

# استفاده از روش پویایی های سیستم جهت مدلسازی عملکرد پروژه با تمرکز بر مدیریت هزینه

الهام حسن نایی<sup>۱</sup> و بهداد کیانی<sup>۲</sup>

<sup>۱</sup> دانشجوی کارشناسی ارشد - دانشکده مهندسی صنایع - دانشگاه علم و صنعت - Eliwell2000@Yahoo.com

<sup>۲</sup> استادیار پژوهشکده سبز دانشگاه علم و صنعت - Kiyani@iust.ac.ir

## چکیده

روش پویایی های سیستم<sup>۱</sup> (SD) هم اکنون نزدیک به سه دهه است که به منظور تحلیل و بهبود عملکرد پروژه ها بخصوص پروژه های بزرگ مقیاس به کار رفته است. کاربردهای متعدد و مدل‌های جدید و بهبود یافته و ارزش ایجاد شده برای مشتریان حاکی از موفقیت این روش برای مدلسازی پویایی های پروژه می باشد؛ پویایی هایی که نمی توانند بطور شایسته ای توسط ابزارهای سنتی مدیریت پروژه، کنترل و مدلسازی شوند. تحقیقات و کاربردهای رایج SD در مدیریت پروژه را می توان در حوزه هایی همچون تحلیل پروژه پس از اتمام برای حل و فصل مناقشات و یادگیری از تجربیات؛ تخمین زمان و هزینه پروژه و ارزیابی ریسک (مرحله برنامه ریزی)؛ مدیریت تغییر، مدیریت ریسک و کنترل پروژه (مرحله اجرا) و (۴) آموزش مدیریت پروژه طبقه بندی کرد. این تحقیق با مدلسازی ساختارهای بازخور پایه ای برگرفته از ادبیات موضوع و با لحاظ نمودن اثر تغییرات و خطاها در پروژه، درصد مدلسازی پویایی های ناشی از ساختار هزینه های پروژه می باشد که کمتر در مقالات مرتبط بطور صریح مورد اشاره قرار گرفته است. پس از شرح ساختار مدل، شبیه سازی آن در مورد یک مثال و ارائه برخی سیاست های مدیریت هزینه جهت بهبود عملکرد پروژه ارائه خواهد شد.

**کلمات کلیدی:** مدیریت پروژه، پویایی های سیستم، هزینه های پروژه، شبیه سازی، طراحی و تحلیل سیاست

## مقدمه

مدیریت پروژه یکی از مهمترین حوزه های مدیریت است که هنوز درک و تسلط کاملی بر تمام جنبه های آن وجود ندارد. تاخیرات و سرریزهای هزینه در پروژه های عمرانی، دفاع، تولید نیرو، هوافضا، توسعه محصول، نرم افزار و ...، دیگر استثنا نیستند بلکه بصورت هنجار درآمدی اند. مدیریت پروژه از مشکلات متعدد هزینه ای و زمانبندی رنج می برد. همانطور که در لینیز<sup>۲</sup> و همکاران (۲۰۰۱) اشاره شده

<sup>۱</sup> System Dynamics

<sup>۲</sup> Lyneis

است، یک تحقیق که بوسیله موریس<sup>۱</sup> و هو<sup>۲</sup> (1987) روی حدود ۳۵۰۰ پروژه انجام شد نشان داد که سرریزها<sup>۳</sup> بین ۴۰ تا ۲۰۰ درصد هستند. پروژه ها اغلب تا نزدیک اتمام بصورت هموار پیش می روند ولی نزدیک اتمام خطاهایی که قبلا ایجاد شده بود کشف می شوند و دوباره کاری پر هزینه، تسریع، اضافه کاری، استخدام، لغزش زمانبندی یا کاهش در محدوده یا کیفیت پروژه اتفاق می افتند. مشکلات سرریز هزینه و زمان در پروژه ها دهه هاست که علیرغم پیشرفت های متعدد در حوزه مدیریت پروژه پابرجا مانده اند. در دهه ۱۹۵۰ رویکردهای استاتیک مدلسازی شبکه همانند PERT و روش مسیر بحرانی (CPM) توسعه داده شدند. این روشها با اضافه شدن تخمین های احتمالی پارامترها و یکپارچه سازی با مدیریت منابع رشد کردند. رویکردهای دیگر برای توسعه نرم افزار همانند روش های آبخاری و ماریچی اقتباس شدند. در نهایت کار تیمی، مهندسی همزمان و تاکید بر فاکتورهای نرم<sup>۴</sup> و انسانی به عنوان روش های ارتقاء عملکرد پروژه ظاهر شدند.

اما چرا پروژه ها هنوز با وجود این پیشرفت ها و تلاش های عمده در زمینه ابزارها و تکنیک ها، عملکرد ضعیفی دارند؟ همانطور که در لینیز و فورد (۲۰۰۷) اشاره شده است یک دلیل مهم برای مشکلات مداوم زمانبندی و هزینه این موضوع می تواند باشد که با وجود اینکه پروژه ها اساسا سیستم های پویای پیچیده ای هستند، بسیاری از مفاهیم و ابزارهای مدیریت پروژه (۱) بصورت ایستا به پروژه نگاه می کنند، یا (۲) یک دیدگاه ناکامل و محدود به مدیران ارائه می کنند که اغلب به مدلسازی های ذهنی مدیران برای غلبه بر پیچیدگی می انجامد (به عنوان مثال تحلیل کارکردهای طراحی بصورت مجزا یا داشتن تمرکز مجزا روی عوامل نرم و سخت درحالیکه هر دو بطور همزمان مهم هستند).

همانگونه که در استرمن<sup>۵</sup> (۱۹۹۲) اشاره شده است پروژه های بزرگ مقیاس به دسته سیستم های پویای پیچیده تعلق دارند. چنین سیستم هایی:

۱. بطور فزاینده ای پیچیده هستند و از چندین مولفه به هم وابسته تشکیل شده اند؛
۲. بسیار پویا هستند؛
۳. شامل چندین فرآیند بازخور هستند،
۴. شامل روابط غیرخطی هستند؛
۵. شامل هر دو داده سخت و نرم هستند.

برای مدیریت مناسب چنین پیچیدگی هایی، یک مدل باید قادر باشد تا سیستم هایی با این خصوصیات را نمایش دهد و نیز باید بوسیله مدیران پروژه قابل فهم و قابل استفاده باشد. پروژه های پیچیده بصورت فزاینده ای به هم تافته و متشکل از اجزای به هم وابسته متعدد هستند. وابستگی ها تحلیل را به حدی پیچیده می کنند که از قابلیت های مدل های ذهنی فراتر می رود چون یک تغییر در یک بخش سیستم ممکن است اثراتی در دیگر بخش ها داشته باشد. بر خلاف بسیاری از تجربیات روزمره، علت و معلول در چنین سیستم هایی در زمان و مکان با هم بطور نزدیکی مرتبط نیستند. به عنوان مثال تغییر مکان یک اتصال در یک نقشه مهندسی ممکن است موجب تغییرات بعدی در زیر سیستم های دیگر مثل زیر سیستم الکتریکی و HVAC شود و موجب دوباره کاری فراتر از تغییر اصلی گردد. یک سیستم پیچیده مانند یک پروژه بزرگ ساختمانی شامل چندین فرآیند بازخور تعاملی است. بازخور به اثرات جانبی خود-تنظیمی یا خود-تقویتی تصمیمات اطلاق می شود. به عنوان مثال وقتی که یک پروژه از برنامه عقب می افتد، یک پاسخ رایج مدیریتی افزایش اضافه کاری است. ساعات اضافی کمک می کند تا پروژه به برنامه برسد و بدین ترتیب نیاز به اضافه کاری در آینده کاهش پیدا می کند. این فرآیند بازخور خود-تنظیم است. با این وجود اگر اضافه کاری برای یک دوره طولانی برقرار باشد، ممکن است پرسنل را دچار خستگی و فرسایش کند که این امر در یک دور معیوب<sup>۶</sup> یا یک فرآیند بازخور خود-تقویت کننده موجب کاهش بهره وری، نرخ بالاتر خطاها و افزایش جابه جایی پرسنل می شود، بنابراین پروژه را بیشتر به تاخیر می اندازد و حتی موجب فشار برای اضافه کاری بیشتر می شود. فرآیندهای بازخور عناصر اساسی در پویایی های سیستم های مدیریتی، فنی و غیره هستند. مدل های ذهنی و روش های سنتی برنامه ریزی زمان و هزینه مانند روش

<sup>1</sup> Morris

<sup>2</sup> Hough

<sup>3</sup> Overrun

<sup>4</sup> soft

<sup>5</sup> Sterman

<sup>6</sup> vicious cycle

مسیر بحرانی ، بطور شایسته ای اثرات بازخورد را در نظر نمی گیرند. افراد آشکارا درباره بازخور ها و روابط علی بطور ضعیفی قضاوت می کنند و مکرراً نشان داده شده است که در آزمایش های کنترل شده ، ساختار بازخور سیستم هایی بسیار ساده تر از یک پروژه بزرگ مهندسی یا عمرانی را بطور نادرست درک می کنند. خبره ها از این خطاها مبری نیستند. اگرچه ابزارهایی مثل گانت چارت ها ، PERT و مسیر بحرانی در زمانبندی ترتیبی از فعالیت ها در یک پروژه بسیار مفید هستند ، اما مسئله را حل نمی کنند. یک تحلیل مسیر بحرانی تعیین می کند که چگونه یک تغییر در زمان مورد نیاز برای تکمیل یک مرحله مثل یک نقشه مهندسی ممکن است روی زمان کل تکمیل یک پروژه تاثیر بگذارد. اگر نیازمندی های مشتری تغییر کند یا خطاهایی که مستلزم دوباره کاری هستند بعد از شروع پروژه کشف شوند ، تحلیلگر می تواند زمانبندی را با تغییر زمان مورد نیاز برای تعداد اندکی از مراحل انفرادی که بطور مستقیم تحت تاثیر تغییر قرار گرفته اند دوباره تخمین بزند و مسیر بحرانی و زمان موردنیاز برای تکمیل را مجدداً محاسبه کند. فرض ضمنی این است که زمان مورد نیاز برای انجام تمام مراحل دیگر ، بدون تغییر باقی می ماند. یعنی تمام تعاملات دیگر نادیده گرفته می شوند.

اثر تغییرات ، در طول کل سازمان بطور موجهی پخش می شوند و موجب کند شدن پیشرفت ، کاهش بهره وری و افزایش هزینه ها در تمام مراحل پروژه می شوند. اگر تغییرات بقدر کافی بزرگ باشند ، اثرات موجهی موجب تراکم زمانبندی می شوند و درجه همزمانی در طراحی و بین طراحی و ساخت را افزایش می دهند که خود موجب اضافه کاری فزاینده ، خستگی ، خطاهای بیشتر ، کاهش کیفیت و فشار و استرس روی تیم مدیریت پروژه می شود و در نتیجه هزینه واقعی یک تغییر ظاهراً ساده در طراحی چندین برابر بیشتر از هزینه مستقیم خود تغییر می گردد. تا وقتی که یک مدیر پروژه یا یک تحلیلگر زمانبندی تمام این بازخورها و تعاملات را پیش بینی نکند و تغییرات را بطور دستی وارد کند ، روش مسیر بحرانی اثر تغییرات را اغلب بطور عمده ای پایین تخمین خواهد زد.

با توجه به طبیعت پویای مشکلات پروژه ، متعجب کننده نخواهد بود که SD برای درک و بهبود رفتار پروژه های پیچیده ، به کار رفته است. همانگونه که در لینیز و فورد (۲۰۰۷) اشاره شده است در حقیقت ، بدون شک کاربردهای مدیریت پروژه ، وسیع ترین و موفق ترین استفاده از SD بوده است. شناخته شده ترین کاربردهای SD در مدیریت پروژه در حل و فصل مناقشات سرریز هزینه و زمانبندی بوده است. این کاربردها با مدلسازی عظیم برای کشتی سازی اینگالز<sup>۱</sup> در اواخر دهه ۱۹۷۰ شروع شد. گروه مشاوره پاور-رابرتز<sup>۲</sup> (PRA) ، SD را در بیش از ۳۰ مناقشه قراردادی به کار برده است. ارزش تقریبی این مناقشات بیشتر از ۴ بیلیون دلار با تقریباً بطور متوسط ۷۵٪ استرداد<sup>۳</sup> با استفاده از SD در مقابل ۴۰٪ استرداد در رویکردهای سنتی است. علاوه بر گروه مشاوره پاور-رابرتز ، افراد دیگری نیز شامل عبدالحمید<sup>۴</sup> و مندیک<sup>۵</sup> (1991) ، هومر و همکاران<sup>۶</sup> (1993) ، فورد<sup>۷</sup> و استرمن<sup>۸</sup> (1998) و ردیگز<sup>۹</sup> و ویلیامز<sup>۹</sup> (1998) از بنیانگذاران شاخص این حوزه از SD هستند.

بحث بیان شده ، بر این دلالت نمی کند که ابزارهای سنتی زمانبندی و برنامه ریزی هزینه همانند PERT ، بی اهمیت هستند. SD باید به عنوان یک ابزار تکمیلی برای روشهای سنتی زمانبندی و مدیریت پروژه ، نگریسته شود. ابزارهای سنتی برای برخورد با پیچیدگی ترکیبی<sup>۱۰</sup> پروژه های پیچیده شامل فعالیت های موازی و ترتیبی متعدد مناسب هستند و SD برای برخورد با پیچیدگی پویا که بوسیله وابستگی های متقابل ، بازخورها ، تاخیرات زمانی و غیر خطی ها در پروژه های بزرگ مقیاس ایجاد می شود ، مناسب است [2].

<sup>1</sup> Ingalls Shipbuilding

<sup>2</sup> Pugh-Roberts

<sup>3</sup> recovery

<sup>4</sup> Abdel-Hamid

<sup>5</sup> Madnick

<sup>6</sup> Homer et al.

<sup>7</sup> Ford

<sup>8</sup> Rodrigues

<sup>9</sup> Williams

<sup>10</sup> combinatorial complexity

## مرور ادبیات

انواع بسیاری از مدل‌ها برای بهبود مدیریت پروژه توسعه داده شده است. این مدل‌ها شامل بعضی از خصوصیات سیستمی است که بوسیله SD آدرس دهی شده است. به عنوان مثال مدل‌های پایه ای پروژه‌ها مانند روش مسیر بحرانی بطور شفاف فعالیت‌های توسعه ای مرتبط با هم از نظر علی و فزایا را مدل می‌کند و مدل‌های کنترل هزینه از شکاف‌های عملکرد پیش بینی شده (به عنوان مثال کسری بودجه) برای تخصیص منابع مالی استفاده می‌کند. فهرستی از توسعه‌های مهم SD در مدیریت پروژه در ردیگز<sup>۱</sup> و باورز<sup>۲</sup> (۱۹۹۶) شرح داده شده است. اولین مدل در این زمینه بوسیله رابرتز (۱۹۶۴) ارائه شد که پویایی‌های پایه ای پروژه‌های R&D را بررسی کرد و مفاهیم پیشرفت ادراک شده و پیشرفت واقعی برای اولین بار معرفی شدند. این مدل بوسیله کلی<sup>۳</sup> (۱۹۷۰) بهبود داده شد تا مدیریت پروژه‌های همزمان را در بر گیرد. مدل توسعه داده شده بوسیله کوپر (۱۹۸۰) در شرکت پائو-رابرتز اولین کاربرد مهم عملی SD در مدیریت پروژه بود.

تحقیقات در زمینه مدلسازی فرآیند تغییرات و خطاها بر روی شناسایی عوامل تاثیر گذار روی موفقیت فرآیندهای مدیریت تغییر و خطا تمرکز یافته است. یکی از جدیدترین تحقیقات ارائه شده که با تمرکز بر بحث مدیریت تغییرات و خطاها، یک متدولوژی برنامه ریزی و کنترل یکپارچه<sup>۴</sup> (DPM) برای مدیریت پروژه ارائه می‌کند، سلسله کارهای لی<sup>۵</sup>، پنامورا<sup>۶</sup> و پارک<sup>۷</sup> می‌باشد. پنامورا و لی (۲۰۰۱) و لی (۲۰۰۳)، پارک و پنامورا (۲۰۰۳) یک متدولوژی برنامه ریزی و کنترل پویا (DPM) را به همراه روش SD به عنوان زبان اصلی مدلسازی ارائه دادند. DPM یک مکانیزم برنامه ریزی و کنترل پروژه جامع است که مدل‌های SD را با ابزارهای شبکه مبنای موجود یکپارچه می‌کند و از اجزای متنوعی برای سازماندهی و بصری سازی فرمت‌های گوناگون ورودی و خروجی استفاده می‌کند. لی و همکاران (۲۰۰۶) یک رویکرد بافربندی جدید به نام بافربندی قابلیت اطمینان<sup>۸</sup> و ثبات<sup>۹</sup> برای کاهش عدم قطعیت ایجاد شده توسط خطاها و تغییرات ارائه نمودند و آن را با یک مدل SD از پروژه ساخت و طراحی یکپارچه کردند تا اثرات خطاها و تغییرات روی عملکرد پروژه شبیه سازی و اثربخشی بافرهای پیشنهادی ارزیابی شود.

در زمینه تحقیقات اخیر در بحث مدیریت منابع پروژه با استفاده از SD نیز می‌توان به جاگلکر<sup>۱۰</sup> و فورد (۲۰۰۳)، پارک (۲۰۰۴) و لی و همکاران (۲۰۰۶) اشاره کرد که در این میان پارک (۲۰۰۴) با توسعه مدلسازی برای منابعی دیگر علاوه بر نیروی انسانی روی موازنه بین بیکاری منابع و کمبود منابع تمرکز می‌کند و با استفاده از یک مدل شبیه سازی اثر مقادیر مختلف در دسترس بودن<sup>۱۱</sup> منابع را روی عملکرد پروژه بررسی می‌کند.

کنترل پروژه نیز تمرکز ویژه بسیاری از مدل‌های پروژه ای SD بوده است و همانطور که در لینیز و فورد (۲۰۰۷) اشاره شده است سه اقدام رایج که در بسیاری از مدل‌های موجود مورد بحث قرار گرفته و می‌تواند برای بهبود شکاف عملکرد پیش بینی شده از عملکرد واقعی صورت گیرد عبارت اند از (۱) استخدام نیروی کار اضافی (اکثر از مدل‌های SD با شروع از رابرتز، ۱۹۶۴)؛ (۲) اضافه کاری (مدل‌های PRA، فورد و استرمن، استراتکلاید<sup>۱۲</sup>) و (۳) سریعتر کار کردن (مدل‌های PRA، عبدالحمید (۱۹۸۴ تا ۱۹۹۶)، استراتکلاید). فورد و همکاران (۲۰۰۷) تاثیر این سه سیاست رایج را روی عملکرد زمانی و بودجه ای پروژه با تاکید بر ارائه رهنمودهای شفاف تر در زمینه کنترل پروژه با استفاده از مدلسازی SD ارزیابی نمودند.

این تحقیق از چهارچوب مدلسازی پویای طراحی و ساخت پارک و پنامورا (۲۰۰۳) و لی و همکاران (۲۰۰۵) به عنوان هسته اصلی استفاده می‌کند و با اقتباس از رویکرد پارک (۲۰۰۴) در مدلسازی منابع پروژه و ساختارهای بازخور پویای ارائه شده در زمینه کنترل پروژه در فورد و

<sup>1</sup> Rodrigues

<sup>2</sup> Bowers

<sup>3</sup> Kelly

<sup>4</sup> Dynamic Planning and control Methodology

<sup>5</sup> S. Lee

<sup>6</sup> F. Peña-Mora

<sup>7</sup> Park

<sup>8</sup> reliability

<sup>9</sup> stability

<sup>10</sup> Joglekar

<sup>11</sup> coverage

<sup>12</sup> Strathclyde

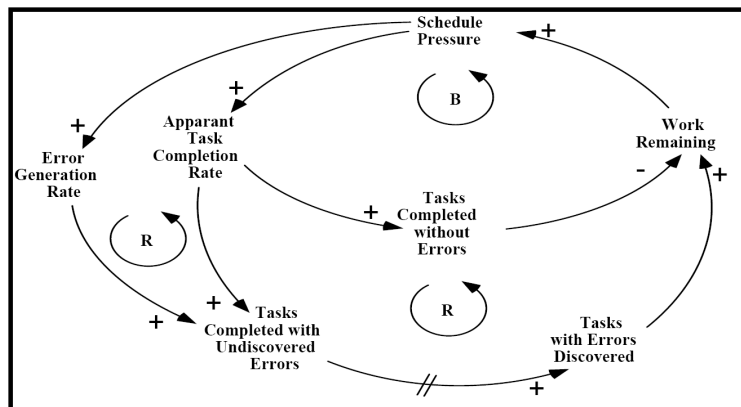
همکاران (۲۰۰۷) و نیز به کارگیری مفاهیم انواع هزینه های پروژه و تکنیک ارزش حاصله<sup>۱</sup>، مدلی برای بررسی عملکرد هزینه ای و زمانی پروژه ارائه می کند.

## عناصر پایه ای مدلسازی پویایی های پروژه

همانطور که در لینیز و فورد (۲۰۰۷) شرح داده شده است ساختارهایی که مدلسازان SD برای مدلسازی پروژه ها مورد استفاده قرار داده اند می تواند در چهار گروه بر پایه هسته مفهومی اصلی آنها شرح داده شود که عبارتند از :

۱- خصوصیات<sup>۲</sup> پروژه : SD روی مدلسازی خصوصیتی که در سیستم های واقعی یافت می شوند تمرکز می کند. در پروژه ها این ها شامل فرآیندهای توسعه ای، منابع، مدل های ذهنی مدیران و تصمیم گیری است. مدلسازی اجزاء مهم پروژه های واقعی قابلیت شبیه سازی پویایی های واقعی پروژه ها افزایش می دهد و آنها را بطور مستقیم با تجربیات مدیران اجرایی پیوند می دهد. پروژه ها متشکل از مجموعه ای از وظایف<sup>۳</sup> هستند که بطور موازی و سری اجرا می شوند. بنابراین یک خصوصیت اصلی تمام مدل های پروژه ای SD استفاده از وظایف توسعه ای یا بسته های کاری به عنوان ماده اصلی جاری در طول پروژه است. ویژگی دیگری از پروژه ها که در مدل های SD نمایش داده شده است، استفاده از منابع برای مدیریت جریان ها در فرآیند توسعه بر پایه درک مدیریت از شرایط پروژه است.

۲. سیکل دوباره کاری<sup>۴</sup> : ساختار کانونی مدل های پروژه ای SD، سیکل دوباره کاری است. طبیعت بازگشتی سیکل دوباره کاری که در آن دوباره کاری موجب ایجاد دوباره کاری بیشتر می شود و به همین ترتیب ادامه می یابد، موجب رفتارهای مشکل ساز می شود که اغلب در طول پروژه گسترش می یابند و منبع بسیاری از چالش های مدیریت پروژه هستند. دوباره کاری تصحیح خطاهایی است که به منظور کارکرد محصول الزامی هستند. دوباره کاری از کیفیت متمایز است چون دوباره کاری باید انجام شود در حالیکه کیفیت یک امر اختیاری و انتخابی است. شکل ۱ مدل علی دوباره کاری را نشان می دهد (فورد ۱۹۹۵). حلقه تعادلی در این شکل اثرات خواسته شده<sup>۵</sup> یک پاسخ مدیریتی به یک افزایش در فشار زمان بندی را نشان می دهد که کار باقیمانده را کاهش می دهد. دو حلقه تقویت کننده اثرات جانبی ساختار دوباره کاری را نشان می دهند که شامل ایجاد خطاهای اضافی نیازمند تصحیح می باشند.



شکل ۱ - ساختار علی دوباره کاری (فورد، ۱۹۹۵)

<sup>1</sup> Earned Value  
<sup>2</sup> features  
<sup>3</sup> tasks  
<sup>4</sup> rework cycle  
<sup>5</sup> intended impact



۴- اثرات موجی<sup>۱</sup> و متوالی<sup>۲</sup>: اقداماتی که برای بستن یک شکاف بین عملکرد پروژه و اهداف انجام می شود، دارای اثرات جانبی ناخواسته نیز هستند. اثرات موجی، اولین تاثیرات کنترل پروژه روی کیفیت و بهره وری هستند. اثرات موجی نامی است که بطور رایج در پروژه ها برای توصیف اثرات جانبی اولیه تلاش های کنترل پروژه خوش نیت<sup>۳</sup> استفاده می شود. مدلسازی اثرات موجی در پروژه ها از مفهوم مقاومت در برابر سیاست استفاده می کند. اثرات متوالی به اثرات ثانویه تلاش های کنترل پروژه اشاره دارد، به عنوان مثال نتایج اثرات موجی که اغلب بوسیله فرآیندهایی که همزمانی<sup>۴</sup> بیش از حد یا مخرب ایجاد می کنند یا عوامل انسانی که اثرات منفی را از طریق کانالهایی مثل روحیه پرسنل تقویت می کنند، بوجود آمده اند. مدلسازی اثرات متوالی در مدل‌های پروژه ای از مفهوم نتایج جانبی ناخواسته برای شرح رفتار و عملکرد پروژه استفاده می کند. این اثرات معمولاً بهره وری یا کیفیت را کاهش می دهند (بوسیله افزایش خطاها و دوباره کاری).

## مدل پویایی های سیستم برای پروژه

همانگونه که اشاره شد، تحقیق حاضر از چهارچوب مدلسازی پویای طراحی و ساخت پارک و پنامورا (۲۰۰۳) و لی و همکاران (۲۰۰۵) به عنوان هسته اصلی مدلسازی استفاده می کند. پروژه های بزرگ مقیاس بطور ذاتی پیچیده، پویا و دارای تعداد زیادی از فرآیندهای بازخور هستند. بعد از شروع پروژه، محدوده کار اضافی ممکن است افزایش یابد چون معمولاً کار اضافی به منظور اجرای تغییرات و تصحیح خطاها به محدوده اضافه خواهد شد. مدل توسعه داده شده توسط لی و پنامورا (۲۰۰۵) شامل فرآیند پایه ای و عمومی اجرای پروژه و نیز خصوصیات مرتبط با تغییرات و خطاها است. خصوصیت ممتاز این مدل نمایش مدیریت تغییرات و خطاها بصورت شفاف و مرتبط کردن فرآیند مدیریت کیفیت و فرآیند درخواست برای اطلاعات است.

همانگونه که در لی و همکاران (۲۰۰۶) اشاره شده است دو مفهوم مهم در مورد فعالیت های پروژه به نام قابلیت اطمینان<sup>۵</sup> و ثبات<sup>۶</sup> تعریف می شود که مبنای ایجاد تغییرات و خطاها در پروژه می باشد. قابلیت اطمینان به درجه صحیح انجام شدن کارها دلالت می کند. به عنوان مثال اگر یک فعالیت دارای قابلیت اطمینان ۹۰٪ باشد، مقدار انتظاری خطا در این فعالیت ۱۰٪ کل محدوده فعالیت خواهد بود. ممکن است بخشی از این خطاها توسط فرآیند مدیریت کیفیت شناسایی نشده و بصورت پنهان باقی بمانند. نهفتگی<sup>۷</sup> خطاها دارای اثرات مخربی روی عملکرد پروژه خواهد بود. احتمال نهفتگی خطاها توسط دقت فرآیند مدیریت کیفیت<sup>۸</sup> (QMTH) تعیین می شود که نشان دهنده احتمال شناسایی مشکلات کیفی در طول فرآیند مدیریت کیفیت است. تغییرات نیز بستگی به ثبات یک فعالیت دارد. ثبات دلالت می کند که محدوده کاری داده شده تا چه حد بدون نیاز به درخواست تغییر، اجرا می شود. ثبات بالا به این معنی است که تنها تعداد اندکی از تغییرات در طول اجرای یک فعالیت، اتفاق می افتد. بعضی از تغییرات پنهان ممکن است در طول فرآیند مدیریت محدوده (SM) شناسایی نشوند و موجب بوجود آمدن تغییرات نهفته شوند. دقت فرآیند مدیریت محدوده<sup>۹</sup> (SMTH) تعیین کننده نسبت تغییرات شناسایی شده و نهفته می باشد. تغییرات شناسایی شده طی فرآیند مدیریت ادعا و تغییر<sup>۱۰</sup> (CCM) معمولاً بر اساس امکانپذیری مورد تصویب قرار می گیرند. برای شناسایی تاثیرات سیکل های تغییرات و خطاهای تکرار شونده (انتشار تغییرات و خطاهای یک فعالیت در کل شبکه) روی عملکرد پروژه، از یک مدل SD از فرآیند طراحی و ساخت استفاده می شود (شکل ۳). در ادامه شرحی بر ساختار مدل ارائه شده و سپس نحوه یکپارچه سازی آن با مدیریت هزینه و منابع شرح داده می شود.

<sup>1</sup> Ripple

<sup>2</sup> Knock-on effects

<sup>3</sup> well intentioned

<sup>4</sup> concurrence

<sup>5</sup> Reliability

<sup>6</sup> stability

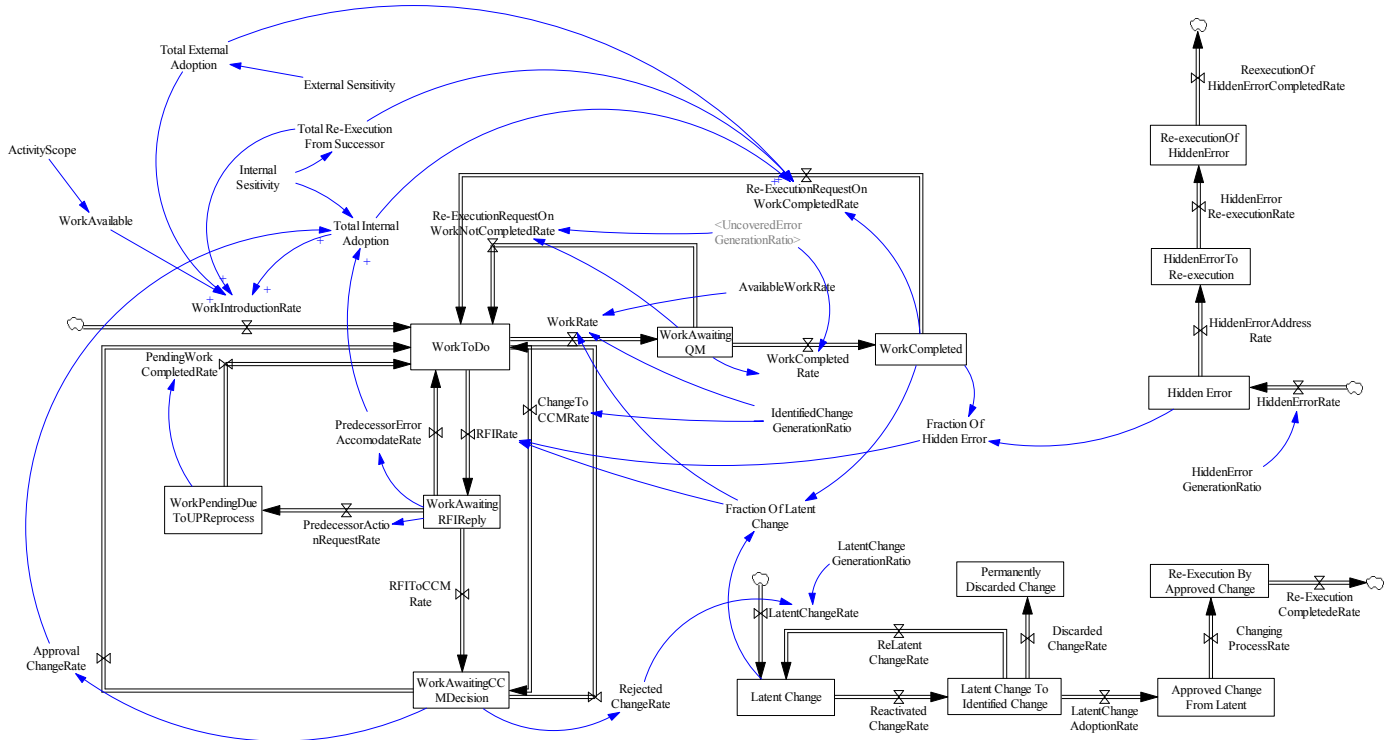
<sup>7</sup> Latency

<sup>8</sup> quality management thoroughness

<sup>9</sup> scope management thoroughness

<sup>10</sup> claim and change management

مدیریت تغییرات در پروژه های طراحی و ساخت معمولاً شامل دو جزء مهم است. مدیریت محدوده (SM) و مدیریت تغییرات و ادعا (CCM). فرآیند SM یک فرآیند مرور و بررسی است و فرآیند CCM یک فرآیند تصمیم گیری در مورد پذیرش یا رد تغییرات است. قبل از اجرای یک وظیفه، فرآیند SM در مورد وظایف موجود در مخزن "کار آماده انجام" (Work To Do) اعمال می شود. هدف فرآیند SM اطمینان از تطابق محدوده کار داده شده با مشخصات و طراحی ها است. بنابراین اگر وظایف مخزن "کار آماده انجام" متفاوت از برنامه اصلی باشند، وظایف مورد نظر به مخزن "کار در انتظار تصمیم گیری گروه CCM" (Work Awaiting CCM Decision) فرستاده می شوند که نیازمند تصمیم گیری یا تحلیل از جانب گروه مدیریت تغییر و ادعا (CCM) خواهند بود.



شکل ۳ - ساختار فرآیند اجرای فعالیت ها (لی و پنامورا، ۲۰۰۵)

تغییرات شناسایی شده می توانند بر اساس تصمیم گروه CCM پذیرفته یا رد شوند. اگر تغییرات رد شوند از طریق نرخ "رد تغییرات پنهان" (Latent Change Reject Rate) به مخزن "کار آماده انجام" بر می گردند و اجرا می شوند. در صورت پذیرش تغییرات نیز وظایف به مخزن "کار آماده انجام" برگردانده می شوند. اگرچه در این مورد، کار اضافی بوسیله این تغییرات پذیرفته شده ایجاد خواهد شد. مقدار این کار اضافی تابعی از حساسیت داخلی<sup>۱</sup> یک فعالیت می باشد. حساسیت داخلی بازتاب کننده درجه وابستگی وظایف درون یک فعالیت است. بعد از اینکه وظایف در مخزن "کار آماده انجام" با نرخ انجام کار (Work Rate) که تابعی از نرخ در دسترس بودن منابع<sup>۲</sup> است، انجام شدند، وظایف منتظر مدیریت کیفیت (QM) می مانند. بعضی از کارها ممکن است نیاز باشد که دوباره اجرا شود (خطاها). نرخ اجرای مجدد خطاهای شناسایی شده (Re-Execution Of Uncovered Error Rate) در شکل ۳ تحت تاثیر نرخ تولید خطاهای شناسایی شده (Uncovered Error Generation Ratio) می باشد که می تواند بوسیله قابلیت اطمینان و دقت مدیریت کیفیت نشان داده شود. به عنوان مثال اگر فعالیتی دارای ۹۰٪ قابلیت اطمینان و ۸۰٪ دقت در مدیریت کیفیت باشد، اجرای دوباره خطاهای کشف شده بوسیله

<sup>1</sup> internal sensitivity

<sup>2</sup> Resource Based Work Rate

فرآیند ۸٪ = ۸۰٪ × (۹۰٪ - ۱۰٪) از کل محدوده کاری فعالیت و خطاهای پنهان ۲٪ = ۸۰٪ × (۱۰۰٪ - ۹۰٪) خواهد بود. از طرف دیگر ، در حالتی که خطاهای پنهان در مراحل بعدی کشف می شود ، این امکان وجود دارد که کار کامل شده نیاز به دوباره کاری داشته باشد. به سبب وابستگی و ارتباطات بین فعالیت ها در پروژه ، خطاها و تغییرات پنهان در یک فعالیت می توانند در فعالیت های قبلی و بعدی منتشر شده و موجب محدوده کار اضافی شوند. درجه تاثیر پذیری فعالیت ها در این مورد از یکدیگر ، با مفهوم حساسیت خارجی<sup>۱</sup> مدلسازی می شود .

خطاها و تغییراتی که شناسایی نشده اند یا بطور کامل رد می شوند ( خطاها و تغییرات پنهان) ممکن است مستلزم فرآیند دیگری باشند که آنها را با دیگر فعالیت ها ، یکپارچه کند. یک مثال از یکی از این فرآیندهای رایج در طراحی و ساخت ، فرآیند درخواست برای اطلاعات (RFI) است که مسائل مربوط به طراحی را بین تیم طراحی و ساخت ، هماهنگ می کند. در مدل لی و پنمورا ، فرآیند RFI توسعه یافته است و برای هماهنگی با دیگر فعالیت های ساخت قبلی و نیز فعالیت های طراحی با هم ، استفاده می شود. این بدین خاطر است که فرآیند شفاف سازی کار ( به عنوان مثال خطا یا تغییر طراحی) اغلب مستلزم درگیر شدن فعالیت های ساخت قبلی است. در مدل ، اگر یک خطای پنهان یا یک تغییر نهفته از فعالیت قبلی در فعالیت تحت مطالعه یافت شود ، از فرآیند RFI عبور می کند و به فعالیت قبلی بازگردانده می شود. وظایفی که به عنوان خطاهای پنهان و تغییرات نهفته شناسایی می شوند در مخزن "کار در انتظار پاسخ RFI" (Work Awaiting RFI Reply) انباشته می شوند. در این مرحله ، سه گزینه برای این وظایف معلق وجود دارد. اولین گزینه ، این است که فعالیت تحت بررسی از فعالیت قبلی درخواست می کند که خطای پنهان را اصلاح کند یا یک تغییر نهفته را مورد بررسی قرار دهد چون مبدا خطای پنهان و تغییر نهفته فعالیت قبلی است. در این مورد ، وظایف متناظر در مخزن " کار معلق به علت تغییر پیش نیاز" (Work Pending Due To Predecessor-Change) ، انباشته می شوند، آنها سپس به "کار آماده انجام" بازگردانده می شوند و بعد از اصلاح شدن یا بعد از مطرح شده به عنوان تغییر در فعالیت قبلی ، اجرا می شوند.

گزینه دوم روی خطاهای پنهانی تمرکز می کند که به مخزن "کار آماده انجام" برگردانده می شوند. یک خطای پنهان ممکن است تصمیم گرفته شود که بوسیله فعالیت تحت بررسی جذب شود. سومین گزینه در مورد برخورد با تغییرات نهفته است که جریان را به مخزن "کار در انتظار تصمیم گیری گروه CCM" هدایت می کند. اگر مدیر قضاوت کند که یک تغییر نهفته بدلیل اهمیتش در عملکرد کل پروژه ، به توجه فوری نیاز دارد ، ممکن است به جای درخواست از فعالیت قبلی، بطور مستقیم از گروه CCM درخواست تصمیم گیری کند. از طرف دیگر ، مقدار کار اضافی ایجاد شده بوسیله خطاها و تغییرات می تواند بوسیله ضرب محدوده کار متناظر در حساسیت داخلی و خارجی نمایش داده شود. سه طریق وجود دارد که از طریق آنها "درخواست ها برای کار اضافی" می تواند انجام شود. در اولین مورد ، کار اضافی می تواند توسط متغیر " انطباق داخلی کل"<sup>۲</sup> (TIA) درخواست شود. TIA برای فعالیت تحت بررسی در دو موقعیت استفاده شده است : یکی وقتی است که یک تغییر بوسیله گروه CCM پذیرفته می شود و دیگری در فرآیند RFI در هنگام تطبیق با خطایی است که در فعالیت قبلی اتفاق افتاده است. این امر منجر به کار اضافی یا اجرای مجدد روی وظایف تکمیل شده فعالیت تحت بررسی می شود. حساسیت داخلی به عنوان یک عامل تقویت کننده که درجه وابستگی داخلی<sup>۳</sup> درون یک فعالیت را منعکس می کند ، ضرب می شود تا مقدار واقعی حاصل شود. متغیر دوم "اقتباس خارجی کل"<sup>۴</sup> (TEA) ، نامیده می شود که به فعالیت های پیشین و پسین مرتبط است و می تواند از طریق حساسیت خارجی مورد انتظار، موجب کار اضافی یا اجرای مجدد شود. به عبارت دیگر ، TIA برای فعالیت های پیشین و پسین می تواند وظایف مرتبط از فعالیت تحت بررسی را تحت تاثیر قرار دهد که این اثر توسط درجه وابستگی متقابل بین فعالیت ها ، تقویت می شود ( یعنی حساسیت خارجی ).

در انتها ، همانطور که قبلا مشاهده شد ، وقتی خطاهای پنهان یا تغییرات نهفته کشف می شوند و از طرف فعالیت پسین جهت اصلاح یا رسیدگی ، مورد درخواست قرار می گیرند ، متغیر " کل اجرای مجدد از پیش نیازها"<sup>۵</sup> (TREFS) که در حساسیت داخلی ضرب می شود ، می تواند موجب کار اضافی و اجرای مجدد شود.

<sup>1</sup> external sensitivity

<sup>2</sup> Total Internal Adoption

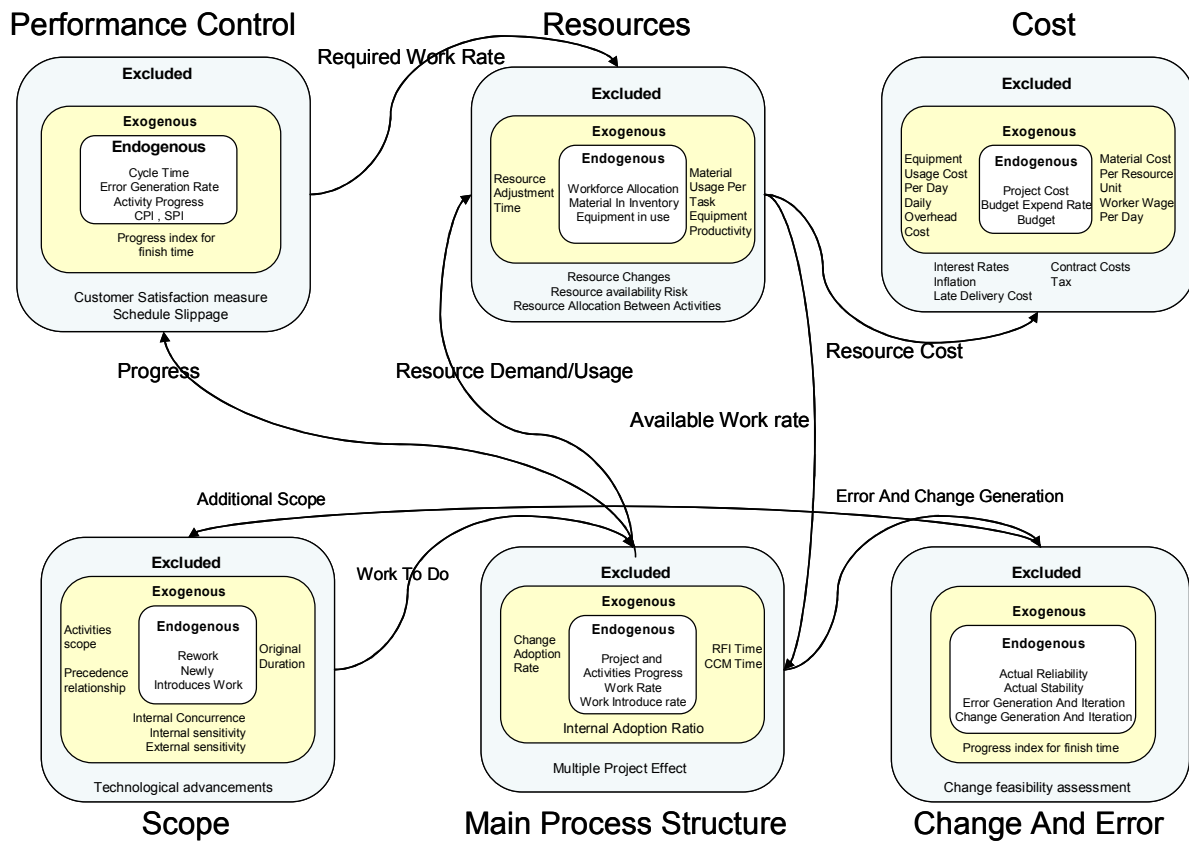
<sup>3</sup> interrelationship

<sup>4</sup> Total External Adoption

<sup>5</sup> Total Re Execution From Successor

مدل SD ارائه شده همچنین قادر به لحاظ کردن روابط پیش‌نیازی اصلی بین فعالیت‌ها همانند شروع به شروع (SS) و پایان به شروع (FS) همراه با تقدم<sup>۱</sup> و تاخر<sup>۲</sup> می‌باشد. نرخ ورود کار (Work Introduction Rate) که به مقدار مخزن " کار آماده انجام " اضافه می‌کند، بوسیله متغیر کار در دسترس (Work Available) محدود می‌شود که این متغیر بوسیله محدودیت‌های ایجاد شده بوسیله روابط پیش‌نیازی در مدل‌های شبکه مینا، تعیین می‌شود. در امتداد ساختار اجرای کار، دو ساختار جریان موازی برای مدلسازی خطاها و تغییرات، استفاده شده است که در قسمت سمت راست و پایین شکل ۳ ارائه شده است.

حال در ادامه ساختار کلی منابع، بودجه، هزینه و سیاست‌های کنترلی که با اقتباس از منابع ذکر شده توسعه یافته است به مدل بالا اضافه می‌گردد. مدل حاضر از چندین زیرسیستم تشکیل شده است که عبارتند از ساختار فرآیند اصلی اجرای پروژه، منابع، هزینه، محدوده، کنترل عملکرد، تغییرات و خطاها. شکل ۴، تعدادی از متغیرهای مهم درونزا، برونزا و صرف نظر شده در مورد هر زیرسیستم و نیز تعاملات زیرسیستم‌ها را نشان می‌دهد.



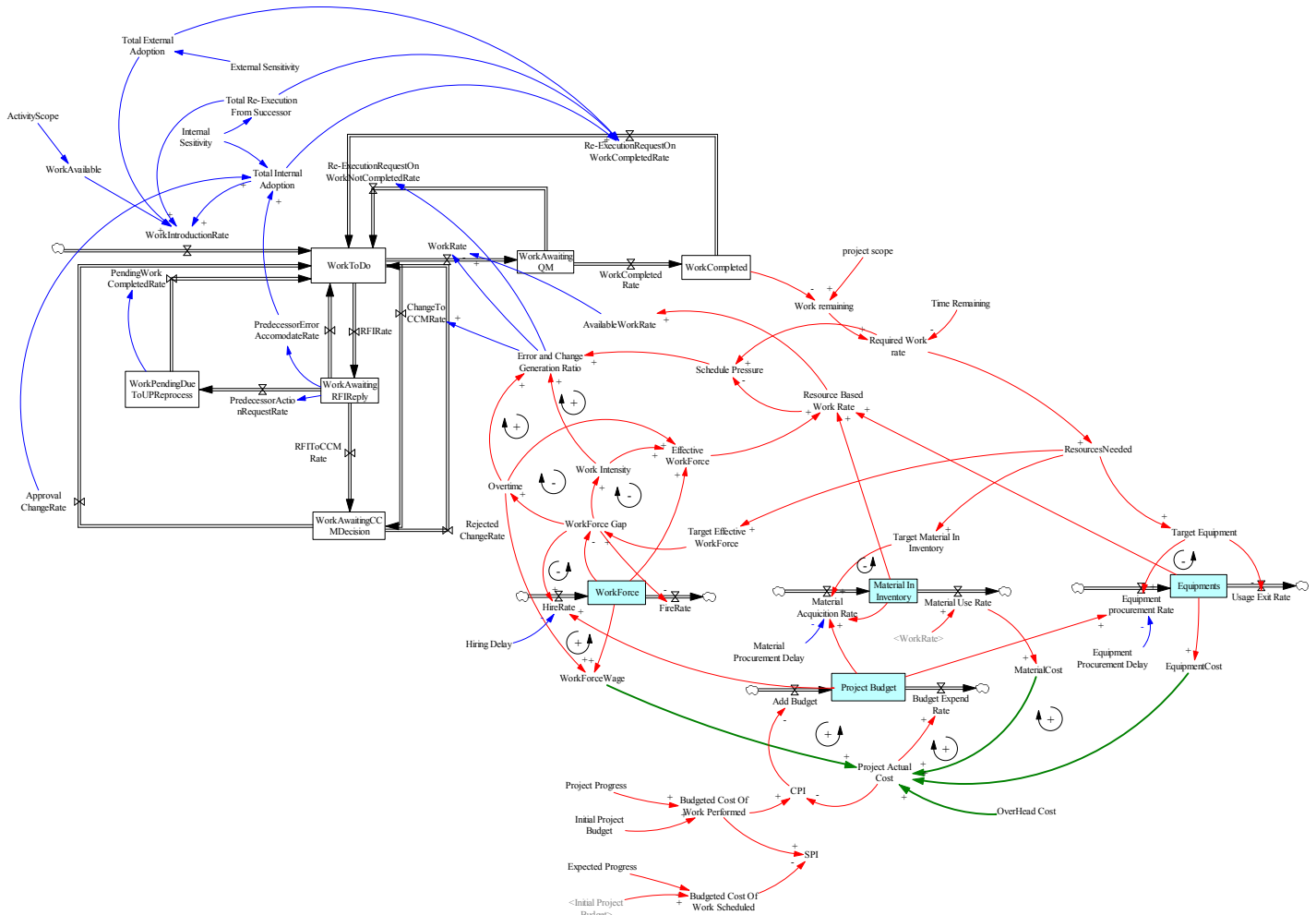
شکل ۴ - ساختار زیرسیستمی مدل به همراه دیاگرام مرز هر زیرسیستم

شکل ۵ مدل جریان خلاصه شده برای یکپارچه سازی منابع، هزینه‌ها و سیاست‌های کنترل پروژه را با مدل ارائه شده توسط لی و همکاران (۲۰۰۵) نشان می‌دهد.

نرخ انجام کار تابعی از نرخ منابع در دسترس است. ساختار منابع مدلسازی شده شامل منابع تجدیدپذیر (نیروی انسانی و تجهیزات) و تجدیدناپذیر (مواد مصرفی) هستند. تنظیم مقادیر منابع انسانی و تعیین مقادیرهای هدف برای آنها بر اساس نرخ کار مورد نیاز برای تکمیل کار در زمان برنامه ریزی شده، تعیین می‌شود. در مورد منابع انسانی از مدل فورود و همکاران (۲۰۰۷) در زمینه سیاست‌های کنترل منابع

<sup>1</sup> lead  
<sup>2</sup> lag

انسانی اثر استفاده شده است. اگر عملکرد پروژه به سبب بوجود آمدن خطاها و تغییرات از عملکرد برنامه ریزی شده عقب بیفتد، سیاست های کنترلی جهت افزایش نرخ پیشرفت کار از طریق افزایش منابع اعمال می شود. البته به علت زمان مورد نیاز برای گزارشگیری و درک پیشرفت پروژه و نیز تاخیرات زمانی در استخدام نیروی انسانی و تدارک مواد و تجهیزات جدید، تنظیم منابع با تاخیر انجام خواهد شد.

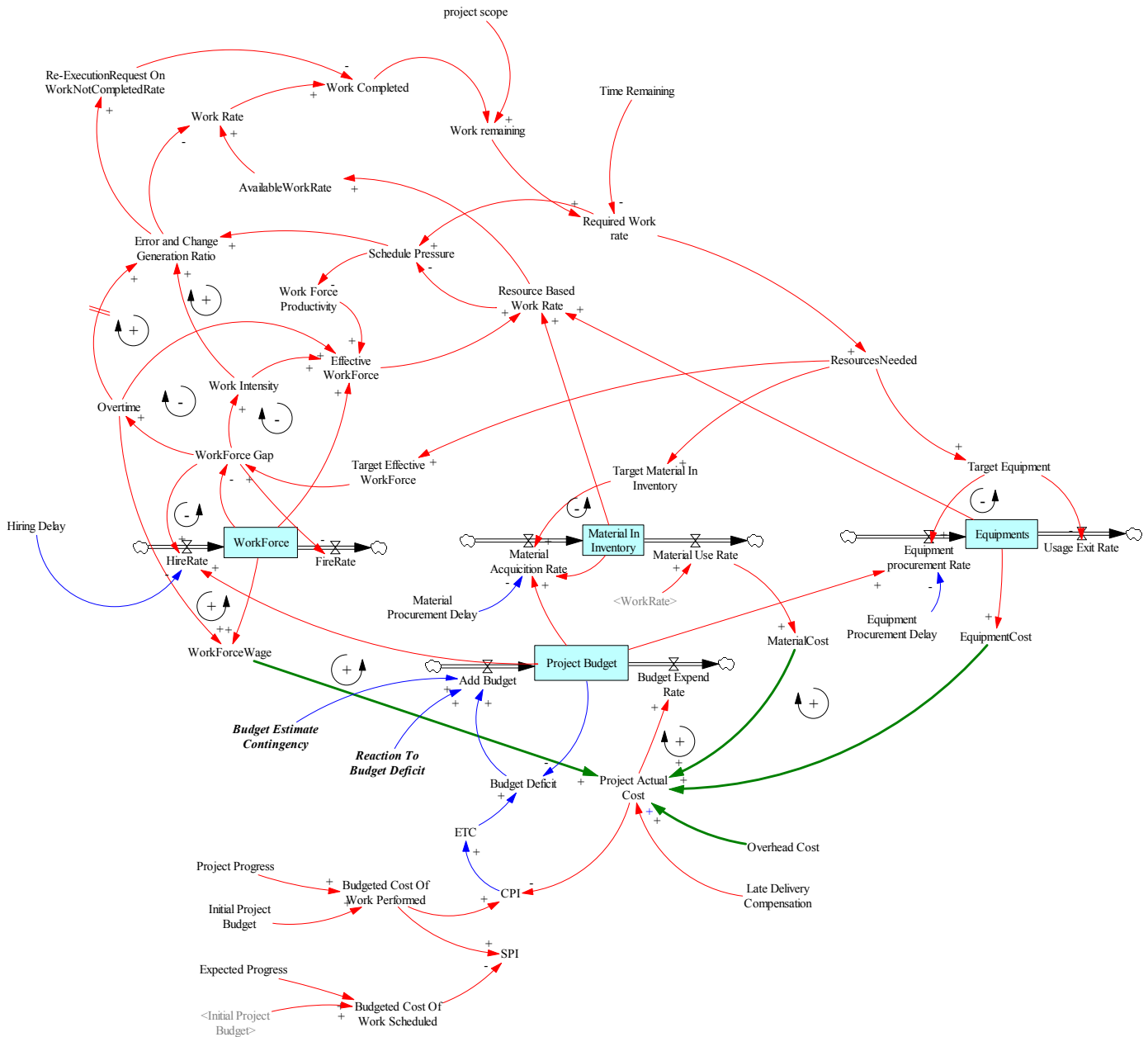


شکل ۵- ساختار ساده شده مدل پیشنهادی و یکپارچه سازی آن با ساختار مدیریت تغییرات و خطاهای لی و پنامورا (۲۰۰۵)

در زمینه نیروی انسانی سه سیاست افزایش تعداد نیروی انسانی، اضافه کاری و تسریع کار به کار گرفته شده است. این سیاست ها با افزایش نیروی انسانی موثر (Effective Workforce) موجب سرعت بخشیدن به کار و کاهش شکاف عملکرد واقعی از عملکرد برنامه ریزی شده خواهند شد (حلقه های تعادلی). اما در عین حال افزایش سرعت کار و نیز اضافه کاری مداوم منجر به خستگی و کاهش کیفیت کار و خطاها و تغییرات پنهان می شوند (حلقه های تقویتی). از طرفی با اجرای پروژه و به کارگیری منابع، بودجه پروژه مصرف می شود و افزایش مقدار منابع که به منظور بهبود عملکرد زمانی پروژه صورت می گیرد (افزایش شاخص SPI) موجب صرف هزینه های بیشتر (کاهش شاخص CPI) و در نتیجه کاهش بودجه پروژه برای ادامه فعالیت ها خواهند شد. کمبود بودجه مورد نیاز روی نرخ به کارگیری منابع تأثیرات منفی خواهد داشت و حتی ممکن است موجب توقف کار شود. با استفاده از مفاهیم تکنیک ارزش حاصله، اضافه شدن بودجه می تواند بر اساس شکاف بین بودجه مورد نیاز تا تکمیل (ETC) که تابعی از شاخص CPI پروژه می باشد و نیز تاخیر زمانی در کسب اعتبار و یک پارامتر شدت عکس العمل به کسری بودجه (Reaction Factor) تعیین شود. Reaction Factor نشان دهنده مقدار مصوب تامین کمبود بودجه می باشد. در این مدل هزینه های مستقیم پروژه تابعی از تعداد نیروی انسانی، مواد و تجهیزات لحاظ گردیده اند و هزینه های غیرمستقیم پروژه نیز شامل هزینه بالاسری روزانه هستند. همچنین پاداش یا جریمه زودکرد یا دیرکرد پروژه و نیز اثر نرخ

تورم بر هزینه منابع نیز در مدل آورده شده اند. با مدلسازی ساختار ذکر شده می توان اثر تغییرات و خطاها بر عملکرد پروژه و اثربخشی سیاست های هزینه ای را ارزیابی نمود.

لازم به ذکر است که ساختار مورد بحث در مورد هر یک از فعالیت های پروژه تکرار شده و از جمع بندی شاخص های عملکردی فعالیت ها ، شاخص های عملکردی کل پروژه محاسبه می گردد. شکل ۶ ساختار جزئی تری از مدل ارائه شده با تاکید بر بخش بازخور های مرتبط با بودجه و هزینه پروژه را نشان می دهد.

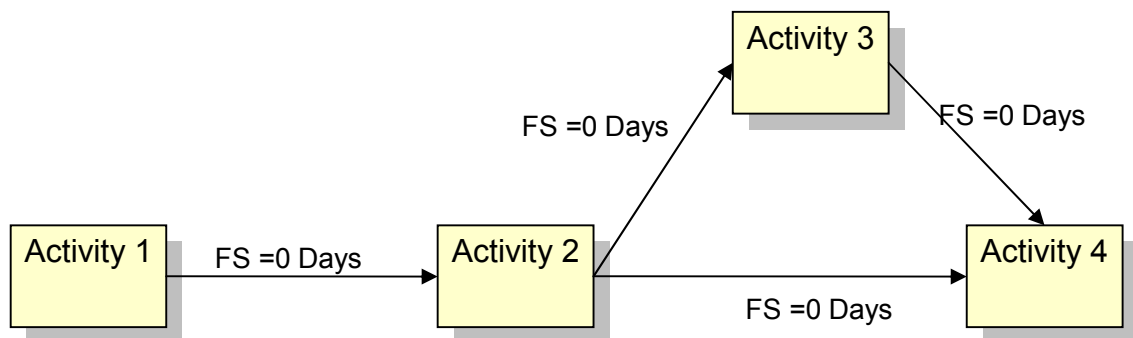


شکل ۶ - ساختار مدل پیشنهادی با تاکید بر بازخور های مرتبط با بودجه و هزینه پروژه

در ادامه شبیه سازی مدل حاصل در مورد یک پروژه نوعی به همراه داده های ورودی به مدل شبیه سازی Vensim ، نتایج و سیاست های پیشنهادی ارائه شده است.

## شبیه سازی پروژه و ارائه سیاست های پیشنهادی

مثالی از یک پروژه نوعی دارای ساختار شبکه نشان داده شده در شکل ۷ به همراه داده های ورودی مدل در جدول ۱ و داده های ورودی فعالیت ها در جدول ۲ در نظر گرفته می شود. لازم به ذکر است که بدلیل محدودیت های فرموله نویسی در نرم افزار ونسیم<sup>۱</sup> نسخه PLE فرموله کردن ساختارهای بالا برای تعداد ۴ فعالیت ها انجام گرفته است.



شکل ۷ - ساختار شبکه پروژه

| Project Parameters | Indicated Finish Date (Contract Based) | Inflation Rate | Daily Overhead Cost |
|--------------------|--|----------------|---------------------|
| Value              | ۲۹۵                                    | ۰,۱۵           | \$۱۰۰               |

جدول ۱ - تعدادی از داده های ورودی مدل

| Activity Number | Duration | Buffer | Internal Sensitivity | External Sensitivity | Workforce Wage Per Day | Material Cost Per Resource Unit | Equipment Cost Per Day |
|-----------------|----------|--------|----------------------|----------------------|------------------------|---------------------------------|------------------------|
| ۱               | ۳۳       | ۵      | ۰,۳                  | ۰,۲                  | \$۳۰                   | \$۱۰                            | \$۱۰۰                  |
| ۲               | ۶۶       | ۱۰     | ۰,۳                  | ۰,۱                  | \$۳۰                   | \$۱۰                            | \$۱۰۰                  |
| ۳               | ۱۳۵      | ۱۰     | ۰,۲۵                 | ۰,۲                  | \$۳۰                   | \$۱۰                            | \$۱۰۰                  |
| ۴               | ۳۵       | ۵      | ۰,۲۵                 | ۰,۲                  | \$۳۰                   | \$۱۰                            | \$۱۰۰                  |

جدول ۲ - پارامترهای مربوط به فعالیت ها

در حالت اول (Baseline 1)، فرض می شود که هیچ تغییری و خطایی در مدل اتفاق نیفتد. نتایج شبیه سازی در این حالت منطبق با مقادیر محاسبه شده توسط روش CPM می باشد. در حالت دوم این فرض برداشته شده است و فرض می شود که فعالیت ها دارای قابلیت اطمینان و ثبات کمتر از یک هستند. همچنین فرض می شود که سیاست های کنترلی در زمینه افزایش بودجه با تاخیر طولانی اعمال شوند (Time To Add Budget=45 Days). دو پارامتر مشخصه برای سیاست ها در نظر گرفته شد که عبارتند از Budget Contingency و Reaction To Budget Deficit که اولی نمایانگر ضریب اطمینان تخمین بودجه اولیه پروژه و دومی بازتاب کننده شدت عکس العمل به مقدار کمبود بودجه پیش بینی شده در زمینه تزریق اعتبار اضافی به بودجه در حال اجرا می باشد. برای Baseline 2

<sup>1</sup> Vensim

مقادیر شدت عکس العمل و مقدار Contingency در بودجه به ترتیب برابر با ۰,۲ و ۰,۰۱ در نظر گرفته شدند. در 2 Baseline خطاها و تغییرات اجتناب ناپذیری در هنگام اجرای پروژه ایجاد شده و موجب تولید اثرات موجهی در کل شبکه می گردد. جدول ۳ فرضیات موجود در دو Baseline و جدول ۴ نتایج شبیه سازی عملکرد پروژه نشان می دهد. همانگونه که مشاهده می شود بوجود آمدن تغییرات و خطاها و هزینه های ناشی از آنها و کمبود بودجه در زمانهای انتهایی پروژه موجب انحراف عملکرد پروژه از حالت پایه ای شده است.

| Activity Number | Baseline 1 |             |      |      | Baseline 2 |             |      |      |
|-----------------|------------|-------------|------|------|------------|-------------|------|------|
|                 | Stability  | Reliability | SMTH | QMTH | Stability  | Reliability | SMTH | QMTH |
| ۱               | ۱          | ۱           | ۱    | ۱    | ۰,۷        | ۰,۹         | ۰,۸  | ۰,۹  |
| ۲               | ۱          | ۱           | ۱    | ۱    | ۰,۷۵       | ۰,۸۵        | ۰,۸  | ۰,۹  |
| ۳               | ۱          | ۱           | ۱    | ۱    | ۰,۸۵       | ۰,۷۵        | ۰,۸  | ۰,۹  |
| ۴               | ۱          | ۱           | ۱    | ۱    | ۰,۸        | ۰,۷۵        | ۰,۸  | ۰,۹  |

جدول ۳ - فرضیات برنامه های مبنا

|            | Project Finish Time (day) | Project Cost (\$) |
|------------|---------------------------|-------------------|
| Baseline 1 | ۲۶۵                       | 2,197,700,000     |
| Baseline 2 | ۳۲۶                       | 3,167,180,000     |

جدول ۴ - نتایج شبیه سازی برنامه های مبنا

حال با توجه به کمبود بودجه مورد نیاز مخصوصا در نیمه دوم پروژه ، تعدادی از سیاست های هزینه ای را می توان برای بهبود وضعیت موجود مورد آزمایش قرار گیرد.

جدول ۵ پارامترها و جدول ۶ اثر ۴ سیاست مختلف هزینه که از ترکیبات مقادیر مختلف Budget Contingency و Reaction To Budget Deficit حاصل شده اند را بر عملکرد پروژه نشان می دهد. همچنین فرض شده است که زمان مورد نیاز برای اضافه نمودن بودجه (Time To Add Budget) ۳۰ روز باشد.

| سیاست ها                   | ۱    | ۲    | ۳    | ۴    |
|----------------------------|------|------|------|------|
| Budget Contingency         | ۰,۰۱ | ۰,۰۵ | ۰,۰۱ | ۰,۰۵ |
| Reaction To Budget Deficit | ۰,۲  | ۰,۲  | ۰,۵  | ۰,۵  |

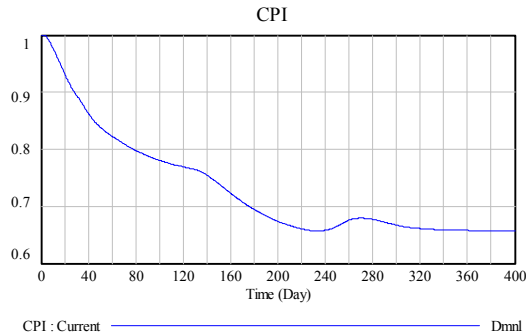
جدول ۵ - پارامترهای سیاست های کنترل هزینه

| سیاست ها            | ۱             | ۲             | ۳             | ۴             |
|---------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| Project Finish Time | ۳۲۴           | ۳۲۳           | 315           | ۳۱۵           |
| Final Cost (\$)     | 3,165,150,000 | 3,161,480,000 | 3,154,730,000 | 3,154,890,000 |

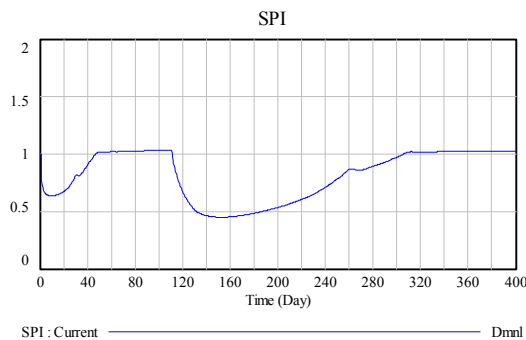
جدول ۶ - اثر سیاست ها بر عملکرد پروژه

همانطور که مشاهده می شود ، با افزایش شدت عکس العمل به کمبود بودجه ، عملکرد پروژه بهبود می یابد. اثر افزایش مقدار ضریب اطمینان بودجه تخمین زده شده بسته به موازنه های هزینه ای در مورد پاداش یا جریمه دیرکرد می تواند تأثیرات متفاوتی بر عملکرد پروژه داشته باشد، زیرا پاداش یا جریمه بصورت درصدی از بودجه اولیه تعیین می شود. با سیاست عکس العمل سریع به کمبود بودجه ، اگرچه با تزریق مقدار نقدینگی بیشتر ، عملکرد هزینه ای پروژه در کوتاه مدت تنزل می یابد اما در انتها علاوه بر بهبود عملکرد زمانی پروژه نسبت به سیاست عکس العمل کند ، هزینه نهایی پروژه نیز کمتر است. این موضوع به دلیل تأخیر فعالیت های پروژه در اثر کمبود بودجه و در نتیجه

ظاهر شدن اثرات مخرب فشار زمانبندی و اثرات جانبی سیاست های کنترل پروژه (نظیر اضافه کاری) بر روی کیفیت و بهره وری و به تبع افزایش نسبت خطاها و تغییرات می باشد. طولانی شدن مدت زمان پروژه موجب افزایش اثرات منفی نرخ تورم بر روی هزینه های پروژه و نیز درخواست غرامت از جانب مشتری به سبب تجاوز از تاریخ تکمیل تعیین شده خواهد شد. شکل ۸ و ۹ شاخص CPI و SPI پروژه را در حالت اعمال سیاست شماره ۴ نشان می دهد.



شکل ۸ - شاخص CPI پروژه در حالت اعمال سیاست چهارم



شکل ۹ - شاخص SPI پروژه در حالت اعمال سیاست چهارم

گرچه سیاست های بیان شده و نتایج شبیه سازی ارائه شده به دلیل مطرح شدن بحث هزینه وابسته به پارامترهای مختلف هزینه ای هستند ، هدف اصلی این تحقیق ارائه یک چارچوب مدلسازی پویا جهت بهبود عملکرد پروژه است. لذا با در نظر داشتن هسته و منطق اصلی مدل ، کاربرد و توسعه آن در مورد پروژه های واقعی با در نظر گرفتن واقعیت ها و پارامترهای خاص آن پروژه ، امکانپذیر است.

## نتیجه گیری و تحقیقات آینده

پروژه ها سیستم های پویای پیچیده ای هستند که درک کامل و همه جانبه رفتار و بهبود عملکرد آنها بدون لحاظ کردن پویایی ها ، روابط غیر خطی و بازخور بین عناصر ، میسر نیست. روش پویایی های سیستم (SD) یکی از روشهای مدلسازی سیستماتیک رایج است که تاکنون کاربردهای زیادی در زمینه تجزیه و تحلیل مباحث مدیریت پروژه بویژه در سطح استراتژیک داشته است. در این تحقیق تلاش شد تا با توسعه یک مدل SD از پروژه بر اساس تحقیقات قبلی در زمینه مدیریت تغییرات و خطاها ، مدیریت منابع و کنترل پروژه و اضافه نمودن عناصر و زیر سیستم هایی از مدیریت هزینه همچون تخمین بودجه ، تصمیم گیری در مورد افزایش اعتبار ، پایش عملکرد هزینه ای پروژه با استفاده از تکنیک ارزش حاصله و ... ابزاری جهت ارزیابی اثربخشی برخی سیاست های کنترل پروژه بالاخص در مورد مدیریت هزینه ، فراهم شود. توسعه های بیشتری می تواند در جهت بالابردن سودمندی مدل انجام شود که از آن جمله می توان به موارد زیر اشاره کرد :

۱- مدلسازی مکانیزم تصویب یا رد تغییرات مطرح شده بر حسب هزینه و زمان تخمین زده شده برای اجرای تغییر پیشنهادی

- ۲- افزایش جزئیات بیشتر در مورد انواع منابع و هزینه آنها و نیز مدل‌سازی تغییرات احتمالی در مورد نوع و کیفیت منابع
- ۳- مدل‌سازی ریسک‌های معمول پروژه مخصوصاً در زمینه تدارک منابع، شرایط اقتصادی و تامین اعتبار
- ۴- مدل‌سازی عناصر هزینه‌ای دیگر غیر از منابع و هزینه دیرکرد، همچون هزینه قراردادها و ...
- اعتبارسنجی مدل‌های SD شامل چندین مرحله می‌باشد که در منابع اصلی این روش همچون استرمن (۲۰۰۰) مطرح شده است. استفاده از قابلیت‌های نرم‌افزار Vensim Professional در زمینه شبیه‌سازی‌های احتمالی و ارائه فواصل اطمینان برای نتایج و نیز امکان مدل‌سازی تعداد زیادی از اجزای یکسان در مورد فعالیت‌ها ( subscript ها )، می‌تواند به سهولت مدل‌سازی، افزایش جزئیات مورد نیاز و کاربرد بیشتر این روش کمک نماید.

## منابع و مأخذ

- Ford, D.N.(1995) The Dynamics of Project Management: An Investigation of the Impacts of Project Process and Coordination on Performance. Ph.D. Dissertation, Massachusetts Institute of Technology, August 1995.
- Ford DN, Lyneis JM, Taylor T. (2007). Project controls to minimize cost and schedule overruns: a model, research agenda, and initial results. Proceedings of the 2007 International System Dynamics Conference: Boston, MA.
- Lee, S.H., Pena-Mora, F., and Park, M. (2005) "Quality and Change management Model for Large Scale Concurrent Design and Construction Projects. ASCE J of Construction Engineering and management. August 2005. 890-902.
- Lee, S., Pena-Mora, F., and Park, M. (2006) "Reliability and Stability Buffering Approach: Focusing on the Issues of Errors and Changes in Concurrent Design and Construction Projects." ASCE Journal of Construction Engineering and management. May 2006. pp 290-300
- Lyneis, James M., Cooper, Kenneth G., and Els, Sharon A.,(2001) "Strategic Management of Complex Projects: A Case Study Using System Dynamics." System Dynamics Review 17(3), 237–260, April 2001.
- Lyneis, J.M. and Ford, D.N,(2007) System Dynamics Applied to Project Management: A Survey, Assessment, and Directions for Future Research. Accepted for publication in System Dynamics Review, June, 2007.
- Motawa, C.J. Anumba, S. Lee, F. Peña-Mora (2006) "An integrated system for change management in construction" , Automation in Construction 16 (2007) 368–377
- Park. M (2004) Model-based dynamic resource management for construction projects , Automation in Construction 14 (2005) 585– 598
- Peña-Mora, F., and Li, M. (2001). "Dynamic planning and control methodology for design-build fast-track construction projects." *J. Constr.Eng. Manage.*, 127\_1\_, 1–17.
- Rodrigues, A. G. and J. Bowers. (1996) System Dynamics in Project Management: A Comparative Analysis With Traditional Methods. System Dynamics Review, Volume 12, Number 2, 1996.
- Sterman, J. D. (1992) , System Dynamics Modeling for Project - management.<http://web.mit.edu/jsterman/www/>, 1992.

Sterman, J. D. (2000) Business Dynamics: System Thinking and Modeling for a Complex World, McGraw-Hill, New York, NY, 2000

نوری ، سیامک ، اصول و مفاهیم برنامه ریزی و مدیریت پروژه ، تهران ، انتشارات دانشگاه علم و صنعت ، ۱۳۸۲ ، چاپ اول

سبزه پرور ، مجید ، کنترل پروژه به روش گام به گام ، تهران ، انتشارات ترمه ، ۱۳۸۶ ، چاپ چهارم