مهندسی عمران شریف (بهار ۱۳۹۳)
دوره‌ی ۲-۳۰، شماره‌ی ۱/۱، ص. ۳-۱۱

Original Article

شبیه‌سازی پیامدهای هم‌زمان ریسک‌ها بر روی هزینه و زمان پروژه با در نظرگرفتن عدم قطعیت‌ها

فرناد نصیرزاده * **(استادیار)**
گروه مهندسی عمران، دانشگاه پیام نور تهران
مصطفی خانزادی (استادیار)
عباس افشار (استاد)
دانشکده‌ی مهندسی عمران، دانشگاه علم‌وصنعت ایران

ریسک‌های پروژه‌های ساخت، دارای ماهیتی نظامند که تعیین پیامدهای واقعی ناشی از آنها پیچیده و دشوار است. علاوه‌بر این، با توجه به اندرکنش‌های بین هزینه و زمان پروژه، تعیین هم‌زمان و درست این پیامدها بر روی هزینه و مدت پروژه با استفاده از روش‌های مرسوم آنالیز ریسک کاری غیرممکن است. هدف از این تحقیق ارائه‌ی روشی جدید و کارآمد برای آنالیز ریسک پروژه‌های ساخت است که با استفاده از یکپارچه‌سازی روش‌های شبیه‌سازی پویایی سیستم و نیز منطق فازی، ضمن رفع معایب و مشکلات روش‌های مرسوم آنالیز ریسک، قادر به تعیین پیامدهای واقعی ناشی از وقوع ریسک‌ها به‌صورت کمّی باشد. روش پیشنهادی با شبیه‌سازی روند انجام پروژه و ریسک‌های موجود، پیامدهای منفی ناشی از ریسک‌ها را به‌صورت هم‌زمان بر روی هزینه و زمان پروژه با در نظرگرفتن کلیه‌ی خصوصیات سیستمی ریسک‌ها تعیین می‌کند.

واژگان کلیدی: پویایی سیستم، منطق فازی، مدیریت ریسک، شبیه‌سازی، صنعت ساخت.

f.nasirzadeh@gmail.com
khanzadi@iust.ac.ir
a_afshar@iust.ac.ir

۱. مقدمه

تعداد زیادی از پروژه‌های ساخت در دستیابی به اهداف از پیش تعیین‌شده‌ی خود بر حسب مؤلفه‌های هزینه، زمان، و کیفیت انجام کار ناموفق هستند و با مشکلاتی از قبیل افزایش هزینه، افزایش زمان، و کاهش کیفیت کار مواجه می‌شوند. آنچه که عملکرد پروژه‌های ساخت را به‌طور منفی تحت تأثیر قرار می‌دهد، وجود مجموعه‌یی از عوامل اثرگذار مانند تورم، کمبود منابع مالی، شرایط سیاسی، و... است که ریسک‌های پروژه نامیده می‌شوند. در حقیقت در یک رویکرد علمی می‌توان گفت که وجود ریسک‌ها و نیز عدم قطعیت‌ها در طول مراحل مختلف انجام یک پروژه، عامل اصلی شکست پروژه در دستیابی به اهداف از پیش تعیین‌شده‌ی آن است. پژوهشگران مختلف تعاریف متفاوتی از ریسک ارائه داده‌اند که مفهوم کلی آنها عموماً یکسان است. برخی پژوهشگران ریسک پروژه را به‌عنوان شانس وقایع معینی تعریف کرده‌اند که اهداف پروژه را در جهت زیان تحت تأثیر قرار می‌دهند.[۱و۲] انجمن مدیریت پروژه نیز در استاندارد PMBOK (۲۰۰۸) ریسک را به‌عنوان «رویداد یا شرایطی غیرقطعی که در صورت وقوع، تأثیر مثبت یا منفی روی اهداف پروژه خواهد داشت» تعریف می‌کند.[۳]

فرآیند مدیریت ریسک پروژه می‌تواند با کاهش و یا حذف پیامدهای منفی ناشی از ریسک‌ها، نقش به‌سزایی در بهبود عملکرد پروژه در جهت دستیابی به اهداف از پیش تعیین‌شده‌ی آن داشته باشد. در حقیقت مدیریت ریسک یک فرآیند چند مرحله‌یی است که به منظور بیشینه‌کردن نتایج ناشی از وقایع احتمالی مثبت و نیز کمینه‌کردن نتایج ناشی از وقایع احتمالی منفی انجام می‌پذیرد.

در طی چند سال اخیر، ضرورت انجام فرآیند مدیریت ریسک پروژه ـ به منزله‌ی یکی از مهم‌ترین ارکان فرآیند مدیریت پروژه ـ به‌طور گسترده مورد توجه مؤسسات پیشرو در حوزه‌ی مدیریت پروژه قرار گرفته و حجم وسیعی از کارهای انجام‌شده در این حوزه را به خود اختصاص داده است. از سال ۱۹۹۰ میلادی، طیف متنوعی از نویسندگان، روش‌ها و سلسله مراحل مختلفی را جهت انجام فرآیند مدیریت ریسک پروژه‌ها پیشنهاد و یک روند ۴ تا ۵ مرحله‌یی را برای مدیریت ریسک پروژه‌ها توسعه داده‌اند که شامل مراحل شناسایی، آنالیز، پاسخ‌دهی، و کنترل است.

در مرحله‌ی آنالیز ریسک، به‌عنوان مهم‌ترین مرحله از مراحل چندگانه‌ی مدیریت ریسک، میزان احتمال وقوع و نتایج حاصل از وقوع ریسک ارزیابی می‌شود. در آنالیز کیفی ریسک‌ها، میزان احتمال وقوع و پیامدهای ناشی از وقوع ریسک‌ها به‌صورت کیفی ارزیابی و با تعیین میزان اهمیت و ضرورت توجه به ریسک‌های مشخص، راهنمایی جهت پاسخگویی به آنها تهیه می‌شود. در آنالیز کمّی ریسک‌ها، میزان احتمال وقوع و پیامدهای ناشی از وقوع ریسک‌ها به‌صورت عددی آنالیز می‌شود.

مروری بر ادبیات موضوع مبین انجام تحقیقات بسیار کم در زمینه آنالیز کمّی ریسک است. در سال ۲۰۰۵ در تحقیقی با عنوان «آنالیز ریسک هزینه برای

* نویسنده مسئول
تاریخ: دریافت ۱۳۹۰/۶/۲۲، اصلاحیه ۱۳۹۱/۱/۱۴، پذیرش ۱۳۹۱/۷/۱.

پروژه‌های بزرگ راه‌سازی» که تکیه‌ی اصلی آن بر مرحله‌ی آنالیز ریسک است، روشی بر پایه‌ی آنالیز مونت کارلو ارائه شده است، که اداره‌ی راه ایالت واشنگتن از آن برای تخمین هزینه استفاده کرده است.[۴] در تحقیقی با عنوان «استفاده از آنالیز ریسک جهت تعیین هزینه‌ی احتمالی پروژه‌های ساخت»، که در حقیقت روشی ساده برای به‌کار بستن مرحله‌ی آنالیز ریسک در تخمین هزینه‌ی پروژه‌های ساخت است؛ برای لحاظ‌کردن ریسک و عدم قطعیت‌ها در پروژه، به قیمت‌های پایه مقادیری به نام هزینه‌های احتیاطی اضافه شده است.[۵] همچنین در سال ۲۰۰۵ آنالیز ریسک مالی تأمین مالی پروژه‌های راه‌سازی با دریافت عوارض در اندونزی مورد مطالعه قرارگفت، که در آن برای آنالیز ریسک از شبیه‌سازی Latin Hypercube که نوعی شبیه‌سازی آماری است، برای محاسبه‌ی ارزش خالص کنونی پروژه از نگاه سرمایه‌گذار پروژه استفاده شده بود.[۶] در سال ۲۰۰۴ نیز یک روش مدیریت ریسک برای پروژه‌های مترو ارائه شد، که از ۴ مرحله‌ی شناسایی، تحلیل، ارزیابی، و پاسخ‌دهی به ریسک تشکیل و در مرحله‌ی آنالیز ریسک آن، از روش احتمالاتی ـفازی استفاده شده بود؛ که روشی جدید در محاسبه‌ی پیامد ریسک‌ها بود، اما تعاملات میان هزینه و زمان پروژه در نظرگرفته نشده بود.[۷] برخی پژوهشگران در سال ۲۰۰۷ یک مدل شبیه‌سازی کامپیوتری برای ارزیابی ریسک‌های زمانی و هزینه‌یی ارائه کردند که در آن عدم قطعیت‌های موجود در برنامه‌ی زمان‌بندی، زمان انجام فعالیت‌ها، محدوده‌ی پروژه و هزینه در نظرگرفته شده بود، و همچنین ارتباط میان اجزاء به‌صورت ساختار سلسله مراتبی دیده شده و وابستگی‌ها و ارتباط میان اجزاء به درستی بیان نشده بود؛[۸] و برخی دیگر نیزکاربرد روش تصمیم‌گیری فازی را در ارزیابی ریسک پروژه‌های ساخت مورد مطالعه قرار دادند و از روش فرایند تحلیل سلسله مراتبی فازی بهره گرفتند و پس از محاسبه‌ی اعداد فازی احتمال و پیامد ریسک، با قوانین استنتاج فازی، بزرگی شدت اثر ریسک را به‌دست آوردند.[۹] در سال ۲۰۰۶ نیز با یکپارچه‌سازی شبکه‌ی تأثیر زمان و هزینه، پیامد ریسک‌ها روی فعالیت‌های یک پروژه بررسی و یک روش آنالیزکمّی ریسک به کمک منطق فازی ارائه شد، و در آن توجهی به تعاملات میان ریسک‌ها نشده و ریسک‌ها و اثرات آنها مستقل از هم درنظرگرفته شده است.[۱۰]

همچنین در سال ۲۰۱۲ یک شبکه‌ی عصبی مصنوعی فازی برای تخمین هزینه‌ی زمان تکمیل پروژه ارائه،[۱۱] و در سال ۲۰۱۰ نیز از روش تحلیل مد خرابی و تأثیرات آن و همچنین روش تحلیل سلسله مراتبی فازی برای مدیریت ریسک در پروژه‌های ساخت استفاده شد.[۱۲] در سال ۲۰۱۱ هم مشکل افزایش هزینه‌ی پروژه‌های آزادراهی بررسی و فاکتورهای ریسک مربوط به کارفرما که در افزایش هزینه، تأثیرات عمده‌یی می‌گذارند، شناسایی و تحلیل شد.[۱۳]

با مروری بر روش‌های مرسوم آنالیز ریسک دیده می‌شود که تمامی این روش‌ها دارای معایب و کمبودهایی به شرح زیر هستند:

۱. در تمامی روش‌های مرسوم آنالیز ریسک، طبیعت سیستمی ریسک‌ها که نقش تعیین‌کننده‌یی در تعیین میزان اثر واقعی ریسک‌ها در اهداف پروژه دارد، در نظر گرفته نشده است. این خصوصیات سیستمی ریسک‌ها را می‌توان به این شرح بیان کرد:
   - هر ریسک از مجموعه‌یی از فاکتورها و عوامل تأثیر می‌پذیرد، که با یکدیگر ارتباطات متعدد داخلی دارند و به شکل حلقه‌یی بازخوردی عمل می‌کنند؛
   - وجود ارتباطات داخلی ما بین ریسک‌های مختلف و اندرکنش میان آنها؛
   - ماهیت پویا و متغیر ریسک‌های پروژه‌های ساخت در طول پروژه.
۲. تقریباً بیشتر روش‌هایی که تا کنون جهت آنالیز ریسک پروژه به‌کارگرفته شده‌اند، با رویکردی کیفی و حتی فقط از دید مدیریت عمومی به فرایند مدیریت ریسک پرداخته‌اند.
۳. تقریباً تمامی روش‌های مرسوم آنالیز ریسک فقط قادر به آنالیز پیامدهای ناشی از ریسک، بر روی هزینه یا زمان پروژه هستند. حال آنکه ریسک‌های تأثیرگذار در پروسه‌ی ساخت، به‌طور هم‌زمان در هزینه و زمان پروژه اثر می‌گذارند.

روش‌های مرسوم به‌کارگرفته‌شده برای انجام فرایند آنالیز ریسک، با توجه به مشکلات ۳ گانه‌ی مذکور به هیچ‌وجه کارآیی لازم را ندارند و نتایج به‌دست‌آمده از کاربرد آنها نیز در بسیاری از موارد غیرواقعی و غیر قابل اعتماد است.

روش یکپارچه‌ی پویایی سیستم فازی پیشنهادی می‌تواند فرایند آنالیز ریسک را با کارآمدی مطلوب انجام دهد و پیامدهای ناشی از وقوع هر ریسک را بر روی کلیه‌ی معیارهای عملکردی پروژه شامل زمان و هزینه، به‌طور هم‌زمان و با در نظرگرفتن اندرکنش بین آنها، به‌صورت کمّی تعیین کند.

همچنین در این پژوهش، رویکرد پویایی سیستم جهت مدل‌سازی و شبیه‌سازی فرایند آنالیز ریسک و لحاظ‌کردن کلیه‌ی خصوصیات سیستمی ریسک‌ها به‌کارگرفته می‌شود. میزان احتمال وقوع و نیز شدت بزرگی هر یک از ریسک‌ها نیز با استفاده از منطق فازی تعیین می‌شود تا بتوان میزان تأثیرات ریسک‌ها در اهداف پروژه را شبیه‌سازی و تعیین کرد. در نهایت با یکپارچه‌سازی مدل پویایی سیستم پیشنهادی و نیز تئوری منطق فازی، می‌توان فرایند آنالیز ریسک را به نحو کارآمدی انجام داد و میزان پیامدهای منفی ناشی از ریسک‌ها را بر روی هزینه و زمان پروژه با در نظرگرفتن کلیه‌ی خصوصیات سیستمی ریسک‌ها به‌صورت هم‌زمان تعیین کرد.

۲. روش پژوهش

در این پژوهش، روشی نوین و کارآمد برای انجام فرایند آنالیز ریسک توسعه داده شده است که می‌تواند با رفع کلیه‌ی معایب و مشکلات روش‌های مرسوم، ابزاری جدید و قدرتمند را برای انجام فرایند آنالیز ریسک ارائه کند. روش آنالیز ریسک پیشنهادی در این تحقیق، ترکیبی از رویکرد پویایی سیستم، به‌عنوان یک روش شبیه‌ساز بازخوردی شیء گرا و نیز منطق فازی است.

در این قسمت ابتدا روش‌های شبیه‌سازی پویایی سیستم و منطق فازی با توجه به ادبیات موضوع به‌طور مختصر توضیح داده شده و سپس نحوه‌ی شبیه‌سازی و تعیین پیامدهای منفی ناشی از ریسک‌ها با استفاده از رویکرد یکپارچه‌ی پویایی سیستم فازی پیشنهادی در این پژوهش و مراحل انجام آن تشریح شده است.

۱.۲. روش شبیه‌سازی پویایی سیستم

روش شبیه‌سازی پویایی سیستم، در اواخر دهه‌ی ۱۹۵۰ میلادی جهت به کاربردن تئوری کنترل در تحلیل سیستم‌های صنعتی توسعه داده شد. از آن به بعد روش پویایی سیستم برای تحلیل تمامی انواع سیستم‌های زیست‌محیطی، اجتماعی، اقتصادی، و صنعتی به‌کارگرفته شده است. پویایی سیستم یک روش توانمند و یک تکنیک شبیه‌سازی قوی کامپیوتری برای شکل‌دهی، فهم و بررسی موضوعات، و مسائل پیچیده است. مدل‌های پویایی سیستم با در نظرگرفتن فرایندهای بازخورد موجود، کاربران سیستم را به فهم بهتری از رفتار دینامیکی سیستم‌ها در طول زمان نائل می‌سازند. آنچه که استفاده از روش پویایی سیستم را در مطالعه‌ی سیستم‌های پیچیده از سایر روش‌های دیگر مجزا ساخته است، بهره‌گیری از حلقه‌های بازخورد، انباره‌ها، و نرخ‌های جریان است. این المان‌ها در توصیف و آشکارشدن آشفتگی‌های غیرخطی

سیستم‌های به ظاهر ساده به ما کمک می‌کنند. همچنین یکی از قدرتمندترین خصیصه‌های این روش، توانایی تحلیل آن است که آن را قادر به ارائه‌ی راه‌حل‌های تحلیلی برای سیستم‌های پیچیده و غیرخطی می‌کند.[۱۴] به‌طورکلی، مدل‌سازی با این روش برای شبیه‌سازی و مدیریت پروسه‌هایی با این دو مشخصه مناسب است:[۱۵]

۱. پروسه‌هایی که شامل تغییراتی در طول زمان باشند.

۲. پروسه‌هایی که در آنها بازخورد و انتقال و دریافت اطلاعات وجود دارد.

روش پویایی سیستم طی چند سال اخیر، به طور محدود در حوزه‌ی مدیریت پروژه نیز به‌کار گرفته شده است و کاربردهای محدودی در زمینه‌ی مدل‌سازی روند توسعه‌ی محصول،[۱۶] مدیریت استراتژیک پروژه‌های پیچیده،[۱۷] بررسی تغییر قوانین ایمنی در پروژه‌ها،[۱۸] بررسی رفتار شرکت در مناقصه،[۱۹] و بهبود عملکرد پروژه،[۱۵] داشته است.

با توجه به طبیعت سیستمی ریسک‌ها و وجود حلقه‌های پیچیده و متعدد اثرگذار در میزان تأثیر هر ریسک، روش پویایی سیستم می‌تواند ابزاری نوین و جایگزین برای روش‌های مرسوم آنالیز ریسک ارائه کند؛ که قادر به در نظرگرفتن این خصوصیات سیستمی و تعیین پیامدهای واقعی ناشی از ریسک‌هاست.

در روش پویایی سیستم پیشنهادی، ابتدا کلیه‌ی عوامل و فاکتورهای اثرگذار در میزان تأثیر هر یک از ریسک‌ها شناسایی و سپس این عوامل با استفاده از حلقه‌های بازخوردی علت و معلولی مدل‌سازی شده‌اند. در ادامه، ارتباطات و اندرکنش‌های پیچیده‌ی خارجی نیز که میان ریسک‌های مختلف وجود دارند و باعث تشدید میزان اثر این ریسک‌ها می‌شود، با استفاده از حلقه‌های بازخوردی مدل‌سازی شده‌اند.

۲.۲. منطق فازی

برای تعیین پیامدهای ناشی از ریسک‌های مختلف با استفاده از مدل پویایی سیستم توسعه داده‌شده، باید میزان احتمال وقوع و نیز شدت بزرگی هر یک از ریسک‌ها را نیز تعیین کرد تا بتوان میزان تأثیر آنها در اهداف پروژه را شبیه‌سازی و تعیین کرد. میزان احتمال وقوع ریسک‌ها و شدت تأثیر آنها قطعی نیست و مقادیر آنها را می‌توان با استفاده از تئوری احتمال (توابع توزیع احتمالی) و یا مقادیر امکان (منطق فازی) تعیین کرد. اما با توجه به اینکه در پروژه‌های ساخت، بیشتر داده‌های تاریخی موجود نیستند، میزان شدت اثر ریسک‌ها با استفاده از نظرات افراد خبره و با به‌کارگیری منطق فازی تعیین شده است.

تئوری مجموعه‌های فازی را می‌توان شکل تعمیم‌یافته‌ی تئوری مجموعه‌ی کلاسیک دانست. در تئوری مجموعه‌ی کلاسیک، عضویت مفهومی محض برای یک مجموعه است. یعنی یک عنصر یا متعلق به مجموعه است و یا متعلق به آن مجموعه نیست. با وجود این، عضویت در مجموعه‌های فازی می‌تواند مفهوم منعطف‌تری داشته باشد.

هسته‌ی مرکزی نظریه‌ی مجموعه‌های فازی پیشنهادی[۲۰] تابع عضویت است، که نشان‌دهنده‌ی درجه‌ی عددی تعلق هر عضو به مجموعه است (رابطه‌ی ۱). بنابراین نظریه‌ی فازی موقعیت‌هایی را در بر می‌گیرد که عضویت در یک مجموعه را نمی‌توان فقط با بله یا خیر توصیف کرد.

در مجموعه‌های کلاسیک، درجه‌ی عضویت یک عضو دو مقدار ۱ یا ۰ دارد. یعنی اگر مجموعه‌ی S را با اعضاء x_i فرض کنیم، برای نشان‌دادن عضویت x_i به مجموعه داریم :

$$x_i \in S \qquad (۱)$$

حال اگر بخواهیم از مفهوم دیگری به نام تابع عضویت μ استفاده کنیم، خواهیم داشت:

$$\begin{cases} \mu_s(x_i) = ۱ & \rightarrow \quad x_i \in S \\ \mu_s(x_i) = ۰ & \rightarrow \quad x_i \notin S \end{cases} \qquad (۲)$$

بدین ترتیب تفاوت بین اعضاء و مقادیر غیرعضو (خارج از مجموعه) بسیار روشن و واضح است. این در حالی است که در بسیاری از مجموعه‌ها مانند مجموعه‌های مصالح با کیفیت، روش‌های اجرائی کم‌هزینه، طراحی‌های مناسب و...، نمی‌توان به‌صورت قطعی عضویت در مجموعه را بیان کرد؛ زیرا حدود مجموعه مشخص نیست. به همین دلیل در این‌گونه مسائل از مجموعه‌های فازی استفاده می‌کنیم.

همان‌گونه که شرح داده شد، در مجموعه‌های فازی، هر عضو می‌تواند درجه عضویتی بین ۰ و ۱ را اختیار کند. به عبارتی یک مجموعه‌ی فازی، مجموعه‌یی از زوج مرتب‌های (x) با درجه‌ی عضویت (μx) است، به طوری که خواهیم داشت:

$$A = \{(x, \mu_A(x)) \,\|\, x \in U\} \qquad (۳)$$

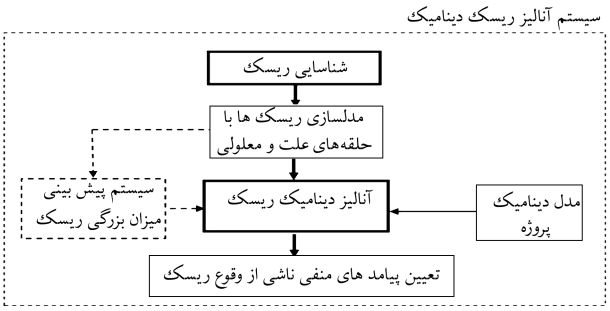
۳.۲. شبیه‌سازی و تعیین پیامدهای منفی ناشی از ریسک‌ها با استفاده از رویکرد یکپارچه‌ی پویایی سیستم فازی

علی‌رغم توجه مبذول‌شده به حوزه‌ی مدیریت ریسک در طی چند سال اخیر، با مروری بر تحقیقات صورت‌گرفته و روش‌های پیشنهادی برای انجام آنالیز ریسک دیده می‌شود که تمامی این روش‌ها دارای معایب و مشکلاتی مطابق آنچه که در قسمت قبل شرح داده شد، هستند.

رویکرد یکپارچه‌ی پویایی سیستم فازی پیشنهادی در این پژوهش، این قابلیت را دارد که ضمن رفع تمامی معایب و مشکلات روش‌های مرسوم، پیامدهای منفی ناشی از وقوع ریسک را به‌صورت هم‌زمان بر روی هزینه و زمان پروژه به‌صورت کمّی شبیه‌سازی و تعیین کند. در شکل ۱، طرح شماتیک روند شبیه‌سازی پیامدهای ریسک با استفاده از رویکرد یکپارچه‌ی پویایی سیستم فازی پیشنهادی ارائه شده است. مراحل مختلف کار در این قسمت تشریح شده است.

۱.۳.۲. مدل‌سازی ریسک‌ها با حلقه‌های علت و معلولی

برای شبیه‌سازی و تعیین پیامدهای منفی ناشی از ریسک ابتدا باید ریسک‌ها را با حلقه‌های علت و معلولی مدل‌سازی کرد. برای این منظور ابتدا ریسک‌های محتمل بالقوه‌یی که اهداف پروژه را تحت تأثیر قرار می‌دهند، شناسایی می‌شوند. سپس کلیه‌ی عوامل و فاکتورهای اثرگذار بر هر ریسک با استفاده از داده‌های جمع‌آوری‌شده و نیز نظرات افراد خبره تعیین می‌شود.



شکل ۱. طرح شماتیک مراحل و روند شبیه‌سازی پیامدهای ناشی از ریسک با رویکرد یکپارچه‌ی پویایی سیستم فازی.

در ادامه، ارتباطات بین این عوامل با استفاده از حلقه‌های علت و معلولی مشخص و مدل کیفی هر ریسک تعیین می‌شود. ریسک‌های بالقوه‌ی شناسایی‌شده را می‌توان با استفاده از دیاگرام‌های تأثیر، به‌عنوان وقایعی که از حلقه‌های تشدیدکننده، حلقه‌های متعادل‌کننده، و یا فاکتورهای خارجی ناشی می‌شوند، شناسایی کرد.

در حلقه‌های تشدیدکننده، رشد سیستم به دلیل تأثیرات مثبت ناشی از حلقه‌های بازخورد، به طور پیوسته ادامه خواهد داشت و متوقف نمی‌شود. اما در حلقه‌های متعادل‌کننده، رشد سیستم در نهایت به دلیل تأثیرات منفی ناشی از حلقه‌های بازخورد متوقف خواهد شد. فاکتورهای خارجی نیز به‌عنوان یک عامل بیرونی بر سیستم اثر می‌کنند. در شکل‌های ۲ و ۳ حلقه‌های تشدیدکننده و متعادل‌کننده نشان داده شده است.

پس از شناسایی و مدل‌سازی ریسک‌ها با حلقه‌های علت و معلولی، میزان پیامدهای منفی احتمالی ناشی از وقوع ریسک ارزیابی می‌شود.

همان‌طورکه در شکل ۱ دیده می‌شود، روش پویایی سیستم فازی پیشنهادی، جهت انجام مرحله‌ی آنالیز ریسک‌ها و تعیین پیامدهای منفی ناشی از ریسک‌ها، داده‌های مورد نیاز خود را از سه ماژول: ۱. مدل‌سازی ریسک با حلقه‌های علت و معلولی، ۲. مدل دینامیک پروژه، ۳. سیستم پیش‌بینی میزان بزرگی ریسک دریافت می‌کند. مدل‌سازی ریسک‌ها با حلقه‌های علت و معلولی در قسمت قبل به‌طور مبسوط توضیح داده شد. در این قسمت دو ماژول باقیمانده یعنی «مدل دینامیک پروژه» و «سیستم پیش‌بینی میزان بزرگی ریسک»، به‌طور مبسوط شرح داده می‌شود.

۲.۳.۲. مدل دینامیک پروژه

پیش از آغاز فرایند مدیریت ریسک پروژه با استفاده از رویکرد پویایی سیستم فازی پیشنهادی، ابتدا لازم است که روند فعلی انجام پروژه در محیطی دینامیک و عاری از ریسک، مدل‌سازی و شبیه‌سازی شود تا در مراحل بعدی امکان تعیین پیامدهای منفی ناشی از ریسک‌های مختلف وجود داشته باشد. روش‌های مرسوم مدیریت پروژه نظیر روش‌های مسیر بحرانی، به دلیل در نظرنگرفتن طبیعت دینامیک پروژه‌های ساخت و نیز لحاظ‌نکردن حلقه‌های متعدد بازخوردی علت و معلولی که در روند انجام پروژه‌های ساخت اثر می‌گذارند، قادر به مدل‌سازی و پیش‌بینی دقیق اهداف پروژه نیستند. لذا پیش از آغاز پروسه‌ی مدیریت ریسک، ابتدا باید رفتار دینامیک پروژه را در محیطی عاری از ریسک با استفاده از بازخوردها، تأخیرات و نیز ارتباطات غیرخطی که در بیشتر مدل‌های مرسوم پروژه استفاده نمی‌شوند (اما مهم‌ترین توصیف کننده‌های پیچیدگی پروژه هستند)، مدل‌سازی کرد.

مدل دینامیک پروژه‌ی توسعه داده‌شده در این پروژه، با استفاده از رویکرد پویایی سیستم، تمامی خصوصیات دینامیک پروژه‌های ساخت را لحاظ و روند انجام پروژه‌های ساخت را با توجه به حلقه‌های بازخوردی موجود شبیه‌سازی می‌کند. مدل پروژه‌ی توسعه داده‌شده، بسیار بزرگ است و با توجه به پیچیدگی‌های مدل و نیز وجود متغیرهای فراوان در آن (بالغ بر ۶۰۰ متغیر)، امکان درک مدل برای کاربر بسیار مشکل خواهد بود. لذا مدل پروژه به چندین زیر سیستم تقسیم شده است. در شکل‌های ۴ و ۵، زیر سیستم زمان‌بندی و کیفیت و نیز زیر سیستم هزینه‌ی پروژه به‌طور نمونه نشان داده شده است. مدل دینامیک پروژه‌ی توسعه داده‌شده، قادر به شبیه‌سازی و تعیین اهداف پروژه بر حسب متغیرهای زمان، هزینه، و کیفیت در طول زمان اجرای پروژه و در یک محیط مجازی است.[۲۱]

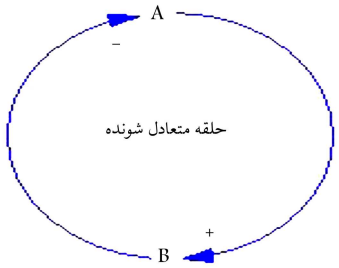
۳.۳.۲. سیستم پیش‌بینی میزان بزرگی ریسک

میزان بزرگی ریسک یکی دیگر از ورودی‌هایی است که میزان پیامدهای ناشی از ریسک‌ها بر مبنای آن تعیین می‌شود.

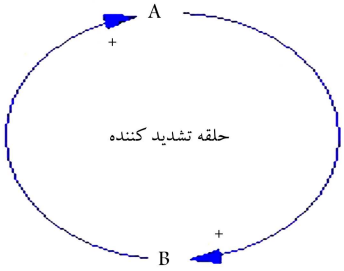
«سیستم پیش‌بینی میزان بزرگی ریسک» توسعه داده‌شده در این پژوهش، میزان بزرگی ریسک‌ها را بر اساس نظرات افراد خبره و با استفاده از تئوری منطق فازی تعیین می‌کند. همان‌طورکه در شکل ۶ مشاهده می‌شود، میزان بزرگی ریسک معمولاً تحت تأثیر تعدادی فاکتور اثرگذار است. این فاکتورهای اثرگذار با توجه به حلقه‌های بازخوردی علت و معلولی ترسیم‌شده برای ریسک‌ها تعیین می‌شوند.

برای مثال، در شکل ۶ نشان داده شده است که میزان بزرگی یک ریسک فرضی از سه فاکتور اثرگذار ۱ تا ۳ تأثیر می‌پذیرد.

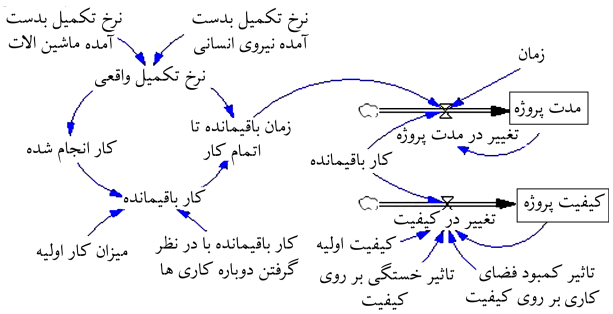
معمولاً مقادیر این فاکتورهای اثرگذار با قطعیت مشخص نیستند. به علاوه،



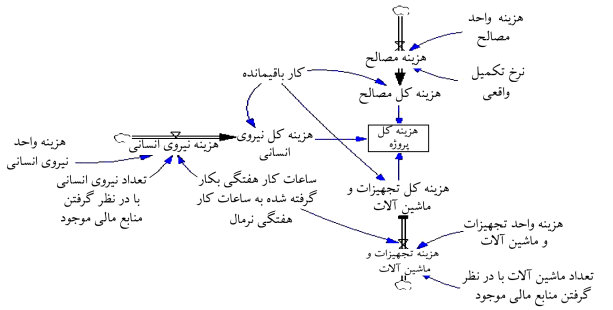
شکل ۲. حلقه‌ی متعادل‌کننده.



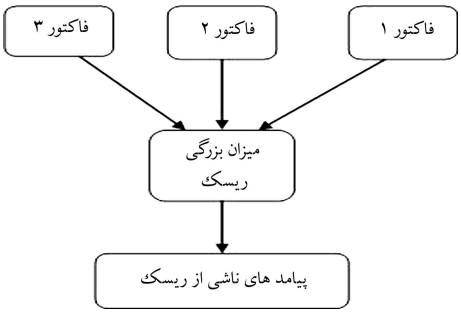
شکل ۳. حلقه‌ی تشدیدکننده.



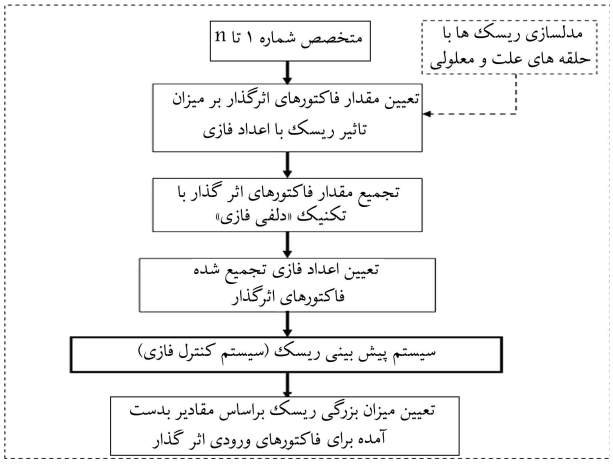
شکل ۴. زیرسیستم زمان‌بندی و کیفیت.



شکل ۵. زیرسیستم هزینه.



شکل ۶. ارتباط بین فاکتورهای اثرگذار، میزان بزرگی ریسک، و پیامدهای ناشی از ریسک.



شکل ۷. سیستم پیش‌بینی میزان بزرگی ریسک.

ارتباط بین مقادیر این فاکتورهای تأثیرگذار و نیز میزان بزرگی ریسک‌ها نمی‌تواند به راحتی تعیین شود. هدف از توسعه‌ی «سیستم پیش‌بینی میزان بزرگی ریسک» این است که مقدار بزرگی ریسک‌ها بر مبنای مقادیر غیرقطعی فاکتورهای اثرگذار بر آنها تعیین شود. مقدار بزرگی ریسک تعیین‌شده که یک عدد فازی است، به‌عنوان ورودی جهت تعیین پیامدهای ناشی از ریسک‌ها در مراحل بعدی عمل می‌کند. قسمت‌های مختلف «سیستم پیش‌بینی میزان بزرگی ریسک» در شکل ۷ نمایش داده شده است. همان‌طور که دیده می‌شود، «سیستم پیش‌بینی میزان بزرگی ریسک» شامل قسمت‌های زیر است که هر یک از آنها در این بخش به تفصیل توضیح داده‌شده‌اند:

ـ تعیین مقدار فاکتورهای اثرگذار در میزان بزرگی ریسک با استفاده از اعداد فازی

مقادیر فاکتورهای اثرگذار، معمولاً با قطعیت مشخص نیستند. به دلیل طبیعت نادقیق و غیرقطعی این فاکتورها و نیز کمبود داده‌های کافی برای کمّی‌کردن آنها به‌صورت احتمالی، تئوری منطق فازی برای تعیین مقادیر فاکتورهای تأثیرگذار، بر مبنای تجربه و قضاوت‌های ذهنی افراد خبره‌ی درگیر در پروژه، به‌کار گرفته می‌شود.

برای مثال، هر فرد خبره می‌تواند بهترین تخمین خود را در مورد مقدار محتمل یک فاکتور تأثیرگذار، به‌صورت یک عدد فازی مثلثی ارائه کند. برای این منظور از افراد خبره‌ی شماره‌ی ۱ تا n خواسته می‌شود که سه تخمین برای مقدار آن فاکتور به شکل کمینه، محتمل‌ترین و نیز بیشینه ارائه کنند. این تخمین‌ها به شکل اعداد فازی مثلثی $A_i = (a^i, b^i, c^i)$ ارائه می‌شوند.

در رابطه‌ی مذکور، A یک عدد فازی مثلثی است و c, b, a به ترتیب اولین، دومین، و سومین عنصر عدد فازی مثلثی‌اند که توسط فرد خبره‌ی شماره‌ی i داده شده‌اند.

ـ تجمیع مقدار فاکتورهای اثرگذار با استفاده از روش «دلفی فازی»

پس از اخذ نظرات افراد خبره‌ی شماره‌ی ۱ تا n در خصوص مقدار فاکتورهای اثرگذار به‌صورت اعداد فازی مثلثی، باید نظرات این افراد خبره تجمیع شود. تجمیع مقدار فاکتورهای اثرگذار با استفاده از روش دلفی فازی انجام می‌شود. مقادیر تجمیع‌شده‌ی نهایی فاکتورهای اثرگذار، به‌عنوان ورودی برای «سیستم پیش‌بینی ریسک» (سیستم کنترل فازی) جهت تعیین میزان بزرگی ریسک‌ها عمل می‌کنند. مراحل کار جهت تجمیع نظرات افراد خبره به این شرح است:

گام ۱. از افراد خبره‌ی شماره‌ی ۱ تا n خواسته می‌شود که نظراتشان را در باره‌ی مقادیر محتمل یک فاکتور اثرگذار، به‌صورت اعداد فازی مثلثی $A_i = (a^i, b^i, c^i)$ ارائه کنند. تعداد افراد خبره‌یی که برای تعیین مقدار فاکتورهای مختلف اثرگذار مورد پرسش قرار گرفته‌اند، دست‌کم ۱۲ نفر بوده است.[۲۲]

گام ۲. مقادیر تخمین زده‌شده توسط افراد خبره، متوسط‌گیری می‌شوند. برای هر فرد خبره، مقدار انحراف از مقدار متوسط به‌دست‌آمده، به این شرح محاسبه می‌شود (رابطه‌های ۴ و ۵):

$$F_{avg}(a_{avg}, b_{avg}, c_{avg}) = 1/n \left(\sum a_i, \sum b_i, \sum c_i \right) \qquad (۴)$$

$$F_{avg} - A_i = \left(1/n \sum a_i - a_i, 1/n \sum b_i - b_i, 1/n \sum c_i - c_i \right) \qquad (۵)$$

در این رابطه ها $(a_{avg}, b_{avg}, c_{avg})$ متوسط مقادیر اولین، دومین، و سومین عنصر اعداد فازی مثلثی است.

گام ۳. مقادیر انحراف محاسبه‌شده، جهت اصلاح تخمین‌های داده‌شده، برای افراد خبره فرستاده می‌شود. هر فرد خبره یک عدد فازی جدید ارائه می‌کند. گام‌های ۱ تا ۳ آنقدر تکرار می‌شوند که دو مقدار متوسط به‌دست‌آمده در دو مرحله‌ی متوالی، بر مبنای معیار توقف تصمیم‌گیر، به اندازه‌ی کافی به هم نزدیک شوند.[۲۲]

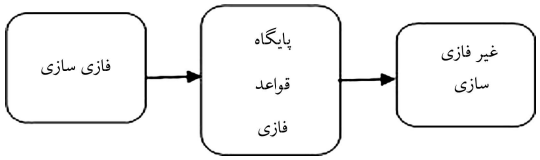
ـ سیستم پیش‌بینی ریسک (سیستم کنترل فازی)

«سیستم پیش‌بینی ریسک» (سیستم کنترل فازی)، میزان بزرگی ریسک را بر اساس مقادیر تجمیع‌شده‌ی فاکتورهای ورودی اثرگذار که در مرحله‌ی قبل به‌دست آمد، تعیین می‌کند.

سیستم‌های استنباط فازی، فرایند استدلال تقریبی را با متغیرها و ارتباطات غیرقطعی انجام می‌دهند.[۲۳] در این پژوهش از سیستم استنباط فازی تاکاگی ـ سوگنو و کانگ (TSK) استفاده شده است و میزان بزرگی ریسک‌ها بر مبنای مقادیر فاکتورهای اثرگذار، با استفاده از قوانین اگر ـ آنگاه فازی، تعیین می‌شود. سیستم استنباط فازی به‌کار گرفته‌شده شامل ۳ بخش اصلی است: ۱. فازی‌سازی[۱]، ۲. پایگاه قواعد فازی[۲]، ۳. غیر فازی‌سازی[۳] (شکل ۸).

ـ تعیین میزان بزرگی ریسک براساس مقادیر به‌دست آمده برای فاکتورهای ورودی اثرگذار.

در قسمت قبل سه ماژول توسعه داده‌شده در این تحقیق که جهت شبیه‌سازی و تعیین پیامدهای منفی ناشی از ریسک استفاده می‌شوند، معرفی شدند. در این قسمت نحوه‌ی تعیین پیامدهای ریسک‌ها با استفاده از این سه ماژول شرح داده می‌شود.



شکل ۸. اجزاء مختلف «سیستم پیش‌بینی ریسک» (سیستم کنترل فازی).

۴.۳.۲. آنالیز دینامیک ریسک

پس از نمایش ریسک‌های مختلف اثرگذار در اهداف پروژه به‌صورت حلقه‌های بازخوردی، در دیاگرام‌های تأثیر مفهومی ترسیم‌شده برای هر ریسک (حلقه‌های علت و معلولی ترسیم‌شده برای هر ریسک)، روابط حاکم بین کلیه‌ی متغیرهای اثرگذار با استفاده از معادلات ریاضی تعیین می‌شوند. در ادامه، ارتباطات و اندرکنش‌های پیچیده‌ی خارجی ما بین ریسک‌های مختلف نیز تعیین و معادلات ریاضی حاکم بر آنها مشخص می‌شود.

پس از تعیین روابط داخلی حاکم بین متغیرهای اثرگذار بر هر ریسک و نیز ارتباطات و روابط خارجی حاکم بین ریسک‌های مختلف، مدل دینامیک پروژه برای حالتی که در آن ریسک رخ می‌دهد، اجرا و رفتار مدل با فرض وقوع ریسک تعیین می‌شود. با توجه به اینکه در قسمت قبل سه ماژول توسعه داده‌شده در این پژوهش که جهت شبیه‌سازی و تعیین پیامدهای منفی ناشی از ریسک استفاده می‌شوند، معرفی شدند؛ در این قسمت نحوه‌ی تعیین پیامدهای ریسک‌ها با استفاده از این سه ماژول شرح داده می‌شود.

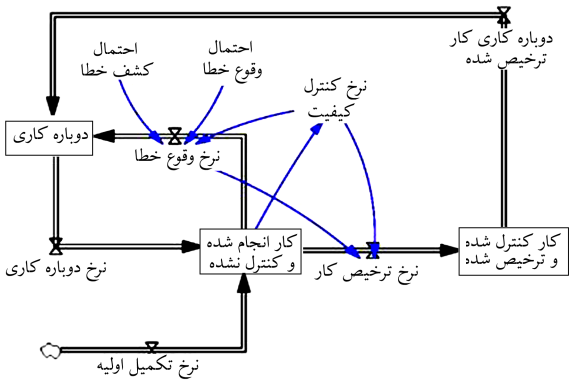
رفتار مدل در زمان قبل از وقوع ریسک نیز در مراحل قبل و در زمان شبیه‌سازی مدل دینامیک پروژه تعیین شده است، می‌توان با مقایسه‌ی این دو رفتار به‌دست‌آمده (در قبل و بعد از اعمال ریسک)، پیامدهای منفی ناشی از وقوع هر ریسک را تعیین کرد. با توجه به اینکه مدل دینامیک پروژه، توانایی شبیه‌سازی اهداف پروژه بر حسب متغیرهای زمان و هزینه را دارد، پیامدهای منفی ناشی از وقوع هر ریسک بر روی کلیه معیارهای عملکردی پروژه (شامل زمان و هزینه‌ی انجام پروژه) می‌تواند تعیین شود. این مطلب یکی از قابلیت‌های منحصر به فرد روش پویایی سیستم فازی پیشنهادی، در مرحله‌ی آنالیز ریسک است. چرا که در تمامی روش‌های مرسوم آنالیز ریسک، فقط می‌توان پیامدهای منفی ناشی از ریسک را بر روی یکی از معیارهای عملکردی پروژه تعیین کرد.

در نهایت می‌توان گفت که در روش پویایی سیستم، جواب‌های به‌دست‌آمده در مرحله‌ی آنالیز ریسک، با توجه به لحاظ‌کردن ارتباطات داخلی میان ریسک‌ها و اندرکنش میان آنها و نیز در نظرگرفتن خصوصیات سیستمی ریسک‌ها، واقعی‌تر و قابل اعتمادتر از کلیه‌ی روش‌های مرسوم خواهد بود.

۳. کاربرد مدل در یک پروژه‌ی نمونه

در این برای جهت بررسی کارآیی و عملکرد روش آنالیز ریسک شرح داده‌شده در قسمت قبل، مدل پیشنهادی بر روی یک پروژه‌ی تأمین آب به‌کار گرفته می‌شود. پروژه‌ی مورد مطالعه، یک پروژه‌ی خط لوله‌ی زیر دریایی است که آب شرب مورد نیاز یک جزیره را از ساحل و از طریق یک خط لوله‌ی احداث‌شده در بستر دریا تأمین می‌کند. مدت اولیه‌ی اجرای پروژه و نیز هزینه‌ی اولیه‌ی انجام پروژه، به ترتیب ۱۵ ماه و ۱۲ میلیون دلار تخمین زده شده است. هزینه‌های مصالح، نیروی انسانی، و ماشین‌آلات به ترتیب ۶٫۲، ۲٫۳ و ۳٫۵ میلیون دلار است.

با استفاده از روش پیشنهادی، پیامدهای منفی ناشی از یکی از ریسک‌های



شکل ۹. دیاگرام مفهومی «ریسک خطاهای حین ساخت».

شناسایی‌شده به نام «ریسک خطاهای حین ساخت» برای این پروژه‌ی نمونه، شبیه‌سازی و تعیین شد و نتایج به‌دست‌آمده مورد بحث قرار گرفت.

«ریسک خطاهای حین ساخت» یکی از ریسک‌های مهمی است که پروژه‌های ساخت را در جهت منفی تحت تأثیر قرار می‌دهد و باعث افزایش هزینه و زمان پروژه می‌شود.[۲۴-۲۶] جهت شبیه‌سازی و تعیین پیامدهای منفی ناشی از این ریسک، ابتدا کلیه‌ی فاکتورها و عوامل اثرگذار بر این ریسک شناسایی و دیاگرام مفهومی آن با حلقه‌های علت و معلولی مدل‌سازی شده است. در شکل ۹، دیاگرام مفهومی این ریسک نمایش داده شده است.

همان‌طورکه در شکل ۹ دیده می‌شود، مدل پویایی سیستم «ریسک خطاهای حین ساخت»، از سه متغیر حالت «کار انجام‌شده و کنترل‌نشده»، «کار کنترل‌شده و ترخیص‌شده» و «دوباره کاری» تشکیل شده است.

فعالیت‌هایی که برای اولین بار انجام می‌شوند، تحت نرخ جریانی به نام «نرخ تکمیل اولیه» انجام و در متغیر حالت «کار انجام‌شده و کنترل‌نشده» جمع می‌شوند. حال روند کنترل کیفیت برای فعالیت‌های انجام‌شده صورت می‌پذیرد. اگر فعالیت‌های انجام‌شده هیچ نقصی نداشته باشند و یا اینکه عیب آنها شناسایی نشود، از متغیر حالت «کار انجام‌شده و کنترل‌نشده» تحت نرخ جریانی به نام «نرخ ترخیص کار» خارج و در متغیر حالت «کار کنترل‌شده و ترخیص‌شده» انباشته می‌شوند. اما فعالیت‌های مشخص‌شده‌ی دارای عیب، از متغیر حالت «کار انجام‌شده و کنترل‌نشده» تحت نرخ جریانی به نام «نرخ وقوع خطا» خارج و در متغیر حالت «دوباره‌کاری» انباشته می‌شوند. فعالیت‌های جمع‌شده در متغیر حالت «دوباره‌کاری» نیز تحت متغیر جریان «نرخ دوباره‌کاری» اصلاح و مجدداً به متغیر حالت «کار انجام‌شده و کنترل‌نشده» باز می‌گردند. چرخه‌ی ذکرشده در بالا به همین ترتیب ادامه می‌یابد، تا زمانی که تمامی فعالیت‌ها تکمیل شوند و هیچ خطایی دیگر مشاهده نشود. لازم به ذکر است که خطاهای حین ساخت به دو دسته‌ی «خطاهای کشف‌شده» و «خطاهای کشف‌نشده» تقسیم می‌شوند.

همان‌طورکه در قسمت قبل شرح داده شد، خطاهای «کشف شده» در طول روند مدیریت کیفیت بلافاصله شناسایی می‌شوند و تحت نرخ جریان «نرخ وقوع خطا» به متغیر حالت «دوباره‌کاری» وارد می‌شوند. اما خطاهای «کشف‌نشده» در طی انجام روند مدیریت کیفیت شناسایی نمی‌شوند و اغلب در مراحل بعدی پروژه (در پایین‌دست) شناسایی می‌شوند و پروژه را با مشکل اجرای مجدد کار تکمیل‌شده مواجه می‌کنند. بنابراین، مشابه دوباره‌کاری‌ها، باعث ایجاد تأثیرات منفی عمده بر حسب متغیرهای زمان، هزینه، و کیفیت در مراحل بعدی پروژه می‌شوند.

مجموعه‌ی متغیرهای حالت و جریان شرح داده‌شده در بالا، روند اجرای پروژه را

در محیطی دینامیک شبیه‌سازی می‌کند. شکل ۹، فقط دیاگرام مفهومی «ریسک خطاهای حین ساخت» را نمایش می‌دهد. دیاگرام «ریسک خطاهای حین ساخت» به همراه جزئیات کامل آن در صورت درخواست خوانندگان از طرف نویسندگان این نوشتار قابل ارائه خواهد بود.

چنان که در شکل ۹ دیده می‌شود، متغیر جریان «نرخ وقوع خطا» تحت تأثیر دو عامل میزان «احتمال وقوع خطا» و نیز «احتمال کشف خطا» قرار دارد. این دو فاکتور به‌عنوان ورودی‌های لازم برای شبیه‌سازی پیامدهای منفی ناشی از ریسک عمل می‌کنند. ضمن اینکه مقادیر «احتمال وقوع خطا» و نیز «احتمال کشف خطا»، مقدار متغیرهای جریان «نرخ ترخیص کار» و «نرخ کنترل کیفیت» را نیز مشخص می‌کنند.

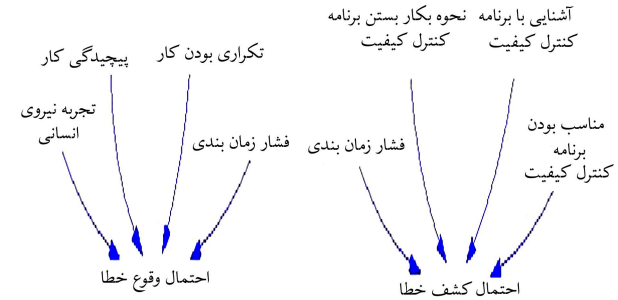
بر این اساس پیش از شروع روند شبیه‌سازی پیامدهای منفی ناشی از «ریسک خطاهای حین ساخت» ابتدا لازم است که مقدار این دو فاکتور ورودی اثرگذار («احتمال وقوع خطا» و نیز «احتمال کشف خطا») تعیین شود. در شکل ۱۰، متغیرهای ورودی اثرگذار در «احتمال وقوع خطا» و نیز «احتمال کشف خطا» نمایش داده شده است.

همان‌طور که در این شکل نشان داده شده است، میزان «احتمال وقوع خطا»، تحت تأثیر ۴ عامل فشار زمان‌بندی، پیچیدگی کار، تجربه‌ی نیروی انسانی، و نیز تکراری‌بودن کار است. میزان «احتمال کشف خطا» نیز تحت تأثیر ۴ عامل فشار زمان‌بندی، مناسب‌بودن برنامه‌ی کنترل کیفیت، نحوه‌ی به‌کار بستن برنامه‌ی کنترل کیفیت و نیز میزان آشنایی با برنامه‌ی کنترل کیفیت است.[۲۷] حال می‌توان میزان «احتمال وقوع خطا» و نیز «احتمال کشف خطا» را با استفاده از «سیستم پیش‌بینی میزان بزرگی ریسک» و بر مبنای مقادیر ۴ عامل اثرگذار مذکور تعیین کرد. مقادیر ۴ فاکتور اثرگذار بر این دو متغیر ورودی، توسط افراد خبره و بر مبنای قضاوت‌های ذهنی آنها به شکل اعداد مثلثی فازی پیشنهاد می‌شوند. سپس روش دلفی فازی، جهت تجمیع‌کردن نظرات افراد خبره (اعداد مثلثی فازی پیشنهادی) به‌کار گرفته می‌شود. ذکر این نکته لازم است که افراد خبره از بین کارشناسان درگیر در پروژه که با توجه به سوابق کاری قبلی، دارای تجربه‌ی مرتبط بوده‌اند، انتخاب شده‌اند.

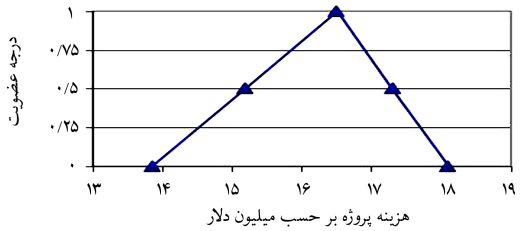
با داشتن مقادیر تجمیع‌شده‌ی فاکتورهای اثرگذار در «احتمال وقوع خطا» و نیز «احتمال کشف خطا»، مقادیر این دو متغیر ورودی با استفاده از «سیستم پیش‌بینی ریسک» (سیستم کنترل فازی تشریح‌شده در قسمت قبل)، تعیین می‌شود.

در این پروژه‌ی نمونه، اعداد فازی مربوط به «احتمال وقوع خطا» و نیز «احتمال کشف خطا» در نهایت به شکل اعداد فازی مثلثی (۰٫۸۸،۰٫۷۰،۰٫۶۰) و (۰٫۲۴،۰٫۲۱،۰٫۱۲) تعیین شد.

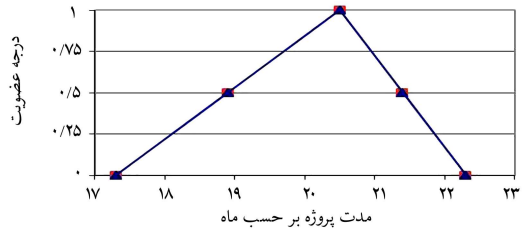
حال با استفاده از مدل دینامیک پروژه‌ی توسعه داده‌شده، فرایند آنالیز ریسک



شکل ۱۰. دیاگرام مفهومی متغیرهای ورودی اثرگذار در «احتمال وقوع خطا» و نیز «احتمال کشف خطا».



شکل ۱۱. عدد فازی پیامدهای منفی ناشی از «ریسک خطاهای حین ساخت» بر روی هزینه‌ی پروژه.



شکل ۱۲. عدد فازی پیامدهای منفی ناشی از «ریسک خطاهای حین ساخت» بر روی مدت پروژه.

انجام و پیامدهای منفی ناشی از «ریسک خطاهای حین ساخت»، بر روی عملکرد پروژه به‌صورت کمّی تعیین می‌شود.

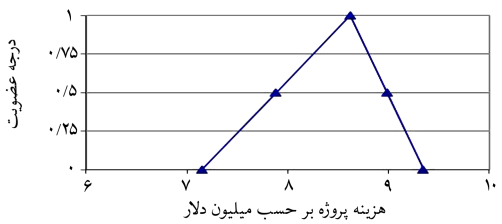
پیامدهای منفی ناشی از ریسک «خطاهای حین ساخت» بر روی هزینه و زمان پروژه، در شکل‌های ۱۱ و ۱۲ نمایش داده شده است. همان‌طور که نشان داده شده است، زمان و هزینه‌ی پروژه در اثر وقوع ریسک خطاهای حین ساخت، به مقادیر نشان‌داده در شکل‌های ۱۱ و ۱۲ افزایش خواهند یافت. در اثر وقوع «ریسک خطاهای حین ساخت»، هزینه‌ی پروژه از مقدار اولیه‌ی ۱۲ میلیون دلار افزایش خواهد یافت و در محدوده‌ی ۱۳٫۸۵ تا ۱۸٫۱ میلیون دلار قرار خواهد گرفت. همچنین در اثر وقوع «ریسک خطاهای حین ساخت»، زمان پروژه نیز از مقدار اولیه‌ی ۱۵ ماه افزایش خواهد یافت و در محدوده‌ی ۱۷٫۳ تا ۲۲٫۳ ماه قرار خواهد گرفت. خروجی‌های به‌دست‌آمده در شکل‌های ۱۱ و ۱۲ مدیر پروژه را قادر می‌سازد تا با انتخاب سطح برش مناسب α بتواند افزایش هزینه و زمان پروژه در اثر وقوع «ریسک خطاهای حین ساخت» را در سطوح اطمینان مختلف نیز ارزیابی کند. برای مثال اگر سطح برش α معادل صفر انتخاب شود، عدم قطعیت‌های موجود در روند ارزیابی پیامدهای ناشی از ریسک، کاملاً در نظر گرفته خواهد شد و بازترین محدوده‌ی افزایش هزینه‌ی پروژه به‌دست خواهد آمد که در محدوده‌ی ۱۳٫۸۵ تا ۱۸٫۱ میلیون دلار خواهد بود.

به‌عنوان مثالی دیگر، در حالتی که سطح برش α معادل ۰٫۵ انتخاب می‌شود مدیر پروژه با ۵۰٪ اطمینان می‌تواند بگوید که افزایش هزینه و زمان پروژه به ترتیب در محدوده‌ی ۱۵٫۲ تا ۱۷٫۳ میلیون دلار و ۱۸٫۹ تا ۲۱٫۴ ماه خواهد بود.

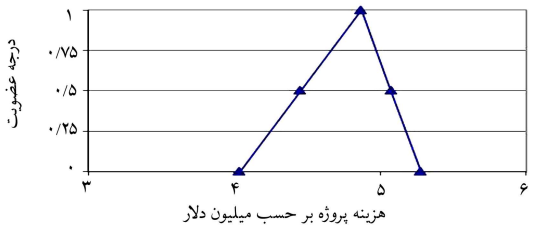
در نهایت می‌توان با غیر فازی کردن اعداد فازی به‌دست‌آمده در شکل‌های ۱۱ و ۱۲، یک مقدار قطعی را به‌عنوان افزایش هزینه و زمان محتمل پروژه تعیین کرد. برای غیر فازی‌کردن از روش «مرکز سطح» که در رابطه‌ی ۶ نشان داده شده است، استفاده می‌شود:[۱۷]

$$C(D)^* = \frac{\int C(D)\mu_S(x)dx}{\int \mu_S(x)dx} \qquad (۶)$$

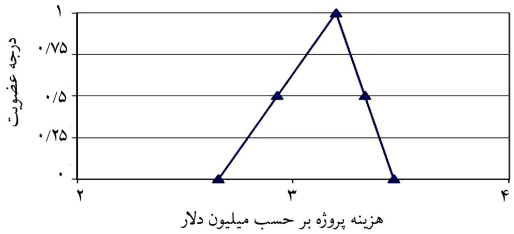
با استفاده از روش غیر فازی کردن «مرکز سطح»، مقدار محتمل افزایش هزینه و زمان پروژه به ترتیب معادل ۱۶٫۴ میلیون دلار و ۲۰٫۴ ماه تعیین می‌شود. این افزایش



شکل ۱۳. عدد فازی پیامدهای منفی ناشی از «ریسک خطاهای حین ساخت» بر روی هزینه‌ی مصالح.



شکل ۱۴. عدد فازی پیامدهای منفی ناشی از «ریسک خطاهای حین ساخت» بر روی هزینه‌ی ماشین‌آلات.



شکل ۱۵. عدد فازی پیامدهای منفی ناشی از «ریسک خطاهای حین ساخت» بر روی هزینه‌ی نیروی انسانی.

هزینه و زمان به‌دست‌آمده که نسبت به برآورد اولیه‌ی ۱۲ میلیون دلار و ۱۵ ماه است، مربوط به پیامدهای منفی ناشی از «ریسک خطاهای حین ساخت» است.

در شکل‌های ۱۳ الی ۱۵، پیامدهای منفی ناشی از ریسک «خطاهای حین ساخت» بر روی هزینه‌ی پروژه به تفکیک هزینه‌های: مصالح، ماشین‌آلات، و نیروی انسانی نشان داده شده است.

۴. نتیجه‌گیری

ریسک‌های فرآیند ساخت ماهیتی کاملاً هدفمند دارند، چرا که هر ریسک تحت تأثیر مجموعه‌یی از فاکتورها و عوامل اثرگذار است که با یکدیگر ارتباطات متعدد داخلی دارند و به شکل حلقه‌های بازخوردی عمل می‌کنند. روش‌های مرسوم آنالیز ریسک، دارای نقایص متعددی در مواجهه با این ماهیت پویا و هدفمند ریسک‌ها هستند و بدون در نظرگرفتن اندرکنش عوامل و فاکتورهای اثرگذار بر روی یکدیگر، روند آنالیز ریسک را در محیطی ایستا انجام می‌دهند. لذا نتایج به‌دست‌آمده از روش‌های مرسوم آنالیز ریسک، با در نظرنگرفتن این خصوصیات مهم سیستمی ریسک‌ها، به هیچ وجه قابل اتکاء نیستند.

علاوه بر این روش‌های مرسوم آنالیز ریسک، توانایی تعیین هم‌زمان پیامدهای ناشی از ریسک بر روی هزینه و زمان پروژه را نیز ندارند.

در این پژوهش با استفاده از یکپارچه‌سازی روش شبیه‌سازی پویایی سیستم و نیز منطق فازی، ابزاری نوین برای انجام فرایند آنالیز ریسک پیشنهاد شد. رویکرد پویایی سیستم ـ به‌عنوان یک روش شبیه‌سازی بازخورد شیء‌گرا ـ برای مدل‌سازی فرایند آنالیز ریسک و لحاظ‌کردن کلیه‌ی خصوصیات سیستمی ریسک‌ها به‌کارگرفته شد. میزان احتمال وقوع و شدت بزرگی هر یک از ریسک‌ها نیز با استفاده از منطق فازی تعیین شد تا بتوان میزان تأثیرات آنها بر روی اهداف پروژه را شبیه‌سازی و تعیین کرد. در نهایت با یکپارچه‌سازی مدل پویایی سیستم پیشنهادی و نیز تئوری منطق فازی، میزان پیامدهای منفی ناشی از ریسک‌ها بر روی هزینه و زمان پروژه با در نظرگرفتن کلیه‌ی خصوصیات سیستمی ریسک‌ها به‌صورت هم‌زمان تعیین شد.

به منظور بررسی کارآیی و عملکرد روش آنالیز ریسک پیشنهادی، مدل توسعه داده‌شده به منظور تعیین پیامدهای منفی ناشی از ریسک‌های شناسایی‌شده برای یک پروژه‌ی تأمین آب به‌کارگرفته شد. جهت درک بهتر مدل همراه با جزئیات کامل آن، پیامدهای منفی ناشی از یکی از ریسک‌های شناسایی‌شده به نام «ریسک خطاهای حین ساخت» برای این پروژه‌ی نمونه، شبیه‌سازی و تعیین شد. در نهایت نشان داده شد که روش پویایی سیستم فازی پیشنهادی، ضمن رفع معایب و مشکلات روش‌های مرسوم، ابزاری جدید و قدرتمند را برای انجام فرایند آنالیز ریسک در پروژه‌های ساخت ارائه می‌کند که قادر به تعیین هم‌زمان پیامدهای واقعی ناشی از وقوع ریسک‌ها بر روی هزینه و زمان پروژه به‌صورت کمّی خواهد بود.

پانوشت‌ها

1. fuzzification
2. fuzzy rule base
3. defuzzification

منابع (References)

1. Niwa, K., *Knowledge-Based Risk Management in Engineering: A Case Study in Human-Computer Cooperative Systems*, John Wiley & Sons, Inc., Canada (1989).
2. Wideman, R.M., *Project & Program Risk Management: A Guide to Managing Project Risks and Opportunities*, Project Management Institute (1992).
3. Project Management Institute (2008), *A Guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK® Guide) 2000 Edition*, Project Management Institute, USA (2000).
4. Molenaar, K.R. "Programmatic cost risk analysis for highway megaprojects", *J. Constr. Engrg. and Mgmt. ASCE,* **131**(3), pp. 343-353 (2005).
5. Mak, S. and Picken, D. "Using risk analysis to determine construction project contingencies", *J. Constr. Engrg.*

and Mgmt. ASCE, **126**(2), pp. 130-136 (2000).

6. Wibowo, A. and Kochendorfer, B. "Financial risk analysis of project finance in indonesian toll roads", *ASCE, Journal of Construction Engineering and Management,* **131**(9), pp. 963-972 (September 2005).
7. Choi, H.H., Cho, H-N. and Seo, J.W. "Risk assessment methodology for underground construction projects", *ASCE, Journal of Construction Engineering and Management,* **130**(2), pp. 258-272 (2004).
8. Moussa, M., Ruwanpura, J. and Jergeas, G. "CTAN for risk assessments using multilevel stochastic networks", *ASCE, Journal of Construction Engineering and Management*, **133**(1), pp. 96-101 (2007).
9. Zeng, J., An, M. and Smith, N.J. "Application of a fuzzy based decision making methodology to construction project risk assessment", *International Journal of Project Management*, **25**(6), pp. 589-600 (August 2007).
10. Poh, Y.P. and Tah, J.H.M. "Integrated duration–cost influence network for modelling risk impacts on construction tasks", *Construction Management and Economics*, **24**(8), pp. 861-868 (2006).
11. Feylizadeh, M.R., Hendalianpour, A. and Bagherpour, M. "A fuzzy neural network to estimate at completion costs of construction projects", *International Journal of Industrial Engineering Computations,* **3**(3), pp. 477-484 (2012).
12. Abdelgawad, M. and Fayek, A.R. "Risk management in the construction industry using combined fuzzy FMEA and fuzzy AHP", *Journal of Construction Engineering and Management,* **136**(9), pp. 1028-1036 (2010).
13. Creedy, G., Skitmore, M. and Wong. J. "Evaluation of risk factors leading to cost overrun in delivery of highway construction projects", *Journal of Construction Engineering and Management,* **136**(5), pp. 528-537 (2011).
14. Sterman, J., *Business Dynamics*, McGraw-Hill Pub. (2000).
15. Ogunlana, S. and Li, H. "System dynamics approach to exploring performance enhancement in a construction organization", *J. Constr. Engrg. and Mgmt. ASCE*, **129**(5), pp. 528-536 (2003).
16. Ford, D. and Sterman, D. "Dynamic modeling of product development processes", *Syst. Dyn. Revrg.,* **14**(1), pp. 31-68 (1998).
17. Lyneisi, M. and Cooper, G. "Strategic management of complex projects: A case study using system dynamics', *Syst. Dyn. Revrg.,* **17**(3), pp. 237-260 (2001).
18. Williams, T. "Safety regulation changes during projects: The use of system dynamics to quantify the effects of change", *J. Constr. Manag. and Econ.*, **18**(1), pp. 25-31 (2000).
19. Lo, W. and Lin, L. "Contractor's opportunistic bidding behavior and equilibrium price level in the construction market", *Journal of Construction Engineering and Management*, **133**(6), pp. 409-416 (2007).
20. Zadeh, L.A. "Fuzzy sets", *Inf. Control.,* **8**, pp. 338-353 (1965).
21. Nasirzadeh, F., Afshar, A. and Khanzadi, M. "Dynamic risk analysis in construction projects", *Canadian Journal of Civil Engineering*, **35**(8), pp. 820-831 (2008).
22. Kaufmann, A. and Gupta, M.M., *Fuzzy Mathematical Models in Engineering and Management Science*, Elsevier Science, Amsterdam, The Netherlands (1988).
23. Zimmermann, H.J., *Fuzzy Set Theory and its Application*, Fourth edition, Kluwer Academic Pub. (2001).
24. Love, P., Mandal, P. and Li, H. "Determining the casual structure of rework in construction", *International Journal of Construction Management and Economics*, **17**(4), pp. 505-517 (1999).
25. Love, P. and Li, H. "Quantifying the causes and costs of rework in construction", *International Journal of Construction Management and Economics*, **18**(4), pp. 479-490 (2000).
26. Hwang, B. and Thomas, S. "Measuring the impact of rework on construction cost performance", *International Journal of Construction Management and Economics*, **135**(3), pp. 187-198 (2009).
27. Lee, S., Peña-Mora, F. and Park, M. "Quality and change management model for large scale concurrent design and construction projects", *J. Constr. Eng. Manage.,* **131**(8), pp. 890-90 (2005).