

## ارائه یک مدل ارزیابی ریسک‌پذیری فازی برای ارزیابی ریسک‌پذیری زمانی پروژه‌های عمرانی: پروژه بهسازی خط اداره کل خط و ابنیه فنی راه‌آهن جمهوری اسلامی ایران

رضا برادران کاظم‌زاده<sup>۱\*</sup>، سید مهدی شریف موسوی<sup>۲</sup>

۱- دانشیار مهندسی صنایع دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

۲- دانش آموخته کارشناسی ارشد مهندسی صنایع دانشگاه تربیت مدرس تهران، ایران

پذیرش: ۸۹/۷/۲۷

دریافت: ۸۸/۳/۲۳

### چکیده

تعیین میزان انحراف از هریک از اهداف پروژه برای پیمان‌کاران و کارفرمایان امری ضروری است. میزان افزایش زمان پروژه تابعی از ریسک‌های مربوط به پروژه است. دستیابی به ابزاری که دست به ارزیابی سطح ریسک پروژه زده و به تبع آن میزان انحراف واقعی از برنامه زمان‌بندی را برآورد کند، به شدت برای پیمانکاران سودمند است.

هدف از این مقاله ارائه یک مدل ارزیابی ریسک فازی برای تعیین میزان ریسک زمانی پروژه و تخمین انحراف از برنامه زمان‌بندی پروژه است. این مدل از نمودار تأثیرگذاری برای ساخت مدل و رویکرد ارزیابی ریسک فازی برای تخمین میزان افزایش زمانی هریک از فعالیت‌ها و انحراف زمانی فازهای پروژه استفاده می‌کند. سپس مقادیر به‌دست آمده از مدل ارزیابی ریسک فازی وارد برنامه کنترل پروژه شده و انحراف زمانی کل پروژه از برنامه زمان‌بندی محاسبه می‌شود. مطالعه عملی این مدل بر روی بخشی از یک پروژه بهسازی خط مربوط به اداره کل خط و ابنیه راه‌آهن جمهوری اسلامی ایران است. اعتبارسنجی مدل به وسیله مقایسه مقادیر برآورد شده به‌وسیله

رضا برادران کاظم‌زاده و همکار  ارائه یک مدل ارزیابی...

مدل و مقادیر واقعی زمان فعالیت‌ها و محاسبه متوسط نسبت قدر مطلق خطاها<sup>۱</sup> انجام شد. متوسط نسبت قدر مطلق خطاها برای فعالیت‌ها برابر ۱۰/۷۵ درصد محاسبه شد. علاوه بر آن زمان کل پروژه برابر با ۱۰۵/۲۴ واحد برآورد شد که در مقایسه با زمان واقعی کل پروژه، یعنی ۱۱۳ واحد زمانی نشان‌دهنده دقت بالای مدل برای استفاده در پروژه‌های عمرانی است.

کلیدواژه‌ها: پروژه‌های عمرانی، مدل ارزیابی ریسک فازی، مدیریت ریسک.

## ۱- مقدمه

موفقیت شرکت‌های درگیر در پروژه‌های عمرانی به شکل قابل ملاحظه‌ای وابسته به مدیریت ریسک‌های ناشی از منابع مختلف است [۱]. مدیریت موفق ریسک‌ها نیازمند شناسایی ریسک، ساخت مدل ریسک برای ارزیابی بزرگی ریسک و اجرای استراتژی‌های پاسخ به ریسک است تا توازن مناسبی میان هزینه‌های پذیرش ریسک و پاسخ ریسک به وجود آید. تعدادی از محققان دست به شناسایی ریسک‌های مربوط به پروژه‌های عمرانی زده‌اند. از نظر مرجع [۲، صص ۲۶۱-۲۶۹] دسته‌بندی عمده زیر برای ریسک‌های موجود در پروژه‌های عمرانی به صورت ریسک فنی، ریسک اجرایی، ریسک قانونی، ریسک طبیعی، ریسک لجستیک، ریسک اجتماعی، ریسک اقتصادی، ریسک مالی، ریسک تجاری، ریسک سیاسی است.

در این تحقیق، فاکتورهای عمومی ریسک<sup>۲</sup> با استفاده از مرور گسترده ادبیات و صاحب‌های گسترده با پیمان‌کاران عمرانی تعیین شده‌اند. در تحقیق حاضر، علاوه بر دسته‌بندی فوق، تقسیم‌بندی‌های دیگری را نیز مثل دینامیک/استاتیک، سازمانی/فردی داخلی/خارجی، مثبت/منفی، قابل پذیرش/غیرقابل پذیرش، بیمه‌پذیر/غیر بیمه‌پذیر را نیز ارائه شده است. علاوه بر این‌ها دسته بندی بسیار مهم ریسک‌ها به دو دسته ریسک‌های عمومی و ریسک‌های مربوط به پروژه قرار دارد که در مدل سازی‌های مختلف ریسک به شکل قابل ملاحظه‌ای استفاده می‌شود [۳، صص ۵۰۵-۴۹۴]. [۴، صص ۳۱۸-۳۲۵] بیان vn که تغییرات هزینه و زمان بندی با افزایش اثربخشی عامل انسانی افزایش پیدا می‌کند. در ادامه آن‌ها نوسان‌های قیمت، کلاهبرداری‌ها و بازپرداخت‌های مالی را به عنوان مهم‌ترین عوامل

1. MAPE: Mean Absolute Percentage Error

2. Global

عملکرد ضعیف مالی پروژه‌ها قرار دارند.

در تحقیق انجام شده به وسیله [۵، صص ۱۲-۱۶] فاکتورهای ریسک‌پذیری مربوط به عدم ثبات سیاسی، نوسان‌های قیمت ارز، فساد اقتصادی، نرخ بهره و در دسترس بودن منابع به عنوان مهم‌ترین عوامل در افزایش قیمت هزینه شناسایی شده‌اند. علی‌رغم این‌که برخی از انواع فاکتورهای ریسک ممکن است مهم‌تر از سایر فاکتورها باشند، اما موفقیت پروژه وابسته به ترکیب تمامی ریسک‌ها بوده و استراتژی‌های پاسخ و تخفیف ریسک وابسته به توانایی سازمان در مدیریت ریسک‌ها است. در نتیجه استقرار مدل ریسکی که تمامی ریسک‌های مؤثر بر افزایش مدت زمان فعالیت‌ها و انحرافشان از برنامه زمان‌بندی را در نظر بگیرد، امری حیاتی است.

هدف از این مقاله ارائه یک مدل ارزیابی ریسک‌پذیری است تا به ارزیابی میزان ریسک زمانی در پروژه‌های عمرانی با استفاده از نمودار تأثیرگذاری و پیشنهاد یک مدل ارزیابی ریسک فازی بپردازد. در مدل‌های ارائه شده در مقالات موجود، موارد زیر به چشم می‌خورد که جبران برخی نقایص آن‌ها را به سمت شکل‌دهی این مقاله سوق داد. برخی از این موارد عبارتند از:

۱- متکی بودن بسیاری از این مدل‌ها به روش‌های آماری و تحقیق در عملیات که توانایی استفاده از دانش ضمنی افراد را ندارند. این نکته زمانی اهمیت بیشتری پیدا می‌کند که بدانیم بیش‌تر داده‌های مربوط به ریسک در پروژه‌های عمرانی از نوع داده‌های ضمنی به مانند تجارب یا قضاوت‌های شخصی است [۶، صص ۱۳۴-۱۶۰]. به این منظور با مطالعه در حوزه مدل‌های رفتاری، منطق فازی به عنوان راه‌حلی برای برون‌رفت از این وضعیت مورد استفاده قرار می‌گیرد؛

۲- عدم وجود ساختاری مدون و استاندارد برای نمایش ریسک‌های مختلف و چگونگی اثرگذاری آن‌ها بر شاخص‌های عملکردی پروژه با توجه به گستردگی ریسک‌های اثرگذار بر عملکرد پروژه؛

در این مقاله به منظور نمایش این ساختار کلی از روش نمودار تأثیرگذاری استفاده شد. در این روش ارتباط کلیه ریسک‌ها با عملکرد زمانی پروژه نشان داده می‌شود.

۳- تعیین رتبه هر یک از ریسک‌ها به صورت یکپارچه و عدم در نظر گرفتن عوامل

محیطی مؤثر بر بزرگی هریک از ریسک‌ها :

عوامل دیگری نیز در بحث ارزیابی ریسک وجود دارند که با وجود این‌که خود ریسک نیستند، در میزان بزرگی ریسک‌های دیگر مؤثر هستند که از آن با عنوان فاکتورهای تأثیرگذاری نام برده می‌شود. با توجه به این موضوع ارزیابی ریسک برای هر عنوان ریسک تنها در یک مرحله صورت نپذیرفته است بلکه با در نظر گرفتن فاکتورهای تأثیرگذاری که عوامل محیطی تعیین‌کننده شدت ریسک‌ها هستند، مقادیر نهایی ریسک برای وارد شدن در تعیین ریسک کلی تعیین می‌شود که این امر گستره شمول و توانایی مدل را برای کار در شرایط مختلف افزایش می‌دهد.

۴- عدم توجه به جزئیات فعالیت‌های پروژه در طراحی مدل ریسک و حرکت از سطح فعالیت‌ها به سطح کل پروژه. آنچه در مدل‌های موجود مدیریت ریسک و حتی مدل‌های فازی مشهود است انجام یک‌باره بحث ارزیابی ریسک برای کل پروژه است. به منظور افزایش دقت پیش‌بینی و کاهش اثر خطای پیش‌بینی در تخمین زمان کل پروژه، مدلسازی ریسک و ارزیابی ریسک به طور جداگانه برای هر فعالیت به صورت جداگانه انجام شد.

#### ۱-۱- فرایند کلی مدیریت ریسک

به منظور فایق آمدن بر نبود ساختارهای رسمی در مدیریت ریسک پروژه‌های عمرانی، توسعه ساختارهای رسمی برای فرایندهای مدیریت ریسک مسأله‌ای قابل توجه برای محققان است. انجمن مدیران پروژه<sup>۱</sup> متدلوژی «مدیریت و تحلیل ریسک»<sup>۲</sup> را معرفی کرده است [صص ۴۸۵-۴۹۳]. نه فاز مربوط به این متدلوژی عبارتند از تعریف، تمرکز، شناسایی، ساختاربندی، تعیین مالکیت، تخمین، ارزیابی، برنامه‌ریزی و مدیریت. به طور مشابه آقای کاهکونن [صص ۸-۱] نیز یک فرایند مدیریت ریسک و پروژه را با تعداد فازهای کم‌تری ارائه کرده است. این فازها به شرح زیر است: سازمان‌دهی و وضع محدوده، شناسایی ریسک، تحلیل ریسک، تعیین استراتژی ریسک، برنامه‌ریزی پاسخ به ریسک، کنترل مستمر و دریافت بازخور.

اگرچه این متدلوژی فازهای کم‌تری دارد، اما این فازها سعی می‌کنند تا محدوده یکسانی

1. APM: Association of Project Managers  
2. PRAM: Project Risk Analysis and Management

با فازهای متدلوژی قبلی را تحت پوشش قرار دهند. متدلوژی جدیدتری که در حال حاضر مورد استفاده قرار می‌گیرد، رویکرد پیشنهاد شده به وسیله مؤسسه مهندسان عمران و دانشکده و انستیتو محاسبه ریسک<sup>۱</sup> است. اقدامات این مؤسسه منجر به ایجاد یک فرایند جامع‌تر برای مدیریت ریسک شده است که «تحلیل ریسک و مدیریت آن برای پروژه»<sup>۲</sup> نام دارد [۹، صص ۱۹۹-۲۱۰]. این متدلوژی برای تحت پوشش قرار دادن کل چرخه حیات پروژه سازمان‌دهی شده است. ساختار این متدلوژی به صورت یک ساختار شکست چند مرحله‌ای است. فرایندهای سطح بالای این ساختار عبارتند از اجرای فرایند، بازنگری ریسک، مدیریت ریسک و اختتام فرایند. فرایندهای سطح پایین‌تر به شکستن فرایندهای سطح بالا به موارد جزئی‌تر می‌پردازند.

در انتها به معرفی متدلوژی پیشنهادی به وسیله انستیتو مدیریت پروژه آمریکا<sup>۳</sup> و استاندارد مربوط به این انستیتو، یعنی «پیکره دانش مدیریت پروژه»<sup>۴</sup> پرداخته می‌شود [۱۰، صص ۲۰۰-۲۷۵]. این متدلوژی به عنوان پرکاربردترین متدلوژی مدیریت پروژه در جهان شناخته شده و آزمون تخصصی این مؤسسه خبرگان مدیریت پروژه<sup>۵</sup> و مدرک آن به عنوان مدرک اصلی در سنجش سطح توانایی مدیریت پروژه در جهان مطرح است. در این متدلوژی، مدیریت ریسک به عنوان یکی از نه حوزه دانش مربوط به مدیریت پروژه قرار دارد. فرایند مدیریت ریسک در این متدلوژی به زیر فرایندهای زیر تقسیم می‌شود: برنامه‌ریزی مدیریت ریسک، شناسایی ریسک، تجزیه و تحلیل کیفی ریسک، تجزیه و تحلیل کمی ریسک، اعمال واکنش به ریسک و کنترل واکنش به ریسک.

نکته قابل توجه این است که تمامی این متدلوژی‌ها علی‌رغم نام‌گذاری‌های متفاوت، حوزه یکسانی را تحت پوشش قرار می‌دهند و از این رو استفاده از هر یک از آن‌ها به عنوان راهنمای کلی در فرایند مدیریت ریسک تفاوت چندانی با بقیه نخواهد داشت. با توجه به این‌که عمده پروژه‌های عمرانی با استفاده از استاندارد «پیکره دانش مدیریت پروژه» به صورت یکپارچه مدیریت می‌شوند، در این صورت به منظور تطبیق هرچه آسان‌تر فعالیت‌های

---

1. Institution of Civil Engineers and the Faculty and the Institute of Actuaries  
2. RAMP :Risk Analysis and Management for Project  
3. PMI: Project Management Institute  
4. PMBOK: Project Management Body of Knowledge  
5. PMP: Project Management Professional

مدیریت ریسک خود و ابزارهای حاصله از آن با روند استاندارد موجود دنیا در سایر عرصه‌های مدیریت پروژه، فرایند مدیریت ریسک در این استاندارد را به عنوان نقشه راه خود برای مدیریت ریسک انتخاب کرده و مورد استفاده قرار می‌دهیم.

### ۱-۱-۱- ابزارها و تکنیک‌های مورد استفاده در مدیریت ریسک

محققان سیستم‌های پشتیبانی تصمیم‌گیری مختلفی را برای استفاده در بخش ارزیابی ریسک ارائه کرده‌اند. در ابزارهای استفاده شده برای فرایندهای مختلف مدیریت ریسک در حوزه‌های مختلف کاری، شناسایی و دسته‌بندی شده‌اند [۱۱، صص ۹-۱۷]. نکته قابل توجه در این تحقیق، جمع‌آوری ابزارها با رویکرد به استاندارد PMBOK تدوین شده به‌وسیله مؤسسه مدیریت پروژه آمریکا است. نخست با تحقیقات صورت گرفته حدود ۱۰۰ ابزار شناسایی شدند. این ۱۰۰ ابزار با کمک کارشناسان مختلف به ۳۸ ابزار عمومی تقلیل پیدا کرد که از میان آن‌ها می‌توان به جلسات طوفان فکری و برنامه‌های آموزشی اشاره کرد. علاوه بر ابزارهای شناسایی شده به‌وسیله [۱۱، صص ۹-۱۷]، در تحقیق [۱۲، صص ۱-۱۲] مدل‌های ریسک مورد استفاده در پروژه‌های عمرانی انگلستان معرفی شدند. روش‌های مورد استفاده عبارتند از تحلیل درخت عیوب<sup>۱</sup>، تحلیل درخت وقایع<sup>۲</sup>، تحلیل اشکال و آثار شکست<sup>۳</sup>. [۲، صص] تحلیل ریسک‌های سیاسی و ایجاد رویکرد تحلیل ریسک‌های سیاسی با استفاده از نمودار تأثیرگذاری و شناسایی و شناسایی منابع اصلی ریسک‌های سیاسی و تأثیرات آن بر موفقیت پروژه را مدنظر قرار داده است. [۱۳، ص ۵] ریسک‌های مالی، آزمون کاراترین سنجه‌های تخفیف ریسک (تفاوت‌های فرهنگی، محدودیت‌های قانونی، توافقات قراردادی و تفاوت در استانداردها) را مدنظر قرار داده است.

تحقیق [۱۴، صص ۸-۱۹] بر توانایی شرکت به اندازه فرصت‌ها و تهدیدها در بازار بین‌المللی - کاربرد تست‌های آمادگی داخلی و خارجی برای ورود به عرصه بین‌المللی تمرکز کرده است.

- 
1. Fault Tree Analysis
  2. Event Tree Analysis
  3. FMEA(Failure mode And Effect Analysis)

در این تحقیق با استفاده از روش تجزیه و تحلیل سلسله مراتبی<sup>۱</sup> به همراه روش دلفی فاکتورهای مهم برای تصمیم‌گیری ورود به عرصه بین‌المللی شناسایی شدند. در ضمن این مسأله نیز بیان شد که در سنجش بزرگی ریسک نه تنها به احتمال و اثر بلکه به توانایی شرکت در کنترل ریسک نیز باید توجه کرد. [۱۵، صص ۱-۱۶] با استفاده از روش تجزیه و تحلیل سلسله مراتبی برای مقایسه گزینه‌ها و ایجاد یک مدل شبکه عصبی دست به ارائه یک متدولوژی کمی‌سازی ریسک برای پروژه‌های عمرانی بین‌المللی زدند. آن‌ها این مدل پشتیبانی تصمیم‌گیری برای رتبه‌بندی ریسک پروژه‌های بین‌المللی را با استفاده از تجارب پیمان‌کاران ترک طراحی کردند. [۱۶، صص ۳۱۲-۳۲۶] دست به ارائه مدل مدیریت ریسک مجموعه پروژه‌ها در پروژه‌های بین‌المللی زدند. آن‌ها یک چارچوب تصمیم‌گیری چندمعیاره را ایجاد کردند و به یکپارچه‌سازی سلسله مراتب ریسک در سطح سازمان دست زدند. [۱۷، صص ۲۰۷-۲۲۲] دست به ایجاد یک سیستم پشتیبانی تصمیم‌گیری برای راهنمایی سرمایه‌گذاران خارجی در ارتباط با ریسک‌های بازار روسیه و شناسایی استراتژی‌های مناسب برای پاسخ به ریسک و تخفیف آن زد.

مدل معرفی شده به‌وسیله [۱۸، صص ۸۳۵-۸۴۶] دارای موقعیت ممتاز در میان سیستم‌های پشتیبانی تصمیم‌گیری معرفی شده است؛ زیرا دارای رویکردی دانش محور بوده و مدل کمی‌سازی ریسک هیبریدی را مورد استفاده قرار داده است. وی با استفاده از ساختار شکست سلسله مراتبی ریسک<sup>۲</sup> سه طبقه‌ای نسبت به ارزیابی ریسک بسته‌های کاری موجود در پروژه اقدام کرد. این سه طبقه به شرح زیر است:

- طبقه اول: ریسک اصلی مربوط به بسته کاری
- طبقه دوم: ریسک‌ها که بر مبنای نقطه اثر طبقه‌بندی شده‌اند.
- طبقه سوم: فاکتورهای ریسک

[۳، صص ۴۹۴-۵۰۵] نیز با ایجاد یک مدل ارزیابی ریسک فازی به محاسبه ریسک‌های مالی پروژه و میزان افزایش قیمت پروژه پرداخت. [۱۹، صص ۳۰۵-۳۱۰] دست به ایجاد سیستمی فازی برای سنجش میزان حیاتی بودن کل فعالیت‌ها و در نهایت کل پروژه زد. در

---

1. AHP: Analytical Hierarchical Processing  
2. HRBS: Hierarchical Risk Breakdown Structure

سیستم ایجاد شده، هم شبکه فعالیت‌های پروژه و هم تمایلات و گرایش‌های تصمیم‌گیران پروژه در نظر گرفته شد. این سیستم هم می‌تواند برای سنجش ریسک، هم حجم نظارت بر فعالیت‌های پروژه و هم تصمیم‌گیری برای ورود به پروژه و یا عدم ورود مورد استفاده واقع شود. روش معرفی‌شده در این مقاله دارای تفاوت‌های چندی با روش‌های موجود دارد که عمده‌ترین این تفاوت‌ها را باید در تمرکز بر ارزیابی ریسک فعالیت‌ها به صورت جداگانه و سپس استفاده از نرم‌افزار زمان‌بندی و تطابق کامل با استاندارد PMBOK دانست. اصول متدلوژی پیشنهادی و تفاوت آن با سایر سیستم‌های معرفی شده به شکل خلاصه در بخش بعد آمده است.

## ۲- اهداف تحقیق

اهداف تحقیق به صورت فهرست عبارتند از:

۱- شناسایی منابع مؤثر در تغییرات مدت زمان فعالیت‌ها (ریسک زمانی)

۲- ارائه یک سیستم ارزیابی ریسک زمانی با در نظر گرفتن فاکتورهای تأثیرگذاری بر شدت عوامل ریسک. در تحقیقات مختلف عوامل مختلفی به عنوان فاکتورهای تأثیرگذاری در نظر گرفته شدند که از میان آن‌ها می‌توان به مطلوبیت شرایط قراردادی و تجربه سازمان اشاره کرد [۳، صص ۴۹۴-۵۰۵]. مباحث مشروح در ارتباط با اهمیت مدل‌سازی منابع ریسک، نتایج و فاکتورهایی را که بر بزرگی ریسک‌ها مؤثرند می‌توان در تحقیق [۱، صص ۱-۱۶] پیدا کرد. براساس این ایده، [۲۰، صص ۸۴۷-۸۵۷] دست به تهیه نقشه‌های ساختار ریسک زدند تا ارتباط میان منابع ریسک و فاکتورهای تأثیرگذاری را برقرار سازد.

۳- نمایش ساختار کلی ریسک‌های مؤثر بر عملکرد زمانی پروژه به روشی کارا و قابل فهم. در این تحقیق از روش نمودار تأثیرگذاری برای ایجاد مدل ریسک مربوط به هر فعالیت بر مبنای ریسک‌های مؤثر در هر فعالیت و فاکتورهای ریسکی که بر بزرگی این ریسک‌ها مؤثرند، استفاده شد. نمودار تأثیرگذاری نمودار ساده‌ای است که در آن متغیرها به وسیله گره و اثر آن‌ها به وسیله بردار نمایش داده می‌شوند. این روش یک راه آسان برای تفهیم ماهیت مشکل به سایر افراد و کمک به ایجاد درک عمومی از فاکتورها، ریسک‌ها و تصمیماتی است که بر خروجی اثر می‌گذارند. نمودارهای تأثیرگذاری می‌توانند به عنوان اولین قدم در تحلیل کمی ریسک مورد استفاده قرار گیرند.



۱- ارائه یک سیستم ارزیابی ریسک که مشکلات عمده مدل‌های مورد استفاده در پروژه‌های عمرانی (عدم توانایی استفاده از دانش ضمنی) را نداشته باشد. با توجه به کمبود اطلاعات پیشینی و ماهیت منفرد و غیرتکراری پروژه‌های عمرانی، عموماً نمی‌توان از رویکرد احتمالی برای کمی‌سازی ریسک استفاده کرد [ ۳، صص ۴۹۴-۵۰۵؛ ۱۲، صص ۱-۱۲]. دو تحقیق [ ۲، صص ۲۶۱-۲۶۹، ۲۱ صص ۵۸۵-۵۹۳] در ارتباط با این موضوع بحث کردند که بیش‌تر ابزارهای تحلیل ریسک که بر مبنای تئوری احتمالات توسعه یافته‌اند، به ندرت در عمل مورد استفاده قرار می‌گیرند. علاوه بر احتمالات دانش فردی، تجربه، قضاوت‌های درونی و قواعد کلی نیز باید به منظور تسهیل ارزیابی ریسک و قابلیت‌بازیابی آن به‌وسیله دیگران ساختاردهی شوند.

۲- استفاده از تئوری استفاده از تئوری مجموعه‌های فازی برای تسهیل ارزیابی ریسک در پروژه‌های عمرانی. فاکتورهای ریسکی که بر مدت زمان فعالیت‌ها و زمان شروع فازها اثر می‌گذارند، با استفاده از منطق فازی مدل شدند و محاسبات پیچیده فازی به صورت کامپیوتری درآمد تا علاوه بر کاهش محاسبات به افزایش دقت آن‌ها نیز کمک شود. منطق فازی یک روش کارا برای تعامل با مشکلات پیچیده و خوب تعریف نشده در شرایط تصمیم‌گیری مبهم پیشنهاد می‌کند. در خلال فرایند ارزیابی ریسک با این روش، خبرگان عقاید خود را به وسیله تخصیص رتبه به ریسک‌ها بیان می‌کنند [۲۲]. این قضاوت‌ها در قالب عبارات زبانی مثل «کم»، «زیاد» و ... بیان می‌شوند. این عبارات زبانی با استفاده از منطق فازی کمی می‌شوند. در بسیاری از مواقع که ارزیابی‌ها به شکل درونی و با استفاده از عبارات زبانی بیان می‌شوند، استفاده از منطق فازی توصیه می‌شود. این مسأله به‌ویژه در صنایع دارای عملکرد پروژه‌ای که وقایع ماهیت یکتایی دارند اهمیت بیش‌تری دارد. تحقیق [ ۲۱] نشان می‌دهد که چگونه تئوری مجموعه‌های فازی می‌تواند برای پروژه بین‌المللی ساخت فرودگاه به کار رود. متأسفانه موارد کمی از کاربرد منطق فازی در پروژه‌های عمرانی وجود دارد که از میان آن‌ها می‌توان به تحقیقات [ ۲۳، صص ۱۷-۲۸؛ ۲۴، صص ۵۸۳-۵۹۱؛ ۲۵، صص ۱۷۳-۱۸۸؛ ۲۶، صص ۱-۱۹؛ ۲۷، صص ۳۰۹-۳۱۹؛ ۲۸، صص ۱-۸؛ ۲۹، صص ۳۷۳-۳۸۸] اشاره کرد.

یکی از دلایلی که منطق فازی به طور گسترده در عمل و محیط‌های غیر آکادمیک مورد استفاده واقع نمی‌شود، پیچیدگی محاسباتی آن است. در نتیجه هدف تحقیق ما ایجاد یک

سیستم پشتیبانی تصمیم‌گیری است که به شکل خاص برای یک نوع خاص پروژه طراحی شده است و عواملی نظیر سیاست‌ها، گرایش‌ها و اهداف ریسک را در بر می‌گیرد. مشکلات خاصی بر تحقیقات قبلی مترتب بود که ما را به سمت طراحی این مدل سوق داد. مهم‌ترین آن‌ها عدم توجه به فعالیت‌ها و روابط پیش‌نیازی آن‌ها در بحث مدیریت ریسک است. به این منظور تلاش شد تا ارزیابی ریسک در سطح فعالیت‌ها انجام پذیرد تا علاوه بر دخیل کردن روابط پیش‌نیازی، از مشکل گرایش مقادیر نهایی ریسک به مقادیر متوسط در تجمیع‌های گسترده فازی [۲۰، صص ۸۴۷-۸۵۷] جلوگیری شده و مقادیر هر مدل ارزیابی ریسک بعد از غیر فازی شدن با هم جمع شوند. مورد دیگر در ارتباط با این تحقیق گسترش کاربرد مدل‌های ارزیابی ریسک به فزاد برنامه‌ریزی و اجرا است. در ادامه به شرح متدولوژی پیشنهادی پرداخته خواهد شد.

### ۳- متدولوژی پیشنهادی

شیوه زیر مبنای عمل ما برای ارزیابی ریسک زمانی به شکل فازی خواهد بود:

- ۱- شناسایی و مدل‌سازی ریسک فعالیت‌ها با استفاده از نمودار تأثیرگذاری (Diagram Influence)
- ۲- تعریف متغیرها و توابع عضویت برای هر یک از متغیرها. تابع عضویت منحنی است که مشخص می‌کند چگونه یک متغیر فازی به یک درجه عضویت بین ۰ تا ۱ مربوط می‌شود. در این مدل توابع عضویت برای محاسبه درجه عضویت نمره ریسک فازی در مجموعه‌های مختلفی که با عبارات زبانی مثل ریسک کم، ریسک کم تا متوسط، ریسک متوسط، ریسک متوسط تا زیاد و ریسک زیاد بیان می‌شوند، استفاده می‌شود.
- ۳- استفاده از دانش خبرگان برای تعیین ارتباط بین ریسک‌ها و فاکتورهای تأثیرگذاری با استفاده از قواعد تجمیع. در این بخش دانش ریسک در قالب قواعد اگر-آن‌گاه بیان می‌شود. قواعد تجمیع وضعیت تغییر سطوح ریسک را در صورت اجرای سناریوهای مختلف نشان می‌دهند. قواعد تجمیع، قواعد اگر-آن‌گاهی هستند که ارزش متغیر خروجی (رتبه ریسک) را در صورت بیان متغیر ورودی (ریسک و فاکتورهای تأثیرگذاری) با عبارت زبانی مختلف بیان می‌کنند.
- ۴- انجام عملیات فازی برای تجمیع قواعد فازی در قالب یک سیستم رتبه‌دهی فازی

۵- تعیین سطح ریسک فعالیت با تفسیر رتبه نهایی ریسک

۶- وارد کردن میزان ریسک هر فعالیت در برنامه پروژه و تعیین میزان دقیق تغییرات در

اهداف پروژه

این رویه یک رویه عمومی است، هرچند با توجه به این‌که نوع گرایش‌های ریسک و تمایلات سازمانی را می‌توان ابزارهای متفاوتی برای سازمان‌های مختلف پیشنهاد کرد، در بخش بعدی به شرح کاربرد متدلوژی پیشنهادی با رجوع به مدل طراحی شده برای یک پروژه پراخته می‌شود.

#### ۴- کاربست متدلوژی پیشنهادی

همان‌گونه که پیش‌تر گفته شد، متدلوژی پیشنهادی برای بخشی از یک پروژه بهسازی خط مربوط به اداره کل خط و ایینه فنی راه‌آهن جمهوری اسلامی مورد استفاده قرار گرفته است. بیان محدودۀ عملیات به شکل مختصر عبارت است از اجرای بهسازی خط در محور شمال غرب حد فاصل ایستگاه قزوین (کیلومتر ۱۴۴) تا ایستگاه قروه (کیلومتر ۲۱۰)، خط فرد محور شمال شرق حدفاصل ایستگاه گرمسار (کیلومتر ۱۱۴) تا ایستگاه سرخدشت (کیلومتر ۱۷۲) و محور هرمزگان حد فاصل ایستگاه میمند (کیلومتر ۱۰۵۸) تا ایستگاه سیرجان (کیلومتر ۱۱۲۴). لازم به ذکر است که با توجه به طولانی بودن پروژه و عدم امکان دسترسی به اطلاعات حقیقی برای کل پروژه در زمان تحقیق، بخشی از عملیات بهسازی خط به طول یک کیلومتر در این پروژه (در محور شمال غرب) برای ارزیابی ریسک انتخاب شد. با توجه به این‌که محورهای مورد عملیات به صورت یک خطه (غیر از شمال شرق که دو خطه است) و درست بهره‌برداری می‌باشد و پس از انجام عملیات و اتمام مسدودی دوباره مورد بهره‌برداری قرار خواهد گرفت. در این صورت لازم است تا پیمانکار در مدت زمان مسدودی (حداقل ۶ ساعت در شبانه‌روز) نسبت به اجرای عملیات اقدام کند تا امکان بهره‌برداری با سرعت حداقل ۱۵ کیلومتر بر ساعت جهت عبور این وسایط نقلیه ریلی پس از اتمام زمان مسدودی فراهم آید. به منظور اجرای این مدل گروه ارزیابی ریسکی با حضور تصمیم‌گیران مهم در انجام پروژه مثل مدیر پروژه، مدیر فنی دفتر پروژه و مشاور حقوقی و ... تشکیل شد. وظایف این گروه عبارتند از:

۱- بازنگری مدل ریسک: از اعضای گروه تقاضا می‌شود تا مدل ریسکی را که به‌وسیله نمودار تأثیرگذاری تهیه شده است، مورد بازرسی قرار دهند، ملاحظاتی را در ارتباط با کاربردی بودن مدل اعلام کرده و در صورت لزوم بازبینی‌هایی نیز بر روی مدل انجام شود.

۲- تعریف توابع عضویت و قواعد تجمیع: کارشناسان باید قواعد تجمعی را تعریف کنند که نشان می‌دهد چگونه مقادیر مختلف فاکتورهای تأثیرگذاری و ریسک‌ها با هم ترکیب می‌شوند تا رتبه ریسک نهایی پروژه تخمین زده شود. آن‌ها باید تعیین کنند چگونه رتبه نهایی ریسک با تغییر عبارات زبانی بیان‌کننده سطوح ریسک و فاکتورهای تأثیرگذاری تغییر می‌کند. آن‌ها همچنین باید شکل توابع عضویت فازی را با توجه به قضاوت ذهنی خود در مورد بزرگی فاکتورهای ریسک و چگونگی بیان آن‌ها در قالب عبارات زبانی، تعیین کنند.

۳- ارزیابی ریسک برای هر فعالیت: این گروه همچنین وظیف دارند تا بزرگی ریسک‌ها، فاکتورهای ریسک و فاکتورهای تأثیرگذاری را که در مدل ریسک به چشم می‌خورند، مورد ارزیابی قرار دهند.

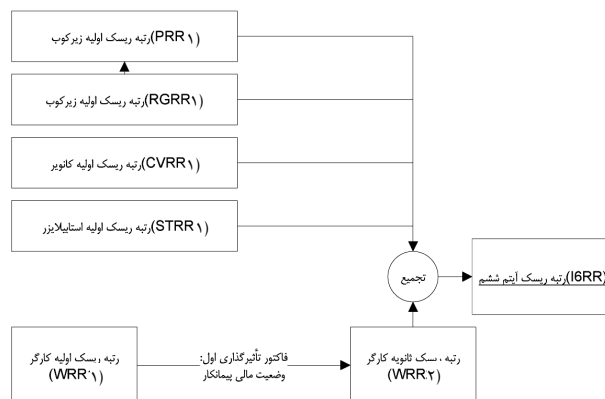
۴- اعضای گروه جلسات طوفان مغزی لازم را تشکیل می‌دهند تا به درک مشترکی در ارتباط با فعالیت‌های مورد نیاز برسند. به عبارت دیگر به جای پرسیدن سؤال‌های یکسان از اعضا به صورت جداگانه، تنها یک پاسخ از گروه دریافت می‌شود و بر این باور هستیم که این دیدگاه، دیدگاه بیش‌تر اعضای گروه است.

از آن‌جا که انجام محاسبات فازی برای خبرگان مشکل بود، یک سیستم کامپیوتری برای تسهیل فرایند ارزیابی ریسک پیشنهاد شد. در ادامه به بررسی مفروضات و مراحل کاربرد پرداخته می‌شود:

• پروژه شامل ۴ فاز به‌علاوه فعالیت نهایی بود که هر فاز شامل فعالیت‌های لازم برای بهسازی خط در ۲۵۰ متر بود؛ به گونه‌ای که امکان بهره‌برداری خط با سرعتی کم‌تر از سرعت عملیاتی فراهم شود. بخشی از فعالیت‌های مربوط به هر فاز به همراه ریسک مربوط به خود و سایر فعالیت‌ها به همراه اطلاعات مربوطه در جدول ۱ نشان داده شده است. برای هر فعالیت به وسیله استفاده از نمودار تأثیرگذاری، مدل ریسکی طراحی شد که ریسک‌ها و فاکتورهای تأثیرگذاری را در بر می‌گرفت. نمونه‌ای از این مدل‌ها (مربوط به ریسک آیتم ششم) در شکل ۱ نشان داده شده است.

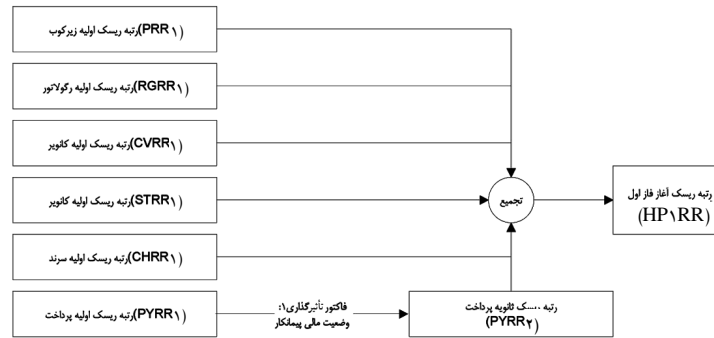
**جدول ۱** فهرست فعالیت‌های مربوط به هر فاز، ریسک‌های مربوطه و فاکتورهای تأثیرگذاری  
مربوط به هر ریسک [۳۰، صص]

ردیف	نام فعالیت	ریسک	فاکتور تأثیرگذاری	تعداد قواعد فازی برای استخراج
۱	تفکیک و سرند بالاست خط	بالات	وضعیت مالی پیمانکار	۴*۹۸
		ماشین سرند	-	
۲	بارگیری و تخلیه تراورس و ادوات خط	تراورس	وضعیت مالی پیمانکار	۳*۱۴۷
		کامیون و واگن	وضعیت مالی پیمانکار	
		کارگر	وضعیت مالی پیمانکار	
۳	تعویض ریل به ازای ۶ شاخه ۱۸ متری	ریل	وضعیت مالی پیمانکار موقعیت سیاسی	۴*۱۴۷
		کارگر	وضعیت مالی پیمانکار	
۴	بازکردن ادوات، تعویض تراورس و پیچ‌بندی	کارگر	وضعیت مالی پیمانکار	۴*۵۶
۵	بازکردن کلیه پیچ‌های اتصال	کارگر	وضعیت مالی پیمانکار	۴*۵۶
۶	مدیریت بالاست‌ریزی و رولوژ اول	زیرکوب	-	۴*۲۶۴
		رگولاتور	-	
		کانویر بالاست	-	
		استابیلایزر	-	
		کارگر	وضعیت مالی پیمانکار	



شکل ۱ مدل ریسک مربوط به ریسک فعالیت ششم [۳۰]

- نمونه‌ای از جداول مربوط به حافظه شرکت‌پذیر فازی برای تعیین رتبه نهایی ریسک در جدول ۲ نشان داده شده است. علاوه بر ریسک مربوط به فعالیت‌ها، ریسکی نیز برای شروع هر فاز در نظر گرفته شده است که در شکل ۲ نشان داده شده است. ریسک‌های تشکیل‌دهنده این ریسک نیز عبارتند از ریسک زیرکوب، رگولاتور، کانویر، استابیلایزر، سرند و پرداخت و تنها ریسک پرداخت است که تحت‌تأثیر یک فاکتور تأثیرگذاری به نام وضعیت مالی پیمانکار قرار دارد. اعضای گروه ارزیابی ریسک اعلام کردند که هیچ‌گونه مشکلی در درک مدل ریسک نداشته‌اند و نمودار تأثیرگذاری یک شیوه نمایش کارا برای مدل ریسک است. فاکتورها به هیچ عنوان حالت جامعیت ندارند و به ازای پروژه‌های مختلف می‌توان فاکتورهای دیگری را اضافه کرد و یا برخی از فاکتورهای موجود را حذف نمود.



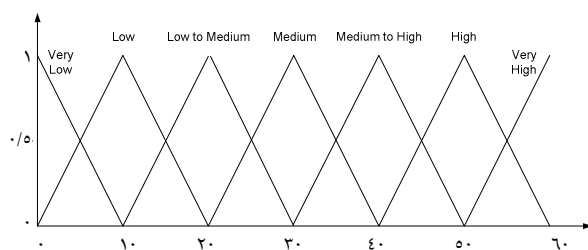
شکل ۲ مدل ریسک مربوط به شروع هرفاز [ ۳۰ ]

• برای نشان دادن رتبه‌های ابتدایی ریسک، فاکتورهای تأثیرگذاری و رتبه‌بندی نهایی ریسک از توابع عضویت مثلثی استفاده شد (که نمونه آن‌ها در شکل ۳ نشان داده شده است). دامنه متغیرهای فازی مربوط به دو عامل بالا از ۰ تا ۶۰ درصد تعیین گردید. برای رتبه نهایی ریسک نیز از متغیرهای زبانی مثلثی استفاده شد که دارای دامنه کلی ۰ تا ۹۰ درصد بود. عوامل ذکر شده از جنس درصد افزایش زمان هستند. برای نشان دادن ریسک مربوط به تأخیر شروع فاز که از جنس تعداد روزهای اضافه شده به زمان قبلی است نیز از همین نوع اعداد مثلثی استفاده شده است. به دلیل شکل یکسان این متغیرها و تنها تفاوت دامنه آن‌ها تنها به نمایش یک نمونه از آن‌ها اکتفا شد. لازم به ذکر است که همه متغیرهای فوق شامل اعداد فازی زیر هستند: «بسیار کم»، «کم»، «کم تا متوسط»، «متوسط»، «متوسط تا زیاد»، «زیاد» و «خیلی زیاد».

• برای ارتباط میان رتبه‌بندی ابتدایی و رتبه‌بندی نهایی ریسک از حافظه‌های شرکت‌پذیر فازی<sup>۱</sup> (FAM) استفاده شد. نمونه‌ای از این حافظه‌ها در جدول ۲ نشان داده شده است. همان‌گونه که مشاهده می‌شود این حافظه‌ها مقادیر متغیر نهایی را به ازای حالات مختلف متغیرهای ورودی نشان می‌دهند. این قواعد، عقاید خبرگان را در ارتباط با موضوع

1. Fuzzy Associative Memory

مربوطه نشان داده و به وسیله انجام طوفان فکری میان خبرگان طراحی می‌شود. این قواعد با تغییر نگاه خبرگان به ریسک و با توجه به سیاست‌های گوناگون سازمان تغییر می‌کنند.



شکل ۳ توابع عضویت مثلثی مربوط به رتبه بندی ابتدایی ریسک و فاکتورهای تأثیرگذاری و رتبه بندی‌های نهایی ریسک [۳۰]

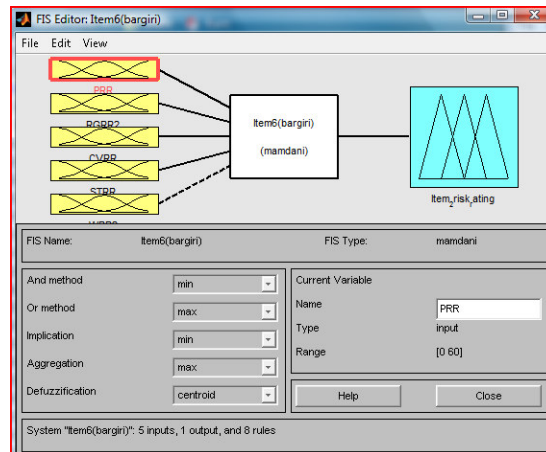
جدول ۲ حافظه شرکت‌پذیر فازی مربوط به رتبه بندی ریسک تأمین ریل با توجه به فاکتور تأثیرگذاری "وضعیت سیاسی کشور" [۳۰]

وضعیت سیاسی کشور							
خیلی زیاد	زیاد	متوسط تا زیاد	متوسط	کم تا متوسط	کم	بسیار کم	
زیاد	زیاد	متوسط	متوسط	متوسط	بسیار کم	بسیار کم	بسیار کم
زیاد	زیاد	متوسط	متوسط	متوسط	کم	بسیار کم	کم
زیاد	زیاد	متوسط تا زیاد	متوسط	کم	کم	کم	کم تا متوسط
زیاد	زیاد	متوسط تا زیاد	متوسط	متوسط	متوسط	متوسط	متوسط
خیلی زیاد	زیاد	زیاد	متوسط	متوسط	متوسط	متوسط	متوسط تا زیاد
خیلی زیاد	خیلی زیاد	زیاد	زیاد	زیاد	زیاد	زیاد	زیاد
خیلی زیاد	خیلی زیاد	خیلی زیاد	زیاد	زیاد	زیاد	زیاد	خیلی زیاد

تأمین ریل



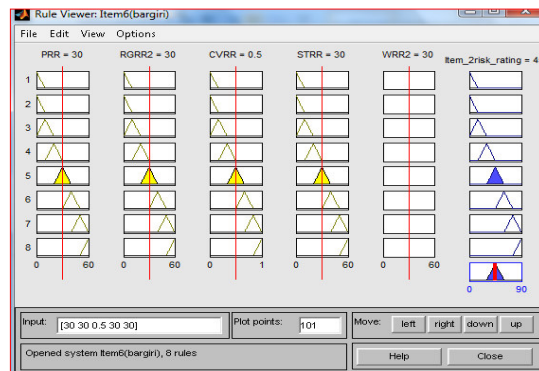
- بعد از تعیین موارد بالا از شیوه معرفی شده در قسمت قبل برای ارزیابی ریسک زمانی استفاده شد. نمودار تأثیرگذاری مربوط به مدل ریسک هر فعالیت، مراحل ارزیابی ریسک آن فعالیت را نشان می‌دهد. نتایج نهایی مربوط به ریسک زمانی هر فعالیت و ریسک شروع فازها محاسبه و در برنامه‌زمان‌بندی پروژه لحاظ شد. محاسبات فازی مربوط به تعیین رتبه نهایی ریسک به وسیله تجمیع قواعد فازی و با استفاده از نرم‌افزار MATLAB صورت پذیرفت که نمونه‌ای از برنامه‌های مربوط به ریسک فعالیت‌ها (آیتم ششم) در شکل‌های ۴ و ۵ نشان داده شده است. قواعد نیز از طریق مصاحبه با خبرگان به دست آمد.
- در هر مرحله از ارزیابی ریسک به شکل فازی، نتایج نهایی با استفاده از روش مرکز غیرفازی شدند. مقادیر غیر فازی شده ریسک فعالیت‌ها به عنوان درصد افزایش زمان فعالیت‌ها و مقادیر رتبه نهایی ریسک شروع فاز به عنوان تعداد واحدهای زمانی اضافه شده به زمان مورد انتظار شروع فاز (زمان پایان فاز قبلی) در محاسبات زمان‌بندی وارد شدند.



شکل ۴ شمای کلی مدل ارزیابی ریسک فعالیت ششم در نرم‌افزار MATLAB [۳۰]

نتایج نهایی مدل ارزیابی ریسک به روش فازی در جدول ۳ نمایش داده شده است. برای تعیین خطای

برآورد از روش متوسط درصد نسبت قدر مطلق خطا<sup>۱</sup> استفاده شد که یکی از مرسوم‌ترین روش‌ها در ارزیابی دقت مدل‌های پیش‌بینی است. مقدار کم مقادیر درصد نسبت قدر مطلق خطا و میانگین آن (متوسط درصد نسبت قدر مطلق خطا) که برابر با ۷ درصد است، نشان‌دهنده دقت بالای مدل می‌باشد. در جدول ۴ زمان نهایی کل پروژه به ازای دو حالت برآورد شده و واقعی نشان داده شده است. اختلاف مدت زمان برآورد شده با مدت زمان حقیقی برابر ۸/۲۶- شد که حدود ۷ درصد زمان واقعی کل پروژه است. برای زمان کل پروژه هم درصد نسبت قدر مطلق خطا محاسبه شد که به دلیل برابر بودن مقدار n با ۱ در جدول برابر با متوسط نسبت قدر مطلق خطا است. این مقدار نشان می‌دهد که در زمان کل پروژه با خطای حدود ۷ درصد روبه‌رو هستیم. لازم به ذکر است که به دلیل عدم استقرار سیستم ارزیابی ریسک در پروژه‌های اداره کل خط و ابنیه فنی راه‌آهن جمهوری اسلامی ایران، دستیابی به استاندارد برای تعیین میزان دقت مدل امری تقریباً غیرممکن بود. تنها با توجه به این‌که در این اداره، مقدار انحراف حدود پایین‌تر از ۳۰ درصد به شکل غیررسمی به عنوان دقت مناسب برای اختلاف برنامه زمانی با شرایط واقعی تلقی می‌شد، مقدار متوسط درصد نسبت قدر مطلق خطای برابر ۶/۸۷ (برای کل پروژه) مقداری مناسب برای مدل ارزیابی ریسک زمانی است.



شکل ۵ نمونه‌ای از محاسبات نهایی مشخص‌کننده ریسک فعالیت در نرم‌افزار MATLAB [۳۰]

1. MAPE: Mean Absolute Percentage Error

جدول ۳ نتایج نهایی مربوط به کاربرد مدل ارزیابی ریسک [۳۰]

شماره فعالیت	نام فعالیت	مدت زمان برنامه‌ریزی شده	مدت زمان تخمینی به وسیله مدل فازی	مدت زمان واقعی	درصد نسبت قدرمطلق خطا	فاز اول	
						۱	۲
۱	تفکیک و سرند بالاست خط	۴/۶	۶/۹۹	۷	۰/۱۴		
۲	بارگیری و تخلیه تراورس و ادوات خط	۲	۲/۹۹	۳	۰/۳۳		
۳	تعویض ریل به ازای ۶ شاخه ۱۸ متری	۲	۳/۳۱	۳/۵	۵/۴۲		
۴	بازکردن ادوات، تعویض تراورس و پیچ‌بندی	۲	۳/۰۱	۳	۰/۳۳		
۵	بازکردن کلیه پیچ‌های اتصال	۱	۱/۵	۱/۵	۰		
۶	مدیریت بالاست‌ریزی و رولوژ اول	۲	۳/۱۱	۳/۵	۱۱/۱۴		
۷	مدیریت بالاست‌ریزی و رولوژ دوم	۲	۲	۲	۰		
۱	تفکیک و سرند بالاست خط	۴/۶	۷/۱۶	۷	۲/۲۸		
۲	بارگیری و تخلیه تراورس و ادوات خط	۲	۲/۷۷	۳	۷/۶۶		
۳	تعویض ریل به ازای ۶ شاخه ۱۸ متری	۲	۳/۳۵	۳/۵	۴/۲۸		
۴	بازکردن ادوات، تعویض تراورس و پیچ‌بندی	۲	۳/۰۵	۳	۱/۶۶		
۵	بازکردن کلیه پیچ‌های اتصال	۱	۱/۵۳	۱/۵	۲		
۶	مدیریت بالاست‌ریزی و رولوژ اول	۲	۳/۰۵	۳/۵	۱۲/۸۵		
۷	مدیریت بالاست‌ریزی و رولوژ دوم	۲	۲	۲	۰		
۱	تفکیک و سرند بالاست خط	۴/۶	۶/۶	۷	۵/۷۱		
۲	بارگیری و تخلیه تراورس و ادوات خط	۲	۲/۸۱	۳	۶/۳۳		
۳	تعویض ریل به ازای ۶ شاخه ۱۸ متری	۲	۳/۳۵	۳/۵	۴/۲۸		
۴	بازکردن ادوات، تعویض تراورس و پیچ‌بندی	۲	۳/۰۵	۳	۱/۶۶		
۵	بازکردن کلیه پیچ‌های اتصال	۱	۱/۵۳	۱/۵	۲		
۶	مدیریت بالاست‌ریزی و رولوژ اول	۲	۳/۱۵	۳/۵	۱۰		
۷	مدیریت بالاست‌ریزی و رولوژ دوم	۲	۲	۲	۰		

ادامه جدول ۳

شماره فعالیت	نام فعالیت	مدت زمان برنامه‌ریزی شده	مدت زمان تخمینی به وسیله مدل فازی	مدت زمان واقعی	درصد نسبت قدر مطلق خطا	فاز چهارم	
۱	تفکیک و سرند بالاست خط	۴/۶	۸/۵۲	۷	۲۱/۷۱		
۲	بارگیری و تخلیه تراورس و ادوات خط	۲	۲/۲۷	۳	۷/۳۳		
۳	تعویض ریل به ازای ۶ شاخه ۱۸ متری	۲	۳/۳۹	۳/۵	۳/۱۴		
۴	بازکردن ادوات، تعویض تراورس و پیچ‌بندی	۲	۳/۱	۳	۳/۳۳		
۵	بازکردن کلیه پیچ‌های اتصال	۱	۱/۵۵	۱/۵	۳/۳۳		
۶	مدیریت بالاست‌ریزی و رولوژ اول	۲	۳/۲۶	۳/۵	۶/۸۵		
۷	مدیریت بالاست‌ریزی و رولوژ دوم	۲	۲	۲	۰		
۸	مدیریت بالاست‌ریزی و رولوژ سوم	۱۸/۴۶	۲۲/۸۷	۱۸/۴۶	۲۳/۸۸		
۹	تسطیح خاکریز	۲۴	۲۷/۴۵	۲۸	۱/۹۴		
۱۰	شیروانی سازی	۲۴	۲۶/۹۰	۲۷	۰/۳۵		
۱۱	لایروبی کانالها و ترانشه‌ها	۲۴	۲۶/۵۹	۲۸	۵/۰۲		
۱۲	تنظیم و تثبیت علائم ثابت خطی	۲۴	۲۵/۹۲	۲۸	۷/۴۲		
۱۳	ترمیم و مرمت قرنیز پل‌ها	۲۴	۲۵/۹۲	۲۸	۷/۴۲		
۱۴	جمع‌آوری و دپو ادوات و تراورس‌های معیوب و بارگیری	۲۴	۲۴	۲۴	۰		
۱۵	نقشه برداری	۲۴	۲۶/۴۴	۲۶	۱/۷۲		
۱۶	بازدید، تعمیر و مرمت گاردریل‌ها در محل گذرگاه‌های همسطح	۲۴	۲۵/۹۲	۲۶	۰/۳۰		
			متوسط درصد نسبت قدر مطلق خطا MAPE		۱۰/۷۴		

جدول ۴ زمان کل پروژه در دو حالت تخمینی و حقیقی [۳۰]

مدت زمان برآورد شده کل پروژه	مدت زمان حقیقی کل پروژه	تفاوت	متوسط درصد نسبت قدر مطلق خطا
۱۰۵/۲۴ ساعت	۱۱۳/۵ ساعت	-۸/۲۶	۶/۸۷

## ۵- نتیجه‌گیری

در این مقاله به ارائه یک متدولوژی برای تخمین ریسک زمانی پروژه در فاز اجرا پرداختیم. لازم به ذکر است که کاربرد این سیستم تنها محدود به زمان‌بندی نبوده بلکه می‌توان کاربرد آن را به سایر اهداف پروژه نیز تسری داد. در مدل‌های ریسک پیچیده‌تر که بخشی از برنامه مدیریت پروژه هستند، استراتژی‌های پاسخ خاص مثل بیمه یا انتقال ریسک باید مدنظر قرار گیرد. با در نظر گرفتن موارد فوق و برنامه‌ریزی پاسخ به ریسک‌ها می‌توان دست به تهیه برنامه مدیریت ریسک زد. علاوه بر این موارد عبارات قراردادی خاص مثل تعدیل باید در نظر گرفته شوند؛ زیرا به شکل قابل توجهی فاکتورهای ریسک را تحت‌تأثیر قرار می‌دهند.

یکی از مهم‌ترین انتقاداتی که به تئوری مجموعه‌های فازی وارد می‌شود، وابستگی آن به نظرات شخصی است. نظرات خبرگان در قالب جلسات طوفان مغزی جمع‌آوری می‌شود. استفاده از استراتژی‌های اداره جلسات طوفان مغزی به کم کردن سومندها و سایر فاکتورهای اخلاص کننده در آن کمک خواهد کرد. علاوه بر آن می‌توان بر مبنای داده‌های موجود سیستم را برای استفاده از سایر روش‌های ارزیابی ریسک توسعه داد.

نوآوری‌های مقاله در چندین عرصه نتایج مثبتی به بار آوردند. مدلسازی ریسک‌های هر فعالیت به صورت مجزا، دقت بیشتر مدل و تصویر جامع‌تر و دقیق‌تری از مدل ریسک کلی پروژه را فراهم کرده است. علاوه بر این مورد، مدلسازی جداگانه برای هر فعالیت، دامنه نفوذ خطا در ارزیابی را تا حد زیادی کاهش می‌دهد. علاوه بر آن، ارزیابی ریسک هر فعالیت با توجه به فاکتورهای تأثیرگذاری آن، انعطاف‌پذیری مدل را به شکل قابل ملاحظه‌ای افزایش داده است. مدل ایجاد شده منحصر به سازمان خاص است. هر شرکت دارای دانش ریسک خاص خود است که این امر منجر به عناصر متفاوت ارزیابی ریسک خواهد شد. لذا در ارتباط با مورد معرفی شده در این تحقیق بیشتر بر این نکته تمرکز شد که چگونه می‌توان ارزیابی ریسک فازی را در پروژه پیاده‌سازی کرد تا این‌که سازمان‌ها از یک مدل واحد برای این منظور استفاده کنند. استفاده از متدولوژی PMBOK در این تحقیق به هرچه مدون‌تر شدن فرایند ارزیابی ریسک کمک کرد و امکان گزارش‌گیری از خروجی‌های فرایند ارزیابی ریسک در قالب‌های رسمی اسناد پروژه به بهترین شکل فراهم شد. نکته دیگری که در پایان این بخش ذکر آن ضروری به نظر می‌رسد این است که علی‌رغم قابل قبول بودن نتایج این

پروژه، کاربرد این مدل در سایر پروژه‌های مشابه در سازمان به غنی‌تر شدن هرچه بیش‌تر این مدل کمک خواهد کرد.

#### ۵-۱- پیشنهاد

در این بخش پیشنهاداتی برای تحقیقات آینده ارائه می‌شود. این پیشنهادات حاصل تجربیات این‌جانب در خلال فرایند اجرای تحقیق بوده است و به طور عمده دایر بر مواردی است که می‌تواند بحث ارزیابی ریسک را غنی‌تر سازد. پاره‌ای از این موارد عبارتند از:

۱- ایجاد ساختاری برای اولویت‌بندی ریسک‌های پروژه: درست است که برای حصول تمامی اهداف پروژه باید کلیه ریسک‌های پروژه شناسایی و پاسخ‌دهی شوند، اما باید توجه داشت که شدت این ریسک‌ها باهم برابر نیست؛ برخی نیازمند اقدام فوری و اضطراری بوده و برخی دیگر را می‌توان در بازه زمانی گسترده‌تری حل و فصل کرد. در این صورت انتخاب مهم‌ترین ریسک‌های پروژه و اقدام در جهت رفع آن‌ها یکی از ضروریات فرایند مدیریت ریسک است. با توجه به گسترش روزافزون تکنیک‌های تصمیم‌گیری چند معیاره و قابلیت ورود اطلاعات خبرگان در آن‌ها، این بخش می‌تواند به عنوان یک موضوع جذاب مدنظر محققان قرار گیرد.

۲- توسعه سیستم ارزیابی ریسک فازی برای سایر اهداف پروژه: در این تحقیق با توجه به طراحی مدل برای کارفرما و ثبات نسبی هزینه، تنها به بررسی ریسک زمانی پرداخته شد، اما در سایر موارد مدل ارزیابی ریسک فازی را می‌توان برای تمامی اهداف پروژه به کار رفت.

۳- ایجاد macroهای برای یکپارچه‌سازی سیستم ارزیابی ریسک فازی با نرم‌افزارهای مدیریت پروژه: با توجه به مشکلات فنی مطرح شده و این‌که کاربرد سیستم ارزیابی ریسک موضوع نیازمند وجود یک خبره (درگیر در ساخت مدل) در کلیه مراحل پروژه است، ایجاد یک چنین سامانه‌ای برای کاربرد آسان‌تر سیستم ارزیابی ریسک فازی به‌وسیله اعضای گروه پروژه امری مفید است. با توجه به عمومی نبودن مدل‌های ارزیابی ریسک فازی، امکان فراهم‌آوری ساختاری عمومی برای ارزیابی ریسک فازی در نرم‌افزارهای عمومی مدیریت ریسک وجود ندارد اما می‌توان این قابلیت را به‌وسیله طراحی ماکروهایی با این منظور ایجاد کرد.

۴- انجام مطالعات تطبیقی روی تمامی پروژه‌های سازمان برای جمع‌آوری و مستندسازی دارایی‌های فرایندی سازمان: در بسیاری از مواقع، در صورت مدون بودن

دارایی‌های فرایندی سازمان مثل بانک حافظه‌های شرکت‌پذیر فازی، نیازی به طراحی هر بخش مدل نبوده و می‌توان از این موارد برای توسعه مدل جدید استفاده کرد.

## ۶- منابع

- [۱] اطمینان‌مقدم ف.؛ بررسی تحلیلی شناسایی ریسک‌های معمول در پروژه‌های ساختمانی؛ کنفرانس بین‌المللی مدیریت پروژه، ۱۳۸۴.
- [2] Baloi D. , Price A.D. ; Modelling global risk factors affecting construction cost performance ; *International Journal of Project Management*, 21 (3), 2003.
- [3] Dikmen I., Birgonul T. , Han S. ; Using fuzzy risk assessment to rate cost overrun risk in international construction projects ; *International Journal of Project Management*, 25 (8), 2007.
- [4] Sharifzadeh K., Khademi J. , Hamidi M. ;Geotechnical risk assessment based approach for rock TBM selection in difficult ground conditions ; *Tunnelling and Underground Space Technology*, 23 (3), 2008.
- [5] Linkov I., Kiker G., Batchelor C., Bridges T., Ferguson E. , Satterstrom F.K. ; From comparative risk assessment to multi-criteria decision analysis and adaptive management: Recent developments and appli , *Environment International*, 32 (8), 2006.
- [6] Smimou K., Bector R. , Jacoby G. ; A subjective assessment of approximate probabilities with a portfolio application ; *Research in International Business and Finance* , 21 (12), 2007.
- [7] Lam K., Wang D., Lee P.T. , Tsang Y. ; Modelling risk allocation decision in construction contracts ; *International Journal of Project Management*, 25 (14), 2007.
- [8] De Vries B. , Steins R. J. ; Assessing working conditions using Fuzzy Logic. *Automation in Construction*, 6 (2), 2007.
- [9] Rebiasz B. ; Fuzziness and randomness in investment project risk appraisal. *Computers & Operations Research*, 34 (2), 2007.

- [10] PMI ; a guide to the project management body of knowledge ; Project Management Institute, 2008.
- [11] Raz, T. , Michael E. ; Use and benefits of tools for project risk management; *International Journal of Project Management*, 19 (9), 2001.
- [12] Zeng J., An M. , Smith N.J. ; Application of a fuzzy based decision making methodology to construction project risk assessment ; *International Journal of Project Management*, 10 (15), 2007.
- [13] Hendrickson C. , Kapila P. ; Exchange rate risk management in international construction ventures ; *ASCE Journal of Management and Engineering*, 4 (8), 2001.
- [14] Gunhan S. , Arditi D. ; International expansion decision for construction companies ; *ASCE Journal of Construction Engineering and Management*, 4 (131), 2005.
- [15] Dikmen I. , Birgonul M. ; Neural network model to support international market entry decisions ; *ASCE Journal of Construction Engineering and Management*, 7 (8), 2004.
- [16] Han S.H. , Diekmann J.E. ; Making a risk-based bid decision for overseas construction projects ; *Journal of Construction Management and Economy*, 8 (9), 2001.
- [17] Aleshin A. ; Risk management of international projects ; *International Journal of Project Management*, 19 (8), 2001.
- [18] Tah M. , Carr V. ; Towards a framework for project risk knowledge management in the construction supply chain ; *Advances in Engineering Software*, 32 (3), 2001.
- [19] Kuchta D. ; Use of fuzzy numbers in project risk (criticality) assessment ; *International Journal of Project Management*, 19 (7), 2001.
- [20] Carr V. , Tah M. ; A fuzzy approach to construction project risk assessment and analysis: Construction project risk management system ; *Advances in Engineering Software*, 32 (8), 2001.
- [21] Lin C. , Chen Y.; Bid/no-bid decision-making – a fuzzy linguistic approach;



- International Journal of Project Management*, 22 (8), 2004.
- [22] MATLAB ; An introductory example: Fuzzy versus non-fuzzy logic ; In Mathworks , 2007.
- [23] Ferreir G.A., Celso M. , Lapa F. ; Fuzzy inference to risk assessment on nuclear engineering systems ; *Applied Soft Computing* , 7 (8).
- [24] Motawa I.A., Anumba C.J. , El-hamalawi A. ; A fuzzy system for evaluating the risk of change in construction projects ; *Advances in Engineering Software*, 37 (6), 2006.
- [25] Li J., Huangmin G., Zeng G., Maqsud I. , Huang Y. ; An integrated fuzzy-stochastic modeling approach for risk assessment of groundwater contamination ; *Journal of Environmental Management*, 82 (1), 2007.
- [26] Wang Y. , Elhag T.M. ; A fuzzy group decision making approach for bridge risk assessment ; *Computers & Industrial Engineering*, 10 (15), 2007.
- [27] Wang Y. , Elhag T.M. ; Fuzzy TOPSIS method based on alpha level sets with an application to bridge risk assessment ; *Expert Systems with Applications*, 31 (13), 2006.
- [28] Wang Y. , Elhag T.M. ; An adaptive neuro-fuzzy inference system for bridge risk assessment; *Expert Systems with Applications*, 32 (14), 2007.
- [29] Xu Z., Khoshgoftaar T.M. , Allen E.B. ; Application of fuzzy expert systems in assessing operational risk of software ; *Information and Software Technology*, 45 (12), 2003.
- [۳۰] شریف‌موسوی مهدی ؛ بومی‌سازی مدل ارزیابی ریسک فازی برای استفاده در پروژه‌های عمرانی ؛ پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده فنی- مهندسی، گروه صنایع دانشگاه تربیت مدرس ، ۱۳۸۸.