دوماهنامه سلامت کار ایران دوره ۱۴، شماره ۲، خرداد و تیر ۱۳۹۶

انتخاب روش بهینه برای تجزیه و تحلیل حوادث صنعت نفت با استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره Fuzzy ANP و Fuzzy TOPSIS

عمران احمدی[۱]، سید باقر مرتضوی[۲]، علی خوانین[۳]

تاریخ دریافت: ۹۴/۰۲/۱۸ تاریخ ویرایش: ۹۵/۰۶/۰۱ تاریخ پذیرش: ۹۵/۰۸/۱۷

چکیده

زمینه و هدف: بروز حوادث در صنعت نفت می‌تواند خسارات جانی و مالی جبران ناپذیری به همراه داشته باشد. بنابراین تجزیه و تحلیل و درک علت‌های حوادث در این صنعت برای پیشگیری از بروز آن‌ها بسیار مهم است. به دلیل وجود عوامل متعدد تأثیرگذار بر انتخاب روش تجزیه و تحلیل حوادث و تنوع روش‌ها، یکی از اصول و مبانی مهم تجزیه و تحلیل حوادث، انتخاب صحیح و کارآمد روش می‌باشد. بنابراین، این مطالعه با هدف انتخاب روش بهینه برای تجزیه و تحلیل حوادث صنعت نفت و با استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره انجام شد.

روش بررسی: در این مطالعه، مدلی بر اساس روش تصمیم‌گیری چند معیاره ساخته شد که شامل روش فرآیند تحلیل شبکه برای به دست آوردن وزن معیارهای استفاده شده جهت انتخاب روش و روش تاپسیس فازی برای ارزیابی اولویت‌بندی روش‌های تجزیه و تحلیل حادثه بود.

یافته‌ها: بر اساس نتایج، ۸ معیار اصلی و ۱۹ زیر معیار برای انتخاب روش تجزیه و تحلیل حادثه مورد استفاده قرار گرفت که معیارهای اصلی توانایی شناسایی سطوح چندگانه علل، نیاز آموزشی روش و سطوح دامنه کاربرد به ترتیب با وزن نهایی ۰/۳۷۵، ۰/۱۶۸ و ۰/۰۸۸ بیشترین وزن را در انتخاب روش داشتند. بر اساس نتایج اولویت‌بندی تاپسیس فازی، Tripod beta به‌عنوان روش بهینه برای حوادث انتخاب شد و روش‌های Bow tie و MTO در رتبه‌های بعدی قرار گرفتند.

نتیجه‌گیری: مطالعه حاضر نشان داد که برای انتخاب روش بهینه تجزیه و تحلیل حادثه، معیارهای زیادی با درجه اهمیت متفاوت وجود دارد. بر اساس اهمیت معیارهای این مطالعه، روش Tripod beta به‌عنوان روش بهینه برای تجزیه و تحلیل حوادث صنعت نفت انتخاب شد. به‌منظور بهبود تجزیه و تحلیل حوادث و پوشاندن ضعف روش Tripod beta، استفاده از این روش به همراه روش‌های دیگر می‌تواند کمک زیادی در تجزیه و تحلیل حادثه داشته باشد.

کلیدواژه‌ها: تجزیه و تحلیل حادثه، ANP فازی، TOPSIS فازی.

مقدمه

هرساله میلیون‌ها حادثه شغلی در سراسر جهان به وقوع می‌پیوندد. این حوادث برای جامعه، سازمان و کارکنان ضایعات فراوانی به بار می‌آورد و می‌تواند منجر به از دست رفتن وقت و سرمایه‌ی انسانی و مادی بسیاری گردد. با توجه به بستر نامناسب اقتصادی، زیربنایی و فرهنگی در کشورهای در حال توسعه، بروز حوادث در این کشورها بسیار حادتر از کشورهای توسعه یافته است. گزارش ILO نشان می‌دهد که تعداد حوادث منجر به مرگ به‌ویژه در برخی از کشورهای آسیایی به دلیل گزارش ضعیف، توسعه سریع و فش ارهای رقابتی قوی برای جهانی‌شدن، در حال افزایش است[۱]. ایران از این قاعده مستثنی نیست و هر سال حوادث زیادی در بخش‌های مختلف آن به وقوع می‌پیوندد. بنابراین شناسایی علل حوادث و اجرای برنامه‌ها و استراتژی‌های هدفمند جهت پیشگیری از وقوع حادثه ضروری است. صنعت نفت دارای فازهای مختلف فرآیندی از شروع ساخت یک فرآیند مانند فاز ایجاد تا فاز بهره‌برداری و همچنین شامل تنوع گسترده فرآیندها شامل پتروشیمی و گاز، پالایشگاه، سکوهای حفاری، اکتشاف، ساختمان‌سازی و دارای پیمانکاری‌های لایه‌ای و ارتباطات درون‌سازمانی و برون‌سازمانی مختلف بوده و یکی از پیچیده‌ترین صنایع می‌باشد. برای درس‌آموزی بهتر از حوادث اتفاق افتاده در بخش‌های مختلف صنعت نفت نیاز به ایجاد

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه بهداشت حرفه‌ای، دانشکده علوم پزشکی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران.

۲- (نویسنده مسئول)استاد، گروه مهندسی بهداشت حرفه‌ای، دانشکده علوم پزشکی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران. mortazav@modares.ac.ir

۳- دانشیار، گروه مهندسی بهداشت حرفه‌ای، دانشکده علوم پزشکی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران.

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2024-03-29]

زبان مشترک در تجزیه و تحلیل حوادث است تا اطلاعات به دست آمده از حوادث در تمام بخش‌های صنعت نفت به اشتراک گذاشته شود که این امر نیازمند داشتن ابزاری مشترک برای تجزیه و تحلیل حوادث صنعت نفت می‌باشد. با استفاده از تحقیق حادثه علت‌های بروز آن شناسایی شده و به عنوان مبنای اساسی برای درس آموزی از حوادث و بهبود ایمنی محسوب می‌شود و نقش موثری در کارآمدی مدیریت ایمنی خواهد داشت[۲، ۳]. هسته تحقیق حادثه، تجزیه و تحلیل آن است که شامل چگونگی اتصال علل یا شرایط مختلف می‌باشد. با توجه به علت‌های مختلف بروز حوادث و پیدایش بینش‌های جدید نسبت به آن‌ها، روش‌های متفاوتی برای تجزیه و تحلیل حادثه طراحی و توسعه داده شده است. از این رو، یکی از گام‌های موثر و اصولی در تجزیه و تحلیل حوادث، انتخاب شایسته و هدفمند روش است. سؤالی که مطرح می‌شود این است که آیا همه‌ی روش‌ها در هر موقعیتی می‌توانند مورد استفاده قرار گرفته و انتظارات فرد یا سازمان را برآورده نمایند. برای پاسخ به انتظارات یک سازمان باید معیارهای آن‌ها جهت انتخاب یک روش مناسب تعیین گردد، زیرا روش مناسب، روشی است که بر اساس معیارهای فرد یا سازمان انتخاب شود. هر یک از روش‌های موجود دارای نقاط ضعف و قوت هستند. بر اساس مطالعات انجام شده روشی که بتواند تمامی معیارهای مورد نظر یک سازمان را پوشش دهد، وجود ندارد[۸-۴]، اما با استفاده از نقاط قوت هر روش می‌توان جهت انتخاب روش بهینه، با توجه به معیارهای هر سازمان اقدام نمود. در این زمینه مطالعات مختلفی انجام شده و به نقاط ضعف و قوت روش‌ها و معیارهای مقایسه‌ی آنها اشاره شده است. در مطالعه‌ی سالمون و همکارانش (۲۰۱۲) سه روش Accimap، HFACS و STAMP مقایسه شده است [۹]. در مطالعه‌ای که استرومگرن و همکارانش انجام دادند، ۹ روش تجزیه و تحلیل حادثه را بر اساس معیارهایی مانند فرمت خروجی، اعتبار روش، میزان آموزش مورد نیاز برای کار با روش و میزان راهنمایی‌هایی که یک روش برای فازهای مختلف تحقیق حادثه ارائه می‌دهد، مورد مقایسه قرار دادند[۱۰]. کلتز روش‌های انتخاب شده برای تحقیقات حادثه را بر اساس ویژگی مانند ارائه توضیحات گرافیکی از توالی رویداد، تمرکز بر موانع ایمنی، سطوح سازمانی در نظر گرفته شده و اینکه چه نوع مدلی روش تجزیه و تحلیل را تحت تأثیر قرار می‌دهد، مقایسه کرده است[۴]. پنگیوتا و همکارانش روش‌های تجزیه و تحلیل حادثه را بر اساس هفت ویژگی: مدل‌های حادثه‌ای که روش تحقیق حادثه را تحت تأثیر قرار می‌دهد، ارائه توضیحات جزئی‌تر توسط روش در مورد حادثه، آشکار ساختن علل زمینه‌ای حادثه، ارائه پیشنهادهایی برای بهبود ایمنی، اعتبار روش، نیاز به آموزش توسط روش و زمینه‌ای که روش در آن کاربرد دارد، دسته‌بندی کرده‌اند[۵]. دین و همکارانش (۲۰۱۲) در مطالعه‌ی خود به وضعیت و محدودیت برخی از روش‌های تجزیه و تحلیل حادثه شامل MORT, MTO, TRIPOD, SOL, CREAM, Accimap اشاره‌کرده‌اند [۱۱]. Morrison در مطالعه‌ی خود ۱۱ روش تجزیه و تحلیل حادثه‌ای که در صنایع فرآیند شیمیایی به کار می‌روند را بر اساس ویژگی در نظر گرفتن ترتیب زمانی اتفاق‌ها، دیاگرام توالی، بارش افکار، شناسایی فاکتورهای علیتی، استفاده از چک لیست، درخت از پیش تعریف شده و درخت منطقی روش‌ها دسته‌بندی کرده است[۶].

انتخاب روش‌های بهینه نیازمند تصمیم‌گیری خوب و آگاهانه است ولی این موضوع به دلیل وجود فاکتورها و عوامل مؤثر (عوامل و معیارهای چندگانه) و یا وجود اهداف چندگانه (ورودی‌های متعدد و خروجی‌های متعدد) مشکل می‌باشد. اگر معیارها و فاکتورهای دخیل در فرآیند تصمیم‌گیری از نوع کمی باشد می‌توان با استفاده از توابع ریاضی آن را حل کرد. اگر معیار به‌صورت کیفی باشد نمی‌توان آن‌ها را همانند عوامل کمی با استفاده از معادلات ریاضی حل کرد. چگونگی تبدیل متغیرهای کیفی به صورت کمی موضوع مهمی برای حل مسائل مربوط به تصمیم‌گیری‌های چند

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2024-03-29]

معیاره (MCDM) می باشد[۱۲, ۱۳]. در دهه‌ی ۱۹۷۰ و ۱۹۸۰ پروفسور ساعتی یک ابزار کارآمد برای رسیدگی به مسائلی مانند MCDM توسعه داد که تحت عنوان فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (Analytic hierarchy process)(AHP) نامیده می‌شود[۱۴، ۱۵] که مسائلی همچون MCDM را توسط یک ساختار سلسله مراتبی با معیارها و زیر معیارهای مختلف نشان می‌دهد. سپس به مقایسه‌ی دوبه‌دو بین معیارها پرداخته می‌شود به نحوی‌که وزن‌دهی معیارها با توجه به مشکل مورد نظر تخمین زده می‌شود. همچنین این روش می‌تواند به‌منظور انتخاب بهترین گزینه بر اساس وزن و اهمیت نسبی هر معیار، استفاده شود. یکی از محدودیت‌های AHP فرض مستقل بودن عوامل مختلف است. AHP نمی‌تواند به صراحت، فعل و انفعالات عوامل مختلف/ خوشه‌ها را در نظر بگیرد که متأسفانه، معیارها به دلیل ماهیت دینامیک مسائل معمولاً مستقل در نظر گرفته می‌شوند. برای غلبه بر معایب مدل AHP، فرآیند تحلیل شبکه (Analytic Network) (ANP) Process) که اغلب برای حل مشکلات وابستگی میان گزینه‌ها یا معیارها استفاده می‌شود، به کار می‌رود. در مقایسه با روش AHP، روش ANP برای بسیاری از مدل‌های پیچیده که در آن بازخوردها و ارتباطات متقابل بین معیارها زیاد است، از دقت بالاتری برخوردار است. به عبارتی ANP مبین روابط درونی پیچیده‌تر میان سطوح تصمیم و زیر معیارها است[۱۸-۱۶].

ANPقادر به رسیدگی به وابستگی متقابل در میان معیارها با به دست آوردن وزن‌ها از طریق توسعه‌ی یک سوپر ماتریس می‌باشد. سوپر ماتریس یک ماتریس جزء بندی شده است که در آن هر یک از زیر ماتریس‌ها متشکل از مجموعه‌ای از روابط بین دو خوشه در یک ساختار شبکه‌ای هستند[۱۹]. برای انتخاب یک گزینه از بین گزینه‌های مختلف می توان از روش TOPSIS استفاده کرد. روش TOPSIS technique for order preference by) similarity to ideal solution) تکنیکی برای ارزیابی عملکرد گزینه‌ها از طریق مشابهت با راه‌حل‌های ایده‌آل آن می‌باشد که توسط هوانگ و یون پیشنهادشده است[۲۰]. مفهوم اصلی TOPSIS تحت عنوان راه‌حل ایده‌آل مثبت و راه‌حل ایده‌آل منفی است. راه‌حل ایده آل مثبت معیارهای مفید را به حداکثر و معیار هزینه را به حداقل می‌رساند. اما راه‌حل‌های ایده‌آل منفی درست برعکس عمل می‌کند. باوجود سادگی و رایج بودن TOPSIS، این مورد هم همچون روشAHP، اغلب به دلیل عدم توانایی جهت مقابله با مواردی که دارای عدم اطمینان و عدم دقت در فرآیند هستند، از سوی متخصصین مورد انتقاد واقع شده است [۲۱]. برای حل این مشکل استفاده از روش Fuzzy TOPSIS پیشنهادشده است. تا به‌این‌ترتیب با استفاده از منطق فازی بر پارامترهای نامشخص و اطلاعات نادرست همراه TOPSIS غلبه کنند. هدف از این مطالعه انتخاب روش بهینه برای تجزیه و تحلیل حوادث صنعت نفت با استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره fuzzy ANP و fuzzy TOPSIS می باشد.

روش بررسی

در این مطالعه از روش‌هایFuzzy ANP و Fuzzy TOPSIS به‌منظور انتخاب روش بهینه برای صنعت نفت استفاده گردید. برای انجام مطالعه مراحل زیر به ترتیب اجرا شد:

۱- شناسایی روش‌های تجزیه‌وتحلیل حادثه:

برای شناسایی روش‌های تجزیه و تحلیل حادثه از جستجوی مقالات با کلید واژه‌هایی مانند روش‌های/ مدل‌های تجزیه و تحلیل حادثه، تحقق حادثه/ رویداد، روش‌های تجزیه و تحلیل اتفاق، مقایسه روش‌های تجزیه و تحلیل حادثه، تجزیه و تحلیل علل ریشه‌ای و علل ریشه‌ای در پایگاه های اطلاعاتی معتبر مانند google scholar، science direct، safety science, Scopus، PubMed بهره گرفته شد.

۲- انتخاب روش‌های تجزیه و تحلیل

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2024-03-29]

حادثه جهت مطالعه: برای انتخاب روش های تجزیه و تحلیل حادثه جهت مطالعه از معیارهای ورود به مطالعه شامل در دسترس بودن روش، در دسترس بودن نرم‌افزارهای روش‌های نرم‌افزاری، در دسترس بودن راهنمای روش، اشاره شده در داخل مقالات معتبر، استفاده شد. روش‌های انتخاب شده به همراه خلاصه‌ای از ویژگی روش‌ها در جدول ۱ ارائه شده است.

۳- شناسایی معیارها و زیر معیارها برای انتخاب روش و تعیین وابستگی بین آن‌ها: برای انتخاب روش بهینه تجزیه‌وتحلیل حادثه، تمامی معیارها و زیرمعیارهای اشاره شده در مقالات و مطالعات گذشته شناسایی شد و پرسشنامه ای از معیارها تهیه گردید. به منظور تعیین ضروری بودن معیارها برای انتخاب روش و همچنین اضافه نمودن معیارهای دیگر، این پرسشنامه به ۵ نفر از متخصصین صنعت نفت که در حوزه تجزیه و تحلیل حوادث صاحب نظر بودند، ارسال شد. سپس بر اساس پاسخ متخصصین، نسبت روایی محتوای پرسشنامه محاسبه شد و معیارهای مناسب مطالعه انتخاب گردید. به‌منظور تعیین وابستگی بین معیارها و زیر معیارها، پرسشنامه تهیه‌شده از معیارها و زیر معیارها به متخصصین ارسال شد. سپس بر اساس پاسخ متخصصین، با قرار دادن امتیاز ۰/۶ به‌عنوان مبنا، معیارها و زیر معیارهای دارای وابستگی مشخص گردید. معیارها و زیر معیارهای ارائه‌شده برای انتخاب روش تجزیه‌وتحلیل حادثه در این مطالعه در جدول ۲ ارائه شده است.

۴- تعیین وزن معیارها و زیر معیارها: جهت تعیین وزن معیارها و زیر معیارها توسط متخصصین از روش فرآیند شبکه تحلیلی (ANP) استفاده شد. برای این منظور پرسشنامه ای از معیارها و زیر معیارها تنظیم گردید و برای وزن دهی آن ها از متخصصین مربوط به بخش‌های مختلف صنعت نفت که دارای مشخصات زیر می‌باشند استفاده شد.

- ✓ متخصصین ایمنی خبره در صنعت نفت
- ✓ تحقیق‌کنندگان حادثه خبره در صنعت نفت
- ✓ مدیران ایمنی خبره صنعت نفت
- ✓ این افراد باید حداقل دارای ۳ سال تجربه کاری در ایمنی صنعت نفت و تجربه حداقل سه بار تجزیه و تحلیل حادثه را داشته باشند.

برای تحلیل شبکه ANP مراحل زیر به ترتیب اجرا می‌گردد:

مرحله اول: ساخت مدل و ساختار بندی مساله ANP

برای این منظور بعد از مشخص شدن معیارها و زیرمعیارهای مرتبط و تعیین شدن وابستگی معیارها توسط متخصصین، ساختار شبکه ANP بر اساس ارتباط بین خوشه‌ها و عناصر در هر خوشه مطابق شکل ۱ تشکیل شد.

مرحله دوم: ماترس‌های مقایسات زوجی

در روش تحلیل شبکه‌ای، عناصر تصمیم در هر قسمت با توجه به اهمیت آن‌ها در کنترل معیار به صورت زوجی مقایسه می‌گردند. ماتریس مقایسات زوجی از طریق تبدیل عبارات کلامی به داده های فازی تبدیل می‌شوند. عناصر تصمیم در هر یک از خوشه‌ها براساس میزان اهمیت آنها در ارتباط با معیارهای کنترلی دو به دو مقایسه می‌شوند.

خود خوشه‌ها نیز بر اساس نقش و تاثیر آنها در دستیابی به هدف دو به دو مورد مقایسه قرار می‌گیرند. تصمیم گیران در مورد مقایسه زوجی عناصر و یا خود خوشه‌ها دو به دو باید تصمیم گیری کنند. علاوه بر این، وابستگی‌های متقابل بین عناصر یک خوشه نیز باید دو به دو مورد مقایسه قرار گیرند. تاثیر هر عنصر بر روی عنصر دیگر از طریق بردار ویژه قابل ارائه است. در این قسمت بردار اهمیت داخلی محاسبه می‌شود که نشانگر اهمیت نسبی عناصر یا خوشه‌ها می‌باشد. در این مطالعه به‌منظور وزن دهی معیارها و زیر معیارها توسط متخصصین، با توجه به رویکرد فازی، از عبارات کلامی و اعداد فازی مثلثی $\tilde{9}$–$\tilde{1}$ مندرج در جدول ۱ استفاده گردید.

مرحله سوم: محاسبه بردارهای وزن با استفاده از روش آنالیز توسعه

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2024-03-29]

جدول ۱- اعداد فازی و عبارت کلامی

کد	عبارات کلامی	عدد فازی
۱	ترجیح برابر	(۱,۱,۱)
۲	ترجیح کم تا متوسط	(۱,۱.۵,۱.۵)
۳	ترجیح متوسط	(۱,۲,۲)
۴	ترجیح متوسط تا زیاد	(۳,۳.۵,۴)
۵	ترجیح زیاد	(۳,۴,۴.۵)
۶	ترجیح زیاد تا خیلی زیاد	(۳,۴.۵,۵)
۷	ترجیح خیلی زیاد	(۵,۵.۵,۶)
۸	ترجیح خیلی زیاد تا کاملاً زیاد	(۵,۶,۷)
۹	ترجیح کاملاً زیاد	(۵,۷,۹)

در این پژوهش برای محاسبه بردارهای وزن، از فرایند تحلیل شبکه‌ای فازی که بر روش آنالیز توسعه مبتنی است، استفاده شد. تکنیک مورد استفاده در این پژوهش، روش توسعه چانگ است [۲۲] که شامل مراحل زیر می باشد:

الف- مرکب فازی: برای مقایسه‌های زوجی از اعداد فازی مثلثی استفاده می‌شود و برای هر سطر ماتریس مقایسه‌های زوجی، ارزش S_i که خود یک عدد فازی مثلثی است از رابطه ۱ محاسبه می‌شود:

(۱)

$$S_i = \sum_{j}^{m} M_{gi}^{j} \otimes \left[\sum_{i=1}^{n} \sum_{j=1}^{m} M_{gi}^{j} \right]^{-1}$$

برای محاسبه ماتریس از روابط ۲ و۳ و ۴ استفاده می‌شود:

(۲)

$$\sum_{j}^{m} M_{gi}^{j} = \left(\sum_{j=1}^{m} l_j , \sum_{j=1}^{m} m_j , \sum_{j=1}^{m} u_j \right)$$

(۳)

$$\sum_{i=1}^{n} \sum_{j=1}^{m} M_{g_i}^{j} = \left(\sum_{i=1}^{n} l_j , \sum_{i=1}^{n} m_j , \sum_{i=1}^{n} u_j \right)$$

(۴)

$$\left[\sum_{i=1}^{n} \sum_{j=1}^{m} M_{g_i}^{j} \right]^{-1} = \left(\frac{1}{\sum_{i=1}^{n} u_i} , \frac{1}{\sum_{i=1}^{n} m} , \frac{1}{\sum_{i=1}^{n} l_i} , \right)$$

ب: محاسبه درجه امکان پذیری و ارجحیت

پس از محاسبه S_i ها، باید درجه بزرگی آن ها را نسبت به هم به دست آورد. به طور کلی، اگر M_1 و M_2 ، دو عدد فازی مثلثی باشند، محاسبه درجه امکان پذیری ارجحیت M_2 نسبت به M_1 که به صورت زیر نمایش داده می شود،

$$M_2 = (l_2, m_2, u_2) \geq M_1 = (l_1, m_1, u_1)$$

و به شیوه زیر تعریف می گردد:

(۵)

$$V\left(M_2 \geq M_1\right) = \sup\left[\mu_{M_1}(x), \mu_{M_2}(y)\right]$$

این رابطه به صورت تساوی می‌تواند به صورت زیر باشد:

(۶)

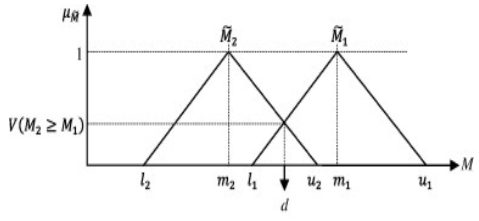
$$V\left(M_2 \geq M_1\right) = hgt\left(M_1 \cap M_2\right) = \mu_{M_2}(d)$$

$$= \begin{cases} 1, & if \quad m_2 \geq m_1, \\ 0, & if \quad l_1 \geq u_2, \\ \dfrac{a_1 - c_2}{(b_2 - c_2) - (b_1 - a_2)} & otherwise \end{cases}$$

جایی که d بالاترین نقطه تقاطع بین M_1 و M_2 است، هر دو مقدار زیر

$V\left(M_1 \geq M_2\right)$ و $V\left(M_2 \geq M_1\right)$

مورد نیاز برای مقایسه M_1 و M_2 در شکل ۱ نشان داده شده است.



شکل ۱- بالاترین نقطه تقاطع M_1 و M_2

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2024-03-29]

جایی که $k=1,2,...,n;k\neq i$. می باشد، میزان ارجحیت یک عدد فازی مثلثی از k عدد فازی $M_i(i=1,2,...,k)$ دیگر، از رابطه زیر به دست می آید:

(۷)

$$V(M\geq M_1,M_2,...,M_k)$$
$$=V\left[(M\geq M_1)and(M\geq M_2)and..and(M\geq M_k)\right]$$
$$=\min V(M\geq M_i),i=1,2,...,k.$$

(۸)

$$d'(A_i)=\min V(M\geq M_i)$$

ج: نرمالایز کردن
اگر فرض شود

$$d'(A_i)=\min V(M\geq M_i)$$

و

$$d'(A_i)=\min V(s_i\geq s_k)$$

باشد، جایی که بردارهای وزن نرمال شده W اعداد غیر فازی هستند بردار وزن می‌تواند از رابطه ۹ بدست آید:

(۹)

$$W=\left(d(A_1),d(A_2),...,d(A_n)\right)^T$$

مرحله چهارم: تشکیل سوپر ماتریس

برای بدست آوردن اولویت بندی کلی در یک سیستم با تاثیرات وابسته، بردارهای اولویت محلی وارد ستون‌های یک ماتریس می‌گردند. در حقیقت یک ماتریس تصمیم، یک ماتریس تقسیم شده به اجزای کوچکتر است. اگر یک سیستم تصمیم، دارای C_k جزء تصمیم بوده و $k=1,2,....,n$ و هر جز k دارای m عنصر باشد که با $e_{k1},e_{k2},...e_{km}$ نشان داده شود، سوپر ماتریس زیر، نمایانگر بردارهای به دست آمده بر اساس جهات تاثیر خواهد بود.

$$W=\begin{array}{c} \\ C_1 \\ \\ \\ C_k \\ \\ \\ C_n \\ \\ \end{array}\begin{array}{c} \begin{array}{ccccccccccc} C_1 & & & & C_k & & & & C_n & & \\ e_{11} & e_{12} & \cdots & e_{1m1} & \cdots & e_{k1} & e_{k2} & \cdots & e_{k\,mk} & e_{n1} & e_{n2} & \cdots & e_{n\,mn} \end{array} \\ \begin{bmatrix} w_{11} & \cdots & w_{1k} & \cdots & w_{1n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ w_{k1} & \cdots & w_{kk} & \cdots & w_{kn} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ w_{n1} & \cdots & w_{nk} & \cdots & w_{nn} \end{bmatrix} \end{array}$$

اگر دسته i تاثیری در دسته j نداشته باشد.، آنگاه $W_{ij}=0$ خواهد بود. ماتریسی که در این گام به دست می‌آید، سوپر ماتریس بی وزن نامیده می‌شود. این سوپر ماتریس برپایه روش زنجیره مارکوف طبق معادله زیر:

$$W=\lim_{k\to\infty} w^{2k+1}$$

آنقدر به توان می‌رسد (در خود ضرب می شود) که سطرهای آن به اعداد ثابتی میل کنند که در این حالت سوپر ماتریس حدی تشکیل می‌شود.

گام پنجم، محاسبه وزن نهایی معیارها

درآخرین مرحله با توجه به جدول وزن خوشه‌ها و سوپر ماتریس حد، وزن نهایی معیارها محاسبه می‌شود. در این مطالعه از روش بردار ویژه برای تعیین وزن استفاده شد.

۵- ساخت ماتریس تصمیم‌گیری و رتبه بندی روش‌ها:

به‌منظور ارزیابی و رتبه‌بندی روش‌های تجزیه و تحلیل حادثه با استفاده از Fuzzy TOPSIS، معیارها و زیرمعیارهای وزن دهی شده با استفاده از ANP، توسط محقق با توجه به طیف امتیازدهی لیکرت، امتیاز داده شد. معیار روایی و پایایی برای اولویت بندی نهایی روش‌ها در نظر گرفته نشد. چون بر اساس مطالعات گذشته مطالعه‌ی معتبری در خصوص بررسی روایی و پایایی روش های تجزیه و تحلیل حادثه انجام نگرفته است[۵].

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2024-03-29]

مراحل روش fuzzy TOPSIS به‌صورت زیر می‌باشد:

گام اول: ایجاد ماتریس تصمیم

اگر فرض شود که m گزینه(Ai (i=1, 2, 3… m) در برابر n معیار انتخاب (Zj (j=1, 2, …, n) باشد. ماتریس تصمیم به‌صورت زیر خواهد بود:

$$\tilde{D}_{m\times n}=\begin{array}{c|ccccc} & Z_1 & Z_2 & Z_3 & \dots & Z_n \\ A_1 & \tilde{x}_{11} & \tilde{x}_{12} & \tilde{x}_{13} & \dots & \tilde{x}_{1n} \\ A_2 & \tilde{x}_{21} & \tilde{x}_{22} & \tilde{x}_{23} & \dots & \tilde{x}_{2n} \\ A_3 & \tilde{x}_{31} & \tilde{x}_{32} & \tilde{x}_{33} & \dots & \tilde{x}_{3n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ A_m & \tilde{x}_{m1} & \tilde{x}_{m2} & \tilde{x}_{m3} & \dots & \tilde{x}_{mn} \end{array}$$

$$W=[\tilde{w}_1,\tilde{w}_2,\dots,\tilde{w}_n]$$

$\dot{x}_{ij}$ امتیاز i امین گزینه (Ai) با توجه به j امین معیار (Zj) و wj نشان‌دهنده وزن j امین معیار(Zj) می‌باشد:

گام دوم: محاسبه‌ی ماتریس تصمیم نرمال شده برای حذف غیرنرمالیته‌های ناشی از واحدهای اندازه‌گیری متفاوت

اگر $\dot{R}$ نشان‌دهنده ماتریس تصمیم فازی نرمال شده باشد:

$$\dot{R}=\left[\dot{r}_{ii}\right] \quad ,i=1,2,\dots,m\,,and\,.j=1,2,\dots,n$$

جایی که داده‌های فازی با استفاده از اعداد فازی مثلثی (l_{ij}, m_{ij},u_{ij}) نشان داده می‌شوند، مقدار نرمال شده به‌صورت زیر محاسبه می‌شود که B معیار سود و C معیار هزینه می‌باشد:

$$r_{ij}=\left\{\left(\frac{l_{ij}}{u_j^+},\frac{m_{ij}}{u_j^+},\frac{u_{ij}}{u_j^+}\right),j\in B\right.$$

$$r_{ij}=\left\{\left(\frac{l_{ij}}{u_j^-},\frac{m_{ij}}{u_j^-},\frac{u_{ij}}{u_j^-}\right),j\in C\right.$$

و

$$u_i^+=\max x_i u_{ii} \qquad \text{if } j\in B$$
$$l_j^-=\min_i^-=\min_i l_{ij} \ \text{if } j\in C\,.$$

گام سوم: محاسبه ماتریس تصمیم نرمال وزن داده شده:

جایی که $\dot{w}_{ii}$ وزن فازی معیارهایZ_j می‌باشد، ماتریس تصمیم نرمال وزن داده‌شده ($\dot{V}$)می‌تواند با ضرب وزن معیارها در مقدار ماتریس تصمیم نرمال شده به دست آید:

$$\dot{V}=\left[\dot{v}_{ij}\right]_{m\times n}, \qquad i=1,2,\dots,m;$$

$$j=1,2,\dots,n\ \dot{v}=\dot{r}_{ij}\times\dot{w}_{ij} \quad ،$$

گام چهارم: تعیین راه‌حل‌های ایده آل مثبت و ایده آل منفی

ایده‌آل مثبت فازی با A^+ و ایده آل منفی فازی با A^- نشان داده می‌شوند و جایی که $\dot{v}_j=(1,1,1)$ و $\dot{v}_j=(0,0,0), j=1,2,\dots,n.$ می‌باشد، به صورت زیر تعریف می‌گردند:

$$A^+=\left(\dot{v}_1^+,\dot{v}_2^+,\dots,\dot{v}_j^+,\right)=\{(\max_i v_{ij}, i=1,2\dots,m), j=1,2,\dots,n\}$$

$$A^-=\left(\dot{v}_1^-,\dot{v}_2^-,\dots,\dot{v}_j^-,\right)=\{(\min_i v_{ij}, i=1,2\dots,m), j=1,2,\dots,n\}$$

گام پنجم: محاسبه‌ی فاصله هر گزینه از راه‌حل ایده آل مثبت و ایده آل منفی

$$d_i^+=\sum_{j=1}^n d\left(\dot{v}_{ij},\dot{v}_j^+\right), i=1,2,\dots m\,;$$

$$d_i^-=\sum_{j=1}^n d\left(\dot{v}_{ij},\dot{v}_j^-\right), i=1,2,\dots m\,;$$

جایی که $d\left(\dot{v}_{ij},\dot{v}_j\right)$ فاصله‌ی بین دو عدد فازی را نشان می‌دهد. d^+ فاصله گزینه از ایده آل مثبت و d^- نشان دهنده‌ی فاصله گزینه از ایده آل منفی می‌باشد:

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2024-03-29]

گام ششم: محاسبه نزدیکی نسبی نسبت به راه‌حل ایده آل (ضریب نزدیکی CCi)

$$CC_i = \frac{d_i^-}{d_i^+ + d_i^-}$$

$$i = 1, 2, ..., m$$

ضریب نزدیکی CCi برابر ۱ نشان‌دهنده نزدیکی گزینه به ایده آل مثبت می‌باشد گزینه با CC_i بالا بهترین انتخاب خواهد بود.

گام هفتم: اولویت‌بندی گزینه‌ها

با توجه به بزرگی ضریب نزدیکی، روش‌ها به ترتیب اولویت بندی می‌شوند.

یافته‌ها

روش‌های مورد بررسی در این مطالعه شامل AEB، MTO، STEP، FTA، MORT، SCAT Tripod-Beta، HSG245، 3CA، STAMP، HFACS، ETA، ECFA، SOL، Bow Ties و Accimap می‌باشد. خلاصه‌ای از ویژگی روش‌های مورد بررسی، در جدول ۲ ارائه شده است.

وزن نهایی و رتبه نهایی هر معیار و زیر معیار بر اساس فرآیند تحلیل شبکه در جدول ۳ ارائه شده است. بر اساس این نتایج معیار اصلی توانایی شناسایی سطوح چندگانه علل، نیاز آموزشی روش، سطوح دامنه کاربرد روش به ترتیب با ۰/۳۷۵، ۰/۱۶۸ و ۰،۰۸۸ بیشترین اهمیت را برای انتخاب روش دارند. شناسایی علل ریشه‌ای حادثه، علل زمینه‌ای حادثه، پوشش دادن سطوح مدیریتی و سازمانی و همچنین ارائه گرافیکی به ترتیب با وزن نهایی ۰/۱۳۳، ۰/۱۲۲، ۰/۰۹۳، ۰/۰۴۹ بیشترین اهمیت را در بین زیر معیارهای ارائه‌شده برای انتخاب روش تجزیه و تحلیل حادثه دارند.

نتایج حاصل از رتبه‌بندی روش‌ها در جدول ۴ ارائه شده است. در این جدول ضریب نزدیکی (CC)، فاصله از ایده آل مثبت، فاصله از ایده آل منفی و رتبه نهایی روش‌ها ارائه شده است. نتایج حاصل از رتبه‌بندی روش‌ها با تکنیک تاپسیس فازی حاکی از این است که روش Tripod beta نسبت به سایر روش‌ها دارای بالاترین رتبه است و روش‌های bow tie و MTO

جدول ۲- روش‌های تجزیه‌وتحلیل حادثه انتخاب‌شده برای مطالعه

روش	برخی از محل به‌کاررفته	رفرنس	سال ایجاد	خلاصه‌ای از ویژگی روش
AEB	نیروگاه برق- بیمارستان- راه‌آهن	[۲۳-۲۵]	۱۹۹۱	روشی جهت آنالیز حادثه فراهم می‌کند که به کمک آن سیر تکاملی حادثه به‌عنوان مجموعه‌ای از تعاملات میان سیستم‌های فنی و انسانی مدل‌سازی می‌شود. این تعاملات شامل نقص‌ها، اعمال نادرست و یا خطاهایی هستند که می‌توانستند منجر به وقوع حادثه شوند. این روش محقق را وادار می‌کند تا در تجزیه و تحلیل‌هایی که با تکنیک‌های فلوچارتی ساده شروع شده، سیستم‌های فنی و انسانی را با یکدیگر تلفیق کند.
MTO	نفت	[۲۶]	۱۹۸۸	اساس آنالیز MTO بر پایه عوامل فنی، سازمانی و انسانی است که باید به‌طور مساوی در فرایند تحقیق موردتوجه قرار گیرند. این روش بر اساس سیستم افزایش عملکرد انسانی می‌باشد. آنالیز MTO بر اساس سه روش آنالیز ساختار یافته با استفاده از دیاگرام علل و دیاگرام رویداد، آنالیز تغییر با شرح انحراف رویدادها از رویدادهای ساده‌تر و اعمال عادی و آنالیز موانع با شناسایی موانع فنی و اجرایی (مدیریتی) ناموفق می‌باشد.
STEP	برای حوادث شغلی در کلیه‌ی بخش‌های فعال		۱۹۸۷	فرآیندی سیستماتیکی جهت تحقیق حادثه بر اساس سلسله مراتب وقایع چندخطی و مشاهده فرآیند حادثه می‌باشد. کاربرگ STEP روشی سیستماتیک جهت سازماندهی بلوک‌ها برای شرح جامع و چندخطی از فرایند حادثه، فراهم می‌کند. این کاربرگ ماتریس ساده‌ای است که رویدادها و عامل (هر عمل توسط یک عامل انجام می‌شود) را در یک ردیف و با زمان بندی بر روی محور افقی نشان می‌دهد.
FTA	سازگار با سازمان دفاع آمریکا	[۲۷]	۱۹۶۰	در روش FTA رویداد اصلی انتخاب شده و تمامی احتمالات سهیم در وقوع رویداد به‌صورت دیاگرام درختی و به منظور نمایش روابط منطقی و عللی که منجر به وقوع حادثه شده، نشان داده می‌شود. FTA بیشتر یک ابزار تحلیلی برای ایجاد روابط است؛ هیچ کمکی جهت جمع‌آوری اطلاعات به محقق نمی‌دهد. آنالیز با یک رویداد اصلی که باید به دقت تعیین گردد شروع می‌شود و سپس به سمت رویدادهای قبلی دنبال می‌شود. رویداد اصلی با شرایط و رویدادهای قبلی (همچون عوامل فنی، اعمال انسانی) از طریق دو دروازه‌ی منطقی («و»،» یا») مرتبط است.

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2024-03-29]

در رتبه‌های بعدی قرار دارند.

ادامه جدول ۲

MORT	مناسب برای سازمان‌های بزرگ و بروکراتیک، تکنیک کاربردی برای صنایع هسته‌ای	[۲۹ ,۲۸]	۱۹۷۳	روشی سیستماتیک (درخت تحلیلی) برای برنامه‌ریزی، سازماندهی و هدایت تحقیق جامع حوادث ایجاد می‌کند. از طریق تجزیه و تحلیل، محقق می‌تواند نقص‌ها و کمبودهای مربوط به فاکتورهای سیستم مدیریت و فاکتورهای کنترلی خاص را شناسایی کند. این فاکتورها به منظور شناسایی عوامل علّی حادثه ارزشیابی و آنالیز می‌شوند. چک‌لیست گرافیکی این روش حاوی سوالات عمومی است که محقق تلاش دارد با استفاده از داده‌های واقعی موجود به سؤالات پاسخ دهد. همچنین محقق را در تمرکز بر عوامل علّی کلیدی بالقوه توانمند می‌سازد.
SCAT	برای حوادث شغلی در کلیه‌ی بخش‌های فعال	[۵ ,۴]	۱۹۸۰	تکنیک سیستماتیک آنالیز علت، ابزاری است که به تحقیق و ارزشیابی حوادث از طریق به‌کارگیری نمودار SCAT کمک می‌کند. نمودار SCAT چک‌لیستی است که اطمینان می‌دهد در فرایند تحقیق، تمام جنبه‌های حادثه در نظر گرفته‌شده است. این نمودار پنج بلوک دارد و هر بلوک SCAT به بلوکی از مدل کنترل علت خسارت مربوط است. بلوک‌ها به ترتیب پیامد، رویداد، علت غیرمستقیم، علت زمینه‌ای و علت ریشه‌ای می‌باشند.
TRIPOD BETA	نفت	[۳۰]	۱۹۹۴	روش نرم‌افزاری هست که فراهم کننده دیدگاهی درخت‌مانند از حادثه‌ی مورد تحقیق می‌باشد. این ابزار، محقق را از طریق فرآیند ایجاد نمایش گرافیکی حادثه هدایت می‌کند. حادثه زمانی ایجاد می‌شود که عامل بر روی هدف تأثیر بگذارد که این در اثر شکست موانع یا نبود موانع اتفاق می‌افتد. شکست موانع در اثر رفتار ناایمن می‌باشد که براثر پیش‌زمینه‌هایی ایجادشده‌اند که این پیش‌زمینه‌ها نیز بر اساس ۱۱ ریسک پایه ایجاد می‌شوند.
HSG245	برای حوادث شغلی در کلیه‌ی بخش‌های فعال	[۳۱ ,۵]	۲۰۰۴	این روش، مدل علت و معلولی حادثه‌ی Reason را دنبال می‌کند. نقطه‌ی شروع، حادثه است و با سؤالات ساختار یافته و خاص به کشف حقایق و یافته‌ها کمک می‌کند. هدف آنالیز تعیین چرایی وقوع حادثه و کشف علل فوری، زمینه‌ای و ریشه‌ای است.
3CA	برای حوادث شغلی در کلیه‌ی بخش‌های فعال	[۵]	۲۰۰۴	محقق با استفاده از 3CA حادثه را به‌صورت توالی رویدادهایی که در آن‌ها تغییرات ناخواسته رخ‌داده است می‌بینند. ازلحاظ کشف یافته‌ها و حقایق، این روش برای شناسایی «رویدادهای مهم» طراحی‌شده است. رویدادهای مهم رویدادهایی هستند که کنترل‌ها را کاهش داده و یا وقوع تغییرات ناخواسته را افزایش می‌دهند. با مجموعه‌ی رویدادهای مهم محقق می‌تواند ۱- موانع و کنترل‌هایی که می‌توانست از وقوع رویدادهای مهم جلوگیری کند و یا پیامدشان را محدود کند، شناسایی نماید. ۲- کمبودها و نقص‌های موانع و کنترل‌ها را شناسایی کند. ۳- قواعد و مقررات مدیریتی و فرایندی را که در زمان وقوع حادثه باعث ایجاد مشکل در موانع و کنترل‌ها شده‌اند را شناسایی نماید.
STAMP	ریلی- هوایی- نفتی	[۳۳ ,۳۲]	۲۰۰۴	یک مدل مبتنی بر مانع است که به اثر تقابل بین اجزای سیستم و مکانیسم‌های کنترل مورد استفاده در سراسر سیستم کار تمرکز می‌کند. STAMP، سیستم را به‌عنوان سطوح سلسله مراتبی از کنترل‌ها می‌داند که هر سطحی در سلسله مراتب اعمال مانع، بر سطح زیرین فشار وارد می‌نماید. در مقابل، اطلاعات در سطوح پایین‌تر در مورد تناسب و شرایط محدودیت کنترل‌ها به سطح بالا منتقل می‌شود. شبیه چارچوب راسموسن، STAMP بر چگونگی پویایی و جابجایی سیستم‌های پیچیده به سمت حوادث به علت فشارهای فیزیکی، اجتماعی و اقتصادی، به‌جای از دست دادن ناگهانی توانایی کنترل تأکید می‌کند.
HFACS	نظامی و حمل و نقل	[۳۵ ,۳۴ ,۹]	۱۹۹۹	این روش بر پایه مدل ریزن می‌باشد که خطاهای انسانی را به‌عنوان مجموعه‌ای از نقص‌های فعال و نقص‌های نهان معرفی می‌کند. این روش حادثه را در چهار سطح بررسی می‌کند. سطح اول (عملیات) که وقایع تحت عنوان کلی اعمال ناایمن اپراتورها طبقه‌بندی می‌شود که می‌تواند منجر به یک حادثه شود. سطح دوم به‌پیش شرایط برای اعمال ناایمن که بیش از ۷ زیرگروه دارد می‌پردازد. سطح سوم مربوط به بررسی یا نظارت ناایمن دارد. چهارمین سطح تأثیر سازمانی هست که شامل سه زیرگروه مدیریت منابع، جوسازمانی و فرآیند سازمانی است.
ETA	شیمیایی، نیروگاه برق	[۳۶]	۱۹۷۸	جهت آنالیز توالی رویدادهایی که بعد از رویداد اولیه به وجود می‌آیند، استفاده می‌شود. آنالیز درخت رویداد در درجه‌ی اول روش پیشگیرانه‌ی آنالیز ریسک برای شناسایی توالی احتمالی رویدادها است. به‌علاوه ممکن است جهت شناسایی و نمایش توالی رویدادها و نیز دستیابی به ارزیابی و نمایش کیفی و کمی استفاده گردد. در تحقیق حادثه، مسیر حادثه به‌عنوان یکی از توالی‌های احتمالی رویدادها نشان داده می‌شود.
ECFA	-	[۳۷ ,۴]	۱۹۹۵	آنالیز رویدادها و عوامل علّی با شناسایی شرایط و رویدادهای مهمی که منجر بوقوع حادثه شده‌اند به تعیین عوامل علّی می‌پردازد. همزمان با تکمیل نتایج تکنیک‌های تحلیلی دیگر، آن‌ها نیز در نمودار رویدادها و عوامل علّی گنجانده می‌شوند. شرایط و رویدادهای «فرضی» نیز ممکن است به نمودار اضافه گردد.
SOL	صنعت برق و شیمیایی	[۳۸]	۱۹۹۷	هدف این روش جستجوی علل اتفاق‌ها حول شکست‌های فنی و «خطاهای انسانی » می‌باشد. SOL ترکیبی از مدل پنیر سوئیسی ریزن از یک‌سو و رویکرد سیستم‌های فنی- اجتماعی از سوی دیگر مشتق شده است. فاکتورهای شرکت‌کننده اتفاق ازنقطه‌نظر تعامل پنج زیرسیستم آنالیز شده می‌باشد: فردی، تیمی، سازمان، فوق سازمانی و تکنولوژی. به‌منظور کمک به استفاده از روش، یک نسخه کامپیوتری از SOL (SOLve) طراحی‌شده است.
Bow Ties	در حوادث شغلی	[۳۹]	۲۰۰۶	یک روش گرافیکی می‌باشد که سناریو حادثه را از شروع علت‌ها تا پیامدهای آن نشان می‌دهد. این روش ترکیبی از روش درخت خطا و درخت علت می‌باشد. این روش یک درک بهتری از رابطه بین علت‌های حادثه، پیامدها و همچنین موانعی که می‌توانستند از وقوع حادثه جلوگیری کنند، نشان می‌دهد.
AcciMap	ریلی- جاده‌ای -هوایی- نفت و گاز، بهداشتی، پلیسی	[۴۲-۴۰]	۱۹۹۷	یک روش باهدف خطاب قرار دادن مدیریت ریسک کنشی با یک رویکرد کنترل سیستم است. این‌روش یا ابزار، صرفاً یک تکنیک تحقیق حادثه نیست، بلکه دامنه فاکتورهای مدیریتی را به فاکتورهای سیستمیک تر مانند زمینه مقررات و ارتباط بین مقامات کنترلی و شرکت گسترش می‌دهد. این روش یک ابزار گرافیکی برای نشان دادن تأثیراتی که پویایی حوادث را شکل می‌دهند، فراهم می‌کند.

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2024-03-29]

جدول ۳- معیارها و زیر معیارهای ارائه‌شده برای انتخاب روش تجزیه‌وتحلیل حادثه در این مطالعه

معیار (تعریف)	زیر معیار
سطوح دامنه کاربرد (C_1): همه‌ی تصمیم‌گیرندگان و افرادی که فرآیند کاری عادی را تحت تأثیر قرار می‌دهند می‌توانند به طور مستقیم و غیرمستقیم سناریو حادثه را نیز تحت تأثیر قرار دهند. این پیچیدگی باید در تحقیق حادثـه مـنعکس داده شـود. روش تجزیه و تحلیل حادثه باید همه‌ی لایه‌های اشاره شده در مدل فنی اجتماعی راسموسن را پوشش دهد[۴, ۷, ۴۳].	سیستم‌های فنی و کاری(C_{11}) سطح کارکنان(C_{12}) سطح مدیریت و سازمانی(C_{13}) سطح خارج سازمانی (دولت، انجمن‌ها، روابط بین سازمانی)(C_{14})
توانایی شناسایی سطوح چندگانه علل (C_2): توانایی روش در پوشش سطوح مختلف علل حادثه می‌باشد[۵, ۷, ۴۳]	علل غیرمستقیم(C_{21}) علل زمینه‌ای(C_{22}) علل ریشه‌ای(C_{23})
نیاز آموزشی (C_3): روش باید برای یادگیری، درک و اجرا بدون آموزش‌ها رسمی باشد؛ به‌عبارت دیگر یک روش جـامع ممکـن است نیاز به آموزش طولانی داشته باشد. برای استفاده از روش تجزیه و تحلیل حادثه بستگی به نوع حادثه، مقدار آموزش مـورد نیاز متفاوت می‌باشد. در انتخاب روش، نیاز آموزش مهم می‌باشد[۴, ۵, ۷].	-
واقع‌گرایانه بودن روش (C_4): روش باید یک مدلی از طبیعت توالی، تعامل و همزمانی اتفاق‌ها ایجاد نماید؛ به‌عبارت‌دیگر تـوالی اتفاق‌هایی که اتفاق می‌افتد ازنظر مکانی و زمان ارائه می‌شود[۴, ۷, ۴۳, ۴۴].	توالی اتفاق‌ها (C_{41}) وابستگی اتفاق‌ها(C_{42}) مدل کردن زمان و دوره زمانی(C_{43}) در نظر گرفتن حفاظ‌ها (C_{44})
روایی و پایایی (C_5): اگر روش دوباره استفاده شود (برای یک مورد مشابه) نتایج مشابهی خواهد داد. درجه مستقل بـودن روش از محقق و دانش محقق. تا چه حد یافته‌های آنالیز با واقعیت تفاوت دارد[۵, ۷, ۸].	روایی (C_{51}) پایایی (C_{52})
مشهود بودن (C_6): روش باید همه‌ی اتفاق‌ها و تعاملاتی که بین آن‌ها اتفاق می‌افتد را شناسایی کنـد و آن را بـه شـیوه‌ای بـه افراد دیگر ارائه نماید که درک آن خیلی آسان بوده و مستنداتی را ارائه نماید[۴, ۷, ۴۳, ۴۴]	ارائه گرافیکی (C_{61}) ارائه جدولی(C_{62}) ارائه به‌صورت متن (C_{63})
سیستماتیک (C_7): روش باید یک رویکرد منطقی و منظمی را فراهم کند که همه‌ی تحقیق‌کنندگان را حمایت کند. روش بایـد یک رویکرد گام به گامی را فراهم کند تا از منحرف شدن محقق، زمـان جمع‌آوری داده و آنـالیز حقـایق جلـوگیری نمایـد. در حقیقت سوگیری که ممکن است اتفاق بیافتد را کاهش دهد[۷, ۴۳].	نرم‌افزاری (C_{71}) دارای درخت منطق (C_{72}) دارای چک‌لیست(C_{73})
ارائه راه‌حل (C_8): روش تجزیه و تحلیل حادثه باید پیشنهادهای خاصی را برای جلوگیری از حوادث مشابه ارائه نماید[۴, ۴۴].	-



شکل ۲- مدل ساختار شبکه برای انتخاب روش تجزیه و تحلیل حادثه

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2024-03-29]

جدول ۴- وزن و رتبه‌ی نهایی معیارها و زیر معیارها

معیار	وزن نهایی	رتبه	زیر معیار	وزن نهایی	رتبه در گروه	رتبه نهایی
سطوح دامنه کاربرد (C1)	۰/۰۸۸		سیستم‌های فنی و کاری(C_{11})	۰/۰۲۷	۳	۱۰
		۳	سطح کارکنان(C_{12})	۰/۰۲۹	۲	۹
			سطح مدیریت و سازمانی(C_{13})	۰/۰۹۳	۱	۳
			سطح خارج سازمانی (دولت، انجمن‌ها، روابط بین سازمانی (C_{14}))	۰/۰۱۸	۴	۱۲
توانایی شناسایی سطوح چندگانه علل (C2)	۰/۳۷۵	۱	(C_{21})علل غیرمستقیم	۰/۰۴۴	۳	۶
			(C_{22})علل زمینه‌ای	۰/۱۲۲	۲	۲
			(C_{23})علل ریشه‌ای	۰/۱۳۳	۱	۱
نیاز آموزشی (C3)	۰/۱۶۸	۲	-	-	-	-
واقع‌گرایانه بودن روش (C4)	۰/۰۶۴		توالی اتفاق‌ها (C_{41})	۰/۰۳۷	۱	۷
		۶	وابستگی اتفاق‌ها(C_{42})	۰/۰۲	۲	۱۱
			مدل کردن زمان و دوره زمانی(C_{43})	۰/۰۱۶	۳	۱۳
			در نظر گرفتن حفاظ‌ها (C_{44})	۰/۰۰۵	۴	
روایی و پایایی (C5)	۰/۰۵۶		روایی(C_{51})	۰/۰۴۵	۱	۵
		۷	پایایی (C_{52})	۰/۰۴۵	۱	۵
مشهود بودن (C6)	۰/۰۷۸	۴	ارائه گرافیکی (C_{61})	۰/۰۴۹	۱	۴
			ارائه جدولی(C_{62})	۰/۰۱۱	۲	۱۴
			ارائه به‌صورت متن (C_{63})	۰/۰۰۸	۳	۱۵
سیستماتیک ((C7	۰/۰۷۶	۵	نرم‌افزاری (C_{71})	۰/۰۳۵	۱	۸
			دارای درخت منطق (C_{72})	۰/۰۱۱	۲	۱۴
			دارای چک‌لیست(C_{73})	۰/۰۰۸	۳	۱۵
ارائه راه‌حل (C8)	۰/۰۲۹	۸	-	-	-	-

جدول ۵- رتبه‌بندی روش‌ها

ردیف	روش‌ها		فاصله تا ایده‌آل مثبت	فاصله تا ایده‌آل منفی	CC	رتبه
۱	AEB	A1	۲/۳۶	۰/۹۱	۰/۲۸	۱۶
۲	MTO	A2	۲/۲۶	۲/۴۴	۰/۵۲	۳
۳	STEP	A3	۲/۳۵	۰/۹۱۳	۰/۲۸	۱۵
۴	FTA	A4	۲/۳۲	۰/۷۸	۰/۳۲	۱۲
۵	MORT	A5	۲/۲۹	۱/۰۹	۰/۴۶	۸
۶	SCAT	A6	۲/۸	۲/۵۸	۰/۴۸	۶
۷	Bow tie	A7	۲/۲۶	۲/۸۷	۰/۵۶	۲
۸	HSG245	A8	۲/۲۸	۱/۹۴	۰/۴۶	۷
۹	3CA	A9	۲/۳۱	۱/۵۴	۰/۴	۹
۱۰	STAMP	A10	۲/۳۲	۱/۰۴	۰/۳۱	۱۳
۱۱	HFACS	A11	۲/۲۹	۲/۲۰	۰/۴۹	۵
۱۲	ETA	A12	۲/۳۱	۱/۱۹	۰/۳۴	۱۱
۱۳	ECFA	A13	۲/۲۸	۲/۱۹	۰/۴۹	۴
۱۴	SOL	A14	۲/۳۳	۰/۹۹	۰/۳	۱۴
۱۵	Tripod beta	A15	۲/۱۱	۳/۳	۰/۶۱	۱
۱۶	Accimap	A16	۲/۳۲	۱/۴۲	۰/۳۸	۱۰

بحث و نتیجه‌گیری

نتایج مطالعه حاضر نشان داد، جهت انتخاب روش بهینه برای استفاده در صنعت نفت معیارهای زیادی وجود دارد که هر یک دارای وزن و اهمیت متفاوتی

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2024-03-29]

می‌باشند. بر اساس نتایج، هر کدام از روش‌های تجزیه و تحلیل مورد مطالعه می‌توانند برخی از معیارها و زیر معیارهای مورد نظر برای انتخاب روش بهینه را پوشش دهند و برای پوشش دادن تمام معیارها باید ترکیبی از روش‌های تجزیه و تحلیل حادثه مورد استفاده قرار گیرد. بر اساس نتایج، مهمترین معیار برای انتخاب روش در صنعت نفت، توانایی یک روش برای شناسایی سطوح مختلف علل یک حادثه (وزن نهایی برابر ۰/۳۷۵) است که مهمترین زیر معیار آن، توانایی روش در شناسایی علل زمینه‌ای(وزن نهایی برابر ۰/۱۲۲) و ریشه‌ای(وزن نهایی برابر) حادثه می‌باشد. از دیگر معیارهای مهم، نیاز آموزشی روش (وزن نهایی برابر ۰/۱۶۸) یا به عبارت دیگر میزان آموزش مورد نیاز جهت یادگیری و کاربرد روش می‌باشد. معیار مهم بعدی دامنه‌ی کاربرد روش (وزن نهایی برابر ۰/۰۸۸) می‌باشد یعنی دامنه‌ای که یک روش هنگام تجزیه و تحلیل می‌تواند پوشش دهد. دیگر معیارحائز اهمیت، مشهود بودن روش (وزن نهایی برابر ۰/۰۷۸) است؛ اینکه یک روش تا چه حد توانایی ارائه مطلب برای فهم دیگر افراد را دارد، در این میان زیر معیار ارائه دادن نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل به صورت گرافیکی (وزن نهایی برابر۰/۰۴۹) از اهمیت بالایی برخوردار است. معیار حائز اهمیت بعدی برای انتخاب روش در این مطالعه، سیستماتیک بودن روش(وزن نهایی برابر ۰/۰۷۶) می‌باشد؛ اینکه یک روش تا چه حد رویکرد گام به گامی را جهت هدایت محقق هنگام جمع‌آوری داده و آنالیز حقایق و جلوگیری از سوگیری‌هایی که در روند کار می‌تواند اتفاق بیفتد فراهم می‌کند. در این میان زیرمعیار دارای اهمیت زیاد، نرم‌افزاری بودن روش (وزن نهایی برابر ۰/۰۳۵) در درجه اول و در درجه دوم وجود درخت منطق (وزن نهایی برابر ۰/۰۱۱) می‌باشد. روش‌هایی که توانایی پوشش دادن بهتر معیارهای مذکور را داشتند به ترتیب روش Tripod beta با ضریب نزدیکی برابر ۰/۶۱، Bow tie با ضریب نزدیکی برابر ۰/۵۶و MTO با ضریب نزدیکی برابر۰/۵۲بودند. روش Tripod beta معیار مهم توانایی شناسایی سطوح چندگانه علل حادثه و زیرمعیار داشتن نرم‌افزار را بهتر پوشش می‌دهد. این روش به‌طور گرافیکی تمامی اهداف، عاملین و اتفاق‌های موجود در هر حادثه و همچنین تمامی موانع شکست خورده و یا نبود مانع به دلیل نقص‌های فعال، پیش‌شرط‌ها و نقص‌های پنهان را نشان می‌دهد و درک روشنی از حوادث ارائه می‌دهد. از نظر نیاز آموزشی این روش نیازمند آموزش‌های سخت و پیچیده نمی‌باشد. همچنین این روش سطوح تجزیه و تحلیل نسبتاً گسترده‌ای را ارایه می‌دهد؛ اما بر اساس مطالعه‌ای که کلتز انجام داد این روش توانایی پوشش علل خارج سازمانی را ندارد[۴]. ازجمله ضعف‌های دیگر این روش تمرکز آن بر رویدادها است و کمتر به لایه‌های فنی اجتماعی که به این رویدادها منجر می‌شوند می‌پردازد[۱۱]. در حقیقت، روش Tripod Betaدر فرآیند تحقیق حادثه کمتر به زمان گذشته برمی‌گردد و توجه کمتری به وضعیت ایمنی سازمان مورد نظر دارد. علاوه بر این، این روش برای جلوگیری از حوادث مشابه پیشنهادی ارایه نمی‌دهد. روش Tripod Beta علل زمینه‌ای را به ۱۱ عامل ریسک اساسی(BRFs) طبقه‌بندی می‌کند. این عوامل تصویر جامعی از مدیریت ریسک را ارائه می‌دهند که می‌تواند برای فعالیت‌های صنعتی مختلف مورد استفاده قرار گیرند اما راهنمای جزئی و دقیقی برای تجزیه و تحلیل حادثه و دستورالعمل مناسبی برای شناسایی علل زمینه‌ای خاص فراهم نمی‌کند. از جمله نقص های دیگر این روش پرداختن آن به موارد خارج سازمانی دخیل در حادثه می‌باشد. برای پوشش دادن این ضعف، می‌توان آن را در ترکیب با روش‌هایی مانند روش SOL، Accimap و STAMP مورد استفاده قرار داد. از جمله ضعف‌های روش‌هایAccimap و STAMP نیز پیچیده بودن و نیاز آموزشی بالای آن‌ها می‌باشد که این ضعف‌ها در روش‌های MTO، Tripod betaو Bow tie به دلیل سهولیت یادگیری این روش‌ها، برطرف می شود. با توجه به نتایج فوق روش Tripod beta نسبت به سایر روش های بررسی شده توانایی بیشتری برای تجزیه و تحلیل حوادث نفت دارد اما این روش نیز دارای محدودیت‌هایی هست که به منظور پوشاندن آن‌ها می-

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2024-03-29]

تـوان از سـایر روش‌هـا کمـک گرفـت. بنـابراین جهـت دستیابی به تجزیه و تحلیـل مناسـب حـوادث مـی‌تـوان ترکیبی از روش‌ها را مورد استفاده قرار داد[۴۷-۴۵].

مطالعـه حاضـر نشـان داد کـه بـرای انتخـاب روش تجزیه و تحلیل حادثه بهینه، معیارهای مختلفی وجـود دارد و اهمیت معیارها دارای تفاوت زیـادی می‌باشـد. از طرفی روش‌های تجزیـه و تحلیـل حادثـه دارای نقـاط ضعف و قوت خاص خـود هسـتند. بـر اسـاس اهمیـت معیارهای بدست آمده در این مطالعـه، روش Tripod beta، به‌عنوان یک روش نسبتاً کارآمد و هماهنگ بـا معیارهای انتخاب شده در این مطالعـه، می‌توانـد بـرای تجزیه و تحلیل حوادث در صنعت نفـت اسـتفاده شـود. زیـرا بیشـتر از ۵۰ درصـد از معیارهـای موجـود بـرای انتخاب روش را با میانگین امتیـاز بـالای ۰/۵ توانسـت پوشش دهد. همچنین روش‌هایی ماننـد Bow tie و MTO در رتبه‌های بعدی قرار دارند. با توجه به اینکـه روش‌های مذکور ضعف‌هایی دارند، برای بهبود تجزیـه و تحلیل حوادث و پوشاندن ایـن ضـعف‌ها می‌تـوان از دیگر روش‌های تجزیه و تحلیل به‌عنوان روش مکمـل استفاده کرد.

منابع

1. http://www.ilo.org/global/about-the-ilo/ news room/features/WCMS_075615/lang--en/index.htm.
2. Rasmussen J, Suedung I. Proactive risk management in a dynamic society: Swedish Rescue Services Agency; 2000.
3. Stoop JA. Independent accident investigation: a modern safety tool. Journal of hazardous materials. 2004;111(1):39-44.
4. Sklet S. Comparison of some selected methods for accident investigation. Journal of hazardous materials. 2004;111(1):29-37.
5. Katsakiori P, Sakellaropoulos G, Manatakis E. Towards an evaluation of accident investigation methods in terms of their alignment with accident causation models. Safety Science. 2009; 47(7):1007-15.
6. Morrison LM. Best practices in incident investigation in the chemical process industries with examples from the industry sector and specifically from Nova Chemicals. Journal of hazardous Materials. 2004;111(1):161-6.
7. Munson S. Assessment of accident investigation methods for wildland firefighting incidents by case study method. 2000.
8. Benner L. Rating accident models and investigation methodologies. Journal of safety research. 1985;16(3):105-26.
9. Salmon PM, Cornelissen M, Trotter MJ. Systems-based accident analysis methods: A comparison of Accimap, HFACS, and STAMP. Safety science. 2012;50(4):1158-70.
10. Strömgren M, Bergqvist A, Andersson R, Harms-Ringdahl L. A Process-Oriented Evaluation of Nine Accident Investigation Methods. safety science. 2013(1).
11. Dien Y, Dechy N, Guillaume E. Accident investigation: From searching direct causes to finding in-depth causes–Problem of analysis or/and of analyst? Safety science. 2012;50(6):1398-407.
12. Shirland LE, Jesse RR, Thompson RL, Iacovou CL. Determining attribute weights using mathematical programming. Omega. 2003; 31(6):423-37.
13. Pomerol JC, Barba-Romero S. Multicriterion decision in management: principles and practice: Springer Science & Business Media; 2012.
14. Saaty TL. Modeling unstructured decision problems—the theory of analytical hierarchies. Mathematics and computers in simulation. 1978;20(3):147-58.
15. Saaty TL. How to make a decision: the analytic hierarchy process. European journal of operational research. 1990;48(1):9-26.
16. Yüksel İ, Dagdeviren M. Using the analytic network process (ANP) in a SWOT analysis–A case study for a textile firm. Information Sciences. 2007;177(16):3364-82.
17. Lin LZ, Hsu TH. Designing a model of FANP in brand image decision-making. Applied Soft Computing. 2011;11(1):561-73.
18. Boran S, Goztepe K. Development of a fuzzy decision support system for commodity acquisition using fuzzy analytic network process. Expert Systems with Applications. 2010;37(3):1939-45.
19. Promentilla MAB, Furuichi T, Ishii K, Tanikawa N. A fuzzy analytic network process for multi-criteria evaluation of contaminated site remedial countermeasures. Journal of environmental management. 2008;88(3):479-95.
20. Tzeng GH, Huang JJ. Multiple attribute decision making: methods and applications: CRC press; 2011.

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2024-03-29]

and Aerospace Safety. 2001.
35. Olsen NS. Coding ATC incident data using HFACS: Inter-coder consensus. Safety Science. 2011;49(10):1365-70.
36. CCPS. Guidelines for Investigating Chemical Process Incidents. 2003.
37. Buys J, Clark J. Events and causal factors charting. EG and G Idaho, Inc., Idaho Falls (USA), 1978.
38. Fahlbruch B, Schöbel M. SOL – Safety through organizational learning: A method for event analysis. Safety Science. 2011;49(1):27-31.
39. Khakzad N, Khan F, Amyotte P. Dynamic risk analysis using bow-tie approach. Reliability Engineering & System Safety. 2012;104:36-44.
40. Hopkins A, Andrew H. Lessons from Longford: the Esso gas plant explosion: CCH Australia limited Sydney; 2000.
41. Johnson C, de Almeida IM. Extending the borders of accident investigation: applying novel analysis techniques to the loss of the Brazilian space launch vehicle VLS-1 V03. Safety Science. 2008;46(1):38-53.
42. Svedung I, Rasmussen J. Graphic representation of accidentscenarios: mapping system structure and the causation of accidents. Safety Science. 2002;40(5):397-417.
43. Philley J, Pearson K, Sepeda A. Updated CCPS investigation guidelines book. Journal of hazardous materials. 2003;104(1):137-47.
44. Nivolianitou Z, Leopoulos V, Konstantinidou M. Comparison of techniques for accident scenario analysis in hazardous systems. Journal of Loss Prevention in the Process Industries. 2004; 17(6):467-75.
45. Ayeko M, editor Integrated Safety Investigation Methodology (ISIM)-Investigating for Risk Mitigation. Proceedings of the First Workshop on the Investigation and Reporting of Incidents and Accidents (IRIA 2002), Department of Computing Science, University of Glasgow, Scotland; 2002.
46. Walker M, Bills K. Analysis, causality and proof in safety investigations. Aviation Research and Analysis Report (AR-2007-053) Canberra: Australian Transport Safety Bureau. 2008.
47. Harris D, Li WC. An extension of the human factors analysis and classification system for use in open systems. Theoretical Issues in Ergonomics Science. 2011;12(2):108-28.
21. Krohling RA, Campanharo VC. Fuzzy TOPSIS for group decision making: A case study for accidents with oil spill in the sea. Expert Systems with Applications. 2011;38(4):4190-7.
22. Chang DY. Applications of the extent analysis method on fuzzy AHP. European journal of operational research. 1996;95(3):649-55.
23. Svenson O. Accident Analysis and Barrier Function (AEB) Method. Swedish Nuclear Power Inspectorate (SKI) and Netherlands Institute for Advanced Study in the Humanities and Social Sciences Consultado em. 2000;21:2007.
24. Svenson O. Accident and incident analysis based on the accident evolution and barrier function (AEB) model. Cognition, Technology & Work. 2001;3(1):42-52.
25. Svenson O, Lekberg A, Johansson AE. On perspective, expertise and differences in accident analyses: arguments for a multidisciplinary integrated approach. Ergonomics. 1999; 42(11):1561-71.
26. Andersson O, Rollenhagen C, editors. The MTO concept and organisational learning at Forsmark NPP, Sweden. IAEA International Conference on Safety Culture in Nuclear Installations, Rio de Janeiro, Brazil; 2002.
27. Ferry TS. Modern accident investigation and analysis: John Wiley & Sons; 1988.
28. Johnson WG. MORT safety assurance systems: Marcel Dekker Inc; 1980.
29. Knox N, Eicher R. MORT user's manual. 1976.
30. Wagenaar W, Groeneweg J, Hudson P, Reason J. Promoting safety in the oil industry. The ergonomics society lecture presented at the ergonomics society annual conference, Edinburgh, 13-16 April 1993. Ergonomics. 1994;37(12):1999-2013.
31. Books H. Successful health and safety management. HS (G); 1997.
32. Qureshi ZH, editor A review of accident modelling approaches for complex socio-technical systems. Proceedings of the twelfth Australian workshop on Safety critical systems and software and safety-related programmable systems-Volume 86; 2007: Australian Computer Society, Inc.
33. Syvertsen RAH. Modeling the Deepwater Horizon blowout using STAMP. 2012.
34. Shappell SA, Wiegmann DA. Applying reason: The human factors analysis and classification system (HFACS). Human Factors

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2024-03-29]

Choosing optimal method for analysis of accidents in petroleum industry using fuzzy ANP and TOPSIS multi – criteria decision methods

Omran Ahmadi[1], Seyyed Bagher Mortazavi[2], Ali Khavanin[3]

Received: 2016/03/08 Revised: 2016/08/22 Accepted: 2016/11/07

Abstract

Background and aims: Occurrence of accidents in the petroleum industry cause irreparable damage to human life. Understanding the causes of accidents takes place with analysis. One of the most important steps in accident analysis is a conscious selection of accident analysis method due to the existence of high variety of methods and various effective criteria. This study was carried out with the aim of selecting the optimal method for analysis of accidents in petroleum industry.

Methods: A multi–criteria decision model was developed which was comprised of the analytic network process to obtain the criteria weights (which was used for selection of the accident analysis method) and fuzzy TOPSIS for ranking of the accident analysis methods.

Results: Based on the results, 8 criteria and 19 sub criteria were used for selection of the accident analysis method. The factors of multiple levels cause identification capability, training need and levels of analysis with final weights of 0.375, 0.168 and 0.088 (respectively) had the most important weights in method selection. Based on fuzzy TOPSIS ranking of accident analysis method, tripod beta was selected as the optimal method and other methods such as BOW tie and MTO were in subsequent priorities.

Conclusion: The results showed that there were several criteria (with different weight) for selecting the optimal method of accident analysis. Based on important of criteria incorporated in the present study, the optimal method for petroleum accident analysis is Tripod beta. Incorporation of Tripod beta in combination with the other methods may be resulted in numerous benefits in accident analysis.

Keywords: Accident Analysis, Fuzzy ANP, Fuzzy TOPSIS.

1. Msc of Occupational Engineering, Faculty of Medical Sciences, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran.
2. (**Corresponding author**) PhD, Department of Occupational Engineering, Faculty of Medical Sciences, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran. mortazav@modares.ac.ir.
3. PhD, Department of Occupational Engineering, Faculty of Medical Sciences, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran.

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2024-03-29]