

علوم و تکنولوژی محیط زیست، دوره بیست و یک، شماره چهار، تیرماه ۹۸

انتخاب استراتژی های پاسخ به ریسک زیست محیطی پروژه های ساخت و ساز با

استفاده از الگوریتم های فراابتکاری (مطالعه موردی: پروژه مجتمع ساختمانی صبا)

اسماعیل چراغی^{۱*}

echeraghi@ut.ac.ir

محمد خلیل زاده^۲

امیرپویا چراغی^۳

یاسر رحیمی^۴

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۹/۰۱

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۶/۰۹

چکیده

زمینه و هدف: غالباً اجرای پروژه های بزرگ به گونه ای است که عدم اطمینان و ریسک جزء ویژگی های ذاتی آن ها می باشد. این عدم اطمینان باعث عدم موفقیت چشم گیر اغلب پروژه های کشور در رسیدن به اهداف از پیش تعیین شده می باشد. بیش تر مطالعات پیشین به ارزیابی ریسک های زیست محیطی پرداخته اند به همین دلیل، در این مطالعه یک مساله در قالب یک مدل بهینه سازی برنامه ریزی عدد-صحیح خطی برای انتخاب پاسخ های ریسک مناسب برای ریسک های پروژه با رویکرد زیست محیطی پیشنهاد می شود. عدم شناسایی دقیق ریسک های ساخت پروژه های ساخت و ساز علاوه بر افزایش زمان و هزینه نهایی پروژه ها، خسارات اجتماعی، زیست محیطی و جانی در پی خواهد داشت. هدف پژوهش حل یک مدل ریاضی برای انتخاب استراتژی های پاسخ به ریسک های زیست محیطی و بهداشت شغلی بر اساس استاندارد ISO 14001-OHSAS 18001 پروژه های ساخت و ساز است.

روش بررسی: تمامی ریسک های زیست محیطی پروژه شناسایی شده و با استفاده از یک مدل ریاضی و الگوریتم فرا ابتکاری NSGAII یک روند حل برای به دست آوردن استراتژی مطلوب تر پاسخ به ریسک های زیست محیطی یک پروژه مجتمع ساختمانی با توجه به زمان، هزینه و کیفیت ارائه شده است.

۱- دکتری مهندسی صنایع دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران. * (مسئول مکاتبات)

۲- استادیار گروه مهندسی صنایع دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران.

۳- کارشناسی مهندسی عمران دانشگاه زنجان، زنجان، ایران.

۴- دکتری مهندسی صنایع دانشکده فنی دانشگاه تهران، تهران، ایران.

یافته‌ها: نتایج نشان می‌دهد برای ۱۰ ریسک مهم زیست محیطی شناسایی شده در پروژه با استفاده از روش FMEA و استاندارد ISO 31000 که مربوط به ۸ فعالیت مهم و بحرانی پروژه بر اساس ساختار شکست کار می‌باشد با استفاده از مدل ریاضی ارایه شده، استراتژی‌های مناسب پاسخ به ریسک‌ها به صورت بهینه انتخاب شدند و سیستم مدیریت ریسک در این پروژه به صورت مناسبی جاری سازی گردید.

بحث و نتیجه‌گیری: انتخاب استراتژی‌های مناسب پاسخ به ریسک‌ها در پروژه‌های عمرانی یکی از دغدغه‌های ذی‌نفعان پروژه می‌باشد. برای اولین بار از یک الگوریتم فرا ابتکاری برای انتخاب استراتژی‌های پاسخ به ریسک HSE پروژه‌های عمرانی استفاده شده است. در - برج صبا که مطالعه موردی این مقاله می‌باشد کل ریسک‌های اثر گذار در بحث زیست محیطی و بهداشت شغلی شناسایی شده و برای هر کدام از ریسک‌ها استراتژی پاسخ به ریسک مناسب داده شده است.

واژه‌های کلیدی: مدیریت ریسک زیست محیطی ، شناسایی ریسک، پاسخ به ریسک، الگوریتم فرا ابتکاری.

Selection of the strategies for responding the environmental risks of construction projects by metaheuristic algorithms

(Case Study: Saba construction complex project)

Esmail Cheraghi ^{1*}

echeraghi@ut.ac.ir

Mohammad Khalilzadeh ²

Amir Pooya Cheraghi ³

Yaser Rahimi ⁴

Admission Date: November 22, 2017

Date Received: August 31, 2017

Abstract

Background and Objective: Usually uncertainty and risk are the inherent characteristics of implementing large projects. This uncertainty leads to a significant failure of most of the country's projects in achieving their predetermined goals. Most of the previous studies have addressed environmental risk assessment. In this study a problem is proposed in the form of a linear integer programming optimization model to select appropriate risk responses to project risk with an environmental approach. Failure in accurately identifying the risks of construction projects, in addition to increasing the time and cost of final projects, leads to social, environmental and human damages. The aim of this study is to present a mathematical model for selecting the strategies to respond the environmental and occupational health risks according to ISO 14001-OHSAS 18001 standard of construction projects.

Method: All environmental risks of the project are detected and a solution process is proposed using a mathematical model and NSGAII metaheuristic algorithm to obtain a more favorable strategy for responding the environmental risks of a building construction project with respect to time, cost and quality.

Findings: The results showed that the appropriate strategies for responding the risks were chosen optimally and the risk management system in this project was properly implemented by applying the proposed mathematical model to the 10 significant environmental risks in the project identified by the FMEA method and the ISO 31000 standard which is related to 8 important and critical activities of the project based on the failure structure.

Discussion and Conclusion: Selection of appropriate strategies for responding the risks of construction projects is one of the concerns of project stakeholders. For the first time, a metaheuristic algorithm was used to select the strategies for responding the HSE risk of construction projects. In Saba Tower, as a case study, all the risks affecting the environmental and occupational health debate were identified and appropriate risk response strategies were provided for each risk.

Keywords: Environmental risk management, Risk detection, Response to risk, Metaheuristic algorithm.

1- PhD of Industrial Engineering, Islamic Azad University, Science and Research Branch, Tehran, Iran. * (Corresponding Author)

2- Assistant Professor of Industrial Engineering, Islamic Azad University, Science and Research Branch, Tehran, Iran.

3- Bachelor of Civil Engineering, University of Zanjan, Zanjan, Iran.

4- PhD of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, University of Tehran, Tehran, Iran.

مقدمه

در طی سال‌های اخیر، تحقیقات گسترده‌ای در زمینه مدیریت ریسک پروژه‌های عمرانی انجام گرفته است. غالباً این نوع از پروژه‌ها دربرگیرنده تعداد زیادی ذی‌نفع (مالک، پیمانکاران، طراحان فنی، سرمایه‌گذار، بیمه‌گر و ...) می‌باشند که مدنظر قرار دادن منافع، اهداف و مطالبات آن‌ها در اتخاذ تصمیم‌ها یکی از موارد لازم برای اطمینان از موفقیت پروژه می‌باشد. بسیاری از پروژه‌ها که فرض می‌شود تحت کنترل هستند، با ریسک به عنوان رخدادی شناخته‌شده روبرو گردیده و کوشش می‌کنند آن را کنترل کنند. به طور خاص، کار مربوط به خاک و تخریب‌ها به عنوان تولید کننده‌های اصلی گرد و غبار شناخته می‌شود. در حالی که برخی از مدیران به خوبی از عواقب آلودگی گرد و غبار آگاهی دارند، دیگران عواقب آن را احساس نمی‌کنند و درک می‌کنند که در بهترین حالت مزاحمت است (۱). اکثر پروژه‌ها چنین رخدادهایی را به خوبی از سر رد می‌کنند ولی با یک تلاش جامع مدیریت ریسک، رویدادهای ریسک قبل از وقوع، شناسایی و کنترل می‌گردند و یا برنامه‌ای تهیه می‌شود که در زمان وقوع این رویدادها با آن‌ها مقابله کند (۲). پروژه‌های عمرانی همواره در معرض ریسک‌های مختلفی هستند که این ریسک‌ها در صورت عدم مدیریت صحیح می‌توانند باعث کاهش عملکرد و حتی شکست پروژه شوند. بنابراین، به منظور حصول عملکرد مطلوب در پروژه‌های ساخت و ساز، بکارگیری دانش مدیریت ریسک ضروری است (۳).

شناسایی ریسک اولین مرحله روند مدیریت ریسک است که در آن خطرات بالقوه شناسایی می‌شوند. کنترل ریسک نیز به عنوان یک روند بسیار مهم به منظور دستیابی به اهداف پروژه در ضوابط زمان، هزینه، کیفیت و ایمنی مشخص شده است. زمانی که ریسک‌های یک پروژه شناسایی و تحلیل می‌شوند، راهبردهای مناسب پاسخ به ریسک باید اتخاذ شوند. مهندسی ریسک، گامی در جهت علمی تر شدن و اثر بخشی و کارایی بیش‌تر مدیریت پروژه می‌باشد. ویژگی‌هایی چون منحصر به فرد بودن پروژه، قابلیت اعتماد نسبی در فرضیات، و الزامات پروژه، همچنین عدم قطعیت در طراحی، تامین و تدارک

تجهیزات پروژه، مراحل اجرا و نصب اسکلت و ساخت، روابط بین اعضاء و اهداف پروژه و نیز انتظار بوجود آمدن هدف مورد نظر در انتهای فرآیند پروژه، منشا بروز ریسک در پروژه قلمداد می‌گردند و به همین علت نیاز به برنامه ریزی استراتژی مدیریتی جهت بررسی ریسک‌های پروژه اجتناب ناپذیر می‌باشد (۴،۵). هدف مدیریت ریسک این است که خود به عنوان عامل تغییر عمل نموده، موقعیت مبهم فعلی را اداره کرده و روشی کنترل شده و مدیریت پذیر را برای این مسئله در اختیار تیم مدیریت بگذارد. در پروژه‌ها، این مدیریت باید از سوی تمامی نهاد های حاضر (کارفرما، مشاور و پیمانکار) اعمال شود (۶،۷).

در محیط پرتلاطم و سرشار از تغییرات سریع جهان امروز که سرشار از عدم قطعیت‌ها و ریسک‌ها است، شرط بقا و موفقیت، آگاهی و شناخت محیط و تصمیم‌گیری صحیح و سریع است. در صورت عدم شناسایی عوامل ریسک زای درونی و بیرونی در پروژه، خطای تصمیم‌گیری‌های مدیریتی و برآوردهای زمان و هزینه افزایش می‌یابد. با استفاده از مدیریت ریسک می‌توان عوامل ریسک‌زا را شناسایی کرد و با تجزیه و تحلیل و انتخاب راهبردهای مناسب آن‌ها را کنترل و یا از بین برد. مدیریت-ریسک مجموعه فرآیندهای لازم برای شناسایی، تجزیه و تحلیل و واکنش در مقابل ریسک پروژه به منظور پیشینه کردن نتایج و قایع مثبت و کمینه کردن پیامدهای وقایع ناگوار و منفی است که می‌تواند روی اهداف اصلی پروژه تأثیر بگذارد. 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 (۸). مدیریت ریسک پروژه یکی از حوزه‌های مهم مدیریت پروژه می‌باشد و برخی محققین مدیریت پروژه را معادل مدیریت ریسک پروژه‌ها تعریف نموده‌اند. فرآیند مدیریت ریسک به دو مرحله اصلی ارزیابی ریسک‌ها (شامل شناسایی و تحلیل ریسک‌ها) و پاسخ‌گویی به آن‌ها قابل تقسیم می‌باشد (۹). بر طبق نظر کانرو (۱۰)، تمامی

تجهیزات می باشد که کمی سازی آن ها در روش های سنتی مشکل است (۲).

تکنیک های هوش مصنوعی می توانند کاربردهای وسیعی در مدیریت ریسک داشته باشند (۳). همچنین در تحقیقی دیگر ونزی و دانیانگ از مدل شبکه عصبی فازی جهت ارزیابی ریسک شرکت های بزرگراه در چین بهره گرفتند. مدل بکار گرفته شده توسط آن ها تا حدی می تواند فرآیند تصمیم گیری و دستیابی به راه حل بهینه را برای مدیران تسهیل کند (۱۵).

در تحقیقی دیگر، با تمرکز بر مشارکت بخش خصوصی تمرکز در شهر تهران (RSAPE co.)، یک ساختار ترکیبی MCDM برای ارزیابی پروژه های ساخت و ساز هتل ها بر پایه پایداری محیطی استفاده شده است. با توجه به تاثیرات بالای ساختمان ها بر محیط زیست و آب و هوا، ضرورت پایداری محیط زیست می تواند روشن باشد. معیار تصمیم گیری مدل بر اساس روش SWARA با مشارکت هشت کارشناس ارزیابی می شود. پس از آن، وزن های مشتق شده در COPRAS برای حل مساله تصمیم گیری و دستیابی به رتبه بندی کامل پروژه های جایگزین استفاده می شود (۱۶).

فان و همکاران یک چارچوب مفهومی که ارتباط بین پاسخ های ریسک و ویژگی های پروژه (اندازه پروژه، شناوری و پیچیدگی های تکنیکی) را بیان می کند، ارائه کردند. این مدل مفهومی یک ارتباط کمی بین تمام متغیرهای موجود در پروژه را توصیف می کند. در انتها نیز یک آنالیز بهینه سازی برای انتخاب استراتژی های پاسخ برای ریسک های جاری ارائه شده است به طوری که هزینه حداقل شود (۱۷).

مسأله انتخاب پاسخ برای ریسک ها را می توان در قالب یک مسأله بهینه سازی (OB) مدل سازی نمود. در این رویکرد تابع هدف حداقل کردن هزینه اجرای پاسخ های ریسک و محدودیت های آن شامل ترکیب استراتژی ها با هم است (۱۸). در این رویکرد مجموعه ای از اقدامات به گونه ای انتخاب می شود که ضمن برآورده ساختن محدودیت های سیستم، تابع هدف مربوطه بهینه گردد. مدل بهینه سازی باید نقطه بهینه ای را

گام های فرآیند مدیریت ریسک دارای اهمیت یکسانی بوده و انجام ناقص هر یک از گام ها منجر به مدیریت ریسک غیر موثر می شود. فرآیند مدیریت ریسک موثر با ارزیابی موثر ریسک ها شروع می شود و بدون انجام این مرحله، مدیریت ریسک ها امکان پذیر نیست. از طرف دیگر، بسیاری از محققین تاکید نموده اند که شناسایی و ارزیابی ها ریسک بدون پاسخ گویی به آن ها مفید نیست (۱۱).

ادبیات موضوع

علم مدیریت ریسک در دوره رنسانس در قرن شانزدهم میلادی مطرح گردید. از سال ۱۹۹۰ میلادی مدل های مختلفی برای مدیریت ریسک پروژه ها با هدف افزایش موفقیت آن ها ارائه گردیده است (۱۲، ۱۳). در اغلب این مدل ها، پاسخ گویی به ریسک ها، از قدم های اساسی می باشد. برخی از مدل ها، دارای گام های ساده و برخی دارای جزئیات پیش تری هستند. در طی سالیان گذشته روش های مختلفی جهت ارزیابی ریسک های پروژه مورد استفاده قرار گرفته اند که در مقالات مختلف در زمینه مدیریت ریسک به تفصیل درمورد آن ها سخن گفته شده است. از جمله تکنیک های به کار گرفته شده در این زمینه، می توان به تحلیل چک لیست، تکنیک SWOT، تکنیک دلفی و تکنیک های تصمیم گیری چند معیاره مانند AHP که روش های سنتی می باشند، اشاره کرد. همچنین، روش هایی مانند استنتاج فازی، سیستم های پشتیبان تصمیم و سیستم های خبره به عنوان روش های جدیدتر مطرح شده است. در سالهای اخیر، بررسی ها نشان می دهد که استفاده از منطق فازی حوزه مدیریت ریسک ها به دلیل سازگاری بیش تر با ماهیت عدم قطعیت و ریسک، به طرز چشمگیری مورد توجه محققان این عرصه قرار گرفته است (۱۴). براساس نظر سادبوری و سافولک اثر ریسک معمولاً می تواند با توجه به دو پارامتر اصلی ریسک، یعنی احتمال وقوع ریسک و شدت ریسک ارزیابی شود. اما باید به این نکته توجه داشت که شدت یک ریسک خاص، به شدت، تابع فاکتورهای زیادی مانند فاکتورهای انسانی، فاکتورهای محل کار، فاکتورهای مواد و فاکتورهای

محاسبه نماید که در آن مجموع هزینه‌های ناشی از ریسک‌ها و هزینه اجرای پاسخ‌ها کم‌ترین مقدار باشد.

مدل ریاضی تحقیق

پس از شناسایی ریسک‌های محیط زیستی و بهداشت در شرکت عمرانی صنعتی پارس گرما که مهم‌ترین آن‌ها عبارتند از: سقوط از ارتفاع، پرتاب اجسام/ ذرات، تماس با سطح داغ، طراحی نامناسب ایستگاه کاری، ریزش نفت و گازوئیل و مواد نفتی، زباله مواد غذایی، ضایعات نظافت دستگاه‌ها و ماشین آلات، قطعات تعویضی (حاصل از تعمیرات)، ضایعات برشکاری و جوشکاری و دفع زایدات که از استاندارد ISO 31000-FMEA OHSAS 18001-ISO 14001 بر اساس رویکرد FMEA بهره می‌گیرند، استراتژی‌های پاسخ به ریسک‌های مهم را شناسایی کرده و با استفاده از یک مدل ریاضی روند حلی برای به دست آوردن استراتژی مطلوب ترارایه شده است. مدل- ریاضی مورد نظر برای ارزیابی و انتخاب پاسخ‌های ریسک پروژه که ساختار شکست کار، رویدادهای ریسک، اقدامات کاهش ریسک زیست محیطی و تأثیرات آن‌ها را به طور صریح با یکدیگر مرتبط می‌نماید ارائه شده است.

مساله مطرح شده در این پژوهش، طراحی یک مدل راضی بهینه سازی برای انتخاب استراتژی‌های پاسخ به ریسک‌های زیست محیطی پروژه مجتمع ساختمانی است به منظور حل این مساله، یک متغیر تصمیم صفر و یک تعریف می‌شود: اگر استراتژی پاسخ i برای ریسک j مربوط به فعالیت k انتخاب شود یک و در غیر این صورت صفر می‌باشد. برای بهینه سازی انتخاب استراتژی‌های پاسخ به ریسک پروژه، از یک مدل برنامه ریزی عدد صحیح برای به حداکثر رساندن اثرات کل پاسخ به ریسک با توجه به بودجه، زمان بندی و کیفیت به طور همزمان استفاده می‌شود. تابع هدف مدل انتخاب مجموعه ای از استراتژی‌هاست که اثر پاسخ به ریسک تخمینی را پس از پیاده سازی استراتژی پاسخ به ریسک در مواجهه با رویداد ریسک‌ها حداکثر می‌کند. ریسک‌های پروژه به دلیل پیچیدگی پروژه در عمل پیچیده هستند. بنابراین، پیش فرض‌های زیر برای راحتی تجزیه و تحلیل مدل در نظر گرفته شده است.

مجموعه‌ها

A	مجموعه استراتژی‌های پاسخ به ریسک
R	مجموعه رویداد ریسک‌های زیست محیطی
W	مجموعه فعالیت‌های کاری
M	مجموعه ای از همه ی جفت استراتژی‌هایی که یکدیگر را حذف می‌کنند.
$\bar{M}$	مجموعه ای از همه ی جفت استراتژی‌های که روی یکدیگر تاثیر مثبت می‌گذارند.

پارامترها

TB	بودجه اختصاص داده شده برای پیاده سازی استراتژی‌های پاسخ به ریسک
W_k	k امین فعالیت کاری
R_j	j امین رویداد ریسک
A_i	i امین استراتژی پاسخ به ریسک
C_{ijk}	هزینه پیاده سازی i امین استراتژی پاسخ به ریسک j ام مربوط به فعالیت k ام
t_j^k	تعداد روزهای تاخیری تخمین زده شده ی اجرای فعالیت W_k هنگامی که ریسک R_j رخ می‌دهد.
q_j^k	تخمین میزان کیفیت کاهش یافته اجرای فعالیت W_k هنگامی که ریسک R_j رخ می‌دهد.
e_{ij}^k	تخمین تاثیر پاسخ به ریسک فعالیت W_k پس از پیاده سازی استراتژی پاسخ به ریسک A_i برای مقابله با رویداد ریسک R_j
t_{ij}^k	تعداد روزهای کاهش یافته اجرای فعالیت W_k پس از پیاده سازی استراتژی پاسخ به ریسک A_i برای مقابله با رویداد ریسک R_j
q_{ij}^k	میزان کیفیت بهبود یافته اجرای فعالیت W_k پس از پیاده سازی استراتژی پاسخ به ریسک A_i برای مقابله با رویداد ریسک R_j
φ^k	حداکثر تاخیر زمانی مجاز برای فعالیت k ام
γ^k	حد بالا برای کاهش کیفیت فعالیت W_k
W_k	حد بالای تاخیر تحویل پروژه

متغیرهای تصمیم

اگر استراتژی پاسخ i برای ریسک j مربوط به فعالیت X_{ijk} انتخاب شود یک و در غیر این صورت صفر می باشد.

مدل برنامه ریزی عدد صحیح :

$$\text{Max } z = \sum_i \sum_k \sum_j e_{ijk}^k x_{ijk} \quad (1)$$

$$\sum_i \sum_j \sum_k c_{ijk} \max_j x_{ijk} \leq TB \quad (2)$$

$$j = 1, \dots, n$$

$$\sum_j t_j^k - \left(\sum_j \left[\sum_i t_{ij}^k x_{ijk} \right] \right) \leq \varphi^k \quad (3)$$

$$k = 1, \dots, l-1$$

$$\sum_j q_j^k - \left(\sum_j \left[\sum_i q_{ij}^k x_{ijk} \right] \right) \leq \gamma^k \quad (4)$$

$$k = 1, \dots, l-1$$

$$\sum_j t_j^l - \left(\sum_j \left[\sum_i t_{ij}^l x_{ijl} \right] \right) \leq T_{max} \quad (5)$$

$$\sum_j q_j^l - \left(\sum_j \left[\sum_i q_{ij}^l x_{ijl} \right] \right) \leq Q_{max} \quad (6)$$

$$x_{ijk} + x_{i'j'k'} \leq 1 \quad (7)$$

$$\forall j, j', i, i', k, k' (A_i, A_{i'}) \in M$$

$$x_{ijk} + x_{i'j'k'} = 1 \quad (8)$$

$$\forall j, j', i, i', k, k' (A_i, A_{i'}) \in M$$

$$x_{ijk} - x_{i'j'k'} \leq 0 \quad (9)$$

$$\forall j, j', i, i', k, k' (A_i, A_{i'}) \in \bar{M}$$

$$x_{ijk}, x_{i'j'k'} \in \{0, 1\} \quad (10)$$

$$\forall j, j', i, i', k, k'$$

در این مدل، تابع هدف (۱) تمام اثرات پاسخ به ریسک تخمین زده شده را برای تمامی فعالیت های کاری حداکثر می کند. محدودیت (۲) تضمین می کند که هزینه های اجرای استراتژی

های پاسخ به ریسک فعالیت ها مطابق با بودجه مورد نیاز است، و " Max_j " در محدودیت (۲) می تواند تضمین کند که هزینه اجرای هر استراتژی پاسخ به ریسک هر فعالیت نمی تواند بیش از یک بار شمارش شود. محدودیت (۳) تضمین می کند که هر یک از فعالیت های کاری (به جز آخرین فعالیت کاری) در زمان مقرر به پایان می رسد و یا حداقل بر شروع پس نیازی های برنامه ریزی شده اش تاثیر نخواهد گذاشت. در محدودیت، ارزش پارامتر φ^k را می توان از برنامه پروژه به دست آورد و $\varphi^k \geq 0$. محدودیت (۴) تضمین می کند که هر یک از فعالیت های کاری (به جز آخرین فعالیت کاری) سطح معینی از کیفیت را حفظ می کنند. و یا حداقل بر ساختار نرمال پس نیازی های آن تاثیر نخواهد گذاشت. در مدل، عملکرد کیفیت تحت شرایط عادی در سطح ۹۹٪ و ۹۰٪ برای هر فعالیت انتظار می رود. محدودیت (۵) نشان می دهد که آخرین فعالیت کاری باید در تاریخ تکمیل پروژه به اتمام رسد و $T_{max} \geq 0$. محدودیت (۶) نشان می دهد که آخرین فعالیت کاری باید با استاندارد کیفیت پروژه تطابق یابد. محدودیت (۷) بیان می کند که استراتژی A_i و $A_{i'}$ یکدیگر را حذف می کنند. محدودیت (۸) تضمین می کند که یک استراتژی باید از بین A_i و $A_{i'}$ انتخاب شود. محدودیت (۹) بیان می کند که انتخاب یک استراتژی مستلزم آن است که استراتژی خاص دیگری نیز انتخاب شود.

مطالعه موردی شرکت عمرانی صنعتی پارس گرما (پروژه مجتمع ساختمانی)

شرکت عمرانی و صنعتی پارس گرما با تکیه بر تجارب ارزنده خود در زمینه ارایه خدمات فنی و مهندسی به شیوه های پیمانکاری و طرح و ساخت فعالیت دارد. پروژه مورد بررسی در شرکت پارس گرما، مجتمع ساختمانی که شامل دو ساختمان ۲ و ۸ طبقه می باشد. جمعا زیر بنای پروژه حدود ۲۱۰۰۰ متر مربع می باشد. مدت قرارداد ۳۶ ماه می باشد. در شکل ۱ تصاویری از اجرای پروژه آورده شده است.



شکل ۱- تصاویر اجرایی پروژه

Figure 1- Executable project images

نتایج محاسباتی

طور صریح با یکدیگر مرتبط می‌نماید. برای برقراری ارتباط بین مدل انتخاب پاسخ ریسک‌ها با کل سیستم پروژه، در نظر گرفتن ساختار شکست کار به عنوان محور ارتباط ضروری می‌باشد. به عبارت دیگر، ساختار شکست کار تنها محوری است که می‌تواند به عنوان کانالی مهم در یکپارچه‌سازی سیستم جامع مدیریت پروژه با زیر سیستم‌های دیگر از قبیل مدیریت ریسک در نظر گرفته شود. ریسک‌های مهم طبقه بندی شده و فعالیت‌های مهم و بحرانی پروژه و پاسخ‌های ریسک پروژه به ترتیب در جدول‌های ۱ و ۳ آورده شده است.

ابتدا با استفاده از رویکرد FMEA و استاندارد مدیریت ریسک ISO 31000-ISO 14001-OHSAS 18001 شرکت پارس گرما اهمیت و اولویت ریسک‌های فعالیت‌های مهم و بحرانی پروژه صبا را شناسایی و سپس در ادامه بر اساس ریسک‌های مهم شناسایی شده تمامی استراتژی‌های پاسخ به ریسک شناسایی خواهد شد و سپس با استفاده از رویکرد بهینه سازی (با استفاده از نرم افزار MATLAB) ابتدا یک مدل مفهومی برای ارزیابی و انتخاب پاسخ‌های ریسک زیست محیطی پروژه پیشنهاد می‌شود که ساختار شکست کار، رویدادهای ریسک زیست محیطی، اقدامات کاهش ریسک و تأثیرات آن‌ها را به

جدول ۱- ریسک‌های مهم طبقه بندی شده با استفاده از روش FMEA و استاندارد ISO 31000

Table 1- Description of identified project risks

کد ریسک	شرح ریسک‌های زیست محیطی و بهداشت
R_1	سقوط از ارتفاع
R_2	پرتاب اجسام/ذرات
R_3	تماس با سطح داغ
R_4	طراحی نامناسب ایستگاه کاری
R_5	ریزش نفت و گازوئیل و مواد نفتی
R_6	زباله مواد غذایی
R_7	ضایعات نظافت دستگاهها و ماشین آلات
R_8	قطعات تعویضی (حاصل از تعمیرات)
R_9	ضایعات برشکاری و جوشکاری
R_{10}	دفع زایدات

جدول ۲- فعالیت های مهم و بحرانی پروژه بر اساس ساختار شکست کار

Table 2- Project work of packages based on the WBS

کد فعالیت	شرح فعالیت ها
W_1	خاک برداری و نیلینگ
W_2	آرماتور بندی
W_3	اسکلت فلزی
W_4	تاسیسات لوله کشی
W_5	اجرای تیغه بندی خارجی و داخلی
W_6	اندود گچ و خاک
W_7	کرم بندی و عایق کاری
W_8	نازک کاری

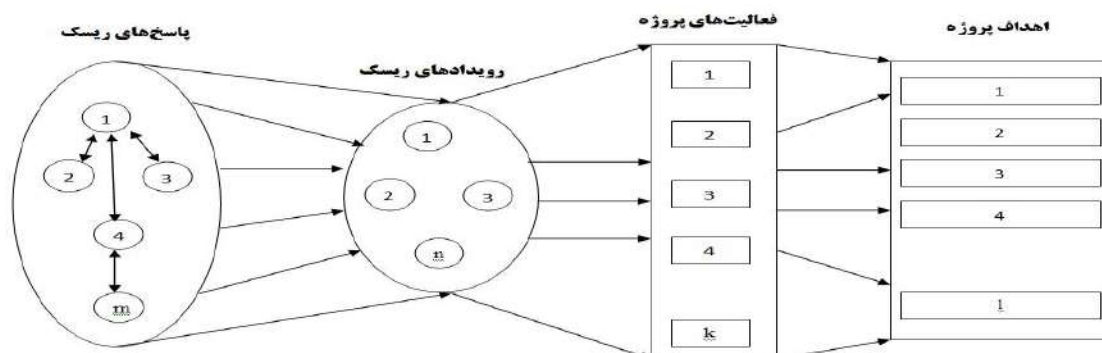
جدول ۳- شرح پاسخ های ریسک در پروژه مورد مطالعه

Table 3- Description of risk responses project

کد پاسخ ها	شرح پاسخ ها
A_1	سرویس دوره ای سیستم برقی
A_2	وجود بخاری داخل کابین
A_3	استفاده از افراد ماهر
A_4	بلند کردن بارهای بیش از ۲۵ کیلو و خارج از توان با جرثقیل و یا با کمک دیگر افراد
A_5	بتن کردن محل قرار گیری ژنراتور
A_6	استفاده از دستکش
A_7	جمع آوری نخاله ها و انتقال به محل دپو
A_8	استفاده مجدد از روی سفید کاغذها
A_9	عدم قرارگیری افراد متفرقه در کنار شعله ، استفاده از عینک محافظ
A_{10}	استفاده از گوشی محافظ
A_{11}	استفاده از ماسک و کار در فضای باز
A_{12}	اجرای نرده حفاظ -علائم هشدار دهنده دور گود
A_{13}	استفاده از کفش ایمنی و دستکش
A_{14}	وجود تخته های سالم، محکم نمودن پایه ها
A_{15}	آموزش اولیه افراد توسط مسئول HSE
A_{16}	سالم بودن کابل ها، عایق بودن محل اتصال، مهارت و استفاده از دستکش توسط جوشکار

پاسخ‌ها ارایه شده است، ریسک‌ها مستقل از هم هستند ولی پاسخ‌ها وابسته به هم می‌توانند باشند.

در شکل ۲ چارچوب مدل پیشنهادی برای انتخاب پاسخ‌های ریسک زیست محیطی پروژه با در نظر گرفتن ارتباط بین



شکل ۲- چارچوب مدل پیشنهادی برای انتخاب پاسخ‌های ریسک

Figure 2- Proposed framework for the selection of the risk responses

مقدار شود یعنی میزان حداکثر کاهش کیفیت در بازه بین ۱٪ تا ۱۰٪ می‌باشد: $\gamma^k \in [1\%, 10\%]$. جدول ۵. تاثیر پیاده سازی استراتژی پاسخ به ریسک زیست محیطی بر کاهش هزینه ریسک‌ها در صورت رخداد را نشان می‌دهد که تخمین تاثیر استراتژی پاسخ یکی از تاثیر گذارترین پارامترها در مدل ریاضی ارایه داده شده می‌باشد. همچنین تعداد روزهایی که از تاخیر جلوگیری می‌کند در جدول بعدی آمده است در جدول ۶. تخمین تعداد روزهای فعالیتهایی که پس از پیاده سازی استراتژی پاسخ به ریسک کاهش یافته اند.

مقدار حداکثر زمان ۵ روز و کیفیت برابر ۱۰ در فعالیت آخر پروژه می‌باشد. مقدار هزینه ریسک‌ها در صورت وقوع و مقدار هزینه لازم برای اجرای پاسخ‌های ریسک در نرم افزار MATLAB وارد شده است. همچنین مقدار تاخیرات زمانی که هر فعالیت از اتفاق هر ریسک خواهد داشت و میزان کاهش کیفی هر فعالیت در صورت وقوع هر ریسک در نیز در نرم افزار مربوطه وارد شده است. جدول ۴. میزان حداکثر مجاز کاهش زمان (روز) و کیفیت هر فعالیت (درصد) را ارایه می‌کند، کیفیت به دست آمده توسط هر فعالیت تحت شرایط قابل قبول و ایده آل ۹۹٪ و ۹۰٪ فرض شده است و نباید کمتر از این

جدول ۴- میزان حداکثر مجاز زمان تاخیر شده (روز) و کیفیت هر فعالیت (درصد)

Figure 4- The maximum delay time (days) and the quality of each Work of Packages (percent)

حداکثر مجاز	فعالیت‌ها							
	W1	W2	W3	W4	W5	W6	W7	W8
γ^k	۱۰٪	۱۰٪	۱۰٪	۱۰٪	۱۰٪	۱۰٪	۱۰٪	۱۰٪
φ^k	۱۳	۱۵	۱۵	۱۰	۱۴	۱۵	۱۲	۱۰

جدول ۵- تخمین تاثیر استراتژی پاسخ بر کاهش هزینه ی ریسک های زیست محیطی (هزار تومان)

Table 5- Estimate the impact of response strategies to reduce the cost of risk (Thousands of Toman)

استراتژی های پاسخ به ریسک	ریسک ها									
	r ₁	r ₂	r ₃	r ₄	r ₅	r ₆	r ₇	r ₈	r ₉	r ₁₀
A ₁	۳۳۲	۷۲۶	-	-	-	-	-	-	-	-
A ₂	-	-	۴۷۳	۴۰۶	-	-	-	۲۵۱۱	-	-
....										
A ₁₅	۸۴۹	۴۰۴	-	-	-	-	-	-	۱۵۳	-
A ₁₆	-	-	-	۴۲۱	-	-	-	۱۵۰۱	۲۵۲	۳۵۹

جدول ۶- تخمین تعداد روزهای کاهش یافته پس از پیاده سازی استراتژی پاسخ به ریسک زیست محیطی

Table 6- Estimated number of days decreased after the implementation of the strategy to risks

t_{ij}^k		فعالیت ۱									
		ریسک ها									
		r ₁	r ₂	r ₃	r ₄	r ₅	r ₆	r ₇	r ₈	r ₉	r ₁₀
استراتژی های پاسخ	A ₁	۱۵	۱۰								
	A ₂								۱۱		
	A ₃										
	A ₄								۸		
	A ₅								۱۵		
											
	A ₁₄							۱۵			
	A ₁₅	۳۹	۳۵							۳۹	
	A ₁₆								۱۵	۱۹	۱۷

تحلیل نتایج

غیر ممکن است، بنابراین روش های حل ابتکاری^۲ و فراابتکاری^۳ از جایگاه ویژه ای بین پژوهشگران برخوردار شده اند. به منظور حل مدل پیشنهادی که یک مدل برنامه ریزی ریاضی چند هدفه می باشد، یک الگوریتم فراابتکاری بسیار کارا به اسم NSGA-II استفاده می گردد که امکان تطبیق با فضای جستجو را دارا

در سایزهای بزرگ نرم افزار بهینه سازی GAMS قادر به پیدا کردن جواب بهینه نخواهد بود بنابراین برای حل این مسایل از الگوریتم های فراابتکاری استفاده می کنیم. حل مسایل با اندازه واقعی توسط الگوریتم های دقیق^۱ بسیار زمان بر و گاهی

2- Heuristic
3- Meta-heuristic

1- Exact Algorithms

پراکندگی بیشتر از جواب‌های سطح با اولویت بالاتر آغاز می‌شود. اگر تعداد جواب‌هایی که در سطح اول قرار می‌گیرد برابر با N باشد، همه جواب‌ها پذیرفته می‌شود. اگر تعداد جواب‌های سطح اول بیشتر از N باشد، از میان آن‌ها N جوابی که فاصله ازدحام بیش‌تری دارند انتخاب می‌شوند. اگر تعداد جواب‌های این سطح کمتر از N باشد تمامی جواب‌های سطح اول پذیرفته و به سراغ سطح بعدی می‌رویم. اگر با اضافه نمودن تمامی جواب‌های این سطح تعداد جواب‌ها به N برسد پس تمام جواب‌های این سطح را می‌پذیریم. اگر با اضافه نمودن جواب‌های سطح دو تعداد جواب‌ها از N بیش‌تر شود، از میان جواب‌ها آن‌هایی که معیار فاصله ازدحام بیش‌تری دارند انتخاب می‌شوند و زمانی که با جواب‌های این سطح تعداد جواب‌ها به N نرسد به سراغ سطح بعدی می‌رویم. این الگوریتم با یک راه کار موقعیتی انتخاب، وجود مجموعه متنوعی از جواب‌ها در جمعیت را تضمین می‌کند. ساختن جمعیت‌ها با روال فوق تا زمانی که شرط توقف صادق باشد ادامه می‌یابد.

فاصله ازدحام به معنای چگالی جواب‌های موجود در کنار یک جواب خاص می‌باشد. هرچقدر ازدحام بیش‌تر باشد فاصله ازدحامی کم‌تر است. حالت ایده‌آل جواب‌هایی با فاصله ازدحامی بیش‌تر است. شکل‌های ۳ فلوچارت الگوریتم NSGA-II را نشان می‌دهد:

بوده و نزدیک‌ترین و سریع‌ترین مسیر را برای رسیدن به جواب بهینه انتخاب می‌کند.

الگوریتم NSGA-II

در دهه‌های گذشته، تعدادی الگوریتم تکاملی چندهدفه ارائه داده شده است. دلیل اصلی آن، توانایی‌شان در پیدا کردن چندین جواب بهینه پارتو در یک اجرای شبیه‌سازی می‌باشد. چون الگوریتم‌های تکاملی با یک جمعیتی از جواب‌ها کار می‌کنند، یک الگوریتم تکاملی باید برای حفظ یک مجموعه جواب پراکنده توسعه داده شود. یکی از اولین الگوریتم‌های تکاملی، الگوریتم ژنتیک مرتب سازی نامغلوب NSGA است که توسط سرینیواس^۱ و دب‌در سال ۱۹۹۴ مطرح شد. در طول سالیان، انتقادات اصلی رویکرد NSGA مطابق زیر است:

❖ پیچیدگی بالای محاسباتی مرتب سازی نامغلوب

❖ فقدان نخبه‌گرایی^۳

❖ نیاز به مشخص کردن پارامتر اشتراک

بدین منظور دب و همکاران (Deb et al. ۲۰۰۲) الگوریتمی به نام الگوریتم‌های فراابتکاری چندهدفه ژنتیک با مرتب‌سازی نامغلوب^۴ یا NSGA-II را با هدف کاهش مشکلات فوق ارائه دادند. این الگوریتم با ترکیب جمعیت فرزندان و والدین (هر کدام با اندازه N)، ارزیابی آن‌ها را با استفاده از یک روش مرتب‌سازی نامغلوب سریع، رویکرد نخبه‌گرایی و مکانیزم کارای فاصله ازدحام^۵ انجام می‌دهد. در این الگوریتم تکاملی جست و جوی همسایگی به کمک عملگرهای موجود در الگوریتم ژنتیک نظیر انتخاب، تقاطع^۶ و جهش^۷ می‌باشد. پس از ادغام جمعیت‌های والدین و فرزندان، مرتب‌سازی نامغلوب با تعداد مقایسات بیش‌تر صورت می‌گیرد. در این مرحله سطوح نامغلوب به ترتیب اولویت‌شان نسبت به یکدیگر مشخص می‌شوند. انتخاب N جواب بعنوان جمعیت بعدی با کیفیت و

1- Srinivas

2- Deb

3- Elitism

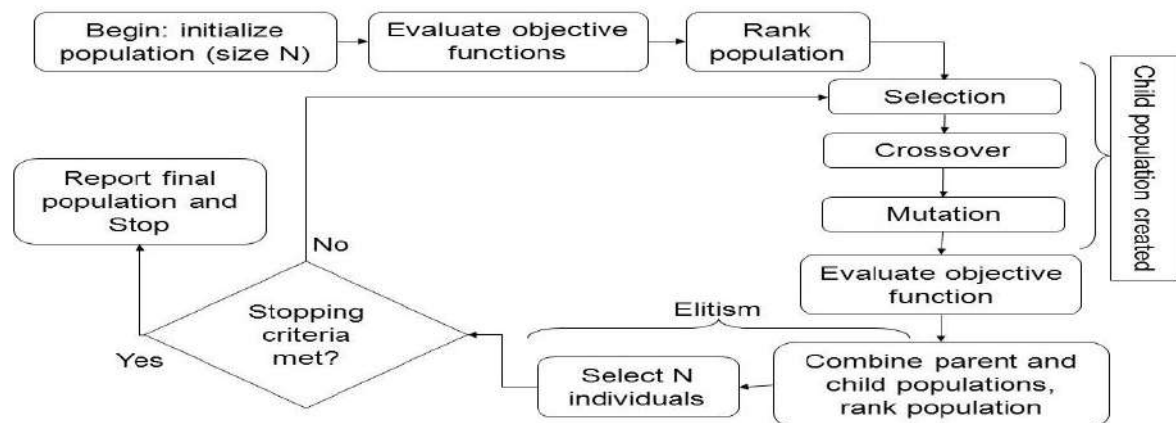
4- Non-Dominated Sorting Genetic Algorithm

5- Crowding distance

6- Selection

7- Crossover

8- Mutation



شکل ۳- فلوچارت الگوریتم NSGAII

Figure 3- The algorithm flowchart NSGAII

اپسیلون محدودیت^۱:

ایده اولیه روش اپسیلون- محدودیت این است که ابتدا یکی از اهداف چندگانه به عنوان تابع هدف اصلی مساله بهینه سازی انتخاب می شود و بقیه توابع هدف ضمن در نظر گرفتن یک حد بالا و پایین برای آن ها (تشکیل جدول منفعت)^۲، به محدودیت های مساله منتقل می گردند. بدین ترتیب با تغییر سمت راست محدودیت های مربوط به این توابع از حد بالای آن ها به سمت حد پایین و تکرار حل مساله، تمامی جواب های پارتوی ممکن برای مساله چندهدفه تولید می گردد. فرم کلی مساله اپسیلون- محدودیت به قرار زیر است:

$$\text{Min } Z_j(x)$$

s.t.

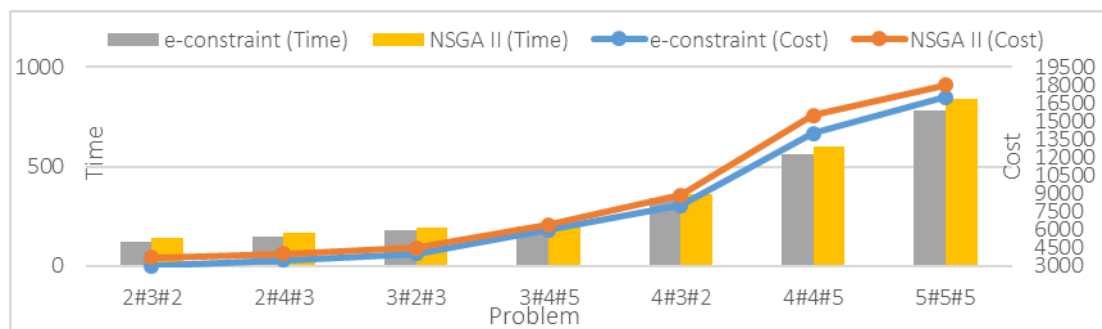
$$Z_k(x) + s_k = \varepsilon_k \quad \forall k \neq j$$

$$x \in X, s_k \in R^+$$

که در آن s_k مقدار متغیر کمکی مربوط به محدودیت تابع هدف k ام است.

در این پروژه به منظور مقایسه عملکرد نسبی الگوریتم NSGAII، از روش اپسیلون- محدودیت برای هفت مساله با شمایک تفاوت الگوریتم پیشنهادی و روش اپسیلون- محدودیت را در پیدا کردن جواب های بهینه پارتو نشان می دهد.

1- Epsilon Constraint
2- Benefit Table



شکل ۵- مقایسه جواب های پارتو الگوریتم پیشنهادی با الگوریتم اپسیلون - محدودیت.

Figure 5- Comparison of Pareto's Answered Algorithms with Epsilon-Limit Algorithms

فعالیت ها در جدول ۷ ارائه شده است: به طور مثال مطابق جدول ۷ مطلوب ترین استراتژی پاسخ به ریسک های r_1 و r_2 ، A_1 برای ریسک r_3 ، A_3 می باشد که توسط الگوریتم و مدل ریاضی پیشنهادی بدست آمده است.

از شکل ۵ قابل مشاهده است که الگوریتم پیشنهادی دارای عملکرد بالایی بوده و جواب های پارتو نزدیک به بهینه تولید می کند. با توجه به نتایج به دست آمده و با در نظر گرفتن محدودیت بودجه و زمان، مطلوب ترین استراتژی ها برای پاسخ به ریسک

جدول ۷- تخصیص مطلوب ترین استراتژی پاسخ به ریسک

Table 7- The most favourable response to the risk allocation strategy

فعالیت	ریسک	تخصیص مطلوب ترین استراتژی پاسخ به ریسک
W_1, W_3, W_4, W_5	r_1	A_1
W_1, W_2, W_3, W_4, W_5	r_2	A_1
$W_2, W_3, W_4, W_5, W_6, W_7, W_8$	r_3	A_3
W_2, W_4, W_5, W_7, W_8	r_4	A_3
$W_1, W_2, W_3, W_6, W_7, W_8$	r_5	A_9
W_1, W_2, W_3, W_7, W_8	r_6	A_9
$W_1, W_2, W_3, W_4, W_5, W_7, W_8$	r_7	A_{14}
W_1, W_2, W_3	r_8	A_{16}
W_1, W_2, W_5, W_7, W_8	r_9	A_{16}
$W_1, W_3, W_4, W_5, W_7, W_8$	r_{10}	A_{16}

نتیجه گیری

شناسایی شده در پروژه با استفاده از روش FMEA و استاندارد ISO 31000 که مربوط به ۸ فعالیت مهم و بحرانی پروژه بر اساس ساختار شکست کار می باشد با استفاده از مدل ریاضی ارائه شده، استراتژی های مناسب پاسخ به ریسک ها از بین ۱۶ استراتژی مد نظر، به صورت بهینه انتخاب شدند و سیستم مدیریت ریسک در این پروژه به صورت مناسبی جاری سازی

انتخاب استراتژی های مناسب پاسخ به ریسک ها در پروژه های عمرانی یکی از دغدغه های ذی نفعان پروژه می باشد. برای اولین بار از یک الگوریتم فرا ابتکاری برای انتخاب استراتژی های پاسخ به ریسک HSE پروژه های عمرانی استفاده شده است. در برج صبا که مطالعه موردی این مقاله می باشد. نتایج نشان می دهد برای ۱۰ ریسک مهم زیست محیطی و بهداشت شغلی

- Management (ARCOM). London, UK; pp. 841–52.
4. Zeng, J., an, M., & Smith, N. J. (2007). "Application of a fuzzy based decision making methodology to construction project risk assessment." *International Journal of Project Management*, 25(6), 589–600.
 5. Zhang, Y. Fan, Z. (2013). An optimization method for selecting project risk response strategies, *International journal of project management*, vol XX, P X - X.
 6. Taylan, O, Bafail, A. O, Abdulaal, R. M, & Kabli, M. R. (۲۰۱۴). Construction projects selection and risk assessment by fuzzy AHP and fuzzy TOPSIS methodologies, *Applied Soft Computing*, vol 17, P 105 – 116
 7. Seyedhoseini, S. M., Noori, S., and Hatefi, M. A. (2009). An integrated methodology for assessment and selection of the project risk response actions. *Risk Analysis*, 29(5), 752-763.
 8. Chapman, C., & Ward, S. (2003). *Project risk management: processes, techniques, and insights*. Wiley.
 9. Miler, J. (2005). *A method of software project risk identification and analysis*. Technology. Gdansk University of Technology.
 10. Conrow, E. H. (2003). *Effective risk management: Some keys to success*. Aiaa.
 11. Hillson, D. (1999, October). *Developing effective risk responses*. In *Proceedings of the 30th Annual Project Management Institute Seminars & Symposium* (pp. 10-16).

گردید. هدف این تحقیق طراحی یک مدل تصمیم برای انتخاب استراتژی های پاسخ به ریسک های زیست محیطی پروژه مورد نظر بود. مهم ترین نوآوری این تحقیق کاربردی بودن آن است. همچنین در مباحث مربوط به مهم ترین عوامل ریسک، نیروی انسانی، نگرش ها و تجربیات به عنوان مهم ترین علل شناسایی شده اند که در پژوهش حاضر این عوامل به طور کامل دیده شده است. در زمینه پاسخ به ریسک های محیط زیستی توسط مدل های ریاضی تحقیقات مشابه قابل توجهی وجود ندارد. در تحقیقات پیشین انتخاب پاسخ^۱ به ریسک^۲ با متغیر صفر و یک در نظر گرفته شده است، در حالی که فعالیت های ساختار شکست کار که جز یکی از مهم ترین بخش های شناسایی و کنترل ریسک در بخش های مختلف پروژه می باشد در آن در نظر گرفته نشده است، در این پژوهش این مورد به عنوان یکی از عناصر اساسی دیده شده است. همچنین الگوریتم ارایه شده از کارایی بسیار خوبی برخوردار بوده و جواب های بسیار نزدیکی نسبت به روش بهینه در سائز کوچک ارایه داده است.

Reference

1. Zuo J, Rameezdeen R, Hagger M, Zhou Z, Ding Z. Dust pollution control on construction sites: Awareness and self-responsibility of managers. *Journal of Cleaner Production*. 2017 Nov 10; 166:312-20.
2. Zayed, Tarek, Amer, Mohamed. and Pan, Jiayin. (2008). "Assessing risk and uncertainty inherent in Chinese highway projects using AHP." *International Journal of Project Management*, 26, 408–419.
3. Zeng J, an M, Chan AHC. (2005). "A fuzzy reasoning decision making approach based multi-expert judgment for construction project risk analysis." *Proceedings of the twentyfirst annual conference*. Association of Researchers in Construction

- Conference on (Vol. 2, pp. 700-703). IEEE.
16. Zolfani SH, Pourhossein M, Yazdani M, Zavadskas EK. Evaluating construction projects of hotels based on environmental sustainability with MCDM framework. Alexandria Engineering Journal. 2017 Jan 13.
17. Fan, M., Lin, N. P., & Sheu, C. (2008). Choosing a project risk-handling strategy: An analytical model. International Journal of Production Economics, 112(2), 700-713.
18. Zhang, Y., & Fan, Z. P. (2014). An optimization method for selecting project risk response strategies. International Journal of Project Management, 32(3), 412-422.
12. Boehm, B. W. (1991). Software risk management: principles and practices. IEEE software, 8(1), 32-41.
13. Hillson, D. (2001, November). Effective strategies for exploiting opportunities. In Proceedings of Project Management Institute Annual Seminars & Symposium.
14. Cooper, D. F. (2005). Project risk management guidelines: Managing risk in large projects and complex procurements. John Wiley & Sons, Inc.
15. Wenxi, Z., & Danyang, C. (2009, October). Expressway management risk evaluation based on fuzzy neural networks. In Intelligent Computation Technology and Automation, 2009. ICICTA'09. Second International