

برآورد فاصله ای زمان تکمیل پروژه بر اساس رویکرد شبیه سازی

امین زینال زاده^۱

جعفر حسینی دولاما^۲

دکتر مجید باقرزاده خواجه^۳

چکیده

هدف مقاله حاضر کاربرد رویکردی برای محاسبه زمان تکمیل مسیرهای شبکه پروژه با فعالیت های معین می باشد که بر اساس آن می توان زمان تکمیل پروژه را برآورد کرد. در روش مسیر بحرانی (CPM) زمان فعالیت ها قطعی در نظر گرفته می شود. با توجه به اینکه پیش بینی پیشامدهای آینده به شکل قطعی امکان پذیر نمی باشد روش بازنگری و ارزیابی پروژه (PERT) ابداع شده است که زمان فعالیت ها را احتمالی در نظر می گیرد. در این روش بزرگی واریانس زمان مسیرها می تواند دقت محاسبات را تحت تاثیر قرار دهد که تکنیک شبیه سازی روش مناسبی در این حالت می باشد. در مقاله حاضر یک شبکه برداری نمونه انتخاب می شود و توزیع زمان هر فعالیت با نرم افزار Input Analyzer بر اساس یک سری داده برآورد می شود. برای ارزیابی زیندگی توزیع از سه معیار میانگین خطا، آزمون کای-دوم و کولموگروف-اسمیرنوف (K-S) استفاده می شود. در مرحله بعدی مدل کامپیوتری شبکه در نرم افزار Arena 7.0 ساخته می شود. مدل به تعداد ۱۲۰ بار شبیه سازی می شود و بر اساس آن حداقل تعداد نمونه مورد نیاز برای محاسبه فاصله اطمینان ۹۵٪ تعیین می شود. در نهایت یک فاصله اطمینان برای زمان هر مسیر شبکه پروژه محاسبه می شود و برآوردی برای زمان تکمیل پروژه به دست می آید.

واژه های کلیدی: شبیه سازی، رویکرد شبیه سازی پیشامد گسسته، برنامه ریزی پروژه

۱. کارشناس ارشد مهندسی صنایع (zeinalzadeh1360@yahoo.com)

۲. دانشجوی کارشناسی مهندسی صنایع (jafar_hd62@yahoo.com)

۳. عضو هیئت علمی دانشگاه آزاد اسلامی واحد تبریز

مقدمه

در مدیریت مدرن، سازمانها به عنوان سیستم های باز و پیچیده در نظر گرفته می شوند که با محیط تعامل دارند و اهداف را مطابق با رسالت و طبیعت سازمان پیگیری می کنند. دستیابی به چنین اهدافی مستلزم این است که فعالیت های سازمان در قالب پروژه با اهداف مشخص، برنامه ریزی شوند که سازگار با رسالت پذیرفته شده سازمانی باشد. این مطلب نشان می دهد که مدیریت پروژه به عنوان یک موضوع کلیدی در دنیای مدرن سازمان های خصوصی و دولتی تبدیل شده است (Tavares, 2002, 1).

موفقیت هر پروژه ای کاملاً وابسته به کیفیت برنامه بندی و کنترل فازهای مختلف پروژه است (Suri & Bhushan, 2008, 1030). یک جنبه مهم مدیریت پروژه، برنامه ریزی زمان پروژه به شکل دقیق است. این یک امر مهم در مدیریت پروژه است چونکه در مورد موعد مقرر زمان تکمیل پروژه های کوچک، متوسط و بزرگ تصمیم می گیرد. اعتبار ما به شکل نزدیک با این برنامه ریزی پیوند دارد چون موعد مقرر متعهد شده باید برآورد شود. یک تاثیر مهم دیگر برنامه ریزی زمان پروژه این است اگر پروژه در موعد مقرر تکمیل نشود هزینه های آن متعاقباً افزایش می یابد و در سودآوری پروژه تاثیر می گذارد. همچنین این امر منجر به بار و فشار کاری بیش از حد در اجرای پروژه می شود (Suri et al, 2009, 211).

یک رویکرد پذیرفته شده وسیع برای برنامه ریزی و کنترل پروژه، استفاده از ابزارهای مبتنی بر شبکه مانند روش مسیر بحرانی (CPM)^۱ و روش ارزیابی و بازنگاری پروژه ها (PERT)^۲ می باشد (Lee et al, 2006, 84).

روش مسیر بحرانی لزوماً یک روش دقیق برنامه ریزی نمی باشد. این روش فرض می کند که فعالیت ها دارای زمان قطعی می باشند و زمان فعالیت ها قبل از

^۱ . Critical Path Method

^۲ . Project Evaluation and Review Technique

شروع پروژه مشخص است. اگر برنامه پروژه با واقع گرایی بیشتر نسبت به زمان تنظیم و ارزیابی شود اثربخشی آن در سطح پروژه می تواند به طور قابل توجهی افزایش یابد. برای این منظور باید عدم قطعیت در زمان فعالیت ها را به عنوان نتیجه وضعیت پویای پروژه شناسایی کرد. روش ارزیابی و بازنگری پروژه ها (PERT) گام اول در این راه بود اما نتایج این روش مبتنی بر ادغام رویدادهای شبکه است و نمی تواند همبستگی بین فعالیت ها را مدل کند (Martinez & Ioannou, 1997, 439). در محاسبات پرت برای تعیین تاریخ تکمیل پروژه، واریانس مسیر بحرانی (یا طولانی ترین مسیر پروژه) محاسبه می شود. در حقیقت وقتی از "مسیر طولانی تر" در یک شبکه پرت صحبت می کنیم منظور مسیری است که انتظار می رود طولانی تر باشد. بالا بودن مقادیر انحراف معیار (پخش شدگی زمان) بر روی سایر مسیرها، زیاد بودن تعداد فعالیت هایی که به یک رویداد می رسند و یا تعداد زیاد مسیرهای موازی در شبکه می تواند میزان خطا را افزایش دهد. در شرایطی که میزان خطا قابل چشم پوشی نباشد به جای محاسبات معمولی پرت بر روی شبکه مناسب تر است از روشهای شبیه سازی برای حل شبکه ها استفاده شود (حاج شیر محمدی، ۱۳۷۸، ۳۲۷-۳۳۱).

پیش فرض های اساسی در مدل ارائه شده در مقاله به شرح زیر است:

- فعالیت ها قطعی می باشند؛ یعنی فعالیت های تعیین شده در پروژه همگی انجام می شوند.
- بین فعالیت ها، فقط رابطه پیشینازی از نوع پایان به آغاز قابل تعریف می باشد.
- ارزش تاخیر (حداقل فاصله زمانی بین پایان تا آغاز دو فعالیت پیرو) صفر می باشد.
- داده های کافی در مورد زمان هر فعالیت وجود دارد.
- مدل منطقی ساخته شده در کامپیوتر بر اساس شبکه برداری پروژه می باشد.

در توصیف تاریخچه شبیه سازی چهار دوره مجزا را می توان شناسایی کرد؛ این دوره ها تحت عنوان پیدایش، نوآوری، انقلاب و تکامل اشاره می شوند (Robinson, 2005, 620-621):

• **دوره پیدایش (دهه ۱۹۵۰-۱۹۶۰):** پیشگامان در اواخر دهه ۱۹۵۰ و ۱۹۶۰، اصول شبیه سازی برای توسعه آینده را پایه ریزی کردند. با تولید نسل اولیه کامپیوترها، شبیه سازی دهه ۱۹۵۰ به شکل کد دهی ماشینی توسعه پیدا کرد. معرفی زبان های برنامه نویسی و کامپیوترهای قدرتمندتر و قابل اعتمادتر در دهه ۱۹۶۰ پتانسیل برای توسعه شبیه سازی را به شدت افزایش داد. در این دهه نرم افزارهای تخصصی شبیه سازی اولیه مانند GPSS و SIMSCRIPT توسعه پیدا کردند.

• **دوره نوآوری (دهه ۱۹۷۰):** دهه ۱۹۷۰ یک دوره توسعه و نوآوری پیوسته می باشد. تکنولوژی محاسبات پشرفت می کرد و به همراه آن نرم افزارهای شبیه سازی بهبود می یافتند. زبان های مختلف جدید مانند SLAM و GPSS-H توسعه یافتند. اواخر دهه ۱۹۷۰ میکروکامپیوترهای اولیه تولید شدند. علاوه بر این موضوع، هورین^۱ رساله دکترای خود را در خصوص پتانسیل برای شبیه سازی تعاملی و ویژوال^۲ منتشر کرد. تا این زمان روش تعاملی و گرافیکی کمتر در شبیه سازی مطرح شده بود.

• **دوره انقلاب (دهه ۱۹۸۰):** تا ابتدای دهه ۱۹۸۰، کاربرد تجاری شبیه سازی به خاطر نیاز به سخت افزار گران قیمت و مهارت های محاسباتی متخصصین محدود بود. دو مورد باعث تغییر این وضعیت شد. اولاً میکروکامپیوترهای قدرتمند در سازمانها مورد استفاده قرار گرفتند و ورود IBM به بازار به عنوان یک نمونه

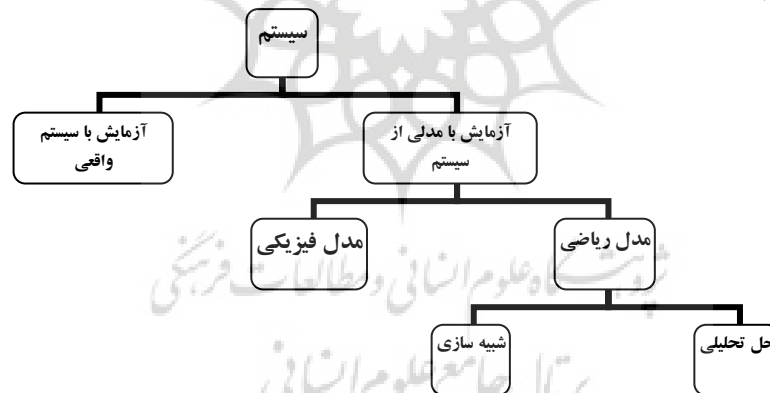
^۱ . Hurrion

. هر نوع نمایش گرافیکی مانند نمودار، شکل، جدول و غیره را می گویند و "بصری" می تواند معادل فارسی آن باشد.

مهم بود. دوماً توسعه نرم افزارهای تعاملی و ویژوال (VIS)^۱ بود که با نرم افزار SEE-WHY در سال ۱۹۷۹ شروع شد. اگرچه VIS باعث راحت تر شدن توسعه مدل نشد اما موجب شد کاربران در فرآیند مدل سازی بیشتر درگیر شوند و مدل‌های ساخت خود را در صورت نیاز استفاده کنند. در آخر دهه ۱۹۸۰، بسته‌های VIS تجاری زیادی مانند WITNESS، HOCUS، GENETIK، CIMAN/CINEMA و ProModel به بازار عرضه شدند.

• **دوره تکامل (دهه ۱۹۹۰ تا به حال):** شروع این دهه همراه با افزایش مستمر قدرت کامپیوترهای شخصی (PC)، کاهش قیمت کامپیوترهای شخصی، کاربرد تکنولوژی ویندوز و البته اینترنت بود. شبیه سازی از مزایای همه این موارد استفاده کرد. کامپیوترهای شخصی قدرتمند باعث شد مدل‌ها با مقیاس بزرگ توسعه داده شوند و در یک زمان معقول اجرا شوند. کاهش قیمت کامپیوتر باعث شد تا کاربرد کامپیوترها در محیط کار و خانه فراگیرتر شود. تکنولوژی ویندوز باعث راحتی کار و تعامل کاربر با کامپیوتر شد.

برای مطالعه یک سیستم روشهای مختلفی وجود دارد که با توجه وضعیت سیستم باید روش مناسب را انتخاب کرد (شکل ۱).



شکل ۱. روشهای مطالعه یک سیستم (Law & Kelton, 1999, 4).

^۱ . Visual Interactive Simulation (VIS)

• **آزمایش با یک سیستم واقعی در مقابل آزمایش با یک مدلی از سیستم:** اگر تغییر فیزیکی برای مطالعه یک سیستم اقتصادی و امکان پذیر باشد احتمالاً انجام چنین کاری خوشایند است. اما اجرای چنین امری به ندرت امکان پذیر است برای اینکه انجام چنین آزمایشاتی معمولاً هزینه بر یا مشکل ساز برای سیستم می باشد. مخصوصاً ممکن است سیستم مورد نظر حتی وجود خارجی نداشته باشد. با توجه به این دلایل معمولاً باید یک مدل نشان دهنده سیستم را ساخت و آن را به عنوان جانشین سیستم مطالعه کرد (Ibid, 4).

• **مدل فیزیکی در مقابل مدل ریاضی:** ساخت مدل فیزیکی برای مطالعه سیستم های مدیریتی یا مهندسی سودمند می باشد. به عنوان مثال می توان به مدل با مقیاس رو-میزی یک سیستم حمل مواد اشاره کرد. اما اکثر مدل های ساخته شده برای چنین اهدافی به شکل مدل ریاضی می باشند که سیستم را به شکل روابط ریاضی و منطقی نشان می دهد و اگر این مدل شناخته شده معتبر باشد می توان با دستکاری آن، تغییرات سیستم را مشاهده کرد (Ibid, 4-5).

• **حل تحلیلی در مقابل شبیه سازی:** زمانیکه یک مدل ریاضی ساختیم باید این مدل بررسی شود تا بدانیم چگونه این مدل می تواند به سوالات مورد علاقه در خصوص سیستمی که معرف آن است پاسخ دهد. اگر مدل به حد کافی ساده باشد ممکن است با استفاده از روابط و مقادیر بتوان به حل تحلیلی دقیق دست یافت. اما بعضی از حل های تحلیلی می توانند به شکل غیر متعارفی پیچیده باشند؛ این حل ها نیاز به محاسبات فراوان دارند به عنوان مثال می توان به معکوس کردن ماتریس های بزرگ اشاره کرد که فرمول های تحلیلی شناخته شده ای دارند. اگر حل تحلیلی برای یک مدل ریاضی وجود دارد و محاسبات کارایی برای حل آن وجود دارد معمولاً مطالعه مدل با این روش نسبت به شبیه سازی اولویت دارد. اما بسیاری از سیستم ها خیلی پیچیده می باشند و در نتیجه مدل ریاضی معتبر آن سیستم ها خودشان پیچیده می باشند که باعث می شود حل تحلیلی برای آنها وجود نداشته

باشد. در این حالت، مدل باید بوسیله شبیه سازی حل شود یعنی مدل را بر اساس ورودی بر مبنای اعداد تغییر داد و تاثیر حاصل بر معیارهای خروجی عملکرد مشاهده گردد (Ibid, 5).

در این قسمت تعدادی از واژه های متداول در شبیه سازی که در این مقاله مورد استفاده شده است به کمک منابع علمی تعریف می شود.

• **نهاد^۱:** «نهاد معرف یک موجودیت است که باید به طور آشکار تعریف شود». نهاد می تواند متحرک باشد یعنی در سیستم حرکت کند یا می تواند ایستا باشد که در آن حالت به نهادهای دیگر سرویس می دهد. به عنوان مثال در یک بانک، تحویلدار یک نهاد ایستا و مشتری یک نهاد متحرک می باشد (Banks, 1999, 7).

• **مدل مفهومی^۲:** «به نمایش نهاد مساله مورد مطالعه به شکل ریاضی / منطقی / کلامی، مدل مفهومی گفته می شود» (Sargent, 2009, 164).

• **مدل کامپیوتری^۳:** «به ساخت مدل مفهومی در کامپیوتر، مدل کامپیوتری می گویند». مدل مفهومی در طی فاز آنالیز و مدل سازی توسعه داده می شود مدل کامپیوتری طی فاز برنامه نویسی کامپیوتری و اجرا توسعه داده می شود و نتایج با اجرای مدل در کامپیوتر در فاز اجرا استنباط می شود (Ibid, 164).

• **متغیرهای وضعیت سیستم^۴:** «به مجموعه تمام اطلاعاتی مورد نیاز برای تعیین اتفاقات داخل سیستم در یک سطح کافی (یعنی خروجی مطلوب حاصل شود) در زمان معین، متغیرهای وضعیت سیستم می گویند». تعیین متغیرهای وضعیت سیستم بر اساس اهداف تحقیق می باشد بنابراین متغیرهای وضعیت برای دو سیستم فیزیکی یکسان ممکن است متفاوت باشد (Banks, 1999, 6). زمان لازم برای

1 . Entity

2 . Conceptual Model

3 . Computerized Model

4 . System State Variables

انتقال یک نهاد در سیستم، زمان انتظار یک نهاد در صف و یا در سیستم، نمونه‌هایی از متغیرهای وضعیت سیستم می‌باشد.

• **پیشامد:** «اتفاقی است که وضعیت سیستم را تغییر می‌دهد» (Ibid, 1). به عنوان مثال ورود مشتری به بانک، تخلیه بار یک کامیون نمونه‌هایی از پیشامد می‌باشد.

• **مدل شبیه سازی پیشامد گسسته^۱:** «در این نوع شبیه سازی، متغیرهای وضعیت سیستم در زمانهای گسسته تغییر می‌کنند که پیشامدها اتفاق می‌افتند» (Ibid, 1). فرآیندهای دنیا به شکل پیوسته اتفاق می‌افتند اما برای آنالیز این فرآیندها برای کاهش حجم اطلاعات می‌توان فقط لحظه‌های مهم را در نظر گرفت. به عنوان مثال برای آنالیز حرکت یک قطعه از نقطه A به B می‌توان دو پیشامد ترک قطعه از نقطه اول و رسیدن قطعه به نقطه دوم را به جای بررسی حرکت پیوسته قطعه در نظر گرفت. در واقع در مدل سازی پیشامد گسسته، یک سیستم به صورت زنجیره ای از عملیات (رسیدن، ترک، انتظار، تاخیر، استفاده از منبع و غیره) نشان داده می‌شود که روی انواع نهادها (مشتری، قطعه، کامیون و غیره) انجام می‌شود.

• **اعتبار مدل:** برای تعریف اعتبار یک مدل مفهومی می‌توان چنین گفت آیا تئوری‌ها و فرضیات مدل مفهومی صحیح می‌باشد و نمایش مدل برای نهاد مساله منطقی می‌باشد. در مورد اعتبار و صحت مدل کامپیوتری می‌توان گفت آیا کاربرد مدل مفهومی و ایجاد برنامه کامپیوتری آن صحیح می‌باشد (Sargent, 2009, 164).

• **شبیه سازی:** «تقلید فرآیند یا سیستم دنیای واقعی طی زمان را شبیه سازی می‌گویند». شبیه سازی شامل تولید تاریخچه مصنوعی از سیستم می‌باشد و این تاریخچه برای تفسیر مشخصات اجرایی سیستم واقعی نشان داده شده، استفاده می‌شود (Banks, 1999, 1).

¹ . Discrete-Event Simulation Model

² . Model Validation

اعتبار نتایج به دست آمده از شبیه سازی رابطه مستقیمی با اعتبار و صحت مدل مفهومی و کامپیوتری دارد. بنابراین یکی از کارهای مهم در شبیه سازی تعیین اعتبار مدل می باشد. برای انجام این کار رویکردها و تکنیک های مختلفی وجود دارد که با توجه به ابعاد مدل، توسعه دهندگان مدل و کاربران باید رویکرد و تکنیک مناسب را انتخاب کرد. نظر به اینکه در این مقاله یک مدل توسعه داده شده است به طور خلاصه به رویکردها و تعدادی از تکنیک های تعیین اعتبار به طور خلاصه اشاره می شوند. چهار رویکرد اساسی برای تعیین اعتبار مدل به شرح زیر وجود دارد (Sargent, 2009, 163-164):

- یک رویکرد متداول در شبیه سازی، تعیین اعتبار و صحت مدل با استفاده از تیم توسعه دهنده مدل می باشد. این تصمیم بر اساس نتایج آزمون ها و ارزیابی های مختلف در فرآیند توسعه مدل گرفته می شود.
- اگر تیم توسعه دهنده مدل بزرگ نباشد کاربران می توانند به جای توسعه دهنده در مورد اعتبار مدل تصمیم می گیرند که یک رویکرد بهتری می باشد.
- یک رویکرد دیگر با نام «اعتبار و صحت مستقل»^۱ (IV&V) می باشد که در آن یک طرف سوم که مستقل از توسعه دهنده و کاربر/ اسپانسر می باشد مسئولیت تعیین اعتبار مدل را به عهده می گیرد. این رویکرد زمانی مفید است که مدل ساخته شده در ابعاد بزرگ و توسعه دهندگان مدل شامل چند تیم باشد. این رویکرد باعث افزایش اعتبار مدل به خصوص در پروژه ها با هزینه های بالا می شود.
- رویکرد آخر تعیین اعتبار مدل با استفاده از یک مدل نمره دهنده می باشد. برای تعیین اعتبار مدل تکنیک های مختلفی وجود دارد که در ادبیات شبیه سازی در منابع مختلف به طور مفصل در خصوص این تکنیک ها صحبت شده است. در این قسمت به تعدادی از این تکنیک ها اشاره می شود (Ibid, 166).

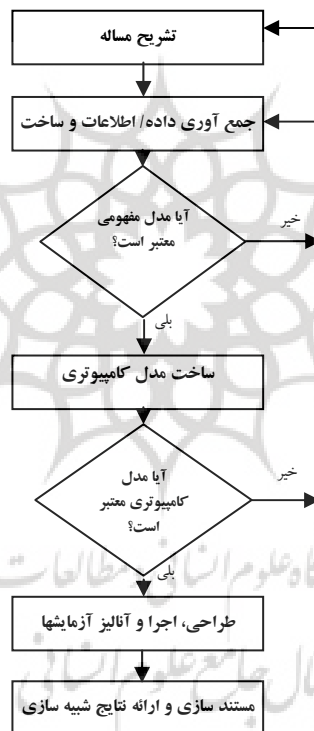
¹ . Independent Verification and Validation

- انیمیشن (گرافیک): رفتار عملیاتی مدل طی زمان با استفاده از گرافیک نشان داده می شود.
- مقایسه با مدل های دیگر: نتایج مختلف مدل با نتایج سایر مدل های معتبر مقایسه می شود.
- آزمون های تبهگنی: وضعیت سیستم با انتخاب مقادیر مناسب از ورودی های داخلی مدل مطالعه می شود. به عنوان مثال زمانیکه نرخ ورود از نرخ سرویس بزرگتر باشد آیا میانگین تعداد در صف افزایش می یابد.
- تعیین اعتبار با داده های گذشته: اگر داده هایی از گذشته وجود دارد بخشی از داده ها برای ساخت مدل و سایر داده ها برای آزمون و مقایسه رفتار مدل با سیستم استفاده می شود.
- اعتبار ظاهری: از افراد آگاه به سیستم درباره منطقی بودن مدل و نتایج آن پرسیده می شود.

ابزار و روش

تشریح مساله: یکی از فعالیت های مهم در برنامه ریزی پروژه، محاسبه زمان تکمیل پروژه می باشد. هر پروژه را بر حسب فعالیت های تشکیل دهنده و روابط پیشینازی بین آنها می توان به شکل یک شبکه برداری نشان داد. هر شبکه دارای حداقل یک مسیر می باشد که هر مسیر متشکل از یک یا چند فعالیت می باشد. با توجه به اینکه ارزش تاخیر بین فعالیت های پیشیناز صفر می باشد (پیش فرض مقاله) بنابراین زمان هر مسیر برآوردی از مجموع زمان فعالیت های تشکیل دهنده آن مسیر می باشد. زمان هر فعالیت یک متغیر تصادفی می باشد در نتیجه زمان هر مسیر شبکه نیز یک متغیر تصادفی می باشد. در روش پرت کلاسیک بر اساس روشهای آماری، زمان مورد انتظار (مقدار میانگین) هر فعالیت محاسبه می شود و با استفاده از این مقادیر متوسط مطابق روش CPM محاسبات زمانی انجام می شود

و مسیر با طولانی ترین زمان به عنوان مسیر بحرانی انتخاب می شود و زمان این مسیر به عنوان زمان تکمیل پروژه انتخاب می شود. در این روش واریانس زمان مسیرهای پروژه برای محاسبه زمان تکمیل پروژه در نظر گرفته نمی شود و در صورتی که این واریانس ها زیاد باشند مسیرهای دیگر نیز قابلیت تبدیل به مسیر بحرانی را دارند در نتیجه میزان خطا افزایش می یابد. در این مقاله با رویکرد شبیه سازی برای تمام مسیرهای پروژه زمان تکمیل برآورد می شود. نظر به اینکه برآورد هر پارامتر به شکل نقطه ای میزان خطای برآورد را افزایش می دهد در مقاله حاضر برای زمان تمام مسیرها یک برآورد فاصله ای با اطمینان ۹۵٪ محاسبه می شود. شکل (۲) خلاصه فعالیت های لازم برای انجام یک پروژه شبیه سازی را نشان می دهد.



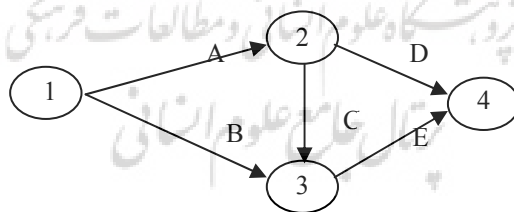
شکل ۲. رویکرد هفت قدمی برای اجرای موفقیت آمیز یک مطالعه شبیه سازی

(Source: Liyanage, 2005, 4.1)

جمع آوری داده ها: یکی از قدم های اولیه در شبیه سازی، جمع آوری انواع داده های مورد نیاز برای مدل سازی می باشد. در جمع آوری داده ها معمولاً دو حالت وجود دارد:

- امکان جمع آوری و دستیابی به داده وجود دارد؛ به عنوان مثال سیستم مورد مطالعه وجود خارجی دارد و جمع آوری داده هزینه بر و یا مخرب نمی باشد. در جمع آوری داده ها از یک سیستم باید توجه شود که منبع مورد استفاده معتبر باشد و همچنین داده های مناسب با اهداف مدل جمع آوری شود. به عنوان مثال در پروژه ای هدف جمع آوری داده های مربوط به زمان پرکنی یک ماشین می باشد و این داده ها در کارخانه از گذشته ثبت شده است ولی باید توجه کرد این داده ها ممکن است شامل زمان خرابی و تعمیر ماشین نیز باشد در این صورت این داده ها مناسب نمی باشد.

- امکان جمع آوری و دستیابی به داده وجود ندارد؛ به عنوان مثال سیستم هنوز ایجاد نشده است و یا جمع آوری داده ها بسیار هزینه بر می باشد. در این حالت پیشنهاد و راه حل های محدودی وجود دارد. برای مثال در خصوص توزیع زمان عملیات یک ماشین تولیدی می توان از طراحان، سازندگان و یا فروشندگان ماشین اطلاعاتی جمع آوری کرد و یا می توان با استناد به نظر کارشناسان و مقایسه با فرآیندهای مشابه توزیع مناسب (توزیع مثلثی برای زمان فعالیت، توزیع نمایی برای زمان خرابی) برای پارامتر مجهول برآورد کرد و با آنالیز روی این توزیع ها تاثیر آن بر مدل را مشاهده کرد.



شکل ۳. داده های یک پروژه نمونه

در مقاله حاضر، لیست فعالیت های یک پروژه، روابط پیشینازی و داده های کافی در خصوص زمان هر فعالیت وجود دارد (شکل ۳). در این قسمت با استفاده از نرم افزار Input Analyzer که محصول جانبی نرم افزار Arena 7.0 می باشد برای هر فعالیت توزیع مناسب برآورد می شود. لازم به ذکر است می توان زمان فعالیت ها در شبیه سازی را قطعی در نظر گرفت ولی در این حالت نتایج حاصل از تکرارهای مختلف شبیه سازی یکسان خواهد بود و در ضمن با برآورد نقطه ای خطای محاسبات نیز افزایش می یابد. برای انتخاب توزیع مناسب در نرم افزار سه آزمون (معیار) وجود دارد که با در نظر گرفتن نتایج این معیارها و تعداد داده های ورودی، توزیع مناسب تئوری (مانند نرمال، مثلثی) و یا تجربی انتخاب می شود. این معیارها عبارتند از (Kelton et al, 2001, 150-151):

- میانگین مربع خطا^۱ اولین معیار می باشد. این معیار میانگین مربع خطا برای هر سل هیستوگرام می باشد که خطا تفاضل بین فراوانی نسبی مشاهدات هر سل با فراوانی نسبی تابع توزیع برازنده می باشد. بزرگی این معیار نشان دهنده توزیع برازنده نامناسب می باشد.
- دو معیار بعدی، آزمون های توان دوم کای (خی دو)^۲ و آزمون کولموگروف-اسمیرنوف (K-S)^۳ می باشند. نرم افزار برای هر یک از این آزمونها یک P محاسبه می کند که مقدار آن بین ۰ و ۱ می باشد. مقدار P بزرگتر نشان دهنده برازندگی بهتر توزیع می باشد. اگر مقدار P برای یک یا چند توزیع تئوری عدد نسبتاً بزرگی (۰/۱ و یا بزرگتر) باشد می توان این توزیع ها را با اطمینان بالا به عنوان برآورد استفاده کرد و اگر این عدد کوچک باشد (تعداد داده ها کم باشد) توزیع های تجربی نرم افزار برآورد بهتری ارائه می دهند.

^۱ . Mean Square Error

^۲ . Chi-Square goodness-of-fit hypothesis test

^۳ . Kolmogorov-Smirnov goodness-of-fit hypothesis test

در نرم افزار برای هر فعالیت ۵۰۰ داده تصادفی برای زمان وارد می شود. با بررسی سه معیار محاسبه شده برای هر فعالیت، مناسبترین توزیع انتخاب می شود. جدول (۱) نتایج معیارها برای توزیع انتخابی هر فعالیت را نشان می دهد.

جدول ۱. نتایج حاصل از آزمون زیندگی برای زمان فعالیت ها

آزمون فعالیت	نوع توزیع برآورد شده	میانگین مربع خط	توان دوم - کای (p-value)	K-S (p-value)
A	NORM(11.9, 1.01)	0.001189	0.427	> 0.15
B	TRIA(10.1, 13, 16)	0.002555	0.459	> 0.15
C	TRIA(4, 5.57, 7)	0.002202	0.199	> 0.15
D	NORM(3.01, 0.499)	0.001302	0.329	> 0.15
E	NORM(5.49, 0.296)	0.001577	0.389	> 0.15

منبع: نتایج حاصل از اجرای نرم افزار Input Analyzer

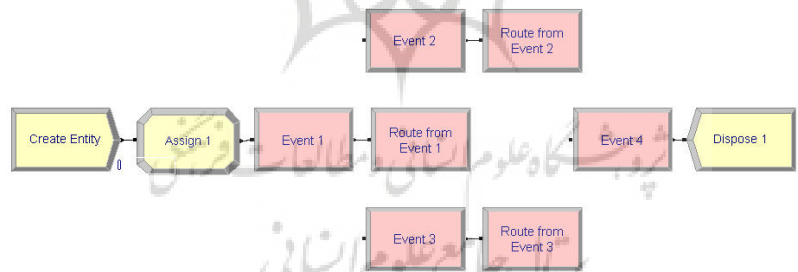
ساخت مدل کامپیوتری: ساخت مدل کامپیوتری، مهم ترین و حساس ترین قسمت مقاله می باشد. این مدل به کمک شکل (۳) ساخته می شود که به نوعی می توان مدل مفهومی این تحقیق نام برد. این مدل شامل سه قسمت اصلی می باشد:

- تعریف و ایجاد نهادها: در هر مدل شبیه سازی یک یا چند نوع نهاد متناسب با موجودیت های مورد مطالعه تعریف می شوند که مقدار متغیرهای وضعیت در سیستم بر اساس موقعیت این نهادها در مدل شبیه سازی محاسبه می شوند. در مقاله حاضر هدف محاسبه یک فاصله اطمینان برای زمان تکمیل هر مسیر می باشد بنابراین برای هر مسیر یک نوع نهاد تعریف می باشد و به ترتیب تحت عنوان نهاد مسیر ۱، مسیر ۲ و مسیر ۳ نام گذاری می شوند. باید توجه شود تعداد نهاد ایجاد شده از هر نوع، بستگی به سیاست شبیه سازی و اطمینان مورد نظر می باشد که در طراحی آزمایش (بخش ۶-۴) بحث می شود.
- ترک نهادها از سیستم: نهادها با اجرای شبیه سازی در سیستم ایجاد می شوند که هر نهاد ایجاد شده باید به کمک ماژول ترک، از سیستم خارج شوند.

• ساخت اجزای شبکه: برای ساخت یک شبکه برداری در نرم افزار دو فعالیت عمده انجام می شود:

۱- نمایش فعالیت های پروژه: هر فعالیت در شبکه برداری به کمک یک بردار نشان داده می شود که دارای یک رویداد آغاز و پایان است. در این مدل کامپیوتری نیز مطابق با این منطق، به تعداد رویدادهای شبکه ایستگاه طراحی می شود؛ ماژول ایستگاه محل منطقی یا فیزیکی یک نهاد در سیستم را نشان می دهد. سپس به کمک دیتا ماژول زنجیره، هر سه مسیر شبکه تعریف می شود که در واقع روابط پیشینازی مشخص می شوند. در مرحله بعدی به کمک ماژول مسیر مشخص می شود که هر نهاد از یک رویداد به رویداد بعدی طبق مسیرهای مشخص شده در زنجیره حرکت بکند که در واقع بردارهای شبکه یا همان فعالیت های شبکه شکل می گیرند.

۲- ورود زمان برای هر فعالیت: مقدار زمان مورد نیاز برای حرکت یک نهاد از رویداد آغاز یک فعالیت به رویداد پایان آن فعالیت (طول بردار) را می توان زمان فعالیت تعریف کرد. در مدل کامپیوتری برای هر نهاد طبق این مفهوم، صفتی به اسم زمان انتقال تخصیص داده می شود و مقادیر این صفت بر اساس داده های جدول (۱) و متناسب با ایستگاهها و مسیرهای معرف فعالیت های شبکه وارد می شود.



شکل (۴). مدل کامپیوتری شبکه برداری

شکل (۴) مدل کامپیوتری شبکه‌برداری پروژه نمونه را در نرم‌افزار Arena 7.0 نشان می‌دهد. اگر در این مدل برای صفت زمان انتقال، اعداد ثابت به جای توزیع‌های احتمالی وارد شود نتایج تکرارهای مختلف شبیه‌سازی کاملاً یکسان و سازگار با نتایج نرم‌افزارهای کنترل پروژه خواهد بود که به نوعی اعتبار مدل ساخته شده را نشان می‌دهد. در ضمن نتایج به دست آمده بر اساس مقادیر احتمالی نیز اعدادی منطقی و قابل‌تصور می‌باشد.

طراحی، اجرا، آنالیز آزمایش‌ها و محاسبات: قبل از اجرای شبیه‌سازی، مدل ساخته شده از نظر وجود خطا در ساختار منطقی مدل در نرم‌افزار تست می‌شود. با توجه به نبود مشکل، آزمایش‌های مورد نظر طراحی و اجرا می‌شوند. در این مرحله تعداد ۱۲۰ نهاد به کمک یک تابع توزیع گسسته ایجاد می‌شود که نهادها را با احتمال مساوی به یکی از سه مسیر موجود در شبکه می‌فرستد. در پایان شبیه‌سازی ۴۷ نهاد از مسیر ۱ (فعالیت‌های A, D)، ۴۲ نهاد از مسیر ۲ (فعالیت‌های A, C, E) و ۳۱ نهاد از مسیر ۳ (فعالیت‌های B, E) عبور می‌کنند. قابل ذکر است نهادها با احتمال مساوی به یکی از سه مسیر موجود در شبکه وارد می‌شوند بنابراین می‌توان انتظار داشت با افزایش تکرارها، تعداد نهادهای عبوری سه مسیر به هم نزدیک بشوند. جدول (۲) زمان تکمیل مسیرهای پروژه در طول تکرارهای مختلف شبیه‌سازی را نشان می‌دهد.

جدول ۲. زمان تکمیل مسیرهای مختلف پروژه بر حسب روز

مسیر ۳ (B-E)		مسیر ۲ (A-C-E)		مسیر ۱ (A-D)	
۱۸/۲۷	۱۰/۱۱	۲۳/۱۸	۲۲/۰۲	۱۳/۷۹	۱۴/۹۴
۱۷/۳۰	۲۰/۵۸	۲۲/۸۶	۲۶/۹۹	۱۳/۸۶	۱۴/۶۲
۲۰/۹۴	۱۷/۰۴	۲۲/۶۰	۲۱/۴۰	۱۳/۵۸	۱۳/۸۳
۱۹/۵۲	۱۸/۱۸	۲۲/۵۴	۲۲/۶۹	۱۶/۴۹	۱۳/۴۳
۱۸/۰۶	۱۸/۳۱	۲۴/۴۴	۲۴/۴۴	۱۳/۶۹	۱۴/۵۳
۲۰/۴۹	۱۸/۷۵	۲۴/۱۹	۲۵/۸۲	۱۴/۰۰	۱۵/۹۴
۱۸/۸۳	۱۸/۷۲	۲۲/۹۴	۲۴/۷۵	۱۴/۲۵	۱۳/۱۴
-	۲۱/۰۶	۲۲/۵۶	۲۲/۳۳	۱۴/۳۰	۱۳/۸۵
-	۱۵/۹۷	۲۴/۲۶	۲۱/۷۷	۱۴/۶۵	۱۳/۱۴
-	۱۷/۶۹	۲۳/۲۴	۲۳/۵۶	۱۴/۳۷	۱۴/۷۲
-	۱۷/۷۹	۲۳/۳۱	۲۴/۰۸	۱۴/۵۱	۱۴/۱۹
-	۱۹/۹۹	۲۳/۸۹	۲۴/۲۰	۱۴/۰۲	۱۴/۲۳
-	۱۶/۵۹	۲۳/۰۲	۲۲/۸۶	۱۳/۲۲	۱۵/۸۰
-	۱۸/۳۷	۲۲/۱۰	۲۲/۷۶	۱۳/۵۳	۱۴/۱۳
-	۲۰/۵۱	۲۲/۲۶	۲۲/۹۷	۱۵/۲۱	۱۴/۶۰
-	۱۸/۳۴	۲۳/۲۲	۲۲/۸۱	۱۳/۰۱	۱۵/۰۷
-	۱۶/۸۱	۲۱/۴۳	۲۱/۰۹	۱۶/۶۸	۱۵/۶۵
-	۱۹/۱۴	۲۲/۴۵	۲۲/۱۱	۱۶/۳۷	۱۳/۵۱
-	۱۸/۳۰	-	۲۳/۴۰	۱۶/۲۲	۱۶/۵۷
-	۱۶/۵۹	-	۲۲/۸۹	۱۶/۱۷	۱۶/۳۳
-	۱۵/۶۱	-	۲۲/۵۷	۱۳/۷۸	۱۲/۱۸
-	۱۷/۶۶	-	۲۲/۱۳	۱۵/۲۴	۱۶/۲۱
-	۱۹/۴۲	-	۲۳/۹۳	۱۵/۹۰	۱۵/۲۷
-	۱۹/۸۷	-	۲۱/۸۵	-	۱۵/۲۷

منبع: نتایج حاصل از اجرای شبیه سازی به کمک نرم افزار Arena 7.0

میانگین و انحراف معیار زمان هر مسیر به کمک داده های جدول (۱) محاسبه می شود. آماره هر مسیر با اندیس شماره مسیر مشخص می شود.

$$\bar{X}_1 = 14.64, S_1 = 1.13$$

$$\bar{X}_2 = 23.09, S_2 = 1.17$$

$$\bar{X}_3 = 18.55, S_3 = 1.47$$

در این قسمت یک فاصله اطمینان برای پارامتر زمان متوسط تکمیل هر مسیر (μ) محاسبه می شود. اگر جامعه مورد مطالعه دارای توزیع نرمال باشد و یا تعداد نمونه اولیه بزرگ باشد ($n \geq 30$) تعداد نمونه مورد نیاز برای محاسبه فاصله اطمینان با قطعیت $100\%(1-\alpha)$ با استفاده از رابطه (۱) محاسبه می شود.

$$n = \left(\frac{Z_{\frac{\alpha}{2}} \times \sigma}{e} \right)^2 \quad (1)$$

$Z_{\frac{\alpha}{2}}$: نقطه ای از منحنی نرمال استاندارد که مساحت سمت راست آن $\frac{\alpha}{2}$ می باشد.
 σ : انحراف معیار جامعه می باشد که S به عنوان برآوردی از آن استفاده شده است.

e: حد کثر خطای برآورد می باشد. منظور از خطا در اینجا $|\mu - \bar{X}|$ می باشد.
 در مقاله حاضر قطعیت ۹۵٪ ($\alpha = 0.05$) و حداکثر خطا یک واحد ($e=1$) در نظر گرفته می شود. تعداد نمونه مورد نیاز برای هر مسیر با رابطه (۱) برابر است با:

$$n_1 = \left(\frac{1.96 \times 1.13}{1} \right)^2 = 4.9$$

$$n_2 = \left(\frac{1.96 \times 1.17}{1} \right)^2 = 5.25$$

$$n_3 = \left(\frac{1.97 \times 1.47}{1} \right)^2 = 8.3$$

بنابراین تعداد صحیح تکرار برای مسیر اول ۵ بار، مسیر دوم ۶ بار و مسیر سوم ۹ بار می باشد که نیازی به تکرار بیشتر نمی باشد.

اگر توزیع جامعه مجهول باشد ولی اندازه نمونه بزرگ باشد ($n \geq 30$) با استفاده از رابطه (۲) می توان یک برآورد فاصله ای با قطعیت $100\%(1-\alpha)$ برای پارامتر μ انجام داد.

$$\bar{X} - Z_{\frac{\alpha}{2}} \frac{S}{\sqrt{n}} < \mu < \bar{X} + Z_{\frac{\alpha}{2}} \frac{S}{\sqrt{n}} \quad (2)$$

بنابراین یک فاصله اطمینان برای زمان تکمیل مسیرهای مختلف پروژه به شکل زیر می باشد:

$$14.64 - 1.96 \times \frac{1.13}{\sqrt{47}} < \mu < 14.64 + 1.96 \times \frac{1.13}{\sqrt{47}} \Rightarrow 14.32 < \mu < 14.96$$

$$23.09 - 1.96 \times \frac{1.17}{\sqrt{42}} < \mu < 23.09 + 1.96 \times \frac{1.17}{\sqrt{42}} \Rightarrow 22.74 < \mu < 23.45$$

$$18.55 - 1.96 \times \frac{1.47}{\sqrt{31}} < \mu < 18.55 + 1.96 \times \frac{1.47}{\sqrt{31}} \Rightarrow 18.03 < \mu < 19.06$$

یعنی با اطمینان ۹۵٪ می توان گفت میانگین زمان تکمیل مسیر ۱ در فاصله (14.32, 14.96)، مسیر ۲ در فاصله (22.74, 23.45) و مسیر ۳ در فاصله (18.03, 19.06) قرار دارد.

نتایج و بحث

در مقاله حاضر برای محاسبه زمان تکمیل هر مسیر، مدل ساخته شده بر اساس شبکه برداری می باشد علت این امر تعداد تعداد ماژول های کمتر مورد نیاز برای طراحی شبکه برداری می باشد. اگر هدف بررسی وضعیت هر فعالیت از نظر زمان تکمیل و بحرانی بودن باشد می توان از ساختار شبکه گرهی استفاده کرد که برای این منظور لازم است علاوه بر ماژول های به کار رفته، یک ماژول فرایند برای نشان دادن هر فعالیت به مدل اضافه شود. با کاربرد شبیه سازی می توان زمان تکمیل مسیرهای پروژه را به شکل فاصله ای برآورد کرد. نتیجه محاسبات فاصله

اطمینان برای مسیرها نشان می دهد که کران پایین مسیر دوم (۲۲/۷۴) از کران بالای مسیر اول (۱۴/۹۶) و مسیر سوم (۱۹/۰۶) بزرگتر می باشد بنابراین با در نظر گرفتن انحراف معیار مسیرها، با قطعیت ۹۵٪ می توان انتظار داشت که زمان تکمیل مسیر دوم از سایر مسیرها بزرگتر می باشد. مسیر دوم به عنوان مسیر بحرانی انتخاب می شود که زمان تکمیل پروژه را تعیین می کند یعنی می توان انتظار داشت که زمان تکمیل پروژه در فاصله (۲۳/۴۵ و ۲۲/۷۴) قرار دارد. در ضمن با معلوم بودن میانگین و انحراف معیار مسیرها، می توان احتمال تکمیل مسیرها در زمان های مختلف را بررسی کرد. جدول (۳) خلاصه نتایج به دست آمده از شبیه سازی را نشان می دهد.

جدول (۳). نتایج شبیه سازی

مسیر ۳ (B-E)	مسیر ۲ (A-C-E)	مسیر ۱ (A-D)	پارامتر / مسیر
۳۱	۴۲	۴۷	تعداد نمونه (n)
۱۸/۵۵	۲۳/۰۹	۱۴/۶۴	میانگین زمان تکمیل (روز)
۱/۴۷	۱/۱۷	۱/۱۳	انحراف معیار
٪۹۵	٪۹۵	٪۹۵	قطعیت
۱	۱	۱	حد کثر خطای محاسبات (روز)
۹	۶	۵	حداقل حجم نمونه لازم
۰/۵۲	۰/۳۵	۰/۳۲	نصف فاصله اطمینان
۱۹/۰۶	۲۳/۴۵	۱۴/۹۶	کران بالای فاصله اطمینان
۱۸/۰۳	۲۲/۷۴	۱۴/۳۲	کران پایین فاصله اطمینان

منابع

- حاج شیر محمدی، علی (۱۳۷۸)، مدیریت و کنترل پروژه، جهاد دانشگاهی واحد صنعتی اصفهان، مرکز انتشارات، نوبت چهارم.
- حاجی نژاد علی، محمد قدوسی، داریوش مرادی نژاد، نیما همتی، روزبه اخلاقی، الناز امانی، جزوه آموزشی راهنمای نرم افزار Arena، گروه نرم افزاری دانشگاه علم و صنعت.
- Banks, Jerry (1999), DISCRETE EVENT SIMULATION, initially published in the Proceedings of the Winter Simulation Conference, pp. 7-13.
- Kelton, W. David, Randall P. Sadowski & Deborah A. Sadowski (2001), Simulation with Arena, McGraw-Hill; second edition.
- Law, Averill M. & W. David, Kelton (1994), Simulation, Modeling and Analysis, McGraw-Hill Science/Engineering/Math; 3 edition.
- Lee, Sang Hyun, Feniosky, Pen~a-Mora & Moonseo Park (2006), "Dynamic planning and control methodology for strategic and operational construction project management", Automation in Construction 15, pp. 84 – 97.
- Liyanage, K.N.H.P. (2005), Methodologies for Data Collection and Model Documentation in Computer Simulation, Proceedings of the International Conference on Computer and Industrial Management, ICIM, Bangkok, Thailand, pp. 4-1 – 4-6.
- Martinez, Julio C. & Photios G. Ioannou (1997), "State-Based Probabilistic Scheduling Using STROBOSCOPE's CPM Add-On", Proceedings, Construction Congress V, pp. 438-445.
- Raymond, H. Myers & Ronald E. Walpole (1978), Probability and Statistics for Engineering and Scientists, Macmilan Publishing Co; Inc; second eition.

- Robinson, S (2005), Discrete-event simulation: from the pioneers to the present, what next?, Journal of the Operational Research Society 56, pp. 619-629.
- Sargent, Robert G. (2009), Verification and Validation of Simulation Models, Proceedings of the Winter Simulation Conference, pp. 162-176.
- Suri, P.K. & Bhushan, Bharat (2008), Simulator for Optimization of Software Project Cost and Schedule, Journal of Computer Science 4 (12), pp. 1030-1035.
- Suri, P.K., Bhushan, Bharat & Ashish, Jolly (2009), Time Estimation for Project Management Life Cycle: A Simulation Approach, International Journal of Computer Science and Network Security, VOL.9 No.5, pp. 211-215.
- Tavares, L.V. (2002), A review of the contribution of Operational Research to Project Management, European Journal of Operational Research 136, pp. 1-18.

