

پیشنهاد یک رویکرد تحلیلی مبتنی بر فاکتور ریسک به منظور گنجاندن سلامتی و ایمنی مشاغل در ارزیابی ریسک پروژه

چکیده

بدون در نظر گرفتن ایمنی و سلامتی مشاغل (OHS)، مدیریت پروژه قابل قبول نمی‌باشد. بر پایه حوادث صنعتی بی‌شماری که در گذشته رخ داده، می‌توان به ناکارآمدی روش‌های سنتی ارزیابی ریسک پی برد؛ علاوه بر این نادیده گرفتن فاکتورهای ریسک اثر شدیدی بر ایمنی و سلامتی کارگران و حتی ساکنان مجاور خواهد داشت. فقدان ارزیابی‌های جامع و قابل اطمینان از ابتدای پروژه تصمیمات بدی را در پی دارد، به گونه‌ای که سازمان را به خطر می‌اندازد.

این مقاله یک رویکرد سیستماتیک را برای ارزیابی خطرات OHS دنبال می‌کند و بر اساس تعداد فاکتورهای ریسک مشخص شده و اهمیت نسبی آن‌ها روند جدیدی پیشنهاد می‌دهد. بر اساس وزن‌دهی به فاکتورهای ریسک دخیل در رویدادهای نامطلوب، مفهوم جدیدی به نام شدت فاکتور ریسک تعریف گردیده و در فرآیند تحلیل سلسله مراتبی چند معیاره با نرم افزار استفاده شده است.

برای معرفی گام‌های مختلف رویکرد ارزیابی خطر و ساختار ساده و سریع OHS در مراحل اولیه یک پروژه، از یک مطالعه موردی استفاده گردیده است. رویکرد پیشنهادی امکان ارزیابی‌های پی در پی معیارهای پروژه را فراهم می‌کند، یا هنگامی که داده‌های جدیدی گردآوری می‌شود به سادگی می‌توان ارزیابی را تکرار کرد. بنابراین در مورد پروژه گسترش کارخانه، می‌توان خطرات OHS را از خطراتی که کیفیت را کاهش می‌دهند، متمایز کرد.

کلید واژه‌ها: ایمنی و سلامتی مشاغل (OHS)، مدیریت پروژه، فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP)، شدت فاکتور ریسک، ارزیابی ریسک و پروژه صنعتی

حوادث صنعتی سبب صدمه دیدن انسان‌ها، ضررهای مالی، آسیب‌های زیست محیطی و مسائل اجتماعی می‌شوند. در سال‌های اخیر، با وجود مدیریت قوی پروژه‌ها و سیستم‌های پیچیده مدیریت ایمنی و سلامتی مشاغل (OHS) در تمامی مراحل چرخه‌ی عمر پروژه‌ها، حوادثی صنعتی بی‌شماری رخ داده است.

انفجار یک نیروگاه در مرحله‌ی شروع به کار، هنگام تست خط انتقال گاز، در ناحیه‌ی شلوغ (با ۴۳۰۰۰ سکنه) Connecticut (USA) در ۷ فوریه ۲۰۱۰ یادآور پیامدهای مجموعه‌ای از حوادث صنعتی مشابه طی دهه‌های گذشته می‌باشد. در بسیاری از موارد، جستجو در مورد علل واقعه نشان می‌دهد که ضعف در شناسایی خطرات محتمل سلامتی و ایمنی انسان‌های شاغل در سایت و افراد ساکن در محیط پیرامون را به خطر انداخته است. این موضوع برای موارد Bhopal (۱۹۸۹) و Chernobyl (۱۹۸۶) قابل توجه می‌باشد.

به طور کلی، ریسک (خطر) بر حسب پیامدهای که از نظر عملکرد پروژه دارد ارزیابی می‌شود و به ندرت بر حسب مخاطرات انسانی به آن توجه شده است. Smallwood (۲۰۰۴) تأیید کرد که کیفیت، برنامه‌ریزی و هزینه‌ها پارامترهایی هستند که بیشتر مورد توجه واقع شده‌اند. این مسائل است که احداث بسیاری از کارخانه‌های صنعتی پر خطر را در نزدیکی یا در نواحی پر جمعیت و متراکم شهری توجیه می‌کند (برای نمونه کارخانه مواد شیمیایی AZF در تولوز فرانسه؛ معدن سرپوشیده Sigma- Lamaque در Val d'Or, Quebec). در کبک، با وجود تلاش‌های دوستداران محیط زیست جهت دادن اطلاعات مربوطه به مسئولین شهری، تأسیسات پر خطر هنوز دارند به کار خود ادامه می‌دهند.

هدف این مقاله ارائه‌ی یک روش سیستماتیک برای ارزیابی خطرات OHS می‌باشد و بر اساس تعدا فاکتورهای ریسک تعیین شده و اهمیت نسبی آن‌ها روند جدیدی را پیشنهاد می‌کند. این رویکرد توانایی لازم برای فایق آمدن بر مشکلات ابزاری موجود در پروژه‌های صنعتی را دارد. رویکرد پیشنهادی بر تکنیک‌ها و ابزارهای شناخته شده‌ای، مانند تکنیک‌های تحلیلی چند معیاره (مانند فرآیند تحلیل سلسله مراتبی)، قضاوت کارشناسی، تحلیل حوادث و پیامدها مبتنی می‌باشد و رویکردهای را پشتیبانی می‌کند که از داده‌های کمی و کیفی به صورت مختلط استفاده می‌کنند.

ترتیب مقاله به این صورت است. در بخش ۲، ابزارهای و رویکردهای مناسبی که برای مدیریت ریسک در بخش - های گوناگون صنایع مختلف استفاده می‌شوند را مرور می‌کنیم. ما هم‌چنین کاربرد ابزارهای کیفی و کمی در صنایع مختلف را بررسی می‌کنیم. در بخش ۳ روش تحقیق، شامل مدل مفهومی رویکرد سیستماتیک ارزیابی خطرات OHS ارائه شده است. با توجه به استفاده از روش AHP در رویکرد پیشنهادی، بخش ۴ به معرفی این روش پرداخته‌ایم. رویکرد پیشنهادی به طور مفصل در بخش ۵ شرح داده شده است و مطالعه موردی گسترش یک کارخانه، جهت آزمایش رویکرد پیشنهادی، ارائه شده است. در بخش ۶ نتایج و پیشنهادتی برای پژوهش‌های آینده ارائه شده است. در بخش ۷ نتیجه‌گیری آورده شده است.

۲- پیشینه موضوع

کار صنعتی در بسیاری از بخش‌های صنعتی، به ویژه در صنایع ساختمانی، کارخانه‌های شیمیایی، نیروگاه‌های هسته - ای و صنایع معدنی پر خطر می‌باشد. مسائل ایمنی پیامد ترکیبی از علل می‌باشند که از صنعتی تا صنعتی دیگر متفاوت می‌باشند. سطح خطر در صنایع ساختمانی بر اساس طبیعت و مشخصات کار اجرایی، سطح آموزش پایین کارگران، نبود فرهنگ ایمنی و مسائل ارتباطی توصیف می‌گردد. در بخش معدن، با افزایش تعداد پیمانکاران جز، شناسایی خطرات بیش از پیش ضرورت پیدا می‌کند و جبهه‌های کاری کوچک مقیاس (کارهای مربوط به پیمانکاران جز) سیستم کنترل ریسک را با چالش‌های جدیدی مواجه می‌کند.

مؤثرترین راه برای بهبود کارایی OHS شناسایی و بر طرف کردن منابع خطرآفرین می‌باشد. بنابراین ابتدایی‌ترین کارها برای پیشگیری از مخاطره، شناسایی و ارزیابی خطرات می‌باشد. تحلیل خطر پایه و اساس پروسه‌ی مدیریت مخاطره می‌باشد و چندین چالش را در پی خواهد داشت.

OHS همیشه یک اولین بخش فرآیندهای مهندسی نمی‌باشد. در سال‌های اخیر، ضرورت گنجانیدن مدیریت خطر OHS مورد بحث قرار گرفته است. این شامل وضع قوانین لازم الاجرا، یادآوری اهمیت تأمین نیروهای کار و در برخی موارد مطرح کردن توانایی‌های بالقوه افزایش سودآوری و حفظ رقابت‌پذیری می‌باشد.

صنایع سعی کرده‌اند که ابزارها و روش‌های مهندسی را برای ارزیابی مخاطرات OHS به کار بگیرند. این شامل ابزارهای مدیریت کیفیت (مانند روش‌های تحلیل وضعیت بحرانی و شکست (FMECA)، لیست‌های کنترل و

تحلیل "What if" و رویکردهای دیگر ایمنی صنعتی (مانند تحلیل درختی خطا (FTA)، درخت رویدادها (ET) و تحلیل قابلیت اطمینان انسانی (HRA)) می‌باشد. پژوهشگران بسیاری ابزارهای کاهش مخاطرات OHS را بررسی کرده‌اند و در ارتباط با داده‌های قبلی و تجربیات کارهای قبلی مدل‌هایی پیشنهاد داده‌اند. لازم به ذکر است که ابزارهای گفته شده به تنهایی و بدون گنجانده شدن در انواع دیگر روش‌های مدیریت خطر، توسط سازمان‌ها استفاده شده‌اند.

روش‌های کمی مدیریت خطر در بسیاری از کارهای صنعتی، مانند صنایع هسته‌ای و هوا فضا به طور گسترده‌ای استفاده شده‌اند. این روش‌ها به طور کلی برای تحلیل داده‌ها از تجهیزات و نرم افزار استفاده می‌کنند. روش‌های کمی به طور کلی پر هزینه می‌باشند و تحلیل‌گران خاصی را می‌طلبند. یکی از مشهورترین این روش‌ها، روش مطالعه ایمنی و احتمال خطر (HAZOP) می‌باشد. این روش بر اساس شناخت چندین پارامتر کلیدی یک سیستم، امکان ارزیابی موقعیت‌های پیچیده را فراهم می‌کند.

در بسیاری از بخش‌های صنعتی، داده‌ها و اطلاعات به کار رفته برای ارزیابی خطر دقیق و کامل نمی‌باشند. در صورت فقدان داده‌ها، رویکردهای کمی نتایج قابل اطمینانی به دست نمی‌دهند. جمع‌آوری اطلاعات مفید با استفاده از ارزیابی مخاطره کمی بر اساس مدل‌های احتمالاتی هنوز ممکن نمی‌باشد. در صنایع پتروشیمی، مشکلات فعلی در ارزیابی خطر به پیچیدگی روش‌های کمی موجود نسبت داده شده است. این مسائل در مرحله طراحی پروژه‌های صنعتی بسیار مهم می‌باشند.

(Pinto et al. ۲۰۱۰) بر اساس داده‌های موجود و با استفاده از یک رویکرد منطق فازی مدلی کیفی برای ارزیابی مخاطرات ایمنی و سلامتی پیشنهاد کردند. آن‌ها نتیجه گرفتند که رویکردهای کیفی به منظور ارزیابی خطر برای مسائل انسانی به اندازه کافی انعطاف‌پذیر می‌باشند. روش دیگری که ارزش دارد شرح داده شود توسط Hassim & Hurme (۲۰۱۰) برای ارزیابی مخاطرات سلامتی (بهداشتی) فرآیندی شیمیایی طی فاز طراحی ارائه گردید. این روش خطرات ناشی از وجود مواد شیمیایی و احتمال بالقوه این که کارگران در معرض این مواد شیمیایی قرار بگیرند، را بررسی می‌کند. برای انجام ارزیابی خطر در مرحله طراحی یک "شاخص سلامتی شغلی ذاتی" نیز پیشنهاد شده است. (Jabari Gharabagh et al. ۲۰۰۹) بیان می‌کنند که استفاده از داده‌های پیشی

فقط در مدیریت خطر حائز اهمیت نمی‌باشد، بلکه به عنوان شاخصی از سطح خطر قابل قبول، در ارزیابی خطر نیز مفید می‌باشند.

نادیده گرفتن عوامل انسانی در تحلیل خطر ناشی از این است که تعیین مقدار بسیاری از آن‌ها بسیار مشکل است (مانند رفتار خطر آفرین انسانی در ۲۰۰۷ Kotani et al.). علاوه بر این، رفتار انسانی را نمی‌توان بر اساس تحلیل حوادث و سوابق پیشین به تنهایی پیش‌بینی کرد. ارزیابی بر اساس اطلاعات پیشین مشکلاتی را پیش می‌آورد که پیشگیری از خطر را با چالش‌های دیگری مواجه می‌کند.

گنجاندن ارزیابی مخاطره در فاز طراحی پروژه و مراحل آغازین پروژه همیشه مؤثرتر و سودآورتر بوده است. ارزیابی کامل و دقیق علاوه بر کاهش مخاطرات، کنترل بهتر رفتار کارگران و سکنه‌ی نواحی پیرامونی در مواقع بحرانی ناشی از حوادث صنعتی یا طبیعی را در پی خواهد داشت. عاقلانه است که مخاطرات قبل از شروع پروژه بررسی و راهکارهایی برای مقابله با آن‌ها اتخاذ گردد.

با توجه به ضرورت ایجاد یک راهکار مناسب و مؤثر که مدیریت تمامی مخاطرات یک پروژه صنعتی را در بر بگیرد، در این مقاله امکان ایجاد چنین مدلی برای پروژه‌های صنعتی، با استفاده از رویکردی مبتنی تکنیک‌های ترکیبی بررسی می‌گردد.

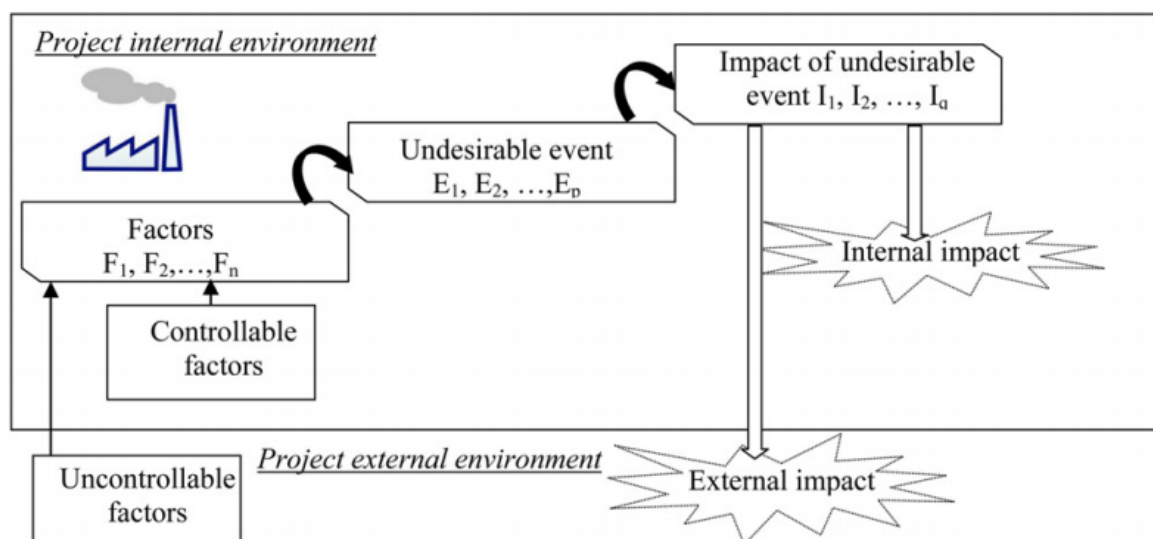
رویکرد پیشنهادی امکان تعیین اولویت مخاطرات مشخص شده را به سرعت فراهم می‌کند و بدون از بین بردن نتایج ارزیابی قبلی، این امکان را برای تحلیل گران فراهم می‌کند که دلایل اضافی بالقوه رویدادهای نامطلوب را بررسی کنند. سادگی فرآیند پیشنهادی سبب می‌گردد، بدون این که به تجهیزات زیادی نیاز داشته باشد، در صنایع کوچک و متوسط مقیاس استفاده می‌شود.

۳- روش تحقیق

بر اساس پیشینه موضوع و بر پایه استانداردهای مدیریت خطر مداوم، در این مقاله، بر مبنای مقایسه چند معیاره (AHP) مدلی مفهومی برای گنجاندن ایمنی و سلامتی مشاغل در ارزیابی خطر پروژه پیشنهاد شده است. ما مدلی از خطر را در نظر گرفته‌ایم که دارای سه جز به شرح زیر می‌باشد و گام‌های مدیریت خطر متداول را نیز در بر می‌گیرد.

به منظور پیشنهاد یک طرح مفهومی برای شناسایی و ارزیابی مخاطرات، ما ابتدا اجزای مخاطراتی که شناسایی شده- اند را به طور سلسله‌وار بررسی می‌کنیم. هنگامی که اجزای خطر شناسایی شدند، رابطه علت و معلولی گام‌ها تعیین و گام‌ها کنترل می‌شوند.

تحلیل ما مبتنی بر مدل از خطر است که از سه جز اصلی تشکیل شده است (شکل ۱)، یعنی عوامل خطر، رویداد نامطلوب و اثر رویداد نامطلوب. به منظور کنترل مخاطره، تمامی اجزای آن باید شناسایی شوند و تمامی روابط علت و معلولی آن‌ها در زمینه مورد بررسی تعیین گردد و مکانیسم و شرایطی که سبب بروز آن‌ها می‌شود را باید بررسی کرد.

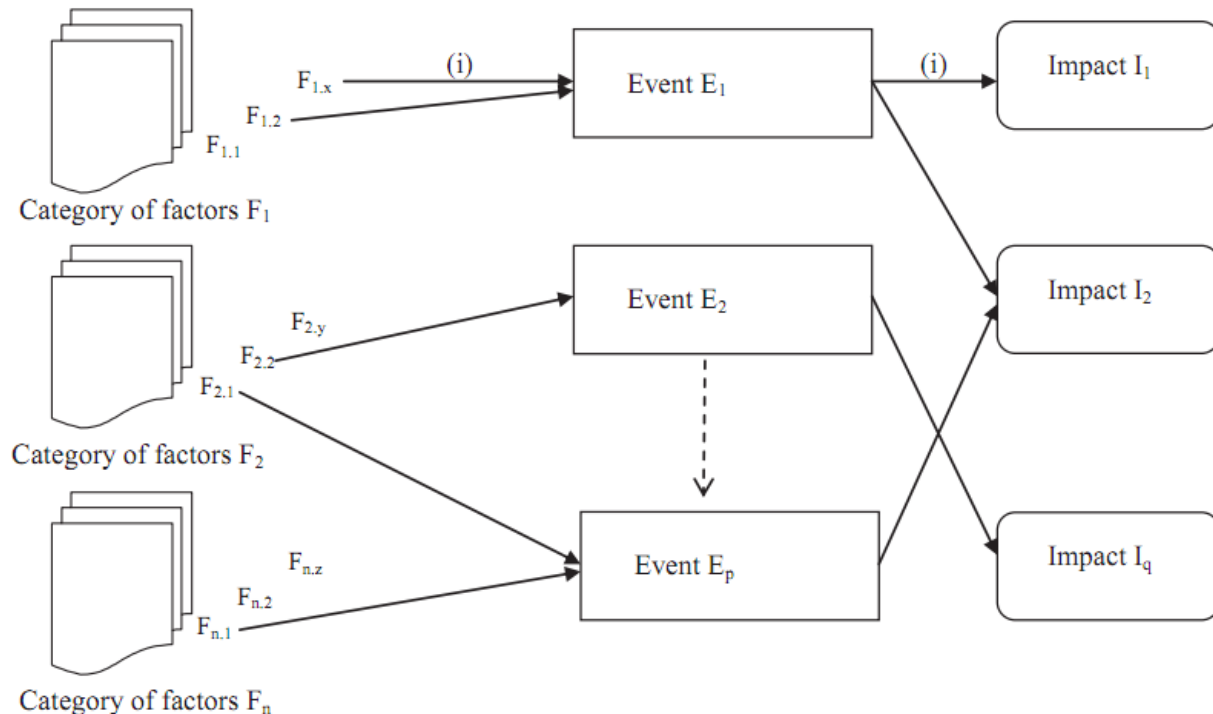


شکل ۱-۱- مدل سازی خطر و اثر آن

باید یاد آوری شود که محیط داخلی پروژه از متغیرهای قابل کنترلی مانند اثربخشی معیارهای سلامتی و ایمنی تشکیل شده است، اما متغیرهای محیط بیرونی (مانند آب و هوا) را همیشه بسیار سخت می‌توان کنترل یا تصحیح کرد.

رویکرد پیشنهادی بر یک رویکرد عامل خطر مبتنی می‌باشد (شکل ۲). این رویکرد یک رویکرد ابتکاری برای ارزیابی خطر می‌باشد، زیرا مبتنی بر پارامتر جدیدی است که به صورت کسری بیان می‌شود و وجود یا احتمال ظهور عوامل خطر آفرینی که منجر به وقوع رویداد نامطلوبی می‌شوند را نشان می‌دهد، یا به طور خاص تأثیر مستقیم تعداد

عوامل خطر افزین را بر روی احتمال وقوع مخاطره بیان می‌کند. این مفهوم جدید "شدت عامل خطر" نامیده می‌شود. زمانی که این شدت افزایش می‌یابد، احتمال این که رویداد نامطلوب مربوطه رخ دهد، بیشتر می‌شود.



شکل ۲- روابط در رویکرد عوامل خطر برای تحلیل مخاطره

Aubert & Bernard (۲۰۰۴) رویکرد مشابهی پیشنهاد کردند، بدون آن که مشخص کنند که اثر یک رویداد نامطلوب ممکن است چندین نوع ضرر و زیان را شامل شود. روابط علت و معلولی توسط ممیزان تعیین می‌شوند و تأثیر بالقوه مخاطره ارزیابی می‌گردد. هر لینک (i) بین عامل، رویداد و تأثیر مسیر احتمالی بروز یک مخاطره را به عنوان رویدادی که اثر منفی دارد، نشان می‌دهد.

۴- فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP)

روش AHP یک روش تصمیم‌گیری چند مشخصه‌ای ساختار یافته است که در فرایندهای تصمیم‌گیری پیچیده استفاده می‌شود و یکی از پر کاربردترین روش‌های مقایسه چند معیاره می‌باشد. این روش توسط Saaty در دهه ۱۹۷۰ در آمریکا ارائه شد، روش AHP بر سه اصل بنیادین مبتنی می‌باشد: تجزیه یک ساختار، مقایسه داورها و ترکیب سلسله مراتب (یا تفسیر) اولیاتی. AHP در موقعیت‌های تصمیم‌گیری که قضاوت‌های کارشناسی منطقی

را در بر می گیرند، قابل استفاده می باشد و از هر دو نوع داده های کمی و کیفی استفاده می کند. این روش برای هر داوری یا تصمیم کارشناسی یک شاخص ارجحیت تعیین می کند. AHP بعد از اطمینان از سازگاری داوری ها آن ها را خلاصه می کند.

رویکرد پیشنهادی برای مقایسه ی دو به دوی عوامل خطر از روش AHP استفاده می کند، که با استفاده از نرم افزار کارشناس تصمیم گیری انجام می شود. روش AHP در مدیریت پروژه به عنوان ابزار تصمیم گیری برای انتخاب پروژه ای هم رآستا با اهداف کارخانه استفاده می شود. (۲۰۰۱) Al-Harbi این روش را در قالب پیش حسابرسی پیمانکاران اجرایی شرح داده است.

در زمینه OHS، تلاش ها برای استفاده از AHP، توسط (۱۹۹۲) Henderson & Dutta در قالب تحلیل ارگونومیک و توسط (۱۹۸۷) Freivalds برای مقایسه استانداردهای ارگونومیک آغاز گردید.

(۱۹۹۲) Henderson & Dutta توصیه های NIOSH را با توصیه های ECSC را برای بارهای حمل شده با دست در صفحه ی ساجینتال (صفحه عمودی فرضی که از سر تا پا ادامه داشته و بدن را به دو نیمه چپ و راست تقسیم می کند) مقایسه کردند. در این مطالعه، ۱۱ عامل خطر با استفاده از مدل AHP با هم مقایسه شدند. این عوامل، یعنی فراوانی، فاصله، ارتفاع، ابعاد، شکل بارها، موقعیت و مرکز ثقل بارها، ابعاد آنتروپومتریک، جنسیت و سن فرد و معیارهای فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی پیش تر توسط (۱۹۸۷) Freivals در تحقیقی پیشنهاد شده بودند. با استفاده از AHP، (۱۹۸۷) Freivals اختلافات بین استانداردهای NIOSH و ECSC را نشان داد و این اختلافات به تفاوت در روابط، فرضیات و مفاهیم مربوطه نسبت داده شد.

(۲۰۰۸) Padma & Balasubramanie از AHP برای ارائه ی یک سیستم کمک تصمیم گیری استفاده کردند که مبنای علمی برای عوامل خطر آفرین مرتبط با مسائل قامتی مربوط به گردن و شانه بیابند. سیستم دیگری با استفاده از AHP برای مقایسه ی عوامل خطر آفرین مرتبط با خطاهای انسانی با دلایل حوادث بخش حمل و نقل دریایی توسط (۲۰۰۹) Zhang et al ارائه گردید. (۲۰۰۹) Topacan et al از AHP برای ارزیابی سیستم اطلاعات سلامتی با هدف بررسی عوامل تأثیرگذار بر صلايق کاربر در انتخاب خدمات سلامتی استفاده کرد.

(۲۰۰۹) Fera & Macchiaroli روش AHP را برای مدل کردن ارزیابی خطرات صنعتی جهت تعیین رویدادهای مهم و تعیین اعتبار اقدامات اتخاذ شده انتخاب کردند.

در تحقیق ارگونومیک، AHP به عنوان روشی مطمئن برای مقایسه‌ی عوامل خطر، ارزیابی مخاطرات، تعریف اولویت‌ها، اختصاص منابع و معیارهای عملکردی استفاده می‌شود. استفاده از AHP برای تحلیل عوامل انسانی باید مدل سلسه مراتبی را واضح تر، ساده و عملی کند و باید امکان تصمیم‌گیری‌های ساختارمندتر و ارزیابی آسان‌تر اطلاعات مربوطه را فراهم آورد. AHP ناسازگاری‌های کارشناسی را کاهش داده و بر حسب قابلیت اطمینان مقبول به نظر می‌رسد. این روش چند معیاره امکان در نظر گرفتن ملاحظات عینی و ذهنی را در فرآیند تصمیم‌گیری فراهم می‌کند.

در نتیجه، ویژگی ترکیب داده‌های کمی و کیفی و کنترل سازگاری‌های کارشناسی AHP را برای رویکرد پیشنهادی بسیار کاربردی می‌کند. ما قضاوت‌های منطقی و اولویت‌بندی مطمئنی از خطرات ارائه خواهیم کرد.

۴-۱- مبانی تئوری AHP

فرض کنید که از بین n گزینه $\{A_1, A_2, \dots, A_n\}$ باید یکی انتخاب شود، کارشناس یک مقیاس عددی a_{ij} از یک مقیاس ترکیبات صفر و یکی (جدول $A-1$ در پیوست A) به هر جفت از گزینه‌ها (A_i, A_j) اختصاص می‌دهند. اصطلاح a_{ijk} صلیقه شخصی کارشناس k نسبت به گزینه A_i را در مقایسه با A_j نشان می‌دهد.

همین که داوری‌های کارشناسی کلی انجام شد و میانگین هندسی محاسبه گردید (۱)، آن‌ها در ماتریس مقایسه D وارد می‌شوند (۲):

$$a_{ij} = \sqrt[n]{a_{ij1}, a_{ij2}, \dots, a_{ijn}} \quad (1)$$

$$D = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & a_{nn} \end{bmatrix} \quad (2)$$

ماتریس D یک ماتریس مقایسه با داوری های ناسازگار می باشد و دارای ویژگی های زیر می باشد:

$$a_{ij} > 0; a_{ij} = \frac{1}{a_{ji}} \forall i \text{ where } j = 1, 2, \dots, n \quad (3)$$

ماتریس D سازگار نامیده می شود، هنگامی که اجزای آن شرایط (۴) و (۵) را برآورده نمایند:

$$a_{ij} \cdot a_{jk} = a_{ik}; \forall i, j, k \text{ where } i, j, k = 1, 2, \dots, n \quad (4)$$

$$a_{ij} \cdot a_{ji} = 1 \text{ where } i, j = 1, 2, \dots, n \quad (5)$$

ترتیب گزینه ها به عنوان نتیجه ی تقریبی مقایسه ماتریس D با استفاده از ماتریس P به دست می آید:

$$P = \begin{bmatrix} p_{11} & p_{12} & \dots & p_{1n} \\ p_{21} & p_{22} & \dots & p_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ p_{n1} & p_{n2} & \dots & p_{nn} \end{bmatrix} \quad (6)$$

اجزای داوری های سازگار به صورت نسبت های وزنی بین گزینه ها نشان داده شده اند:

$$p_{ij} = \frac{p_i}{p_j} \text{ where } i, j = 1, 2, \dots, n \quad (7)$$

p_i وزن گزینه های بردار ترتیب p را نشان می دهد:

$$p = (p_1, p_2, \dots, p_n)^T \quad (8)$$

ما بردار ترتیب استاندارد شده را بعد از نرمال سازی ریاضی به دست می آوریم:

$$p^* = (p_1^*, p_2^*, \dots, p_n^*)^T \quad (9)$$

که:

$$p_i^* = \frac{p_i}{\sum_{i=0}^n p_i} \quad (10)$$

(۲۰۰۰) Saaty برای تخمین ماتریس‌های داوری از روش ماکزیمم مقدار مشخصه استفاده کرد:

$$D.p = \lambda_{\max} p \quad (11)$$

که λ_{\max} ماکزیمم مقدار مشخصه ماتریس D می‌باشد.

لازم است یادآوری شود که برای مقایسه‌ی مطمئن، ناسازگاری ماتریس مقایسه D باید کم‌تر از ۱۰٪ باشد. این شرط به این معنی است که تعداد ضرایب شرط (۴) نباید کم‌تر از ۱۰٪ باشد.

۵- نتایج و تحلیل

۵-۱- رویکرد تحلیلی پیشنهادی مبتنی بر فاکتور خطر

رویکرد پیشنهادی به سه فاز تقسیم می‌شود و هر فاز به گام‌های تقسیم می‌گردد. این رویکرد تمامی فازهای مدیریت خطر از جمله: (۱) شناسایی خطر (۲) ارزیابی خطر و (۳) اقدامات را در بر می‌گیرد.

این رویکرد از چندین روش و ابزار مانند مشاهدات سیستماتیک، مذاکرات، تحلیل چند معیاره (AHP)، تحلیل رویدادها و مفهوم جدیدی به نام شدت عامل خطر استفاده می‌کند. در جدول ۱، ابزارها و روش‌های به کار رفته برای هر گام و مرحله آورده شده است.

مدل ارائه شده بر کار گروهی و آگاهی از تکنیک‌های تحلیل چند معیاره مبتنی می‌باشد. هدف این مدل یکپارچه کردن خطر OHS با خطر عملکردی می‌باشد، بدون این که هیچ‌گونه اختلالی در کار گروه مدیریت خطر ایجاد نماید. باید یادآوری شود که تحلیل چند معیاره تا حدودی برای مقایسه‌ی عوامل خطر آفرین استفاده می‌شود، نه برای مقایسه‌ی مخاطرات تعریف شده.

مانند هر رویکردی برای مدیریت خطر، مدل ملاحظات مناسبی برای فاز شناسایی اجزای خطر (عوامل خطر آفرین، رویدادهای نامطلوب و اثر رویدادهای نامطلوب) ارائه می‌دهد. فاز ارزیابی خطر از تحلیل چند معیاره، داوری کارشناسی و مفهوم جدیدی به نام شدت عامل خطر استفاده می‌کند. تحلیل براساس روابط علت و معلولی بین اجزای خطرهای تعریف شده انجام می‌شود. فاز اقدام بر اولویت‌بندی خطر مبتنی می‌باشد. این گام به مدیر پروژه تخصیص داده می‌شود، که بازنگری ارزیابی خطر پروژه را طرح‌ریزی می‌کند.

جدول ۱- جزئیات رویکرد پیشنهادی بر اساس عوامل خطر

Phase	Step	Description	Method
1	1	Identification of risk elements (on the shop floor)	Observations Interviews
		Identification of risk elements (historical data)	Analysis of accidents and incidents
2	2	Identification of causal links between the risk elements	Expert judgment
	3	Paired comparison of categories of risk factors	AHP
	4	Estimation of the probabilities of occurrence	Concept of risk factor concentration Eq. (13)
			Expert judgment Eq. (14)
3	5	Evaluation of the impact of undesirable events	Expert judgment Eq. (12)
	6	Evaluation and prioritization of identified risks	AHP
	7	Action prioritization	AHP
	8	Action monitoring and control	Prevention plan

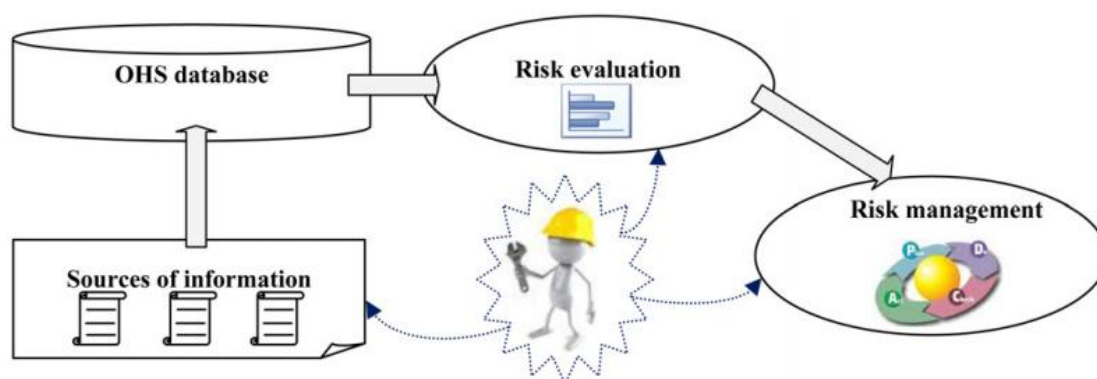
در زیر بخش‌های بعدی مقاله، هشت گام رویکرد پیشنهادی مورد استفاده برای مدیریت خطر *OHS* را به طور مفصل شرح داده و تحلیل می‌کنیم.

۵-۱-۱- فاز ۱: شناسایی خطر

شناسایی خطر لزوماً شامل شناسایی اجزای خطرات می‌باشد. مدل خطر شامل سه جز می‌باشد: (۱) عوامل خطر (۲) رویدادهای نامطلوب و (۳) اثر رویدادهای نامطلوب. هنگامی که اجزای خطر شناسایی شدند، کارشناسان با همکاری کارگران روابط علت و معلولی بین این اجزا را بررسی می‌کنند. این روش بررسی اثرات محتمل بر روی پیشرفت پروژه، تفهیم خطرات مختلف را ساده می‌کند. در مدل ما، برای تعیین روابط علت و معلولی، داشتن تجربه‌ی صنعتی مهم می‌باشد.

هدف اولیه این گام تعیین یک بانک اطلاعاتی OHS می‌باشد. برای جمع‌آوری داده‌های مورد نیاز جهت ایجاد این بانک اطلاعاتی OHS، مدل از چندین ابزار مانند تحلیل مستندات (شناسایی رویدادها و منابع در داده‌های بایگانی)، مشاهدات میدانی (شناسایی روش‌های بهره‌برداری و کاری، تجهیزات و رفتارهای خطرناک) و گفتگو با کارگران استفاده می‌کند. گفتگو هم‌چنین برای بررسی وجود منابع خطر آفرین صنعتی به دست آمده از بانک اطلاعاتی (Curaba et al. ۲۰۰۹) استفاده می‌شود. استفاده از تخصص‌ها (گفتگوها، نظرات کارشناسی و کار گروهی) می‌تواند مشکل فقدان بایگانی (داده‌های پیشین) را به ویژه برای سازمان‌های نو پا رفع نماید. این بانک اطلاعاتی دسترسی به داده‌های مورد نیاز برای مدیریت پروژه و استفاده از آن‌ها در محیط‌های بسیار رقابت‌پذیری که تأخیرات زیاد بر کیفیت تحلیل و ارزیابی اثر می‌گذارد، را تسهیل می‌کند.

داده‌های تاریخی برای تخمین مستقیم مخاطرات استفاده نشده‌اند، مگر در چندین مطالعه‌ی خاص. بخش تاریخی مطالعه بیشتر گروه‌بندی منابع اطلاعاتی را در بر می‌گیرد (شکل ۳) که اجزایی را شامل می‌شود که برای شناسایی روابط علت و معلولی و ارزیابی اثر محتمل هر خطر ضروری می‌باشند.



شکل ۳- نقش منابع اطلاعاتی و ارزیابی خطر در مدیریت خطر.

۵-۱-۲- فاز ۲: ارزیابی خطر

بر اساس رابطه‌ی (۱۲)، که احتمال وقوع و اثر نیک رویداد نامطلوب به دست آمده از منابع را ترکیب می‌کند، این دو پارامتر مورد نیاز برای ارزیابی خطر را تخمین می‌زند. علت مستقیم یک رویداد نامطلوب نتیجه‌ی کنش یک یا چندین دسته عوامل خطر می‌باشد:

$$Risk_{(i)} = P_i \cdot I_i \quad (12)$$

که P_i احتمال رویداد نامطلوب $E(i)$ و I_i تأثیر رویداد نامطلوب $E(i)$ می باشد.

در گام اول فاز مدیریت خطر، برای تعیین کمی اهمیت عوامل خطر مشخص شده در اولین فاز فرآیند، از مقایسه‌ی چندین معیاره استفاده می شود. این مقایسه برای تخمین وزن اثر هر دسته از عوامل خطر استفاده می شود. این وزن‌ها عوامل خطر منجر به یک رویداد نامطلوب را قابل قبول تر دسته بندی می کند.

در اهمیت تحلیل علل در زمینه *OHS*، مخاطرات و حوادث نتیجه‌ی رفتارهای انسانی یا یک مسئله‌ی بنیادین می - باشند. استفاده از داده‌های تاریخی برای تخمین احتمال‌ها فرض می شود که رفتارهای انسانی و سازمانی محدود می - باشند و ویژگی‌های آن‌ها با تسلسل خطی تعیین می گردد. این فرضیه دور از واقعیت است، چون هر دوی این پارامترها به چندین پدیده‌ی نهان و گاهی اوقات قطعی بستگی دارند، که شناسایی و کنترل آن‌ها برای تحلیل گران مشکل می باشد.

در دومین گام از فاز مدیریت خطر، مفهوم جدیدی به نام شدت عامل خطر در این تحقیق مشخص می شود که برای تخمین احتمال‌های وقوع استفاده می شود. احتمال آن که یک رویداد نامطلوب اتفاق افتد، ابتدا به تعدا عوامل خطر در دسته بندی خطر مرتبط با آن رویداد مورد مطالعه بستگی دارد (لینک (i) در شکل ۲).

شدت عامل خطر این گونه محاسبه می شود:

$$C_{ij} = \frac{x_i y_{ij}}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m x_i y_{ij}} \quad (13)$$

که x_i تعداد عوامل خطر در دسته‌ی F_i و y_{ij} وزن دسته عامل خطر F_i که سبب رویداد نامطلوب E_j تخمینی توسط *AHP* می باشد، $i \in \{1, 2, \dots, n\}$ and $j \in \{1, 2, \dots, m\}$

هنگامی که شدت عامل خطر محاسبه شد، برای تبدیل این شدت به احتمال از مقیاسی استفاده می شود. در رویکرد پیشنهادی، دو دسته از تبدیل‌ها (عددی یا کیفی) را می توان استفاده کرد. این تبدیل بر رابطه خطی نتایج اثر نمی - گذارند.

استدلال به کار رفته برای تخمین سطح خطر تأکید دارد که احتمال وقوع تحت تأثیر وجود عوامل خطر می‌باشد. چون احتمال وقوع به طور کلی در دسترس نمی‌باشد و هیچ گونه آماری برای تخمین مستقیم آن وجود ندارد، ممیزان از تخمین‌های غیر مستقیم با مقیاس‌های نسبی استفاده می‌کنند.

رویکرد پیشنهادی امکان شناسایی عوامل خطر و محاسبه‌ی شدت این عوامل را در ارتباط با هر رویداد نامطلوب مورد نظر فراهم می‌کند. تبدیل این فاکتورها (که مبنای احتمالات تخمینی می‌باشد) سبب بی دقت شدن محاسبات و یا تغییر فلسفه‌ی ارزیابی خطر نمی‌شود و بنابراین مزیتی دارد که به سازمان این امکان را می‌دهد که بر اساس درک و تفرانس خودش رفتار کند و سطوح مقیاس را به سطوحی از شدت عامل خطر که قبول دارد، تغییر دهد.

گام سوم فاز ارزیابی برای تخمین اثر هر یک از رویدادهای نامطلوب بر روی پیشرفت پروژه استفاده می‌شود. فهرست اثرات تهیه شده و شدت‌های علت و معلولی از فاز شناسایی به دست می‌آیند (شکل ۲). مدل برای تخمین شدت زیان‌های وارده به کارخانه از یک شبکه استفاده می‌کند.

اثر یک رویداد نامطلوب به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$I_i = \text{Max}_{\text{impacts set by the organization}}(i) \quad (14)$$

هنگامی که سطح هر خطر مشخص شده محاسبه شد (رابطه‌ی ۱۲)، گام چهارم فاز ارزیابی برای تعیین اولویت خطرها انجام می‌شود.

۵-۱-۳- اقدامات

انتخاب اقدام‌هایی جهت مدیریت مخاطرات شناسایی شده به اولویت‌بندی خطر و تحلیل چند معیاره (*AHP*) و در نظر گرفتن محدودیت‌های تکنیکی و اقتصادی بستگی دارد. هدف اصلی این فاز بر طرف کردن، کاهش خطرات تهدید کننده کارگران و یا فراهم آوردن وسایل لازم برای کارگران جهت محافظت از خودشان در مقابل خطرات می‌باشد. اقدامات گنجانده شده در کنترل و نظارت باید با خط مشی اصول بهبود مداوم کیفیت (*ISO ۹۰۰۰*)، ایمنی (*OHSAS ۱۸۰۰۰*) یا سیستم‌های مدیریت محیط زیست (*ISO ۱۴۰۰۰*) مطابقت داشته باشند. طرح

پیشگیری باید شامل وظایفی باشد که به افرادی متخصص در آن زمینه واگذار شده باشند که باید: (۱) مسئولیت پذیر باشند (۲) بهترین رویکرد را برای رفع مخاطره اتخاذ نمایند و (۳) چشم انداز کارهایش را تعریف نمایند.

۵-۲- کاربرد رویکرد پیشنهادی

۵-۲-۱- پیشینه مطالعه موردی

جانمایی مجدد صنعتی شکلی جهانی دارد. ضرورت دريانونردی را دو عامل توجیه می کند: پیشرفت های فناوری و موافقت نامه های بین المللی برای تجارت جهانی. رقابت شدید، شرکت ها را وادار کرده است که به دنبال منابعی خارج از شرکت باشند و هزینه های تولید را کاهش داده و خودشان را به بازارهای فروش جدید برسانند. کارخانه ها به چند دلیل کشورهای کم تر پیشرفته را انتخاب می کنند، که از همه مهم تر نیروی کار ارزان می باشد. مکان یابی مجدد چالش های زیادی را در بر می گیرد، شامل روبرو شدن با فقدان فرهنگ ایمنی، شرایطی که در اغلب کشورهای در حال توسعه به چشم می خورد. علاوه بر این، انتخاب رویکرد انتخابی برای مدیریت پروژه گاهی به افزایش تولید اولویت می دهد و سبب می شود که سلامتی و ایمنی کارگران به مخاطره بیفتد.

مردم در کشورهای در حال توسعه با فرهنگ ایمنی و سلامتی کارگر آشنا نیستند و بیش از ۸۰٪ مرگ و میرهای ناشی از رویدادهای صنعتی و بیماری های شغلی ناشی از این امر می باشند. انتقال تولید از کشورهای پیشرفته به کشورهای در حال توسعه در حال افزایش است. آموزش ضعیف و گاهی کارگران بی سواد سبب بروز خطرات و محیط های جدیدی می شوند.

تحقیق فعلی بر طرح گسترش یک کارخانه ی مونتاژ قطعات مکانیکی تمرکز کرده است. طرح گسترش شامل دو برابر کردن ظرفیت تولید کارخانه و بهبود سازمان فروش می باشد. پروژه تمامی زمینه های فعالیتی تعریف شده در زمینه فرآیند معماری، سازه ای و مکانیکی و تمامی سیستم های مربوطه را در بر می گیرد. مطالعه موردی به نصب خط تولید جدید و تسهیلات مختلف در ساختمان جدید را در بر می گیرد، بدون این که به جنبه های سازه ای توجه ای داشته باشد. هدف اصلی ما شناسایی اجزای خطر OHS می باشد. این مثال تئوری برای شرح جنبه ی ابتکاری رویکرد پیشنهادی برای تحلیل خطر و آزمایش مدل مفهومی آن برای سرویس دهی به صنایع کوچک و متوسط مقیاس با ابزاری ساده و ارزان جهت اجرای مدیریت خطر OHS یکپارچه می باشد.

۵-۲-۲- فاز ۱: شناسایی خطر

شناسایی خطر با استفاده از دانش تیم پروژه و کارشناسان و تاریخچه رویدادهای کارخانه یا کارخانه‌ای مشابه (با همان زمینه فعالیتی، محیط و ...) انجام می‌شود. بررسی اولیه جداول اطلاعات به تیم پروژه این امکان را می‌دهد که روند کاری خود را بدانند.

به منظور شناسایی عوامل خطر، تیم از جداول به روز شده عوامل خطر صنعتی استفاده کردند. این جداول با کمک روش *MOSAR* (روش سیستماتیک سازمان یافته‌ی تحلیل خطر) و بر مبنای بایگانی خطر صنعتی در راهنمای *INRS* برای کمک به ممیزان جهت شناسایی خطرات در سازمان‌های کوچک و بنگاهی تهیه شده‌اند. سپس تیم بسته به نوع خطر، عوامل تأثیرگذار بر پروژه را بررسی می‌کنند. پیوست *B* جزئیات متناظر مربوط به هر یک از عوامل خطر را نشان می‌دهد (جداول *B-۱* تا *B-۴*).

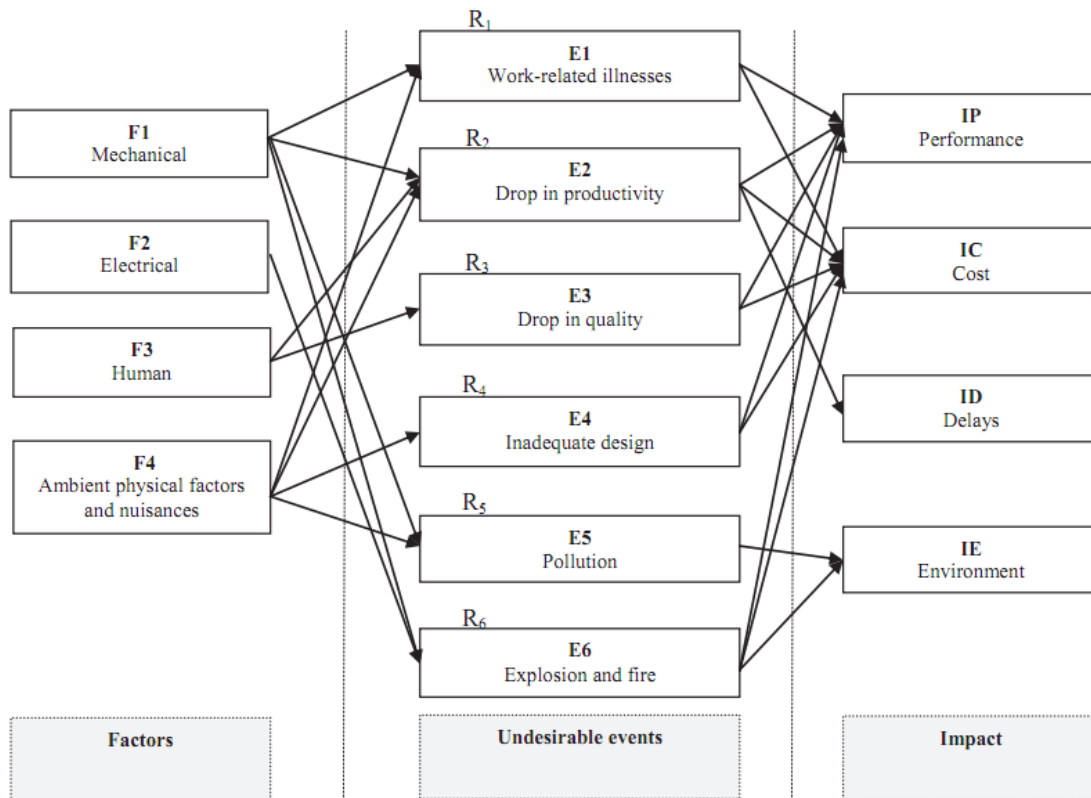
جدول ۲ رویدادهای نامطلوب شناسایی شده در مورد پروژه گسترش کارخانه را نشان می‌دهد. جدول ۳ جنبه‌های پروژه را که اثر منفی بر آن‌ها تأثیر می‌گذارد را نشان می‌دهد.

جدول ۲- مطالعه موردی: رویدادهای نامطلوب در *OHS*

Code	Undesirable event
E1	Work-related illness
E2	Drop in productivity
E3	Drop in quality
E4	Inadequate design
E5	Pollution
E6	Explosion and fire

جدول ۳- مطالعه موردی: جنبه‌های آسیب‌پذیر در مقابل اثر منفی

Code	Impact
IP	On performance
IC	On cost
ID	On delays
IE	On the environment



شکل ۴- مطالعه موردی: لینک‌های بین رویدادهای نامطلوب، عوامل خطر آنها و اثرات آنها

روابط علت و معلولی به طور سیستماتیک در شکل ۴ نشان داده شده‌اند، هر لینک (پیکان) خطر محتمل را نشان می‌دهد. برای نمونه:

R_1 خطر بیماری شغلی ناشی از عوامل مکانیکی (MF) و محیط پیرامونی و دیگر عوامل رنج‌آور (AF) می‌باشد. اثر R_1 بر دو جنبه‌ی پروژه اثر می‌گذارد: عملکرد و هزینه.

۵-۲-۳- فاز ۲: ارزیابی خطر

بر اساس ترکیبات صفر و یکی، اهمیت نسبی هر عامل خطر با استفاده از روش AHP محاسبه می‌شود. جدول A-۱ در پیوست A مبنای محاسبات را فراهم می‌کند، به هر یک از تصمیم‌گیری‌های شفاهی یک مقداری عددی نسبت می‌دهد. هنگامی که اهمیت نسبی هر عامل محاسبه شد، به منظور تخصیص فاکتورهای وزن‌دهی داده شده، اهمیت کلی هر دسته از عوامل خطر ارزیابی می‌شود. اهمیت کلی با محاسبه‌ی اهمیت نسبی هر دسته از عوامل با استفاده از

نرم افزار *Expert Choice* مشخص می‌شود. *Expert choice* امکان شناسایی داده ورودی اشتباه را فراهم می‌کند و بنابراین یکی از پر تکرار ترین دلایل داوری‌های ناسازگار را حذف می‌کند. کنترل موردی ناسازگاری *Expert choice* به کارشناسان این امکان را می‌دهد که از داوری‌های صلیقه‌ای خودداری کنند.

جدول ۴، براساس ماتریس‌های مقایسه‌ی دو دویی برای هر دسته از عوامل خطر مرتبط با رویدادهای نامطلوب (پیوست C)، وزن اثر (مقدار اهمیت نسبی) تخمینی توسط *AHP* را نشان داده شده است. باید یادآوری شود هنگامی که تیم تصمیمی را اتخاذ می‌کند، سازگاری هر یک از ماتریس‌های مقایسه بررسی می‌شود.

جدول ۴- رتبه‌بندی سطح تأثیر عوامل خطر (*AHP*)

Code	Undesirable event	Influence of the risk factor			
		++	+	-	--
E1	Work-related illness	F4	F1	F3	F2
		0.56	0.28	0.1	0.06
E2	Drop in productivity	F3	F4	F1	F2
		0.52	0.29	0.14	0.05
E3	Drop in quality	F3	F1	F4	F2
		0.61	0.22	0.11	0.06
E4	Inadequate design	F1	F2	F3	F4
		0.51	0.31	0.12	0.06
E5	Pollution	F1	F4	F2	F3
		0.54	0.3	0.11	0.05
E6	Explosion and fire	F2	F1	F3	F4
		0.57	0.25	0.11	0.07

برای تعیین اهمیت کلی (*OS*) هر دسته از عوامل خطر، از حاصل ضرب مقدار اهمیت نسبی آن برای هر رویداد نامطلوب استفاده می‌شود. این محاسبه برای تخصیص مقدار وزن داده شده به هر یک از دسته عوامل خطر استفاده می‌شود.

$$\begin{aligned}\sqrt{OS_{F1}} &= 0.0246 \\ \sqrt{OS_{F2}} &= 0.0019 \\ \sqrt{OS_{F3}} &= 0.0046 \\ \sqrt{OS_{F4}} &= 0.0047\end{aligned}$$

وزن‌ها به هر یک از دسته‌های عوامل خطر به عنوان تابعی از رتبه اهمیت کلی (OS) آن‌ها، بر اساس مقادیر جدول ۵ تخصیص داده می‌شوند. بنابراین دسته‌های عامل خطری که تأثیر بیشتری بر وقوع رویداد نامطلوب داشته باشند، وزن بیشتری خواهند داشت.

جدول ۵- مطالعه موردی: تخصیص وزن دسته عوامل خطر

OS rank	Weighting assigned
1	4
2	3
3	2
4	1

در مطالعه موردی فعلی، جدول ۶ وزن‌های تخصیص داده شده به دسته‌های عوامل خطر را نشان می‌دهد.

جدول ۶- مطالعه موردی: تخصیص وزن به دسته‌های عوامل خطر

OS rank	Risk factor category	Weighting
1	Mechanical factors (F1)	4
2	Ambient factors and other nuisances (F4)	3
3	Human factors (F3)	2
4	Electrical factors (F2)	1

برای هر نوع رویداد نامطلوب، شدتی از خطر وجود دارد که با استفاده از تعداد عوامل خطر و وزن مربوط به هر دسته از عوامل خطر که براساس شکل ۴ و رابطه ۱۳ با هم مرتبطند، محاسبه شده و در جدول ۷ نشان داده شده است. بنابراین شدت خطر برای هر رویداد عبارت است از نسبت تعداد دسته‌های خطر مربوطه به تعداد عوامل و وزن متناظر با هر یک از آن‌ها.

جدول ۷- مطالعه موردی: محاسبه‌ی شدت عامل خطر برای هر رویداد نامطلوب

Undesirable event E_j	Linked risk factor category (Fig. 4) F_i	Factors in the category (Tables B.1–B.4) x_i	Weighting (Table 6) y_{ij}	$x_i y_{ij}$	Fraction of total Eq. (13)
E1	F1	7	4	28	–
	F4	7	3	21	–
			Sub-total E1	49	0.23
E2	F1	7	4	28	–
	F3	3	2	6	–
	F4	7	3	21	–
E3			Sub-total E2	55	0.26
	F3	3	2	6	–
			Sub-total E3	6	0.03
E4	F4	7	3	21	–
			Sub-total E4	21	0.10
E5	F1	7	4	28	–
	F4	7	3	21	–
			Sub-total E5	49	0.23
E6	F1	7	4	28	–
	F2	2	1	2	–
			Sub-total E6	30	0.14
			Total	210	100%

احتمال وقوع یک رویداد نامطلوب از شدت عوامل خطر مربوطه برای آن نوع رویداد محاسبه می‌شود. برای مثال، (Hallowell & Gambatese ۲۰۰۸) برای تبدیل اثر رویدادها به احتمالاتی در پروژه‌های اجرایی از داده‌های صنایع امریکا استفاده کردند. ما از جدول ۸ به عنوان مقیاسی عددی برای تبدیل شدت عامل خطر به احتمال وقوع رویداد استفاده کردیم.

جدول ۸- مطالعه موردی: جدول تبدیل شدت خطر به احتمال وقوع.

Relative concentration of risk	Probability of occurrence
0–0.15	0.1
0.16–0.25	0.3
0.26–0.5	0.5
0.56–0.75	0.7
0.76–0.9	0.9

بر اساس جدول ۸، جدول ۹ احتمال وقوع هر یک از رویدادهای نامطلوب مورد نظر محاسبه شد.

جدول ۹- مطالعه موردی: تخمین احتمال وقوع هر رویداد نامطلوب

Undesirable event	Relative concentration of risk	Probability of occurrence
E1	0.23	0.3
E2	0.26	0.5
E3	0.03	0.1
E4	0.10	0.1
E5	0.23	0.3
E6	0.14	0.1

اثر رویداد بر روی عملکرد، هزینه، تأخیرات و محیط زیست بر اساس مقیاس متناظر با مقدار زیان-های وارده به شرکت محاسبه می‌شوند (جدول ۱۰):

- اثر کم (۱، ۲ و ۳)
- اثر متوسط (۴، ۵ و ۶)
- اثر شدید (۷، ۸ و ۹)

جدول ۱۰- مطالعه موردی: تخمین اثر رویدادهای نامطلوب بر روی پروژه

Undesirable event	Impact on performance IP	Impact on cost IC	Impact on delays ID	Impact on the environment IE
Work-related illness (E1)	7	7	3	1
Drop in productivity (E2)	9	7	6	1
Drop in quality (E3)	7	6	6	1
Inadequate design (E4)	6	6	4	5
Pollution (E5)	7	5	2	9
Explosion and fire (E6)	7	7	7	8

سطح خطر یا شاخص خطر (جدول ۱۱) متناظر با هر رویداد نامطلوب با استفاده از رابطه (۱۲) و (۱۴) محاسبه می‌شود.

جدول ۱۱- مطالعه موردی: سطوح محاسبه شده خطر یا شاخص خطر

Undesirable event	Max (IP, IC, ID, IE)	Probability of occurrence	Level of risk (i) Eq. (12)
Work-related illness (E1)	7	0.3	2.1
Drop in productivity (E2)	9	0.5	4.5
Drop in quality (E3)	7	0.1	0.7
Inadequate design (E4)	6	0.1	0.6
Pollution (E5)	9	0.3	2.7
Explosion and fire (E6)	8	0.1	0.8

سرانجام، جدول ۱۲ سلسله مراتب و اولویت خطرها را بر اساس مقادیر به دست آمده در گام‌های قبلی نشان می‌دهد. این اولویت‌بندی به تیم پروژه این امکان را می‌دهد که به شیوه‌ای مرحله‌ای خطرات را کنترل نمایند.

جدول ۱۲- مطالعه موردی: رتبه‌بندی خطرات بر اساس اولویت

Undesirable event	Level of risk (i)	Priority
Drop in productivity (E2)	4.5	1
Pollution (E5)	2.7	2
Work-related illness (E1)	2.1	3
Explosion and fire (E6)	0.8	4
Drop in quality (E3)	0.7	5
Inadequate design (E4)	0.6	6

۶- بحث

شبیه‌سازی کاربرد رویکرد را نشان می‌دهد، که خطرات را بر اساس اثرشان بر روی رویدادهای نامطلوب رتبه‌بندی می‌کند. در مثال بررسی شده، محاسبات به ما این امکان را می‌دهد که خطرات OHS را از خطر افت کیفیت تشخیص دهیم. برای مقایسه‌های دو به دو عوامل خطر مشخص شده از نرم افزار Expert Choice استفاده کردیم، چون مزیت‌های زیر را دارد:

- کمینه کردن اختلافات مرتبط با محاسبات و تصحیحات سازگاری منطقی داوری-ها.
- پرهیز از تأثیر کارشناسان و تسلط یک عضو گروه.

- تسهیل اصلاح داوری‌ها و به روز کردن داده‌ها.
 - امکان رأی‌گیری هنگامی که هیچ نتیجه‌ای حاصل نشود.
 - محاسبه و نمایش نتایج تحلیل حساسیت به کار رفته برای آزمایش پیچیدگی داوری-ها.
 - مستندسازی فرآیند تصمیم‌گیری و امکان بررسی تصحیحات.
- داوری‌های شفاهی (جدول ۱-۱) توسط Expert Choice ارائه شده است که در فرآیند تصمیم‌گیری مهم می‌باشد. (۲۰۰۲) Forman & Selly اعلام می‌کنند که انسان با استفاده از کلمات برای اندازه‌گیری شدت احساسات و مقایسه دو چیز راحت‌تر است. این مقیاس امکان مقایسه‌ی مطمئن را فراهم می‌کند، بدون این که برای اهمیت نسبی هر یک از چیزها مقدار دقیقی بیان کند.
- رویکرد پیشنهادی این امکان استفاده از ترکیب از چندین ابزار را در عمل فراهم می‌کند، یعنی از علوم و پسخورد تجربیات برای تهیه بانک اطلاعاتی استفاده می‌کند و برای مقایسه‌ی عوامل خطر افزین از روش AHP بهره می‌گیرد. در ارزیابی خطرات، رویکرد پیشنهادی از مفهوم جدیدی به نام شدت عامل خطر برای تخمین احتمال وقوع رویدادها استفاده می‌کند. تیم مدیریت خطر می‌تواند به سرعت و سادگی شدت عوامل را محاسبه کرده و دسته‌های عوامل خطر را دو به دو با هم مقایسه نماید.
- مدل AHP این مزیت را دارد که یک سیستم پیچیده را به ساختاری سلسله مراتبی تجزیه می‌کند که نمایانگر ارتباط بین عوامل خطر، رویدادهای نامطلوب و اثر آنها می‌باشد و امکان ارزیابی شفاف خطرات را فراهم می‌کند. امکان مدیریت معیارهای پیچیده با استفاده از AHP، امکان ارزیابی واقع‌بینانه‌تر خطرات OHS را فراهم می‌کند. روش AHP ناسازگاری داوری‌های کارشناسی را کاهش داده و بر حسب قابلیت اطمینان قبل قبول به نظر می‌رسد. ویژگی ترکیب داده‌های کمی و کیفی و کنترل سازگاری داوری‌های کارشناسی AHP را برای رویکرد پیشنهادی کاربردی کرده است.
- رویکرد پیشنهادی رویکردی تکراری است، که امکان تصحیح و بازبینی معیارهای وزنی و داوری‌ها را بر اساس پیشرفت پروژه فراهم می‌کند و هم‌چنین امکان آزمایش تصمیمات اتخاذ شده برای کاهش یا رفع خطرات OHS تعیین و رتبه‌بندی شده را فراهم می‌آورد.

۷- محدودیت‌ها و پیشنهادات

با توجه به پیچیدگی داوری و مقایسه‌ی عوامل خطر OHS، ما برای سادگی مقایسه آن‌ها را در گروه‌هایی دسته‌بندی کردیم. این کار به ما امکان می‌دهد که عوامل خطر را در ابتدا با استفاده از ترکیبی از داده‌های تجربی و داوری‌های ذهنی مقایسه کنیم. این مقایسه روابط علت و معلولی که ما در اولین فاز رویکرد پیشنهادی تعیین می‌کنیم، محدود می‌کند، بدون آن که به اثرات تشدید بین عوامل خطر توجهی کنیم. ما در آینده سعی خواهیم کرد این اثرات تشدید را بررسی کنیم.

چندین محقق به محدود کردن ممیزان به انتخاب‌های از پیش تعریف شده‌ای برای معیارهای مقایسه‌ای، معکوس ضرایب مقایسه، استفاده از مقیاس جزئی و به ویژه فقدان مبانی تئوری روش AHP نقد دارند. ما نتایج به دست آمده توسط (۲۰۰۲) Forman & selly را قبول داریم که "AHP یک فرمول یا مدل جادویی نیست که جواب صحیح را بدهد. بلکه فرآیندی است که به تصمیم گیرندگان برای یافتن بهترین جواب کمک می‌کند". مدل AHP هم چنین داوری‌های ناسازگار را نادیده نمی‌گیرد. هنگامی که چنین ناسازگاری رخ می‌دهد، ممکن است بر تمامی داوری‌ها تأثیر بگذارد. دلایل این امر در زیر آمده است:

- داده ورودی نادرست، به ویژه هنگام پر کردن ماتریس‌های داوری (پر تکرارترین مورد).
 - اطلاعات مفقود شده، اگر داوری بر اساس اطلاعات و دانش ناقص انجام شود، سبب ناسازگاری تصادفی می‌شود.
 - تمرکز ضعیف، خستگی ممیز و انگیزه عواملی هستند که باید در نظر گرفته شوند.
 - مسائل مدل‌سازی: ساختار مدل و سلسله مراتب ساختاری باید نمایانگر واقعیت باشد.
- Expert Choice امکان شناسایی خطاهای داده‌های ورودی و بنابراین رفع یکی از پر تکرارترین موارد داوری-های ناسازگار را فراهم می‌کند. این ابزار هم چنین با نمایش فوری شاخص سازگاری برای هر ماتریس مقایسه این امکان را به ما می‌دهد که درجه ناسازگاری را کنترل کنیم. ما، به دلیل ساختار و قابلیت اطمینان اثبات شده AHP، بر استفاده کلی از آن به عنوان یک ابزار کمکی جهت تصمیم‌گیری در عملیات صنعتی تأکید داریم. در کارهای

آتی، شاید به منظور توسعه دامنه کاربران رویکرد پیشنهادی از دیگر روش‌های کمک تصمیم‌گیری چند معیاره مانند ELECTRE، MACBETH و PROMOTHEE استفاده کنیم.

در این مقاله، فاز نهایی رویکرد پیشنهادی، اقدام نامیده شد که در مطالعه موردی گنجانده نشد، چون این فاز بر فهرستی از اقدامات و برنامه‌ای پیشگیرانه مبتنی می‌باشد که در به طور کلی در بخش فروش اجرا می‌شود. در این طرح، هر اقدام در قالب چهار استراتژی تعریف می‌شود، آن گونه که (Aubert & Bernard ۲۰۰۴) شرح داده‌اند:

- تخفیف به عنوان معیاری جهت کاهش احتمال وقوع رویدادی نامطلوب در نظر گرفته می‌شود.
- انحراف شامل تغییر جهت تأثیر رویداد نامطلوب می‌باشد.
- تهیه طرح‌های عملیاتی شامل معیارهای اجرایی می‌شود که به منظور کاهش اثرات رویداد نامطلوب اجرا می‌شوند.
- فرض یا پذیرش خطر.

به منظور تسریع در شناسایی اجزای خطر با استفاده از رویکرد پیشنهادی، باید یک بانک اطلاعاتی OHS متناظر با رشته مورد نظر ایجاد شود. این امر قابلیت پاسخ‌دهی رویکرد را در این مرحله افزایش داده و سبب صرفه جویی در وقت می‌گردد و این امکان را فراهم می‌کند که گروه، کارشناسان و مدیر پروژه وقت بیشتری صرف شناسایی روابط علت و معلولی کنند.

ما قصد داریم از طریق بررسی رویکردمان در زمینه‌های صنعتی مختلف، داده‌های ورودی آن را از طریق مشاهدات، مصاحبه‌ها، تحلیل عملکردهای حاصل از تیم‌های پروژه مختلف گسترش دهیم. هنگامی که بان اطلاعاتی حاوی اجزای خطر به سطح مطلوبی از تکامل رسید، پیامدهای خطر بررسی می‌شوند. خطر OHS باید مانند دیگر انواع خطر در نظر گرفته شود و مدیریت شود.

۸- نتیجه‌گیری

رویدادهای فراوان صنعتی رخ داده ناکارآمدی روش‌های متعارف ارزیابی خطر را نشان می‌دهد، علاوه بر این روش‌های سنتی عواملی که اثر شدیدی بر سلامتی و ایمنی کارگران و افراد ساکن در نواحی اطراف دارند، را نادیده

می‌گیرند. فقدان ارزیابی‌های کامل و قابل اطمینان از ابتدای پروژه تصمیمات بدی را در پی خواهد داشت که حیات هر سازمانی را تهدید می‌نمایند.

در این مقاله یک رویکرد ابتکاری بر اساس عامل خطر متشکل از ۸ گام ارائه شده است که بر اساس شناسایی اجزای خطر و مفهوم جدیدی به نام شدت عامل خطر، مخاطرات OHS را در برنامه مدیریت خطر گنجانده است. به منظور افزایش تأثیر اقدامات پیشگیرانه اتخاذی، شناسایی و ارزیابی خطر OHS در فرآیند تحلیل خطر گنجانده شده است.

رویکرد پیشنهادی امکان تعیین اولویت و شناسایی سریع خطرات را فراهم می‌کند و به ممیزان این امکان را می‌دهد که بدون داشتن هیچ گونه تداخلی با دیگر بخش‌ها، دلایل اضافی بالقوه رویدادهای نامطلوب را شناسایی کنند. سادگی رویکرد پیشنهادی، کاربرد آن در صنایع کوچک و متوسط مقیاس را بدون نیاز به تجهیزات عمده‌ای میسر ساخته است.

کاربرد عملی رویکرد پیشنهادی با استفاده از یک مطالعه موردی شبیه‌سازی گردید و نتایج گام مقایسه‌ی دو به دویی با استفاده از نرم افزار کمک تصمیم‌گیری Expert Choice محاسبه شدند. بنابراین ما توانستیم با استفاده از تحلیل دقیق عوامل مرتبط با سلامتی و ایمنی انسان را تعیین کنیم و این عوامل را در تحلیل خطر بگنجانیم، که در این مطالعه موردی پروژه بیشتر در معرض خطرات OHS قرار داشت تا خطر افت کیفیت.

پیوست A

جدول A-۱ را ببینید.

جدول A-۱- ترکیبات دو دویی مقیاس AHP، از (Wang et al. ۲۰۰۸)

Numerical scale	Definition	Verbal explanation
1	Equal significance of the two elements	Two elements contribute equally to the property
3	Low significance of one element compared to another	Experience and personal assessments favor one element slightly over another
5	Strong significance of one element compared to another	Experience and personal assessments favor one element strongly over another
7	Confirmed dominance of one element over another	One element is strongly favored and its dominance is borne out in practice
9	Absolute dominance of one element over another	The evidence favoring one element over another appears irrefutable
2, 4, 6, 8	Intermediate values between two neighboring levels	The assessment falls between two levels
Reciprocals (1/x)	A value attributed when activity <i>i</i> is compared to activity <i>j</i> becomes the reciprocal when <i>j</i> is compared to <i>i</i>	

پیوست B

جداول B-۱ تا B-۴ را ببینید.

جدول B-۱- عوامل مکانیکی مؤثر در خطر OHS

Mechanical factors (F1)	
Code	Designation
F11	<i>Moving elements:</i> Chucks, tools, robots, turntables, grinders, conveyer belts
F12	<i>Handling:</i> Bridge crane, forklift, stacker, motorized trailer
F13	<i>Physical explosions:</i> Dust, gas, vapor, tank depressurizing, liquid on very hot surfaces
F14	<i>Heights:</i> Ladders, staircases, catwalks
F15	<i>Movement:</i> Obstacles on the ground, slopes, openings in the ground
F16	<i>Devices and elements under pressure:</i> Compressors, gas cylinders, hydraulic or pneumatic lines
F17	<i>Elements under strain:</i> Structures, slings, pulleys, loaded racks, piping

جدول B-۲- عوامل الکتریکی مؤثر در خطر OHS

Electrical factors (F2)	
Code	Designation
F21	<i>DC or AC electrical current:</i> Electrical room, electrical cabinet, transformer, wiring, overload of outlets
F22	<i>Static electricity:</i> Accumulation of charge on insulating materials; sparks in the presence of inflammable liquid transfer operations

جدول B-۳- عوامل انسانی مؤثر در خطر OHS

Human factors (F3)	
Code	Designation
F31	<i>High-risk behavior:</i> Alcohol, narcotics, tobacco, ignoring safety measures, ignoring safe limits/protection
F32	<i>Stress:</i> Work pace, work overload
F33	<i>Harassment</i>

جدول ۴-B- عوامل محیطی فیزیکی مؤثر در خطر OHS

Code	Designation
F41	<i>Ambient lighting:</i> Work station lighting, glare, luminosity
F42	<i>Video screens</i>
F43	<i>Ambient noise:</i> Infrasound, ultrasound, blowers, machinery
F44	<i>Vibrations:</i> Machines, motorized trailers
F45	<i>Contact temperature:</i> Hotplates, composting machine, Bunsen burner, hot surfaces, piping
F46	<i>Work station design:</i> Work posture, repeated movements, human-machine interface, station arrangement
F47	<i>Hostile environments:</i> Asphyxia caused by displacement of air by gas, work in isolation, physical aggression

پیوست C

مطالعه موردی: ماتریس‌های مقایسه‌ی دو به دویی

Work-related illnesses (E1)

	F1	F2	F3	F4
F1	1	5	3	0.50
F2	0.20	1	0.50	0.13
F3	0.33	2	1	0.14
F4	2	8	7	1

Inadequate design (E4)

	F1	F2	F3	F4
F1	1	2	4	7
F2	0.50	1	3	5
F3	0.25	0.33	1	2
F4	0.14	0.20	0.50	1

Drop in productivity (E2)

	F1	F2	F3	F4
F1	1	3	0.25	0.50
F2	0.33	1	0.11	0.14
F3	4	9	1	2
F4	2	7	0.5	1

Pollution (E5)

	F1	F2	F3	F4
F1	1	6	8	2
F2	0.17	1	3	0.33
F3	0.13	0.33	1	0.17
F4	0.50	3	6	1

Drop in quality (E3)

	F1	F2	F3	F4
F1	1	4	0.33	2
F2	0.25	1	0.13	0.50
F3	3	8	1	7
F4	0.50	2	0.14	1

Explosion and fire (E6)

	F1	F2	F3	F4
F1	1	0.33	3	4
F2	3	1	5	7
F3	0.33	0.20	1	2
F4	0.25	0.14	0.20	1