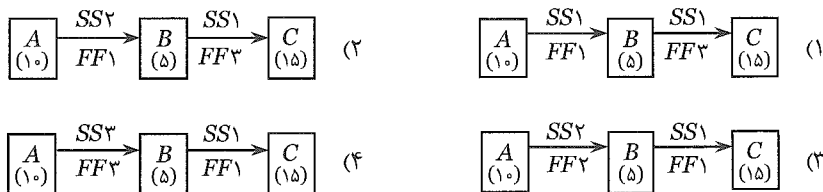
۴۰ (۱)

۱۲. شبکه AOA زیر را در نظر بگیرید:





شبکه AON مربوط به آن کدام است؟



۱۳. تفاوت اصلی میان روش شبکه‌های پیش‌نیازی (فعالیت‌ها بر روی بردار: AOA، فعالیت‌ها بر روی

گره: AON) در روش مسیر بحرانی زمان بندی کدام است؟

(۱) تفاوت در ترسیم شبکه است.

(۲) AOA یک روش قطعی است، در حالی که AON یک روش احتمالی است.

(۳) AON یک روش قطعی است در حالی که AOA یک روش احتمالی است.

(۴) AOA روش دقیق‌تری است.

■■■ شبکه زیر را با توجه به پیش‌نیازها و مدت زمان هر فعالیت در نظر بگیرید.

فعالیت	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
پیش‌نیازی	...	A	B	B	D	D	D	C,E,F,G	H	H	I	J	K,L
زمان	۳	۴	۳	۱۰	۸	۴	۶	۸	۵	۵	۴	۲	۴

به ۳ سوال بعد پاسخ دهید:

۱۴. مدت زمان کل پروژه عبارتست از:

۴۸ (۴) ۳۸ (۳) ۴۲ (۲) ۴۶ (۱)

۱۵. شبکه فوق دارای چند مسیر بحرانی می‌باشد؟

۳ (۴) ۲ (۳) ۱ (۲) صفر (۱)

۱۶. شنآوری فعالیت‌های D, F, H, J به ترتیب عبارتند از:

۲ و ۰ و ۰ و ۴ (۴) ۰ و ۲ و ۱ و ۲ (۳) ۰ و ۴ و ۰ و ۲ (۲) ۰ و ۲ و ۰ و ۲ (۱)

۱۷. به عنوان یک ابزار کنترلی، گانت چارت بهترین ابزار برای نشان دادن

- (۱) فعالیت‌های دارای تعارض است. (۲) فعالیت‌های برنامه‌ریزی شده و پیشرفت آن‌هاست
(۳) روابط بین فعالیت‌ها است. (۴) مسیر بحرانی است.

۱۸. فعالیت i را در شبکه AON در نظر بگیرید که صورتی که رابطه این فعالیت با فعالیت‌های قبل و بعد

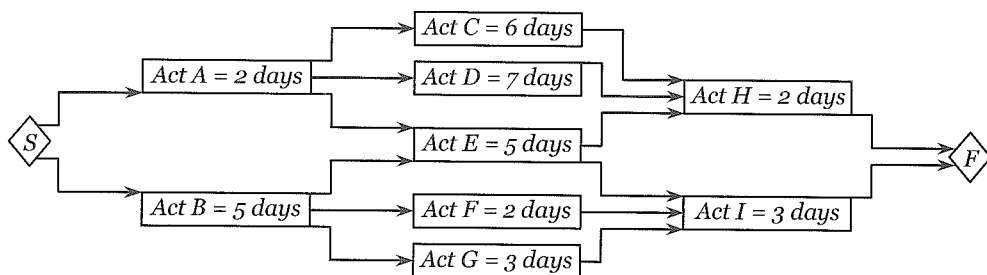
خودش $FS=0$ باشد آنگاه در صورتی که فعالیت‌های قبل از آن را با $j=1, \dots, p$ و بعد آن را با

$k=1, \dots, q$ نمایش دهیم آنگاه برای محاسبه شناوری مستقل این فعالیت کدام صحیح است؟

$$IF_j = \max_k(ES_k) - \min_j(LF_j) - D_i \quad (۱) \quad IF_j = \max_k(ES_k) - \max_j(LF_j) - D_i \quad (۲)$$

$$IF_j = \min_k(ES_k) - \min_j(LF_j) - D_i \quad (۴) \quad IF_j = \min_k(ES_k) - \max_j(LF_j) - D_i \quad (۳)$$

■■■ شبکه گره‌ای زیر را در نظر بگیرید:



به ۵ سوال بعد پاسخ دهید.

۱۹. حداقل زمان اتمام پروژه چند می‌باشد؟

- (۱) ۱۰ (۲) ۱۳ (۳) ۱۴ (۴) ۱۸

۲۰. مجموع شناوری کل تمام فعالیت‌ها چند می‌باشد؟

- (۱) ۱۰ (۲) ۱۳ (۳) ۱۴ (۴) ۱۸

۲۱. شناوری آزاد فعالیت A کدام است؟

- (۱) ۳ (۲) ۲ (۳) ۱ (۴) صفر



۲۲. شناوری مستقل فعالیت E چند است؟

- ۳ (۱) ۲ (۲) ۱ (۳) ۰ (۴) صفر

۲۳. شناوری ایمنی فعالیت I چند است؟

- ۳ (۱) ۲ (۲) ۱ (۳) ۲ (۴)

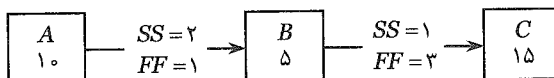
۲۴. جدول پیشنیازی زیر را در نظر بگیرید:

Activity	Duration	Must Follow Operations
A	2	----
B	4	A
C	7	A
D	3	A
E	5	A
F	7	B
G	6	B
H	7	F
I	5	G
J	3	G
K	8	C,G
L	9	H,I

زمان مسیر بحرانی چند است؟

- ۲۹ (۱) ۲۰ (۲) ۱۵ (۳) ۱۷ (۴)

۲۵. شبکه گره‌ای زیر را در نظر بگیرید:



TF_B چند می‌باشد؟

- ۶ (۴) ۴ (۳) ۱ (۲) صفر (۱)

۲۶. در صورتی که بخواهیم در سوال قبل شبکه برداری را رسم کنیم، حداقل چند فعالیت موهومی نیاز

داریم؟

- ۱ (۱) ۲ (۲) ۳ (۳) صفر (۴)

۲۷. در دو سوال قبل FF_B چند است؟

۲ (۴)

۱ (۳)

صفر (۲)

۳ (۱)

۲۸. شبکه برداری که با استفاده از پیش‌نیازی زیر معرفی می‌شود. حداقل چند فعالیت مجازی دارد؟

■ پروژه با فعالیت‌های H و R_7 و T_1 شروع می‌شود.

■ فعالیت T_7 می‌تواند پس از اتمام فعالیت‌های H و E_1 و S شروع شود.

■ فعالیت E_1 به فعالیت‌های R_7 و T_1 وابسته است.

■ فعالیت x پیش‌نیازی به نام H دارد ولی خودش پیش‌نیاز فعالیت L می‌باشد.

■ T_7, P_1 پیش‌نیازهای E می‌باشند.

■ پیش‌نیازهای G فعالیت‌های L و T_7 و P_1 می‌باشند.

■ T_1 پیش‌نیاز فعالیت‌های E_1 و S و W و D_7 می‌باشد.

■ فعالیت‌های P_1 نمی‌تواند شروع شود تا زمانی که فعالیت W به اتمام برسد.

■ فعالیت P_7 و F پیش‌نیازشان W و D_7 می‌باشند و خودشان پیش‌نیاز E و R_1 هستند.

■ فعالیت O_7 به فعالیت‌های T_7 و P_1 وابسته است و خودش پیش‌نیاز فعالیت L می‌باشد.

۲ (۴)

۴ (۳)

۵ (۲)

۶ (۱)

۲۹. در سوال قبل با پیش‌نیازهای ذکر شده شبکه PN (precedence network) را رسم کنید.

در صورتی که زمان اجرای هر کدام از فعالیت‌ها دو باشد زمان مسیر بحرانی چند است؟

۱۲ (۴)

۸ (۳)

۱۰ (۲)

۴ (۱)



■ ■ ■ جدول پیشنیازی زیر را در نظر بگیرید:

پیشنیازها	زمان	فعالیت	شماره
۰	۱	A	۵
A	۸	B	۱۰
A	۴	C	۱۵
A	۷	P	۲۰
B	۲	L	۲۵
C	۴	M	۳۰
C و P	۴	Q	۳۵
P	۹	N	۴۰
L و Q	۵	Y	۴۵
M	۱۰	F	۵۰
Q	۲	J	۵۵
N	۲	S	۶۰
Y و F و J	۵	V	۶۵
V و S	۱	QI	۷۰

به دو سوال بعد پاسخ دهید:

۳۰. شناوری مستقل فعالیت Q چند است؟

- (۱) ۰ (۲) -۲ (۳) ۳ (۴) ۴

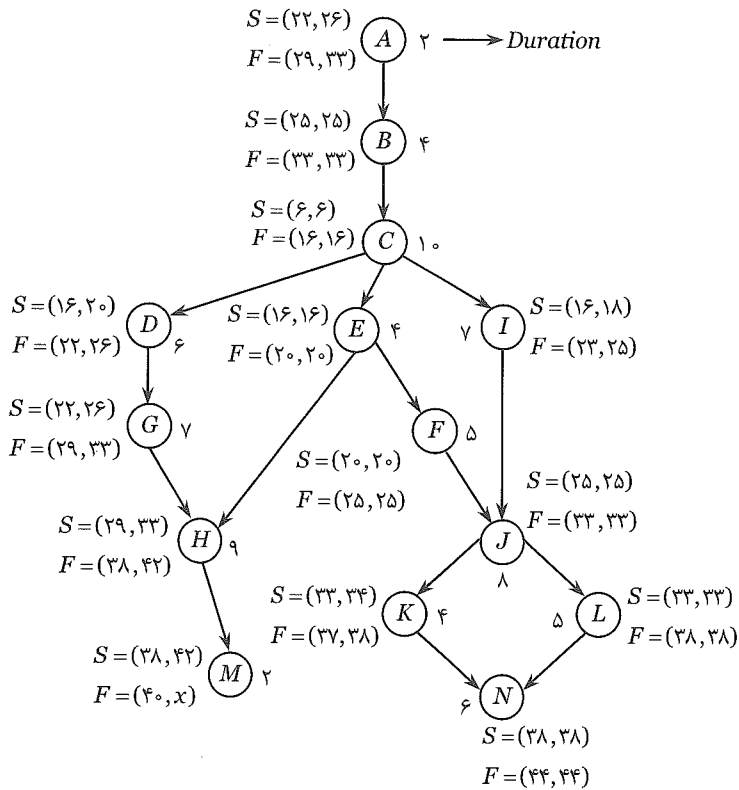
۳۱. زمان مسیر بحرانی چند است؟

- (۱) ۱۲ (۲) ۲۰ (۳) ۲۴ (۴) ۲۵

۳۲. فعالیت A را پیشنیاز B بگیرید کدام گزینه صحیح نیست؟

- (۱) $EF_A + F_A S_B \leq ES_B$ (۲) $ES_A + S_A S_B \leq ES_B$
 (۳) $EF_A + F_A F_B \leq EF_B$ (۴) $ES_A + S_A F_B \leq LF_B$

۳۳. شبکه گره‌ای زیر را رد نظر بگیرید که در آن حرف S نشان‌دهنده $Start$ و F نشان‌دهنده $Finish$ می‌باشد.



در گره M ، x چند است؟

- ۳۸ (۴) ۴۰ (۳) ۴۴ (۲) ۴۲ (۱)

۳۴. در سوال قبل شناوری مستقل فعالیت I چند است؟

- ۴ (۴) ۳ (۳) صفر (۲) ۲ (۱)

۳۵. در صورتی که A پیشنیاز B باشد و زمان A ، ۱۰ روز و رابطه بین A و B $F_A S_B = +3$ باشد، کدام

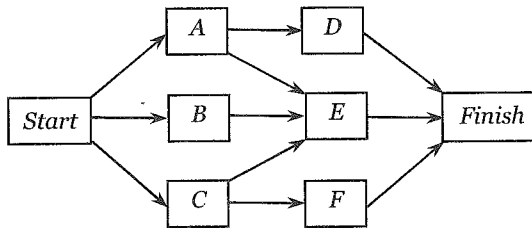
گزینه معادل رابطه آنها می‌باشد؟

- $S_A S_B = +13$ (۴) $S_A S_B = -13$ (۳) $F_B S_A = +3$ (۲) $S_B S_A = +13$ (۱)



۳۶. شبکه گره‌ای (AON) زیر را در نظر گرفته و مشخص کنید برای طراحی شبکه‌برداری (AOA) آن،

چند فعالیت مجازی لازم می‌باشد؟ (منابع ۹۰)



(۱) صفر (۲) یک (۳) دو (۴) سه

۳۷. در یک شبکه PN، فعالیت X پیش‌تاز فعالیت Y است. اجرای فعالیت‌های X و Y می‌تواند تا حداکثر

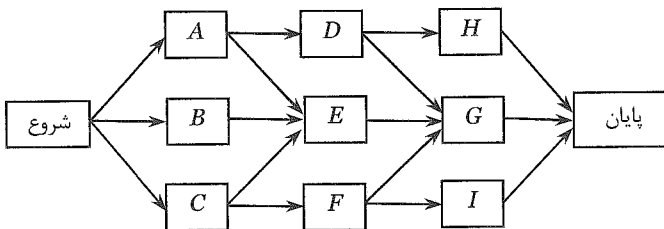
۷ ساعت همپوشانی داشته باشد. اگر زمان‌های X و Y به ترتیب ۲۰ ساعت و ۱۴ ساعت باشد، رابطه

پیش‌نیازی لازم عبارت است از: (منابع ۹۱)

$$S_X S_Y = 13 \quad (۴) \quad S_X S_Y = 8 \quad (۳) \quad F_X S_Y = 8 \quad (۲) \quad F_X S_Y = -7 \quad (۱)$$

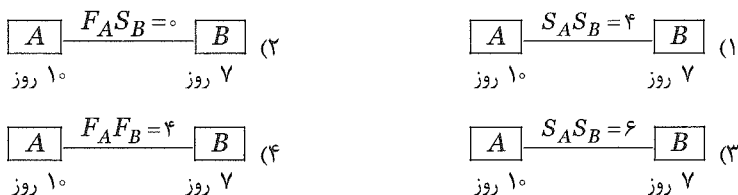
۳۸. شبکه گرهی (AON) زیر را در نظر بگیرید. برای رسم شبکه موردنظر به صورت برداری (AOA)،

حداقل چند فعالیت مجازی (بردار موهومی) لازم است؟ (منابع ۹۳)

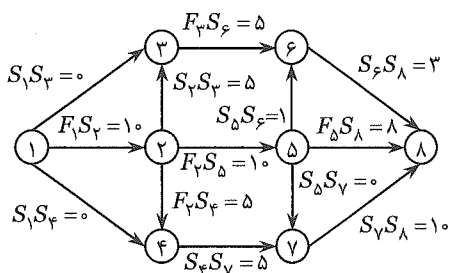


(۱) ۱ (۲) ۲ (۳) ۳ (۴) ۴

۳۹. اگر بعد از عملیات رنگ‌آمیزی قطعات در یک خط تولید (عمل A) که ۱۰ روز طول می‌کشد و لازم است تا ظرف ۴ روز خشک شود تا بتوان عملیات بعدی یعنی مونتاژ قطعات (عمل B) را انجام داد و این عملیات مونتاژ ۷ روز زمان ببرد، در این صورت گزینه صحیح برای نشان دادن رابطه پیشینازی کدام یک از موارد زیر است؟



۴۰. شکل زیر یک شبکه گرهی با روابط پیش‌نیازی از نوع حداقل فاصله زمانی (Minimum Time Lag) را نشان می‌دهد؛ که اطلاعات مربوط به طول مدت اجرای هر فعالیت نیز در جدول زیر ارائه شده است. براساس این اطلاعات، طول مسیر بحرانی این پروژه چقدر است؟



فعالیت	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸
مدت زمان فعالیت	۰	۲	۴	۷	۳	۳	۸	۰

۳۶ (۴)

۳۵ (۳)

۳۳ (۲)

۳۲ (۱)

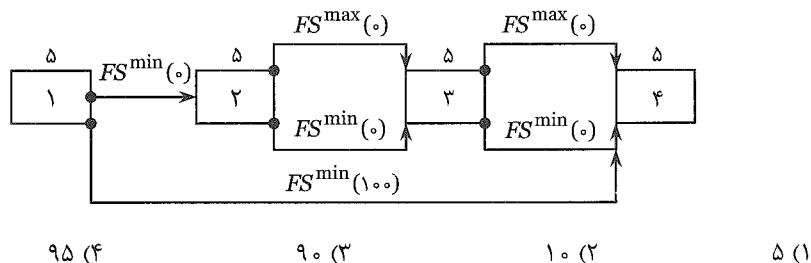


۴۱. شکل زیر شبکه گرهی مربوط به یک پروژه است که در آن عدد بالای هر گره، طول فعالیت را نشان

می‌دهد. اگر $FS^{\min}(L)$ به معنای وجود حداقل L واحد زمانی فاصله بین شروع فعالیت مؤخر و

اتمام فعالیت مقدم و رابطه $FS^{\max}(L)$ به معنای وجود حداکثر L واحد زمانی فاصله بین شروع

فعالیت مؤخر و اتمام فعالیت مقدم باشد، زودترین زمان شروع فعالیت ۲ کدام است؟ (صنایع ۹۵)



پاسخ

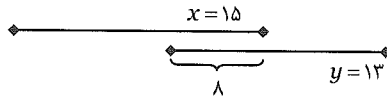
۱. گزینه ۴

در شبکه‌های گرهی، فعالیت موهومی وجود ندارد. در شبکه‌های برداری از آنجایی که فعالیت موهومی وجود دارد تعداد فعالیت‌ها با تعداد بردارها برابر نیست.

۲. گزینه ۲

با توجه به شبکه مسأله مسیر بحرانی عبارتند از ۱-۴-۷-۸ از ۶ فعالیت دارای شنوری ۵ می‌باشد بنابراین افزایش مدت زمان آن به میزان ۶ واحد، کل پروژه را به مدت ۱ واحد افزایش می‌دهد.

۳. گزینه ۲



با توجه به شکل فوق می‌توان این روابط را بین x, y در نظر گرفت

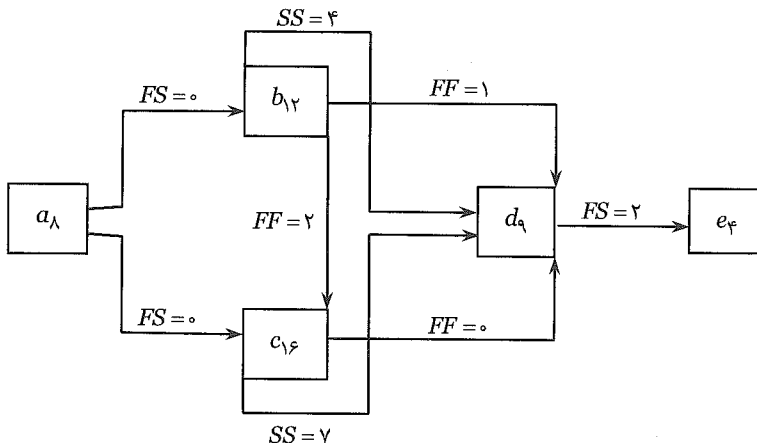
$$S_x S_y = 7$$

$$F_x F_y = +5$$

$$F_x F_y = -8$$

۴. گزینه ۲

شبکه PN سوال به شرح زیر است.





فعالیت	ES	EF
a	۰	۸
b	۸	۲۰
c	۸	۲۴
d	۱۵	۲۴
e	۲۶	۳۰

۵. گزینه ۱

فعالیت	LS	LF
a	۰	۸
b	۱۰	۲۲
c	۸	۲۴
d	۱۵	۲۴
e	۲۶	۳۰

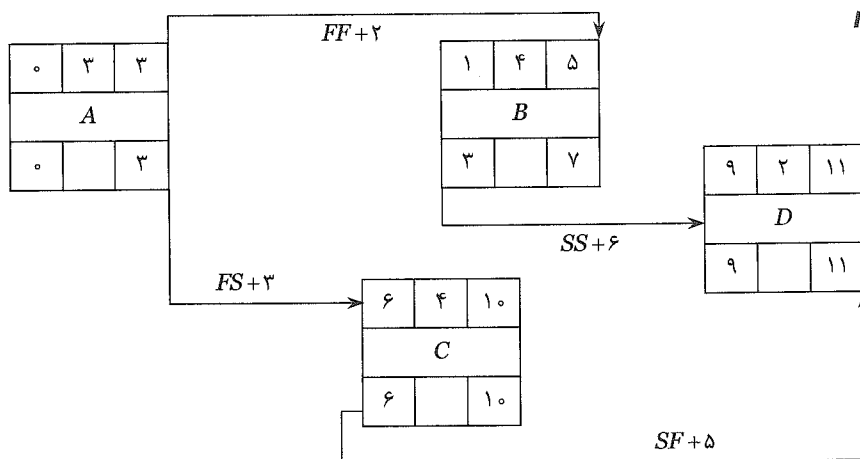
۶. گزینه ۲

با توجه به دو جدول ذکر شده در سوال‌های قبل شناوری کل فعالیت b برابر ۲ روز است
 $(LF_b - EF_b = 22 - 20 = 2)$. بنابراین افزایش آن به مدت دو روز تغییری در زمان اتمام آن ایجاد نمی‌کند.

۷. گزینه ۲

با توجه به تعاریف ساده روابط پیش‌نیازی، $S_a S_b (+5)$ به معنای آن است که فعالیت b ، ۵ واحد زمانی بعد از آغاز، فعالیت a می‌تواند آغاز گردد.

۸. گزینه ۱



۹. گزینه ۳

کافی است ستون آخر جدول یعنی *Float* را حساب کنیم ملاحظه می‌شود که:

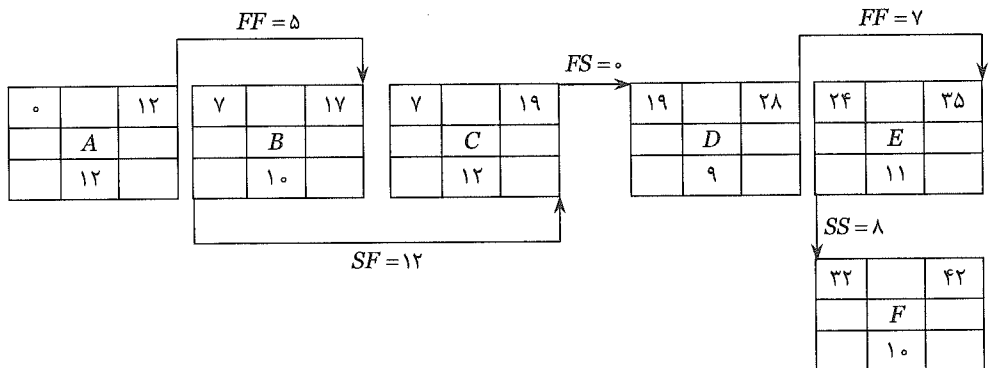
	<i>FL</i>
<i>A</i>	۰
<i>B</i>	۲
<i>C</i>	۰
<i>D</i>	۰
<i>E</i>	۰

پس فعالیت‌های *A* و *C* و *D* و *E* در مسیر بحرانی قرار دارند.

۱۰. گزینه ۳

با توجه به آنکه کلیه فعالیت‌ها *FS* می‌باشند و *A-C-D-E* مسیر بحرانی است پس فقط شکل گزینه (۳) صحیح است.

۱۱. گزینه ۲

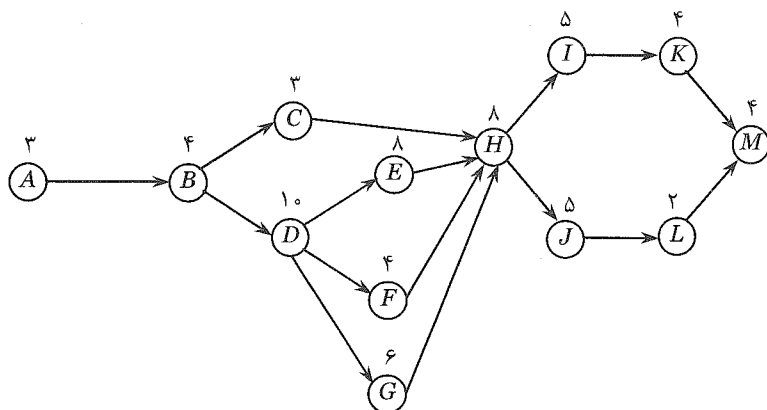


۱۲. گزینه ۲

۱۳. گزینه ۱



۱۴. گزینه ۱



با توجه به رسم شبکه با توجه به مسیر پیشروی به راحتی می‌توان به دست آورد که کل زمان پروژه ۴۶ است که همان زمان خاتمه فعالیت M می‌باشد. (به حل سوال بعد بیشتر دقت کنید).

۱۵. گزینه ۲

لازم به ذکر است که مسیر بحرانی طولانی‌ترین مسیر است و یا مسیری که در آن همه فعالیت‌ها دارای شناوری صفر می‌باشد. با توجه به این نکته به راحتی می‌توان با محاسبه زمان مسیرهای مختلف، مسیر بحرانی را تشخیص داد.

مسیرهای شبکه فوق عبارتند از:

$$A-B-C-H-I-K-M = 3+4+3+8+5+4+4 = 31$$

$$A-B-C-H-J-L-M = 3+4+3+8+5+2+4 = 29$$

$$A-B-D-E-H-I-K-M = 3+4+10+8+8+5+4+4 = 46$$

$$A-B-D-E-H-J-L-M = 3+4+10+8+8+5+2+4 = 44$$

$$A-B-D-F-H-I-K-M = 3+4+10+4+8+5+4+4 = 42$$

$$A-B-D-F-H-J-L-M = 3+4+10+4+8+5+2+4 = 40$$

$$A-B-D-G-H-I-K-M = 3+4+10+6+8+5+4+4 = 44$$

$$A-B-D-G-H-J-L-M = 3+4+10+6+8+5+2+4 = 42$$

این مسأله تنها یک مسیر بحرانی با طول ۴۶ دارد.

۱۶. گزینه ۲

فعالیت‌هایی که به مسیر بحرانی هستند شناوری آن‌ها صفر می‌باشد. بنابراین شناوری فعالیت‌های D, H برابر صفر می‌باشد. پس گزینه ۳، ۴ صحیح نمی‌باشد. شناوری فعالیت F را نیز به راحتی از تفاضل مسیر DEH و DFH به دست آورد که معادل ۴ است. پس تنها گزینه صحیح (۲) می‌باشد.

۱۷. گزینه ۲

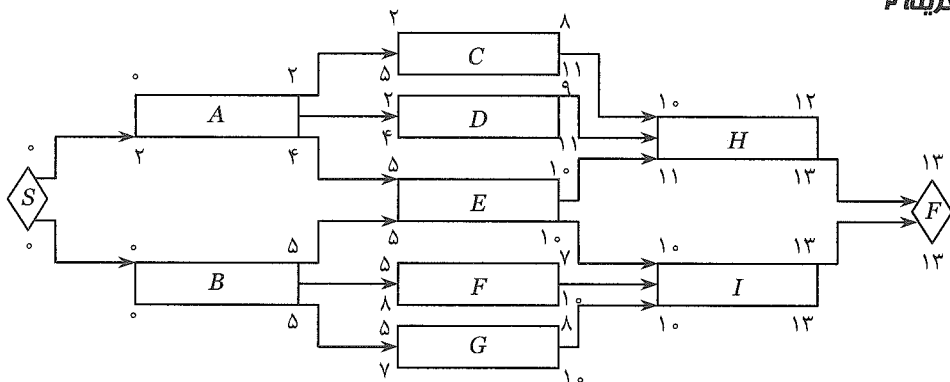
گانت چارت روابط بین فعالیت‌ها را نشان نمی‌دهد، همچنین نمی‌توان از روی آن مسیر بحرانی را تشخیص داد. گانت چارت ابزار بسیار خوبی برای نشان دادن فعالیت‌های برنامه‌ریزی شده و پیشرفت آن‌ها است.

۱۸. گزینه ۳

چون باید کم‌ترین شناوری در نظر گرفته شود پس

$$IF_i = \min_k (ES_k) - \max_j (LF_j) - D_i$$

۱۹. گزینه ۲



۲۰. گزینه ۲

$$TF_A = LS_A - ES_A = 2 - 0 = 2$$

$$TF_B = 0 \quad TF_C = 3 \quad TF_D = 2 \quad TF_E = 0$$

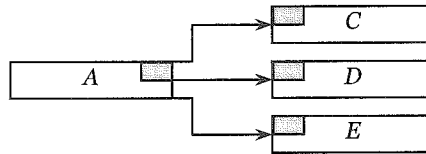
$$TF_F = 3 \quad TF_G = 2 \quad TF_H = 1 \quad TF_I = 0$$

$$\sum_{j=A}^I TF_j = 2 + 0 + 3 + 2 + 0 + 3 + 2 + 1 + 0 = 13$$



گزینه ۲۱

توجه شود که تمام روابط FS می‌باشند پس داریم:



$$FF_A = ES_C - EF_A = 2 - 2 = 0$$

$$FF_A = ES_D - EF_A = 2 - 2 = 0$$

$$FF_A = ES_E - EF_A = 5 - 2 = 3$$

$$FF_A = \min\{0, 0, 3\} = 0$$

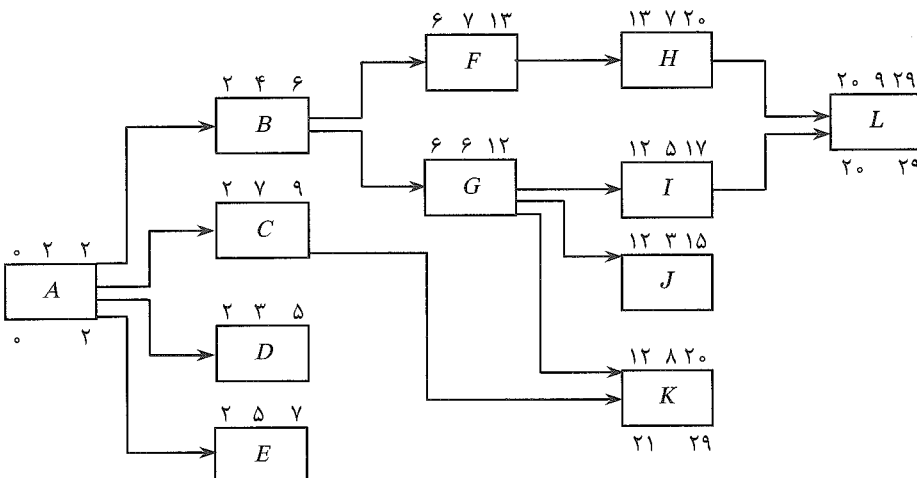
گزینه ۲۲

چون فعالیت E در مسیر بحرانی قرار دارد پس تمام شناوری‌هایش صفر می‌باشد.

گزینه ۲۳

همانند سوال قبل چون I فعالیت بحرانی می‌باشد پس شناوری آن صفر است.

گزینه ۲۴



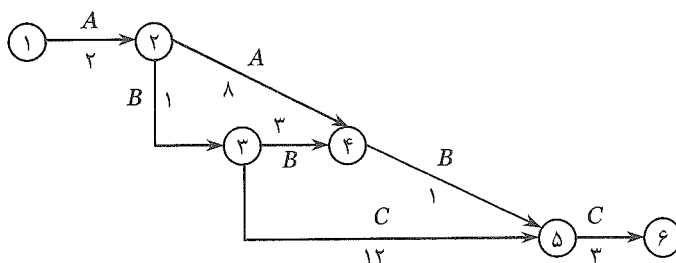
توجه شود که در $EF_E = 7$, $EF_D = 5$, $EF_K = 20$, $EF_J = 15$, $EF_L = 29$ می‌باشند که همه آنها

گره پایانی می‌باشند ولی زمان مسیر بحرانی برابر حداکثر مقدار آنها می‌باشد که برابر ۲۹ است.

۲۵. گزینه ۱

نیازی به محاسبه نمی‌باشد چون کل مسیر بحرانی می‌باشد، پس $TF_B = 0$ است.

۲۶. گزینه ۴

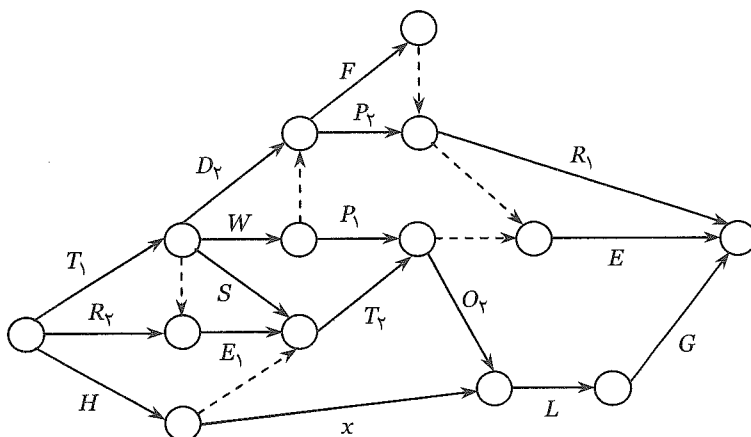


پس نیازی به فعالیت موهومی نمی‌باشد.

۲۷. گزینه ۲

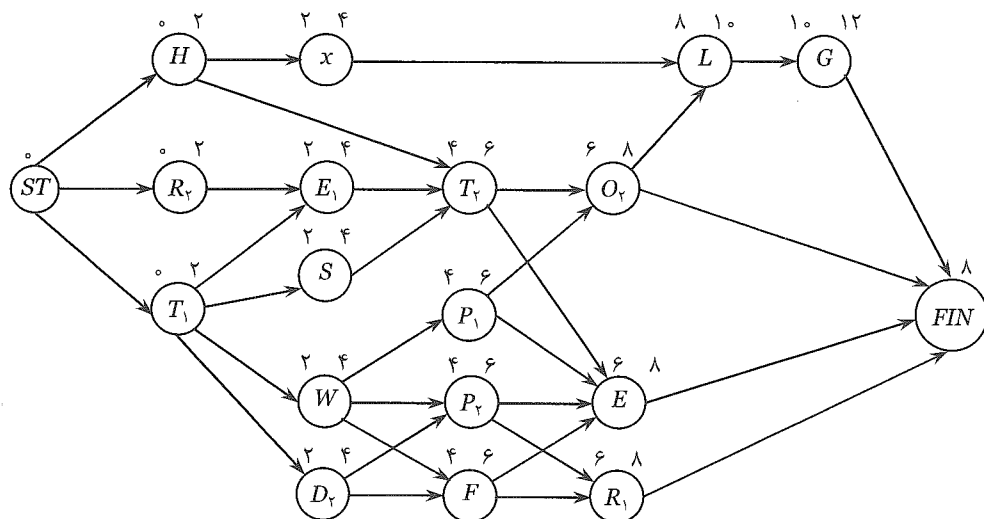
نیازی به محاسبه نمی‌باشد چون کل مسیر بحرانی می‌باشد پس $FF_B = 0$ است.

۲۸. گزینه ۱



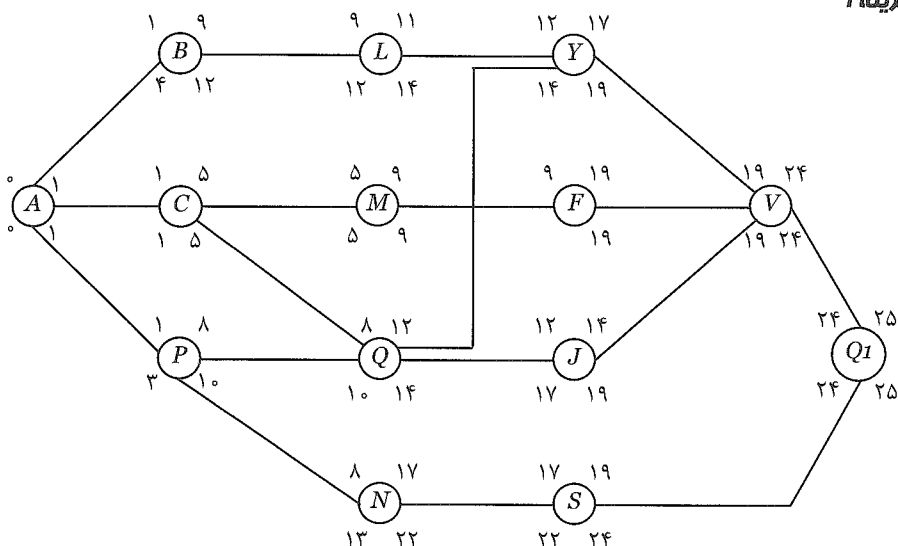
۲۹. گزینه ۴

نیازی به رسم شبکه گره‌ای برای محاسبات زمانی نمی‌باشد ولی در صورتی که شبکه برداری سوال قبل از نتوانستید رسم کنید می‌توان شبکه گره‌ای آن را برای محاسبات زمانی رسم کرد زیرا رسم شبکه گره‌ای ساده‌تر از برداری می‌باشد.



روی فعالیت‌ها فقط محاسبات رفت انجام شده است.

۳.۳. گزینه ۱



شبکه گره‌ای را رسم و محاسبات زمانی آن را انجام می‌دهیم.

چون تمام رابطه‌ها FS می‌باشند برای به دست آوردن IF_Q می‌توانیم از رابطه زیر استفاده کنیم:

$-D_Q$ (دیرترین زمان پایان تمام فعالیت‌هایی که پیشنیاز Q می‌باشند) $- \max$ (زودترین زمان

شروع تمام فعالیت‌هایی که Q پیشنیاز آنها می‌باشد) $IF_Q = \min$

$$\min(12, 12) - \max(5, 10) - 4 = -2$$

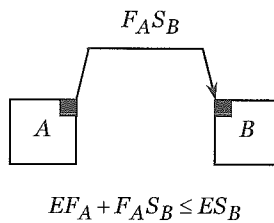
$$IF_Q = \max\{0, -2\} = 0$$

۳۱. گزینه ۴

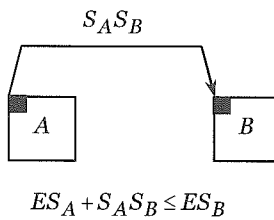
طبق محاسبات انجام شده در سوال قبل زمان مسیر بحرانی ۲۵ است.

۳۲. گزینه ۴

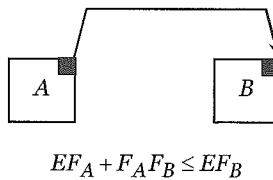
گزینه (۱)



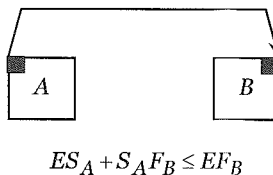
گزینه (۲)



گزینه (۳)



گزینه (۴)



پس گزینه (۴) غلط می‌باشد.



گزینه ۲

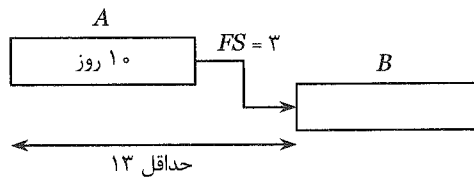
چون هر دو گره N و M پایانی می‌باشند پس LF هر دو را باید قرار دهیم:

$$\max\{EF_M, EF_N\} = \max\{40, 44\} = 44$$

گزینه ۱

$$IF_I = ES_J - LF_C - D_I = 25 - 16 - 7 = 2$$

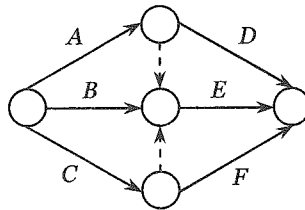
گزینه ۱۴



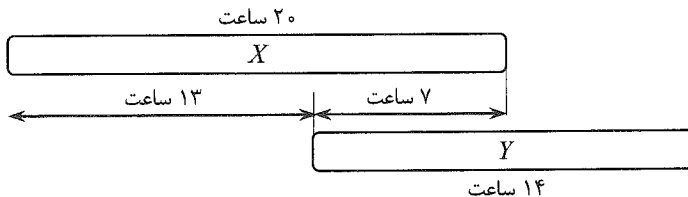
پس برای رابطه بین A و B می‌توانیم بنویسیم $S_A S_B = +13$

گزینه ۳

پس از رسم شبکه برداری حداقل تعداد فعالیت‌های مجازی ۲ می‌باشد:



گزینه ۱۴

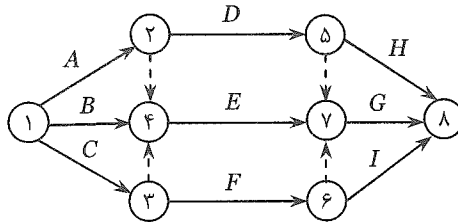


چون ذکر شده حداکثر ۷ ساعت همپوشانی دارند یعنی می‌توانند، ۷، ۶، ۵ ... هم همپوشانی داشته

باشند. پس می‌توانیم بنویسیم $S_x S_y = 13$.

۳۸. گزینه ۴

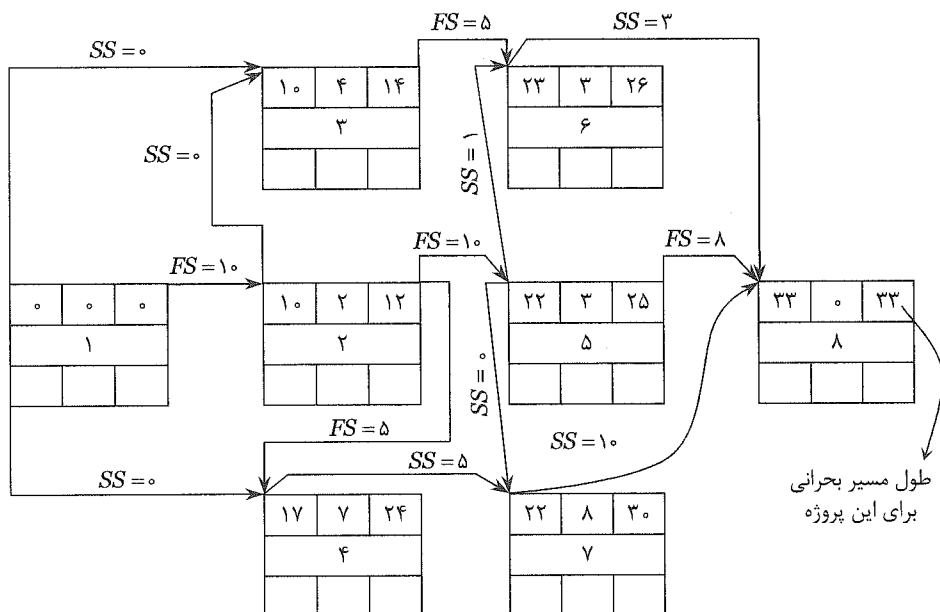
با توجه به شکل زیر ۴ فعالیت مجازی لازم است.



۳۹. گزینه ۱

در صورتی که فعالیت A شروع به رنگ‌آمیزی کند پس از گذشت ۴ روز قطعه رنگ‌آمیزی شده خشک خواهد شد و فعالیت B می‌تواند شروع شود پس $S_A S_B = +4$ می‌باشد. البته ابهامی که در این سوال ممکن بود وجود داشته باشد آن است که خواننده ممکن است فکر کند که فعالیت A روی یک قطعه ۱۰ روز طول می‌کشد که در این صورت باید $F_A F_B = 4$ در نظر گرفته می‌شد که در گزینه‌ها نیست.

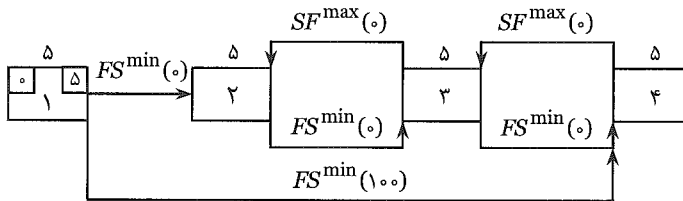
۴۰. گزینه ۲



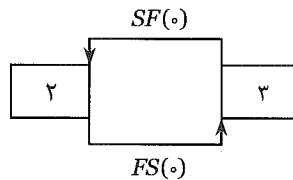


۴۱. گزینه ۴

طبق نکات ذکر شده ابتدا روابط حداکثری را به حداقلی تبدیل می‌کنیم زیرا کلیه محاسبات پیشرو و پسرو بر اساس روابط حداقلی می‌باشد.



به رابطه‌های بین ۲ و ۳ دقت کنید.



رابطه بالا نشان می‌دهد که پایان ۲ با شروع ۳ و شروع ۳ با پایان ۲ می‌باشد. همین‌طور برای رابطه‌های ۳ و ۴ هم به همین حالت می‌باشد. یعنی شروع ۳ و پایان ۲ و شروع ۴ و پایان ۳ با هم همزمان می‌باشند. طبق رابطه $FS^{\min}(100)$ بین ۱ و ۴ شروع ۴ از زمان ۱۰۵ و شروع ۳ از زمان ۱۰۰ و شروع ۲ از زمان ۹۵ خواهد بود.

فصل ۴

تخصیص و تسطیح منابع

برای اجرای یک پروژه، نیروی انسانی، تجهیزات و ماشین‌آلات، مصالح، بودجه، فضاهای قابل دسترسی و بسیاری از عوامل و امکانات مانند این، منابع^۱ مربوط به این پروژه نامیده می‌شوند. که با پیشرفت پروژه دسترسی و برنامه‌ریزی کردن در مورد منابع و میزان مورد نیاز منابع برای اجرای فعالیت‌ها پیچیده خواهد شد. در ضمن حجم و میزان منابع معمولاً محدود می‌باشند و این امکان وجود دارد که در مقطعی از زمان اجرای پروژه سطح احتیاج به منبع یا منابع از حد قابل دسترسی بیشتر باشد. در حالتی هم که محدودیتی در میزان منابع قابل دسترس وجود نداشته باشد، باید برنامه‌ریزی با توجه به این امر صورت گیرد که در طول زمان اجرای پروژه سطح احتیاج به هر منبع دارای نوسانات زیاد نباشد. به عنوان مثال پروژه‌ای که در هفته اول به ۲۰۰ نیروی کار و هفته دوم به ۵۰ نیروی کار و هفته سوم ۳۰۰ نیروی کار نیاز دارد، یقیناً دارای برنامه‌ریزی خوبی نمی‌باشد، زیرا استخدام و اخراج نیروی کار مسلماً دارای هزینه‌های زیادی می‌باشد. به همین دلیل اگر تنها به زمان‌بندی اکتفا شود و اثر منابع لحاظ نشود، به دلیل عدم آگاهی از نیاز واقعی منابع، برنامه زمانی هیچ ضمانت اجرایی نخواهد داشت. برای اجرای هر پروژه باید منابع مورد نیاز آن مشخص شده باشند و بر اساس نوع منابع مورد نیاز برای هر فعالیت، منابع به هر کدام از فعالیت‌ها تخصیص^۲ داده شوند.

^۱ Resource

^۲ Assign



منابع در حالت کلی به دو دسته تقسیم می‌شوند.

۱. منابع تجدیدپذیر^۱

۲. منابع تجدیدناپذیر^۲

نکته. منابع تجدیدپذیر مانند نیروی انسانی، ماشین‌آلات و... می‌باشند که پس از انجام و اتمام فعالیت موردنظر آزادسازی خواهند شد.

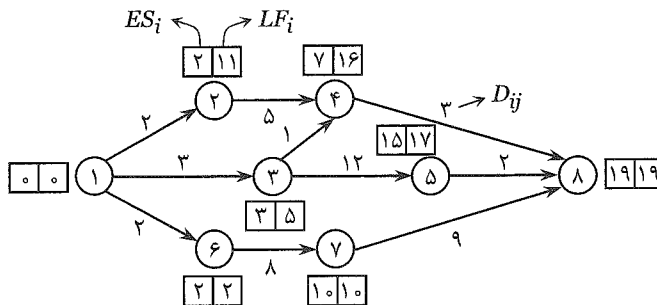
نکته. منابع تجدیدناپذیر مانند مصالح ساختمانی (گچ، سیمان ...) می‌باشند که پس از انجام و اتمام فعالیت آنها میزان پیش‌بینی شده به اتمام می‌رسد و مصرف می‌شود.

واضح است که زمان‌بندی پروژه نمی‌تواند تنها بر اساس مسیر بحرانی آن در نظر گرفته شود. به دلیل موجود بودن محدودیت منابع به احتمال خیلی زیاد ممکن است زمان اجرای پروژه تغییر کند. هرچند که ممکن است منابع هم محدود نباشد ولی به دلیل کاهش زمان اجرای پروژه، از جمله هزینه‌های حاصل از نوسان منابع در طول اجرای پروژه، مجبور باشیم زمان‌بندی اولیه را تغییر دهیم. و یا گاهی ممکن است بنا به دلایلی انجام پروژه زودتر انجام گیرد. در این حالت باید با تخصیص بیشتر منابع تغییراتی در زمان‌بندی پروژه ایجاد کرد.

محدودیت‌های امکانات و زمان

هیستوگرام منابع

به شبکه AOA زیر که نمایش یک شبکه برداری CPM با ۱۰ فعالیت می‌باشد دقت کنید.



¹ Renewable Resources

² Non-renewable Resources

هنگامی که تخمین زمان‌ها در پروژه در نظر گرفته می‌شدند یعنی ES و LF به دست آورده می‌شدند، سطح منابع در نظر گرفته نشده بودند. حال فرض کنید که تنها منبع در نظر گرفته شده برای شبکه فعالیتی، نیروی انسانی باشد که در جدول زیر آورده شده است.

	۱-۲	۱-۳	۲-۴	۳-۴	۳-۵	۱-۶	۶-۷	۴-۸	۵-۸	۷-۸
تعداد کارگر لازم	۴	۳	۷	۲	۴	۲	۴	۲	۳	۵

در صورتی که D_{ij} را برای زمان اجرای هر فعالیت بر حسب روز بنامیم و r_{ij} را تعداد افراد مورد نیاز برای هر فعالیت در هر روز بنامیم واضح است که تعداد نفر-روز کارگر مورد نیاز برابر است با ضرب D_{ij} در r_{ij} برای هر فعالیت که جمع نفر روزهای مورد نیاز کل پروژه برابر است با:

$$R = \sum_i \sum_j (D_{ij} \times r_{ij}) = \text{نفر-روز}$$

که برای این پروژه R برابر است با:

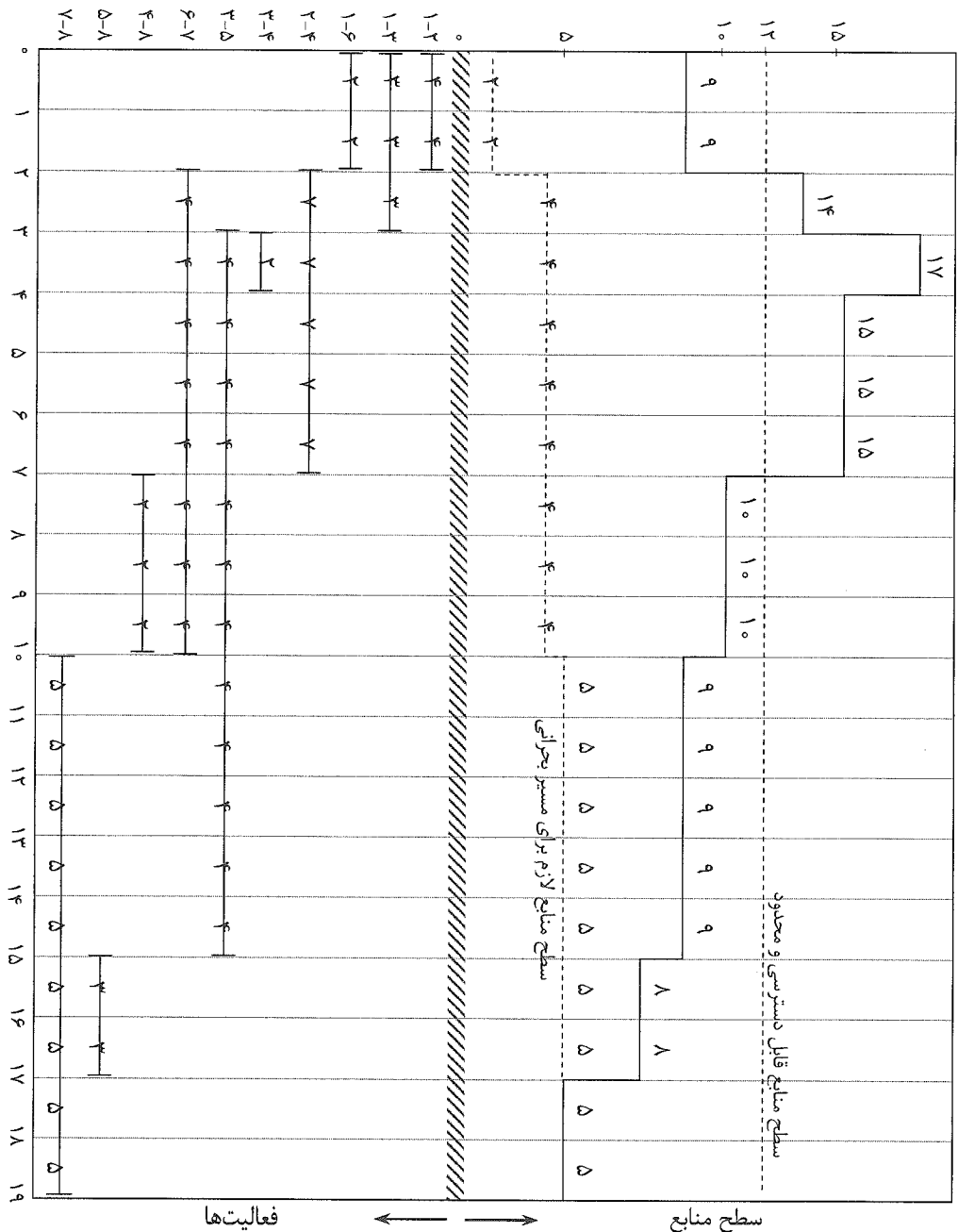
$$\begin{aligned} R &= D_{12} \times r_{12} + D_{13} \times r_{13} + D_{24} \times r_{24} + D_{34} \times r_{34} + D_{35} \times r_{35} + \\ &D_{16} \times r_{16} + D_{67} \times r_{67} + D_{48} \times r_{48} + D_{58} \times r_{58} + D_{78} \times r_{78} \\ R &= (2 \times 4) + (3 \times 3) + \dots + (9 \times 5) = 195 \end{aligned}$$

اگر $T_C = 19$ را بگیریم زمان کل اجرای پروژه پس داریم:

$$r = \frac{R}{T_C} = \frac{195}{19} = 10.26$$

که متوسط نفرات لازم در هر روز پروژه می‌باشد.

شکل CPM را می‌توان به صورت نمودار گانت با در نظر گرفتن سطح منابع به صورت زیر در نظر گرفت آن را هیستوگرام منابع هم می‌نامند.



در ابتدا فرض بر آن است که تعداد نفرات هیچ محدودیتی ندارد پس نمودار گانت نمایش می‌دهد که بدون هیچ محدودیت منابعی پروژه در زمان مقرر به اتمام می‌رسد. حال فرض کنید محدودیت منابع ۱۲ نفر باشد این احتمال وجود دارد که پروژه را نتوان در تاریخ ۱۹ به اتمام رساند. در اینجا عاملی که باعث می‌شود انعطاف‌پذیری در پروژه شود آن است که از شناوری (فرجه) فعالیت‌ها می‌باشد. در نمودار گانت با توجه به روش تهیه آن، فعالیت‌ها در زودترین تاریخ ممکن برای شروع فعالیت قرار می‌گیرند. به همین دلیل برای تصمیم‌گیرنده این قابلیت انعطاف وجود دارد که با استفاده از زمان‌های شناوری فعالیت‌ها، آنها را به نحوی برنامه‌ریزی کند که در هیچ یک از روزهای اجرای پروژه، سطح امکانات لازم (تعداد کارگرها) از سطح منابع موجود (۱۲ نفر) بالاتر نباشد. واضح است که دستیابی به چنین چیزی همواره امکان‌پذیر نمی‌باشد. در خیلی از حالات ممکن است با توجه به سطح منابع نتوان مسأله را طوری برنامه‌ریزی کرد که پروژه در زمان ممکن به اتمام برسد.

توجه! در صورتی که سطح منابع قابل دسترسی، برای اینکه تنها فعالیت‌های بحرانی اجراء شوند از سقف منبع قابل دسترسی بالاتر باشد، چاره‌ای جز تمدید زمان پروژه یا اضافه کردن به سقف منابع نمی‌باشد. در صورتی که سطح منابع از منابع مورد نیاز مسیر بحرانی بیشتر باشد این موضوع به برنامه‌ریز این امکان و امیدواری را می‌دهد که ممکن است با استفاده از زمان‌های شناوری فعالیت‌های غیربحرانی به نتیجه مطلوب برسد.

در استفاده از زمان‌های شناوری می‌توان تغییرات زیر را اعمال کرد:

۱. با حفظ زمان اجرای فعالیت، تاریخ شروع آن را به سمت راست هدایت نمود. به عنوان مثال فعالیت ۳-۴ به جای شروع در صبح روز چهارم، در صبح روز ششم شروع شود و یک روزه آن را به اتمام رساند.

۲. تاریخ شروع فعالیت را در زودترین زمان ممکن برای شروع نگه داشته، ولی به زمان اجرای فعالیت بیاوریم. به عنوان مثال در فعالیت ۴-۸ می‌توان آن را از روز صبح روز هشتم آغاز کنیم ولی مدت زمان اجرای آن را به ۶ روز افزایش دهیم. در این حالت تاریخ اتمام آن را به پایان روز ۱۳ انتقال می‌دهیم.



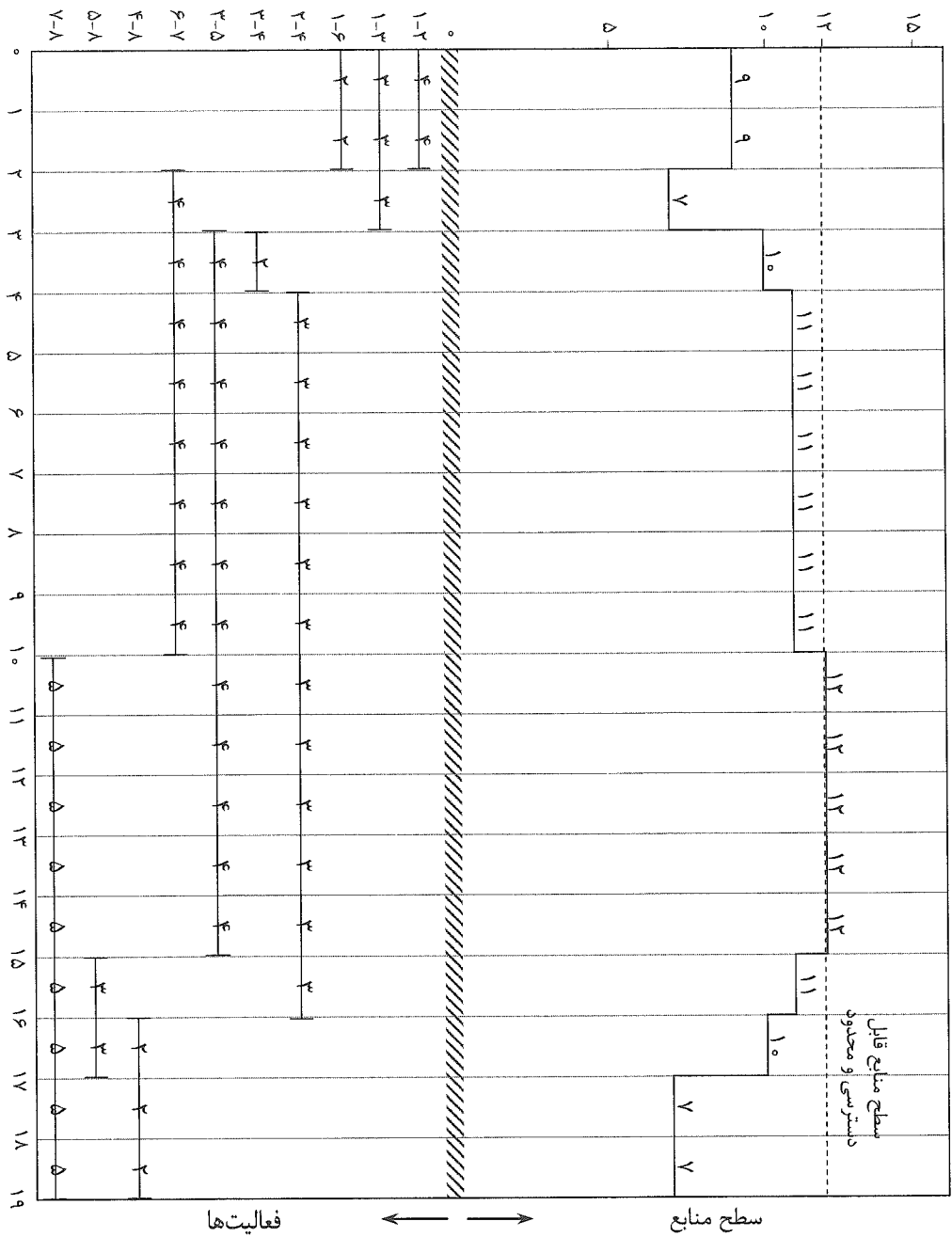
۳. تاریخ شروع و طول زمان انجام فعالیت هر دو را تغییر دهیم.

۴. به جای اجرای فعالیت به صورت مداوم و مستمر، آن را به صورت منقطع اجرا نمود. به عنوان مثال یک فعالیت ۵ روزه را قسمتی از آن را در روزهای دوم و سوم انجام داد و بقیه را در روزهای هفتم و هشتم و نهم انجام داد.

واضح است که با افزودن به زمان انجام فعالیت، سطح احتیاج به منابع را برای آن کاهش داده و این کار به پایین آمدن سطح کلی منابع کمک می‌کند. به عنوان مثال فعالیتی که ۴ روزه و در هر روز به ۵ کارگر نیاز دارد را می‌توان مثلاً به ۱۰ روز هر روز ۲ کارگر یا ۲۰ روز هر روز یک کارگر تغییر داد. توجه شود که در هر کدام از آنها نفر-روز کارگر مورد نیاز ۲۰ می‌باشد. اما این کار همیشه امکان‌پذیر نمی‌باشد و یک نسبت معکوسی بین زمان و سطح منابع وجود نخواهد داشت.

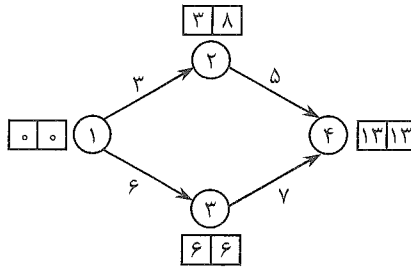
با توجه به شکل قبل همان طوری که ملاحظه می‌شود، روزهای سوم و چهارم، پنجم و ششم و هفتم سطح منابع از سقف آنها که ۱۲ می‌باشد بالا زده است. فرض کنید که انقطاع در عملیات اجرایی فعالیت‌ها مجاز نباشد. برای آنکه در عین مدنظر بودن عدد حداکثر پروژه بتواند در تاریخ نوزدهم مطابق برنامه تکمیل شود، می‌توان موقعیت‌های زمانی فعالیت‌ها را به صورت زیر تغییر داد.

فعالیت ۲-۴ می‌تواند به جای اجرا در مدت ۵ روز با ۷ کارگر، در مدت ۱۲ روز و هر روز ۳ کارگر انجام شود. و همچنین تاریخ شروع این فعالیت را به صبح روز پنجم تغییر داد. چون فعالیت ۲-۴ پیش نیاز ۴-۸ می‌باشد پس می‌توان فعالیت ۴-۸ را به راست انتقال داد و تاریخ شروع آن را به صبح روز ۱۷ و اتمام آن در روز ۱۹ انتقال داد. که در این حالت هیستوگرام منابع به صورت صفحه بعد خواهد شد.





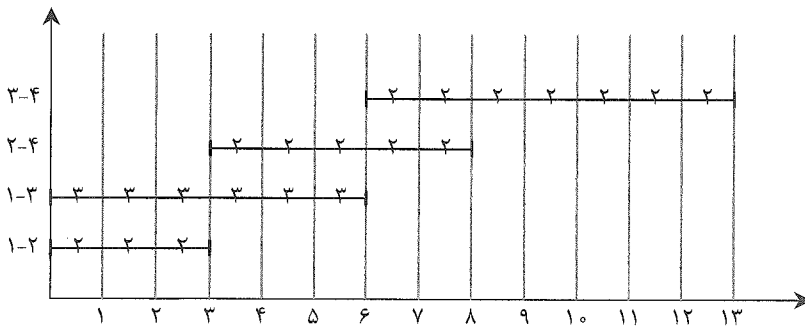
مثال. شبکه برداری زیر را در نظر بگیرید:



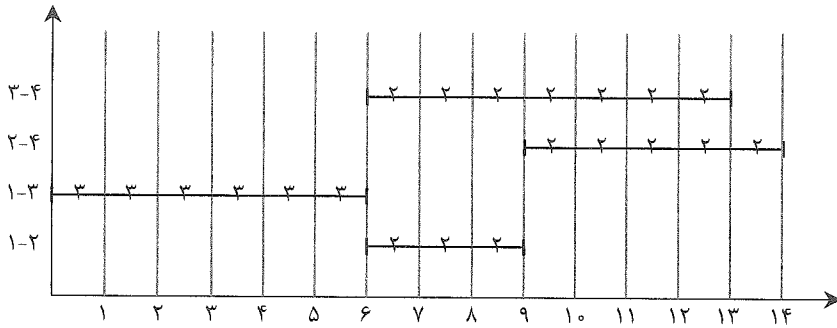
منابع مورد نیاز پروژه‌ها به صورت زیر می‌باشد و روزانه ۴ کارگر بیشتر در دسترس نمی‌باشد. نمودار گانت منابع را رسم کنید. سپس نمودار گانت منابع را با جابجایی فعالیت‌ها رسم کنید. آیا زمان انجام پروژه تغییر خواهد کرد؟

۳-۴	۲-۴	۱-۳	۱-۲	فعالیت
۲	۲	۳	۲	تعداد کارگر لازم

حل.

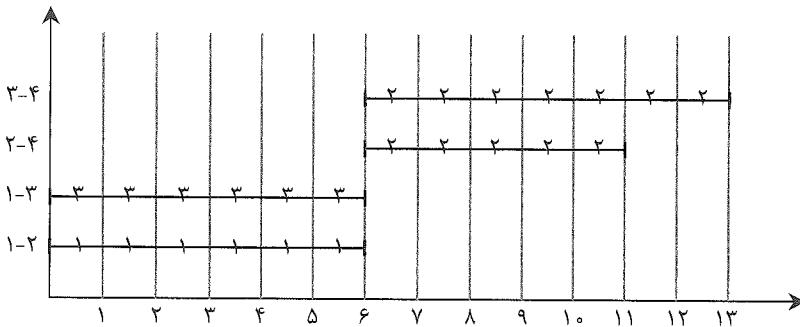


همان طوری که ملاحظه می‌شود سطح منابع در روزهای اول و دوم و سوم و چهارم و پنجم و ششم، ۵ می‌باشد که از سطح منابع در دسترس که ۴ است، بیشتر می‌باشد. در صورتی که افزایش زمان فعالیت مجاز نباشد و فقط زمان شروع فعالیت بتواند تغییر کند، می‌توانیم شروع فعالیت ۱-۲ را از صبح روز هفتم قرار دهیم که چون ۱-۲ پیشنیاز ۲-۴ هم می‌باشد به دنبال آن شروع ۲-۴ هم از صبح روز دهم خواهد شد به صورت زیر.



که در این حالت یک روز به زمان اجرای پروژه اضافه خواهد شد.

ولی در صورتی که افزایش زمان فعالیت مجاز باشد، می‌توانیم به جای انجام فعالیت ۱-۲ در ۳ روز با ۲ کارگر در ۶ روز با ۱ کارگر انجام دهیم. در این حالت فعالیت ۱-۲، ۶ روزه خواهد شد و فعالیت ۲-۴ هم از صبح روز هفتم شروع خواهد شد.



که در این حالت زمان اجرای پروژه افزایش پیدا نخواهد کرد.

تخصیص منابع

مدل‌های تخصیص منابع فقط برای زمانی هستند که سطح دسترسی به منابع محدود بوده و محدودیت برای منابع داشته باشیم. بنابراین لازم است که فعالیت‌ها به طوری برنامه‌ریزی شوند که در هیچ حالتی سطح منابع از حد قابل دسترسی بالاتر نباشد و محدودیت منابع نقض نشود. در چنین حالتی ممکن است که زمان اجرای پروژه افزایش پیدا کند.

الگوریتم تخصیص منابع محدود (الگوریتم برنامه‌ریزی موازی)

قدم ۱ ← زمان را برابر صفر قرار می‌دهیم یعنی $T=0$. با انجام محاسبات پیشرو و پسرو، زودترین و دیرترین زمان وقوع هر رویداد را به دست می‌آوریم. در این محاسبات زودترین زمان شروع فعالیت‌ها را محاسبه می‌کنیم. در این محاسبات تاریخ وقوع رویداد آغازین را برابر صفر قرار می‌دهیم.

قدم ۲ ← مجموعه فعالیت‌های EAS^1 را تعیین می‌کنیم. این مجموعه شامل فعالیت‌هایی می‌باشد که خودشان "برنامه‌ریزی" نشده‌اند ولی فعالیت‌های پیش‌نیازی آنها در زمان T برنامه‌ریزی شده است و یا پیش‌نیازی نداشته‌اند.

در این مرحله باید اعداد ES مربوط به فعالیت‌های مجموعه EAS به هنگام شوند بدین منظور عدد ES برای هر یک از فعالیت‌های مجموعه، برابر با ماکزیمم اعداد T قبلی و زودترین زمان ممکن برای آغاز بر اساس تاریخ برنامه‌ریزی شده فعالیت‌های پیش‌نیاز، انتخاب خواهد شد.

قدم ۳ ← مجموعه فعالیت‌های EAS ، را به ترتیب افزایش دیرترین زمان شروع فعالیت‌ها (LS) مرتب نمایید. (در صورتی که دو یا چند فعالیت LS یکسان داشته باشند، این فعالیت‌ها را به ترتیب افزایش زمان اجرای فعالیت (D) مرتب کنید) تا اولویت مجموعه فعالیت‌های واجد شرایط برای تخصیص منابع مشخص شوند. این مجموعه مرتب شده را مجموعه فعالیت‌های مرتب شده برای برنامه‌ریزی OSS^2 نامیده می‌شود.

قدم ۴ ← فعالیت‌های مرتب شده OSS را به ترتیب ذکر شده قرار دهید و در صورتی که برای آنها برای کل زمان اجرای فعالیت، منابع کافی وجود داشته باشد، آن فعالیت را برای شروع در تاریخ T برنامه‌ریزی می‌کنیم. سپس هر فعالیتی که برنامه‌ریزی شد مجموعه EAS و میزان منابع باقی مانده را به هنگام می‌کنیم.

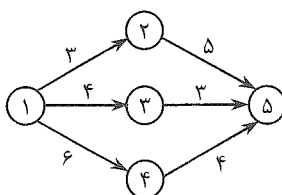
¹ Eligible Activity Set (EAS – مجموعه فعالیت‌های واجد شرایط)

² Ordered Scheduling Set (OSS – مجموعه فعالیت‌های آماده شروع و ترتیب‌بندی شده)

قدم ۵ ← در صورتی که تمام فعالیت‌ها برنامه‌ریزی شدند الگوریتم متوقف خواهد شد. در غیر این صورت $T \leftarrow T+1$ و زودترین زمان شروع فعالیت‌هایی که هنوز برنامه‌ریزی نشده‌اند ولی پیش‌نیازی این فعالیت‌ها در قدم چهارم برنامه‌ریزی شده است را به روز کنید و به قدم دوم برگردید.

* الگوریتم تخصیص منابع محدود که معرفی شد دارای فرضیاتی می‌باشد که باید قبل از اجرای الگوریتم رعایت شود:

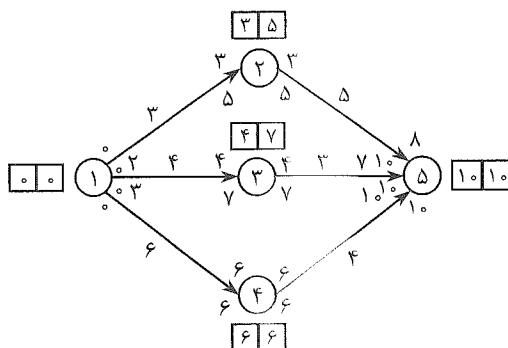
۱. پروژه مورد نظر باید به وسیله یک شبکه CPM یعنی یک شبکه برداری یا گره‌ای مشخص شود.
 ۲. مقادیر حداکثر منابع قابل دسترسی در مقاطع مختلف زمان اجرای پروژه باید مشخص باشد.
 ۳. مقدار منبع و طول زمان اجرا برای هر پروژه باید مشخص باشد.
 ۴. انقطاع زمان فعالیت مجاز نمی‌باشد. یعنی اگر یک فعالیت در زمان مورد نظر شروع شود، باید اجرای آن تا تکمیل فعالیت، به طور مداوم ادامه داشته باشد.
- برای درک بهتر این الگوریتم مثال زیر را در نظر بگیرید:



فعالیت	۱-۲	۱-۳	۱-۴	۲-۵	۳-۵	۴-۵
تعداد کارگر مورد نیاز	۲	۳	۲	۲	۲	۲

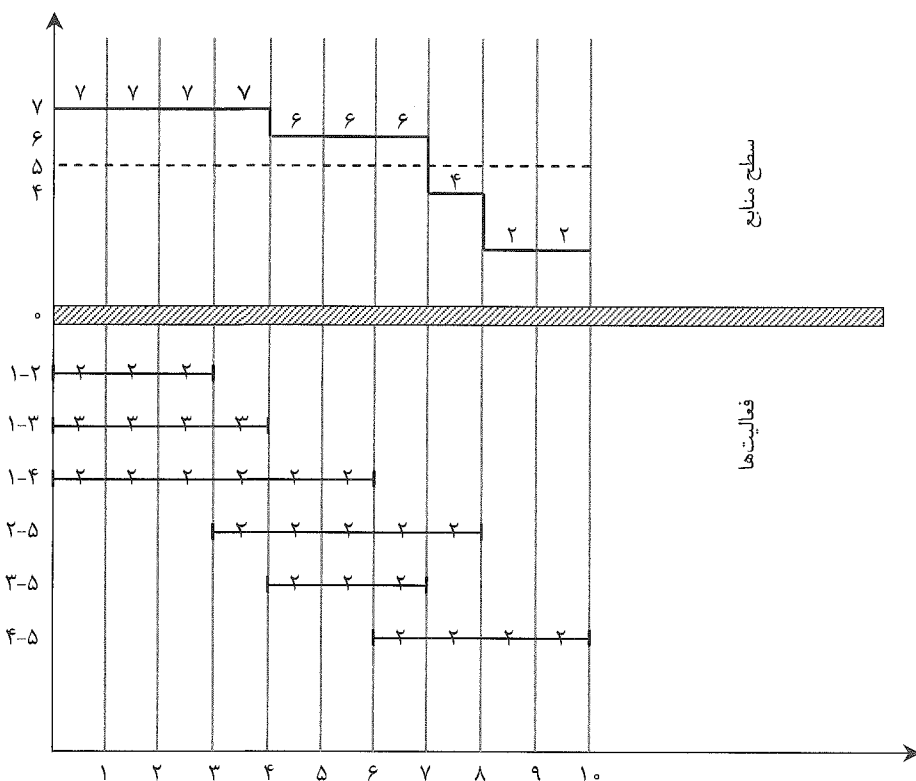
اگر روزانه تنها ۵ کارگر موجود باشند می‌خواهیم الگوریتم را روی آن اجرا کنیم. ابتدا باید محاسبات

پیشرو و پسرو را روی این شبکه انجام دهیم:





نمودار گانت آن بدون در نظر گرفتن محدودیت منابع به صورت زیر می باشد:



نمودار گانت گراف منابع بدون در نظر گرفتن محدودیت منابع

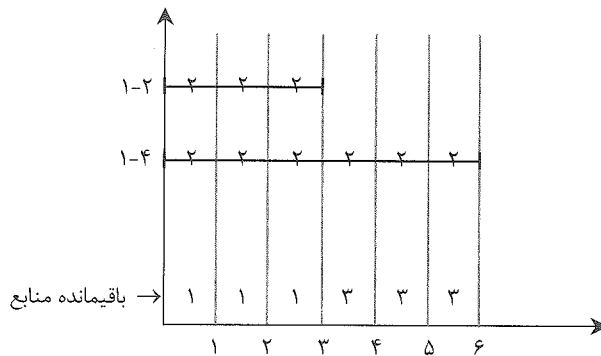
همان طوری که ملاحظه می شود در روزهای ۱ و ۲ و ۳ و ۴ و ۵ و ۶ و ۷ سطح منابع که ۵ کارگر می باشد نقض شده است.

ابتدا $T=0$ قرار می دهیم و همان طوری که روی شکل گراف نمایش داده شده زودترین و دیرترین زمان هر رویداد به دست آمده است.

طبق قدم دوم در زمان صفر فعالیت هایی که واجد شرایط EAS در $T=0$ می باشند را تشکیل

$T=0$	می دهیم. این ۳ فعالیت در مجموع ۷ نفر کارگر نیاز دارند که		
EAS : ~~۱-۲~~ , ۱-۳ , ~~۱-۴~~	محدودیت منابع ۵ می باشد پس طبق قدم سوم OSS را تشکیل		
ES : ° ° °	می دهیم. پس ۱-۴ از اولویت بالاتری برخوردار است و ۲ کارگر را		
LS : ۲ ۳ °			
OSS : ~~۱-۲~~ ~~۱-۳~~ ۱-۳			

به آن تخصیص می‌دهیم. از محدودیت منابع ۳ کارگر دیگر باقی مانده که ۲ تا از کارگرها را به فعالیت ۱-۲ می‌دهیم که اولویت بعدی می‌باشد. که یک کارگر آزاد باقی می‌ماند. ولی نمی‌توان به فعالیت ۱-۳ کارگری اختصاص داد زیرا کارگر مورد نیاز آن ۳ تا می‌باشد که از سطح منابع موجود بالا می‌زند. فعالیت‌های تخصیص داده شده را در EAS و OSS خط می‌زنیم. حال مجموعه EAS را به هنگام می‌کنیم.



$T=1$
 $EAS: 1-3$
 $ES : 0$
 $LS : 3$
 $OSS: 1-3$

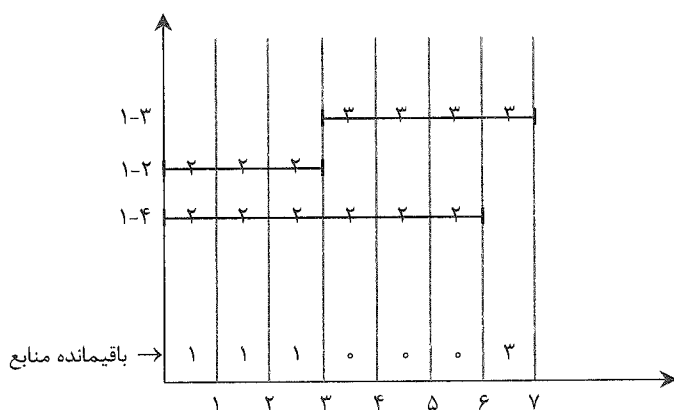
که چون منابع کافی نمی‌باشد هیچ تخصیصی انجام نخواهد شد.

به همین ترتیب $T=2$ هم همین طور می‌باشد پس مرحله $T=3$ را بررسی می‌کنیم که در آن فعالیت ۱-۲ خاتمه می‌یابد.

$T=3$
 $EAS: 1-3, 2-5$
 $ES : 0, 3$
 $LS : 3, 5$
 $OSS: 1-3, 2-5$



پس چون ۱-۳ اولویت بالاتری دارد کارگراها را به ۱-۳ اختصاص می‌دهیم و داریم:



به همین ترتیب تا $T=6$ هیچ کارگری آزاد نخواهد شد.

$$T=6$$

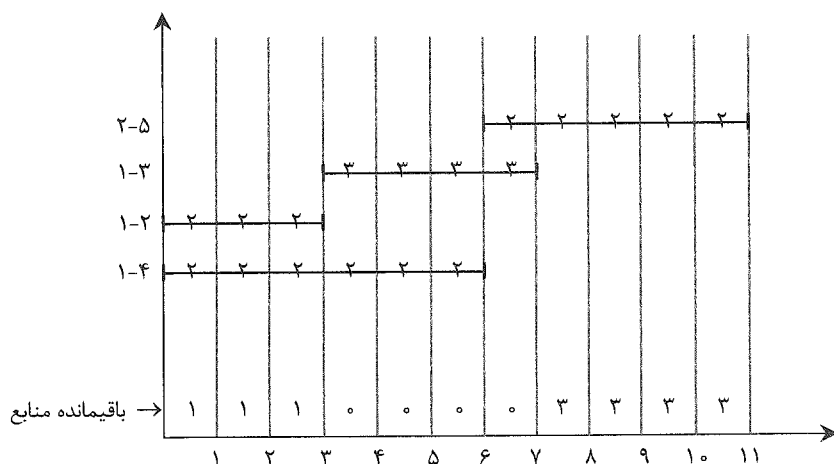
~~EAS: ۳-۵~~ ۴-۵

ES : ۳ ۶

LS : ۵ ۶

~~OSS: ۳-۵~~ ۴-۵

بنابراین ۲-۵ اولویت بالاتری دارد.



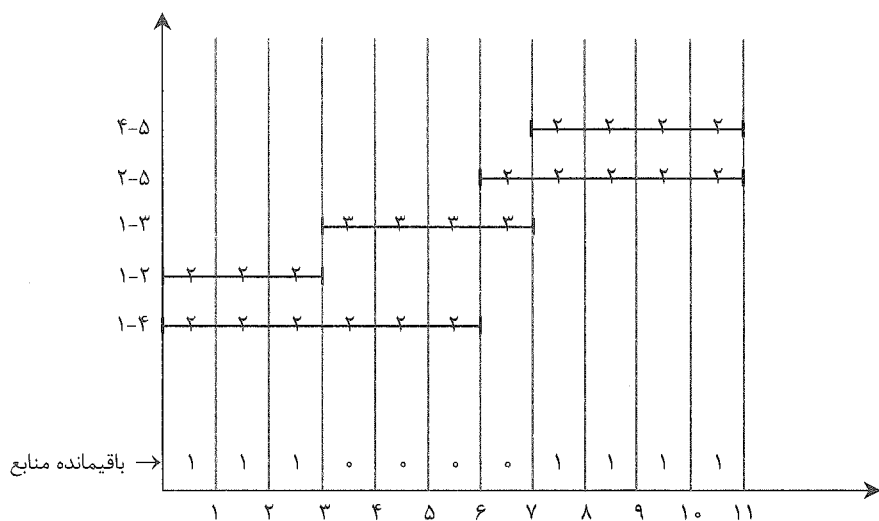
$$T=7$$

~~EAS: ۳-۵~~ ۳-۵

ES : ۴ ۶

LS : ۷ ۶

~~OSS: ۳-۵~~ ۳-۵



زمان بعدی $T=11$ می باشد:

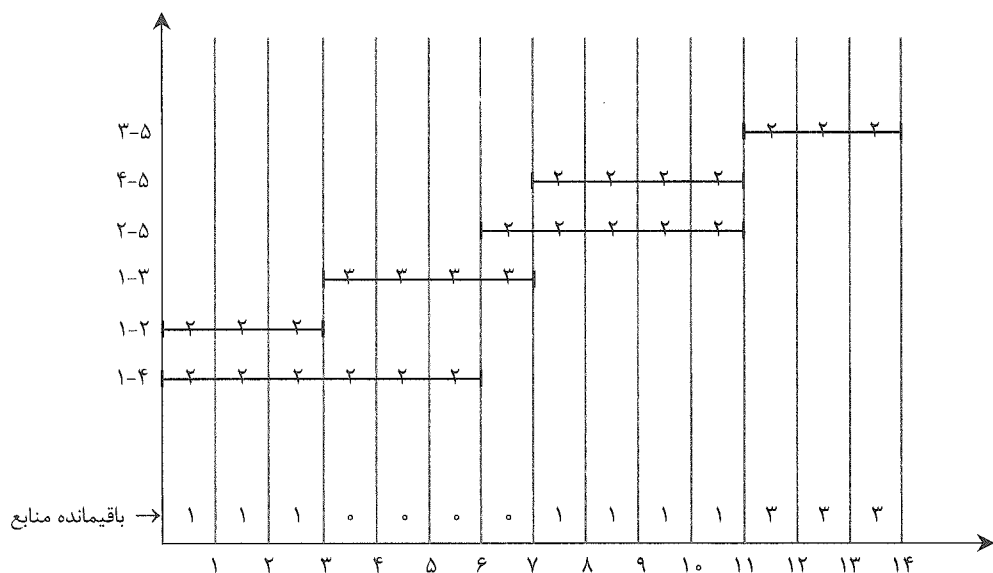
$$T = \setminus \setminus$$

EAS: 3-5

ES : ۴

$$LS : \quad \gamma$$

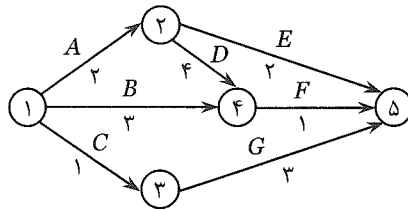
OSS: 3-5





همان طوری که در نمودار گانت آخر مشخص است با استفاده از الگوریتم تخصیص منابع محدود پروژه ۱۴ روزه انجام خواهد شد که ۴ روز از انجام زمان پروژه که بر روی شبکه به دست آمده بود بیشتر است.

مثال. شبکه برداری زیر را در نظر بگیرید.



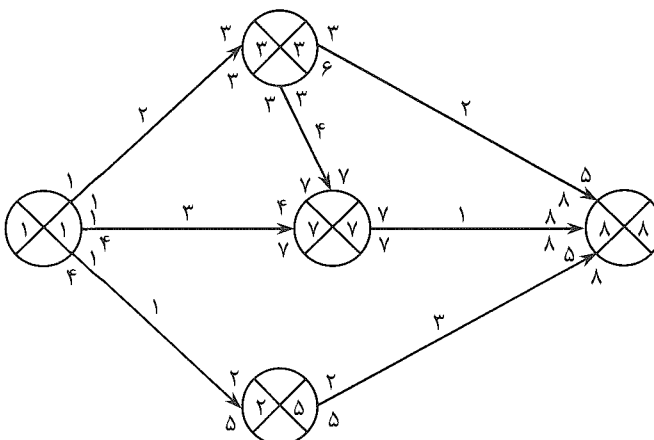
مقدار احتیاجات هر فعالیت به منابع P و Q و حداکثر موجودی هر منبع نشان داده شده است.

فعالیت	A	B	C	D	E	F	G	حداکثر موجودی
P	۲	۴	۰	۲	۰	۳	۰	۵
Q	۰	۰	۳	۰	۵	۰	۴	۵

در صورتی که زمان شروع $T=1$ بگیریم، تخصیص منابع را روی پروژه انجام دهید.

حل.

ابتدا محاسبات پیشرو و پسرو را روی پروژه انجام می‌دهیم.



$$T=1$$

EAS:	~~A~~	B	~~C~~
ES :	۱	۱	۱
LS :	۱	۴	۴
OSS:	~~A~~	~~C~~	B

$$T=2$$

EAS:	B	~~C~~
ES :	۲	۲
LS :	۴	۵
LS :	B	~~C~~

$$T=3$$

EAS:	B	D	E
ES :	۳	۳	۳
LS :	۴	۳	۶
OSS:	~~C~~	B	E

$$T=5$$

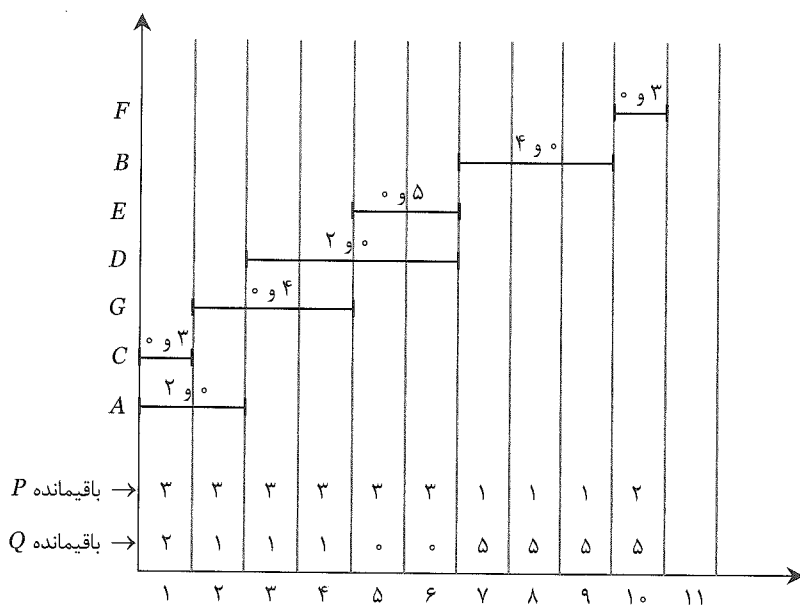
EAS:	B	~~C~~
ES :	۵	۵
LS :	۴	۶
OSS:	B	~~C~~

$$T=7$$

EAS:	~~C~~
ES :	۷
LS :	۴
OSS:	~~C~~

$$T=10$$

EAS:	~~C~~
ES :	۱۰
LS :	۷
OSS:	~~C~~



نکته: عاملی که باعث انعطاف‌پذیر بودن پروژه می‌گردد، زمان شناوری فعالیت‌های آن است.

نکته: در صورتی که فعالیتی بحرانی نباشد ولی به دلیل محدودیت منابع، زمان آغاز این فعالیت از

LS آن دیرتر باشد، پروژه به تعویق خواهد افتاد.

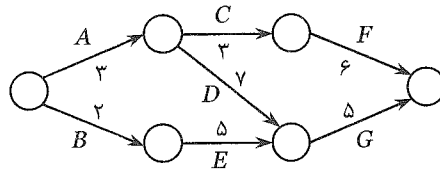


نکته. در حل شبکه‌های برداری هیچ الزامی ندارد که T را یک واحد یک واحد افزایش دهیم و کافی است به زمان وقوع بعدی افزایش دهیم ولی در شبکه‌های گره‌ای باید T را یک واحد یک واحد افزایش دهیم و تمام روابط گره‌ای را هم در نظر بگیریم.

نکته. فعالیت‌های مجموعه EAS در زمان T ، فعالیت‌هایی می‌باشند که $ES \leq T$ داشته باشند.

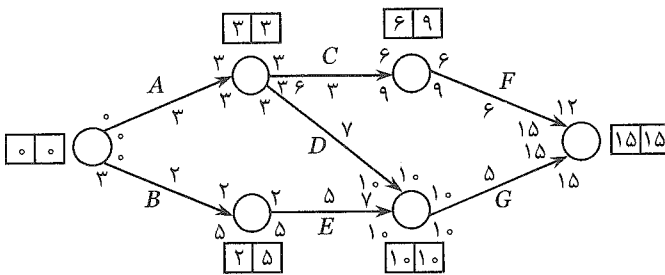
نکته. فعالیت‌های مجموعه OSS در زمان T ، فعالیت‌هایی می‌باشند که $ES \leq T$ و LS آنها به ترتیب افزایشی باشد.

مثال. در شکل زیر اگر منابع برای فعالیت‌های A و B تخصیص داده شده باشند و هم اکنون در زمان $T=4$ قرار داشته باشیم مجموعه OSS کدام است؟



(۱) $\{C, D, E\}$ (۲) $\{E, D, C\}$ (۳) $\{D, C, E\}$ (۴) $\{D, E, C\}$

حل.



چون در $T=4$ قرار داریم و $ES_C \leq T$ ، $ES_D \leq T$ و $ES_E \leq T$ می‌باشند و محدودیت منابع نداریم پس پیش‌نیازهای آنها همگی به اتمام رسیده‌اند بنابراین $EAS = \{C, D, E\}$ و چون $LS_D < LS_E < LS_C$ پس $OSS = \{D, E, C\}$ می‌باشد. بنابراین گزینه (۴) صحیح است. □

مثال. اگر دیرترین زمان شروع فعالیت‌های پروژه‌ای مطابق جدول زیر باشد و همه این فعالیت‌ها در مجموعه EAS باشند و همه شرایط تخصیص منابع را داشته باشند، اولویت با کدام فعالیت است؟

فعالیت	A	B	C	D
LS	۳	۲	۴	۱

$A (1)$
 $B (2)$
 $C (3)$
 $D (4)$

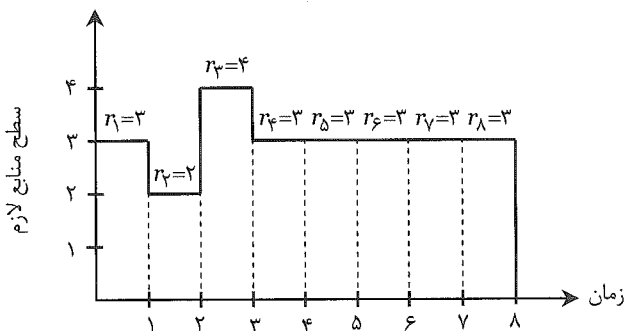
حل.

چون D دارای زمان LS کمتری می‌باشد پس اولویت با D می‌باشد یعنی گزینه (۴) صحیح است.



تسطیح منابع نامحدود

به شکل زیر دقت کنید، تاریخ تکمیل این پروژه $T_C = 8$ می‌باشد. و سطح منابع مورد نیاز در هر روز روی شکل نمایش داده شده است.



در صورتی که واحد زمان را (روز t) و واحد سطح منابع را نفر بگیریم، حجم منبع مورد نیاز برای کل پروژه را R می‌نامیم و به صورت زیر به دست می‌آید:

$$R = \sum_{t=1}^{T_C} r_t = 3 + 2 + 4 + 3 + 3 + 3 + 3 + 3 = 24 \text{ نفر-روز}$$

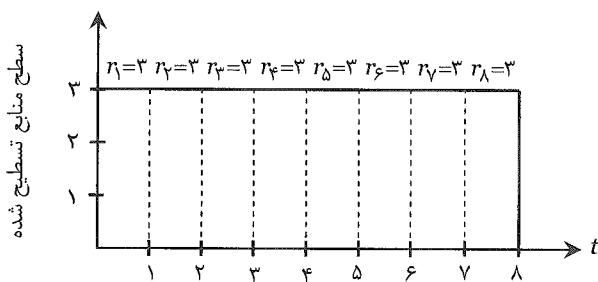


که همان مساحت زیر نمودار کشیده شده می‌باشد. ولی به دلایلی که در ابتدای فصل ذکر گردید بهتر بود که حالت ایده‌آل برای آن در نظر گرفته می‌شد و از نوسان سطح منابع جلوگیری می‌شد. متوسط نفرات لازم برای هر روز

$$r = \frac{R}{T_C} = \frac{24}{8} = 3$$

می‌باشد.

که می‌توان آن را به صورت زیر نمایش داد، به نحوی که میزان احتیاجات به هر منبع در طول اجرای پروژه دقیقاً ثابت و یکنواخت می‌باشد.



که مساحت زیر این منحنی هم $R = 8 \times 3 = 24$ می‌باشد.

در مدل‌های تسطیح یا موازنه منابع، سعی بر آن است که نوسانات در سطح احتیاجات به حداقل برسد. در این حالت ایده‌آل باید $r_{t+1} = r_t$ ($1 \leq t \leq T_C - 1$) باشد یعنی $r_{t+1} - r_t = 0$ باشد. که در شکل آخر نمایش داده شده است.

$$r_2 - r_1 = 0, \quad r_3 - r_2 = 0, \quad r_4 - r_3 = 0, \quad r_5 - r_4 = 0, \quad r_6 - r_5 = 0$$

که باید مجموع مربعات تفاضل سطح منابع حداقل گردد یعنی:

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

که مدل غیرخطی آن به صورت زیر می‌باشد:

$$\begin{aligned} \min \quad & \sum_{t=1}^{T_C-1} (r_{t+1} - r_t)^2 \\ \text{s.t.} \quad & \sum_{t=1}^{T_C} r_t = R \\ & r_t \geq 0 \end{aligned}$$

چون تابع هدف و اجزاء آن نامنفی می‌باشند پس تنها در صورتی حداقل مقدار خود را دارد

که $r_{t+1} = r_t$ شود یعنی برای مسأله فوق می‌توانیم قرار دهیم:

$$\begin{aligned} \min \quad & \sum_{t=1}^{T_C} (r_t)^2 \\ \text{s.t.} \quad & \sum_{t=1}^{T_C} r_t = R \\ & r_t \geq 0 \end{aligned}$$

که جواب این برنامه‌ریزی ریاضی همان $r_t = \frac{R}{T_C}$ می‌باشد به ازای $1 \leq t \leq T_C$. چون به ازای چند

فعالیت ممکن است محاسبه شده باشد آنگاه $r_t = \sum_{ij} r_{t,ij}$ که در آن مقدار $r_{t,ij}$ عبارت است از سطح

منبع لازم برای اجرای فعالیت ij در زمان t که r_t جمع تمام این منابع می‌باشد. در روش برگس^۱ که در بخش بعد ذکر خواهد شد تابع زیر می‌نیم می‌شود:

$$\sum_{t=1}^{T_C} r_t^2$$

روش برگس برای تسطیح منابع نامحدود

روش برگس برای تسطیح منابع پروژه‌هایی به کار برده می‌شود که محدودیت منابع وجود ندارد ولی محدودیت زمان انجام پروژه وجود دارد.

^۱ Burgess

این الگوریتم سعی بر آن دارد که میزان نوسانات در سطح منابع مورد نیاز به حداقل مقدار خود برسد. قدم‌های الگوریتم به صورت زیر خلاصه می‌شوند:

قدم اول ← فعالیت‌ها را به ترتیب شماره رویداد انتهایی از کم به زیاد مرتب می‌کنیم. در صورتی که دو فعالیت شماره انتهایی یکسان دارند به ترتیب شماره رویداد آغازین از کم به زیاد مرتب می‌کنیم. این مرتب کردن از بالا به پایین می‌باشد.

قدم دوم ← از آخرین فعالیت لیست مرتب شده، شروع کرده و هر فعالیت را به ترتیبی برنامه‌ریزی می‌کنیم که مقدار رابطه زیر حداقل مقدار خود را داشته باشد:

$$\sum_{t=1}^{T_C} (\sum_{ij} r_{t_{ij}})^2$$

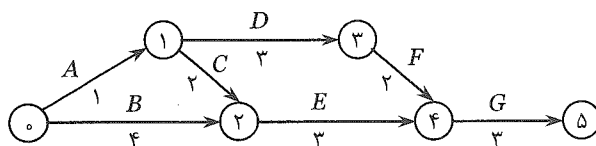
نکته. در صورتی که این رابطه در دو یا چند حالت مختلف حداقل مقدار را داشته باشد، حالتی را

انتخاب می‌کنیم که فعالیت از حداکثر شناوری خود استفاده کرده باشد.

قدم سوم ← قدم ۲ را به ترتیب برای سایر فعالیت‌ها از پایین به بالای لیست مرتب شده، تکرار کنید.

قدم چهارم ← بعد از تکمیل شدن عملیات قدم سوم، الگوریتم به اتمام می‌رسد ولی ممکن است که بتوان با تغییر موقعیت بعضی از فعالیت‌ها در چارچوب زمان‌های مجاز رابطه قبل را کوچکتر هم نمود.

شبکه زیر را در نظر بگیرید:

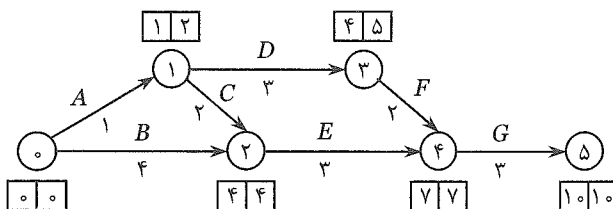


میزان منابع مورد نیاز هم در جدول زیر آورده شده است.

فعالیت	A	B	C	D	E	F	G
میزان منبع لازم	۲	۲	۳	۲	۱	۴	۴

با استفاده از الگوریتم برگس تسطیح منابع را انجام می‌دهیم.

ابتدا محاسبات زمانی را روی شبکه انجام می‌دهیم.

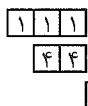


ابتدا فعالیت‌ها را طبق قدم اول مرتب می‌کنیم.

شروع فعالیت ۴-۵ را ۷ و اتمام آن را ۱۰ قرار می‌دهیم. سپس نوبت فعالیت ۳-۴ می‌باشد که هم می‌تواند در ۴ شروع شود هم می‌تواند در ۵ شروع شود (شناوری دارد) ولی طبق مطلب ذکر شده در قدم دوم چون دارای شرایط یکسان می‌باشند از حداکثر شناوری استفاده کرده و از ۵ شروع می‌کنیم زیرا در هر دو حالت داریم:

$$\text{تابع} = \underbrace{4^2 + 4^2}_{3-4} + \underbrace{4^2 + 4^2 + 4^2}_{4-5}$$

حال نوبت به ۲-۴ می‌باشد و چون شناوری ندارد از ۴ شروع می‌کنیم و داریم:



$$\text{تابع} = 1^2 + 5^2 + 5^2 + 4^2 + 4^2 + 4^2$$

سپس نوبت به ۱-۳ می‌رسد. می‌توانیم از ۱ شروع کنیم و یا می‌توانیم از ۲ شروع کنیم.



شروع از ۱



شروع از ۲

$$\text{تابع} = \underbrace{2^2 + 2^2 + 2^2 + 1^2}_{1-2} + 5^2 + 5^2 + 4^2 + 4^2 + 4^2$$

$$\text{تابع} = \underbrace{2^2 + 2^2 + 3^2}_{2-3} + 5^2 + 5^2 + 4^2 + 4^2 + 4^2$$

با توجه به دو محاسبه بالا شروع از ۱ بهتر می‌باشد زیرا مجموع مربعات منابع کمتر می‌باشد.

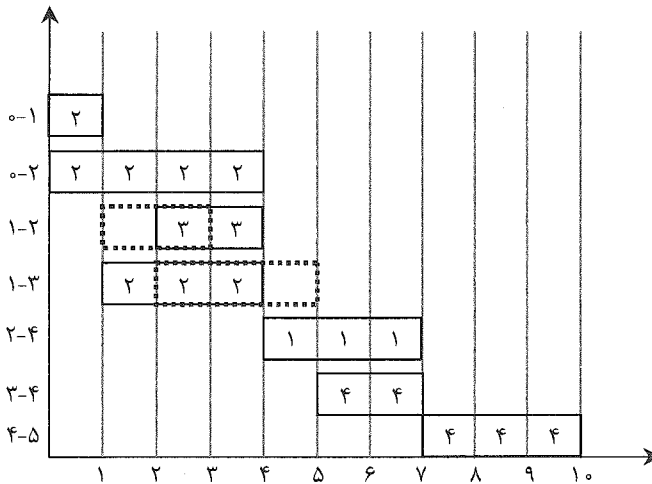
سپس نوبت به ۱-۲ می‌باشد که به همین ترتیب شروع از ۲ می‌باشد زیرا با شروع از ۱ دارای شرایط یکسان می‌باشد. و چون ۰-۲ و ۰-۱ هر کدام دارای هیچ شناوری نمی‌باشند، پس شروع از صفر می‌باشد. حال طبق قدم چهارم با نگاهی اجمالی و محاسبه دوباره مجموع مربعات، درخواست می‌یافت که شروع ۱-۲ از ۱ و شروع ۱-۳ از ۲ بهتر می‌باشد.



$$۴^۲ + ۴^۲ + ۷^۲ + ۷^۲ + ۱^۲ + ۵^۲ + ۵^۲ + ۴^۲ + ۴^۲ + ۴^۲ = \text{تابع قبل از اصلاح}$$

$$۴^۲ + ۵^۲ + ۷^۲ + ۴^۲ + ۳^۲ + ۵^۲ + ۵^۲ + ۴^۲ + ۴^۲ + ۴^۲ = \text{تابع بعد از اصلاح}$$

تابع قبل از اصلاح > تابع بعد از اصلاح



نمودار اصلاح شده گانت برای منابع پس از اصلاح برای فعالیت‌های ۱-۲ و ۲-۳ با خطچین نمایش

داده شده است.

مثال. جدول فعالیت‌های پروژه به شرح زیر می‌باشد. تعداد منبع معادل فرضی مورد نیاز برای

انجام فعالیت B و C چقدر است؟ (در روش برگس باید دو منبع به یک منبع معادل فرضی تبدیل

شوند)

پیش نیاز	زمان اجرا	منابع مورد نیاز		فعالیت	ردیف
		Y	X		
-	۳	۴	۲	A	۱
A	۲	۴	۴	B	۲
A	۲	۶	۲	C	۳
C و B	۳	۲	۴	D	۴
		۳۰۰	۹۰۰		هزینه استفاده از منبع در ماه

$$C=۳/۵ \text{ و } B=۴/۵ \text{ (۴)} \quad C=۳/۵ \text{ و } B=۴ \text{ (۳)} \quad C=۳ \text{ و } B=۳/۵ \text{ (۲)} \quad C=۳ \text{ و } B=۴ \text{ (۱)}$$

حل.

همان طوری که در صورت سوال ذکر گردیده است دو منبع باید به یک منبع تبدیل شوند:

$$B = \frac{4 \times 300 + 4 \times 900}{300 + 900} = 4$$

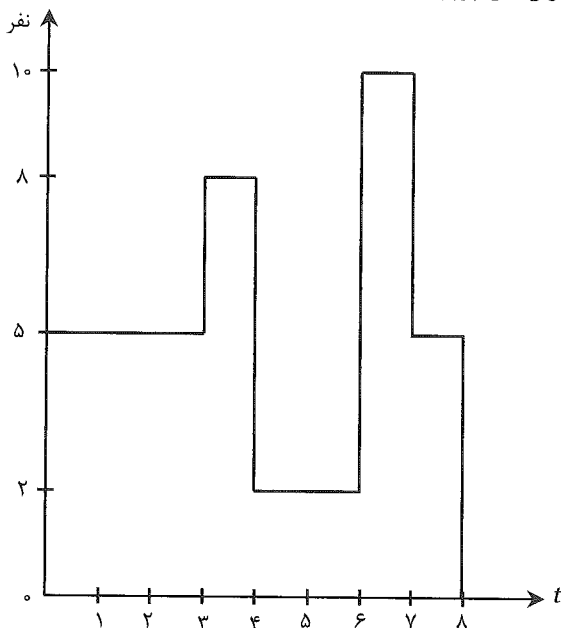
$$C = \frac{6 \times 300 + 2 \times 900}{300 + 900} = 3$$



پس گزینه (۱) صحیح است.

مثال. با توجه به نمودار سطح زیر نیاز منبع در پروژه، به چند نفر روز از این منبع در طول پروژه

نیاز است؟ آیا می‌توان این پروژه را در سطح ۶ نفر تسطیح کرد؟



(۴) ۴۲ - بلی

(۳) ۴۲ - خیر

(۲) ۸۰ - بلی

(۱) ۸۰ - خیر

حل.

$$R = \sum_{t=1}^8 r_t = 5 + 5 + 5 + 8 + 2 + 2 + 10 + 5 = 42$$

چون منابع مورد نیاز از ۶ × ۸ بیشتر نمی‌باشد پس این کار امکان‌پذیر است. پس گزینه (۴) صحیح است.

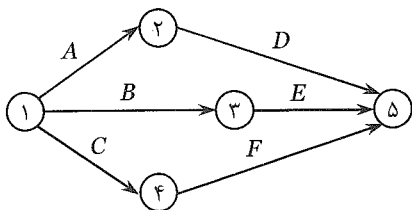
نفر روز





مثال: شبکه زیر را در نظر بگیرید. جدول آن نمایش‌دهنده زمان و میزان مورد نیاز منبع برای هر

فعالیت می‌باشد. با استفاده از الگوریتم تخصیص منابع برگس زمان شروع فعالیت F کدام است؟



فعالیت	A	B	C	D	E	F
زمان	۳	۴	۱	۵	۵	۲
منبع	۴	۳	۷	۱	۲	۶

۸ (۴)

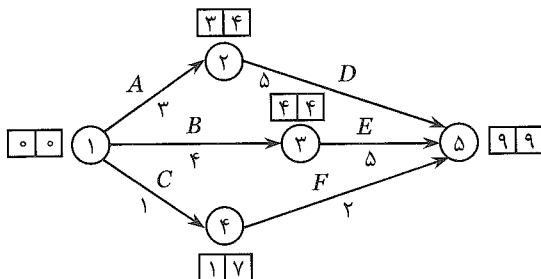
۷ (۳)

۲ (۲)

۱ (۱)

حل.

ابتدا محاسبات زمانی را انجام می‌دهیم:



چون فعالیت F (۴-۵) پایین‌ترین فعالیت در نمودار گانت برای روش برگس می‌باشد و شروع‌کننده

الگوریتم است و چون شروع از ۱ با شروع از ۷ برای آن هیچ تفاوتی ندارد طبق روش برگس شروع

از ۷ می‌باشد. پس گزینه (۳) صحیح است.



سوال

۱. فعالیت‌های مجموعه OSS در زمان T ، فعالیت‌هایی می‌باشند که

(۱) $ES \leq T$ باشند. (۲) $ES \leq T$ و LS آنها به ترتیب افزایشی باشند.

(۳) $ES \geq T$ و LS آنها به ترتیب افزایشی باشند. (۴) $ES \geq T$ باشند.

۲. در صورتی که سطح منابع مورد نیاز برای اینکه تنها فعالیت‌های بحرانی اجراء شوند از سقف منابع قابل دسترسی بالاتر باشد چاره‌ای جز و یا نمی‌باشد. کدام گزینه جاهای خالی را به درستی پر خواهد کرد؟

(۱) اتمام پروژه در زمان مقرر - اضافه کردن به سقف منابع

(۲) تمدید زمان پروژه - اضافه کردن به سقف منابع

(۳) حل با الگوریتم برگس - اضافه کردن به سقف منابع

(۴) تمدید زمان پروژه - الگوریتم برگس

۳. تسطیح و موازنه منابع نامحدود را در نظر بگیرید، در صورتی که مسأله دارای دو منبع A و B باشد و سطح احتیاجات هر فعالیت ij به این دو منبع به ترتیب r'_{ij} و r_{ij} باشد. در این صورت تابع هدف کدام است؟

$$\min \sum_{t=1}^{T_c} \left[\left(\sum_{ij} r_{t_{ij}} \right)^2 + \left(\sum_{ij} r'_{t_{ij}} \right)^2 \right] \quad (۲)$$

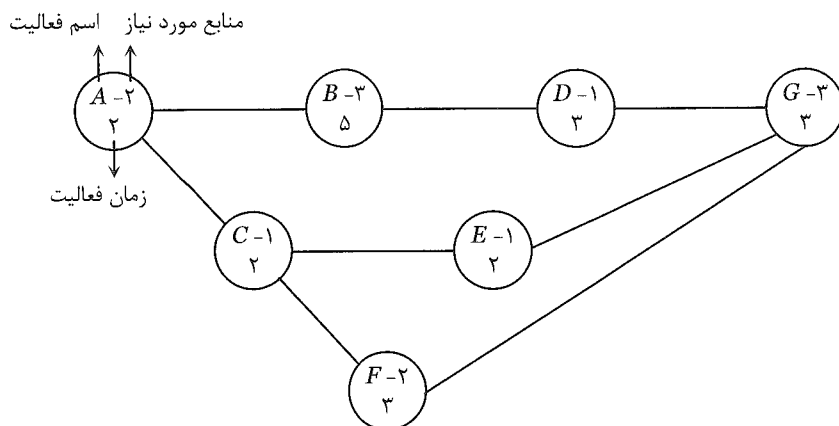
$$\min \sum_{t=1}^{T_c} \left[\left(\sum_{ij} r_{t_{ij}} \right) + \left(\sum_{ij} r'_{t_{ij}} \right) \right] \quad (۱)$$

$$\min \sum_{t=1}^{T_c} \left[\sum_{ij} r_{t_{ij}} \times \sum_{ij} r'_{t_{ij}} \right] \quad (۴)$$

$$\min \sum_{t=1}^{T_c} \left[\sum_{ij} r_{t_{ij}} + \sum_{ij} r'_{t_{ij}} \right]^2 \quad (۳)$$



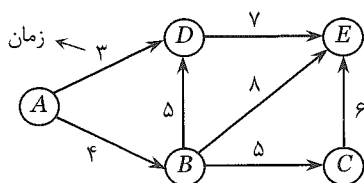
۴. شبکه زیر را در نظر بگیرید:



در صورتی که سطح منابع در دسترس ۴ باشد، کدام گزینه صحیح است بدون آنکه زمان پروژه افزایش یابد؟

- (۱) شروع E باید از صبح روز هفتم باشد. (۲) شروع E باید از صبح روز هشتم باشد.
 (۳) شروع F باید از صبح روز هفتم باشد. (۴) شروع F باید از صبح هشتم باشد.

۵. شبکه برداری زیر را در نظر بگیرید:



سطح منابع هر کدام از فعالیت‌ها به صورت جدول زیر می‌باشد:

فعالیت	منبع
AB	۳
BD	۲
DE	۳
AD	۴
BE	۳
BC	۲
CE	۲

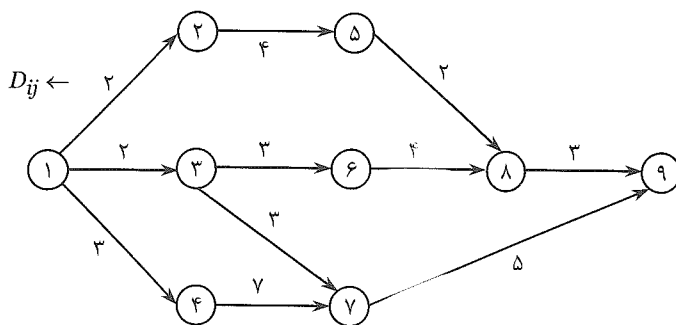
در صورتی سطح منابع در دسترس ۸ باشد، کدام گزینه صحیح است؟

- (۱) شروع A باید از روز دوم باشد.
 (۲) شروع A باید از روز سوم باشد.
 (۳) شروع A باید از روز نهم باشد.
 (۴) منابع مورد نیاز از ۸ بیشتر نخواهند شد.

۶. در سوال قبل سطح منابع مسیر بحرانی چند است؟

- (۱) ۳ (۲) ۴۰ (۳) ۸ (۴) ۱۰

۷. شبکه AOA زیر را در نظر بگیرید:



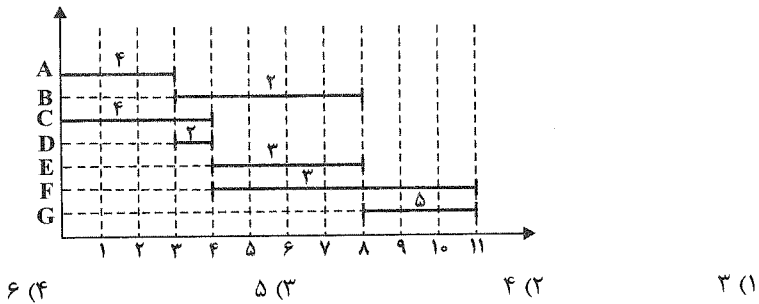
در زمان $T=0$ با استفاده از برنامه‌ریزی موازی مجموعه OSS کدام است؟

- (۱) $\{1-2, 1-3, 1-4\}$ (۲) $\{1-2, 1-4, 1-3\}$ (۳) $\{1-4, 1-3, 1-2\}$ (۴) $\{1-4, 1-3\}$

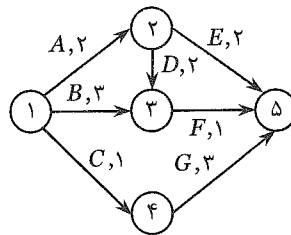
۸. در حل شبکه‌های برداری در تخصیص منابع محدود

- (۱) حتماً باید T را یک واحد یک واحد افزایش دهیم و تمام روابط گره‌ای را هم در نظر بگیریم.
 (۲) حتماً باید T را یک واحد یک واحد افزایش دهیم و روابط گره‌ای را در نظر نگیریم.
 (۳) هیچ الزامی ندارد که T را یک واحد یک واحد افزایش دهیم و کافی است به زمان وقوع بعدی T را افزایش دهیم.
 (۴) هیچ کدام.

۹. میزان مصرف هر فعالیت از یک منبع در پروژه‌ای که نمودار گانت آن در زیر داده شده است، بر روی میله‌ی مربوط به آن فعالیت نوشته شده است. کلیه فعالیت‌ها به جز E دارای زمان شناوری کل برابر صفر می‌باشند. بازه مجاز اجرای فعالیت E از ابتدای دوره ۳ تا انتهای پروژه می‌باشد. بعد از تسطیح منابع توسط الگوریتم برگس، زمان شروع فعالیت E از ابتدای کدام دوره است؟ (منابع ۹۰)



۱۰. شکل زیر شبکه برداری یک پروژه را به همراه زمان فعالیت‌های آن نشان می‌دهد. (اعداد روی هر بردار زمان فعالیت را نشان می‌دهد) میزان مصرف این فعالیت‌ها از دو منبع تجدیدپذیر P و Q در جدول داده شده است. از این دو منبع ۵ واحد (از هر کدام) در دسترس می‌باشد. اگر با استفاده از الگوریتم موازی، تخصیص منابع انجام گیرد. زمان ختم فعالیت C انتهای کدام دوره است؟ (منابع ۹۱)



فعالیت	A	B	C	D	E	F	G
منبع P	۲	۴	۰	۲	۰	۳	۰
منبع Q	۰	۰	۳	۰	۵	۰	۴

اول (۱) دوم (۲) ششم (۳) نهم (۴)

۱۱. در الگوریتم تخصیص منابع محدود، مجموعه فعالیت‌های OSS فعالیت‌هایی هستند که: (منابع ۹۱)

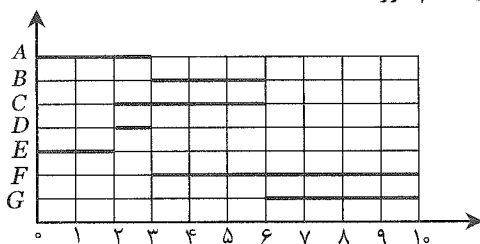
(۱) $ES \leq T$ و به ترتیب کاهش LS مرتب شده‌اند.

(۲) $ES \geq T$ و به ترتیب کاهش LS مرتب شده‌اند.

(۳) $ES \leq T$ و به ترتیب افزایش LS مرتب شده‌اند.

(۴) $ES \geq T$ و به ترتیب افزایش LS مرتب شده‌اند.

۱۲. در شکل زیر، شبکه گانت ۷ فعالیت با تعداد منبع مورد نیاز که در جدول زیر نشان داده شده است، معرفی می‌شود. تنها فعالیت C دارای شناوری است و مابقی شناوری فعالیت‌ها صفر است. فعالیت C می‌تواند از ابتدای پروژه تا انتها شناوری داشته باشد. اگر منابع به روش برگس تسطیح شوند، زمان شروع فعالیت C از ابتدای کدام دوره است؟ (صنایع ۹۲)



فعالیت	A	B	C	D	E	F	G
منبع مورد نیاز	۵	۳	۴	۱	۵	۳	۷

(۱) ۳ (۲) ۴ (۳) ۵ (۴) ۷

۱۳. کدام جمله الزاماً صحیح نیست؟ (صنایع ۹۲)

- (۱) پروژه می‌تواند شناوری منفی داشته باشد.
- (۲) فعالیتی که شناوری صفر دارد بحرانی است.
- (۳) تسطیح منابع بعد از تخصیص منابع صورت می‌گیرد.
- (۴) پروژه می‌تواند چندین مسیر بحرانی داشته باشد.

۱۴. پروژه زیر را در نظر بگیرید که در آن در ابتدای هر روز ۲۰ تن سیمان به انبار پروژه می‌رسد. همچنین فرض می‌شود هر فعالیتی کل سیمان مورد نیاز خود را در ابتدای شروع فعالیت اخذ نماید. با توجه به الگوریتم تخصیص منابع محدود در ابتدای روز چهارم به کدام فعالیت(ها) سیمان اختصاص داده می‌شود؟ (صنایع ۹۳)



فعالیت	زمان (روز)	پیشنیاز	کل سیمان موردنیاز (تن)
A	۳	-	۳۰
B	۲	-	۲۰
C	۱	$S_B S_C + ۱$	۲۰
D	۱	$S_A S_D + ۲, F_E F_D + ۱$	۳۰
E	۲	$F_B S_E + ۰, F_C S_E + ۰$	۴۰

(۱) فعالیت A (۲) فعالیت E (۳) فعالیت E و A (۴) فعالیت D و C

۱۵. کدام عبارت صحیح است؟

(منابع ۹۴)

(۱) در شرایطی که محدودیت اتمام (*Must Finish On*) وجود داشته باشد، شنواری کل می‌تواند منفی شود.

(۲) فعالیتی که شنواری کل صفر دارد، حتماً بحرانی است.

(۳) الگوریتم برگس یک روش بهینه‌سازی قطعی است.

(۴) هیچ کدام

۱۶. دربارهٔ مساله تسطیح منابع پروژه (*Resource Leveling*) کدام گزینه درست است؟

(منابع ۹۴)

(۱) هدف حداکثر نمودن میزان استفاده از منابع است.

(۲) هدف حداکثر نمودن نوسانات استفاده از منابع است.

(۳) زودتر زمانبندی کردن فعالیت‌ها منجر به بهبود تابع هدف می‌شود.

(۴) هیچ کدام

۱۷. هنگام تخصیص منبع قابل تجدید به فعالیت‌های پروژه با هدف کمینه کردن زمان اتمام پروژه، کدامیک از

موارد زیر، برای اولویت‌دهی انتخاب فعالیت برای برنامه‌ریزی، جواب بهتری تولید می‌کند؟

(منابع ۹۵)

(۱) انتخاب فعالیت با طول کمتر (۲) انتخاب فعالیت با شنواری آزاد کمتر

(۳) انتخاب فعالیت با شنواری کل کمتر (۴) هیچکدام



پاسخ



۱. گزینه ۲

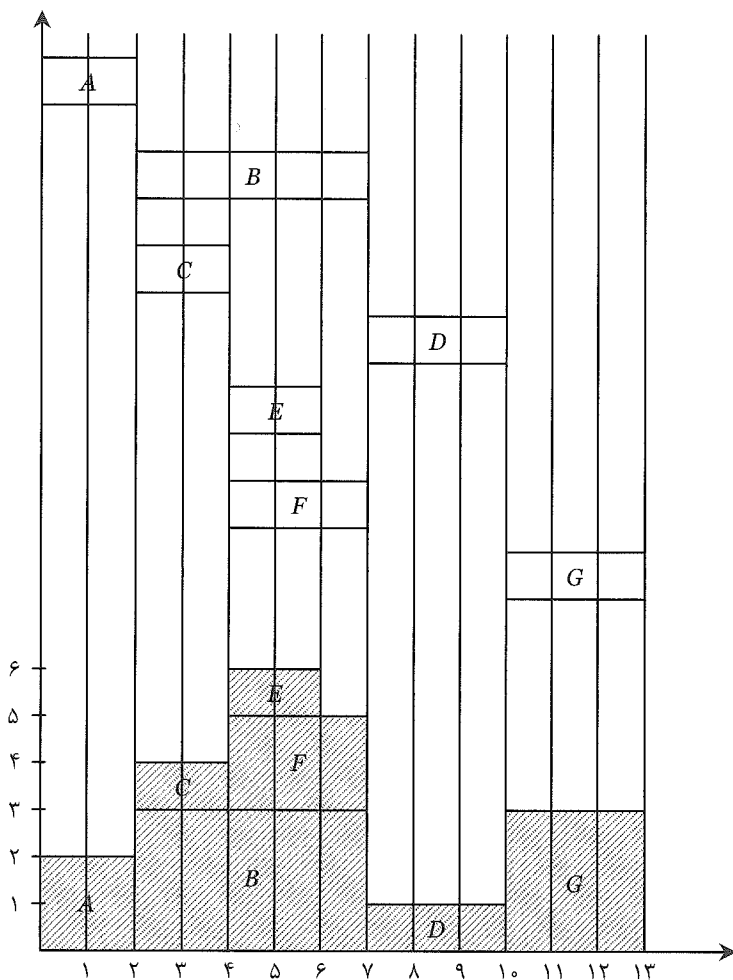
۲. گزینه ۲

۳. گزینه ۲

هدف حداقل کردن سطح منابع می‌باشد که هر کدام از منابع را با استفاده از روش کمترین مربعات با حداقل کنیم که داریم

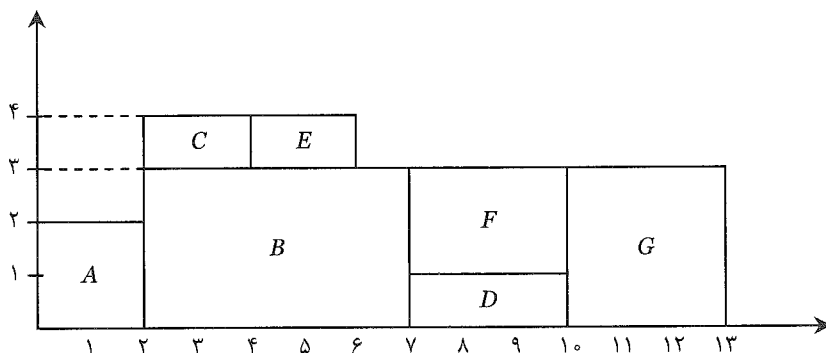
$$\min \sum_{t=1}^{T_c} \left[\left(\sum_{ij} r_{t_{ij}} \right)^2 + \left(\sum_{t_{ij}} r'_{t_{ij}} \right)^2 \right]$$

۴. گزینه ۴





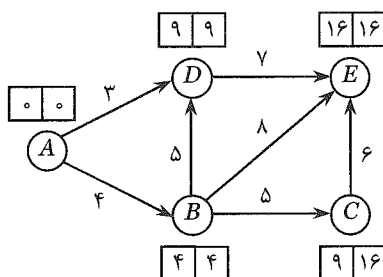
در صورتی که F از صبح روز هشتم شروع شود آنگاه نمودار منابع فوق به صورت زیر خواهد شد.



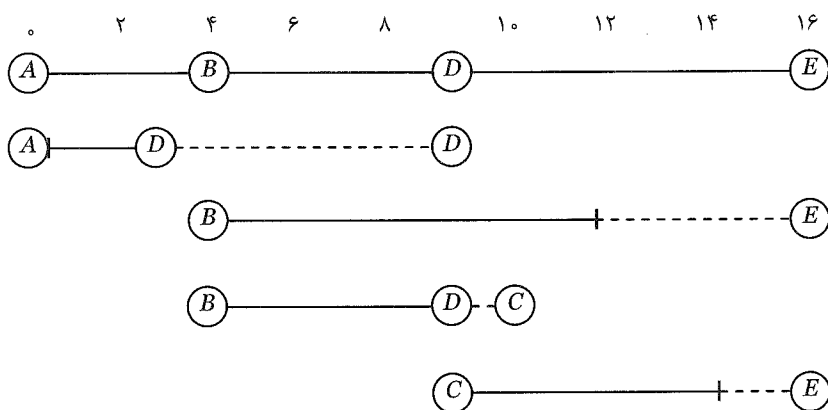
همان طوری که ملاحظه می‌شود سطح منابع ۴ خواهد شد.

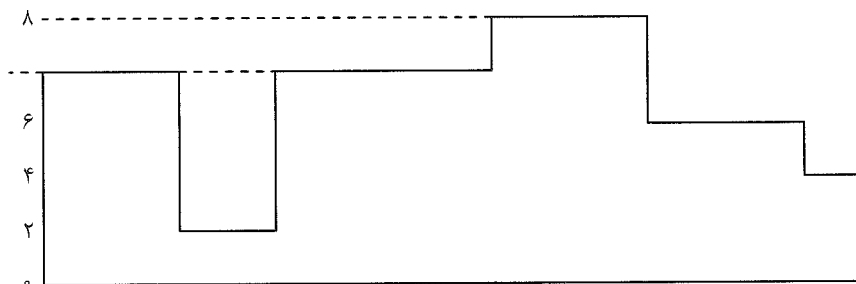
۵. گزینه ۴

ابتدا محاسبات زمانی را انجام می‌دهیم:



روی نمودار گانت فعالیت‌ها با شناوریشان را نمایش می‌دهیم:





۶. گزینه ۱

مسیر بحرانی $ABDE$ می‌باشد که سطح منابع آنها از ۳ بیشتر نخواهد شد.

۷. گزینه ۳

پس از محاسبات زمانی در زمان $T=0$ داریم:

$T=0$			
EAS	۱-۲	۱-۳	۱-۴
ES_{ij}	۰	۰	۰
LS_{ij}	۲	۳	۰
OSS	۱-۴	۱-۳	۱-۲

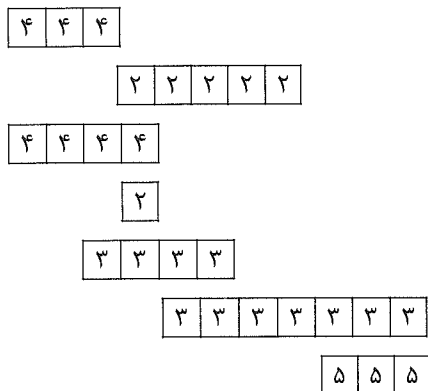
۸. گزینه ۳

۹. گزینه ۳

با توجه به الگوریتم برگس و شناوری E مجموع مربعات را به ازای تمام شروع‌های E که در

گزینه‌های ذکر شده محاسبه می‌کنیم.

شروع از ابتدای ۳:



$$8^2 + 8^2 + 11^2 + 11^2 + 8^2 + 8^2 + 5^2 + 5^2 + 8^2 + 8^2 + 8^2 = 740$$

شروع از ابتدای ۴:

$$8^2 + 8^2 + 8^2 + 11^2 + 8^2 + 8^2 + 8^2 + 5^2 + 8^2 + 8^2 + 8^2 = 722$$

شروع از ابتدای ۵:

$$8^2 + 8^2 + 8^2 + 8^2 + 8^2 + 8^2 + 8^2 + 8^2 + 8^2 + 8^2 + 8^2 = 704$$

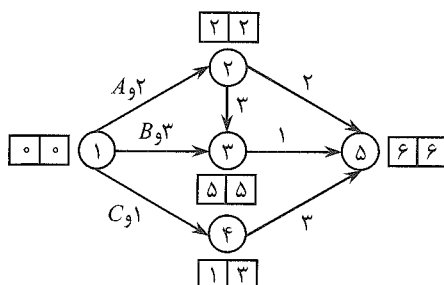
شروع از ابتدای ۶:

$$8^2 + 8^2 + 8^2 + 8^2 + 5^2 + 8^2 + 8^2 + 8^2 + 11^2 + 11^2 + 8^2 = 779$$

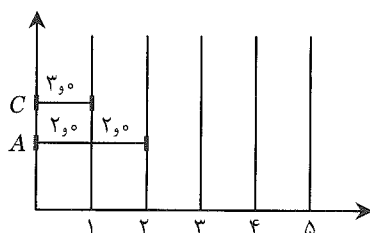
همان طوری که ملاحظه می‌شود شروع از ابتدای دوره ۵ کمترین مربعات را دارد پس الگوریتم برگس گزینه (۳) را انتخاب می‌کند.

۱۰. گزینه ۱

ابتدا محاسبات زمانی را انجام می‌دهیم:



با توجه به محاسبات زمانی واضح است که $LS_A = 0$, $LS_B = 2$ و $LS_C = 2$ که مجموعه OSS به ترتیب از A و C و B تشکیل شده است. توجه شود که چون $LS_B = LS_C = 2$ می‌باشند پس آنها را بر حسب زمان فعالیت مرتب کردیم. حال تخصیص منابع صورت می‌گیرد.



پس زمان ختم C انتهای روز اول می‌باشد.

۱۱. گزینه ۳

این گزینه تعریف مجموعه OSS می‌باشد.

۱۲. گزینه ۲

A	۵	۵	۵						
B			۳	۳	۳				
C	۴	۴	۴	۴					
D			۱						
E	۵	۵							
F			۳	۳	۳	۳	۳	۳	۳
G				۷	۷	۷	۷		

شکل فوق شروع C از ابتدای پروژه در نظر گرفته شده است که مجموع مربعات منبع آن به صورت زیر می‌باشد:

$$\text{مجموع مربعات} = ۱۴^2 + ۱۴^2 + ۱۰^2 + ۱۰^2 + ۶^2 + ۶^2 + ۱۰^2 + ۱۰^2 + ۱۰^2 + ۱۰^2$$

سپس با حرکت C به سمت راست و محاسبه مجموع مربعات منبع ملاحظه خواهد شد که ابتدا پریود C کمترین مجموع مربعات منبع را دارد.

۱۳. گزینه ۲

گزینه (۲): در نرم‌افزارهای کامپیوتری می‌توان تنظیمات را طوری انجام داد که فعالیت‌هایی که فرجه آنها کمتر از مثلاً ۱ باشد بحرانی در نظر گرفته شوند.

گزینه (۱): کلمه می‌تواند بکار برده، ثانیاً در گزینه ۱، اگر زمان اتمام پروژه را کمتر از زودترین زمان ختم پروژه قرار داده و محاسبات برگشت را انجام دهیم فرجه منفی بوجود می‌آید.

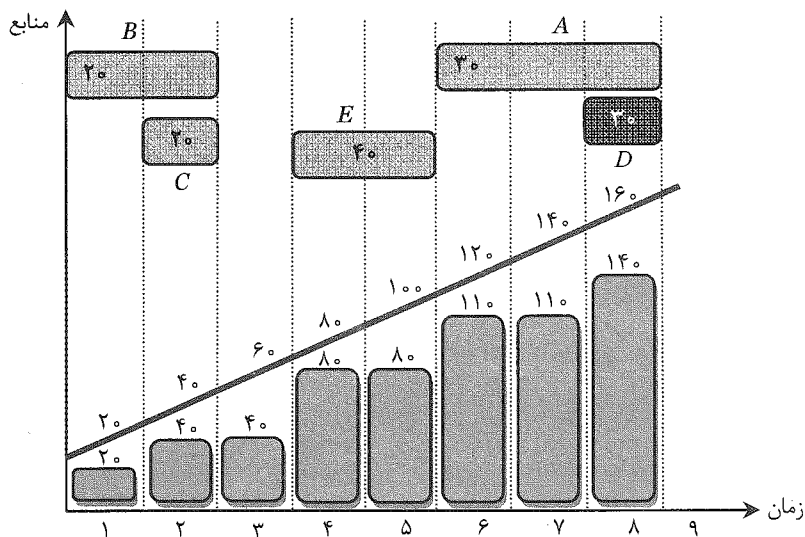
گزینه (۳): واضح است که اگر تخصیص منابع انجام ندهیم، تسطیح منابع معنی ندارد.

گزینه (۴): یک پروژه می‌تواند چند مسیر بحرانی داشته باشد.



۱۴. گزینه ۲

با توجه به شکل زیر گزینه ۲ صحیح است. در شکل زیر خط سیاه رنگ و اعداد نوشته شده روی آن مقادیر تجمعی سیمانی است که به انبار می رسد و اعداد نوشته شده روی میله های عمودی بیانگر مقادیر تجمعی سیمان مورد نیاز است. در زمان $T=1$ از بین فعالیت های A و B که پیشنیاز ندارند به دلیل محدودیت منابع فعالیت B شروع می شود. در پریود ۲ تنها فعالیت C می تواند شروع شود. با توجه به محدودیت منابع هیچ فعالیتی نمی تواند در پریود ۳ شروع شود. در پریود ۴ فعالیت های A و E می توانند شروع شوند. از آنجایی که LS هر دو فعالیت برابر است آن فعالیتی که زمان کمتری دارد شروع می شود، بنابراین فعالیت E در پریود ۴ شروع می شود. (در اینجا جواب این تست پیدا شد اما برای تمرین بیشتر مسأله را تا انتها حل می کنیم) با توجه به محدودیت منابع هیچ فعالیتی نمی تواند در پریود ۵ شروع شود. در پریود ۶ تنها فعالیت A می تواند شروع شود. حال تنها فعالیت D باقی مانده که با توجه به محدودیت پیشنیازی نمی تواند در پریود ۷ شروع شود و باید آن را در پریود ۸ شروع کنیم.



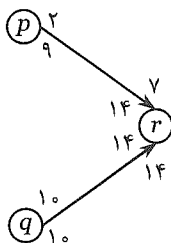
۱۵. گزینه ۱

در صورتی محدودیت بر روی زمان اتمام پروژه باشد، پروژه می‌تواند با تاخیر مواجه شود و شناوری جمعی برخی از فعالیت‌ها منفی گردد لذا گزینه ۱ صحیح می‌باشد. فعالیت‌های بحرانی می‌توانند شناوری صفر و یا منفی داشته باشند از سوی دیگر در برخی از برنامه‌های زمان‌بندی فعالیت‌هایی که شناوری آنها بسیار ناچیز است ولیکن صفر نمی‌باشد را نیز جزو فعالیت‌های بحرانی پروژه در نظر می‌گیریم بنابراین گزینه ۲ صحیح نمی‌باشد. الگوریتم برگس، الگوریتمی برای برنامه‌ریزی پروژه‌ها در شرایط عدم محدودیت در سطح منابع و وجود محدودیت در تاریخ اجرا می‌باشد. این الگوریتم یک روش بهینه‌سازی قطعی نمی‌باشد و سعی می‌کند که نوسانات سطح منابع را به حداقل برساند بنابراین گزینه ۳ نیز صحیح نمی‌باشد.

۱۶. گزینه ۴

هدف از تعیین منابع کمینه کردن تغییرات و نوسانات منبع مورد نیاز در طول اجرای پروژه می‌باشد که در هیچ کدام از گزینه‌ها بیان نشده است.

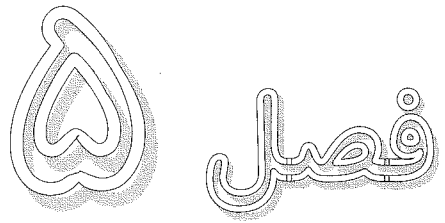
۱۷. گزینه ۴



فرض کنید در زمان $T=10$ قرار دادیم و تمام فعالیت‌های قبل از p و q انجام شده باشند.

$T=10$		
$EAS:$	$p-r$	$q-r$
$ES:$	۱۰	۱۰
$LS:$	۹	۱۰
$OSS:$	$p-r$	$q-r$

همان طوری که ملاحظه می‌شود $TF_{p-r}=7$ و $TF_{q-r}=0$ می‌باشد ولی فعالیت $p-r$ که دارای شناوری کل بیشتری می‌باشد انتخاب شده است. پس گزینه (۳) نمی‌تواند صحیح باشد.



موازنه زمان - هزینه

تا به حال محاسباتی که برای اتمام پروژه انجام می‌گرفت همگی فرض بر آن بود که زمان اتمام پروژه در زمان معمول و واقعی خود انجام شود. مخصوصاً فعالیت‌های روی مسیر بحرانی که تغییر در زمان انجام این فعالیت‌ها باعث تغییر در زمان اتمام پروژه می‌شد. گاهی اوقات بنا به دلایلی ممکن است مجبور شویم که زودتر از زمان معمول پروژه آن را به اتمام برسانیم که در چنین مواقعی مجبور هستیم که زمان انجام فعالیت‌ها را تسریع بخشیم. برای تسریع بخشیدن به انجام فعالیت مجبور می‌باشیم که منابع را افزایش دهیم که این کار باعث افزایش هزینه‌ها خواهد شد. به عبارت دیگر برای اجرای فعالیت در زمانی کوتاه‌تر از آنچه در شرایط عادی انجام می‌گیرد، مجبور هستیم که حجم منابعی نظیر نیروی کار و تعداد ماشین‌آلات و... را افزایش دهیم که این باعث می‌شود هزینه‌ها افزایش یابند. ولی در مقابل با کاهش پیدا کردن زمان انجام پروژه صرفه‌جویی‌هایی حاصل می‌شود که مطلوب پیمانکاران و صاحب‌کاران می‌باشد. حال این سوال پیش می‌آید که یک پروژه را تا چه حد باید سریع‌تر تکمیل نمود؟ آیا عایدی که به دست می‌آید تا چه حد افزایش هزینه کاهش زمان در یک پروژه را جبران خواهد نمود؟



حالاتی که ممکن است موازنه زمان - هزینه انجام شود

۱. برای تغییرات زمان - هزینه هیچ محدودیتی وجود ندارد.

گاهی اوقات برای زمان اتمام پروژه هیچ محدودیتی وجود ندارد و محاسبات زمانی و حتی کاهش زمان پروژه بر عهده برنامه‌ریز گذاشته شده است. در این حالت برنامه‌ریز بر اساس هزینه‌های مربوط به طولانی شدن پروژه از جمله هزینه سرمایه درگیر در پروژه، جریمه تأخیر و هزینه‌های غیرمستقیم که افزایش خواهند یافت در مقابل کوتاه کردن زمان انجام پروژه و هزینه‌های بیشتری که پرداخت خواهند نمود را، سبک سنگین می‌کند. که در بین این دو زمان (کوتاه‌تر شدن و بلندتر شدن) انجام پروژه یک زمان بهینه را به دست می‌آورد. در این مدل، هدف تعیین زمان اقتصادی برای اجرای پروژه که به ازای آن جمع هزینه‌های مستقیم و غیرمستقیم در حداقل میزان ممکن قرار بگیرد.

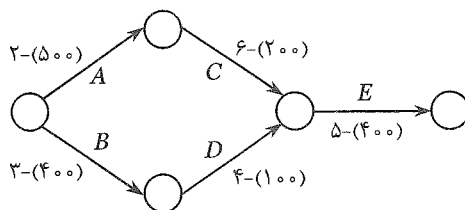
۲. تاریخ تکمیل پروژه مشخص شده باشد.

در بسیاری از پروژه‌ها بنا به دلایل خاص تاریخ تکمیل پروژه طی قراردادی که T_C نامیده می‌شود مشخص می‌باشد. در صورتی که T_C بیشتر از زمان CPM باشد طبق مطالبی که فصل‌های قبل ذکر شد هیچ اشکالی ندارد ولی در صورتی که این زمان یعنی T_C از زمان CPM کمتر (زودتر) باشد باید زمان اجرای برخی از فعالیت‌ها کاهش یابد و زمان آنها فشرده شود. که ممکن است ترکیب‌های مختلفی برای کاهش زمان پروژه در نظر گرفته شود. که در آن هدف تعیین ترکیب بهینه برای کاهش زمان اجرای فعالیت‌هاست. به طوری که با امکان‌پذیر نمودن اجرای پروژه در تاریخ تعیین شده (T_C)، میزان اضافه هزینه بابت تسریع، در حداقل مقدار ممکن انجام شود.

۳. بودجه مشخصی برای تسریع تاریخ تکمیل پروژه مشخص شده باشد.

در این مدل بر خلاف مدل قبل تغییر در زمان محدودیتی ندارد و حداکثر هزینه‌ای برای افزایش هزینه تسریع پروژه در نظر گرفته شده است. در چنین مدلی هدف تعیین بهترین ترکیب کاهش زمان فعالیت‌هاست، به طوری که پروژه در زودترین زمان ممکن قابل تکمیل شدن باشد. با این شرط که میزان هزینه‌ای که صرف کاهش زمان فعالیت‌ها می‌شود، از بودجه معین شده برای این منظور بیشتر نباشد.

برای درک بهتر موازنه هزینه زمان به شبکه برداری زیر دقت کنید.



اعدادی که روی فعالیت‌ها نوشته شده‌اند، عدد سمت چپ نمایش‌دهنده زمان انجام فعالیت به روز و عدد سمت راست که داخل پرانتز می‌باشد، نمایش‌دهنده هزینه برای هر روز کاهش در زمان اجرای فعالیت می‌باشد. واضح است که با استفاده از محاسبات زمانی حداقل زمان اجرای پروژه ۱۳ روز می‌باشد که مسیر بحرانی A-C-E است. حال در صورتی که بخواهیم زمان انجام پروژه را از ۱۳ به ۱۱ کاهش دهیم واضح است که از مسیر بحرانی باید زمان کاسته شود و باید به سراغ فعالیت‌های روی مسیر بحرانی برویم. روی مسیر بحرانی کمترین هزینه کاهش برای یک روز را C دارا می‌باشد ولی فقط با کاهش یک روز از زمان C مسیر B-D-E هم بحرانی خواهد شد و کاهش در زمان مسیر بحرانی اول یعنی A-C-E دیگر زمان انجام پروژه را کاهش نمی‌دهد. حال باید فعالیت‌های هر دو مسیر بحرانی را مورد بازنگری قرار دهیم. می‌توانیم زمان فعالیت E که در هر دو مشترک می‌باشند را کاهش دهیم و یا می‌توانیم زمان ترکیبی از فعالیت‌های روی هر دو مسیر را مورد بررسی قرار دهیم. در صورتی که زمان E را یک واحد کاهش دهیم ۴۰۰ واحد پول هزینه‌ها افزایش می‌یابند و در صورتی که C و D را هر کدام یک روز کاهش دهیم جمع هزینه‌ها ۳۰۰ واحد پول می‌باشد. که حالت دوم بهتر می‌باشد و کم‌هزینه‌تر است. در این حالت زمان انجام پروژه ۱۱ روز با هزینه بیشتر ۵۰۰ واحد پول می‌باشد زیرا:

کاهش C به اندازه ۲ روز	2×200
کاهش D به اندازه ۱ روز	۱۰۰
جمع	۵۰۰ واحد پول

زودترین زمان اتمام پروژه = ۱۱ روز

هزینه‌های پروژه شامل چه چیزهایی می‌شود:

۱. هزینه‌های مستقیم فعالیت‌ها

۲. هزینه‌های غیرمستقیم



هزینه‌های مستقیم

هزینه‌های لازم برای تأمین منابع، تجهیزات، مواد اولیه و مصالح، نیروی انسانی و... که مستقیماً در اجرای فعالیت‌ها نقش دارند، جزو هزینه‌های مستقیم پروژه محسوب می‌شوند.

نکته. در صورتی که اجرای فعالیت‌ها به صورت دست دوم به یک پیمانکار واگذار شده باشد، کل مبلغی که بابت اجرای فعالیت به او پرداخت شده جزو هزینه‌های مستقیم پروژه محسوب می‌شوند.

هزینه‌های غیرمستقیم

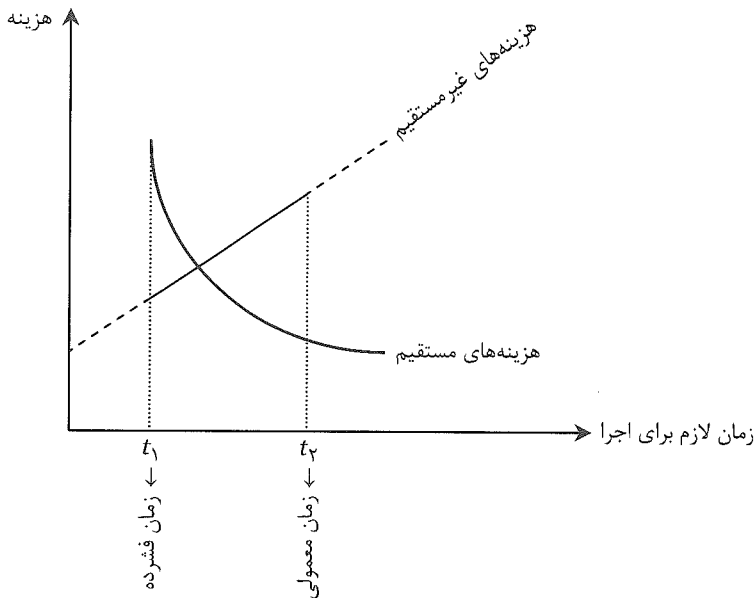
در اجرای یک پروژه علاوه بر منابعی که ذکر شده و مورد نیاز اجرای فعالیت و پروژه می‌باشند، هزینه‌های غیرمستقیمی از قبیل، هزینه‌های مدیریت، نگهداری، حسابداری و... جزو لاینفک یک پروژه بوده و به طور غیرمستقیم به پروژه تحمیل می‌شوند و نمی‌توان به طور خاص آنها را به یک فعالیت نسبت داد.

نکته. در یک پروژه هزینه‌های "پاداش تسریع" در اجرای پروژه و یا "دیرکرد" در اجرای پروژه را نیز هزینه‌های غیرمستقیم می‌نامند.

نکته. هزینه‌های غیرمستقیم یک پروژه را "هزینه‌های بالاسری"^۱ هم می‌نامند.

با آنچه در مورد هزینه‌های مستقیم و غیرمستقیم گفته شد، در صورتی که بخواهیم اتمام پروژه در زمانی کمتر از زمان مشخص شده اتفاق بیفتد به طور یقین هزینه‌های مستقیم افزایش خواهند یافت که افزایش آن الزاماً خطی نمی‌باشد و به همین ترتیب هزینه‌های غیرمستقیم (بالاسری) به طور نزدیک به یقین به طور خطی کاهش پیدا خواهند کرد. به عنوان مثال در صورت کاهش زمان انجام پروژه حقوق کارمندان و... که باید در روزهای کمتری پرداخت شود کاهش خواهد یافت و با افزایش زمان اجرای پروژه هزینه‌های غیرمستقیم افزایش خواهند یافت.

^۱ Overhead costs



هزینه‌های مستقیم و غیرمستقیم در زمان‌های معمول و فشرده

زمان‌های اجرای فعالیت‌ها با توجه به دیدگاه‌های مورد نیاز در مبحث موازنه زمان-هزینه به زمان‌های معمول^۱ و زمان‌های فشرده^۲ قابل تقسیم می‌باشند.

زمان معمولی

کوتاه‌ترین زمانی که می‌توان فعالیت را با حداقل هزینه‌های مستقیم اجرا نمود، زمان معمول (عادی) فعالیت نامیده می‌شود.

زمان فشرده

کمترین زمان لازم که ضمن آن اجرای فعالیت در شرایط اجرای پروژه امکان‌پذیر باشد، زمان فشرده (تعجیل) فعالیت نامیده می‌شود.

^۱ Normal activity time

^۲ Crash activity time



هزینه‌های معمولی^۱

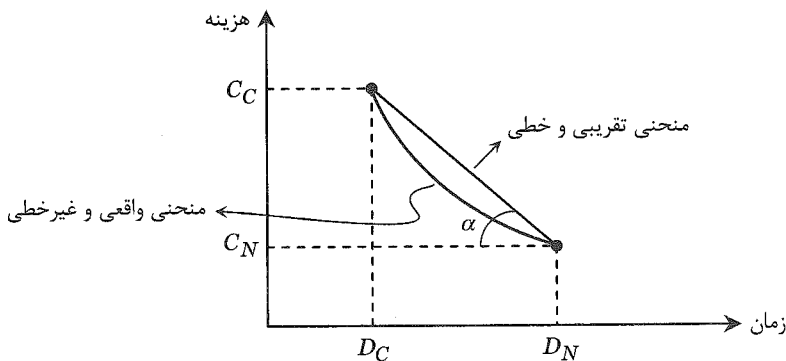
جمع هزینه‌های مستقیم یک فعالیت، در شرایطی که فعالیت در مدت زمان معمول خود اجرا شود را هزینه‌های معمولی (عادی) فعالیت می‌نامیم و آن را با C_N نمایش می‌دهیم.

هزینه‌های فشرده^۲

جمع هزینه‌های مستقیم یک فعالیت، در شرایطی که فعالیت به صورت تعجیلی در مدت زمان فشرده خود اجرا شود، هزینه‌های فشرده فعالیت نامیده می‌شود. و آن را با C_C نمایش می‌دهیم.

ضریب زاویه هزینه^۳

ضریب زاویه هزینه عبارتست از مقدار هزینه‌های مستقیم بیشتری که بابت کاهش یک واحد زمان از مدت اجرای فعالیت به آن تعلق می‌گیرد. به طور یقین طبق تعریف این منحنی باید خطی باشد ولی واضح است که منحنی تغییرات هزینه یک منحنی خطی نمی‌باشد ولی از آنجایی که هزینه‌ها تقریبی می‌باشند می‌توان منحنی تغییرات را خطی در نظر گرفت.



منحنی تغییرات هزینه- زمان

$$\tan \alpha = \frac{C_C - C_N}{D_N - D_C}$$

^۱ Normal activity cost

^۲ Crash activity cost

^۳ Activity cost slope

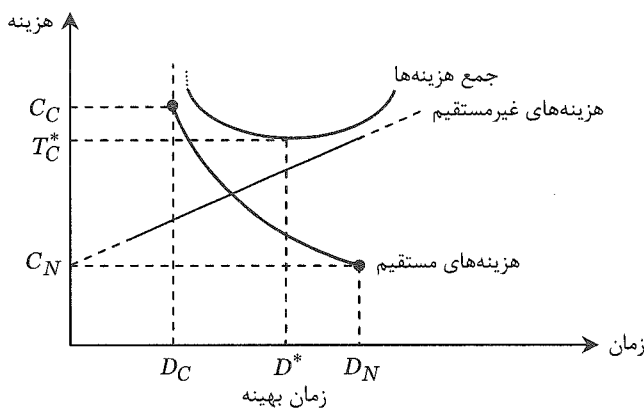
به عنوان مثال هزینه سفر از تهران به مشهد زمینی ۳۰,۰۰۰ تومان و هوایی ۳۰۰,۰۰۰ تومان می‌باشد در صورتی که زمینی سفر انجام شود ۱۴ ساعته و هوایی انجام شود ۲ ساعته به مشهد خواهیم رسید شیب هزینه تسریع به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$\text{شیب هزینه تسریع} = \frac{300,000 - 30,000}{14 - 2} = \frac{270,000}{12} = 22,500$$

یعنی به ازای هر یک ساعت تسریع ۲۲,۵۰۰ تومان اضافه‌تر پرداخت خواهد شد.

تغییرات مجموع هزینه‌ها و نقطه زمان بهینه

هدف از برنامه‌ریزی برای یک پروژه آن است که با کمترین هزینه و کمترین زمان ممکن پروژه با بهترین و بالاترین کیفیت انجام گردد. در این حالت باید موازنه‌ای بین زمان و هزینه انجام گردد که در اقتصادی‌ترین حالت و کمترین میزان هزینه نقطه بهینه برای اجرای پروژه انجام شود.

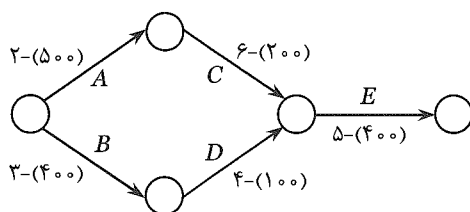


نکته. $D_C \leq D^* \leq D_N$

نکته. اگر تمام فعالیت‌ها در یک پروژه در زمان فشرده خود انجام شوند، هزینه‌های مستقیم آن پروژه حداکثر مقدار خود را گرفته است.

روش ابتکاری در موازنه زمان-هزینه

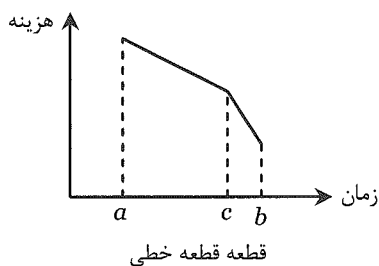
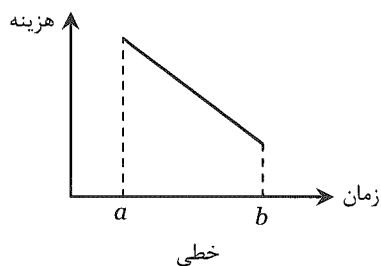
موازنه زمان-هزینه با استفاده از روش ابتکاری زمانی انجام خواهد شد که زمان اتمام پروژه زودتر از زمان بحرانی باشد.



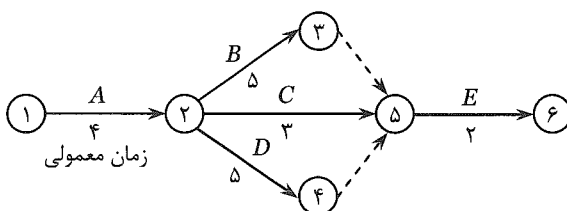
به عنوان مثال در شکل فوق زمان بحرانی پروژه ۱۳ روز می‌باشد در صورتی که کارفرما از ما بخواهد که پروژه را در ۱۱ روز به اتمام برسانیم می‌توانیم از این روش استفاده کنیم. ولی برای استفاده از این روش فرضیاتی باید در نظر گرفته شود که به صورت زیر می‌باشد:

■ زمان فعالیت‌ها را می‌توان به صورت عدد صحیح از واحد زمان کاهش داد. به عنوان مثال فرض کنید واحد زمان روز می‌باشد می‌توان مثلاً زمان ۵ روزه یک فعالیت را به ۳ روز کاهش داد ولی مثلاً نمی‌توان زمان آن را به ۱/۵ روز کاهش داد.

■ توابع هزینه‌های فعالیت‌ها در فاصله یا فواصل مختلف مشخص زمانی، به صورت خطی و یا قطعه قطعه خطی تعریف می‌شوند. این فاصله زمانی ممکن است فقط حداقل یا حداکثر داشته باشند و یا فاصله بین حداقل و حداکثر به چند بازه دیگر تقسیم شده باشند. به صورت زیر:



شبکه برداری زیر را در نظر بگیرید در شکل زیر نمایش داده شده است. زمان‌های معمولی و فشرده هر کدام از فعالیت‌ها و ضریب هزینه در جدول زیر آن داده شده‌اند.



جدول مربوط به هزینه و زمان معمولی و فشرده فعالیت‌ها

فعالیت	معمولی		فشرده		ضریب هزینه
	زمان (D_N)	هزینه (C_N)	زمان (D_C)	هزینه (C_C)	
A	۴	۳۰	۳	۴۰	۱۰
B	۵	۱۲	۲	۱۸	۲
C	۳	۱۰	۲	۲۰	۱۰
D	۵	۱۰	۳	۱۲	۱
E	۲	۱۵	۱	۳۰	۱۵

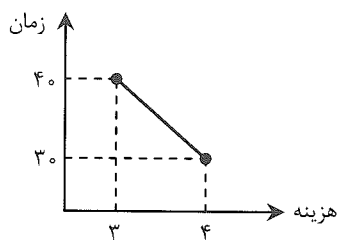
هزینه بالاسری پروژه را برای هر روز ۵ واحد پولی در نظر بگیرید.

ضریب هزینه فعالیت‌ها از رابطه زیر به دست آمده است.

$$c_{ij} = \frac{C_C - C_N}{D_N - D_C}$$

به عنوان مثال ضریب هزینه فعالیت A به صورت به دست آمده است:

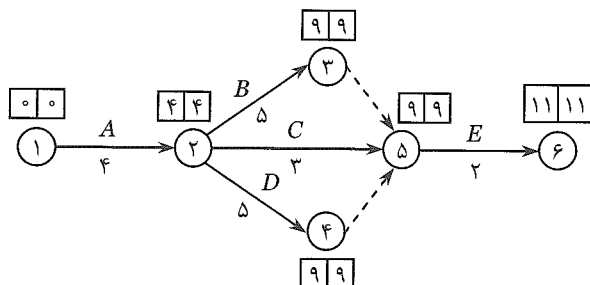
$$C_A = \frac{۴۰ - ۳۰}{۴ - ۳} = ۱۰$$



نکته. ضریب هزینه نشان می‌دهد که به ازای هر یک واحد زمانی کاهش در زمان فعالیت به اندازه

ضریب هزینه، هزینه‌ها افزایش می‌یابد.

با استفاده از محاسبات زمانی مسیرهای بحرانی را به دست می‌آوریم.





مسیرهای بحرانی ABE و ADE می‌باشند.

کل هزینه‌های این پروژه به اندازه زیر می‌باشد:

$$30 + 12 + 10 + 10 + 15 = 77 \Rightarrow \text{هزینه کل} = 77 + 55 = 132$$

$$11 \times 5 = 55 = \text{هزینه غیرمستقیم}$$

از آنجایی که هزینه کاهش زمان در مسیرهای بحرانی ABE و ADE مربوط به کاهش زمان فعالیت‌های روی مسیر بحرانی می‌باشند با توجه به هزینه‌های (ضریب هزینه) کاهش زمان متوجه خواهیم شد که کاهش زمان روی فعالیت‌های B و D هر کدام مسیرهای بحرانی به ترتیب ABE و ADE هر کدام به اندازه دو روز هزینه‌ها به صورت زیر محاسبه می‌گردند.

فعالیت	میزان کاهش	ضریب هزینه	هزینه کاهش	زمان کل پروژه	هزینه مستقیم	هزینه غیرمستقیم	هزینه کل
B	۲ روز	۲	$2 \times 2 = 4$	۹	۸۳	۴۵	۱۲۸
D	۲ روز	۱	$1 \times 2 = 2$				

نکته: می‌توانستیم به جای ۲ روز کاهش یک روز یک روز از زمان اجرای پروژه یعنی همان زمان فعالیت‌های B و D بکاهیم ولی چون تا ۲ واحد کاهش هیچ مسیر دیگری بحرانی نمی‌شود به یکباره ۲ واحد از زمان فعالیت‌های B و D کم کردیم.

حال با کاهش ۲ واحدی از زمان فعالیت‌های B و D یک مسیر بحرانی دیگر یعنی ACE هم حاصل می‌شود.

هرچند که ضریب هزینه D بسیار کم می‌باشد ولی طبق جدول بیش از ۲ روز نمی‌توان از زمان D کم کرد. پس کوتاه کردن B و C هیچ اثری در کاهش زمان پروژه ندارند و چاره‌ای جز کاهش A یا E نداریم.

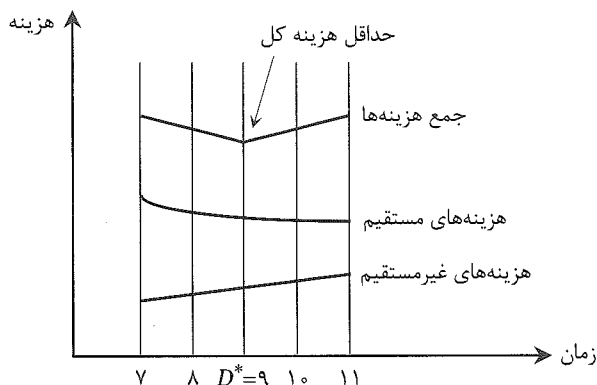
فرض کنید زمان A را یک واحد کاهش دهیم داریم:

فعالیت	میزان کاهش	ضریب هزینه	هزینه کاهش	زمان کل پروژه	هزینه مستقیم	هزینه غیرمستقیم	هزینه کل
A	۱	۱۰	۱۰	۸	۹۳	۴۰	۱۳۳

حال فرض کنید زمان E را یک واحد کاهش دهیم داریم:

فعالیت	میزان کاهش	ضریب هزینه	زمان کل پروژه	هزینه مستقیم	هزینه غیرمستقیم	هزینه کل
E	۱	۱۵	۷	۱۰۸	۳۵	۱۴۳

پس با محاسبات انجام شده در حالتی که زمان کل پروژه ۹ روز باشد کمترین هزینه‌ی موازنه زمان-هزینه انجام خواهد شد که در شکل بعد آورده شده است.



قدم‌های روش ابتکاری در مسائل موازنه زمان و هزینه

قدم ۱ ← ابتدا با استفاده از روش‌های محاسبات زمانی زمان CPM را به دست آورده تا مسیرهای بحرانی مشخص شوند و TF را زمان اجرای کل پروژه که همان زمان مسیر بحرانی می‌باشد بنامید. که در آن هزینه اجرای پروژه با هزینه نرمال پروژه برابر می‌باشد.

قدم ۲ ← ضریب هزینه هر کدام از فعالیت‌ها را به دست آورید.

قدم ۳ ← در این مرحله هدف آن است که زمان اجرای پروژه را از TF به $TF-1$ کاهش دهیم. برای این کار کافی است مسیر بحرانی را داشته باشیم و سپس فعالیتی که دارای ضریب هزینه کمتری می‌باشد و یا ترکیبی از فعالیت‌ها که مجموع هزینه کاهش زمان آنها کمتر باشد را برای کاهش زمان انتخاب می‌کنیم. در این حالت مدت زمان پروژه کاهش یافته به طوری که کمترین افزایش هزینه را داشته باشیم.

قدم ۴ ← اگر فعالیت انتخاب شده به زمان فشرده خود (D_C) رسیده باشد ولی پروژه هنوز به زمان مورد نظر نرسیده باشد در این حالت چون زمان اجرای این فعالیت را نمی‌توان بیشتر کاهش داد به سراغ بقیه فعالیت‌ها جهت کاهش زمان می‌رویم.



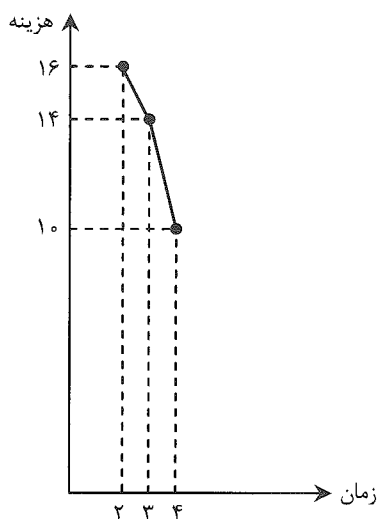
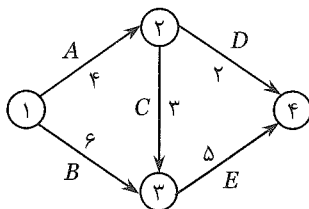
قدم ۵ ← در نهایت ترکیبی از فعالیت‌ها انتخاب می‌گردد که تابع زمان مورد نظر با کمترین هزینه حاصل شود.

نکته. در صورتی که زمان نرمال را TF_N و زمان فشرده را TF_C بنامیم زمان اجرای پروژه به صورت زیر می‌باشد:

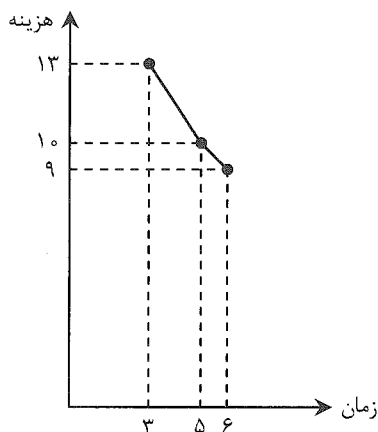
$$TF_C \leq TF \leq TF_N$$

مثال. شکل زیر که یک شبکه برداری می‌باشد را در نظر بگیرید. که زمان اجرای هر فعالیت روی

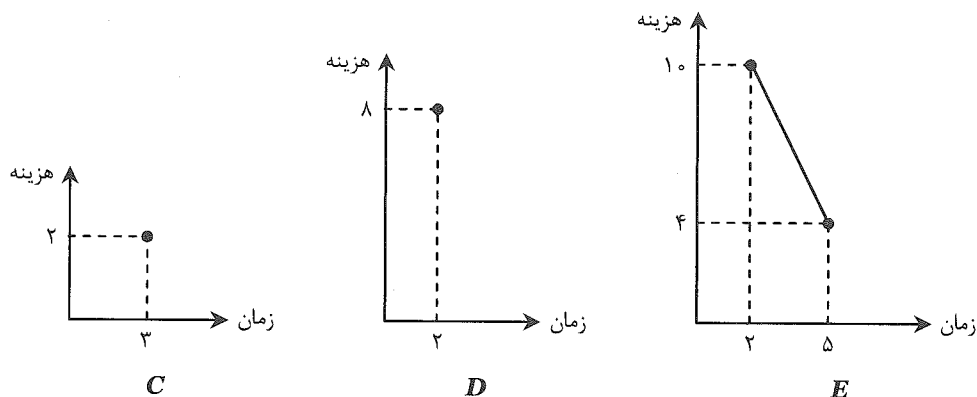
آن نمایش داده شده است. در ادامه ضریب هزینه هم در شکل‌ها به صورت توابع خطی و یا قطعه قطعه خطی نشان داده شده است. با استفاده از روش ابتکاری هزینه- زمان اجرای پروژه را به ۸ روز برسانید و جمع هزینه‌ها را در بهینه‌ترین حالت به دست آورید. (هزینه غیرمستقیم هر روز را هم ۵ بگیرید)



A



B



حل.

ابتدا شیب هزینه هر کدام از فعالیت‌ها را به دست می‌آوریم:

$$C_A = \frac{14-10}{4-3} = 4$$

$$C_A = \frac{16-14}{3-2} = 2$$

$$C_B = \frac{10-9}{6-5} = 1$$

$$C_B = \frac{13-10}{5-3} = \frac{3}{2}$$

و با توجه به نمودار زمان-هزینه فعالیت‌های C و D زمان هیچ کدام را نمی‌توان کاهش داد.

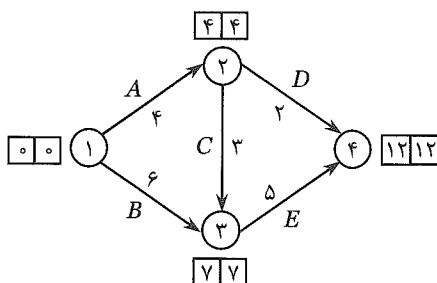
$$C_E = \frac{10-4}{5-2} = 2$$

$$\text{حداقل هزینه‌های مستقیم} = 10 + 9 + 2 + 8 + 4 = 33$$

$$\text{حداکثر هزینه‌های مستقیم} = 16 + 13 + 2 + 8 + 10 = 49$$

$$\text{هزینه‌های مستقیم} = 12 \times 5 = 60$$

محاسبات زمانی را هم روی شبکه انجام می‌دهیم:





کلیه مسیرهای موجود را برای محاسبه راحت‌تر و کاهش زمان به دست می‌آوریم:

$$AD \Leftarrow \text{زمان} = ۶$$

$$ACE \Leftarrow \text{زمان} = ۱۲$$

$$BE \Leftarrow \text{زمان} = ۱۱$$

از E جهت کاهش زمان شروع می‌کنیم:

فعالیت	میزان کاهش	ضریب هزینه	هزینه کاهش	زمان کل پروژه	هزینه مستقیم	هزینه غیرمستقیم	هزینه کل
E	۳	۲	۶	۹	۳۹	۴۵	۸۴

با کم کردن زمان ۳ روزه برای E در حال حاضر زمان ACE برابر ۹ و زمان BE برابر ۸ می‌باشد.

زمان E را که نمی‌توانیم دیگر کاهش دهیم. کاهش در زمان B هم روی مسیر ACE هیچ اثری ندارد پس به ناچار زمان A را کاهش می‌دهیم.

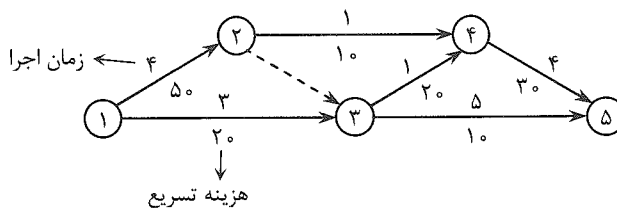
فعالیت	میزان کاهش	ضریب هزینه	هزینه کاهش	زمان کل پروژه	هزینه مستقیم	هزینه غیرمستقیم	هزینه کل
A	۱	۴	۴	۸	۴۳	۴۰	۸۳

با تغییرات اعمال شده زمان انجام پروژه ۸ روزه شد و کل هزینه‌ها هم ۸۳ می‌باشد.



مثال با توجه به شبکه برداری زیر، در اولین مرحله اگر تصمیم به کاهش زمان پروژه به میزان

یک واحد زمانی باشد، کدام فعالیت در اولویت اول انتخاب قرار دارد؟



۳-۵ و ۴-۵ (۴)

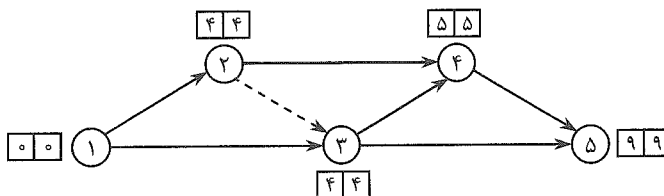
۳-۴ و ۱-۳ (۳)

۴-۵ (۲)

۱-۲ (۱)

حل.

ابتدا محاسبات زمانی را انجام می‌دهیم:



کافی است کلیه مسیرهای بحرانی موجود را معرفی کنیم:

$$1-2-4-5 \Rightarrow \text{زمان} = 9$$

$$1-2-3-4-5 \Rightarrow \text{زمان} = 9$$

$$1-2-3-5 \Rightarrow \text{زمان} = 9$$

حال گزینه‌ها را امتحان می‌کنیم. ملاحظه می‌شود که با کاهش زمانی ۴-۵ و ۳-۵ به طور ترکیبی ۴۰

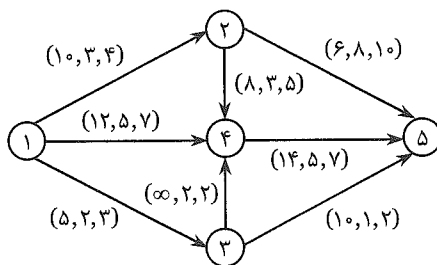
واحد پول به هزینه‌ها اضافه می‌شود که کمترین هزینه می‌باشد. پس گزینه (۴) صحیح است. ☐

مثال. شبکه زیر شبکه برداری پروژه‌ای را نشان می‌دهد. اعداد روی یال به ترتیب از راست به چپ

بیانگر زمان نرمال، زمان فشرده و هزینه لازم برای کاهش طول فعالیت به میزان یک واحد است.

اگر قرار باشد این پروژه ۱۳ دوره زمانی به پایان برسد، حداقل میزان افزایش هزینه‌های مستقیم

آن چقدر است؟



۱۹ (۴)

۲۴ (۳)

۳۶ (۲)

۳۸ (۱)



حل.

ابتدا کلیه مسیرهای موجود را از ۱ به ۵ به دست می‌آوریم:

$$۱-۲-۵ \Rightarrow \text{زمان} = ۱۴$$

$$۱-۲-۴-۵ \Rightarrow \text{زمان} = ۱۶$$

$$۱-۴-۵ \Rightarrow \text{زمان} = ۱۴$$

$$۱-۳-۴-۵ \Rightarrow \text{زمان} = ۱۲$$

$$۱-۳-۵ \Rightarrow \text{زمان} = ۵$$

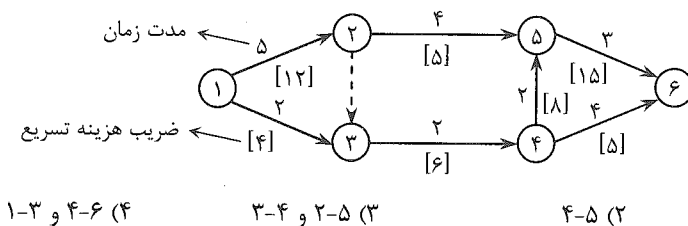
چون مسیر دوم ذکر شده بحرانی می‌باشد پس باید جهت کاهش از این مسیر شروع کنیم و در همان مرحله اول ۲ روز کم می‌کنیم که هزینه کاهش $۱۶ \times ۸ = ۱۲۸$ می‌باشد.

حال هر سه مسیر $۱-۲-۵$ و $۱-۲-۴-۵$ و $۱-۴-۵$ بحرانی خواهند شد. با کاهش در زمان ۲-۵ و ۴-۵ هزینه‌ها به اندازه $(۶+۱۴)$ اضافه خواهد شد که جمعاً ۳۶ واحد به هزینه‌ها اضافه خواهد شد.

□

مثال پروژه‌ای بر اساس شبکه زیر تعریف شده است. برای اولین بار اگر تصمیم به کاهش زمان پروژه به میزان یک واحد زمانی باشد، کدام فعالیت یا فعالیت‌ها در اولویت قرار دارند و انتخاب

می‌شوند؟



حل.

کلیه مسیرهای موجود را به دست می‌آوریم:

$$۱-۲-۵-۶ \Rightarrow \text{زمان} = ۱۲$$

$$۱-۳-۴-۵-۶ \Rightarrow \text{زمان} = ۹$$

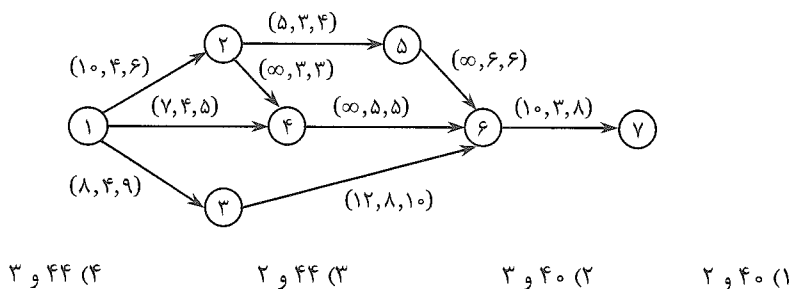
$$۱-۳-۴-۶ \Rightarrow \text{زمان} = ۸$$

$$۱-۲-۳-۴-۶ \Rightarrow \text{زمان} = ۱۱$$

$$۱-۲-۳-۴-۵-۶ \Rightarrow \text{زمان} = ۱۲$$

با توجه به گزینه‌ها بهترین کاهش در گزینه (۳) ذکر گردیده که هزینه تسريع ۱۱ واحد پول می‌باشد.

مثال: در شبکه CPM زیر، مقادير زمان‌های نرمال، فشرده و شیب هزینه به ترتیب از راست به چپ داده شده است. اگر قرار باشد پروژه در ۲۲ واحد زمانی به اتمام برسد هزینه مورد نیاز کاهش بر حسب واحد پول و تعداد مسیر بحرانی پروژه پس از کاهش به ترتیب کدام است؟



حل.

کلیه مسیرهای موجود از ۱ به ۷ را به دست می‌آوریم:

$$۱-۲-۵-۶-۷ \Rightarrow \text{زمان} = ۲۴$$

$$۱-۲-۴-۶-۷ \Rightarrow \text{زمان} = ۲۲$$

$$۱-۴-۶-۷ \Rightarrow \text{زمان} = ۱۸$$

$$۱-۳-۶-۷ \Rightarrow \text{زمان} = ۲۷$$

کاهش زمان را از مسیر آخر شروع می‌کنیم. زمان ۱-۳ را ۳ واحد زمانی کاهش می‌دهیم که هزینه تسريع برابر $۳ \times ۸ = ۲۴$ می‌باشد. هر دو مسیر اول و آخر در لیست بحرانی خواهند شد. حال ۲ روز از زمان ۶-۷ کم می‌کنیم. هزینه تسريع $۲ \times ۱۰ = ۲۰$ خواهد بود. که جمع کل هزینه‌های تسريع $۲۴ + ۲۰ = ۴۴$ خواهد شد. ولی زمان هر کدام از مسیرها به صورت زیر می‌باشد که فقط ۲ مسیر بحرانی داریم:

$$۱-۲-۵-۶-۷ \Rightarrow \text{زمان} = ۲۲ \quad \text{بحرانی}$$

$$۱-۲-۴-۶-۷ \Rightarrow \text{زمان} = ۲۰$$

$$۱-۴-۶-۷ \Rightarrow \text{زمان} = ۱۶$$

$$۱-۳-۶-۷ \Rightarrow \text{بحرانی} = ۲۲ \text{ زمان}$$

□ که فقط گزینه (۳) صحیح است.

الگوریتم زیمنس برای موازنه زمان - هزینه

این الگوریتم برای زمانی استفاده می‌شود که برای تکمیل پروژه تاریخ مشخص شده باشد و در قرارداد آمده باشد که این زمان را با T_p نمایش می‌دهیم. در صورتی که T_p (زمان قرارداد برای تکمیل پروژه) از زمان CPM به دست آمده برای مسأله کمتر باشد، با بکار بردن الگوریتم زیمنس ممکن است بتوان ترکیب مناسبی را برای کاهش زمان فعالیت‌ها یافت، به طوری که پروژه در زمان T_p قابل انجام باشد، به طوری که حداقل هزینه کاهش زمان پروژه را داشته باشیم.

برای بررسی روش زیمنس، ابتدا تعریف زیر را متذکر می‌شویم:

$$۱. \quad c_{ij} = \left| \frac{C_C - C_N}{D_C - D_N} \right| = \text{ضریب هزینه}$$

$$۲. \quad D_P = \sum D_{ij} = \text{طول مسیر}$$

$$۳. \quad TA_{ij} = D'_N - D_C = \text{زمان قابل کاهش فعالیت}$$

که در آن D'_N زمان فعلی فعالیت ij می‌باشد. توجه شود که در ابتدای حل $D'_N = D_N$ می‌باشد.

۴. هرگاه گفته شود که "مسیر به اندازه کافی کوتاه می‌باشد" بدین معنی است که پروژه در زمان T_p قابل تکمیل می‌باشد و دیگر نیازی به کاهش بیشتر زمان نمی‌باشد.

$$۵. \quad Ec_{ij} = \frac{c_{ij}}{N_{ij}} = \text{ضریب هزینه مؤثر } ij$$

که در آن N_{ij} تعداد مسیرهایی می‌باشد که فعالیت ij روی آنها قرار گرفته و به اندازه کافی کوتاه نشده‌اند.

۶.

$$TR = \begin{cases} T_p - (\text{طول فعلی مسیر}) & \text{اگر } T_p > \text{طول فعلی مسیر} \\ 0 & \text{اگر } T_p \leq \text{طول فعلی مسیر} \end{cases}$$

مقدار کاهش لازم مسیر

■ ■ ■ قدم‌های الگوریتم زیرمنس به صورت زیر می‌باشد:

قدم ۱ ← محاسبات زمانی را روی شبکه انجام دهید این محاسبات بر اساس زمان‌های معمولی یعنی D_N انجام می‌شود و CPM به دست می‌آید.

قدم ۲ ← مسیرهایی که دارای $TR > 0$ می‌باشند را مشخص کرده و مقادیر کاهش لازم (TR) را برای هر مسیر مشخص نمایید.

قدم ۳ ← همه فعالیت‌هایی که حداقل در یکی از مسیرهای مشخص شده در قدم دوم می‌باشند را انتخاب نموده و ضرایب هزینه C_{ij} و زمان قابل کاهش TA_{ij} آنها را بنویسید.

قدم ۴ ← ضرایب هزینه مؤثر یعنی Ec_{ij} را برای فعالیت‌های معین شده در قدم سوم محاسبه کنید.

قدم ۵ ← برای تمام مسیرهایی که حداکثر $TR > 0$ را دارند، فعالیت را که حداقل ضریب هزینه مؤثر یعنی حداقل Ec_{ij} را دارد، انتخاب کنید. در صورتی که بیش از یک فعالیت دارای شرایط یکسان بودند به صورت زیر عمل کنید:

(۱-۵) فعالیت را انتخاب کنید که روی تعداد بیشتری از مسیرهایی که $TR > 0$ دارند قرار دارد.

(۲-۵) فعالیت را انتخاب کنید که حداکثر زمان قابل کاهش را دارد.

(۳-۵) یکی از فعالیت‌ها را به طور دلخواه انتخاب کنید.

قدم ۶ ← زمان فعالیت ij ای که در قدم ۵ انتخاب شده است را تا حد امکان کم کنید. این حداکثر کاهش برابر با حداقل مقادیر زیر خواهد بود:

$$(1-6) \text{ زمان قابل کاهش فعالیت } ij(TA_{ij})$$

(۲-۶) حداقل مقدار کاهش لازم (TR) برای مسیرهایی که به اندازه کافی کوتاه نشده‌اند و شامل فعالیت ij هستند. یعنی:

$$ij \text{ حداکثر کاهش زمان } = \min\{TA_{ij}, [\min(TR)]\}$$

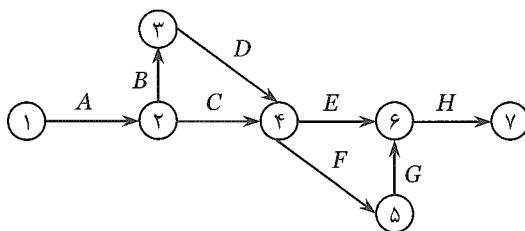


قدم ۷ ← فعالیتهایی را که بیش از مقدار لازم کوتاه شده‌اند یعنی روی مسیرهایی قرار دارند که $\sum D'_N - T_P < 0$ است تا این مقدار که باعث به وجود آمدن مسیرهای جدید "به اندازه کافی کوتاه نشده" نمی‌شوند، افزایش زمان دهید.

قدم ۸ ← اگر تمامی مسیرها به اندازه کافی کوتاه شده‌اند، متوقف شوید. در غیر این صورت ضریب هزینه مؤثر برای فعالیتهایی که روی مسیرهایی قرار دارند که به اندازه کافی کوتاه نشده‌اند، به دست آورید.

قدم ۹ ← به قدم ۵ بروید.

شبکه زیر را در نظر بگیرید:



که اطلاعات زمانی آن به صورت زیر می‌باشد:

H	G	F	E	D	C	B	A	
۵	۳	۲	۴	۶	۳	۵	۴	(D_N) زمان معمولی
۴	۱	۱	۳	۵	۳	۴	۳	(D_C) زمان فشرده
۸	۱	۲	۱۰	۷	-	۵	۳	(C_{ij}) ضریب هزینه

زمان مسیر بحرانی این مسأله ۲۵ می‌باشد (محاسبه کنید) و زمان $T_P = ۲۲$ برای آن در نظر گرفته شده است. پس مسیرهایی که به اندازه کافی کوتاه نمی‌باشند طبق قدم دوم به صورت زیر می‌باشند.

$TR = \sum D_N - T_P$	$\sum D_N$	مسیر طویل	مسیرهای شبکه
-۶	۱۶	نمی‌باشد	A-C-E-H
-۵	۱۷	نمی‌باشد	A-C-F-G-H
+۳	۲۵	می‌باشد	A-B-D-F-G-H
+۲	۲۴	می‌باشد	A-B-D-E-H

مسیرهای طویل ($TR > 0$) دارند در جدول مشخص شده‌اند.

طبق قدم سوم تمام فعالیت‌هایی که در یکی از دو مسیر طویل $A-B-D-E-H$ و $A-B-D-F-G-H$ می‌باشند مشخص کرده و c_{ij} و TA_{ij} آنها را محاسبه می‌کنیم:

	ضریب هزینه c_{ij}	زمان کاهش TA_{ij}
A	۳	۱
B	۵	۱
D	۷	۱
E	۱۰	۱
F	۲	۱
G	۱	۲
H	۸	۱

طبق قدم چهارم ضریب هزینه‌های مؤثر یعنی $Ec_{ij} = \frac{c_{ij}}{N_{ij}}$ محاسبه می‌شوند.

فعالیت	ضریب هزینه مؤثر
A	$\frac{۳}{۲} = ۱/۵$
B	$\frac{۵}{۲} = ۲/۵$
D	$\frac{۷}{۲} = ۳/۵$
E	$\frac{۱۰}{۱} = ۱۰$ چون E در یک مسیر فقط وجود دارد →
F	$\frac{۲}{۱} = ۲$
G	$\frac{۱}{۱} = ۱$
H	$\frac{۸}{۲} = ۴$

در بین این دو مسیر که $TR > ۰$ دارند مسیری که $TR = +۳$ دارد را انتخاب و فعالیت G را که

کمترین ضریب هزینه مؤثر را دارد برای کاهش زمان طبق قدم پنجم انتخاب می‌کنیم.

طبق دستورالعمل قدم ششم کاهش زمان G به صورت زیر می‌باشد:

$$\min\{TA_G, [\min(TR)]\}$$

$$\min\{۲, \min(۳)\} = ۲$$



TR فقط یک مسیر در رابطه فوق در نظر گرفته شد زیرا- فعالیت G فقط در یک مسیر $A-B-D-F-G-H$ قرار دارد که $TR=3$ دارد.

پس کاهش زمان G به اندازه ۲ روز می‌باشد. که هزینه کاهش زمان $2 \times 1 = 2$ می‌باشد. حال دور دوم را اجرا می‌کنیم.

	ضریب هزینه	زمان کاهش	ضریب هزینه مؤثر
A	۳	۱	۱/۵
B	۵	۱	۲/۵
D	۷	۱	۳/۵
E	۱۰	۱	۱۰
F	۲	۱	۲
H	۸	۱	۴

برای مسیر $A-B-D-F-G-H$ ، $TR=+1$ و برای مسیر $A-B-D-E-H$ ، $TR=+2$ می‌باشد. پس مسیر دوم را انتخاب و فعالیت A که ضریب هزینه مؤثر کوچکتری دارد را برای کاهش زمان انتخاب می‌کنیم. کاهش یک واحدی در زمان A کاهش هزینه‌ای معادل $3 \times 1 = 3$ را دربر دارد. پس با هزینه کاهش قبلی هزینه کل برابر $2+3=5$ می‌باشد.

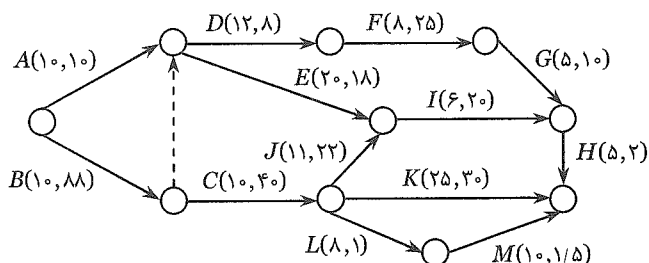
مرحله سوم دوباره جدول را رسم می‌کنیم:

	ضریب هزینه	زمان کاهش	ضریب هزینه مؤثر
B	۵	۱	۵
D	۷	۱	۷
E	۱۰	۱	۱۰
H	۸	۱	۸

پس چون B ضریب هزینه مؤثر کمتری دارد B برای کاهش زمان یک واحدی انتخاب خواهد شد و هزینه کاهش زمان آن $5 \times 1 = 5$ می‌باشد که هزینه کل برابر است با $5+5=10$ ولی با کاهش زمان B طبق قدم هفتم زمان مسیر $A-B-D-F-G-H$ برابر $TR=21-22=-1$ خواهد شد پس G را که قبلاً ۲ روز کاهش داده بودیم و فقط در این مسیر قرار دارد به میزان یک واحد زمان (یک روز) افزایش می‌دهیم که هزینه منفی (-1) واحد پول به هزینه‌ها اضافه می‌کند که هزینه کل برابر خواهد شد با $10+(-1)=9$.

در نتیجه فعالیت‌های A و B و G هر کدام به اندازه یک روز کاهش زمان داشتند که هزینه کل برابر شد با $۱ \times ۱ + ۳ \times ۱ + ۵ \times ۱ = ۹$.

مثال شبکه برداری زیر را در نظر بگیرید عددی‌های داخل پرانتز از چپ به راست نشان‌دهنده زمان معمول و هزینه تسریع می‌باشند.



با الگوریتم زیمنس اگر قرار باشد که پروژه در ۴۰ روز به اتمام برسد ضریب هزینه مؤثر کدام فعالیت بیشتر می‌باشد؟ (کاهش زمان تمام فعالیت‌ها تا ۳ روز مجاز می‌باشد)

L (۴) E (۳) K (۲) A (۱)

حل.

ابتدا تمام مسیرها را با زمان به دست می‌آوریم:

$$A-D-F-G-H \Rightarrow \text{زمان} = ۴۰$$

$$A-E-I-H \Rightarrow \text{طول} = ۴۱ \text{ زمان}$$

$$B-D-F-G-H \Rightarrow \text{زمان} = ۴۰$$

$$B-E-I-H \Rightarrow \text{طول} = ۴۱ \text{ زمان}$$

$$B-C-J-I-H \Rightarrow \text{طول} = ۴۲ \text{ زمان}$$

$$B-C-K \Rightarrow \text{طول} = ۴۵ \text{ زمان}$$

$$B-C-L-M \Rightarrow \text{زمان} = ۳۸$$

$$E_{CA} = \frac{۱۰}{۱} = ۱۰ \quad E_{CK} = \frac{۳۰}{۱} = ۳۰ \quad E_{CE} = \frac{۱۸}{۲} = ۹$$

پس شیب هزینه مؤثر K از همه گزینه‌ها بیشتر است پس گزینه (۲) صحیح است.





مثال. در مثال قبل اگر قرار باشد که پروژه ۴۰ روزه به اتمام برسد، با استفاده از الگوریتم زیمنس

در مرحله اول کدام فعالیت برای کاهش زمان انتخاب می‌گردد و میزان کاهش چقدر است؟

- (۱) B و ۲ (۲) B و ۳ (۳) C و ۳ (۴) C و ۲

حل.

طولانی‌ترین زمان مربوط به $B-G-K$ می‌باشد.

$$EC_C = \frac{40}{4} = 10 < EC_B = \frac{18}{3}$$

پس فعالیت C دارای ضریب هزینه مؤثر کمتری می‌باشد مسیرهایی که شامل C می‌باشند را در نظر

می‌گیریم و حداقل TR آنها را انتخاب می‌کنیم $\min\{3, 2, 5\} = 2$ پس C با ۲ روز کاهش انجام

خواهد شد یعنی گزینه (۴) صحیح است.



مثال. در مثال قبل در مرحله دوم کدام فعالیت برای کاهش انتخاب می‌شود؟

- (۱) A (۲) B (۳) K (۴) C

حل.

در مرحله دوم مسیرهای طویل به صورت زیر می‌باشند:

$$A-E-I-H \Rightarrow 41$$

$$B-E-I-H \Rightarrow 41$$

$$B-C-K \Rightarrow 43$$

طولیل‌ترین $B-C-K$ می‌باشد. پس داریم:

$$EC_K = \frac{30}{1} < EC_C = \frac{40}{1} < EC_B = \frac{18}{2}$$



پس گزینه (۳) صحیح است.

مثال. در مثال قبل میزان افزایش هزینه مستقیم پروژه پس از سپری شدن دو مرحله چقدر است؟

- (۱) ۸۰ (۲) ۱۷۰ (۳) ۱۱۰ (۴) هزینه افزایش ندارد.

حل.

چون فقط K در مسیر $B-C-K$ قرار دارد بنابراین فقط $TR=3$ این مسیر در رابطه زیر در نظر گرفته می شود:

$$\min\{TA_K, \min(TR)\} = \min\{3, 3\} = 3$$

$$C \text{ روز } 2 \times 40 = 80 = \text{هزینه کاهش}$$

$$K \text{ روز } 3 \times 30 = 90 \Rightarrow 80 + 90 = 170 = \text{هزینه کاهش سه روز}$$



پس گزینه (۲) صحیح است.

برنامه ریزی ریاضی برای حل مدل های موازنه زمان-هزینه

از آنجایی که حل مسأله با روش های ارائه شده مشکل می باشد و بیشتر برای مسائل کوچک می توان از آنها استفاده کرد، برای حل مسائل بزرگ می توان از مدل برنامه ریاضی آن استفاده کرد. فرض کنید رابطه زمان و هزینه برای فعالیت ij از یک پروژه مشخص و به صورت خطی باشد. علائم و متغیرهای مورد استفاده در مدل را به صورت زیر معرفی می شوند:

$$D_{Nij} = \text{زمان معمولی فعالیت } ij$$

$$D_{Cij} = \text{زمان فشرده فعالیت } ij$$

$K_N = \text{جمع هزینه های مستقیم پروژه در شرایطی که همگی فعالیت ها در زمان معمولی خود اجرا شوند.}$

$$C_{ij} = \text{ضریب هزینه فعالیت } ij$$

$$d_{ij} = \text{زمان عملی برای اجرای فعالیت } ij$$

$n = \text{تعداد رویدادها به طوری که رویداد اول ۱ و رویداد آخر } n \text{ باشد.}$

$$t_i = \text{زمان عملی برای وقوع رویداد } i$$



مدل ۱: تعیین زمان بهینه پروژه

در این مدل هدف یافتن زمان بهینه برای اجرای پروژه است و زمان خاصی جهت کاهش زمان پروژه وجود ندارد. فقط هدف انجام پروژه در زمانی است که جمع هزینه‌ها برابر با حداقل مقدار ممکن شود. فرض کنید جمع هزینه‌های بالاسری برابر H باشد. اضافه هزینه مستقیم فعالیت ij ، بابت کاهش زمان از D_{ij} به d_{ij} عبارتست از:

$$ij \text{ اضافه هزینه} = C_{ij}(D_{N_{ij}} - d_{ij})$$

$$\text{اضافه هزینه کل پروژه} = \sum_i \sum_j C_{ij}(D_{N_{ij}} - d_{ij})$$

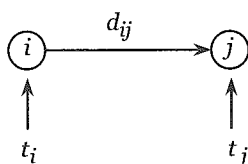
هزینه‌های غیرمستقیم پروژه عبارتست از:

$$H(t_n - t_1) = \text{هزینه‌های غیرمستقیم}$$

که در آن $t_n - t_1$ برابر زمان کل اجرای پروژه می‌باشد.

که در آن جمع هزینه‌های پروژه به صورت زیر می‌باشد:

$$Z = H(t_n - t_1) + K_N + \sum_i \sum_j C_{ij}(D_{N_{ij}} - d_{ij})$$



d_{ij} و t_1 و t_n متغیرهای مسأله می‌باشند و برای d_{ij} ها و t_i و t_j ها محدودیت‌هایی وجود دارد.

■ زمان اجرای فعالیت نمی‌تواند بزرگتر از زمان وقوع رویداد پایه و پایان باشد.

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

■ زمان عملی اجرای فعالیت (d_{ij}) حداقل به اندازه زمان فشرده و حداکثر به اندازه زمان معمولی می‌باشد.

$$D_{C_{ij}} \leq d_{ij} \leq D_{N_{ij}}$$

که در حالت کلی مدل مسأله به صورت زیر می‌باشد:

$$\min Z = H(t_n - t_1) + \sum_j \sum_i C_{ij} (D_{Nij} - d_{ij}) + K_N$$

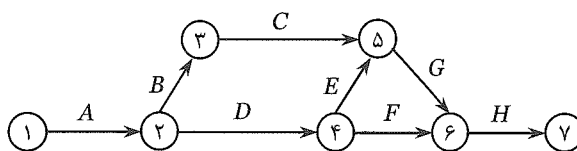
$$s.t. \quad t_j - t_i \geq d_{ij} \quad i, j = 1, 2, \dots, n$$

$$D_{Cij} \leq d_{ij} \leq D_{Nij}$$

$$t_i \geq 0 \quad d_{ij} \geq 0$$

به عنوان مثال فعالیت‌های یک شبکه به صورت زیر می‌باشد که اطلاعات مربوط به آن در جدول زیر

آورده شده است.



فعالیت	D_N	D_C	C_N	C_{ij} = ضریب هزینه
A	۴	۲	۱۰۰	۱۰
B	۳	۱	۱۵۰	۵
C	۷	۵	۵۰۰	۸
D	۸	۷	۸۰	۶
E	۶	۴	۹۰	۱۰
F	۵	۳	۱۲۰	۱۰
G	۹	۶	۱۰۰	۷
H	۱۰	۸	۷۰	۹

مدل ریاضی مسأله برای بهینه کردن زمان و هزینه پروژه به صورت زیر می‌باشد که در آن

$$K_N = \sum C_N \text{ می‌باشد. (هزینه غیرمستقیم پروژه روزی ۱۲ واحد پول می‌باشد)}$$



$$\min Z = 12(t_7 - t_1) + 10(4 - d_A) + 5(3 - d_B) + 8(7 - d_C) + 6(8 - d_D) + 10(6 - d_E) + 10(5 - d_F) \\ + 7(9 - d_G) + 9(10 - d_H) + 1210$$

$$\text{s.t.} \quad t_7 - t_1 \geq d_A, \quad t_7 - t_2 \geq d_B, \quad t_8 - t_3 \geq d_C, \quad t_7 - t_4 \geq d_D \\ t_8 - t_5 \geq d_E, \quad t_9 - t_6 \geq d_F, \quad t_9 - t_8 \geq d_G, \quad t_7 - t_9 \geq d_H \\ 2 \leq d_A \leq 4, \quad 1 \leq d_B \leq 3, \quad 5 \leq d_C \leq 7, \quad 7 \leq d_D \leq 8 \\ 4 \leq d_E \leq 6, \quad 3 \leq d_F \leq 5, \quad 6 \leq d_G \leq 9, \quad 8 \leq d_H \leq 10 \\ t_1, t_2, \dots, t_7 \geq 0 \quad d_A, \dots, d_H \geq 0$$

مدل ۲: تعیین بهترین ترکیب کاهش زمان برای تکمیل پروژه در زمان مشخص

همان طوری که قبلاً ذکر شد در صورتی که هدف کوتاه کردن زمان پروژه به زمان قرارداد یعنی T_P باشد. پس محدودیت $t_n - t_1 \leq T_P$ هم باید به مسأله اضافه گردد همچنین قسمت $H(t_n - t_1)$ هم باید

از تابع هدف حذف گردد زیرا HT_P هزینه‌های ثابت می‌باشد و یک عدد ثابت است.

پس مدل مسأله به صورت زیر خواهد شد:

$$\min Z = \sum_i \sum_j C_{ij} (D_{N_{ij}} - d_{ij})$$

$$\text{s.t.} \quad t_j - t_i \geq d_{ij} \\ D_{C_{ij}} \leq d_{ij} \leq D_{N_{ij}} \quad i, j = 1, \dots, n \\ t_n - t_1 \leq T_P \\ t_i \geq 0 \quad i = 1, \dots, n \quad d_{ij} \geq 0$$

مثال ذکر شده برای مدل ۲ به صورت زیر می‌باشد:

$$\min Z = 12(t_V - t_1) + 10(4 - d_A) + 5(3 - d_B) + 8(7 - d_C) + 6(8 - d_D) + 10(6 - d_E) + 10(5 - d_F) \\ + 7(9 - d_G) + 9(10 - d_H)$$

$$s.t. \quad t_V - t_1 \geq d_A, \quad t_V - t_2 \geq d_B, \quad t_5 - t_4 \geq d_C, \quad t_4 - t_3 \geq d_D$$

$$t_5 - t_4 \geq d_E, \quad t_6 - t_5 \geq d_F, \quad t_6 - t_5 \geq d_G, \quad t_V - t_6 \geq d_H$$

$$2 \leq d_A \leq 4, \quad 1 \leq d_B \leq 3, \quad 5 \leq d_C \leq 7, \quad 7 \leq d_D \leq 8$$

$$4 \leq d_E \leq 6, \quad 3 \leq d_F \leq 5, \quad 6 \leq d_G \leq 9, \quad 8 \leq d_H \leq 10.$$

$$t_V - t_1 \leq t_p$$

$$t_1, t_2, \dots, t_V \geq 0 \quad d_A, \dots, d_H \geq 0$$

مدل ۳: بودجه معینی برای کاهش زمان پروژه تعیین شده باشد

در این مدل فرض بر آن است که بودجه مشخصی در اختیار مدیر پروژه قرار گرفته که این بودجه برابر B می‌باشد. مدیر پروژه باید زمان پروژه را از زمان معمول به حداقل زمان ممکن کاهش دهد به طوری که محدودیت بودجه رعایت شود. باید زمان پروژه به طوری کاهش یابد که هزینه‌های اضافی مربوط به کاهش زمان فعالیت‌ها، از مبلغ B بیشتر نباشد.

$$\min Z = t_n - t_1$$

$$s.t. \quad t_j - t_i \geq d_{ij}$$

$$D_{C_{ij}} \leq d_{ij} \leq D_{N_{ij}} \quad i, j = 1, \dots, n$$

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

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



مثال ذکر شده برای مدل ۳ به صورت زیر می باشد:

$$\min Z = t_V - t_1$$

$$s.t. \quad t_1 - t_1 \geq d_A, \quad t_3 - t_2 \geq d_B, \quad t_5 - t_4 \geq d_C, \quad t_7 - t_6 \geq d_D$$

$$t_5 - t_4 \geq d_E, \quad t_6 - t_5 \geq d_F, \quad t_8 - t_7 \geq d_G, \quad t_V - t_8 \geq d_H$$

$$2 \leq d_A \leq 4, \quad 1 \leq d_B \leq 3, \quad 5 \leq d_C \leq 7, \quad 7 \leq d_D \leq 8$$

$$4 \leq d_E \leq 6, \quad 3 \leq d_F \leq 5, \quad 6 \leq d_G \leq 9, \quad 8 \leq d_H \leq 10$$

$$12(t_V - t_1) + 10(4 - d_A) + 5(3 - d_B) + 8(7 - d_C) + 6(8 - d_D) + 10(6 - d_E) + 10(5 - d_F)$$

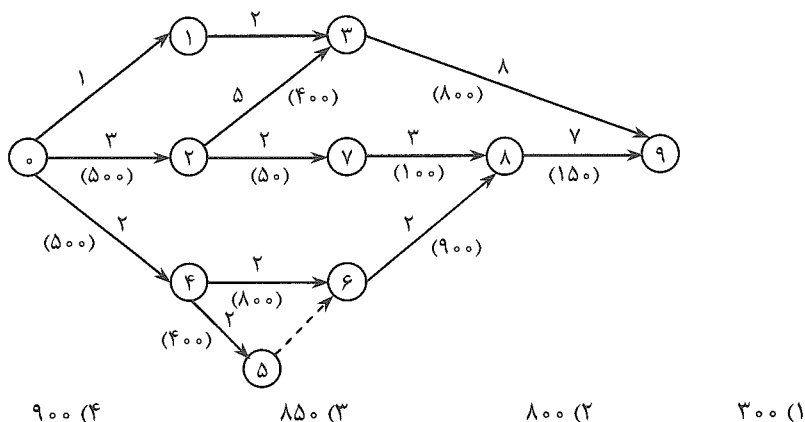
$$+ 7(9 - d_G) + 9(10 - d_H) \leq B$$

$$t_1, t_2, \dots, t_V \geq 0 \quad d_A, \dots, d_H \geq 0$$

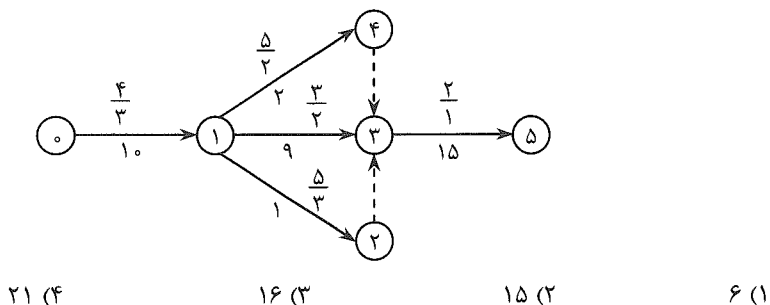
که در آن B یک عدد معلوم می باشد و حداکثر هزینه مورد نظر برای تسریع زمان اجرای پروژه می باشد.

سوال

۱. شبکه زیر را در نظر بگیرید. اعداد روی کمان‌ها معادل زمان فعالیت و اعداد زیر کمان‌ها داخل پرانتز برابر است با هزینه کاهش زمان به ازای یک واحد. در صورتی که بخواهیم مدت زمان کل پروژه را به مدت دو روز کاهش دهیم کمینه هزینه جهت کاهش زمان عبارتست از:



۲. شبکه زیر را در نظر بگیرید. اعداد روی بردارها عبارت‌اند از زمان معمولی و زمان فشرده و عدد زیر بردار عبارت‌اند از ضریب زاویه هزینه. در صورتی که بخواهیم مدت زمان کل پروژه به میزان ۳ روز کاهش دهیم. کمینه هزینه جهت کاهش عبارتست از:



۳. در سؤال فوق در صورتی که هزینه‌های غیرمستقیم ۵ واحد به ازای یک روز بوده و هزینه مستقیم اتمام پروژه به صورت معمول ۷۷ باشد، زمان بهینه اتمام پروژه عبارتست از:

۸ (۴)
۹ (۳)
۱۰ (۲)
۱۱ (۱)



۴. a_{ij} شیب هزینه تسریع فعالیت $i-j$ و D_{ij}^n زمان معمولی، D_{ij}^f زمان فشرده و d_{ij} زمان واقعی

فعالیت می‌باشد. همچنین H هزینه بالاسری پروژه به ازای یک روز است. n رویداد وجود دارد که T_i زمان رویداد i ام در حالت فشرده و T'_i زمان رویداد i ام در حالت معمولی است.

فرض کنید کارفرما به میزان B بودجه در اختیار پیمانکار به منظور کاهش زمان پروژه گذاشته است. در این حالت پیمانکار چه میزان بودجه جهت کاهش زمان فعالیت‌ها در اختیار دارد.

$$B+H \quad (۲)$$

$$B \quad (۱)$$

$$B+H \sum_j \sum_i (D_{ij}^n - d_{ij}) \quad (۴)$$

$$B+H(T'_n - T_n) \quad (۳)$$

۵. در سوال فوق محدودیت بودجه کدام است؟

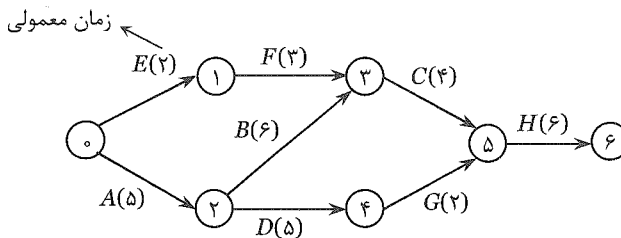
$$\sum_i \sum_j a_{ij} d_{ij} \leq B \quad (۱)$$

$$\sum_i \sum_j a_{ij} (D_{ij}^n - d_{ij}) \leq B \quad (۲)$$

$$\sum_i \sum_j a_{ij} (D_{ij}^n - d_{ij}) \leq B+H(T'_n - T_n) \quad (۳)$$

$$\sum_i \sum_j a_{ij} (D_{ij}^n - d_{ij}) \leq B + \sum_{i,j} H(D_{ij}^n - d_{ij}) \quad (۴)$$

۶. شبکه زیر و جدول مربوط به کاهش زمان فعالیت‌ها را در نظر بگیرید.

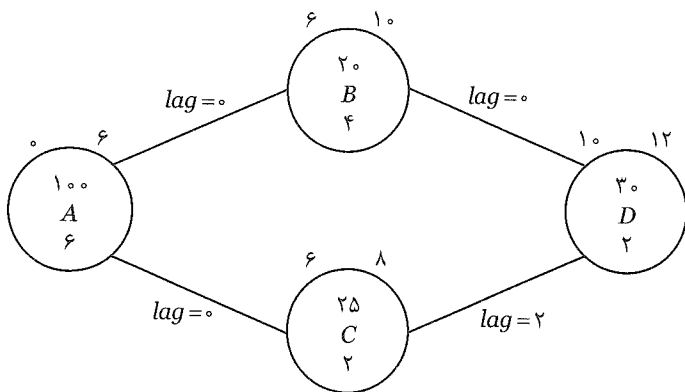


فعالیت	زمان معمولی	زمان فشرده	ضریب هزینه
A	۵	۳	۲۰
B	۶	۴	۵
C	۴	۳	۱۰
E	۲	۱	۱۰

زمان فعالیت D نیز از ۵ واحد به ۸ واحد می‌تواند افزایش یابد که به ازای هر یک واحد افزایش زمان، ۱۴ واحد صرفه‌جویی می‌شود قرار است مدت زمان کل پروژه، ۳ واحد کاهش یابد. کمینه هزینه برای موضوع عبارتست از:

- ۱۶ (۱) ۳۰ (۲) ۳۵ (۳) ۴۰ (۴)

شبکه زیر را در نظر بگیرید که در آن عدد اول داخل دایره از بالا نشان‌دهنده هزینه کاهش زمان فعالیت، حرف دوم نشان‌دهنده اسم فعالیت و عدد سوم نشان‌دهنده زمان فعالیت می‌باشد. در شبکه زیر lag های نوشته شده روی هر کدام از کمان‌ها بر اساس محاسبات زمانی به دست آمده‌اند.



به سه سوال زیر پاسخ دهید:

۷. در صورتی که زمان B را ۳ روز کاهش دهیم آنگاه هزینه تسریع چند می‌باشد؟

- ۲۰ (۴) ۴۰ (۳) ۶۰ (۲) ۶۰۰ (۱)

۸. در صورتی که زمان B را ۳ روز کاهش دهیم آنگاه lag_{BD} و lag_{CD} چند است؟

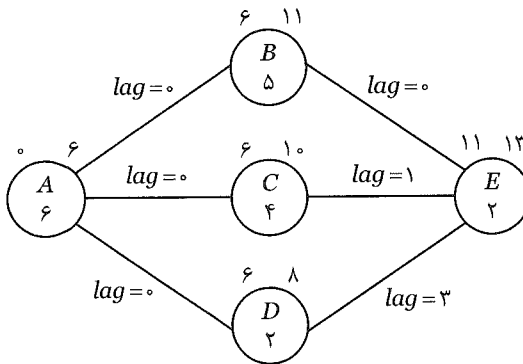
- $lag_{CD}=0$ $lag_{BD}=2$ (۲) $lag_{CD}=0$ $lag_{BD}=0$ (۱)
 $lag_{CD}=0$ $lag_{BD}=1$ (۴) $lag_{CD}=2$ $lag_{BD}=0$ (۳)

۹. در صورتی که بخواهیم زمان پروژه به ۹ روز کاهش پیدا کند هزینه تسریع چند است؟

- ۶۰ (۴) ۶۵ (۳) ۴۰ (۲) ۷۰ (۱)



شبکه زیر را در نظر بگیرید:



که در آن lag ها بر اساس محاسبات زمانی به دست آمده‌اند.

- فعالیت A می‌تواند تا سه روز به ازای هر روز ۱۴۰ دلار کاهش زمان داشته باشد.
 - فعالیت B می‌تواند تا یک روز به ازای هر روز ۱۱۰ دلار کاهش زمان داشته باشد.
 - فعالیت C می‌تواند تا سه روز به ازای هر روز ۴۰ دلار کاهش زمان داشته باشد.
 - فعالیت D می‌تواند تا یک روز به ازای هر روز ۲۰ دلار کاهش زمان داشته باشد.
 - فعالیت E می‌تواند تا یک روز به ازای هر روز ۱۰۰ دلار کاهش زمان داشته باشد.
- به سه سوال بعد پاسخ دهید.

۱۰. در صورت کاهش زمان پروژه به ۱۲ روز هزینه تسریع کدام است؟

- (۱) ۲۰ (۲) ۴۰ (۳) ۱۱۰ (۴) ۱۰۰

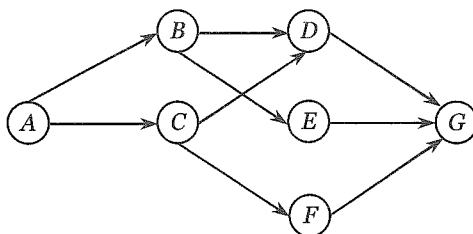
۱۱. در صورت کاهش زمان پروژه به ۸ روز هزینه تسریع کدام است؟

- (۱) ۳۱۰ (۲) ۳۰۰ (۳) ۶۰۰ (۴) ۶۳۰

۱۲. در صورت کاهش زمان پروژه به ۸ روز lag_{DE} چند است؟

- (۱) صفر (۲) ۲ (۳) ۳ (۴) ۴

شبکه زیر با جدول زمانی و هزینه آن را در نظر بگیرید:



فعالیت	T_C	T_N	C_C	C_N
A	۲	۴	۶۰۰	۳۰۰
B	۱	۲	۸۰۰	۶۵۰
C	۳	۵	۴۸۰	۲۴۰
D	۱	۳	۳۰۰	۱۰۰
E	۲	۴	۱۶۰۰	۱۰۰۰
F	۱	۲	۱۱۵۰	۱۱۰۰
G	۲	۳	۵۰۰	۳۰۰

که در آن:

T_N = زمان نرمال

T_C = زمان فشرده

C_C = هزینه تسريع

C_N = هزینه نرمال

می‌باشند. به ۲ سوال بعد پاسخ دهید.

۱۳. در زمان $T=۱۴$ هزینه و تعداد مسیر بحرانی می‌باشد.

(۱) ۲-۳۰۰ (۲) ۲-۳۹۹۰ (۳) ۱-۳۰۰ (۴) ۲-۳۷۹۰

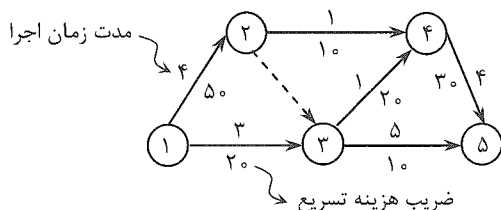
۱۴. در زمان $T=۱۱$ هزینه و تعداد مسیر بحرانی می‌باشد.

(۱) ۲-۱۹۸۰ (۲) ۳-۱۹۸۰ (۳) ۲-۵۵۷۰ (۴) ۳-۵۵۷۰



۱۵. با توجه به شبکه‌برداری زیر، در اولین مرحله اگر تصمیم به کاهش زمان پروژه به میزان یک واحد

زمانی باشد، کدام فعالیت یا فعالیت‌ها در اولویت اول انتخاب قرار دارند؟ (صنایع ۹۰)



۳-۵ و ۴-۵ (۴)

۳-۴ و ۱-۳ (۳)

۴-۵ (۲)

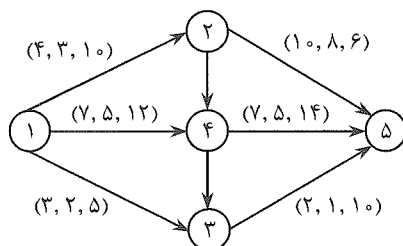
۱-۲ (۱)

۱۶. شکل زیر شبکه برداری پروژه‌ای را نشان می‌دهد. اعداد روی هر یال به ترتیب از چپ به راست

بیانگر زمان نرمال، زمان فشرده و هزینه لازم برای کاهش طول فعالیت به میزان یک واحد است. اگر

قرار باشد این پروژه طی ۱۳ دوره زمانی به پایان برسد، حداقل میزان افزایش هزینه‌های مستقیم

آن چقدر است؟ (صنایع ۹۰)



۱۹ (۴)

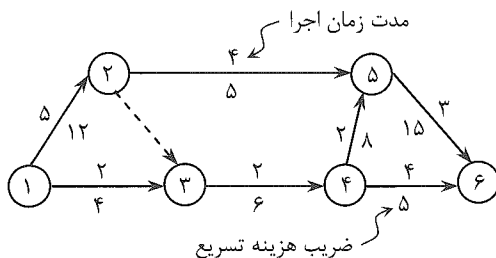
۲۴ (۳)

۳۶ (۲)

۳۸ (۱)

۱۷. پروژه‌ای بر اساس شبکه زیر تعریف شده است. برای اولین بار اگر تصمیم به کاهش زمان پروژه به

میزان یک واحد زمانی باشد، کدام فعالیت/فعالیت‌ها در اولویت قرار دارند و انتخاب می‌شوند؟ (صنایع ۹۱)



۱-۳ و ۴-۶ (۴)

۳-۴ و ۲-۵ (۳)

۴-۵ (۲)

۱-۲ (۱)

۱۸. اگر کارفرما در صورت تاخیر در تحویل به موقع کار، از پیمانکار روزانه جریمه تأخیر بگیرد، از

دیدگاه پیمانکار استفاده از چه روشی در این شرایط مناسب‌تر است؟ (صنایع ۹۱)

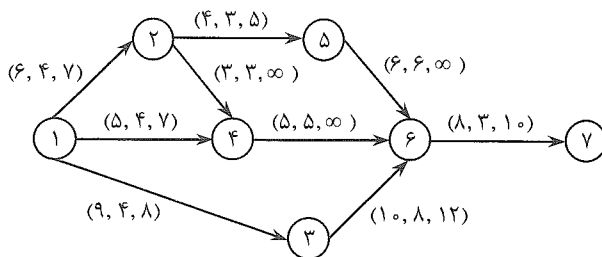
(۱) تسطیع منابع (۲) موازنه زمان-هزینه

(۳) تخصیص منابع محدود (۴) برنامه‌ریزی مایلستون (Milestone Planning)

۱۹. در شبکه CPM روبه‌رو، مقادیر زمان‌های نرمال، فشرده و شیب هزینه به ترتیب از چپ به راست

داده شده است. اگر قرار باشد پروژه در ۲۲ واحد زمانی به اتمام برسد، هزینه مورد نیاز کاهش

برحسب واحد پول و تعداد مسیر بحرانی پروژه پس از کاهش، به ترتیب کدام است؟ (صنایع ۹۲)



۳ و ۴۴ (۴)

۲ و ۴۴ (۳)

۳ و ۴۰ (۲)

۲ و ۴۰ (۱)

۲۰. اگر a_{ij} شیب هزینه تسريع فعاليت $i-j$ ، D_{ij}^n زمان معمولی فعاليت $i-j$ ، D_{ij}^f زمان فشرده

فعاليت $i-j$ ، d_{ij} زمان واقعی فعاليت $i-j$ ، B بودجه اضافی جهت تسريع در انجام پروژه و H

هزینه بالاسری پروژه باشد، در این صورت در محدودیت‌های مسأله مدلسازی موازنه زمان-هزینه

خواهیم داشت: (صنایع ۹۳)

$$\sum_i \sum_j a_{ij}(d_{ij}) \leq B + H \quad (۲)$$

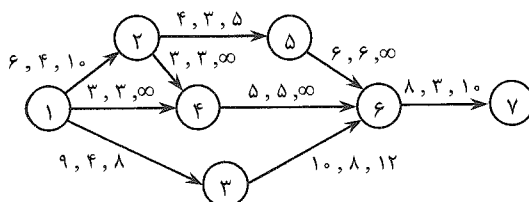
$$\sum_i \sum_j a_{ij}(d_{ij}) \leq B \quad (۱)$$

$$\sum_i \sum_j a_{ij}(D_{ij}^n - d_{ij}) \leq B + H \quad (۴)$$

$$\sum_i \sum_j a_{ij}(D_{ij}^n - d_{ij}) \leq B \quad (۳)$$



۲۱. در شبکه CPM زیر مقادیر زمان‌های نرمال، فشرده و شیب هزینه که هزینه لازم برای کاهش طول فعالیت به میزان یک واحد است را از چپ به راست نشان می‌دهد. اگر قرار باشد پروژه در ۲۲ واحد زمان به اتمام برسد، هزینه موردنیاز کاهش برحسب واحد پول و تعداد مسیر بحرانی پروژه پس از کاهش به ترتیب از راست به چپ کدام است؟ (منابع ۹۳)



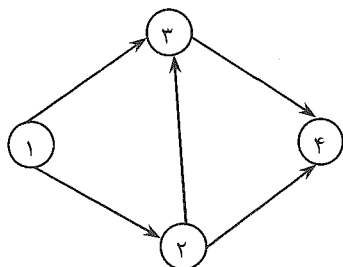
مسیر ۳، ۴۴ (۴)

مسیر ۳، ۴۰ (۳)

مسیر ۲، ۴۴ (۲)

مسیر ۲، ۴۰ (۱)

۲۲. با فرض اینکه d_{ij} زمان فعالیت $i-j$ و t_i زمان وقوع رویداد i باشد، مدل برنامه‌ریزی ریاضی شبکه پروژه زیر کدام است؟ (منابع ۹۴)



$$\min t_4 - t_1$$

$$s.t. \begin{cases} d_{12} \geq t_2 - t_1 & d_{34} \geq t_4 - t_3 \\ d_{13} \geq t_3 - t_1 & d_{24} \geq t_4 - t_2 \\ d_{23} \geq t_3 - t_2 & t_i \geq 0 \quad \forall i \end{cases} \quad (1)$$

$$\max t_4 - t_1$$

$$s.t. \begin{cases} d_{12} \geq t_2 - t_1 & d_{34} \geq t_4 - t_3 \\ d_{13} \geq t_3 - t_1 & d_{24} \geq t_4 - t_2 \\ d_{23} \geq t_3 - t_2 & t_i \geq 0 \quad \forall i \end{cases} \quad (2)$$

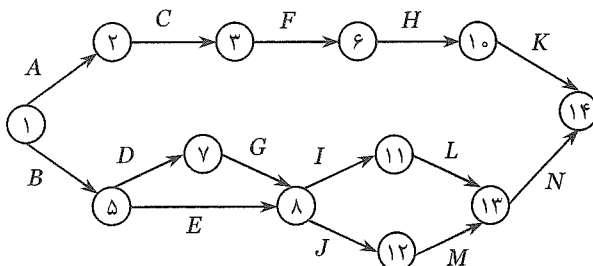
$$\min t_4 - t_1$$

$$s.t. \begin{cases} d_{12} \leq t_2 - t_1 & d_{34} \leq t_4 - t_3 \\ d_{13} \leq t_3 - t_1 & d_{24} \leq t_4 - t_2 \\ d_{23} \leq t_3 - t_2 & t_i \geq 0 \quad \forall i \end{cases} \quad (3)$$

$$\max t_4 - t_1$$

$$s.t. \begin{cases} d_{12} \leq t_2 - t_1 & d_{34} \leq t_4 - t_3 \\ d_{13} \leq t_3 - t_1 & d_{24} \leq t_4 - t_2 \\ d_{23} \leq t_3 - t_2 & t_i \geq 0 \quad \forall i \end{cases} \quad (4)$$

۲۳. شبکه یک پروژه به صورت زیر در اختیار است. اطلاعات مربوط به زمان‌های معمولی و فشرده و ضریب هزینه در جدول زیر داده شده است. لازم است زمان پروژه به ۴۰ واحد برسد. در صورتی که بخواهیم از الگوریتم زیمنس برای کاهش زمان فعالیت‌ها استفاده کنیم، اولین فعالیتی که طبق این الگوریتم انتخاب می‌شود و زمان کاهش آن، کدام است؟ (صنایع ۹۵)



فعالیت	زمان معمولی	زمان فشرده	ضریب هزینه
A	۶	۶	-
B	۹	۶	۱۰۰
C	۳	۳	-
D	۸	۸	-
E	۱۱	۷	۱۰۰
F	۱۰	۷	۸۰
G	۳	۳	-
H	۱۳	۱۰	۱۰۰
I	۶	۶	-
J	۷	۵	۸۰
K	۹	۹	-
L	۶	۳	۸۰
M	۱۰	۷	۸۰
N	۱۰	۷	۱۲۰

(۱) فعالیت B- سه واحد کاهش زمان

(۲) فعالیت M- دو واحد کاهش زمان

(۳) فعالیت M- سه واحد کاهش زمان

(۴) فعالیت J- دو واحد کاهش زمان



۲۴. گزینه صحیح، کدام است؟

(منابع ۹۵)

- ۱) تقعر منحنی هزینه کل پروژه، در نزدیکی نقطه بهینه بسیار کم و نزدیک به خط مستقیم می‌باشد.
- ۲) شناوری آزاد یک فعالیت، همواره از شناوری مستقل کوچکتر یا با آن مساوی است.
- ۳) چنانچه شناوری آزاد فعالیتی صفر شود، شناوری کل آن نیز صفر خواهد شد.
- ۴) روابط تقدم و تأخر، فقط برای آخرین لایه WBS پروژه تعریف می‌شود.

۱. گزینه ۳

جهت کاهش زمان ابتدا باید مسیر بحرانی شبکه که ۹-۳-۲-۰ با زمان $T=16$ می باشد را به دست آوریم. فعالیت ۳-۲ دارای کمترین هزینه جهت کاهش زمان مسیر بحرانی می باشد، پس یک واحد از زمان آن کم می کنیم. یک مسیر بحرانی دیگر که همان ۹-۸-۷-۲-۰ می باشد که دارای زمان $T=15$ می باشد هم ساخته می شود. برای کاهش زمان مسیرهای بحرانی باید یک واحد از ۳-۲ و یک واحد از ۷-۲ کاست که جمع کل هزینه ها ۸۵۰ با زمان بحرانی $T=14$ می باشد.

۲. گزینه ۳

مسیرهای بحرانی عبارتند از ۵-۳-۲-۱-۰ و ۵-۳-۴-۱-۰ جهت کاهش ۳ روز از زمان بهتر است که دو واحد از زمان فعالیت ۲-۱، دو واحد از زمان فعالیت ۴-۱ و یک واحد از زمان فعالیت ۱-۰ کم کنیم که در این صورت هزینه کاهش عبارتست از $16 = 1 \times 1 + 2 \times 2 + 2 \times 10 \times 1$.

۳. گزینه ۳

زمان کل پروژه	هزینه مستقیم	هزینه غیرمستقیم	جمع کل هزینه ها
۷	۱۰۸	۳۵	۱۴۳
۸	۹۳	۴۰	۱۳۳
۹	۸۳	۴۵	۱۲۸
۱۰	۸۰	۵۰	۱۳۰
۱۱	۷۷	۵۵	۱۳۲

۴. گزینه ۳

از آنجایی که کاهش زمان منجر به کاهش هزینه بالاسری پروژه می شود به همین دلیل این هزینه نیز به بودجه پروژه جهت کاهش زمان اضافه می شود.
بنابراین بودجه در دسترس جهت کاهش زمان عبارتست از:

$$B + H \times (T'_n - T_n)$$



۵. گزینه ۳

با توجه به پاسخ سوال قبل بودجه در دسترس معادل $B + H \times (T'_n - T_n)$ می باشد که بایستی صرف کم کردن زمان فعالیت ها شود. کاهش زمان در هر فعالیت برابر است با $D_{ij}^n - d_{ij}$ که اگر ضربدر ضریب هزینه تسریع گردد کل هزینه کاهش زمان فعالیت می شود.

۶. گزینه ۱

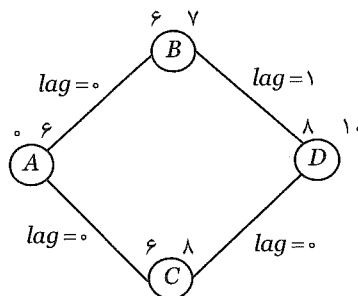
کل زمان پروژه برابر است با ۲۱ واحد	
کاهش زمان فعالیت A به مدت ۱ واحد	(+) ۲۰ واحد هزینه
کاهش زمان فعالیت B به مدت ۲ واحد	(+) ۱۰ واحد هزینه
افزایش زمان فعالیت D به مدت ۱ واحد	(-) ۱۴
۱۶	

۷. گزینه ۲

توجه شود که در صورت سوال خواسته شده که زمان B را ۳ روز کاهش دهیم نه زمان کل پروژه زیرا کاهش ۳ روزه از زمان B فقط ۲ روز زمان پروژه را کاهش می دهد. $3 \times 20 = 60$

۸. گزینه ۴

در صورتی که زمان B را ۳ روز کاهش دهیم آنگاه مسیر ACD بحرانی خواهد شد و $lag_{BD} = 1$ و $lag_{CD} = 0$ خواهد شد.



۹. گزینه ۱

با توجه به حل سوالات قبل برای آنکه از زمان پروژه ۳ روز کاسته شود باید ۲ روز از زمان B کم کنیم. سپس یک روز از زمان D کم می‌کنیم که هزینه تسریع برابر:

$$\text{هزینه تسریع} = ۲ \times ۲۰ + ۱ \times ۳۰ = ۷۰$$

۱۰. گزینه ۴

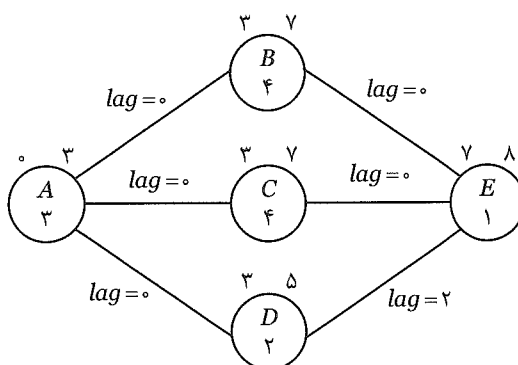
مسیر $A-B-E$ بحرانی می‌باشد پس کاهش زمان باید از یک فعالیت مسیر بحرانی انجام شود که بهترین و کم هزینه‌ترین کاهش در فعالیت E می‌باشد.

۱۱. گزینه ۴

در صورتی که E را یک روز کاهش دهیم هزینه تسریع آن ۱۰۰ می‌باشد و بیش از یک روز هم نمی‌توان E را کاهش داد. هنوز مسیر ABE بحرانی می‌باشد. پس از زمان B یک روز کم می‌کنیم و مسیر ACE هم بحرانی خواهد شد. سپس از A سه روز کم می‌کنیم که هزینه تسریع آن ۳×۱۴۰ دلار می‌باشد. که جمعاً هزینه تسریع $۱۰۰ + ۱۱۰ + ۳ \times ۱۴۰ = ۶۳۰$

۱۲. گزینه ۲

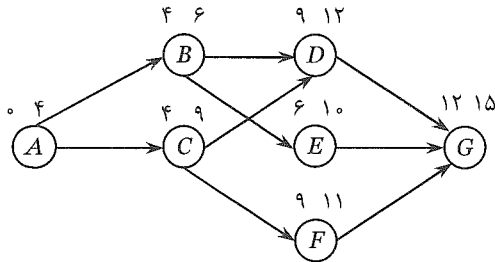
پس از تسریع شبکه و محاسبات زمانی آن به صورت زیر می‌باشد:





۱۳. گزینه ۲

محاسبات زمانی شبکه به صورت زیر می باشد:



مسیر بحرانی $ACDG$ می باشد.

با کاهش یک روزه از D دو مسیر بحرانی ساخته خواهد شد. مسیرهای $ACDG$ و $ACFG$ بحرانی خواهند شد و هزینه برابر خواهد شد با:

$$\sum C_N + 300 = 3690 + 300 = 3990$$

۱۴. گزینه ۴

در صورت کاهش یک روزه از C مسیرهای $ACDG$ و $ACFG$ همچنان بحرانی بوده و مسیر $ABEG$ هم بحرانی خواهد شد. سپس کاهش یک روز از G و یک روز از A زمان را به ۱۱ کاهش می دهد. پس هزینه برابر خواهد شد با:

$$\sum C_N + 300 + 480 + 500 + 600 = 5570$$

$\downarrow$
کاهش
۳ روز
 D

$\downarrow$
کاهش
۳ روز
 C

$\downarrow$
کاهش
۳ روز
 G

$\downarrow$
کاهش
۳ روز
 A

۱۵. گزینه ۴

در این شکل سه مسیر بحرانی با زمان ۹ داریم:

۱-۲-۴-۵ : مسیر بحرانی

۱-۲-۳-۴-۵ : مسیر بحرانی

۱-۲-۳-۵ : مسیر بحرانی

گزینه ۱ غلط است، زیرا هرچند که فعالیت ۱-۲ در هر سه مسیر بحرانی مشترک است، ولی ضریب هزینه تسریع آن که ۵۰ بیشتر از شیب هزینه گزینه ۴ که ۴۰ هست، می باشد.

گزینه ۲ غلط است، زیرا با کاهش زمان فعالیت ۴-۵ زمان دو مسیر بحرانی اول و دوم ۸ روز می شود ولی زمان مسیر بحرانی آخر همچنان ۹ روز باقی می ماند.

گزینه ۳ غلط است، چون فعالیت ۱-۳ بحرانی نمی باشد و کاهش زمان آن باعث کاهش زمان پروژه نخواهد شد. از طرفی کاهش زمان فعالیت ۳-۴ فقط باعث کاهش زمان مسیر بحرانی دوم خواهد شد ولی زمان مسیرهای بحرانی اول و آخر کماکان ۹ روز باقی خواهد ماند.

گزینه ۴ درست است، زیرا فعالیت ۴-۵ در مسیرهای اول و دوم مشترک بوده و باعث کاهش آنها خواهد شد و فعالیت ۳-۵ در مسیر آخر قرار داشته و باعث کاهش آن می شود. در نتیجه هر سه مسیر با حداقل هزینه $40 = 30 + 10$ یک روز کاهش می یابد.

۱۶. گزینه صحیح ندارد.

مسیرهایی که زمان بیشتر از ۱۳ دارند به صورت زیر می باشند:

بحرانی $\Rightarrow 16 = \text{زمان} \Rightarrow 1-2-4-5$

$14 = \text{زمان} \Rightarrow 1-2-5$

$14 = \text{زمان} \Rightarrow 1-4-5$

زمان های محاسبه شده در بالا بر اساس زمان های نرمال می باشند.

ابتدا از زمان ۲-۴ به خاطر هزینه کمتر در مسیر بحرانی ۲ واحد زمانی کم می کنیم. زمان هر سه مسیر ۱۴ خواهد شد و هر سه مسیر بحرانی خواهند شد.

$14 = \text{زمان} \Rightarrow 1-2-4-5$

$14 = \text{زمان} \Rightarrow 1-2-5$

$14 = \text{زمان} \Rightarrow 1-4-5$



کاهش از زمان ۱-۲، ۴-۵ به طور ترکیبی هزینه $24 = 14 + 10$ دارد. ولی زمان ۱-۲-۴-۵ به ۱۲ روز کاهش خواهد یافت که می‌توانیم یک واحد زمانی از کاهش ۲-۴ را به آن برگرداند تا هزینه‌ها کاهش یابد پس کل هزینه‌ها برابر خواهند شد:

$$8 + 10 + 14 = 32$$

۱۷. گزینه ۳

مسیرهای بحرانی به صورت زیر می‌باشند:

$$T = 12 \Rightarrow 1-2-5-6 \text{ مسیر بحرانی}$$

$$T = 12 \Rightarrow 1-2-3-4-5-6 \text{ مسیر بحرانی}$$

برای کاهش زمان پروژه به اندازه یک روز، گزینه اول دارای ضریب هزینه ۱۲ واحد پول می‌باشد. گزینه دوم فقط باعث کاهش مسیر دوم شده و زمان مسیر اول را کم نخواهد کرد. مجموع ضرایب هزینه گزینه سوم $11 = 5 + 6$ می‌باشد که کمترین شیب هزینه را در بین گزینه‌های موجود داشته و زمان هر دو مسیر بحرانی را یک روز کاهش خواهد داد. گزینه ۴ در هیچ یک از مسیرهای بحرانی نبوده بنابراین کاهش آن باعث کاهش زمان پروژه نمی‌شود.

۱۸. گزینه ۲

جریمه دیرکرد و تأخیر جزو هزینه‌های غیرمستقیم در پروژه می‌باشد.

۱۹. گزینه ۳

زیرا در حال حاضر مسیر بحرانی ۱-۳-۶-۷ با زمان ۲۷ روز است و چون دومین مسیر طولانی ۶-۷-۵-۲ با زمان ۲۴ است پس لازم است مسیر اول نیز ۲۴ روزه بشود که برای اینکار ۳ روز از زمان فعالیت ۱-۳ کم می‌کنیم و هزینه‌اش $24 = (8)(3)$ می‌شود. حال باید زمان هر دو مسیر که ۲۴ شده به ۲۲ کاهش یابد. برای اینکار بهترین گزینه کاهش ۲ روز از زمان فعالیت ۶-۷ است که هزینه $20 = (10)(2)$ افزایش می‌یابد. بنابراین کل هزینه افزایش یافته $44 = 20 + 24$ می‌شود. با اینکار مسیر ۶-۷-۵-۲-۱ نیز که زمانش ۲۲ است، ۲۰ روزه می‌شود. بنابراین ۲ مسیر بحرانی داریم.

۲۰. گزینه ۳

مجموع مقدار هزینه جهت تسريع فعاليت‌ها بايد از بودجه اضافي جهت تسريع در انجام پروژه (B) کمتر باشد، بنابراین:

$$\sum_i \sum_j a_{ij} (D_{ij}^n - d_{ij}) \leq B$$

۲۱. گزینه ۳

مسيرهايي که زمان آنها بيشتر از ۲۲ باشند به قرار زیر است: ۱-۲-۵-۶-۷ با زمان ۲۴ واحد و ۱-۳-۶-۷ با زمان ۲۷ واحد که بحراني نیز است. در مرحله اول زمان فعاليت ۶-۷ را دو واحد کم می‌کنیم که در نتیجه آن $20 = 10 \times 2$ واحد اضافه هزینه خواهیم داشت. به موجب این کار زمان مسير ۱-۲-۵-۶-۷ به ۲۲ واحد و مسير ۱-۳-۶-۷ به ۲۵ واحد کاهش می‌یابد. در مرحله دوم زمان فعاليت ۱-۳ را سه واحد کم می‌کنیم که در نتیجه آن $24 = 8 \times 3$ واحد اضافه هزینه خواهیم داشت. حال پس از کاهش و رسیدن به زمان اتمام پروژه ۲۲ واحد، مسيرهای ۱-۲-۵-۶-۷ و ۱-۳-۶-۷ با زمان ۲۲ واحد دو مسير بحراني پروژه هستند. هزینه کل مورد نیاز برای این کاهش نیز $44 = 20 + 24$ واحد پول است. (این تست همان تست ۹۲ کنکور سال ۱۳۹۲ است!)

۲۲. گزینه ۳

هدف در مساله کمينه کردن مدت زمان کل پروژه است که از اختلاف زمان دو رویداد ۴ و ۱ حاصل می‌شود. محدوديت‌های مساله هم مربوط به مدت زمان هر فعاليت است که از اختلاف زمان دو رویداد مربوط به هر فعاليت بایستی کمتر باشد. لذا خواهیم داشت:

$$\min t_4 - t_1$$

s.t:

$$d_{12} \leq t_2 - t_1$$

$$d_{13} \leq t_3 - t_1$$

$$d_{23} \leq t_3 - t_2$$

$$d_{34} \leq t_4 - t_3$$

$$d_{24} \leq t_4 - t_2$$

$$t_i \geq 0 \quad \forall i$$



۲۳. گزینه ۱

شماره مسیر	مسیر	طول مسیر	TR	طولانی ترین مسیرها
۱	A-C-F-H-K	۴۱	+۱	
۲	B-D-G-I-L-N	۴۲	+۲	
۳	B-D-G-J-M-N	۴۷	+۷	×
۴	B-E-I-L-N	۴۲	+۲	
۵	B-E-J-M-N	۴۷	+۷	×

چون فقط در گزینه‌ها از B و J و M نام برده شده پس فقط آنها را محاسبه می‌کنیم.

فعالیت انتخابی	ضریب	تعداد مسیرهای طویل	زمان	ضریب هزینه فعالیت
جهت کاهش	هزینه مؤثر	شامل این فعالیت	قابل کاهش	
×	$\frac{۱۰۰}{۴}=۲۵$	۴	۳	B ۱۰۰
	$\frac{۸۰}{۲}=۴۰$	۲	۲	J ۸۰
	$\frac{۸۰}{۲}=۴۰$	۲	۳	M ۸۰

چون ضریب هزینه مؤثر B کمتر می‌باشد پس B برای کاهش انتخاب می‌شود که فقط گزینه (۱)

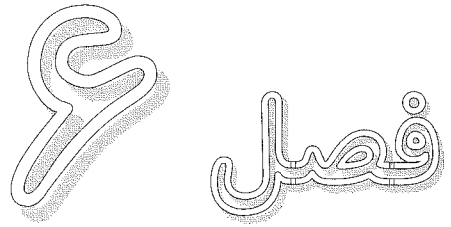
می‌تواند صحیح باشد. ولی زمان کاهش در گزینه (۱) غلط می‌باشد زیرا:

$$\text{زمان کاهش} = \min\{TR \text{ و } B \text{ کاهش}\} = \min\{۲, ۷, ۲, ۷, ۳\} = ۲$$

↓
مسیرهایی که B در آنها ظاهر شده

۲۴. گزینه ۲

شناوری مستقل همواره از شناوری آزاد و شناوری آزاد همواره از شناوری کل کوچکتر یا مساوی است. لذا گزینه ۳ و ۲ صحیح نیست. آخرین سطح WBS، بسته کاری است و در WBS به هیچ عنوان روابط پیش نیازی تعریف نمی‌شود بنابراین گزینه ۴ نیز صحیح نیست. در صورتی که نمودار هزینه کل پروژه (مستقیم و غیرمستقیم) را رسم کنید مشاهده می‌شود در نقطه کمینه تقعر منحنی بسیار کم و نزدیک به خط مستقیم است.



شبکه‌های پرت و گرت

پرت

در محاسبات پرت^۱ فعالیت‌ها قطعی ولی زمان اجرای فعالیت‌ها قطعی نمی‌باشند. در محاسبات پرت برای هر فعالیت، سه تخمین زمانی در نظر گرفته می‌شود:

۱. زمان خوشبینانه^۲ (t_o)

۲. زمان متحمل^۳ (t_m)

۳. زمان بدبینانه^۴ (t_p)

که این تخمین زمان‌ها همگی تجربی می‌باشند و هیچ استدلال علمی برای به دست آوردن آنها نداشته‌ایم.

۱. t_o یا زمان خوشبینانه عبارت است از حداقل زمانی که یک فعالیت در شرایط یکسان انجام خواهد شد.

^۱ PERT

^۲ Optimistic time

^۳ Most likely time

^۴ Pessimistic time

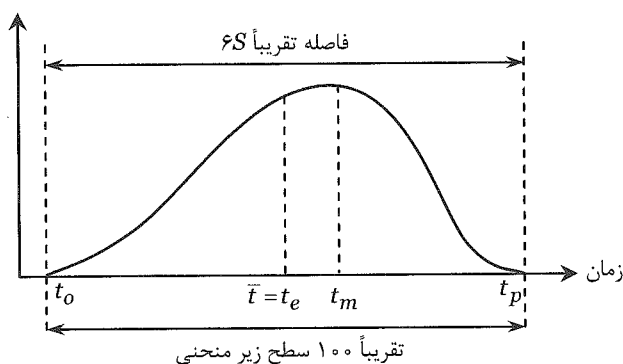


۲. t_m یا زمان محتمل عبارت است از زمانی که حداکثر فراوانی در تابع توزیع زمان برای فعالیت برخوردار است.

۳. t_p یا زمان بدبینانه عبارت است از حداکثر زمانی که یک فعالیت در شرایط یکسان انجام خواهد شد.

سیستم ۳ زمانه در فاصله صفر تا ۱۰۰

در صورتی t_0 و t_p در فاصله زمانی صفر تا ۱۰۰ قرار بگیرند، تابع زمانی با تابع توزیع مشخص شده به صورت زیر می‌باشد:



در مباحث آماری نشان داده می‌شود که در صورتی که t_0 و t_p در دو انتهای منحنی قرار داشته باشند یعنی کل مساحت زیر نمودار را در خود جا داده باشند فاصله بین t_0 و t_p تقریباً $۶S$ (۶ برابر انحراف معیار منحنی) خواهد بود.

$$t_p - t_0 = 6S \Rightarrow S = \frac{t_p - t_0}{6}$$

و مقدار زمان میانگین یعنی $\bar{t} = t_e$ به صورت زیر محاسبه می‌گردد:

$$\bar{t} = \frac{t_0 + t_m + t_p}{3}$$

و در صورتی که به زمان محتمل $w > 1$ داده شود زمان مورد انتظار به زمان محتمل بیشتر خواهد شد یعنی:

$$\bar{t} = t_e = \frac{t_0 + wt_m + t_m}{2 + w}$$

که انتخاب $w=4$ (به طور تجربی) نتایج قابل قبولی داده است که $w=4$ مورد استفاده قرار می‌گیرد:

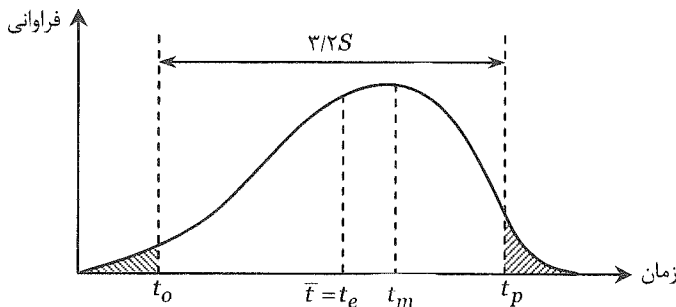
$$\bar{t} = t_e = \frac{t_o + 4t_m + t_p}{6}$$

نکته. دامنه ۰-۱۰۰ که برای تعریف زمان‌های هر فعالیت معرفی شد، از ابداع روش پرت مورد استفاده قرار گرفته و امروزه نیز از عمومیت زیادی برخوردار می‌باشد.

نکته. واضح است که در صورتی که $t_p = \frac{t_p + t_o}{4} = t_m$ باشد آنگاه انتخاب هر عددی برای w نتیجه یکسان می‌دهد.

سیستم سه زمانه در فاصله ۵ تا ۹۵ درصد

در صورتی که t_o و t_p در فاصله ۵ تا ۹۵ درصد قرار بگیرند، مطالعات آماری نشان داده که فاصله t_o و t_p در اکثر توابع توزیع تقریباً برابر $3/2s$ می‌باشد.



که در این سیستم تعریف t_o و t_p و t_m به صورت زیر می‌باشند.

۱. t_o یا زمان خوشبینانه زمانی است که فقط ۵ درصد از موارد ممکن است که زمان یک فعالیت کمتر از این زمان باشد.

۲. t_m یا زمان محتمل همان تعریف زمان محتمل در فاصله ۰-۱۰۰ درصد می‌باشد.

۳. t_p یا زمان بدبینانه یعنی فقط در ۵ درصد از موارد یک فعالیت ممکن است زمانی بیشتر از این زمان نیاز داشته باشد.

$$S = \frac{t_p - t_o}{3/2}$$



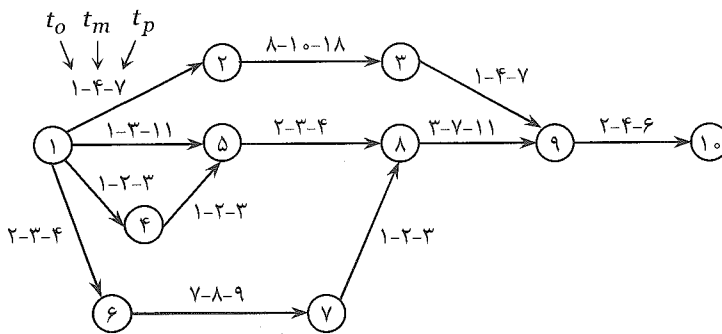
$$\bar{t} = t_e = \frac{t_o + 4t_m + t_p}{6}$$

محاسبات زمانی در شبکه‌های دارای زمان احتمالی PERT

پس انجام محاسبه زمان‌های مورد انتظار یعنی همان t_e برای هر کدام از فعالیت‌ها این اعداد یعنی t_e را برابر همان زمان D برای هر فعالیت در نظر می‌گیریم که در این حالت محاسبات زمانی همانند همان محاسبات CPM انجام خواهد شد.

توجه! محاسبات PERT فقط برای شبکه‌های AOA تعریف می‌شود و محاسبات PERT برای شبکه‌های AON تعریف نخواهد شد.

شبکه زیر را در نظر بگیرید:



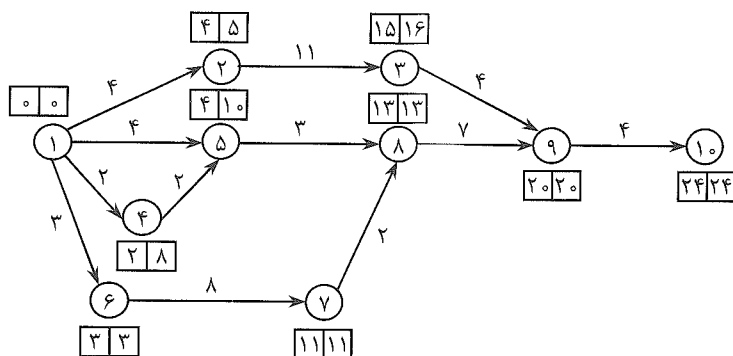
زمان‌های خوشبینانه - محتمل - بدبینانه روی شبکه نمایش داده شده‌اند. این زمان‌ها مربوط به تعاریف فاصله ۰ تا ۱۰۰ می‌باشند.

با استفاده از فرمول‌های معرفی شده t_e و S و S^2 را برای هر کدام از فعالیت‌ها محاسبه می‌کنیم.

$$s = \frac{t_p - t_o}{6}, \quad t_e = \frac{t_o + 4t_m + t_p}{6}$$

فعالیت	t_o	t_m	t_p	t_e	S	S^2
۱-۲	۱	۴	۷	۴	۱	۱
۲-۳	۸	۱۰	۱۸	۱۱	$\frac{5}{3}$	$\frac{25}{9}$
۱-۴	۱	۲	۳	۲	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{9}$

فعالیت	t_o	t_m	t_p	t_e	S	S^2
۱-۵	۱	۳	۱۱	۴	$\frac{۵}{۳}$	$\frac{۲۵}{۹}$
۴-۵	۱	۲	۳	۲	$\frac{۱}{۳}$	$\frac{۱}{۹}$
۱-۶	۲	۳	۴	۳	$\frac{۱}{۳}$	$\frac{۱}{۹}$
۶-۷	۷	۸	۹	۸	$\frac{۱}{۳}$	$\frac{۱}{۹}$
۵-۸	۲	۳	۴	۳	$\frac{۱}{۳}$	$\frac{۱}{۹}$
۷-۸	۱	۲	۳	۲	$\frac{۱}{۳}$	$\frac{۱}{۹}$
۳-۹	۱	۴	۷	۴	۱	۱
۸-۹	۳	۷	۱۱	۷	$\frac{۴}{۳}$	$\frac{۱۶}{۹}$
۹-۱۰	۲	۴	۶	۴	$\frac{۲}{۳}$	$\frac{۴}{۹}$



که در آن مسیر بحرانی برابر است با ۱-۵-۸-۹-۱۰ و زمان مورد انتظار برای تکمیل این پروژه

برابر است با:

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



مقدار واریانس رویداد پایانی به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$S_1^2 = S_{1-6}^2 + S_{6-7}^2 + S_{7-8}^2 + S_{8-9}^2 + S_{9-10}^2$$

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

$$S_T = \sqrt{\frac{23}{9}} = 1/6$$

نکته. واریانس کل شبکه با واریانس مسیر بحرانی برابر است.

نکته. واریانس کل شبکه با واریانس گره آخر برابر است.

نکته. اگر در شبکه‌ای بیش از یک مسیر بحرانی بر اساس میانگین فعالیت‌ها وجود داشته باشد، آن مسیری بحرانی است که واریانس بیشتری داشته باشد.

■ در مثال حل شده احتمال آنکه بتوان پروژه را حداکثر ۲۰ واحد زمانی به اتمام رساند چند می‌باشد؟

$$z = \frac{x - \mu}{S} \Rightarrow z = \frac{T_c - t_e}{S} \Rightarrow z = \frac{20 - 24}{1/6} = -2/5$$

با توجه به جدول منحنی نرمال داریم:

$$\Rightarrow P(T \leq 20) = 0/62\%$$

پس با احتمال زیر یک درصد بتوان پروژه را در ۲۰ روز تمام کرد.

■ در مثال حل شده احتمال آنکه بتوان حداکثر ظرف ۲۵ روز پروژه را به اتمام رساند چقدر است؟

$$z = \frac{T_c - t_e}{S} \Rightarrow z = \frac{25 - 24}{1/6} = 0/625$$

با توجه به جدول نرمال داریم:

$$P(T \leq 25) = 73/4\%$$

■ احتمال آنکه بتوان پروژه را در بین ۲۰ تا ۲۴ روز به اتمام رساند چقدر است؟

$$P(20 \leq T \leq 24) = \underbrace{P(T \leq 24)}_{50\%} - \underbrace{P(T \leq 20)}_{0/62\%} = 49/38\%$$

■ احتمال آنکه بتوان پروژه را در فاصله ۲۲ تا ۲۷ روز به اتمام رساند چقدر است؟

$$z_1 = \frac{22 - 24}{1/6} = -1/25$$

$$z_2 = \frac{27 - 24}{1/6} = 1/875$$

$$P(22 \leq T \leq 27) = P(T \leq 27) - P(T \leq 22) = 86/4\%$$

■ در صورتی که بخواهیم با احتمال ۹۵٪ اطمینان داشته باشیم که پروژه در تاریخ مقرر T_c به اتمام برسد، آنگاه T_c چند است؟

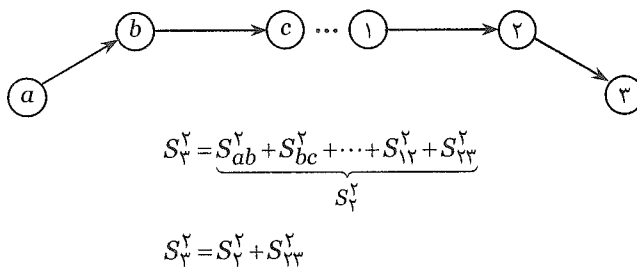
$$P(T \leq T_c) = 0.95\% \Rightarrow z = 1.645$$

$$z = \frac{T_c - T_e}{S} \Rightarrow T_c = zS + T_e \Rightarrow T_c = 1.6 \times 1.645 + 24 \Rightarrow T_c = 26.63 \approx 27$$

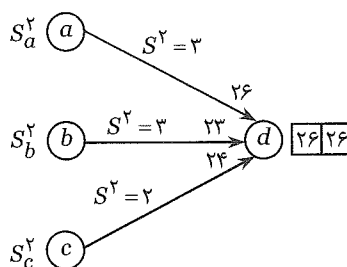
نکته. در صورتی که بخواهیم سطح اطمینان تکمیل پروژه را خیلی بالا ببریم، زمان تکمیل پروژه خیلی زیاد خواهد شد. در صورتی که به اندازه $3S$ از T_e از طرفین فاصله بگیریم تقریباً کل سطح زیر منحنی (حدود ۹۹/۷۳ درصد از سطح زیر منحنی) را می‌پوشانیم. پس برای آنکه اطمینان کامل به تکمیل پروژه داشته باشیم T_c را به اندازه $3S$ از T_e بزرگتر انتخاب کنید.

$$T_c = T_e + 3S = 24 + 3 \times 1.6 = 28.8 \approx 29$$

نکته. واریانس رویداد داخلی شبکه برابر است با جمع واریانس رویداد قبلی، و واریانس فعالیتی که دو رویداد را به یکدیگر متصل می‌کند.



نکته. در صورتی که گره جمع‌شونده (پوششی) باشد واریانس این رویداد از مسیری گرفته می‌شود که زمان گره از T_e آن مسیر به دست آمده باشد. به عنوان مثال شبکه زیر را در نظر بگیرید:





چون میانگین رویداد d از ad به دست آمده پس $S_d^{\bar{}} = S_a^{\bar{}} + S_{ad}^{\bar{}}$

نکته. اگر در یک گره چند فعالیت واردشونده دارای میانگین بزرگ یکسان باشند مسیری که دارای

بیشترین واریانس است، برای واریانس این گره انتخاب می‌شود.

نکته. در محاسبات برگشت واریانس بازشونده برابر است با واریانس مسیری که میانگین گره از آن

محاسبه شده است.

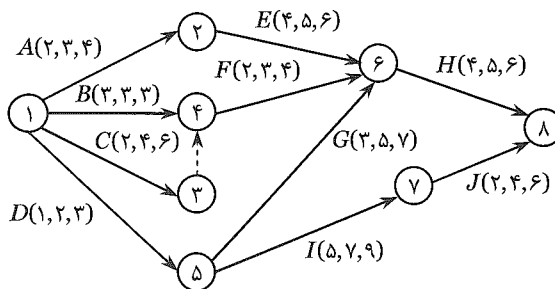
نکته. واریانس گره اول صفر است.

نکته. در صورتی که در شبکه مورد نظر چند مسیر بحرانی وجود داشته باشد، واریانس هر کدام از

مسیرهای بحرانی را به دست می‌آوریم و حداکثر واریانس به دست آمده برای هر کدام از مسیرها

نشان‌دهنده واریانس رویداد پایانی است.

مثال. شبکه PERT زیر را در نظر بگیرید:



این شبکه در سیستم ۰ تا ۱۰۰ می‌باشد. زمان کل پروژه و انحراف معیار آن کدام است؟

$$S = \frac{\sqrt{3}}{3} \text{ و } ۱۲ \text{ (۴)} \quad S = \frac{\sqrt{3}}{3} \text{ و } ۱۳ \text{ (۳)} \quad S = ۱ \text{ و } ۱۳ \text{ (۲)} \quad S = ۱ \text{ و } ۱۲ \text{ (۱)}$$

حل.

هر دو مسیر ۱-۲-۶-۸ و ۱-۵-۷-۸ بحرانی می‌باشند و زمان آنها ۱۳ است، ولی مسیری را بحرانی

در نظر می‌گیریم که انحراف معیار بزرگتری داشته باشد:

$$S_{1-2-6-8}^{\bar{}} = S_{12}^{\bar{}} + S_{26}^{\bar{}} + S_{68}^{\bar{}} = \left(\frac{4-2}{6}\right)^2 + \left(\frac{6-4}{6}\right)^2 + \left(\frac{6-4}{6}\right)^2 = \frac{1}{3}$$

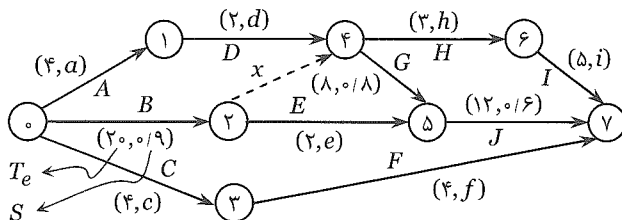
$$S_{1-5-7-8}^{\bar{}} = S_{15}^{\bar{}} + S_{57}^{\bar{}} + S_{78}^{\bar{}} = \left(\frac{3-1}{6}\right)^2 + \left(\frac{9-5}{6}\right)^2 + \left(\frac{6-2}{6}\right)^2 = ۱$$

چون واریانس $S_{۱-۵-۷-۸}^2$ بزرگتر می‌باشد پس مسیر ۱-۵-۷-۸ بحرانی می‌باشد و گزینه (۲) صحیح است.



مثال. شبکه PERT زیر را که زمان T_e و انحراف معیار فعالیت‌های مسیر بحرانی مشخص

می‌باشند را در نظر بگیرید:



مسیر بحرانی در این شبکه برابر $BxGJ$ می‌باشد که زمان آن را به دست می‌آوریم.

زمان بحرانی $= 20 + 8 + 12 = 40$

$$S = \sqrt{S^2} = \sqrt{S_B^2 + S_G^2 + S_J^2} = 1/345$$

حال فرض کنید که رویداد ۴ به طور مشخص در تاریخ ۲۰ به وقوع بپیوندد با این شرط داریم:

زمان مورد انتظار تکمیل پروژه $= T_4 + t_{eG} + t_{eJ} = 20 + 8 + 12 = 40$

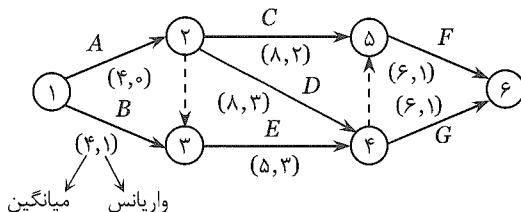
مقدار انحراف معیار رویداد ۷ هم چون رویداد ۴ به طور یقین در زمان ۲۰ اتفاق می‌افتد هم به صورت زیر محاسبه می‌گردد:

$$S_7 = \sqrt{S_4^2 + S_G^2 + S_J^2} = \sqrt{0 + 0 + 0} = 0$$



یعنی رویداد ۴ دارای انحراف معیار صفر می‌باشد.

مثال. اگر گرهی ۴ در لحظه ۱۲ اتفاق افتاده باشد میانگین و واریانس وقوع رویداد ۶ کدام است؟



۳ و ۱۸ (۴)

۴ و ۱۸ (۳)

۲ و ۱۸ (۲)

۱ و ۱۸ (۱)



حل.

چون زمان رویداد ۴ قطعی می باشد، پس واریانس رویداد ۴، صفر می باشد. و مسأله دارای ۳ مسیر بحرانی بر اساس زمان میانگین می باشد حال واریانس را محاسبه می کنیم:

$$1-2-5-6 \Rightarrow S^2 = 0 + 2 + 1 = 3 \Rightarrow \text{مسیر بحرانی}$$

$$1-2-4-6 \Rightarrow S^2 = 0 + 1 = 1$$

$$1-2-4-5-6 \Rightarrow S^2 = 0 + 1 = 1$$

پس گزینه (۴) صحیح است.

مثال. زمان فعالیت های مسیر بحرانی یک پروژه در جدول زیر داده شده است. زمان ختم پروژه با

دقت یک انحراف استاندارد در دامنه اطمینان (صفر تا صد) درصد چند است؟

فعالیت	T_o	T_m	T_p
A	۱۵	۲۵	۴۷
B	۱۲	۲۲	۳۵
C	۱۶	۲۷	۳۲

$$75/5 \pm 8/5 \quad (4)$$

$$75/5 \pm 7/0.9 \quad (3)$$

$$75/5 \pm 2/8.3 \quad (2)$$

$$75/5 \quad (1)$$

حل.

$$S_{\text{مسیر}}^2 = \left(\frac{47-15}{6}\right)^2 + \left(\frac{35-12}{6}\right)^2 + \left(\frac{32-16}{6}\right)^2 = 50/2$$

$$S_{\text{مسیر}} = \sqrt{S_{\text{مسیر}}^2} = \sqrt{50/2} \approx 7/0.9$$

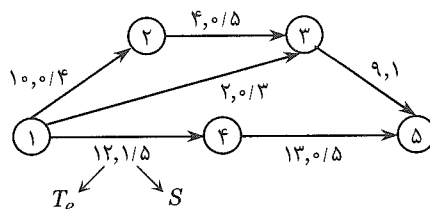
پس گزینه (۳) صحیح است.

مقدار خطا در محاسبات PERT

وقتی در یک شبکه PERT صحبت از «مسیر طولانی تر» می شود، منظور مسیری است که انتظار می رود طولانی ترین باشد. واضح است هر چقدر طول زمان های مورد انتظار دو مسیر موازی که به یک رویداد منتهی می شوند به یکدیگر نزدیکتر باشد، احتمال وجود خطا را در شبکه افزایش خواهد داد.

توجه! در صورتی که تفاوت بین مقادیر متوسط زمان برای دو مسیر که به یک رویداد می‌رسند، از مقدار انحراف معیار هر یک از این مسیر بزرگتر باشد مقدار خطا قابل اغماض خواهد بود.

شبکه زیر را در نظر بگیرید:



با توجه به مقادیر زمان میانگین و انحراف داریم:

$$t_{e_{1-4-5}} = 25$$

$$t_{e_{1-3-5}} = 11$$

$$t_{e_{1-2-3-5}} = 23$$

دو مسیری که بزرگتر می‌باشند ۱-۴-۵ و ۱-۲-۳-۵ هستند.

$$\left. \begin{aligned} S_{1-4-5} &= \sqrt{1/5^2 + 0/5^2} = 1/58 \\ S_{1-2-3-5} &= \sqrt{0/4^2 + 0/5^2 + 1^2} = 1/19 \end{aligned} \right\} \max\{1/58, 1/19\} = 1/19$$

$$1/58 < t_{e_{1-4-5}} - t_{e_{1-2-3-5}} = 25 - 23 = 2$$

پس مقدار خطا در این شبکه قابل اغماض می‌باشد و محاسبات پرت با همان ترتیبی که در قبل

گفته شد با اطمینان کافی قابل اعتماد است.

توجه! مسیر ۱-۳-۵ می‌تواند کنار گذاشته شود زیرا $t_{e_{1-3-5}} + 3S$ هیچگاه بحرانی نخواهد شد.

گرت^۱

تاکنون تمام شبکه‌هایی که مورد بررسی قرار گرفتند همگی دارای فعالیت‌های معین بودند. یعنی در ابتدای برنامه‌ریزی برای مدیران پروژه کاملاً مشخص بود که چه نوع فعالیت‌هایی باید برای رسیدن به هدف که همان انجام پروژه بود، انجام شود.

^۱ GERT



در شبکه‌های *CPM* فعالیت‌ها و زمان انجام فعالیت‌ها قطعی می‌باشد، در شبکه‌های *PERT* فعالیت‌ها قطعی، ولی زمان انجام آنها احتمالی می‌باشد. ولی در هر دو این شبکه‌ها زمانی که پروژه به اتمام می‌رسد تمام فعالیت‌ها انجام شده‌اند. در انجام یک پروژه علاوه بر آنکه زمان فعالیت‌ها ممکن است قطعی نباشد و احتمالی باشد، بلکه ممکن است انجام برخی از فعالیت‌ها در ابتدای برنامه‌ریزی پروژه قطعی نباشد.

نکته: شبکه‌های *PERT* و *CPM* قابلیت پذیرش فعالیت‌های احتمالی را ندارند. شبکه‌های *GERT* برای برنامه‌ریزی شبکه‌هایی ابداع گردید که دارای فعالیت‌های احتمالی می‌باشند.

علائم و اختصارات در شبکه‌های *GERT*

در شبکه‌های *AOA* که تکنیک گرت بر روی آنها انجام می‌شود، گره را به دو قسمت عمده تقسیم می‌کنند. سمت راست گره و سمت چپ گره.

رسمی شدن گره (رویداد)

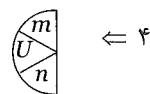
یک رویداد زمانی رسمیت پیدا می‌کند که فعالیت‌های خروجی رویداد قابل آغاز شدن باشند: سمت چپ گره با ۴ حالت نمایش داده می‌شود:

در اولین بار، رویداد بعد از کامل شدن m فعالیت ورودی رسمی می‌شود. در دفعات بعدی، برای رسمی شدن رویداد، لازم است n فعالیت ورودی تکمیل شوند. یعنی $\frac{m}{n} \Leftarrow 1$

در اولین بار، رویداد بعد از تکمیل شدن m فعالیت مختلف ورودی رسمی می‌شود. در دفعات بعدی، برای رسمی شدن آن لازم می‌باشد n فعالیت مختلف ورودی تکمیل شوند. یعنی $\frac{m}{A/n} \Leftarrow 2$

در اولین مرتبه، رویداد بعد از تکمیل شدن m فعالیت ورودی رسمی می‌شود و به محض رسمی شدن آن بقیه فعالیت‌های ورودی متوقف می‌شوند و در دفعات بعدی برای رسمی شدن رویداد باید n فعالیت ورودی تکمیل شوند و به محض تکمیل شدن n فعالیت تمام فعالیت‌های ورودی دیگر متوقف می‌شوند. یعنی $\frac{m}{H/n} \Leftarrow 3$

در اولین بار، رویداد بعد از تکمیل شدن m فعالیت مختلف ورودی رسمی می‌شود و به محض تکمیل شدن m فعالیت مختلف ورودی بقیه فعالیت‌های ورودی متوقف خواهند شد. در دفعات بعدی رویداد زمانی رسمی می‌شود که n فعالیت مختلف ورودی انجام شوند و پس از رسمی شدن بقیه فعالیت‌های ورودی متوقف می‌شوند.

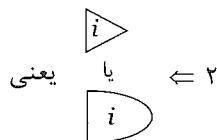


سمت راست گره با دو حالت نمایش داده می‌شود:

رویداد دارای خروجی معین و قطعی می‌باشد، یعنی با رسمی شدن رویداد i تمام فعالیت‌های خروجی از آن، همگی اجرا می‌شوند.

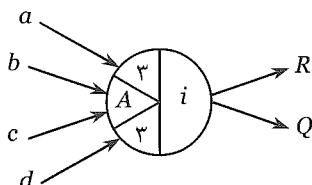


رویداد با خروجی احتمالی می‌باشد. یعنی با رسمی شدن رویداد i یکی و فقط یکی از فعالیت‌های خروجی اجرا می‌شود.

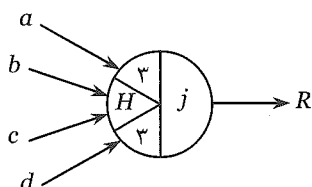


برای بررسی روابط فوق چند رویداد را که اشکال قبل در آنها استفاده شده است را مورد بررسی قرار

می‌دهیم.

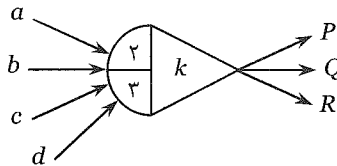


توضیح رویداد i : برای رسمی شدن رویداد i برای اولین بار و حتی دفعات بعدی احتیاج به اجرا شدن ۳ فعالیت مختلف می‌باشد. به عنوان مثال اگر a و b یا c یا b و a یا d یا a ، b ، c اجرا شوند رویداد i رسمی می‌شود. از طرفی پس از رسمی شدن i فعالیت‌های R و Q باید حتماً هر دو انجام شوند ولی هیچ الزامی ندارد که زمان شروع آنها با یکدیگر یکسان باشد.

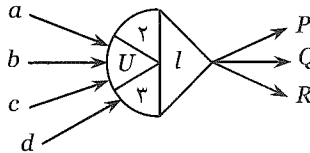




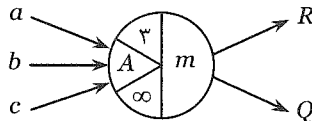
توضیح رویداد j : برای رسمی شدن رویداد j باید دفعه اول و دفعات بعدی سه فعالیت ورودی به آن انجام شوند (نه لزوماً متفاوت) ولی با اجرا شدن ۳ فعالیت ورودی فعالیت‌های ورودی دیگر متوقف می‌شوند. پس از رسمی شدن j فعالیت R انجام خواهد شد.



توضیح رویداد k : برای رسمی شدن رویداد k در مرتبه اول باید از بین فعالیت‌های ورودی دو فعالیت (نه لزوماً متفاوت) انجام شوند و برای دفعات بعدی با همان شرایط ولی سه فعالیت باید اجرا شوند. با رسمی شدن رویداد k یکی از فعالیت‌های P یا Q یا R باید انجام شود.



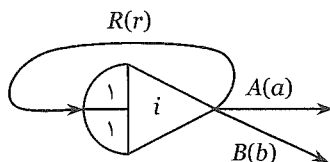
توضیح رویداد l : بار اول برای رسمی شدن رویداد l ، دو فعالیت متفاوت باید انجام شوند و با انجام شدن آنها بقیه فعالیت‌ها متوقف می‌شوند. در مراحل بعدی سه فعالیت باید اجرا شوند (متفاوت) ولی با انجام شدن آنها بقیه فعالیت‌ها متوقف می‌شوند. پس از رسمی شدن l فقط یکی از فعالیت‌های P یا Q یا R انجام خواهند شد.



توضیح رویداد m : برای رسمی شدن رویداد m باید ۳ فعالیت از فعالیت‌های a و b و c انجام شوند (متفاوت). یعنی هر سه فعالیت a و b و c باید انجام شوند. علامت ∞ نشان می‌دهد که این رویداد فقط یکبار رسمی می‌شود. زیرا برای دفعات بعدی باید فعالیت انجام شود که چنین چیزی امکان ندارد. پس از رسمی شدن m هر دو فعالیت R و Q باید انجام شوند. (این همان رویداد در یک شبکه برداری CPM می‌باشد).

آنالیز شبکه‌های GERT

شکل زیر را با خروجی‌های A و B و R که احتمال وقوع هر کدام از آنها در پرانتز جلویشان نوشته شده را در نظر بگیرید. هر بار که رویداد i رسمی می‌شود احتمال اجرای یکی از فعالیت‌های A و B یا R وجود دارد. احتمال اجرا شدن A در صورتی که رویداد i به تعداد n بار متوالی رسمی شده باشد، محاسبه می‌شود.



احتمال اجرای A به صورت زیر محاسبه می‌گردد.

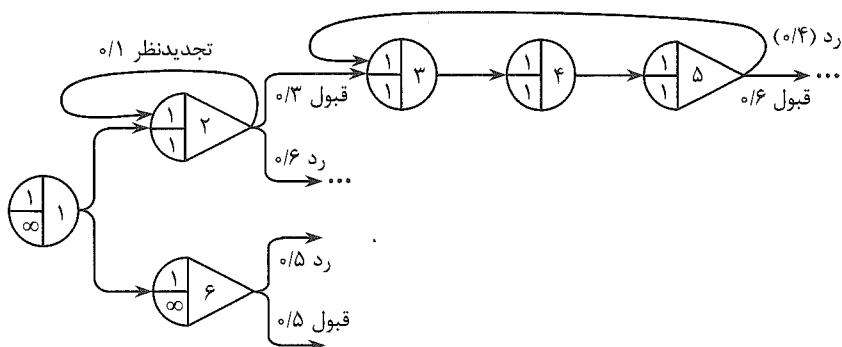
$$\text{احتمال اجرای } A = a + ar + ar^2 + \dots + ar^n = a(1 + r + r^2 + \dots + r^n)$$

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

حال در صورتی که n به سمت بی‌نهایت میل کند در مورد احتمال اجرای A داریم:

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

شکل زیر را در نظر بگیرید:



احتمال قبولی خروجی رویداد ۲ به صورت زیر به دست می‌آید:

$$\text{احتمال قبولی رویداد ۲} = \frac{0.3}{1-0.1} = \frac{1}{3}$$



احتمال قبولی خروجی رویداد ۵ به صورت زیر به دست می‌آید:

$$\text{احتمال قبولی رویداد ۵} = \frac{0/6}{1-0/4} = 1$$

ولی توجه شود که برای آنکه به خروجی‌های رویداد ۵ برسیم باید خروجی رویداد ۲ قبول شده

باشد که احتمال آن $\frac{1}{3}$ می‌باشد پس احتمال قبولی رویداد ۵ برابر است با:

$$\frac{1}{3} \times 1 = \frac{1}{3}$$

و احتمال رد شدن خروجی رویداد ۶ همان $\frac{1}{3} = 0/5$ می‌باشد و به همین ترتیب احتمال قبول شدن

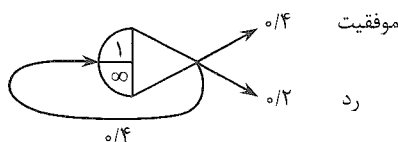
خروجی رویداد ۶ هم $\frac{1}{3}$ می‌باشد.

احتمال رد شدن خروجی رویداد ۶ و قبول شدن رویداد ۲ برابر است با:

$$\text{احتمال قبول شدن خروجی ۲} = \frac{0/3}{1-0/1} = \frac{1}{3} \Rightarrow \frac{1}{3} \times \frac{1}{3} = \frac{1}{6}$$

$$\text{احتمال رد شدن خروجی ۶} = \frac{1}{3}$$

مثال. رویداد زیر مربوط به یک شبکه گرت می‌باشد. احتمال وقوع «موفقیت» آن چیست؟



۱ (۴)

۳ (۷۵/۰)

۲ (۴/۰)

۱ (۶۶/۰)

حل.

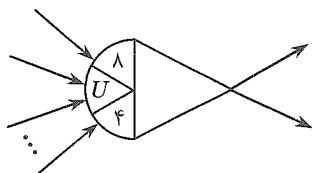
علامت ∞ نشان‌دهنده آن است که فقط یکبار رویداد می‌تواند رسمی شود پس هیچ تجدیدنظری

صورت نخواهد گرفت. یعنی احتمال موفقیت ۰/۴ می‌باشد. یعنی گزینه (۲) صحیح است. ☐

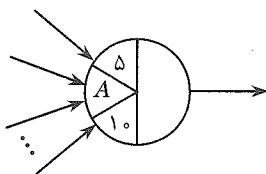
مثال. شکل‌های زیر را که مربوط به یک شبکه گرت می‌باشند را در نظر بگیرید. در هر کدام از

شکل‌ها حداقل تعداد کمان‌های ورودی که باید به رویدادها وصل شوند چقدر است؟

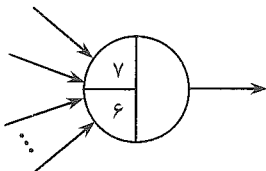
حل.



علامت U نشان‌دهنده آن است که در مرحله اول ۸ فعالیت متفاوت و در مراحل بعدی ۴ فعالیت متفاوت باید انجام شوند تا فعالیت رسمی شود. پس حداقل باید ۸ فعالیت ورودی وجود داشته باشد.

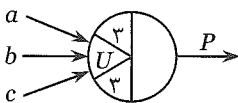


علامت A نشان‌دهنده آن است که در مرحله اول ۵ فعالیت متفاوت و در مراحل بعدی ۱۰ فعالیت متفاوت باید انجام شوند تا رویداد رسمی شود. پس حداقل ۱۰ فعالیت ورودی نیاز است.



در مرحله اول ۷ و در مراحل بعدی ۶ فعالیت (نه لزوماً متفاوت) باید انجام شوند تا رویداد رسمی شود. پس حداقل یک فعالیت ورودی نیاز می‌باشد.

مثال: آیا در رویداد زیر می‌توان به جای حرف U ، حرف A نوشت بدون آنکه معنی و هدف رویداد تغییر کند؟



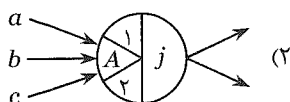
حل.

بله، هم A هم U هر دو باید ۳ فعالیت متفاوت در مرحله اول و مراحل بعدی انجام شوند تا رویداد رسمی شود که رویداد فقط ۳ فعالیت دارد.

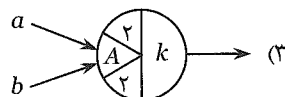
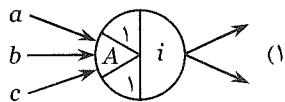


مثال. در کدام یک از گزینه‌ها می‌توان حرف A را حذف کرد، بدون آنکه در هدف و مفهوم رویداد

تغییری رخ دهد؟



(۴) هیچ کدام



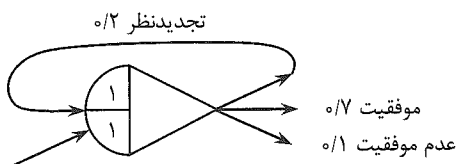
حل.

در گزینه (۱) چون $n=m=1$ می‌باشد پس ذکر کردن کلمه متفاوت بودن فعالیت‌ها برای رسمی شدن رویداد در دفعه اول و دفعات بعدی هیچ الزامی ندارد.

پس گزینه (۱) صحیح است.



مثال. احتمال عدم موفقیت در رویداد زیر چند است؟



(۴) $\frac{2}{10}$

(۳) $\frac{7}{10}$

(۲) $\frac{1}{10}$

(۱) $\frac{1}{8}$

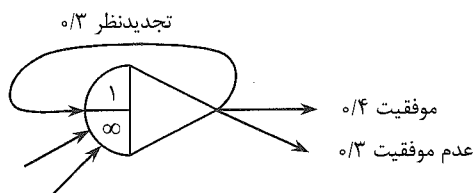
حل.

$$\text{احتمال عدم موفقیت} = \frac{0/1}{1-0/2} = \frac{1}{8}$$

پس گزینه (۱) صحیح است.



مثال. احتمال موفقیت در رویداد زیر چند است؟



(۴) $\frac{4}{7}$

(۳) $\frac{0/6}{7}$

(۲) $\frac{0/3}{7}$

(۱) $\frac{0/4}{7}$

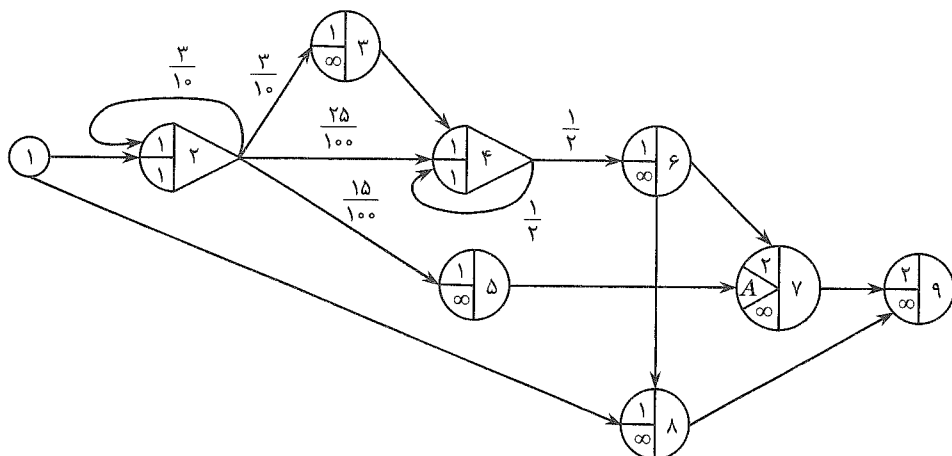
حل.

علامت ∞ نشان‌دهنده آن است که رویداد فقط یکبار رسمی می‌شود. پس احتمال موفقیت $0/4$



می‌باشد. یعنی گزینه (۱) صحیح است.

■ شبکه گرت زیر را در نظر بگیرید:



به ۵ سوال بعد پاسخ دهید:

مثال. با چه احتمالی فعالیت ۲-۳ اجرا خواهد شد؟

$$\frac{1}{3} \quad (۴)$$

$$\frac{3}{8} \quad (۳)$$

$$\frac{3}{7} \quad (۲)$$

$$\frac{1}{2} \quad (۱)$$

حل.

$$\text{احتمال انجام فعالیت ۲-۳} = \frac{\frac{3}{10}}{1 - \frac{3}{10}} = \frac{3}{7}$$



گزینه (۲) صحیح است.

مثال. با چه احتمالی فعالیت ۲-۴ انجام خواهد شد؟

$$\frac{25}{70} \quad (۴)$$

$$\frac{24}{80} \quad (۳)$$

$$\frac{20}{80} \quad (۲)$$

$$\frac{1}{8} \quad (۱)$$



حل.

$$\text{احتمال انجام فعالیت ۲-۴} = \frac{\frac{25}{100}}{1 - \frac{3}{10}} = \frac{\frac{25}{100}}{\frac{7}{10}} = \frac{\frac{25}{100}}{\frac{70}{100}} = \frac{25}{70}$$



گزینه (۴) صحیح است.

مثال. با چه احتمالی فعالیت ۲-۵ اجرا خواهد شد؟

$$\begin{array}{llll} \frac{15}{70} & (۱) & \frac{25}{70} & (۳) \\ \frac{18}{80} & (۲) & \frac{25}{80} & (۴) \end{array}$$

حل.

$$\text{احتمال انجام فعالیت ۲-۵} = \frac{\frac{15}{100}}{1 - \frac{3}{10}} = \frac{\frac{15}{100}}{\frac{7}{10}} = \frac{15}{70}$$



گزینه (۱) صحیح است.

مثال. با چه احتمالی فعالیت ۴-۶ انجام خواهد شد؟

$$\begin{array}{llll} \frac{5}{14} & (۱) & \frac{11}{14} & (۳) \\ \frac{6}{14} & (۲) & \frac{10}{14} & (۴) \end{array}$$

حل.

$$\text{احتمال فعالیت ۴-۶} = \text{احتمال فعالیت ۲-۴} + \text{احتمال فعالیت ۴-۶} \times \text{احتمال فعالیت ۲-۳} = \frac{25}{70} + \frac{3}{7} \times \frac{1}{1 - \frac{1}{2}} = \frac{11}{14}$$

$$\text{احتمال انجام فعالیت ۴-۶} = \frac{3}{7} \times \frac{\frac{1}{2}}{1 - \frac{1}{2}} + \frac{25}{70} \times \frac{\frac{1}{2}}{1 - \frac{1}{2}} = \frac{11}{14}$$



گزینه (۳) صحیح است.

مثال. با چه احتمالی فعالیت ۷-۹ انجام خواهد شد؟

$$\begin{array}{llll} \frac{8}{14} & (۱) & \frac{5}{14} & (۲) \\ \frac{3}{14} & (۳) & \text{صفر} & (۴) \end{array}$$

حل.

علامت A نشان می‌دهد که برای بار اول ۲ فعالیت متفاوت باید انجام شوند تا رویداد ۷ رسمی شود

که چون فعالیت‌های ۷-۵ و ۶-۷ فقط یکی انجام می‌شوند، پس احتمال انجام ۷-۹ صفر می‌باشد.



پس گزینه (۴) صحیح است.

۱. کدام جمله صحیح است؟

- (۱) برای پروژه‌ها با فعالیت‌های معین و زمان‌های معین، CPM متناسب است.
- (۲) برای پروژه‌ها با فعالیت‌های معین و زمان‌های احتمالی، $PERT$ متناسب است.
- (۳) برای پروژه‌ها با فعالیت‌های احتمالی، $GERT$ متناسب است.
- (۴) هر سه گزینه

۲. برای برنامه‌ریزی یک پروژه تحقیقاتی کدام روش بهتر است؟

- | | | | |
|-------------------|-----------|------------|------------|
| (۴) تفاوتی ندارد. | CPM (۳) | $PERT$ (۲) | $GERT$ (۱) |
|-------------------|-----------|------------|------------|

۳. در چه شرایطی در شبکه‌های $PERT$ میزان خطای قابل چشم‌پوشی نیست؟ (S_i انحراف معیار مسیر i می‌باشد).

(۱) i هر مسیر موجود در شبکه است $\max\{S_i\} > \max$ تفاوت میان میانگین زمان مورد انتظار به ازای هر دو مسیر در شبکه

(۲) i هر مسیر موجود در شبکه است $\max\{S_i\} < \max$ تفاوت میان میانگین زمان مورد انتظار به ازای هر دو مسیر در شبکه

(۳) i دو مسیری است که طولانی‌ترین زمان مورد انتظار را دارند $\max\{S_i\} >$ تفاوت میان میانگین زمان مورد انتظار به ازای دو مسیری که طولانی‌ترین زمان مورد انتظار را دارند

(۴) i دو مسیری است که طولانی‌ترین زمان مورد انتظار را دارد $\max\{S_i\} <$ تفاوت میان میانگین زمان مورد انتظار به ازای دو مسیری که طولانی‌ترین زمان مورد انتظار را دارند

۴. پروژه‌ای بر اساس تکنیک $PERT$ برنامه‌ریزی شده است. دو مسیر به رویداد پایانی می‌رسند مسیر اول به مدت ۱۲ و انحراف معیار ۱/۱۹ و مسیر دوم به مدت ۱۳/۸ و انحراف معیار ۱/۱۵ بر این اساس کدام گزینه صحیح است.

(۱) میزان خطای قابل اغماض است و مسیر اول بحرانی است.

(۲) میزان خطای قابل اغماض است و مسیر دوم بحرانی است.

(۳) میزان خطای قابل اغماض نیست و بایستی از شبیه‌سازی مونت کارلو و برای تحلیل شبکه استفاده نمود.

(۴) میزان خطای قابل اغماض نیست و مسیر دوم بحرانی است.



۵. بوسیله شبکه PERT به کدام سوال نمی‌توان پاسخ داد.

- (۱) با چه احتمالی پروژه در زمان T_C تمام نمی‌شود.
- (۲) با احتمال ۰/۹، حداکثر زمان اتمام پروژه به چه میزان است.
- (۳) زمان مورد انتظار اتمام پروژه با سطح دقت یک انحراف استاندارد
- (۴) احتمال انجام چندباره یک فعالیت در شبکه

۶. تخمین زمان انجام فعالیت‌های مسیر بحرانی در جدول زیر آمده است.

فعالیت	خوش‌بینانه	محتمل	بدبینانه
A	۱	۴	۷
B	۸	۱۰	۱۸
C	۱	۲	۳

زمان ختم پروژه با دقت سه انحراف استاندارد در دامنه اطمینان ۱۰۰ - ۰ به چه میزان است؟

- (۱) $۱۷ \pm ۱/۹۷$
- (۲) $۱۷ \pm ۵/۹۱$
- (۳) $۱۶ \pm ۱/۹۷$
- (۴) $۱۶ \pm ۵/۹۱$

۷. در شبکه که بر اساس روش PERT برنامه‌ریزی شده است زمان مورد انتظار کل شبکه ۲۴ و انحراف

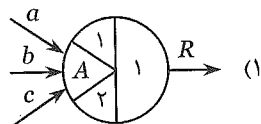
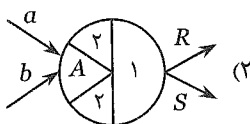
معیار آن ۱/۶ است. احتمال اینکه پروژه را بتوان حداکثر در ۲۰ واحد زمانی تمام کرد عبارتند از

$$(Z_{\frac{1}{6}} = ۰/۹۹۳۸)$$

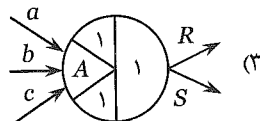
- (۱) ۰/۶۲
- (۲) ۰/۶۲
- (۳) ۰/۹۹
- (۴) ۰/۹۹

۸. در کدام یک از رویدادهای زیر می‌توان حرف A را حذف کرد بدون آنکه در مفهوم آن تفاوتی ایجاد

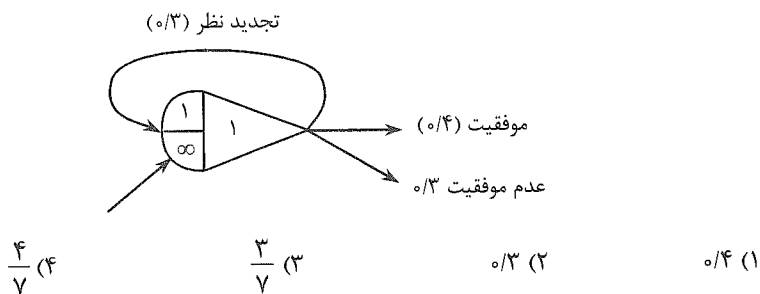
شود؟



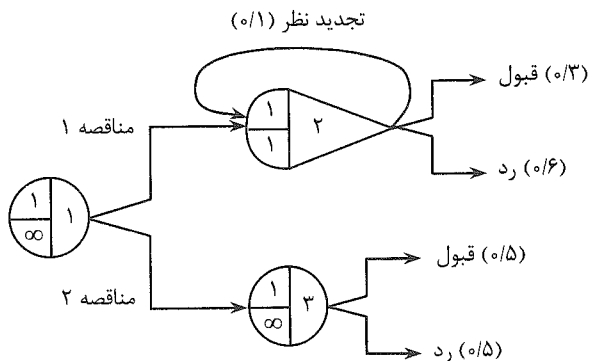
(۴) هیچ کدام



۹. احتمال عدم موفقیت در رویداد زیر چقدر است؟



۱۰. شبکه زیر را در نظر بگیرید:



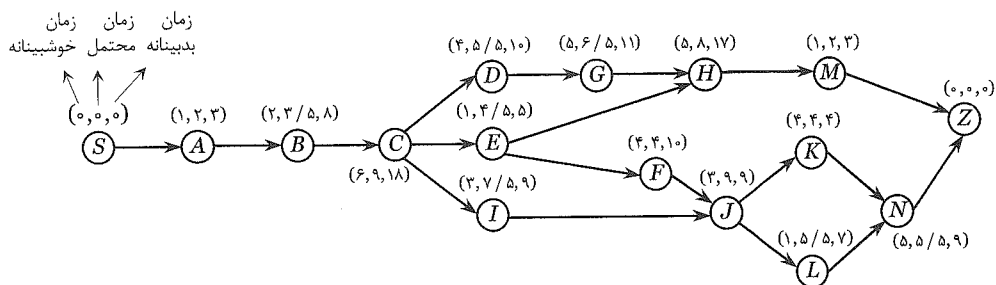
احتمال رد شدن مناقصه اول و دوم به چه میزان است؟

۰/۳ (۴) $\frac{2}{3}$ (۳) $\frac{1}{2}$ (۲) $\frac{1}{3}$ (۱)

۱۱. در شبکه فوق احتمال قبول شدن در مناقصه ۱ و رد شدن در مناقصه ۲ به چه میزان است؟

$\frac{2}{3}$ (۴) $\frac{1}{6}$ (۳) $\frac{1}{3}$ (۲) $\frac{1}{2}$ (۱)

■■■ شبکه زیر را در نظر بگیرید. و به ۲ سوال بعد پاسخ دهید:





۱۲. مدت زمان کل پروژه در حالت بدبینانه، میانگین مدت زمان کل پروژه و واریانس زمان کل پروژه

عبارتست از:

$$۹۰ و ۴۶ و ۷۰ \quad (۴)$$

$$۳ و ۶۹ و ۴۲ و ۳ \quad (۳)$$

$$۹ و ۷۰ و ۴۴ و ۹ \quad (۲)$$

$$۳ و ۶۹ و ۴۴ و ۳ \quad (۱)$$

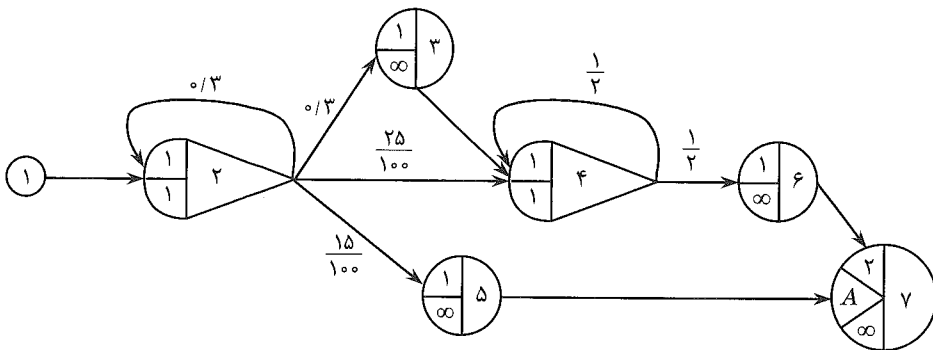
۱۳. احتمال آنکه پروژه حداکثر ۴۶ هفته به طول بینجامد عبارتست از:

(۴) قابل محاسبه نیست.

$$۵۰\% \quad (۳)$$

(۱) کمتر از ۵۰ درصد (۲) بیشتر از ۵۰ درصد

۱۴. شبکه زیر را در نظر بگیرید.



با چه احتمالی فعالیت‌های ۲-۳، ۲-۴، ۲-۵ اجرا خواهد شد.

$$\frac{3}{14}, \frac{6}{14}, \frac{2}{7} \quad (۴)$$

$$\frac{3}{14}, \frac{5}{14}, \frac{3}{7} \quad (۳)$$

$$\frac{3}{14}, \frac{5}{14}, \frac{7}{14} \quad (۲)$$

$$\frac{6}{14}, \frac{1}{7}, \frac{3}{7} \quad (۱)$$

۱۵. در یک شبکه PERT در صورتی که بدانیم $T_e = 24$ و $S = 1/6$ می‌باشد احتمال آنکه پروژه در

حداکثر ۲۰ روز به اتمام برسد کدام است؟

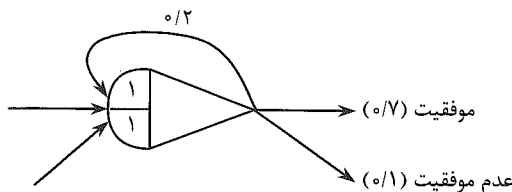
$$۵۲\% \quad (۴)$$

$$۵۲\% \quad (۳)$$

$$۶۲\% \quad (۲)$$

$$۶۲\% \quad (۱)$$

۱۶. در شکل زیر احتمال عدم موفقیت چند است؟



$$\frac{7}{10} \quad (۴)$$

$$\frac{1}{7} \quad (۳)$$

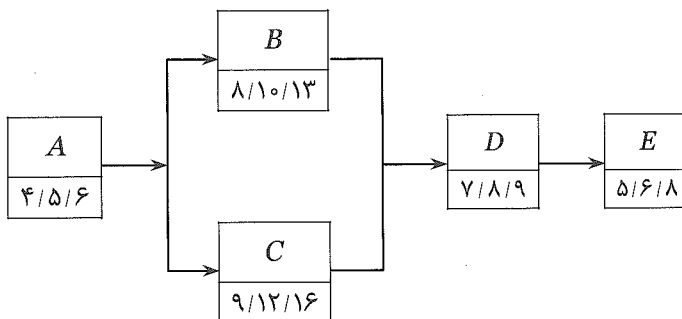
$$\frac{1}{8} \quad (۲)$$

$$\frac{1}{10} \quad (۱)$$

۱۷. در سوال قبل در صورتی که در شکل، A اضافه شود احتمال عدم موفقیت کدام است؟

- (۱) $\frac{1}{10}$ (۲) $\frac{1}{8}$ (۳) $\frac{1}{7}$ (۴) $\frac{7}{10}$

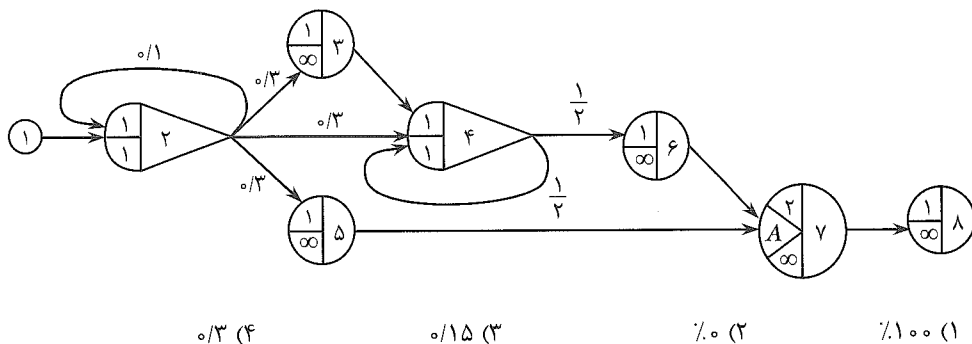
۱۸. شبکه PERT زیر را در نظر بگیرید:



که زمان خوشبینانه و متحمل و بدبینانه انجام هر فعالیت روی آن نوشته شده است. $E(T)$ ، $var(T)$ که در آن T زمان انجام پروژه می‌باشد چند است؟

- (۱) $var(T)=1$ $E(T)=31$ (۲) $var(T)=1/4$ $E(T)=33/4$
 (۳) $var(T)=1/83$ $E(T)=31/4$ (۴) $var(T)=1/4$ $E(T)=34/1$

۱۹. شبکه زیر را در نظر بگیرید. با چه احتمالی فعالیت ۸-۷ انجام می‌شود؟





■■■ جدول فعالیت‌های یک شبکه PERT را در نظر بگیرید.

i	j	فعالیت	T_o	T_m	T_p
۵	۱۰	A	۵	۷	۹/۵
۵	۱۵	B	۴/۵	۵	۷
۵	۲۰	C	۶	۸	۱۰/۵
۵	۲۵	D	۴	۶	۷/۵
۱۰	۳۰	E	۲/۵	۳/۵	۵
۱۰	۳۵	F	۴	۶	۸
۱۵	۳۵	G	۶/۵	۸	۱۱
۱۵	۴۵	H	۴	۵	۷
۲۰	۴۰	I	۲/۵	۳/۵	۴/۵
۲۰	۴۵	J	۴	۶	۷
۲۵	۴۵	K	۲/۵	۴	۵/۵
۳۰	۵۰	L	۱	۲	۳
۳۵	۵۰	M	۳/۵	۴/۵	۶/۵
۴۰	۵۰	N	۴	۶	۸
۴۵	۵۵	O	۴/۵	۵	۷
۵۰	۵۵	Z	۴	۶	۹

۹

فعالیت	T_e	Var	S
A	۷/۰۸	۰/۵۶	۰/۷۵
B	۵/۲۵	۰/۱۸	۰/۴۲
C	۸/۰۸	۰/۵۶	۰/۷۵
D	۵/۹۲	۰/۳۴	۰/۵۸
E	۳/۵۸	۰/۱۸	۰/۴۲
F	۶	۰/۴۵	۰/۶۷

فعالیت	T_e	Var	S
G	۸/۲۵	۰/۵۶	۰/۷۵
H	۵/۱۷	۰/۲۵	۰/۵
I	۳/۳۳	۰/۱۱	۰/۳۳
J	۵/۸۳	۰/۲۵	۰/۵
K	۴	۰/۲۵	۰/۵
L	۲	۰/۱۱	۰/۳۳
M	۴/۶۷	۰/۲۵	۰/۵
N	۶	۰/۴۵	۰/۶۷
O	۵/۲۵	۰/۱۸	۰/۴۲
Z	۶/۱۷	۰/۶۹	۰/۸۳

به ۵ سوال بعد پاسخ دهید.

۲۰. مسیر بحرانی کدام است؟

(۱) AELZ (۲) BHDZ (۳) CJOZ (۴) BGMZ

۲۱. زمان متوسط مسیر بحرانی چند است؟

(۱) ۲۴/۳۳ (۲) ۲۶ (۳) ۲۳/۵۸ (۴) ۱۹/۱۶

۲۲. زمان مسیر بحرانی $\pm 3S$ چند است؟ (S = انحراف معیار)

(۱) [۲۰/۴۶, ۲۸/۲] (۲) [۱۹/۵۳, ۲۷/۶۳] (۳) [۱۶/۱۹, ۲۲/۱۳] (۴) [۱۹/۵۳, ۲۷]

۲۳. واریانس رویداد ۵۵ چند است؟

(۱) ۱/۶۸ (۲) ۱/۸۴ (۳) ۰/۹۹ (۴) ۱/۲۹

۲۴. کدام یک از مسیرها می‌توانند کنار گذاشته شوند چون هرگز مسیر بحرانی نخواهند شد؟

(۱) ۵۵-۴۵-۲۵-۵ و ۵۵-۵۰-۳۰-۱۰-۵

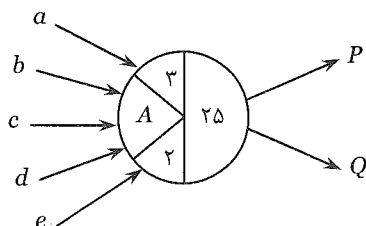
(۲) ۵۵-۴۵-۱۵-۵ و ۵۵-۵۰-۳۰-۱۰-۵

(۳) ۵۵-۴۵-۱۵-۵ و ۵۵-۵۰-۳۰-۲۵-۵

(۴) ۵۵-۵۰-۳۰-۱۰-۵



۲۵. رویداد زیر در شبکه گرت را در نظر بگیرید.



رویداد ۲۵ اولین بار زمانی رسمی خواهد شد که از فعالیت‌های a, b, c, d و e انجام شوند و در دفعات بعدی انجام شوند و با رسمی شدن رویداد ۲۵ باید اجرا شوند. جاهای خالی با کدام گزینه پر خواهد شد؟

(۱) فعالیت-۲ فعالیت-هر دو فعالیت P و Q

(۲) فعالیت مختلف-۲ فعالیت مختلف-هر دو فعالیت P و Q

(۳) فعالیت مختلف-۳ فعالیت مختلف-هر دو فعالیت P و Q

(۴) فعالیت مختلف-۳ فعالیت مختلف-یک فعالیت P و Q

۲۶. در سوال قبل اگر سمت راست رویداد ۲۵ تبدیل به $\triangle$ شود کدام گزینه صحیح خواهد بود؟

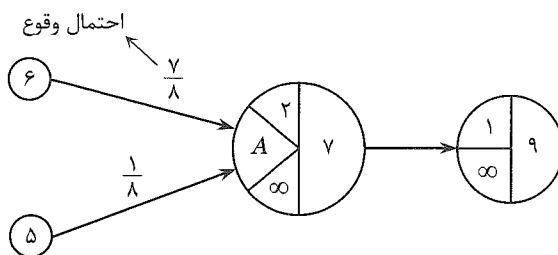
(۴) هیچکدام

(۳) ۴

(۲) ۲

(۱) ۱

۲۷. قسمتی از شبکه GERT را در نظر بگیرید:



احتمال وقوع فعالیت ۹-۷ کدام است؟

(۴) $\frac{7}{64}$ یا صفر

(۳) صفر

(۲) $\frac{64}{50}$ یا صفر

(۱) $\frac{50}{64}$ یا صفر

۲۸. در سوال قبل در صورتی که حرف A را با H عوض کنیم و بدانیم که فقط یکی از فعالیت‌های ۶-۷ یا

۵-۷ رخ می‌دهد، احتمال وقوع ۷-۹ چند است؟

- (۱) $\frac{50}{64}$ (۲) $\frac{64}{50}$ (۳) صفر (۴) ۱

۲۹. کدام گزینه صحیح است؟

(۱) در شبکه $PERT$ زمان قطعی ولی رخداد فعالیت احتمالی است.

(۲) در شبکه $PERT$ زمان و رخداد فعالیت احتمالی می‌باشد.

(۳) در شبکه $PERT$ زمان و رخداد فعالیت قطعی است.

(۴) در شبکه $PERT$ زمانی که به رویداد نهایی می‌رسیم تمام فعالیت‌ها انجام شده‌اند.

■■■ جدول پیشنهادی زیر را در نظر بگیرید:

فعالیت	پیشنیاز	t_o	t_m	t_p	t_e	δ
۱	-	۰	۰	۰	۰	۰
۲	۱	۳	۵	۱۳	۶	۱/۶۷
۳	۱	۲	۳/۵	۱۴	۵	۲
۴	۱	۱	۳	۵	۳	۰/۶۷
۵	۳	۱	۱	۱	۱	۰
۶	۳	۱	۲	۹	۳	۱/۳۳
۷	۳	۱	۲	۳	۲	۰/۳۳
۸	۴	۱	۱	۱	۱	۰
۹	۲	۱	۴	۷	۴	۱
۱۰	۵	۱	۳	۵	۳	۰/۶۷
۱۱	۷	۰/۵	۱	۱/۵	۱	۰/۱۷
۱۲	۶ و ۱۰ و ۱۱	۱	۲/۵	۷	۳	۱
۱۳	۸ و ۱۲	۱	۴	۱۳	۵	۲
۱۴	۹ و ۱۳	۰	۰	۰	۰	۰

به ۴ سوال بعد پاسخ دهید.



۳۰. مسیر بحرانی کدام است؟

$$(۱) ۱ \rightarrow ۳ \rightarrow ۵ \rightarrow ۱۰ \rightarrow ۱۲ \rightarrow ۱۳ \rightarrow ۱۴ \quad (۲) ۱ \rightarrow ۲ \rightarrow ۹ \rightarrow ۱۳ \rightarrow ۱۴$$

$$(۳) ۱ \rightarrow ۴ \rightarrow ۸ \rightarrow ۱۳ \rightarrow ۱۴ \quad (۴) ۱ \rightarrow ۳ \rightarrow ۶ \rightarrow ۱۲ \rightarrow ۱۳ \rightarrow ۱۴$$

۳۱. شبکه ذکر شده دارای توزیع می باشد.

$$(۱) N(۱۸, ۳/۰۷) \quad (۲) N(۱۷, ۳/۰۷) \quad (۳) N(۱۸, ۷/۰۳) \quad (۴) N(۱۷, ۷/۰۳)$$

۳۲. در صورتی که بخواهیم کل زمان پروژه کوچکتر مساوی ۲۰ واحد زمانی باشد، کدام گزینه در مورد

احتمال انجام آن صحیح است؟

$$(۱) ۱۸ \text{ درصد} \quad (۲) ۵۰ \text{ درصد} \quad (۳) ۸۳/۵۵ \text{ درصد} \quad (۴) ۵۵ \text{ درصد}$$

۳۳. در صورتی که بخواهیم ریسک اتمام به موقع پروژه حداقل ۱۰ درصد باشد، حداکثر زمان انجام

پروژه می باشد.

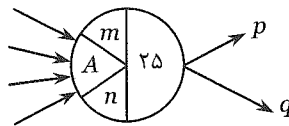
$$(۱) ۱۴ \quad (۲) ۱۳ \quad (۳) ۲۰ \quad (۴) ۲۰/۹$$

۳۴. در یک شبکه PERT در صورتی که بدانیم زمان خوشبینانه فعالیت برابر ۱ و زمان محتمل برابر ۴،

انحراف معیار آن ۱ و زمان متوسط برابر ۴ می باشد، زمان بدبینانه کدام است؟

$$(۱) ۱۲ \quad (۲) ۴ \quad (۳) ۷ \quad (۴) ۱$$

۳۵. رویداد زیر را در یک شبکه گرت در نظر بگیرید.



در چه صورت این گره مربوط به یک شبکه CPM خواهد شد؟

$$(۱) n=m=\infty \quad (۲) m=n=۴ \quad (۳) m=۴, n=\infty \quad (۴) m, n \leq ۴$$

۳۶. جدول یک شبکه PERT را در نظر بگیرید:

فعالیت	t_o	t_m	t_p	μ	$S^2 = (\frac{t_p - t_o}{6})^2$
A	۱	۲	۳	۲	$\frac{1}{9}$
B	۲	$3\frac{1}{2}$	۸	۴	۱
C	۶	۹	۱۸	۱۰	۴
D	۴	$5\frac{1}{2}$	۱۰	۶	۱
E	۱	$4\frac{1}{2}$	۵	۴	$\frac{4}{9}$
F	۴	۴	۱۰	۵	۱
G	۵	$6\frac{1}{2}$	۱۱	۷	۱
H	۵	۸	۱۷	۹	۴
I	۳	$7\frac{1}{2}$	۹	۷	۱
J	۳	۹	۹	۸	۱
K	۴	۴	۴	۴	۰
L	۱	$5\frac{1}{2}$	۷	۵	۱
M	۱	۲	۳	۲	$\frac{1}{9}$
N	۵	$5\frac{1}{2}$	۹	۶	$\frac{4}{9}$

مسیرهای موجود

(۱) A-B-C-D-G-H-M

(۲) A-B-C-E-H-M

(۳) A-B-C-E-F-J-K-N

(۴) A-B-C-E-F-J-L-N

(۵) A-B-C-I-J-K-N

(۶) A-B-C-I-J-L-N



می‌باشد. با توجه به زمان بدینانه مسیر بحرانی کدام است؟

- (۱) مسیر (۱) (۲) مسیر (۲) (۳) مسیر (۳) (۴) مسیر (۴) (۵) مسیر (۵)

۳۷. در سوال قبل با توجه به زمان متوسط مسیر بحرانی کدام است؟

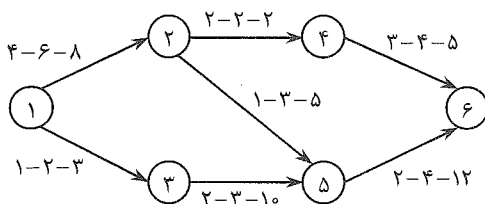
- (۱) مسیر (۱) (۲) مسیر (۲) (۳) مسیر (۳) (۴) مسیر (۴) (۵) مسیر (۵)

۳۸. در صورتی که *Deadline* اتمام پروژه ۴۷ روز باشد، چند درصد احتمال دارد که *Deadline* رعایت

گردد؟

- (۱) ۸۰ درصد (۲) ۵۰ درصد (۳) ۸۴ درصد (۴) ۶۷ درصد

۳۹. شبکه *PERT* زیر را در نظر بگیرید:



زمان مسیر بحرانی چند می‌باشد؟

- (۱) ۱۳ (۲) ۱۴ (۳) ۱۶ (۴) ۱۲

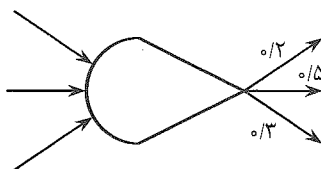
۴۰. انحراف معیار مسیر بحرانی در سوال قبل چند است؟

- (۱) $\frac{33}{81}$ (۲) $\frac{33}{9}$ (۳) $\frac{\sqrt{33}}{9}$ (۴) $\frac{\sqrt{33}}{3}$

۴۱. در دو سوال قبل احتمال آنکه پروژه ۱۶ روزه به اتمام برسد چند است؟

- (۱) ۸۵٪ (۲) ۸۰٪ (۳) ۵۸٪ (۴) ۵۰٪

۴۲. رویداد زیر در یک شبکه *GERT* را در نظر بگیرید:



کدام گزینه صحیح است؟

- (۱) انشعاب‌های ورودی قطعی و انشعاب‌های خروجی احتمالی می‌باشند.
- (۲) انشعاب‌های ورودی احتمالی و انشعاب‌های خروجی هم احتمالی می‌باشند.
- (۳) انشعاب‌های ورودی مشخص نمی‌باشند ولی انشعاب‌های خروجی احتمالی هستند.
- (۴) انشعاب‌های ورودی و خروجی همگی قطعی می‌باشند.

۴۳. اگر پروژه تحقیق و توسعه‌ای را بخواهیم برنامه‌ریزی کنیم که کارفرما از ما می‌خواهند، بعد از هر فاز پروژه را ارسال کنیم و در صورت عدم تأیید مجدداً روی فرآیندهای کار، اصلاحاتی را بگونه‌ای داشته باشیم تا مورد تأیید قرار گیرد، استفاده از کدام روش مؤثرتر است؟ (صنایع ۹۰)

- (۱) PN (۲) GERT (۳) PERT (۴) گانت چارت

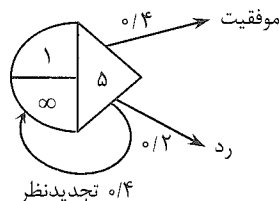
۴۴. تخمین زمان فعالیت‌های مسیر بحرانی یک پروژه در جدول زیر داده شده است:

فعالیت	تخمین خوش‌بینانه	تخمین متحمل	تخمین بدبینانه
A	۱۵	۲۵	۴۷
B	۱۲	۲۲	۳۵
C	۱۶	۲۷	۳۲

زمان ختم پروژه با دقت یک انحراف استاندارد در دامنه اطمینان ۱۰۰٪ - درصد چقدر است؟ (صنایع ۹۰)

- (۱) ۷۵/۵ (۲) ۷۵/۵ ± ۲/۸۳ (۳) ۷۵/۵ ± ۷/۰۹ (۴) ۷۵/۵ ± ۸/۵

۴۵. رویداد زیر مربوط به یک شبکه GERT می‌باشد، احتمال وقوع "موفقیت" آن چیست؟ (صنایع ۹۱)



- (۱) ۰/۶۶ (۲) ۰/۴ (۳) ۰/۷۵ (۴) ۱



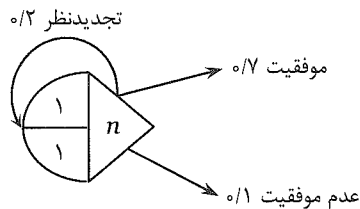
۴۶. پروژه‌ای بر اساس تکنیک *PERT* برنامه‌ریزی شده است. این پروژه دارای دو مسیر با طولانی‌ترین زمان مورد انتظار برای اجرا می‌باشد. مسیر اول به مدت ۱۲ ماه و واریانس $0/8$ و مسیر دوم به مدت ۱۳ ماه و واریانس $0/6$ ، بر این اساس مسیر به عنوان مسیر بحرانی این پروژه به دلیل قابل اغماض خطا انتخاب می‌گردد.

(صنایع ۹۱)

(۱) اول، نبودن (۲) اول، بودن (۳) دوم، نبودن (۴) دوم، بودن

۴۷. احتمال وقوع «عدم موفقیت» در رابطه با شبکه *GERT* زیر کدام است؟

(صنایع ۹۲)



(۱) $0/12$ (۲) $0/1$ (۳) $0/125$ (۴) $0/3$

۴۸. در نرم‌افزارهای رایج مدیریت پروژه از مبانی کدام نوع شبکه بیشتر استفاده می‌گردد؟

(صنایع ۹۲)

(۱) *P.N* (۲) *C.P.M* (۳) *PERT* (۴) *GERT*

۴۹. در شرایطی که در شبکه‌های *PERT*، میزان خطا قابل چشم‌پوشی نباشد، برای انجام محاسبات چه باید کرد؟

(صنایع ۹۲)

- (۱) باید بر روی فعالیت‌های برنامه‌ریزی پروژه متمرکز شد.
- (۲) در این حالت اصولاً امکان حل شبکه *PERT* وجود ندارد.
- (۳) به جای انجام محاسبات معمولی، باید از روش‌های شبیه‌سازی استفاده کرد.
- (۴) شبکه *PERT* را به یک شبکه *CPM* قطعی تبدیل کرده و آن را حل کرد.

۵۰. جدول زیر، تخمین زمان فعالیت‌های یک پروژه را نشان می‌دهد.

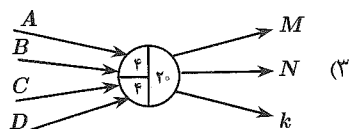
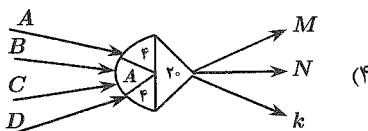
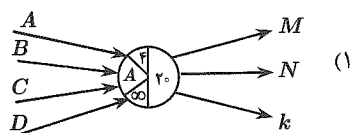
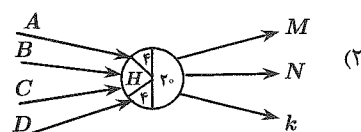
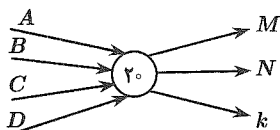
فعالیت	تخمین خوشبینانه	تخمین محتمل	تخمین بدبینانه
۱-۲	۲	۲	۲
۱-۳	۲	۴	۶
۲-۳	۱	۲	۳
۲-۴	۱	۳	۵
۳-۴	۳	۵	۷

انحراف معیار مسیر بحرانی در فاصله اطمینان ۰ تا ۱۰۰ برابر است با:

(۱) $\frac{5}{9}$ (۲) $\frac{\sqrt{5}}{3}$ (۳) $\frac{1}{9}$ (۴) $\frac{2\sqrt{2}}{3}$ (صنایع ۹۳)

۵۱. فرض کنید گره زیر متعلق به یک شبکه CPM برداری است. اگر بخواهیم آن را در یک شبکه

GERT به طور صحیح نمایش دهیم، پاسخ صحیح کدام است؟ (صنایع ۹۳)



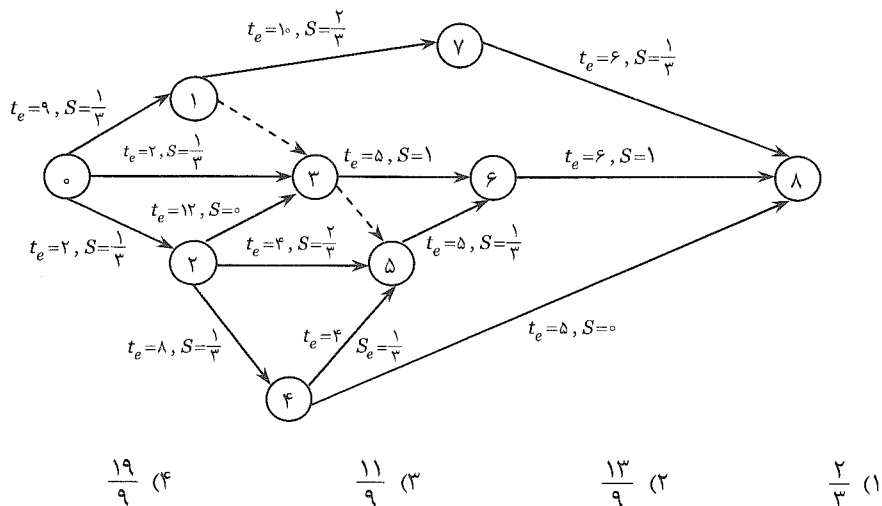
۵۲. زمانبندی در بیشتر پروژه‌های اجرایی توسط نرم‌افزارهای MSP و Primavera با استفاده از چه

روشی صورت می‌گیرد؟ (صنایع ۹۴)

CPM (۱) PN (۲) PERT (۳) GERT (۴)

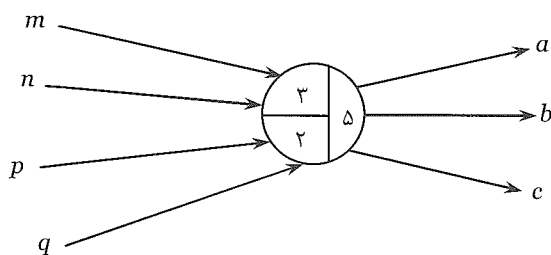
۵۳. شبکه PERT زیر در سیستم صفر تا صد داده شده است. زمان متوسط (t_e) و انحراف معیار (S)

هر فعالیت بر روی شکل مشخص شده است. واریانس زمان کل پروژه کدام است؟ (صنایع ۹۴)



۵۴. در شبکه گرت (GERT) زیر رویداد شماره ۵ به چه معناست (یعنی در چه صورت رویداد ۵ رسمی

می‌شود)؟ (منابع ۹۴)



(۱) در اولین بار برای رسمی شدن رویداد، سه فعالیت از چهار فعالیت m, n, p و q انجام شده و در دفعات بعدی وقوع این رویداد، دو فعالیت از چهار فعالیت ورودی اجرا شده و در سمت خروجی هر سه فعالیت a و b و c اجرا شوند.

(۲) در اولین بار برای رسمی شدن رویداد، سه فعالیت مختلف از چهار فعالیت m, n, p و q انجام شده و در دفعات بعدی وقوع این رویداد، ۲ فعالیت مختلف از این چهار فعالیت اجرا شوند و در خروجی یکی از سه فعالیت a, b یا c اجرا شوند.

(۳) در هر بار رسمی شدن رویداد فوق بین ۲ تا ۳ فعالیت از چهار فعالیت ورودی m, n, p و q اجرا شده و در سه خروجی سه فعالیت a, b و c همزمان آغاز شوند.

(۴) در دفعه اول برای رسمی شدن رویداد یکی از ۴ فعالیت m, n, p یا q سه بار اجرا شده و در دفعات بعد یکی از چهار فعالیت فوق ۲ بار اجرا شده و در خروجی هم یکی از سه فعالیت a یا b یا c اجرا شود.

۵۵. در صورتی که خطای محاسباتی در شبکه‌های "PERT" قابل صرفنظر کردن نباشد، چه باید کرد؟ (منابع ۹۵)

- (۱) از روش‌های شبیه‌سازی برای حل و تجزیه و تحلیل شبکه استفاده می‌کنیم.
- (۲) شبکه را به یک شبکه CPM معمولی تبدیل و آن را حل می‌کنیم.
- (۳) تخمین‌های زمانی فعالیت‌ها را مجدداً انجام می‌دهیم.
- (۴) پروژه را با در نظر گرفتن تخمین‌های بدبینانه حل می‌کنیم.

۵۶. در یک شبکه PERT، میانگین و محتمل‌ترین زمان انجام فعالیتی در سیستم ۵ تا ۹۵ درصد برابر

با $8/5$ روز می‌باشد. اگر واریانس مدت زمان اجرای این فعالیت $25/0$ باشد، در آن صورت زمان‌های

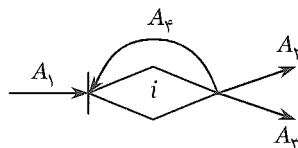
خوش‌بینانه (a) و بدبینانه (b) برای انجام این فعالیت، کدام است؟ (منابع ۹۵)

- (۱) $a=7, b=9$ (۲) $a=10, b=7$ (۳) $a=7/7, b=9/3$ (۴) $a=7/5, b=9/5$

۵۷. شکل زیر گره i از یک شبکه گرت را نشان می‌دهد. اگر گره i به دفعات نامحدود محقق شود،

احتمال اجرای فعالیت A_3 ، $3/0$ خواهد بود. همچنین اگر فرض شود احتمال اجرای فعالیت A_4

برابر $1/0$ باشد، در این صورت در هر بار، احتمال اجرای فعالیت A_3 ، کدام است؟ (منابع ۹۵)



(۴) $35/0$

(۳) $3/0$

(۲) $27/0$

(۱) $25/0$

۱. گزینه ۴

برای درک بهتر این موضوع، شکل زیر را به خاطر بسپارید:

نوع فعالیت		از نظر اجرا	
		معین	احتمالی
زمانی	زمانی	CPM	GERT
	احتمالی	PERT	

۲. گزینه ۱

از آنجایی که در پروژه تحقیقاتی انجام و یا عدم انجام برخی از فعالیت‌ها و همچنین انجام چندباره آن‌ها عدم قطعیت دارد بنابراین بهترین روش *GERT* است.

۳. گزینه ۴

طبق قانون خطا در شبکه‌های *PERT*، زمانی خطا قابل اغماض است که تفاوت بین زمان‌های مورد انتظار برای دو مسیری که به یک رویداد می‌رسند از مقدار انحراف معیار هر یک از دو مسیر بزرگ‌تر باشد. در زمانی که بیش از دو مسیر به یک رویداد برسند، این موضوع در مورد دو مسیری که طولانی‌ترین زمان‌های مورد انتظار را دارند بررسی می‌شود.

۴. گزینه ۲

$$1/8 > \max\{1/15, 1/19\}$$

بنابراین میزان خطا قابل اغماض است و مسیر دوم بحرانی است.

۵. گزینه ۴

با توجه به آنکه در شبکه‌های *PERT*، تنها موضوع احتمالی بودن زمان است بنابراین احتمال انجام و یا عدم انجام فعالیت‌ها اصلاً مطرح نمی‌باشد و این موضوع به شبکه‌های *GERT* برمی‌گردد.

۶. گزینه ۲

فعالیت	t_o	t_m	t_p	t_e	s	s^2
A	۱	۴	۷	۴	۱	۱
B	۸	۱۰	۱۸	۱۱	$\frac{۵}{۳}$	$\frac{۲۵}{۹}$
C	۱	۲	۳	۲	$\frac{۱}{۳}$	$\frac{۱}{۹}$

$$T = ۴ + ۱۱ + ۲ = ۱۷ \text{ کل پروژه}$$

$$S_T^2 = ۱ + \frac{۲۵}{۹} + \frac{۱}{۹} = \frac{۳۵}{۹}$$

$$S_T = \sqrt{S_T^2} = ۱/۹۷$$

$$= ۱۷ \pm ۳ \times ۱/۹۷ = ۱۷ \pm ۵/۹۱ \text{ تخمین زمان با دقت سه انحراف استاندارد}$$

۷. گزینه ۲

$$Z = \frac{x - \mu}{\sigma} = \frac{۲۰ - ۲۴}{۱/۶} = Z(-۲/۵)$$

$$۱ - Z(۲/۵) = (۱ - ۰/۹۹۳۸) = ۰/۰۰۶۲ \Rightarrow P(T \leq ۲۰) = ۰/۰۰۶۲$$

۸. گزینه ۳

حرف A می‌گوید که برای رسمی شدن رویداد بایستی n فعالیت متفاوت صورت گیرد. در صورتی که تنها قرار باشد یک فعالیت صورت گیرد پس متفاوت بودن آن موضوعیتی ندارد.

۹. گزینه ۲

از آنجایی که رسمی شدن رویداد برای بار دوم به ∞ بار اتفاق ورودی نیاز دارد و این امر غیرممکن است بنابراین این رویداد تنها یک بار امکان وقوع دارد.

۱۰. گزینه ۱

$$\text{احتمال رد شدن مناقصه ۱} = \frac{۰/۶}{۱ - ۰/۱} = \frac{۲}{۳} \Rightarrow \text{احتمال رد شدن مناقصه ۲ و ۱} = \frac{۲}{۳} \times \frac{۱}{۲} = \frac{۱}{۳}$$

$$\text{احتمال رد شدن مناقصه ۲} = \frac{۱}{۲}$$



۱۱. گزینه ۳

$$\left. \begin{array}{l} \text{احتمال قبولی مناقصه ۱} = \frac{1}{3} \\ \text{احتمال رد شدن در مناقصه ۲} = \frac{1}{3} \end{array} \right\} \Rightarrow \frac{1}{3} \times \frac{1}{3} = \frac{1}{9}$$

۱۲. گزینه ۲

فعالیت	میانگین	σ^2
A	۲	$\frac{1}{9}$
B	۴	۱
C	۱۰	۴
D	۶	۱
E	۴	$\frac{4}{9}$
F	۵	۱
G	۷	۱
H	۹	۴
I	۷	۱
J	۸	۱
K	۴	۰
L	۵	۱
M	۲	$\frac{1}{9}$
N	۶	$\frac{4}{9}$

در حالت بدبینانه مسیر بحرانی عبارتست از:

$$A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow D \rightarrow G \rightarrow H \rightarrow M$$

$$3 + 8 + 18 + 10 + 11 + 17 + 3 = 70$$

در حالت میانگین مسیر بحرانی عبارتست از:

$$A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow E \rightarrow F \rightarrow J \rightarrow L \rightarrow N$$

$$2 + 4 + 10 + 4 + 5 + 8 + 5 + 6 = 44$$

$$\sigma^2 = \frac{1}{9} + 1 + 4 + \frac{4}{9} + 1 + 1 + 1 + \frac{4}{9} = 9$$

۱۳. گزینه ۲

$$P(T \leq d) = P(Z \leq \frac{46-44}{3}) = P(Z \leq \frac{2}{3})$$

از آنجایی که میانگین توزیع نرمال از عدد داده شده (۴۶) کمتر است بنابراین بیشتر از ۵۰٪ احتمال دارد که پروژه در ۴۶ هفته به طول بیانجامد.

۱۴. گزینه ۳

$$\text{فعالیت ۲-۳} = \frac{0/3}{1-0/3} = \frac{3}{7}$$

$$\text{فعالیت ۲-۴} = \frac{25}{1-0/3} = \frac{5}{14}$$

$$\text{فعالیت ۲-۵} = \frac{15}{1-0/3} = \frac{3}{14}$$

۱۵. گزینه ۲

$$Z = \frac{T_p - T_e}{S} = \frac{20-24}{1/6} = -2/5$$

$$P(T \leq 20) = 0/62$$

۱۶. گزینه ۲

$$\text{احتمال عدم موفقیت} = \frac{0/1}{1-0/2} = \frac{1/10}{1-\frac{2}{10}} = \frac{1}{8}$$

۱۷. گزینه ۲

حرف A فقط نشان‌دهنده عدم تکراری بودن فعالیت قبلی دارد که هیچ تأثیری بر احتمال اتفاق عدم موفقیت ندارد.



۱۸. گزینه ۳

فعالیت	t_o	t_m	t_p	$E(t)$	$var(t)$
A	۴	۵	۶	۵	۰/۱۱
B	۸	۱۰	۱۳	۱۰/۲	۰/۶۹
C	۹	۱۲	۱۶	۱۲/۲	۱/۳۶
D	۷	۸	۹	۸	۰/۱۱
E	۵	۶	۸	۶/۲	۰/۲۵

مسیر بحرانی A-C-D-E می‌باشد.

$$E(T) = 5 + 12/2 + 8 + 6/2 = 31/4$$

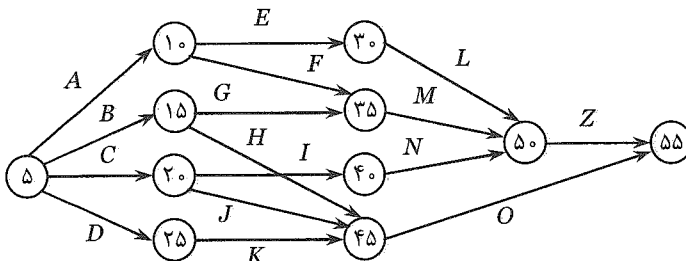
$$var(T) = 0/11 + 1/36 + 0/11 + 0/25 = 1/83$$

۱۹. گزینه ۲

چون لازم است فعالیت ۲-۵ و یکی از دو فعالیت ۲-۳ یا ۲-۴ انجام شود که این موضوع امکان‌پذیر نیست.

۲۰. گزینه ۴

مسیر بحرانی BGMZ می‌باشد. به کلیه محاسبات شبکه دقت کنید.



فعالیت	T_e	Var	S
A	۷/۰۸	۰/۵۶	۰/۷۵
B	۵/۲۵	۰/۱۸	۰/۴۲
C	۸/۰۸	۰/۵۶	۰/۷۵
D	۵/۹۲	۰/۳۴	۰/۵۸

فعالیت	T_e	Var	S
E	۳/۵۸	۰/۱۸	۰/۴۲
F	۶	۰/۴۵	۰/۶۷
G	۸/۲۵	۰/۵۶	۰/۷۵
H	۵/۱۷	۰/۲۵	۰/۵
I	۳/۳۳	۰/۱۱	۰/۳۳
J	۵/۸۳	۰/۲۵	۰/۵
K	۴	۰/۲۵	۰/۵
L	۲	۰/۱۱	۰/۳۳
M	۴/۶۷	۰/۲۵	۰/۵
N	۶	۰/۴۵	۰/۶۷
O	۵/۲۵	۰/۱۸	۰/۴۲
Z	۶/۱۷	۰/۶۹	۰/۸۳

	مسیر	T_e	Var	S	$-3S$	$+3S$
۱	۵-۱۵-۳۵-۵۰-۵۵	۲۴/۳۳	۱/۶۸	۱/۲۹	۲۰/۴۶	۲۸/۲
۲	۵-۲۰-۴۰-۵۰-۵۵	۲۳/۵۸	۱/۸۱	۱/۳۵	۱۹/۵۳	۲۷/۶۳
۳	۵-۱۰-۳۵-۵۰-۵۵	۲۳/۹۱	۱/۹۵	۱/۳۹	۱۹/۷۴	۲۸/۰۸
۴	۵-۲۰-۴۵-۵۵	۱۹/۱۶	۰/۹۹	۰/۹۹	۱۶/۱۹	۲۲/۱۳
۵	۵-۱۰-۳۰-۵۰-۵۵	۱۸/۸۳	۱/۵۴	۱/۲۴	۱۵/۱۱	۲۲/۵۵
۶	۵-۱۵-۴۵-۵۵	۱۵/۶۷	۰/۶۱	۰/۷۸	۱۳/۳۳	۱۸/۰۱
۷	۵-۲۵-۴۵-۵۵	۱۵/۱۷	۰/۷۷	۰/۸۸	۱۲/۵۳	۱۷/۸۱

۲۱. گزینه ۱

۲۲. گزینه ۱

۲۳. گزینه ۱

واریانس رویداد پایانی همان واریانس مسیر بحرانی است.



۳.۲۴. گزینه ۳

چون برای مسیرهای گزینه (۳) $T_e + 3S$ به مسیر بحرانی $T_e - 3S$ نخواهد رسید پس هیچگاه این مسیرها بحرانی نخواهند شد.

۲.۲۵. گزینه ۲

۴.۲۶. گزینه ۴

۴.۲۷. گزینه ۴

A یعنی باید در مرحله اول ۲ فعالیت مختلف انجام شوند تا گره ۷ رسمی شود. حال اگر وقوع ۶-۷ و ۵-۷ یکی فقط باشد احتمال وقوع فعالیت ۷-۹ صفر خواهد بود. ولی در صورتی که وقوع فعالیت‌های ۶-۷ و ۵-۷ هیچ ارتباطی به یکدیگر نداشته باشد آنگاه احتمال وقوع ۷-۹، $\frac{1}{8} \times \frac{7}{8} = \frac{7}{64}$ می‌باشد.

۱.۲۸. گزینه ۱

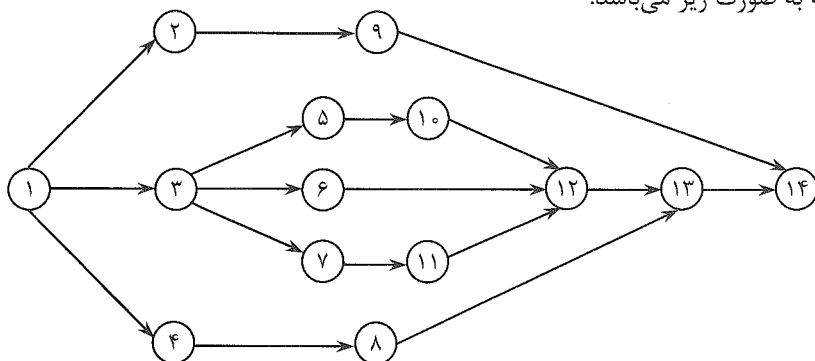
در صورتی که A با H تعویض شود فعالیت‌های ۶-۷ و ۵-۷ هر کدام می‌توانند ۲ بار با تکرار انجام شوند تا رویداد ۷ رسمی شود. پس داریم:

$$\frac{7}{8} \times \frac{7}{8} + \frac{1}{8} \times \frac{1}{8} = \frac{50}{64}$$

۴.۲۹. گزینه ۴

۱.۳۰. گزینه ۱

شبکه به صورت زیر می‌باشد:



که با توجه به زمان t_e مسیر ۱۴-۱۳-۱۲-۱۰-۵-۳-۱ بحرانی می‌باشد با زمان $T=17$.

۳۱. گزینه ۲

$$\delta^2 = 0^2 + 2^2 + 0^2 + 0/67^2 + 1^2 + 2^2 + 0^2 = 9/44 \Rightarrow \delta = 3/07$$

که با استفاده از قضیه حد مرکزی توزیع مسیر بحرانی نرمال با میانگین ۱۷ و انحراف معیار ۳/۰۷ خواهد شد.

۳۲. گزینه ۳

$$P(T \leq 20) = P\left(\frac{T-17}{3/07} \leq \frac{20-17}{3/07}\right) \Rightarrow P(Z \leq 0/976) = 0/83/55$$

۳۳. گزینه ۴

$$90\% \text{ حداکثر} \Rightarrow Z = 1/28 = \frac{T-17}{3/07} \Rightarrow T = 20/9$$

حداقل ۱۰٪ ریسک اتمام پروژه برابر است با حداکثر موفقیت اتمام ۹۰٪ باشد.

۳۴. گزینه ۳

$$t_0 = 1 \Rightarrow t_p = t_0 + 6\delta = 1 + 6 = 7$$

۳۵. گزینه ۳

در صورتی که $m=4$ باشد یعنی دفعه اول هر ۴ فعالیت باید انجام شوند تا رویداد ۲۵ رسمی شود که همین اتفاق در شبکه CPM خواهد افتاد. و $n=\infty$ یعنی دفعات بعدی وجود ندارد.

۳۶. گزینه ۱

با توجه به مسیرهای ذکر شده فقط کافی است زمان‌های هر کدام از مسیرها را با یکدیگر جمع کنیم.

$$(1) \Rightarrow T = 70$$

$$(2) \Rightarrow T = 54$$

$$(3) \Rightarrow T = 66$$

$$(4) \Rightarrow T = 69$$

$$(5) \Rightarrow T = 60$$

$$(6) \Rightarrow T = 63$$

که مسیر ۱ بحرانی می‌باشد.



گزینه ۳۷

با توجه به μ که همان زمان متوسط می باشد مسیر بحرانی

$$A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow E \rightarrow F \rightarrow J \rightarrow L \rightarrow N$$

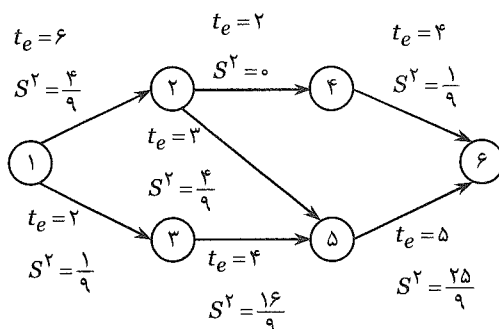
با زمان $T = 44$ می باشد.

گزینه ۳۸

$$\begin{cases} P(T \leq 47) = 84\% \\ Z = \frac{T_c - \mu}{S} = \frac{47 - 44}{3} = 1 \end{cases}$$

گزینه ۳۹

ابتدا روی شبکه زمان متوسط و سپس S^2 را برای هر فعالیت محاسبه می کنیم:



مسیرهای موجود به صورت زیر می باشند:

$$1-2-4-6 \Rightarrow T = 12$$

$$1-2-5-6 \Rightarrow T = 14 \text{ مسیر بحرانی}$$

$$1-3-5-6 \Rightarrow T = 11$$

گزینه ۴۰

برای به دست آوردن انحراف معیار مسیر بحرانی باید واریانس تمام فعالیت های مسیر بحرانی را جمع

کنیم:

$$S_{1-2-5-6}^2 = S_{1-2}^2 + S_{2-5}^2 + S_{5-6}^2 = \frac{4}{9} + \frac{4}{9} + \frac{25}{9} = \frac{33}{9} \Rightarrow S = \frac{\sqrt{33}}{3}$$

۴۱. گزینه ۱

$$Z = \frac{16-14}{\frac{\sqrt{33}}{3}} \Rightarrow P(T \leq 16) = 0.85$$

۴۲. گزینه ۳

چون سمت راست رویداد به صورت $\triangle$ می‌باشد پس خروجی‌ها احتمالی می‌باشند ولی چون در مورد سمت چپ رویداد هیچ حرفی یعنی A و U و H نوشته نشده در مورد فعالیت‌های ورودی هیچ چیزی نمی‌توان گفت.

۴۳. گزینه ۲

از آنجایی که در شبکه گرت امکان بازبینی و بازگشت فعالیت وجود دارد پس شبکه $GERT$ بهترین گزینه برای انتخاب می‌باشد.

۴۴. گزینه ۳

در این سوال اولاً چون گفته فعالیت‌های بحرانی داده شده‌اند، نیازی به رسم شبکه می‌باشد، زیرا برای محاسبه میانگین و واریانس کافی است به ترتیب میانگین و واریانس ۳ فعالیت با هم جمع جبری شوند. ثانیاً چون در تمام گزینه‌ها میانگین عدد $75/5$ است. نیازی به محاسبه میانگین نیز نیست. فقط کافی است از واریانس‌ها محاسبه شوند. چون تخمین در فاصله صفر تا 100 است باید واریانس‌ها از فرمول $S^2 = \left(\frac{b-a}{6}\right)^2$ محاسبه شوند. که به ترتیب خواهند شد: $S^2_A = \left(\frac{32}{6}\right)^2$ ، $S^2_B = \left(\frac{23}{6}\right)^2$ و $S^2_C = \left(\frac{16}{6}\right)^2$ که از جمع جبری آنها واریانس کل $S^2_P = 50/25$ و انحراف معیار $S_P = 7/09$ بدست خواهد آمد. که در فاصله یک انحراف استاندارد گزینه $75/5 \pm 7/09$ خواهد شد.

۴۵. گزینه ۱

چون عدد دوم رویداد 5 برابر ∞ می‌باشد یعنی هیچ برگشتی در انجام آن وجود ندارد پس احتمال وقوع، همان $0/4$ می‌باشد.



۴۶. گزینه ۴

$$\begin{aligned} T_{\text{مسیر اول}} &= ۱۲ \\ T_{\text{مسیر دوم}} &= ۱۳ \Rightarrow T_{\text{مسیر اول}} - T_{\text{مسیر دوم}} = ۱۳ - ۱۲ = ۱ > \max\{S_{\text{مسیر اول}}, S_{\text{مسیر دوم}}\} = ۰/۸ \end{aligned}$$

چون رابطه فوق برقرار است پس خطا قابل اغماض می باشد.

۴۷. گزینه ۳

داریم:

$$\frac{۰/۱}{۱-۰/۲} = \frac{۰/۱}{۰/۸} = \frac{۱}{۸} = ۰/۱۲۵$$

۴۸. گزینه ۱

این سوال بد طرح شده، زیرا با اطلاعات و گزینه‌های موجود گزینه‌های ۱ و ۲ می‌توانند صحیح است. اگر چه در شبکه‌های AON یا PN انواع روابط وابستگی وجود دارد و استفاده آنرا نسبت به AOA بیشتر می‌کند. ولی PN مبانی نیست بلکه یک روش رسم شبکه است. از طرفی به نظر می‌آید در ذهن طراح CPM روش رسم شبکه‌های برداری است در حالیکه چنین نبوده و CPM شبکه نیست، بلکه روش محاسبات مسیر بحرانی است که می‌تواند روی شبکه‌های AON یا AOA انجام شود. بهتر بود طراح بجای بکارگیر واژه شبکه از واژه روش در گزینه‌ها استفاده می‌کرد.

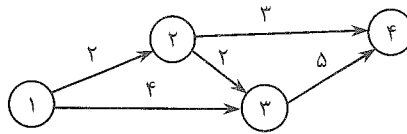
۴۹. گزینه ۳

۵۰. گزینه ۴

ابتدا میانگین و واریانس هر مسیر را محاسبه می‌کنیم.

فعالیت	خوشبینانه	محتمل	بدبینانه	$t_e = \mu$	S^2
۱-۲	۲	۲	۲	۲	۰
۱-۳	۲	۴	۶	۴	$\frac{۴}{۹}$
۲-۳	۱	۲	۳	۲	$\frac{۱}{۹}$
۲-۴	۱	۳	۵	۳	$\frac{۴}{۹}$
۳-۴	۳	۵	۷	۵	$\frac{۴}{۹}$

حال با توجه به محاسبات انجام شده شبکه مسأله را ترسیم می‌کنیم.



مسیر بحرانی: ۱-۲-۳-۴ و ۱-۳-۴

در صورتی که شبکه بیش از یک مسیر بحرانی داشته باشد انحراف معیار بر اساس مسیری محاسبه می‌شود که مقدار انحراف معیار بزرگتری داشته باشد.

$$S_{1-3-4}^2 = S_{1-3}^2 + S_{3-4}^2 = \frac{4}{9} + \frac{4}{9} = 2 \times \frac{4}{9} =$$

$$\rightarrow S_{1-3-4} = 2 \frac{\sqrt{2}}{3}$$

$$S_{1-2-3-4}^2 = S_{1-2}^2 + S_{2-3}^2 + S_{3-4}^2 = 0 + \frac{1}{9} + \frac{4}{9} = \frac{5}{9}$$

$$\rightarrow S_{1-2-3-4} = \frac{\sqrt{5}}{3}$$

چون $\frac{\sqrt{5}}{3} > 2 \frac{\sqrt{2}}{3}$ در نتیجه انحراف معیار مسیر بحرانی برابر $2 \frac{\sqrt{2}}{3}$ خواهد بود.

۵۱. گزینه ۱

این شکل نمایانگر آن است که این رویداد فقط یک بار قابل رسمی شدن است که علامت ∞ در گزینه ۱ نشان‌دهنده آن است.

۵۲. گزینه ۲

در نرم‌افزارها از شبکه‌ای AON یا شبکه‌های گره‌ای (PN) جهت تدوین شبکه فعالیت‌ها استفاده می‌شود.

۵۳. گزینه ۴

جهت بدست آوردن واریانس زمان کل پروژه، بایستی ابتدا مسیرهای بحرانی را شناسایی کرد. واریانس زمان کل پروژه معادل است با واریانس فعالیت‌های مسیر بحرانی. در صورتی که بیش از یک مسیر، بحرانی باشد بیشترین واریانس به عنوان واریانس زمان کل پروژه، در نظر گرفته می‌شود.



مسیرهای بحرانی	مدت زمان	S_T^*
۰ - ۱ - ۷ - ۸	۲۵	$\frac{1}{9} + \frac{4}{9} + \frac{1}{9} = \frac{6}{9}$
۰ - ۲ - ۳ - ۶ - ۸	۲۵	$\frac{1}{9} + ۰ + ۱ + ۱ = \frac{۱۹}{9}$
۰ - ۲ - ۳ - ۵ - ۶ - ۸	۲۵	$\frac{1}{9} + ۰ + ۰ + \frac{1}{9} + ۱ = \frac{۱۱}{9}$
۰ - ۲ - ۴ - ۵ - ۶ - ۸	۲۵	$\frac{1}{9} + \frac{1}{9} + \frac{1}{9} + \frac{1}{9} + ۱ = \frac{۱۳}{9}$

گزینه ۱

علامت  بدان معنا است که رویداد j برای اولین بار سپس از تکمیل شدن m فعالیت ورودی رسمی می‌شود. در دفعات بعد، جهت رسمی شدن رویداد، تکمیل شدن n فعالیت ورودی کافی می‌باشد. همچنین با رسمی شدن رویداد، تمامی فعالیت‌های خروجی از رویداد الزاماً اجرا می‌شوند.

گزینه ۵۵

گزینه صحیح ندارد.

در سیستم ۵ تا ۹۵ درصد داریم:

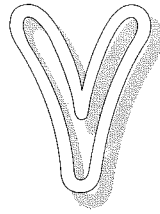
$$\frac{t_0 + 4t_m + t_p}{6} = t_e \Rightarrow \frac{a + 4 \times ۸/۵ + b}{6} = ۸/۵ \Rightarrow \begin{cases} a + b = ۱۷ \\ b - a = ۰/۱۶ \end{cases}$$

$$\frac{t_p - t_0}{3/2} = S \Rightarrow \frac{b - a}{3/2} = ۰/۰۵$$

حال باید گزینه‌ها را در روابط فوق قرار دهیم که هیچ گزینه‌ای در آن صدق نمی‌کند. ولی سازمان سنجش گزینه (۳) را انتخاب کرده بود. در صورتی که گزینه (۳) هم در رابطه دوم صدق نمی‌کند. به احتمال زیاد واریانس را اشتباه در صورت سوال بیان کرده است.

گزینه ۵۷

$$۰/۳ = \frac{P_{A_3}}{1 - P_{A_3}} \Rightarrow ۰/۳ = \frac{P_{A_3}}{1 - ۰/۱} \Rightarrow P_{A_3} = ۰/۳ \times ۰/۹ = ۰/۲۷$$



فصل

مدیریت ارزش کسب شده

مدیریت ارزش کسب شده بر پایه سه جزء کلیدی و مهم پایه‌گذاری می‌شود که عبارتند از:

■ ارزش برنامه‌ریزی شده PV (Planned Value)

■ هزینه‌های واقعی AC (Actual Cost)

■ کارهای انجام شده و گزارش شده یا ارزش کسب شده EV (Earned Value)

ارزش برنامه‌ریزی شده

PV که در واژه‌نامه قدیمی با $BCWS$ (Budgeted Cost of Work Scheduled) نامگذاری گردیده بود به دو صورت تجمعی و یا دوره جاری قابل محاسبه و ارائه است. ارزش برنامه‌ریزی شده نشانگر آن است که تا یک مقطع زمانی مشخص چه میزان کار قرار بوده که انجام شود. ارزش برنامه‌ریزی شده مقدار کمی است که تجمعی آن، از جمع بودجه مصوب کلیه فعالیت‌هایی که طبق زمان‌بندی باید تاکنون انجام شده باشند بدست می‌آید. PV جاری، از جمع بودجه مصوب فعالیت‌هایی که باید طبق زمان‌بندی در طی یک دوره مشخص انجام می‌شده، بدست می‌آید.

برای درک بهتر PV مثال ساده‌ای را بررسی می‌کنیم.

ما در حال کار بر روی یک پروژه نرم افزاری هستیم و طراحی نرم افزار یکی از قسمت‌های مختلف پروژه است. بازه زمانی آن ۵ ماه و بودجه این قسمت از پروژه ۱۵ میلیون تومان است که به طور مساوی در طی ۵ ماه توزیع شده است.

پروژه نرم‌افزاری- طراحی سیستم

ماه اول	ماه دوم	ماه سوم	ماه چهارم	ماه پنجم
۳	۳	۳	۳	۳

براساس اطلاعات جدول فوق می‌توانیم مقادیر PV تجمعی و جاری را محاسبه کنیم. فرض کنید که در انتهای ماه سوم هستیم مقدار PV تجمعی عبارت از جمع بودجه کل ماه‌های سپری شده، یعنی ۹ میلیون تومان است. مقدار PV جاری عبارت است از بودجه مصوب ماه جاری یعنی ماه سوم که برابر با ۳ میلیون تومان است.

بودجه مصوب کل

بودجه مصوب کل یا بودجه پایان کار BAC (Budget At Completion) عبارت از جمع کل بودجه‌های مصوب تخصیص یافته به یک پروژه است.

به عبارتی اگر محدوده تحت مطالعه ما یک بسته کاری باشد، BAC آن از جمع کل بودجه‌های مصوب تمام فعالیت‌های زیرمجموعه آن بسته کاری به دست خواهد آمد.

برای درک بهتر BAC ، در مثال قبلی اگر «طراحی سیستم» کل محدوده پروژه باشد، BAC ، ۱۵ میلیون تومان خواهد بود یعنی کل بودجه پروژه.

به بیان دیگر BAC پروژه همواره برابر با جمع کل PV های پروژه است. اگر این تساوی صدق نکند محاسبات اشتباه بوده است.

هزینه‌های واقعی

هزینه‌های واقعی یا *AC* در واژه‌نامه قدیمی با اصطلاح هزینه واقعی کار انجام شده یا *(Actual Cost Of Work Performed) ACWP* نامگذاری شده است. این عدد به شما می‌گوید که تاکنون به چه میزان در پروژه هزینه شده است که به دو صورت تجمعی یا دوره جاری محاسبه می‌شود. هزینه‌های واقعی برابر است با پولی که خرج شده است.

در مثال پروژه نرم‌افزاری، مدیر اطلاعات هزینه واقعی پروژه را به شرح زیر ارائه کرده است. هزینه واقعی تجمعی که تا کنون (تا انتهای ماه سوم) در پروژه صرف شده است برابر است با $3/2$ و هزینه واقعی دوره جاری (در این مثال ماه سوم) برابر با $1/2$ است.

ارزش کسب شده

برای گزارش کارهای انجام شده در پروژه باید از اصطلاح ارزش کسب شده یا *EV* استفاده کرد. *EV* به شما می‌گوید که به صورت فیزیکی چه کارهایی در پروژه انجام شده است. بنابراین این عدد نشانگر پیشرفت واقعی کار است.

EV در واژه‌نامه قدیمی *(Budgeted Cost Of Work Performed) BCWP* نامگذاری شده است و به دو صورت تجمعی و جاری محاسبه می‌شود. حال در مثال قبل مقدار *EV* را محاسبه می‌کنیم. داده‌های جدول زیر نشانگر میزان واقعی کار انجام شده است.

پروژه نرم‌افزاری - طراحی سیستم

ماه اول	ماه دوم	ماه سوم	ماه چهارم	ماه پنجم
۱/۱	۱	۱	۰	۰

مقدار *EV* تجمعی که از جمع *EV* کل ماه‌های سپری شده به دست می‌آید (فروردین تا خرداد) برابر است با $3/1$ و مقدار *EV* ماه جاری (خرداد) نیز برابر با یک میلیون تومان است.



شاخص‌های اندازه‌گیری عملکرد

اندازه‌گیری عملکرد بر مبنای ارزش کسب شده به دنبال یافتن پاسخ برای این پرسش است که وضعیت پروژه از نظر زمان و هزینه چگونه است. برای پاسخ به این پرسش می‌توان از تجزیه و تحلیل انحرافات و همچنین شاخص‌های عملکرد زمان و هزینه استفاده کرد.

آنالیز واریانس

انحراف هزینه $Cost\ Variance\ (CV) = Earned\ Value\ (EV) - Actual\ Cost\ (AC)$

انحراف زمان $Schedule\ Variance\ (SV) = Earned\ Value\ (EV) - Planned\ Value\ (PV)$

شاخص‌های عملکردی

شاخص عملکرد هزینه $Cost\ Performance\ Index\ (CPI) = EV/AC$

شاخص‌ها عملکرد زمان $Schedule\ Performance\ Index\ (SPI) = EV/PV$

توجه کنید در همه فرمول‌ها EV در ابتدا قرار دارد و این نکته در به خاطر سپردن فرمول‌ها کمک می‌کند.

انحراف هزینه CV : میزان انحراف بین ارزش کار انجام شده یا کسب شده با میزان هزینه صرف شده را نشان می‌دهد. اگر عدد به دست آمده مثبت باشد یعنی هزینه‌های پروژه کمتر از بودجه مصوب بوده و به این وضعیت هزینه کمتر از بودجه (*under budget*) می‌گوییم. اگر عدد حاصله منفی باشد یعنی هزینه‌های پروژه بیشتر از بودجه مصوب بوده و به این وضعیت هزینه بیشتر از بودجه (*over budget*) گفته می‌شود. عدد صفر نیز بیانگر عملکرد منطبق بر بودجه است.

در مثال پروژه نرم افزاری مقدار انحراف هزینه تجمعی و دوره جاری پروژه را محاسبه کنید.

تجمعی $CV: 3/1 - 3/2 = -0/1$

این دوره $CV: 1 - 1/2 = -0/2$

انحراف زمان‌بندی SV : میزان انحراف بین ارزش کار انجام شده و ارزش کار برنامه‌ریزی شده را نشان می‌دهد. به عبارتی به ما می‌گوید که آیا حجم کار انجام شده با آنچه که برنامه‌ریزی کرده بودیم مطابقت دارد یا خیر. لذا حصول عدد مثبت نشان‌دهنده وضعیت جلوتر از زمان‌بندی، عدد صفر بیانگر وضعیت مطابق زمان‌بندی و عدد منفی بیانگر وضعیت عقب‌تر از زمان‌بندی خواهد بود. وضعیت پروژه نرم افزاری از نظر زمان‌بندی چگونه است؟

$$SV: 3,1 - 9 = -5,9 \text{ تجمعی}$$

$$SV: 1 - 3 = -2 \text{ این دوره}$$

شاخص عملکرد هزینه CPI : این شاخص معیاری است برای اندازه‌گیری کارایی هزینه‌های پروژه و از نسبت ارزش کسب شده به هزینه واقعی به دست می‌آید. کسب عدد ۱ ایده‌آل و مطلوب پروژه بوده و به این معنی است که به ازای هر "یک ریال" خرج شده در پروژه "یک ریال" کار انجام گرفته (ارزش کسب شده) است. عدد CPI تجمعی و جاری پروژه نرم افزاری را محاسبه کنید.

$$CPI: \frac{3,1}{3,2} = 0,97 \text{ تجمعی}$$

$$CPI: \frac{1}{1,2} = 0,83 \text{ این دوره}$$

شاخص عملکرد زمان‌بندی SPI : این شاخص معیاری است برای اندازه‌گیری کارایی زمان‌بندی پروژه و از نسبت ارزش کسب شده به ارزش کار برنامه‌ریزی شده بدست می‌آید. این شاخص نشان می‌دهد که آیا تمام کارهای برنامه‌ریزی شده مطابق برنامه اجرا شده است یا خیر. عدد ۱ برای این شاخص بیانگر وضعیت مطلوب پروژه از لحاظ زمان‌بندی است. عدد زیر ۱ یعنی از زمان‌بندی عقب هستیم و عدد بالاتر از ۱ یعنی از زمان‌بندی جلوتر هستیم.

عدد SPI پروژه نرم‌افزاری را محاسبه کنید. وضعیت کدام شاخص بدتر از دیگری است؟ زمان‌بندی یا هزینه؟

$$SPI = \frac{3,1}{9} = 0,34 \text{ تجمعی}$$

$$SPI = \frac{1}{3} = 0,33 \text{ این دوره}$$



مثال زیر را در نظر بگیرید و شاخص‌های عملکرد زمانی و هزینه و واریانس زمان و هزینه را در پایان ماه چهارم محاسبه نمایید. میزان پیشرفت فعالیت‌ها با خاکستری پررنگ نشان داده می‌شود.

Task	Budget	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
		6	6										
		▼	▼										
1	12												
			8	12	16	12							
		▼	▼	▽	▽								
2	48												
						7	21						
						▽	▽						
3	28												
								18					
								▽	▽				
4	18												
								4	8	10	6		
								▽	▽	▽	▽		
5	28												
												8	8
												▽	▽
6	16												
Σ	150	6	14	12	16	19	21	22	8	10	6	8	8
CUM	-	6	20	32	48	67	88	110	118	128	134	142	150
PV	48	6	14	12	16	19	21	22	8	10	6	8	8
CUM		6	20	32	48	67	88	110	118	128	134	142	150
EV	32	6	14	12	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CUM		6	20	32	32								
AC	40	6	14	12	8	0	0	0	0	0	0	0	0
CUM		6	20	32	40								

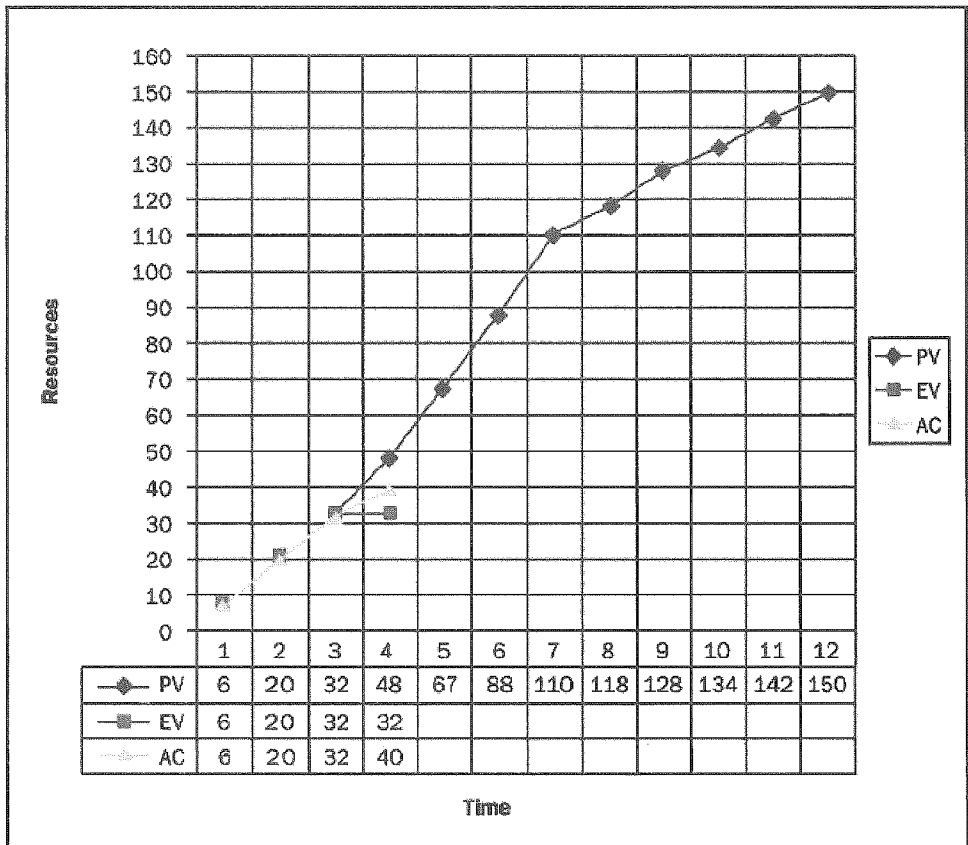
$$SV = EV - PV = ۳۲ - ۴۸ = -۱۶$$

$$CV = EV - AC = ۳۲ - ۴۰ = -۸$$

$$SPI = \frac{EV}{PV} = \frac{۳۲}{۴۸} = ۰/۶۷$$

$$CPI = \frac{EV}{AC} = \frac{۳۲}{۴۰} = ۰/۸$$

نمودارهای مربوط به PV ، EV و AC به صورت زیر می باشد:



به طور خلاصه می توان گفت که هر پروژه در یکی از ۹ حالت زیر با توجه به زمان و هزینه می تواند اتفاق بیافتد:

Performance Measures		Schedule		
		$SV > 0$ & $SPI > 1.0$	$SV = 0$ & $SPI = 1.0$	$SV < 0$ & $SPI < 1.0$
Cost	$CV > 0$ & $CPI > 1.0$	Ahead of Schedule Under Budget	On Schedule Under Budget	Behind Schedule Under Budget
	$CV = 0$ & $CPI = 1.0$	Ahead of Schedule On Budget	On Schedule On Budget	Behind Schedule On Budget
	$CV < 0$ & $CPI < 1.0$	Ahead of Schedule Over Budget	On Schedule Over Budget	Behind Schedule Over Budget



مثال شما مدیر یک پروژه برای نصب ۲۰۰ پنجره هستید. هزینه‌های شما برای هر هفته یکسان است. شما ۴,۰۰۰ دلار هر هفته به اعضای تیم می‌دهید و ۱,۰۰۰ دلار نیز سایر هزینه‌های شما است. پروژه برای ۱۶ هفته برنامه‌ریزی شده است.

حل.

$$BAC = 16 \times 5,000 = 80,000$$

در انتهای هفته چهارم:

$$PV = 4 \times 5,000 = 20,000$$

میزان پیشرفت برنامه‌ریزی شده در انتهای هفته چهارم عبارت است از؟

$$\frac{4}{16} = 25\%$$

در انتهای هفته چهارم عملکرد پروژه را چک کردیم اعضای تیم اخبار خوبی ندارند. آنها قرار بود که ۵۰ پنجره نصب کنند ولیکن ۴۰ پنجره نصب شده است. میزان پیشرفت واقعی پروژه عبارت است از؟

$$\frac{40}{200} = 20\%$$

میزان ارزش کسب شده عبارت است از؟

$$EV = 0.2 \times 80,000 = 16,000$$



مثال بودجه کل پروژه معادل است با ۳۰۰,۰۰۰ دلار. شما سوابق پروژه را چک کرده‌اید و به میزان ۱۷۵,۰۰۰ خرج کرده‌اید. تیم پروژه ۴۰٪ کار پروژه را انجام داده‌اند. ولی زمانی که برنامه را چک می‌کنید قرار بوده است که ۵۰٪ کارها انجام شود. پارامترهای زیر را محاسبه کنید.

حل.

$$BAC = 300,000$$

$$PV = 0.5 \times 300,000 = 150,000$$

$$AC = 175,000$$

$$EV = 0.4 \times 300,000 = 120,000$$

$$SV = EV - PV = ۱۲۰,۰۰۰ - ۱۵۰,۰۰۰ = -۳۰,۰۰۰$$

$$CV = EV - AC = ۱۲۰,۰۰۰ - ۱۷۵,۰۰۰ = -۵۵,۰۰۰$$

$$SPI = \frac{EV}{PV} = \frac{۱۲۰,۰۰۰}{۱۵۰,۰۰۰} = ۰/۸$$

$$CPI = \frac{EV}{AC} = \frac{۱۲۰,۰۰۰}{۱۷۵,۰۰۰} = ۰/۶۹$$



مثال شما مدیریت ساخت یک اتوبان را برعهده دارید. بودجه کل پروژه ۶۵۰,۰۰۰ دلار می‌باشد.

۷,۵۰۰ ساعت کار جهت انجام پروژه برنامه‌ریزی شده است. شما با بخش حسابداری چک کرده‌اید

و شما ۴۰۰,۰۰۰ دلار خرج کرده‌اید. براساس برنامه زمان‌بندی کارکنان شما بایستی تاکنون

۴,۵۰۰ ساعت کار می‌کردند. اما سرکارگر می‌گوید که آنها اضافه کاری نیز نموده‌اند و واقعاً ۵,۱۰۰

ساعت کار می‌کنند. پارامترهای زیر را محاسبه کنید.

حل.

$$BAC = ۶۵۰,۰۰۰$$

$$AC = ۴۰۰,۰۰۰$$

$$SV = EV - PV = ۵۲,۰۰۰$$

$$PV = \frac{۴,۵۰۰}{۷,۵۰۰} \times ۶۵۰,۰۰۰ = ۳۹۰,۰۰۰$$

$$EV = \frac{۵,۱۰۰}{۷,۵۰۰} \times ۶۵۰,۰۰۰ = ۴۴۲,۰۰۰$$

$$CV = EV - AC = ۴۴۲,۰۰۰ - ۴۰۰,۰۰۰ = ۴۲,۰۰۰$$

$$SPI = \frac{EV}{PV} = \frac{۴۴۲,۰۰۰}{۳۹۰,۰۰۰} = ۱/۱۳$$

$$CPI = \frac{EV}{AC} = \frac{۴۴۲,۰۰۰}{۴۰۰,۰۰۰} = ۱/۱۰$$





مثال. شما مدیر پروژه در یک شرکت طراحی صنعتی هستید. انتظار می‌رود که ۵۵,۰۰۰ دلار در این پروژه صرف کنید. طبق برنامه ۶ نفر به مدت ۸ ساعت در روز ۵ روز در هفته، ۴ هفته کار می‌کنند. بر طبق برنامه کارها بایستی تا انتهای هفته سوم انجام شده باشد. ولیکن زمانی که واقعاً کارهای را بررسی می‌کنید ۵۰٪ کارها با هزینه ۲۵,۰۰۰ تکمیل شده است. پارامترهای زیر را محاسبه کنید.

حل.

$$BAC = 55,000$$

$$AC = 25,000$$

$$SV = EV - PV = 27,500 - 41,250 = -13,750$$

$$PV = \frac{3}{4} \times 55,000 = 41,250$$

$$EV = \frac{1}{4} \times 55,000 = 13,750$$

$$CV = EV - AC = 13,750 - 25,000 = -11,250$$

$$SPI = \frac{EV}{PV} = \frac{13,750}{41,250} = 0.33$$

$$CPI = \frac{EV}{AC} = \frac{13,750}{25,000} = 0.55$$



طرفداران مدیریت بر مبنای ارزش کسب شده به دلیل توجه زیاد به اطلاعات تاریخی و گذشته پروژه‌ها و استفاده از آنها در پیش‌بینی آینده، اغلب مورد پرسش قرار گرفته‌اند. این در حالی است که مدیران پروژه، مدیران ارشد شرکت‌ها و مشتریان بسیار علاقه‌مند هستند که بدانند در آینده چه اتفاقی برای پروژه خواهد افتاد و هزینه نهایی آن چقدر خواهد شد.

دانستن و تعیین اینکه هزینه پایانی پروژه چه مقدار خواهد بود نیازمند ارزیابی کار باقیمانده است. تعیین میزان کار باقیمانده نیازمند درک مناسب و مطمئن از وضعیت کنونی پروژه است. سیستم مدیریت ارزش کسب شده این اطلاعات اساسی و مهم را فراهم می‌کند و مدیران پروژه را قادر می‌سازد که تنها پس از تکمیل ۱۵ درصد از کار پروژه، پیش‌بینی‌های آماری مناسبی از هزینه نهایی پروژه داشته باشند.

روش تخمین آماری هزینه پایانی پروژه

به فرض معتبر بودن مبنا، می‌توان تخمینی قابل قبول برای نتایج پایانی پروژه به دست آورد. طی سال‌های متمادی، فرمول‌های زیادی برای تخمین هزینه پایانی پروژه EAC (Estimate At Completion) ارائه شده است که از بین آنها تنها سه فرمول معروف و پرکاربرد را انتخاب کرده و تشریح می‌کنیم. فرمول کلی EAC را می‌توان به صورت زیر بیان کرد:

$$EAC = Actual\ Cost + ETC\ (Estimate\ to\ Complete)$$

مقدار بودجه مورد نیاز برای تکمیل پروژه + مقدار هزینه صرف شده در پروژه EAC =

اکنون مشکل اینجاست که بایستی ETC را تعیین نماییم. برای محاسبه ETC فرمول‌های مختلفی وجود دارد.

به طور کلی

$$ETC = BCWR / P.F = (BAC - BCWP) / PF$$

$BCWR$ (Budgeted Cost of Work Remained) = ارزش بودجه مورد نیاز برای کارهای باقیمانده

BAC = کل بودجه مصوب پروژه

$BCWP$ = ارزش کسب شده

PF (Performance Factor) = ضریب عملکرد پروژه

با توجه به آنچه گفته شد، برای تخمین آماری هزینه پایانی پروژه باید مراحل زیر را اجرا کرد:

۱. مقدار هزینه واقعی صرف شده تا کنون را مشخص کنید.
۲. مقدار ارزش بودجه مورد نیاز برای کارهای باقیمانده $BCWR$ را تعیین کنید. این مقدار را می‌توان از تفاضل کل بودجه مصوب پروژه BAC و ارزش کسب شده $BCWP$ به دست آورد.
۳. مقدار کار باقی مانده را بر مقدار یکی از عوامل عملکرد پروژه، مانند CPI تجمعی، CPI ضریب SPI و یا ترکیبی از این دو شاخص تقسیم کنید.

با استفاده از این سه مرحله می‌توان مقدار هزینه پایانی پروژه و در نتیجه مقدار انحراف هزینه پایانی پروژه VAC (Variance At Completion) را تخمین زد. همانطور که از نام آن مشخص است VAC از تفاضل بودجه برنامه‌ریزی شده پروژه BAC و هزینه تخمینی پایان پروژه EAC به دست می‌آید.

$$VAC = BAC - EAC$$



محاسبه EAC با فرض عملکرد ۱۰۰ درصد در آینده

این روش محاسبه EAC، بر فرض عملکرد ۱۰۰ درصد آتی استوار است. در این روش مقدار EAC به سادگی و با افزودن BCWR به ACWP به دست آمده و تخمینی از هزینه پایانی پروژه امکان پذیر است. در این حالت فرض بر آن است که دیگر مشکلات و یا سایر اتفاق های پیش آمده در ماه های گذشته از بین رفته و کارها بر اساس برنامه پیش می رود. در این حالت کار باقی مانده BCWR معادل است با $BAC - EV$.

برای درک بهتر این موضوع، مثالی عددی ارائه می دهیم. اگر ارزش کسب شده (۳۵) را از بودجه کل پروژه (۸۰) کم کنیم، بودجه کار باقی مانده (۴۵) به دست می آید. با افزودن هزینه های واقعی تا کنون (۴۵) به بودجه کار باقی مانده (۴۵) تخمینی از هزینه پایانی پروژه (۹۰) حاصل خواهد شد. از سوی دیگر، چون انحراف کنونی هزینه پروژه برابر با (۱۰-) است، اگر از این به بعد مطابق برنامه ریزی عمل شود و انحراف هزینه تغییری نکند، می توان با افزودن آن (۱۰) به بودجه کل پروژه (۸۰) میزان تخمینی پایان پروژه (۹۰) را به دست آورد.

محاسبه EAC با شاخص عملکرد هزینه تجمعی

مطالعه صدها طرح/ پروژه نشان داده شده است که عملکرد پروژه ها اغلب به سمت بهبود متمایل و معطوف نیست. در واقع وقتی درصد پیشرفت یک پروژه به بیش از ۱۵ درصد می رسد، عملکرد پروژه از میانگین عملکرد جاری آن، تقریباً هیچگاه بیشتر نشده و اغلب کمتر می شود.

شاخص CPI نشانگر عملکرد هزینه ای پروژه است. برای مثال CPI معادل ۸۵ درصد به این معنی است که به ازای هر ۱۰۰ ریال خرج شده، تنها ۸۵ ریال ارزش کار انجام شده (کسب شده) است. در این روش از تقسیم بودجه کل پروژه بر CPI، تخمینی از هزینه پایانی پروژه به دست می آید و نتیجه ادامه روند عملکرد را از هم اکنون تا پایان پروژه، منعکس می سازد.

در مثال فوق:

$$CPI = \frac{EV}{ACWP}$$

$$EAC = \frac{BAC}{CPI} = \frac{80}{0.78} = 103 \text{ می باشد.}$$

EAC Formula:

$$AC + (BAC - EV) / CPI = BAC / CPI$$

برخی به جای استفاده از *CPI* تجمعی، از میانگین سه یا شش ماهه *CPI* به عنوان عامل عملکرد، استفاده می‌کنند. این کار گرچه احتمالاً اثرات انحرافات ایجاد شده در *CPI* را کاهش می‌دهد ولی در مقابل مشکلات فنی پروژه را که بر آینده پروژه اثر می‌گذارند را مخفی می‌کند.

محاسبه EAC با استفاده از *CPI* و *SPI* تجمعی

آخرین فرمول آماری دارای مقبولیت بیشتر، فرمولی متشکل از ترکیب شاخص عملکرد هزینه *CPI* و زمان *SPI* است.

EAC Formula:

$$Actual\ Cost + (BAC - EV) / (CPI \cdot SPI)$$

در مثال قبل از تقسیم ارزش کسب شده (۳۵) بر بودجه تجمعی (۴۰) شاخص عملکرد زمان *SPI* معادل با ۸۸ درصد به دست می‌آید. اگر طرح از نظر هزینه و نیز زمان‌بندی در وضعیت نامطلوبی قرار داشته باشد، باید افزایش هزینه بیشتری را در پروژه انتظار داشت. علت این امر می‌تواند افزایش بالقوه زمان (افزایش هزینه بالاسری و جرائم تأخیر) و یا افزایش سرعت کارها برای اتمام پروژه در زمان تعیین شده باشد. در هر حال هر دو اینها هزینه بر هستند.

از ضرب دو شاخص *CPI* (۷۸ درصد) و *SPI* (۸۸ درصد) شاخصی مرکب (۶۹ درصد) به دست می‌آید که در محاسبه بودجه کار باقی مانده مورد استفاده قرار می‌گیرد. حاصل این محاسبه برای تخمین هزینه پایانی پروژه، با هزینه‌های واقعی (۴۵) جمع شده و عدد ۱۱۰ به دست می‌آید.

شاخص عملکرد مورد نیاز برای تکمیل کار باقی مانده

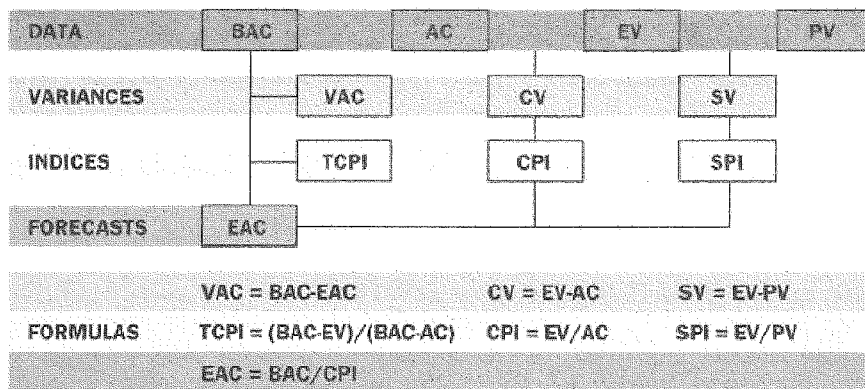
علاوه بر شاخص‌های یاد شده، شاخص‌های دیگری نیز که شاخص عملکرد مورد نیاز برای تکمیل کار باقی مانده *TCPI* نامیده می‌شود برای نظارت بر عملکرد پروژه‌ها به کار می‌رود. مقدار این شاخص بیان‌گر میزان عملکرد مورد نیاز برای تکمیل کار در بودجه مشخص و از پیش تعیین شده است.

مقدار شاخص $TCPI$ از تقسیم مقدار کار باقیمانده بر مقدار سرمایه باقیمانده به دست می‌آید. مقدار سرمایه باقیمانده نیز برحسب میزان سرمایه در دسترس و یا مصوب جاری، می‌تواند از تفاضل BAC و یا آخرین EAC با هزینه واقعی پروژه به دست آید.

Formula:

$$TCPI = (BAC - EV) / (BAC - AC \text{ or } EAC - AC)$$

به طور خلاصه می‌توان گفت:



شاخص	کاربرد
SV	از برنامه زمانبندی عقب هستیم و یا جلو؟
SPI	کارایی استفاده از زمان چه میزان است
CV	بیشتر از بودجه هزینه کردیم و یا کمتر
CPI	کارایی استفاده از منابع به چه میزان است
TCPI	از منابع باقی مانده با چه کارایی بایستی استفاده شود
EAC	پروژه محتملاً با چه هزینه تمام می‌شود

مثال: شما مدیر پروژه یک پروژه دو ساله هستید. شما ۶ تیم مختلف دارید که در ۵ دپارتمان

مختلف وظیفه‌ای کار می‌کنند. برخی از تیم‌ها از برنامه زمانبندی جلو هستند و برخی عقب‌تر از

برنامه زمانبندی هستند. در برخی از بسته‌های کاری بیشتر از بودجه هزینه کردیم و در برخی

کمتر. الان ۹ ماه از پروژه گذشته است. کل بودجه پروژه ۴,۲۰۰,۰۰۰ می‌باشد. شما تاکنون

۱,۶۵۰,۰۰۰ خرج کرده‌اید. و $CPI = ۰/۸۷۵$. پارامترهای زیر را محاسبه کنید.

۳۰۷ فصل ۷: مدیریت ارزش کسب شده

حل.

$$EAC = \frac{BAC}{CPI} = \frac{4,200,000}{0.875} = 4,800,000$$

$$ETC = EAC - AC = 4,800,000 - 1,650,000 = 3,150,000$$

$$VAC = BAC - EAC = 4,200,000 - 4,800,000 = -600,000$$

□

مثال. $BAC = 40,000$ و $EAC = 30,000$ ، $EV = 17,000$ ، $AC = 15,000$ در این مسأله $TCPI$ بر

اساس BAC برابر است با:

حل.

$$TCPI = \frac{BAC - EV}{BAC - AC} = \frac{40,000 - 17,000}{40,000 - 15,000} = \frac{23}{25} = 0.92$$

□

مثال. $BAC = 100,000$ و $EAC = 107,000$ و $EV = 68,000$ و $AC = 70,000$ در این مسأله $TCPI$

بر اساس EAC برابر است با:

حل.

$$TCPI = \frac{BAC - EV}{EAC - AC} = \frac{100,000 - 68,000}{107,000 - 70,000} = \frac{32,000}{37,000} = 0.87$$

□

مثال. $BAC = 20,000$ و $EAC = 20,000$ و $AC = 15,000$ و پروژه ۷۵٪ پیشرفت دارد در این حالت

$TCPI$ بر اساس EAC برابر است با:

حل.

$$TCPI = \frac{BAC - EV}{EAC - AC} = \frac{20,000 - 0.75 \times 20,000}{20,000 - 15,000} = \frac{5,000}{5,000} = 1$$

□

لازم به ذکر است که واریانس زمان می‌تواند به صورت درصدی نیز بیان گردد. در این حالت SV بر

PV تقسیم می‌شود.

$$\frac{SV}{PV} \times 100$$



به طور مثال اگر $SV\%$ برابر 33% - باشد بدین معنا است که پروژه 33% از زمان بندی عقبتر است. به بیان دیگر 33% از کارهای برنامه ریزی شده تا کنون هنوز انجام نشده است. از سوی دیگر واریانس هزینه هم می تواند به صورت درصدی بیان گردد. در این حالت CV بر EV تقسیم می شود.

$$\frac{CV}{EV} \times 100$$

به طور مثال اگر $CV = -25\%$ بدست آید تا کنون پروژه 25% از بیشتر از بودجه برای کار انجام شده هزینه کرده است.

در صورتی که بخواهیم پیش بینی کنیم که مدت زمان پروژه چقدر خواهد بود در محتمل ترین حالت کفایت که کل زمان پروژه (برنامه ریزی شده) را بر شاخص عملکرد زمان یعنی SPI تقسیم کنیم. به طور مثال اگر پروژه ابتدا برای ۱۲ ماه برنامه ریزی شده ولیکن شاخص SPI آن $667/6$ بوده است پیش بینی می شود که اگر شرایط تغییر نکند و کار مثل قبل پیش برود پروژه در ۱۸ ماه به اتمام می رسد.

سوال

۱. در مقطعی از پروژه فرض کنید که $SPI = ۰/۵$ و $PV = ۴۰۰$ و $CV = -۱۳۳$ است. مقدار CPI چقدر است؟

- (۱) $۰/۴۶$ (۲) $۰/۶$ (۳) $۰/۲۶$ (۴) $۱/۶۵$

۲. در پروژه‌ای $PV = ۶۲۳$ ، $EV = ۵۲۳$ و $AC = ۶۴۳$ می‌باشد کدام گزینه صحیح است؟

- (۱) $CV = ۱۰۰$ و $SV = ۱۲۰$ (۲) $CV = ۱۲۰$ و $SV = ۱۰۰$
(۳) $CV = -۱۰۰$ و $SV = -۱۲۰$ (۴) $CV = -۱۲۰$ و $SV = -۱۰۰$

۳. در یک جلسه تیم داده‌های زیر را ارائه می‌دهد:

واحد برنامه‌ریزی $PV = ۲۰,۰۰۰$ و $EV = ۲۵,۰۰۰$

واحد تست $PV = ۱۷,۰۰۰$ و $EV = ۱۵,۰۰۰$

طراحی $PV = ۳۴,۰۰۰$ و $EV = ۴۲,۰۰۰$

در مجموع پروژه:

(۱) از زمان‌بندی جلوتر است.

(۲) از زمان‌بندی عقب‌تر است.

(۳) از زمان‌بندی جلوتر است ولیکن بیشتر از میزان بودجه در نظر گرفته شده هزینه کرده است.

(۴) از زمان‌بندی عقب‌تر است و کمتر از میزان بودجه در نظر گرفته شده هزینه کرده است.

۴. در یک پروژه تا کنون $EV = ۲$ و $AC = ۴$ و $PV = ۶$ این به بدین معنا است که:

(۱) که بهره‌وری ما بیشتر از آنچه‌ی بوده است که برنامه‌ریزی شده است.

(۲) هزینه اتمام پروژه برابر ۶ واحد پیش‌بینی شده است.

(۳) میزان CPI و SPI منفی است.

(۴) انحراف هزینه منفی است.



۵. خلاصه از پروژه شما شامل موارد زیر است:

۲۸,۰۰۰ ساعت کار برنامه‌ریزی شده است.

۲۵,۰۰۰ ساعت کار انجام شده است.

با اینکه ۲۶,۰۰۰ ساعت پرداخت شده است.

(۱) پروژه از نظر هزینه‌ای کارایی بسیار مناسبی دارد.

(۲) پروژه بیشتر از آنچه که برنامه‌ریزی شده است هزینه کرده است.

(۳) پروژه از زمان‌بندی عقب است.

(۴) گزینه ۲ و ۳ صحیح است.

۶. اگر $EV = ۳۵۰$ ، هزینه واقعی $AC = ۴۰۰$ و ارزش برنامه‌ریزی شده $PV = ۳۲۵$ ، آنگاه واریانس هزینه

عبارتند از CV ؟

(۴) -۵۰

(۳) ۴۰۰

(۲) -۷۵

(۱) ۳۵۰

۷. $CPI = ۰/۸۹$ بدین معنا است که:

(۱) در این زمان، ما انتظار داریم که هزینه کل پروژه ۸۹٪ بیشتر از میزان برنامه‌ریزی شده است.

(۲) در زمان اتمام ما ۸۹٪ بیشتر از میزان برنامه‌ای هزینه‌ای کردیم.

(۳) پروژه ۸۹٪ میزان برنامه‌ای پیشرفت کرده است.

(۴) پروژه از هر ۱ دلار ۸۹ سنت کسب کرده است.

۸. $SPI = ۰/۷۶$ بدین معنا است:

(۱) شما بیشتر از بودجه هزینه کرده است.

(۲) شما جلوتر از برنامه زمان‌بندی هستید.

(۳) شما فقط ۷۶ درصد آنچه که برنامه‌ریزی کرده‌اید پیشرفت کرده‌اید.

(۴) شما فقط ۲۴ درصد آنچه که برنامه‌ریزی کرده‌اید پیشرفت کرده‌اید.

۹. ارزش تخمین زده شده برای کاری که واقعاً انجام شده است برابر است با:

(۴) CV

(۳) AC

(۲) PV

(۱) EV

۱۰. شما به تازگی مدیر پروژه شده‌اید و اطلاعات زیر را از پروژه بدست آوردید. فعالیت Z زودترین زمان شروع آن ۱۵ و دیرترین زمان شروع آن ۲۰ می‌باشد. $CPI=1/1$ و $SPI=0/8$ است. ۱۱ ذی نفع مختلف در پروژه وجود دارد. بر اساس اطلاعات فوق بیشترین موضوعی که بایستی نگران آن باشیم عبارتند از:

(۱) زمان‌بندی (۲) شناوری (۳) هزینه (۴) تعداد منابع در دسترس

۱۱. در پروژه‌ای تا کنون مشکلات و واریانس‌هایی پیش آمده است که پیش‌بینی می‌شود تا انتهای پروژه این مشکلات به همین نحو ادامه پیدا کند. در این پروژه $PV=680$ و $BAC=700$ و $EV=675$ و $AC=750$. در این حالت EAC برابر است با:

(۱) ۷۷۸ (۲) ۷۸۰ (۳) ۸۶۱ (۴) ۸۳۳

۱۲. در پروژه‌ای $PV=200$ ، $EV=250$ و $AC=275$ و $BAC=500$ است تخمین هزینه پایانی پروژه چقدر است؟

(۱) ۴۲۵ (۲) ۵۰۰ (۳) ۵۲۵ (۴) ۵۵۰

۱۳. اگر بودجه پروژه‌ای ۵,۰۰۰ واحد پولی و پیشرفت برنامه‌ریزی شده و واقعی به ترتیب برابر ۳۰، ۲۰ درصد باشد با فرض اینکه تا کنون ۱,۲۵۰ واحد پولی هزینه کرده باشیم آنگاه: (آزاد منابع ۹۱)

(۱) عملکرد زمانی مناسب است.
 (۲) عملکرد هزینه‌ای مناسب است.
 (۳) شکاف هزینه (CV) برابر ۱۰۰ واحد پولی است.
 (۴) با شرایط کنونی، پیش‌بینی می‌شود بودجه مصوب جهت تکمیل کار کافی نباشد یعنی $EAC > BAC$

۱۴. شما در پروژه‌ای کار می‌کنید که $EV=7362$ و $PV=8232$ در این حالت SV برابر است با:

(۱) -۸۷۰ (۲) ۸۷۰

(۳) ۸۹۰ (۴) اطلاعات کافی وجود ندارد.

۱۵. شما در پروژه‌ای کار می‌کنید که $PV=56733$ و $SPI=1/2$ ارزش کسب شده در پروژه عبارتند از:

(۱) ۶۸۰۷۹/۶۰ (۲) ۴۷۲۷۷/۵۰ (۳) ۶۸۷۳۳ (۴) ۰/۷۲



۱۶. شما در پروژه‌ای کار می‌کنید که $SPI = 0.72$ و $CPI = 1.1$. کدام گزینه بهترین تصویر را از پروژه شما ارائه می‌دهد.

- (۱) پروژه از زمان‌بندی جلوتر است ولیکن بیشتر از بودجه تعیین شده هزینه کرده است.
- (۲) پروژه از زمان‌بندی جلوتر است و کمتر از بودجه تعیین شده هزینه کرده است.
- (۳) پروژه از زمان‌بندی عقب‌تر است ولیکن بیشتر از بودجه تعیین شده هزینه کرده است.
- (۴) پروژه از زمان‌بندی عقب‌تر است و کمتر از بودجه تعیین شده هزینه کرده است.

۱۷. شما مدیر پروژه کابل‌کشی فیبرنوری هستید. کل هزینه پروژه ۵۲ دلار به ازای هر متر کابل‌کشی است. در این پروژه قرار است ۴ کیلومتر کابل‌کشی شود که این کار ۸ هفته به طول می‌انجامد اکنون در انتهای هفته پنجم هستید و تیم شما ۱,۸۰۰ متر کابل‌کشی کرده است پیشرفت برنامه‌ریزی شده، پیشرفت واقعی و SPI به ترتیب عبارتند از:

- (۱) ۰/۶۴/۵ ، ۰/۵۰ ، ۰/۷ (۲) ۰/۶۲/۵ ، ۰/۴۵ ، ۰/۷۲ (۳) ۰/۶۲/۵ ، ۰/۵۰ ، ۰/۷ (۴) ۰/۶۴/۵ ، ۰/۴۵ ، ۰/۷۲

۱۸. اطلاعات داده شده در جدول زیر را در نظر بگیرید. وضعیت پروژه از نظر زمان و هزینه چگونه است؟

ماه	۱	۲	۳
بودجه برنامه‌ریزی شده	۲	۱/۵	۳
هزینه عملی صرف شده	۲/۵	۳	۲/۳
ارزش بودجه‌ای کار انجام شده	۲	۱/۵	۱/۷

- (۱) عقب‌تر از برنامه زمان‌بندی و بیشتر از بودجه هزینه شده است.
- (۲) عقب‌تر از برنامه زمان‌بندی و کمتر از بودجه هزینه شده است.
- (۳) جلوتر از برنامه زمان‌بندی و بیشتر از بودجه هزینه شده است.
- (۴) جلوتر از برنامه زمان‌بندی و کمتر از بودجه هزینه شده است.

۱۹. در یک پروژه میزان ارزش کسب شده معادل ۳۶۰ دلار، هزینه واقعی ۴۰۰ دلار و شاخص عملکرد زمان و هزینه ۰/۹ می‌باشد. بودجه اولیه برای تکمیل پروژه ۱,۰۰۰ دلار تخمین زده شده بود. با فرض آنکه کار باقیمانده هم از شاخص عملکرد زمان و هم از شاخص عملکرد هزینه تاثیر می‌پذیرد تخمین از میزان بودجه مورد نیاز در انتهای پروژه (EAC) به چه میزان می‌باشد.

- (۱) ۱۰۹۰ (۲) ۱۱۹۰ (۳) ۱۲۹۰ (۴) ۱۳۹۰

۲۰. شما مدیر پروژه جاده‌سازی هستید. ۱۰ کیلومتر جاده در مدت زمان ۵ ماه بایستی ساخته شود. کل بودجه برای این پروژه ۱۰,۰۰۰ دلار بوده و پروژه اکنون در انتهای ماه سوم می‌باشد و ۸ کیلومتر جاده نیز با هزینه ۸,۰۰۰ دلار احداث شده است. شاخص عملکرد زمان عبارتست از:

$$(1) \frac{0}{78} \quad (2) \frac{0}{98} \quad (3) \frac{1}{2} \quad (4) \frac{1}{33}$$

۲۱. اگر بودجه پروژه‌ای ۱۰۰۰ واحد پولی باشد و پیشرفت برنامه‌ریزی شده و واقعی به ترتیب برابر ۴۰ و ۳۰ درصد باشد و با فرض این که تاکنون ۳۳۸ واحد پولی هزینه کرده باشیم، آنگاه: (منابع ۹۰)

(۱) عملکرد زمانی مناسب است.

(۲) عملکرد هزینه‌ای مناسب است.

(۳) شکاف هزینه (CV) برابر ۱۰۰ واحد پولی است.

(۴) با شرایط کنونی، پیش‌بینی می‌شود بودجه مصوب جهت تکمیل کار کافی نباشد. یعنی $(EAC > BAC)$

۲۲. در یک پروژه ساختمانی، اطلاعات زیر به صورت هفتگی درباره پیشرفت پروژه به قسمت برنامه‌ریزی و کنترل رسیده است (ارقام برحسب میلیون ریال). در انتهای هفته سوم، شاخص عملکرد هزینه (CPI) و شاخص عملکرد برنامه (SPI) برحسب درصد به ترتیب از راست به چپ عبارتند از: (منابع ۹۱)

هفته سوم	هفته دوم	هفته اول	
۱۰۰	۷۰	۸۰	بودجه برنامه‌ریزی شده
۱۱۰	۸۰	۱۱۰	مقدار عملی هزینه مصرف شده
۷۰	۶۰	۷۰	ارزش بودجه‌ای کار انجام شده

$$(1) 70, 63/6 \quad (2) 63/6, 70 \quad (3) 80, 66/7 \quad (4) 66/7, 80$$



۲۳. در یک پروژه تولیدی، اطلاعات زیر به قسمت برنامه‌ریزی و کنترل پروژه به صورت ماهیانه رسیده است. در انتهای ماه چهارم، شاخص عملکرد هزینه (CPI) و شاخص عملکرد برنامه (SPI) برحسب درصد به ترتیب از راست به چپ کدام است؟ (صنایع ۹۲)

پارامتر	ماه اول	ماه دوم	ماه سوم	ماه چهارم
بودجه برنامه‌ریزی شده	۵۰	۴۰	۶۰	۸۰
مقدار عملی هزینه مصرف شده	۸۰	۵۰	۸۰	۱۱۰
ارزش بودجه‌ای کار انجام شده	۴۰	۳۵	۵۰	۷۰

(۱) ۶۰ و ۸۴/۷۸ (۲) ۶۳/۶۳ و ۸۷/۵ (۳) ۸۴/۷۸ و ۶۰ (۴) ۸۷/۵ و ۶۳/۶۳

۲۴. فرض کنید بودجه پروژه‌ای برابر ۱۰۰۰ واحد پولی است. با فرض ۳۰ درصد پیشرفت برنامه‌ای و ۲۰ درصد پیشرفت واقعی و با هزینه کرد واقعی ۴۰۰ واحد پولی، کدام گزینه صحیح است؟ (صنایع ۹۳)

(۱) شاخص عملکرد هزینه‌ای برابر ۵/۵ است.
 (۲) شاخص عملکرد هزینه‌ای برابر ۰/۶۶ است.
 (۳) شاخص عملکرد زمانی برابر یک است.
 (۴) شاخص عملکرد هزینه‌ای برابر با شاخص عملکرد زمانی است.

۲۵. فرض کنید ارزش وزنی فعالیت‌های یک پروژه به ترتیب ۴۰ و ۴۰ و ۲۰ درصد باشند. با فرض صد درصد پیشرفت واقعی فعالیت اول، و عقب بودن ده درصدی پیشرفت واقعی پروژه نسبت به پیشرفت برنامه‌ریزی شده، درصد پیشرفت برنامه‌ای پروژه کدام است؟ (صنایع ۹۳)

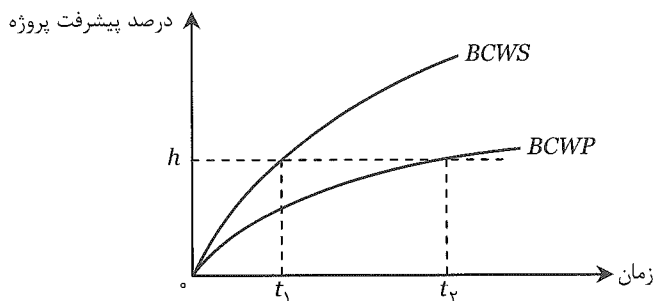
(۱) ۳۰ (۲) ۴۰ (۳) ۵۰ (۴) قابل محاسبه نمی‌باشد. (داده‌ها ناکافی است)

۲۶. اطلاعات زیر مربوط به یک پروژه ساختمانی، به قسمت کنترل هزینه رسیده است. در انتهای ماه سوم، شاخص‌های بازدهی هزینه و عملکرد زمانی پروژه به ترتیب عبارتند از: (صنایع ۹۴)

	ماه اول	ماه دوم	ماه سوم
بودجه برنامه‌ریزی شده	۵۰	۸۰	۷۰
ارزش بودجه‌ای کار انجام شده	۴۵	۶۵	۷۰
هزینه واقعی صرف شده	۶۰	۹۰	۱۰۰

(۱) ۱ و ۰/۷ (۲) ۰/۷ و ۱ (۳) ۰/۷۲ و ۰/۹ (۴) ۰/۷۵ و ۰/۹

۲۷. با توجه به نمودار زیر، کدام گزینه صحیح است؟ (صنایع ۹۵)



- (۱) پیشرفت برنامه‌ریزی شده پروژه در لحظه t_2 ، کمتر از $h\%$ است.
- (۲) پروژه در لحظه t_2 ، به اندازه $t_2 - t_1$ واحد زمانی، عقب است.
- (۳) پیشرفت واقعی پروژه در لحظه t_1 ، به اندازه $h\%$ است.
- (۴) پروژه در لحظه t_1 ، به اندازه $t_2 - t_1$ واحد زمانی عقب است.



پاسخ



۱. گزینه ۲

$$SPI = \frac{EV}{PV} \Rightarrow 0.5 = \frac{EV}{400} \Rightarrow EV = 200$$

$$CV = EV - AC \Rightarrow -133 = 200 - AC \Rightarrow AC = 333$$

$$CPI = \frac{EV}{AC} \Rightarrow CPI = \frac{200}{333} = 0.60$$

۲. گزینه ۳

$$CV = EV - AC = 523 - 643 = -120$$

$$SV = EV - PV = 523 - 623 = -100$$

۳. گزینه ۱

$$SPI = \frac{EV}{PV} = \frac{25,000 + 15,000 + 42,000}{20,000 + 17,000 + 34,000} = \frac{82,000}{71,000} > 1$$

$$CPI = \frac{EV}{AC} = ? \text{ داده‌ای در دسترس نیست.}$$

۴. گزینه ۴

$$CV = EV - AC < 0$$

۵. گزینه ۵

$$SV = EV - PV = 25,000 - 28,000 < 0$$

$$CV = EV - AC = 25,000 - 26,000 < 0$$

۶. گزینه ۴

$$CV = EV - AC = 350 - 400 = -50$$

۷. گزینه ۴

۸. گزینه ۳

۹. گزینه ۱

۱۰. گزینه ۱

از آنجایی که شاخص عملکرد زمان کمتر از ۱ است بنابراین بایستی نگران زمان‌بندی باشیم.

۱۱. گزینه ۱

از آنجایی که در صورت سوال بیان شده مشکلات به همین نحو ادامه یابد بنابراین خواهیم داشت:

$$EAC = \frac{BAC}{CPI} = \frac{700}{0.9} = 778$$

$$CPI = \frac{675}{750} = 0.9$$

۱۲. گزینه ۴

از آنجایی که در صورت سوال فرضی را بیان نکرده از روش محتمل حل می کنیم.

$$EAC = \frac{BAC}{CPI} = \frac{500}{0.9} = 556$$

$$CPI = \frac{EV}{AC} = \frac{250}{275} = 0.90$$

۱۳. گزینه ۴

$$AC = 1,250$$

$$PV = 0.30 \times 5,000 = 1,500$$

$$EV = 0.20 \times 5,000 = 1,000$$

از آنجایی که $CPI < 1$ است بنابراین BAC جهت تکمیل کار کافی نمی باشد.

۱۴. گزینه ۱

$$SV = EV - PV = 7,362 - 8,232 = -870$$

۱۵. گزینه ۱

$$SPI = \frac{EV}{PV} \Rightarrow 1.2 = \frac{EV}{56,733} \Rightarrow EV = 68,079.6$$

۱۶. گزینه ۴

۱۷. گزینه ۲

$$\text{پیشرفت برنامه‌ای} = \frac{5}{8} = 0.625$$

$$\text{پیشرفت واقعی} = \frac{1,800}{4,000} = 0.45$$

$$SPI = \frac{EV}{PV} = \frac{1,800 \times 52}{\frac{5}{8} \times 4,000 \times 52} = 0.72$$

۱۸. گزینه ۱

$$EV = 2 + 1/5 + 1/7 = 5/2$$

$$PV = 2 + 1/5 + 3 = 6/5$$

$$AC = 2/5 + 3 + 2/3 = 7/8$$

$$CPI < 1$$

$$SPI < 1$$



گزینه ۱۹

$$EAC = AC + \frac{BAC - EV}{CPI \times SPI} = 400 + \frac{1000 - 360}{0.9 \times 0.9} = 1190 \$$$

گزینه ۲۰

$$\%Progress(actual) = \frac{A}{100} = \%80$$

$$EV = 0.8 \times 10,000 = 8,000$$

$$\%Progress(plan) = \frac{3}{5} = \%60$$

$$PV = 0.6 \times 10,000 = 6,000$$

$$SPI = \frac{EV}{PV} = 1.33$$

گزینه ۲۱

$$BAC = 1000$$

$$PV = Planned\ Progress \times BAC = 0.4 \times 1000 = 400$$

$$EV = Actual\ Progress \times BAC = 0.3 \times 1000 = 300$$

$$AC = 338$$

گزینه ۱ غلط است زیرا بر اساس داده‌های فوق $SV = -100$ گزینه ۲ غلط است زیرا بر اساس داده‌های فوق $CV = -38$ ، همچنین گزینه ۳ نیز غلط است.

$$EAC = \frac{BAC}{CPI} = \frac{1000}{CPI}, CPI < 1 \Rightarrow EAC > BAC$$

گزینه ۲۲

$$PV = 80 + 70 + 100 = 250 = \text{بودجه برنامه‌ریزی شده}$$

$$AC = 110 + 80 + 110 = 300 = \text{مقدار عملی هزینه مصرف شده}$$

$$EV = 70 + 60 + 70 = 200 = \text{ارزش بودجه‌ای کار انجام شده}$$

$$CPI = \frac{200}{300} = 66.7\%$$

$$SPI = \frac{200}{250} = 80\%$$

گزینه ۲۳

$$PV = 50 + 40 + 60 + 80 = 230 = \text{بودجه برنامه‌ریزی شده}$$

$$EV = 40 + 35 + 50 + 70 = 195 = \text{ارزش بودجه‌ای کار انجام شده}$$

$$AC = ۳۲۰ = ۸۰ + ۵۰ + ۸۰ + ۱۱۰ = \text{مقدار عملی هزینه مصرف شده}$$

$$SPI = \frac{EV}{PV} = \frac{BCWP}{BCWS} = \frac{۱۹۵}{۲۳۰} = ۰/۸۴۷ \quad \text{و} \quad CPI = \frac{EV}{AC} = \frac{BCWP}{ACWP} = \frac{۱۹۵}{۳۲۰} = ۰/۶۰$$

۲۴. گزینه ۱

$$BAC = ۱۰۰۰$$

$$PV = \text{Planned Progress} \times BAC = ۰/۳۰ \times ۱۰۰۰ = ۳۰۰$$

$$EV = \text{Actual Progress} \times BAC = ۰/۲ \times ۱۰۰۰ = ۲۰۰$$

$$AC = ۴۰۰$$

$$CPI = \frac{۲۰۰}{۴۰۰} = \frac{۱}{۲}$$

$$SPI = \frac{۲۰۰}{۳۰۰} = ۰/۶۶\%$$

۲۵. گزینه ۳

$$\text{درصد پیشرفت واقعی پروژه} = \frac{(۱۰۰ \times ۴۰) + (۰ \times ۴۰) + (۰ \times ۲۰)}{۴۰ + ۴۰ + ۲۰} = ۴۰\%$$

همانطور که در صورت سوال آمده پیشرفت واقعی پروژه نسبت به پیشرفت برنامه‌ای ۱۰ درصد عقب است یعنی پیشرفت برنامه‌ای برابر ۵۰ درصد است.

$$\text{درصد پیشرفت برنامه‌ای پروژه} = ۴۰\% + ۱۰\% = ۵۰\%$$

۲۶. گزینه ۳

$$CPI = \frac{EV}{AC} = \frac{۴۵ + ۶۵ + ۷۰}{۶۰ + ۹۰ + ۱۰۰} = \frac{۱۸۰}{۲۵۰} = ۰/۷۲ = \text{شاخص بازده هزینه}$$

$$SPI = \frac{EV}{PV} = \frac{۴۵ + ۶۵ + ۷۰}{۵۰ + ۸۰ + ۷۰} = \frac{۱۸۰}{۲۰۰} = ۰/۹ = \text{شاخص بازده زمان}$$

۲۷. گزینه ۲

پیشرفت برنامه‌ریزی شده از روی نمودار $BCWS (PU)$ مشخص می‌شود و پیشرفت واقعی از روی نمودار $BCWP (EV)$ مشخص می‌شود لذا در لحظه $t_۱$ پیشرفت واقعی کمتر از $h\%$ و در لحظه $t_۲$ پیشرفت برنامه‌ریزی شده بیشتر از $h\%$ است بنابراین گزینه (۱) و (۳) صحیح نیست.

پروژه در لحظه $t_۲$ به پیشرفتی دست یافته است که طبق برنامه قرار بوده در لحظه $t_۱$ به دست آورد بنابراین در لحظه $t_۲$ پروژه به اندازه $t_۲ - t_۱$ واحد زمانی عقب است.

منابع

۱. مدیریت و کنترل پروژه، علی حاج جمشیدی، انتشارات جهاد دانشگاهی واحد صنعتی اصفهان
۲. کنترل پروژه، مجید سبزه پرور، انتشارات ترمه
۳. برنامه ریزی و کنترل پروژه، فرید ممیزی - سیدکمال چهارسوقی، انتشارات ترمه
4. *A Guide to the Project Management Body Of Knowledge – fifth edition – PMI – 2013*
5. *Practice standard for earned value mangement – second edition – PMI – 2011*