



## بررسی اجرای پروژه های زیربنایی با روش (طرح و ساخت) و بهینه کردن هزینه در فازهای مختلف آن

محمد مهدی لطفی\*

1-دانشجوی کارشناسی ارشد دانشگاه آزاد اسلامی اصفهان (واحد خوراسگان) [lotfimashin@yahoo.com](mailto:lotfimashin@yahoo.com)

### چکیده

در این مقاله سعی شده است تا ضمن معرفی کلی ویژگی‌های پروژه‌های EPC و مشخصات منحصر به فرد آن‌ها، اهمیت مدیریت هزینه در این پروژه‌ها مشخص گردد. گاهی اوقات در پروژه های بزرگ از قبیل EPC، مدیران پروژه به دلایل مختلف تصمیم می گیرند که زمان پروژه را کاهش دهند که تاثیرات مستقیم بر هزینه تمام شده پروژه خواهد داشت. از این رو منحنی موازنه هزینه-زمان برای تصمیم گیری در مورد برنامه ریزی زمانی و هزینه ای پروژه و کلا مدیریت پروژه اهمیت بسیار زیادی دارد. البته شایان ذکر است گاهی تصمیم کاهش زمان پروژه ها، در جهت جبران تاخیرات پیش آمده در پروژه ها اتخاذ می گردند. با توجه به اینکه در پروژه های EPC، فشردن زمان پروژه ممکن است در سه فاز مختلف آن اتفاق افتد. بنابراین با توجه به ویژگی های منحصر به فرد فازهای مختلف پروژه های EPC و با تلفیق روش ها و الگوریتم های مختلف ، برای هر فاز مدلی جهت موازنه هزینه-زمان در آن ساخته شد و سپس در انتها این مدل ها با مجموعه ای از اعداد که با ساختارهای معمول شکست کار پروژه های از نوع EPC سازگار است مورد آزمایش و بررسی قرار گرفت و حل عددی مدل ها توسط نرم افزار تحقیق در عملیات GAMS انجام گرفت. این آزمایش و بررسی نشان داد که با این گونه کاهش زمان پروژه می توان با کمترین و بهینه ترین هزینه ممکن و با انتخاب روشی از روش های اجرایی مختلف و موجود در پروژه، در جهت جبران عقب ماندگی های پیش آمده در پروژه ها گام برداشت و نهایتا به اتمام به موقع پروژه ها دست یافت.

**واژه های کلیدی:** فاز مهندسی EPC، مدیریت هزینه پروژه، EPC، موازنه هزینه-زمان، فاز تدارکات و ساخت EPC



## مقدمه

انواع مختلف قراردادهای اجرای پروژه‌های بزرگ و زیربنایی را می‌توان به هفت گروه تقسیم نمود:

**طراحی و اجرا به صورت مجزا:** کارفرما طراحی پروژه را بر طبق نیازهای خویش به طراح واگذار نموده تا مجموعه‌ای از نقشه‌های موردنیاز برای مناقصه و اجرای کار تهیه کند. طولانی بودن زمان اجرای این نوع پروژه‌ها به دلیل مراحل طراحی و اجرای طولانی از جمله نقاط ضعف این پروژه‌هاست.

**قرارداد مدیریت (MC):** در این قرارداد شخصیتی حقوقی با عنوان مدیریت پیمان به نمایندگی از طرف مجری طرح مسئولیت مدیریت، کنترل و هماهنگی پروژه و مدیریت اجرایی را به عهده دارد.

**قرارداد مدیریت اجرایی:** مدیریت اجرایی طبق قراردادی که مستقیماً با کارفرما منعقد می‌نماید برای مدیریت اجرایی پروژه منصوب می‌گردد و در قالب هزینه و زمان انجام‌وظیفه می‌نماید.

**قرارداد طراحی و مدیریت:** نوعی از قرارداد مدیریت است که در آن طراحی تفصیلی مستقیماً بر عهده پیمانکار گذاشته شده است.

**قرارداد دستمزدی:** در این نوع قرارداد پیمانکار مسئولیت کارهای اجرایی، انجام خدمات مدیریتی (به طور عمده قبل از اجرا)، تهیه اطلاعات موردنیاز طراحی و بعضی مواقع مدیریت فرایند طراحی را بر عهده خواهد داشت.

**روش ساخت-بهره‌برداری-انتقال:** در این روش امتیاز بهره‌برداری از یک پروژه بخش دولتی برای مدتی مشخص به شرکتی تحت عنوان شرکت توسعه‌دهنده پروژه واگذار می‌شود.

**روش مهندسی-خرید-ساخت:** مسئولیت طراحی و اجرا به طور کامل بر عهده پیمانکار اصلی است به طوری که بعد از تکمیل پروژه اصطلاحاً کارفرما فقط با چرخاندن یک کلید می‌تواند بهره‌برداری از تسهیلات اجرا شده را آغاز نماید. در این حالت کارفرما یا مشاورین او فقط در فرایند مناقصه و نظارت عالی در کار پیمانکار دخالت خواهند داشت و هر عیب و نقصی که در محدوده تعریف شده کار حادث شود بر عهده پیمانکار عمومی خواهد بود.

در یک دوره طولانی اجرای پروژه‌ها به صورت دو عاملی (کارفرما و سازنده) انجام می‌شد. در سال‌های ۱۹۰۰ میلادی و به موازات افزایش پیچیدگی و ارتقای دانش طراحی به‌ویژه در سال‌های بعد از جنگ جهانی دوم، روش سه عاملی (کارفرما، مشاور و پیمانکار) برای اجرای این‌گونه پروژه‌ها گسترش یافت. این روش برای نسل مهندسان تربیت‌شده در دوره‌های بعد به صورت روش متعارف یا سنتی جلوه‌گر شد. در دهه‌های ۱۹۷۰ و ۱۹۸۰ میلادی شکل تغییریافته این روش به نام پیمانکاری مدیریت و یا مدیریت اجرا در اروپا و امریکا ظهور کرد و در سال‌های میانی دهه ۱۹۹۰ میلادی روش دو عاملی جدیدی به نام طرح و ساخت توأم متداول گردید. در آستانه قرن بیست و یکم این روش راه‌حل بهینه برای انجام بعضی پروژه‌ها تلقی گردید (معاونت امور فنی، ۱۳۸۳). در روش طرح و ساخت، پیمانکار علاوه بر تأمین کالا و تجهیزات موردنیاز و ساخت وظیفه انجام مطالعات طراحی تفصیلی را نیز بر عهده دارد. در گونه توسعه‌یافته‌تر این روش، مسئولیت پیمانکار طرح-سازنده به مرحله مطالعات اولیه تکمیلی (و حتی در بعضی موارد به تأمین مالی موقت پروژه) نیز گسترش می‌یابد. این روش انجام پروژه را قرارداد EPC می‌گویند. EPC دربردارنده سه مفهوم اصلی



طراحی و مهندسی "Engineering"، تدارکات و تأمین تجهیزات "Procurement" و اجرا و ساخت "Construction" می‌باشد. انجام پروژه‌ها به صورت EPC دارای مزایایی نسبت به روش سنتی است که برخی از آن‌ها عبارت‌اند از:

- کاهش زمان انجام پروژه
- افزایش قابلیت ساخت طراحی‌ها
- کاهش ادعاها و دعاوی
- انعطاف‌پذیری ساخت
- امکان تأمین مالی از منابع غیردولتی
- کاهش هزینه‌ها

مسئله برنامه‌ریزی و پس از آن کنترل زمان‌بندی و هزینه‌های پروژه‌ها هر روز اهمیتی بیش از گذشته می‌یابد و در فضایی که رقابت شرکت‌ها هر روز نزدیک‌تر می‌شود و تفاوت‌های کوچک در ارائه قیمت در مناقصه‌ها منجر به توفیق یا شکست در مناقصه می‌شود ارائه برنامه‌ای که منطبق با واقعیت باشد و بتواند تمام واقعیت‌های اقتصادی را در یک پروژه منظور کند حائز اهمیت زیادی است. این اهمیت نه تنها در ارائه قیمت برای یک پروژه پیش از شروع اجراست بلکه پس از شروع به کار نیز وجود یک برنامه زمان‌بندی انعطاف‌پذیر می‌تواند به یک شرکت در مواجهه با انواع مشکلات که بسیاری اوقات خارج از حیطه اختیار آن است یاری برساند. یک برنامه انعطاف‌پذیر این قابلیت را دارد که با استفاده از ارتباط بین هزینه و زمان در یک پروژه تغییرات لازم را در هزینه و زمان در نظر بگیرد و راه‌حل‌های مناسب گوناگون را در اختیار تصمیم‌گیران قرار دهد تا بتوانند قبل از اجرای پروژه یا در مواجهه با مشکلات حین انجام کار برآورد مناسبی از زمان و هزینه اجرایی موردنیاز در پروژه را داشته باشند.

برای برنامه‌ریزی و کنترل پروژه در ابتدای امر مراحل مختلفی از جمله تحلیل پروژه، برآورد مدت، هزینه و منابع اجرایی و در نهایت زمان‌بندی پروژه صورت می‌گیرد. در تمامی این موارد بخصوص در زمان ارزیابی‌های اولیه پروژه فرض می‌شود که تمام فعالیت‌ها در زمان واقعی خود اجرا می‌شوند. گاهی اوقات به دلایل مختلف مدیریت پروژه تصمیم می‌گیرد زمان پروژه را کاهش دهد که این امر تأثیر مستقیم بر هزینه تمام‌شده پروژه خواهد داشت.

گاهی اوقات در پروژه‌های بزرگ از قبیل EPC مدیران پروژه تصمیم می‌گیرند که زمان پروژه را کاهش دهند که این امر تأثیر مستقیمی بر هزینه تمام‌شده پروژه خواهد داشت. از این‌رو منحنی موازنه هزینه-زمان برای تصمیم‌گیری در مورد برنامه‌ریزی زمانی پروژه، برنامه‌ریزی هزینه‌ای پروژه و کلاً مدیریت پروژه اهمیت بسیار زیادی دارد. البته شایان‌ذکر است گاهی تصمیم کاهش زمان پروژه‌ها در جهت جبران تاخیرات پیش آمده در پروژه‌ها اتخاذ می‌گردد. در پروژه‌های EPC فشرده‌سازی زمان پروژه ممکن است در سه فاز مختلف آن (فاز مهندسی، فاز تأمین تجهیزات، فاز ساخت) اتفاق افتد.

## فاز مهندسی

مهندسی یا طراحی فرایندی است که در آن نیازها، اهداف و انتظارات مالک یا بهره‌بردار تعریف، مستدل و تأیید شده و به‌عنوان نیازمندی‌های پروژه به پیمانکاران و سازندگان اعلام می‌گردد. از آنجایی که بسیاری از تصمیمات کلیدی در فازهای برنامه‌ریزی مقدماتی و مهندسی پروژه اتخاذ می‌گردد فاز مهندسی بیشترین اثر را روی پروژه دارد. این تصمیمات منجر به تعهد



# اولین کنفرانس سالانه پژوهش‌های معماری، شهرسازی و مدیریت شهری



The first annual conference of Architecture, Urban planning & Urban management

جهت تأمین منابع مالی و حجم عظیمی از منابع موردنیاز که برای اجرای موفقیت‌آمیز پروژه موردنیاز است خواهد شد. طراحی یک سیستم مهندسی معمولاً یک سری از قدم‌های گوناگون را شامل می‌شود که طراحی مفهومی، طراحی مقدماتی و طراحی جزئی از این‌گونه موارد هستند.

کنترل این فاز به علت ماهیت خاص آن امری پیچیده است اما به طور کلی می‌توان به کمک مواردی نظیر مدارک دریافتی میزان نفر-ساعت اختصاص یافته و غیره بر کنترل صحیح فاز مهندسی نظارت نمود. وزن مالی بخش مهندسی به نسبت سایر موارد قابل توجه نیست اما به لحاظ اهمیت دانش فنی به اعتباری قلب پروژه محسوب شده و اساساً رشد، اعتبار و مزیت رقابتی شرکت‌ها و پیمانکاران به میزان تسلط و در اختیار داشتن دانش فنی مهندسی پروژه است.

مدیران پروژه، مهندسان و نیز طراحان پروژه، پیمانکاران و مشاوران وظیفه دارند که:

۱- تمامی اعضا را موظف سازند که کارهای مهندسی و مدیریت را به نحوی شایسته انجام دهند تا پروژه را به تمامی اهداف هزینه‌ای، برنامه‌ای، ایمنی و فنی خود برسانند.

۲- اطمینان حاصل کنند که کلیه محاسبات مهندسی، مخصوصاً آن‌هایی که به ایمنی مربوطاند توسط افراد و پرسنل مجرب و مناسب انجام شوند.

۳- اطمینان حاصل کنند که تمامی جزئیات طراحی دقیقاً با توافقات قبلی مطابقت داشته باشد.

## فاز تأمین تجهیزات

پس از فاز مهندسی به سرعت فاز تأمین تجهیزات آغاز می‌شود. پیمانکار بلافاصله پس از دریافت نقشه‌های مهندسی، مشخصات و مدارک مرتبط شروع به تأمین اقلام و مصالح موردنیاز می‌کند. مهم‌ترین فعالیت‌های خرید و تأمین تجهیزات عبارت‌اند از: یافتن منابع، خرید، بستن قرارداد و مدیریت منابع در محل.

در زمینه اهمیت فاز تأمین تجهیزات به موارد زیر می‌توان اشاره کرد:

۱- در واقع برقرارکننده ارتباط بین فازهای مهندسی و ساخت است.

۲- هزینه‌های مواد و تجهیزات سهم اساسی در هزینه نهایی پروژه خواهد داشت.

۳- این فاز تا حد زیادی به شرکت‌ها و تأمین‌کنندگان خارجی بستگی دارد.

۴- کنترل بخصوص در زمینه برون‌سپاری و خرید مواد با زمان تحویل طولانی به‌سادگی آنچه در فازهای مهندسی و ساخت انجام می‌گیرد نیست.

۵- برخلاف صنایع تولیدی نه تأمین‌کنندگان اصلی و نه مشتریان از موجودی ذخیره استفاده نمی‌کنند.

۶- مدیریت موفق تجهیزات می‌تواند منجر به نتایج مافوق انتظار در اجرای کل پروژه گردد.



# اولین کنفرانس سالانه پژوهش‌های معماری، شهرسازی و مدیریت شهری



The first annual conference of Architecture, Urban planning & Urban management

۷- فعالیت‌های فاز تأمین تجهیزات با توجه به سیستم Tracking (پیگیری چگونگی پیشرفت پروژه) تعریف، برنامه‌ریزی و کنترل می‌شوند.

## فاز ساخت

پیمانکار پروژه با توجه به بسته‌های کاری آماده شده در فاز مهندسی و با توجه به تجهیزات و مواد تأمین شده در فاز تأمین تجهیزات، مرحله ساخت را با توجه به مشخصات تعیین شده پروژه آغاز می‌کند. ممکن است فعالیت‌های ساخت به وسیله تعداد زیادی از پیمانکاران فرعی اجرا شود در این صورت دریافت اطلاعات از این پیمانکاران، جمع و خلاصه‌سازی آن‌ها در قالب یک پروژه اصلی از اهمیت ویژه‌ای جهت کنترل و هدایت پروژه برخوردار خواهد بود.

فاز ساخت در عین حال گلوگاه تأمین نیازهای زمانی پروژه بوده و اغلب تاخیرات در تحویل پروژه‌های EPC مربوط به تأخیر در این فاز از اجرای پروژه می‌باشد

## مدیریت هزینه

مدیریت هزینه پروژه، فرآیندهای برنامه‌ریزی، برآورد، بودجه‌بندی و کنترل هزینه‌ها را شامل می‌شود به نحوی که پروژه در زمان برنامه‌ریزی شده با بودجه پیش‌بینی شده به انجام برسد. این فرآیندها با یکدیگر و همچنین با فرآیندهایی که در حوزه‌های دیگر دانش وجود دارد همپوشانی دارند. مدیریت هزینه پروژه در ابتدا هزینه منابعی که برای تکمیل فعالیت‌های برنامه‌ریزی شده مورد نیاز است. مدیریت هزینه پروژه در مدیریت هزینه پروژه باید تأثیر تصمیمات اتخاذ شده در پروژه را بر استفاده، نگهداری و پشتیبانی محصول، خدمات و نتایج پروژه در نظر بگیرد. این دید وسیع‌تر از مدیریت پروژه غالباً هزینه‌یابی چرخه حیات نامیده می‌شود. هزینه‌بندی چرخه حیات به همراه تکنیک‌های مهندسی ارزش، می‌تواند به تصمیم‌گیری کمک نموده و جهت کاهش هزینه‌ها و اجرای برنامه زمانی و ارتقای کیفیت محصول پروژه به کار رود.

## موازنه هزینه زمان

موازنه هزینه و زمان از جمله مباحث مهم در برنامه‌ریزی و کنترل پروژه‌ها می‌باشد. هدف از حل این مسئله در واقع تحلیل رفتار متقابل انواع گوناگون هزینه‌های پروژه و زمان اجرای پروژه می‌باشد. در محاسبات زمان‌بندی پروژه، معمولاً زودترین زمان تکمیل آخرین فعالیت به عنوان تاریخ تحویل پروژه در نظر گرفته می‌شود. از سوی دیگر، زمان تکمیل پروژه، بر اساس یک سری از محدودیت‌های یا نیازهای داخلی یا خارجی تأمین می‌شود که در اکثر مواقع، زمان تکمیل تعیین شده بر اساس محدودیت‌ها، طولانی‌تر از تاریخ تحویل پروژه است. در چنین شرایطی، زمان تکمیل پروژه را می‌توان به روش‌های زیر کاهش داد:

- کوتاه‌سازی زمان تکمیل پروژه از طریق بازنگری منطق شبکه (اجرای برخی از فعالیت‌های بحرانی به صورت موازی)

- کوتاه‌سازی مدت زمان اجرای فعالیت‌های بحرانی با صرف هزینه‌های بیشتر یا فشرده‌سازی



## موازنه هزینه - زمان در فاز مهندسی به کمک برنامه‌ریزی خطی

در این مسئله می‌توان هدف اصلی را حداقل نمودن هزینه‌های پروژه عنوان کرد. اثر کاهش زمان را بر این هزینه با متغیری به نام شیب هزینه نمایش می‌دهیم که عبارت خواهد بود از رابطه:

$$(1) \quad C_u = \left| \frac{C_r - C_n}{D_r - D_n} \right|$$

که در این عبارت  $C_r$  و  $D_r$  به ترتیب هزینه و زمان فعالیت در حالت فشرده و  $C_n$  و  $D_n$  به ترتیب

عبارت‌اند از هزینه و زمان معمولی فعالیت. با این حساب می‌توان هزینه اضافی ناشی از کوتاه شدن زمان یک فعالیت را به صورت رابطه نمایش داد:

$$(2) \quad C_u \times (D_{n(ij)} - d_{ij})$$

که در آن  $d_{ij}$  عبارت است از زمان عملی اجرای فعالیت  $ij$ .

اما در مورد هزینه‌های غیرمستقیم پروژه که متناسب با افزایش زمان، افزایش خواهند یافت، اگر  $H$  را برابر با میزان هزینه‌های غیرمستقیم در هر روز فرض کنیم، طبق رابطه خواهیم داشت:

$$(3) \quad H \times (t_n - t_I)$$

در این رابطه  $t_n$  تاریخ پایان پروژه و  $t_I$  زمان آغاز اجرای پروژه است.

با توجه به موارد گفته شده تابع هدف مسئله را که مجموع هزینه‌های اجرای پروژه می‌باشد می‌توان به صورت رابطه بیان نمود

$$(4) \quad Z = H(t_n - t_i) + \sum_i \sum_j C_{ij} (D_{n(ij)} - d_{ij})$$

در مورد محدودیت‌های مسئله خواهیم داشت:

1. طول زمان عملی اجرای هر فعالیت باید بین زمان شروع و خاتمه آن باشد:

$$(5) \quad t_j - t_i \geq d_{ij}$$

2. همچنین زمان عملی اجرای فعالیت باید بین زمان‌های معمولی و فشرده اجرای فعالیت باشد:

$$(6) \quad D_{f(ij)} \leq d_{ij} \leq D_{n(ij)}$$

3. تاریخ‌های شروع و پایان فعالیت نیز باید از صفر بزرگ‌تر باشند:

$$(7) \quad t_i \geq 0$$

پس مدل برنامه‌ریزی خطی برای مسئله موازنه هزینه- زمان را می‌توان به شکل رابطه خلاصه کرد:

$$Min Z = H(t_j - t_i) + \sum_i \sum_j C_{ij} (D_{n(ij)} - d_{ij})$$





# اولین کنفرانس سالانه پژوهش‌های معماری، شهرسازی و مدیریت شهری



The first annual conference of Architecture, Urban planning & Urban management

(8)

Subject to

$$t_j - t_i \geq d_{ij} \quad (9)$$

$$D_{F(ij)} \leq d_{ij} \leq D_{n(ij)} \quad (10)$$

$$t_i \geq 0 \quad (11)$$

تغییر مسئله بالا به حالت‌های مختلف مسئله موازنه هزینه-زمان با افزایش یا کاهش در محدودیت‌های مسئله ممکن خواهد بود. به عنوان مثال در شرایطی که در مسئله تاریخ خاصی برای پایان مشخص شده باشد یک محدودیت  $t_n - t_1 \leq T_p$  به محدودیت‌های مسئله اضافه خواهد شد و در صورتی که اجرای پروژه دارای بودجه معین و محدودی باشد، محدودیت  $\sum_i \sum_j C_{ij} (D_{n(ij)} - d_{ij}) \leq B$  به محدودیت‌های پروژه اضافه خواهد گشت.

## موازنه هزینه - زمان در فاز مهندسی

در بررسی فعالیت‌های فاز مهندسی پروژه‌ها موارد زیر به عنوان نکات حائز اهمیت برای موازنه هزینه - زمان می‌بایست در نظر گرفته شود:

1. کم بودن هزینه اجرای این فعالیت‌ها در مقایسه با فاز ساخت
  2. اثر عمیق فعالیت‌های فاز مهندسی بر هزینه اجرای پروژه که نشان‌گر اهمیت فراوان کیفیت فعالیت‌های این فاز بر محصولات نهایی پروژه خواهد بود. انعطاف‌پذیری تقریباً بالای فعالیت‌ها در مقابل افزایش یا کاهش زمان آنها
  3. اهمیت اجرای فعالیت‌ها در زمان مقتضی به گونه‌ای که کاهش نامناسب زمان فعالیت‌ها (هر چند ممکن است عملی باشد) ولی اثری جبران‌پذیر بر کیفیت پروژه و فعالیت‌های فازهای بعدی خواهد گذاشت.
  4. روابط متقابل زیاد و پیچیده فعالیت‌ها با یکدیگر
- بسیاری روابط فعالیت‌های فاز مهندسی از نوع روابط ساده FS که در مدل خطی به صورت پیش فرض در نظر گرفته می‌شود، نیستند و باید انواع مختلف روابط را برای بسیاری از فعالیت‌ها تعریف نمود. برای مثال جهت تحویل به موقع پروژه تقریباً تمام فعالیت‌های فاز طراحی مفهومی (مطالعات محیطی، ارزیابی پیمانکاران فرعی، تدوین برنامه مدیریت پروژه و ...) باید همزمان با یکدیگر آغاز شوند.

مساله دیگری که در این میان باید مورد توجه قرار گیرد میزان اهمیت هر یک از فعالیت‌ها است. به این معنی که برخی از فعالیت‌ها دارای اهمیت فوق‌العاده‌ای در فاز مهندسی هستند که باید اهمیت آنها در مدل موازنه هزینه - زمان به گونه‌ای لحاظ شود که از زمان آنها به میزان کمتری کاسته شود و یا در اولویت‌های پایین‌تر برای کاهش زمان قرار بگیرند.

پس مدلی که برای این فاز پیش‌بینی می‌شود مدل برنامه‌ریزی خطی موازنه هزینه-زمان است، با این تفاوت که مساله انواع گوناگون روابط پیش‌نیازی، به کمک متغیر کمکی به نام  $F_i$  در مدل لحاظ شده است که این متغیر پایان فعالیت  $i$  و  $t_i$  زمان شروع فعالیت  $i$  و  $d_{ij}$  شناوری آزاد را نشان می‌دهد:

$$F_i = t_i + d_{ij}$$



# اولین کنفرانس سالانه پژوهش‌های معماری، شهرسازی و مدیریت شهری



The first annual conference of Architecture, Urban planning & Urban management

(12)

به عبارت دیگر در صورتی که فعالیت  $J$  بر روی مسیر بحرانی قرار داشته باشد، خواهیم داشت:

$$F_i = t_j \quad (13)$$

و در غیر اینصورت:

$$F_i = t_j - \text{FreeSlack} \quad (14)$$

همچنین با ضرب کردن مقداری به نام  $w_{ij}$  در میزان ضریب هزینه، کاهش هزینه فعالیت‌های پراهمیت را به تأخیر می‌اندازیم. به بیان دیگر هر چه فعالیتی دارای اهمیت بیشتری باشد مقدار وزن آن یا  $(w_{ij})$  کمتر خواهد بود. میزان این وزن باید با مشورت دست‌اندرکاران پروژه مشخص گردد.

پس مدل به شکل زیر خواهد بود:

$$\text{Min}Z = H(t_n - t_1) + \sum_i \sum_j w_{ij} C_{ij} (D_{n(ij)} - d_{ij}) \quad (15)$$

*Subject to:*

$$t_j - t_i \geq d_{ij} \quad (16)$$

$$f_i = t_i + d_{ij} \quad (17)$$

$$D_{f(ij)} \leq d_{ij} \leq D_{n(ij)} \quad - \quad (18)$$

$$t_i f_i \geq \cdot \quad (19)$$

## موازنه هزینه - زمان در فاز تامین تجهیزات

مهم‌ترین عاملی که در فاز تامین تجهیزات، به خصوص در پروژه‌های عظیم که نیاز به تامین از منابع گوناگون داخلی و خارجی دارند، عدم قطعیت در زمان‌های تحویل و اتمام فعالیت‌های تامین تجهیزات است. با توجه به ماهیت این فعالیت‌ها نیاز به ورود عوامل عدم قطعیت در مدل موازنه هزینه - زمان، الزامی به نظر می‌رسد.

## موازنه هزینه - زمان در فاز ساخت

در فعالیت‌های فاز ساخت، می‌توان میزان منابع تخصیص یافته را مهم‌ترین عامل تعیین کننده هزینه و زمان اجرای هر فعالیت دانست. به عبارت دیگر هرچه میزان منابعی که به یک فعالیت اختصاص می‌یابد، افزایش یابد در نتیجه هزینه آن افزایش یافته و از سوی دیگر زمان اجرای فعالیت کاهش می‌یابد.

در پروژه‌های معمولاً عظیمی که دارای قراردادهای از نوع EPC هستند، میزان تخصیص از ماشین آلات عامل تعیین کننده در موازنه هزینه و زمان بوده و به همین علت نمی‌توان الگویی پیوسته برای رابطه هزینه و زمان ارائه نمود و این رابطه به صورت مقادیری گسسته بیان می‌گردد.





# اولین کنفرانس سالانه پژوهش‌های معماری، شهرسازی و مدیریت شهری



The first annual conference of Architecture, Urban planning & Urban management

برای نمونه در یک فعالیت حفاری مرتبط با یک پروژه سدسازی، با استفاده از سه دستگاه بلدورز، فعالیت در 20 روز به اتمام می‌رسد و استفاده از دو دستگاه باعث اتمام پروژه در 31 روز خواهد شد. از سوی دیگر استفاده از چهار دستگاه بلدورز زمان تمامی معادل 16 روز را برای پروژه به وجود خواهد آورد. همان گونه که مشاهده می‌شود سایر مقادیری که بین این مقادیر قرار می‌گیرند نمی‌توانند به عنوان مقادیر مورد قبول برای زمان و هزینه متناظر با استفاده از منابع پذیرفته شوند.

از آنجا که در فعالیت‌های فاز ساخت پروژه‌های EPC معمولاً منابعی نظیر آنچه در این مثال بررسی شد به عنوان عوامل اثرگذار بر هزینه و زمان فعالیت‌های مطرح هستند، پس مدل گسسته می‌تواند برای فعالیت‌های این فاز از اجرای پروژه، مدل مناسبی برای موازنه هزینه - زمان باشد

## معرفی نرم افزار GAMS

معمولاً بعد از مدل‌سازی برنامه‌ریزی خطی و یا غیرخطی می‌بایست آن را حل نمود. حل این مدل‌ها بخصوص اگر مدل پیچیده و گسترده باشد، بسیار وقت‌گیر است و در بعضی مواقع غیرممکن است. بنابراین لازم است از نرم‌افزارهایی که این کار را انجام می‌دهند و کار را ساده‌تر می‌کنند استفاده نمود. یکی از قدرتمندترین نرم‌افزارهایی که مدل‌های OR (تحقیق در عملیات) را حل می‌نماید، نرم‌افزار GAMS است.

### ارائه یک نمونه عددی برای مدل‌های ارائه شده

در این بخش تلاش خواهیم کرد تا با ارائه مثالی متناسب با فعالیت‌های یک پروژه EPC، به بررسی مدل ارائه شده بپردازیم.

### فاز مهندسی

فعالیت‌های نمونه در جدول 2-0 آورده شده است:

جدول 1-Error! No text of specified style in document. فعالیت‌های نمونه برای فاز مهندسی

ردیف	عنوان فعالیت	پیش‌نیاز	وزن	ضریب هزینه	زمان نرمال	زمان فشرده
1	تعریف اهداف	-	0.8	8	45	32
2	مطالعات محیطی	1	0.6	10	40	27
3	ارزیابی پیمانکاران فرعی	2	0.3	6	15	7
4	تدوین برنامه مدیریت پروژه	3SS	0.8	5	20	7
5	ارائه طراحی پایه پروژه	4ff	0.6	9	50	40
6	دریافت بازخور و تغییر در طراحی	5	0.5	7	15	10
7	مستند سازی	2	0.2	6	60	45

هزینه بالاسری برای این فاز 5 واحد در هر روز خواهد بود.

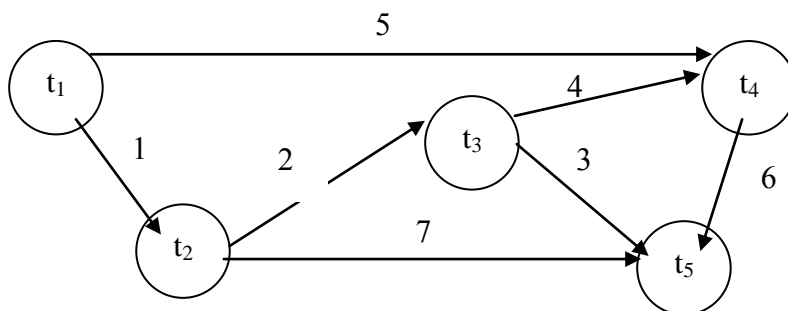


# اولین کنفرانس سالانه پژوهش‌های معماری، شهرسازی و مدیریت شهری



The first annual conference of Architecture, Urban planning & Urban management

شبکه این فعالیت‌ها به شکل زیر خواهد بود:



مطابق با جدول مدل موازنه هزینه - زمان به شکل رابطه زیر خواهد بود:

$$\text{Min } Z = \Delta(t_5 - t_1) + 0.8 \times 8(f_5 - d_1) + 0.6 \times 10(f_4 - d_2) + 0.2 \times 6(15 - d_3) + 0.8 \times \Delta(20 - d_4) + 0.6 \times 9(50 - d_5) + 0.5 \times 7(15 - d_6) + 0.2 \times 6(60 - d_7) \quad (20)$$

$$\text{S.t:} \quad t_j - t_i \geq d_{ij} \quad (21)$$

$$f_i = t_i + d_{ij} \quad (22)$$

$$D_{f(ij)} \leq d_{ij} \leq D_{n(ij)} \quad (23)$$

$$t_i, f_i \geq 0 \quad (24)$$

$$t_5 - t_7 \geq 0 \quad (25)$$

$$f_5 - f_5 \geq 0 \text{ or } (t_7 + d_7) - (t_5 + d_5) \geq 0 \quad (26)$$

نتایج حاصل از حل معادله بالا با استفاده از نرم افزار GAMS در جدول آمده است.

نتایج حل معادله موازنه هزینه زمان برای فاز مهندسی

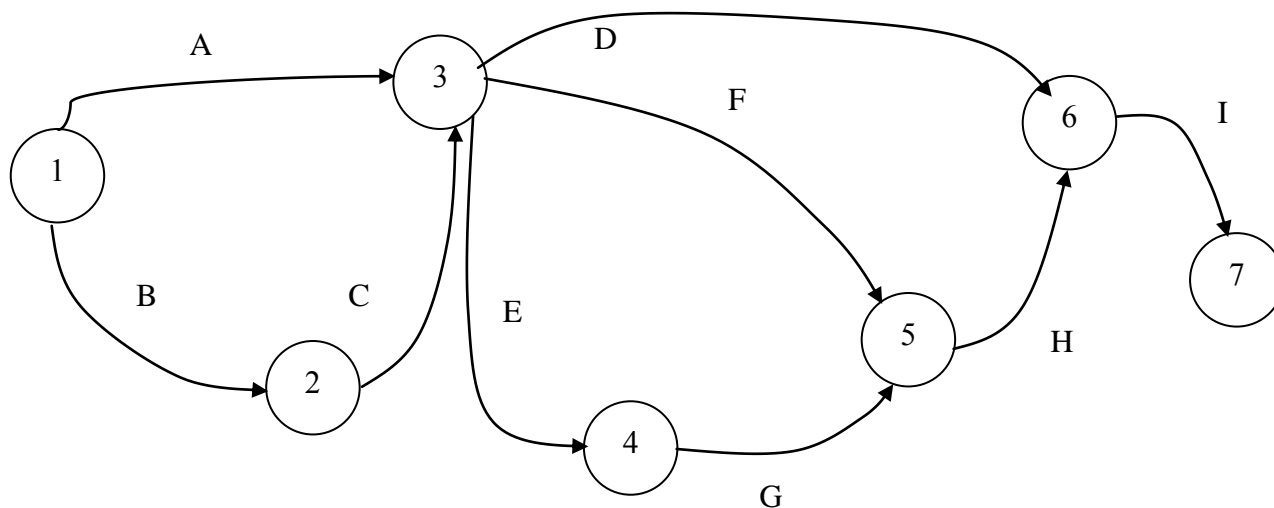
شماره فعالیت	زمان شروع	زمان فعالیت	زمان خاتمه
1	0	45	45
2	45	40	85
3	85	15	100
4	85	7	92
5	42	50	92
6	92	15	107
7	85	60	145

مقدار تابع هدف = 262

بدین صورت فاز مهندسی در مدت 145 روز با کمترین هزینه ممکن اجرا می‌گردد.

## فاز تامین تجهیزات و ساخت

شکل زیر شبکه‌ای را برای فاز تامین تجهیزات و ساخت پروژه نمایش می‌دهد:



جدول زیر فعالیت‌های این فاز و روش‌های اجرا به همراه هزینه و زمان هر روش را نمایش می‌دهد.



# اولین کنفرانس سالانه پژوهش‌های معماری، شهرسازی و مدیریت شهری



The first annual conference of Architecture, Urban planning & Urban management

## فعالیت‌های نمونه برای فاز تامین تجهیزات و ساخت

کد	نام فعالیت	روش اجرایی یک		روش اجرایی دو		روش اجرایی سه	
		هزینه (واحد پول)	زمان (روز)	هزینه (واحد پول)	زمان (روز)	هزینه (واحد پول)	زمان (روز)
A	محوطه سازی	300	30	410	24	465	19
B	خاک برداری	180	15	200	12	350	9
C	بدنه و پی	850	50	1000	42	1250	38
D	راه‌اندازی مقدماتی	460	30	550	25	700	22
E	تکمیل ساختمان	600	65	820	60	940	55
F	نصب تجهیزات اولیه ( <i>pipng,...</i> )	750	60	890	50	1010	47
G	نصب تجهیزات نهایی	1500	45	1800	42	2100	37
H	اتصال تجهیزات	360	10	410	9	520	7
I	راه‌اندازی نهایی	200	5	230	3	390	1

همچنین فرض می‌شود پروژه باید حداکثر در 150 روز به اتمام برسد.

$$\begin{aligned} \text{Min } f = & 300 XA_1 + 410 XA_2 + 465 XA_3 + 180 XB_1 + 200 XB_2 + 350 XB_3 + 850 C_1 \\ & + 1000 XC_2 + 1250 XC_3 + 460 XD_1 + 550 XD_2 + 700 XD_3 + 600 XE_1 \\ & + 820 XE_2 + 940 XE_3 + 750 XF_1 + 890 XF_2 + 1010 XF_3 + 1500 XG_1 \\ & + 1800 XG_2 + 2100 XG_3 + 360 XH_1 + 410 XH_2 + 520 XH_3 + 200 XI_1 \\ & + 230 XI_2 + 390 XI_3 \end{aligned} \quad (27)$$

S. t:

$$x_3 \geq x_1 + \sum t_{Ar} x_{Ar} \quad (28)$$

$$x_2 \geq x_1 + \sum t_{Br} x_{Br} \quad (29)$$

$$x_3 \geq x_2 + \sum t_{cr} x_{cr} \quad (30)$$

$$x_4 \geq x_3 + \sum t_{Er} x_{Er} \quad (31)$$



# اولین کنفرانس سالانه پژوهش‌های معماری، شهرسازی و مدیریت شهری



The first annual conference of Architecture, Urban planning & Urban management

$$x_5 \geq x_4 + \sum t_{Gr} x_{Gr} \quad (32)$$

$$x_5 \geq x_3 + \sum t_{Fr} x_{Fr} \quad (33)$$

$$x_6 \geq x_5 + \sum t_{Hr} x_{Hr} \quad (34)$$

$$x_6 \geq x_3 + \sum t_{Dr} x_{Dr} \quad (35)$$

$$x_7 \geq x_6 + \sum t_{Ir} x_{Ir} \quad (36)$$

$$x_7 \leq 150 \quad (37)$$

$$x_1 = 0 \quad (38)$$

$$x_i \geq 0 \quad (39)$$

$$x_{ijr} = \{0, 1\} \quad (40)$$

A حل شوند، نتایج زیر به دست می آیند. بر اساس نتایج جدول برای فعالیت GAMS هنگامی که این معادلات به کمک نرم افزار روش F روش 3، برای فعالیت E روش 1، برای فعالیت D روش 3، برای فعالیت C روش 3، برای فعالیت B روش 1، برای فعالیت روش 2 پیشنهاد می شود تا این فاز ظرف مدت 150 روز با I روش 3 و برای فعالیت H روش 3، برای فعالیت G 1، برای فعالیت کمترین هزینه ممکن یعنی 6750 واحد به انجام برسد.

نتیجه حل معادله موازنه هزینه-زمان برای فاز تدارکات و ساخت-روش‌های مورد استفاده

روش مورد استفاده	فعالیت
1	A
3	B
3	C
1	D
3	E



# اولین کنفرانس سالانه پژوهش‌های معماری، شهرسازی و مدیریت شهری



The first annual conference of Architecture, Urban planning & Urban management

1	F
3	G
3	H
2	I

## نتیجه حل معادله موازنه هزینه-زمان برای فاز ساخت

شماره گره	زمان وقوع
1	0
2	9
3	47
4	102
5	139
6	147
7	150
مقدار تابع هدف = 6750	

## نتیجه گیری

پس از بررسی الگوریتم‌های مختلف، ویژگی‌ها، قابلیت‌ها و محدودیت‌هایشان و همچنین بررسی مشخصات فازهای مختلف پروژه‌های از نوع EPC این نتیجه به دست آمد که بهتر است برای فاز مهندسی از معادله موازنه هزینه-زمان خطی است. و برای دو فاز دیگر از مدل گسسته استفاده شود. در مثال ارائه شده برای فاز مهندسی علاوه بر اینکه تمامی زمان‌ها و ضرایب هزینه‌ها لحاظ شده‌اند، تمامی اوزان نسبی هر یک از فعالیت‌ها که نمایان‌گر میزان اهمیت آنها در پروژه است، نیز در نظر گرفته شده‌اند. به عبارت دیگر در این مساله، ضرایب هزینه مورد تجدید نظر قرار گرفته‌اند و معیار انتخاب از ضریب هزینه به ضریب هزینه ضرب در وزن فعالیت تغییر یافته است.



# اولین کنفرانس سالانه پژوهش‌های معماری، شهرسازی و مدیریت شهری



The first annual conference of Architecture, Urban planning & Urban management

## منابع

- [1] اشتهاوردیان، افشار ع، عباس نیا ر. 1386. بهینه سازی موازنه هزینه- زمان: استفاده از الگوریتم ژنتیک و منطق فازی در عدم قطعیت هزینه ها. سومین کنفرانس بین المللی مدیریت پروژه، تهران.
- [2] انجمن مدیریت پروژه (PMI). 1382. راهنمای گسترده دانش مدیریت پروژه. ترجمه مجتبی احدپورف میثم آقارضایی. تهران: انتشارات ناقوس؛ چاپ چهارم.
- [3] حاج شیرمحمدی ع. 1383. مدیریت و کنترل پروژه، اصفهان: انتشارات جهاد دانشگاهی دانشگاه صنعتی اصفهان، چاپ هفتم.
- [4] فراهانی م، نوری س. 1384. استاندارد سازی فرآیندها و دانش فنی بخش مهندسی مدیریت پروژه های بزرگ به روش EPC. دومین کنفرانس بین المللی مدیریت پروژه، تهران.
- [5] فرج مشایی م ر. 1384. روش های پیش بینی هزینه نهایی و نتایج زمان بندی پروژه و ارائه مدل آماری ترسیمی برای برآورد آنها. دومین کنفرانس بین المللی مدیریت پروژه، تهران.
- [6] فرج مشایی م ر. 1385. مدیریت پروژه ارزش کسب شده، تهران: شرکت مدیریت توسعه صنایع پتروشیمی، چاپ اول.
- [7] Ahorny J, Elnathan, D. 2003. Project cost management in israel high-tech industry, state of the practice and perceived needs, Italy: Free university of Bozen.
- [8] Azaron A, Tavakkoli-Moghaddam R. 2007. Multi-objective time-cost trade-off in dynamic PERT networks using an interactive approach. European Journal of Operational Research, 180 (3): 1186-1200.
- [9] Ben-Arieh D, Qian L. 2003. Activity-based cost management for design and development stage. International Journal of Production Economics. 83(2): 169-183.
- [10] Brismon JA. 1991. Activity accounting: an activity based costing approach. New York: John Wiley & Sons Inc.
- [11] Chitkara KK. 1998. Construction Project Management. Tata McGraw-Hill Education.
- [12] Cooper R. 2008. The rise of activity based costing part one: what is an activity based cost system?. Journal of cost management. 2(2): 45-54.