پژوهش و توسعه فناوری، سال سوم، شماره۵، نیمه دوم ۱۳۹۰

ارزیابی و انتخاب پاسخ‌های خطر پذیری سطح (ریسک پروژه) از طریق یک مدل بهینه سازی چند هدفه و رویکرد اولویت بندی فازی (مطالعه موردی : نیروگاه سیکل ترکیبی آبادان)

سید حسام الدین ذگردی*
دانشیار دانشگاه تربیت مدرس، دانشکده مهندسی صنایع
ابراهیم رضایی نیک
دانشجوی دکتری مهندسی صنایع دانشگاه تربیت مدرس و پژوهشگر دانشگاه هیروشیما (ژاپن)
احد نظری
استادیار دانشگاه شهید بهشتی، دانشکده معماری و شهر سازی،
فریدون هنری چوبر
مدیر برنامه ریزی شر کت احداث و توسعه نیروگاه‌های سیکل ترکیبی مپنا (توسعه ۲)

تاریخ دریافت: ۹۰/۵/۲۲ **تاریخ پذیرش: ۹۰/۱۲/۲۰**

چکیده

هدف مدیریت ریسک پروژه افزایش احتمال موفقیت پروژه است و اینکار از طریق شناسایی و ارزیابی نظام مند ریسک‌ها، ارائه روش‌هایی جهت کاهش یا حذف آنها و حداکثرسازی فرصت‌ها صورت می‌گیرد. بررسی ادبیات موضوع نشان می‌دهد هنوز کمبودهای قابل توجهی در حوزه ارزیابی و انتخاب اقدامات کاهش ریسک پروژه‌ها وجود دارد. مطالعات مربوطه عمدتا مدل‌های مفهومی هستند که شامل بررسی کلی

* - (نویسنده مسئول): zegordi@modares.ac.ir

تاثیرات عدم اطمینان بر پروژه‌ها و تعیین استراتژی‌هایی برای کاهش سطح ریسک می‌باشند. به منظور رفع کاستی‌های مذکور، در این مقاله یک چارچوب عملی پیشنهاد می‌شود که ساختار شکست کار، رخدادهای ریسک، اقدامات کاهش ریسک، ریسک‌های ثانویه و تاثیرات آنها را بطور یکپارچه بررسی می‌نماید. مساله در قالب یک مدل بهینه سازی چندهدفه مدلسازی گردیده و ضرایب تابع هدف مربوطه از طریق رویکرد اولویت بندی فازی تعیین شده است. جهت حل مدل، روش‌های دقیق و ابتکاری پیشنهاد گردیده است. علاوه بر این، به منظور اعتبارسنجی مدل، یک مطالعه موردی در پروژه‌های نیروگاهی ایران انجام شده است. بر اساس نتایج کسب شده، مدل پیشنهادی منجر به بهبود قابل توجه زمان، هزینه و کیفیت پروژه می‌شود.

کلمات کلیدی: مدیریت ریسک پروژه، پاسخگویی به ریسک‌ها، مدل‌های بهینه سازی چندهدفه، اولویت بندی فازی، فرآیند تحلیل سلسله مراتبی فازی، پروژه‌های نیروگاهی.

Project Risk Responses Selection Using a Multi-Objective Optimization Model and Fuzzy Prioritization Approach (Case Study: Combined Cycle Power Plant of Abadan)

Seyed Hessam Al-ddin Zegordi
Associate Professor, Tarbiat Modares University,
Ebrahim Rezaee Nik
Ph.D Student, Tarbiat Modares University,
Ahad Nazari
Assistance Professor, Shahid Beheshti University
Fereidoon Honari Choobar
Planning Manager, MAPNA Group,

Abstract

The purpose of project risk management is to improve project performance by systematically identifying and assessing risks, developing strategies to reduce or avoid them and maximizing opportunities. The literature review depicts that there is still a significant gap in the field of risk response assessment and selection. The relevant studies mainly comprise of conceptual models that capture effects of uncertainty on projects and strategies to reduce the level of risk. In order to overcome these drawbacks, this paper proposed a practical framework that integrates the project work breakdown structure, risk events, risk abatement actions, secondary risks and their effect. The problem is modeled as a multi- objective optimization problem. We use a fuzzy prioritization approach for calculating the coefficients of

the objective function. We develop exact and heuristic methods for the proposed model. Furthermore, a case study in Iranian power plant projects is presented to show applicability and performance of the proposed model. The results show considerable time, cost and quality improvement.

Keywords: Project Risk Management, Risk Response, Multi-Objective Optimization Models, Fuzzy Prioritization Approach, Fuzzy Analytic Hierarchy Process, Power Plant Projects.

۱- مقدمه

اغلب پروژه‌های بزرگ در یک محیط پویا و پیچیده اجرا می‌شوند به نحوی که عدم اطمینان و ریسک جزء ویژگی‌های ذاتی آنها می‌باشد. این عدم اطمینان باعث گردیده که اغلب پروژه‌های کشور در رسیدن به اهداف از پیش تعیین شده موفقیت قابل توجهی کسب ننمایند. این موضوع منجر به مشکلاتی از قبیل عدم توجیه اقتصادی بهره برداری از پروژه ها، کاهش کارآیی و بروز نارضایتی در ذینفعان کلیدی شده است. بر طبق تعریف راهنمای گستره دانش مدیریت پروژه، ریسک عبارت است از یک رخداد غیر قطعی که در صورت وقوع حداقل بر یکی از اهداف پروژه تأثیر می‌گذارد (PMI, ۲۰۰۸). هدف مدیریت ریسک افزایش احتمال موفقیت پروژه است و اینکار از طریق شناسایی و ارزیابی سیستماتیک ریسک، ارائه روش‌هایی برای اجتناب یا کاهش آنها و حداکثر سازی فرصت‌ها صورت می‌گیرد (Chapman and Ward, ۲۰۰۳). مدیریت ریسک پروژه یکی از حوزه‌های مهم مدیریت پروژه می‌باشد و برخی محققین مدیریت پروژه را معادل مدیریت ریسک پروژه‌ها تعریف نموده اند. فرآیند مدیریت ریسک به دو مرحله اصلی ارزیابی ریسک‌ها (شامل شناسایی و تحلیل ریسک‌ها) و پاسخگویی به آنها قابل تقسیم می‌باشد(Miler, ۲۰۰۵). بر طبق نظر کانرو (Conrow, ۲۰۰۳) ، تمامی گام‌های فرآیند مدیریت ریسک دارای اهمیت یکسانی بوده و انجام ناقص هر یک از گام‌ها منجر به مدیریت ریسک غیر موثر می‌شود. فرآیند مدیریت ریسک موثر با ارزیابی موثر ریسک‌ها شروع می‌شود و بدون انجام این مرحله، مدیریت ریسک‌ها امکانپذیر است (U.S. DoE, ۲۰۰۵). از طرف دیگر، بسیاری از محققین تاکید نموده اندکه شناسایی و ارزیابی ریسک‌ها بدون پاسخگویی به آنها مفید نیست (Hillson, ۱۹۹۹).علی رغم انتشار مقالات متعدد در موضوع مدیریت ریسک، اطلاعات اندکی درباره کاربرد آن در دنیای واقعی موجود است (Lyons, ۲۰۰۲). طبق نظر محققین مختلف، هیچ

مدل جامعی برای ارزیابی اقدامات کاهش ریسک پروژه وجود ندارد (Ben-David and Raz, ۲۰۰۱) در راستای رفع برخی از کمبودهای موجود، در این مقاله یک مدل بهینه سازی برای ارزیابی و انتخاب اقدامات پاسخگویی به ریسک‌های پروژه در دنیای واقعی ارائه می‌شود. در این مدل، ساختار شکست کار، رخدادهای ریسک، اقدامات کاهش ریسک، ریسک‌های ثانویه و تأثیرات آنها به‌طور یکپارچه بررسی می‌شود. هدف مدل حداقل سازی زیان کل مورد انتظار است که شامل هزینه اجرای اقدام‌ها و اثرات نامطلوب مورد انتظار بر زمان، هزینه و کیفیت پروژه است. ما از رویکرد اولویت بندی فازی جهت تعیین تبادل زمان، هزینه و کیفیت پروژه استفاده نموده ایم. علاوه بر این، روش‌های دقیق و ابتکاری برای حل مدل پیشنهادی توسعه داده شده است. در نهایت، مدل پیشنهادی در پروژه‌های نیروگاهی پیاده سازی می‌گردد. نیروگاه‌ها یکی از زیرساخت‌های اساسی توسعه اقتصادی کشور می‌باشد. در حال حاضر پروژه‌های نیروگاهی حرارتی متعددی در کشور ما در حال اجرا می‌باشد. اگر چه برنامه ریزی های بلند مدت برای ایجاد تنوع در روش های تولید انرژی خصوصاً انرژی های تجدیدپذیر می باشد، ولی نیروگاه های حرارتی همچنان نقش اصلی را در تولید انرژی الکتریکی به عهده دارند. به‌طوری‌که در سال ۱۳۸۹ ظرفیت این نیروگاه‌ها در کشور بیش از ۶۰ هزار مگاوات بوده و ایران به عنوان یکی از معدود سازندگان نیروگاه های حرارتی محسوب می‌شود. این پروژه‌ها اغلب به روش کلید در دست انجام می‌گردد و پیمانکار عمومی مسئول طراحی، تامین تجهیزات و ساخت می‌باشد. به دلایل متعدد از جمله پیچیدگی فنی، نیاز به منابع ریالی و ارزی قابل توجه، نیاز به تجهیزات خاص و تداخل و همبستگی بین فازهای مختلف، این پروژه‌ها در معرض ریسک‌های متعدد قرار دارند و اغلب آنها انحراف قابل توجهی از اهداف تعیین شده (زمان، هزینه، کیفیت و...) دارند. بنابراین مدیریت موثر ریسک یکی از الزامات حیاتی این پروژه‌ها می‌باشد.

این مقاله در پنج بخش تنظیم گردیده است. پس از مقدمه، در بخش دوم به مرور اجمالی ادبیات موضوع و پاسخگویی به ریسک‌های پروژه پرداخته می‌شود. در بخش سوم، ضمن تشریح کمبودهای مدل‌های موجود، مدل پیشنهادی و روش‌های حل آن ارائه گردیده است. بخش چهارم به مطالعه موردی اختصاص دارد. در نهایت، نتیجه گیری و تحقیقات آتی در بخش پنجم ارائه می‌شود.

۲- ادبیات موضوع و پیشینهٔ تحقیق

علم مدیریت ریسک در دوره رنسانس در قرن شانزدهم میلادی مطرح گردید. از سال ۱۹۹۰میلادی مدل‌های مختلفی برای مدیریت ریسک پروژه‌ها با هدف افزایش موفقیت آنها ارائه گردیده است(Boehm, ۱۹۹۱; Cooper et al., ۲۰۰۵). در اغلب این مدل‌ها پاسخگویی به ریسک‌ها از قدم‌های اساسی می‌باشد. برخی از مدل‌ها دارای گام‌های ساده و برخی دارای جزئیات بیشتری هستند. با یک دیدگاه کلی، فرآیند مدیریت ریسک پروژه شامل دو مرحله عام ارزیابی و پاسخگویی به ریسک می‌باشد. ارزیابی ریسک از دو بخش شناسایی و تحلیل ریسک‌ها تشکیل شده است. برای شناسایی ریسک پروژه‌ها روش‌های متعددی مطرح گردیده که هر یک در شرایط خاص خود قابل استفاده است. روش‌های اصلی در شناسایی ریسک‌ها شامل طوفان فکری، مرور مستندات، روش دلفی، تحلیل چک لیست‌ها و تحلیل فرضیات می‌باشد. تحلیل ریسک به دو صورت کیفی و کمی انجام می‌شود. تحلیل کیفی ریسک معمولاً شامل ارزیابی احتمال، تأثیر و ماتریس احتمال- تأثیر است. در تحلیل کمی از روش‌هایی مانند تحلیل حساسیت، تحلیل ارزش پولی مورد انتظار، درخت تصمیم با استفاده از نظریه مطلوبیت، شبیه سازی، نمودار علت و معلول، نمودار نفوذ، نظریه بازی، نظریه فازی و تحلیل درخت خطا استفاده می‌شود (Lee et al., ۲۰۰۹).

مرحله پاسخگویی ریسک‌ها شامل شناسایی، ارزیابی و انتخاب اقدامات پاسخ است. اقدامات پاسخ به ریسک‌ها به روش‌های مختلفی طبقه بندی می‌شود. یک دسته بندی مهم شامل پاسخ‌های پیشگیرانه و واکنشی می‌باشد. پاسخ پیشگیرانه/ زود هنگام، احتمال وقوع ریسک را هدف قرار می‌دهد. پاسخ واکنشی که با عنوان پاسخ شفا بخش/ درمانی/ محدود کننده/ احتیاطی نیز نامیده می‌شود، به‌دنبال کاهش اثر وقوع ریسک است. همواره بر پاسخ‌های پیشگیرانه نسبت به پاسخ‌های واکنشی تأکید شده است. هیلسون (Hillson, ۱۹۹۹) برای دسته بندی اقدامات پاسخگویی به ریسک دو سطح مطرح نموده است. سطح اول دسته بندی عمومی پاسخ‌ها است که بیانگر استراتژی پاسخ می‌باشد و سطح دوم شامل لیست کردن مجموعه ای از اقدامات خاص تحت هر استراتژی می‌باشد. با دیدگاه دسته بندی عمومی اقدامات پاسخگویی به تهدیدها، یک دسته بندی متداول شامل چهار مورد اجتناب، کاهش، انتقال و پذیرش ریسک است. مشابه تهدیدها، برای فرصت‌ها نیز می‌توان استراتژیهای معادلی تعریف نمود. متناظر با استراتژی‌های اجتناب، انتقال،

کاهش و پذیرش در تهدیدها استراتژی‌های بهره گیری، شراکت (تسهیم)، ارتقا (تشدید) و پذیرش (چشم پوشی) برای فرصت‌ها تعریف می‌شود (Hillson, ۲۰۰۱). برای انتخاب راهبرد مناسب پاسخ به ریسک برخی چارچوب‌های کلی تدوین شده است. هیلسون (Hillson, ۱۹۹۹) رویه متداول در شناسایی و انتخاب اقدامات پاسخگویی به ریسک‌ها را درقالب یک نمودار آبشاری تشریح نموده است. در این روش ابتدا استراتژی اجتناب از ریسک بررسی می‌شود و در صورت عدم امکان آن، استراتژی انتقال مطالعه می‌گردد و در صورت عدم انتخاب پاسخ، استراتژی کاهش مطالعه می‌شود و در نهایت نیز پذیرش ریسک بررسی می‌گردد.

گروهی از محققین ابزارهای نموداری را برای انتخاب پاسخ ریسک‌ها پیشنهاد داده اند. دراین ابزارها، با استفاده از یک گراف یا ماتریس دو بعدی ناحیه تقریبی برای انتخاب اقدام پاسخ شناسایی می‌شود. این ابزارها با توجه به معیارهای تعیین شده، فقط حدود استراتژی پاسخ را مشخص می‌نمایندکه به برخی ازآنها اشاره می‌شود. پینی (۲۰۰۲) یک نمودار برنامه ریزی پاسخ به ریسک ارائه نموده که بر اساس مطلوبیت تصمیم گیرنده از ماتریس احتمال-تأثیر ریسک استخراج می‌گردد (Piney, ۲۰۰۲). پس از تشکیل این نمودار، مطابق یک دستورالعمل مشخص، ناحیه اتخاذ استراتژی تعیین می‌شود. الکجائر و فلدینگ (۱۹۹۹) از ماتریس احتمال- تأثیر به منظور انتخاب استراتژی پاسخ استفاده نموده اند (Elkjaer and Felding,۱۹۹۹). در این روش با توجه به احتمال و تأثیر ریسک، منطقه قرارگیری ریسک شناسایی و استراتژی پاسخ به آن تعیین می‌گردد. به عنوان مثال برای ریسک‌های با احتمال وقوع بالا و دارای تأثیر زیاد بایداز استراتژی حذف ریسک استفاده شود. الکجائر و فلدینگ ماتریس پیش بینی - نفوذ (کنترل) را برای تعیین استراتژی پاسخ معرفی نموده‌اند (Elkjaer and Felding, ۱۹۹۹). در این ماتریس از دو معیار قابلیت کنترل و قابلیت پیش بینی ریسک به منظور تعیین استراتژی‌های پاسخ استفاده می‌شود. در این روش برای ریسک‌های با قابلیت پیش بینی و کنترل بالا از برنامه‌های پیشگیرانه استفاده می‌شود. برای سایر قسمت‌ها نیز استراتژی‌های پیشنهادی شامل برنامه‌های اضطراری، پایش ریسک‌ها و سکوت در مقابل ریسک‌ها می‌باشد . برخی محققین استراتژی پاسخ را با استفاده از ماتریس‌های طبقه بندی ریسک‌ها، تعیین نموده اند. نمونه‌ای از این ماتریس‌ها توسط داتا و مخرجی ارائه شده که ریسک‌ها به دو طبقه داخلی وخارجی تقسیم بندی گردیده است(Datta and Mukherjee, ۲۰۰۱). نمونه دیگری از این ماتریس‌ها توسط میلر و لاساردمعرفی گردیده که

از طبقه بندی ریسک‌ها به سیستمی و غیر سیستمی و قابلیت مدیریت ریسک برای انتخاب استراتژی پاسخ استفاده شده است(Miller and Lessard, ۲۰۰۱) .

در برخی تحقیقات از مفهوم مرز کارآ (موثر) برای ارزیابی پاسخ‌های ریسک‌ها استفاده شده که به برخی از آنها اشاره می‌گردد. چپمن و وارد رابطه هزینه اجرای پاسخ و سطح ریسک هزینه را بررسی نموده اند (Chapman and Ward, ۲۰۰۳). بر این اساس، پاسخ هایی که هزینه اجرا و سطح ریسک هزینه آن از سایر اقدامات موجود بدتر باشد حذف شده و جواب‌های کارآ تعیین می‌گردد. سپس بر اساس ترجیحات تصمیم گیرنده، گزینه مطلوب از بین جواب‌های کارآ انتخاب می‌شود. کو جاوسکی برای هر پاسخ مجموع هزینه‌های اجرای پاسخ و هزینه ریسک پس از اجرای پاسخ را با کمک درخت تصمیم محاسبه و منحنی توزیع احتمال تجمعی را ترسیم نموده است (Kujawski, ۲۰۰۲). مرز کارآ در این روش در منتهی الیه سمت چپ منحنی‌های توزیع تجمعی قرار دارد. هایمز (Haimes, ۲۰۰۴) با استفاده از تبادل هزینه اجرای پاسخ و هزینه ریسک پس از اجرای پاسخ، مرز کارآ را در یک پروژه مبارزه با آفات گیاهی محاسبه نموده است. کلین یک مدل مفهومی بر اساس نمودار نفوذ بین سطح عدم اطمینان مربوط به زمان، هزینه و کیفیت پروژه ارائه نموده است (Klein, ۱۹۹۳). مرز کارآی پاسخ‌ها با در نظر گرفتن سه عنصر زمان، هزینه و کیفیت تشکیل می‌شود و با استفاده از تبادل بین این سه معیار، گزینه مطلوب انتخاب می‌گردد.

برخی محققین از ساختار شکست کار به منظور برقراری ارتباط بین مدل ارزیابی پاسخ ریسک‌ها با سایر سیستم‌های مدیریت پروژه استفاده نموده اند. اولین تحقیق انجام شده در این زمینه مربوط به چپمن است (Chapman, ۱۹۷۹) . در این تحقیق یک متدولوژی تحت عنوان SCERT۱ ارائه گردید که تک تک اجزای ساختار شکست کار بررسی و ریسک‌ها و پاسخ‌های مربوطه شناسایی می‌شود. این روش نیازمند حجم زیاد مطالعات در پروژه‌های بزرگ می‌باشد. به منظور کاهش این مشکل،کلین و همکاران نسخه اصلاح شده این مدل را ارائه نمودند که به‌جای بررسی ریسک و پاسخ تک تک فعالیت‌های مجموعه، فعالیت‌های الگو بررسی گردیده و نتایج

۱- Synergistic Contingency Evaluation and Response Techniques

برای تمام فعالیت‌های مجموعه تعمیم داده می‌شود (Klein et al., ۱۹۹۴) . فعالیت الگو فعالیتی است که نقش نماینده مجموعه ای از فعالیت‌ها را بازی می‌کند. یعنی اگر مجموعه‌ای از فعالیت‌های پروژه تا حد زیادی شبیه هم باشند، یک فعالیت الگو برای این مجموعه تعریف می‌شود.

مسأله انتخاب پاسخ برای ریسک‌ها را می‌توان در قالب یک مسأله بهینه سازی مدلسازی نمود. در این رویکرد مجموعه ای از اقدامات به‌گونه‌ای انتخاب می‌شود که ضمن برآورده ساختن محدودیت‌های سیستم ، تابع هدف مربوطه بهینه گردد. مدل بهینه سازی باید نقطه بهینه ای را محاسبه نماید که درآن مجموع هزینه‌های ناشی از ریسک‌ها و هزینه اجرای پاسخ‌ها کمترین مقدار باشد. با استفاده از رویکرد حداقل سازی هزینه کل، بن دیوید و رز یک چارچوب کلی به همراه یک الگوریتم ابتکاری برای انتخاب مجموعه پاسخ‌ها ارائه نمودند (Ben-David and Raz, ۲۰۰۱). مدل ریاضی مربوطه نیز توسط بن دیوید و همکاران مطرح گردید (Ben-David et al., ۲۰۰۲). مدل پیشنهادی عناصر کاری پروژه، رخدادهای ریسک تأثیر گذار بر عناصر کاری و مجموعه اقدامات تخفیف ریسک را با یکدیگر مرتبط می‌سازد. تأثیر رویدادهای ریسک بر عناصر کاری برحسب زیان پولی می‌باشد. تابع هدف به‌دنبال حداقل کردن هزینه‌های کل مورد انتظار مرتبط با ریسک‌هاست که از دو جزء هزینه‌های اقدامات تخفیف ریسک و ضررهای مورد انتظار ریسک‌ها تشکیل شده است. از دیگر مطالعات مرتبط می‌توان به تحقیق سید حسینی و همکاران اشاره نمود. در این تحقیق یک مدل پاسخگویی به ریسک‌های پروژه با رویکرد طراحی سیستم پشتیبانی تصمیم گیری ارائه شده است. مدل پیشنهادی ارتباط نزدیکی با سیستم برنامه ریزی پروژه دارد و شامل زیر سیستم‌های ارزیابی پروژه، رتبه بندی پروژه، ارزیابی ریسک، رتبه بندی ریسک، ارزیابی پاسخ و رتبه بندی پاسخ است (Seyedhoseini et al., ۲۰۰۹).

۳- مدل پیشنهادی برای ارزیابی و انتخاب پاسخ ریسک‌ها

مطالعه ادبیات موضوع بیانگر آن است که تا کنون ابزارها و تکنیک‌های معدودی در زمینه ارزیابی و انتخاب اقدامات پاسخگویی به ریسک‌ها توسعه یافته است که در قسمت قبل تحقیق به برخی از روش‌های موجود اشاره گردید. طبق نظر هیلسون تحقیقات مرتبط با پاسخگویی به

ریسک‌های پروژه ضعیف ترین بخش فرآیند مدیریت ریسک می‌باشد (Hillson, ۱۹۹۹). بن دیوید و رز نیز خاطر نشان کرده اند که هیچ فرآیند جامع قابل قبولی برای انتخاب اقدامات پاسخ ریسک وجود ندارد. از طرف دیگر مدل‌های موجود نیز دارای محدودیت‌هایی از جمله موارد زیر هستند (Ben-David and Raz, ۲۰۰۱) .

ابزارهای نموداری بطور تقریبی استراتژی پاسخ را مشخص می‌نمایند، ولی در انتخاب جزئیات پاسخ‌ها مفید نیستند. این روش‌ها عموماً برای هر ناحیه یک استراتژی تعیین می‌کنند در حالی که در دنیای واقعی باید استراتژی‌های متفاوتی برای ریسک‌های موجود در هر ناحیه در نظر گرفت. علاوه بر این، این ابزارها فقط دو معیار را در نظر می‌گیرند، ولی اغلب اوقات در مسائل عملی باید معیارهای متعددی بررسی گردد. در روش‌های مبتنی بر مرز کارآ نیز عمدتا یک مرز کارآ مشخص می‌شود، ولی روش مشخصی برای ارزیابی و انتخاب نهایی پاسخ‌ها ارائه نمی گردد. علاوه بر این، در اغلب این روش‌ها یکپارچگی مدیریت ریسک با سایر بخش‌های مدیریت پروژه در نظر گرفته نشده است. تمرکز بر روی عناصر هزینه ای و در نظر نگرفتن سایر اهداف پروژه یکی از معایب اغلب روش‌های مبتنی بر ساختار شکست کار می‌باشد. ضمن اینکه در اغلب تحقیقات مربوطه، روش مشخصی برای تحلیل ریسک‌ها و پاسخ‌ها از نظر زمان، هزینه و کیفیت ارائه نگردیده است. از طرف دیگر، یک مدل تصمیم‌گیری خوب باید در شرایط مبهم وغیر دقیق دارای کارآیی باشد، زیرا ابهام خاصیت مشترک بسیاری از مسائل تصمیم گیری می‌باشد (Yu, ۲۰۰۲) طبق نظر چو و همکاران در کشورهایی که داده‌های عینی برای ارزیابی ریسک ناکافی است ، استفاده از قضاوت خبرگان اجتناب ناپذیر است (Cho et al., ۲۰۰۲) . در این‌گونه موارد، استفاده از رویکردهای فازی می‌تواند بسیار مفید باشد. با توجه به پیچیدگی‌های اغلب پروژه‌های بزرگ و فقدان اطلاعات کافی، استفاده از رویکرد فازی مناسب‌تر می‌باشد. در مدل پیشنهادی سعی می‌شود با ارائه یک چارچوب عملی، بر مبنای تئوری بهینه سازی و ترکیب آن با منطق فازی، این اشکالات تا حدی کاهش یابد.

۳-۱- چارچوب مدل پیشنهادی

در این قسمت یک مدل ریاضی برای ارزیابی و انتخاب پاسخ‌های ریسک پروژه پیشنهاد می‌شود که ساختار شکست کار، رخدادهای ریسک، اقدامات کاهش ریسک، ریسک‌های ثانویه

و تأثیرات آنها را به‌طور صریح با یکدیگر مرتبط می‌نماید. برای برقراری ارتباط بین مدل انتخاب پاسخ ریسک‌ها با کل سیستم پروژه، در نظر گرفتن ساختار شکست کاربه عنوان محور ارتباط ضروری می‌باشد. به عبارت دیگر، ساختار شکست کار تنها محوری است که می‌تواند به عنوان کانالی مهم در یکپارچه سازی سیستم جامع مدیریت پروژه با زیر سیستم‌های دیگر از قبیل مدیریت ریسک در نظر گرفته شود. در مدل پیشنهادی سعی می‌شود مجموعه ای از اقدامات به‌گونه‌ای انتخاب شود که ضمن برآورده ساختن محدودیت‌های سیستم (بودجه، وابستگی‌های فنی اقدامات و...) ، تابع هدف مربوطه بهینه گردد. هدف مدل حداقل سازی زیان کل مورد انتظار می‌باشد که شامل هزینه اجرای اقدام‌ها و اثرات نامطلوب مورد انتظار بر زمان، هزینه و کیفیت پروژه است. در مدل پیشنهادی سه معیارکلیدی موفقیت پروژه شامل زمان، هزینه و کیفیت در نظر گرفته شده است. حالت خاصی که فقط شامل هزینه‌ها می‌باشد توسط بن دیوید و رز بررسی گردیده است (Ben-David and Raz, ۲۰۰۱). در نظر گرفتن معیارهای مختلف باعث تطابق بیشتر مدل با دنیای واقعی می‌شود. لازم بذکر است که این سه معیار جزء معیارهای اساسی اغلب پروژه‌هاست (Kerzner, ۲۰۰۳).

عناصر کاری همان اجزای ساختار شکست کار می‌باشد و با $w=1,2,\ldots,W$ نمایش داده می‌شوند. برخی از رویدادهای ریسک (یا پاسخ ها) ممکن است بر پایین ترین سطح ساختار شکست کار (بسته‌های کاری) تأثیر گذار باشند؛ در حالی‌که برخی رویدادها ممکن است بر سطوح بالاتر ساختار شکست کار یا کل پروژه تأثیر داشته باشند. رویدادهای ریسک با $r = 1, 2, \ldots, R$ مشخص می‌گردد و ریسک‌ها مستقل از یکدیگر فرض شده اند. در صورت وابستگی بین رویدادها، همه رویدادهای وابسته به صورت یک مجموعه ترکیب می‌شود و به صورت یک رویداد عمل می‌کنند. هر رویداد ریسک یک منشأ دارد که منشأها با $s=1,2,\ldots,S$ مشخص می‌گردد. منشأهای داخلی همان اجزای ساختار شکست کار هستند. بنابراین W منشأ داخلی و S-W منشأ نیز خارجی (مثل آب و هوا، وضعیت اقتصادی و...) می‌باشد. هر منشأ ریسک می‌تواند چند رویداد ریسک ایجاد نماید، ولی هر ریسک فقط یک منشأ دارد. عناصر کاری می‌توانند به عنوان منشأ ریسک باشند و همچنین می‌توانند در معرض ریسک‌های حاصل از سایر منشأها قرارگیرند. وقوع ریسک می‌تواند حداقل بر یکی از این اهداف تأثیر گذار باشد. احتمال وقوع ریسک بستگی به منشأ آن دارد و احتمال وقوع رویداد ریسک r به علت منشأ s با $p_{r,s}$ نمایش

داده می‌شود. عناصر $p_{r,s}$ در داخل ماتریس P قرار می‌گیرد. ماتریس احتمال (P) رویدادهای ریسک و منشأ را با یکدیگر مرتبط می‌سازد. سطرها متناظر با رویدادهای ریسک و ستون‌ها متناظر با منشأ می‌باشند. در اغلب اوقات، باید یک ستون برای هر عنصر ساختار شکست کار به همراه ستون‌های اضافی برای منشأهای خارجی ، در نظر گرفته شود.

وقوع ریسک ممکن است بر یک یا چند جزءکاری پروژه تأثیر مثبت یا منفی داشته باشد. تأثیر رویداد ریسک r بر زمان عنصر کاری w به اندازه $t_{r,w}$ می‌باشد و این عناصر در ماتریس T قرار داده می‌شود. ماتریس T عناصر کاری را به اجزای ساختار شکست کار مرتبط می‌نماید. هر سطر ماتریس متناظر با رویدادهای ریسک و هر ستون آن متناظر با اجزای کاری در ساختار شکست کار است. به‌طور مشابه، تأثیر رویداد ریسک r بر هزینه عنصر کاری w به اندازه $c_{r,w}$ و بر کیفیت عنصر کاری w به اندازه $q_{r,w}$ می‌باشد. این عناصرنیز در ماتریس‌های C وQ قرار داده می‌شوند. در مدل از هزینه، زمان و کیفیت مبنای پروژه ،که هیچ اقدام تخفیف ریسکی در نظر گرفته نشده ، صرف نظر شده است.

ماتریس تأثیر زمانی مورد انتظار (ET)، از ضرب ماتریس ترانهاده احتمال و ماتریس تأثیر زمانی به‌دست می‌آید. سطرهای این ماتریس متناظر با منشأهای ریسک و ستون‌ها متناظر با عناصر کاری هستند. مجموع عناصر ماتریس ET بیانگرکل ریسک زمانی پروژه می‌باشد. به روش مشابه، ماتریس‌های تأثیر هزینه ای مورد انتظار (EC) و تأثیر کیفی مورد انتظار (EQ) به ترتیب از طریق ضرب ماتریس ترانهاده احتمال در ماتریس تأثیر هزینه ای و کیفی به‌دست می‌آید. بنابراین، ماتریس‌های ET، EC و EQ از طریق روابط زیر قابل تعریف می‌باشند که در این روابط علامت (′) بیانگر ترانهاده ماتریس است.

$$ET = P' \times T = (et_{s,w})_{S\times W} = (\sum_{r=1}^{R}(p_{s,r} \times t_{r,w}))_{S\times W} \quad (۱)$$

$$EC = P' \times C = (ec_{s,w})_{S\times W} = (\sum_{r=1}^{R}(p_{s,r} \times c_{r,w}))_{S\times W} \quad (۲)$$

$$EQ = P' \times Q = (eq_{s,w})_{S\times W} = (\sum_{r=1}^{R}(p_{s,r} \times q_{r,w}))_{S\times W} \quad (۳)$$

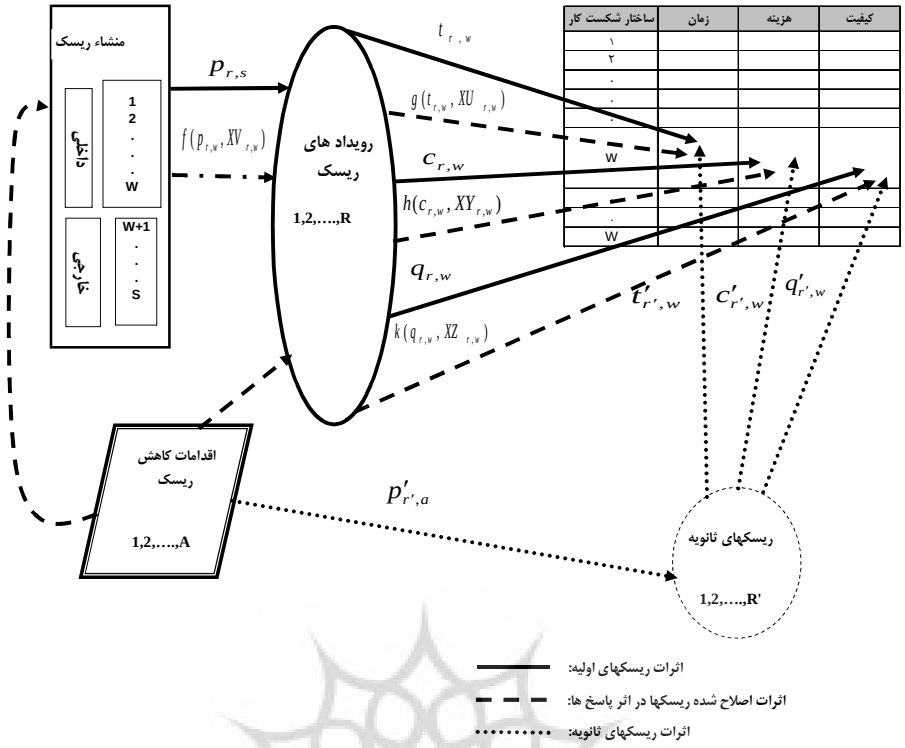
اقدامات تخفیف ریسک احتمال یا/ و تأثیر رویداد ریسک را اصلاح می‌نمایند و اجرای آنها می‌تواند دارای اثر مثبت یا منفی بر عناصرکاری باشد. به عبارت دیگر، این اقدامات منجر به اصلاح ماتریس‌های احتمال و/ یا تأثیر (ماتریس‌های P, T, C, Q) می‌شوند. این اقدامات نمی

توانند باعث تغییر احتمال ریسک‌های با منشأ خارجی شوند، ولی می‌توانند باعث تغییر اثرات آنها شوند. این اقدامات با مجموعه a = ۱, ۲, ..., A نمایش داده می‌شوند. متغیر تصمیم صفر - یک X_a نشان دهنده انتخاب یا عدم انتخاب اقدام a می‌باشد. هزینه اجرای پاسخ a با c_a مشخص می‌شود.

تأثیر اصلاحی اقدام a بر احتمال ریسک r ناشی از عنصر کاری w با $v_{r,w,a}$ نمایش داده می‌شود، به‌طوری که $V_{r,w}=(v_{r,w,1},\ldots,v_{r,w,A})$. تأثیر اصلاحی اقدام a بر اثر زمانی ریسک r روی عنصر کاری w با $u_{r,w,a}$ نمایش داده می‌شود به گونه ای که $U_{r,w}(u_{r,w,1},\ldots,u_{r,w,A})$. به‌طور مشابه، تأثیر اصلاحی اقدام a بر اثر هزینه ای ریسک r روی عنصر کاری w با $y_{r,w,a}$ نمایش داده می‌شود به‌طوری که $Y_{r,w}=(y_{r,w,1},\ldots,y_{r,w,A})$. در نهایت، تأثیر اصلاحی اقدام a بر اثر کیفیتی ریسک r روی عنصر کاری w با $z_{r,w,a}$ نمایش داده می‌شود و $Z_{r,w}(z_{r,w,1},\ldots,z_{r,w,A})$.

ماتریس $X_{(A*A)}$ یک ماتریس قطری است که در صورت انتخاب اقدام a آنگاه $X_{a,a}$=۱. بنابراین $XV_{r,w}$ ، $XU_{r,w}$، $XY_{r,w}$ و $XZ_{r,w}$ به ترتیب بیانگر بردارهای تأثیر بر احتمال ، اثر زمان ، هزینه و کیفیت حاصل از اقدامات انتخابی می‌باشند. در حالت کلی، احتمال اصلاح شده رویداد ریسک r ناشی از منشأ w با $f(p_{r,w},XV_{r,w})$ نمایش داده می‌شود . $g(t_{r,w},XU_{r,w})$ بیانگر اثر زمانی اصلاح شده ریسک r روی عنصر کاری w می‌باشد. به‌طور مشابه $h(c_{r,w},XY_{r,w})$ بیانگر اثر هزینه ای اصلاح شده ریسک r روی عنصر کاری w و $k(q_{r,w},XZ_{r,w})$ نشان دهنده اثر کیفیتی اصلاح شده ریسک r روی عنصر کاری w می‌باشد. چارچوب مدل پیشنهادی و روابط بین اجزای آن در شکل شماره (۱) نمایش داده شده است. با روش مشابه، احتمال و تأثیرات ناشی از ریسک‌های ثانویه قابل تعریف می‌باشد. منشأ این ریسک‌ها اقدامات انتخابی برای پاسخ به ریسک‌های موجود می‌باشد. همانطور که شکل شماره (۱) نشان می‌دهد، از علامت' برای ریسک‌های ثانویه استفاده شده است. با این‌حال به منظور اجتناب از پیچیدگی غیر ضروری در مدل سازی، احتمال و تأثیرات حاصل از ریسک‌های ثانویه با احتمال و تأثیرات ناشی از منشأهای ریسک و اقدامات کاهش ریسک ترکیب شده اند.

پرتال جامع علوم انسانی



شکل (۱): چارچوب مدل پیشنهادی برای ارزیابی و انتخاب پاسخ های ریسک پروژه

در مسأله مورد بررسی پاسخ‌ها باید طوری انتخاب گردد که از یک طرف هزینه اجرای پاسخ‌ها (اقدامات تخفیف) حداقل گردد و از طرف دیگر تأثیرات نامطلوب بر اهداف پروژه (افزایش زمان، افزایش هزینه و کاهش کیفیت) نیز حداقل گردد. به عبارت دیگر، با یک مسأله چند هدفه سر و کار داریم.

بر اساس تعاریف ارائه شده، هزینه‌های اجرای اقدامات کاهش ریسک [۱] (AAC) از رابطه زیر بدست می‌آید.

$$AAC(X) = \sum_{a=1}^{A} c_a . X_{a,a} \qquad (۴)$$

۱- Abatement Actions Costs

در صورتی که هیچ پاسخی انتخاب نگردد (اقدامی انجام نشود)، اثرات زمانی، هزینه ای و کیفیتی مورد انتظار ریسک‌ها از روابط ۵ تا ۷ به‌دست می‌آید.

خسارت زمانی مورد انتظار[۱] (ETL): این عبارت بیانگر تأثیرات ریسک‌ها بر زمان پروژه بوده و از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$ETL_0 = \sum_{s=1}^{S}\sum_{w=1}^{W}(et_{s,w}) = \sum_{s=1}^{S}\sum_{w=1}^{W}(\sum_{r=1}^{R} p_{s,r} \times t_{r,w}) \qquad (۵)$$

خسارت هزینه ای (پولی) مورد انتظار[۲] (ECL): این عبارت بیانگر تأثیرات ریسک‌ها بر هزینه پروژه است و از رابطه زیر محاسبه می‌شود.

$$ECL_0 = \sum_{s=1}^{S}\sum_{w=1}^{W}(ec_{s,w}) = \sum_{s=1}^{S}\sum_{w=1}^{W}(\sum_{r=1}^{R} p_{s,r} \times c_{r,w}) \qquad (۶)$$

خسارت کیفی مورد انتظار[۳] (EQL): این عبارت نشان دهنده تأثیرات ریسک‌ها بر کیفیت پروژه بوده و از رابطه زیر به‌دست می‌آید:

$$EQL_0 = \sum_{s=1}^{S}\sum_{w=1}^{W}(eq_{s,w}) = \sum_{s=1}^{S}\sum_{w=1}^{W}(\sum_{r=1}^{R} p_{s,r} \times q_{r,w}) \qquad (۷)$$

در صورت انتخاب اقدامات کاهش ریسک، تأثیرات زمانی، هزینه ای و کیفیتی مورد انتظار ریسک‌ها طبق روابط ۸ تا ۱۰ تغییر می‌کند. چون اقدامات کاهش ریسک نمی‌توانند باعث تغییر احتمال ریسک‌های با منشأ خارجی شوند، احتمال وقوع این ریسک‌ها به شکل اولیه در نظر گرفته شده است:

$$ETL(X) = \sum_{r=1}^{R}(\sum_{w=1}^{W} f(p_{r,w}, XV_{r,w}) + \sum_{s=W+1}^{S} p_{r,s})(\sum_{w=1}^{W} g(t_{r,w}, XU_{r,w})) \qquad (۸)$$

$$ECL(X) = \sum_{r=1}^{R}(\sum_{w=1}^{W} f(p_{r,w}, XV_{r,w}) + \sum_{s=W+1}^{S} p_{r,s})(\sum_{w=1}^{W} h(c_{r,w}, XY_{r,w})) \qquad (۹)$$

$$EQL(X) = \sum_{r=1}^{R}(\sum_{w=1}^{W} f(p_{r,w}, XV_{r,w}) + \sum_{s=W+1}^{S} p_{r,s})(\sum_{w=1}^{W} k(q_{r,w}, XZ_{r,w})) \qquad (۱۰)$$

یکی از موضوعات مهم در مدل پیشنهادی چگونگی نمایش ریاضی تأثیر اقدامات کاهش ریسک بر روی ویژگی‌های ریسک می‌باشد. ترتیب اجرای اقدامات نباید در نتیجه حاصل از

۱- Expected Time Loss

۲- Expected Cost (Monetary) Loss

۳- Expected Quality Loss

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

ترکیب اقدامات تأثیر گذار باشد. عملیات ریاضی که مستقل از ترتیب اقدامات است، شامل توابع حداقل، حداکثر، ضرب، جمع یا ترکیبی از آنها می‌باشد(Ben-David et al., ۲۰۰۲). به عنوان یک حالت متداول، تابع احتمال اصلاح شده رویداد ریسک و تابع اثر کیفی اصلاح شده ریسک بر روی عناصر کاری از طریق تابع ضرب تعیین می‌شود. همچنین توابع اثرات زمان و هزینه اصلاح شده ریسک بر روی عناصر کاری از طریق تابع مینیمم تعیین می گردد. این روش از طریق روابط ریاضی زیر قابل بیان است:

$$f(p_{r,w}, XV_{r,w}) = p_{r,w} \times \prod_{a=1_{x_{a,a\neq 0}}}^{A} v_{r,w,a}.x_{a,a} \qquad (۱۱)$$

$$g(t_{r,w}, XU_{r,w}) = Minimum\{t_{r,w}, u_{r,w,1}.x_{1,1}, u_{r,w,2}.x_{2,2}, ..., u_{r,w,A}.x_{A,A} \,|\, x_{a,a} \neq 0\} \qquad (۱۲)$$

$$h(c_{r,w}, XY_{r,w}) = Minimum\{c_{r,w}, y_{r,w,1}.x_{1,1}, y_{r,w,2}.x_{2,2}, ..., y_{r,w,A}.x_{A,A} \,|\, x_{a,a} \neq 0\} \qquad (۱۳)$$

$$k(q_{r,w}, XZ_{r,w}) = q_{r,w} \times \prod_{a=1_{x_{a,a\neq 0}}}^{A} z_{r,w,a}.x_{a,a} \qquad (۱۴)$$

همان‌طور که قبلاً نیز ذکر شد، در این مسأله به‌دنبال حداقل سازی تأثیرات نامطلوب بر اهداف پروژه (افزایش زمان، افزایش هزینه و کاهش کیفیت) هستیم. چون هر ریسک می‌تواند دارای تأثیر مثبت یا منفی بر اهداف پروژه باشد، تأثیرات نا مطلوب (افزایش زمان ، افزایش هزینه و کاهش کیفیت) با علامت مثبت و تأثیرات مطلوب با علامت منفی مشخص می‌شود. بنابراین ETL(X) ، ECL(X) و EQL(X) باید حداقل شود. با ترکیب اهداف تعریف شده از طریق روش مجموع وزین ساده[۱](SAW) تابع هدف مدل حاصل می گردد. در مدل پیشنهادی، خسارت مورد انتظار کل با[۲] TEL نمایش داده شده است. d_1 تا d_3 ضرایب وزنی تابع هدف است که بیانگر اهمیت نسبی اهداف پروژه (زمان، هزینه و کیفیت) از دیدگاه تصمیم گیرندگان است.

اغلب اوقات محدودیت‌هایی عملی برای انتخاب اقدامات وجود دارد؛ به عنوان نمونه برخی اقدامات نمی توانند با هم انتخاب شوند یا اینکه انتخاب یک اقدام مستلزم انتخاب اقدام دیگری می‌باشد. در مدل پیشنهادی دو نوع محدودیت زوجی تعریف شده است. اگر انتخاب همزمان اقدام

۱- Simple Additive Weighting

۲- Total Expected Loss

i و j امکانپذیر نباشد آنگاه $q_{i,j}=۱$ تعریف می‌شود . اگر انتخاب i نیازمند انتخاب اقدام j باشد آنگاه $b_{i,j}=۱$ تعریف می‌شود. در صورت وجود محدودیت بودجه برای اقدامات ، می‌توان این محدودیت را نیز به مدل اضافه نمود که در این مدل رابطه ۱۸ بیانگر محدودیت بودجه اقدامات در سطح B می‌باشد. بدیهی است با توجه به شرایط واقعی پروژه ها، می‌توان محدودیت‌های دیگری نیز به سیستم اضافه نمود.

$$\text{Min TEL} = d_1 \times \left(\frac{\text{ETL}(X) - \text{ETL}_0}{\text{ETL}_0}\right) + d_2 \times \left(\frac{\text{AAC}(X) + \text{ECL}(X) - \text{ECL}_0}{\text{ECL}_0}\right) + d_3 \times \left(\frac{\text{EQL}(X) - \text{EQL}_0}{\text{EQL}_0}\right) \quad (۱۵)$$

$$\text{Subject to:}$$

$$X_{i,i} + X_{j,j} \le 1 \quad \forall q_{i,j} = 1, i, j \in A \quad (۱۶)$$

$$X_{i,i} \le X_{j,j} \qquad \forall b_{i,j} = 1,\ i, j \in A \quad (۱۷)$$

$$\text{AAC}(X) \le B \quad (۱۸)$$

$$X_{i,i} \in \{0,1\} \qquad \forall i \in A \quad (۱۹)$$

در ادبیات مدیریت ریسک پروژه‌ها ، معیارهای مختلفی برای ارزیابی پاسخ‌های ریسک‌ها در نظر گرفته شده است. برخی از این معیارها عبارتند از: اثرات پاسخ ، منابع پاسخ ، ظرفیت پاسخ، احتمال پاسخ،طول مدت پاسخ، کیفیت پاسخ، تاخیر اثر پاسخ ، فوریت پاسخ ، ویژه بودن پاسخ و عدم قطعیت پاسخ (Seyedhoseini et al., ۲۰۰۷). با این‌حال معیارهای در نظر گرفته شده در این تحقیق بر اساس مرور ادبیات، اهداف پروژه‌های مورد بررسی و نظرات خبرگان تعیین شده است. بدیهی است با توجه به قابلیت مدل پیشنهادی، در صورت نیاز می‌توان سایر معیارها را نیز به آن اضافه نمود.

۳-۲- تعیین ضرایب وزنی تابع هدف

در مدل پیشنهادی d_1 تا d_3 ضرایب وزنی تابع هدف است. اهمیت نسبی این وزن‌ها بستگی به عوامل مختلفی از قبیل نوع پروژه و ترجیحات ذینفعان پروژه دارد. به عنوان مثال در پروژه‌های مرتبط با ایمنی و سلامت، کیفیت نقش بیشتری دارد در حالی که در مورد پروژه‌های مرتبط با محصولات فصلی، ممکن است اهمیت زمان بالاتر باشد. در صورتی که تعیین مقادیر وزنی به سادگی امکانپذیر نباشد، می‌توان از روش‌های تحلیلی متداول استفاده کرد.

در این تحقیق، به منظور جمع آوری اطلاعات مرتبط با ضرایب وزنی تابع هدف، از قضاوت

خبرگان استفاده شده است. خبرگان می‌توانند این قضاوت را بر اساس یک مقدار عددی دقیق، دامنه ای از مقادیر عددی، عبارات زبانی یا اعداد فازی بیان نمایند. در بسیاری از موقعیت‌ها به‌خاطر عدم اطمینان یا غیر قابل اندازه‌گیری بودن شاخص‌ها به صورت کمی، ارائه مقادیرعددی توسط خبرگان دشوار می‌باشد. بنابراین، می‌توان از یک متغیر زبانی یا عدد فازی استفاده نمود. علی رغم کاربرد گسترده منطق فازی، محاسبات آن در حالت کلی پیچیده می‌باشد. در مطالعات کاربردی اغلب از اعداد فازی مثلثی و ذوزنقه ای استفاده می‌شود که علاوه بر محاسبات ساده، پردازش اطلاعات و تفسیر نتایج در محیط فازی نیز به سهولت انجام می‌شود (Ertug˘rul and Karakasog˘lu, ۲۰۰۹).

برای تعیین ضرایب وزنی تابع هدف از فرآیند تحلیل سلسله مراتبی[۱](AHP) فازی استفاده شده است. این روش در سال ۱۹۸۰توسط ساعتی معرفی گردید و یکی از روش‌های مناسب برای حل مسائل پیچیده تصمیم گیری می‌باشد. فرآیند تحلیل سلسله مراتبی حداقل سه سطح دارد. در سطح اول هدف تصمیم گیری، در سطح دوم معیارها و در سطح سوم گزینه‌ها قرار دارد. این روش توسط نویسندگان مختلف برای محیط فازی استفاده گردیده است. یکی از روش‌های معروف در محاسبات فازی این فرآیند روش تحلیل توسعه ای می‌باشد که اولین بار توسط چانگ (Chang, ۱۹۹۶) معرفی گردید. از مزایای این روش می‌توان به سادگی آن در مقایسه با سایر رویکردهای فازی و شباهت آن به روش قطعی اشاره نمود. در این تحقیق از رویکرد اولویت بندی فازی برای تعیین ضرایب وزنی تابع هدف استفاده می‌شود که اولین بار توسط میخائیلف و تسوتینف (Mikhailov and Tsvetinov, ۲۰۰۴) معرفی شد. با این‌حال این روش برای تصمیم گروهی اصلاح شده است. یکی از ویژگی‌های مهم این روش محاسبه نرخ سازگاری در حالت فازی می‌باشد که در اکثر روش‌های دیگر به آن پرداخته نشده است. علاوه بر این نیازمند مجموعه کامل مقایسات زوجی به صورت فازی نیست و حل مدل غیر خطی حاصل نیز از سایر مدل‌های غیرخطی راحت تر می‌باشد. در این روش فرض می‌شود مقایسه‌های زوجی فازی به صورت اعداد فازی مثلثی $\tilde{a}_{ij} = (l_{ij}, m_{ij}, u_{ij})$ می‌باشد. بردار قطعی وزن (اولویت) $w = (w_1, w_2, ..., w_n)$ بگونه ای

۱- Analytic Hierarchy Process

استخراج می‌شود که نرخ‌های اولویت $\frac{w_i}{w_j}$ تقریبا در محدوده قضاوت‌های فازی ابتدایی قرار گیرد. به عبارت دیگر وزن‌ها طوری تعیین می‌شود که رابطه فازی زیر برقرار باشد.

$$l_{ij} \leq \frac{w_i}{w_j} \leq u_{ij} \qquad (۲۰)$$

هر بردار وزنی قطعی w با درجه ای در نامعادلا ت فازی فوق صدق می‌کند که از طریق تابع عضویت خطی زیر(بر حسب نرخ مجهول $\frac{w_i}{w_j}$) قابل اندازه گیری می‌باشد.

$$\mu_{ij}(\frac{w_i}{w_j}) = \begin{cases} \frac{(w_i / w_j) - l_{ij}}{m_{ij} - l_{ij}}, & \frac{w_i}{w_j} \leq m_{ij} \\ \frac{u_{ij} - (w_i / w_j)}{u_{ij} - m_{ij}}, & \frac{w_i}{w_j} \geq m_{ij} \end{cases} \qquad (۲۱)$$

به منظور اجتناب از تقسیم بر صفر، فرض می‌شود $u_{ij} > m_{ij} > l_{ij}$ که از لحاظ عملی محدودیتی ایجاد نمی نماید. حل مسأله اولویت بندی فازی برمبنای دو فرض اصلی می‌باشد. اولین فرض نیازمند وجود ناحیه موجه فازی غیر تهی P بر روی ابر صفحه سیمپلکس n-۱ بعدی Q^{n-1} می‌باشد.

$$Q^{n-1} = \{(w_1, w_2, ..., w_n), | w_i > 0, \sum_{i=1}^{n} w_i = 1\} \qquad (۲۲)$$

تابع عضویت ناحیه موجه فازی P از رابطه زیر بدست می‌آید.

$$\mu_P(w) = \min_{ij}\{\mu_{ij}(w),\ i = 1,2,...,n-1;\ \ j = 2,3,...,n;\ j > i\} \qquad (۲۳)$$

با تعریف توابع عضویت (۲۱) به عنوان مجموعه‌های فازی $L\{L = [-\infty, 1]\}$، می‌توان فرض ناتهی بودن P برروی سیمپلکس را آزاد نمود. اگر قضاوت‌های فازی خیلی ناسازگار باشند، آنگاه $\mu_P(w)$ برای تمام بردارهای اولویت نرمال $w \in Q^{n-1}$ مقادیر منفی می‌گیرد. دومین فرض یک قاعده انتخاب مشخص می‌نماید که یک بردار اولویت دارای بالاترین درجه عضویت در تابع عضویت تلفیقی (۲۳) را تعیین می‌نماید. ثابت می‌شود که $\mu_P(w)$ یک مجموعه محدب است، بنابراین همیشه یک بردار اولویت $w^* \in Q^{n-1}$ وجود دارد که دارای ماکزیمم درجه عضویت (λ^*) می باشد.

$$\lambda^* = \mu_P(w^*) = \max_{w \in Q^{n-1}} \min_{ij} \{\mu_{ij}(w)\} \qquad (۲۴)$$

مسأله اولویت بندی ماکسی- مین فوق به صورت زیر قابل ارائه می‌باشد.

$$\begin{aligned} &\max\ \lambda \\ &subject\ to: \\ &\lambda \le \mu_{ij}(w),\quad i=1,2,...,n-1,\ j=2,3,...,n,\ j>i, \\ &\sum_{k=1}^{n} w_k = 1,\quad w_k > 0,\ k=1,2,...,n, \end{aligned} \tag{۲۵}$$

با در نظر گرفتن شکل خاص توابع عضویت، مسأله فوق تبدیل به یک مسأله بهینه سازی غیر خطی می‌شود.

$$\begin{aligned} &\max\ \lambda \\ &subject\ to: \\ &(m_{ij}-l_{ij})\lambda w_j - w_i + l_{ij} w_j \le 0, \\ &(u_{ij}-m_{ij})\lambda w_j + w_i - u_{ij} w_j \le 0,\quad i=1,2,...,n-1,\ j=2,3,...,n,\ j>i, \\ &\sum_{k=1}^{n} w_k = 1,\quad w_k > 0,\ k=1,2,...,n, \end{aligned} \tag{۲۶}$$

مثبت بودن λ^* در جواب مدل فوق بیانگر سازگاری نسبی مجموعه قضاوت‌های فازی و مقدار منفی λ^* نشان دهنده ناسازگاری قوی قضاوت‌ها است.

به منظور جمع آوری اطلاعات مرتبط با اهمیت ضرایب وزنی تابع هدف از عبارت‌های زبانی و اعداد فازی جدول شماره (۱) استفاده شده است. علاوه بر این، به منظور افزایش دقت اطلاعات جمع آوری شده، از تصمیم گیری گروهی استفاده گردیده است. چون ممکن است نظرات افراد خبره با یکدیگر متفاوت باشد، مقایسه‌های نهایی باید بیانگر نظرات مختلف باشد. فرض کنید گروه تصمیم گیری شامل K عضو است و ارزیابی تصمیم گیرنده kام به صورت $\tilde{x}_{ijk} = (l_{ijk}, m_{ijk}, u_{ijk})$ موجود می‌باشد. بر اساس تحقیق چن و همکاران (Chen et al., ۲۰۰۶) تجمیع نظرات از طریق رابطه زیر محاسبه می‌شود.

$$\tilde{x}_{ij} = (l_{ij}, m_{ij}, u_{ij}),\quad l_{ij} = \min_k\{l_{ijk}\}, m_{ij} = \frac{1}{K}\sum_{k=1}^{K} m_{ijk}, u_{ij} = \max_k\{u_{ijk}\} \tag{۲۷}$$

۳-۳- ارزیابی احتمال وقوع و تأثیرات ریسک‌ها

ارزیابی احتمال ریسک، احتمال وقوع هر یک از ریسک‌ها را بررسی می‌کند. در ارزیابی اثر ریسک، اثرات بالقوه بر اهداف پروژه (زمان، هزینه و کیفیت) بررسی می‌شوند. به منظور اندازه

گیری اثرات ریسک‌ها بر زمان، هزینه و کیفیت پروژه از ابزارهای معروف ساختار شکست کار (WBS)[۱]، ساختار شکست هزینه (CBS)[۲] و ساختار شکست کیفیت[۳] (QBS) استفاده می‌شود.

جدول (۱): عبارت‌های زبانی و اعداد فازی جهت مقایسه های زوجی ضرایب وزنی تابع هدف

عبارت زبانی	عددفازی مثلثی	معکوس عددفازی مثلثی
برابر	(۱,۱,۱)	(۱,۱,۱)
اهمیت ضعیف	(۱,۲,۳)	(۱/۳,۱/۲,۱)
اهمیت زیاد	(۲,۳,۴)	(۱/۴,۱/۳,۱/۲)
اهمیت خیلی زیاد	(۳,۴,۵)	(۱/۵,۱/۴,۱/۳)
اهمیت مطلق	(۴,۵,۶)	(۱/۶,۱/۵,۱/۴)

ساختارهای شکست کار متداول به صورت فرآیند محور و محصول محور می‌باشد. در روش اول پروژه بر اساس فرآیندها(طراحی، تامین تجهیزات، نصب و ....) به اجزای کوچکتر تقسیم می‌شود. در روش دوم که در اغلب اوقات مناسب‌تر است، تقسیم بندی بر اساس زیر مجموعه‌ها ی محصولی پروژه است. ساختار شکست کار علاوه بر برآورد زمان، به عنوان ابزاری برای برآورد منابع نیز استفاده می‌شود که از طریق آن ساختار شکست هزینه قابل استخراج می‌باشد. ساختار شکست هزینه با مبنا قراردادن سطوح و اجزای ساختار شکست کار، تشکیل می‌شود و در صورت نیاز با توجه به منابع مصرفی هر بسته کاری ،به اجزای کوچکتری تقسیم می‌شود. در روش هزینه یابی متداول (پایین به بالا)، با معلوم بودن نرخ‌های واحد منابع ، هزینه سطوح پایین محاسبه و این فرآیند تا بالاترین قسمت ادامه می‌یابد و از این طریق هزینه کل پروژه تعیین می‌شود.

برای تحلیل کیفی پروژه نیز می‌توان از ساختار شکست کار کمک گرفت. اگر ارزش وزنی کل کیفیت پروژه برابر عدد ثابتی (مثلا۱۰۰) فرض شود، این ارزش را می‌توان به کمک ساختار

۱- Work Breakdown Structure

۲- Cost Breakdown Structure

۳- Quality Breakdown Structure

شکست کار از بالا به پایین به اجزای کوچک‌تری تقسیم نمود که به آن ساختار شکست کیفیت گویند. ساختار شکست کیفیت ممکن است نسبت به ساختار شکست کار جزئیات و سطوح بیشتری داشته باشد. در مدل پیشنهادی برای سادگی فرض شده است ساختار شکست کار برای بررسی اثرات هزینه ای و کیفیتی قابل استفاده می‌باشد و جزئیات محاسبات می‌تواند از طریق ساختارهای شکست هزینه و کیفیت انجام و نتیجه در ساختار شکست کار منعکس گردد.

۳-۴- روش‌های حل مدل پیشنهادی

مدل مورد بررسی یک مسأله برنامه ریزی صفر- یک می‌باشد. در این بخش روش‌های دقیق و ابتکاری برای حل آن ارائه می‌شود.

۳-۴-۱- روش شمارش صریح

با توجه به اینکه تمام متغیرها از نوع صفر-یک هستند، تمام حالت‌های ممکن ۲^A می‌باشد که Aتعداد اقدامات (پاسخ‌ها) است. برای انتخاب جواب بهینه کافی است جواب‌های موجه (که در محدودیت‌ها صدق می کنند) بررسی وبا توجه به تابع هدف بهترین آنها انتخاب شود. این روش در عین سادگی تئوری ، از لحاظ حجم محاسبات غیر کارآ می‌باشد و با اضافه شدن یک اقدام ، تعداد حالت‌های ممکن ۲برابر می‌شود. به عنوان نمونه برای مسأله ای با ۱۰ اقدام به محاسبه ۱۰۲۴حالت و برای ۳۰اقدام به محاسبه بیش از یک میلیارد حالت نیاز می‌باشد.

۳-۴-۲- روش‌های مبتنی بر برنامه ریزی صفر - یک

این روش‌ها عمدتاً بر مبنای روش‌های برنامه ریزی عدد صحیح می‌باشد که معروف‌ترین آنها بر اساس الگوریتم شاخه و حد (شاخه و کران) است. قدم انشعاب در این مسأله واضح است و در هر مرحله متغیر انشعاب باید به ۲شاخه ۰یا ۱ تقسیم شود. مسأله اصلی محاسبه حد پایین هر زیر شاخه می‌باشد که بستگی به ساختار توابع f، g، h و k دارد. در رابطه با آزمون‌های به عمق رسیدن نیز باید حداقل یکی از شرایط زیر برقرار باشد:

الف: مجموعه فاقد جواب موجه باشد.

ب: بهترین جواب زیر مجموعه از جواب فعلی بدتر باشد.

ج: جواب بهینه زیر مجموعه به‌دست آمده باشد.

در مورد آزمون "الف"، محاسبات عمدتاً به ساختار محدودیت‌ها بستگی دارد که با توجه به خطی بودن توابع محدودیت‌ها، پیچیدگی چندانی وجود ندارد و می‌توان آزمون‌های برنامه ریزی صفر-یک (از جمله آزمون‌های مربوط به الگوریتم بالاس) را برای این مسأله توسعه داد. با این حال آزمون‌های "ب" و"ج" نیازمند بررسی خواص توابع f، g، h و k می‌باشد. با توجه به فرضیات مربو ط به توابع اصلاحی،یک حد پایین برای تابع هدف در گره N که در مورد N اقدام قبلاً تصمیم گیری شده است، از رابطه زیر قابل محاسبه است.

$$TEL_L(X^N) = d_1 \times \left(\frac{ETL\ (I) - ETL_0}{ETL_0}\right) + d_2 \times \left(\frac{AAC(X^N) + ECL(I) - ECL_0}{ECL_0}\right) + d_3 \times \left(\frac{EQL\ (I) - EQL_0}{EQL_0}\right) \quad (۲۸)$$

در این رابطه، $I_{(A\times A)}$یک ماتریس واحد است. جهت تعیین این حد پایین، فرض شده است تمام اقدامات بررسی نشده انتخاب می‌گردند، ولی از هزینه اجرای آنها صرفنظر شده است. پیچیدگی محاسباتی الگوریتم دقیق از رابطه$O(۲^A)$ به‌دست می‌آید.

۳-۴-۳- روش‌های ابتکاری

با توجه به حجم محاسبات بالا به ازای افزایش تعداد اقدامات در روش‌های دقیق، استفاده از روش‌های ابتکاری اجتناب ناپذیر است. بنابراین، در این قسمت دو الگوریتم ابتکاری برای حل مدل پیشنهادی ارائه می‌گردد.

الف)الگوریتم ابتکاری ساده

این الگوریتم هر اقدام پاسخ را به صورت جداگانه بررسی می‌نماید و در صورتی که اجرای اقدام باعث کاهش TEL گردد و در محدودیت‌های مدل صدق کند، این اقدام انتخاب می‌گردد. در غیر این‌صورت این اقدام انتخاب نمی گردد. اولویت انتخاب اقدامات بر اساس کاهش TEL می‌باشد؛ یعنی اینکه در ابتدا اقدامی بررسی می‌شود که بیشترین میزان کاهش TELرا دارد. از مزایای این روش، سادگی آن می‌باشد، ولی مهم‌ترین عیب آن در نظر نگرفتن تأثیرات متقابل اقدام‌هاست. در حالی که در مسائل واقعی معمولا اقدامات بر یکدیگر تأثیر می‌گذارند.

ب) الگوریتم ابتکاری حلقوی

مبنای انتخاب اقدام‌ها در الگوریتم ابتکاری حلقوی بر اساس بیشترین کاهش TEL در اثر اجرای اقدام بوده و به صورت خلاصه با گام‌های زیر قابل ارائه است:

گام صفر: در اولین تکرار هیچ اقدامی اجرا نمی‌شود (AAC=۰) واثرات اولیه ریسک‌ها یعنی ETL، ECL و EQL محاسبه می‌شود.

گام تکراری: به ازای انتخاب هر یک از پاسخ‌های اجرا نشده، احتمال و اثرات ریسک‌های سیستم در اثر اجرای اقدام مربوطه اصلاح وبا در نظر گرفتن هزینه اقدام مربوطه مقدار کاهش TEL در اثر اجرای این اقدام محاسبه می‌شود. معیار انتخاب پاسخ بر اساس بیشترین کاهشTEL است.

با منظور نمودن اجرای قطعی اقدام انتخاب شده، گام تکراری برای پاسخ‌های اجرا نشده تکرار می‌شود.

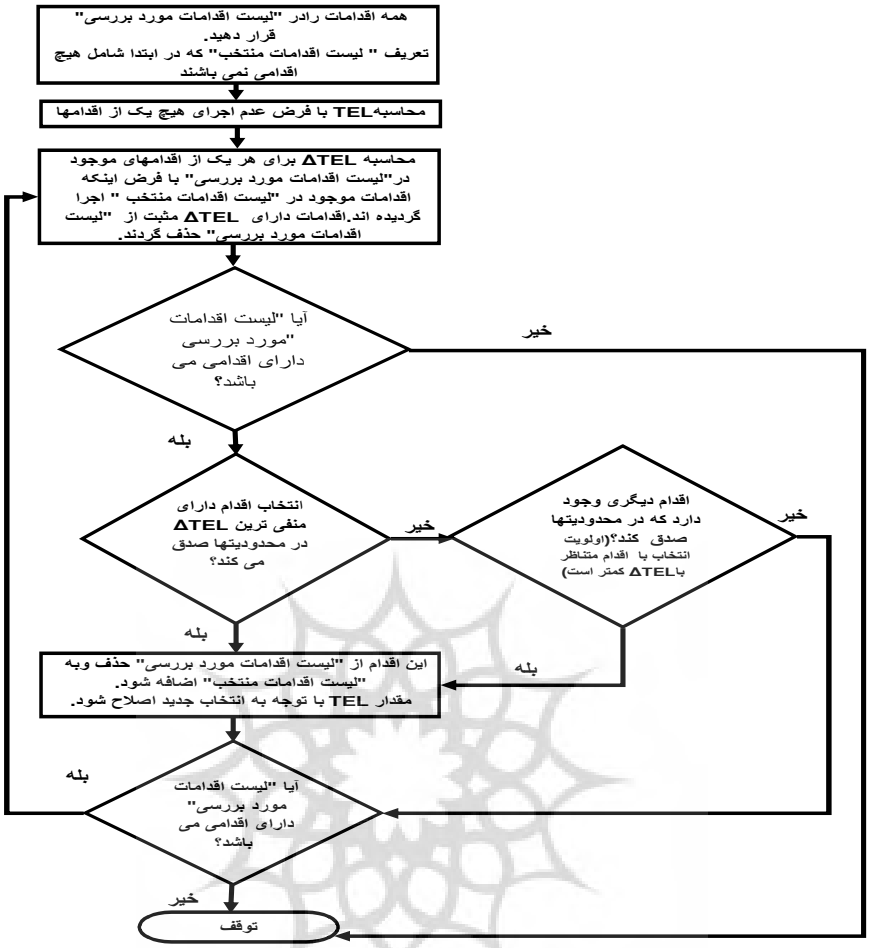
شرط توقف: الگوریتم وقتی متوقف می‌شود که به ازای انتخاب هیچ یک از پاسخ‌های انتخاب نشده، تابع هدف کاهش نیابد.

با اجرای فرآیند فوق، یک لیست مرتب از اقدامات حاصل می‌گردد. شکل شماره (۲) نمای کلی الگوریتم ابتکاری حلقوی را نمایش می‌دهد. پیچیدگی محاسباتی الگوریتم ابتکاری حلقوی از رابطه $O(A^3)$ بدست می‌آید.

۴- مطالعه موردی

در این بخش، کاربرد مدل پیشنهادی در پروژه نیروگاهی سیکل ترکیبی آبادان ارائه می‌شود. شرکت توسعه برق ایران به عنوان کارفرما و گروه مپنا به عنوان پیمانکار عمومی می‌باشد. گروه مپنا اولین شرکت در آسیا، تنها شرکت در خاورمیانه و یکی از شش شرکت برتر دنیا در عرصه ساخت نیروگاه است. شرکت مپنا اجرای پروژه را به یکی از شرکت‌های تابعه (شرکت توسعه ۲) واگذار نموده است، ولی مسئولیت تأمین برخی از تجهیزات و مدیریت کلان پروژه بر عهده شرکت مپنا می‌باشد. شرکت توسعه ۲ نیز از پیمانکاران متعددی برای اجرای پروژه استفاده می‌نماید. نحوه اجرای پروژه به صورت طراحی- تامین تجهیزات – ساخت است. جدول شماره (۲) قسمتی از ساختار شکست کار پروژه را به همراه زمان، هزینه و کیفیت عناصر کاری نمایش

می‌دهد.



شکل (۲): نمای کلی الگوریتم ارتکاری حلقوی برای انتخاب اقدامات پاسخگویی به ریسکها

لازم به ذکر است که پروژه مورد بررسی بالغ بر ۳۰۰۰ فعالیت دارد که ساختارشکست کارارائه شده در این جدول به صورت کلی و در راستای اهداف این تحقیق می‌باشد. به منظور محاسبه وزن کیفی عناصر کاری، وزن ۱۰۰٪ برای کل پروژه تعریف گردید. سپس این وزن به کمک ساختار شکست کار به اجزای کوچکتری تقسیم گردید. به عنوان مثال، نسبت وزن کیفی عنصر کاری ۱.۶

به کل پروژه برابر ۱۱٪ می‌باشد.

به منظور شناسایی ریسک‌های پروژه، ابتدا با مطالعات کتابخانه ای و جمع آوری اطلاعات مورد نیاز از پروژه‌های مورد بررسی، ساختار مناسبی برای شکست ریسک‌ها تهیه گردید. سپس با استفاده از روش‌های مختلف (بررسی گسترده مطالعات مرتبط با شناسایی ریسک‌ها در داخل و خارج کشور، مطالعه سوابق ودرس‌های آموخته در پروژه های قبلی، مصاحبه‌های متعدد با افراد متخصص و برگزاری جلسات طوفان فکری)، بیش از ۱۰۰ ریسک شناسایی گردید. از بین تمام ریسک‌های شناسایی شده، با استفاده از روش‌های متداول ارزیابی ریسک، ۱۰ ریسک به عنوان ریسک‌های مهم تعیین گردید. این ریسک‌ها با R۱تا R۱۰ کدگذاری گردیده و شرح آنها نیز در جدول شماره(۳) ذکر گردیده است. در مرحله بعد، ماتریس‌های احتمال وقوع رویدادهای ریسک و تأثیر رویدادهای ریسک برزمان، هزینه و کیفیت عناصر کاری تعیین گردید. به منظور جمع آوری اطلاعات مربوط به ماتریس‌های احتمال و تأثیر، از قضاوت خبرگان بر اساس عبارت‌های زبانی (خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد) و اعداد فازی استفاده شده است. در این روش ابتدا عبارت‌های زبانی و اعداد فازی معادل برای ارزیابی احتمال وقوع ریسک‌ها و تأثیرات ریسک‌ها (مطلوب و نامطلوب) تعریف گردید. سپس با استفاده از میانگین اعداد فازی و مقادیر اسمی زمان، هزینه و کیفیت عناصر کاری ، اعداد قطعی متناظر در ماتریس‌ها محاسبه گردید. برای خلاصه سازی، از ذکر جزئیات این محاسبات صرفنظر می‌شود. ماتریس احتمال رویدادهای ریسک در جدول شماره (۴) و ماتریس‌های تأثیرات ریسک‌ها بر زمان، هزینه و کیفیت فعالیت‌ها در جداول شماره (۵) تا (۷) نشان داده شده است. در ماتریس احتمال ، آب و هوا به عنوان یک منشأ خارجی تعریف گردیده وبا E۱ کدگذاری گردیده است. عناصر ماتریس تأثیر زمانی بر حسب هفته و عناصرماتریس تأثیر هزینه بر حسب میلیون تومان است. به عنوان نمونه، اگر ریسک R۱ رخ دهد، باعث افزایش زمان عنصر کاری ۱.۲.۱ به اندازه ۶ هفته می‌شود. عناصر ماتریس کیفیت بر حسب درصد می‌باشد. به عنوان مثال براساس محاسبات مبتنی بر نظرات خبرگان، در صورت وقوع ریسکR۶ ، کیفیت عنصر کاری ۱.۶ به اندازه ۲۰٪ کاهش می‌یابد. از طرف دیگر عنصر کاری ۱.۶ دارای وزن کیفی ۱۱٪ در مقایسه با کل پروژه می‌باشد. بنابراین، همان‌طور که جدول شماره (۷) نشان می‌دهد، مقدار عنصر متناظر در ماتریس Q عبارت است از ۲.۲٪ = ۲۰٪×۱۱٪.

سپس از طریق مصاحبه با خبرگان و مطالعه سوابق موجود در پروژه‌ها، اقدامات پیشنهادی برای پاسخگویی به ریسک‌ها تعیین گردید. این اقدامات به همراه هزینه‌های اجرای آنها(بر حسب میلیون تومان) در جدول شماره (۸) ارائه گردیده است. در مرحله بعد اثرات اصلاحی اجرای این اقدامات تعیین و در جدول شماره (۹) درج گردید. هر اقدام می‌تواند دارای چند تأثیر اصلاحی بر احتمال یا اثرات ریسک‌ها باشد. هر سطر این جدول متناظر یک اثر اصلاحی است و بیانگر برداری است که از آن برای اصلاح ستون مربوطه در ماتریس‌های P، T، C یا Q استفاده می‌شود. ستون‌های این ماتریس نیز متناظر با رویدادهای ریسک در سطرهای ماتریس‌های P، T، C و Q است. همان‌گونه که قبلا نیز ذکر شد، تابع احتمال و تأثیر کیفی اصلاح شده ریسک از طریق ضرب و توابع اثرات زمان و هزینه اصلاح شده ریسک از طریق مینیمم تعیین می‌گردد. مقادیر اصلاحی اقدامات برای احتمال وقوع و تأثیر کیفی به عنوان ضرایبی است که در عناصر متناظر در ماتریس‌های P و Q ضرب می‌شود. مقادیر اصلاحی اقدامات برای تأثیر زمانی بر حسب هفته و برای تأثیر هزینه بر حسب میلیون تومان می‌باشد. به عنوان مثال، اقدام A2 دارای پنج اثر اصلاحی است. درصورت انتخاب این اقدام، هر اثر اصلاحی باعث تغییر یک ستون در ماتریس متناظر می‌شود. به عنوان نمونه، اثر اصلاحی A۲-۱ عنصر کاری ۱.۱ در ماتریس P را تحت تأثیر قرار می‌دهد. این اثر اصلاحی، باعث می‌شود احتمال ریسک R۶ به ۰.۴ مقدار فعلی کاهش یابد واحتمال وقوع اصلاحی برابر است با۰.۲ =۰.۵×۰.۴. به عنوان یک مثال دیگر، اثر اصلاحی A۲-۲ عنصر کاری ۱.۴ را در ماتریس T تحت تأثیر قرار می‌دهد. این اثر اصلاحی باعث کاهش تأثیر زمانی ریسک ۶ بر روی عنصر کاری۱.۴ از مقدار فعلی ۹ هفته به مینیمم ۶ و ۹ می‌شود. در نتیجه مقدار اصلاحی متناظر در ماتریس T برابر ۶ هفته است.

در مرحله بعد، برای تعیین اهمیت نسبی اهداف پروژه ، از سه متخصص جهت تشکیل گروه تصمیم گیری استفاده شد. هر یک از اعضای گروه، مقایسه‌ها زوجی خود را طبق جدول (۱) ارائه نمودند. سپس اطلاعات بر اساس رابطه (۲۷) تجمیع گردید. با استفاده از مقایسه‌ها تجمیع شده، مدل بهینه سازی شماره (۲۶) از طریق نرم افزار لینگو حل گردید. مقایسه‌های زوجی و وزن‌های حاصل در جدول (۱۰) درج گردیده است. طبق محاسبات نرم افزار لینگو، مقدار λ برای مقایسه‌ها زوجی برابر ۰/۹۹۳ است که بیانگر سازگاری قوی مقایسه‌ها می‌باشد.

در نهایت، با تکمیل اطلاعات مورد نیاز ، اقدامات مناسب بر اساس مدل پیشنهادی انتخاب

گردید. جدول شماره (۱۱) اقدامات کاهش ریسک را به ترتیب انتخاب توسط روش ابتکاری حلقوی نمایش می‌دهد. مقادیر منفی برای بهبود در زیان کل بیانگر آن است که انتخاب اقدام منجر به افزایش تابع هدف می‌شود.

جدول (۲): قسمتی از ساختار شکست پروژه

کد فعالیت	شرح فعالیت	زمان (هفته)	هزینه (میلیون تومان)	کیفیت (٪)
۱	احداث نیروگاه سیکل ترکیبی	۱۹۲	۴۱۵۲۳	۱۰۰
۱.۱	انعقاد قرارداد بین کارفرما و مپنا	۴	۱۱۸	۴
۱.۲	تحویل سا یت توسط کارفرما به مپنا	۸	۷۸۵	۸
۱.۲.۱	تحویل زمین به همراه نقشه کلی نیروگاه	۲	۷۳	۳
۱.۲.۲	تحویل امکانات (آب، برق، گاز،و...)	۶	۷۱۲	۵
۱.۳	طراحی تجهیزات	۲۸	۱۴۵۸	۱۶
۱.۳.۱	ارئه اطلاعات طراحی تجهیزات اصلی توسط کارفرما	۵	۲۱۳	۴
۱.۳.۲	طراحی تجهیزات و قطعات توسط مپنا	۲۳	۱۲۴۵	۱۲
۱.۴	تامین تجهیزات	۵۲	۲۴۸۲۵	۳۱
۱.۴.۱	تامین تجهیزات اصلی توسط کارفرما	۱۲	۱۳۱۲۵	۱۳
۱.۴.۲	ساخت سایر تجهیزات توسط سازندگان داخلی	۳۰	۱۰۴۰۰	۱۱
۱.۴.۳	تحویل و حمل تجهیزات	۱۰	۱۳۰۰	۷
۱.۵	عملیات ساختمان سازی	۴۰	۸۷۲۶	۱۴
۱.۶	نصب تجهیزات	۲۴	۲۵۲۱	۱۱
۱.۷	تست و راه اندازی	۱۶	۱۶۵۸	۷
۱.۸	تحویل نیروگاه	۲۰	۱۴۳۲	۹
۱.۸.۱	تحویل موقت نیروگاه به کارفرما/ بهره بردار	۴	۲۸۳	۲
۱.۸.۲	بهره برداری آزمایشی	۱۲	۸۲۸	۵
۱.۸.۳	تحویل نهایی	۴	۳۲۱	۲

جدول (۳): ریسک‌های مهم

کد ریسک	شرح ریسک
R۱	مشکلات ایجاد شده توسط معارضین
R۲	ایجاد اختلال درواگذاری امکانات (آب، برق و ...) به سایت
R۳	اختلال در تامین منابع مالی پروژه
R۴	ارائه اطلاعات نامناسب طراحی توسط کارفرما
R۵	ایجاد اختلال درتامین تجهیزات اصلی از خارج کشور
R۶	برآورد نامناسب احجام کاری
R۷	تخصص ومهارت نامناسب نیروی انسانی
R۸	عدم تطابق تجهیزات ارسالی با مدارک مهندسی تایید شده
R۹	مدیریت مالی نامناسب توسط پیمانکاران فرعی
R۱۰	شرایط نامساعد جوی

جدول (۴): منشاء و احتمال وقوع رویدادهای ریسک

رویداد ریسک	منشاء ریسک																		
	۱	۱.۱	۱.۲	۱.۲.۱	۱.۲.۲	۱.۳	۱.۳.۱	۱.۳.۲	۱.۴	۱.۴.۱	۱.۴.۲	۱.۴.۳	۱.۵	۱.۶	۱.۷	۱.۸	۱.۸.۱	۱.۸.۲	۱.۸.۳	E۱
R۱				۰.۲۵															
R۲					۰.۴۰														
R۳	۰.۳۰																		
R۴							۰.۲۰												
R۵										۰.۴۰									
R۶		۰.۵۰																	
R۷													۰.۳۵						
R۸									۰.۳۰										
R۹													۰.۴۵						
R۱۰																			۰.۱۵

جدول (۵) تأثیر رویدادهای ریسک بر زمان عناصر کاری (برحسب هفته)

رویداد ریسک	عناصرکاری																		
	۱	۱.۱	۱.۲	۱.۲.۱	۱.۲.۲	۱.۳	۱.۳.۱	۱.۳.۲	۱.۴	۱.۴.۱	۱.۴.۲	۱.۴.۳	۱.۵	۱.۶	۱.۷	۱.۸	۱.۸.۱	۱.۸.۲	۱.۸.۳
R۱				۶															
R۲					۸														
R۳								۵		۹	۱۸	۴	۱۲						
R۴								۶											
R۵										۱۴									
R۶						۷			۹				۵	۲					
R۷													۹						
R۸														۷	۵				۴
R۹													۱۲						
R۱۰					۲								۱۰						

جدول (۶): تأثیر رویدادهای ریسک بر هزینه عناصر کار (بر حسب میلیون تومان)

رویداد ریسک	عناصرکاری																		
	۱	۱.۱	۱.۲	۱.۲.۱	۱.۲.۲	۱.۳	۱.۳.۱	۱.۳.۲	۱.۴	۱.۴.۱	۱.۴.۲	۱.۴.۳	۱.۵	۱.۶	۱.۷	۱.۸	۱.۸.۱	۱.۸.۲	۱.۸.۳
R۱				۱۵															
R۲					۷۵														
R۳										۳۱۰۰	۲۲۰۰	۲۳۰	۴۲۰						
R۴								۱۶۰											
R۵										۴۱۰۰									
R۶						۲۵۰			۳۶۰۰				۲۱۰۰	۱۱۰					
R۷													۱۲۰۰						
R۸														۳۷۰	۳۱۰				۹۰
R۹													۱۹۰۰						
R۱۰					۷۰								۴۲۵						

جدول (۷): تأثیر رویدادهای ریسک بر کیفیت عناصر کاری (بر حسب درصد)

رویداد ریسک	عناصرکاری																		
	۱	۱.۱	۱.۲	۱.۲.۱	۱.۲.۲	۱.۳	۱.۳.۱	۱.۳.۲	۱.۴	۱.۴.۱	۱.۴.۲	۱.۴.۳	۱.۵	۱.۶	۱.۷	۱.۸	۱.۸.۱	۱.۸.۲	۱.۸.۳
R۱																			
R۲					۱.۵۰														
R۳										۱.۹۰	۲.۲۰	۰.۷۰	۲.۸۰						
R۴								۱.۹۰											
R۵										۲.۷۰									
R۶						۴.۱۰			۷.۰۰				۳.۰۰	۲.۲۰					
R۷													۲.۸۰						
R۸														۴.۰۰	۲.۳۰				
R۹													۳.۵۰						
R۱۰					۱.۲۰								۲.۸۰						

جدول (۸): اقدامات پیشنهادی کاهش ریسک و هزینه های مربوط

کد اقدام	شرح اقدام	هزینه اقدام (میلیون تومان)
A۱	بازنگری در زمانبندی تامین تجهیزات اصلی بر اساس برنامه ریزی اقتضایی	۷۰
A۲	بازنگری در استانداردهای تدوین احجام کاری	۲۰۰
A۳	کنترل دقیق مستندات طراحی	۱۲۰
A۴	تهیه یک بانک اطلاعاتی جامع از تامین کنندگان و پیمانکاران	۱۰۰
A۵	تحقیق درباره اعتبار اسناد زمین و سایر موارد مرتبط با معارضین از قبیل راههای دسترسی به سایت	۱۲
A۶	جایگزینی برخی از تجهیزات خارجی با تجهیزات مشابه ساخت داخل	۵۰۰
A۷	بازنگری در سیستم مدیریت پروژه پیمانکاران فرعی	۴۵
A۸	طراحی و برگزاری دوره های آموزشی و توجیهی برای پیمانکاران و کار فرما	۱۲۵
A۹	قرارداد با یک شرکت مشاور جهت بهبود طراحی تجهیزات	۴۰۰
A۱۰	بهبود فرآیند کنترل کیفیت در حین ساخت تجهیزات	۱۵۰
A۱۱	بازنگری در سیستم پرداختها به پیمانکاران فرعی	۷۵
A۱۲	افتتاح حساب مشترک بین پیمانکاران فرعی و مپنا	۲۵
A۱۳	افزایش تعامل با ارگانهای متولی خدمات عمومی	۳۰
A۱۴	اصلاح روشهای اجرایی و مدارک طراحی متناسب با شرایط جوی محل پروژه	۲۹۰

برطبق اطلاعات جدول (۱۱) ، الگوریتم ابتکاری حلقوی اقدامات ۲، ۱، ۱۲، ۳، ۴، ۱۳، ۱۱، ۵، ۸ و ۱۰ را انتخاب می‌نماید که در نتیجه TEL= -۴۲/۶٪، AAC=۹۰۷۰۰۰۰۰۰ تومان، ETL=۳۱.۱۴ هفته ، ECL=۴۰۰۶۲۸۰۰۰۰ تومان و EQL= ۹.۱۹٪ به‌دست می‌آید. در این مطالعه موردی، الگوریتم ابتکاری حلقوی منجر به جواب بهینه جهانی (مطلق) مسأله می‌شود. با این‌حال، در حالت کلی الگوریتم ابتکاری حلقوی ممکن است جواب بهینه جهانی را ارائه نکند. شکل شماره (۳) تغییرات TEL را به همراه اجزای آن در طی تکرارهای مختلف الگوریتم ابتکاری حلقوی نمایش می‌دهد. محور افقی نشان دهنده ترتیب انتخاب اقدامات توسط الگوریتم ابتکاری

حلقوی می‌باشد. در شروع فرآیند برنامه ریزی هیچ اقدامی انتخاب نشده است و این استراتژی منجر به نتایج زیر می‌شود:

جدول (۹): تأثیرات اقدامات کاهش ریسک

کد اقدام	نوع تاثیر	کد تاثیر	عنصر کاری	رویدادهای ریسک									
				R۱	R۲	R۳	R۴	R۵	R۶	R۷	R۸	R۹	R۱۰
A۱	زمان	A۱-۱	۱.۴.۱					۹					
	هزینه	A۱-۲	۱.۴.۱					۲۴۰۰					
A۲	احتمال	A۲-۱	۱.۱						۰.۴				
	زمان	A۲-۲	۱.۴						۶				
	زمان	A۲-۳	۱.۵						۳				
	هزینه	A۲-۴	۱.۴						۱۷۰۰				
	هزینه	A۲-۵	۱.۵						۱۳۰۰				
A۳	احتمال	A۳-۱	۱.۴								۰.۶		
	زمان	A۳-۲	۱.۶								۵		
	زمان	A۳-۳	۱.۷								۴		
	هزینه	A۳-۴	۱.۶								۲۴۰		
	هزینه	A۳-۵	۱.۷								۱۹۰		
	کیفیت	A۳-۶	۱.۶								۰.۵		
A۴	احتمال	A۴-۱	۱.۵							۰.۵			
	احتمال	A۴-۲	۱.۵									۰.۹	
A۵	احتمال	A۵-۱	۱.۲.۱	۰.۴									
	زمان	A۵-۲	۱.۲.۱	۲									
A۶	احتمال	A۶-۱	۱.۴.۱					۰.۸					
	احتمال	A۶-۲	۱.۴								۱.۵		
	کیفیت	A۶-۳	۱.۶								۱.۵		
	کیفیت	A۶-۴	۱.۷								۱.۴		
A۷	زمان	A۷-۱	۱.۵						۲				
A۸	هزینه	A۸-۱	۱.۵							۵۰۰			
	کیفیت	A۸-۲	۱.۵							۰.۴			
A۹	احتمال	A۹-۱	۱.۳.۱				۰.۷						
	کیفیت	A۹-۲	۱.۶								۰.۶		
A۱۰	احتمال	A۱۰-۱	۱.۴								۰.۶۵		
A۱۱	احتمال	A۱۱-۱	۱.۵									۰.۷	
A۱۲	احتمال	A۱۲-۱	۱.۵									۰.۶	
A۱۳	احتمال	A۱۳-۱	۱.۲.۲		۰.۵								
	زمان	A۱۳-۲	۱.۲.۲		۵								
	هزینه	A۱۳-۳	۱.۲.۲		۵۰								
A۱۴	زمان	A۱۴-۱	۱.۵										۶
	هزینه	A۱۴-۲	۱.۵										۱۴۰
	کیفیت	A۱۴-۳	۱.۵										۰.۴

AAC=۰ تومان، ETL=ETL،=۵۳.۰۵ هفته، ECL=ECL،=۸۱۰۱۰۰۰۰۰۰ تومان، TEL=۰٪،

EQL=EQL.=۱۷.۵۴٪

جدول (۱۰): ماتریس مقایسات زوجی اهمیت زمان، هزینه و کیفیت و وزنهای حاصل از نرم افزار لینگو

وزن اهداف	کیفیت	هزینه	زمان	
۰.۳۰۷	(۱/۴,۱۷/۱۸,۳)	(۱/۳,۵/۶,۱)	(۱,۱,۱)	زمان
۰.۳۷۱	(۱/۳,۷/۶,۳)	(۱,۱,۱)	(۱,۴/۳,۳)	هزینه
۰.۳۲۲	(۱,۱,۱)	(۱/۳,۷/۶,۳)	(۱/۳,۱۱/۶,۴)	کیفیت

λ=۰.۹۹۳

در هر تکرار الگوریتم ، در اثر اجرای اقدامات، AAC افزایش می‌یابد. از طرف دیگر در اثر اصلاح ماتریس‌های احتمال وقوع و تأثیر ریسک‌ها، مقادیر ETL، ECLوEQL کاهش می‌یابد. با این‌حال، گاهی اوقات ممکن است انتخاب اقدامات منجر به افزایش برخی از این مقادیر شود. شکل شماره (۳) نشان می‌دهد حداقل زیان کل مورد انتظار در تکرار دهم الگوریتم ابتکاری حلقوی رخ می‌دهد که در آن اقدام A۱۰ انتخاب شده است. این نتایج، بیانگر آن است که با اجرای روش پیشنهادی انتظار می‌رود زیان کل به اندازه ۴۲/۶٪ کاهش یابد. ازطرف دیگر،طبق رابطه زیر، اثرات نامطلوب مورد انتظار بر هزینه پروژه(با احتساب هزینه اجرای اقدامات) به مقدار ۳۱۸۷۷۲۰۰۰۰ تومان کاهش می‌یابد.

۳۱۸۷۷۲۰۰۰۰ - = ۸۱۰۱۰۰۰۰۰۰ -(۹۰۷۰۰۰۰۰۰ +۴۰۰۶۲۸۰۰۰۰)

علاوه بر این، اثرات نامطلوب مورد انتظار بر زمان پروژه به میزان ۲۱/۹۱ (۵۳/۰۵- ۳۱/۱۴) هفته کاهش می‌یابد. در نهایت، با اجرای نتایج الگوریتم انتظار می‌رود اثرات نامطلوب بر کیفیت پروژه به اندازه ۸/۳۵٪ (۱۷/۵۴٪- ۹/۱۹٪) کاهش یابد. به عبارت دیگر، با اجرای روش پیشنهادی انتظار می‌رود اثرات نامطلوب بر زمان پروژه به اندازه ۴۱/۳٪ (۵۳/۰۵٪۲۱/۹)، اثرات نامطلوب بر هزینه پروژه به اندازه ۳۹/۳٪ (۸۱۰۱۰۰۰۰۰۰÷۳۱۸۷۷۲۰۰۰۰) و اثرات نامطلوب بر کیفیت پروژه به اندازه ۴۷/۶٪ (۱۷/۵۴/ ۸/۳۵) کاهش یابد.

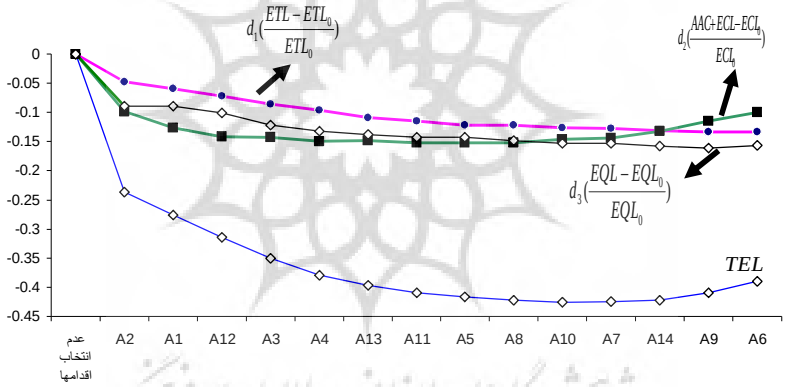
۵- نتیجه گیری وتحقیقات آتی

پیشرفت اقتصادی در کشورهای در حال توسعه مانند کشور ایران نیازمند انجام پروژه‌های زیر بنایی از جمله نیروگاه می‌باشد. به این منظور پروژه‌های زیادی در کشور در حال اجرا می‌باشد که

در معرض ریسک‌های مختلفی قرار دارند. انجام این تحقیق در راستای تحقق مدیریت ریسک مناسب در این پروژه‌ها می‌باشد که می‌تواند نقش قابل توجهی در رسیدن این پروژه‌ها به اهداف تعیین شده داشته باشد.

جدول (۱۱): بهبود زیان کل مورد انتظار به ازای هر اقدام انتخابی

کد اقدام	شرح اقدام	بهبود درزیان کل
A۲	بازنگری در استانداردهای تدوین احجام کاری	۰.۲۳۶۱
A۱	بازنگری در زمانبندی تامین تجهیزات اصلی بر اساس برنامه ریزی اقتضایی	۰.۰۳۹۵
A۱۲	افتتاح حساب مشترک بین پیمانکاران فرعی و مپنا	۰.۰۳۸۶
A۳	کنترل دقیق مستندات طراحی	۰.۰۳۵۵
A۴	تهیه یک بانک اطلاعاتی جامع از تامین کنندگان و پیمانکاران	۰.۰۲۹۱
A۱۳	افزایش تعامل با ارگانهای متولی خدمات عمومی	۰.۰۱۷۸
A۱۱	بازنگری در سیستم پرداختها به پیمانکاران فرعی	۰.۰۱۲۷
A۵	تحقیق درباره اعتبار اسناد زمین و سایر موارد مرتبط با معارضین از قبیل راههای دسترسی به سایت	۰.۰۰۷۱
A۸	طراحی و برگزاری دوره های آموزشی و توجیهی برای پیمانکاران و کار فرما	۰.۰۰۵۳
A۱۰	بهبود فرآیند کنترل کیفیت در حین ساخت تجهیزات	۰.۰۰۴۳
A۷	بازنگری در سیستم مدیریت پروژه پیمانکاران فرعی	-۰.۰۰۰۹
A۱۴	اصلاح روشهای اجرایی و مدارک طراحی متناسب با شرایط جوی محل پروژه	-۰.۰۰۳۲
A۹	قرارداد با یک شرکت مشاور جهت بهبود طراحی تجهیزات	-۰.۰۱۲۰
A۶	جایگزینی برخی از تجهیزات خارجی با تجهیزات مشابه ساخت داخل	-۰.۰۲۰۴



شکل (۳): تغییر زیان کل مورد انتظار و اجزای آن در هر تکرار روش ابتکاری حلقوی

بررسی ادبیات موضوع نشان داد تاکنون ابزارها و تکنیک‌های معدودی در زمینه ارزیابی و انتخاب اقدامات پاسخگویی به ریسک‌ها ارائه گردیده و هنوز کمبودهای قابل توجهی در این بخش وجود دارد. تحقیقات انجام شده عموما به صورت راهکارهای کلی بوده و یک مدل جامع

برای انتخاب اقدامات پاسخ ریسک وجود ندارد. در نتیجه اکثر سازمان‌ها موفق به کسب مزایای کامل مدیریت ریسک پروژه نمی‌گردند. در راستای رفع برخی کمبودهای موجود، در این مقاله یک مدل بهینه سازی پیشنهاد گردید که ساختار شکست کار، رخدادهای ریسک، اقدامات کاهش ریسک، ریسک‌های ثانویه و تأثیرات آنها را به‌طور یکپارچه بررسی می‌نماید. هدف مدل، حداقل سازی زیان کل مورد انتظار می‌باشد که شامل هزینه اجرای اقدام‌ها و اثرات نامطلوب مورد انتظار بر زمان، هزینه و کیفیت پروژه است. در مرحله بعد، روش‌های دقیق و ابتکاری برای حل مدل پیشنهاد ارائه گردید. در نهایت، به منظور اعتبارسنجی مدل، یک مطالعه موردی در پروژه‌های نیروگاهی انجام شده است. بر اساس نتایج کسب شده، مدل پیشنهادی برای مسائل دنیای واقعی مناسب و قابل کاربرد است. نتایج بیانگر آن است که با اجرای روش پیشنهادی انتظار می‌رود زیان کل به اندازه ۴۲/۶٪ و اثر ات نامطلوب مورد انتظار بر هزینه پروژه(با احتساب هزینه اجرای اقدامات) به اندازه ۳۹/۳٪ کاهش یابد. علاوه بر این، اثرات نامطلوب مورد انتظار بر زمان پروژه به اندازه ۴۱/۳٪ و اثرات نامطلوب بر کیفیت پروژه به اندازه ۴۷/۶٪ کاهش می‌یابد.

در تحقیقات آتی می‌توان از سایر روش‌های دقیق (مانند برنامه ریزی پویا) و روش‌های فراابتکاری برای حل مدل و مقایسه با روش‌های پیشنهادی در این تحقیق استفاده نمود. در نظر گرفتن برخی فرضیات اضافی (مانند تأثیرات متقابل پاسخ ها) نیز می‌تواند در آینده بررسی گردد. توسعه مدل در سایر پروژه‌ها نیز می‌تواند به عنوان یک موضوع تحقیقاتی مطرح باشد. علاوه براین، ایجاد نرم افزاری برای انجام محاسبات در شبکه‌های پیچیده بر اساس مدل پیشنهادی به عنوان یک موضوع تحقیقی پیشنهاد می‌گردد.

تشکر و قدردانی:

نویسند گان مقاله از گروه مپنا به خاطر حمایت‌های مالی و فنی از این تحقیق، بر اساس قرارداد پژوهشی شماره RD-۸۷-۰۹، قدردانی می‌نمایند.

References

۱- Ben-David, I. and Raz, T. (۲۰۰۱). An integrated approach to risk response development in project planning. Journal of the Operational Research Society,

۵۲(۱), ۱۴-۲۵.

۲- Ben-David, I., Rabinowitz, G. and Raz, T. (۲۰۰۲). Economic optimization of project risk management efforts. Project Risk Management Optimization, ۱, ۱-۱۰.

۳- Boehm, B.W. (۱۹۹۱). Software risk management: Principles and Practices. IEEE software, ۸, ۳۲-۴۱.

۴- Chang, D.Y. (۱۹۹۶). Applications of the extent analysis method on fuzzy AHP. European Journal of Operational Research, ۹۵, ۶۴۹-۶۵۵.

۵- Chapman, C.B. and Ward, S.C. (۱۹۹۷). Project risk management: processes, techniques and insights. Chichester, John Wiley and sons.

۶- Chapman, C.B. and Ward, S.C. (۲۰۰۳). Project risk management: processes, techniques and insights. Second ed., Chichester, John Wiley and sons.

۷- Chapman,C.B. (۱۹۷۹). Large engineering project risk analysis. IEEE Transaction on Engineering Management, ۲۶, ۷۸-۸۶.

۸- Chen, C.T., Lin, C. T. and Huang, S. F. (۲۰۰۶). A fuzzy approach for supplier evaluation and selection in supply chain management. International Journal of production economics, ۱۰۲, ۲۸۹-۳۰۱.

۹- Cho, H.N., Choi, H. H. and Kim, Y.B. (۲۰۰۲). A risk assessment methodology for incorporating uncertainties using fuzzy concepts. Reliability Engineering and system safety, ۷۸, ۱۷۳-۱۸۳.

۱۰- Conrow, E.H. (۲۰۰۳). Effective Risk Management: Some Keys to Success. Second ed., Reston, American Institute of Aeronautics and Astronautics.

۱۱- Cooper, D.F., Grey, S., Raymond, G. and Walker, P. (۲۰۰۵). Project risk management guidelines: Management risk in large projects and complex procurements. Chichester, John Wiley and sons.

۱۲- Datta S. and Mukherjee S.K. (۲۰۰۱). Developing a risk management matrix for effective project planning: An empirical study. Project Management Journal, ۳۲(۲), ۴۵-۵۷.

۱۳- Department of Energy (U.S. DoE) (۲۰۰۵). The owner's Role in Project Risk

Management. ISBN: ۰-۳۰۹-۵۴۷۵۴-۷.

۱۴- Elkjaer, M. and Felding, F. (۱۹۹۹). Applied project risk management: introducing the project risk management loop of control. Project management, ۵(۱), ۱۶-۲۵.

۱۵- Ertug˘rul, I. and Karakasog˘lu, N. (۲۰۰۹). Performance evaluation of Turkish cement firms with fuzzy analytic hierarchy process and TOPSIS methods. Expert Systems with Applications, ۳۶, ۷۰۲-۷۱۵.

۱۶- Haimes, Y. (۲۰۰۴). Risk modeling, assessment, and management. ۲nd edition, New York, John Wiley and sons.

۱۷- Hillson, D. (۱۹۹۹). Developing Effective Risk Response. Proceeding of the ۳۰th annual project management institute, seminar and symposium, Philadelphia, Pennsylvania, USA.

۱۸- Hillson, D. (۲۰۰۱). Effective Strategies for Exploiting Opportunities. Proceedings of the Project Management Institute Annual Seminars and Symposium, Nashville, Tenn., USA.

۱۹- Kerzner H. (۲۰۰۳). Project Management: A Systems Approach to Planning, Scheduling, and Controlling. ۸th ed., New York, Wiley.

۲۰- Klein, J. H. (۱۹۹۳). Modeling risk trade-off. Operational Research Society, ۴۴, ۴۴۵-۴۶۰.

۲۱- Klein, J. H., Powell P.L and Chapman, C.B. (۱۹۹۴). Project risk analysis based on prototype activities. Operational Research Society, ۴۵, ۷۴۹-۷۵۷.

۲۲- Kujawski E. (۲۰۰۲). Selection of technical risk responses for efficient contingencies. Systems Engineering, ۵(۳), ۱۹۴-۲۱۲.

۲۳- Lee, E., Park, Y. and Shin J. G. (۲۰۰۹). Large engineering project risk management using a Bayesian belief network. Expert Systems with Applications, ۳۶, ۵۸۸۰-۵۸۸۷.

۲۴- Lyons, T. (۲۰۰۲). Project risk management in the Queensland engineering construction industry. Masters of project management Dissertation, Queensland University of technology, Australia.

۲۵- Mikhailov L. and Tsvetinov, P. (۲۰۰۴). Evaluation of services using a fuzzy analytic hierarchy process. *Applied Soft Computing*, ۵, ۲۳-۳۳.

۲۶- Miler, J. (۲۰۰۵). A method of Software Project Risk Identification and Analysis. PhD Thesis, Gdansk University of Technology, Faculty of Electronics, Telecommunications and Informatics.

۲۷- Miller , R. and Lessard, D. (۲۰۰۱). Understanding and managing risks in large engineering projects. International Journal of Project Management, ۱۹, ۴۳۷-۴۴۳.

۲۸- Piney,C. (۲۰۰۲). Risk response planning: select the right strategy. Fifth project management conference, France.

۲۹- PMI (Project Management Institute), (۲۰۰۸). A Guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK Guide). ۴nd ed., Pennsylvania.

۳۰- Seyedhoseini, S. M., Noori, S. and Hatefi, M. A. (۲۰۰۷). Two-polar concept of project risk management. Conference on management innovation, Shanghai, China.

۳۱- Seyedhoseini, S. M., Noori, S., and Hatefi, M. A. (۲۰۰۹). An integrated methodology for assessment and selection of the project risk response actions. Risk Analysis, ۲۹(۵), ۷۵۲-۷۶۳. (In Persian)

۳۲- Yu, C.S. (۲۰۰۲). A GP-AHP method for solving group decision-making fuzzy AHP problems. Computers and operations research, ۲۹, ۱۹۶۹-۲۰۰۱.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی