





موسسه آموزش عالی خاوران

(غیردولتی - غیرانتفاعی)

پایان نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد

مهندسی عمران گرایش مدیریت ساخت

عنوان پایان نامه:

ارائه رویکردی جهت ارزیابی ریسک‌های بهداشتی، ایمنی و محیط‌زیست (HSE) با استفاده
از روش تصمیم‌گیری چند معیاره (MCDM) در محیط فازی

دانشجو: سید سهراب ناجی پارسا یان

استاد راهنما: آقای دکتر مهران امیری

تاریخ دفاع: زمستان ۱۳۹۹

تائیدیه هیات داوران

هیئت داوران پس از مطالعه پایان نامه و شرکت در جلسه دفاع از پایان نامه تهیه شده تحت عنوان:

"ارایه رویکردی جهت ارزیابی ریسکهای بهداشتی، ایمنی و محیط زیست *lise* با استفاده از روش تصمیم گیری چند معیاره *mcdm* در محیط فازی"

توسط سید سهراب ناجی پارساییان صحبت و کفايت تحقیق انجام شده را برای اخذ درجه کارشناسی ارشد در رشته: مهندسی عمران گرایش مدیریت ساخت، با نمره ۱۸ و رتبه ^{۱۰}۱۰۰ مورد تأیید قرار میدهد.



..... امضا
..... امضا
..... امضا
..... امضا
..... امضا

- ۱- استاد راهنما: آقای دکتر مهران امیری
- ۲- استاد مشاور: آقای دکتر ابراهیم علامتیان
- ۳- ممتحن خارجی: آقای دکتر جواد علامتیان
- ۴- ممتحن داخلی: آقای دکتر سیامک گل نرگسی
- ۵- نماینده تحصیلات تکمیلی دانشکده

اظهارنامه دانشجو

موضوع پایان نامه: ارائه رویکردی جهت ارزیابی ریسک‌های بهداشتی، ایمنی و محیط‌زیست (HSE) با استفاده از روش تصمیم‌گیری چند معیاره (MCDM) در محیط فازی

استاد راهنما: آقای دکتر مهران امیری

نام دانشجو: سید سهراب ناجی پارساييان

شماره دانشجوئی: ۹۷۱۵۷۱۰۰۲۹

اینجانب سید سهراب ناجی پارساييان دانشجوی دوره کارشناسی ارشد مهندسی عمران گرایش مدیریت‌ساخت موسسه آموزش عالی خاوران اعلام می‌نمایم که تحقیقات ارائه شده در این پایان‌نامه توسط شخص اینجانب انجام شده و صحت و اصالت مطالب نگارش شده را تائید می‌نمایم. همچنین اعلام می‌نمایم که در موارد استفاده از کار دیگر محققان به مرجع مورد استفاده اشاره شده است. بعلاوه اعلام می‌نمایم که مطالب مندرج در پایان‌نامه تاکنون برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی توسط اینجانب یا فرد دیگری در هیچ جای دنیا ارائه نشده است. ضمناً در تدوین متن پایان‌نامه چارچوب (فرمت) مصوب دانشگاه را بطور کامل رعایت کرده‌ام.

امضاء دانشجو:

تاریخ: ۱۳۹۹/۱۲/۹

حق چاپ و تکثیر و مالکیت نتایج

۱- حق چاپ و تکثیر این پایان‌نامه متعلق به نویسنده و موسسه آموزش عالی خاوران می‌باشد. هرگونه کپی برداری بصورت کل پایان‌نامه یا بخشی از آن تنها با موافقت نویسنده یا کتابخانه موسسه آموزش عالی خاوران مجاز می‌باشد. در اینصورت متن این صفحه نیز باید در نسخه تکثیرشده وجود داشته باشد.

۲- کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به موسسه آموزش عالی خاوران می‌باشد و بدون اجازه کتبی موسسه به شخص ثالث قابل واگذاری نیست. همچنین استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان‌نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی‌باشد.

به نام نژدان

تعدیم

به آنان که دانستن را بر خود فرض می‌دانند

مشکر و قدردانی

لازم می دانم که بهترین قدردانی بارا از کسانی داشتباشم که مراد مسیر کسب علم و دانش قراردادند و مشکر و قدردانی و پژوهشگری و ایشانگری و استاد خویش،

جناب آقای دکتر مهران امیری که همیشه و هم وقت پاگذخواهی سوالات و راهنمایی بوده‌اند.

چکیده

صنعت ساخت در اغلب کشورهای جهان در صدر فعالیت‌های حادثه‌آفرین قرار دارد. بنابراین در پروژه‌های عمرانی داشتن رویکردی صحیح جهت مدیریت ریسک ایمنی امری حیاتی تلقی می‌گردد. هدف از انجام این پژوهش، ارائه چارچوبی منسجم در راستای شناسایی ریسک‌های HSE و ارزیابی آنها در پروژه‌های ساخت، بر اساس استاندارد ISO ۴۵۰۰۱:۲۰۱۸ است. اهمیت این پژوهش از آن جهت است که چون در اکثر پروژه‌ها زمان و بودجه کافی برای پاسخ‌گویی به تمام ریسک‌های HSE وجود ندارد، لذا می‌توان کنترل ریسک را با توجه به نتایج حاصله از ارزیابی ریسک انجام داد. مطالعه موردنی، یک پروژه ساختمنی در حال اجرا در شهر مشهد می‌باشد. روند کلی این مطالعه، بدین صورت است که نخست بامطالعه پیشینه تحقیق و ادبیات موضوع، درک کاملی از فرآیند انجام پژوهش بدست می‌آید. در گام بعد، از طریق مصاحبه با کارشناسان و کارگران، بازدیدهای میدانی و مرور ادبیات موضوع، ساختار جامعی از ریسک‌های ایمنی پروژه بدست می‌آید و شاخص‌های ارزیابی ریسک تعیین می‌شوند. در مطالعه موردنی، ۵۲ ریسک HSE و ۳ شاخص احتمال وقوع، شدت اثر و میزان کنترل پذیری شناسایی و تعیین شدند. در مرحله بعدی، تعداد ۶۴ پرسشنامه شاخص‌های ارزیابی اعم از احتمال وقوع = ۰/۳۲۹، شدت اثر = ۰/۵۵۶ و میزان کنترل پذیری = ۰/۱۱۵ بدست آمد. سپس با استفاده از روش Fuzzy-Topsis، وزن ریسک‌های HSE محاسبه شده و در ۳ دسته طبقه بحرانی، طبقه متوسط و طبقه غیر بحرانی، طبقه‌بندی گردیدند. نتایج حاصل شده، نشان داد که ۹ مورد از ریسک‌های HSE جزو طبقه غیر بحرانی، ۲۸ مورد از ریسک‌های HSE جزو طبقه متوسط و ۱۵ مورد از ریسک‌های HSE جزو طبقه بحرانی هستند. در این میان، ریسک سقوط افراد از ارتفاع در هنگام جوشکاری با وزن ۰/۶۰۲ به عنوان خطرناک‌ترین ریسک پروژه و ریسک بیماری در اثر زباله‌های فسادپذیر با وزن ۰/۲۸۲ به عنوان کم خطرترین ریسک پروژه شناسایی شدند. ریسک سقوط افراد از روی سقف‌های در حال کار نیز با وزن ۰/۵۶۵ در رتبه دوم لیست قرار گرفت. در پایان نیز اقدامات اصلاحی به منظور کاهش چندین ریسک بحرانی، پیشنهاد گردید. مدیریت پروژه می‌تواند نتایج حاصله از این پژوهش را به عنوان یک مبنای علمی جهت پیاده‌سازی استراتژی‌های کاهش ریسک‌های HSE در پروژه قرار دهد. با بررسی‌های انجام شده در ریسک‌های بحرانی متوجه شدیم بسیاری از این ریسک‌ها به دلیل فقر فرهنگ ایمنی و عدم استفاده یا استفاده نادرست از تجهیزات ایمنی و فقدان آموزش بوجود می‌آیند. چه بسا ریسکی مانند سقوط از ارتفاع هنگام کار با استفاده از کمربند ایمنی تا حد زیادی کاهش می‌یابد. بنابراین افزایش سطح فرهنگ ایمنی و آموزش بسیار مهم تلقی می‌شود.

واژه‌های کلیدی: شناسایی ریسک‌های HSE، ارزیابی ریسک‌های HSE، استاندارد ISO ۴۵۰۰۱:۲۰۱۸، روش Fuzzy-Topsis، استراتژی‌های کنترل ریسک‌های بحرانی

فهرست مطالب

۱	فصل اول: مقدمه، اهداف و کلیات
۲	۱- بیان مسئله
۲	۲- ضرورت پژوهش
۲	۳- هدف پژوهش
۲	۱-۳-۱- اهداف اصلی
۳	۱-۳-۲- اهداف فرعی
۳	۱-۴- نوآوری پژوهش
۴	۱-۵- ساختار پایان نامه
۵	فصل دوم: مروری بر پژوهش‌های انجام شده
۶	۲-۱- پیشینه پژوهش
۱۳	۲-۲- جمع‌بندی
۱۳	۲-۳- سوالات پژوهش
۱۵	فصل سوم: فیزیک مسئله
۱۶	۳-۱- مقدمه
۱۶	۳-۲- مدیریت پروژه
۱۷	۳-۳- هدف یک سیستم مدیریت OH&S (ایمنی و سلامت شغلی)
۱۷	۳-۴- چرخه PDCA (برنامه‌ریزی، انجام، بررسی، اقدام)
۱۸	۳-۵- خط مشی ایمنی و سلامت شغلی
۱۹	۳-۶- آسیب و بیماری
۱۹	۳-۷- خطر
۱۹	۳-۸- ریسک ایمنی و سلامت شغلی
۱۹	۳-۹- شناسایی ریسک
۲۰	۱۰-۳- عوامل بروز ریسک‌های HSE
۲۰	۳-۱۱- ارزیابی ریسک
۲۱	۳-۱۲- استراتژی‌های پاسخ به ریسک
۲۲	۳-۱۳- کنترل ریسک
۲۲	۳-۱۴- هزینه‌های حوادث ناشی از کار
۲۳	۳-۱۵- ابزارهای مورد استفاده در پژوهش
۲۳	۳-۱۶- منطق فازی

۲۴	۱-۱-۱- مجموعه‌های فازی
۲۵	۱-۱-۲- حساب فازی
۲۶	۱-۱-۳- مقایسه اعداد فازی
۲۶	۱-۱-۴- فازی زدایی
۲۷	۱-۱-۵- مقیاس‌های پنجمگانه فازی-زبانی برای وزن دهنده ریسک‌ها
۲۹	۱-۳- تکنیک‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره (MCDM)
۳۰	۱-۳-۱- معیارهای تصمیم‌گیری
۳۱	۱-۳-۱۸- روش AHP
۳۴	۱-۳-۱۹- روش FUZZY TOPSIS (FTOPSIS)
۳۷	فصل چهارم: روش پژوهش
۳۸	۴-۱- مقدمه
۳۸	۴-۲- روش پژوهش
۳۸	۴-۲-۱- روش انجام پژوهش
۳۸	۴-۲-۲- روند کلی انجام پژوهش
۳۹	۴-۲-۳- شرح خدمات (به تفکیک مراحل و خروجی‌ها)
۴۰	۴-۳- مطالعه موردي
۴۰	۴-۴- جامعه آماري
۴۰	۴-۴-۱- حجم نمونه
۴۱	۴-۴-۲- روش و ابزار گردآوری داده و اطلاعات
۴۱	۴-۴-۵- شناسایی ریسک‌های HSE و تعیین شاخص‌های ارزیابی
۴۴	۴-۶- ارزیابی ریسک‌های HSE با استفاده از روش FUZZY-TOPSIS
۴۵	۱-۶-۴- روایی و پایایی پرسشنامه
۴۶	۴-۶-۲- بدست آوردن وزن شاخص‌های ارزیابی ریسک با استفاده از AHP
۴۸	۴-۶-۴- بدست آوردن وزن ریسک‌های HSE با استفاده از روش Fuzzy-Topsis
۵۸	فصل پنجم: ارزیابی و تجزیه و تحلیل
۵۹	۵-۱- مقدمه
۵۹	۵-۲- ارزیابی و تجزیه و تحلیل نتایج
۶۰	۵-۳- طبقه‌بندی ریسک‌های HSE
۶۳	۵-۴- بحث و مقایسه نتایج با پیشینه پژوهش

۶۴	۵-۵- تدوین استراتژی‌ها و راهکارهای مهندسی جهت کاهش ریسک‌های اصلی پروژه
۷۰	۶-۵- پاسخ به سوالات پژوهش
۷۱	فصل ششم: نتیجه‌گیری و پیشنهادات
۷۲	۶-۱- جمع‌بندی و نتیجه‌گیری
۷۳	۶-۲- ارائه پیشنهادات برای پژوهش‌های آینده
۷۴	۷- مراجع
۷۶	۸- پیوست‌ها: پرسشنامه ارزیابی ریسک‌های HSE

فهرست اشکال

۱۶ شکل ۳-۱- حوزه‌های مدیریت پروژه
۱۸ شکل ۳-۲- ارتباط بین PDCA و چارچوب موجود در سند ISO ۴۵۰۰۱
۲۳ شکل ۳-۳- الگوی کوه یخ
۲۵ شکل ۳-۴- عدد فازی مثلثی
۲۹ شکل ۳-۵- اعداد فازی متناظر با هر یک از متغیرهای زبانی
۳۱ شکل ۳-۶- روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره (MCDM)
۳۲ شکل ۳-۷- گام‌های فرآیند AHP
۳۹ شکل ۴-۱- روند کلی انجام پژوهش
۴۴ شکل ۴-۲- ریسک‌های HSE شناسایی شده در پروژه
۶۶ شکل ۵-۱- تجهیزات حفاظت فردی
۷۳ شکل ۶-۱- رتبه‌بندی ریسک‌های HSE پروژه به همراه طبقه‌بندی آنها

فهرست جداول

جدول ۲-۱- خلاصه پیشینه پژوهش.....	۱۲
جدول ۳-۱- ابزارهای مورد استفاده در تعیین وزن شاخصهای ارزیابی و ریسکهای HSE.....	۲۳
جدول ۳-۲- مقیاس پنجگانه فازی زبانی برای وزن دهنده ریسکهای HSE براساس شاخص شدت اثر.....	۲۷
جدول ۳-۳- مقیاس پنجگانه فازی زبانی برای وزن دهنده ریسکهای HSE براساس شاخص احتمال وقوع.....	۲۸
جدول ۳-۴- مقیاس پنجگانه فازی زبانی برای وزن دهنده ریسکهای HSE براساس شاخص میزان کنترل پذیری.....	۲۹
جدول ۳-۵- مقادیر ترجیحات برای مقایسه های زوجی.....	۳۲
جدول ۳-۶- شاخص تصادفی.....	۳۴
جدول ۴-۱- فرآیند انجام پژوهش به تفکیک مراحل و خروجی ها.....	۳۹
جدول ۴-۲- ماتریس میانگین مقایسات زوجی ۶۴ کارشناس در مورد شاخصهای ارزیابی ریسک.....	۴۶
جدول ۴-۳- نرمالایز کردن ماتریس تصمیم.....	۴۶
جدول ۴-۴- وزن شاخصهای ارزیابی ریسک.....	۴۷
جدول ۴-۵- بردار مجموع وزنی.....	۴۷
جدول ۴-۶- بردار سازگاری.....	۴۷
جدول ۴-۷- ماتریس میانگین نظرات ۶۴ کارشناس در مورد ریسکهای HSE.....	۴۸
جدول ۴-۸- ماتریس تصمیم نرمال شده وزنی.....	۵۱
جدول ۴-۹- ایدهآل مثبت و منفی.....	۵۳
جدول ۴-۱۰- فاصله از ایدهآل مثبت و منفی و ضریب نزدیکی.....	۵۳
جدول ۴-۱۱- لیست اولویت‌بندی شده‌ای از ریسکهای HSE پژوهه.....	۵۵
جدول ۵-۱- طبقه‌بندی ریسکهای HSE پژوهه.....	۶۰

جدول ۵-۲- تفکیک ریسک‌های HSE پروژه با توجه به سطوح ریسک	۶۰
جدول ۵-۳- ریسک‌های بحرانی پروژه	۶۱
جدول ۵-۴- ریسک‌های متوسط پروژه	۶۲
جدول ۵-۵- ریسک‌های غیر بحرانی پروژه	۶۳

فصل اول: مقدمه، اهداف و کلیات

۱-۱- بیان مسئله

ریسک جزء ذاتی تمام پروژه‌ها است و در هر کسب‌وکاری وجود دارد. پروژه‌های عمرانی با توجه به فراگیر بودن و گستردگی آنها، طولانی بودن پروژه‌ها، محیط نامساعد، شرایط گوناگون بالقوه خطر و ساختار دینامیک با عدم اطمینان بالایی روبرو هستند که موجب افزایش هزینه‌های اجرایی و تأخیر در زمان بهره‌برداری می‌گردد. بهمین دلیل صنعت ساخت در اغلب کشورهای جهان در صدر فعالیت‌های حادثه‌آفرین قرار دارد. بنابراین در پروژه‌های عمرانی داشتن رویکردی صحیح جهت مدیریت ریسک ایمنی امری حیاتی تلقی می‌گردد. مدیریت ریسک شامل فرایند جامع تجزیه و تحلیل ریسک‌های شناسایی‌شده و علم برنامه‌ریزی برای کنترل حوادث و رویدادهای نامشخص آینده بوده که در تمام مراحل چرخه عمر پروژه در پی کاهش و حذف ریسک است. مجموعه حاضر در راستای شناسایی خطرات، ارزیابی ریسک و کنترل ریسک‌ها در پروژه‌های ساخت، بر اساس استاندارد ۴۵۰۰۱:۲۰۱۸ ISO تهیه خواهد گردید.

۱-۲- ضرورت پژوهش

غفلت از ریسک‌های ایمنی و عدم برنامه‌ریزی جهت کنترل آنها می‌تواند عواقب جبران‌ناپذیری مانند اتلاف سرمایه‌های جانی و مالی را به دنبال داشته باشد. لذا لزوم استقرار یک سیستم مدیریت ریسک به منظور شناسایی، مستندسازی و تجزیه و تحلیل کمی و کیفی ریسک پروژه‌های ساخت از جمله مهم‌ترین اقداماتی است که باید در دستور کار قرار بگیرد. اهمیت موضوع مدیریت ریسک ایمنی زمانی دوچندان می‌شود که چون امکان مدیریت و پاسخ‌به‌تمامی ریسک‌های ایمنی شناسایی‌شده وجود ندارد، لذا می‌توان با الگو قرار دادن یک رویکرد مناسب جهت مدیریت ریسک‌های ایمنی، ابتدا ریسک‌ها را مورد ارزیابی قرار داده و سپس با اتخاذ استراتژی‌های مناسب، کنترل ریسک را به ترتیب لیست اولویت‌بندی شده ریسک‌های ایمنی، انجام داد. امید است که مجموعه حاضر با ارائه یک چارچوب منسجم و یکپارچه جهت ارزیابی ریسک‌های ایمنی، بتواند به عنوان الگویی مناسب برای مدیریت ریسک‌های ایمنی در پروژه‌های ساخت قرار گیرد.

۱-۳- هدف پژوهش

۱-۳-۱- اهداف اصلی

- ۱- ارائه مدل و چارچوبی منسجم جهت ارزیابی کیفی و کمی ریسک‌های ایمنی در پروژه‌های ساخت؛
- ۲- مهم‌ترین هدف کلی پژوهش حاصل، ارائه لیست اولویت‌بندی شده‌ای از خطرناک‌ترین ریسک‌های ایمنی در پروژه‌های ساخت براساس اهمیت و فوریت پاسخ‌گویی به آنها است. اهمیت این لیست از آن جهت است که

چون در اکثر پروژه‌ها زمان و بودجه کافی برای پاسخ‌گویی به تمام ریسک‌های ایمنی شناسایی شده وجود ندارد، لذا می‌توان کنترل ریسک را به ترتیب اولویت‌بندی موجود در لیست انجام داد.

۳- تدوین استراتژی‌ها و راهکارهای مهندسی جهت رویارویی با ریسک‌های شناسایی شده به منظور پیشگیری و کاهش اثر آنها؛

۲-۱-۳-۲- اهداف فرعی

- ۱- تشریح نحوه تأثیر ریسک‌های ایمنی در هزینه‌های اضافی به وجود آمده در پروژه؛
- ۲- شناسایی منابع بالقوه خطر و ریسک‌های اصلی سلامت، ایمنی و محیط‌زیست در پروژه‌های ساخت؛

۴-۱- نوآوری پژوهش

با اینکه مطالعاتی در حوزه مدیریت ریسک‌های ایمنی صورت گرفته است اما اکثر این مطالعات در فضای قطعی انجام شده است. همان‌طور که می‌دانیم عدم قطعیت جزء جدایی‌ناپذیر مدیریت ریسک به حساب می‌آید. لذا انجام پژوهش در محیط فازی می‌تواند اعتبار ویژه‌ای به نتایج بدست آمده و پژوهش دهد. به همین دلیل در نظر است که در پژوهش جاری از منطق فازی استفاده شود. از طرف دیگر مطالعاتی که در محیط فازی صورت گرفته‌اند براساس استاندارد ISO ۱۸۰۰۱: ۲۰۰۷ OHSAS بوده‌اند ولی در نظر است که پژوهش جاری براساس استاندارد جدید ISO ۴۵۰۰۱: ۲۰۱۸ صورت بگیرد. در حالی که هر دو استاندارد به سمت بهبود در شرایط کاری حرکت می‌کنند، ISO ۴۵۰۰۱ یک رویکرد پیشگیرانه نسبت به کنترل ریسک اتخاذ می‌کند، تأکید دارد که قبل از وقوع حوادث بایستی پیشگیری‌های لازم انجام شود، بنابراین مدیریت ارشد می‌تواند نقش رهبری قوی‌تر در برنامه سلامت و ایمنی داشته باشد. ISO ۱۸۰۰۱ یک رویکرد واکنشی از کنترل خطر به وسیله تفویض اختیارات کنترل خطر به پرسنل مدیریت ایمنی به جای یکپارچه‌سازی مسئولیت‌ها در سیستم مدیریت کلی شرکت اتخاذ می‌کند که فقط بر کنترل خطر متمرکز است. در استاندارد ISO ۴۵۰۰۱ برای ایجاد یک برنامه ایمنی موفق، تأکید بیشتری به مشارکت کارگران جهت شناسایی خطرات شده است. در استاندارد ISO ۴۵۰۰۱، تعهد مدیریت در مرکز اثربخشی و یکپارچگی استاندارد قرار دارد. لذا نیاز به رهبری قوی‌تری در استاندارد ISO ۱۸۰۰۱ OHSAS دارد. در مطالعات پیشین یک رویکرد منسجم نسبت به بررسی ریشه‌ای علل بوجود آورندۀ نسبت به ISO ۱۸۰۰۱ OHSAS دارد. در این مطالعات صرفاً ریسک‌های اصلی شناسایی و سپس استراتژی‌هایی جهت کاهش ریسک صورت نگرفته است. در این مطالعات ریسک‌های اصلی شناسایی و سپس استراتژی‌هایی جهت کاهش ریسک ارائه شده است. در صورتی که در نظر است، در این پژوهش پس از بررسی ریشه‌ای علل بوجود آورندۀ ریسک‌های اصلی، استراتژی‌ها و اقدامات مهندسی جهت کاهش ریسک‌ها ارائه شود. در مجموع با توجه به اهمیت بالای موضوع مدیریت ریسک، روزبه روز نه تنها احساس نیاز به پژوهش‌هایی در این حوزه کم نمی‌شود بلکه با توجه به گستردگی و پیچیده‌شدن پروژه‌های عمرانی و وجود عدم قطعیت‌ها، به این دسته از مطالعات پیش از پیش احساس نیاز می‌شود.

۱-۵- ساختار پایان نامه

در فصل ۲ پژوهش‌های صورت‌گرفته توسط محققان قبلی در حوزه مدیریت ریسک مورد بررسی قرار می‌گیرد. در فصل ۳ به بررسی کامل مسئله مدیریت ریسک، مبانی نظری مرتبط با آن پرداخته می‌شود. در فصل ۴ روش انجام پژوهش به همراه جزئیات و تجزیه و تحلیل آن شرح داده می‌شود. در ادامه این فصل روش انجام پژوهش بر روی یک مطالعه موردنی، پیاده‌سازی خواهد شد و استراتژی‌هایی جهت ارتقای اینمنی و کاهش ریسک‌های بحرانی در پروژه مذکور بیان می‌گردد. در فصل ۵ نیز جمع‌بندی و نتیجه‌گیری پایان نامه و پیشنهاداتی جهت پژوهش‌های آینده بیان خواهد شد.

فصل دوم: مروری بر پژوهش‌های انجام شده

۲-۱- پیشینه پژوهش

اردشیر و همکاران (۱۳۹۴) در مقاله‌ای، خطرهای HSE در ساخت پروژه‌های بلندمدت به که بر سلامت افراد و محیط‌زیست اثر منفی دارند، شناسایی، ارزیابی و رتبه‌بندی کردند. خطرها را از طریق چکلیست و مصاحبه با افراد باسابقه درزمینه بلندمدت‌سازی شناسایی کردند. برای کمی‌سازی با توجه به ماهیت مبهم خطرها و وجود عدم قطعیت، از ترکیب اعداد فازی و روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP) استفاده کردند. درنهایت پس از ارزیابی، خطرها را رتبه‌بندی کرده و در قالب یک لیست اولویت‌بندی شده، ارائه دادند. یافته‌های پژوهش نشان داد که خطرهای HSE بسیار بحرانی هستند و باید در پروژه‌های عمرانی قبل از شروع پروژه برای کنترل آنها اقداماتی انجام شود. همچنین نتایج دیگر نشان داد که بسیاری از خطرهای HSE به دلیل نبودن فرهنگ درست HSE در سازمان و در پروژه است که می‌توان با فرهنگ‌سازی صحیح بسیاری از خطرهای HSE را کاهش داد.

ویژگی مقاله: ویژگی این پژوهش در رویکرد پیشنهادی مقاله است. روش AHP به دلیل داشتن مقایسات زوجی نیاز به پرسشنامه‌های زیادی دارد. این امر باعث خستگی کارشناسان و عدم همکاری آنان در پرکردن پرسشنامه‌ها می‌گردد. از طرف دیگر محاسبات روش AHP طولانی است که این دلایل از کارایی رویکرد پیشنهادی مقاله می‌کاهد. نویسنده می‌توانست از روش^۲ TOPSIS یا تحلیل پوششی داده‌ها (DEA) بهره‌گیرد (اردشیر و همکاران ۱۳۹۴).

مهاجری و اردشیر (۱۳۹۵) در مقاله‌ای، از روش سیستماتیک و یکپارچه روش تحلیل سلسله مراتبی-روش تحلیل پوششی داده‌ها (AHP-DEA) برای ارزیابی خطرهای ایمنی استفاده کردند. پژوهشگران، با بررسی میدانی کارگاه‌های ساختمانی متعارف ایران، فعالیت‌های دارای پتانسیل خطر، حوادث ناشی از این فعالیت‌ها و عوامل بروز حادثه را شناسایی کرده و با استفاده از قضاوت متخصصان ایمنی و ناظران پروژه، از طریق پرسشنامه و بهره‌گیری از روش AHP-DEA، ریسک‌ها را ارزیابی کرده‌اند. درنهایت، فعالیت‌های گودبرداری و کار در ارتفاع به عنوان پرخطرترین فعالیت‌ها از نظر ایمنی شناخته شد و راهکارهایی نیز برای بهبود و پیشگیری از حوادث ناشی از این فعالیت‌ها ارائه گردید.

ویژگی مقاله: اولین ویژگی مقاله، در نظر نگرفتن عدم قطعیت در ارزیابی ریسک‌های ایمنی پروژه است. فضای فازی اعتبار ویژه‌ای به محاسبات و پژوهش انجام شده می‌دهد. دومین ویژگی مقاله مربوط به عدم درنظر گرفتن طبقه‌بندی مشخص برای ریسک‌ها است. درست است که ریسک‌های پروژه رتبه‌بندی شده‌اند اما ارائه یک طبقه‌بندی مناسب می‌تواند دید بهتری از شرایط ریسک‌های پروژه در اختیار مدیر بگذارد. بهمین دلیل درنظر است که در پژوهش جاری، بعد از ارزیابی ریسک‌های

^۱Analytic Hierarchy Process

^۲Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution

^۳Data Envelopment Analysis

پروژه، یک طبقه‌بندی مناسب نیز ارائه گردد (مهرجری و اردشیر، ۱۳۹۵).

اردشیر و همکاران (۲۰۱۴)، به بررسی عوامل مؤثر بر عملکرد ایمنی کارگران در کارگاه‌های ساختمانی با استفاده از تحلیل سلسله مراتبی فازی (مطالعه موردنی: استان خوزستان) پرداختند. حوادث ساختمانی بار مالی سنگینی را به صاحبان کار، پیمانکاران و جامعه وارد می‌نمایند و می‌تواند زندگی کارگر را چه در محل کار و چه در خانه با درد و رنج همراه نمایند. از این‌رو، در این نوشتار به بررسی فاکتورهای مؤثر بر عملکرد ایمنی پرداخته می‌شود تا با شناسایی فاکتورهای مهم و کنترل آن‌ها از میزان حوادث ساختمانی کاسته شود. از آنجاکه، عوامل مؤثر بر ایمنی در بخش‌های مختلف کشور دارای شدت اثر متفاوتی می‌باشند، در این تحقیق فقط به بررسی فاکتورهای مؤثر بر عملکرد ایمنی در استان خوزستان که به عنوان یکی از استان‌های حادثه‌خیز در صنعت ساخت‌وساز، پرداخته شده است. در این مطالعه، بر اساس مطالعات پیشین و مصاحبه با افراد کارشناس ۸ فاکتور اصلی و ۳۳ فاکتور فرعی مؤثر بر عملکرد ایمنی شناسایی شده و به کمک پرسشنامه نظر افراد خبره در سطح استان خوزستان جمع‌آوری گردیده است. نظرات و داده‌های به دست آمده با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی فازی تحلیل شده‌اند تا میزان تأثیر هر کدام از عوامل بر روی ایمنی مشخص شود. نتایج حاصله میان اهمیت فاکتور آموزش ایمنی (اولویت=۱۹/۸۵) و فاکتور مدیریت ایمنی (اولویت=۱۷/۵۲) در استان خوزستان است. از بین زیر فاکتورهای آموزشی، بهبود رفتاری و از بین زیر فاکتورهای مدیریتی، داشتن تعهد و مسئولیت در ارجحیت هستند. با توجه به یافته‌های تحقیق، می‌توان راهکار اصلی افزایش ایمنی و کاهش حوادث کارگاه‌های ساختمانی در استان خوزستان را، آموزش مناسب کارگران و افزایش تعهد مدیران ساخت‌وساز به ایمنی عنوان کرد.

ویژگی مقاله: نویسنده مقاله می‌توانست از عوامل دیگری که می‌تواند بسیار تاثیرگذار بر عملکرد ایمنی کارگران در کارگاه‌های ساختمانی باشد، استفاده کند تا نتایج دقیق‌تری از پژوهش حاصل شود. از جمله این عوامل می‌توان: علل جسمانی، علل روانی، علل اجرایی کار و علل فنی را نام برد. ویژگی دیگر این پژوهش در رویکرد پیشنهادی مقاله است. روش AHP به دلیل داشتن مقایسه‌سنجی نیاز به پرسشنامه‌های زیادی دارد. این امر باعث خستگی کارشناسان و عدم همکاری آنان در پرکردن پرسشنامه‌ها می‌گردد. از طرف دیگر محاسبات روش AHP طولانی است که این دلایل از کارایی رویکرد پیشنهادی مقاله می‌کاهد. نویسنده می‌توانست از روش TOPSIS بهره گیرد. (Ardeshir et al., 2014).

ال-انبری و همکاران (۲۰۱۵) در مقاله‌ای به ارزیابی ریسک‌های ایمنی و سلامت (روش RASH) برای صنعت ساخت‌وساز با دسته‌بندی ریسک‌ها به دو دسته ریسک‌های ایمنی و ریسک‌های سلامت، پرداختند. هدف در این مقاله بررسی میزان دقت روش موجود ارزیابی ریسک RA و روش پیشنهادی ارزیابی ریسک RASH، در تجزیه و تحلیل ریسک‌های موجود در صنعت ساخت‌وساز است تا مشخص شود که کدام روش نتایج بهتری را ارائه می‌دهد. در روش RASH، ریسک‌های ایمنی و سلامت

به طور جداگانه بر اساس دو شاخص احتمال وقوع و شدت اثر، ارزیابی می‌شوند. براساس بررسی‌های میدانی صورت گرفته در عمان، ۱۱ ریسک ایمنی و ۸ ریسک سلامت شناسایی شدند. سپس بر اساس نظرات جمع‌آوری شده از ۴۰ متخصص ایمنی و بهداشت با استفاده از روش موجود تحلیل ریسک RA و روش پیشنهادی در این مقاله RASH، مشخص شد که روش RASH در ارزیابی ریسک‌ها از دقت بیشتری (قریباً دو برابر) نسبت به روش RA برخوردار است. نتایج حاصل از آزمون آماری نیز نشان داد که روش جدید RASH از نظر آماری قابل قبول است و از نظر تخمین ریسک نسبت به روش RA پاسخ بهتری را به دنبال دارد.

ویژگی مقاله: قطعی فرض کردن محاسبات یکی از ویژگی‌های خاص این مقاله محسوب می‌شود. همان‌طور که می‌دانیم عدم قطعیت جزء جدایی‌ناپذیر مدیریت ریسک به حساب می‌آید. لذا انجام پژوهش در محیط فازی می‌تواند نتایج بدست‌آمده را عملی‌تر کند. ویژگی دیگر پژوهش، در رویکرد پیشنهادی مقاله (RASH) جهت ارزیابی ریسک‌های ایمنی و سلامت هست. بدین‌صورت که این پژوهش، ریسک‌های خطرناک در پروژه‌های ساخت را از دو جنبه ۱- ریسک‌های ایمنی ۲- ریسک‌های سلامت مورد بررسی قرارداده است. سپس امتیاز هر یک از ریسک‌ها را بر اساس دو شاخص (الف) احتمال وقوع و (ب) شدت اثر، و با استفاده از فرمول زیر محاسبه کرده است.

$$R = L * C = (L_S + L_H)(C_S + C_H) \quad (1-2)$$

درجایی که: R: امتیاز کلی ریسک؛ L: احتمال وقوع ریسک؛ C: شدت اثر ریسک؛ L_S : احتمال وقوع ریسک ایمنی؛ L_H : احتمال وقوع ریسک سلامت؛ C_S : شدت اثر ریسک ایمنی؛ C_H : شدت اثر ریسک سلامت در رویکرد پیشنهادی، نویسنده می‌توانست شاخص دیگری به نام احتمال شناسایی ریسک را در نظر بگیرد. چون ممکن است یک ریسک با توجه به فرمول بالا خطرناک محسوب شود اما بتوان به آسانی عوامل و منابع به وجود آورنده آن را شناسایی کرد. به همین دلیل می‌توان به راحتی تمهیدات لازم و اقدامات کنترلی را برای آن در نظر گرفت و درنتیجه ریسک مذکور جزو ریسک‌های کم خطر دسته‌بندی شود (Al-Anbari et al., 2015).

امین‌بخش و همکاران (۲۰۱۳) در مقاله‌ای، یک چارچوب ارزیابی ریسک ایمنی بر اساس تئوری مدل هزینه ایمنی (COS) و فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) ارائه دادند. آنها عنوان داشتند که، وجود ریسک در پروژه‌های ساختمانی اغلب چالش‌های اساسی را برای پیمانکاران به وجود می‌آورد. در مدیریت پروژه ساخت‌وساز، ارزیابی ریسک‌های ایمنی گامی مهم در جهت شناسایی مخاطرات بالقوه و ارزیابی ریسک‌های مرتبط با مخاطرات است. تهییه یک لیست اولویت‌بندی شده از خطرات ایمنی، در هنگام برنامه‌ریزی، بودجه‌بندی و مدیریت ریسک‌های ایمنی بسیار مهم است. هدف از تدوین چارچوب پیشنهادی در این مقاله این است که با ارائه یک روش قوی برای اولویت‌بندی خطرات ایمنی در پروژه‌های ساختمانی، مدیر بتواند رویکردی برای

تنظیم یک بودجه منطقی و تعیین اهداف واقع‌بینانه بدون به خطر انداختن ایمنی در اختیار داشته باشد. این چارچوب ابزار تصمیم‌گیری را برای تصمیم‌گیرندگان فراهم می‌کند تا ضمن در نظر گرفتن محدودیت بودجه، سرمایه‌گذاری‌های کافی برای جلوگیری از تصادف و آسیب‌های شغلی مشخص کنند. در مورد مطالعه موردي صورت گرفته در این مقاله، ریسک‌های مربوط به سقوط، ماشین‌آلات، تجهیزات، برق و روشنایی از جمله ریسک‌های خطرناک شناسایی شدند که با توجه به این اولویت‌بندی می‌توان تمهیدات لازم برای پیاده‌سازی اقدامات مهندسی و یا تجهیزات حفاظت فردی جهت بالابردن ایمنی را فراهم آورد.

ویژگی مقاله: ویژگی خاص این مقاله، در نظر نگرفتن عدم قطعیت در ارزیابی ریسک‌های ایمنی پروژه است. فضای فازی اعتبار ویژه‌ای به محاسبات و پژوهش انجام‌شده می‌دهد. ویژگی دیگر این پژوهش در رویکرد پیشنهادی مقاله است. روش AHP به دلیل داشتن مقایسات زوجی نیاز به پرسشنامه‌های زیادی دارد. این امر باعث خستگی کارشناسان و عدم همکاری آنان در پرکردن پرسشنامه‌ها می‌گردد. از طرف دیگر محاسبات روش AHP طولانی است که این دلایل از کارایی رویکرد پیشنهادی مقاله می‌کاهد. نویسنده می‌توانست از روش TOPSIS و یا تحلیل پوششی داده‌ها (DEA) بهره گیرد. تأکید مقاله بر ارزیابی ریسک‌های ایمنی قبل از اجرای پروژه و در هنگام برنامه‌ریزی و بودجه‌بندی پروژه‌های ساخت جزو نکات مثبت مقاله هست. نویسنده مقاله عنوان کرده است که انجام این امر، گام بسیار مهمی در مدیریت پروژه هنگام وقوع چالش‌ها است

(Aminbakhsh et al., 2013)

آولوسی و مارکس (۲۰۱۷) در مقاله‌ای، یک چارچوب کمی برای تسهیل در جمع‌آوری و تجزیه و تحلیل داده‌های برنامه‌های ایمنی جهت ارزیابی مداوم عملکرد ایمنی ارائه دادند. یافته‌های مطالعه موردي مورد بررسی در مقاله حاضر، نشان می‌دهد که شاخص ایمنی سایت ساخت‌وساز از ۳۷٪ به ۶۲٪ افزایش یافته است. این مطالعه با ارائه یک چارچوب کمی، بستری را جهت ارتقای مداوم ایمنی اماكن ساختمانی فراهم می‌کند. و از این حیث کمک شایانی به بدنه دانش می‌کند. این تحقیق همچنین یک ابزار تجزیه و تحلیل فعالیت ایمنی را ارائه می‌دهد که یک سیستم اطلاعاتی مدیریتی است و یک روش دستی پرقلash و ناکارآمد در جمع‌آوری و تجزیه و تحلیل داده‌های ایمنی را به یک رویکرد کاربردی‌تر رایانه‌ای تبدیل می‌کند.

ویژگی مقاله: این مقاله، پارامتری به نام شاخص ایمنی (Safety Index) در کارگاه ساختمانی به منظور بررسی وضعیت ایمنی کارگاه در هرماه معرفی کرده است. مطابق با مقاله، شاخص ایمنی براساس ۴ مؤلفه زیر در هرماه محاسبه می‌شود: ۱- تعداد اقدامات و رفتارهای ایمنی در ماه ۲- تعداد رفتارهای نایمن در ماه ۳- تعداد شرایط نایمن در ماه ۴- تعداد صدمات و بیماری‌های شغلی در ماه. بعد از محاسبه شاخص ایمنی برای هرماه در کارگاه ساختمانی، می‌توان وضعیت ایمنی کارگاه را نسبت به گذشته سنجید. در صورتی که وضعیت ایمنی کارگاه ساختمانی نسبت به گذشته بدتر شده باشد، می‌توان با تشکیل تیم ایمنی علت این امر را بررسی کرد. سپس با پیشنهاد اقدامات مهندسی در راستای کاهش ریسک‌ها، رفتارها و شرایط نایمن گام برداشت. ویژگی خاص این مقاله در تأثیر یکسان هر یک از شاخص‌ها در بدست‌آوردن شاخص ایمنی است. بهتر آن است که برای هر شاخص وزنی درنظر گرفته شود تا بدین صورت نتایج عملی‌تری بدست‌آید (Awolusi and Marks, 2017).

خسروی‌زاده و شریف‌پور (۲۰۱۶) پژوهشی با هدف ارزیابی ریسک‌های ایمنی موجود در پروژه تونل سازی و مترو براساس

شاخص‌های احتمال وقوع و شدت اثر آنها با استفاده از فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) و الگوریتم TOPSIS انجام دادند. در این راستا با مطالعات میدانی در این حوزه، پرسشنامه‌هایی تهیه گردید که داده‌های موردنیاز برای انجام تجزیه و تحلیل‌ها از طریق این پرسشنامه‌ها و به‌واسطه کارشناسان ایمنی و خبرگان جمع‌آوری گردیده‌است. نتایج حاصل از این تحقیق نشان می‌دهد که مهم‌ترین ریسک‌ها در پروژه‌های توول‌سازی به ترتیب عبارتنداز: ریزش زمین با امتیاز ریسک ۰/۹۸۴، حفاری غیر سیستماتیک با نمره ریسک ۰/۹۷۵، انفجار با نمره ریسک ۰/۹۳۴، تخریب یا انسداد مسیرهای دسترسی به توول با نمره ریسک ۰/۸۷۸، تأثیر گازهای سمی و خطرناک با نمره ریسک ۰/۸۷۷، فقدان نظارت‌های HSE در حین اجرا با نمره ریسک ۰/۸۶۱ و بی‌توجهی به جزئیات و بی‌دقیقی‌های ناشی از سرعت بالای اجرا با نمره ریسک ۰/۸۱۹، که باید توسط مسئولان در نظر گرفته شود تا با پیاده‌سازی اقدامات کنترلی مناسب، ریسک‌ها را کاهش داده و کنترل کنند. یکی از مواردی که برای پیشگیری از وقوع خطرات توصیه می‌گردد، انتخاب مدیران مناسب است که علاوه‌بر داشتن مهارت‌های کافی اداری، با مدیریت دانش و کنترل پروژه آشنایی داشته و تجربه اداری لازم را نیز داشته باشند، زیرا یک مدیر کارآمد می‌تواند قبل از تشدید و تبدیل یک خطر جزئی به بحران، توانایی کنترل خطرات را داشته باشد.

ویژگی مقاله: هر پروژه عمرانی دارای ماهیتی نامطمئن است. در اینجا نیز پروژه ساخت مترو دارای عدم قطعیت‌های مختلفی است. این مقاله فضای محاسبات خود را قطعی درنظر گرفته است که این امر پژوهش حاضر را از شرایط واقعی دور کرده است. ویژگی دیگر مقاله در استفاده از تلفیق روش‌های AHP و TOPSIS به منظور محاسبه امتیاز ریسک‌های مختلف است. روش AHP به دلیل داشتن مقایسات زوجی نیاز به پرسشنامه‌های زیادی دارد. این امر باعث خستگی کارشناسان و عدم همکاری آنان در پرکردن پرسشنامه‌ها می‌گردد. نویسنده می‌توانست از تلفیق روش‌های TOPSIS و یا تحلیل پوششی داده‌ها (DEA) و یا درخت خطا، بهره گیرد (Khosravizade and Sharifipour 2016).

وانگ و چن (2017) در مقاله‌ای، یک رویکرد تصمیم‌گیری سیستماتیک برای تجزیه و تحلیل ریسک‌های ایمنی برای پروژه‌های ساخت و ساز مترو تحت عدم اطمینان با استفاده از یک شبکه جامع فازی بیزی (FCBN)، که ترکیبی از روش ارزیابی جامع فازی (FCEM) و یک شبکه بیزی (BN) است، ارائه دادند. به دلیل خاص بودن شرایط محیطی در پروژه ساخت مترو و نبود داده‌های قطعی، پیش‌بینی و اندازه‌گیری دقیق خطرات دشوار است. نتایج ارزیابی ریسک ایمنی مبتنی بر FCBN از سه جنبه تشکیل شده است: احتمال خطر، کاهش خطر و کنترل ریسک. در این ارزیابی، دو جنبه کاهش خطر و کنترل ریسک بر حسب اعداد فازی محاسبه می‌شوند و از طریق روش FCEM، سطح کاهش خطر و کنترل ریسک برآورد می‌شود. احتمال خطر با استفاده از روش BN محاسبه می‌شود، که در آن روابط بین متغیرهای وابسته به صورت گراف‌های جهت‌دار

بيان می‌شود. ارزیابی جامع ریسک ایمنی به مهندسان این امکان را می‌دهد تا خطرات احتمالی ایمنی را ارزیابی کنند و مبنایی را برای هشدار و کنترل زودهنگام و پیش از ساخت مترو فراهم می‌کند که با ترکیب روش‌های FCEM و BN بدست می‌آید. برای بررسی امکان‌سننجی این روش یک مطالعه موردنی مربوط به تجزیه و تحلیل ریسک‌های ایمنی در ساخت و ساز مترو دالیان در چین صورت گرفته است. نتایج بدست آمده حاکی از آن است که رویکرد پیشنهادی از اثربخشی مطلوبی در برآورد سطح ریسک در پروژه ساخت و ساز مترو در محیط فازی برخوردار است. روش پیشنهادی ابزاری قدرتمند را فراهم می‌کند که برنامه ریزان و مهندسان می‌توانند به طور منظم و مداوم خطرات ذاتی مرتبط با ساخت مترو را ارزیابی کرده و در راستای کاهش اثرات آنها برنامه‌ریزی کنند.

ویژگی مقاله: ویژگی خاص این مقاله ارائه یک رویکرد نوین در محیط فازی جهت ارزیابی ریسک‌های ایمنی در پروژه‌های ساخت مترو است. از جمله ویژگی‌های این مقاله درنظرگرفتن سه شاخص احتمال وقوع ریسک، سطح کاهش ریسک و میزان کنترل ریسک جهت ارزیابی ریسک‌ها است. نویسنده مقاله می‌توانست از شاخص‌های شدت اثر ریسک نیز استفاده کند تا محاسبات با دقت بیشتری انجام گیرد. رویکرد پیشنهادی در این مقاله نیازمند محاسبات سنگینی است که این امر از کارایی متداول‌وزیری ارائه شده می‌کاهد. درنظرنگرفتن یک طبقه‌بندی مناسب برای ریسک‌ها جزء ویژگی‌های دیگر این پژوهش محسوب می‌شود (Wang and Chen, 2017).

اوکویه (۲۰۱۸) در پژوهشی به بررسی و ارزیابی سطح ایمنی و بهداشت شغلی در پروژه‌های ساخت و ساز ساختمان‌های تجاری متداول در نیجریه پرداخت. همچنین در این مطالعه، با ارائه یک رویکرد سیستماتیک، منابع بالقوه خطر، فراوانی و شدت خطرات ذاتی در فعالیت‌های مختلف ساخت و ساز ساختمان‌های تجاری، شناسایی گردیدند. در گام اول با تهیه و توزیع پرسشنامه‌ای ساختاری بین کارگران منتخب ساخت و ساز ساختمان‌های تجاری مختلف در ایالت آنامبرا نیجریه، داده‌های موردنیاز تحقیق جمع‌آوری شد. در گام بعدی با استفاده از روش میانگین ارزش، تجزیه و تحلیل کمی ریسک‌ها صورت گرفت. نتایج بدست آمده در مطالعه حاضر نشان داد که فعالیت‌های سنگ‌تراشی، نجاری و خم کردن آهن، جزء دسته فعالیت‌های پرمخاطره هستند. فعالیت‌هایی از قبیل برق‌کشی، نقاشی، کاشی‌کاری و لوله‌کشی ساختمان‌های تجاری جزء دسته فعالیت‌های با ریسک متوسط می‌باشند. همچنین نتایج نشان داد که میزان وقوع و شدت اثر عوامل ریسک‌های ایمنی در هر یک از پروژه‌های ساخت و ساز ساختمان‌های تجاری متفاوت است، که این امر می‌تواند ناشی از شیوه‌های کار متفاوت، نحوه مدیریت و تصمیم‌گیری‌های متفاوت هر مدیر در مورد مسئله ایمنی و تفاوت در میزان تجهیزات و وسایل حفاظت فردی در هر یک از پروژه‌ها باشد. بدون شک، این مطالعه می‌تواند زمینه‌ای علمی برای تدوین دستورالعمل‌های مناسب جهت بهبود ایمنی و سلامت شغلی باشد تا با ایجاد سیستم پایدار، بتوان به طور مداوم ریسک‌های ایمنی را کنترل و کاهش داد و بدین سبب امنیت و عملکرد کارگران در محیط کار را ارتقا بخشد.

ویژگی مقاله: این پژوهش ویژگی‌های زیادی دارد. در نظر نگرفتن عدم قطعیت در ارزیابی ریسک‌های ایمنی پروژه اولین ویژگی پروژه است. فضای فازی اعتبار ویژه‌ای به محاسبات می‌دهد و نتایج بدستآمده را عملی‌تر می‌کند. ویژگی دیگر این پژوهش در رویکرد پیشنهادی مقاله است. روش میانگین ارزشی روش جالبی برای محاسبه امتیاز ریسک‌ها محسوب نمی‌شود. این رویکرد

یک روش ساده است که فقط به نظر کارشناسان بستگی دارد. نویسنده مقاله می‌توانست از روش‌هایی نظیر TOPSIS و یا تحلیل پوششی داده‌ها (DEA) و یا درخت خطا بهره گیرد. ویژگی دیگر این مقاله درنظرگرفتن دو شاخص احتمال وقوع ریسک و شدت اثر در ارزیابی ریسک‌ها است. این مقاله می‌توانست شاخص‌های دیگری نظیر احتمال شناسایی ریسک و یا میزان کنترل ریسک را در محاسبات خود در نظر بگیرد. فقدان طبقه‌بندی مناسب ریسک‌ها از جمله ویژگی‌های دیگر این پژوهش محسوب می‌شود (Okoye, 2018).

سامانtra و همکاران (۲۰۱۷) در مقاله‌ای، یک رویکرد یکپارچه مبتنی بر مجموعه‌های فازی برای ارزیابی ریسک در ساخت یک معدن زغال‌سنگ در هندوستان ارائه کرده‌است. یک ساختار شکست ریسک سلسله‌مراتبی برای تسهیل در کار ارزیابی ریسک مفهوم شده‌است. نمره ریسک به صورت تابعی از دو پارامتر بیان شده‌است: احتمال (امکان) وقوع و شدت (نتیجه) وقوع. براساس این مطالعه، خطرات بهداشتی به سطوح مختلف ریسک تقسیم شدند و اقدامات کنترلی بالقوه‌ای پیشنهاد شده‌است. ویژگی مقاله: در این پژوهش از ارزیابی ریسک‌های ایمنی براساس ۲ شاخص احتمال وقوع ریسک و شدت وقوع ریسک صورت پذیرفته‌است. نویسنده می‌توانست شاخص دیگری به نام احتمال شناسایی ریسک را در ارزیابی ریسک‌ها مدنظر قرار دهد تا نتایج دقیق‌تری حاصل گردد (Samantra et al., 2017).

در جدول ۲-۱ خلاصه پیشینه پژوهش آورده شده‌است.

جدول ۲-۱ - خلاصه پیشینه پژوهش

نویسنده	هدف مقاله	محیط	نتایج
اردشیر و همکاران (۱۳۹۴)	ارزیابی خطرهای HSE در ساخت پروژه‌های بلندمرتبه با استفاده از AHP	فازی	منشا وقوع بسیاری از ریسک‌های ایمنی، عدم فرهنگ‌سازی ایمنی است
مهاجری و اردشیر (۱۳۹۵)	ارزیابی ریسک‌های ایمنی ناشی از فعالیت‌های مخالف کارگاه‌های ساختمانی با AHP-DEA	قطعی	فعالیت‌های گودبرداری و کار در ارتفاع به عنوان پرخطرترین فعالیت‌ها شناخته شدند
اردشیر و همکاران (۲۰۱۴)	ارزیابی عوامل مؤثر بر عملکرد ایمنی کارگران در کارگاه‌های ساختمانی با روش AHP	فازی	فاکتور آموزش ایمنی و مدیریت ایمنی، مهمترين عوامل موثر بر عملکرد ایمني در استان خوزستان است
ال-انبری و همکاران (۲۰۱۵)	ارزیابی ریسک‌های ایمنی صنعت ساخت‌وساز با روش RASH	قطعی	سقوط از ارتفاع خطرناک‌ترین ریسک شناسایی شد. روش RASH در ارزیابی ریسک‌ها از دقت بیشتری (تقریباً دو برابر) نسبت به روش RA برخوردار است.
امین‌بخش و همکاران (۲۰۱۳)	ارائه چارچوب ارزیابی ریسک‌های ایمنی بر اساس تلفیق تئوری مدل هزینه ایمنی (COS) و AHP	قطعی	ریسک‌های مربوط به سقوط، ماشین‌آلات و تجهیزات، برق و روشنایی از جمله ریسک‌های خطرناک شناسایی شدند

ارتقای شاخص ایمنی سایت ساختوساز از ۳۷٪ به ۶۲٪، پس از پیاده‌سازی اقدامات مهندسی در راستای کاهش ریسک‌ها	قطعی	ارائه چارچوبی کمی برای تسهیل در جمع‌آوری و تجزیه و تحلیل داده‌های برنامه‌های ایمنی جهت ارزیابی مداوم عملکرد ایمنی در کارگاه‌های ساختمانی با تعریف پارامتری به نام شاخص ایمنی (Safety Index)	آلوسوی و مارکس (۲۰۱۷)
نتایج حاصله نشان داد که مهمترین ریسک ایمنی در پروژه‌های تولید سازی ریزش زمین است	قطعی	ارزیابی ریسک‌های ایمنی موجود در پروژه توپل سازی و مترو با استفاده از AHP و TOPSIS	خسرویزاده و شریف‌پور (۲۰۱۶)
نتایج نشان داد که رویکرد پیشنهادی از اثربخشی مطلوبی در برآورد سطح ریسک در پروژه ساختوساز مترو در محیط فازی برخوردار است	فازی	بررسی روش پیشنهادی شبکه جامع فازی بیزی (FCBN) در ارزیابی ریسک‌های ایمنی برای پروژه‌های ساختوساز مترو	وانگ و چن (۲۰۱۷)
فعالیت‌های سنگ‌تراشی، نجاری و خم کردن آهن، جزء دسته فعالیت‌های پرمخاطره هستند.	قطعی	ارزیابی سطح ایمنی و بهداشت شغلی در ساختمانهای تجاری متداول در نیجریه	اوکویه (۲۰۱۸)
تقسیم‌بندی ریسک‌های ایمنی به سطوح مختلف از خطرناک به کم خطر	فازی	برای ارزیابی ریسک در ساخت یک معدن زغال‌سنگ در هندوستان	سامانtra و همکاران (۲۰۱۷)

۲-۲- جمع‌بندی

با بررسی جامع پیشینه پژوهش، به وضوح دیده شد که فرآیند مؤثر ارزیابی ریسک نیاز به یک حلقه عملی سیستماتیک دارد که شامل شناسایی ریسک، ارزیابی ریسک، کنترل ریسک و بازرگانی ریسک است و بایستی با مشارکت هرکسی در محل کار، از تیم مدیریت ارشد تا کارگران انجام گیرد. با توجه به حوادث و خسارات بسیاری که سالانه در ایران بهدلیل عدم رعایت نکات ایمنی در پروژه‌های عمرانی رخ می‌دهد، بهنظر می‌رسد در حوزه ایمنی فاصله زیادی با استانداردهای مربوطه وجود دارد. لذا بایستی مطالعات فراوانی در این حوزه صورت بگیرد تا بتوان مسئله مدیریت ریسک در پروژه را به‌طور علمی فرهنگ‌سازی کرد. در تلاش است که در پژوهش حاضر با ارائه یک چارچوب منسجم، یکپارچه و دقیق جهت ارزیابی ریسک‌های ایمنی، این پژوهش بتواند به عنوان الگویی مناسب برای مدیریت ریسک‌های ایمنی در پروژه‌های ساخت قرار گیرد. از طرف دیگر زمینه علمی لازم به منظور ارتقای ایمنی در پروژه‌های ساخت را فراهم کند.

۲-۳- سوالات پژوهش

- (۱) ریسک‌های HSE پروژه کدامند؟ این ریسک‌ها را براساس چه شاخص‌هایی می‌توان رتبه‌بندی کرد؟
- (۲) خطرناک‌ترین ریسک‌های HSE پروژه کدامند؟

- (۳) به منظور کاهش اثر ریسک‌های اصلی پروژه از کدام استراتژی‌ها و راهکارهای مهندسی می‌توان بهره‌برد؟
- (۴) در راستای پیاده‌سازی استراتژی‌های پاسخ به ریسک‌های پروژه چه ضعف‌ها و محدودیت‌هایی وجود دارد؟

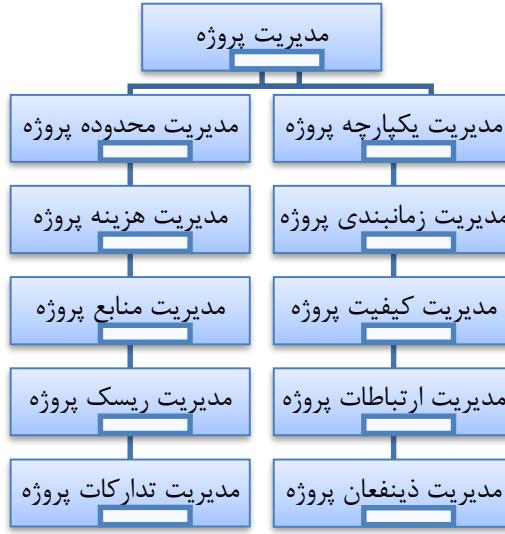
فصل سوم: فیزیک مسئله

۳-۱ مقدمه

در زیر، اصول و مفاهیم اولیه مدیریت پروژه و مدیریت ریسک بیان شده است. این اصول پایه و اساسی برای مطالب موجود در پژوهش خواهد بود. در ادامه این فصل به شرح منطق فازی و نرم افزار تاپسیس پرداخته شده است.

۳-۲ مدیریت پروژه

مطابق با استاندارد (۲۰۱۷) PMBOK– Sixth Edition مدیریت پروژه دارای ۱۰ حوزه دانش است. برای اینکه بتوان پروژه را براساس سه فاکتور زمان، هزینه و کیفیت، به طور اثربخشی مدیریت کرد، بایستی این حوزه‌ها در تعامل با سایر قسمت‌ها، اجرا شوند. ۱۰ حوزه ذکر شده در شکل ۳-۱ نشان داده شده است.



شکل ۳-۱- حوزه‌های مدیریت پروژه

در مدیریت پروژه، مدیریت ریسک، به عنوان یکی از حوزه‌های کلیدی دانش، برای مدیران مورد بررسی قرار می‌گیرد. ریسک برای افراد مختلف دارای معانی مختلفی است و لذا مفهوم ریسک با توجه به نقطه نظرات، گرایش‌ها و تجارب افراد مختلف متفاوت است. به عنوان مثال مهندسان و طراحان، ریسک را از منظر تکنولوژیک، سرمایه‌گذاران، ریسک را از منظر مالی-اقتصادی، کارشناسان HSE، از نظر ایمنی، بهداشت و خطرات زیستمحیطی به آن نگاه می‌کنند. به همین علت ریسک مفهومی کاملاً انتزاعی دارد که اندازه‌گیری آن امری به شدت مشکل است.

سازمان بین‌المللی ISO، استاندارد ۱ ISO ۴۵۰۰۱ را تحت عنوان سیستم مدیریت ایمنی و بهداشت حرفه‌ای در سال ۲۰۱۸ ارائه نمود. این استاندارد شامل الزامات و دستورالعمل‌هایی است که در راستای بهبود ایمنی کارکنان، کاهش و جلوگیری از صدمات و بیماری‌های مرتبط با کار، ایجاد شرایط بهتر و ایمن‌تر کار به سازمان‌ها کمک می‌کند. استاندارد ۱ ISO ۴۵۰۰۱ درواقع ویرایش شده استاندارد ۷ OHSAS ۱۸۰۰۱:۲۰۰۷ (سری ارزیابی ایمنی و بهداشت حرفه‌ای) است. مفاهیم و اصطلاحات به کاربرده شده در پژوهش جاری براساس استاندارد ۱ ISO ۴۵۰۰۱ بوده که مهم‌ترین آن‌ها در زیر آورده شده‌است.

۳-۳- هدف یک سیستم مدیریت OH&S (ایمنی و سلامت شغلی)

هدف یک سیستم مدیریت OH&S فراهم‌کردن چارچوبی برای مدیریت ریسک‌ها و فرصت‌های OH&S هست. هدف و نتایج موردنظر سیستم مدیریت OH&S، جلوگیری از صدمات و بیماری‌های مرتبط با کار برای کارگران و فراهم‌کردن مکان‌های کاری ایمن و سالم می‌باشد. همچنین حذف خطرات و به حداقل رساندن ریسک‌های OH&S به‌وسیله سنجش‌های پیشگیرانه و محافظانه برای سازمان بسیار مهم است. تکمیل و انجام یک سیستم مدیریت OH&S مطابق سند ISO ۴۵۰۰۱، سازمان را قادر به مدیریت ریسک‌های OH&S و بهبود عملکرد آن می‌سازد.

۳-۴- چرخه PDCA (برنامه‌ریزی، انجام، بررسی، اقدام)

سیاست اعمال شده سیستم مدیریت ISO ۴۵۰۰۱ در سند PDCA مفهوم مفهوم PDCA است. مفهوم PDCA یک فرآیند تکراری استفاده شده توسط سازمان برای رسیدن به بهبود مستمر است. این مفهوم می‌تواند برای یک سیستم مدیریت و هر کدام از قسمت‌های جداگانه آن مانند زیر استفاده شود:

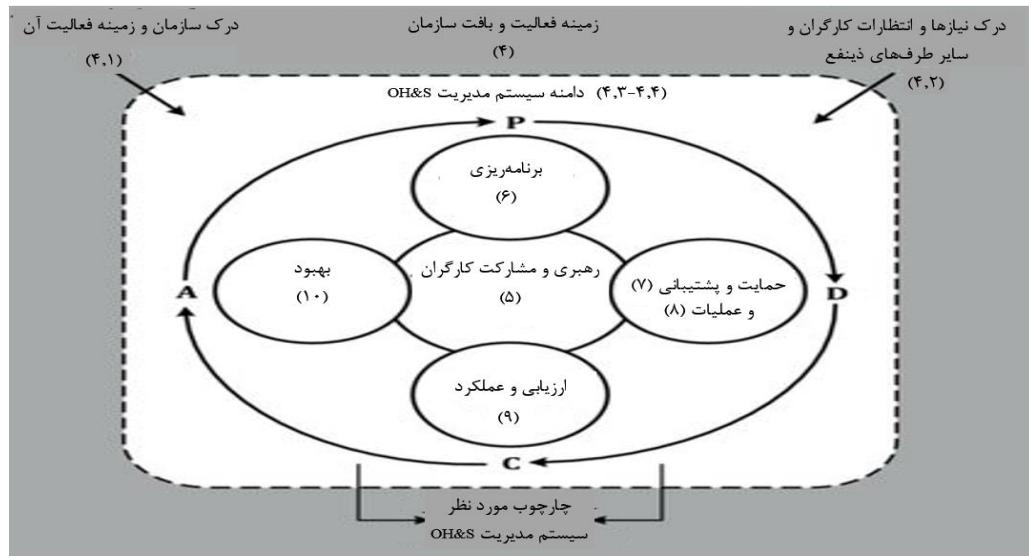
- ۱- برنامه‌ریزی (Plan): تعیین و ارزیابی ریسک‌ها و فرصت‌ها، تثبیت اهداف OH&S و سایر ریسک‌ها و فرصت‌ها، و فرآیندهای لازم برای نیل به اهداف مطابق خطمشی OH&S سازمان؛
- ۲- انجام (Do): اجرای فرآیندهای برنامه‌ریزی شده؛
- ۳- بررسی (Check): پایش و سنجش فعالیت‌ها و فرآیندها با لحاظ کردن اهداف و خطمشی OH&S و گزارش نتایج؛
- ۴- اقدام (Act): اقدام به منظور بهبود مستمر عملکرد OH&S برای نیل به اهداف موردنظر.

سند ۱ ISO ۴۵۰۰۱ مفهوم PDCA را در یک چارچوب جدید در خود می‌گنجاند (

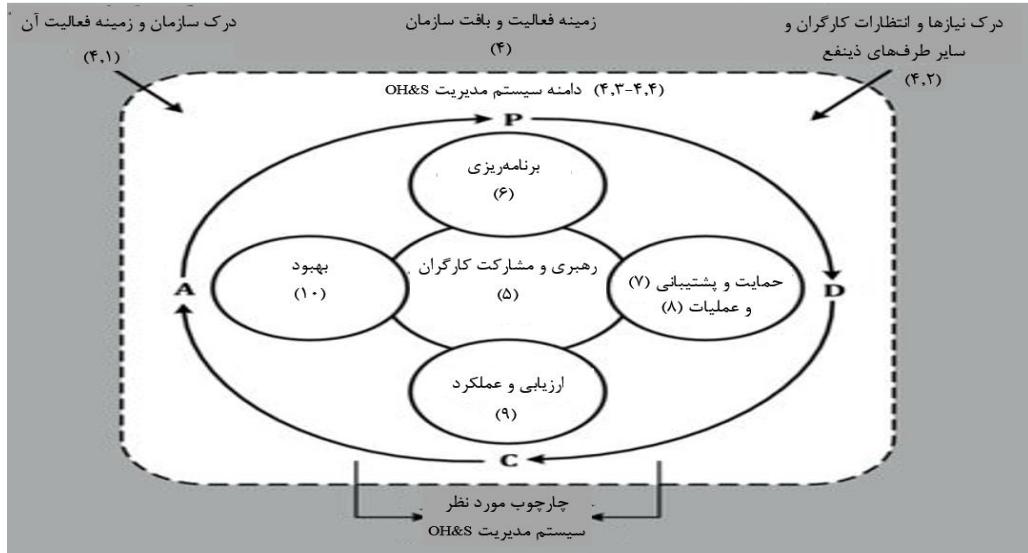
Occupational Health and safety Assessment series

Occupational health and safety

Pan – Do – Check - Act



شکل ۳-۲.



شکل ۳-۳- ارتباط بین PDCA و چارچوب موجود در سند ISO ۴۵۰۰۱

(اعداد داخل پرانتز اشاره به فصل‌های سند ISO ۴۵۰۰۱ دارد)

۳-۵- خط مشی ایمنی و سلامت شغلی

به معنای سیاست جلوگیری از آسیب‌ها و بیماری‌های مرتبط با کار برای کارگران و ارائه مکان‌های کاری سالم و ایمن هست.

۶-۳- آسیب و بیماری^۲

به معنای تأثیر زیان‌آور بر وضعیت فیزیکی، ذهنی و عاطفی یک شخص هست.

توضیح ۱: این اثرات زیان‌آور شامل آسیب حرفه‌ای (شغلی)، بیماری و مرگ می‌شود.

توضیح ۲: اصطلاح "آسیب و بیماری" بر وجود آسیب یا بیماری، چه به صورت تک چه ترکیبی از هر دو دلالت دارد.

۳-۴- خطر^۳

منبعی با پتانسیل ایجاد آسیب و بیماری هست.

توضیح ۱: خطرات می‌توانند شامل منابعی با پتانسیل ایجاد وضعیت‌های خطرناک یا آسیب‌زا، یا شرایطی که در معرض آن پتانسیل آسیب و بیماری موجود است، باشد.

۳-۵- ریسک ایمنی و سلامت شغلی

ریسک ایمنی و سلامت شغلی به معنای ترکیب احتمال وقوع یک رویداد خطرناک مرتبط با کار یا در معرض خطرات قرار گرفتن و شدت آسیب و بیماری که می‌تواند توسط رخدادن و یا در معرض آنها قرار گرفتن ایجاد شود، است.

۳-۶- شناسایی ریسک

شناسایی ریسک‌ها مرحله اولیه فرآیند ارزیابی ریسک است که با هدف تعیین لیست کامل ریسک‌ها و پیامدهای احتمالی آنها انجام می‌گیرد. شناسایی ریسک شامل فرآیند جمع‌آوری اطلاعات، ثبت و بررسی عوامل بروز ریسک است. در یک سامانه مدیریت ایمنی قوی، شناسایی ریسک، ارزیابی و کنترل خطر یک فرآیند مداوم و پیوسته است. شناسایی ریسک باید تحت شرایط مختلف انجام گیرد، از جمله: (۱) اگر قبل انجام نشده باشد، (۲) پس از وقوع یک ریسک ایمنی یا سلامت در محل کار، (۳) هنگامی که یک تغییر در محل کار رخ می‌دهد، (۴) در زمان‌های برنامه‌ریزی شده. بررسی سوابق حوادث کارگاهی، می‌تواند در درک ریسک‌های مربوط به منابع بالقوه خطرات کمک کند (Samantra et al., 2017).

^۱Injury

^۲Ill health

^۳Hazard

روش‌های مختلفی برای شناسایی ریسک‌های ایمنی پژوهه وجود دارد که برخی از آنها عبارتند از:

- ۱- مرور مستندات: یک مطالعه ساختاریافته از مستندات ایمنی پژوهه و یا پژوهه‌های مشابه دیگر می‌تواند در شناسایی ریسک‌های ایمنی پژوهه کمک شایانی کند.
- ۲- مصاحبه با خبرگان و کارشناسان HSE: با انجام مصاحبه و برگزاری جلسات طوفان فکری با کارشناسان و خبرگان HSE، می‌توان اطلاعات مفیدی به منظور شناسایی ریسک‌های ایمنی جمع‌آوری نمود (Hughes and Ferrett, 2007).

۳-۱۰- عوامل بروز ریسک‌های HSE

بررسی‌های انجام شده این حقیقت را نشان می‌دهد که به طور کلی حوادث ناشی از کار معلول علل فنی و انسانی هستند. این علل بستگی به نوع کار، محیط شرایط انجام کار و ابزار مورد استفاده دارد و شامل موارد زیر است (Khosravi et al., 2014; Hughes and Ferrett, 2007):

- علل رفتاری کارگران: به شخص و قصور وی مربوط می‌شود مانند سهل‌انگاری، شوختی کردن در محل کار و ...
- علل جسمانی: مانند ضعف بینایی، حواس پرتی، خستگی جسمانی، ناتوانایی‌های جسمی و ...
- علل روانی: مانند فشارهای روانی، عدم رضایت شغلی، فقدان انگیزه، خستگی روحی، مشکلات عصبی.
- علل اجرایی کار: انجام غیرصحیح و عدم رعایت ارگونومی هنگام انجام کار، سرعت غیرمجاز، کمبود مهارت، اضافه کاری‌های بیش از حد.
- علل فنی: نقص فنی در تجهیزات، استفاده از تجهیزات غیر مناسب با شرایط کاری.
- علل اقتصادی: طفره‌رفتن از تخصیص بودجه در امور حفاظتی به دلایل اقتصادی، تخصیص بودجه ناکافی به منظور رفع نواقص فنی دستگاه‌ها.
- علل فرهنگی و اجتماعی: ضعف فرهنگ ایمنی، استفاده نکردن از وسائل حفاظتی.
- علل آموزشی: کمبود دانش کارگران،
- علل مدیریتی: قصور مدیریت در ایجاد فضای امن، سهل‌انگاری در آگاه‌سازی و نصب علائم هشداردهنده.
- علل محیطی: محیط کار نامناسب، شرایط جوی، کار در شب.

۳-۱۱- ارزیابی ریسک

ارزیابی ریسک عبارت از فرآیند کمی کردن ریسک است. هدف از ارزیابی ریسک، تعیین میزان خطرناک‌بودن ریسک براساس شاخص‌های از پیش تعیین شده است. به طور کلی فرآیند ارزیابی ریسک ابزاری برای مقایسه ریسک‌ها با یکدیگر فراهم می‌آورد. شناسایی صحیح ریسک‌های ایمنی به کارایی روش انتخابی جهت ارزیابی ریسک‌های ایمنی می‌افزاید. همچنین در صورتیکه

ریسک‌های ایمنی و علل وقوع آنها به درستی شناخته شده باشند، تعیین ریسک قابل قبول و اقدامات اصلاحی جهت کاهش ریسک، ملموس‌تر خواهد بود. روش‌های مختلفی برای ارزیابی ریسک وجود دارد اما اساساً این فرآیند بر پایه تصمیم‌گیری چند معیاره MCDM انجام می‌شود (جهانگیری و نوروزی، ۱۳۹۱؛ Hughes and Ferrett, 2007). از منظر MCDM، هنگامی که شاخص‌های ارزیابی ریسک دارای ماهیت مثبت و منفی باشند، رویکرد قوی TOPSIS روش مناسبی برای فرآیند ارزیابی ریسک محسوب می‌شود. البته در فصل بعدی به شاخص‌های ارزیابی ریسک و ماهیت آنها اشاره خواهد شد. روش TOPSIS خود به تنهایی قادر نیست که وزن شاخص‌ها را محاسبه کند لذا در این مطالعه از روش AHP برای وزن‌دهی شاخص‌های ارزیابی ریسک‌های ایمنی استفاده می‌شود.

۳-۱۲- استراتژی‌های پاسخ به ریسک

ریسک باید تا پایین‌ترین حدی که از لحاظ عملی امکان‌پذیر است مدیریت شود. سطح ریسک را می‌توان از طریق کاهش شدت نتایج بالقوه حاصله از آن و کاهش احتمال وقوع آن پایین آورد. فرآیند استراتژی‌های پاسخ به ریسک‌ها، فرآیند تعیین اقدامات مهندسی و تجهیزات ایمنی لازم برای کاهش اثر ریسک‌های پروژه هست. پس از ارزیابی ریسک‌های ایمنی می‌توان آنها را بصورت زیر طبقه‌بندی کرد:

- قابل قبول: آسیب‌ها غیرمحتمل است و یا به حدی نیست که موجب نگرانی باشد و ریسک قابل تحمل است. به‌هر حال ملاحظات خاصی باید در نظر گرفته شود تا میزان خسارات ناشی از ریسک را تا حد امکان کاهش داد.
- قابل بررسی: آسیب‌های ناشی از ریسک به میزانی است که جای نگرانی وجود دارد. باید اقدامات مهندسی صورت بگیرد تا ریسک را به حد قابل قبول رسانید.
- غیرقابل قبول: نمی‌توان از نتایج ریسک و شدت آن به سادگی گذشت. اقدامات کاهش ریسک بسیار ضروری است تا احتمال وقوع و شدت اثر حادثه مرتبط با ریسک را کاهش داد (جهانگیری و نوروزی، ۱۳۹۱).

جهت پیاده‌سازی هرچه‌بهتر استراتژی‌های ارتقای ایمنی بایستی مسئله ایمنی را فرهنگ‌سازی نمود و موارد زیر را مورد توجه قرار داد:

- آموزش: همه اعضا باید آموزش‌های ایمنی را تا حد کافی برای مسئولیت‌های ایمنی‌شان کسب کنند. به‌ویژه ناظران، مدیران، مدیران ارشد و مدیریت پروژه باید آموزش دیده باشند.
- مدیران و ناظران: مدیران و ناظران باید فرآیند ایمنی، شناسایی ریسک‌ها، مدیریت ریسک را درک کنند.
- مدیران ارشد: مدیران ارشد باید استانداردهای ایمنی سازمانی، آیین‌نامه‌ها و ضمانتنامه‌های ایمنی مورد نیاز برای سازمان را بدانند.
- مدیریت پروژه: مدیر پروژه باید آگاهی کافی از نقش‌ها و مسئولیت‌های سامانه مدیریت ایمنی، سیاست‌گذاری ایمنی، استانداردها و ضمانتنامه‌های ایمنی داشته باشد. از طرف دیگر هرگونه حمایت جهت پیاده‌سازی استراتژی‌های ایمنی

در پروژه را انجام دهد و در این زمینه کوتاهی نکند (جهانگیری و نوروزی، ۱۳۹۱).

۱۳-۳- کنترل ریسک

هدف این مرحله فرآیند مدیریت ریسک، اطمینان پیدا کردن از اجرای صحیح استراتژی‌های کاهش ریسک و نظارت و کنترل میزان اثربخشی آنها و همچنین نظارت بر تغییرات ریسک در تمام مراحل پیشرفت پروژه است. کنترل ریسک شامل فعالیت‌هایی نظیر رصد ریسک، گزارش دهی ریسک و مستندسازی ریسک است (جهانگیری و نوروزی، ۱۳۹۱).

۱۴- ۳- هزینه‌های حوادث ناشی از کار

هزینه‌های حوادث ناشی از کار از الگوی کوه یخ (شکل ۳-۳) پیروی می‌کند و شامل هزینه‌های مستقیم و غیرمستقیم است.

- هزینه‌های مستقیم بخش آشکار هزینه‌ها و قسمت کوچکی از هزینه حوادث ناشی از کار بوده (مانند بخش کوچکی از کوه یخ)، که با بت آنها پول پرداخت می‌شود. هزینه‌های مستقیم شامل موارد زیر هستند:
 - ۱- هزینه‌های پزشکی و درمانی
 - ۲- هزینه‌های مربوط به دستمزد
- هزینه‌های غیرمستقیم که بخش عمده پنهان هزینه‌هاست و اکثرًا قابل محاسبه نبوده و حدود ۴ تا ۱۰ برابر هزینه‌های مستقیم است (مانند بخش عظیمی از کوه یخ که در داخل آب بوده و پنهان است). هزینه‌های غیرمستقیم شامل موارد زیر هستند:
 - ۱- هزینه جایگزینی و آموزش افراد جدید؛
 - ۲- خسارت اموال؛
 - ۳- توقف کار یا تأخیر کار تیمی که عضو آسیب‌دیده در آن فعال بوده است؛
 - ۴- جایگزینی تجهیزات؛
 - ۵- هزینه‌های تهیه تمهیدات اضطراری؛
 - ۶- هزینه‌های کارشناسی حادثه؛
 - ۷- جرائم؛
 - ۸- از بین‌رفتن روحیه و انگیزه کارکنان؛
 - ۹- هزینه‌های حمایتی از خانواده‌های مصدومین یا فوت‌شدگان؛
 - ۱۰- از دست‌رفتن اعتبار سازمان و فرصت‌های تجاری در درازمدت (جهانگیری و نوروزی، ۱۳۹۱).



شکل ۳-۳- الگوی کوه یخ

۱۵-۳- ابزارهای مورد استفاده در پژوهش

ابزارهای مورد استفاده در تعیین وزن شاخص‌های ارزیابی و ریسک‌های HSE در جدول ۳-۱ آورده شده‌است.

جدول ۳-۱- ابزارهای مورد استفاده در تعیین وزن شاخص‌های ارزیابی و ریسک‌های HSE

عنوان مراحل	ابزار مراحل
وزن دهی به شاخص‌ها	استفاده از روش AHP که در محیط Excel ۲۰۱۳ برنامه‌نویسی شده‌است.
HSE محاسبه وزن ریسک‌های	استفاده از روش Fuzzy-Topsis Matlab R۲۰۱۴b که در محیط برنامه‌نویسی شده‌است.

۱۶-۳- منطق فازی^۱

منطق فازی توسط دکتر لطفی‌زاده، استاد دانشگاه کالیفرنیا در برکلی، در سال ۱۹۶۵ ارائه گردید. این نظریه با در نظر گرفتن عدم قطعیت در پارامترهای تصمیم‌گیری و استفاده از مدل‌های ذهنی کارشناسان، نگرشی نو را در علوم مختلف از جمله مدیریت ریسک پژوهه ایجاد نمود. به طور کلی تئوری فازی برای مدل‌سازی دو نوع اصلی نبود قطعیت به کار می‌رود. نوع اول، عدم قطعیت در رابطه با ضعف دانش و ابزار بشری در شناخت پیچیدگی‌های یک پدیده است. نوع دوم عدم قطعیت مربوط به عدم شفافیت مربوط به یک پدیده یا ویژگی خاص می‌باشد. لطفی‌زاده مفاهیم و اصطلاحاتی چون مجموعه‌های فازی،^۲ اعداد فازی^۳ و فازی‌سازی^۴ را وارد علوم ریاضیات و مهندسی نمود. نظریه فازی، یک ابزار کامل جهت مدل‌سازی عدم‌اطمینان و نادقیقی پدیدار شده در استدلال‌های انسانی است و با انعطاف‌پذیری فوق العاده خود، امکان بیان اطلاعات ذهنی و کیفی را به

^۱Fuzzy Logic

^۲Fuzzy Sets

^۳Fuzzy Numbers

^۴Fuzzification

روش علمی و ریاضی فراهم می‌کند. از منطق فازی برای کمی کردن قضاوت‌های شفاهی مانند "بسیار خوب"، "قدرتی ضعیف" و... استفاده می‌شود. با کمی توجه به جمله «هوا کمی سرد است.»، می‌توان دریافت که هیچ کمیتی برای اندکی سرد بودن هوا مطرح نیست تا امکان اندازه‌گیری داشته باشد بلکه این یک حس کیفی است. انگیزش برای استفاده از کلمات و یا جملات، نه اعداد این است که توصیف‌های زبانی در کل نسبت به توصیف‌های عددی، ملموس‌تر هستند. درواقع مغز انسان با درنظر گرفتن فاکتورهای مختلف و براساس تفکر استنتاجی جملات را تعریف و ارزش‌گذاری می‌نماید که مدل‌سازی آن‌ها به زبان ریاضی اگر غیرممکن نباشد کاری بسیار پیچیده خواهد بود. منطق فازی درواقع شکل تکامل‌یافته و عمومی شده منطق کلاسیک است. در منطق کلاسیک که منطق دو ارزشی است، هر گزاره می‌تواند درست یا نادرست باشد. درحالی که در منطق فازی که منطق چند ارزشی است، ارزش درستی هر گزاره می‌تواند عددی بین صفر و یک باشد. لذا قضاوت تقریبی و نادقيق با بکارگیری منطق فازی ممکن می‌شود (L. A. Zadeh, 1965; Lotfi A Zadeh, 1978).

۳-۱۶-۱ مجموعه‌های فازی

در ریاضیات کلاسیک مجموعه‌ها دارای مرزهای مشخص و روشن هستند. تعلق یک عضو به یک مجموعه به صورت صریح بوده و یک عضو می‌تواند به یک مجموعه تعلق داشته باشد و یا به آن تعلق نداشته باشد. در نظریه فازی یک مجموعه فازی صورت تعمیم‌یافته یک مجموعه کلاسیک است که اجازه می‌دهد هر عضو مجموعه، مقدار تعلقی را بین صفر و یک اختیار نماید. به عبارت دیگر در یک مجموعه فازی، تابع تعلق به صورت یک تابع پیوسته در محدوده صفر و یک است. حداکثر مقدار تابع تعلق یک مجموعه فازی را ارتفاع آن مجموعه گویند. به یک مجموعه فازی که ارتفاع آن برابر یک است مجموعه فازی طبیعی گفته می‌شود. بنابراین مجموعه فازی A در فضای جهانی U را می‌توان به صورت زوج‌های مرتبی از X و مقدار تابع تعلق آن (x) $\mu_A(x)$ مطابق رابطه (۳-۱) نمایش داد.

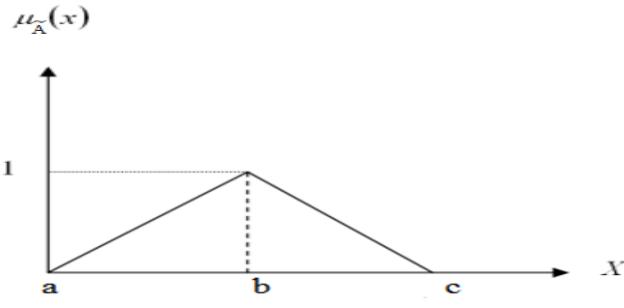
$$\tilde{A} = \{(x, \mu_{\tilde{A}}(x)) | x \in U\} \quad (3-1)$$

در این رابطه $(x, \mu_A(x))$ نشان‌دهنده تابع تعلق (عضویت) یا درجه عضویت مجموعه A هست. به طوریکه برد این تابع شامل اعداد حقیقی غیر منفی در فاصله بسته $[0, 1]$ است. چنانچه مقدار تابع تعلق برای یک عضو مجموعه برابر صفر باشد، آن عضو مطلقاً در آن مجموعه نیست و اگر مقدار تابع تعلق برای یک عضو مجموعه برابر یک باشد، آن عضو به صورت مطلق به مجموعه تعلق دارد. این درجه عضویت اصل بنیادی مجموعه‌های فازی محسوب می‌گردد. هیچ روش قطعی برای تعیین تابع عضویت وجود ندارد و برای اعداد فازی شکل‌های مختلفی متصور است. لذا تعیین تابع عضویت بیش از همه یک مقوله تجربی بوده که توسط فرد خبره تعیین می‌شود. انجام محاسبات با اعداد فازی به دلیل ساختار خاص آن‌ها زمان بر و پیچیده است لذا برای تسهیل و

کاربردی نمودن اعدا فازی، معمولاً اعداد فازی خاصی به کار گرفته می‌شوند. این اعداد خاص به صورت اعداد زنگوله‌ای، L. A. Zadeh، ۱۹۶۵؛ Lotfi A Zadeh، ۱۹۷۸ هستند که با توجه به نوع و نیاز مسئله می‌توان از هریک از آن‌ها استفاده کرد.

در این پایان‌نامه، از اعداد فازی مثلثی استفاده می‌گردد. یک عدد فازی مثلثی $\tilde{A} = (a, b, c)$ مطابق شکل ۳-۴ نشان داده می‌شود وتابع عضویت آن به صورت رابطه (۳-۳) تعریف می‌گردد:

$$\mu_{\tilde{A}}(x) = \begin{cases} \frac{(x-a)}{(b-a)} & a \leq x \leq b \\ \frac{(c-x)}{(c-b)} & b \leq x \leq c \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (3-3)$$



شکل ۳-۴ - عدد فازی مثلثی

۳-۱۶-۲ حساب فازی

برای دو عدد فازی مثلثی $\tilde{A} = (a, b, c)$ و $\tilde{B} = (a', b', c')$ همانند اعداد حقیقی می‌توان عملگرهای جمع، تفریق، ضرب، تقسیم، ماکسیمم، مینیمم و ... را تعریف نمود که در اینجا بر حسب کاربرد و نیاز فقط عملگرهای جمع، تفریق، ماکسیمم و مینیمم مطابق رابطه‌های (۳-۳) تا (۳-۶) معرفی می‌گردد (L. A. Zadeh، ۱۹۶۵؛ Lotfi A Zadeh، ۱۹۷۸).

$$\tilde{C} = \tilde{A} + \tilde{B} = (a + a', b + b', c + c') \quad \mu_{\tilde{C}}(Z) = \mu_{\tilde{A} + \tilde{B}}(Z) \quad (3-3)$$

$$\tilde{C} = \tilde{A} - \tilde{B} = (a - c', b - b', c - a') \quad \mu_{\tilde{C}}(Z) = \mu_{\tilde{A} - \tilde{B}}(Z) \quad (4-3)$$

$$\text{MAX}(\tilde{A}, \tilde{B}) = (\max(a, a'), \max(b, b'), \max(c, c')) \quad (5-3)$$

bell

triangle

trapezoidal

Gaussian

$$\text{MIN}(\tilde{A}, \tilde{B}) = (\min(a, a'), \min(b, b'), \min(c, c')) \quad (6-3)$$

۳-۱۶-۳ مقایسه اعداد فازی

چنگ یک روش مبتنی بر فاصله را برای مقایسه دو عدد فازی مبنی بر فاصله بین مرکز مختصات و مرکز سطح عدد فازی، توسعه داد. مرکز سطح عدد فازی \tilde{A} به صورت روابط (۷) و (۸) محاسبه می‌شود (Cheng, 1998; PAN et al., 2001) حمزه دانش و حسینعلی، (۱۳۹۳).

$$\bar{x}_0(\tilde{A}) = \frac{\int x dA}{A} \quad (7-3)$$

$$\bar{y}_0(\tilde{A}) = \frac{\int y dA}{A} \quad (8-3)$$

برای عدد فازی مثلثی $\tilde{A} = (a, b, c)$ ، فرمول‌های فوق را می‌توان به صورت روابط (۹) و (۱۰) نوشت:

$$\bar{x}_0(\tilde{A}) = \frac{(a + b + c)}{3} \quad (9-3)$$

$$\bar{y}_0(\tilde{A}) = \frac{1}{3} \quad (10-3)$$

با استفاده از فرمول‌های فوق، فاصله عدد فازی مثلثی \tilde{A} از مرکز مختصات طبق رابطه (۱۱) محاسبه می‌شود:

$$R(\tilde{A}) = \sqrt{(\bar{x}_0(\tilde{A}))^2 + (\bar{y}_0(\tilde{A}))^2} \quad (11-3)$$

درنهایت رابطه (۱۲) برای مقایسه دو عدد فازی \tilde{A}_1 و \tilde{A}_2 به روش فاصله‌ای بکار می‌رود:

$$\begin{aligned} R(\tilde{A}_1) > R(\tilde{A}_2) &\Rightarrow \tilde{A}_1 > \tilde{A}_2 \\ R(\tilde{A}_1) < R(\tilde{A}_2) &\Rightarrow \tilde{A}_1 < \tilde{A}_2 \\ R(\tilde{A}_1) = R(\tilde{A}_2) &\Rightarrow \tilde{A}_1 = \tilde{A}_2 \end{aligned} \quad (12-3)$$

۳-۱۶-۴ فازی‌زدایی

برای تبدیل یک عدد فازی به یک مقدار شفاف قابل قبول، روش‌های مختلفی وجود دارد. در این پایان‌نامه از روش مرکز مختصات استفاده شده است. عدد فازی مثلثی \tilde{A} با استفاده از رابطه (۱۳) فازی‌زدایی می‌گردد (Cheng, 1998).

$$dyfuzzy(\tilde{A}) = \frac{(a + b + c)}{3} \quad (13-3)$$

۳-۱۶-۵ مقیاس‌های پنجگانه فازی-زبانی برای وزن‌دهی ریسک‌ها

یک متغیر زبانی متغیری است که ارزش آن در اصطلاحات زبانی بیان شده است (Zimmermann, 1996). مفهوم متغیر زبانی در برخورد با شرایط دارای عدم قطعیت، که به خوبی نمی‌توان آن را در مقادیر کمی مرسوم توصیف کرد، بسیار مفید است (Chen, 2000; Zimmermann, 1996). در این مطالعه، کارشناسان HSE و خبرگان با استفاده از متغیرهای زبانی و اعداد فازی متناظر با آن، که در جداول زیر نشان داده شده است، ریسک‌ها را با توجه به شاخص‌های مشخص شده وزن می‌دهند. برای کمی‌سازی متغیرهای زبانی موجود در جداول زیر از اعداد فازی مثلثی استفاده شده است. برای مثال، متغیر زبانی "Medium" که بیانگر وزن کیفی متوسط هست، می‌تواند به صورت وزن کمی (۰/۵، ۰/۴، ۰/۳) نمایش داده شود. جداول زیر یک راهنمای پیشنهادی برای کمی‌نمودن ریسک‌های ایمنی براساس ۳ شاخص ۱- شدت اثر ریسک، ۲- احتمال وقوع و ۳- میزان کنترل‌پذیری ریسک را ارائه می‌دهد. بدیهی است که اعداد ارائه شده با لحاظ نمودن شرایط و ویژگی‌های هر پروژه می‌تواند بنحو دیگری تعریف شود.

- شدت اثر ریسک: میزان شدت اثر پیامدهای ناشی از وقوع احتمالی ریسک‌ها را مطابق جدول ۳-۲ نشان می‌دهد. هرچه میزان شدت اثر ریسک بیشتر باشد، ریسک خطرناک‌تر است. کارشناسان با استفاده از متغیرهای زبانی موجود در جدول زیر، نظر خود را درمورد هر یک از ریسک‌های HSE بر اساس شاخص شدت اثر، در پرسشنامه مربوطه ثبت می‌کنند.

جدول ۳-۲- مقیاس پنجگانه فازی زبانی برای وزن‌دهی ریسک‌های HSE براساس شاخص شدت اثر

متغیر زبانی	عدد فازی	شرح
• وقوع ریسک خسارات جدی زیر را در پی خواهد داشت:		
Very High (VH)	(۰/۷، ۱، ۱)	۱- پروژه را زیانده می‌کند ۲- آسیب‌های جدی جانی و تلفات انسانی به بار می‌آورد ۳- باعث ایجاد تاخیرات فراوان در تکمیل پروژه و یا عدم تکمیل پروژه می‌شود.
• وقوع ریسک خسارات زیر را در پی خواهد داشت:		
High (H)	(۰/۵، ۰/۷، ۰/۹)	۱- حاشیه سود پروژه را کم می‌کند. ۲- منجر به آسیب‌های جسمی می‌شود. ۳- تاخیر بیش از حدود تعیین شده می‌شود به‌گونه‌ای که مشمول جریمه تاخیر خواهد شد.
• وقوع ریسک موارد زیر را به‌دبناک خواهد داشت:		
Moderate (M)	(۰/۳، ۰/۵، ۰/۷)	۱- هزینه‌ها بیش از برآورد خواهد شد و حاشیه سود پروژه را تحت تاثیر قرار می‌دهد. ۲- منجر به آسیب‌های سطحی جسمی و بیماری‌های شغلی می‌شود. ۳- تاخیرات کمی را به همراه خواهد داشت.
Low (L)	(۰/۱، ۰/۳، ۰/۵)	• وقوع ریسک موارد زیر را به‌دبناک خواهد داشت:

- ۱- افزایش هزینه زیادی به بار نمی‌آورد. ۲- منجر به آسیب‌های جسمی و بیماری‌های شغلی جزئی می‌شود به گونه‌ای که با کمک‌های اولیه و یا اقدامات پزشکی اندک برطرف می‌گردد. ۳- تاخیرات ایجادشده با اندکی هزینه و منابع قابل جبران خواهد بود.

- **وقوع ریسک موارد زیر را به دنبال خواهد داشت:**

Very low (VL)	(٠، ٠، ٣/٠)	۱- افزایش هزینه‌ها بسیار کم و در حد موارد پیش‌بینی شده خواهد بود. ۲- آسیب جسمی خاصی را به دنبال ندارد. ۳- بندرت احتمال تاخیر نسبت به برآورده اولیه زمان انجام فعالیت به وجود خواهد آمد.
------------------	-------------	---

- احتمال وقوع ریسک: میزان احتمال وقوع ریسک‌ها را مطابق جدول ۳-۳ نشان می‌دهد. هرچه میزان احتمال وقوع ریسک بیشتر باشد، ریسک خطرناک‌تر است. کارشناسان با استفاده از متغیرهای زبانی موجود در جدول زیر، نظر خود را درمورد هر یک از ریسک‌های HSE بر اساس شاخص احتمال وقوع، در پرسشنامه مربوطه ثبت می‌کنند.

جدول ۳-۳- مقیاس پنجگانه فازی زبانی برای وزن‌دهی ریسک‌های HSE بر اساس شاخص احتمال وقوع

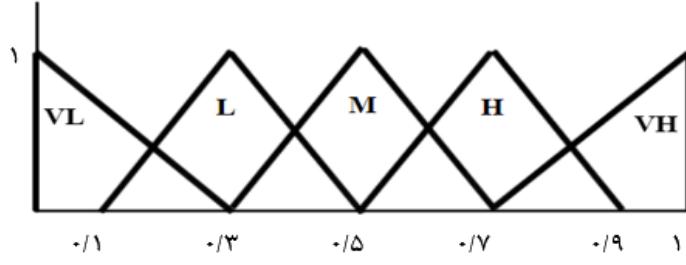
متغیر زبانی	عدد فازی	شرح
Very High (VH)	(١، ١، ٧/٠)	با درجه بالایی از اطمینان ریسک به وقوع می‌پیوندد
High (H)	(٩/٠، ٥، ٧/٠)	احتمال زیادی برای وقوع ریسک پیش‌بینی می‌شود
Moderate (M)	(٧/٠، ٥، ٣/٠)	ریسک احتمال دارد به وقوع بپیوندد
Low (L)	(٥/٠، ٣، ١/٠)	احتمال جدی برای وقوع ریسک نیست
Very low (VL)	(٣/٠، ٠، ٠)	تقریباً غیرممکن است که ریسک به وقوع بپیوندد

- میزان کنترل‌پذیری ریسک: نشان‌دهنده توانایی تیم پروژه در کنترل کردن پیامدهای ناشی از وقوع احتمالی ریسک با استفاده از اقدامات کنترلی جاری سازمان است. هرچه میزان کنترل‌پذیری ریسک کمتر باشد، ریسک خطرناک‌تر است. کارشناسان با استفاده از متغیرهای زبانی موجود در جدول ۳-۴، نظر خود را درمورد هر یک از ریسک‌های HSE بر اساس شاخص میزان کنترل‌پذیری، در پرسشنامه مربوطه ثبت می‌کنند.

جدول ۳-۴- مقیاس پنجگانه فازی زبانی برای وزن دهی ریسک های HSE براساس شاخص میزان کنترل پذیری

متغیر زبانی	عدد فازی	شرح
Very High (VH)	(۰/۷، ۱، ۰/۱)	تیم پروژه با استفاده از اقدامات کنترلی جاری سازمان، به طور حتم می تواند پیامدهای ناشی از وقوع احتمالی ریسک را کنترل کند.
High (H)	(۰/۵، ۰/۷، ۰/۹)	تیم پروژه با استفاده از اقدامات کنترلی جاری سازمان، با احتمال زیاد می تواند پیامدهای ناشی از وقوع احتمالی ریسک را کنترل کند.
Moderate (M)	(۰/۳، ۰/۵، ۰/۷)	تیم پروژه با استفاده از اقدامات کنترلی جاری سازمان، با احتمال کم می تواند پیامدهای ناشی از وقوع احتمالی ریسک را کنترل کند.
Low (L)	(۰/۱، ۰/۳، ۰/۵)	اقدامات کنترلی جزئی در سازمان وجود دارد و تیم پروژه شанс بسیار کمی در کنترل کردن پیامدهای ناشی از وقوع احتمالی ریسک دارد.
Very low (VL)	(۰، ۰/۳)	هیچ اقدام کنترلی به منظور کنترل کردن پیامدهای ناشی از وقوع احتمالی ریسک در سازمان وجود ندارد.

شماتیک اعداد فازی متناظر با هر یک از متغیرهای زبانی در شکل ۳-۵ نشان داده شده است.



شکل ۳-۵- اعداد فازی متناظر با هر یک از متغیرهای زبانی

۱۷-۳- تکنیک های تصمیم گیری چند معیاره (MCDM)

تصمیم گیری به عنوان انتخاب یک راهکار از میان چندین راهکار تعریف می شود. اگر در رسیدن به هدف مورد نظر فقط یک راه حل عملیاتی وجود داشته باشد دیگر صحبت از تصمیم گیری مصدق پیدا نمی کند زیرا پدیده تصمیم مترادف با انتخاب یک راه حل از بین چندین راه حل موجود هست. در دهه های اخیر توجه پژوهشگران معطوف به مدل های چند معیاره برای سنجش

تصمیم‌گیری‌های پیچیده گردیده است. حل یک مسئله تصمیم‌گیری با معیارهای چندگانه، از دهه ۱۹۷۰ شروع گردید و در دهه ۱۹۸۰ جهان با تغییر و تحولات شگرف در نوع فرآیندهای تصمیم‌گیری روبرو شد. به منظور تصمیم‌گیری توسط روش MCDM، اولین مرحله شناخت معیارهای تصمیم‌گیری است (امیری و همکاران ۱۳۹۵؛ Rao and Davim, 2008).

۳-۱۷-۱- معیارهای تصمیم‌گیری

همان‌گونه که در بخش قبل اشاره شد در بسیاری از موارد نتیجه‌گیری‌ها وقتی مطلوب و مورد رضایت تصمیم‌گیرنده است که تصمیم‌گیری براساس چندین معیار بررسی شده باشد. برای مثال در انتخاب شغل، معیارهایی مانند درآمد ماهانه، محل کار، شأن اجتماعی و... و یا در برنامه‌ریزی تولید اهدافی مانند حداکثر کردن درآمد، حداقل کردن هزینه، کاهش ضایعات، افزایش رضایت کارکنان و... مدنظر است. در حالت کلی در تعیین گزینه‌های مختلف منظور از معیار، عواملی است که تصمیم‌گیرنده به منظور افزایش مطلوبیت و رضایت خود مدنظر قرار می‌دهد (امیری و همکاران ۱۳۹۵؛ Rao and Davim, 2008).

شاخته است از ویژگی‌ها، کیفیات یا پارامترهای عملکردی که برای انتخاب گزینه‌های تصمیم مطرح است. ممکن است برخی از آنها مانند درآمد و هزینه دارای ماهیت کمی بوده و برخی دیگر نظری رضایت شغلی و شأن اجتماعی دارای ماهیت کیفی باشند (امیری و همکاران ۱۳۹۵؛ Rao and Davim, 2008).

هدف اعبارت است از تمايلات و خواسته‌های تصمیم‌گیرنده که می‌تواند با عباراتی مانند حداکثر کردن سود، حداقل کردن هزینه و... بیان شود (امیری و همکاران ۱۳۹۵؛ Rao and Davim, 2008).

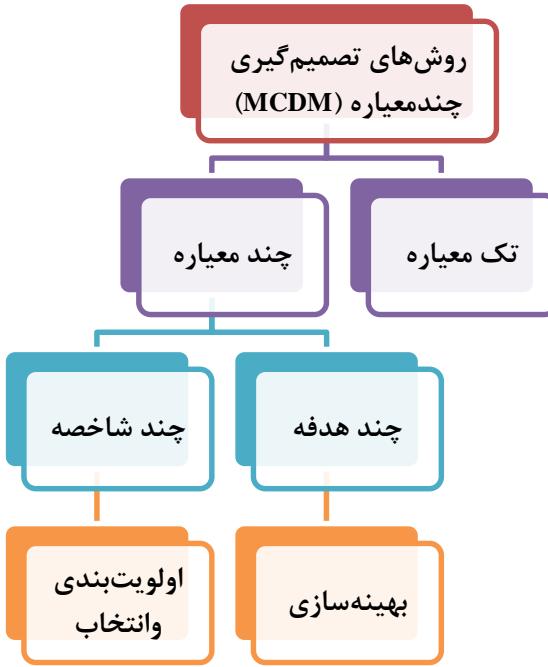
روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره (MCDM) مطابق شکل ۳-۶، به دو دسته تقسیم می‌شوند. چنانچه تصمیم‌گیری چند معیاره براساس چند شاخته و در فضای تصمیم‌گیری گستته، صورت گیرد آنرا تصمیم‌گیری چند شاخته^۴ (MADM)، ولی چنانچه بر مبنای چند هدف و در فضای تصمیم‌گیری پیوسته، صورت گیرد آنرا تصمیم‌گیری چند هدفه^۵ (MODM) می‌نامند. در تصمیم‌گیری MADM هدف، رتبه‌بندی تعدادی محدودی از گزینه‌ها بر مبنای تعداد متناهی از شاخته‌ها است که خروجی نهایی، مجموعه جواب‌های قابل قبول و قابل شمارش هست (Hwang and Yoon, 1981).

Attribute

Objective

Multi Attribute Decision Making

Multi Objective Decision Making



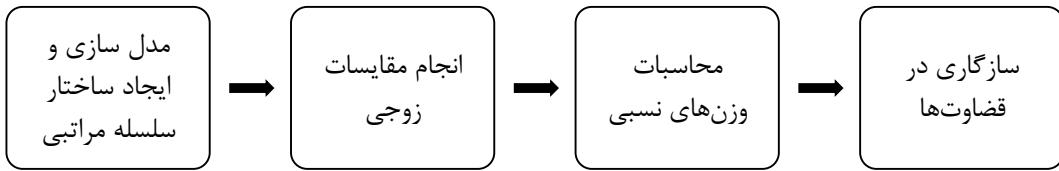
شکل ۳-۶- روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره (MCDM)

تصمیم‌گیری‌های چند شاخصه اغلب در مواردی به کار می‌روند که در مسئله‌ای خاص با چند شاخص مختلف از جمله شاخص‌های کمی و کیفی مانند: هزینه، درجه اهمیت، ظرفیت، طول عمر و غیره به‌طور همزمان روبرو بوده و مطلوبیت هدف مسئله در نظر گرفتن تمامی این شاخص‌ها به‌طور همزمان و یافتن گزینه‌های است که در آن برآیند این شاخص‌ها بیشینه گردد (امیری و همکاران ۱۳۹۵؛ ۲۰۰۸). در این پایان‌نامه از روش TOPSIS برای رتبه‌بندی ریسک‌های ایمنی استفاده می‌گردد. از آنجاکه روش TOPSIS خود به‌تهیای قدر نیست که وزن شاخص‌ها را محاسبه کند لذا با استفاده از یک روش دیگر وزن شاخص‌ها را محاسبه نمود. سپس نتایج خروجی حاصل از آن، به عنوان ورودی روش TOPSIS قرار می‌گیرند در این مطالعه از روش AHP برای وزن‌دهی شاخص‌های ارزیابی ریسک‌های ایمنی استفاده می‌شود. در ادامه به بررسی روش‌های مذکور پرداخته می‌گردد.

AHP - ۳-۱۸

تکنیک تحلیل سلسله مراتبی (AHP) برای اولین بار توسط توماس ال. ساعتی عراقی‌الاصل در سال ۱۹۸۰ مطرح شد (Saaty, 1980). این تکنیک، مسائل تصمیم‌گیری را بر اساس آثار متقابل آنها مورد بررسی قرار می‌دهد و آنها را به شکلی ساده تبدیل کرده و به حل آن می‌پردازد (قدسی پور، ۱۳۸۱). از این تکنیک می‌توان برای ۱- مورد ۲- تعیین وزن شاخص‌های ارزیابی ۲- رتبه‌بندی گزینه‌های ارزیابی استفاده کرد. ولی از آنجاکه استفاده از AHP برای رتبه‌بندی گزینه‌های با تعداد زیاد، نیازمند مقایسات زوجی بسیاری است لذا کارایی این تکنیک جهت ارزیابی گزینه‌ها در مسائل بزرگ کاهش می‌یابد. بنابراین در این پایان‌نامه از تکنیک AHP برای وزن‌دهی شاخص‌های ارزیابی استفاده شده است. روش AHP، بر اساس مقایسات زوجی بنا

شده است، بدین صورت که مقایسات زوجی برای n گزینه تصمیم‌گیری و m شاخص ارزیابی صورت می‌گیرد (قدسی پور، ۱۳۸۱). مطابق شکل ۳-۷ اصول فرآیند تحلیل سلسله مرتبی AHP بر مبنای چهار گام زیر پایه‌ریزی شده است (قدسی پور، ۱۳۸۱؛ مهرگان، ۱۳۸۳):



شکل ۳-۷ - گام‌های فرآیند AHP

- ۱- مدل سازی و ایجاد ساختار سلسله مرتبی: در این گام، مسئله به صورت سلسله مرتبی از شاخص‌ها، درآورده می‌شود.
- ۲- انجام مقایسات زوجی: در این مرحله قضاؤت در مورد اهمیت شاخص‌های ارزیابی با انجام مقایسات زوجی بین آنها، صورت می‌گیرد. این کار مطابق با جدول ۳-۵ از طریق تخصیص امتیازات عددی که نشان‌دهنده ارجحیت یا اهمیت نسبی بین دو شاخص است، انجام می‌شود (Saaty, 1980).

جدول ۳-۵- مقادیر ترجیحات برای مقایسه‌های زوجی

ارزش ترجیحی	وضعیت مقایسه ۲ شاخص i و j	توضیح
۱	اهمیت برابر	۲ شاخص اهمیت برابر دارند
۳	نسبتاً مهمتر	شاخص i نسبت به شاخص j کمی مهمتر است
۵	مهمتر	شاخص i نسبت به شاخص j مهمتر است
۷	خیلی مهمتر	شاخص i نسبت به شاخص j خیلی مهمتر است
۹	کاملاً مهم	شاخص i کاملاً مهمتر از شاخص j بوده و قابل مقایسه با j نیست
۲,۴,۶,۸		ارزش‌های میانی بین ارزش‌های ترجیحی را نشان می‌دهد. مثلاً، ۸، بیانگر اهمیتی زیادتر از ۷ و کمتر از ۹ برای شاخص i است

- ۳- محاسبات وزن‌های نسبی: تعیین وزن «شاخص‌های ارزیابی» نسبت به هم از طریق مجموعه‌ای از محاسبات عددی با استفاده از اطلاعات ماتریس‌های مقایسه‌های زوجی، قدم بعدی در فرآیند تحلیل سلسله مرتبی است.

۴- سازگاری در قضاوت‌ها: نرخ سازگاری، پارامتری است که سازگاری را مشخص ساخته و نشان می‌دهد که تا چه حد می‌توان به نتایج حاصل از مقایسات اعتماد کرد. برای مثال اگر گزینه A نسبت به B مهمتر (ارزش ترجیحی ۵) و B نسبت به C نسبتاً مهمتر (ارزش ترجیحی ۳) باشد، آنگاه باید انتظار داشت که A نسبت به C خیلی مهمتر (ارزش ترجیحی ۷ یا بیشتر) ارزیابی گردد. یا اگر ارزش ترجیحی A نسبت به B، ۲ و B نسبت به C، ۳ باشد آنگاه ارزش A نسبت به C باید ارزش ترجیحی ۴ را ارائه کند. شاید مقایسه دو گزینه امری ساده باشد، اما وقتیکه تعداد مقایسات افزایش یابد اطمینان از سازگاری مقایسات به راحتی میسر نبوده و باید با به کار گیری نرخ سازگاری به این اعتماد دست یافته. تجربه نشان داده است که اگر نرخ سازگاری کمتر از ۰/۱۰ باشد سازگاری مقایسات قابل قبول بوده و در غیراینصورت باید در قضاوت‌ها تجدیدنظر شود. قدم‌های زیر برای محاسبه نرخ سازگاری به کار گرفته می‌شود:

گام ۱. محاسبه بردار مجموع وزنی: ماتریس مقایسات زوجی را در بردار ستونی «وزن نسبی» ضرب کنید بردار جدیدی را که به این طریق بدست می‌آورید، بردار مجموع وزنی بنامید.

گام ۲. محاسبه بردار سازگاری^۲: عناصر بردار اولویت نسبی تقسیم کنید. بردار حاصل بردار سازگاری نامیده می‌شود.

گام ۳. بدست آوردن λ_{\max} ، میانگین عناصر بردار سازگاری، $\bar{\lambda}_{\max}$ را بدست می‌دهد.

گام ۴. محاسبه شاخص سازگاری: شاخص سازگاری بصورت رابطه (۳-۱۴) تعریف می‌شود:

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - m}{m - 1} \quad (14-3)$$

که در آن CI شاخص سازگاری و بی بعد و λ_{\max} بیشترین مقدار بردار ویژه و اسکالر است و m بعد ماتریس مقایسات زوجی (تعداد شاخص‌ها) و بی بعد هست.

گام ۵. محاسبه نرخ سازگاری: نرخ سازگاری از تقسیم شاخص سازگاری بر شاخص تصادفی آبدست می‌آید.

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (15-3)$$

If: $CR \leq 0.1 \Rightarrow$ سازگاری مقایسات قابل قبول است

که در آن CR نرخ سازگاری و بی بعد و CI شاخص سازگاری و بی بعد و RI شاخص تصادفی ماتریس m^*m است.

Cnistency Ratio (CR)

Consistency Vector

Random Index = RI

شاخص تصادفی از جدول ۳-۶ استخراج می‌شود (مهرگان، ۱۳۸۳).

جدول ۳-۶-شاخص تصادفی

m	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰
RI	•	•	•/۵۸	•/۹	۱/۱۲	۱/۲۴	۱/۳۲	۱/۴۱	۱/۴۵	۱/۵۱

روش ۳-۱۹ Fuzzy TOPSIS (FTOPSIS)

روش TOPSIS توسط (Hwang and Yoon, 1981) برای یافتن بهترین گزینه براساس مفهوم راه حل ایده‌آل مثبت و منفی توسعه داده شده است. این روش، راه حلی را با کوتاه‌ترین فاصله از راه حل ایده‌آل مثبت و دورترین فاصله از راه حل ایده‌آل منفی، انتخاب می‌کند. به دلیل وجود عدم‌قطعیت در قضاوت ذهنی کارشناسان هنگام ارزیابی گزینه‌ها در برابر معیارها، TOPSIS گسترش یافته است تا وضعیت اعداد فازی را در نظر بگیرد (Chen et al., 2006; Tzeng, 2011). در این پایان‌نامه از روش FTOPSIS چن، استفاده شده است. این مراحل به شرح زیر است (Chen et al., 2006):

گام ۱: ابتدا از طریق پرسشنامه‌ای که در اختیار یک گروه تصمیم‌گیری با K کارشناس OHS قرار می‌گیرد، نمرات گزینه‌ها (ریسک‌ها) با توجه به هر معیار بدست می‌آید. بنابراین نمره فازی‌ای که کارشناس k به گزینه i براساس معیار j می‌دهد برابر $\tilde{x}_{ijk} = (a_{ijk}, b_{ijk}, c_{ijk})$ با توجه به هر معیار از i=1,2,...,m و j=1,2,...,n است. میانگین نمره فازی هر گزینه $\tilde{x}_{ij} = (a_{ij}, b_{ij}, c_{ij})$ رابطه (۳-۱۶) محاسبه می‌شود.

$$\tilde{x}_{ij} = (a_{ij}, b_{ij}, c_{ij}) \quad (3-16)$$

که در آن:

$a_{ij} = \min_k \{a_{ijk}\}$, $b_{ij} = \frac{1}{k} \sum_{k=1}^K b_{ijk}$, $c_{ij} = \max_k \{c_{ijk}\}$
با توجه به بالا، یک مسئله تصمیم‌گیری گروهی چند معیاره با m گزینه با A = {A₁, A₂, ..., A_m} و n معیار به طور خلاصه می‌تواند در قالب یک ماتریس به صورت زیر بیان شود:

$$\tilde{D} = A_i \begin{bmatrix} C_1 & \dots & C_j & \dots & C_n \\ x_{11} & \dots & x_{1j} & \dots & x_{1n} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ x_{i1} & \dots & x_{ij} & \dots & x_{in} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ x_{m1} & \dots & x_{mj} & \dots & x_{mn} \end{bmatrix}$$

گام ۲: ماتریس تصمیم نرمال شده را می‌توان طبق رابطه (۳-۱۷) نشان داد:

$$\tilde{R} = [\tilde{r}_{ij}]_{m \times n}, \quad i=1,2,3,\dots,m; \quad j=1,2,3,\dots,n \quad (17-3)$$

که \tilde{r}_{ij} مطابق زیر محاسبه می‌شود:

$$\tilde{r}_{ij} = \left(\frac{a_{ij}^*}{c_j^*}, \frac{b_{ij}^*}{c_j^*}, \frac{c_{ij}^*}{c_j^*} \right), \quad \text{اگر معیار } j \text{ از نوع مثبت باشد} \quad (18-3)$$

$$\tilde{r}_{ij} = \left(\frac{a_j^-}{c_{ij}}, \frac{a_j^-}{b_{ij}}, \frac{a_j^-}{a_{ij}} \right), \quad \text{اگر معیار } j \text{ از نوع منفی باشد} \quad (19-3)$$

$$c_j^* = \max c_{ij}, \quad a_j^- = \min a_{ij} \quad \text{که در آن:}$$

گام ۳: با درنظر گرفتن اهمیت هر معیار، ماتریس تصمیم نرمال شده وزنی، می‌تواند مطابق ماتریس تصمیم فازی نرمال شده زیر تعریف گردد:

$$\tilde{V} = [\tilde{v}_{ij}]_{m \times n}, \quad i=1,2,3,\dots,m; \quad j=1,2,3,\dots,n \quad (20-3)$$

$$\tilde{v}_{ij} = \tilde{x}_{ij} \otimes \tilde{w}_j \quad \text{که در آن:}$$

گام ۴: بعد از ساختن ماتریس تصمیم نرمال شده وزنی، راه حل ایده‌آل مثبت فازی (A^*) و راه حل ایده‌آل منفی فازی (A^-), مطابق روابط (۲۱-۳) و (۲۲-۳) حاصل می‌شود:

$$A^* = (\tilde{v}_1^*, \tilde{v}_2^*, \dots, \tilde{v}_n^*) \quad (21-3)$$

$$A^- = (\tilde{v}_1^-, \tilde{v}_2^-, \dots, \tilde{v}_n^-) \quad (22-3)$$

$$\tilde{v}_j^* = \max_i \{v_{ij}\} \text{ and } \tilde{v}_j^- = \min_i \{v_{ij}\}, \quad i=1,2,\dots,m; \quad j=1,2,\dots,n \quad \text{که در آن:}$$

گام ۵: فاصله هر گزینه از A^* و A^- از روابط زیر محاسبه می‌شوند:

$$d_i^* = \sum_{j=1}^n d(\tilde{v}_{ij}, \tilde{v}_j^*), \quad i=1,2,\dots,m \quad (23-3)$$

$$d_i^- = \sum_{j=1}^n d(\tilde{v}_{ij}, \tilde{v}_j^-), \quad i=1,2,\dots,m \quad (24-3)$$

که در آن d_{ij} نشان‌دهنده اندازه فاصله بین دو عدد فازی است

گام ۶: درنهایت، ضریب نزدیکی هر گزینه (CC_i) با توجه به فاصله از راه حل ایده‌آل مثبت فازی (A^*) و راه حل ایده‌آل منفی فازی (A^-), مطابق رابطه (۲۵-۳) محاسبه می‌گردد:

$$CC_i = \frac{d_i^-}{d_i^* + d_i^-}, \quad i=1,2,\dots,m \quad (25-3)$$

که در آن CC_i محدود به فاصله بسته $[1, +\infty)$ است.

روشن است که اگر $CC_i = A_i^*$ و $A_i = A_i^-$ باشد. با توجه به مقادیر CC_i بدست آمده، رتبه‌بندی همه خطرات تعیین می‌شوند.

فصل چهارم: روش پژوهش

-۴-۱ مقدمه

این فصل به شرح روش انجام پژوهش و تجزیه و تحلیل آن می‌پردازد. در بخش دوم این فصل، روش انجام پژوهش و مراحل آن معرفی شده است. در بخش ۳، مشخصات مطالعه موردنی استفاده در پژوهش ارائه شده است. جامعه آماری و روش و ابزار گردآوری داده و اطلاعات در بخش ۴ مورد بررسی قرار گرفته است. در بخش ۵ به چگونگی شناسایی ریسک‌های HSE مطابق استاندارد ISO ۴۵۰۰۱ و تعیین شاخص‌های ارزیابی پرداخته شده است. در بخش ۶، فرآیند ارزیابی ریسک‌های HSE با استفاده از روش Fuzzy-Topsis در پژوهش مطالعه موردنی، ارائه گردیده است.

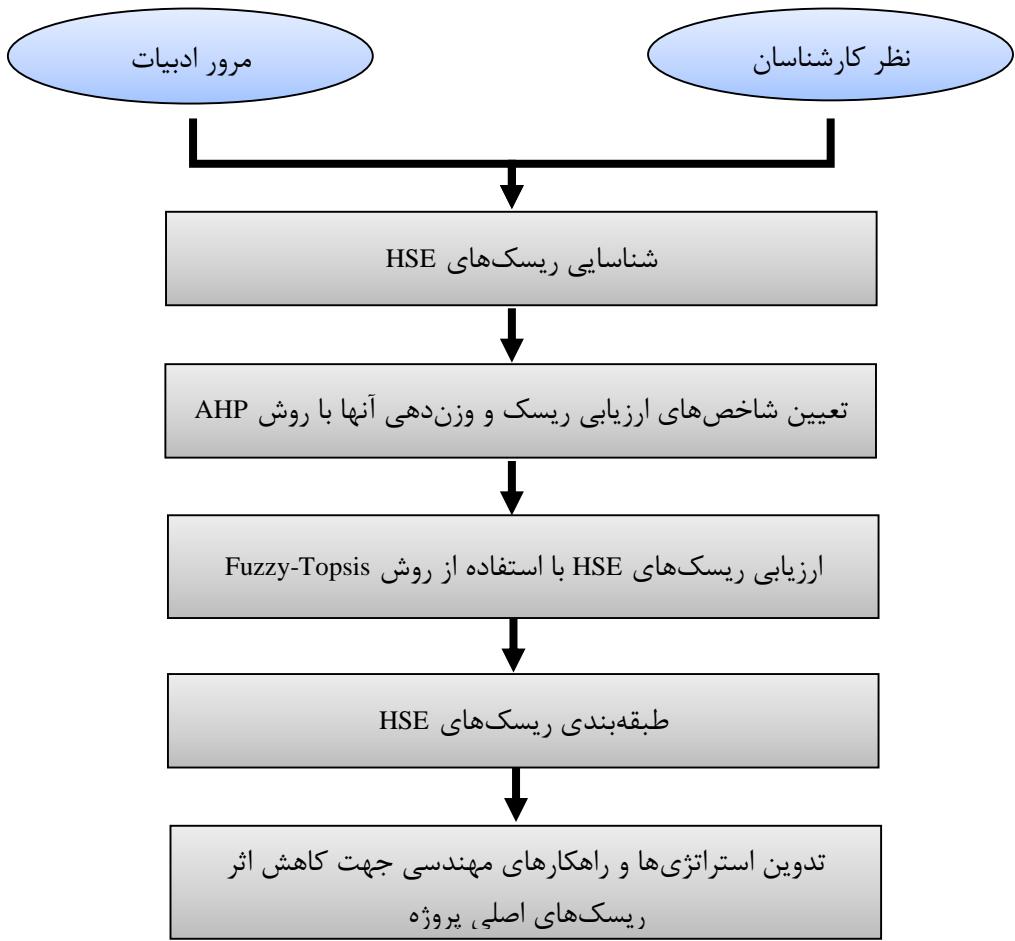
-۴-۲ روش پژوهش

-۴-۲-۱ روش انجام پژوهش

هدف از ارزیابی ریسک، توصیف ریسک به صورت مقادیر کمی برای تخمین احتمال وقوع و میزان تأثیرگذاری ریسک است. ارزیابی ریسک اساساً بر پایه تصمیم‌گیری چند معیاره (Multiple Criteria Decision Making (MCDM) انجام می‌شود. چارچوب کلی این مطالعه، بدین‌صورت است که نخست با مطالعه پیشینه تحقیق و ادبیات موضوع، درک کاملی از فرآیند انجام پژوهش بدست‌می‌آید. در گام بعد، با توزیع پرسشنامه‌های بین افراد خبره، ساختار جامعی از خطرات پژوهشی ساخت‌وساز تهیه می‌گردد. نتایج حاصل از پرسشنامه‌ها، جهت ارزیابی ریسک بکار گرفته می‌شود. سپس با استفاده از ماتریس ارزیابی ریسک و تلفیق رویکرد تصمیم‌گیری چند معیاره Topsis و منطق فازی، ریسک‌های HSE ارزیابی می‌شوند. درنهایت با توجه به لیست اولویت‌بندی شده ریسک‌های ایمنی در پژوهش‌های ساخت، اقدامات مهندسی و راهکارهایی جهت کنترل ریسک ارائه می‌گردد.

-۴-۲-۲ روند کلی انجام پژوهش

روند کلی انجام پژوهش، در شکل ۴-۱ نشان داده شده است.



شکل ۴-۱- روند کلی انجام پژوهش

۴-۲-۳- شرح خدمات (به تفکیک مراحل و خروجی‌ها)

جدول ۴-۱- فرآیند انجام پژوهش به تفکیک مراحل و خروجی‌ها

عنوان مراحل	ابزار مراحل	عنوان خروجی
جمع آوری اطلاعات	استفاده از پرسشنامه، مصاحبه و قضایت کارشناسانه و مرور ادبیات	۱- شناسایی ریسک‌های HSE در پروژه و وزن دهی اولیه به آنها ۲- شناسایی عوامل بروز ریسک در پروژه
جمع آوری اطلاعات	استفاده از پرسشنامه، مصاحبه و قضایت کارشناسانه و مرور ادبیات	تعیین شاخص‌های ارزیابی ریسک و وزن دهی آنها با روش AHP
تحلیل اطلاعات	استفاده از روش Fuzzy-Topsis	۱- ارزیابی ریسک‌های HSE در پروژه و بدست آوردن نمره‌نها به آنها ۲- شناسایی خطرناک‌ترین ریسک‌های ایمنی در پروژه براساس اهمیت و فوریت پاسخگویی به آنها
تحلیل اطلاعات	قضایت کارشناسانه	طبقه‌بندی ریسک‌های HSE
تحلیل اطلاعات	مصاحبه با کارشناسان و مرور ادبیات	تدوین استراتژی‌ها و راهکارهای مهندسی جهت کاهش اثر ریسک‌های اصلی پروژه

۴-۳- مطالعه موردی

جامعه پژوهش پروژه‌های ساختمانی در حال اجرا است که در نظر است یک پروژه ساختمانی در حال اجرا در شهر مشهد واقع در خیابان امام رضا، بخش امام رضا، ۱۹، با مشخصات زیر به عنوان مطالعه موردی انتخاب گردد. اطلاعات پروژه: پروژه موردنرسی ۲۳ طبقه با زیربنای ۲۰۰۲۸ مترمربع و کاربری اقامتی-تجاری است.

۴-۴- جامعه آماری

جامعه آماری کارگران، کارشناسان و متخصصان پروژه درنظر گرفته شده می‌یاشند که پرسشنامه‌هایی در اختیار آنها قرار می‌گیرد و نتایج حاصل از پرسشنامه‌ها، جهت وزندهی به شاخص‌های تعیین‌شده و ارزیابی ریسک‌های اینمی بکار گرفته می‌شود. جامعه آماری در این پژوهش ۷۷ نفر هست.

۴-۴-۱- حجم نمونه

نمونه‌گیری روشی است که در آن از جامعه آماری تعدادی از افراد با یک روش علمی انتخاب می‌شوند که به این تعداد از افراد جمعیت نمونه گفته می‌شود اگر طرح نمونه‌برداری مناسب به کار گرفته نشود ممکن است برای پژوهش‌گر در کسب اهداف مطالعه، تاثیرات نامطلوبی بگذارد. چنانچه حجم زیاد کم انتخاب شود به خودی خود منجر به کاهش اعتبار نتایج و کاهش تعمیم‌پذیری یافته‌ها به جامعه آماری خواهد شد. از طرف دیگر، زیاد کردن اندازه نمونه روی عامل‌های متعددی از جمله حجم عملیات میدانی و هزینه آمارگیری تاثیر نامطلوب دارد. از این‌رو در تصمیم‌گیری درباره حجم نمونه باید هم طرح نمونه‌گیری و همان‌دازه حجم نمونه موردنویجه قرار بگیرد (حبيبي، ۱۳۹۵).

روش‌های مختلفی جهت تعیین حجم نمونه وجود دارد که در این پژوهش از روش نمونه‌گیری بر اساس فرمول کوکران مطابق رابطه (۴-۱) استفاده شده است (Cochran, 1977).

$$n = \frac{Nz^2 pq}{Nd^2 + z^2 pq} \quad (4-1)$$

که در آن:

N: حجم جامعه آماری است.

z: آماره استاندارد توزیع نرمال می‌باشد که در سطح اطمینان ۹۵٪ برابر با ۱/۹۶ است.

P: احتمال موفقیت در انجام نمونه‌گیری که در اکثر موقع محققین مقدار p را برابر ۰/۰۵ در نظر می‌گیرند.

q: احتمال شکست است که در اکثر موقع محققین مقدار q را برابر ۰/۰۵ در نظر می‌گیرند.

d: احتمال خطای اندازه‌گیری است که معمولاً بین ۰/۰۱ تا ۰/۰۱۰ متغیر است. معمولاً مقدار d برابر ۰/۰۵ درنظر گرفته می‌شود. بدین ترتیب در این پژوهش، حجم نمونه با استفاده از فرمول کوکران برابر با ۶۴ نفر می‌گردد.

۴-۴-۲- روش و ابزار گردآوری داده و اطلاعات

با استفاده از پرسشنامه، مصاحبه و قضاویت کارشناسانه و مطالعه اسناد پروژه، اطلاعات لازم جهت شناسایی ریسک‌های اینمی و عوامل مؤثر در وقوع آن‌ها بدستمی آید. یکی از بهترین روش‌ها جهت شناسایی، ایجاد یک ساختار شکست ریسک (RBS) است.

۴-۴-۳- شناسایی ریسک‌های HSE و تعیین شاخص‌های ارزیابی

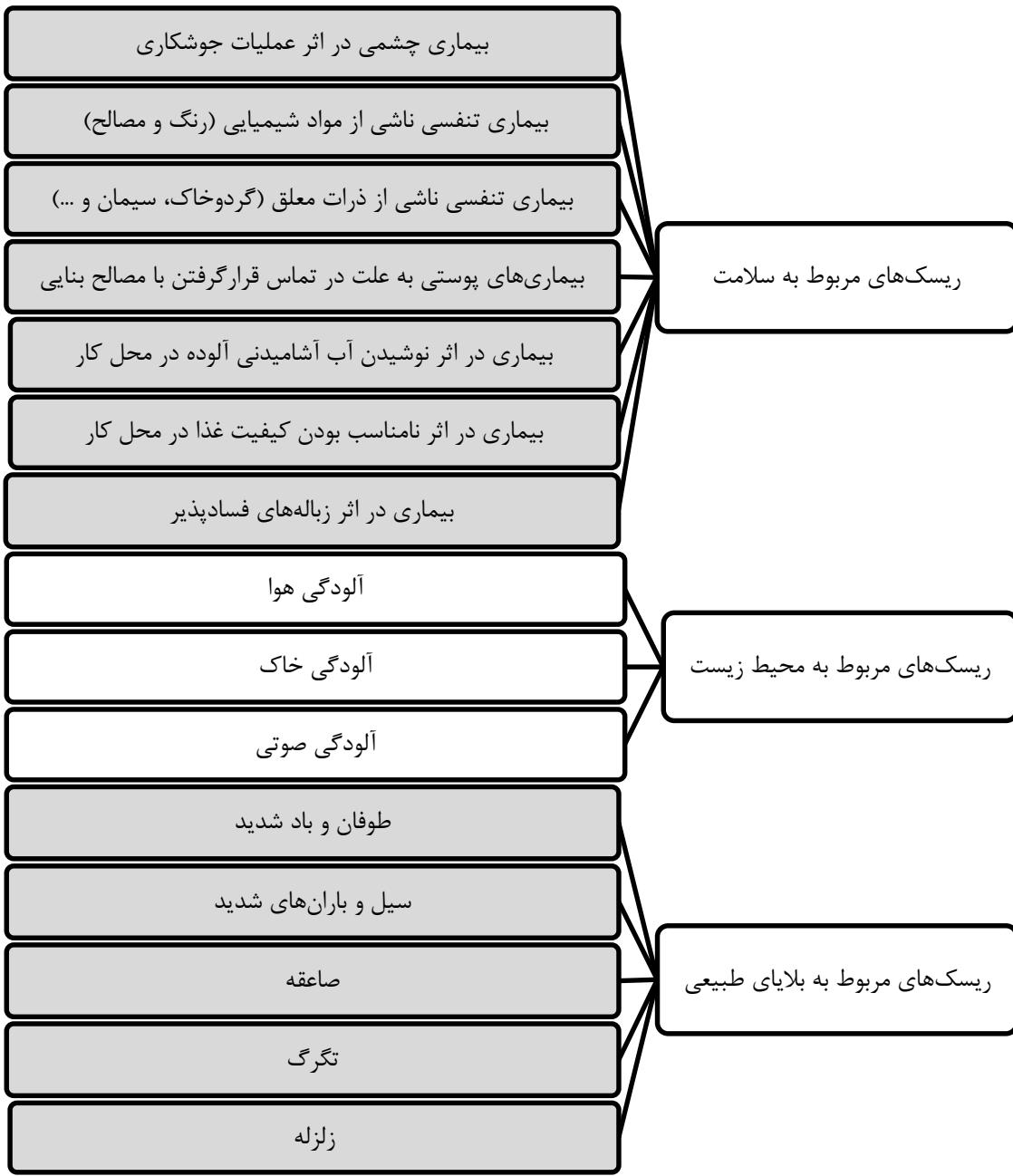
برای درک صحیح و داشتن دید مناسب نسبت به ریسک‌های اینمی پروژه، ابتدا لازم است که درک جامعی از مراحل ساخت پروژه داشت. پس از بازدیدهای میدانی و مصاحبه با مدیر پروژه و کارشناسان ذیربط و همچنین بررسی ساختار شکست کار پروژه، عملیات ساخت پروژه مطالعه موردی به ۷ دسته کلی ۱- عملیات گودبرداری و اجرای فونداسیون ۲- عملیات آرماتوریندی ۳- عملیات ساخت بتن، قالب‌بندی و بتن‌ریزی ۴- عملیات نصب و بهره‌برداری داریست و جایگاه‌های کار ۵- عملیات احداث اسکلت ۶- عملیاتی که توسط ماشین‌آلات، جرثقیل، وسایل نقلیه و حمل بار صورت می‌گیرد ۷- عملیات مربوط به تأسیسات برقی و کار با وسایل برقی تقسیم گردید. سپس با استفاده از روش‌های زیر تعداد ۵۲ ریسک HSE در ۱۰ دسته (مطابق شکل ۴-۲) شناسایی شدند.

۱- بازدیدهای میدانی از کارگاه؛ ۲- بررسی ادبیات موضوع؛ ۳- مصاحبه با خبرگان، کارشناسان، کارگران و مدیریت پروژه. همچنین از طریق مصاحبه با خبرگان و کارشناسان حوزه HSE، ۳ شاخص ارزیابی ریسک ۱- احتمال وقوع ریسک ۲- شدت اثر ریسک ۳- میزان کنترل پذیری ریسک، تعیین شدند.

^۱ Risk Breakdown Structure







شکل ۴-۲- ریسک های HSE شناسایی شده در پروژه

۶-۴- ارزیابی ریسک های HSE با استفاده از روش Fuzzy-Topsis

برای ارزیابی ریسک های HSE، در ابتدا لازم است که شاخص های ارزیابی ریسک های HSE، با استفاده از نظرات جامعه آماری، وزن دهی اولیه شوند. بدین منظور در این پژوهش پس از بررسی جامع ادبیات موضوع و مقالات حوزه مدیریت ریسک های ایمنی، پرسشنامه ای در دو بخش تدوین گردید. هدف در بخش اول پرسشنامه بدست آوردن اهمیت نسبی شاخص های ارزیابی ریسک با استفاده از نظر کارشناسان است تا بتوان وزن هر یک از شاخص ها را محاسبه نمود. هدف در بخش دوم پرسشنامه

بدست آوردن وضعیت هر کدام از ریسک‌های ایمنی نسبت به هریک از شاخص‌های ایمنی با استفاده از نظر کارشناسان است. در این راستا، تعداد ۶۴ پرسشنامه تهیه و در بین افراد جامعه آماری توزیع و اطلاعات ثبت گردید.

۱-۶-۴- روایی و پایایی پرسش‌نامه

برای سنجش و ارزیابی پرسش‌نامه و یا هرگونه وسیله سنجش، دو ملاک به کار می‌رود که آن دو ملاک، روایی و پایایی یک یافته است. اگر پرسشنامه دارای این دو معیار باشد، این بدان معنی است که میزان یا درصد اشتباہ محقق در اندازه‌گیری ملاک‌ها و عوامل مورد نظر اگر صفر نباشد به حداقل ممکن می‌رسد. پس روایی و پایایی نقطه مقابل اشتباہ محقق در اندازه‌گیری هستند، به طوری که هرچه میزان اشتباہ محقق در مورد ملاک‌ها و عوامل اندازه‌گیری کمتر باشد، اعتبار و قابلیت اعتماد آن در اندازه‌گیری بیشتر هست. اعتبار در اندازه‌گیری را روایی و قابلیت اعتماد را پایایی اندازه‌گیری می‌نامند. در ادامه به تشریح روایی و پایایی و چگونگی تعیین آن در پرسشنامه پژوهش پرداخته می‌شود.

الف) روایی پرسش‌نامه

روایی عبارت است از توانایی پرسشنامه در اندازه‌گیری صفت موردنرسی پژوهش؛ یعنی محتوا یا سؤالات آن پرسشنامه دقیقاً صفت مورد مطالعه را بسنجند. هم‌چنین روایی تعیین می‌کند که هیچ‌کدام از داده‌هایی که قرار است از طریق پرسشنامه گردآوری شوند، مازاد بر نیاز تحقیق نیست. بنابراین بعد از تدوین پرسشنامه، لازم است که روایی آن مورد تائید قرار بگیرد. برای تعیین روایی پرسشنامه، از چندین نفر از متخصصان و خبرگان حوزه HSE، از طریق جلسات طوفان فکری، نظرخواهی شد که پس از بررسی نظرات متخصصان مربوطه، روایی پرسشنامه مورد تائید قرار گرفت.

ب) پایایی پرسش‌نامه

پایایی عبارت است از توانایی ابزار در حفظ پایداری خود و تغییرپذیری اندک آن در طول زمان علی‌رغم شرایط غیرقابل‌کنترل آزمون و وضعیت خود پاسخ‌گویان که این توانایی گویای برازش ابزار است چراکه هر زمان اندازه‌گیری صورت گیرد نتایج پایدار به دست می‌آید. به عبارت دیگر منظور از پایایی این است که اگر مفهوم موردنستجش با همان وسیله اندازه‌گیری تحت شرایط مشابه دوباره موردنستجش قرار گرفت، نتایج حاصل شده تا چه حد مطابق یکدیگر خواهند بود و یا نتایج حاصل تا چه حد مشابه، دقیق و قابل اعتماد هستند. یکی از روش‌های ارزیابی پایایی پرسشنامه محاسبه ضریب آلفای کرونباخ بوده که دامنه قابلیت اعتماد آن بین ۰/۷ تا ۱ است. ضرایب بالاتر از ۰/۷ نشان‌دهنده این است که همبستگی درونی بین گویه‌ها زیاد است و ابزار به طور مناسبی طراحی شده است. برای محاسبه ضریب آلفای کرونباخ ابتدا باید واریانس نمره‌های هر زیرمجموعه سؤال‌های پرسشنامه (یا زیرآزمون) و واریانس کل را محاسبه کرد سپس با استفاده از فرمول (۱-۴) مقدار ضریب آلفا را محاسبه کرد.

$$r_{\alpha} = \frac{J}{J-1} \left[1 - \frac{\sum S_j^2}{S^2} \right] \quad (1-4)$$

که در آن:

$$J: \text{تعداد سؤالات آزمون، } \sum S_j^2: \text{مجموع واریانس سؤالات آزمون، } i_a: \text{واریانس کل نمرات.}$$

در این پژوهش پایایی پرسشنامه، با استفاده از نرم‌افزار SPSS و روش آلفای کرونباخ صورت گرفته است. براساس نتایج حاصل، برای شاخص‌های احتمال وقوع، شدت اثر و میزان کنترل‌پذیری، ضریب آلفا به ترتیب، ۰/۷۵۲، ۰/۷۲۳ و ۰/۷۰۹ بدست آمد که بالاتر از حداقل مقدار ۰/۷ بوده و سطح قابلیت اطمینان، قابل قبول است. بنابراین نتایج بدست‌آمده از پرسشنامه دارای میزان پایایی مناسبی هستند.

۲-۶-۴- بdst آوردن وزن شاخص‌های ارزیابی ریسک با استفاده از AHP

پس از اینکه وزن دهی اولیه به شاخص‌های ارزیابی ریسک با استفاده از نظر کارشناسان و خبرگان از طریق پرسشنامه صورت گرفت و اطلاعات جمع‌آوری گردید؛ بایستی وزن شاخص‌های ارزیابی ریسک را محاسبه کرد. برای اینکار در ابتدا ماتریس میانگین مقایسات زوجی کارشناسان را تشکیل می‌دهیم. این ماتریس به عنوان ماتریس تصمیم و ورودی روش AHP هست که با استفاده از آن، وزن شاخص‌های ارزیابی ریسک‌های HSE محاسبه می‌گردد. در جدول ۴-۲ ماتریس میانگین مقایسات زوجی ۶۴ کارشناس آورده شده است.

جدول ۴-۲- ماتریس میانگین مقایسات زوجی ۶۴ کارشناس در مورد شاخص‌های ارزیابی ریسک

میزان کنترل‌پذیری	شدت اثر	احتمال وقوع			
۲/۶۷	۰/۶۴	۱	احتمال وقوع		
۵/۲۳	۱	۱/۵۷	شدت اثر		
۱	۰/۱۹	۰/۳۷	میزان کنترل‌پذیری		

• محاسبات وزن‌های شاخص‌ها

در این مرحله با توجه به گام‌های روش AHP وزن هر یک از شاخص‌های ارزیابی ریسک با استفاده از اطلاعات ماتریس تصمیم، بدست می‌آید. خلاصه عملیات ریاضی در این مرحله به صورت زیر است.

۱- نرمالایز کردن ماتریس تصمیم: مجموع اعداد هر ستون از ماتریس تصمیم را محاسبه کرده، سپس هر درایه ستون را بر مجموع اعداد آن ستون تقسیم می‌کنیم. ماتریس جدیدی که بدین صورت بدست می‌آید، «ماتریس مقایسات نرمال شده» نامیده می‌شود. در جدول ۴-۳ ماتریس نرمال شده تصمیم آورده شده است.

جدول ۴-۳- نرمالایز کردن ماتریس تصمیم

میزان کنترل‌پذیری	شدت اثر	احتمال وقوع			
۰/۳۰۰	۰/۳۴۸	۰/۳۴۰	احتمال وقوع		
۰/۵۸۸	۰/۵۴۷	۰/۵۳۳	شدت اثر		
۰/۱۱۲	۰/۱۰۵	۰/۱۲۷	میزان کنترل‌پذیری		

۲- وزن شاخص‌های ارزیابی ریسک: در این مرحله، میانگین درایه‌های هر سطر از ماتریس مقایسات نرمال شده را محاسبه کرده که این میانگین مطابق جدول ۴-۴ همان وزن شاخص‌های ارزیابی ریسک است.

جدول ۴-۴- وزن شاخص‌های ارزیابی ریسک

وزن (W)	احتمال وقوع
۰/۳۲۹	احداث
۰/۵۵۶	شدت اثر
۰/۱۱۵	میزان کنترل پذیری

-۳ در این مرحله با استفاده از سازگاری ماتریس تصمیم محاسبه شود تا مشخص شود که آیا نتایج حاصله، معتبر هستند یا اینکه باید در مقایسه زوجی کارشناسان تجدید نظر صورت گیرد. برای این کار ابتدا بردار مجموع وزنی که برابر با حاصل ضرب ماتریس تصمیم در بردار ستونی وزن شاخص‌ها است، را محاسبه می‌کنیم. نتایج مطابق جدول ۴-۵ است.

جدول ۴-۵- بردار مجموع وزنی

درایه‌های بردار	بردار مجموع وزنی
۰/۹۹۰	
۱/۶۷۳	
۰/۳۴۴	

-۴ بردار سازگاری (لانداتها): در این گام بردار سازگاری که حاصل تقسیم درایه‌های بردار مجموع وزنی بر بردار ستونی وزن شاخص‌ها است، را محاسبه می‌کنیم. نتایج مطابق جدول ۴-۶ است.

جدول ۴-۶- بردار سازگاری

درایه‌های بردار	بردار سازگاری
۳/۰۰۵	λ_1
۳/۰۰۹	λ_2
۳/۰۰۲	λ_3

-۵ بدست آوردن λ_{\max} : با میانگین‌گیری از لانداتها، مقدار λ_{\max} بدست می‌آید.

-۶ شاخص سازگاری (CI): از رابطه (۳-۱۴) مقدار CI مطابق زیر حاصل می‌شود.

-۷ شاخص سازگاری (RI) تصادفی برای $m=3$ ، مطابق جدول ۳-۶ برابر است با:

-۸ در نهایت نرخ سازگاری (CR) از رابطه (۳-۲۶)، بدست می‌آید که چون CR کوچکتر از ۰/۱ است لذا نتایج حاصله برای وزن شاخص‌های ارزیابی ریسک معتبر می‌باشند.

$$CR = ۰/۰۰۴۷$$

۳-۶-۴- بdst آوردن وزن ریسک‌های HSE با استفاده از روش Fuzzy-Topsis

پس از اینکه نظر کارشناسان در مورد وضعیت ریسک‌های HSE نسبت به هریک از شاخص‌های ارزیابی از طریق پرسشنامه جمع‌آوری گردید؛ بایستی نظرات آنها را مطابق با جداول موجود در بخش ۳-۱۶، کمی‌سازی کرد. در گام بعدی باید ماتریس میانگین نظرات کارشناسان را تشکیل دهیم. این ماتریس به عنوان ماتریس تصمیم و ورودی روش Fuzzy-Topsis می‌باشد که با استفاده از آن، وزن ریسک‌های HSE محاسبه می‌گردد. در جدول ۴-۷ ماتریس میانگین نظرات ۶۴ کارشناس (ماتریس تصمیم) آورده شده است. از آنجاکه هرچه میزان کنترل‌پذیری ریسک کمتر باشد، ریسک خطرناک‌تر است. لذا جنس این شاخص منفی بوده و وزن آن بایستی به صورت منفی در نظر گرفته شود.

جدول ۴-۷- ماتریس میانگین نظرات ۶۴ کارشناس در مورد ریسک‌های HSE

ردیف	ریسک	احتمال وقوع (۰/۳۲۹)	شدت اثر (۰/۵۵۶)	میزان کنترل‌پذیری (-۰/۱۱۵)
R1	ریش دیواره نگهبان گودبرداری به دلیل عدم پایداری	(۰/۱ ، ۰/۳۷۲ ، ۰/۷)	(۰/۳ ، ۰/۵۵۳ ، ۰/۹)	(۰/۱ ، ۰/۳۰۰ ، ۰/۵)
R2	صدمه به ساختمان‌های مجاور در اثر ریش دیواره گودبرداری	(۰/۱ ، ۰/۴۰۶ ، ۰/۷)	(۰/۳ ، ۰/۶۵۶ ، ۱)	(۰/۱ ، ۰/۳۹۱ ، ۰/۹)
R3	صدمه به تاسیسات زیرزمینی در هنگام گودبرداری	(۰/۱ ، ۰/۳۷۸ ، ۰/۹)	(۰/۳ ، ۰/۵۷۲ ، ۱)	(۰/۱ ، ۰/۳۰۳ ، ۰/۷)
R4	آتش‌سوزی به دلیل صدمه به تاسیسات گازی در هنگام گودبرداری	(۰/۱ ، ۰/۳۶۹ ، ۰/۷)	(۰/۱ ، ۰/۴۶۶ ، ۰/۹)	(۰/۱ ، ۰/۳۸۸ ، ۰/۹)
R5	سقوط افراد از لبه محل گودبرداری به داخل آن	(۰/۱ ، ۰/۴۳۴ ، ۰/۹)	(۰/۰/۴۹۲ ، ۰/۹)	(۰/۱ ، ۰/۳۱۳ ، ۰/۷)
R6	سقوط ماشین‌آلات سنتگین خاکبرداری به داخل گود	(۰/۱ ، ۰/۴۳۱ ، ۰/۹)	(۰/۱ ، ۰/۵۸۹ ، ۱)	(۰/۱ ، ۰/۳۶۶ ، ۰/۹)
R7	سقوط میلگرد روی پا	(۰/۰/۴۷۷ ، ۰/۹)	(۰/۱ ، ۰/۳۹۱ ، ۰/۷)	(۰/۱ ، ۰/۵۷۸ ، ۰/۹)
R8	آسیب ناشی از شکستن و یا در رفتان سنگ فرز از دستگاه	(۰/۰/۳۵۶ ، ۰/۹)	(۰/۳ ، ۰/۵۷۸ ، ۰/۹)	(۰/۳ ، ۰/۵۶۹ ، ۰/۹)
R9	آسیب بر اثر پرتاب تکه‌های میلگرد در هنگام برش	(۰/۰/۴۶۳ ، ۰/۹)	(۰/۰/۳۸۰ ، ۰/۹)	(۰/۱ ، ۰/۴۴۱ ، ۰/۹)
R10	گیرکردن دست بین چند میلگرد	(۰/۰/۵۵۳ ، ۰/۹)	(۰/۰/۲۵۸ ، ۰/۷)	(۰/۱ ، ۰/۵۶۳ ، ۰/۹)
R11	آسیب بر اثر برخورد با میلگرد	(۰/۰/۲۷۲ ، ۰/۹)	(۰/۰/۳۸۳ ، ۰/۷)	(۰/۱ ، ۰/۳۵۰ ، ۰/۷)

(۰/۱ ، ۰/۴۰۹ ، ۰/۷)	(۰/۱ ، ۰/۴۰۳ ، ۰/۷)	(۰ ، ۰/۱۴۴ ، ۰/۷)	فرو رفتن سیم آرماتوربندی در دست و پا	R۱۲
(۰/۱ ، ۰/۴۴۷ ، ۰/۹)	(۰/۱ ، ۰/۴۰۰ ، ۰/۷)	(۰ ، ۰/۲۳۳ ، ۰/۹)	سقوط قالب هنگام نصب اسکلت بتنی	R۱۳
(۰/۱ ، ۰/۴۴۱ ، ۰/۹)	(۰/۳ ، ۰/۵۳۸ ، ۰/۹)	(۰ ، ۰/۱۵۳ ، ۰/۷)	ریختن بتن روی افراد در هنگام بتن‌ریزی	R۱۴
(۰/۱ ، ۰/۳۰۹ ، ۰/۷)	(۰/۱ ، ۰/۴۵۳ ، ۰/۷)	(۰ ، ۰/۲۹۱ ، ۰/۷)	فرو ریختن داربست فلزی	R۱۵
(۰/۳ ، ۰/۵۴۱ ، ۰/۹)	(۰/۱ ، ۰/۶۸۱ ، ۱)	(۰/۳ ، ۰/۸۲۷ ، ۱)	سقوط افراد از روی داربست و جایگاه‌های کار	R۱۶
(۰/۱ ، ۰/۳۷۲ ، ۰/۹)	(۰/۱ ، ۰/۴۱۶ ، ۰/۷)	(۰ ، ۰/۵۷۵ ، ۱)	برخورد لوله داربست با افراد و ماشین‌آلات	R۱۷
(۰/۱ ، ۰/۴۴۷ ، ۰/۹)	(۰ ، ۰/۱۹۱ ، ۰/۷)	(۰/۳ ، ۰/۶۴۱ ، ۱)	لغزش روی سطح در حین کار	R۱۸
(۰/۱ ، ۰/۴۵۹ ، ۰/۹)	(۰ ، ۰/۴۰۰ ، ۰/۹)	(۰/۱ ، ۰/۵۷۰ ، ۱)	سقوط افراد از پرتگاه‌ها و حفرات موجود	R۱۹
(۰/۱ ، ۰/۳۱۶ ، ۰/۷)	(۰/۱ ، ۰/۶۵۲ ، ۱)	(۰/۳ ، ۰/۷۰۵ ، ۱)	سقوط افراد از روی سقف‌های درحال کار	R۲۰
(۰/۱ ، ۰/۴۸۴ ، ۰/۷)	(۰/۳ ، ۰/۶۸۱ ، ۱)	(۰/۳ ، ۰/۷۵۳ ، ۱)	سقوط افراد از ارتفاع در هنگام جوشکاری	R۲۱
(۰/۳ ، ۰/۵۷۲ ، ۰/۹)	(۰/۱ ، ۰/۳۹۱ ، ۰/۹)	(۰ ، ۰/۳۱۶ ، ۰/۷)	سوختگی در اثر عملیات جوشکاری	R۲۲
(۰/۱ ، ۰/۴۷۵ ، ۰/۹)	(۰/۱ ، ۰/۴۱۳ ، ۰/۷)	(۰ ، ۰/۳۷۷ ، ۰/۹)	لغزیدن و سقوط از روی رمپ راه‌پله (Ramp)	R۲۳
(۰/۱ ، ۰/۵۸۸ ، ۰/۹)	(۰/۱ ، ۰/۵۲۳ ، ۱)	(۰ ، ۰/۵۳۴ ، ۱)	سقوط ابزار کار، اشیا و مصالح از ارتفاع و برخورد با افراد و ماشین‌آلات	R۲۴
(۰/۳ ، ۰/۵۶۳ ، ۰/۹)	(۰/۱ ، ۰/۵۵۶ ، ۰/۹)	(۰ ، ۰/۲۵۲ ، ۰/۷)	آسیب‌دیدگی عابرین از مجاورت کارگاه ساختمانی	R۲۵
(۰/۱ ، ۰/۴۲۲ ، ۰/۹)	(۰/۱ ، ۰/۶۱۹ ، ۰/۹)	(۰ ، ۰/۱۳۰ ، ۰/۷)	سقوط تاور کرین	R۲۶
(۰/۱ ، ۰/۴۱۹ ، ۰/۹)	(۰ ، ۰/۴۴۸ ، ۰/۷)	(۰ ، ۰/۱۰۳ ، ۰/۵)	خروج و سقوط بار از قلاب جرثقیل‌ها و بالابرها	R۲۷
(۰/۱ ، ۰/۳۴۱ ، ۰/۷)	(۰/۳ ، ۰/۶۴۱ ، ۱)	(۰ ، ۰/۲۱۱ ، ۰/۷)	سقوط کل بدن بالابرها الکتریکی	R۲۸
(۰/۱ ، ۰/۳۲۲ ، ۰/۷)	(۰ ، ۰/۵۸۳ ، ۱)	(۰ ، ۰/۱۲۷ ، ۰/۵)	برخورد بازوی جرثقیل با افراد و ساختمان	R۲۹
(۰/۱ ، ۰/۳۳۸ ، ۰/۷)	(۰/۱ ، ۰/۵۴۴ ، ۰/۹)	(۰/۱ ، ۰/۳۷۸ ، ۰/۷)	تصادف ماشین‌آلات با وسایل نقلیه و ماشین‌آلات دیگر و غیره	R۳۰
(۰/۱ ، ۰/۳۰۶ ، ۰/۷)	(۰/۳ ، ۰/۶۱۶ ، ۱)	(۰/۱ ، ۰/۵۱۳ ، ۰/۹)	تصادف وسایل نقلیه و ماشین‌آلات با افراد	R۳۱
(۰/۱ ، ۰/۳۱۹ ، ۰/۷)	(۰/۱ ، ۰/۵۹۱ ، ۰/۹)	(۰/۱ ، ۰/۳۶۹ ، ۰/۷)	واژگونی ماشین‌آلات	R۳۲

(۰/۳، ۰/۷۷۳، ۱)	(۰/۱، ۰/۴۵۹، ۰/۷)	(۰/۳، ۰/۷۳۹، ۱)	آسیب‌دیدن بر اثر رعایت نکردن اصول ارگونومی کار (مانند بلندکردن غیرصحیح بار از روی زمین)	R۳۳
(۰/۱، ۰/۵۸۴، ۱)	(۰/۳، ۰/۶۸۹، ۱)	(۰/۱، ۰/۴۲۲، ۰/۹)	برق گرفتگی (تماس با کابل برق فاقد پوشش و رهاشده در کارگاه، کلید و پریز معموب، نقص در خطوط انتقال برق وغیره)	R۳۴
(۰/۳، ۰/۵۵۶، ۰/۹)	(۰/۳، ۰/۶۴۲، ۱)	(۰/۱، ۰/۴۱۹، ۰/۹)	برق گرفتگی هنگام کار با وسایل برقی به جز جوشکاری	R۳۵
(۰/۳، ۰/۵۳۸، ۰/۹)	(۰/۳، ۰/۷۲۸، ۱)	(۰/۱، ۰/۴۴۱، ۰/۹)	برق گرفتگی هنگام جوشکاری	R۳۶
(۰/۱، ۰/۳۸۴، ۰/۷)	(۰/۳، ۰/۷۸۶، ۱)	(۰/۰/۲۶۴، ۰/۷)	آتش سوزی	R۳۷
(۰/۱، ۰/۴۷۵، ۰/۷)	(۰/۱، ۰/۴۳۸، ۰/۷)	(۰/۱، ۰/۴۶۳، ۰/۹)	بیماری چشمی در اثر عملیات جوشکاری	R۳۸
(۰/۱، ۰/۵۱۹، ۰/۹)	(۰/۰/۱۸۶، ۰/۷)	(۰/۱، ۰/۴۶۹، ۰/۹)	بیماری تنفسی ناشی از مواد شیمیایی (رنگ و مصالح)	R۳۹
(۰/۳، ۰/۵۱۳، ۰/۹)	(۰/۱، ۰/۴۲۵، ۰/۹)	(۰/۳، ۰/۶۴۴، ۱)	بیماری تنفسی ناشی از ذرات معلق (گردخاک، سیمان و...)	R۴۰
(۰/۵، ۰/۷۸۴، ۱)	(۰/۰/۱۳۶، ۰/۵)	(۰/۱، ۰/۴۳۱، ۰/۷)	بیماری‌های پوستی به علت در تماس قرار گرفتن با مصالح بنایی	R۴۱
(۰/۵، ۰/۷۴۲، ۱)	(۰/۰/۱۷۸، ۰/۷)	(۰/۰/۱۸۴، ۰/۷)	بیماری در اثر نوشیدن آب آشامیدنی آلوده در محل کار	R۴۲
(۰/۱، ۰/۷۱۷، ۱)	(۰/۰/۱۷۰، ۰/۷)	(۰/۰/۲۸۰، ۰/۷)	بیماری در اثر نامناسب بودن کیفیت غذا در محل کار	R۴۳
(۰/۳، ۰/۷۷۸، ۱)	(۰/۰/۱۲۲، ۰/۵)	(۰/۰/۱۴۱، ۰/۷)	بیماری در اثر زباله‌های فسادپذیر	R۴۴
(۰/۱، ۰/۳۷۸، ۰/۷)	(۰/۱، ۰/۴۸۸، ۰/۹)	(۰/۱، ۰/۴۱۳، ۰/۷)	آلودگی هوای	R۴۵
(۰/۱، ۰/۳۰۳، ۰/۷)	(۰/۰/۴۱۱، ۰/۷)	(۰/۱، ۰/۴۳۱، ۰/۷)	آلودگی خاک	R۴۶
(۰/۱، ۰/۳۰۶، ۰/۷)	(۰/۰/۱۶۷، ۰/۷)	(۰/۱، ۰/۵۲۸، ۰/۹)	آلودگی صوتی	R۴۷
(۰/۳، ۰/۸۱۹، ۱)	(۰/۱، ۰/۴۴۱، ۰/۷)	(۰/۱، ۰/۴۱۳، ۰/۷)	طوفان و باد شدید	R۴۸
(۰/۱، ۰/۳۰۰، ۰/۵)	(۰/۰/۴۰۳، ۰/۷)	(۰/۰/۳۶۷، ۰/۷)	سیل و باران‌های شدید	R۴۹
(۰/۱، ۰/۳۰۳، ۰/۷)	(۰/۱، ۰/۲۴۴، ۰/۷)	(۰/۰/۱۳۶، ۰/۵)	صاعقه	R۵۰
(۰/۱، ۰/۳۰۶، ۰/۷)	(۰/۰/۱۴۱، ۰/۷)	(۰/۰/۱۳۶، ۰/۵)	تگرگ	R۵۱
(۰/۱، ۰/۳۰۰، ۰/۵)	(۰/۰/۸۵۰، ۱)	(۰/۰/۲۱۹، ۰/۷)	زلزله	R۵۲

در گام بعدی مطابق روابط موجود در بخش ۳-۱۹، ماتریس تصمیم نرمال شده وزنی مطابق جدول ۴-۸ حاصل می‌شود.

جدول ۴-۸- ماتریس تصمیم نرمال شده وزنی

کد	احتمال وقوع	شدت اثر	میزان کنترل پذیری
R1	(۰/۰۳۳، ۰/۱۲۲، ۰/۲۳۰)	(۰/۱۶۷، ۰/۳۰۸، ۰/۵۰۰)	(۰/۰۲۳، ۰/۰۳۸، ۰/۱۱۵)
R2	(۰/۰۳۳، ۰/۱۳۴، ۰/۲۳۰)	(۰/۱۶۷، ۰/۳۶۵، ۰/۵۵۶)	(۰/۰۱۳، ۰/۰۲۹، ۰/۱۱۵)
R3	(۰/۰۳۳، ۰/۱۲۴، ۰/۲۹۶)	(۰/۱۶۷، ۰/۳۱۸، ۰/۵۵۶)	(۰/۰۱۶، ۰/۰۳۸، ۰/۱۱۵)
R4	(۰/۰۳۳، ۰/۱۲۱، ۰/۲۳۰)	(۰، ۰/۲۵۹، ۰/۵۰۰)	(۰/۰۱۳، ۰/۰۳۰، ۰/۱۱۵)
R5	(۰/۰۳۳، ۰/۱۴۳، ۰/۲۹۶)	(۰، ۰/۲۷۴، ۰/۵۰۰)	(۰/۰۱۶، ۰/۰۳۷، ۰/۱۱۵)
R6	(۰/۰۳۳، ۰/۱۴۲، ۰/۲۹۶)	(۰/۰۵۶، ۰/۳۲۸، ۰/۵۵۶)	(۰/۰۱۳، ۰/۰۳۱، ۰/۱۱۵)
R7	(۰، ۰/۱۵۷، ۰/۲۹۶)	(۰/۰۵۶، ۰/۲۱۷، ۰/۳۸۹)	(۰/۰۱۳، ۰/۰۲۰، ۰/۱۱۵)
R8	(۰، ۰/۱۱۷، ۰/۲۹۶)	(۰/۱۶۷، ۰/۳۲۱، ۰/۵۰۰)	(۰/۰۱۳، ۰/۰۲۰، ۰/۰۳۸)
R9	(۰، ۰/۱۵۲، ۰/۲۹۶)	(۰، ۰/۲۱۱، ۰/۵۰۰)	(۰/۰۱۳، ۰/۰۲۶، ۰/۱۱۵)
R10	(۰/۰۹۹، ۰/۱۸۲، ۰/۲۹۶)	(۰، ۰/۱۴۳، ۰/۳۸۹)	(۰/۰۱۳، ۰/۰۲۰، ۰/۱۱۵)
R11	(۰، ۰/۰۸۹، ۰/۲۹۶)	(۰، ۰/۲۱۳، ۰/۳۸۹)	(۰/۰۱۶، ۰/۰۳۳، ۰/۱۱۵)
R12	(۰، ۰/۰۴۷، ۰/۲۳۰)	(۰/۰۵۶، ۰/۲۲۴، ۰/۳۸۹)	(۰/۰۱۶، ۰/۰۲۸، ۰/۱۱۵)
R13	(۰، ۰/۰۷۷، ۰/۲۹۶)	(۰/۰۵۶، ۰/۲۲۲، ۰/۳۸۹)	(۰/۰۱۳، ۰/۰۲۶، ۰/۱۱۵)
R14	(۰، ۰/۰۵۰، ۰/۲۳۰)	(۰/۱۶۷، ۰/۲۹۹، ۰/۵۰۰)	(۰/۰۱۳، ۰/۰۲۶، ۰/۱۱۵)
R15	(۰، ۰/۰۹۶، ۰/۲۳۰)	(۰/۰۵۶، ۰/۲۵۲، ۰/۳۸۹)	(۰/۰۱۶، ۰/۰۳۷، ۰/۱۱۵)
R16	(۰/۰۹۹، ۰/۲۷۲، ۰/۳۲۹)	(۰/۰۵۶، ۰/۳۷۹، ۰/۵۵۶)	(۰/۰۱۳، ۰/۰۲۱، ۰/۰۳۸)
R17	(۰، ۰/۱۸۹، ۰/۳۲۹)	(۰/۰۵۶، ۰/۲۳۱، ۰/۳۸۹)	(۰/۰۱۳، ۰/۰۳۱، ۰/۱۱۵)
R18	(۰/۰۹۹، ۰/۲۱۱، ۰/۳۲۹)	(۰، ۰/۱۰۶، ۰/۳۸۹)	(۰/۰۱۳، ۰/۰۲۶، ۰/۱۱۵)
R19	(۰/۰۳۳، ۰/۱۸۸، ۰/۳۲۹)	(۰، ۰/۲۲۲، ۰/۵۰۰)	(۰/۰۱۳، ۰/۰۲۵، ۰/۱۱۵)
R20	(۰/۰۹۹، ۰/۲۳۲، ۰/۳۲۹)	(۰/۰۵۶، ۰/۳۶۲، ۰/۵۵۶)	(۰/۰۱۶، ۰/۰۳۶، ۰/۱۱۵)
R21	(۰/۰۹۹، ۰/۲۴۸، ۰/۳۲۹)	(۰/۱۶۷، ۰/۳۷۹، ۰/۵۵۶)	(۰/۰۱۶، ۰/۰۲۴، ۰/۱۱۵)
R22	(۰، ۰/۱۰۴، ۰/۲۳۰)	(۰/۰۵۶، ۰/۲۱۷، ۰/۵۰۰)	(۰/۰۱۳، ۰/۰۲۰، ۰/۰۳۸)
R23	(۰، ۰/۱۲۴، ۰/۲۹۶)	(۰/۰۵۶، ۰/۲۲۹، ۰/۳۸۹)	(۰/۰۱۳، ۰/۰۲۴، ۰/۱۱۵)
R24	(۰، ۰/۱۷۶، ۰/۳۲۹)	(۰/۰۵۶، ۰/۲۹۱، ۰/۵۵۶)	(۰/۰۱۳، ۰/۰۲۰، ۰/۱۱۵)
R25	(۰، ۰/۰۸۳، ۰/۲۳۰)	(۰/۰۵۶، ۰/۳۰۹، ۰/۵۰۰)	(۰/۰۱۳، ۰/۰۲۰، ۰/۰۳۸)

(۰/۰۱۳، ۰/۰۲۷، ۰/۱۱۵)	(۰/۰۵۶، ۰/۳۴۴، ۰/۵۰۰)	(۰، ۰/۰۴۳، ۰/۲۳۰)	R۲۶
(۰/۰۱۳، ۰/۰۲۷، ۰/۱۱۵)	(۰، ۰/۲۴۹، ۰/۳۸۹)	(۰، ۰/۰۳۴، ۰/۱۶۵)	R۲۷
(۰/۰۱۶، ۰/۰۳۴، ۰/۱۱۵)	(۰/۱۶۷، ۰/۳۵۶، ۰/۵۵۶)	(۰، ۰/۰۶۹، ۰/۲۳۰)	R۲۸
(۰/۰۱۶، ۰/۰۳۶، ۰/۱۱۵)	(۰، ۰/۳۲۴، ۰/۵۵۶)	(۰، ۰/۰۴۲، ۰/۱۶۵)	R۲۹
(۰/۰۱۶، ۰/۰۳۴، ۰/۱۱۵)	(۰/۰۵۶، ۰/۳۰۲، ۰/۵۰۰)	(۰/۰۳۳، ۰/۱۲۴، ۰/۲۳۰)	R۳۰
(۰/۰۱۶، ۰/۰۳۸، ۰/۱۱۵)	(۰/۱۶۷، ۰/۳۴۲، ۰/۵۵۶)	(۰/۰۳۳، ۰/۱۶۹، ۰/۲۹۶)	R۳۱
(۰/۰۱۶، ۰/۰۳۶، ۰/۱۱۵)	(۰/۰۵۶، ۰/۳۲۸، ۰/۵۰۰)	(۰/۰۳۳، ۰/۱۲۱، ۰/۲۳۰)	R۳۲
(۰/۰۱۲، ۰/۰۱۵، ۰/۰۳۸)	(۰/۰۵۶، ۰/۲۵۵، ۰/۳۸۹)	(۰/۰۹۹، ۰/۲۴۳، ۰/۳۲۹)	R۳۳
(۰/۰۱۲، ۰/۰۲۰، ۰/۱۱۵)	(۰/۱۶۷، ۰/۳۸۳، ۰/۵۵۶)	(۰/۰۳۳، ۰/۱۳۹، ۰/۲۹۶)	R۳۴
(۰/۰۱۳، ۰/۰۲۱، ۰/۰۳۸)	(۰/۱۶۷، ۰/۳۵۷، ۰/۵۵۶)	(۰/۰۳۳، ۰/۱۳۸، ۰/۲۹۶)	R۳۵
(۰/۰۱۳، ۰/۰۲۱، ۰/۰۳۸)	(۰/۱۶۷، ۰/۴۰۵، ۰/۵۵۶)	(۰/۰۳۳، ۰/۱۴۵، ۰/۲۹۶)	R۳۶
(۰/۰۱۶، ۰/۰۳۰، ۰/۱۱۵)	(۰/۱۶۷، ۰/۴۳۷، ۰/۵۵۶)	(۰، ۰/۰۸۷، ۰/۲۳۰)	R۳۷
(۰/۰۱۶، ۰/۰۲۴، ۰/۱۱۵)	(۰/۰۵۶، ۰/۲۴۳، ۰/۳۸۹)	(۰/۰۳۳، ۰/۱۵۲، ۰/۲۹۶)	R۳۸
(۰/۰۱۳، ۰/۰۲۲، ۰/۱۱۵)	(۰، ۰/۱۰۳، ۰/۳۸۹)	(۰/۰۳۳، ۰/۱۵۴، ۰/۲۹۶)	R۳۹
(۰/۰۱۳، ۰/۰۲۲، ۰/۰۳۸)	(۰/۰۵۶، ۰/۲۳۶، ۰/۵۰۰)	(۰/۰۹۹، ۰/۲۱۲، ۰/۳۲۹)	R۴۰
(۰/۰۱۲، ۰/۰۱۵، ۰/۰۲۳)	(۰، ۰/۰۷۶، ۰/۲۷۸)	(۰/۰۳۳، ۰/۱۴۲، ۰/۲۳۰)	R۴۱
(۰/۰۱۲، ۰/۰۱۵، ۰/۰۲۳)	(۰، ۰/۰۹۹، ۰/۳۸۹)	(۰، ۰/۰۶۱، ۰/۲۳۰)	R۴۲
(۰/۰۱۲، ۰/۰۱۶، ۰/۱۱۵)	(۰، ۰/۰۹۵، ۰/۳۸۹)	(۰، ۰/۰۹۲، ۰/۲۳۰)	R۴۳
(۰/۰۱۲، ۰/۰۱۵، ۰/۰۳۸)	(۰، ۰/۰۶۸، ۰/۲۷۸)	(۰، ۰/۰۴۶، ۰/۲۳۰)	R۴۴
(۰/۰۱۶، ۰/۰۳۰، ۰/۱۱۵)	(۰/۰۵۶، ۰/۲۷۱، ۰/۵۰۰)	(۰/۰۳۳، ۰/۱۳۶، ۰/۲۳۰)	R۴۵
(۰/۰۱۶، ۰/۰۳۸، ۰/۱۱۵)	(۰، ۰/۲۲۸، ۰/۳۸۹)	(۰/۰۳۳، ۰/۱۴۲، ۰/۲۳۰)	R۴۶
(۰/۰۱۶، ۰/۰۳۸، ۰/۱۱۵)	(۰، ۰/۰۹۳، ۰/۳۸۹)	(۰/۰۳۳، ۰/۱۷۴، ۰/۲۹۶)	R۴۷
(۰/۰۱۲، ۰/۰۱۴، ۰/۰۳۸)	(۰/۰۵۶، ۰/۲۴۵، ۰/۳۸۹)	(۰/۰۳۳، ۰/۱۳۶، ۰/۲۳۰)	R۴۸
(۰/۰۲۳، ۰/۰۳۸، ۰/۱۱۵)	(۰، ۰/۲۲۴، ۰/۳۸۹)	(۰، ۰/۱۲۱، ۰/۲۳۰)	R۴۹
(۰/۰۱۶، ۰/۰۳۸، ۰/۱۱۵)	(۰/۰۵۶، ۰/۱۳۶، ۰/۳۸۹)	(۰، ۰/۰۴۵، ۰/۱۶۵)	R۵۰
(۰/۰۱۶، ۰/۰۳۸، ۰/۱۱۵)	(۰، ۰/۰۷۸، ۰/۳۸۹)	(۰، ۰/۰۴۵، ۰/۱۶۵)	R۵۱
(۰/۰۲۳، ۰/۰۳۸، ۰/۱۱۵)	(۰/۱۶۷، ۰/۴۷۳، ۰/۵۵۶)	(۰، ۰/۰۷۲، ۰/۲۳۰)	R۵۲

بعد از ساختن ماتریس تصمیم نرمال شده وزنی، با استفاده از روابط (۲۱-۳) و (۲۲-۳)، راه حل ایدهآل مثبت فازی (FPIS) و راه حل ایدهآل منفی فازی (FNIS^A)، حاصل می شود. نتایج در جدول ۴-۹ نشان داده شده است.

جدول ۴-۹- ایدهآل مثبت و منفی

میزان کنترل پذیری	شدت اثر	احتمال وقوع	
(۰/۱۱۵، ۰/۱۱۵، ۰/۱۱۵)	(۰/۵۵۶، ۰/۵۵۶، ۰/۵۵۶)	(۰/۳۲۹، ۰/۳۲۹، ۰/۳۲۹)	ایدهآل مثبت
(۰/۰۱۲، ۰/۰۱۲، ۰/۰۱۲)	(۰، ۰، ۰)	(۰، ۰، ۰)	ایدهآل منفی

با استفاده از روابط (۲۷-۳) و (۳-۲۸)، فاصله هریک از ریسک‌ها نسبت به راه حل ایدهآل مثبت و راه حل ایدهآل منفی، حاصل می‌شود. در نهایت با استفاده از رابطه (۳-۲۵)، ضریب نزدیکی هر ریسک (CC_i) بدست می‌آید. ضریب نزدیکی همان وزن ریسک‌های HSE است که با استفاده از آن، ریسک‌ها، اولویت‌بندی می‌شوند. نتایج در جدول ۴-۱۰ نشان داده شده‌است.

جدول ۴-۱۰- فاصله از ایدهآل مثبت و منفی و ضریب نزدیکی

ضریب نزدیکی (CC_i)	فاصله از ایدهآل منفی	فاصله از ایدهآل مثبت	کد
۰/۵۰۶	۰/۵۶۶	۰/۵۵۴	R1
۰/۵۳۱	۰/۶۱۱	۰/۵۴۰	R2
۰/۵۳۷	۰/۶۳۰	۰/۵۴۴	R3
۰/۴۴۹	۰/۵۳۷	۰/۶۵۹	R4
۰/۴۷۷	۰/۵۸۲	۰/۶۳۷	R5
۰/۵۱۲	۰/۶۲۵	۰/۵۹۷	R6
۰/۴۳۸	۰/۵۱۳	۰/۶۵۸	R7
۰/۴۸۹	۰/۵۵۷	۰/۵۸۳	R8
۰/۴۵۷	۰/۵۶۶	۰/۶۷۴	R9
۰/۴۳۹	۰/۵۰۸	۰/۶۵۰	R10
۰/۴۱۵	۰/۴۹۶	۰/۶۹۹	R11
۰/۳۹۸	۰/۴۵۸	۰/۶۹۲	R12
۰/۴۲۳	۰/۴۹۸	۰/۶۷۹	R13
۰/۴۷۵	۰/۵۴۶	۰/۶۰۵	R14
۰/۴۱۷	۰/۴۷۵	۰/۶۶۴	R15
۰/۵۵۲	۰/۶۵۹	۰/۵۳۵	R16
۰/۴۵۹	۰/۵۴۳	۰/۶۴۰	R17

•/۴۴۷	•/۵۲۶	•/۶۰۲	R۱۸
•/۴۸۱	•/۵۹۶	•/۶۴۴	R۱۹
•/۵۶۵	•/۶۸۵	•/۶۲۷	R۲۰
•/۶۰۲	•/۷۰۵	•/۴۶۵	R۲۱
•/۴۱۳	•/۴۷۹	•/۶۷۹	R۲۲
•/۴۳۴	•/۵۰۸	•/۶۹۲	R۲۳
•/۵۰۹	•/۶۳۹	•/۶۱۷	R۲۴
•/۴۳۱	•/۴۹۹	•/۶۵۹	R۲۵
•/۴۵۷	•/۵۴۸	•/۶۰۱	R۲۶
•/۳۶۸	•/۴۲۴	•/۷۲۹	R۲۷
•/۵۰۸	•/۵۹۳	•/۵۷۵	R۲۸
•/۴۳۵	•/۵۳۱	•/۶۹۰	R۲۹
•/۴۷۳	•/۵۵۳	•/۶۱۵	R۳۰
•/۵۵۳	•/۶۴۸	•/۵۲۴	R۳۱
•/۴۷۹	•/۵۶۰	•/۶۰۸	R۳۲
•/۴۷۴	•/۵۲۹	•/۵۸۷	R۳۳
•/۵۵۱	•/۶۵۱	•/۵۳۱	R۳۴
•/۵۲۲	•/۵۹۹	•/۵۴۸	R۳۵
•/۵۳۵	•/۶۱۶	•/۵۳۵	R۳۶
•/۵۳۰	•/۶۲۲	•/۵۵۳	R۳۷
•/۴۵۲	•/۵۲۰	•/۶۳۱	R۳۸
•/۴۰۸	•/۴۸۶	•/۷۰۴	R۳۹
•/۴۹۴	•/۵۷۱	•/۵۸۵	R۴۰
•/۳۰۲	•/۳۳۱	•/۷۸۲	R۴۱
•/۳۲۶	•/۳۷۶	•/۷۷۷	R۴۲
•/۳۶۶	•/۴۳۴	•/۷۵۲	R۴۳
•/۲۸۲	•/۳۱۶	•/۸۰۷	R۴۴
•/۴۶۸	•/۵۴۶	•/۶۲۱	R۴۵
•/۴۱۸	•/۴۸۰	•/۶۶۷	R۴۶

۰/۴۱۴	۰/۴۹۲	۰/۶۹۵	R۴۷
۰/۳۹۹	۰/۴۳۹	۰/۶۶۰	R۴۸
۰/۴۰۷	۰/۴۷۲	۰/۶۸۷	R۴۹
۰/۳۵۴	۰/۴۰۰	۰/۷۳۰	R۵۰
۰/۳۳۴	۰/۳۸۹	۰/۷۷۵	R۵۱
۰/۵۳۷	۰/۶۳۴	۰/۵۴۷	R۵۲

در پایان لیست اولویت‌بندی شده‌ای از خطرات HSE پروژه مطابق جدول ۱۱ بدست می‌آید. در این جدول ریسک‌ها از پرخطر به کم خطر مرتب شده‌اند.

جدول ۱۱- لیست اولویت‌بندی شده‌ای از ریسک‌های HSE پروژه

ردیف	نام ریسک	توضیحات
۱	R۲۱	۰/۶۰۲
۲	R۲۰	۰/۵۶۵
۳	R۲۱	۰/۵۵۳
۴	R۱۶	۰/۵۵۲
۵	R۳۴	۰/۵۵۱
۶	R۵۲	۰/۵۳۷
۷	R۳	۰/۵۳۷
۸	R۳۶	۰/۵۳۵
۹	R۲	۰/۵۳۱
۱۰	R۳۷	۰/۵۳۰
۱۱	R۳۵	۰/۵۲۲
۱۲	R۶	۰/۵۱۲
۱۳	R۲۴	۰/۵۰۹
۱۴	R۲۸	۰/۵۰۸
۱۵	R۱	۰/۵۰۶
۱۶	R۴۰	۰/۴۹۴

•/۴۸۹	R۸	۱۷
•/۴۸۱	R۹	۱۸
•/۴۷۹	R۱۰	۱۹
•/۴۷۷	R۱۱	۲۰
•/۴۷۵	R۱۲	۲۱
•/۴۷۴	R۱۳	۲۲
•/۴۷۳	R۱۴	۲۳
•/۴۶۸	R۱۵	۲۴
•/۴۶۹	R۱۶	۲۵
•/۴۵۷	R۱۷	۲۶
•/۴۵۷	R۱۸	۲۷
•/۴۵۲	R۱۹	۲۸
•/۴۴۹	R۲۰	۲۹
•/۴۴۷	R۲۱	۳۰
•/۴۳۹	R۲۲	۳۱
•/۴۳۸	R۲۳	۳۲
•/۴۳۵	R۲۴	۳۳
•/۴۳۴	R۲۵	۳۴
•/۴۳۱	R۲۶	۳۵
•/۴۲۳	R۲۷	۳۶
•/۴۱۸	R۲۸	۳۷
•/۴۱۷	R۲۹	۳۸
•/۴۱۵	R۳۰	۳۹
•/۴۱۴	R۳۱	۴۰
•/۴۱۳	R۳۲	۴۱
•/۴۰۸	R۳۳	۴۲
•/۴۰۷	R۳۴	۴۳

۰/۳۹۹	R۴۸	۴۴
۰/۳۹۸	R۱۲	۴۵
۰/۳۶۸	R۲۷	۴۶
۰/۳۶۶	R۴۳	۴۷
۰/۳۵۴	R۵۰	۴۸
۰/۳۳۴	R۵۱	۴۹
۰/۳۲۶	R۴۲	۵۰
۰/۳۰۲	R۴۱	۵۱
۰/۲۸۲	R۴۴	۵۲

فصل پنجم: ارزیابی و تجزیه و

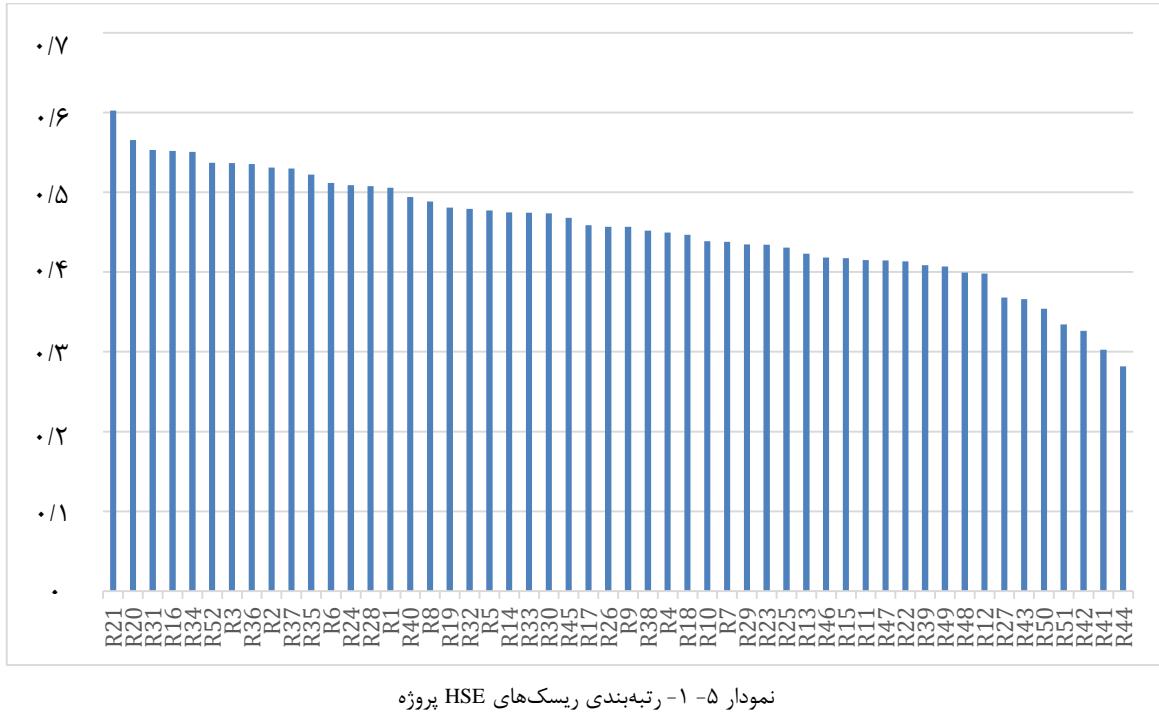
تحلیل

-۵- مقدمه

در این فصل نتایج حاصله مورد ارزیابی و تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرد. در بخش دوم فصل، نتایج حاصله تجزیه و تحلیل شده و خطرناک‌ترین ریسک پروژه شناسایی می‌گردد. در بخش ۳، نحوه طبقه‌بندی ریسک‌های HSE، ارائه شده است. در بخش ۴، نتایج حاصله از این پایان‌نامه با پیشینه پژوهش مورد مقایسه قرار می‌گیرد. در بخش ۵، استراتژی‌ها و راهکارهای مهندسی جهت کاهش اثر ریسک‌های اصلی پروژه مطابق استاندارد ISO ۴۵۰۰۱ آورده شده است. در پایان این فصل نیز (بخش ۶)، به سوالات پایان‌نامه، پاسخ داده می‌شود.

-۵-۲- ارزیابی و تجزیه و تحلیل نتایج

نتایج حاصل از رتبه‌بندی ریسک‌های HSE با استفاده از روش Fuzzy Topsis در نمودار ۵-۱ نشان داده شده است.



همانطور که در نمودار ۵-۱ مشخص است، خطرناک‌ترین ریسک HSE در پروژه مطالعه موردي، ریسک سقوط افراد از ارتفاع در هنگام جوشکاری با وزن ۶۰۰/۰، هست. در جایگاه بعدی، ریسک سقوط افراد از روی سقف‌های در حال کار قرار دارد. بنابراین مدیریت پروژه با استی ریسک‌های مربوط به سقوط را در اولویت قرار داده و با اخذ استراتژی‌های مناسب و بودجه لازم نسبت به کاهش آنها اقدام کند. البته در ادامه پایان‌نامه استراتژی‌هایی برای کاهش چند ریسک پر خطر ارائه می‌گردد. با توجه به نمودار بالا، ریسک بیماری در اثر زباله‌های فسادپذیر با وزن ۲۸۰/۰ به عنوان کم‌خطرترین ریسک شناسایی گردید.

۳-۵- طبقه‌بندی ریسک‌های HSE

برای داشتن دید روشن‌تر و همچنین مدیریت بهتر ریسک‌های HSE بهتر است که ریسک‌ها را به سطوح مختلفی تقسیم‌بندی کرد و یا به عبارت دیگر آنها را طبقه‌بندی نمود. برای طبقه‌بندی ریسک‌ها در این پژوهش با مطالعه ادبیات موضوع و با نظر کارشناسان، از ۳ طبقه بحرانی، متوسط و غیربحرانی مطابق جدول ۵-۱ استفاده شده‌است. محدوده ریسک‌ها با نظر کارشناسان انتخاب شده‌اند.

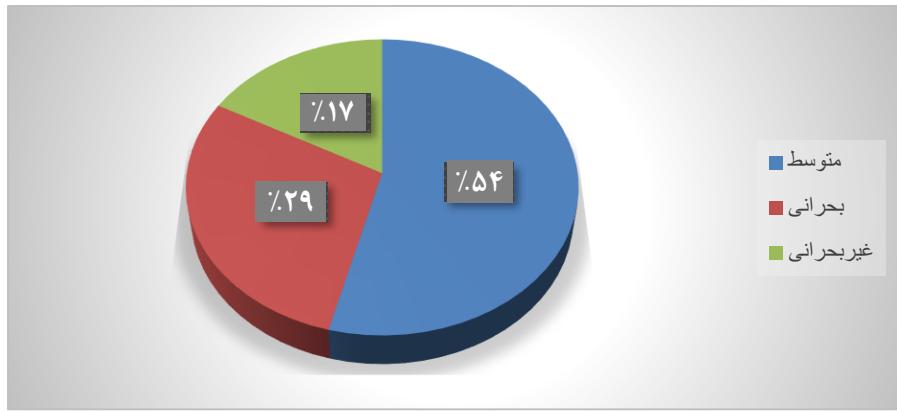
جدول ۵-۱- طبقه‌بندی ریسک‌های HSE پژوهه

طبقه ریسک	تعریف	محدوده ریسک
غیر بحرانی	قابل قبول: ریسک‌های موجود در این طبقه کم خطر بوده و ریسک تحت نظارت و کنترل است	$0/4 \geq$
متوسط	قابل بررسی: ریسک قابل تحمل است ولی زمینه و دلایلی برای نگرانی وجود دارد لذا در اسرع وقت بایستی اقدامات لازم جهت کنترل ریسک بهانجام رسد	$0/0 - 4/5$
بحرانی	غیرقابل قبول: ریسک‌های موجود در این طبقه پر خطر بوده و اقدامات اصلاحی فوری برای کنترل خطر مورد نیاز است	$0/5 \leq$

با توجه به جدول بالا، ۹ مورد از ریسک‌های HSE جزو طبقه غیربحرانی، ۲۸ مورد از ریسک‌های HSE جزو طبقه متوسط و ۱۵ مورد از ریسک‌های HSE جزو طبقه بحرانی، دسته‌بندی شدند. تفکیک ریسک‌ها با توجه به جدول به جدول بالا در جدول ۵-۲ و نمودار ۵-۲ آورده شده‌است.

جدول ۵-۲- تفکیک ریسک‌های HSE پژوهه با توجه به سطوح ریسک

طبقه ریسک	تعداد ریسک‌ها	درصد
غیر بحرانی	۹	۱۷٪.
متوسط	۲۸	۵۴٪.
بحرانی	۱۵	۲۹٪



نمودار ۵-۲- تفکیک ریسک‌های HSE پرتوزه با توجه به سطوح ریسک

ریسک‌های طبقه بحرانی در جدول ۵-۳ آورده شده‌است.

جدول ۵-۳- ریسک‌های بحرانی پرتوزه

ردیف	ردیف	ردیف	ردیف	ردیف
ردیف	ردیف	ردیف	ردیف	ردیف
۱	۲۱	۲	۲۰	۳
۲	۲۱	۳	۲۱	۴
۳	۲۰	۴	۱۶	۵
۴	۲۱	۵	۲۴	۶
۵	۲۰	۶	۵۲	۷
۶	۲۱	۷	۳	۸
۷	۲۰	۸	۳۶	۹
۸	۲۱	۹	۲	۱۰
۹	۲۰	۱۰	۳۷	۱۱
۱۰	۲۱	۱۱	۳۵	۱۲
۱۱	۲۰	۱۲	۶	۱۳
۱۲	۲۱	۱۳	۲۴	۱۴
۱۳	۲۰	۱۴	۲۸	۱۵
۱۴	۲۱	۱۵	۱	

ریسک‌های با سطح متوسط در جدول ۵-۴ آورده شده است.

جدول ۵-۴- ریسک‌های متوسط پژوهش

ردیف نزدیکی (CC _i)	ریسک	کد	رتبه
۰/۴۹۴	بیماری تنفسی ناشی از ذرات معلق (گردخاک، سیمان و ...)	R40	۱۶
۰/۴۸۹	آسیب ناشی از شکستن و یا در رفتان سنگ فرز از دستگاه	R8	۱۷
۰/۴۸۱	سقوط افراد از پرتگاه‌ها و حفرات موجود	R19	۱۸
۰/۴۷۹	واژگونی ماشین‌آلات	R32	۱۹
۰/۴۷۷	سقوط افراد از لبه محل گودبرداری به داخل آن	R5	۲۰
۰/۴۷۵	ریختن بتن روی افراد در هنگام بتن‌ریزی	R14	۲۱
۰/۴۷۴	آسیبدیدن بر اثر رعایت نکردن اصول ارجونومی کار (مانند بلندکردن غیرصحیح بار از روی زمین)	R33	۲۲
۰/۴۷۳	تصادف ماشین‌آلات با وسایل نقلیه و ماشین‌آلات دیگر و غیره	R30	۲۳
۰/۴۶۸	بیماری در اثر زباله‌های فسادپذیر	R45	۲۴
۰/۴۵۹	برخورد لوله داربست با افراد و ماشین‌آلات	R17	۲۵
۰/۴۵۷	سقوط تاور کرین	R26	۲۶
۰/۴۵۷	آسیب بر اثر پرتاب تکه‌های میلگرد در هنگام برش	R9	۲۷
۰/۴۵۲	بیماری چشمی در اثر عملیات جوشکاری	R38	۲۸
۰/۴۴۹	آتش‌سوزی به دلیل صدمه به تاسیسات گازی در هنگام گودبرداری	R4	۲۹
۰/۴۴۷	لغزش روی سطح در حین کار	R18	۳۰
۰/۴۳۹	گیر کردن دست بین چند میلگرد	R10	۳۱
۰/۴۳۸	سقوط میلگرد روی پا	R7	۳۲
۰/۴۳۵	برخورد بازوی جرثقیل با افراد و ساختمان	R29	۳۳
۰/۴۳۴	لغزیدن و سقوط از روی رمپ راه‌پله (Ramp)	R23	۳۴
۰/۴۳۱	آسیبدیدگی عابرین از مجاورت کارگاه ساختمانی	R25	۳۵
۰/۴۲۳	سقوط قالب هنگام نصب اسکلت بتنی	R13	۳۶
۰/۴۱۸	آلودگی خاک	R46	۳۷
۰/۴۱۷	فرو ریختن داربست فلزی	R15	۳۸

۰/۴۱۵	آسیب بر اثر برخورد با میلگرد	R11	۳۹
۰/۴۱۴	آلودگی صوی	R47	۴۰
۰/۴۱۳	سوختگی در اثر عملیات جوشکاری	R22	۴۱
۰/۴۰۸	بیماری تنفسی ناشی از مواد شیمیایی (رنگ و مصالح)	R39	۴۲
۰/۴۰۷	سیل و باران‌های شدید	R49	۴۳

ریسک‌های طبقه غیربحرانی در جدول ۵-۵ آورده شده است. این دسته از ریسک‌ها برای مدیریت پروژه قابل قبول بوده و نیازی به اقدامات اصلاحی خاصی ندارند.

جدول ۵-۵- ریسک‌های غیر بحرانی پروژه

ضریب نزدیکی (CC _i)	ریسک	کد ریسک	رتبه
۰/۳۹۹	طوفان و باد شدید	R48	۴۴
۰/۳۹۸	فرو رفتن سیم آرماتوریندی در دست و پا	R12	۴۵
۰/۳۶۸	خروج و سقوط بار از قلاب جرثقیل‌ها و بالابرها	R27	۴۶
۰/۳۶۶	بیماری در اثر نامناسب بودن کیفیت غذا در محل کار	R43	۴۷
۰/۳۵۴	صاعقه	R50	۴۸
۰/۳۳۴	تگرگ	R51	۴۹
۰/۳۲۶	بیماری در اثر نوشیدن آب آشامیدنی آلوده در محل کار	R42	۵۰
۰/۳۰۲	بیماری‌های پوستی به علت در تماس قرار گرفتن با مصالح بنایی	R41	۵۱
۰/۲۸۲	بیماری در اثر زباله‌های فسادپذیر	R44	۵۲

۴-۵- بحث و مقایسه نتایج با پیشینه پژوهش

نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که ۱۵ ریسک بحرانی در پروژه مورد مطالعه وجود دارد که از بین آنها ریسک سقوط افراد از ارتفاع در هنگام جوشکاری با وزن ۰/۶۰۲ به عنوان خطرناک‌ترین ریسک پروژه شناسایی گردید. همانطور که گفته شد، ریسک‌های بحرانی جزو ریسک‌های پر خطر بوده و مدیریت پروژه بایستی هرچه سریع‌تر با اخذ استراتژی‌های مناسب، نسبت به کاهش آنها اقدام کند. اقدامات اصلاحی بایستی به گونه‌ای باشند که پس از اجرای آنها و ارزیابی مجدد، ریسک‌های موجود در این طبقه، در طبقات پایین‌تر قرار بگیرند. نتایج حاصله از این پژوهش تا حدودی با نتایج تحقیقات پیشین از جمله امین‌بخش و همکاران (۲۰۱۳)، مهاجری و اردشیر (۱۳۹۵) و ال‌انبری و همکاران (۲۰۱۵) هم خوانی دارد. در این تحقیقات نیز ریسک سقوط از ارتفاع به عنوان خطرناک‌ترین ریسک این‌نمی‌شناسایی گردید. تفاوت عمده این پژوهش با تحقیقات فوق الذکر در

فضای محاسبات پژوهش است. همان‌طور که می‌دانیم عدم قطعیت جزء جدایی‌ناپذیر مدیریت ریسک به حساب می‌آید. فضای محاسبات در تحقیقات مذکور، قطعی در نظر گرفته شده است. در حالیکه در این پژوهش، محاسبات در بستر منطق فازی صورت گرفته است که سبب شده نتایج حاصله با دقت بیشتری بدست آید. تفاوت دیگر این است که مطالعات مذکور براساس استاندارد ۱۸۰۰۱ OHSAS انجام شده‌اند ولی پژوهش جاری براساس استاندارد جدید ۱ ISO ۴۵۰۰۱ صورت گرفته است. آخرین تفاوت مربوط به شاخص‌های ارزیابی ریسک می‌باشد. ارزیابی ریسک در این پژوهش براساس ۳ شاخص ۱-احتمال وقوع-۲-شدت اثر و ۳-میزان کنترل‌پذیری انجام شده است ولی در تحقیقات مذکور، ارزیابی ریسک براساس ۲ شاخص احتمال وقوع و شدت اثر ریسک صورت گرفته است. بنابراین می‌توان گفت که نتایج حاصل از این تحقیق با واقعیت پژوهه نزدیک‌تر است. این موضوع با مصاحبه از چند نفر از کارشناسان حوزه HSE در رابطه با میزان دقت نتایج بدست‌آمده از این پژوهش، به تایید رسید.

۵-۵- تدوین استراتژی‌ها و راهکارهای مهندسی جهت کاهش ریسک‌های اصلی پژوهه

در این مرحله اقدامات اصلاحی برای ریسک‌های طبقه بحرانی و با توجه به اولویت‌بندی آنها پیشنهاد می‌شود تا به طبقه متوسط و غیربحارانی نائل شوند. با توجه به سیاست کلی پژوهش در جهت کاهش ریسک‌های بحرانی، این دسته از ریسک‌ها باید تا پایین‌ترین حدی که از لحاظ عملی امکان‌پذیر است مدیریت شوند. استاندارد ۱ ISO ۴۵۰۰۱ یک رویکرد پیشگیرانه نسبت به کنترل ریسک اتخاذ می‌کند، تأکید دارد که قبل از وقوع حادث بایستی پیشگیری‌های لازم انجام شود. مطابق نتایج بدست آمده از جدول ۵-۳ تعداد ۱۵ ریسک به عنوان ریسک‌های بحرانی شناسایی گردید. استراتژی‌های کاهش ریسک را می‌توان به ۲ دسته ۱- استراتژی‌های عمومی و ۲- استراتژی‌های اختصاصی تقسیم‌بندی کرد. در استراتژی‌های عمومی، اقدامات اصلاحی‌ای ارائه می‌شود که می‌توان آنها را برای کاهش ریسک‌های یک یا چند طبقه انجام داد. به عبارت دیگر اقدامات اصلاحی عمومی بر روی طبقه‌ای از ریسک‌های HSE تأثیرگذار است. در این پژوهش، اقدامات اصلاحی عمومی زیر برای کاهش ریسک‌های طبقه بحرانی پیشنهاد می‌گردد:

۱- فرهنگ‌سازی ایمنی: با بررسی‌های انجام‌شده در ریسک‌های بحرانی متوجه شدیم بسیاری از این ریسک‌ها به دلیل فقر فرهنگ ایمنی و عدم استفاده یا استفاده نادرست از تجهیزات ایمنی بوجود می‌آیند. مثلاً در کارگاه ساختمانی، مشاهده شد که کارگری به دلیل اینکه مورد تمسخر دیگران واقع نشود از وسایل حفاظت فردی استفاده نمی‌کرد. این مصدق کامل ضعف فرهنگ ایمنی است. چراکه هر فرد می‌تواند با بالا بردن فرهنگ ایمنی، در کاهش اثر ریسک‌ها بسیار مؤثر باشد. بنابراین برای کاهش بسیاری از این ریسک‌ها باید فرهنگ ایمنی در پژوهه‌های ساختمانی افزایش یابد.

۲- افزایش آگاهی مسئولین: علاوه بر فرهنگ ایمنی، عدم آگاهی مسئولین کارگاه از خطرات شغلی و عوامل زیان‌آور محیطی باعث بسیاری از حوادث جبران‌ناپذیر می‌شود. بنابراین پیشنهاد می‌گردد که جلسات توجیهی برای مسئولین کارگاه به همراه کارشناسان HSE برگزار گردد.

- ۳- اجرای آموزش‌های دوره‌ای: علاوه بر جلسات توجیهی، پیشنهاد می‌گردد که دوره‌های آموزش سلامت، ایمنی و محیط‌زیست عمومی برای کلیه کارکنان شرکت برگزار گردد. و فرد شاغل در کارگاه در هر رده و سمتی باید نسبت به رعایت ایمنی متعهد گردد.
- ۴- برگزاری مانورهای آموزشی و قرار دادن پرسنل در شرایط عملیاتی بصورت متناسب: با برگزاری مانورهای مختلف می‌توان واکنش بهتری در صورت وقوع احتمالی ریسک‌هایی مانند زلزله و آتش‌سوزی داشت.
- ۵- نگهداری و تعمیرات دوره‌ای: نگهداری و تعمیرات دوره‌ای ابزار کار، تجهیزات و ماشین‌آلات، تأثیر بسزایی در پیشگیری از وقوع ریسک‌های HSE دارد.
- ۶- بازرسی‌های ایمنی دوره‌ای: این اقدام نیز با هدف کشف نقاط قوت و ضعف ایمنی کارگاه، تأثیر بسزایی در پیشگیری از وقوع ریسک‌های HSE دارد.
- ۷- چکاپ سرپایی پرسنل و استفاده از مواد ضدغونه کننده: این اقدام جهت بررسی سلامت پرسنل ضروری است تا از بوجود آمدن تبعات جبران‌ناپذیر آن جلوگیری بعمل آید.
- ۸- نظافت محیط کارگاه: در رابطه با نظافت محیط کارگاه بایستی به موارد زیر توجه کرد:
- کف کارگاه و تجهیزات قابل حمل باید بصورت مناسبی تمیز شده و عاری از خردۀ ذرات، گرد و غبار و دیگر مواد لغزende خطرناک باشد مسئولیت این امر به عهده ناظران مربوطه هست.
 - راهروها و معبرها باید عاری از خطر لغزیدن باشد.
 - میخ‌های بیرون‌زده از تخته و الوارها برداشته شود.
 - زمین‌های عبور و مرور یخ‌زده باید یخ‌زدائی شود، که امکان خطر لیز خوردن ایجاد نشود. اگر نتوان به طور کامل یخ‌زدائی کرد، باید توسط شن یا مواد قابل قبول دیگر، خطر لیز خوردن را کاهش داد.
 - مواد زائد و آشغال‌ها، باید در ظروف مخصوص نگهداری شود و نباید آشغال‌ها جمع شوند و حداقل یکبار در هر شیفت یا اگر لازم شد به دفعات بیشتری از محل خارج شود.
 - ماشین‌آلات باید از گریس و روغن اضافی و گرد و غبار پاک باشند.
- ۹- تجهیزات حفاظت فردی: زمانی که آسیب‌های بدنی پرسنل را تهدید می‌کند، باید با استفاده از تجهیزات حفاظت فردی، محافظت از تمام بدن را برای پرسنل فراهم آورد. نمونه‌ای از تجهیزات حفاظت فردی در شکل ۵-۱ نشان داده شده است.



شکل ۵-۱- تجهیزات حفاظت فردی

استراتژی‌های اختصاصی، شامل اقدامات اصلاحی اختصاصی است که بایستی جهت کاهش یک ریسک بحرانی بکار برده شود. در این پژوهش، برای چند ریسک بحرانی ابتدایی لیست، اقدامات اصلاحی اختصاصی زیر پیشنهاد می‌گردد:

- سقوط افراد از ارتفاع در هنگام جوشکاری و سقوط افراد از روی سقف‌های درحال کار و سقوط افراد از روی داربست و جایگاه‌های کار
- در صورتی که ارتفاع سقوط از ۱۲۰ سانتیمتر بیشتر شود استفاده از نرده‌های حفاظتی اطراف ساختمان و لبه داربست‌ها با ارتفاع حداقل ۹۰ سانتیمتر و حداقل ۱۱۰ سانتیمتر و همچنین اطراف راه‌پله‌ها با ارتفاع حداقل ۷۵ سانتی‌متر و حداقل ۸۵ سانتی‌متر الزامی هست.
- برای کلیه کارهایی از قبیل جوشکاری، آرماتوربندی، قالب‌بندی و یا هر نوع کار دیگر در ارتفاع که امکان تعییه سازه‌های حفاظتی برای جلوگیری از سقوط کارگران وجود نداشته باشد، استفاده از کمربند ایمنی الزامی است.
- هنگام استفاده از نرديان باید آن را بازرسی و راه‌پله را تمیزکاری کرد تا عاری از مواد روغنی و لغزنده شوند.
- داربست‌ها باید مجهز به نرده‌های حفاظتی باشند.
- کار در ارتفاع هنگام باد شدید، طوفان و بارش برف و باران مجاز نمی‌باشد.
- از شوخي کردن در لبه پرتگاه‌ها و سکوهاي کار جدا خودداری شود.
- نقاط باز شده در روی سقف‌ها باید با محافظ و علامت‌های هشداردهنده باشند.

- روی داکت‌ها و بازشوها با استفاده از مصالح مقاوم از سربوش حفاظتی استفاده شود.
- سکوی کار باید از الوارهایی با ضخامت ۵ سانتیمتر و عرض ۲۵ سانتیمتر باشد و در کنار هم محکم بسته شوند.
- تخته‌ها باید دارای سایز یکسان باشند. تخته‌ها بایستی به لوله‌های داربست زیرین و نیز از دو انتهای آن بسته شوند.
- تخته‌ها بایستی کاملاً صاف و فاقد انحصار باشند.
- داربست باید در فاصله‌های مناسب در دو جهت عمودی و افقی محکم به ساختمان مهار شود و همچنین پایه‌ها باید به طور محکم مهار شوند تا مانع نوسان و لغزیدن داربست گردد.
- هنگام کار روی داربست استفاده از حفاظ بالای سر الزامی است.
- لوله داربست را نباید رنگ کرد، زیرا موجب پنهان ماندن نقاط معیوب آن خواهد شد. لوله کج شدگی و یا فرورفتگی نداشته باشد. قطر خارجی لوله داربست، باید ۵ سانتیمتر باشد.
- طول نردهبان یک طرفه باید از ۱۰ متر بیشتر شود و ارتفاع نردهبان دوطرفه باید از ۳ متر بیشتر شود.
- استفاده از جعبه و بشکه در زیر نردهبان به عنوان سکوی کار مجاز نمی‌باشد.
- هنگام قالب‌بندی باید از مهار قالب‌ها و جک‌ها اطمینان حاصل کرد.
- تصادف وسایل نقلیه و ماشین‌آلات با افراد
- کلیه رانندگان یا متصدیان ماشین‌آلات و تجهیزات ساختمانی باید آموزش‌های لازم در مورد نحوه کار با این وسایل را فراگرفته و دارای پروانه مهارت فنی یا گواهینامه ویژه از مراجع ذیربیط باشند.
- برای تمامی ماشین‌آلات و تجهیزات، کارت مشخصات، نحوه راهاندازی و نکات ایمنی طراحی بر روی کاغذ زرد چاپ و در محل دستگاه و در دید کامل اپراتور قرار گرفته شود.
- ماشین‌آلات باید در جای مناسب قرار گیرند تا حمل و نقل در کارگاه با سهولت انجام گیرد.
- ماشین‌آلات نباید در نقاطی پارک و مورد استفاده قرار گیرند که خطر لغزش ماشین، وجود داشته باشد.
- علاوه بر متصدی یا راننده بهتر است که یک نفر کمک متصدی یا علامت‌دهنده نیز وجود داشته باشد.
- از ایستادن بین ماشین‌آلات حین تخلیه بار پرهیز شود.
- راننده در زمان جابجایی و نصب، حق خروج از کابین جرثقیل را ندارد.
- راننده حق ندارد از شخص دیگر به جای خود استفاده نماید.
- راننده نباید به دستگاه شوک وارد نماید.
- ماشین‌آلات بایستی قبل از شروع به کار کنترل شود. (شیلنگ‌های هیدرولیک، سیم بکسل‌ها، زیر بار قرار نگرفتن افراد)، سپس راننده می‌تواند دستگاه را روشن کند.
- مسیرهای عبور باید علامت‌گذاری شود تا رفت و آمد کارگران جهت حمل و انتقال مواد به راحتی صورت گیرد.
- در جاهایی که کارهای حمل و نقل انجام می‌شود، مثل بلندکردن و جابجایی بار، باید محوطه تمیز و ایمن باشد و مسیر دور زدن برای ماشین‌آلات وجود داشته باشد و هیچ مانعی که منجر به ایجاد حادثه شود،

- ناید در مسیرها موجود باشد. همچنین این محل‌ها با علامت مشخص شوند و افراد در این محل‌ها تردد نکنند.
- مسیرهای عبور و مرور باید نظافت‌شده و عاری از خطر لغزیدن باشند.
 - جای ماشین‌آلات باید طوری باشد که تعمیر و سرویس آن به راحتی صورت گیرد.
 - باید ماشین‌آلات در حال تعمیر یا نظافت را توسط نوارهای زرد با خطوط مشکی به پهنای ۲ تا ۳ اینچ مشخص کرد.
- برق‌گرفتگی (تماس با کابل برق فاقد پوشش و رهاسده در کارگاه، کلید و پریز معیوب، نقص در خطوط انتقال برق و غیره)، برق‌گرفتگی هنگام جوشکاری، برق‌گرفتگی هنگام کار با وسایل برقی
- یک تماس جزئی با سیم یا وسایل برقی انسان را به سرعت نابود می‌کند و چنانچه مسیر برق‌گرفتگی از سمت چپ بدن یا از سمت سر باشد، خطرناک‌تر است.
 - تمامی دستگاه‌های برقی باید دارای سیم ارت باشند. از آنجائی که مقاومت سیم در برابر جریان برق از مقاومت بدن انسان کمتر است، چنانچه دستگاه برقی بوسیله یک سیم به زمین وصل شود، جریان برق از طریق این سیم به زمین منتقل خواهد شد.
 - قبل از بکارگیری کلیه تجهیزات الکتریکی باید از صحت عایق‌بندی الکتریکی قسمت‌های برق‌دار آنها اطمینان حاصل شود.
 - هیچ‌یک از تجهیزات الکتریکی بخصوص سیم‌ها و هادی‌ها نباید در معرض عوامل شیمیایی خورنده، گازها، بخارات، رطوبت، مواد قابل اشتعال و انفجار، مایعات یا عوامل دیگر قرار گیرند؛ مگر اینکه به‌طور مشخص برای کار در چنین محیط‌هایی طراحی و ساخته شده باشند.
 - تابلوهای برق، جعبه تقسیم‌ها و نظایر آن باید به‌گونه‌ای نصب شود که از نفوذ و تجمع آب در داخل آنها جلوگیری شود.
 - سیم‌کشی‌های موقت باید در ارتفاع مناسبی نصب و یا به روش مطمئن دیگری استفاده شود تا از تماس تصادفی افراد و تجهیزات با آنها جلوگیری گردد.
 - دستگاه‌های الکتریکی سیار باید دارای دسته‌هایی از جنس عایق باشند.
 - کلیه تجهیزات جوشکاری و برشکاری ثابت یا سیار و همچنین قطعات کار باید به سیستم اتصال به زمین متصل باشند.
 - از هر کابل فقط یک انشعاب گرفته شود.
 - استفاده از وسایل دستی برقی در زمانی که در داخل آب ایستاده‌اید و یا در هنگام باران و برف مجاز نمی‌باشد.
 - سیم‌های برق نباید در محل‌های خیس قرار داشته باشند.
 - جوشکاران نباید هرگز در هنگام جوشکاری شیلنگ‌ها و سیم‌ها را به دور بدن خود بپیچند.
 - گیره‌های الکترود جوشکاری باید مجهز به عایق مناسب باشد.
 - هیچ‌گاه همزمان از دو دست خود برای کار با وسیله برقی استفاده نشود، کار کردن با دست راست بهتر از

دست چپ است.

- سیم‌ها و کابل‌های برق باید دارای روپوش عایق‌دار مناسب باشد. خرابی عایق سیم‌ها و کابل‌ها باعث از بین رفتن سیم‌کشی‌ها و اتصال مصرف‌کننده‌ها به ولتاژ غیرعادی می‌شود که درنتیجه خطرات بعدی را به‌دنبال خواهدداشت.
- هیچ‌گاه دو شاخه را با کشیدن کابل از پریز جدا نکنید.
- از به‌کار بردن سیم‌ها و کابل‌های نرم، و بخصوص با طول غیر لازم خودداری کنید. بطور قطع وجود چنین کابلی در روی میز کار یا زیر پا می‌تواند خطرآفرین باشد.
- چنانچه سیم دستگاه برقی آسیب‌دیده و سطح خارجی آن از بین رفته و یا ریش ریش شده‌است، هرگز نباید از آن استفاده کنید.
- کابل‌های برق که در مسیر عبور و مرور وسایل نقلیه هستند، حتماً باید از درون یک لوله یا چیزی شبیه آن عبور داده‌شوند.
- به‌طور کلی تمام سیم‌ها، کابل‌ها، اتصال‌های مسیر جریان برق بایستی به‌طور منظم و مرتبت کنترل شوند، به‌گونه‌ای که آنها بدون عیب و نقص باشند.
- خطوط هوایی برق فشار ضعیف مجاور ساختمان باید با مواد مناسب از قبیل لوله‌های پلی‌اتیلن یا شیلنگ‌های لاستیکی روکش شوند.
- فیوزهای سوخته را برای استفاده مجدد، سیم‌پیچی نکنید.
- هنگام بکار بردن ماشین‌آلات و تجهیزات ساختمانی در نزدیکی خطوط برق باید مراتب به اطلاع مسئولان و مراجع ذی‌ربط رسانده شود تا اقدامات احتیاطی از قبیل قطع جریان برق یا روکش کردن خطوط انجام شود.
- وسایل گرم‌کننده برقی بایستی استاندارد باشد و استفاده از وسایل برقی دست‌ساز مجاز نیست.
- کف‌پوش عایق جهت عایق‌کردن مضاعف، در مکان‌هایی که احتمال خطر برق‌گرفتگی وجود دارد، استفاده‌گردد. از قبیل:

 ۱. جاهایی که مقاومت زمین به‌علت مقدار رطوبت پایین است.
 ۲. جاهایی که احتمال ولتاژ بالای ۶۰۰ ولت وجود دارد.
 ۳. جاهایی که تعمیرات برقی در آنجا صورت می‌گیرد.

- توجه داشته باشید که آتش‌سوزی ناشی از برق را فقط باید با گاز یا پودر خاموش نمود، استفاده از آب خطرناک است.

۶-۵- پاسخ به سوالات پژوهش

- ۱ ریسک‌های HSE پژوهه کدامند؟ این ریسک‌ها را براساس چه شاخص‌هایی می‌توان رتبه‌بندی کرد؟ از طریق مصاحبه با کارشناسان و کارگران، بازدیدهای میدانی و مرور ادبیات موضوع، ساختار جامعی از ریسک‌های اینمی پژوهه بدست‌آمد و شاخص‌های ارزیابی ریسک تعیین شدند. در مطالعه موردی، ۵۲ ریسک HSE (مطابق شکل ۴-۲) و ۳ شاخص احتمال وقوع، شدت اثر و میزان کنترل‌پذیری شناسایی شدند.
- ۲ خطرناک‌ترین ریسک‌های HSE پژوهه کدامند؟ طبق جدول ۵-۱۵ مورد از ریسک‌های HSE پژوهه جزو ریسک‌های بحرانی بوده که نام آنها در جدول مذکور آورده شده‌است.
- ۳ بهمنظور کاهش اثر ریسک‌های اصلی پژوهه از کدام استراتژی‌ها و راهکارهای مهندسی می‌توان بهره‌برد؟ در بخش ۵-۵ اقدامات اصلاحی بهمنظور کاهش چند ریسک بحرانی ابتدای لیست، پیشنهاد گردید. در بخش مربوطه در مورد این اقدامات اصلاحی بهطور کامل بحث گردید.
- ۴ در راستای پیاده‌سازی استراتژی‌های پاسخ به ریسک‌های پژوهه چه ضعف‌ها و محدودیت‌هایی وجود دارد؟ در پاسخ به این سؤال می‌توان گفت که قصور مدیریت در ایجاد فضای امن، سهل‌انگاری در آموزش، ضعف فرهنگ اینمی پرسنل و همچنین عدم تمايل مدیریت به هزینه‌کردن در راستای ارتقای اینمی کارگاه از جمله موانع بسیار مهم در راستای پیاده‌سازی اقدامات اصلاحی، قلمداد می‌شوند.

فصل ششم: نتیجه‌گیری و

پیشنهادات

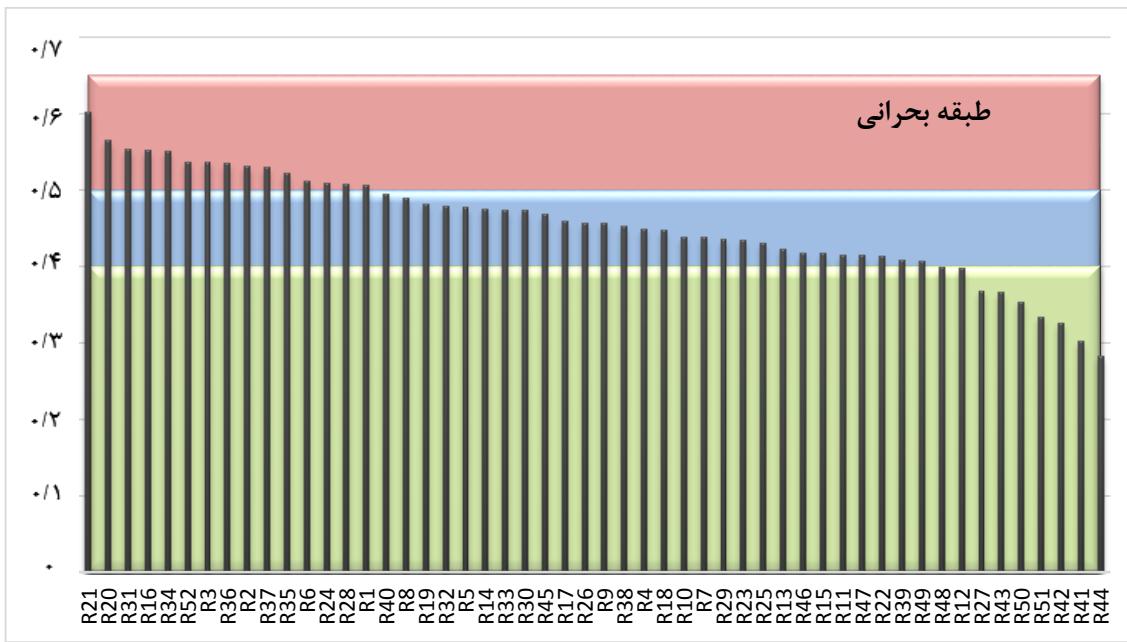
۶-۱ جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

هدف از انجام این پژوهش، ارائه چارچوبی منسجم با توجه به استاندارد ISO ۴۵۰۰۱، جهت ارزیابی ریسک‌های HSE در پروژه‌های ساخت بوده که به بررسی جامع انواع ریسک‌های ایمنی می‌پردازد. چارچوب کلی این مطالعه، بدین صورت است که نخست بامطالعه پیشینه تحقیق و ادبیات موضوع، درک کاملی از فرآیند انجام پژوهش بدستمی آید. در گام بعد، از طریق مصاحبه با کارشناسان و کارگران، بازدیدهای میدانی و مرور ادبیات موضوع، ساختار جامعی از ریسک‌های ایمنی پروژه بدست آمد و شاخص‌های ارزیابی ریسک تعیین شدند. در مطالعه موردی، ۵۲ ریسک HSE و ۳ شاخص احتمال وقوع، شدت اثر و میزان کنترل‌پذیری شناسایی و تعیین شدند.

در مرحله بعدی، پرسشنامه‌ای در دو بخش تدوین گردید. هدف در بخش اول پرسشنامه بدست آوردن اهمیت نسبی شاخص‌های ارزیابی ریسک با استفاده از نظر کارشناسان است تا بتوان وزن هر یک از شاخص‌ها را محاسبه نمود. هدف در بخش دوم پرسشنامه بدست آوردن وضعیت هر کدام از ریسک‌های ایمنی نسبت به هریک از شاخص‌های ایمنی با استفاده از نظر کارشناسان است. در این راستا، تعداد ۶۴ پرسشنامه تهیه و در بین افراد جامعه آماری توزیع و اطلاعات ثبت گردید. سپس با استفاده از روش AHP، وزن هریک از شاخص‌های ارزیابی به ترتیب زیر بدست آمد:

- ۱- وزن شاخص احتمال وقوع: ۰/۳۲۹
- ۲- وزن شاخص شدت اثر: ۰/۵۵۶
- ۳- وزن شاخص میزان کنترل‌پذیری: ۰/۱۱۵

سپس نظرات جامعه آماری در مورد وضعیت ریسک‌های HSE نسبت به هریک از شاخص‌های ارزیابی از طریق پرسشنامه جمع‌آوری گردید. این نظرات بصورت عدد فازی مثلثی و مطابق با جداول موجود در بخش ۱۶-۳، کمی‌سازی شدند. درنهایت با استفاده از روش Fuzzy-Topsis، وزن ریسک‌های HSE محاسبه شده و در ۳ دسته طبقه بحرانی، طبقه متوسط و طبقه غیر بحرانی، طبقه‌بندی گردیدند. نتایج حاصل شده، نشان داد که ۹ مورد از ریسک‌های HSE جزو طبقه غیر بحرانی، ۲۸ مورد از ریسک‌های HSE جزو طبقه متوسط و ۱۵ مورد از ریسک‌های HSE جزو طبقه بحرانی هستند. در این میان، ریسک سقوط افراد از ارتفاع در هنگام جوشکاری با وزن ۰/۶۰۲ به عنوان خطرناک‌ترین ریسک پروژه و ریسک بیماری در اثر زباله‌های فساد‌پذیر با وزن ۰/۲۸۲ به عنوان کم خطرترین ریسک پروژه شناسایی شدند. ریسک سقوط افراد از روی سقف‌های در حال کار نیز با وزن ۰/۵۶۵ در رتبه دوم لیست قرار گرفت. از نتایج بدست آمده می‌توان فهمید که ریسک‌های ایمنی سقوط از ارتفاع بحرانی‌ترین ریسک‌های پروژه بوده نتایج حاصل از رتبه‌بندی ریسک‌های HSE پروژه به همراه طبقه‌بندی آنها در شکل ۶-۱ نشان داده شده است.



شکل ۶-۱ - رتبه‌بندی ریسک‌های HSE پرتوزه به همراه طبقه‌بندی آنها

به منظور بررسی دقیق و صحت روشن پژوهش، از چند نفر از کارشناسان حوزه HSE در رابطه با نتایج بدست آمده از این پژوهش، اظهار نظر شد. پس از انجام مصاحبه با هر یک از آنان، کلیه کارشناسان نتایج رتبه‌بندی را متفق القول تائید کردند و اعلام نمودند که نتایج حاصله با واقعیت‌های مشاهده شده توسط ایشان مطابقت دارد.

در پایان نیز اقدامات اصلاحی به منظور کاهش چند ریسک بحرانی ابتدای لیست، پیشنهاد گردید. مدیریت پرتوزه می‌تواند نتایج حاصله از این پژوهش را به عنوان یک مبنای علمی جهت پیاده‌سازی استراتژی‌های کاهش ریسک‌های HSE در پرتوزه قرار دهد. با بررسی‌های انجام شده در ریسک‌های بحرانی متوجه شدیم بسیاری از این ریسک‌ها به دلیل فقر فرهنگ ایمنی و عدم استفاده یا استفاده نادرست از تجهیزات ایمنی و فقدان آموزش بوجود می‌آیند. چه بسا ریسکی مانند سقوط از ارتفاع هنگام کار با استفاده از کمربند ایمنی تا حد زیادی کاهش می‌یابد. بنابراین افزایش سطح فرهنگ ایمنی و آموزش بسیار مهم تلقی می‌شود.

۶-۲ - ارائه پیشنهادات برای پژوهش‌های آینده

-۱ می‌توان با مبنای قراردادن این پژوهش و معرفی پارامتری به نام ضربی ایمنی (Safety Index)، وضعیت ایمنی کارگاه ساختمانی را در هرماه مورد بررسی قرار داد. بدین صورت که ابتدا شاخص‌هایی تعریف کرد نظیر:

- ۱- تعداد وقوع ریسک‌های اصلی و بیماری‌های شغلی در ماه.
- ۲- تعداد راهکارها و رفتارهای ایمنی در ماه

۳- تعداد شرایط بالقوه ایجاد خطر در ماه

...و

سپس شاخص ایمنی را برای هرماه در کارگاه ساختمانی، محاسبه کرده و وضعیت ایمنی کارگاه را نسبت به گذشته مورد بررسی قرار داد.

-۲ می‌توان میزان تأثیرگذاری ریسک‌های بحرانی استخراج شده از این پژوهش را در تأخیرات بوجود آمده در اجرای پروژه بررسی کرد. و مشخص کرد که این ریسک‌ها چه تاثیراتی در برنامه زمانبندی پروژه و تخصیص منابع به وجود می‌آورند.

-۳ در مطالعات آینده، می‌توان با یک تغییر جزئی در روش پژوهش، از آن در دیگر زمینه‌های مهندسی (نظیر پروژه‌های راهسازی، سدسازی، ساخت نیروگاه و ...) برای ارزیابی ریسک‌های HSE استفاده نمود.

-۴ تاثیر ارتقاء سطح فرهنگ ایمنی در جهت کاهش ریسک‌های HSE در کارگاه‌های عمرانی

۷- مراجع

اردشیر، ع.، مکنون، ر.، رکاب اسلامی زاده، م.، و جهانتاب، ز.، (۱۳۹۴)، ارزیابی خطرهای HSE در ساخت‌وسازهای بلند مرتبه شهری با رویکرد فازی. بهداشت و ایمنی کار، ۵(۲)، ۱۳-۱. حبیبی، آ.، (۱۳۹۵)، آموزش کاربردی SPSS، ویرایش چهارم، نشر الکترونیک پارس مدیر. امیری، م.، دارستانی فراهانی، ا.، محبوب قدسی، م.، (۱۳۹۵)، تصمیم‌گیری چندمعیاره، انتشارات دانشگاهی کیان، تهران، چاپ اول.

جهانگیری، م.، نوروزی م.ا.، (۱۳۹۱)، مدیریت و ارزیابی ریسک، انتشارات فن‌آوران، تهران، چاپ اول. قدسی‌پور، س.ح.، (۱۳۸۱)، مباحثی در تصمیم‌گیری چند معیاره، انتشارات دانشگاه امیر کبیر، تهران، چاپ سوم. مهاجری، م.، و اردشیر، ع. (۱۳۹۵). تجزیه و تحلیل ریسک‌های ایمنی پروژه‌های ساختمانی با استفاده از روش یکپارچه-AHP. نشریه مهندسی عمران امیرکبیر، ۴۸(۳)، ۲۲۶-۲۱۷.

مهرگان، م.، (۱۳۸۳)، پژوهش عملیاتی پیشرفته، انتشارات کتاب دانشگاهی، تهران، چاپ اول.

Al-Anbari, S., Khalina, A., Alnuaimi, A., Normariah, A., & Yahya, A. (2015). Risk assessment of safety and health (RASH) for building construction. Process Safety and Environmental Protection, 94, 149-158.

Aminbakhsh, S., Gunduz, M., & Sonmez, R. (2013). Safety risk assessment using analytic hierarchy process (AHP) during planning and budgeting of construction projects. Journal of Safety Research, 46, 99-105.

Ardeshir, A., Alipouri, Y., & Besmel, P. (2014). A Survey of Factors Influencing Safety Performance of workers in Construction Sites Using Fuzzy Analytic Hierarchy Process (Case Study: Khuzestan province). Journal of IOH, 11(6), 64-74.

Awolusi, I. G. & Marks, E. D. (2017). Safety Activity Analysis Framework to Evaluate Safety Performance in Construction. Journal of Construction Engineering and Management, 143(3), 11-24.

Chen, C.-T. (2000). Extensions of the TOPSIS for group decision-making under fuzzy environment. Fuzzy Sets and Systems, 114(1), 1-9.

- Chen, C.-T., Lin, C.-T., & Huang, S.-F. (2006). A fuzzy approach for supplier evaluation and selection in supply chain management. *International Journal of Production Economics*, 102(2), 289-301.
- Cheng, C.-H. (1998). A new approach for ranking fuzzy numbers by distance method. *Fuzzy Sets and Systems*, 95(3), 307-317.
- Choudhry, R. M. (2017). Achieving safety and productivity in construction projects, *Journal of Civil Engineering and Management* 23(2), 311–318.
- Cochran W. (1977). *Sampling Techniques* 3rd Edition, Wiley publishers, New York.
- Gunduz, M., Birgonul T., Ozdemir, M. (2018). Development of a safety performance index assessment tool by using a fuzzy structural equation model for construction sites, *Automation in Construction* 85, 124–134.
- Hughes, P. & Ferrett, E. (2007). *Introduction to Health and Safety in Construction*, Second edition, Butterworth-Heinemann, Oxford.
- Hwang, C. L. & Yoon, K. (1981). *Methods for Multiple Attribute Decision Making*, 1st edition, Springer, Berlin.
- Jelena, M.A., Da-Gang, L. (2016). Risk assessment of bridges under multiple hazards in operation period. *Safety Science*, 83(2016):80-92.
- Kahraman, C. (2008). *Fuzzy Multi-Criteria Decision Making*. 1st edition, Springer, Boston.
- Khosravi, Y., Asilian Mahabadi, H., Hajizadeh, E., Farshad, N., Arghami, S. & Bastani, H. (2014). Why construction workers involve in unsafe behaviors? Part A: A qualitative research. *Iran Occupational Health Journal*, 11(1), 55-69.
- Khosravizade, A. & Sharifipour, M. (2016). Subway risks assessment in different construction stages using AHP and TOPSIS. *Indian Journal of Science and Technology*, 8(7), 1-9.
- Okoye, P. U. (2018). Occupational Health and Safety Risk Levels of Building Construction Trades in Nigeria. *Construction Economics and Building*, 18(2), 92-109.
- Rao, R. V. & Davim, J. P. (2008). Decision-Making Framework Models for Material Selection Using a Combined Multiple Attribute Decision-Making Method, *J. of Adv Manufacturing Technology*, 35, 751-760.
- Saaty, T.L. (2008). Decision making with the analytic hierarchy process. *Int. J. Services Sciences*, 1, 83-98.
- Samantra, C., Datta, S. & Mahapatra, S. S. (2017). Analysis of occupational health hazards and associated risks in fuzzy environment: a case research in an Indian underground coal mine. *International Journal of Injury Control and Safety Promotion*, 24(3), 311-327.
- Schieg, M. (2006). Risk Management in Construction Project Management. *Journal of Business Economics and Management*, 7(2), 77-83.
- Shannon, C.E. (1948). A mathematical theory of communication. *Bell System Tech. J.* 27, 379–423.
- Tzeng, G. H., Huang, J. J. (2011). *Multiple attribute decision making: methods and applications*, 1st edition, Chapman and Hall/CRC, New York.
- Wang, Z. Z. & Chen, C. (2017). Fuzzy comprehensive Bayesian network-based safety risk assessment for metro construction projects. *Tunneling and Underground Space Technology*, 70, 330-342.
- Zadeh, L. A. (1965). Fuzzy sets. *Information and Control*, 8(3), 338-353.
- Zadeh, L. A. (1978). Fuzzy sets as a basis for a theory of possibility. *Fuzzy Sets and Systems*, 1(1), 3-28.
- Zimmermann, H. J. (1996). *Fuzzy Set Theory and Its Applications*. Third edition, Springer, Netherland.

۸- پیوست‌ها: پرسشنامه ارزیابی ریسک‌های HSE

یسمه تعالی

با سلام و احترام؛

پرسشنامه زیر در ۲ بخش، به منظور انجام پژوهشی با عنوان ارائه رویکردی جهت ارزیابی ریسک‌های بهداشتی، ایمنی و محیط‌زیست (HSE) با استفاده از روش تصمیم‌گیری چند معیاره (MCDM) در محیط فازی تهیه شده است. پاسخ شما صاحب نظر گرامی، امر مهمی در تکمیل اطلاعات و تجزیه و تحلیل آن محاسب می‌شود. لذا با تخصیص زمان ارزشمندانه با دقت آن را تکمیل تماشید. پیش‌آمد از همکاری صمیمانه شما سپاسگزاری می‌شود.

جنسیت	سن	تحصیلات	سابقه خدمت (سال)

راهنمای بخش اول پرسشنامه

در بخش اول پرسشنامه قصد بر این است که میزان اهمیت هر یک از شاخص‌های ارزیابی ریسک تسبت به یکدیگر سنجیده شود. این شاخص‌های ارزیابی ریسک عبارتند از: ۱- احتمال وقوع ریسک ۲- شدت اثر ریسک ۳- میزان کنترل‌پذیری ریسک. برای انجام مقایسه زوجی از اعداد ۱، ۲، ۳، ...، ۹ مطابق جدول زیر استفاده کنید.

ارزش ترجیحی	وضعیت مقایسه ۲ شاخص ۱ و ۲	توضیح
۱	اهمیت برابر	۲ شاخص اهمیت برابر دارد
۳	تبیت مهمنتر	شاخص ۱ تسبت به شاخص ۲ کمی مهمنتر است
۵	مهمنتر	شاخص ۱ تسبت به شاخص ۲ مهمنتر است
۷	خیلی مهمنتر	شاخص ۱ تسبت به شاخص ۲ خیلی مهمنتر است
۹	کاملاً مهمن	شاخص ۱ کاملاً مهمنتر از شاخص ۲ بوده و قابل مقایسه با ۲ است
۲،۴،۶،۸		ارزش‌های میانی بین ارزش‌های ترجیحی را تantan می‌دهد. متلا ۸، بیانگر اهمیتی زیادتر از ۷ و کمتر از ۹ برای شاخص ۱ است

میزان کنترل‌پذیری ریسک	شدت اثر ریسک	احتمال وقوع ریسک	
		۱	احتمال وقوع ریسک
	۱		شدت اثر ریسک
۱			میزان کنترل‌پذیری ریسک

راهنمای بخش دوم پرسشنامه

در بخش دوم پرسشنامه قصد بر این است که وضعیت ریسک‌های ایمنی در هر یک از شاخص‌های پژوهش (۱- احتمال وقوع ریسک ۲- شدت اثر ریسک ۳- میزان کنترل‌پذیری ریسک) مورد بررسی قرار بگیرد. بدین صورت که اگر از نظر شما میزان احتمال وقوع ریسک بیشتر باشد و یا اگر میزان شدت اثر پیامدهای تاشی از وقوع احتمالی ریسک بیشتر باشد، ریسک خطرناک‌تر است اما اگر میزان کنترل‌پذیری ریسک بیشتر باشد، ریسک کم‌خطرتر است.

کد ریسک	ریسک‌های ایمنی	شاخص‌های ارزیابی	وضعیت هرگدام از ریسک‌های ایمنی از نظر هر یک از شاخص‌های ارزیابی
R1	دیزش دیواره تکهبان گود برداری به دلیل عدم پایداری	احتمال وقوع ریسک شدت اثر ریسک میزان کنترل‌پذیری ریسک	احتمال وقوع ریسک
			شدت اثر ریسک
			میزان کنترل‌پذیری ریسک
R2	صدمه به ساختمان‌های مجاور در اثر ریزش دیواره گودبرداری	احتمال وقوع ریسک شدت اثر ریسک میزان کنترل‌پذیری ریسک	احتمال وقوع ریسک
			شدت اثر ریسک
			میزان کنترل‌پذیری ریسک
R3	صدمه به تاسیسات زیرزمینی در هنگام گودبرداری	احتمال وقوع ریسک شدت اثر ریسک میزان کنترل‌پذیری ریسک	احتمال وقوع ریسک
			شدت اثر ریسک
			میزان کنترل‌پذیری ریسک
R4	آتش‌سوزی به دلیل صدمه به تاسیسات گازی در هنگام گودبرداری	احتمال وقوع ریسک شدت اثر ریسک میزان کنترل‌پذیری ریسک	احتمال وقوع ریسک
			شدت اثر ریسک
			میزان کنترل‌پذیری ریسک
R5	سقوط افراد از لبه محل گودبرداری به داخل آن	احتمال وقوع ریسک شدت اثر ریسک میزان کنترل‌پذیری ریسک	احتمال وقوع ریسک
			شدت اثر ریسک
			میزان کنترل‌پذیری ریسک
R6	سقوط ماشین آلات ستگین خاکبرداری به داخل گود	احتمال وقوع ریسک شدت اثر ریسک میزان کنترل‌پذیری ریسک	احتمال وقوع ریسک
			شدت اثر ریسک
			میزان کنترل‌پذیری ریسک
R7	سقوط میگرد روی پا	احتمال وقوع ریسک شدت اثر ریسک میزان کنترل‌پذیری ریسک	احتمال وقوع ریسک
			شدت اثر ریسک
			میزان کنترل‌پذیری ریسک
R8	آسیب تاشی از شکستن و یا در رفتن سنگ فرز از دستگاه	احتمال وقوع ریسک شدت اثر ریسک میزان کنترل‌پذیری ریسک	احتمال وقوع ریسک
			شدت اثر ریسک
			میزان کنترل‌پذیری ریسک

وضعیت هرکدام از ریسک‌های ایمنی از نظر هریک از شاخص‌های ارزیابی					شاخص‌های ارزیابی	ریسک‌های ایمنی	کد ریسک
۱	۲	۳	۴	۵			
					احتمال وقوع ریسک	آسیب بر آتر پرتاپ تکمه‌های میلگرد در هنگام برش	R9
					شدت آتر ریسک		
					میزان کنترل‌پذیری ریسک		
					احتمال وقوع ریسک	گیر کردن دست بین چند میلگرد	R10
					شدت آتر ریسک		
					میزان کنترل‌پذیری ریسک		
					احتمال وقوع ریسک	آسیب بر آتر برخورد با میلگرد	R11
					شدت آتر ریسک		
					میزان کنترل‌پذیری ریسک		
					احتمال وقوع ریسک	فرو رفتن سیم آرماتوریندی در دست و پا	R12
					شدت آتر ریسک		
					میزان کنترل‌پذیری ریسک		
					احتمال وقوع ریسک	سقوط قالب هنگام تصب اسکلت بتنی	R13
					شدت آتر ریسک		
					میزان کنترل‌پذیری ریسک		
					احتمال وقوع ریسک	ریختن بتن روی افراد در هنگام بتن ریزی	R14
					شدت آتر ریسک		
					میزان کنترل‌پذیری ریسک		
					احتمال وقوع ریسک	فرو ریختن داریست فلزی	R15
					شدت آتر ریسک		
					میزان کنترل‌پذیری ریسک		
					احتمال وقوع ریسک	سقوط افراد از روی داریست و جایگاه‌های کار	R16
					شدت آتر ریسک		
					میزان کنترل‌پذیری ریسک		
					احتمال وقوع ریسک	برخورد لوله داریست با افراد و ماشین‌آلات	R17
					شدت آتر ریسک		
					میزان کنترل‌پذیری ریسک		
					احتمال وقوع ریسک	لغزش روی سطح در حین کار	R18
					شدت آتر ریسک		
					میزان کنترل‌پذیری ریسک		

کد ریسک	ریسک‌های ایمنی	شاخص‌های ارزیابی	وضعیت هرکدام از ریسک‌های ایمنی از تظر هریک از شاخص‌های ارزیابی
R19	سقوط افراد از پرتابه‌ها و حفرات موجود	احتمال وقوع ریسک	
		شدت اثر ریسک	
		میزان کنترل‌پذیری ریسک	
R20	سقوط افراد از روی سقف‌های درحال کار	احتمال وقوع ریسک	
		شدت اثر ریسک	
		میزان کنترل‌پذیری ریسک	
R21	سقوط افراد از ارتفاع در هنگام جوشکاری	احتمال وقوع ریسک	
		شدت اثر ریسک	
		میزان کنترل‌پذیری ریسک	
R22	سوختگی در اثر عملیات جوشکاری	احتمال وقوع ریسک	
		شدت اثر ریسک	
		میزان کنترل‌پذیری ریسک	
R23	لغزیدن و سقوط از روی رمپ راه پله (Ramp)	احتمال وقوع ریسک	
		شدت اثر ریسک	
		میزان کنترل‌پذیری ریسک	
R24	سقوط ابزار کار، اشیا و مصالح از ارتفاع و برخورد با افراد و ماشین‌آلات	احتمال وقوع ریسک	
		شدت اثر ریسک	
		میزان کنترل‌پذیری ریسک	
R25	آسیب دیدگی عابرین از مجاورت کارگاه ساختمانی	احتمال وقوع ریسک	
		شدت اثر ریسک	
		میزان کنترل‌پذیری ریسک	
R26	سقوط تاور گرین	احتمال وقوع ریسک	
		شدت اثر ریسک	
		میزان کنترل‌پذیری ریسک	
R27	خروج و سقوط بار از قلاب حرثه‌ها و بالابرها	احتمال وقوع ریسک	
		شدت اثر ریسک	
		میزان کنترل‌پذیری ریسک	
R28	سقوط کل بدته بالابرها کتریکی	احتمال وقوع ریسک	
		شدت اثر ریسک	
		میزان کنترل‌پذیری ریسک	

کد ریسک	ریسکهای ایمنی	شاخص‌های ارزیابی	وضعیت هر کدام از ریسک‌های ایمنی از نظر هریک از شاخص‌های ارزیابی
R29	برخورد بازوی جرثقیل با افراد و ساختمان	احتمال وقوع ریسک	
		شدت اثر ریسک	
		میزان کنترل‌پذیری ریسک	
R30	تصادف ماشین‌آلات با وسایل تقلیه و ماشین‌آلات دیگر وغیره	احتمال وقوع ریسک	
		شدت اثر ریسک	
		میزان کنترل‌پذیری ریسک	
R31	تصادف وسایل تقلیه و ماشین‌آلات با افراد	احتمال وقوع ریسک	
		شدت اثر ریسک	
		میزان کنترل‌پذیری ریسک	
R32	واژگوتی ماشین‌آلات	احتمال وقوع ریسک	
		شدت اثر ریسک	
		میزان کنترل‌پذیری ریسک	
R33	آسیب‌دیدن بر اثر رعایت تکردن اصول ارگوتومی کار (ماتند بلندکردن غیرصحیح بار از روی زمین)	احتمال وقوع ریسک	
		شدت اثر ریسک	
		میزان کنترل‌پذیری ریسک	
R34	برق گرفتگی (تماس با کابل برق فاقد پوشش و رهاشده در کارگاه، کلید و پریز) معیوب، نقص در خطوط انتقال برق وغیره)	احتمال وقوع ریسک	
		شدت اثر ریسک	
		میزان کنترل‌پذیری ریسک	
R35	برق گرفتگی هنگام کار با وسایل برقی به جز جوشکاری	احتمال وقوع ریسک	
		شدت اثر ریسک	
		میزان کنترل‌پذیری ریسک	
R36	برق گرفتگی هنگام جوشکاری	احتمال وقوع ریسک	
		شدت اثر ریسک	
		میزان کنترل‌پذیری ریسک	
R37	آتش سوزی	احتمال وقوع ریسک	
		شدت اثر ریسک	
		میزان کنترل‌پذیری ریسک	
R38	بیماری چشمی در اثر عملیات جوشکاری	احتمال وقوع ریسک	
		شدت اثر ریسک	
		میزان کنترل‌پذیری ریسک	

کد ریسک	ریسکهای اینمنی	شاخص‌های ارزیابی	وضعیت هر کدام از ریسک‌های اینمنی از نظر هر یک از شاخص‌های ارزیابی
R39	بیماری تنفسی تاشی از مواد شیمیایی (رتگ و مصالح)	احتمال وقوع ریسک	از نظر هر یک از شاخص‌های ارزیابی
		شدت اثر ریسک	
		میزان کنترل پذیری ریسک	
R40	بیماری تنفسی تاشی از ذرات معلق (گردخاک، سیمان و -)	احتمال وقوع ریسک	
		شدت اثر ریسک	
		میزان کنترل پذیری ریسک	
R41	بیماری‌های پوستی به علت در تماس قرار گرفتن با مصالح بنایی	احتمال وقوع ریسک	
		شدت اثر ریسک	
		میزان کنترل پذیری ریسک	
R42	بیماری در اثر توشیدن آب آشامیدتی آلوده در محل کار	احتمال وقوع ریسک	
		شدت اثر ریسک	
		میزان کنترل پذیری ریسک	
R43	بیماری در اثر تامناصب بودن کیفیت غذا در محل کار	احتمال وقوع ریسک	
		شدت اثر ریسک	
		میزان کنترل پذیری ریسک	
R44	بیماری در اثر زیالمهای فسادپذیر	احتمال وقوع ریسک	
		شدت اثر ریسک	
		میزان کنترل پذیری ریسک	
R45	آلودگی هوا	احتمال وقوع ریسک	
		شدت اثر ریسک	
		میزان کنترل پذیری ریسک	
R46	آلودگی خاک	احتمال وقوع ریسک	
		شدت اثر ریسک	
		میزان کنترل پذیری ریسک	
R47	آلودگی صوتی	احتمال وقوع ریسک	
		شدت اثر ریسک	
		میزان کنترل پذیری ریسک	
R48	طوفان و باد شدید	احتمال وقوع ریسک	
		شدت اثر ریسک	
		میزان کنترل پذیری ریسک	

وضعیت هرکدام از ریسک‌های ایمنی از تظر هریک از شاخص‌های ارزیابی					شاخص‌های ارزیابی	ریسک‌های ایمنی	کد ریسک
۱. ویرایش	۲.	۳. نحوه	۴. نتیجه	۵. تغییر			
					احتمال وقوع ریسک	سیل و باران‌های شدید	R49
					شدت اثر ریسک		
					میزان کنترل‌پذیری ریسک		
					احتمال وقوع ریسک	صاعقه	R50
					شدت اثر ریسک		
					میزان کنترل‌پذیری ریسک		
					احتمال وقوع ریسک	تگرگ	R51
					شدت اثر ریسک		
					میزان کنترل‌پذیری ریسک		
					احتمال وقوع ریسک	زلزله	R52
					شدت اثر ریسک		
					میزان کنترل‌پذیری ریسک		

Abstract:

The construction industry is at the forefront of eventful activities in most countries of the world. Therefore, in construction projects, having the accurate approach to safety risk management is considered vital. The purpose of this study is to provide a coherent framework for identifying HSE risks and evaluating them in construction projects, based on the ISO 45001:2018. The importance of this research is because, in most projects, there is not enough time and budget to respond to all the HSE risks, so risk control can be done according to the results of risk assessment. Case study is an ongoing construction project in the city of Mashhad, located on Imam Reza Street, corner of 19 Imam Reza, with 23 floors and 20028 square meters and residential commercial use. The general process of this research is that first by studying the literature of the subject, a complete understanding of the research process is obtained. In the next step, through interviews with experts and workers, field visits and literature review, a comprehensive structure of project safety risks is obtained and risk assessment indicators are determined. In the case study, 52 HSE risks and 3 indicators (1- probability of occurrence 2- severity 3- controllability) were identified. In the next stage, 64 questionnaires were prepared and distributed among the statistical population and information was recorded. Then, using AHP method, the weight of indicators are obtained: probability of occurrence = 0.329, severity = 0.556 and controllability = 0.115. Then, using Fuzzy-Topsis method, the weight of HSE risks was calculated and classified into 3 categories: 1- critical class 2- middle class and 3- class Non-critical. The results showed that 9 cases of HSE risks belong to the non-critical category, 28 cases of HSE risks belong to the middle class and 15 cases of HSE risks belong to the critical category. Among these, the risk of falling from a height during welding with the weight of 0.602 was identified as the most dangerous project risk and the risk of disease due to perishable waste with the weight of 0.282 was identified as the lowest risk of the project. The risk of people falling from working roofs with a weight of 0.565 was ranked second on the list. Finally, corrective actions were proposed to reduce several critical risks. Project management can use the results of this research as a scientific basis for implementing HSE risk reduction strategies in the project. Studies of critical risks have shown that many of these risks arise due to a lack of safety culture, lack of use or Incorrect use of safety equipment and lack of training. Risk such as falling from a height while working with a seat belt may be greatly reduced. Therefore, increasing the level of safety culture and education is considered very important.

Keywords: HSE Risk Identification, HSE Risk Assessment, ISO 45001:2018, Fuzzy-Topsis Method, Critical Risk Control Strategies



Khavaran Institute of Higher Education

**A Thesis Dissertation for the
Degree of Master of Science
In Construction Management**

Title:

**Presenting an Approach to Assessment of Health, Safety and Environmental (HSE)
Risks of Construction Projects Using Multi-Criteria Decision Making (MCDM) in
Fuzzy Environment**

Under Supervision of:

Dr Mehran Amiri

Student:

Seyed Sohrab Naji Parsaeyan

Dec 2020