مهندسی صنایع و مدیریت شریف، (تابستان ۱۳۹۸)
دوره‌ی ۱-۳۵، شماره‌ی ۱/۲، ص. ۳-۱۴

Original Article

بهینه‌یابی تخصیص کمّی ریسک دوباره‌کاری با بررسی رفتار منفعت به هزینه با استفاده از رویکرد پویایی‌های سیستم

یحیی زارع مهرجردی * **(استاد)**
نصرالله زارع محمود آبادی (کاشناسی ارشد)
دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه یزد

در پژوهش جاری تخصیص کمّی ریسک دوباره‌کاری با استفاده از رویکرد پویایی‌های سیستم ـ فازی انجام گرفته است. استفاده از اصل گسترش لطفی‌زاده این قابلیت را برای پویایی‌های سیستم ایجاد می‌کند تا خروجی‌های سیستم با توجه به عدم قطعیت در متغیرهای ورودی لحاظ شوند. به منظور تخصیص کمّی ریسک دوباره‌کاری ابتدا عامل‌های مرتبط با ریسک دوباره‌کاری شناسایی و در ادامه با استفاده از نرم‌افزار Vensim، نمودار جریان یکپارچه به منظور شبیه‌سازی ایجاد و اعتبارسنجی شده است. کارایی مدل ساخته شده، بر روی یک نمونه پروژه‌ی ساختمان ۴طبقه با زیرزمین پیاده‌سازی شده است. هزینه‌ی پروژه در درصدهای مختلف تخصیص ریسک شبیه‌سازی و درصد بهینه ۳۷٪ تعیین شده است؛ همچنین ارزشی که ساختمان در طول ساخت به دست می‌آورد نسبت به هزینه‌یی که در ساخت پرداخته می‌شود، همراه با مجموع ذخیره شده‌ی مواد هدر رفت به عنوان منفعت، با نسبت منفعت به هزینه، در مدل جریان بررسی شده است و درنهایت با طرح سناریو و ارزیابی نتیجه‌گیری ارائه شده است.

واژگان کلیدی: تخصیص کمّی ریسک، پویایی سیستم، فازی، دوباره‌کاری، نسبت منفعت به هزینه.

yzare@yazd.ac.ir
nasrolah.zare@gmail.com

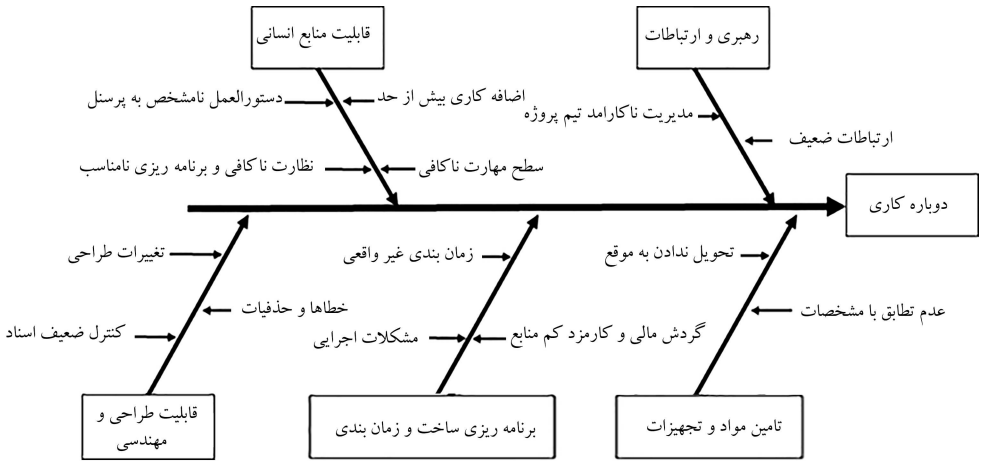
۱. مقدمه

تخصیص ریسک فرایند شناسایی ریسک‌های پروژه و تعیین این‌که چگونه آنها به طور منصفانه و واقع‌گرایانه بین طرفین در پروژه‌های ساخت تسهیم شوند، مطابق با استاندارد پیکره‌ی دانش مدیریت پروژه، ازجمله اقدامات آغازین پروژه، شناسایی ریسک و تهیه‌ی برنامه‌ی پاسخ به آنهاست. از مواردی که در این برنامه تعیین می‌شود، راهبردهای مواجه با ریسک‌ها و نحوه‌ی تقسیم مسئولیت ریسک‌ها بین کارفرما و پیمانکاران پروژه در قبال توافقات قراردادی است.[۱-۳] تخصیص ریسک‌های ساخت بین کارفرمایان و پیمانکارانشان تأثیری قابل توجه بر هزینه‌ی کلّی ساخت دارد. تخصیص ریسک می‌تواند به دو رویکرد کیفی و کمّی دسته‌بندی شود. روش کیفی منجر به توسعه‌ی ماتریس تخصیص ریسک می‌شود که مشخص می‌کند مسئولیت کامل هر یک از ریسک‌ها به چه کسی اختصاص داده شده است.[۴] رویکرد کمّی تخصیص ریسک با غلبه بر محدودیت روش کیفی تخصیص ریسک در مورد تعیین این موضوع که چه میزان از ریسک باید به هر عامل تخصیص داده شود، توسعه یافته است. اکثر رویکردهای کمّی دارای مدل تخصیص ریسک بر مبنای تخصیص بهینه‌ی ریسک اند. تخصیص بهینه‌ی ریسک به این معنی است که ریسک چگونه تخصیص پیدا کند تا بهترین نتیجه برای پروژه (تابع هدف می‌تواند کمینه‌کردن هزینه‌ی پروژه باشد) حاصل شود.[۵]

اهمیت تخصیص کمّی ریسک در این است که اگر به صورت مناسبی تخصیص داده نشود، باعث می‌شود تا اهداف پروژه آن‌طورکه باید محقق نشوند و همچنین به نارضایتی یکی از طرفین خواهد انجامید

در این تحقیق تخصیص کمّی ریسک با استفاده از رویکرد فازی - پویایی سیستم انجام می‌گیرد. فرایند تخصیص ریسک تحت تأثیر چندین عامل به هم وابسته است که بسیار پویا و درگیر در فرایندهای بازخوری و رابطه‌های غیرخطی با هر دو داده‌ی کمّی و کیفی است. پویایی‌های سیستم برای مدل‌سازی یک چنین سیستم‌های به شدت پویا مناسب است و می‌تواند به آسانی برای شبیه‌سازی این اجزای وابسته به کار گرفته شود. از طرفی داده‌های گذشته، به طور معمول در پروژه‌های ساخت در دسترس نیست. علاوه بر این، پروژه‌های ساخت منحصر به فرد و به طور عادی فرایندهای تکرار نشدنی هستند. برخی از عوامل مؤثر بر فرایند تخصیص ریسک تأثیر نامشخصی دارند؛ بنابراین، نظریه‌ی فازی می‌تواند انتخاب مناسبی برای لحاظ تأثیر این عوامل باشد.

* نویسنده مسئول
تاریخ: دریافت ۱۳۹۵/۱۱/۲۵، اصلاحیه ۱۳۹۶/۹/۲۲، پذیرش ۱۳۹۶/۱۰/۵.
DOI:10.24200/J65.2019.7083.1692



شکل ۱. علل دوباره‌کاری در ساخت.[۱۶]

ساختار نوشتاری حاضر به این صورت است که در بخش دوم به مرور پژوهش‌های پیشین پرداخته می‌شود؛ در بخش سوم مروری اجمالی بر روش تحقیق در پژوهش حاضر صورت می‌گیرد. در بخش چهارم مدل‌سازی انجام و به تجزیه و تحلیل نتایج پرداخته می‌شود و در بخش پنجم نتیجه‌گیری تحقیق آورده می‌شود.

۲. پیشینه‌ی نظری پژوهش

بیشتر پژوهش‌های انجام شده در زمینه‌ی تخصیص ریسک رویکردی کیفی دارند و با نظرسنجی پرسش‌نامه‌یی صورت گرفته‌اند. در این تحقیق تخصیص کمّی ریسک با استفاده از رویکرد فازی - پویایی انجام شده است.

نصیرزاده و همکاران[۲] در مقاله‌یی به مدل‌سازی تخصیص کمّی ریسک[۱] در پروژه‌های ساخت پرداخته‌اند. خزائنی و همکاران[۶] یک مدل تصمیم‌گیری انطباقی برای تخصیص متوازن ریسک، که قوانین کلامی و دانش تجربی[۲] متخصصان به یک روش نظام‌مند و مناسب بر مبنای تحلیل کمّی با استفاده از منطق فازی است، ارائه کرده‌اند. خاکسفیدی و اردلی[۷] در پژوهشی به مباحث مربوط به مدیریت هزینه‌ی پروژه‌ی ساخت و نقش دوباره‌کاری‌ها پرداخته‌اند. وانگ و همکاران[۸] در پژوهشی به شناسایی و تأثیر ریسک‌های مختلف پرداخته‌اند و در نهایت تخصیص ریسک در ۴ سطح دسته‌بندی شده است. هان در سال ۲۰۱۱ به منظور بررسی تأثیر خطاهای طراحی در مدیریت پروژه‌های ساخت از رویکرد پویایی‌های سیستم استفاده کرده است؛ وی به منظور آزمودن کاربردی بودن مدل خود، اقدام به شبیه‌سازی پروژه‌های ساخت یک دانشگاه در پنج طبقه کرده است. از عوامل مهمی که در به تأخیر انداختن پروژه در این مدل در نظر گرفته شده‌اند، می‌توان به خطاهای طراحی اشاره کرد.[۹] طی پژوهشی، روشی برای محاسبه‌ی دوره‌ی امتیازی به عنوان بهترین لحظه‌ی زمانی که باعث ایجاد یک‌راه حل برد - برد برای هر دو طرف قرارداد به منظور تسهیم ریسک منصفانه بین آنهاست، فراهم شده است.[۱۰] لاو و همکاران[۱۱] به منظور درک تأثیر تغییرات و دوباره‌کاری بر سیستم مدیریت پروژه از پویایی‌های سیستم استفاده کردند. در مقاله‌یی دیگر لاو و همکاران[۱۲] پیشنهاد کرده‌اند برای کاهش یا حذف هزینه‌ها و اثرات دوباره‌کاری، نیاز به درک ساختار علّی دوباره‌کاری است و راهبردهای پیشگیری مؤثر که می‌توانند عوامل دوباره‌کاری را کاهش یا حذف کنند ارائه کرده‌اند. سان و همکاران[۱۳] تاثیر خطاهای انسانی ایجاد شده در مرحله طراحی را بررسی کرده و خاطر نشان کرده‌اند که بهترین شیوه جلوگیری از خطاهای طراحی در مدیریت پروژه‌های ساخت درست در همین مرحله طراحی است. پژوهشگران مذکور برای تحلیل خطاهای ایجاد شده در نصب آسانسور از رویکرد پویایی‌های سیستم استفاده و فاکتورهای مرتبط با ایمنی را در مدل‌سازی دینامیکی منظور کرده‌اند. منابع بسیاری برای دوباره‌کاری در صنایع ساخت شناسایی شده‌اند. دانش‌زاد[۱۴] در پژوهش خود با هدف نشان دادن عوامل و تعاملات موجود در سیستم زیست محیطی پروژه‌های شرکت گاز و ارائه‌ی مدلی برای تحلیل منفعت و هزینه، از رویکرد پویایی‌های سیستم استفاده کرده است. یوان و همکاران[۱۵] در پژوهشی در چین، به برجسته کردن پویایی و تعاملات موجود در زنجیره‌ی پسماند و تحلیل هزینه - منفعت فرایند مدیریت پسماند با استفاده از رویکرد سیستم پویا پرداخته و به عنوان ابزاری مفید برای شبیه‌سازی پویایی سیستم نرم‌افزار iThink را انتخاب کرده‌اند. شکل ۱ علل دوباره‌کاری در فاز ساخت یک پروژه را نشان می‌دهد. همان طور که در شکل دیده می‌شود، پنج دلیل عمده‌ی دوباره‌کاری عبارت‌اند از رهبری و ارتباطات، قابلیت منابع انسانی، تأمین مواد و تجهیزات، برنامه‌ریزی ساخت و زمان‌بندی و قابلیت طراحی و مهندسی است.[۱۶]

برخی از عوامل مؤثر بر فرایند تخصیص ریسک تأثیر نامشخصی دارند. بنابراین نظریه‌ی فازی می‌تواند انتخاب مناسبی برای لحاظ تأثیر این عوامل باشد. استفاده از اصل گسترش لطفی‌زاده این قابلیت را برای پویایی‌های سیستم ایجاد می‌کند تا خروجی‌های سیستم با توجه عدم قطعیت در متغیرهای ورودی لحاظ شوند. به منظور تخصیص کمّی ریسک دوباره‌کاری ابتدا با شناسایی عامل‌های مرتبط با ریسک دوباره‌کاری نمودار مرز مدل و سپس نمودار کیفی طراحی شده است و در ادامه با استفاده از نرم‌افزار Vensim، نمودار جریان یکپارچه برای اجرای شبیه‌سازی ایجاد و اعتبارسنجی شده است. به منظور بررسی کارایی مدل بر روی یک نمونه پروژه‌ی ساختمان ۴ طبقه با زیرزمین پیاده‌سازی شده است و هزینه‌ی پروژه در درصدهای مختلف تخصیص ریسک شبیه‌سازی شده است. پارامترهای ثابت هزینه‌ی اولیه‌ی پیش‌بینی شده برای پروژه، مدت زمان پیش‌بینی شده و تعداد فعالیت‌ها، که در بخش ۳.۴ آورده شده است، از برنامه‌ی اولیه‌ی زمان‌بندی برای پروژه‌ی مذکور گرفته شد. برای دیگر پارامترهای ثابت مدل مانند هزینه‌ی واحد برای تخریب و بازسازی و زمان لازم برای کشف دوباره‌کاری، که باعث محدودیت در مدل‌سازی دقیق‌تر شدند، از متخصصان پروژه نظر خواهی و همچنین اطلاعات میدانی از پروژه‌های مشابه جمع‌آوری شد. همچنین عدم وجود داده‌های واقعی پروژه در طول ساخت از

جمله هزینه‌های دوره‌یی پروژه باعث می‌شود که نتوان از آزمون بازتولید رفتار برای اعتبارسنجی مدل استفاده کرد.

بیشتر تحقیقات انجام شده در زمینه‌ی تخصیص ریسک، با رویکرد کیفی صورت گرفته است. در تحقیق حاضر با رویکرد کیفی و کمّی به تخصیص ریسک دوباره‌کاری، که یکی از ریسک‌های تأثیرگذار در پروژه است، پرداخته شده است؛ ضمن این‌که سعی شده است بیشتر عامل‌های مرتبط با ریسک دوباره‌کاری شناسایی شود و سیاست‌های تدافعی پیمانکار در محیط نرم‌افزاری برای درک بهتر شبیه‌سازی شود. علاوه بر آن در تحقیق حاضر عامل منفعت به هزینه نیز در مدل ساخته شده در نظر گرفته شده است.

۳. تحقیق

۱.۳. پویایی‌های سیستم

روش «پویایی‌های سیستم»[3] در اواخر دهه‌ی ۱۹۵۰ توسط جی. دبلیو. فارستر در مؤسسه‌ی فنّاوری ماساچوست ارائه شد. اولین کتاب وی که در سال ۱۹۶۱ و با نام «پویایی‌های صنعتی» منتشر شد، هنوز هم به عنوان کتاب مرجع پایه‌یی در این حوزه شناخته می‌شود.[۱۷] تعاریف زیادی برای «سیستم» وجود دارد که علت آن انواع مختلف دیدگاه‌ها و انواع سیستم‌های مورد مطالعه است. از جمله‌ی این تعاریف به این صورت است که «سیستم، مجموعه‌یی از اجزای مرتبط است که در راستای دست‌یابی به مأموریت خاصی، نوع و نحوه‌ی ارتباط بین آنها به وجود آمده باشد.» به عبارت دیگر، مشخصه‌ی مهم یک سیستم تعامل و ارتباط است و ویژگی‌های اصلی سیستم از تعامل اجزا به دست می‌آید نه از رفتار مستقل اجزا. جوهر اصلی تفکر سیستمی تغییر در نگرش است، نوعی آرایش مجدد تصویری که از پدیده‌ها داریم، یا تغییر از نگرش خطی به نگرش تکرارپذیر حلقوی است؛ به عبارتی گام اول در تفکر سیستمی، تغییر در نگرش به پدیده‌هاست.[۱۸و۱۹] طبق آن‌چه در مراجع آمده است، مدل‌سازی یک سیستم در رویکرد سیستم پویا، یک فرایند تکرار شونده است و طی این گام‌ها انجام می‌شود:

۱. مفهوم‌سازی، شامل تعیین هدف مدل‌سازی، تعریف مرز مدل، تعیین متغیرهای کلیدی، تشریح رفتار یا ترسیم نمودار متغیرهای کلیدی، ترسیم نمودار سازوکارهای پایه‌ی سیستم؛

۲. فرمول‌بندی، شامل تبدیل نمودارهای بازخور به معادلات نرخ و سطح، تخمین و انتخاب مقادیر پارامترها؛

۳. آزمون مدل: شامل شبیه‌سازی مدل و آزمون فرضیه‌ی پویا؛

۴. پیاده‌سازی، شامل آزمون پاسخ سیستم به سیاست‌های مختلف، ترجمه‌ی بینش‌های حاصل از مطالعه به شکل قابل‌استفاده.[۲۰]

۲.۳. منطق فازی

نظریه‌ی مجموعه‌های فازی اولین بار توسط پروفسور لطفی‌زاده در سال ۱۹۶۵ در مقاله‌یی با عنوان مجموعه‌های فازی منتشر شد.[۲۱] منطق فازی عبارت است از «استدلال با مجموعه‌های فازی». منطق فازی، در واقع تکامل یافته و عمومی شده‌ی منطق کلاسیک است. در منطق کلاسیک که منطق دو ارزشی است هرگزاره می‌تواند درست یا نادرست باشد؛ در حالی‌که در منطق فازی که منطق چند ارزشی است ارزش درستی هرگزاره می‌تواند هر عددی بین صفر و یک باشد؛ پس قضاوت تقریبی و نادقیق با به‌کارگیری منطق فازی ممکن می‌شود. منطق بخشی از ظرفیت انسان‌ها به منظور توجیه و استدلال رویدادها، تصمیم‌گیری و تحلیل است. منطق به انسان‌ها کمک می‌کند تا کلمات و مفاهیم را سازمان دهی کنند و عبارتی شفاف و واضح بیان کنند. اما این‌که چه جمله‌یی در چه زمینه‌یی باید به کار رود توسط منطق مشخص نمی‌شود.[۲۲،۲]

۳.۳. نسبت منفعت به هزینه

یکی از روش‌های اقتصاد مهندسی برای مقایسه‌ی اقتصادی طرح‌ها، روش نسبت منافع به مخارج یا سود به هزینه $(\frac{B}{C})$[4] است. این روش علاوه بر این‌که در بررسی اقتصادی طرح‌های سرمایه‌گذاری خصوصی به کار می‌رود، یک روش کاربردی و معروف در ارزیابی طرح‌های دولتی نیز هست. طرح‌های دولتی عام‌المنفعه هستند و نتایج آن عاید مردم می‌شود. پیش‌بینی هزینه‌ها و منافع و بیان آنها بر حسب پول، از پیچیدگی خاصی برخوردار است.[۲۴،۲۳] فرمول کلی نسبت منافع به مخارج به صورت زیر است:

$$\frac{B}{C} = \frac{Benefits - Losses}{Costs} \qquad (۱)$$

چنانچه $\frac{B}{C} \geq ۱$، طرح اقتصادی و اگر $\frac{B}{C} < ۱$، طرح غیراقتصادی است.[۲۳]

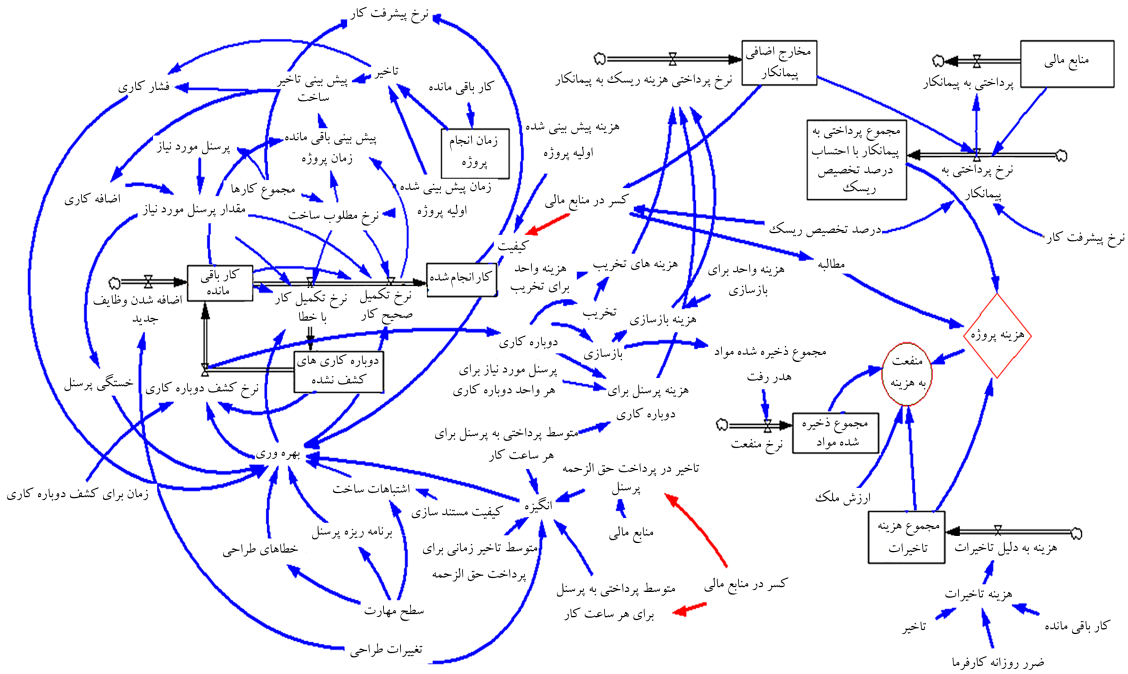
۴. مدل‌سازی و اجرای مدل

۱.۴. نمودار مرز مدل

نمودار مرز مدل،[5] دامنه‌ی مدل را با فهرست کردن متغیرهای کلیدی که شامل درون‌زا[6] و برون‌زا[7] و متغیرهایی که در نظر گرفته نمی‌شوند، خلاصه می‌کند. عوامل درون‌زا، متغیرهایی هستند که مقادیرشان به واسطه‌ی سیستم ناشی می‌شود؛ در حالی‌که مقادیر عوامل برون‌زا به طور مستقل از متغیرهای درونی و سازوکار داخلی در مدل ناشی می‌شود.[۱۹] در جدول ۱ مهم‌ترین متغیرهای درون‌زا و برون‌زا آورده شده است.

جدول ۱. نمودار مرز مدل.[۲۵]

صرف نظر شده	برون‌زا	درون‌زا
گروه کاری	درصد تخصیص ریسک	هزینه‌ی پروژه
یکپارچگی و هماهنگی اثربخش	زمان لازم برای کشف دوباره‌کاری	منفعت به هزینه
به کارگیری برنامه مدیریت کیفیت	منابع اولیه‌ی پروژه	کارباقی‌مانده
آموزش و توسعه‌ی مهارت	هزینه‌ی واحد برای تخریب	اشتباه‌های ساخت
مدیریت اثربخش	هزینه‌ی واحد برای بازسازی	کسر در منابع مالی
منابع مشاور	تغییرات طراحی	بهره‌وری
	سطح مهارت	دوباره‌کاری
		پرداختی به پیمانکار
		فشار کاری



شکل ۲. نمودار جریان یکپارچه.

۲.۴. نمودار جریان یکپارچه

با توجه به نمودار ارائه شده برای مرز مدل در جدول ۱، مدل علّی - حلقوی ساخته شده است؛ سپس بر اساس آن نمودار جریان یکپارچه به صورت شکل ۲ حاصل شده است.[۲۵] در چرخه‌ی دوباره‌کاری - که متشکل از متغیرهای حالت کار باقی‌مانده، کار انجام شده، و دوباره‌کاری کشف نشده است - همراه با انجام کار در آغاز، کارها ممکن است درست یا نادرست انجام شود و از کارهایی که باید انجام شود کاسته می‌شود. کارهایی که درست انجام شوند درکار انجام شده قرار می‌گیرند و نرخ پیشرفت کار تعیین می‌شود. در ابتدا کارهایی که درست انجام نشده‌اند و در آنها خطاهایی وجود دارد، در دوباره‌کاری شناخته نشده قرار می‌گیرند؛ این خطاها بلافاصله قابل‌شناسایی نیستند و پس از یک دوره که در سیستم پنهان هستند، آشکار می‌شوند. با تجمیع خطاهای صورت گرفته، افزایش نرخ کشف دوباره‌کاری را خواهیم داشت و در ادامه از خطاهای کشف نشده کاسته خواهد شد. با آشکار شدن این خطاها دوباره‌کاری ملزوم شده باعث افزایش مقدارکاری که باید انجام شود، می‌گردد.

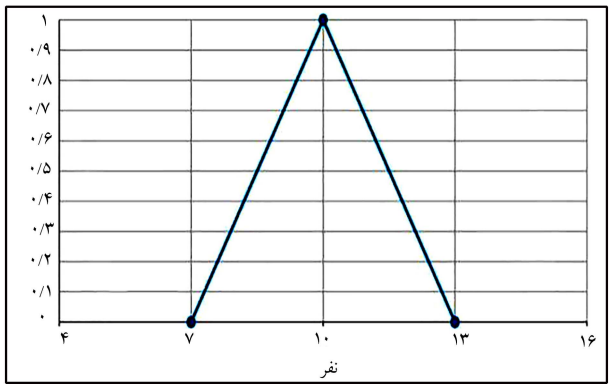
افزایش تغییرات در طراحی، اثر عکس بر انگیزه و بهره‌وری خواهد داشت؛ در نتیجه همراه با پیشرفت کار، زمانی که خطاها کشف شود، طراحان مجبور به طراحی مجدد و زمان‌بندی مجدد عناصر ضروری می‌شوند که خود بر روند پیشرفت کار تأثیرگذار است.

با به کارگیری کارکنان با سطح مهارت بالا و مستندسازی با کیفیت بالا در پروژه توسط پیمانکار و کارفرما می‌توان از خطاها و اشتباه‌ها در ساخت کاست؛ همچنین می‌توان برنامه‌ریزی مؤثرتری را برای کارکنان، و درنتیجه بهره‌وری بیشتری را در پروژه داشت. با وقوع ریسک دوباره‌کاری، هزینه‌هایی به پیمانکار تحمیل می‌شود؛ بنابراین مخارج پیمانکار افزایش پیدا خواهد کرد و پیمانکار با کسر در منابع مالی مواجه خواهد شد. با افزایش کسر در منابع مالی، پیمانکار با کاهش حق‌الزحمه‌ی کارکنان و تأخیر در پرداخت آن سعی درکاهش کسر در منابع مالی خواهد داشت.

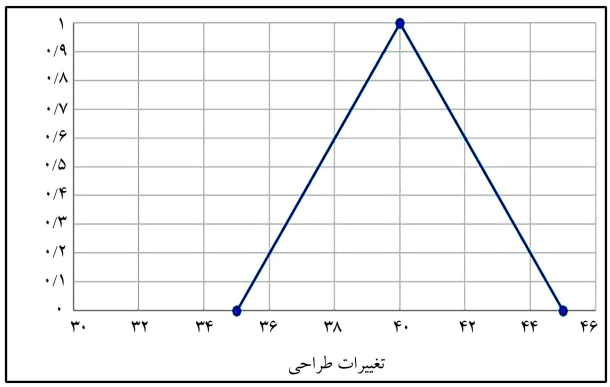
با انجام این عمل از طرف پیمانکار، از انگیزه‌ی کارکنان کاسته خواهد شد و به دنبال آن بهره‌وری آنها نیز کاهش خواهد داشت؛ با کاهش بهره‌وری و کاهش نرخ تکمیل کار، پرداختی به پیمانکار کاسته خواهد شد. با کاهش بهره‌وری نرخ تکمیل کار با خطا بالا خواهد گرفت و به دنبال آن دوباره‌کاری‌هایی ایجاد خواهد شد که باعث افزایش در زمان پروژه می‌شود و این خود اضافه کاری و فشار کاری را برای انجام به موقع پروژه در پی خواهد داشت که در ادامه نیز بر بهره‌وری اثر عکس خواهد گذاشت. در مقابل با اتخاذ تخصیص یک جانبه ریسک از طرف کارفرما همان طور که در شکل ۲ نشان داده شده است، پیمانکار راهبرد مطالبه و پایین آوردن کیفیت کار را به کار خواهد گرفت. با افزایش در مخارج پیمانکار در اثر وقوع دوباره‌کاری و در صورت تخصیص یک‌جانبه‌ی ریسک از طرف کارفرما نتیجتاً پیمانکار با کسری در منابع مالی مواجه خواهد شد. یکی از راهبردهای اتخاذ شده در این زمان از طرف پیمانکار، پایین آوردن کیفیت کار به منظور کاهش در مخارج پروژه است. کاهش در کیفیت کار باعث می‌شود نقص در وظایف افزایش پیدا کند و با اثر گذاری بر نرخ تکمیل کار در چرخه ممکن است دوباره‌کاری کشف شود یا نشود. در صورت کشف نواقص باید دوباره‌کاری توسط پیمانکار به درستی انجام شود؛ در نتیجه زمان و مخارج پیمانکار افزایش خواهد یافت. افزایش در زمان پروژه موجب ضرر به کارفرما خواهد بود و در نتیجه باعث افزایش هزینه‌ی پروژه خواهد شد. در صورتی‌که نقص ناشی از پایین آوردن کیفیت کار توسط پیمانکار در طول پروژه‌ی ساخت کشف نشود، در آخر باید توسط کارفرما تصحیح شود و در نتیجه در این حالت نیز هزینه‌ی پروژه افزایش خواهد داشت. خطوط قرمز درون شکل، راهبردی را که پیمانکار در هنگام مواجه شدن با کسری در منابع مالی اتخاذ می‌کند، نشان می‌دهد.

۳.۴. شبیه‌سازی و تجزیه‌وتحلیل نتایج

مدل جریان ساخته شده بر روی یک نمونه‌ی پروژه ساختمانی ۴ طبقه با زیرزمین،



شکل ۳. عدد فازی تعداد کارکنان برای هر واحد دوباره‌کاری.

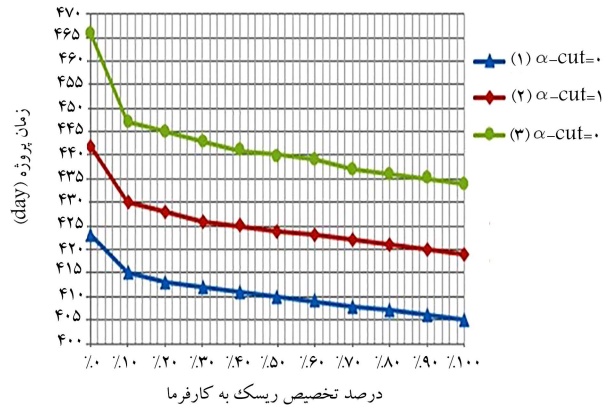


شکل ۴. عدد فازی تعداد تغییرات طراحی.

با تعداد ۱۸۸ فعالیت پیاده‌سازی شده است که ارزش ملک آن در ابتدای شروع ساخت ۱،۰۰۰،۰۰۰،۰۰۰ ریال بوده است. مقدار هزینه‌ی اولیه‌ی پیش‌بینی شده برای این پروژه ۱،۶۴۴،۵۷۰،۰۰۰ و با زمان اولیه‌ی ۳۹۸ روزِکاری است و همچنین با نظرخواهی از خبرگان مجموع ذخیره شده‌ی مواد هدر رفت ۵ درصد هزینه‌ی پیش‌بینی شده‌ی اولیه برای پروژه است. به علت ابهام در تعداد مورد نیاز تغییرات طراحی و تعداد کارکنان برای انجام هر واحد دوباره‌کاری، ارزش این عوامل به صورت یک عدد فازی تعیین شده است که با تجمیع نظر ۴ کارشناس با استفاده از روش دلفی به صورت اعداد فازی مثلثی تخمین زده شده است. همان طورکه در شکل ۳ دیده می‌شود، تعداد کارکنان مورد نیاز برای انجام هر واحد دوباره‌کاری به صورت عدد فازی مثلثی (۷،۱۰،۱۳) و همچنین تعداد تغییرات طراحی به صورت (۳۵،۴۰،۴۵) تعیین شده است شکل ۴.

۱.۳.۴. تأثیر ریسک دوباره‌کاری بر زمان پروژه

با توجه به اصل گسترش، از آن‌جایی‌که زمان پروژه تابعی از دو عدد فازی تعداد تغییرات طراحی و تعداد کارکنان مورد نیاز برای انجام هر واحد دوباره‌کاری است، زمان پروژه نیز عدد فازی منظور شده است. با استفاده از مدل کمّی توسعه داده شده و رویکرد فازی در نظرگرفته شده، تأثیر راهبردهای مختلف تخصیص ریسک اتخاذ شده از طرف کارفرما و راهبردهای تدافعی پیمانکار برای مقابله با کمبود منابع مالی بر زمان پروژه در شکل ۵ و جدول ۲ نشان داده شده است. با قرار دادن $\alpha - cut$ برابر صفر برای اعداد فازی و به دست آوردن مقادیر قطعی سمت چپ و راست و همچنین قرار دادن ل $\alpha - cut$ برابر ۱، مقادیر قطعی به دست آمد. با اجرای مدل با توجه به برش‌های صورت گرفته، مقادیر زمان پروژه در درصدهای مختلف تخصیص ریسک با توجه به شبیه‌سازی‌های انجام شده محاسبه شده است.



شکل ۵. زمان پروژه‌ی شبیه‌سازی شده در درصدهای مختلف تخصیص ریسک.

همان طورکه در شکل ۵ دیده می‌شود اگر مقدار $\alpha - cut$ انتخاب شده ۱ باشد، زمان پروژه از ۴۱۹ روز تا ۴۴۲ روز متغیر است؛ نمودار شماره ۲ در شکل ۵ دلیل روند نزولی زمان از تخصیص ریسک ۰٪ تا ۱۰۰٪، را این‌گونه بیان می‌کند که در درصدهای پایین تخصیص ریسک، پیمانکار با کمبود منابع مالی مواجه خواهد شد و قبلاً توضیح داده شد که راهبردهایی را اتخاذ می‌کند که در نهایت منجر به کاهش نرخ تکمیل کار و در نتیجه افزایش زمان پروژه می‌شود؛ در درصدهای بالای تخصیص ریسک چون کارفرما هزینه‌های بیشتری از تأثیر ریسک دوباره‌کاری - که مخارج اضافی را به پیمانکار تحمیل کرده است - می‌پذیرد، از کمبود منابع مالی پیمانکار کاسته خواهد شد و پیمانکار کمتر در صدد اتخاذ راهبردی برای جبران کمبود منابع مالی خواهد بود و بیشتر هدف او به برآورده کردن اهداف پروژه سوق داده خواهد شد؛ در نتیجه پروژه در مدت زمان کمتری انجام خواهد شد. به طور مشابه اگر $\alpha - cut$ انتخاب شده صفر باشد، زمان پروژه از ۴۰۵ تا ۴۲۳ و ۴۳۴ تا ۴۶۶ روز به ترتیب برای مقدار سمت چپ و راست متغیر خواهد بود، نمودارهای ۱ و ۳ در شکل ۵.

۲.۳.۴. تأثیر ریسک دوباره‌کاری بر هزینه‌ی پروژه

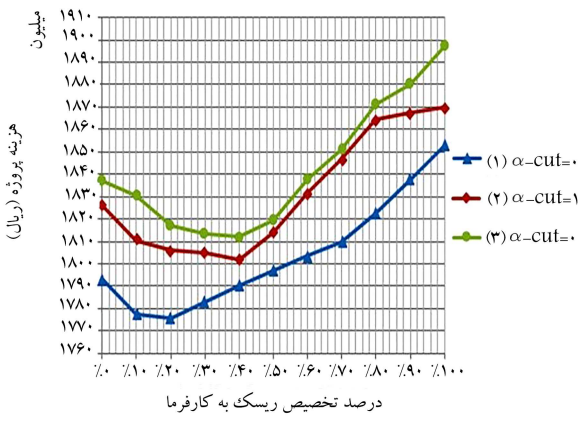
با توجه به اصل گسترش، از آنجایی‌که هزینه‌ی پروژه نیز تابعی از دو عدد فازی تعداد تغییرات طراحی و تعداد کارکنان مورد نیاز برای انجام هر واحد دوباره‌کاری است، هزینه‌ی پروژه نیز عدد فازی منظور شده است. با قرار دادن $\alpha - cut$ برابر صفر برای اعداد فازی و به دست آوردن مقادیر قطعی سمت چپ و راست و همچنین قرار دادن $\alpha - cut$ برابر ۱، مقادیر قطعی به دست می‌آید. با اجرای مدل با توجه به برش‌های صورت گرفته، مقادیر هزینه‌ی پروژه در درصدهای مختلف تخصیص ریسک محاسبه شده است. با شبیه‌سازی انجام شده هزینه‌ی پروژه در درصدهای مختلف تخصیص ریسک برای مقادیر فازی چپ، میانه و راست، نمودار مربوط به هزینه‌ی پروژه به صورت شکل ۶ خواهد بود و مقادیر آن در جدول ۳ آمده است. اگر مقدار $\alpha - cut$ ، ۱ انتخاب شود، هزینه‌ی پروژه از ۱،۸۲۶،۲۸۵،۶۹۶ تا ۱،۸۰۱،۶۸۲،۱۷۶ برای درصد تخصیص ریسک ۰٪ تا ۴۰٪ است که در نقطه‌ی ۴۰٪ هزینه کمینه شده است. نمودار ۲ در شکل ۶؛ بعد از این نقطه هزینه شروع به زیاد شدن تا مقدار ۱،۸۶۹،۷۹۹،۳۸۴ در ۱۰۰٪ می‌کند. دلیل مقعر بودن نمودار هزینه به این دلیل است که در درصدهای پایین تخصیص پیمانکار با کمبود منابع مالی مواجه خواهد شد و به جای برآورده کردن اهداف پروژه، هدف اول او مقابله با کسر در منابع مالی و حفظ حاشیه‌ی سود برای خود است. با اتخاذ راهبردهایی مثل پایین آوردن کیفیت

جدول ۲. زمان پروژه‌ی شبیه‌سازی شده در درصدهای مختلف تخصیص ریسک.

درصد تخصیص ریسک	زمان پروژه		
	$(۱)\alpha - cut = ۰$	$(۲)\alpha - cut = ۱$	$(۳)\alpha - cut = ۰$
٪۰	۴۲۳	۴۴۲	۴۶۶
٪۱۰،۰۰	۴۱۵	۴۳۰	۴۴۷
٪۲۰،۰۰	۴۱۳	۴۲۸	۴۴۵
٪۳۰،۰۰	۴۱۲	۴۲۶	۴۴۳
٪۴۰،۰۰	۴۱۱	۴۲۵	۴۴۱
٪۵۰،۰۰	۴۱۰	۴۲۴	۴۴۰
٪۶۰،۰۰	۴۰۹	۴۲۳	۴۳۹
٪۷۰،۰۰	۴۰۸	۴۲۲	۴۳۷
٪۸۰،۰۰	۴۰۷	۴۲۱	۴۳۶
٪۹۰،۰۰	۴۰۶	۴۲۰	۴۳۵
٪۱۰۰،۰۰	۴۰۵	۴۱۹	۴۳۴

جدول ۳. هزینه پروژه‌ی شبیه‌سازی شده در درصدهای مختلف تخصیص ریسک.

درصد تخصیص ریسک	هزینه‌ی پروژه		
	$(۱)\alpha - cut = ۰$	$(۲)\alpha - cut = ۱$	$(۳)\alpha - cut = ۰$
٪۰،۰۰	۱،۷۹۳،۱۹۲،۰۶۴	۱،۸۲۶،۲۸۵،۶۹۶	۱،۸۳۶،۹۹۱،۷۴۴
٪۱۰،۰۰	۱،۷۷۷،۷۸۹،۶۹۶	۱،۸۱۰،۵۶۰،۶۴۰	۱،۸۳۰،۴۲۶،۲۴۰
٪۲۰،۰۰	۱،۷۷۵،۷۸۹،۱۸۴	۱،۸۰۵،۷۷۹،۸۷۲	۱،۸۱۶،۸۹۲،۲۸۸
٪۳۰،۰۰	۱،۷۸۳،۰۸۰،۵۷۶	۱،۸۰۴،۹۲۹،۷۹۲	۱،۸۱۳،۶۴۶،۵۹۲
٪۴۰،۰۰	۱،۷۹۰،۱۲۲،۸۸۰	۱،۸۰۱،۶۸۲،۱۷۶	۱،۸۱۱،۸۷۳،۵۳۶
٪۵۰،۰۰	۱،۷۹۶،۸۹۰،۸۸۰	۱،۸۱۴،۱۵۱،۱۶۸	۱،۸۱۹،۳۷۳،۰۵۶
٪۶۰،۰۰	۱،۸۰۳،۳۸۲،۰۱۶	۱،۸۳۱،۵۴۴،۴۴۸	۱،۸۳۷،۸۶۹،۴۴۰
٪۷۰،۰۰	۱،۸۰۹،۶۹۴،۸۴۸	۱،۸۴۶،۷۸۱،۱۸۴	۱،۸۵۱،۰۷۵،۵۲۰
٪۸۰،۰۰	۱،۸۲۲،۴۷۹،۳۶۰	۱،۸۶۴،۳۷۳،۱۲۰	۱،۸۷۱،۳۱۳،۹۲۰
٪۹۰،۰۰	۱،۸۳۷،۷۵۹،۲۳۲	۱،۸۶۷،۳۴۳،۲۳۲	۱،۸۸۰،۴۸۰،۰۰۰
٪۱۰۰،۰۰	۱،۸۵۲،۸۸۵،۶۳۲	۱،۸۶۹،۷۹۹،۳۸۴	۱،۸۹۷،۴۸۳،۶۴۸
کمترین	۱،۷۷۵،۷۸۹،۱۸۴	۱،۸۰۱،۶۸۲،۱۷۶	۱،۸۱۱،۸۷۳،۵۳۶
	٪۲۰،۰۰	٪۴۰،۰۰	٪۴۰،۰۰

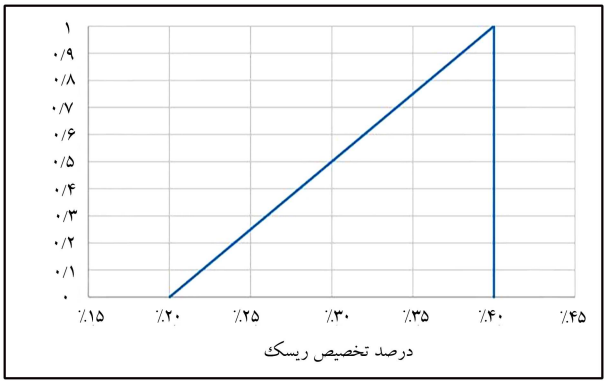


شکل ۶. هزینه‌ی پروژه‌ی شبیه‌سازی شده در درصدهای مختلف تخصیص ریسک.

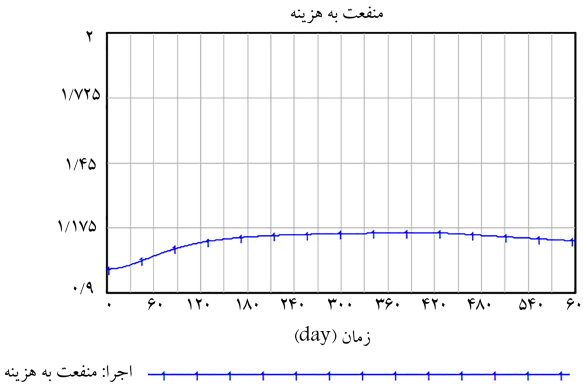
کار از طرف پیمانکار و در نتیجه افزایش زمان هزینه‌های پروژه (کارفرما) افزایش خواهد یافت. همچنین در درصدهای بالا که کارفرما ریسک بیشتری را می‌پذیرد به هزینه‌های کارفرما افزوده خواهد شد. به طور مشابه اگر $\alpha - cut$ انتخاب شده صفر باشد، هزینه‌ی شبیه‌سازی شده برای مقادیر چپ و راست هزینه‌ی پروژه به ترتیب در درصدهای ۲۰٪ و ۴۰٪ کمینه شده است. نمودارهای ۱و ۳ در شکل ۶.

۳.۳.۴. فازی زدایی و تعیین درصد بهینه‌ی تخصیص ریسک

بعد از به دست آمدن درصدهای بهینه‌ی تخصیص ریسک در $\alpha - cut$ های صفر و ۱، عدد فازی درصد بهینه‌ی تخصیص ریسک به صورت شکل ۷ به دست آمده است. با فازی زدایی این عدد به روش مرکز ثقل، درصد بهینه‌ی تخصیص ریسک ۳۷٪ به دست آمده است؛ یعنی اگرکارفرما ۳۷٪ درصد ریسک را بپذیرد هزینه‌ی پروژه کمینه خواهد شد.



شکل ۷. عدد فازی درصد بهینه‌ی تخصیص ریسک.



شکل ۸. رفتار منفعت به هزینه.

۴.۳.۴. نسبت منفعت به هزینه

با توجه به شکل ۸ از آنجایی‌که در ابتدای پروژه هزینه‌یی برای ساخت پرداخته نشده است و فقط ارزش ملک را داریم، نسبت $\frac{B}{C}$ برابر ۱ حاصل شده است. همان طور که مشاهده می‌شود همراه با پیشرفت پروژه و این‌که ساختمان در حال ساخت ارزش افزوده‌یی را کسب می‌کند، نسبت $\frac{B}{C}$ رو به افزایش بوده است. دلیل روند نزولی از زمان ۴۲۰ در شکل محاسبه شدن هزینه‌ی تأخیرات است.

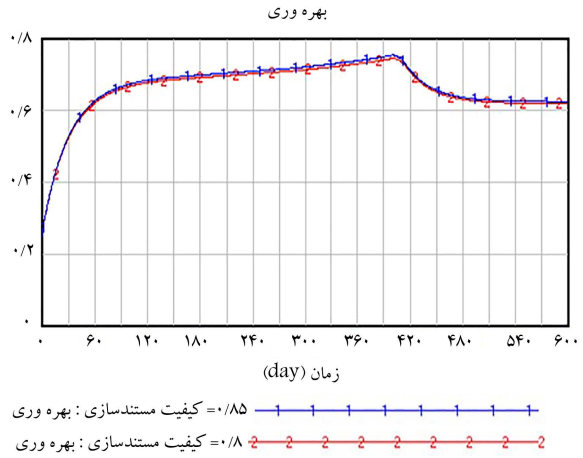
۵.۳.۴. اعتبارسنجی مدل و طرح سناریوها

آزمایش‌های اصولی گوناگونی توسط صاحب نظران معرفی شده‌اند. بسیاری از خطاها و محدودیت‌های مدل از طریق این آزمون‌ها قابل کشف هستند. بر این اساس، مدل می‌تواند اصلاح شود. با این‌حال آزمودن فرایندی نیست که در پایان و فقط بعد از ساخت مدل صورت گیرد. آزمون فرایندی تکراری و پیوسته است که از آغاز ساخت مدل شروع می‌شود.[۱۴]

آزمون‌های مرسوم برای اعتبارسنجی مدل‌های دینامیکی به طور کامل توسط محققان مختلف از جمله سوشیل[۱۷] و استرمن[۲۶] و رحمان داد[۲۷] تشریح شده‌اند. سوشیل از آزمون‌های عمده‌ی زیر برای اعتبارسنجی صحبت به میان آورده است.

۱. آزمون تأیید ساختار مدل؛
۲. آزمون شرایط حدی؛
۳. آزمون تولید باز رفتار؛
۴. آزمون کفایت مرز؛
۵. آزمون اعتبار ظاهری.

به منظور اعتبارسنجی مدل حاضر، نخست با کمک خبرگان حوزه‌ی مدل‌سازی دینامیکی مسئله و نخبگان حوزه‌ی کنترل پروژه ساختار مدل و کفایت مرز مدل را



شکل ۹. آزمون تحلیل حساسیت.

بررسی کردیم. از آن‌جایی‌که از آغاز مدل‌سازی با این استادان خبره در تماس بوده‌ایم با توجه به متغیرهای درون‌زا و برون‌زا و ساختار ارائه شده (نمودار علّی - حلقوی) تأییدیه آنها را به دست آوردیم. آزمون اعتبار ظاهری مدل هم مورد تأیید خبرگان حوزه است؛ متغیرهای مسئله به طور منطقی و به صورت علّی - معلولی بر روی یکدیگر اثر می‌گذارند و به وسیله‌ی بازخوردهای ایجاد شده رفتارهایی در مدل ایجاد می‌شود که تأییدیه این پژوهشگران را کسب کرده است.

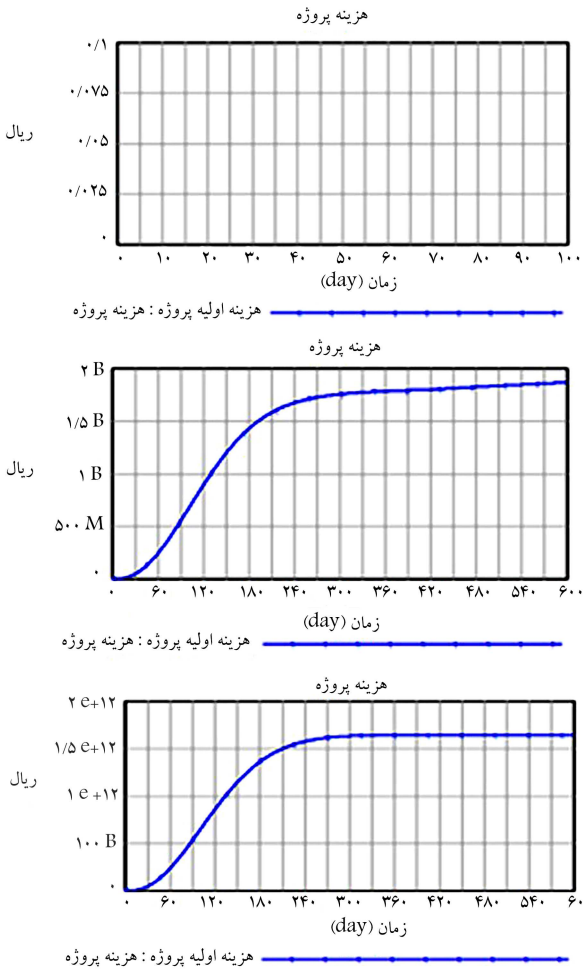
با توجه به این‌که مطالعه‌ی موردی که در این تحقیق بررسی شده یک ساختمان چهار طبقه با جزئیات اعلام شده است و داده‌های واقعی گذشته وجود ندارد، برای پژوهشگران امکان باز تولید رفتار وجود نداشت؛ ولی برای این‌که بیشتر بتوان دقت مدل را بررسی کرد از تحلیل حساسیت هم استفاده شده است. نتایج حاصل از تحلیل حساسیت انجام شده در شکل ۹ نشان داده شده است. همان طور که در شکل دیده می‌شود در صورتی‌که مقدار کیفیت مستندات از ۰/۸ به ۰/۸۵ افزایش یابد، انتظار داریم بهره‌وری اندکی افزایش یابد که رفتار حاصل شده در شکل اعتبار مدل را نشان می‌دهد.

آزمون دیگری که بر روی مدل دینامیکی انجام شده است، آزمون شرایط حدی است که نتیجه‌ی آن با کمک نمودارهای شکل ۱۰ بررسی شده است. همان طور که در شکل ۱۰ نیز دیده می‌شود، در صورتی‌که هزینه‌ی اولیه‌ی پروژه صفر باشد، انتظار داریم نمودار هزینه‌ی پروژه مقداری را نشان ندهد؛ همچنین وقتی مقدار اولیه‌ی هزینه‌ی پروژه ۱۰۰۰ برابر افزایش پیدا کند، انتظار داریم نمودار هزینه‌ی پروژه رفتاری هدف‌جو داشته باشد و افزایش آن متناسب با مقدار افزایشی که در هزینه‌ی اولیه داشته‌ایم، باشد. با توجه به شکل و رفتار حاصل شده، این آزمون نیز اعتبار مدل را نشان می‌دهد.

از مهم‌ترین استفاده‌های پویایی سیستم ساخت سناریوهای مختلف و مقایسه‌ی نتایج حاصل از این سناریوهاست؛ در سناریوسازی با توجه به ماهیت مسئله تصمیم‌های مختلف اتخاذ می‌شود و طبق آنها متغیرهای مسئله مقدار می‌گیرند و شبیه‌سازی صورت می‌گیرد؛ و نتایج حاصل را می‌توان مقایسه کرد. در این مسئله سناریوسازی برای زمان لازم برای کشف دوباره‌کاری، سطح مهارت و تغییرات طراحی انجام می‌گیرد.[۲۹،۲۸]

۱) سناریوسازی برای زمان لازم برای کشف دوباره‌کاری

با توجه به شکل ۱۱ اگر زمان لازم برای کشف دوباره‌کاری از ۷ روز به ۴ روز کاهش یابد، دوباره‌کاری‌های کشف نشده زودتر کشف خواهند شد و برای انجام دوباره



شکل ۱۰. آزمون شرایط حدی.

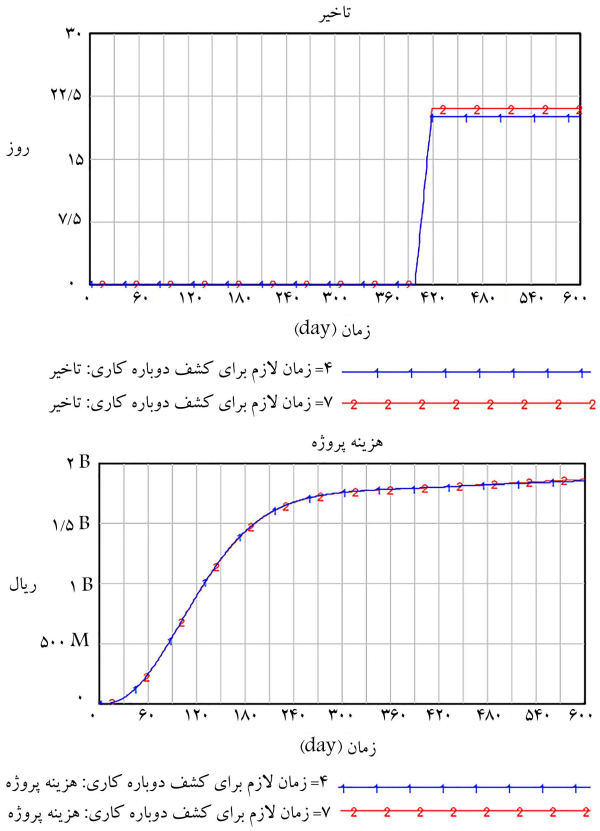
به کار باقی‌مانده انتقال خواهند یافت. در نتیجه تأخیرکمتری را در زمان پروژه خواهیم داشت و همچنین از هزینه‌ی پروژه کاسته خواهد شد. با توجه به شکل ۱۱ با کاهش زمان لازم برای کشف دوباره‌کاری از ۷ روز به ۴ روز مقایسه‌ی نتایج نشان می‌دهد که ۱ روزکمتر تأخیر در پروژه خواهیم داشت و هزینه‌ی پروژه از ۱،۸۶۸،۷۰۴،۳۸۴ ریال به ۱،۸۵۴،۸۲۶،۳۶۸ ریال کاهش می‌یابد.

۲) سناریوسازی برای تغییرات طراحی

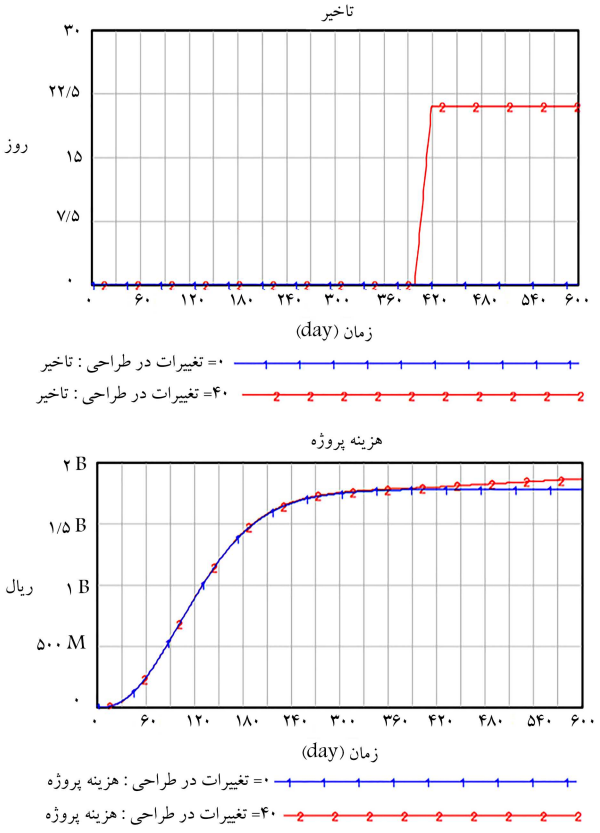
اگر به طور خوش‌بینانه‌یی فرض کنیم که تغییرات طراحی در پروژه‌ی ساخت مورد نظر مقدار صفر را به خود بگیرد، با توجه به شکل ۱۰ تأخیرات به صفر خواهد رسید. نتیجه‌ی به دست آمده با مقدار تغییرات طراحی یعنی ۴۰ در طول پروژه مقایسه شده است؛ همان طورکه در شکل ۱۲ مشاهده می‌شود با کاهش صورت گرفته در تعداد تغییرات طراحی، هزینه‌ی پروژه از ۱،۸۶۸،۷۰۴،۳۸۴ ریال به ۱،۷۸۱،۵۲۱،۷۹۲ ریال کاهش یافته است. با داشتن برنامه‌ی جامع مدیریت کیفیت و هماهنگی در پروژه می‌توان از تغییرات طراحی در پروژه کاست و اهداف پروژه را به نحو مطلوبی محقق ساخت.

۳) سناریوسازی برای سطح مهارت

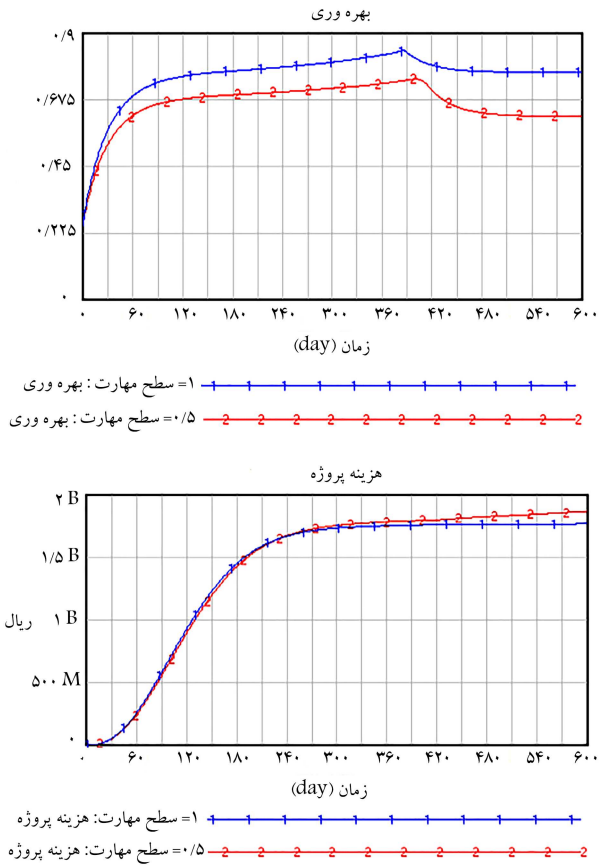
یکی دیگر از عامل‌های مرتبط با دوباره‌کاری در پروژه، سطح مهارت کارکنان است. در دو مقدار متفاوت از سطح مهارت به ترتیب با مقدار ۰/۵ و ۱ شبیه‌سازی صورت گرفت. شکل ۱۳ بیان‌گر این مطلب است که با به کارگیری افراد با سطح



شکل ۱۱. نتایج سناریوسازی برای زمان لازم برای کشف دوباره‌کاری.



شکل ۱۲. نتایج سناریوسازی برای تغییرات طراحی.



شکل ۱۳. نتایج سناریوسازی برای سطح مهارت.

مهارت بالا در پروژه بهره‌وری بالاتری را خواهیم داشت؛ در نتیجه نرخ تکمیل کار بالاتر خواهد بود و همچنین هزینه‌ی کمتری برای پروژه خواهیم داشت.

۵. نتیجه‌گیری

تخصیص ریسک‌های ساخت بین کارفرمایان و پیمانکاران در پروژه‌های ساخت تأثیر مهمی برروی مجموع هزینه‌های ساخت دارد. اگر یک ریسک به صورت مناسب تخصیص داده نشود، برخی از راهبردهای تدافعی ممکن است توسط پیمانکار در مقابل تخصیص یک‌جانبه‌ی ریسک به کارگرفته شود که نتیجه‌ی آن هزینه‌های سربار در پروژه است. پژوهش جاری به بررسی تخصیص کمّی ریسک دوباره‌کاری، که از جمله ریسک‌های اساسی و تأثیرگذار بر اهداف پروژه‌های ساخت است، به صورت کیفی و کمّی با رویکرد سیستم دینامیک و فازی پرداخته است؛ برای ساخت مدل علّی، عامل‌های مرتبط منظور شده‌اند و عامل منفعت به هزینه نیز در مدل اضافه شده است. سپس با ارائه‌ی نمودار مرز مدل و در ادامه با ساخت نمودار یکپارچه‌ی جریان و تخصیص معادلات به آن، شبیه‌سازی و تحلیل نتایج صورت گرفته است. نمودار جریان ساخته شده بر روی یک نمونه پروژه‌ی ساخت ساختمان ۴ طبقه با زیرزمین پیاده‌سازی شد. عامل‌های تغییرات طراحی و تعداد کارکنان مورد نیاز برای هر واحد دوباره‌کاری به صورت فازی در نظر گرفته شد. زمان و هزینه‌ی پروژه در درصدهای مختلف ریسک، با توجه به اعداد فازی شبیه‌سازی شد. در نهایت با فازی‌زدایی عدد فازیِ درصد بهینه‌ی تخصیص ریسک، درصد بهینه‌ی تخصیص ریسک به صورت یک عدد قطعی به دست آمد.

نتایج پژوهش نشان داد که در صورت اختصاص یک‌جانبه‌ی ریسک از طرف کارفرما، پیمانکار ریسک بیشتری را متحمل می‌شود؛ بنابراین، پیمانکار در مقابل این تخصیص یک‌جانبه از طرف کارفرما برای جبران منابع مالی خود راهبردهایی را اتخاذ خواهد کرد که در نهایت منجر به افزایش در زمان و هزینه‌ی پروژه خواهد شد. از طرفی در درصدهای بالای تخصیص ریسک به لحاظ این‌که کارفرما ریسک بیشتری را متحمل می‌شود، به هزینه‌های کارفرما افزوده خواهد شد؛ با شبیه‌سازی‌یی که برای درصدهای مختلف تخصیص ریسک صورت گرفت، نمودار مقعری برای هزینه‌ی پروژه حاصل شد که نشان می‌دهد با تخصیص مناسب ریسک، نقطه‌ی بهینه‌یی برای هزینه‌ی پروژه می‌توانیم داشته باشیم.

رویکرد ارائه شده در پژوهش حاضر با توجه به انعطاف و قابلیتی که دارد، می‌تواند در دیگر پروژه‌های ساخت به کار گرفته شود. با توجه به پیچیدگی ذاتی مدل‌سازی با رویکرد سیستم دینامیک استفاده از عامل‌های بیشتری که مرتبط با ریسک دوباره‌کاری است، باعث دشوارتر شدن مدل‌سازی و شبیه‌سازی آن می‌شود. در پایان پیشنهاد می‌شود تخصیص کمّی ریسک با ابزارهای دیگر شبیه‌سازی مانند مونت کارلو انجام گیرد و نتایج با رویکرد پژوهش حاضر مقایسه شود.

پانوشت‌ها

1. quantitative risk allocation
2. linguistic principles
3. system dynamic
4. benefit-cost ratio
5. diagram borders model
6. endogenous
7. exogenous

منابع (References)

1. Bharmand, H. “Prioritize risk factors affecting construction projects national iranian oil company standard PM-BOK approach(Case study of the operational area of the south pars)”, Yazd University (2010).
2. Nasirzadeh, F. , Khanzadi, M. and Rezaei, M. “Dynamic modeling of the quantitative risk allocation in construction projects”, *International Journal of Project Management*, **(32)**3, pp. 442-451 (2014).
3. Mahmoodi, A. *Guide to the Project Management knowledge area*, translation Mahmoudi A., 4Ed., Asia Publishing (2009).
4. Yamaguchi, H., Uher T.E. and Runeson,2 G. “Risk allocation in PFI projects”, *in Proceedings of the 17th Association of Researchers in Construction Management (ARCOM) Annual Conference, University of Salford, UK*, pp. 885-894 (2001).

5. Khanzadi, M., Nasirzadeh, F. and Rezaei, M. "System dynamics approach for quantitative risk allocation", *International Journal of Industrial Engineering & Production Research*, **3**, pp. 237-246 (2013).
6. Khazaeni, G., Khanzadi, M. and Afshar, A. "Fuzzy adaptive decision making model for selection balanced risk allocation", *International Journal of Project Management*, **4**, pp. 511-522 (2012).
7. Khaksefidy, M. and Raeisi, Ardalai G.A. "Project cost management of construction: duplication and its effects", *2th International Conference on the Strategic Management of Projects* (2011).
8. Hwang, B.G., Zhao, X. and Shu Gay, M.J. "Public private partnership projects in singapore: factors, critical risks and preferred risk allocation from the perspective of contractors", *International Journal of Project Management*, **31**, pp. 424-433 (2013).
9. Han ,S., Love, P. and Pena-Mora, F. "A system dynamics model for assessing the impacts of design Errors in construction projects", *Mathematical and Computer Modelling*, **57**, pp. 2044-2053 (2013).
10. Carbonara, N., Costantino, N. and Pellegrino ,R. "Concession period for PPPs: a win-win model for fair risk sharing", *International Journal of Project Management*, **7**, pp. 1223-1232 (2014).
11. Love, P.E.D., Holt, G.D., Shen, L.Y. and et al. "Using systems dynamics to better understand change and rework in construction project management systems", *International Journal of Project Management*, **6**, pp. 425-436 (2002).
12. Love, P.E.D., Mandal, P. and Li, H. "Determining the causal structure of rework influences in construction", *Construction Management and Economics*, **4**, pp. 505-517 (1999).
13. Xinlu, S., Heap-Yih, Ch., Pin-Chao, L. and et al. "A system dynamics model of prevention through design towards eliminating human error" *KSCE Journal of Civil Engineering* ,**23**, pp. 1923-1938 (2019).
14. Daneshzad, S. and Zare Mehrjerdi, Y. "The environmental cost-benefit model projects gas company (case study: yazd)", *School of Engineering, Department of Industrial Engineering Yazd University.*, (2012).
15. Yuan, H.P, Shen, L.Y., Hao, J. and et al. "A model for cost–benefit analysis of construction and demolition waste management throughout the waste chain", Resources, *Conservation and Recycling*, **6**, pp. 604-612 (2011).
16. Peter Feng Pei-Yin. "Causes and effects of rework on the delivery of healthcare facilities in california", *A Dissertation Submitted in Partial Satisfaction of the Requirements for the Degree of Doctor of Philosophy of the University of California, Berkeley* (2009).
17. Sushil, S."System dynamics practical approach to management issues", *Translation Ebrahim T. et al 2Edn., University of Science and Technology* (2011).
18. "Dynamic systems, applications, systems thinking", *TranslatedGhobadi, S. by Ghobadi S., 3Ed., Industrial Management Institute* (2006).
19. Yaghootkar, K., "Causes and effects of schedule pressure in new product development multi -project environments: an empirical and system dynamics study of product development in a truck manufacturer", Thesis submitted to The University of Manchester for the degree of Doctor of Philosophy (2010).
20. Mokhtari, G. and Kianfar, A. "The effect of due dates on software projects with system dynamics approach", *4th International Management Conference.* (2006).
21. Babaei, A. "fuzzy logic and its application in project management", *International Journal of Civil Engineering* (2014).
22. Shavandi, H. "Fuzzy sets theory and its application in industrial engineering and management", *Translated by Shavandi H., Tehran, the expansion of basic science* (2006).
23. Oskunezhad, M.M. "Economy economic assessment of industrial engineering", *3Edn., Amirkabir University of Technology, Center publish the Thirty-second* (1999).
24. Zare Mehrjerdi, Y. and Nadizadeh, A., "Engineering economic", *Mehrjerd Publishing. Co. Tehran* (2014).
25. Zare Mahmodabadi, N., "Quantitative Risk allocation and checking the behavior of the benefit to cost in construction projects", Faculty of Engineering, Department of Industrial Engineering Yazd University (2015).
26. Sterman, J.D. "Business Dynamics: System Thinking and Modeling for a Complex World", McGrow-Hill Co.,USA (2000).
27. Rahmandad, H. and John, D. Sterman, "Reporting guidelines for simulation-based research in social sciences", *System Dynamics Review*, **28** (2012).
28. Zare Mehrjerdi, Y. "A Guaid to Vensim Software", Publishing. Co. Tehran, (2014).
29. Zare Mehrjerdi, Y., Teimouri, S., "Application System Dynamics in Industrial", Mehrjerd Publishing. Co. Tehran, (2017).

پیوست

Appendix(Equations&ParametersfortheResearchModel)

1. Adding new tasks=changes in design

2. Average payment for one hours to worker=100000

3.Average payment for one hours to workers in others project=IF THEN ELSE (deficiancy in financial source=0, 100000, 100000-deficiancy in financial source/2.5e+008)

4. Benefit to Cost = ((Total stored materials + Value of Property)/ (Project costs + Value of Property))

30. Normal delay time for paying fees=0

31. Normal time to discovering rework=

7 32. Overtime working=max (0, predicted Delay of construction*1000)

33. Paying to contractor=Rate of payement to contractor

34. Personel cost because of reworks=average payment for one hours to worker*needed worker for a unit of reworks reworks

35. Personel fatigue=1-1/workers parameter

36. Personel planning=skill level

37. Predict of remain projection time= DELAY1I(remained works/(0.0001+currectly Completion Rate), 20, desired rate of construction)

38. Predicted Delay of construction=max(0.001,predict of remain projection time-Delay)

39. Productivity=DELAY1I

((0.25+motivation+personelplanning+quality)

/(0.5+construction

Mistakes+ design mistakes+ motivation+ personel fatigue+ personel

planning+ quality+ work pressure),30,0.25)

40. Progress rate=Work Done/total works

41. Project costs=total costs of delays+ Total payement to the contractor to Calculate the percentage of risk allocation +claim

42.Project done= INTEG (IF THEN ELSE (remained works¡ 1,0,1),0)

43. quality =1-100* (deficiancy in financial source/initial total finances)

44. payment rate risk cost to Contractor =(Destruction costs+ personel cost because of reworks+ Reconstruction costs)/30

45. Rate of payement to contractor=((contractor extra expense*risk allocation percentage)+total finances)*progress rate/30

46. Benefit rate = (1.64457e+009*0.0003* Total stored waste materials) 47. Reconstruction=reworks

48. Reconstruction costs=Reconstruction*unit cost for reconstruction

49. Remained works= INTEG (adding new tasks+rework discovering rate-completion rate with error-currectly Com-

5. Total stored materials = INTEG (benefit Rate, 1e+009)

6. Changes in design=40/398

7. Claim=deficiancy in financial source

8.ClientdailyLoss([(0,0)(70,2e+006)],(0,0),(20,200000), (21,200000),(30,200000),(31 (32, 500000), (50, 1e+006), (100,1e+006))200000), 9. Completion rate with error= max (0, desired rate of

construction*(1-productivity)*workers parameter)*

IF THEN ELSE (remained works¿0,1,0)

10. Construction Mistakes=1-Documentation quality*skill level

11. Contractor extra expense= INTEG (payment rate risk cost to Contractor, 0)

12. Cost of delay=IF THEN ELSE (remained works¡1, client daily loss (Delay), 0)

13. Costs because of delays=Cost of delay

14. Correctly Completion Rate=IF THEN ELSE (remained works¿0, max (0, desired rate of construction*(productivity workers parameter)),0.001)

15. Deficiency in financial source=contractor extra expense*(1-risk allocation percentage)/30

16. Delay=max (0.001, project done-initial project Duration)

17. Delay in paying personels fee=max (0, Deficiency in financial source /total finances)

18. Design mistakes=1-skill level

19. Desired rate of construction=total works/initial project Duration

20. Destruction=reworks

21. Destruction costs=Destruction*unit costs for destruction

22. Documentation quality=0.8

23. FINAL TIME = 600

The final time for the simulation.

24. initial project Duration=398

25.INITIAL TIME = 0

26. Initial total finances=1.64457e+009

27. Motivation= ((average payment for one hours to workers in others project / average payment for one hours to worker)*((1+Normal delay time for paying fees)/(1+delay in paying personels fee))*(1changes in design))

28. Needed worker for a unit of reworks=10

29. Needed workers=total works*1000

contractor,0)

59. Total stored waste materials=Reconstruction

60. Total works=188

61. Undiscovered Rework= INTEG (completion rate with error-rework discovering rate, 6)

62. Unit cost for reconstruction=3.5e+007

63. Unit costs for destruction=2e+006

64. Value of Property=1e+009

65. Work Done= INTEG (currectly Completion Rate,0)

66. Work pressure=Delay/ (predicted Delay of construction+ Delay)

67. Workers parameter=(needed workers+ overtime working) /(needed workers)

pletion Rate, total works)

50. Rework discovering rate=productivity*Undiscovered Rework/normal time to dicovering rework

51. Reworks=rework discovering rate

52. Risk allocation percentage=0 SAVEPER = TIME STEP

53.The frequency with which output is stored.

54. Skill level=0.8 TIME STEP = 1

55.The time step for the simulation.

56. Total costs of delays= INTEG (costs because of delays,0)

57. Total finances= INTEG (-paying to contractor,initial total finances)

58. Total payement to the contractor to Calculate the percentage of risk allocation= INTEG (Rate of payement to