مدل سازی و ارزیابی خطر در ساختار امن و بهداشت پروژه های تونل فاضلاب در مرحله ساخت

چکیده

ارزیابی خطر بهداشت، ایمنی و محیط زیست در پروژه های مهم تونل فاضلاب برای تضمین تصفیه فاضلاب، حفاظت از محیط زیست و توسعه پایدار از اهمیت بالایی برخوردار است. برای ارزیابی دقیق خطر بهداشت، ایمنی و محیط زیست از تونل فاضلاب ها در مرحله ساخت و مقابله موثر با تصادفی و ابهام آن ها، یک مدل ارزیابی ریسک بر اساس روش وزن آنتروپی ساختاری در این تحقیق ارائه می شود. ابتدا یک سیستم برای تونل فاضلاب از طریق بررسی ادبیات و مرور روش های متخصصان ارائه و ساخته شد و از روش مجموعه تی برای فیلتر کردن شاخص ها استفاده شد. سپس، برای روشن شدن تصادفی بودن و ابهام در ارزیابی، سطح خطر بهداشت، ایمنی و محیط زیست توسط مدلی شباهت، تعیین شد. این مدل به پروژه تونل در محور تهران–چالوس می پردازد و نتایج نشان داد که سطح خطر بهداشت، ایمنی و محیط زیست آن متوسط است که تا این حدل هم قابل قبول است. شاخص مربوط به ایمنی ساخت و ساز بیشترین وزن را داشت. یک محیط مرطوب، استفاده نامناسب از انرژی و آلودگی های لجن و گل و لای از مهمترین شاخص های خطر محسوب می شوند. سطح ریسک را می توان بصورت بصری و کیفی توسط ابر ارزیابی شکل ارزیابی کرد و یک ابزار ارزیابی سریع برای تصمیم گیری اضطراری مدیران پروژه فراهم می کند و سطح ریسک را می توان با محاسبه تشابه قضاوت کرد. علاوه بر این، از طریق مقایسه با درجه همبستگی خاکستری، تجزیه و تحلیل جفت مجموعه و نتایج ارزیابی روش ارزیابی جامع فازی، علمی بودن و اثربخشی مدل پیشنهادی اثبات می شود.

لغات کلیدی: ارزیابی خطر در ساختار امن و بهداشت، تونل فاضلاب، تضمین تصفیه فاضلاب، تضمین تصفیه فاضلاب

www.m4e.com

۱- مقدمه

در ۳۰ سال گذشته، شهرنشینی در کشورهای در حال توسعه به ویژه ایران به سرعت پیشرفت کرده است که منجر به مشکلات بیشتر در تصفیه فاضلاب شهری و مشکلات آلودگی محیط زیست شده است [۱]. علاوه بر این، ظرفیت توسعه پایدار به شدت محدود گردیده است. برای حل این مشکلات، شهرهای بزرگ در کشورهای در حال توسعه به طور ابتکاری در حال ساختن تونل های اصلی انتقال فاضلاب در مناطق اصلی شهرها هستند [۲]. در حال حاضر، تعداد زیادی پروژه اصلی تونل حمل و نقل فاضلاب (MSTTP[1]) در ایران در حال ساخت است و کل سرمایه گذاری از ۱۵ میلیارد دلار فراتر رفته است [۳].

پروژه های اصلی تونل حمل و نقل فاضلاب معمولا ۳۰ تا ۶۰ متر زیر زمین واقع شده اند و محل های ساخت آن ها معمولا محیط های ساختمانی بسته هستند که تاثیرات زیادی بر ایمنی شغلی دارند. فرایندهای ساخت پروژه اصلی تونل حمل و نقل فاضلاب با فناوری پیچیده، دوره ساخت سخت، مکانیزاسیون بالا و خطر پیچیده ایمنی ساختمان مشخص می شود [۴]. تصادفات و حوادث آلودگی ناشی از این عوامل خطر ممکن است خسارات و تلفات اقتصادی زیادی را به دنبال داشته باشد و باعث شود پروژه های اصلی تونل حمل و نقل فاضلاب نتوانند به موقع تکمیل شوند.

مسئله بهداشت، ایمنی و محیط زیست (HSE[2]) مفهومی است که در ابتدا در صنعت پتروشیمی ایجاد شد [۵]. در دهه های اخیر، بهداشت، ایمنی و محیط زیست به تدریج در صنایع پرخطر [۵] و مدیریت پروژه های بزرگ [۶] با نتایج قطعی به کار گرفته شد. در ترکیب با اهداف تحقیقاتی این مطالعه، خطر بهداشت، ایمنی و محیط زیست پروژه های اصلی تونل حمل و نقل فاضلاب، به عنوان خطر سلامت شغلی کارگران، ایمنی ایمنی ساختمان و خطر آلودگی محیط زیست ناشی از ساخت پروژه های اصلی تونل حمل و نقل فاضلاب، تعریف می شود. خطر سلامت شغلی کارگران به عنوان عامل خطر H به مقوله تحقیق علم بهداشت عمومی اختصاص دارد [۷]. مدیریت ریسک ایمنی در حین ساخت و ساز که مربوط به عامل خطر S است، به حوزه های تحقیقاتی مهندسی عمران و علم مدیریت تعلق دارد. اثرات سوء عملیات ساخت و ساز بر محیط اطراف که مربوط به عامل خطر E است، بخشی از زمینه های تحقیقاتی مهندسی محیط زیست و مهندسی عمران است. با اشاره به فرایند ارزیابی کلی ریسک، ارزیابی خطر بهداشت، ایمنی و محیط زیست پروژه های اصلی تونل حمل و نقل فاضلاب در مطالعه حاضر شامل سه جزء یعنی تعیین شاخص های ریسک، محاسبه وزن و انتخاب روش های ارزیابی است.

[1] major sewage transport tunnel projects
[2] Health, safety, and the environment

در حال حاضر، تحقیقات موجود در مورد خطر بهداشت، ایمنی و محیط زیست عمدتا مدیریت عملکرد خطر بهداشت، ایمنی و محیط زیست شرکت ها و سیستم مدیریت ریسک خطر بهداشت، ایمنی و محیط زیست پروژه ها را در نظر گرفته است. بر اساس سه عنصر زمان، محدوده و نوع، در [۸] روش های ارزیابی عملکرد خطر بهداشت، ایمنی و محیط زیست شرکت ها به طور جامع طبقه بندی شده و روش جدید ارزیابی عملکرد خطر بهداشت، ایمنی و محیط زیست از دو جنبه مثبت و منفی ارائه کرده است. در [۹]، اهمیت فرهنگ کار تیمی تیم های ساختمانی در سیستم مدیریت ریسک خطر بهداشت، ایمنی و محیط زیست را مورد مطالعه قرار دادند. از طریق تجزیه و تحلیل موردی از یک کارخانه پیش ساخته بزرگ، ثابت شد که اطمینان از سیستم مدیریت ریسک خطر بهداشت، ایمنی و محیط زیست در یک کارخانه پیش ساخته لوله، اهمیت زیادی در اجرای روان آن دارد. می توان نیروی یک تیم را تقویت کرد و همه کارگران ساختمانی را برای مشارکت در آموزش حرفه ای و آموزش تولید ایمنی ترغیب کرد. در [۱۰] به طور سیستماتیک خطر ساخت تونل زیر دریایی پل هنگ کنگ-ژوهای-ماکائو[1] را از طریق مدیریت ریسک خطر بهداشت، ایمنی و محیط زیست مورد مطالعه قرار دادند. در این تحقیق، ارزیابی خطر شرایط عملیات، به عنوان روش ارزیابی برای تجزیه و تحلیل سطح خطر خطر بهداشت، ایمنی و محیط زیست تونل زیر دریا مورد استفاده قرار گرفت و اقدامات مربوط به واکنش ریسک بیان شد. با این حال، تجزیه و تحلیل کمی و فرآیند محاسبه روش LEC ذهنی است و رابطه منطقی روشنی بین مقادیر شاخص های ریسک و اقدامات پاسخ به ریسک ارائه نمی دهد. علاوه بر این، با توجه به اطلاعات نویسندگان، مطالعه ای در مورد ارزیابی خطر خطر بهداشت، ایمنی و محیط زیست در مورد پروژه اصلی تونل حمل و نقل فاضلاب هنوز گزارش نشده است. دلیل اصلی عدم تحقیقات قبلی ممکن است این باشد که پروژه اصلی تونل حمل و نقل فاضلاب فقط در چند سال گذشته راه اندازی مجدد شده اند و بسیاری از پروژه های اصلی تونل حمل و نقل فاضلاب تکمیل شده، مانند تونل معروف تیمز[2] در لندن، بیش از یک قرن پیش تکمیل شده اند.

روش وزن آنتروپی ساختاری (SEWM[3]) یک روش وزن ذهنی و عینی ترکیبی است که در سال های اخیر به طور گسترده مورد استفاده قرار گرفته است. در [۱۱] بر اساس ویژگی های تعداد زیادی از شاخص های خطر برای توسعه متان ذغال سنگ و روابط پیچیده آن ها از روش وزن آنتروپی ساختاری برای پردازش نتایج نظرسنجی پرسشنامه برای محاسبه وزن استفاده کرد. نتایج مطابق با وضعیت واقعی پروژه موردی بود. با استفاده از روش وزن آنتروپی ساختاری برای محاسبه وزن شاخص ها، در [۱۲] نه تنها مشکل کمبود داده های آماری در ارزیابی ریسک آسیب خطوط لوله را حل کرد، بلکه محدودیت های تجربه متخصص را نیز بهتر مدیریت کرد. در

[1] Hong Kong-Zhuhai-Macao Bridge
[2] Thames Tunnel
[3] structural entropy weight method

[۱۳] به طور موثر، روش وزن آنتروپی ساختاری را برای محاسبه وزن شاخص های ارزیابی ظرفیت باربری منابع آب تصویب کرده اند.

برای انتخاب روش ارزیابی ریسک به عنوان یکی از مراحل کلیدی در ارزیابی ریسک، ویژگی های عوامل خطر و ارزیابی باید به طور کامل در نظر گرفته شود. در [۱۴] اشاره به عدم قطعیت عوامل خطر و عینی بودن نتایج ارزیابی مسائل کلیدی در زمینه ارزیابی ریسک خطر بهداشت، ایمنی و محیط زیست در صنایع شیمیایی شده است. روش شکست و تجزیه و تحلیل اثرات (FMEA[۱]) و تحلیل پوششی داده های فازی (DEA[۲]) برای مقابله با این مشکلات استفاده شد، اما تصادفی و گیجی عوامل خطر و ارزیابی ریسک، نه بیشتر مورد بررسی قرار گرفت و نه مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. درجه رابطه خاکستری[۳] [۱۵]، تجزیه و تحلیل زوج مجموعه[۴] [۱۶] و ارزیابی جامع فازی[۵] [۱۷]، اغلب در ارزیابی ریسک مورد استفاده قرار گرفته است. در حالی که آن ها به نتایج صحیحی دست یافته اند، توصیف دقیق تصادفی و گیجی برای آن ها مشکل است.

مدل ابری[۶] می تواند توصیفات کیفی و داده های کمی را تجزیه و تحلیل کند و می تواند هم گیجی و هم تصادفی بودن یک سیستم خطر را مدیریت کند. در سال های اخیر، از مدل ابری به طور فزاینده ای در زمینه ارزیابی ریسک استفاده می شود. در [۱۸]، مدل ابر را با یک شبکه عصبی مصنوعی[۷] ترکیب کرده اند و روش جدیدی را برای ارزیابی خطر سیلاب شهری پیشنهاد کرده اند که می تواند به طور موثر با تصادفی و گیجی عوامل خطر سیل شهری مقابله کند. در [۱۹]، از مولد ابر مثبت[۸] و مولد ابر معکوس[۹] برای ایجاد یک مدل ارزیابی ریسک از یک پل کابلی استفاده کرده اند. نتایج ارزیابی ریسک بر اساس مدل ابر پایدارتر و منطقی تر بود. در [۲۰] نیز از مدل ابری برای بهبود روش FMEA سنتی استفاده کرده اند و نتایج مطالعه موردی آن ها، موثر بودن این اصلاح را اثبات کرد.

تحقیق پیش رو، یک مدل ارزیابی ریسک از پروژه های اصلی تونل حمل و نقل فاضلاب را بر اساس روش وزن آنتروپی ساختاری و مدل ابری ارائه می دهد. نوآوری های اصلی این تحقیق به شرح زیر است: ۱) برای اولین بار، یک سیستم شاخص ارزیابی ریسک خطر بهداشت، ایمنی و محیط زیست از سه جنبه سلامت، ایمنی و محیط زیست با استفاده از روش های تحقیق ادبی و پرسشنامه ساخته می شود. بر اساس الگوریتم کاهش ژنتیکی نظریه

[1] failure mode and effects analysis
[2] fuzzy data envelopment analysis
[3] grey relational degree
[4] set pair analysis
[5] fuzzy comprehensive evaluation
[6] Cloud model
[7] Artificial Neural Network (ANN)
[8] positive cloud generator
[9] reverse cloud generator

مجموعه های خشن[1]، این تحقیق شاخص اصلی ارزیابی را حفظ کرده و به طور موثر حجم کار فرایند ارزیابی را کاهش داده و قابلیت عملی بودن این روش را افزایش داده است، ۲) در این تحقیق، از روش وزن آنتروپی ساختاری با مزایای قدرت تبیین قوی و دقت بالای نتایج محاسبه برای محاسبه وزن شاخص ها استفاده می شود، ۳) با توجه به گیجی و تصادفی بودن در فرایند ارزیابی، مفهوم کیفی شاخص ارزیابی ریسک خطر بهداشت، ایمنی و محیط زیست و تبدیل داده های کمی توسط مدل ابری انجام می گردد که ارزیابی را منطقی تر می نماید. علاوه بر این، سطح ریسک را می توان به صورت بصری و کیفی توسط ابر ارزیابی شکل قضاوت کرد که یک ابزار ارزیابی سریع برای تصمیم گیری اضطراری مدیران پروژه را فراهم می کند و سطح ریسک را می توان با محاسبه شباهت ابری به صورت کمی قضاوت کرد، ۴) این تحقیق برای اولین بار نشان می دهد که از نظر سلامت، ایمنی و محیط زیست، شاخص مربوط به ایمنی بیشترین وزن را دارد، در حالی که شاخص تاثیرگذار بر محیط زیست کمترین وزن را دارد. این توزیع وزن با وضعیت تحقیق فعلی یکسان بود. تحقیقات اصلی بر خطرات ایمنی ساختمان متمرکز بوده اند، در حالی که تحقیقات در مورد تجزیه و تحلیل خطرات تاثیرات زیست محیطی ساختمان کمتر بود. مشخص شد که محیط مرطوب، استفاده نادرست از نیرو و آلودگی لجن و گل از مهمترین شاخص های خطر هستند.

۲- روش پیشنهادی

۲-۱ سیستم شاخص ارزیابی ریسک سلامت، ایمنی و محیط زیست پروژه های اصلی تونل حمل و نقل فاضلاب

۲-۱-۱ انتخاب اولیه شاخص های شاخص خطر سلامت، ایمنی و محیط زیست پروژه های اصلی تونل حمل و نقل فاضلاب

با توجه به اصول علمی بودن، نظام مند بودن، اثربخشی و قابلیت کارکرد، شاخص های ریسک مقوله های سلامت، ایمنی و محیط زیست از طریق تحقیقات ادبیات موجود از قبل مشخص شد. جدول ۱ منابع مربوط به هر شاخص خطر را ارائه می دهد.

جدول (۱) نتایج شناسایی شاخص های خطر سلامت، ایمنی و محیط زیست

لایه معیارها	شاخص اولیه	مراجع
	سر و صدای ساخت و ساز	[۲۱]

[1] Rough Set

سلامت	گرد و غبار ساختمانی	[۲۲]
	محیط مرطوب	[۲۳]
	دمای محیط بالا	[۲۳]
	سبک زندگی نامنظم	[۷]
	مواد شیمیایی سمی و مضر	[۷]
	ارتعاش کل بدن	[۲۵]
	تابش - تشعشع	[۲۵]
ایمنی	پارامترهای بی دلیل تونل زنی	[۲۶]
	تغییر شکل بیش از حد	[۲۶]
	استفاده نادرست از حمل و نقل	[۲]
	خرابی سر برش سپر	[۲۷]
	استفاده نادرست از برق	[۲۸]
	قطعات سپر فاقد صلاحیت	[۲۹]
	عملکرد نادرست قطعات سپر	[۳۰]
	انباشته سازی تصادفی	[۲]
	حفاظت نادرست	[۳۱]
	خرابی مهر و موم بلبرینگ	[۳۲]
	خرابی جک بالابر	[۳۲]
	گرفتگی در خروجی دوغاب	[۳۲]
	اثر تزریق بد	[۳۲]
	انتخاب نادرست دستگاه TBM	[۳۳]
	بستن نامناسب پیچ و مهره	[۳۴]
	کیفیت لنگر بولت	[۳۴]
	نصب دقیق پایگاه پرتاب	[۳۴]
	انحراف TBM از شفت هدف	[۳۴]
	تشکیل "کیک گل" در حین حفاری	[۳۴]
	خروج از ریل یا برخورد چرخ دستی برقی	[۳۴]
	انسداد لوله دوغاب	[۳۴]
	مقدار تزریق نامناسب	[۳۴]
	کنترل نادرست ضریب تزریق	[۳۴]

www.nrtc.com

	نشتی اتصالات قطعه لوله	[۳۵]
	نشت مهر و موم دم سپر	[۳۵]
	خرابی مهر و موم قطعه	[۳۶]
محیط	آلودگی زباله های خانگی	[۴۳]
	آلودگی اگزوز	[۴۳]
	آلودگی فاضلاب	[۴۳]
	آلودگی گل و لای	[۴۳]
	آلودگی ناشی از وسایل نقلیه	[۴۳]
	تاثیر بر سطح آب های زیرزمینی	[۴۳]
	فرونشست بیش از حد سطح	[۴۳]
	تخریب ساختار اکولوژیکی	[۴۳]

تعیین شاخص های شاخص خطر سلامت، ایمنی و محیط زیست پروژه های اصلی تونل حمل و نقل فاضلاب در حال حاضر، تعداد انگشت شماری پروژه اصلی تونل حمل و نقل فاضلاب وجود دارد که در سراسر جهان ساخته شده است. همان طور که بسیاری از آن ها مدت ها پیش ساخته شده اند، برای این تحقیق، اهمیت چندانی ندارند. علاوه بر این، ایران و سایر کشورها به تازگی اقدام به ساخت پروژه اصلی تونل حمل و نقل فاضلاب کرده اند. بنابراین، داده های مهندسی موجود پروژه اصلی تونل حمل و نقل فاضلاب کمیاب است. با توجه به این امر، روش مصاحبه متخصص برای تعیین اهمیت ۴۲ شاخص خطر سلامت، ایمنی و محیط زیست که شناسایی شده اند، انتخاب شد. با توجه به نمره شاخص، از مجموعه خشن برای فیلتر کردن شاخص با کمک MATLAB استفاده شد.

در پرسشنامه ای که برای این تحقیق تهیه شده است، متخصصان هر شاخص را در مقیاس ۵ درجه لیکرت نمره گذاری کردند. هر شاخص ثانویه دارای پنج درجه ویژگی برای شاخص اصلی خود است که عبارتند از "بسیار قوی" (۵ امتیاز)، "قوی" (۴ امتیاز)، "متوسط" (۳ امتیاز)، "ضعیف" (۲ امتیاز) و " بسیار ضعیف است "(۱ امتیاز). این پرسشنامه بین بیست و پنج متخصص با تجربه تئوری و عملی غنی، توزیع شد. هشت کارشناس وابسته به دانشگاه ها، یازده نفر وابسته به شرکت های ساختمانی پروژه اصلی تونل حمل و نقل فاضلاب و پنج نفر وابسته به واحدهای طراحی پروژه اصلی تونل حمل و نقل فاضلاب بودند. هفده کارشناس دارای عنوان مهندس ارشد یا دانشیار بودند، در حالی که هشت کارشناس دیگر عنوان معاون مهندس ارشد را داشتند. بیست متخصص در پروژه تونل عمیق در شهر تهران شرکت کرده بودند که مورد مطالعه موردی این مقاله است. یازده کارشناس در بیش از

سه پروژه اصلی تونل حمل و نقل فاضلاب شرکت کرده بودند. این ویژگی های متخصصان، منطقی بودن نتایج نظرسنجی را تضمین می کند.

پس از آن که بیست و پنج متخصص برای تمام ۴۲ شاخص ثانویه نمره گذاری کردند، نتایج پرسشنامه جمع آوری شد. نظریه مجموعه های خشن، یک روش ریاضی است که توسط دانشمند لهستانی Z. Pawlak برای مقابله با داده های نادرست، نامشخص و ناقص پیشنهاد شده است [۴۴]. در فرآیند کاهش مجموعه های خشن، رابطه بین شاخص های ارزیابی و شاخص های تصمیم گیری را می توان با توجه به روش هایی مانند اطلاعات خودی و اطلاعات متقابل، به منظور تعیین اهمیت ویژگی های مشروط و محاسبه وزن ها ایجاد کرد [۴۵]. محیط MATLAB یک ابزار داده منطقی ماتریسی است که دارای چارچوب نظری مجموعه ای خشن است. در این تحقیق، از نظریه مجموعه های خشن برای نمایش شاخص ها با کمک MATLAB استفاده می شود.

۲-۲ ساخت سیستم شاخص خطر سلامت، ایمنی و محیط زیست از پروژه های اصلی تونل حمل و نقل فاضلاب

با توجه به شاخص های شناسایی شده برای خطر سلامت، ایمنی و محیط زیست از پروژه های اصلی تونل حمل و نقل فاضلاب، یک سیستم شاخص شامل ۳ شاخص اصلی و ۱۳ شاخص ثانویه ایجاد شد. علاوه بر این، بر اساس ویژگی ها و موقعیت های واقعی پروژه های اصلی تونل حمل و نقل فاضلاب، دلالت هر ثانویه شاخص مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. معیارهای ارزیابی ریسک خطر سلامت، ایمنی و محیط زیست در پروژه های اصلی تونل حمل و نقل فاضلاب

در حال حاضر، هیچ استاندارد یکسان برای ارزیابی خطر سلامت، ایمنی و محیط زیست وجود ندارد [۴۶]. در این تحقیق، ریسک خطر سلامت، ایمنی و محیط زیست به پنج سطح تقسیم شده است، یعنی ریسک پایین، ریسک کم، ریسک متوسط ، ریسک بالا و ریسک بالاتر. فاصله امتیازدهی به صورتی که در ادامه بررسی می شود، تعیین می گردد. طبق نظر کارشناسان، سطوح خطر تقسیم شده و در جدول (۲) ارائه شده است. مفاهیم و محاسبات Ex و En و He در بخش بعدی توضیح داده شده است.

جدول (۲)، سطوح خطر تقسیم شده

سطح ریسک	استانداردها	Ex	En	He
ریسک پایین تر	[0 , 25]	۱۲,۵	۱۰,۶۱۶	۰,۵

ریسک پایین	(25 , 50]	۳۷,۵	۱۰,۶۱۶	۰,۵
ریسک متوسط	(50 , 75]	۶۲,۵	۱۰,۶۱۶	۰,۵
ریسک بالا	(75 , 90]	۸۲,۵	۶,۳۶۹	۰,۵
ریسک بالاتر	(90 , 100]	۹۵,۰	۴,۲۴۶	۰,۵

ریسک کمتر نشان می دهد که این خطر ناچیز است. ریسک پایین نشان می دهد که ریسک پایین است، اما مدیران پروژه باید اقدامات مدیریت ریسک موجود را بررسی کنند. ریسک متوسط نشان می دهد که خطر متوسط و قابل قبول است، اما اقدامات بیشتری باید در نظر گرفته شود. ریسک بالا نشان می دهد که خطر جدی است و اقدامات کاهش دهنده باید فورا انجام شود. در نهایت، ریسک بالاتر نشان می دهد که این خطر جدی ترین و کاملا غیرقابل قبول است و ساخت و ساز باید فورا متوقف شود.

۲-۳ مدل ارزیابی خطرات سلامت، ایمنی و محیط زیست ارزیابی پروژه های اصلی تونل حمل و نقل فاضلاب

۲-۳-۱ معرفی روش وزن آنتروپی ساختاری

روش وزن آنتروپی ساختاری، ترکیبی از تجزیه و تحلیل کیفی و تجزیه و تحلیل کمی محاسبه وزن است [۱۱]. منطق اساسی آن به شرح زیر است. ابتدا، روش بررسی تخصصی دلفی و روش تجزیه و تحلیل فازی با هم ترکیب شده و نظم کمی را تشکیل می دهند که به طور کامل قضاوت های ذهنی متخصصان را در نظر می گیرد. سپس، محاسبه آنتروپی و تحلیل درجه کور شناختی برای تجزیه و تحلیل ترتیب کمی استفاده می شود و پردازش آماری داده های بالقوه که ممکن است انحراف ایجاد کند، با عدم قطعیت اصلاح شده قضاوت های ذهنی متخصصان انجام می شود. در نهایت، وزن شاخص ها از طریق نرمال سازی به دست می آید.

۲-۳-۲ معرفی مدل ابری

مدل ابری اولین بار توسط لی و همکاران، محقق چینی ارائه شد. این تحول دو طرفه مفاهیم کیفی و مقادیر کمی را درک می کند [۴۷]. با استفاده از مدل ابری در ارزیابی سیستم های پیچیده، تصادفی و گیج بودن شاخص ها و ارزیابی به طور کامل در نظر گرفته می شود [۱۸]. یک مفهوم کیفی را می توان با Ex (ارزش مورد انتظار)، En (آنتروپی) و He (مقدار بیش از حد آنتروپی) توصیف کرد که همچنین به صورت (Ex, En, He) ثبت

www.m4e.com

شده اند [۱۹]. ارزش مورد انتظار Ex یا نشان دهنده قطعیت اساسی مفهوم کیفی است. این انتظار ریاضی افت ابر در توزیع فضایی حوزه است. همچنین مقدار مرکز شاخص ارزیابی را در یک بازه نمره مشخص نشان می دهد. آنتروپی یا En نشان دهنده عدم قطعیت مفهوم کیفی است و هم به صورت تصادفی و هم به ابهام مفهوم تعیین می شود. آنتروپی یا En ، درجه میزان مبهم بودن حد درجه شاخص را ارزیابی می کند. همچنین مقدار بیش از حد آنتروپی یا He عدم قطعیت آنتروپی است و میزان انحراف متغیر تصادفی مربوط به مفهوم کیفی از توزیع نرمال را نشان می دهد.

۲-۴ روش ارزیابی ریسک پروژه های اصلی تونل حمل و نقل فاضلاب بر اساس روش وزن آنتروپی ساختاری و مدل ابری

مراحل خاص روش ارزیابی ریسک پروژه های اصلی تونل حمل و نقل فاضلاب بر اساس روش وزن آنتروپی ساختاری و مدل ابری به شرح زیر است:

تعیین ابر استاندارد هر سطح ریسک: ۵ زیر فاصله در جدول ۱ نشان داده شده است. فرض می شود زیر فاصله i به (C_i^{max}, C_i^{min}) باشد و مقادیر مشخصه دیجیتال عبارتند از رابطه (۱).

$$\begin{cases} Ex_i = \dfrac{(C_i^{max} + C_i^{min})}{2} \\ En_i = \dfrac{(C_i^{max} - C_i^{min})}{(2\sqrt{2In2}} \\ He_i = k \end{cases} \quad (۱)$$

که در این رابطه، k یک ثابت است که معمولا مقدار ۰,۵ به آن اختصاص داده می شود [۴۷].

۲-۴-۱ محاسبه وزن ها با روش وزن آنتروپی ساختاری:

مراحل دقیق محاسبه وزن ها با روش وزن آنتروپی ساختاری به شرح زیر است [۱۳]:

مرحله اول: ترتیب کمی بر اساس نظرات کارشناسان تعیین می شود. با توجه به روش های عملکرد روش دلفی، k با تجربه نظری و عملی غنی متخصصان انتخاب شده و پرسشنامه ای برای آن ها ارسال می شود. پرسشنامه باید به صورت ناشناس تکمیل شود. کارشناسان اهمیت هر شاخص را با استفاده از عدد صحیح $(1 -$

www.nn4e.com

n)نمره گذاری می کنند، که در آن ۱ مهمترین شاخص و n کمترین شاخص است. تعداد اندیکاتورها n است. ماتریس رتبه بندی شاخص A به شرح رابطه (۲) به دست می آید.

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & \dots & a_{1n} \\ \dots & \dots & \dots \\ a_{k1} & \dots & a_{kn} \end{bmatrix}$$

(۲)

که در این رابطه، a_{ij} ارزیابی مهم متخصصین به صورت $i(1 \le i \le k)$ برای اندیکاتور $j(1 \le j \le n)$ می پردازد.

مرحله دوم: اصلاح وزن به ترتیب کمی انجام می شود. با توجه به مفهوم روش وزن آنتروپی، عدم قطعیت نظم کمی اصلاح می شود که به صورت رابطه (۳) خواهد بود [۱۱].

$$\mu(I) = -\frac{In(m-1)}{In(m-1)}$$

(۳)

جایی که I رتبه کیفی است که توسط متخصصان داده شده است. اگر شماره رتبه بندی داده شده ۱ باشد، پس I برابر ۱ است. اگر شماره رتبه ۲ باشد، پس I برابر ۲ است. علاوه بر این، m پارامتر تبدیل است که به طور کلی $m = j + 2$ در نظر گرفته می شود. پس از گنجاندن a_{ij} در رابطه (۳)، مقدار تبدیل کمی ترتیب b_{ij} به دست می آید. با فرض این که همه کارشناسان دارای وزن یکسانی در سیستم ارزیابی هستند، میانگین درجه شناختی به صورت رابطه (۴) تعریف می شود [۱۲].

$$b_{ij} = \frac{(b_j + b_{2j} + \cdots, b_{kj})}{k}$$

(۴)

عدم قطعیت شناخت متخصصان به عنوان کوری دانش تعریف می شود و پارامتر آن Q_j با معادله (۵) به دست آمده است [۱۲].

$$Q_j = \left| \frac{\{[\max\{b_{1j}, b_{2j}, \dots, b_{kj}\} - b_j] + +[\min\{b_{1j}, b_{2j}, \dots, b_{kj}\} - b_j]\}}{2} \right|$$

(۵)

درجه شناخت کلی شاخص j توسط متخصصان k به صورت رابطه (۶) تعریف شده است [۱۳].

$$x_j = b_j(1 - Q_j)$$

(۶)

www.mae.com

در ادامه انجام عادی سازی برای تعیین وزن باید صورت گیرد که رابطه آن به صورت (۷) است.

$$w_j = \frac{x_j}{\sum_{j=1}^{n} x_j}$$

(۷)

مرحله سوم: محاسبه عوامل ارزیابی ابرهای و ابر جامع: با جایگزینی نمرات همه کارشناسان $[z_{ij}]_{k\times m}$ در معادلات (۸)، (۹) و (۱۰)، عوامل ارزیابی ابر به دست می آید [۱۹].

$$Ex_j = \frac{1}{k}\sum_{i=1}^{k} z_{ij}$$

(۸)

$$En_j = \sqrt{\frac{\pi}{2}} \times \frac{1}{k}\sum_{j=1}^{k} |z_{ij} - Ex_j|$$

(۹)

$$He_j = \sqrt{|S_j^2 - En_j^2|}$$

(۱۰)

وزن های $W = \{w_1, w_2, \dots, w_n\}^T$ به دست آمده در مرحله ۲ به عنوان ابر عوامل ارزیابی (Ex_j, En_j, He_j)جایگزین می شوند. ابر جامع خطرات سلامت، ایمنی و محیط زیست پروژه های اصلی تونل حمل و نقل فاضلاب با معادله (۱۱) تعیین می شود [۱۹].

$$\begin{cases} Ex = \sum_{j=1}^{n} Ex_j . w_j \\ En = \sqrt{\sum_{j=1}^{m} En_j^2 . w_j} \\ He = \sum_{j=1}^{n} He_j . w_j \end{cases}$$

(۱۱)

با ترسیم ابر جامع و پنج ابر استاندارد در یک تصویر، سطح خطر سلامت، ایمنی و محیط زیست یک پروژه اصلی تونل حمل و نقل فاضلاب را می توان به طور کیفی قضاوت کرد.

www.m4e.com

مرحله چهارم: سطح خطر سلامت، ایمنی و محیط زیست با شباهت ابر: مراحل محاسبه δ_i که شباهت ابر بین ابرهای عوامل ارزیابی و ابر جامع است، به شرح رابطه (۱۲) است [۴۷].

1) $Generate\ Ex_p = Norm(En, He^2)$

2) $Generate\ x_p = Norm(Ex, Ex_p^2)$

3) $substitue\ into\ Eq(12)\ to\ calulate\ \mu_p$

$$\mu_p = e^{-\frac{(x_p - Ex_i^2)^1}{2En_i^2}}$$

(۱۲)

مراحل ۲ و ۳ برای تولید μ_p تکرار می شود، جایی که $q \in [10,30]$ سپس، δ_i را می توان به صورت رابطه (۱۳) محاسبه کرد:

$$\delta_i = \frac{1}{q}\sum_{p=1}^{q} \mu_p$$

(۱۳)

هرچه مقدار δ_i بیشتر باشد، سطح خطر سلامت، ایمنی و محیط زیست پروژه اصلی تونل حمل و نقل فاضلاب به سطح ارزیابی نزدیک تر است. به این ترتیب، سطح خطر سلامت، ایمنی و محیط زیست یک پروژه اصلی تونل حمل و نقل فاضلاب را می توان به صورت کمی محاسبه کرد.

۳- تحلیل نتایج

مطالعه موردی انتخاب شده در این مقاله پروژه تونل عمیق تهران-چالوس است که پروژه بزرگی برای پروژه اصلی تونل حمل و نقل فاضلاب در ایران است. محدوده خدمات اخیر آن منطقه اصلی تهران تا چالوس را پوشش می دهد که حدود ۱۰۰,۳۵ کیلومتر مربع است و محدوده خدمات کنترل طولانی مدت آن حدود ۱۲۰,۲۵ کیلومتر مربع است. طول کلی آن از طریق ساخت سپر حدود ۱۷,۵ کیلومتر است، قطر تونل D3000-D3400 میلی متر و عمق مدفون ۳۰-۵۰ متر است. البته این موارد فرضیان این تحقیق می باشد که بتوان محاسبه ای کلی ارائه داد. هنگامی که این پروژه با موفقیت به پایان رسید، فاضلاب منطقه اصلی تهران-چالوس مستقیما به تصفیه خانه فاضلاب چالوس منتقل می شود. تونل عمیق تهران-چالوس نه تنها می تواند ظرفیت و کارایی حمل و نقل فاضلاب

www.in4e.com

شهری-روستایی را بالا ببرد، بلکه می تواند به طور موثری از مشکل مخلوط باران و فاضلاب جلوگیری کند و در نتیجه محیط آب شهرها و روستاهای مجاور را بهبود بخشد. برای دستیابی به اجرای روان این پروژه، لازم است یک ارزیابی خطر سلامت، ایمنی و محیط زیست معمولی انجام شود.

به دست آوردن داده های فعلی پروژه اصلی تونل حمل و نقل فاضلاب ها دشوار است، بنابراین داده های مورد استفاده برای محاسبه وزن ها و سطوح ریسک در مطالعه موردی توسط پرسشنامه ها به دست آمد. ۱۰ کارشناس دعوت شده، کارشناسانی بودند که در مطالعه اولیه سیستم شاخص خطر سلامت، ایمنی و محیط زیست را انتخاب کردند. ۱۰ متخصص این شاخص ها را بر اساس درک کامل وضعیت سایت، محتوای ساخت و روند پروژه تونل عمیق تهران-چالوس رتبه بندی کردند. با توجه به رابطه (۱)، سه ابر دیجیتالی از ویژگی های هر سطح محاسبه شد و در جدول (۱) ارائه شده است.

پس از بررسی پرسشنامه، نتایج نمرات اهمیت ۳ شاخص اصلی و ۱۵ شاخص ثانویه توسط بیست و پنج متخصص در جدول های (۴) الی (۷) جایگزین شد و نتایج محاسبه وزن های ۳ شاخص اصلی در جدول (۳)، ۴ شاخص ثانویه مربوط به شاخص سلامت در جدول (۴)، به دست آمد.

جدول (۳) وزن شاخص های اولیه

شماره	H	S	E
متخصص ۱	۲	۱	۳
متخصص ۲	۱	۲	۳
متخصص ۳	۲	۱	۳
متخصص ۴	۳	۱	۲
متخصص ۵	۲	۱	۳
متخصص ۶	۲	۱	۳
. . .			
متخصص ۲۴	۲	۱	۳
متخصص ۲۵	۱	۲	۳
b_j	۰,۷۶۸۷	۰,۹۲۵۳	۰,۵۹۸۵

www.nnAe.com

Q_j	۰,۰۱۸۷	۰,۰۲۹۱	۰,۱۵۱۵
x_j	۰,۷۵۴۳	۰,۸۹۸۴	۰,۵۰۷۸
w_j	۰,۳۴۹۱	۰,۴۱۵۸	۰,۲۳۵۰
رتبه	۲	۱	۳

جدول (۴)، وزن ۴ شاخص ثانویه مربوط به سلامت

شماره	H1	H2	H3	H4
متخصص ۱	۱	۳	۲	۴
متخصص ۲	۲	۱	۳	۴
متخصص ۳	۳	۱	۴	۳
متخصص ۴	۳	۱	۴	۲
متخصص ۵	۳	۱	۴	۲
متخصص ۶	۲	۳	۴	۱
. . .				
متخصص ۲۴	۲	۳	۴	۱
متخصص ۲۵	۳	۲	۱	۴
b_j	۰,۸۱۰۱	۰,۹۱۵۹	۰,۵۹۲۹	۰,۶۴۴۶
Q_j	۰,۰۹۴۸	۰,۰۷۴۶	۰,۱۲۲۴	۰,۰۷۰۸
x_j	۰,۷۳۳۳	۰,۸۴۷۶	۰,۵۲۰۳	۰,۵۹۹۰
w_j	۰,۲۷۱۶	۰,۳۱۳۹	۰,۱۹۲۷	۰,۲۲۱۸
رتبه	۲	۱	۴	۳

از جدول (۴) می توان دریافت که شاخص ایمنی دارای بیشترین وزن شاخص های اولیه است، در حالی که شاخص محیط دارای کمترین وزن است. این وزن پدیده اکثر تحقیقات قبلی را متمرکز می کند که بر خطرات ایمنی ساختمان به جای خطرات زیست محیطی متمرکز شده است. جدول (۵) نشان می دهد که شاخص محیط مرطوب (H2) بیشترین وزن را دارد، در حالی که دمای بالای محیط (H3) کمترین وزن را دارد. این نتایج با محتوای ساخت پروژه اصلی تونل حمل و نقل فاضلاب مطابقت دارد که در آن ها ماشین های محافظ تعادل فشار

www.m4e.com

زمین برای ساخت سپر استفاده می شوند و معمولا محیطی با رطوبت بالا ایجاد می کنند. با این حال، پروژه اصلی تونل حمل و نقل فاضلاب عمدتا در زیر زمین و با تهویه مناسب ساخته می شوند. بنابراین، شرایط درجه حرارت بالا رخ نخواهد داد.

۴- نتیجه گیری

محاسبه وزن در ارزیابی ریسک اغلب فقط عوامل ذهنی یا عینی را در نظر می گیرد، بنابراین وزن ها را نادرست می کند. علاوه بر این، روش های رایج ارزیابی ریسک نمی تواند به طور منطقی تصادفی و ابهام در فرایند ارزیابی را در نظر بگیرد، بنابراین نتایج ارزیابی ریسک را نادرست می کند. در حال حاضر، پروژه های اصلی تونل حمل و نقل فاضلاب به مقدار زیاد در دست ساخت هستند، اما تحقیقات کمی در مورد خطر پروژه اصلی تونل حمل و نقل فاضلاب انجام شده است و هنوز تحقیقی در مورد ارزیابی خطر خطر سلامت، ایمنی و محیط زیست پروژه اصلی تونل حمل و نقل فاضلاب، گزارش نشده است.

برای پر کردن این شکاف، یک سیستم شاخص ارزیابی ریسک معمولی از پروژه اصلی تونل حمل و نقل فاضلاب در این مطالعه برای اولین بار ساخته شد. سپس، برای اطمینان از صحت محاسبات وزن، از روش وزن آنتروپی ساختاری که در آن عوامل ذهنی و عینی در محاسبه وزن به طور جامع در نظر گرفته شده است، برای محاسبه وزن ها استفاده شد. در نهایت، یک روش ارزیابی مبتنی بر مدل ابر برای توصیف تصادفی و ابهام ارزیابی خطر سلامت، ایمنی و محیط زیست پروژه اصلی تونل حمل و نقل فاضلاب اتخاذ شد. نتایج تحقیق به دست آمده در این مطالعه می تواند به اطمینان از اجرای روان پروژه اصلی تونل حمل و نقل فاضلاب کمک کند و برای اطمینان از تصفیه فاضلاب، حفاظت از محیط زیست محیطی و توسعه پایدار اهمیت زیادی دارد.

از آن جا که هیچ نتیجه تحقیق فعلی در مورد خطر سلامت، ایمنی و محیط زیست پروژه اصلی تونل حمل و نقل فاضلاب وجود ندارد، این تحقیق، نتایج تجزیه و تحلیل مورد را با نتایج روش های رایج ارزیابی ریسک (درجه رابطه خاکستری [۱۵]، تجزیه و تحلیل زوج مجموعه [۱۶] و ارزیابی جامع فازی [۱۷]) مقایسه کرده است. نتایج محاسبه درجه رابطه خاکستری هر سطح خطر در جدول (۵) نشان داده شده است. با توجه به نتیجه محاسبه وزن شاخص پروژه تونل عمیق تهران-چالوس و میانگین نمرات هر شاخص خطر، درجه همبستگی خاکستری پروژه تونل عمیق تهران-چالوس، ۰,۴۲۸ بود که متعلق به ریسک متوسط بود. نتیجه محاسبه تعداد اتصال پنج عنصر پروژه های تونل عمیق تهران-چالوس محاسبه شده توسط تجزیه و تحلیل زوج مجموعه در جدول (۶) نشان داده شده است. هنگامی که اطمینان ∋ [۰,۵۰ ، ۰,۷۰]، خطر سلامت، ایمنی و محیط زیست پروژه تونل عمیق

تهران-چالوس خطر متوسط بود. نتایج ارزیابی ارزیابی جامع فازی در جدول (۷) نشان داده شده است. بر اساس اصل حداکثر درجه عضویت در ارزیابی جامع، خطر سلامت، ایمنی و محیط زیست، خطر متوسط بود.

جدول (۵)، درجه رابطه خاکستری جامع

سطح ریسک	ریسک پایین تر	ریسک پایین	ریسک متوسط	ریسک بالا	ریسک بالاتر
درجه رابطه خاکستری	۰,۶۶۶۷	۰,۵۰۰۰	۰,۴۰۰۰	۰,۳۵۷۱	۰,۳۳۳۳

جدول (۶)، نتایج شماره های تماس پنج عنصر پروژه تونل عمیق تهران-چالوس

شماره های تماس پنج عنصر	f_1	f_2	f_3	f_4	f_5	سطح
پروژه تونل عمیق تهران-چالوس	۰,۰۰۰۰	۰,۱۰۸۰	۰,۵۰۰۹	۰,۳۵۶۹	۰,۰۳۴۲	ریسک متوسط

جدول (۷) نتایج ارزیابی پروژه تونل عمیق تهران-چالوس

سطح ریسک	ریسک پایین تر	ریسک پایین	ریسک متوسط	ریسک بالا	ریسک بالاتر
عضویت	۰,۰۰۰۰	۰,۱۱۰۷	۰,۵۹۳۱	۰,۲۷۸۷	۰,۰۱۷۵

درجه رابطه خاکستری، تجزیه و تحلیل جفت مجموعه و نتایج ارزیابی جامع فازی خطر سلامت، ایمنی و محیط زیست پروژه تونل عمیق تهران-چالوس، متعلق به خطر متوسط بود و نتایج ارزیابی مستقیم اساسا با نتایج ارزیابی مدل ابری مطابقت داشت. مدل همبستگی خاکستری ابهام شاخص ها را حل کرد، اما رسیدگی به تصادفی بودن و عدم قطعیت شاخص ها برای آن مشکل بود. وقتی از داده ها و اطلاعات زیادی استفاده می شود، ارزیابی شاخص ها همیشه دارای درجه ای از عدم قطعیت و تصادفی است. در فرآیند کاربرد روش تجزیه و تحلیل جفت مجموعه، تعیین ابهام ضریب تفاوت شاخص دشوار است، بنابراین نمی تواند به طور گسترده در ارزیابی واقعی ترویج شود. در کاربردهای عملی، روش سنتز فازی غالبا از تابع عضویت برای محاسبه درجه عضویت هر شاخص استفاده می کند و به زور، مبهم بودن شاخص را در دسته ریاضیات دقیق قرار می دهد. این ویژگی ها برخورد با تصادفی و عدم قطعیت شاخص ها را دشوار می کند. روش موجود در این تحقیق از مدل ابری برای درنظر گرفتن ابهام و تصادفی بودن در کار ارزیابی خطر سلامت، ایمنی و محیط زیست استفاده کرد و نمودار ابر مدل در مقاله

www.m4e.com

به طور واضح و شهودی این ویژگیهای ارزیابی را به تصویر کشیده است. نتایج محاسبه به دو صورت نمایش داده می شود: شباهت و نمودار ابری که برای تصمیم گیرندگان برای استفاده از اطلاعات ارزیابی مناسب است.

به صورت کلی، برای ارزیابی دقیق خطر سلامت، ایمنی و محیط زیست پروژه اصلی تونل حمل و نقل فاضلاب و برخورد موثر با تصادفی بودن و ابهام آن ها، از روش وزن آنتروپی ساختاری و مدل ابری استفاده شد. در این تحقیق، برای اولین بار، یک سیستم شاخص برای پروژه اصلی تونل حمل و نقل فاضلاب در مرحله ساخت از سه جنبه بهداشت، ایمنی و محیط زیست از طریق مرور ادبیات و مصاحبه های متخصص ساخته شد. بر اساس الگوریتم کاهش ژنتیکی نظریه مجموعه های خشن، این مقاله شاخص اصلی ارزیابی را حفظ کرده، به طور موثر حجم کار فرایند ارزیابی را کاهش داده و قابلیت عملی بودن این روش را افزایش داده است. سپس، وزن ها توسط روش وزن آنتروپی ساختاری با مزایای قدرت توضیح قوی و دقت بالای نتایج محاسبه شد. برای روشن شدن تصادفی بودن و ابهام در ارزیابی، سطح خطر سلامت، ایمنی و محیط زیست با شباهت ابر تعیین شد. این مدل برای پروژه تونل عمیق تهران-چالوس استفاده شد و نتایج نشان داد که سطح خطر سلامت، ایمنی و محیط زیست آن متوسط است که قابل قبول است. شاخص مربوط به ایمنی ساختمان بیشترین وزن را داشت. مشخص شد که محیط مرطوب ، استفاده نادرست از نیرو و آلودگی لجن و گل، موثرترین شاخص خطر است که باید در مدیریت ریسک خطر سلامت، ایمنی و محیط زیست پروژه اصلی تونل حمل و نقل فاضلاب کلیدی باشد. سطح ریسک را می توان بصورت بصری و کیفی توسط ابر ارزیابی شکل قضاوت کرد و یک ابزار ارزیابی سریع و سریع برای تصمیم گیری اضطراری مدیران پروژه را ارائه می دهد و سطح ریسک را می توان با محاسبه شباهت ابرها به صورت کمی قضاوت کرد. از طریق مقایسه با درجه همبستگی خاکستری، تجزیه و تحلیل زوج مجموعه و نتایج ارزیابی روش ارزیابی جامع فازی، علمی بودن و اثربخشی مدل پیشنهادی اثبات شده است.

مراجع

1. H. Wang, C. Mei, J. Liu, and W. Shao, "A new strategy for integrated urban water management in China: Sponge city," *Science China Technological Sciences*, vol. 61, no. 3, pp. 317–329, 2018. View at: Publisher Site | Google Scholar
2. G. H. Wang, Y. Chen, J. H. Zhou et al., "Discussion on application and development trend of deep tunnel drainage technology," *China Water and Wastewater*, vol. 32, no. 22, pp. 1–13, 2016. View at: Google Scholar

www.nke.com

3. J. Liu, L. Xia, H. Wang, W. Shao, and X. Ding, "Typical case analysis of deep tunnel drainage system in urban area," *Chinese Science Bulletin*, vol. 62, no. 27, pp. 3269–3276, 2017. View at: Publisher Site | Google Scholar
4. M. L. Huang, Z. E. Zhang, and Z. S. Tan, "Construction model of deep tunnel for urban flood control and drainage in China," *China Civil Engineering Journal*, vol. 50, no. 1, pp. 76–81, 2017. View at: Google Scholar
5. A. Dewan, P. Soren, R. B. N. Mathias, and O. Jacob, "Why does the offshore wind industry need standardized HSE management systems? An evidence from Denmark," *Renewable Energy*, vol. 136, pp. 691–700, 2019. View at: Publisher Site | Google Scholar
6. A. Motaghifard, M. Omidvari, and A. Kaazemi, "Introducing a conceptual model for evaluating health safety environmental performance of residential buildings using the fuzzy decision-making approach," *Environmental Monitoring and Assessment*, vol. 192, no. 1, p. 19, 2020. View at: Publisher Site | Google Scholar
7. A. Hamid, W. Saleem, G. Yaqub, and M. U. D. Ghauri, "Comparative assessment of respiratory and other occupational health effects among elementary workers," *International Journal of Occupational Safety and Ergonomics*, vol. 25, no. 3, pp. 394–401, 2019. View at: Publisher Site | Google Scholar
8. P. Amir-Heidari, R. Maknoon, B. Taheri, and M. Bazyari, "A new framework for HSE performance measurement and monitoring," *Safety Science*, vol. 100, pp. 157–167, 2017. View at: Publisher Site | Google Scholar
9. Q. Z. Lu and D. H. Li, "Analysis on the role of team culture construction in HSE management," *Highway*, vol. 63, no. 8, pp. 135–137, 2018. View at: Google Scholar
10. Z. G. Zhang and J. F. Li, "Application and demonstration of health-safety-environment risk management to underwater tunnel of Hong Kong-Zhuihai-Macao Link," *Tunnel Construction*, vol. 39, no. 2, pp. 189–196, 2019. View at: Google Scholar
11. W. Q. Wang, S. R. Lyu, Y. D. Zhang, and S. Q. Ma, "A risk assessment model of coalbed methane development based on the matter-element extension method," *Energies*, vol. 12, no. 20, pp. 3931–3960, 2019. View at: Publisher Site | Google Scholar
12. X. Liang, W. Liang, L. Zhang, and X. Guo, "Risk assessment for long-distance gas pipelines in coal mine gobs based on structure entropy weight method and multi-step backward cloud transformation algorithm based on sampling with replacement," *Journal of Cleaner Production*, vol. 227, pp. 218–228, 2019. View at: Publisher Site | Google Scholar
13. Y. R. Sun, Z. C. Dong, Y. Zhou, and S. N. Feng, "Evaluation of water resources carrying capacity in lower reaches of Yangtze River based on structural entropy method: a case study of Nanjing," *Yangtze River*, vol. 49, no. 7, pp. 47–51, 2018. View at: Google Scholar
14. M. J. Rezaee, S. Yousef, M. Eshkevari, M. Valipour, and M. Saberi, "Risk analysis of health, safety and environment in chemical industry integrating linguistic FMEA, fuzzy inference system and fuzzy DEA," *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, vol. 40, no. 2, pp. 231–242, 2019. View at: Google Scholar

15. J. F. Zhou, S. Y. Hu, J. K. An et al., "Research on key indexes of power supply level of medium-voltage distribution network based on entropy-weighted method and grey relational degree," *Bulletin of Science and Technology*, vol. 35, no. 12, pp. 101–104, 2019. View at: Google Scholar
16. Q. Wu, L. Wang, N. Jin, N. Li, and X. Hu, "Social stability risk evaluation of major water conservancy projects in fragile eco-environment regions," *Applied Ecology and Environmental Research*, vol. 17, no. 4, pp. 9097–9111, 2019. View at: Publisher Site | Google Scholar
17. X. Q. Yang and S. C. Zhang, "Manned space engineering project based on fuzzy analytic hierarchy process-particle swarm optimization research on identification of important processes," *Science and Technology Management Research*, vol. 39, no. 24, pp. 217–224, 2019. View at: Google Scholar
18. D. Liu, D. Wang, J. Wu et al., "A risk assessment method based on RBF artificial neural network—cloud model for urban water hazard," *Journal of Intelligent & Fuzzy Systems*, vol. 27, no. 5, pp. 2409–2416, 2014. View at: Publisher Site | Google Scholar
19. K. K. Peng, "Risk evaluation for bridge engineering based on cloud-clustering group decision method," *Journal of Performance of Constructed Facilities*, vol. 33, no. 1, Article ID 04018105, 2019. View at: Publisher Site | Google Scholar
20. H.-C. Liu, L.-E. Wang, Z. Li, and Y.-P. Hu, "Improving risk evaluation in FMEA with cloud model and hierarchical TOPSIS method," *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, vol. 27, no. 1, pp. 84–95, 2019. View at: Publisher Site | Google Scholar
21. C. L. Themann and E. A. Masterson, "Occupational noise exposure: a review of its effects, epidemiology, and impact with recommendations for reducing its burden," *The Journal of the Acoustical Society of America*, vol. 146, no. 5, pp. 3879–3905, 2019. View at: Publisher Site | Google Scholar
22. E. Jonsson, B. Järvholm, and M. Andersson, "Silica dust and sarcoidosis in Swedish construction workers," *Occupational Medicine*, vol. 69, no. 7, pp. 482–486, 2019. View at: Publisher Site | Google Scholar
23. P. Wolkoff, "Indoor air humidity, air quality, and health—an overview," *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, vol. 221, no. 3, pp. 376–390, 2018. View at: Publisher Site | Google Scholar
24. F. M. Fischer, C. A. Silva, R. H. Griep et al., "Working time society consensus statements: psychosocial stressors relevant to the health and wellbeing of night and shift workers," *Industrial Health*, vol. 57, no. 2, pp. 175–183, 2017. View at: Publisher Site | Google Scholar
25. G. Cucchi, A. Lisardi, D. Mostacci, L. Tositti, F. Tugnoli, and S. Vichi, "Radiation protection issues in the excavation of road and railway tunnels, a preliminary assessment," *Radiation Effects and Defects in Solids*, vol. 171, no. 9-10, pp. 801–807, 2016. View at: Publisher Site | Google Scholar

www.indeed.com

26. Y. S. Jiang, Z. Y. Sun, and Z. Y. Yang, "Construction risk monitoring system and parameter warning of EPB shield," *Tunnel Construction*, vol. 39, no. 7, pp. 1083–1089, 2019. View at: Google Scholar
27. Y. R. Yan, "Risk analysis of cutter head failure of composite EPB shield," *Rock and Soil Mechanics*, vol. 30, no. 8, pp. 2324–2330, 2007. View at: Google Scholar
28. G. H. Chen, W. S. Wu, S. Y. Xu, and K. Liu, "Assessment HSE risk of during sea-crossing bridges project construction based on WBS-RBS and AHP," *China Safety Science Journal*, vol. 23, no. 9, pp. 51–57, 2013. View at: Google Scholar
29. W. Q. Wei, L. Chen, and H. B. Luo, "Geological safety evaluation of cross-river metro tunnel based on clustering analysis," *Journal of Civil Engineering and Management*, vol. 32, no. 1, pp. 72–76, 2015. View at: Google Scholar
30. Z. M. Ding, Q. L. Liao, and C. Y. Li, "Study on risk of the construction of earth-pressure-balanced shield in metro engineering," *Construction Technology*, vol. 41, no. 24, pp. 64–67, 2012. View at: Google Scholar
31. B. R. Fortunato, M. R. Hallowell, M. Behm, and K. Dewlaney, "Identification of safety risks for high-performance sustainable construction projects," *Journal of Construction Engineering and Management*, vol. 138, no. 4, pp. 499–508, 2012. View at: Publisher Site | Google Scholar
32. H. Lu, M. Y. Wang, B. H. Yang, and X. L. Rong, "Study on the application of the kent index method on the risk assessment of disastrous accidents in subway engineering," *Scientific World Journal*, vol. 2013, Article ID 360705, 10 pages, 2013. View at: Publisher Site | Google Scholar
33. K.-C. Hyun, S. Min, H. Choi, J. Park, and I.-M. Lee, "Risk analysis using fault-tree analysis (FTA) and analytic hierarchy process (AHP) applicable to shield TBM tunnels," *Tunnelling and Underground Space Technology*, vol. 49, pp. 121–129, 2015. View at: Publisher Site | Google Scholar
34. W. Liu, T. Zhao, W. Zhou, and J. Tang, "Safety risk factors of metro tunnel construction in China: an integrated study with EFA and SEM," *Safety Science*, vol. 105, pp. 98–113, 2018. View at: Publisher Site | Google Scholar
35. H. Lu, Y. H. Shi, and X. L. Rong, "Discussion on safety risk assessment of shield construction in underwater tunnel," *Strategic Study of CAE*, vol. 15, no. 10, pp. 91–96, 2013. View at: Google Scholar
36. W. Liu, T. S. Zhao, Y. J. Zhang, Y. K. Chen, and W. Zhou, "Analysis of risk factors and countermeasures for metro shield construction," *China Safety Science Journal*, vol. 27, no. 10, pp. 130–136, 2017. View at: Google Scholar
37. T. Huang, F. Shi, H. Tanikawa, J. Fei, and J. Han, "Materials demand and environmental impact of buildings construction and demolition in China based on dynamic material flow analysis," *Resources, Conservation and Recycling*, vol. 72, pp. 91–101, 2013. View at: Publisher Site | Google Scholar

www.nhe.com

38. O. K. M. Ouda, H. P. Peterson, M. Rehan, Y. Sadef, J. M. Alghazo, and A. S. Nizami, "A case study of sustainable construction waste management in Saudi Arabia," *Waste and Biomass Valorization*, vol. 9, no. 12, pp. 2541–2555, 2017. View at: Publisher Site | Google Scholar
39. W. S. Guo, K. S. Liang, and Y. F. You, "Study of the main risks and countermeasures for the sea-crossing shield tunnel of the Taishan nuclear power station," *Modern Tunnelling Technology*, vol. 52, no. 6, pp. 195–202, 2015. View at: Google Scholar
40. L. Szwarcfiter, F. E. Mendes, and E. L. La Rovere, "Enhancing the effects of the brazilian program to reduce atmospheric pollutant emissions from vehicles," *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, vol. 10, no. 2, pp. 153–160, 2005. View at: Publisher Site | Google Scholar
41. F. M. Shaqour and S. E. Hasan, "Groundwater control for construction purposes: a case study from Kuwait," *Environmental Geology*, vol. 53, no. 8, pp. 1603–1612, 2008. View at: Publisher Site | Google Scholar
42. K.-I. Song, G.-C. Cho, and S.-B. Chang, "Identification, remediation, and analysis of karst sinkholes in the longest railroad tunnel in South Korea," *Engineering Geology*, vol. 135-136, no. 15, pp. 92–105, 2012. View at: Publisher Site | Google Scholar
43. Y. X. Lv, Y. J. Jiang, W. Hu, M. Cao, and Y. Mao, "A review of the effects of tunnel excavation on the hydrology, ecology, and environment in karst areas: current status, challenges, and perspectives," *Journal of Hydrology*, vol. 586, Article ID 124891, 2020. View at: Publisher Site | Google Scholar
44. Z. Pawlak and A. Skowron, "Rough sets and Boolean reasoning," *Information Sciences*, vol. 177, no. 1, pp. 41–73, 2007. View at: Publisher Site | Google Scholar
45. C. Wang, M. Shao, B. Sun, and Q. Hu, "An improved attribute reduction scheme with covering based rough sets," *Applied Soft Computing*, vol. 26, pp. 235–243, 2015. View at: Publisher Site | Google Scholar
46. U. K. Chakrabarti and J. K Parikh, "Risk-based route evaluation against country-specific criteria of risk tolerability for hazmat transportation through Indian State Highways," *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, vol. 26, no. 4, pp. 723–736, 2017. View at: Publisher Site | Google Scholar
47. Y. P. Li, M. Q. Liu, F. Wang, and R. G. Li, "Safety performance assessment of fabricated building project based on cloud model," *China Safety Science Journal*, vol. 27, no. 6, pp. 115–120, 2017. View at: Google Scholar

www.iiste.com