

شناسایی و اولویت‌بندی شاخص‌های مدیریت ریسک در پروژه‌های سدسازی با روش ترکیبی AHP-ARAS در محیط فازی براساس استاندارد PMBOK

محمد عبدالشاه

استادیار دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه آزاد اسلامی واحد سمنان، ایران

مصطفی مقیمی*

کارشناس ارشد MBA-مدیریت عملیات، دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه سمنان، ایران

سید امیرمحمد خطیبی

دانشجوی دکتری مدیریت، دانشکده مدیریت و علوم اداری، دانشگاه اصفهان، ایران

(تاریخ دریافت ۱۳۹۹/۲/۱۲ - تاریخ پذیرش ۱۳۹۹/۵/۳۱)

چکیده

هدف اصلی این پژوهش، شناسایی و اولویت‌بندی ریسک‌های پروژه‌های عمرانی براساس استاندارد گسترده دانش مدیریت پروژه (PMBOK) است. بدین منظور پروژه‌های سدسازی به‌عنوان پایه این مطالعه انتخاب شدند. ابتدا ریسک‌های پروژه براساس استاندارد PMBOK شناسایی شدند. سپس با استفاده از پرسشنامه، تجارب خبرگان جمع‌آوری و ریسک‌های شناسایی شده غربالگری شدند. در ادامه با اجرای روش تجزیه و تحلیل حالت‌های بالقوه شکست و خطرهای آن (FMEA) با هدف بیان عبارات کیفی برای پارامترهای احتمال وقوع ریسک، اثر ریسک، و قابلیت تشخیص ریسک قبل از وقوع، مجدداً از خبرگان نظرخواهی شد و تحلیل کیفی ریسک‌ها انجام گرفت. در ادامه پژوهش با توزیع پرسشنامه بین خبرگان، ریسک‌هایی که در مرحله قبل اولویت بیشتری از ریسک‌های دیگر داشتند، براساس تأثیرشان بر اهداف پروژه رتبه‌بندی شدند. برای این منظور از روش تصمیم‌گیری چندمعیاره ارزیابی نسبت افزایشی (ARAS) فازی استفاده شد. معیارهای در نظر گرفته شده عبارت‌اند از زمان، هزینه، کیفیت و ایمنی پروژه. به‌منظور تعیین وزن معیارها از روش تحلیل سلسله‌مراتبی داده‌های فازی (FAHP) استفاده شد. مهم‌ترین ریسک‌های شناسایی شده به‌ترتیب اولویت عبارت‌اند از: تأمین نکردن یا تأخیر در تأمین تجهیزات وارداتی، تخصیص نیافتن مناسب و به‌موقع منابع مالی توسط تأمین‌کننده‌گان مالی پروژه، تأخیر در ابلاغ نقشه‌ها.

واژه‌های کلیدی: پروژه‌های عمرانی، سدسازی، محیط فازی، مدیریت ریسک پروژه، PMBOK

مقدمه

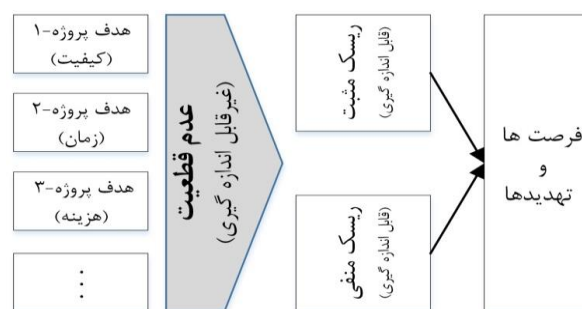
یکی از دلایل عمده شکست پروژه‌های عمرانی را می‌توان ناکارآمدی و ناتوانی پیمانکاران در تحلیل و ارزیابی ریسک‌های پیش‌بینی نشده پروژه دانست. وجود ریسک‌های متعدد از یک‌سو ممکن است موجب تأخیرهای زمانی در اجرا و اتمام این پروژه‌ها شود که سالانه هزینه‌های مستقیم و غیرمستقیم هنگفتی را بر اقتصاد تحمیل می‌کند و از سوی دیگر تأثیر منفی بر کیفیت خروجی‌ها خواهد داشت که خود عاملی برای تقویت منفی نسبت خطر و در نتیجه افزایش مخاطرات سیستم است [۱۵، ۱۶]. بنابراین شناسایی و اولویت‌بندی ریسک‌های پروژه از مهم‌ترین بخش‌های مدیریت ریسک است که به محقق شدن این امر کمک شایانی می‌کند [۱۶، ۱۹]. تحقیقات زیادی در خصوص مدیریت ریسک^۱ انجام گرفته است ولی تحقیقات مدیریتی کمی در زمینه مدیریت ریسک در بحث سدسازی از نگاه مدیریتی صورت گرفته است که بیانگر ضرورت و اهمیت مدیریت صحیح ریسک‌هاست. پروژه‌های سدسازی از هزینه‌برترین پروژه‌های زیرساختی کشور است که با توجه به تأمین آب کشاورزی و شرب مناطق مختلف توسط سدها و بنابراین نقش دوسویه این پروژه‌ها در معیشت مردم و زندگی روزمره آنها و همچنین زیرساختی بودن، تکمیل آنها از اهمیت زیادی برخوردار است. از این‌رو این پژوهش با شناسایی و اولویت‌بندی ریسک‌های پروژه‌های سدسازی براساس استاندارد PMBOK و با استفاده از روش تجزیه و تحلیل حالت‌های بالقوه شکست و خطرهای آن^۲ (FMEA)، بهره‌گیری از روش تصمیم‌گیری چندمعیاره ارزیابی نسبت افزایشی^۳ (ARAS)، فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی^۴ (AHP) و بهره‌گیری از منطق فازی^۵ سعی در ارائه راهکارهای کاربردی دارد. ریسک‌های شناسایی شده در این پژوهش صرفاً ماهیت منفی دارند؛ بدین معنا که به‌صورت پیامد منفی بر اهداف پروژه اثر می‌گذارند.

مبانی نظری و پیشینه تحقیق

ریسک عدم قطعیتی است که امکان اندازه‌گیری آن وجود دارد، اما عدم قطعیت را نمی‌توان اندازه‌گیری کرد [۱۹]. برخی از عدم قطعیت‌هایی که در پروژه‌ها وجود دارند، قابلیت تأثیرگذاری بر اهداف را دارند و در حقیقت این تعامل بین اهداف پروژه و عدم قطعیت‌هاست که ریسک را پدید می‌آورد. به‌عبارت بهتر، ریسک در فضای انتزاعی و مستقل وجود نخواهد داشت و باید مربوط به هدفی

-
1. Risk Management
 2. Failure Mode and Effect Analysis (FMEA)
 3. Additive Ratio Assessment (ARAS)
 4. Analytical Hierarchy Process
 5. Fuzzy Logic

باشد و آن را تحت تأثیر قرار دهد. اهداف در پروژه‌ها معرف موضوعاتی‌اند که تحت تأثیر ریسک قرار دارند و موجودیت این دو عامل در کنار هم سبب وجود و معنادار شدن ریسک خواهد شد [۱۹]، [۱۰]. ریسک پروژه، وضعیت یا واقعه غیرمسلمی است که اگر اتفاق بیفتد بر یک یا چند هدف پروژه مانند محدوده، زمان‌بندی، هزینه و کیفیت اثر مثبت یا منفی می‌گذارد که می‌توان آنها را براساس مثبت یا منفی بودن به فرصت‌ها و تهدیدها تعبیر کرد [۱۹]، [۱۰]. شکل ۱ بیانگر تأثیرگذاری بین اهداف پروژه، عدم قطعیت‌ها، ریسک‌های مثبت و منفی، فرصت‌ها و تهدیدهاست.



شکل ۱. ارتباط ریسک، تهدید و فرصت [منبع: نگارندگان]

با توجه به اهمیت علم مدیریت پروژه، در سال‌های اخیر، استانداردهای متنوعی در این زمینه پدید آمده‌اند این استانداردها شامل اصول پایه‌ای و الزاماتی است که برای مدیریت موفق یک پروژه یا اجرای سیستم مدیریت پروژه یک سازمان لازم به نظر می‌رسد [۱۲]. همچنین باید این نکته را در نظر داشت که برای هر فرایند مدیریت ریسک، پایه‌ریزی زیرساخت براساس ساختار شکست ریسک^۱ (RBS) حائز اهمیت است. ساختار شکست ریسک به تیم پروژه کمک می‌کند تا به منشأهای ریسک در یک فرایند شناسایی ریسک، واقف شود. ساختارهای متفاوت ساختار شکست ریسک برای انواع متفاوت پروژه مناسب‌اند [۱۹]، [۱۸]. یکی از معروف‌ترین و گسترده‌ترین استانداردها در این خصوص، گستره دانش مدیریت پروژه^۲ (PMBOK) است. در حیطه فرایندهای مدیریت ریسک، در PMBOK به برنامه‌ریزی مدیریت ریسک، شناسایی ریسک، ارزیابی کیفی ریسک، ارزیابی کمی ریسک، برنامه‌ریزی پاسخگویی به ریسک، و پایش و کنترل ریسک پرداخته شده است [۱۰]. به‌طور کلی ریسک‌های مؤثر بر پروژه‌ها را براساس PMBOK می‌توان در چهار گروه زیر قرار داد [۱۸]:

1. Risk Breakdown Structure
2. Project Management Body Of Knowledge

۱. ریسک‌های بیرونی: ریسک‌های بیرونی پروژه در محدوده اختیارات مدیران پروژه نیستند. مدیران پروژه باید آمادگی مواجهه با این دسته از ریسک‌ها را داشته باشند و تا حد ممکن اثرهای آنها را به حداقل برسانند یا حذف کنند.
۲. ریسک‌های درونی: ریسک‌هایی هستند که به‌طور معمول در اثر کمبود منابع سازمانی به وجود می‌آیند و در صورتی که برنامه‌ای مناسب برای کاهش یا حذف آنها پیش‌بینی نشده باشد، پروژه با تأخیر زمانی مواجه می‌شود.
۳. ریسک‌های فنی، کیفی، عملکردی: ریسک‌هایی هستند که در اثر فناوری به‌کار گرفته شده در پروژه یا محیط کاری پروژه به وجود می‌آیند.
۴. ریسک‌های مدیریت پروژه: تخصیص نیافتن زمان، هزینه و منابع کاری مناسب، استفاده از برنامه نامناسب، کم‌توجهی مدیریت پروژه به تحقق اهداف، ارتباطات و کنترل ضعیف، از مصادیق این گروه ریسک‌هاست.

برای ارزیابی ریسک‌ها می‌توان از معیارهای زیادی استفاده کرد. در بیشتر منابع به‌منظور ارزیابی و رتبه‌بندی ریسک تنها از دو معیار حد تأثیر و احتمال وقوع ریسک استفاده شده است، در حالی که در بعضی منابع، معیارهای دیگری از جمله عدم اطمینان تخمین و توانایی سازمان در واکنش به ریسک نیز مطرح شده‌اند. هر دو معیار یادشده را می‌توان به‌خوبی به‌صورت معیارهای کیفی یا کمی در ارزیابی ریسک‌ها و رتبه‌بندی آنها استفاده کرد [۱۱، ۱۳].

باشن و شیتونگ با استفاده از روش تصمیم‌گیری چندمعیاره فازی به ارزیابی ریسک پروژه‌های ساختمانی پرداخته‌اند [۲۷]. نتیجه آنکه رویکرد پیشنهادی با استفاده از مزیت‌های محیط فازی برای پیش‌بینی عدم قطعیت‌ها به‌طور مؤثر برای شناسایی و ارزیابی ریسک و موانع پروژه‌های ساختمانی شهری استفاده می‌شود. سامانترا و همکاران، ریسک پروژه ساخت یک ایستگاه راه‌آهن زیرزمینی را با استفاده از منطق فازی ارزیابی کردند [۲۳]. آنها با استفاده از ماتریس خطر که براساس منطق فازی مطرح شد، ریسک‌های موجود را شناسایی، ارزیابی و اولویت‌بندی کردند. وانگ و چن به ارزیابی ریسک ایمنی مبتنی بر شبکه بیسیم فازی برای پروژه‌های ساختمانی مترو در چین با هدف بررسی امکان‌سنجی رویکرد و همچنین پتانسیل کاربرد آن پرداختند [۲۶]. مقایسه نتایج با وضعیت واقعی ساخت‌وساز نشان‌دهنده اثربخشی آن در برآورد شدت خطر یک پروژه ساختمانی مترو تحت عدم قطعیت است. رویکرد پیشنهادی ابزار قدرتمندی را فراهم می‌کند که برنامه‌ریزان و مهندسان می‌توانند به‌طور نظام‌مند ریسک ذاتی مربوط به ساخت مترو را ارزیابی کنند و کاهش دهند. در پژوهشی توسط الکریم و همکاران عوامل خطر ساز پروژه‌های ساختمانی با هدف شناسایی، مطالعه و ارزیابی اثر عوامل مؤثر بر هزینه و زمان احتمالی ارزیابی شد [۲]. نتیجه آنکه به‌منظور

رسیدگی به مهلت معین پروژه و به‌دلیل ماهیت پیچیده پروژه‌های ساختمانی، هزینه‌ها و برنامه‌ریزی به اندازه کافی انعطاف‌پذیر باشند تا بتوانند تغییرات را بدون تأثیر منفی بر هزینه و مدت زمان پروژه انجام دهند. راینر و همکاران در تحقیقی، ریسک کارگران ساختمانی فیلیپین را با در نظرگیری انواع مختلف درد که کارگران ساختمانی فیلیپینی در هنگام کار درک کرده بودند، بررسی کردند [۲۰]. یک نظرسنجی براساس پرسشنامه استاندارد نوردیک^۱ برای تجزیه و تحلیل علائم اسکلتی عضلانی انجام گرفت. نتایج نشان داد که همه وظایف موجب درد خفیف تا قابل تحمل می‌شوند. وظایف سخت‌تر که اغلب توسط کارگران انجام می‌گیرد، با استفاده از روش RULA و REBA تجدید نظر شدند. زیادوس و رجمنت با استفاده از سه روش مختلف به تجزیه و تحلیل ریسک و بررسی ضعف‌ها و قوت‌ها و زمینه‌های اولیه آنها پرداختند [۶]. اچ‌م‌بیلدیز و همکاران به بررسی یک مطالعه موردی با سه کارشناس ساختمانی با استفاده از داده‌های یک پروژه واقعی ساخت‌وساز و تمرین ارزیابی ریسک با استفاده از راهبردهای مختلف برای جمع‌آوری نظرهای متخصص درباره ریسک‌های خطر پرداختند [۸]. نتایج نشان می‌دهد که سوق دادن نظرها و نگرش‌ها درباره ریسک نمی‌تواند کاملاً برطرف شود، اما ممکن است بعضی از راهبردها برای اطمینان از فرایند ارزیابی ریسک قابل اعتمادتر از بقیه باشند. این راهبردها، اغلب، اختلاف نظرهای تصمیم‌گیران را پوشش می‌دهد. تایلان و همکاران در پژوهش خود به انتخاب پروژه‌های ساختمانی و ارزیابی ریسک با استفاده از روش AHP فازی و روش TOPSIS فازی پرداختند [۲۴]. ابراهیم‌نژاد و همکاران از رویکرد فازی چندهدفه برای شناسایی و ارزیابی ریسک در پروژه‌ها استفاده کردند و از روش‌های لینمپ^۲ و روش‌های ترجیح براساس مشابهت به راه حل ایده‌آل^۳ (TOPSIS) فازی بهره گرفتند [۷]. آنتونیو و همکاران، کاربرد استانداردهای مدیریت پروژه و عوامل موفقیت برای توسعه ابزاری به‌منظور ارزیابی مدیریت پروژه با تمرکز بر شیوه‌های مدیریت پروژه اجرا شده برای پروژه‌های ساخت‌وساز خاص را بررسی کردند. آنان با استناد به استاندارد PMBOK، به شناسایی عوامل موفقیت و مخاطرات احتمالی پروژه‌های ساخت پرداختند و توضیح دادند که چگونه این استانداردها را به‌عنوان ابزار یکپارچه ارزیابی مدیریت پروژه می‌توان به‌کار برد [۱]. لیونز و اسکیت‌مور در بررسی پروژه‌های اجرایی، رایج‌ترین ابزار شناسایی ریسک را توفان مغزی و قضاوت خبرگان معرفی کردند. آنها همچنین نتیجه گرفتند که مرحله شناسایی ریسک، پرکاربردترین بخشی است که مدیران پروژه‌ها از آن در مدیریت ریسک استفاده می‌کنند [۱۲]. روش سلسله‌مراتبی برای ارزیابی وزن ریسک‌ها با استفاده از دو فاصله، مقایسه شده

1. Nordic

2. Linamp

3. Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution

است. این روش برای به حداقل رساندن تفاوت بین ارزش اولویت‌هایی که به‌طور مستقیم از اعضای گروه ارزیابی به‌دست آمده ایده‌آل است. زاید و همکاران در مقاله‌ای با استفاده از روش تحلیل سلسله‌مراتبی به ارزیابی ریسک در پروژه‌های بزرگراه‌های چین پرداختند [۲۹]. مجتهدی و همکاران در تحقیق خود با به‌کارگیری روش تصمیم‌گیری گروهی چندمشرک‌ای به تعیین و ارزیابی ریسک پرداختند [۱۷]. صالحی صدقیانی و همکاران در مدل خود برای رتبه‌بندی فعالیت‌ها، از دو معیار هزینه و زمان استفاده کردند و به‌دلیل قطعی نبودن مدت زمان و هزینه فعالیت‌ها، این دو معیار را فازی در نظر گرفتند [۲۲]. معیار زمان به‌صورت درجه بحرانی بودن به‌دست‌آمده از شبکه روش مسیر بحرانی^۱ (CPM) فازی در این شرایط، لحاظ شده است و از آنجا که در هر پروژه با توجه به اهداف و شرایط آن، اهمیت هزینه و زمان متفاوت است، به این دو معیار وزن تخصیص داده می‌شود و با استفاده از روش TOPSIS فازی فعالیت‌ها براساس ریسک اجرا رتبه‌بندی می‌شوند. یکی از مهم‌ترین مسائل در فرایند ارزیابی ریسک، وجود پارامترهای غیرقطعی در ارزیابی ریسک است. در همین زمینه در سال ۲۰۱۱، یاکبونگ و همکاران پیرو تحقیقات خود درباره ارزیابی ریسک ایمنی، استفاده از محیط‌های فازی را پیشنهاد دادند [۲۸].

روش پژوهش

در این پژوهش در هفت گام مطابق شکل ۲ به اجرای مفاهیم و رتبه‌بندی ریسک‌های موجود در پروژه‌های عمرانی با تمرکز بر پروژه‌های سدسازی پرداخته شد.



شکل ۲. مراحل اجرای پژوهش

1. Critical path method

گام ۱. شناسایی ریسک براساس استاندارد PMBOK

براساس استاندارد گستره دانش مدیریت پروژه ریسک‌های مؤثر در پروژه‌ها در چهار گروه ریسک‌های بیرونی؛ ریسک‌های درون‌سازمانی؛ ریسک‌های فنی، کیفی، عملکردی؛ و ریسک‌های مدیریت پروژه طبقه‌بندی می‌شوند. بر همین اساس با استفاده از اطلاعات تهیه‌شده توسط کارشناسان واحد فنی مهندسی و واحد برنامه‌ریزی و کنترل پروژه و مستندات پروژه‌های قبل، ریسک‌های پروژه تحت مطالعه با استفاده از روش توفان فکری شناسایی شد.

گام ۲. غربالگری ریسک‌ها

بعد از شناسایی ریسک‌های پروژه‌های سدسازی با استفاده از اصول PMBOK، در گام دوم ریسک‌های شناسایی شده با قرار دادن پرسشنامه‌هایی در اختیار ۷۱ نفر از خبرگان اعم از برنامه ریزان، مهندسان، مدیران اصلی و میانی، تیم‌های کنترل، مشاوران بیرون از پروژه‌ها و متخصصان این حوزه قرار داده شد. بعد از بازپس‌گیری پرسشنامه‌ها، ۳۰ پرسشنامه تکمیل‌شده معتبر برای ورود به داده‌های پژوهش به‌منظور غربالگری ریسک‌ها تأیید شد. در نهایت ۱۵ ریسک که فراوانی بیشتری از ریسک‌های دیگر و اختلاف معنی‌داری با ریسک‌های انتخاب‌نشده داشتند به‌عنوان شاخص‌های این پژوهش انتخاب شدند.

گام ۳. ارزیابی ریسک‌ها با استفاده از FMEA

در این گام ریسک‌ها با استفاده از ابزار FMEA و آثار آن ارزیابی خواهند شد. در جهت ارزیابی ریسک شکست و اثر آن از سه فاکتور زیر استفاده می‌شود:

- شدت اثر^۱: نتیجه یک شکست در صورتی که اتفاق بیفتد؛
 - احتمال وقوع^۲: احتمال اتفاق افتادن یک شکست؛
 - قابلیت تشخیص^۳: احتمال اینکه یک شکست قبل از تحقق یافتن اثر آن شناسایی شود.
- به هر یک از سه فاکتور ریسک، یک عدد بین ۱ تا ۱۰ تعلق می‌گیرد و سپس عدد اولویت ریسک^۴ (RPN) برای هر شکست بالقوه و اثر آن، از ضرب ارزش‌های شدت اثر (S) و احتمال وقوع (O) و قابلیت تشخیص (D) تعیین می‌شود [۱۴].

$$RPN = S \times O \times D \quad (1)$$

1. Severity
2. Occurrence
3. Detection
4. Risk Priority Number

روایی پرسشنامه‌های این مرحله با بررسی پژوهش‌های پیشین و نظر خبرگان تأیید شد. برای تحلیل پایایی پرسشنامه‌ها از نرم‌افزار SPSS استفاده شد. پایایی پرسشنامه‌ها با استفاده از فرمول آلفای کرونباخ محاسبه و برای این پرسشنامه مقدار ضریب آلفای کرونباخ برای شاخص شدت ریسک ۰/۹۴، برای شاخص احتمال وقوع ریسک ۰/۹۵ و برای شاخص تشخیص ریسک قبل از وقوع ۰/۹۱ به دست آمد که این نتایج نشان‌دهنده پایایی مناسب است.

گام ۴. تعیین معیارهای استفاده‌شده در این پژوهش

با بررسی پروژه‌های عمرانی و همچنین پیشینه تحقیق، مشخص شد که معیارهایی چون مدت زمان، هزینه، کیفیت و ایمنی پروژه تأثیر بسزایی در موفقیت و شکست یک پروژه عمرانی دارند. پروژه‌ای موفق نامیده می‌شود که هر یک از معیارهای زمان، هزینه، کیفیت و ایمنی را بهینه کند. در این تحقیق با توجه به اهمیت این موضوع، اولویت‌بندی ریسک‌ها با در نظر گرفتن معیارهای زمان، هزینه، کیفیت و ایمنی انجام گرفته است.

گام ۵. تعیین وزن معیارها با استفاده از روش AHP فازی

AHP رهیافتی برای تصمیم‌گیری‌های چندمعیاره است که در سال ۱۹۸۰ توسط توماس ساعتی^۱ بنیان نهاده شد [۲۱]. در واقع AHP ابزاری قدرتمند برای حل مسائل تصمیم‌گیری پیچیده است. AHP شامل گام‌های زیر است: ۱. با تجزیه مسئله به عناصر تصمیم، یک سلسله‌مراتب تصمیم‌گیری ساخته می‌شود؛ ۲. مقایسه‌های جفتی بین عناصر تصمیم صورت می‌گیرد؛ ۳. سازگاری مقایسه‌های جفتی بررسی می‌شود و اگر آزمون موفقیت‌آمیز نبود، باید مقایسه‌های جفتی دوباره انجام گیرد؛ ۴. وزن‌های نسبی عناصر تصمیم محاسبه می‌شود.

با توجه به اینکه قضاوت‌های کلامی برای تصمیم‌گیرندگان آسان‌تر از بیان یک پاسخ قطعی است، استفاده از مفاهیم فازی در تصمیم‌گیری‌ها از اهمیت بسیاری برخوردار است. اعداد مورد استفاده در این روش، اعداد مثلثی فازی هستند. هر یک از تصمیم‌گیرندگان مقایسه‌های زوجی خویش را با کاربرد عبارت‌های زبانی ایجاد می‌کنند که این عبارات به صورت اعداد فازی مثلثی به صورت $M=(l,m,u)$ محاسبه می‌شود. سپس برای هر یک از سطرها ماتریس زوجی، مقدار S_k ، که خود یک عدد مثلثی است، به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$S_k = \sum_{j=1}^n M_{kl} \times \left[\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n M_{ij} \right]^{-1} \quad (2)$$

K بیانگر شماره سطر است و i و j به ترتیب نشان‌دهنده گزینه‌ها و شاخص‌ها هستند. در

1. Thomas.Saaty

روش AHP پس از محاسبه S_k ها، بزرگی آنها نسبت به هم محاسبه می‌شود. به‌طور کلی اگر $M_1 = (l_1, m_1, u_1)$ و $M_2 = (l_2, m_2, u_2)$ دو عدد فازی مثلثی باشند، درجه بزرگی M_1 بر M_2 که با $V(M_1 \geq M_2)$ نشان داده می‌شود، به‌صورت زیر تعریف می‌شود:

$$\begin{aligned} V(M_1 \geq M_2) &= 1 && \text{if } : m_1 \geq m_2 \\ V(M_1 \geq M_2) &= \text{hgt}(M_1 \cap M_2) && \text{otherwise} \end{aligned} \quad (3)$$

همچنین داریم:

$$\text{Hgt}(M_1 | M_2) = u_1 - l_2 / (u_1 - l_2) + (m_2 - m_1) \quad (4)$$

میزان بزرگی یک عدد فازی مثلثی از K عدد فازی مثلثی دیگر نیز از رابطه زیر به‌دست می‌آید:

$$V(M_1 \geq M_2, \dots, M_k) = \text{Min}[V(M_1 \geq M_2), \dots, V(M_1 \geq M_k)] \quad (5)$$

در روش تحلیل توسعه‌ای برای محاسبه وزن شاخص‌ها در ماتریس مقایسه‌های زوجی به‌صورت زیر عمل می‌شود:

$$W'(x_i) = \text{Min}(V(S_i \geq S_k)), K = 1, \dots, n, k \neq i \quad (6)$$

بنابراین، بردار وزن شاخص‌ها به‌صورت زیر خواهد بود:

$$W' = [W'(c_1), W'(c_2), \dots, W'(c_n)]^T \quad (7)$$

که همان بردار ضرایب ناهنجار AHP فازی است [۵].

برای بررسی سازگاری دو ماتریس فازی (عدد میانی و حدود عدد فازی)، سازگاری هر ماتریس براساس روش ساعتی محاسبه می‌شود [۹].

گام ۶. روش ARAS فازی

روش AHP فازی قابلیت انتخاب گزینه‌ها را نیز داراست، اما به‌دلیل انجام مقایسه‌های زوجی متعدد، حجم داده‌های لازم و محاسبات افزایش چشمگیری می‌یابد. از این‌رو در سال‌های اخیر مدل‌های متعددی برای تلفیق این روش با دیگر روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره ارائه شده است تا هم از مزایای این روش در محاسبه وزن معیارها و هم از مزایای روش‌های دیگر برای انتخاب گزینه‌ها استفاده شود. روش ARAS بر این اساس بنا شده است که دنیای پیچیده را

می‌توان با استفاده از مقایسه‌های ساده درک کرد. این روش، شیوه‌ای قدرتمند در ارائه نرخ عملکرد و درجه مطلوبیت گزینه‌های مختلف نسبت به وضع بهینه بوده و از سهولت کاربرد نسبی برخوردار است. روش ARAS، ارزش تابع مطلوبیت، یک گزینه شدنی را براساس مقادیر نسبی ارزش‌ها و اوزان معیارهای اصلی در نظر گرفته شده در یک مسئله تعیین می‌کند [۲۵].

مرحله ۱. ایجاد ماتریس تصمیم‌گیری فازی: ماتریس \hat{X} طبق رابطه ۱۶ ایجاد می‌شود.

$$\hat{X} = \begin{bmatrix} \hat{x}_{01} & \cdots & \hat{x}_{0j} & \cdots & \hat{x}_{0n} \\ \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \hat{x}_{i1} & \cdots & \hat{x}_{ij} & \cdots & \hat{x}_{in} \\ \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \hat{x}_{m1} & \cdots & \hat{x}_{mj} & \cdots & \hat{x}_{mn} \end{bmatrix}; i = 0, \dots, m; j = 1, \dots, n \quad (16)$$

m تعداد گزینه‌ها، n تعداد معیارها، \hat{X} مقدار فازی نشان‌دهنده عملکرد گزینه i براساس معیار j و x_{0j} مقدار بهینه معیار j است که بسته به نوع مسئله به صورت \max و \min تعریف می‌شود. اگر مقدار بهینه معیار j نامشخص است، بنابراین:

$$\tilde{x}_{0j} = \max_i \tilde{x}_{ij}, \text{ if } \max_i \tilde{x}_{ij} \text{ is preferable} \quad (17)$$

$$\tilde{x}_{0j} = \min_i \tilde{x}_{ij}^*, \text{ if } \min_i \tilde{x}_{ij}^* \text{ is preferable}$$

مرحله ۲. نرمال‌سازی مقادیر اولیه ماتریس تصمیم \hat{x}_{ij}

معیارهای مثبت به ترتیب زیر نرمال‌سازی می‌شوند:

$$\tilde{x}_{ij} = \frac{\tilde{x}_{ij}}{\sum_{i=0}^m \tilde{x}_{ij}} \quad (18)$$

معیارهای منفی طی دو رابطه ذیل نرمال‌سازی می‌شوند:

$$\tilde{x}_{ij} = \frac{1}{\tilde{x}_{ij}^*}; \tilde{x}_{ij} = \frac{\tilde{x}_{ij}}{\sum_{i=0}^m \tilde{x}_{ij}} \quad (19)$$

مرحله ۳. محاسبه ماتریس نرمال موزون \tilde{x}

$$\tilde{x}_{ij} = \tilde{x}_{ij} w_j; i = 0, \dots, m \quad (20)$$

$$\sum_{j=1}^n w_j = 1 \quad (21)$$

مرحله ۴. تعیین مقدار تابع بهینگی و درجه مطلوبیت هر گزینه: مقدار تابع بهینگی i امین گزینه از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$\tilde{S}_i = \sum_{j=1}^m \tilde{x}_{ij}; i = 0, \dots, m \quad (22)$$

گزینه S_1 بزرگ‌تر ارجح است. برای دیفازی کردن از رابطه زیر استفاده می‌شود:

$$s_i = \frac{1}{3}(s_{i\alpha} + s_{i\beta} + s_{i\gamma}) \quad (23)$$

درجه مطلوبیت هر گزینه به ترتیب زیر محاسبه می‌شود [۲۵]:

$$K_i = \frac{S_i}{S_0}; i = 0, \dots, m \quad (24)$$

گزینه دارای بیشترین بهینگی بهترین گزینه و گزینه دارای کمترین بهینگی، بدترین گزینه محسوب می‌شود. حال با استفاده از مفاهیم ARAS فازی در این مرحله مجدداً از طریق توزیع پرسشنامه، ۱۰ ریسک دارای اولویت بیشتر در اختیار خبرگان قرار می‌گیرد و ارزش هر یک از ریسک‌ها در چهار معیار زمان، هزینه، کیفیت و ایمنی با استفاده از متغیرهای زبانی تعیین می‌شود. در نهایت با استفاده از روش محاسبات ARAS فازی ریسک‌ها براساس تأثیری که در مدت زمان، میزان هزینه، کیفیت و ایمنی پروژه می‌گذارند رتبه‌بندی می‌شوند. برای تلفیق نظر خبرگان در این مرحله، از میانگین هندسی پرسشنامه‌ها به منظور تشکیل ماتریس تصمیم نهایی و برای تحلیل پایایی پرسشنامه‌ها از نرم‌افزار SPSS استفاده شده است. پایایی پرسشنامه‌ها به کمک آلفای کرونباخ محاسبه شد. برای این پرسشنامه مقدار ضریب آلفای کرونباخ برای معیار زمان ۰/۸۷، برای معیار هزینه ۰/۹۲، برای معیار کیفیت ۰/۸۳ و برای معیار ایمنی ۰/۷۹ به دست آمد که این مقادیر بیش از ۰/۷ است و نشان می‌دهد که پرسشنامه از قابلیت اعتماد و پایایی برخوردار است.

گام ۷. جمع‌بندی و رتبه‌بندی نهایی ریسک‌ها

در نهایت ریسک‌ها طبق روش‌های به کار برده شده در این پژوهش رتبه‌بندی می‌شوند.

۴. یافته‌های پژوهش

ریسک‌های شناسایی شده در این پروژه بالغ بر ۵۰ مورد بودند که در چهار گروه ریسک‌های بیرونی؛ ریسک‌های درونی؛ ریسک‌های فنی، کیفی، عملکردی؛ و ریسک‌های مدیریت پروژه طبقه‌بندی شدند (جدول ۱).

جدول ۱. ساختار شکست ریسک‌های شناسایی شده در پروژه‌های سدسازی

ردیف	نوع ریسک	شرح ریسک
۱	ریسک‌های عملیاتی	خرابی و بازدهی کم ماشین آلات موجود پیمانکار
۲		ریزش زمین در حین حفاری
۳		حوادث برای نیروی انسانی و تجهیزات در حین اجرا
۴		تغییر مداوم کیفیت مصالح در حین عملیات و ناتوانی در تهیه بتن با مشخصات لازم
۵		عدم دقت در هنگام عملیات قالب بندی و احتمال انحراف قالب از موقعیت تعیین شده
۶		نامناسب بودن تکنولوژی ساخت
*۷	ریسک‌های بازرسی	تخصیص نامناسب و نابهنگام منابع مالی توسط تأمین‌کننده مالی پروژه
۸		اختلال در تهیه مصالح موردنیاز نظیر سیمان، میلگرد، مصالح سنگدانه‌ای و ...
*۹		تأمین نشدن یا تأخیر در تهیه تجهیزات خارجی تنها به دلیل تحریم‌های بین‌المللی
۱۰		احتمال برخورد محل پروژه با تأسیسات زیربنایی نظیر آب، برق و ... و مشکلات مختلف در رفع این معارضات
۱۱		تغییر در قوانین مستقیم و غیر مستقیم داخلی و بین‌المللی و بروز مشکلات پیش‌بینی نشده
*۱۲		توقف کار به دلیل پیش‌بینی بروز مشکلات توسط سازمان محیط زیست و سایر نهادهای مربوط و لغو مجوزها
۱۳		تغییر نرخ بهره
*۱۴		تغییر نرخ ارز
۱۵		تحولات سیاسی مانند انقلاب، کودتای نظامی یا جنگ داخلی
*۱۶		عدم گشایش یا تأخیر در گشایش LC به دلیل تحریم‌های بین‌المللی
۱۷		وضع قوانین جدید، سختگیرانه دولت در ترخیص کالا از گمرک نسبت به زمان عقد قرارداد
۱۸		خسارت دیدن ماشین‌آلات و تجهیز کار و اموال پیمانکار در اثر وقوع حوادث قهریه
۱۹		بروز خسارت به کارهای موضوع پیمان در اثر وقوع حوادث قهریه مانند سیل، زلزله و ...
۲۰		توقف کار به دلیل بروز حوادث قهریه مانند جنگ، اعتصابات، زلزله
۲۱		بروز شرایط جوی استثنایی مانع انجام کار
*۲۲		تعیین تاریخ انقضای LC پروژه از سوی تأمین‌کننده مالی
*۲۳		تورم و افزایش قیمت‌ها
*۲۴		بی‌ثباتی سیاست‌های دولت
۲۵	ریسک‌های درونی	ناتوانی فنی نیروهای پیمانکار در ترخیص کالا و تجهیزات از گمرک
۲۶		پیروی نکردن نیروهای کارگاهی از برنامه زمان‌بندی و فعالیت در جبهه‌های کاری خارج از برنامه
*۲۷		برنامه‌ریزی غیرفنی بدون توجه به موقعیت مکانی پروژه
۲۸		ضعف مالی پیمانکار در ابتدای پروژه (برای راه‌اندازی اولیه)
۲۹		استفاده نکردن از نیروی متخصص و با تجربه کاری توسط پیمانکار
۳۰		اولویت‌بندی نادرست در تخصیص منابع مالی
*۳۱		کمبود در تأمین نیروی انسانی، مصالح و تجهیزات
۳۲		مدیریت ضعیف سرپرست کارگاه پیمانکار
۳۳		بی‌کفایتی و ناکارایی پیمانکاران جزء
۳۴		اشتباه در برنامه‌ریزی و کنترل پروژه
۳۵		کیفیت ضعیف کار انجام‌گرفته توسط پیمانکار
۳۶		تأخیر در پرداخت صورت وضعیت‌های پیمانکار جزء توسط پیمانکار اصلی
۳۷		تجهیز نکردن به‌موقع کارگاه توسط پیمانکار
۳۸		درک نکردن اهمیت برنامه‌ریزی مدیریت ریسک در پیکره پیمانکار
۳۹	اعتصابات کارگاهی	

ادامهٔ جدول ۱. ساختار شکست ریسک‌های شناسایی‌شده در پروژه‌های سدسازی

ردیف	نوع ریسک	شرح ریسک
*۴۰		تصویب نشدن به‌موقع طرح‌ها و اصلاحات پیشنهادی در زمان اجرای پروژه توسط مشاور و کارفرما
۴۱		تغییر مدیران و مسئولان مرتبط با پروژه
*۴۲		استفاده از مهندسان ناظر کم‌تجربه در کار نظارت و کنترل پروژه
۴۳		کمبود نیروی متخصص و آشنا با فناوری‌های جدید در پیکرهٔ نیروی کارفرما
*۴۴		تغییرات اساسی در نقشه‌های اجرایی با مشخصات فنی قرارداد
۴۵		اشراف نداشتن مهندسان مشاور بر شرایط و مقررات پیمان و مسائل فنی
۴۶		ناهماهنگی بین ناظر و کارفرما در اجرای جزئیات موارد پیمان طبق نقشه و مشخصات ارائه‌شده
*۴۷		تأخیر در ابلاغ نقشه‌ها
۴۸		انجام ندادن به‌موقع آزمایش‌ها و اعلام نتایج آن توسط مشاور
۴۹		تحویل نگرفتن به‌موقع جبهه‌های کاری از سوی مشاور و کارفرما
*۵۰		تأخیر در پرداخت صورت وضعیت‌های پیمانکار اصلی توسط کارفرما

*ریسک‌های مورد تأیید (غریبالگری‌شده) برای استفاده در این پژوهش توسط خبرگان.

در ادامه، ریسک‌های غریبالگری‌شده برای تعیین RPN، با استفاده از توزیع پرسشنامه و جدول متغیرهای زبانی در اختیار خبرگان قرار داده شده است. برای تلفیق نظر ۳۰ خبره از روش میانگین حسابی استفاده شده است.

جدول ۲. میانگین کلیه پرسشنامه‌ها برای تعیین نمرهٔ اولویت ریسک‌ها (RPN)

ردیف	شرح ریسک	S	O	D	RPN
۱	تخصیص نامناسب و نابهنگام منابع مالی توسط تأمین‌کنندهٔ مالی پروژه	۶/۲۷	۶/۶۰	۵/۴۰	۲۲۲/۳
۲	تأمین نشدن یا تأخیر در تهیهٔ تجهیزات خارجی تنها به‌دلیل تحریم‌های بین‌المللی	۷/۹۰	۹/۶۷	۱/۸۷	۱۴۲/۶
۳	توقف کار به‌دلیل پیش‌بینی بروز مشکلات توسط سازمان محیط زیست و دیگر نهادهای مربوط و لغو مجوزهای صادرشده	۶/۰۰	۵/۴۳	۷/۰۳	۲۲۹/۳
۴	تغییر نرخ ارز	۵/۲۰	۷/۹۰	۴/۵۷	۱۸۷/۶
۵	عدم گشایش یا تأخیر در گشایش LC به‌دلیل تحریم‌های بین‌المللی	۶/۸۰	۹/۷۳	۲/۳۷	۱۵۶/۱
۶	تعیین تاریخ انقضاء LC پروژه توسط تأمین‌کنندهٔ مالی	۵/۷۷	۹/۶۳	۲/۱۷	۱۲۰/۴
۷	تورم و افزایش قیمت‌ها	۷/۸۰	۷/۴۳	۴/۳۳	۲۵۱/۲
۸	بی‌ثباتی سیاست‌های دولت	۶/۸۳	۷/۰۰	۴/۱۳	۱۹۷/۷
۹	برنامه‌ریزی غیرفنی بدون توجه به موقعیت مکانی پروژه	۴/۴۰	۴/۲۰	۴/۹۰	۹۰/۶
۱۰	کمبود در تأمین نیروی انسانی، مصالح و تجهیزات	۴/۷۷	۴/۱۳	۴/۳۷	۸۶/۰
۱۱	عدم تصویب به‌موقع طرح‌ها و اصلاحات پیشنهادی در زمان اجرای پروژه توسط مشاور و کارفرما	۶/۷۳	۶/۷۳	۵/۱۷	۲/۲۳۴
۱۲	استفاده از مهندسان ناظر با تجربهٔ ناکافی برای نظارت و کنترل پروژه	۳/۹۰	۴/۴۳	۴/۶۷	۸۰/۷
۱۳	تغییرات اساسی در نقشه‌های اجرایی با مشخصات فنی قرارداد	۶/۶۰	۶/۳۰	۶/۰۳	۲۵۰/۹
۱۴	تأخیر در ابلاغ نقشه‌ها	۶/۸۰	۶/۶۰	۵/۹۳	۲۶۶/۳
۱۵	تأخیر در پرداخت صورت وضعیت‌های پیمانکار اصلی توسط کارفرما	۶/۴۳	۶/۴۰	۶/۶۷	۲۷۴/۵

پس از تکمیل پرسشنامه‌های مربوط به مقایسه زوجی معیارها توسط خبرگان ماتریس مقایسه‌ها با بهره‌گیری از اعداد فازی مثلثی $\tilde{t}_{ij} = (a_{ij}, b_{ij}, c_{ij})$ برای هر پرسشنامه تشکیل می‌شود. طیف مورد استفاده در این پرسشنامه مطابق جدول ۳ طیف نه‌تایی سوکلی است [۲۵].

جدول ۳. طیف پرسشنامه AHP فازی

ارزش	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹
اولویت	ترجیح برابر	ترجیح کم تا متوسط	ترجیح متوسط	ترجیح متوسط تا زیاد	ترجیح زیاد	ترجیح زیاد تا خیلی زیاد	ترجیح خیلی زیاد	ترجیح زیاد تا کاملاً زیاد	ترجیح کاملاً زیاد
طیف	(۱،۱،۱)	(۱،۱،۱،۱،۱،۱)	(۱،۲،۲)	(۳،۳،۵،۴)	(۳،۴،۴،۵)	(۳،۴،۵،۵)	(۵،۵،۵،۶)	(۵،۶،۷)	(۵،۷،۹)

در مرحله بعد تلفیق نظر خبرگان با استفاده از میانگین هندسی برای محاسبات روش AHP فازی و مقایسه‌های زوجی انجام پذیرفت.

جدول ۴. مقایسه زوجی محاسبه شده

$$\begin{bmatrix} (1,00, 1,00, 1,00) & (1,00, 1,30, 1,54) & (1,28, 1,73, 1,98) & (1,28, 1,69, 1,91) \\ (0,65, 0,77, 1,00) & (1,00, 1,00, 1,00) & (1,21, 1,59, 1,89) & (1,16, 1,58, 1,81) \\ (0,51, 0,58, 0,78) & (0,53, 0,63, 0,82) & (1,00, 1,00, 1,00) & (0,96, 1,07, 1,17) \\ (0,52, 0,59, 0,78) & (0,53, 0,61, 0,80) & (0,86, 0,93, 1,05) & (1,00, 1,00, 1,00) \end{bmatrix}$$

محاسبه S_i برای هر یک از سطرهای ماتریس مقایسه زوجی محاسبه شده و در جدول ۴ آورده شده است.

جدول ۴. محاسبه S_i

	L	M	U
Si1	۰/۲۳۴	۰/۳۳۵	۰/۴۴۴
Si2	۰/۲۰۶	۰/۲۸۹	۰/۳۹۴
Si3	۰/۱۵۳	۰/۱۹۲	۰/۲۶۱
Si4	۰/۱۴۹	۰/۱۸۴	۰/۲۵۱

میزان بزرگی یک عدد فازی مثلثی از K عدد فازی مثلثی دیگر طبق جدول ۵ به دست آمد:

جدول ۵. محاسبه بزرگی آنها

مجموع	کمترین مقدار هر سطر		
	$V(S1 > S2)$	$V(S1 > S3)$	$V(S1 > S4)$
S1	۱/۰۰۰	۱/۰۰۰	۱/۰۰۰
S2	۰/۷۷۸	۱/۰۰۰	۱/۰۰۰
S3	۰/۱۶۰	۰/۲۶۱	۱/۰۰۰
S4	۰/۱۰۲	۰/۲۹۹	۰/۹۱۹

در مرحله بعد وزن نرمال شده و نرمال نشده هر یک از معیارها در جدول ۶ نشان داده شده است:

جدول ۶. محاسبه وزن نرمال نشده و نرمال شده هر معیار

ایمنی	کیفیت	هزینه	زمان	معیارها
۰/۱۰۲	۰/۱۶۰	۰/۷۷۸	۱/۰۰۰	وزن نرمال نشده
۰/۰۵	۰/۰۸	۰/۳۸	۰/۴۹	وزن نرمال شده

در مرحله بعد نتایج محاسبات نرخ ناسازگاری در جدول ۷ آورده شده است. با توجه به اینکه همه مقادیر کوچک‌تر از ۰/۱ هستند، نتیجه می‌گیریم که پرسشنامه‌های مذکور سازگارند. نتایج ماتریس نرمال موزون در جدول ۸ نشان داده شده است.

جدول ۷. محاسبه نرخ ناسازگاری AHP فازی

شاخص‌های تصادفی	اندازه ماتریس		بزرگترین مقدار ویژه برای هر ماتریس		شماره پرسشنامه
	RI ^g	RI ^m	λ_{max}^g	λ_{max}^m	
نرخ ناسازگاری	۰/۲۶۲۷	۰/۷۹۳۷			
CR ^g	CR ^m	CI ^g	CI ^m		
۰/۰۰۶۵۲	۰/۰۱۷۳۸	۰/۰۰۱۷۱	۰/۰۰۶۸۷	۴/۰۰۵۱۴	۴/۰۲۰۶۰
۰/۰۱۳۰۵	۰/۰۱۷۳۳	۰/۰۰۳۴۳	۰/۰۳۷۵۰	۴/۰۱۰۲۸	۴/۰۴۱۲۶
۰/۰۱۹۶۸	۰/۲۵۲۸۰	۰/۰۰۵۱۷	۰/۰۲۰۰۶	۴/۰۱۵۵۱	۴/۰۶۰۱۹
۰/۰۰۱۴۹	۰/۰۱۱۸۳	۰/۰۰۰۳۹	۰/۰۰۹۳۹	۴/۰۰۱۱۷	۴/۰۲۸۱۶
۰/۰۱۴۴۶	۰/۰۱۴۴۶	۰/۰۰۳۸۰	۰/۰۱۵۳۱	۴/۰۱۱۳۹	۴/۰۴۵۹۲
۰/۰۱۳۵۶	۰/۰۱۳۰۲	۰/۰۰۲۵۸	۰/۰۱۰۳۳	۴/۰۰۷۷۳	۴/۰۳۱۰۰
۰/۰۰۳۲۸	۰/۰۰۳۸۹	۰/۰۰۰۸۶	۰/۰۰۳۰۹	۴/۰۰۲۵۹	۴/۰۰۹۲۶

ادامه جدول ۷. محاسبه نرخ ناسازگاری AHP فازی

شاخص‌های تصادفی		RI ^g	RI ^m	اندازه ماتریس		شماره پرسشنامه
نرخ ناسازگاری		۰/۲۶۲۷	۰/۷۹۳۷	۴		
نرخ ناسازگاری		شاخص سازگاری		بزرگترین مقدار ویژه برای هر ماتریس		شماره پرسشنامه
CR ^g	CR ^m	CI ^g	CI ^m	λ_{max}^g	λ_{max}^m	
۰/۰۱۹۶۶	۰/۰۲۶۳۲	۰/۰۰۵۱۶	۰/۰۲۰۸۹	۴/۰۱۵۴۹	۴/۰۶۲۶۷	۸
۰/۰۳۷۴۶	۰/۰۱۷۳۲	۰/۰۰۳۴۳	۰/۰۱۳۷۵	۴/۰۱۰۲۸	۴/۰۴۱۲۴	۹
۰/۰۵۸۱۵	۰/۰۲۸۰۰	۰/۰۱۵۲۸	۰/۰۲۲۲۳	۴/۰۴۵۸۳	۴/۰۶۶۶۸	۱۰
۰/۰۲۵۳۸	۰/۰۳۵۱۱	۰/۰۰۶۶۷	۰/۰۲۷۸۷	۴/۰۲۰۰۰	۴/۰۸۳۶۱	۱۱
۰/۰۱۴۴۵	۰/۰۱۹۲۴	۰/۰۰۳۸۰	۰/۰۱۵۲۷	۴/۰۱۱۳۹	۴/۰۴۵۸۱	۱۲
۰/۰۹۰۵۹	۰/۰۰۹۳۸	۰/۰۲۳۸۰	۰/۰۰۹۳۸	۴/۰۷۱۳۹	۴/۰۲۲۳۵	۱۳
۰/۰۴۸۵۹	۰/۰۳۴۲۳	۰/۰۱۲۷۶	۰/۰۲۷۱۷	۴/۰۳۸۲۹	۴/۰۸۱۵۰	۱۴
۰/۰۱۹۰۸	۰/۰۲۵۴۱	۰/۰۰۵۰۱	۰/۰۲۰۱۷	۴/۰۱۵۰۴	۴/۰۶۰۵۰	۱۵
۰/۰۰۶۵۲	۰/۰۰۸۶۵	۰/۰۰۱۷۱	۰/۰۰۶۸۷	۴/۰۰۵۱۴	۴/۰۲۰۶۰	۱۶
۰/۰۱۳۰۶	۰/۰۱۷۳۸	۰/۰۰۳۴۳	۰/۰۱۳۷۹	۴/۰۱۰۲۹	۴/۰۴۱۳۷	۱۷
۰/۰۹۰۵۸	۰/۰۰۹۳۷	۰/۰۲۳۸۰	۰/۰۰۷۴۵	۴/۰۷۱۳۹	۴/۰۲۲۳۵	۱۸
۰/۰۲۵۳۸	۰/۰۳۵۱۱	۰/۰۰۶۶۷	۰/۰۲۷۸۷	۴/۰۲۰۰۰	۴/۰۸۳۶۱	۱۹
۰/۰۹۶۰۳	۰/۰۲۶۹۵	۰/۰۲۵۲۳	۰/۰۲۱۳۹	۴/۰۷۵۶۸	۴/۰۶۴۱۶	۲۰
۰/۰۵۲۱۶	۰/۰۳۵۱۱	۰/۰۱۳۷۰	۰/۰۵۸۰۱	۴/۰۴۱۱۱	۴/۰۱۷۴۰۴	۲۱
۰/۰۰۰۵۵	۰/۰۰۰۷۳	۰/۰۰۰۱۴	۰/۰۰۰۵۸	۴/۰۰۰۴۳	۴/۰۰۱۷۳	۲۲
۰/۰۱۲۹۴	۰/۰۱۰۲۶	۰/۰۰۳۴۰	۰/۰۰۸۱۵	۴/۰۱۰۲۰	۴/۰۲۴۴۴	۲۳
۰/۰۲۲۳۹	۰/۰۲۹۹۶	۰/۰۰۵۸۸	۰/۰۲۳۷۸	۴/۰۱۷۶۵	۴/۰۷۱۳۳	۲۴
۰/۰	۰/۰	۰/۰	۰/۰	۴/۰۰۰۰۰	۴/۰۰۰۰۰	۲۵
۰/۰۱۳۰۵	۰/۰۱۷۳۳	۰/۰۰۳۴۳	۰/۰۱۳۷۵	۴/۰۱۰۲۸	۴/۰۴۱۲۶	۲۶
۰/۰۴۴۸۳	۰/۰۵۹۹۷	۰/۰۱۱۷۸	۰/۰۴۷۶۰	۴/۰۳۵۳۳	۴/۰۱۴۲۷۹	۲۷
۰/۰۰۰۹۴	۰/۰۰۸۷۱	۰/۰۰۰۲۵	۰/۰۰۶۹۱	۰/۰۰۰۷۴	۴/۰۲۰۷۴	۲۸
۰/۰۴۵۹۱	۰/۰۶۱۸۹	۰/۰۱۲۰۶	۰/۰۴۹۱۲	۴/۰۳۶۱۸	۴/۱۴۷۳۶	۲۹
۰/۰۵۸۱۶	۰/۰۲۸۰۱	۰/۰۱۵۲۸	۰/۰۲۲۲۳	۴/۰۴۵۸۳	۴/۰۶۶۶۸	۳۰

جدول ۸. ماتریس نرمال موزون شده

ایمنی			کیفیت			هزینه			زمان		
0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.04	0.04	0.04	0.07	0.06	0.06
0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.04	0.04	0.04	0.06	0.06	0.05
0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01	0.03	0.04	0.03	0.06	0.06	0.06
0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01	0.06	0.05	0.05	0.03	0.04	0.04
0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01	0.06	0.05	0.05	0.03	0.04	0.04
0.01	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03
0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01	0.03	0.03	0.03	0.05	0.05	0.05
0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.03	0.04	0.04	0.04
0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01	0.03	0.03	0.04	0.07	0.06	0.06
0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.04	0.04	0.04	0.05	0.05	0.05

پس از به‌دست آوردن ماتریس نرمال موزون‌شده، مقدار تابع بهینگی گزینه‌ها محاسبه شد. نتایج رتبه‌بندی ریسک‌ها در جدول ۹ نشان داده شده است.

جدول ۹. تابع بهینگی ریسک‌ها

شرح ریسک	مقدار بهینگی (Si)
تأمین نشدن یا تأخیر در تهیه تجهیزات خارجی تنها به‌دلیل تحریم‌های بین‌المللی	۰/۱۱۸
تخصیص نیافتن منابع مالی یا تخصیص نابهنگام توسط تأمین‌کننده مالی پروژه	۰/۱۱۶
تأخیر در ابلاغ نقشه‌ها	۰/۱۰
تأخیر در پرداخت صورت وضعیت‌های پیمانکار اصلی توسط کارفرما	۰/۱۰۷
توقف کار به‌دلیل پیش‌بینی بروز مشکلات توسط سازمان محیط زیست و دیگر نهادهای مربوط و لغو مجوزهای صادرشده	۰/۱۰۶
تغییر نرخ ارز	۰/۱۰۳
تورم و افزایش قیمت‌ها	۰/۱۰۲
تصویب نشدن به‌موقع طرح‌ها و اصلاحات پیشنهادی در زمان اجرای پروژه توسط مشاور و کارفرما	۰/۰۹۴
تغییرات اساسی در نقشه‌های اجرایی با مشخصات فنی قرارداد	۰/۰۷۵
بی‌ثباتی سیاست‌های دولت	۰/۰۷۲

در مرحله نهایی ریسک‌ها طبق روش‌های به‌کار برده‌شده در این پژوهش رتبه‌بندی شده و درجه مطلوبیت ریسک به شرح جدول ۱۰ مشخص می‌شود.

جدول ۱۰. رتبه‌بندی ریسک‌ها

ردیف	ریسک‌ها	درجه مطلوبیت
۱	تأمین نشدن یا تأخیر در تهیه تجهیزات به دلایل مختلف	۱/۰۰۰
۲	تخصیص نیافتن منابع مالی یا تخصیص نابهنگام توسط تأمین‌کننده مالی پروژه	۰/۹۸۰
۳	تأخیر در ابلاغ نقشه‌ها	۰/۹۰۹
۴	تأخیر در پرداخت صورت وضعیت پیمانکار اصلی توسط کارفرما	۰/۹۰۲
۵	توقف کار به‌دلیل پیش‌بینی بروز مشکلات توسط سازمان محیط زیست و دیگر نهادهای مربوط و لغو مجوزها	۰/۸۸۷
۶	تغییر نرخ ارز	۰/۸۶۷
۷	تورم و افزایش قیمت‌ها	۰/۸۶۱
۸	تصویب نشدن به‌موقع طرح‌ها و اصلاحات پیشنهادی در زمان اجرای پروژه توسط مشاور و کارفرما	۰/۷۹۳
۹	تغییرات اساسی در نقشه‌های اجرایی با مشخصات فنی قرارداد	۰/۶۳۳
۱۰	بی‌ثباتی سیاست‌های دولت	۰/۶۰۷

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

در این پژوهش پس از شناسایی ریسک‌ها براساس استاندارد PMBOK و غربالگری ریسک‌ها توسط خبرگان، با استفاده از شاخص‌های شدت اثر ریسک، احتمال وقوع ریسک و قابلیت تشخیص قبل از وقوع ریسک، که از شاخص‌های روش FMEA است، نمره اولویت ریسک‌ها به دست آمد. استفاده از روش FMEA به دلیل وجود شاخص احتمال وقوع قبل از تشخیص از مزیت‌های این تحقیق است، زیرا سبب می‌شود ریسک‌ها از منظر این شاخص نیز ارزیابی شوند. در ادامه به رتبه‌بندی ریسک‌های با اولویت بیشتر براساس تأثیرگذاری بر اهداف مورد نظر پروژه پرداخته شد. اهداف پروژه در این پژوهش زمان، هزینه، کیفیت و ایمنی بودند که به‌عنوان معیارهای رتبه‌بندی ریسک‌ها مطرح شدند. وزن معیارها با استفاده از روش AHP فازی محاسبه شد. در ادامه ریسک‌ها با استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره رتبه‌بندی شدند. در این پژوهش روش استفاده شده برای رتبه‌بندی ریسک‌ها، ARAS فازی بود که روشی قدرتمند در ارائه نرخ عملکرد و درجه مطلوبیت گزینه‌های مختلف بوده و از سهولت کاربرد نسبی برخوردار است. نتایج این تحقیق نشان داد که مهم‌ترین ریسک‌های پروژه عبارت‌اند از:

۱. تأمین نشدن یا تأخیر در تهیه تجهیزات خارجی تنها به دلیل تحریم‌های بین‌المللی؛
۲. تخصیص نیافتن منابع مالی یا تخصیص نابهنگام توسط تأمین‌کننده مالی پروژه؛
۳. تأخیر در ابلاغ نقشه‌ها؛
۴. تأخیر در پرداخت صورت وضعیت‌های پیمانکار اصلی توسط کارفرما؛
۵. توقف کار به دلیل پیش‌بینی بروز مشکلات توسط سازمان محیط زیست و دیگر نهادهای مربوط و لغو مجوزهای صادرشده.

در این پژوهش، همه مراحل اولویت‌بندی و رتبه‌بندی ریسک‌ها براساس روش طراحی‌شده در قالب پروژه موردی اجرا شد. با توجه به تنوع فعالیت‌های انجام‌گرفته در پروژه‌های سدسازی که خود شامل چند نوع پروژه عمرانی است، روش انجام‌گرفته را می‌توان به‌صورت مدلی فراگیر در بین پروژه‌های ساخت، با تغییر در ساختار شکست آن به کار گرفت. از روش تجزیه و تحلیل ریسک صورت‌گرفته در این پژوهش برای دیگر پروژه‌های عمرانی نیز می‌توان استفاده کرد. جزئیات مدل پاسخگویی به ریسک‌ها خارج از محدوده این تحقیق است و از بیان آنها چشم‌پوشی شد. پیشنهاد می‌شود که در ادامه مراحل مدیریت ریسک، پس از گردآوری و اولویت‌بندی ریسک‌ها، پاسخ‌ها و راه حل‌های مناسب شناسایی و در قالب مدل مناسب ارزیابی و انتخاب شوند. برای رفع مشکلات و موانع کاربرد مدیریت ریسک در پروژه‌های عمرانی کشور راهکارهای زیر توصیه می‌شود:

۱. شناسایی ریسک‌های پروژه در طی چرخه عمر پروژه: ریسک‌های مالی، ریسک‌های محیط زیست، ریسک‌های نیروی انسانی و ...؛
۲. تلفیق مدیریت ریسک پروژه با راهبردهای تأمین مالی پروژه و انتخاب بهترین روش، با توجه به اینکه یکی از عوامل ریسک‌زا در طراحی و اجرای پروژه‌های عمرانی تزریق به‌موقع و بجای منابع مالی بر پروژه است. به نظر می‌رسد که با تلفیق مدیریت ریسک پروژه طبق متدولوژی PMBOK و انواع راهبرد تأمین مالی و انتخاب روش مناسب از مهم‌ترین علل ریسکی پروژه‌های عمرانی کاهش خواهد یافت.
۳. تهیه و تنظیم قراردادهای تأمین خارجی به‌نحوی که با در نظر گرفتن مدلی با چند تأمین کننده بتوان ریسک ناشی از دیرکردهای احتمالی را کاهش داد [۴، ۳]. به این منظور شناسایی و انتخاب شرکای تجاری دارای قابلیت اطمینان زیاد از اولویت بیشتری برخوردار خواهد بود و در مرتبه‌های بعدی شرکای تجاری دارای سوابق کمتر قابل اعتماد انتخاب خواهند شد. استفاده از مدلی که با توجه به قابلیت اطمینان شریک تجاری تخصیص سفارش را انجام دهد، نه تنها کاهش ریسک‌های پروژه از جمله پروژه‌های عمرانی را در پی خواهد داشت، بلکه در بلندمدت مزایایی همچون وجود بانک اطلاعاتی قوی برای استفاده‌های وسیع‌تر در پروژه‌های کلان را به همراه خواهد داشت. در این خصوص بحث تحریم‌های بین‌المللی در پروژه‌ها از تأثیر زیادی برخوردار است که این موضوع در انتخاب و اولویت‌بندی تأمین‌کنندگان وزن زیادی خواهد داشت.
۴. استفاده از روش‌های مدیریت مالی پروژه کارا و به‌روز و ارزیابی عملکرد مالی پروژه در مقاطع کوتاه‌مدت، میان‌مدت و بلندمدت برای اصلاح راهبردهای مالی جاری در پروژه یا جایگزینی و تعریف راهبردهای جدید تأثیر بسزایی در کاهش اثر دیرکرد تأمین مالی پروژه خواهد داشت. به این منظور پیشنهاد می‌شود که مدیران مالی پروژه، با توجه به ذات تأمین مالی با تأخیر پروژه‌های عمرانی، سناریوهای تأخیر متفاوتی را برای پروژه تعریف کنند تا به هنگام مواجهه با انواع کمبود مالی احتمالی، تا حد امکان کمترین آسیب به روند پیشرفت و تکمیل پروژه وارد شود. همچنین در خصوص مرادفات مالی پروژه با پیمانکار اصلی، بیان این نکته ضروری است که پیمانکاران دست دوم بهتر است با توجه به سوابق پیمانکار دست اول، ریسک‌های احتمالی در پرداخت صورت وضعیت‌ها را لحاظ کنند تا همواره بتوانند با انعطاف با پروژه برخورد کنند و به‌طور صریح پرداخت نشدن یا تأخیر در پرداخت صورت وضعیت سبب توقف حتی یک روزه پروژه نشود. این نگرش بهتر است از سوی هر پیمانکار در قبال پیمانکار دست بالای خود رعایت شود، حتی پیمانکار دست اول در قبال کارفرمای اصلی.

منابع

- [1].Antonio, G.; & Froeseb, T. (2012). The Application of Project Management Standards and Success Factors to the Development of a Project Management Assessment Tool. (26th IPMA World Congress, Crete, Greece).
- [2].Bassiony, M.S.; El-Karim, M.; El Nawawy, O.; & Abdel-Alim, M.A. (2019). Identification and assessment of risk factors affecting construction projects. HBRC Journal, 13(2), 202-216. doi:<https://doi.org/10.1016/j.hbrcj.2015.05.001>.
- [3].Beheshtinia, M.A.; & Moghimi, M. (2010). Analyzing the Impact of Multi-site Manufacturing on Increasing the Organization Capabilities in Reducing Hazards and Vulnerability of Supply Chain. Environmental Hazards Management, 2(2), pp: 141-156.
- [4].Beheshtinia, M. A.; & Moghimi, M. (2017). Injured transportation quality enhancement during natural disaster from the various geographical zones. Human Geography Research Quarterly, 49(3), pp: 539-551.
- [5].Chang, D.Y. (1992). Extent Analysis and Synthetic Decision, Optimization Techniques and Applications. World Scientific, Singapore.
- [6].Dziadosz, A.; Rejment, M. (2016). Risk Analysis in Construction Project - Chosen Methods. Procedia Engineering, 122, pp: 258-265. doi:<https://doi.org/10.1016/j.proeng.2015.10.034>.
- [7].Ebrahimnejad, S.; Mousavi, S. M.; & Seyrafiapour, H. (2010). Risk identification and assessment for build–operate–transfer projects: A fuzzy multi attribute decision making model. Expert Systems with Applications, 37(1), 575-586. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.eswa.2009.05.037>.
- [8].EcemYildiz, A.; Dikmen, I.; & Birgonul, M.T. (2014). Using Expert Opinion for Risk Assessment: A Case Study of a Construction Project Utilizing a Risk Mapping Tool. Procedia - Social and Behavioral Sciences, 119, 519-528. doi:<https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2014.03.058>.
- [9].Gogus, O.; & Boucher, T. O. (1998). Strong transitivity, rationality and weak monotonicity in fuzzy pairwise comparisons. Fuzzy Sets and Systems, 94(1), 133-144. doi:[http://dx.doi.org/10.1016/S0165-0114\(96\)00184-4](http://dx.doi.org/10.1016/S0165-0114(96)00184-4).
- [10]. Khatibi, S.A.M.; Moghimi, M.; & Abdolshah, M. (2018). Scheduling production and transportation in multi-site supply chain simultaneously regarding to exclusive suppliers. Journal of Industrial and Systems Engineering, 11(4), pp: 170-189.
- [11]. Klein, J. H.; & Cork, R. B. (1998). An approach to technical risk assessment1. International Journal of Project Management, 16(6), pp: 345-351. doi:[http://dx.doi.org/10.1016/S0263-7863\(98\)00006-4](http://dx.doi.org/10.1016/S0263-7863(98)00006-4).
- [12]. Lyons, T.; & Skitmore, M. (2004). Project risk management in the Queensland engineering construction industry: a survey. International Journal of Project Management, 22(1), 51-61. doi:[http://dx.doi.org/10.1016/S0263-7863\(03\)00005-X](http://dx.doi.org/10.1016/S0263-7863(03)00005-X).
- [13]. McDermott, R.; Mikulak, R.; & Beauregard, M. (1996). The Basics of FMEA. Quality Resources: Productivity Press, New York, New York, USA.

- [14]. McDermott, R.; Mikulak, R. J.; & Beauregard, M. (2009). *The basics of FMEA* (2 ed.): CRC Press.
- [15]. Moghimi, E. (2013). Why hazards science? *Environmental Hazards Management*, 1(1), pp: 1-3. doi:<https://dx.doi.org/10.22059/jhsci.2014.52605>.
- [16]. Moghimi, M.; Khatibi, S.A.M.; & Abdolshah, M. (2016). Implementation of Total Quality Management Systems Reducing Vulnerability in Banking Industry. *Environmental Hazards Management*, 3(1), pp: 33-46. doi:<https://dx.doi.org/10.22059/jhsci.2016.59273>.
- [17]. Mojtabehi, S. M. H.; Mousavi, S. M.; & Makui, A. (2010). Project risk identification and assessment simultaneously using multi-attribute group decision making technique. *Safety Science*, 48(4), pp: 499-507. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ssci.2009.12.016>.
- [18]. PMBOK. (2008). *A Guide Project Management Body of Knowledge (PMBOK® GUIDE)*. Paper presented at the Project Management Institute.
- [19]. PMBOK. (2013). *A Guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK® Guide)—Fifth Edition*. *Project Management Journal*, 44(3).
- [20]. Renier, J.; Domingo, T.; Theresa, M.; DePano, S.; Dominic Aily G.; EcatNicole Ann D.; Sanchez, G.; & Custodio, B.P. (2015). Risk Assessment on Filipino Construction Workers, *procedia Manufacturing*, 3, pp: 1854-1860. doi:<https://doi.org/10.1016/j.promfg.2015.07.226>.
- [21]. Satty, T.L. (1996). *The Analytic network process - Decision making with Dependence and Feedback*. RWS publications.
- [22]. Salehi sedgheyani, J. (2010). Provide a method for ranking risks of project activities based on CPM networks using fuzzy and fuzzy TOPSIS methods. *Journal of Industrial Management*, 1, pp: 69-82.
- [23]. Samantra, C.; Datta, S.; & Mahapatra, S.S. (2017). Fuzzy based risk assessment module for metropolitan construction project: An empirical study, *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 65, pp: 449-464. doi:<https://doi.org/10.1016/j.engappai.2017.04.019>.
- [24]. Taylan, O.; O.Bafail, A.; M.S.Abdulaal, R.; & R.Kabli, M. (2014). Construction projects selection and risk assessment by fuzzy AHP and fuzzy TOPSIS methodologies, *Applied Soft Computing*, 17, pp: 105-116. doi:<https://doi.org/10.1016/j.asoc.2014.01.003>.
- [25]. Turskis, Z.; & Zavadskas, E. K. (2010). A new fuzzy additive ratio assessment method (ARAS-F). Case study: The analysis of fuzzy multiple criteria in order to select the logistic centers location. *Transport*, 25(4), pp: 423-432. doi:10.3846/transport.2010.52.
- [26]. Wang Z.; & Chen, C. (2017). Fuzzy comprehensive Bayesian network-based safety risk assessment for metro construction projects. *Tunnelling and Underground Space Technology*, 70, pp: 330-342. doi:<https://doi.org/10.1016/j.tust.2017.09.012>.
- [27]. Yao-Chen, Kuo; & Shih-Tong, Lu (2013). Using fuzzy multiple criteria decision making approach to enhance risk assessment for metropolitan

- construction projects, *International Journal of Project Management*, 31(4), 602-614. doi:https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2012.10.003.
- [28]. Yaqiong, L.; Man, L. K.; & Zhang, W. (2011). Fuzzy theory applied in quality management of distributed manufacturing system: A literature review and classification. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 24(2), pp: 266-277. doi:http://dx.doi.org/10.1016/j.engappai.2010.10.008.
- [29]. Zayed, T.; Amer, M.; & Pan, J. (2008). Assessing risk and uncertainty inherent in Chinese highway projects using AHP. *International Journal of Project Management*, 26(4), pp: 408-419. doi:http://dx.doi.org/10.1016/j.ijproman.2007.05.012.