رویکردهای نوین در مهندسی عمران، دوره هشتم، شماره سوم ۱۴۰۳، صفحه: ۵۶-۷۰

تحلیل حساسیت مدل یادگیری عمیق در مدیریت ریسک زیست محیطی پروژه عمرانی

امین امیرایی [۱] ، سید عظیم حسینی [۲] ، فرشید فرخی زاده [۳*] ، محمد حسن حائری [۴]

[۱] دانشجوی دکتری، گروه مهندسی عمران، واحد تهران جنوب، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

[۲] دانشیار گروه مهندسی عمران، واحد تهران جنوب، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

[۳] استادیار، دانشکده علوم و مهندسی، دانشگاه افسری و تربیت پاسداری امام حسین(ع)، تهران، ایران*

[۴] استادیار گروه مهندسی عمران، واحد تهران جنوب، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

(f.farokhi@ihuo.ac.ir)

(تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۳/۰۵/۱۰، تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۳/۰۸/۳۰)

چکیده

پروژه‌های عمرانی نقش اساسی در اقتصاد و رفاه مردم هر جامعه دارند. در ایران، هر ساله بودجه‌های کلانی صرف اجرای این پروژه‌ها می‌شود. اما مدیریت ریسک، حلقه مفقوده‌ای در مطالعات و اجرای پروژه‌های عمرانی است که یا کمتر به آن توجه شده یا در اولویت کاری قرار ندارد. این مقاله تلاش می‌کند به مدیریت ریسک در پروژه‌های عمرانی بپردازد. ابتدا با استفاده از روش FMEA مدیریت ریسک انجام شده و سپس مدلسازی این پدیده با بهره‌گیری از روش‌های یادگیری عمیق در دستور کار قرار گرفته است. بانک اطلاعاتی لازم برای مدلسازی یادگیری عمیق با استفاده از اطلاعات مرحله اول تکمیل شده است. پارامترهای ورودی و خروجی بر اساس تعداد و نوع داده‌های در دسترس انتخاب شده‌اند. نتایج تحقیق نشان می‌دهد که ساختار بهینه یادگیری عمیق با ترکیب شبکه عصبی CNN و الگوریتم بهینه‌سازی MVO، با ضریب همبستگی بالای ۹۰ درصد و شاخص خطای کمتر از ۰،۰۵ معرفی شده است. بخش اصلی این تحقیق به تحلیل حساسیت مدل بهینه اختصاص دارد. این فرآیند با استفاده از مشتق نسبی و مطلق خروجی نسبت به هر ورودی، بر اساس دسته‌های آماری متفاوت و به روش لو و همکاران انجام شده است. در نهایت، مؤثرترین پارامتر ورودی شناسایی شده و میزان حساسیت خروجی نسبت به آن تعیین گردیده است.

کلمات کلیدی

تحلیل حساسیت، مدیریت ریسک، پروژه عمرانی.

Sensitivity Analysis of Risk Management In Construction Projects Using Deep Learning Techniques

Amin Amraee [1], Seyed Azim Hosseini [2], Farshid Farokhizadeh [3*], Mohammad Hassan Haeri [4]

[1] PhD Student, Department of Civil Engineering, South Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

[2] Associate Professor, Department of Civil Engineering, South Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

*[*3] Assistant Professor, Faculty of Science and Engineering, Imam Hussein Officers and Guard Training University, Tehran, Iran*

[4] Assistant Professor, Department of Civil Engineering, South Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

(f.farokhi@ihuo.ac.ir)

(Date of received: 31/07/2024, Date of accepted: 20/11/2024)

ABSTRACT

The construction project plays an important role in the economy and welfare of the people of every society. Every year, large budgets are spent on the implementation of construction projects in Iran. Risk management is the missing link in the studies and implementation of construction projects in Iran, which is either less paid or is not a priority. In this article, an attempt has been made to deal with the phenomenon of risk management of construction projects. First, the risk management of the construction project is done using the FMEA method, then modeling this phenomenon using the deep learning method is on the agenda. The database for deep learning modeling has been completed using the information of the first stage. The input and output parameters are also selected based on the number and type of available data. The research results show that the optimal structure of the deep learning method has been introduced by combining the CNN neural network and the MVO optimization algorithm, with a correlation coefficient above 90% and an error index below 0.5. The main discussion of this research is sensitivity analysis on the optimal model. This process has been done by using the relative and absolute derivative of the output with respect to each input based on different statistical categories according to the method of Lu et al. Finally, the most effective input parameter is introduced and the output sensitivity is determined.

Keywords:

Sensitivity analysis, Risk management, Construction project.

۱- مقدمه

مدیریت ریسک زیست‌محیطی در پروژه‌های عمرانی یکی از موضوعات اساسی و پیچیده است که به بررسی و کنترل ریسک‌های ناشی از فعالیت‌های ساخت‌وساز بر منابع طبیعی، گونه‌های زیستی، اکوسیستم‌ها و سلامت انسان می‌پردازد. روش FMEA (تحلیل حالات بالقوه خرابی و اثرات آن) ابزاری قدرتمند در این زمینه است که با شناسایی و رتبه‌بندی عوامل خطرناک و پیامدهای آن‌ها، اقدامات پیشگیرانه و بهبودی را پیشنهاد می‌کند. این روش با ارزیابی شدت اثر، احتمال وقوع و قابلیت تشخیص حالات خرابی، شاخص اولویت ریسک (RPN) را برای هر حالت محاسبه می‌کند و بر اساس آن‌ها، ریسک‌ها را رتبه‌بندی می‌کند. استفاده از FMEA نه تنها در سیاست‌گذاری‌ها و اجرای قوانین زیست‌محیطی اهمیت دارد، بلکه در دستیابی به استانداردهای انتشار آلاینده‌ها و انتخاب محل مناسب برای استقرار صنایع و پروژه‌های عمرانی نیز مؤثر است. با این تحلیل سیستماتیک، سازمان‌ها می‌توانند برنامه‌های مؤثری برای مدیریت و کاهش ریسک‌های زیست‌محیطی اجرا کنند و به افزایش پایداری محیط زیستی کمک نمایند. نکته جالب اینجاست که ترکیب FMEA با فناوری‌های نوین مانند یادگیری عمیق، امکان پیش‌بینی دقیق‌تر ریسک‌ها و ارائه راهکارهای هوشمندانه‌تر را فراهم می‌کند. آیا تا به حال به تأثیر هوش مصنوعی در بهبود مدیریت ریسک زیست‌محیطی فکر کرده‌اید؟ این می‌تواند انقلابی در نحوه برخورد ما با چالش‌های محیط زیستی ایجاد کند.

مدیریت ریسک زیست‌محیطی در پروژه‌های عمرانی اهمیت بسیار زیادی دارد. با اجرای یک فرآیند منسجم، می‌توان ریسک‌های مرتبط با یک پروژه را اندازه‌گیری و مدل‌سازی کرد تا تأثیرات احتمالی بر اهداف، هزینه، زمان، کیفیت و دامنه پروژه مشخص شود (Lyons & Skitmore, 2004؛ Cohen, 2004). مفاهیم کلیدی مدیریت ریسک شامل ریسک، اطمینان، عدم قطعیت، قرار گرفتن در معرض و پذیرش ریسک است که نه‌تنها در صنعت ساخت‌وساز، بلکه در تمامی حوزه‌ها اهمیت دارند (جلجلی، ۲۰۰۵). مدیریت ریسک با فراهم کردن داده‌های کمی و کیفی، به تصمیم‌گیرندگان کمک می‌کند انتخاب‌های آگاهانه‌تری داشته باشند. از طریق مطالعه سیستماتیک عوامل مرتبط، می‌توان احتمال بروز مشکلات را تخمین زد، پیامدهای احتمالی را شناسایی کرد و راهکارهایی برای اجتناب یا کاهش آن‌ها اندیشید (Lyons & Skitmore, 2004). در نهایت، این فرآیند به تصمیم‌گیرندگان اجازه می‌دهد تا بهترین گزینه را از میان انتخاب‌های موجود برگزینند.

همگام با گسترش ابرپروژه‌های ساخت‌وساز معاصر، ضروری است که فعالیت‌های مرتبط با برنامه‌ریزی پروژه، شناسایی ریسک، تجزیه و تحلیل کیفی و کمی ریسک، برنامه‌ریزی پاسخ به ریسک و نظارت و کنترل ریسک به‌طور جدی مورد توجه قرار گیرد. شناسایی، ارزیابی و پاسخ به ریسک‌های بالقوه می‌تواند به کلان‌پروژه‌های ساخت‌وساز کمک کند تا اثرات منفی در چرخه‌های پروژه را کاهش دهند. با این حال، به دلیل ماهیت چندجانبه و پیچیده این پروژه‌ها و اتکای آن‌ها به حمایت‌های اجتماعی و سیاسی محلی، ارزیابی دقیق خطرات احتمالی آن‌ها حیاتی است. این ارزیابی می‌تواند از بروز اثرات مضر جلوگیری کرده و به دستیابی به نتایج بهتر کمک کند. در دهه‌های اخیر، افزایش سریع تعداد و ارزش کلان‌پروژه‌ها و تنوع عوامل ریسک در آن‌ها مشاهده شده است. از این رو، امکان پذیر نیست که یک مدل یا چارچوب مدیریت ریسک واحد برای همه کلان‌پروژه‌ها اعمال شود [Debalina & Jagadeesh, 2020]. با افزایش اندازه، پیچیدگی و مشارکت چندجانبه، میزان ریسک نیز به‌طور هم‌زمان افزایش می‌یابد [Kwak, 2003]. بنابراین، ارزیابی ریسک در کلان‌پروژه‌های ساخت‌وساز به‌عنوان یک مورد خاص ضروری است [Boateng & Chen, 2012]. این اقدام می‌تواند به شناسایی دقیق ریسک‌ها، ارزیابی شدت آن‌ها، برقراری ارتباط بین ریسک‌ها و توزیع مناسب ریسک بین عوامل یا ذینفعان کمک کند تا از تأخیرات پروژه و زیان‌های مالی جلوگیری شود [Irimia-Dieguez et al., 2014].

با این حال، مطالعات موجود عمدتاً به ارزیابی کیفی برای شناسایی عوامل ریسک و اقدامات اجتنابی احتمالی پرداخته‌اند. این روش‌ها به ارائه یک چارچوب مدیریت ریسک خاص پروژه کمک نمی‌کنند و بنابراین نمی‌توان آن‌ها را در همه کلان‌پروژه‌ها به کار برد. علاوه بر این، علیرغم رشد سریع بخش ساخت‌وساز در اقتصاد جهانی و افزایش احتمال ریسک‌ها، تحقیقات محدودی به مدیریت ریسک در پروژه‌های بزرگ ساخت‌وساز اختصاص یافته است. جالب‌تر اینکه، تحقیقات موجود ریسک‌های اجرایی، اقتصادی، سیاسی، زیست‌محیطی، تکنولوژیکی و اجتماعی را به‌عنوان عوامل ریسک کلیدی در پروژه‌های بزرگ ساخت‌وساز شناسایی کرده‌اند. اما این مطالعات در شناسایی روابط نزدیک بین سایر عوامل ریسک ناکام بوده‌اند، به‌طوری که مدیریت ریسک و تصمیم‌گیری‌ها می‌توانند برای دستیابی به اهداف مورد نظر بهبود یابند. علاوه بر عوامل ریسک کلیدی ذکر شده، ریسک‌های مرتبط دیگری نیز ممکن است وجود داشته باشند که در صورت عدم توجه، تأثیر تجمعی بر چرخه پروژه خواهند داشت. ساختار این مقاله به‌گونه‌ای است که پس از مقدمه و مرور ادبیات فنی، به بیان روش تحقیق و مفاهیم اساسی آن می‌پردازد. سپس با تجزیه و

تحلیل نتایج تحقیق، کارایی روش ترکیبی به‌کارگرفته‌شده را مورد بررسی و نقد قرار می‌دهد. در نهایت، با انجام تحلیل حساسیت، به جمع‌بندی مباحث پرداخته و نکات مهم و پیشنهادات آینده را ارائه می‌دهد.

۲- روش تحقیق

این مقاله با هدف طراحی چارچوبی پویا برای ارزیابی پیچیدگی‌های ریسک در شرایط زیست‌محیطی پروژه‌های عمرانی تدوین شده است. بهره‌برداری از ارتباطات میان ریسک‌ها برای شناسایی عوامل خطر متنوع و مؤلفه‌های زیرخطر مرتبط، از اهمیت بالایی برخوردار است. شناسایی صرف عوامل خطر بر اساس روش‌های کمی یا کیفی مرسوم، نمی‌تواند به تعمیم یک چارچوب جامع مدیریت ریسک منجر شود. هرچند روش‌های کمی و تحلیلی با استفاده از نظرات متخصصان می‌توانند ریسک‌های اصلی را شناسایی کنند، اما ممکن است در پرداختن به ریسک‌های فرعی ناکام بمانند؛ ریسک‌هایی که تأثیر تجمعی بر موفقیت کلی پروژه دارند. برای دستیابی به هدف مطالعه، یک چارچوب جدید شناسایی ریسک مبتنی بر دانش و یادگیری ماشین برای پروژه‌های بزرگ ساخت‌وساز توسعه داده شده است. این مدل ترکیبی، از دو رویکرد استفاده می‌کند: نخست، روش‌های تحقیق کمی برای جمع‌آوری و پردازش داده‌ها و پیشنهادات کارشناسان نسبت به عوامل خطر مختلف در پروژه‌های بزرگ ساخت‌وساز؛ دوم، الگوریتم‌های یادگیری ماشین برای خوشه‌بندی عوامل خطر بر اساس وابستگی‌ها و تأثیر تجمعی آن‌ها بر عملکرد پروژه. این رویکرد می‌تواند به کاهش اثرات مضر بر چرخه عمر پروژه‌های بزرگ ساخت‌وساز کمک کند و مدیریت ریسک را بهبود بخشد. این مقاله چندین مشارکت کلیدی در حوزه مدیریت ریسک پروژه‌های بزرگ ساخت‌وساز ارائه می‌دهد: ۱- رویکرد مبتنی بر دانش متخصصان: برخلاف روش‌های کلاسیک شناسایی ریسک که به مطالعات کیفی یا کمی محدود می‌شوند، این تحقیق شناسایی و اعتبارسنجی ریسک را بر اساس دانش و تجربیات کارشناسانی که در مدیریت کلان‌پروژه‌های ساخت‌وساز فعالیت دارند، انجام داده است. به عبارت دیگر، پاسخ‌های مستقیم از متخصصانی که مستقیماً با پروژه‌های بزرگ سروکار دارند، در مورد عوامل ریسک بالقوه و تأثیر آن‌ها بر چرخه عمر پروژه جمع‌آوری شده است. ۲- ارزیابی آماری و استفاده از یادگیری ماشین: با توجه به رویکرد دانش‌محور، ارزیابی آماری جامعی از عوامل ریسک مختلف و تأثیر آن‌ها بر عملکرد و چرخه عمر پروژه صورت گرفته است. علاوه بر این، با استخراج امتیاز تجمعی ریسک از عوامل اصلی، از تکنیک‌های یادگیری ماشین برای بخش‌بندی عوامل زیرریسک مرتبط استفاده شده است تا تصمیم‌گیری بهتری انجام شود. ۳- خوشه‌بندی ریسک‌ها با شبکه عصبی CNN مبتنی بر الگوریتم MVO: به دلیل استفاده از سناریوی چندریسکی، خروجی‌های آماری مربوط به ریسک‌ها و شدت آن‌ها با استفاده از شبکه عصبی CNN مبتنی بر الگوریتم (MVO) پردازش شده‌اند. این الگوریتم پیشنهادی با استفاده از وزن‌دهی به ریسک‌های اصلی و عوامل فرعی، ریسک‌های کلی را به دسته‌های گسترده تقسیم‌بندی می‌کند. ۴- بهبود مدیریت ریسک از طریق شناسایی ریسک‌های اصلی و فرعی: شناسایی ریسک‌های اصلی همراه با نزدیک‌ترین ریسک‌های فرعی امکان مدیریت بهتر ریسک را از نظر افزایش آگاهی، توزیع مناسب ریسک، اتخاذ تصمیم‌های پیشگیرانه و اجرای مؤثر فراهم می‌کند. در مجموع، این رویکرد می‌تواند از زیان‌های جبران‌ناپذیری که ممکن است به دلیل ریسک‌های پنهان یا کم‌اهمیت در کلان‌پروژه‌های ساخت‌وساز ایجاد شود، جلوگیری کند. ۵- توجیه‌پذیری و پذیرش بالاتر در مدیریت ریسک: با توجه به اینکه تحقیق پیشنهادی به توسعه یک چارچوب شناسایی ریسک مبتنی بر دانش متخصصان و نتایج پیش‌بینی‌شده با یادگیری ماشین کمک می‌کند، کارایی آن در مدیریت ریسک پروژه‌ها قابل توجیه‌تر و پذیرش آن از سوی جامعه مهندسی و مدیریتی بیشتر است. در کل، با توجه به ماهیت پرخطر پروژه‌های ساخت‌وساز، این حوزه بستری مناسب برای اعمال فعالیت‌های رسمی مرتبط با مدیریت ریسک است. مدیریت ریسک پروژه، مجموعه‌ای از رویه‌ها است که با ارائه دستورالعمل‌های مناسب، به شناسایی و مدیریت ریسک‌هایی که تهدیدهای حیاتی محسوب می‌شوند، کمک می‌کند. برای اینکه این فرآیند مؤثر و سودمند باشد، لازم است تمامی رویه‌های مورد نیاز به‌صورت سیستماتیک در طول چرخه عمر پروژه اجرا شوند.

۳- مدیریت ریسک به روش FMEA

این مطالعه با شناسایی ریسک‌های زیست‌محیطی مهم در صنعت ساخت‌وساز و بهره‌گیری از استانداردهای ISO 31000، ISO 14001، OHSAS 18001 و رویکرد FMEA، به تعیین اهمیت و اولویت‌بندی ریسک‌های بحرانی می‌پردازد. سپس استراتژی‌های پاسخ به ریسک‌های شناسایی‌شده تدوین و با استفاده از مدل‌سازی هوش مصنوعی، استراتژی بهینه‌تری ارائه می‌شود. مدل پیشنهادی به‌طور صریح ساختار

شکست کار، رویدادهای ریسک، اقدامات کاهش ریسک زیست‌محیطی و تأثیرات آن‌ها را مرتبط می‌سازد. ساختار شکست کار به‌عنوان محور ارتباطی، امکان یکپارچه‌سازی مدیریت ریسک با سایر زیرسیستم‌های مدیریت پروژه را فراهم می‌کند، که این امر برای دستیابی به مدیریت مؤثر ریسک‌های زیست‌محیطی در پروژه‌های ساخت‌وساز ضروری است. برای ارزیابی و انتخاب پاسخ‌های ریسک زیست‌محیطی پروژه، پیشنهاد می‌شود که ساختار شکست کار، رویدادهای ریسک زیست‌محیطی، اقدامات کاهش ریسک و تأثیرات آن‌ها به‌صورت صریح با یکدیگر مرتبط شوند. به‌منظور برقراری ارتباط بین مدل انتخاب پاسخ ریسک‌ها و کل سیستم پروژه، در نظر گرفتن ساختار شکست کار به‌عنوان محور ارتباطی ضروری است. به‌عبارت‌دیگر، ساختار شکست کار تنها محوری است که می‌تواند به‌عنوان کانالی مهم در یکپارچه‌سازی سیستم جامع مدیریت پروژه با زیرسیستم‌های دیگر، مانند مدیریت ریسک، در نظر گرفته شود. ریسک‌های مهم طبقه‌بندی شده و فعالیت‌های مهم و بحرانی پروژه به‌ترتیب در جداول ۱ و ۲ ارائه شده‌اند.

جدول ۱: موارد مطرح در ریسک‌های زیست‌محیطی بر اساس FMEA برای پروژه‌های عمرانی

ردیف	ریسک زیست محیطی	شماره ریسک
۱	پسماند مصالح ساختمانی	R1
۲	آلودگی هوای محیط	R2
۳	آلودگی آب زیرزمینی	R3
۴	آلودگی خاک	R4
۵	سقوط از ارتفاع	R5
۶	مصرف زیاد انرژی	R6
۷	مصرف بی رویه آب	R7
۸	پسماند خشک کارگاهی	R8
۹	پسماند تر (مواد غذایی)	R9
۱۰	پرتاب اشیاء و اجسام	R10
۱۱	آتشسوزی و سطوح داغ	R11
۱۲	آلودگی صوتی	R12

برنامه‌ریزی زیست‌محیطی به معنای تلاش‌هایی است که جهت ایجاد تعادل و هماهنگی بین فعالیت‌های انسانی و محیط زیست انجام می‌شود. این فعالیت‌ها عمدتاً به صورت پروژه‌های آبادانی و ساخت‌وساز هستند که انسان به نفع خود ایجاد می‌کند. هدف اصلی برنامه‌ریزی زیست‌محیطی، کاهش یا خنثی‌سازی اثرات منفی این تأسیسات و فعالیت‌ها بر محیط طبیعی است. با این حال، بسیاری از کارشناسان نگران‌اند که تمایل انسان به توسعه صنعتی و اقتصادی منجر به خسارات جدی به محیط زیست شود؛ خساراتی که با کاهش منابع طبیعی و ذخایر زیرزمینی، منجر به اختلال در همبستگی اکولوژیکی و فروپاشی جوامع انسانی خواهد شد. هرگونه تغییر در روش‌های استفاده از زمین و طبیعت پیرامون آن می‌تواند به تغییرات نامطلوب و محسوسی در محیط زیست منجر شود. بنابراین، وظیفه برنامه‌ریزان محیط زیست اتخاذ تدابیری برای کاهش سریع تأثیرات منفی این تغییرات است. در این راستا، باید دو مفهوم اساسی را مدنظر قرار داد: نخست، هرگونه تجهیز کارگاه و تأسیسات عمرانی نیازمندی‌های بالقوه‌ای دارد که بر اساس شرایط ژیواستراتژیک مناطق تعیین، تنظیم و اجرا می‌شود؛ دوم، هماهنگی و تطبیق این فعالیت‌ها با ملاحظات زیست‌محیطی ضروری است. مسائل اصلی کارگاه‌های عملیاتی در کشورهای مختلف شامل موارد زیر است: ۱- تولید گرد و غبار توسط تجهیزات ساخت‌وساز. ۲- آلودگی آب ناشی از تراوش و نفوذ مواد و مصالح ساختمانی. ۳- آلودگی صوتی و لرزش حاصل از ماشین‌آلات ساخت‌وساز. رویکرد کشورهای مختلف برای حل این مسائل بسیار شبیه به یکدیگر است. با به‌کارگیری ماشین‌آلات پیشرفته ساخت‌وساز که حداقل میزان آلودگی صوتی و لرزش را ایجاد می‌کنند، در آینده‌ای نزدیک کارگاه‌های عملیاتی به گونه‌ای طراحی خواهند شد که تولید گرد و غبار نیز به حداقل ممکن برسد. مواد و مصالح ساختمانی باید در مخازن و کانتینرهای نفوذپذیر و تراوا (برای تصفیه این مصالح) ذخیره شوند.

جدول ۲: ساختار شکست برای تعریف ریسک‌های زیست‌محیطی بر اساس FMEA برای پروژه‌های عمرانی

ردیف	شرح ساختار شکست (فعالیت)	شماره فعالیت
۱	خاکبرداری و گودبرداری	A1
۲	آرماتور بندی	A2
۳	قالب بندی	A3
۴	بتن ریزی	A4
۵	اسکلت فلزی	A5
۶	تاسیسات مکانیکی	A6
۷	تاسیسات برقی	A7
۸	عایق کاری	A8
۹	نازک کاری	A9
۱۰	نما	A10

۴- مدلسازی یادگیری عمیق

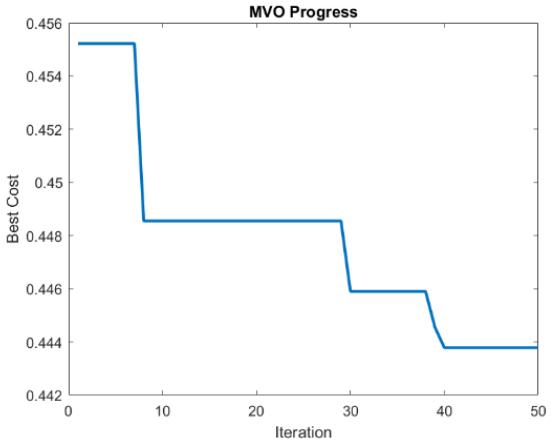
این بخش به معرفی ترکیبی نوآورانه از شبکه‌های عصبی کانولوشنی (CNN) و الگوریتم بهینه‌سازی چندجهانی (MVO) برای بهبود مدل‌سازی در حوزه مدیریت ریسک می‌پردازد. شبکه‌های CNN با استفاده از عملیات کانولوشن، قابلیت استخراج ویژگی‌های مهم و پیچیده از داده‌ها را دارند. از سوی دیگر، الگوریتم MVO با الهام از مفاهیم کیهان‌شناسی مانند سیاه‌چاله، سفیدچاله و کرم‌چاله، وزن‌ها و بایاس‌های شبکه عصبی را بهینه‌سازی می‌کند. این ترکیب منجر به ایجاد مدلی قدرتمند می‌شود که می‌تواند با دقت بالاتری ریسک‌ها را شناسایی و مدیریت کند. هدف از ترکیب الگوریتم MVO با شبکه CNN بهینه‌سازی وزن‌ها و بایاس‌های شبکه عصبی برای مدلسازی پدیده مدیریت ریسک است. با این ترکیب، شبکه CNN قادر خواهد بود تا با دقت و کارایی بیشتری الگوهای پیچیده مرتبط با مدیریت ریسک را شناسایی و پیش‌بینی کند. در بخش قبل، ارزیابی ریسک‌های زیست‌محیطی در پروژه‌های عمرانی با استفاده از روش FMEA انجام شد تا بانک اطلاعاتی مورد نیاز و پارامترهای ورودی و خروجی مهم تعیین شوند. پس از این ارزیابی، شش پارامتر ورودی و دو پارامتر خروجی برای مدل‌سازی به کمک روش یادگیری عمیق معرفی شدند. ریسک‌های زیست‌محیطی مهم شناسایی‌شده عبارت‌اند از: ۱- آلودگی هوا (AP: Air Pollution) ، ۲- آلودگی آب زیرزمینی(WP: Water Pollution) ، ۳- آلودگی صوتی(NP: Noise Pollution) ، ۴- پسماند ساختمانی (CW: Construction Waste)، ۵- مصرف بی‌رویه آب(UWC: Uncontrolled Water Consumption) ، ۶- آلودگی خاک (SP: Soil Pollution). این ریسک‌ها در ارزیابی مرحله اول به‌عنوان مهم‌ترین ورودی‌ها نسبت به سایر عوامل موجود در جدول (۱) شناسایی شدند. دو پیامد اصلی که این ریسک‌ها می‌توانند بر پروژه تحمیل کنند، عبارت‌اند از: ۱- تاخیر زمانی (T): به‌عنوان پارامتر خروجی با واحد روز در نظر گرفته شده است. ۲- هزینه اضافی (C): به‌عنوان پارامتر خروجی دیگر با واحد میلیون تومان محسوب شده است. برخی از داده‌های مورد استفاده در این مطالعه در جدول (۳) ارائه شده‌اند.

جدول ۳: بانک اطلاعاتی تحقیق حاضر بر اساس پارامترهای ورودی و خروجی موثر

Inputs						Outputs	
AP	WP	NP	CW	UWC	SP	C	T
18	12	6.75	9.5	12.5	8.7	34.75	150
18	12	6.75	9.5	12.8	6.5	50.75	208
18	12	6.75	9.5	13.5	7.5	66.75	265
18	12	6.75	9.5	11.5	7.3	84.75	305
17	40	15.25	4.75	11.8	7.8	44.25	135
17	40	15.25	4.75	14	9.3	79.25	280
17	40	15.25	4.75	12.3	9.5	115.25	163
17	40	15.25	4.75	15.3	9.1	152.25	158
17	40	15.25	4.75	16.5	9	190.25	285
17	40	15.25	4.75	11.5	9.2	230.25	105
17	40	15.25	4.75	12.3	8.2	270.25	140
18.1	28	6.75	19	13.5	8.3	35	155
18.1	28	6.75	19	14.5	8.5	72	177
18.1	28	6.75	19	18.3	8.4	110	193
18.1	28	6.75	19	14.5	8.2	149	207
18.1	28	6.75	19	16.9	8.5	188	227
18.1	28	6.75	19	17.1	7.8	227	253
18.1	28	6.75	19	15.2	7	264	297
16.4	43	15	2	14.8	7.9	42.95	80
16.4	43	15	2	13.5	6.8	80.95	142
16.4	43	15	2	16.5	10.5	112.95	275
16.4	43	15	2	14.2	9.8	139.95	197

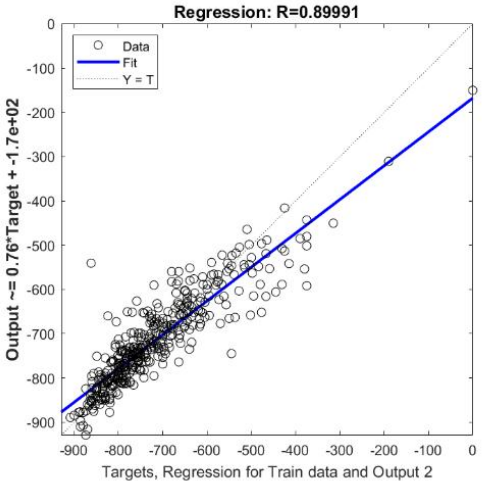
۴-۱- نتایج مدلسازی یادگیری عمیق

در این بخش، برای ارزیابی کارایی روش یادگیری عمیق از دو شاخص ضریب رگرسیون (R) و میانگین مربعات خطا (MSE) استفاده شده است که نتایج آن‌ها در شکل‌های بعدی ارائه شده‌اند. این شاخص‌های ارزیابی و همبستگی برای بررسی عملکرد مدل به‌کار برده می‌شوند. تمامی شاخص‌های خطا و منحنی‌های آموزشی برای هر دو خروجی محاسبه شده و بهترین عملکرد آن‌ها با یکدیگر مقایسه شده است تا ساختار بهینه معرفی گردد. این فرآیند در پیش‌پردازش روش یادگیری عمیق در شبکه عصبی و انواع آن نیز انجام شده است، اما به دلیل حجم بالای مقاله ارائه نشده و در صورت نیاز قابل دسترسی است. شایان ذکر است که استفاده از شاخص‌های مناسب در ارزیابی مدل‌های یادگیری عمیق، نقش بسزایی در بهبود دقت و کارایی آن‌ها دارد. انتخاب ساختار بهینه شبکه عصبی می‌تواند تأثیر قابل توجهی بر کاهش خطا و افزایش دقت پیش‌بینی‌ها داشته باشد. جالب است بدانید که ترکیب الگوریتم‌های بهینه‌سازی با شبکه‌های عصبی می‌تواند در حوزه‌های مختلفی مثل پیش‌بینی بازار، تشخیص الگوها در داده‌های پزشکی و بهینه‌سازی فرآیندهای صنعتی نیز به کار گرفته شود. استفاده از این رویکردها می‌تواند به توسعه مدل‌های دقیق‌تر و کارآمدتر منجر شود که در نهایت به پیشرفت فناوری و بهبود عملکرد در صنایع مختلف کمک می‌کند.



شکل ۱: منحنی عملکرد کد ترکیبی یادگیری عمیق

در شکل (۱)، میزان خطا بین داده‌های شبیه‌سازی‌شده و مقادیر هدف در کد ترکیبی شبکه عصبی و الگوریتم بهینه‌سازی MVO نمایش داده شده است. این کد ترکیبی با کاهش شاخص خطا به ۰٫۰۵، عملکرد مطلوبی را ارائه داده است. هدف از ترکیب الگوریتم بهینه‌سازی با شبکه عصبی مصنوعی، بهینه‌سازی وزن‌ها و بایاس‌های شبکه عصبی در فرآیند مدل‌سازی پدیده مورد نظر است. همچنین، شکل (۲) ضریب همبستگی حاصل از مدل‌سازی کد ترکیبی در خروجی ۱ را نشان می‌دهد که مقدار آن برابر با ۹۰ درصد است. این میزان ضریب همبستگی، بر اساس معیارهای پذیرفته‌شده در ارزیابی عملکرد مدل‌های یادگیری عمیق، مانند Smith (۱۹۸۶)، قابل قبول محسوب می‌شود. این نتایج نشان‌دهنده کارایی بالای ترکیب شبکه‌های عصبی و الگوریتم‌های بهینه‌سازی مانند MVO در مدل‌سازی پدیده‌های پیچیده است. بهینه‌سازی وزن‌ها و بایاس‌های شبکه عصبی منجر به افزایش دقت مدل و کاهش خطا می‌شود. این رویکرد می‌تواند در مدیریت ریسک زیست‌محیطی پروژه‌های عمرانی به بهبود تصمیم‌گیری‌ها و کاهش هزینه‌ها و تأخیرات کمک کند.



شکل ۲: ضریب رگرسیون کد ترکیبی یادگیری عمیق

۵- تحلیل حساسیت

در این بخش، به منظور درک بهتر از تأثیر هر یک از پارامترهای ورودی بر خروجی‌های مدل یادگیری عمیق، از آنالیز حساسیت استفاده شده است. این آنالیز به ما کمک می‌کند تا مشخص کنیم تغییرات در ورودی‌ها چگونه و تا چه حد بر خروجی‌ها اثر می‌گذارند. با توجه به اینکه در مدل‌های یادگیری عمیق و ماشین، روند عملکرد و نحوه اثرگذاری پارامترهای ورودی بر خروجی‌ها به‌طور مستقیم مشخص نیست، آنالیز حساسیت می‌تواند این روابط را روشن‌تر کند. در این روش استفاده از مشتق نسبی خروجی نسبت به ورودی: این روش مبتنی بر محاسبه مشتقات نسبی خروجی‌های مدل نسبت به ورودی‌های مورد نظر است. با این کار، می‌توان حساسیت خروجی به تغییرات کوچک در ورودی را اندازه‌گیری کرد. سپس نمونه‌برداری تصادفی در فضای ورودی: با انتخاب ۵۰۰ نقطه در فضای پنج‌بعدی ورودی‌ها (با استفاده از توزیع نرمال)، می‌توان تأثیر تغییرات ورودی‌ها را در کل فضای ممکن بررسی کرد. استفاده از نرم‌افزار SIMLAB: به دلیل نیاز به داده‌های بیشتر برای آنالیز حساسیت (فراتر از ۱۰۰ داده اصلی)، از این نرم‌افزار برای تولید نمونه‌های تصادفی و انجام محاسبات آماری استفاده شده است. محاسبه درصدهای آماری حساسیت نسبی: با استفاده از روش لو و همکاران (۲۰۰۱)، پنج درصد آماری (D10، D25، D50، D75 و D90) برای مقادیر حساسیت نسبی خروجی‌ها نسبت به ورودی‌ها محاسبه می‌شود. تعاریف درصدهای آماری عبارتند از:

۱- D10(دهمین صدک): ۱۰٪ از مقادیر حساسیت نسبی، کمتر از این مقدار هستند. این نشان‌دهنده حد پایین حساسیت در نمونه‌های مورد بررسی است.

۲- D25(بیست و پنجمین صدک): ۲۵٪ از مقادیر حساسیت نسبی، کمتر از این مقدار هستند. این مقدار، نشان‌دهنده نقطه‌ای است که یک‌چهارم داده‌ها زیر آن قرار می‌گیرند.

۳- D50(میانه یا پنجاهمین صدک): ۵۰٪ از مقادیر حساسیت نسبی، کمتر از این مقدار هستند. این مقدار، میانه داده‌ها و نشان‌دهنده حساسیت متوسط است.

۴- D75(هفتاد و پنجمین صدک): ۷۵٪ از مقادیر حساسیت نسبی، کمتر از این مقدار هستند. این مقدار، نشان‌دهنده نقطه‌ای است که سه‌چهارم داده‌ها زیر آن قرار می‌گیرند.

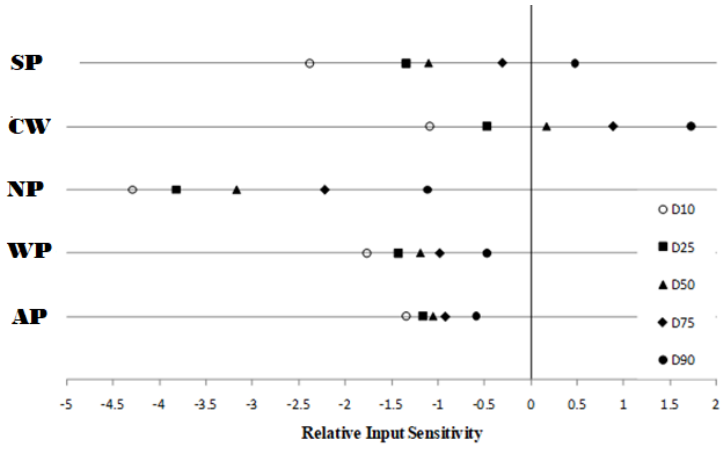
۵- D90(نودمین صدک): ۹۰٪ از مقادیر حساسیت نسبی، کمتر از این مقدار هستند. این نشان‌دهنده حد بالای حساسیت در نمونه‌های مورد بررسی است.

با محاسبه و تحلیل این درصدهای آماری، می‌توانیم: شناسایی متغیرهای ورودی کلیدی: متغیرهایی که مقادیر حساسیت نسبی بالاتری دارند، تأثیر بیشتری بر خروجی مدل داشته و به‌عنوان پارامترهای ورودی کلیدی شناسایی می‌شوند. درک جهت و میزان تأثیر: با بررسی مقادیر مشتق، می‌توان فهمید که افزایش یا کاهش هر ورودی چگونه بر خروجی اثر می‌گذارد (مثبت یا منفی بودن مشتق نشان‌دهنده جهت تأثیر است). بررسی پایداری مدل: اگر حساسیت مدل نسبت به برخی ورودی‌ها بسیار بالا باشد، ممکن است مدل نسبت به تغییرات کوچک در آن ورودی‌ها ناپایدار باشد. این اطلاعات می‌تواند در بهبود مدل و کاهش عدم قطعیت کمک کند. تسهیل در تصمیم‌گیری: با دانستن اینکه کدام پارامترها بیشترین تأثیر را دارند، می‌توان در فرآیندهای مهندسی و علمی تمرکز بیشتری بر کنترل و اندازه‌گیری دقیق آن‌ها داشت. آنالیز حساسیت با استفاده از مشتقات نسبی و درصدهای آماری، ابزار قدرتمندی است که به ما امکان می‌دهد تأثیر پارامترهای ورودی را بر خروجی‌های مدل یادگیری عمیق بسنجیم. این روش کمک می‌کند تا مدل را بهتر درک کرده، اعتماد بیشتری به نتایج پیش‌بینی‌ها داشته باشیم و در نهایت، استفاده از مدل‌های یادگیری عمیق را در کاربردهای علمی و مهندسی تسهیل کنیم. استفاده از این روش آنالیز حساسیت، به‌ویژه در مدل‌های پیچیده یادگیری عمیق، می‌تواند به شفاف‌سازی عملکرد مدل کمک کرده و اطمینان بیشتری نسبت به نتایج آن فراهم کند. این امر به تصمیم‌گیرندگان و مهندسان اجازه می‌دهد تا با اعتماد به مدل، از آن در کاربردهای واقعی بهره‌برداری کنند. در جدول (۴) مقادیر میانگین حساسیتهای نسبی خروجی نسبت به ورودی‌های مورد بحث ارایه شده است.

جدول ۴: مقادیر میانگین حساسیت نسبی خروجی نسبت به پارامترهای ورودی

Output	LP					SD				
Input	AP	WP	NP	CW	SP	AP	WP	NP	CW	SP
Relative Mean	0.928	0.246	2.920	-1.165	1.015	0.0957	-0.399	0.346	-0.741	-0.025

در ادامه، مقادیر درصدهای آماری مربوط به حساسیت‌های نسبی خروجی مدل در مقابل هر یک از پنج ورودی اصلی، برای مدل به‌کاررفته در شکل (۳) ارائه شده است. طبق این شکل، بیش از ۷۵٪ مقادیر حساسیت نسبی مربوط به آلودگی خاک (SP) منفی هستند. این موضوع نشان می‌دهد که با افزایش شاخص آلودگی خاک، حساسیت خروجی کاهش می‌یابد. به‌عبارت‌دیگر، تأثیر آلودگی خاک بر خروجی مدل به‌طور معکوس است؛ هرچه آلودگی خاک بیشتر شود، حساسیت خروجی کمتر می‌شود. در مقابل، برای پارامتر ورودی دیگر یعنی پسماند ساختمانی (CW)، مشاهده می‌شود که بیشتر مقادیر حساسیت نسبی مثبت هستند. این بدان معناست که افزایش مقدار این پارامتر منجر به افزایش حساسیت خروجی می‌شود. به‌بیان‌دیگر، تأثیر پسماند ساختمانی بر خروجی مدل مستقیم است؛ هرچه میزان پسماند ساختمانی بیشتر باشد، حساسیت خروجی نیز بیشتر خواهد بود.



شکل ۳: آنالیز حساسیت روش یادگیری عمیق در پارامترهای ورودی

نتایج آنالیز حساسیت نشان می‌دهد که آلودگی صوتی (NP) دارای بیشترین مقادیر منفی در حساسیت نسبی است، به‌طوری‌که بیشترین تأثیر کاهشی را بر خروجی مدل دارد. همچنین، مطابق شکل (۳)، دو پارامتر ورودی دیگر یعنی آلودگی آب و آلودگی هوا نیز دارای مقادیر حساسیت نسبی منفی هستند، که نشان‌دهنده کاهش خروجی با افزایش این دو پارامتر است. لازم به ذکر است که اثر آلودگی آب نسبت به آلودگی هوا بیشتر می‌باشد. در مقایسه تأثیر این پنج پارامتر ورودی بر خروجی‌های مدل، با توجه به فاصله دسته‌های آماری از خط پایه، مقادیر درصدی (شکل (۳)) و میانگین نسبی (جدول (۴))، می‌توان نتیجه گرفت که پسماند ساختمانی (CW) بیشترین تأثیر را بر پارامتر خروجی دارد. جالب است بدانید که در مدیریت ریسک زیست‌محیطی پروژه‌های عمرانی، شناسایی پارامترهایی که بیشترین تأثیر را بر نتایج دارند، امکان مداخله مؤثرتر و تخصیص منابع بهینه را فراهم می‌کند. پسماندهای ساختمانی نه‌تنها بر هزینه‌ها و زمانبندی پروژه تأثیر می‌گذارند، بلکه پیامدهای زیست‌محیطی قابل‌توجهی نیز ایجاد می‌کنند. اتخاذ راهکارهای نوین در مدیریت پسماند، مانند بازیافت مواد و استفاده از فناوری‌های سازگار با محیط زیست، می‌تواند تأثیرات منفی را کاهش دهد.

۶- جمع بندی و نتیجه گیری

ارزیابی اثرات محیطزیستی (EIA) روشی است که به بررسی و پیش‌بینی تأثیرات یک پروژه یا عملیات بر محیط زیست می‌پردازد تا با شناخت وضعیت موجود و نوع اثرات، پروژه به گونه‌ای اجرا شود که کمترین آسیب به محیط زیست وارد گردد. این رویکرد با تلفیق مدیریت، برنامه‌ریزی، تجزیه و تحلیل داده‌ها و مشارکت عمومی در ارزیابی‌های پیش از تصمیم‌گیری، به توسعه پایدار کمک می‌کند. به دلیل نیاز انسان به غذا و انرژی، محدود کردن فعالیت‌های بشری ممکن نیست؛ بنابراین کشورها تلاش می‌کنند آثار و پیامدهای این فعالیت‌ها را مورد بررسی و مدیریت قرار دهند. در ایران، برای ارزیابی آثار محیطزیستی برخی از پروژه‌های صنعتی و عمرانی مانند تصفیه آب و فاضلاب، الزامات قانونی وجود دارد. هدف از این ارزیابی، جلوگیری از تأثیرات منفی طرح‌ها بر محیط زیست و کاهش هزینه‌ها است. در این فرآیند، اثرات پروژه بر محیط زیست پیش‌بینی شده و اقداماتی برای اصلاح و کاهش آثار منفی آن صورت می‌گیرد. در این تحقیق، با استفاده از رویکرد FMEA و استانداردهای مدیریت ریسک ISO 31000، ISO 14001 و OHSAS 18001، اهمیت و اولویت ریسک‌های فعالیت‌های مهم و بحرانی در صنعت ساخت‌وساز شناسایی شده است. ریسک‌های محیطزیستی مهم شامل آلودگی هوا (AP)، آلودگی آب زیرزمینی (WP)، آلودگی صوتی (NP)، پسماند ساختمانی (CW)، مصرف بی‌رویه آب (UWC) و آلودگی خاک (SP) هستند. این ریسک‌ها می‌توانند دو پیامد مهم بر پروژه تحمیل کنند: تاخیر زمانی (T) و هزینه اضافی (C). برای مدل‌سازی و پیش‌بینی تأثیر این ریسک‌ها، از ترکیب شبکه عصبی کانولوشنی (CNN) و الگوریتم بهینه‌سازی چندمتغیره (MVO) استفاده شده است. نتایج مدل‌سازی با روش یادگیری عمیق نشان می‌دهد که این روش ترکیبی از کارایی قابل قبولی برخوردار است و می‌تواند به بهبود مدیریت ریسک‌های محیطزیستی در پروژه‌های عمرانی کمک کند. یادگیری عمیق با بررسی شاخص‌های ارزیابی مدل نشان داده است که از کارایی قابل قبولی برخوردار است و سپس تحلیل حساسیت مدلسازی یادگیری عمیق نشان می‌دهد که:

الف- آلودگی خاک :(SP) با افزایش این پارامتر، حساسیت خروجی کاهش می‌یابد؛ زیرا بیش از ۷۵٪ مقادیر حساسیت نسبی آن منفی است.

ب- پسماند ساختمانی :(CW) با افزایش این پارامتر، حساسیت خروجی افزایش می‌یابد؛ زیرا درصد بالایی از مقادیر حساسیت نسبی آن مثبت است.

ج- این نتایج حاکی از آن است که در مدل مورد بررسی، آلودگی خاک اثر معکوس و پسماند ساختمانی اثر مستقیم بر خروجی دارند. درک این روابط می‌تواند در بهبود مدیریت ریسک زیست‌محیطی پروژه‌های عمرانی مؤثر باشد، زیرا به تصمیم‌گیرندگان امکان می‌دهد تا بر عواملی که تأثیر بیشتری بر نتایج دارند.

د- تحلیل حساسیت مدل نشان داد که افزایش آلودگی صوتی (NP) باعث کاهش قابل‌توجه در خروجی می‌شود، زیرا بیشترین مقادیر منفی حساسیت نسبی را داراست. آلودگی آب و آلودگی هوا نیز اثرات کاهشی بر خروجی دارند، با این تفاوت که تأثیر آلودگی آب بیشتر است. در نهایت، پسماند ساختمانی (CW) به‌عنوان مهم‌ترین پارامتر تأثیرگذار بر خروجی شناخته شد، به‌طوری‌که افزایش آن بیشترین تأثیر را بر نتایج مدل دارد.

۷- مراجع

۱-چراغی، اسماعیل و خلیل زاده، محمد و چراغی، امیرپویا و رحیمی، یاسر،۱۳۹۸،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 https://civilica.com/doc/1288699،)

۲- عالم تبریز، اکبر، و حمزه ای، احسان. (۱۳۹۰). ارزیابی و تحلیل ریسک های پروژه با استفاده از رویکرد تلفیقی مدیریت ریسک استاندارد PMBOK و تکنیک RFMEA. مطالعات مدیریت صنعتی، ۹(۲۳)، ۱-۱۹. SID. https://sid.ir/paper/213149/fa

۳- نجفی، سیدمحمود و رشوند، پوریا،۱۴۰۱،مدیریت ریسک های زیست محیطی در پروژه ساخت تونل البرز آزادراه تهران-شمال بر مبنای روش AHP فازی،ششمین کنفرانس بین المللی مهندسی عمران، معماری و شهرسازی،تهران،https://civilica.com/doc/1549048

۴- نوری، جعفر، عباس پور، مجید، و ترابی فرد، مینا. (۱۳۸۹). ارزیابی و مدیریت ریسک های زیست محیطی یک واحد آموزشی با استفاده از روش FMEA. علوم و تکنولوژی محیط زیست، ۱۲(۳) (مسلسل ۴۶)، ۶۱-۷۰. SID. https://sid.ir/paper/469120/fa

5-ajabali Hokmabadi, Esmaeil Zarei, Ali Karimi, (2022). Risk assessment using failure modes and effects analysis on the basis of SWARA-RE-VIKOR fuzzy multi-criteria decision-making methods: A case study of the city gate gas pressure reduction station, Iran Occupational Health, 19(1), 33. magiran.com/p2705204. In Persian.

6-EmamiKorandeh, M., & Hosseini, S. A. (2022). Determination of the Critical Column in the Phenomenon of Progressive Collapse of the Steel Bending Frame Considering the Effect of Soil-Structure Interactions with both the Direct and Indirect Methods. Passive Defense Quarterly, 13(2), 1-13.

7-Jafar Nouri, Majid Abbaspour, and Mina Torabifard, "Assessment and management of environmental risks of an educational unit using FMEA method," Environmental Science and Technology, vol. 12, no. 3 (series 46), pp. 61-70, 1389, [Online]. Available: https://sid.ir/paper/469120/fa. In Persian.

8-Korandeh, M. E., & Yasrobi, S. S. (2022). Determination of behavioral parameters of coarse grain alluvium by in situ and laboratory pressuremeter tests. Arabian Journal of Geosciences, 15(23), 1714.

9-Iranian, Morteza and Rezaiyan, Javad, 2014, risk assessment in road construction projects based on PMBOK standard using ANP technique studied: Sari city cable bridge construction project, 11th international project management conference, Tehran, https://civilica.com/ doc/620723. In Persian.

10-EmamiKorandeh, M., & Asgari, B. (2022). Investigation of Parameters Affects on the Phenomenon of Progressive Collapse in Steel Structures Using Artificial Neural Network (ANN). New Approaches in Civil Engineering, 6(2), 27-44.

11-Faizi, Ehsan and Naqvi, Mohammad and Fakhraei, Hossein, 2019, risk assessment of hydroelectric concrete dams with FEMA and RAMCAP combined method with passive defense approach, case study: Liro concrete dam, https://civilica.com/doc/1187576. In Persian.

12-Namazi, Seyed Islam and Mahmoudian, Saman and Alizadeh Anbardan, Saeed and Behrabar, Ahmed, 2019, Environmental Risk Assessment in Road Construction by FMEA Method, 6th International Conference on Environmental Engineering and Natural Resources, Tehran, https://civilica.com/doc/1039126. In Persian.

13-EmamiKorandeh, M., & Farokhizadeh, S. (2024). Determining the Optimal Percentage of Incinerator Ash in the Compressive Strength of Concrete. Journal of New Approaches in Civil Engineering, 8(1).

14-Chiraghi, Esmail and Khalilzadeh, Mohammad and Chiraghi, Amirpoua and Rahimi, Yaser, 2018, choosing response strategies to the environmental risk of construction projects using meta-heuristic algorithms (case study: Saba construction complex project), https://civilica.com/doc/1288699. In Persian.

15-Bahareh Sadeq Al-Waad, and Amirreza Azadmehr, "Evaluation of environmental risk caused by mine tailings dump using FMEA method using fuzzy theory," presented at the specialized conference on the application of mathematics in earth sciences. 2013, [Online]. Available: https://sid.ir/paper/837210. In Persian.
16-Behrouz Khajovi, and Saeed Jafarirad, "Risk assessment of molybdenum chemical concentration unit of Sarchesme copper complex using FMEA method," Environmental Management and Sustainable Development, vol. 3, no. 10, pp. 7-12, 2018, [Online]. Available: https://sid.ir/paper/521480. In Persian.
17-EmamiKorandeh, M., & Vasheghani Farahani, F. (2023). Optimizing the Mix Design of Relatively Strength Lightweight Concrete Using the Artificial Neural Network Method. New Approaches in Civil Engineering, 7(1), 17-30.
18-Azizi H, Mackialeagha M, Azadbakht B, Samadyar H. Assessment of Environmental and Health Risks of the Chemical Industry by Applying Fuzzy Logic: A Case Study in South Tehran, Iran. jhehp 2022; 8 (3) :144-153. URL: http://jhehp.zums.ac.ir/article-1-530-en.html. In Persian.
19-Torab S, Dashti S. Risk Assessment of Health Safety and Environmental of Samangan Combined Cycle Power Plant using FMEA&SAW Integrated Model. Iranian Dam and Hydroelectric Powerplant 2022; 8 (31) :16-28. URL: http://journal.hydropower.org.ir/article-1-461-fa.html. In Persian.
20-Narges Siamian, Kamran Nasir Ahmadi, and Razia Ehsan Amrei, "Health, safety and environmental risk assessment in the automotive industry based on FTA and FMEA methods," Environmental Research and Technology, vol. 5, no. 8, pp. 139-153, 2019, [Online]. Available: https://sid.ir/paper/401474. In Persian.
21-Sahar Karim Nia "Tehran Municipality Financial Management System: pathology and solutions in the light of a comparative study of ten cities: London, Zurich, New York, Toronto, Oakland, Vienna, Beijing, Tokyo, Dubai and Istanbul *". Legal Research, 21, 51, 1401, 513-544. doi:10.48300/jlr.2022.163707. In Persian.
22-Emami, M. Modelling and Prediction of Coarse Grained Alluvium behavior by pressuremeter test results and Laboratory chamber. Diss. Doctoral Dissertation, Tarbiat Modares University, Tehran. Iran, 2014, 10.26480/ees.02.2017.16.18. In Persian.
23-Vazdani, Soghra & Sabzghabaei, Gholam & Dashti, Soolmaz & Cheraghi, Mitra & Alizadeh, Reza & Hemmati, Aazam. (2017). FMEA TECHNIQUES USED IN ENVIRONMENTAL RISK ASSESSMENT. Environment & Ecosystem Science. 1. 16-18. 10.26480/ees.02.2017.16.18.
24-Mehdi Khezri; Maryam Farahani; Saeed Motahhari; Bita Azadbakht. "Environmental Risk Assessment of Hydrocarbon-Rich Sludge of a Gas Refinery Using the Integrated Approach of PMBOK Standard Risk Management and FMEA Technique: A Case Study". Journal of Advances in Environmental Health Research, 11, 4, 2023, 253-263. doi: 10.34172/jaehr.1316
25-Alexander N. Semin; Marina V. Faminskaya; Vadim V. Ponkratov; Oksana N. Mikhayluk; Galina N. Shapoval. "Risk assessment and its management for environmental pollution in oil refinery using FMEA approach". Caspian Journal of Environmental Sciences, 21, 3, 2023, 603-622. doi: 10.22124/cjes.2023.6939 .
26-Benyamin Sadeghi; Mansour Sodagari; Hossein Nematollahi; Hamed Alikhani. "FMEA and AHP Methods in Managing Environmental Risks in Landfills: A Case Study of Kahrizak, Iran". Environmental Energy and Economic Research, 5, 2, 2021, 1-15. doi: 10.22097/eeer.2020.253735.1172 .

27-Emami Korandeh, M., Hosseini, S. A., & Sabouri Amlashi, A. (2023). Modeling of Porous Concrete Mixing Plan using Artificial Neural Network. New Approaches in Civil Engineering, 7(3), 1-15.
28-Darvishi, Sahar & Jozi, Seyed & Malmasi, Saeed & Rezaian, Sahar. (2019). Environmental risk assessment of dams at constructional phase using VIKOR and EFMEA methods (Case study: Balarood Dam, Iran). Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal. 26. 1-21. 10.1080/10807039.2018.1558396 .
29-Rahnamay Bonab, Shabnam & Osgooei, Elnaz. (2022). Environment risk assessment of wastewater treatment using FMEA method based on Pythagorean fuzzy multiple-criteria decision-making. Environment, Development and Sustainability. 1-31. 10.1007/s10668-022-02555-5.
30-Hasan Azizi, Mina Mackialeagha , Bita Azadbakht, Hassan Samadyar, (2023). Identification and Assessment of health, safety and environmental risk factors of Chemical Industry using Delphi and FMEA methods (a case study), Anthropogenic Pollution Journal, 6(2), 39-47. magiran.com/p2544064.
31-Emami, M. "Application of artifitial neural networks in pressuremeter test results." Master of Science thesis, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran (2009). doi: 10.22105/bdcv.2022.331778.1054.
32-Amiri M, Zaeimdar M, Khaledi H, Rezaian S. Risk Assessment of Urban Waste Management through EFMEA and TOPSIS Methods (Case Study: District 6 of Tehran Municipality, Iran). jhehp 2022; 8 (4) :191-201. URL: http://jhehp.zums.ac.ir/article-1-543-en.html .
33-Ceylan, Bulut Ozan & Akyar, Demir & Celik, Mehmet. (2023). A novel FMEA approach for risk assessment of air pollution from ships. Marine Policy. 150. 105536. 10.1016/j.marpol.2023.105536.
34-Yeganeh, Ali & Younesi Heravi, Moein & Razavian, s & Behzadian, Kourosh & Shariatmadar, Hashem. (2021). Applying a new systematic fuzzy FMEA technique for risk management in light steel frame systems. Journal of Asian Architecture and Building Engineering. 21. 10.1080/13467581.2021.1971994.
35-Adar, Elanur & İnce, Mahir & Karatop, Buket & Bilgili, Mehmet. (2017). The Risk Analysis by Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) and Fuzzy-FMEA of Supercritical Water Gasification System Used in the Sewage Sludge Treatment. Journal of Environmental Chemical Engineering. 5. 10.1016/j.jece.2017.02.006.
36-Madarsara, Tayyebeh & Yari, Saeed & Saeidabadi, Hamzeh. (2019). Health and Safety Risk Assessment Using a Combined FMEA and JSA Method in a Manufacturing Company. Asian Pacific Journal of Environment and Cancer. 2. 63-68. 10.31557/apjec.2019.2.1.63-68.
37-kobra setodemaram. "Health and Safety and Environmental Risk Assessment and Management in Urmia Sewage Treatment Plant by FMEA Method". Journal of Water and Wastewater Science and Engineering, 4, 1, 2019, 23-33. doi: 10.22112/jwwse.2019.154745.1119 .
38-Emami M, Yasrebi S. Application of artificial neural networks in interpretation of pressuremeter test results. MCEJ 2014; 14 (5) :11-25 URL: http://mcej.modares.ac.ir/article-16-5107-en.html.
39-Peide Liu, Yifan Wu, Ying Li, and Xiaoming Wu. 2024. An improved FMEA method based on the expert trust network for maritime transportation risk management. Expert Syst. Appl. 238, PA (Mar 2024). https://doi.org/10.1016/j.eswa.2023.121705 .

40-Fernandes, Rafaela & Sieira, Ana & Filho, Armando. (2022). Methodology for risk management in dams from the event tree and FMEA analysis. Soils and Rocks. 45. 1-15. 10.28927/SR.2022.070221 .
41-Alizadeh, Seyed Shamseddin & Solimanzadeh, Yaghoob & Mousavi, Saeid & Safari, Gholam. (2022). Risk assessment of physical unit operations of wastewater treatment plant using fuzzy FMEA method: a case study in the northwest of Iran. Environmental Monitoring and Assessment. 194. 10.1007/s10661-022-10248-9 .
42-Reza Fattahi; Reza Tavakkoli-Moghaddam; Mohammad Khalilzadeh; Nasser Shahsavari-Pour; Roya Soltani. "Risk Assessment by a New FMEA Model based on an Extended AHP Method under a Fuzzy Environment". Environmental Energy and Economic Research, 5, 4, 2021, 1-14. doi:10.22097/eeer.2021.263341.1180.
43- Ebadzadeh, Farkhondeh & Monavari, S. & Jozi, Seyed & Robati, Maryam & Rahimi, Razieh. (2022). Combining the Bow-tie model and EFMEA method for environmental risk assessment in the petrochemical industry. International Journal of Environmental Science and Technology. 20. 10.1007/s13762-022-04690-y.
44-Mohammad EmamiKorandeh; Negar Nourbakhsh. "Optimizing the Weight of Steel Structures using Artificial Neural Network Method". New Approaches in Civil Engineering, 4, 4, 2021, 63-77. doi: 10.30469/jnace.2021.131610 .
45-Hatefi, Mohammad ali and Hamid Reza Balilehvan. “Risk Assessment of Oil and Gas Drilling Operation: An Empirical Case using a Hybrid GROC-VIMUN-Modified FMEA Method.” Process Safety and Environmental Protection (2022): n. pag. https://doi.org/10.1016/j.psep.2022.12.006 .
46-Emami, M. (2014). Modelling and Prediction of Coarse Grained Alluvium behavior by pressuremeter test results and Laboratory chamber (Doctoral dissertation, Doctoral Dissertation, Tarbiat Modares University, Tehran. Iran).
47-Pacana, Andrzej, and Dominika Siwiec. 2023. "Method of Fuzzy Analysis of Qualitative-Environmental Threat in Improving Products and Processes (Fuzzy QE-FMEA)" Materials 16, no. 4: 1651. https://doi.org/10.3390/ma16041651 .