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 [٤]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۶/۰۹ **تاریخ پذیرش:۱۳۹۶/۰۹/۰۱**

چکیده

زمینه و هدف: غالباً اجرای پروژه‌های بزرگ به گونه ای است که عدم اطمینان و ریسک جزء ویژگی‌های ذاتی آن ها می‌باشد. این عدم اطمینان باعث عدم موفقیت چشم‌گیر اغلب پروژه‌های کشور در رسیدن به اهداف از پیش تعیین شده می‌باشد. بیش‌تر مطالعات پیشین به ارزیابی ریسک های زیست محیطی پرداخته اند به همین دلیل، در این مطالعه یک مساله در قالب یک مدل بهینه سازی برنامه‌ریزی عدد-صحیح خطی برای انتخاب پاسخ‌های ریسک مناسب برای ریسک‌های پروژه با رویکرد زیست محیطی پیشنهاد می‌شود. عدم‌شناسایی‌دقیق 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 IS0 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 ارایه شده است.

۱- دکتری مهندسی صنایع دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران. *(مسوول 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 می دهد 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 می باشد با استفاده از مدل ریاضی ارایه شده، استراتژی های مناسب پاسخ به ریسک ها به صورت بهینه انتخاب شدند و سیستم مدیریت ریسک در این پروژه به صورت مناسبی جاری سازی گردید.

بحث و نتیجه‌گیری: انتخاب استراتژی های مناسب پاسخ به ریسکها در پروژه های عمرانی یکی از دغدغه های ذی‌نفعان 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 - برج‌صبا که مطالعه موردی این مقاله می باشد کل ریسک های اثر گذار در بحث زیست محیطی و بهداشت شغلی شناسایی شده و برای هرکدام از ریسک ها استراتژی پاسخ به ریسک مناسب داده شده است.

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

J. Env. Sci. Tech., Vol 21, No.4, June, 2019

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 IS0 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 ، سرمایه گذار، بیمه‌گر و ...) می‌باشند که مدنظر قرار دادن منافع، اهداف و مطالبات آن ها در اتخاذ تصمیم‌ها یکی از موارد لازم برای اطمینان از موفقیت پروژه می‌باشد. بسیاری از پروژه‌ها که فرض می‌شود تحت‌کنترل هستند، با ریسک به عنوان رخدادی شناخته‌نشده روبرو گردیده و کوشش می‌کنند آن را کنترل کنند. به طور خاص، کار مربوط به خاک و تخریب ها به عنوان تولید کننده های اصلی گرد و غبار شناخته می شود. در حالی که برخی از مدیران به خوبی از عواقب آلودگی گرد و غبار آگاهی دارند، دیگران عواقب آن را احساس نمی کنند و درک می کنند 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). پروژه های عمرانی همواره در معرض ریسک های مختلفی هستند که این ریسک‌ها در صورت عدم مدیریت صحیح می توانند باعث کاهش عملکرد و حتی شکست پروژه شوند. بنابراین، به منظور حصول عملکرد مطلوب در پروژه های ساخت و ساز، بکارگیری دانش مدیریت ریسک ضروری است (۳).

شناسایی ریسک اولین مرحله روند مدیریت ریسک است که در آن خطرات بالقوه شناسایی می شوند. 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 ریسک های یک پروژه شناسایی و تحلیل می شوند، راهبردهای مناسب پاسخ به ریسک باید اتخاذ شوند. مهندسی ریسک، گامی در جهت علمی تر شدن و اثر بخشی و کارایی بیش‌تر مدیریت پروژه می باشد. ویژگی هایی 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 می گردند و به همین علت نیاز به برنامه ریزی استراتژی مدیریتی جهت بررسی ریسک‌های پروژه اجتناب ناپذیر می باشد (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 مسأله در اختیار تیم مدیریت بگذارد. در پروژه ها، 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 قطعیت ها و ریسک ها 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 تصمیم گیری های مدیریتی و برآوردهای زمان و هزینه افزایش می یابد. با استفاده از مدیریت‌ریسک می‌توان عوامل ریسک زا را شناسایی کرد و با تجزیه و تحلیل و انتخاب راهبردهای مناسب آن ها 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 بیشینه کردن نتایج و قایع مثبت وکمینه 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 روش هایی برای اجتناب یا کاهش آن ها و حداکثر سازی فرصت‌ها صورت می‌گیرد (۸). مدیریت ریسک پروژه یکی از حوزه‌های مهم مدیریت پروژه می باشد و برخی محققین مدیریت پروژه را معادل مدیریت ریسک پروژه ها تعریف نموده اند. فرآیند مدیریت ریسک به دو مرحله اصلی ارزیابی ریسک‌ها (شامل شناسایی و تحلیل ریسک‌ها) و پاسخ‌گویی به آن-ها قابل تقسیم می باشد (۹). بر طبق نظر کانرو (۱۰)، تمامی

گـام‌هـای فرآینـد مـدیریت‌ریسک دارای اهمیت یکسانی بوده و انجام ناقص هر یک از گام ها منجر بـه مـدیریت‌ریسـک غیـر موثر می شود. فرآیند مـدیریت ریسـک مـوثر بـا ارزیـابی مـوثر ریسک ها شروع می شـود و بـدون انجـام این مرحله، مـدیریت ریسک‌هـا امکان پـذیر نیسـت . از طـرف دیگـر، بسـیاری از محققین تاکید نموده‌اند کـه شناسـایی و ارزیـابی‌هـا ریسـک بـدون پاسـخ‌گویی بـه آن‌هـا مفیـد نیسـت (۱۱).

ادبیات موضوع

علـم مـدیریت ریسـک در دوره رنسـانس در قـرن شـانزدهم مـیلادی مطـرح گردیـد. از سـال ۱۹۹۰ مـیلادی مـدل‌هـای مختلفی برای مدیریت ریسک پروژه‌ها با هدف افزایش موفقیـت آن‌هـا ارایـه گردیده اسـت (۱۲،۱۳). در اغلـب ایـن مـدل‌هـا، پاسـخ‌گویی بـه ریسـک‌ها، از قدم‌های اساسی می‌باشد. برخـی از مدل‌هـا، دارای گـام‌هـای سـاده و برخـی دارای جزئیـات بیش‌تری هسـتند. در طی سالیان گذشته روش‌هـای مختلفـی جهت ارزیابی ریسک‌های پروژه مورد استفاده قرارگرفته‌انـد کـه در مقالات مختلف در زمینه مدیریت ریسک به تفصیل درمـورد آن‌ها سخن گفته شده است. از جمله تکنیک‌های بـه کارگرفتـه شده در این زمینه، می‌توان بـه تحلیـل چـک لیسـت، تکنیـک SWOT، تکنیک دلفی و تکنیکهای تصمیم‌گیری چند معیـاره ماننـد AHP کـه روش‌هـای سـنتی می‌باشـند، اشـاره کـرد. همچنین، روش‌هایی مانند استنتاج فازی، سیستم‌های پشتیبان تصمیم و سیستم‌های خبره به عنوان روش‌های جدیدتر مطرح شده است. در سالهای اخیر، بررسی‌ها نشان می‌دهد که استفاده از منطق فازی حوزه مدیریت ریسک‌ها به دلیل سازگاری بیش‌تر با ماهیت عدم قطعیت و ریسک، به طرز چشمگیری مورد توجه محققـان ایـن عرصـه قـرار گرفتـه اسـت (۱۴). براسـاس نظـر سادبوری و سافولک اثر ریسک معمولاً می‌تواند بـا توجـه بـه دو پارامتر اصلی ریسک، یعنی احتمال وقوع ریسک و شدت ریسک ارزیابی شود. اما باید به این نکته توجه داشـت کـه شـدت یـک ریسک خاص، به شدت، تابع فاکتورهای زیادی مانند فاکتورهای انسانی، فاکتورهای محـل کـار، فاکتورهـای مـواد و فاکتورهـای تجهیزات می‌باشد کـه کمی‌سـازی آن‌هـا در روش‌هـای سـنتی مشکل است (۲).

تکنیک‌های هوش مصـنوعی می‌تواننـد کاربردهـای وسـیعی در مدیریت ریسک داشته باشند (۳). همچنـین در تحقیقـی دیگـر ونزی و دانیانگ از مدل شبکه عصبی فازی جهت ارزیابی ریسک شرکت‌های بزرگراه در چین بهره گرفتند. مدل بکار گرفته شده توسط آن‌ها تا حدی می‌تواند فرآیند تصمیم‌گیری و دست‌یـابی به راه حل بهینه را برای مدیران تسهیل کند (۱۵) .

در تحقیقی دیگر ، با تمرکز بر مشارکت بخش خصوصی تمرکـز در شـهر تهـران (RSAPE co.)، یـک سـاختار ترکیبـی MCDM برای ارزیابی پروژه های ساخت و ساز هتل ها بر پایه پایداری محیطی استفاده شده است. با توجه به تـاثیرات بـالای ساختمان ها بر محـیط زیسـت و آب و هـوا، ضـرورت پایـداری محیط زیست می تواند روشن باشد. معیار تصمیم گیری مدل بر اساس روش SWARA با مشارکت هشت کارشـناس ارزیـابی می شود. پس از آن، وزن‌های 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 پاسخ‌های ریسـک و ویژگـی‌هـای پـروژه (انـدازه پـروژه، شـناوری و پیچیدگی‌های تکنیکی) را بیان می‌کند، ارایه کردند. این مـدل مفهومی یک ارتباط کمی بین تمام متغیرهای موجود در پـروژه را توصیف می‌کند. در انتها نیز یـک آنـالیز بهینـه سـازی بـرای انتخاب استرتژی‌های پاسخ برای ریسک‌های جـاری ارایـه شـده است به طوری که هزینه حداقل شود (۱۷).

مسأله انتخاب پاسخ بـرای ریسـک‌ها را می‌تـوان در قالـب یـک مسأله بهینه‌سازی (OB) مدل‌سازی نمود. در این رویکرد تـابع هـدف حـداقل‌کـردن هزینـه اجـرای پاسـخ‌های ریسـک و محدودیت‌های آن شامل ترکیب استراتژی‌ها با هم اسـت (۱۸). در این رویکرد مجموعه‌ای از اقدامات به‌گونه‌ای انتخاب می‌شود که ضمن برآورده ساختن محدودیت‌های سیسـتم، تـابع هـدف مربوطه بهینه گردد. مـدل بهینه‌سـازی بایـد نقطـه بهینـه‌ای را

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

مدل ریاضی تحقیق

پس از شناسایی ریسک های 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- OHSAS 18001-ISO 14001 بر اساس رویکرد FMEA بهره می گیرند، استراتژی های پاسخ به ریسک های مهم را شناسایی کرده و با استفاده از یک مدل ریاضی روند حلی برای به دست آوردن استراتژی مطلوب تر ارایه 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 ارایه شده است.

مساله مطرح شده در این پژوهش، طراحی یک مدل راضی بهینه سازی برای انتخاب استراتژی های پاسخ به ریسک های زیست محیطی پروژه مجتمع ساختمانی است به منظور حل این مساله، یک متغیر تصمیم صفر و یک تعریف می شود: اگر استراتژی پاسخ i برای ریسک j مربوط به فعالیت k انتخاب شود یک و در غیر این‌صورت صفر می باشد. برای بهینه سازی انتخاب استراتژی های 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 می شود. تابع هدف مدل انتخاب مجموعه ای از استراتژی هاست که اثر پاسخ به ریسک تخمینی را پس از پیاده سازی استراتژی پاسخ به ریسک در مواجهه با رویداد ریسک ها حداکثر می کند. ریسک های پروژه به دلیل پیچیدگی پروژه در عمل پیچیده هستند. بنابراین، پیش فرض های زیر برای راحتی تجزیه و تحلیل مدل در نظر گرفته شده است.

مجموعه ها

A مجموعه استراتژی های پاسخ به ریسک

R مجموعه رویداد ریسک های زیست محیطی

W مجموعه فعالیت های کاری

M مجموعه ای از همه ی جفت استراتژی هایی که یکدیگر را حذف می کنند.

$\bar{M}$ مجموعه ای از همه ی جفت استراتژی های که روی یکدیگر تاثیر مثبت می گذارند.

پارامترها

TB بودجه اختصاص داده شده برای پیاده سازی استراتژی های 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 iامین استراتژی پاسخ به ریسک jام مربوط به فعالیت kام

t_j^k تعداد روزهای تاخیری تخمین زده شده ی اجرای فعالیت W_k هنگامی که ریسک R_j رخ می دهد.

q_j^k تخمین میزان کیفیت کاهش یافته اجرای فعالیت W_k هنگامی که ریسک R_j رخ می دهد.

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} k انتخاب شود یک و در غیر این‌صورت صفر می باشد.

مدل برنامه ریزی عدد صحیح :

$$\text{Max}\, z = \sum_i \sum_k \sum_j e_{ij}^k x_{ijk} \quad (۱)$$

$$\sum_i \sum_j \sum_k c_{ijk} \max_j x_{ijk} \le TB \quad (۲)$$

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

$$\sum_j t_j^k - \left(\sum_j \left[\sum_i t_{ij}^k x_{ijk} \right] \right) \le \varphi^k \quad (۳)$$

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

$$\sum_j q_j^k - \left(\sum_j \left[\sum_i q_{ij}^k x_{ijk} \right] \right) \le \gamma^k \quad (۴)$$

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

$$\sum_j t_j^l - \left(\sum_j \left[\sum_i t_{ij}^l x_{ijl} \right] \right) \le T_{max} \quad (۵)$$

$$\sum_j q_j^l - \left(\sum_j \left[\sum_i q_{ij}^l x_{ijl} \right] \right) \le Q_{max} \quad (۶)$$

$$x_{ijk} + x_{i'j'k'} \le 1 \quad (۷)$$

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

$$x_{ijk} + x_{i'j'k'} = 1 \quad (۸)$$

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

$$x_{ijk} - x_{i'j'k'} \le 0 \quad (۹)$$

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

$$x_{ijk}, x_{i'j'k'} \in \{0,1\} \quad (۱۰)$$

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

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 نیازی‌های برنامه ریزی شده اش تاثیر نخواهد گذاشت. در محدودیت، ارزش پارامتر φ^k را می توان از برنامه پروژه به‌دست آورد و $\varphi^k \ge 0$. 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 درسطح 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 $T_{max} \ge 0$. 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

ابتدا با استفاده از رویکرد FMEA و استاندارد مدیریت ریسک ISO 31000-ISO 14001-OHSAS 18001 شرکت پارس گرما اهمیت و اولویت ریسک های فعالیت های مهم و بحرانی پروژه صبا را شناسایی و سپس در ادامه بر اساس ریسک های مهم شناسایی شده تمامی استراتژی های 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 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. ریسک های مهم طبقه بندی شده و فعالیت های مهم و بحرانی پروژه و پاسخ های ریسک پروژه به ترتیب در جدول های ۱و۳ آورده شده است .

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

Table 1- Description of identified project risks

کد ریسک	شرح ریسک های 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- فعالیت‌های مهم و بحرانی پروژه بر اساس ساختار شکست کار

Table 2- Project work of packages based on the WBS

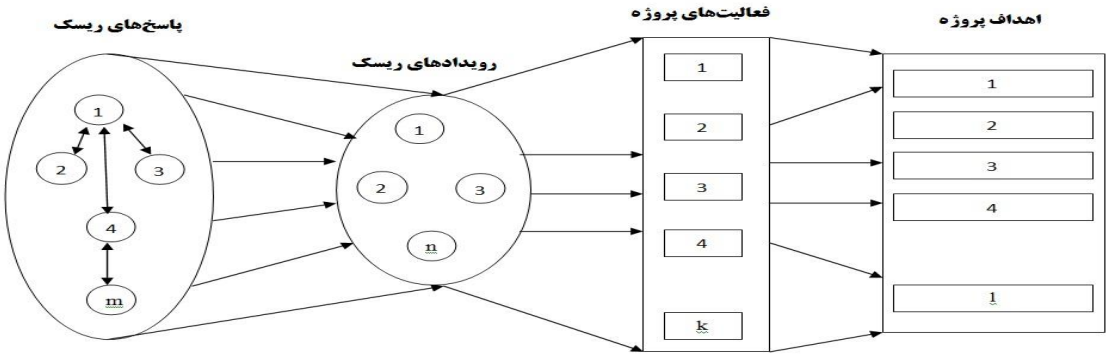
شرح فعالیت‌ها	کد فعالیت
خاک‌برداری و نیلینگ	W_1
آرماتور بندی	W_2
اسکلت فلزی	W_3
تاسیسات لوله کشی	W_4
اجرای تیغه بندی خارجی و داخلی	W_5
اندود گچ و خاک	W_6
کرم بندی و عایق کاری	W_7
نازک کاری	W_8

جدول ۳- شرح پاسخ‌های ریسک در پروژه مورد مطالعه

Table 3- Description of risk responses project

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

در شکل ۲ چارچوب مدل پیشنهادی برای انتخاب پاسخ های ریسک محیطی پروژه با در نظر گرفتن ارتباط بین پاسخ‌ها ارایه شده است، ریسک‌ها مستقل از هم هستندولی پاسخ ها وابسته به هم می توانند باشند.



شکل ۲- چارچوب مدل پیشنهادی برای انتخاب پاسخ های ریسک

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

مقدار حداکثر زمان ۵ روز و کیفیت برابر ۱۰ در فعالیت آخر پروژه می‌باشد. مقدار هزینه ریسک ها در صورت وقوع و مقدار هزینه لازم برای اجرای پاسخ های 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 درصورت وقوع هر ریسک در نیز در نزم افزار مربوطه وارد شده است. جدول۴. میزان حداکثر مجاز کاهش زمان (روز) و کیفیت هر فعالیت (درصد) را ارایه می کند، 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 مقدار شود یعنی میزان حداکثر کاهش کیفیت در بازه بین ۱٪ تا ۱۰٪ می باشد : $\gamma^k \in [1\%, 10\%]$. جدول ۵. تاثیر پیاده سازی استراتژی پاسخ به ریسک زیست محیطی بر کاهش هزینه ریسک ها در صورت رخداد را نشان می دهد که تخمین تاثیر استراتژی پاسخ یکی از تاثیر گذارترین پارامتر ها در مدل ریاضی ارایه داده شده می باشد. همچنین تعداد روز هایی که از تاخیر جلوگیری می کند در جدول بعدی آمده است در جدول ۶. تخمین تعداد روزهای فعالیت هایی که پس از پیاده سازی استراتژی پاسخ به ریسک کاهش یافته اند.

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							
	W_1	W_2	W_3	W_4	W_5	W_6	W_7	W_8
γ^k	۱۰٪	۱۰٪	۱۰٪	۱۰٪	۱۰٪	۱۰٪	۱۰٪	۱۰٪
φ^k	۱۳	۱۵	۱۵	۱۰	۱۴	۱۵	۱۲	۱۰

جدول۵- 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									
		$r_۱$	$r_۲$	$r_۳$	$r_۴$	$r_۵$	$r_۶$	$r_۷$	$r_۸$	$r_۹$	$r_{۱۰}$
استراتژی های پاسخ	$A_۱$	۱۵	۱۰								
	$A_۲$								۱۱		
	$A_۳$										
	$A_۴$								۸		
	$A_۵$								۱۵		
	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....
	$A_{۱۴}$							۱۵			
	$A_{۱۵}$	۳۹	۳۵							۳۹	
	$A_{۱۶}$								۱۵	۱۹	۱۷

تحلیل نتایج

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 الگوریتم‌های دقیق[1] بسیار زمان‌بر و گاهی غیر ممکن است، بنابراین روش‌های حل ابتکاری[2] و فراابتکاری[3] از جایگاه ویژه‌ای بین پژوهش‌گران برخوردار شده‌اند. به منظور حل مدل پیشنهادی که یک مدل برنامه‌ریزی ریاضی چند هدفه می باشد، یک الگوریتم فراابتکاری بسیار کارا به اسم NSGA-II استفاده می‌گردد که امکان تطبیق با فضای جستجو را دارا

1- Exact Algorithms

2- Heuristic

3- Meta-heuristic

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

الگوریتم NSGA- II

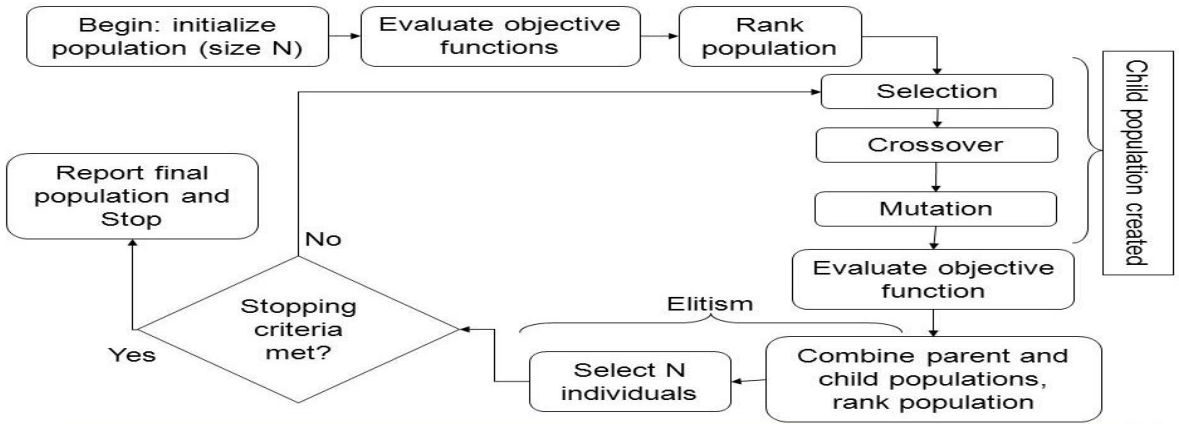
در دهه‌های گذشته، تعدادی الگوریتم تکاملی چندهدفه ارایه داده شده است. دلیل اصلی آن، توانایی‌شان در پیدا کردن چندین جواب بهینه پارتو در یک اجرای شبیه‌سازی می‌باشد. چون الگوریتم‌های تکاملی با یک جمعیتی از جواب‌ها کار می‌کنند، یک الگوریتم تکاملی باید برای حفظ یک مجموعه جواب پراکنده توسعه داده شود. یکی از اولین الگوریتم‌های تکاملی، الگوریتم ژنتیک مرتب سازی نامغلوب NSGA است که توسط سرینیواس[1] و دب[2] در سال ۱۹۹۴ مطرح شد. در طول سالیان، انتقادات اصلی رویکرد NSGA مطابق زیر است:

- پیچیدگی بالای محاسباتی مرتب سازی نامغلوب
- فقدان نخبه گرایی[3]
- 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[4] یا NSGA-II را با هدف کاهش مشکلات فوق ارایه 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[5] انجام می‌دهد. در این الگوریتم تکاملی جست و جوی همسایگی به کمک عملگرهای موجود در الگوریتم ژنتیک نظیر انتخاب[6]، تقاطع[7] و جهش[8] می‌باشد. پس از ادغام جمعیت‌های والدین و فرزندان، مرتب‌سازی نامغلوب با تعداد مقایسات بیش‌تر صورت می گیرد. در این مرحله سطوح نامغلوب به‌ترتیب اولویت‌شان نسبت به یکدیگر مشخص می‌شوند. انتخاب N جواب بعنوان جمعیت بعدی با کیفیت و پراکندگی بیشتر از جواب‌های سطح با اولویت بالاتر آغاز می‌شود. اگر تعداد جواب‌هایی که در سطح اول قرار می گیرد 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 جواب ها از N بیش‌تر شود، از میان جواب‌ها آن‌هایی که معیار فاصله ازدحام بیش‌تری دارند انتخاب می شوند 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 درکنار 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:

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 :[1]

ایده اولیه روش اپسیلون- محدودیت این است که ابتدا یکی از اهداف چندگانه به‌عنوان تابع هدف اصلی مساله بهینه‌سازی انتخاب می‌شود و بقیه توابع هدف ضمن در نظر گرفتن یک حد بالا و پایین برای آن‌ها (تشکیل جدول منفعت)[2]، به محدودیت‌های مساله منتقل می‌گردند. بدین‌ترتیب با تغییر سمت راست محدودیت‌های مربوط به این توابع از حد بالای آن‌ها 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:

$$Min\ Z_j(x)$$

s.t.

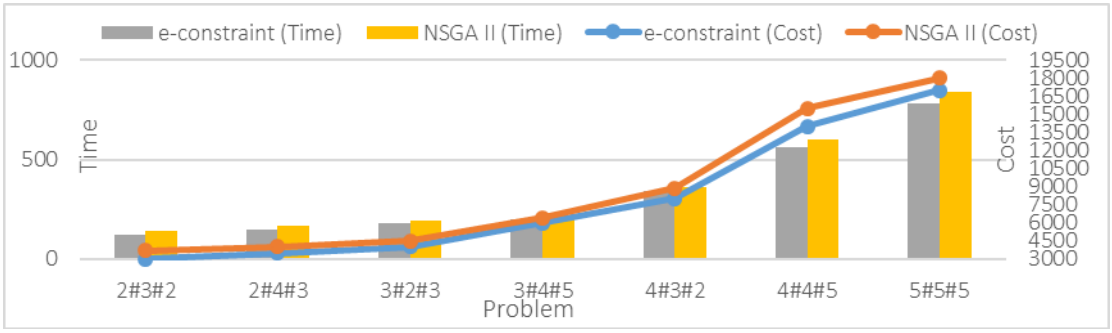
$$Z_k(x) + s_k = \varepsilon_k \quad \forall k \neq j$$

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

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

در این پروژه به‌منظور مقایسه عملکرد نسبی الگوریتم NSGAII ، از روش اپسیلون- محدودیت برای هفت مساله با سایزهای مشخص استفاده‌شده است. شکل ۵ به‌صورت شماتیک تفاوت الگوریتم پیشنهادی و روش اپسیلون- محدودیت را در پیدا کردن جواب‌های بهینه پارتو نشان می‌دهد.

1- Epsilon Constriant
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

از شکل ۵ قابل مشاهده است که الگوریتم پیشنهادی دارای عملکرد بالایی بوده و جواب های پارتو نزدیک به بهینه تولید می‌کند.

با توجه به نتایج به دست آمده و با در نظر گرفتن محدودیت بودجه و زمان، مطلوبترین استراتژی ها برای پاسخ به ریسک فعالیت ها در جدول ۷ ارابه شده است: به طور مثال مطابق جدول ۷ مطلوب‌ترین استراتژی پاسخ به ریسک های r1و r2 ، A1 برای ریسک r3 ، A3 می باشد که توسط الگوریتم و مدل ریاضی پیشنهادی بدست آمده است.

جدول۷- تخصیص مطلوب ترین استراتژی پاسخ به ریسک

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

فعالیت	ریسک	تخصیص مطلوب‌ترین 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

انتخاب استراتژی های مناسب پاسخ به ریسک‌ها در پروژه های عمرانی یکی از دغدغه های ذی‌نفعان پروژه می باشد. برای اولین بار از یک‌الگوریتم 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 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 ارایه شده، استراتژی های مناسب پاسخ به ریسک ها از بین ۱۶ استراتژی مد نظر ، به صورت بهینه انتخاب شدند و سیستم مدیریت‌ریسک در این پروژه به‌صورت مناسبی جاری سازی

گردید. هدف این تحقیق طراحی یک مدل تصمیم برای انتخاب استراتژی‌های پاسخ به ریسک‌های زیست محیطی پروژه مورد نظر بود. مهم ترین نوآوری این تحقیق کاربردی بودن آن است. همچنین در مباحث مربوط به مهم‌ترین عوامل ریسک، نیروی انسانی، نگرش‌ها و تجربیات به‌عنوان مهم‌ترین علل شناسایی شده اند که در پژوهش حاضر این عوامل به‌طور کامل دیده شده است. در زمینه پاسخ به ریسک‌های محیط‌زیستی توسط مدل های ریاضی تحقیقات مشابه قابل توجهی وجود ندارد. در تحقیقات پیشین انتخاب پاسخi به ریسک j با متغیر صفر ویک در نظر گرفته شده است، در حالی که فعالیت‌های ساختار شکست‌کار که جز یکی از مهم‌ترین بخش‌های شناسایی و کنترل ریسک در بخش های مختلف پروژه می‌باشد 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 جواب‌های بسیار نزدیکی نسبت به روش بهینه در سایز 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 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).

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 Proceendings 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 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.