



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

عمران احمدی^۱، سید باقر مرتضوی^۲، علی خوانین^۳

تاریخ پذیرش: ۹۵/۰۸/۱۷

تاریخ دریافت: ۹۴/۰۲/۱۸

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 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،۰۶۸، ۰،۰۸۸ و ۰،۰۸۰ بیشترین وزن را در انتخاب روش داشتند. بر اساس نتایج اولویت‌بندی تاپسیس فازی، Tripod به عنوان 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 beta Tripod به عنوان 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.

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 درس آموزی بهتر از حوادث اتفاق افتاده در بخش‌های مختلف صنعت نفت نیاز به ایجاد

مقدمه
هر ساله 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 به ویژه در برخی از کشورهای آسیایی به دلیل گزارش ضعیف، توسعه سریع و فش ارها رقابتی قوی برای جهانی شدن، در حال افزایش است [۱]. ایران از این

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.



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 جزئی تر 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 اشاره کرده‌اند [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 تعريف 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 به صورت 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

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 این‌رو، 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، روشنی 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 روشنی که بتواند تمامی معیارهای مورد نظر یک سازمان را پوشش دهد، وجود ندارد[۴-۸]، 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, STAMP و HFACS 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

ارزیابی عملکرد گرینه‌ها از طریق مشابهت با راه حل‌های ایده‌آل آن می‌باشد که توسط هوانگ و یون پیشنهادشده است [۲۰]. مفهوم اصلی TOPSIS تحت عنوان راه حل ایده‌آل مثبت و راه حل ایده‌آل منفی است. راه حل ایده‌آل مثبت معیارهای مفید را به حداکثر و معیار هزینه را به حداقل می‌رساند. اما راه حل‌های ایده‌آل منفی درست بر عکس عمل می‌کند. با وجود سادگی و رایج بودن TOPSIS، این مورد هم همچون روش AHP، 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 به این ترتیب 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 ANP و fuzzy TOPSIS می‌باشد.

روش بررسی

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

۱- شناسایی روش‌های تجزیه و تحلیل
حداده: برای شناسایی روش‌های تجزیه و تحلیل حداده از جستجوی مقالات با کلید واژه‌های مانند روش‌های / مدل‌های تجزیه و تحلیل حداده، تحقق حداده / رویداد، روش‌های تجزیه و تحلیل اتفاق، مقایسه روش‌های تجزیه و تحلیل حداده، تجزیه و تحلیل علل ریشه‌ای و علل ریشه‌ای در پایگاه‌های اطلاعاتی معتبر مانند google scholar، safety science، Scopus، direct PubMed، بهره

گرفته شد.

۲- انتخاب روش‌های تجزیه و تحلیل

معیاره (MCDM) می‌باشد [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 دو بد و بین معیارها پرداخته می‌شود به نحوی که وزن دهی معیارها با توجه به مشکل مورد نظر تخمین زده می‌شود. همچنین این روش می‌تواند به منظور انتخاب بهترین گزینه بر اساس وزن و اهمیت نسبی AHP، استفاده شود. یکی از محدودیت‌های AHP هر معیار، استفاده شود. یکی از محدودیت‌های AHP فرض مستقل بودن عوامل مختلف است. AHP نمی‌تواند به صراحت، فعل و انفعالات عوامل مختلف / خواشیدها 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 (ANP) (Analytic Network) که اغلب برای حل مشکلات وابستگی میان گرینه‌ها 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 می‌بین روابط درونی پیچیده‌تر میان سطوح تصمیم و زیر معیارها است [۱۶-۱۸].

قادر 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 خواشید در یک ساختار شبکه‌ای هستند [۱۹]. برای انتخاب یک گزینه از بین گرینه‌های مختلف می‌توان از روش TOPSIS استفاده کرد. روش TOPSIS technique for order preference by (similarity to ideal solution)



✓ 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 بندي ANP مساله

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 تشكیل شد.

مرحله دوم: ماتریس‌های 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 داده‌های 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 به منظور وزن دهی معیارها و زیر معیارها توسط متخصصین، با توجه به رویکرد فازی، از عبارات کلامی و اعداد فازی مثلثی ${}^{\sim}9-1$ مندرج در جدول ۱ استفاده گردید.

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

حادثه جهت مطالعه: برای انتخاب روش‌های 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 تجزیه و تحلیل حادثه، تمامی معیارها و زیرمعیارهای اشاره شده در مقالات و مطالعات گذشته شناسایی شد و پرسشنامه‌ای 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 محتواهای پرسشنامه محاسبه شد و معیارهای مناسب مطالعه انتخاب گردید. به منظور تعیین وابستگی بین معیارها و زیر معیارها، پرسشنامه تهیه شده از معیارها و زیر معیارها به متخصصین ارسال شد. سپس بر اساس پاسخ متخصصین، با قرار دادن امتیاز ${}^{\sim}0.6$ به عنوان مبنای معیارها و زیر معیارهای دارای وابستگی مشخص گردید. معیارها و زیر معیارهای ارائه شده برای انتخاب روش تجزیه و تحلیل 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 پرسشنامه‌ای از معیارها و زیر معیارها تنظیم گردید و برای وزن دهی آن‌ها 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

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 S_i 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:

$$(5)$$

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

این رابطه به صورت تساوی می تواند به صورت زیر باشد:

$$(6)$$

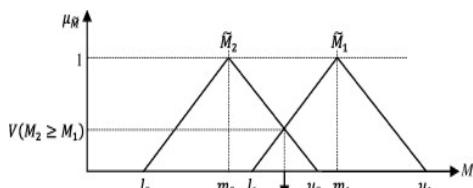
$$V(M_2 \geq M_1) = hgt(M_1 \cap M_2) = \mu_{M_2}(d)$$

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

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

$$V(M_1 \geq M_2) \quad V(M_2 \geq M_1)$$

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

کد	عبارات کلامی	عدد فازی	جدول ۱- اعداد فازی و عبارت کلامی
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 می شود و برای هر سطر ماتریس مقایسه‌های زوجی، ارزش S_i که خود یک عدد فازی مثلثی است از رابطه ۱ محاسبه می شود:

$$(1)$$

$$S_i = \sum_j^m M_{gi}^{0j} \otimes \left[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{gi}^{0j} \right]^{-1}$$

برای محاسبه ماتریس از روابط ۲ و ۳ و ۴ استفاده می شود:

$$(2)$$

$$\sum_j^m M_{gi}^{0j} = \left(\sum_{j=1}^m l_j, \sum_{j=1}^m m_j, \sum_{j=1}^m u_j \right)$$

(3)

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{gi}^{0j} = \left(\sum_{i=1}^n l_j, \sum_{i=1}^n m_j, \sum_{i=1}^n u_j \right)$$

(4)

$$\left[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{gi}^{0j} \right]^{-1} = \left(\frac{1}{\sum_{i=1}^n u_i}, \frac{1}{\sum_{i=1}^n m_i}, \frac{1}{\sum_{i=1}^n l_i} \right)$$



$$W = \begin{bmatrix} C_1 & & C_k & & C_n \\ e_{11} & e_{12} & \dots & e_{1m1} & \dots & e_{k1} & e_{k2} & \dots & e_{km} & \dots & e_{n1} & e_{n2} & \dots & e_{nn} \\ e_{11} & & & & & & & & & & & & & & \\ e_{12} & & & & & & & & & & & & & & \\ \vdots & & & & & & & & & & & & & & \\ e_{k1} & & & & & & & & & & & & & & \\ \vdots & & & & & & & & & & & & & & \\ C_k & e_{k2} & & & & & & & & & & & & & \\ \vdots & & & & & & & & & & & & & & \\ e_{km} & & & & & & & & & & & & & & \\ \vdots & & & & & & & & & & & & & & \\ e_{n1} & e_{n2} & & & & & & & & & & & & & \\ \vdots & & & & & & & & & & & & & & \\ e_{nn} & & & & & & & & & & & & & & \end{bmatrix}$$

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

$$\begin{aligned} V(M \geq M_1, M_2, \dots, M_k) \\ = V[(M \geq M_1) \text{and} (M \geq M_2) \text{and} \dots \text{and} (M \geq M_k)] \\ = \min V(M \geq M_i), i = 1, 2, \dots, k. \end{aligned} \quad (\gamma)$$

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

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

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

گام پنجم، محاسبه وزن نهایی معیارها

در آخرین مرحله با توجه به جدول وزن خوشها و سوپر ماتریس حد، وزن نهایی معیارها محاسبه می شود. در این مطالعه از روش بردار ویژه برای تعیین وزن استفاده شد.

۵- ساخت ماتریس تصمیم‌گیری و رتبه بندی روش‌ها: به منظور ارزیابی و رتبه‌بندی روش‌های تجزیه و تحلیل حادثه با استفاده از Fuzzy TOPSIS، معیارها و زیرمعیارهای وزن دهنده 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 روش‌های تجزیه و تحلیل حادثه انجام نگرفته است.^[۵]

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

ج: نرم‌الایز کردن
اگر فرض شود

$$d'(A_i) = \min V(M \geq M_i) \quad \text{و}$$

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

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

$$W = (d(A_1), d(A_2), \dots, d(A_n))^T \quad (9)$$

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 $k = 1, 2, \dots, n$ و هر جزء k دارای m عنصر باشد که با $e_{k1}, e_{k2}, \dots, e_{km}$ نشان داده شود، سوپر ماتریس زیر، نمایانگر بردارهای به دست آمده بر اساس جهات تاثیر خواهد بود.

گام سوم: محاسبه ماتریس تصمیم نرمال وزن داده شده:

جایی که وزن فازی معیارهای Z_i می باشد، ماتریس تصمیم نرمال وزن داده شده (\tilde{V}) می تواند با ضرب وزن معیارها در مقدار ماتریس تصمیم نرمال شده به دست آید:

$$\tilde{V} = \begin{bmatrix} \vdots \\ v_{ij} \\ \vdots \end{bmatrix}_{m \times n}, \quad i = 1, 2, \dots, m; \\ j = 1, 2, \dots, n \quad v = r_{ij} \times w_{ij},$$

گام چهارم: تعیین راه حل های ایده آل مثبت و ایده آل منفی

ایده آل مثبت فازی با A^+ و ایده آل منفی فازی با A^- نشان داده می شوند و جایی که $v_j = (1, 1, 1)$ و $v_j = (0, 0, 0)$, $j = 1, 2, \dots, n$. زیر تعریف می گردد:

$$A^+ = \left(v_{11}^+, v_{21}^+, \dots, v_{j1}^+, \dots, v_{m1}^+ \right) = \{ (\max_i v_{ij}, i = 1, 2, \dots, m), j = 1, 2, \dots, n \}$$

$$A^- = \left(v_{11}^-, v_{21}^-, \dots, v_{j1}^-, \dots, v_{m1}^- \right) = \{ (\min_i v_{ij}, i = 1, 2, \dots, m), j = 1, 2, \dots, n \}$$

گام پنجم: محاسبه فاصله هر گزینه از راه حل ایده آل مثبت و ایده آل منفی

$$d_i^+ = \sum_{j=1}^n d \left(v_{ij}^+, v_{j1}^+ \right), i = 1, 2, \dots, m;$$

$$d_i^- = \sum_{j=1}^n d \left(v_{ij}^-, v_{j1}^- \right), i = 1, 2, \dots, m;$$

جایی که d فاصله بین دو عدد فازی را نشان می دهد. d^+ فاصله گزینه از ایده آل مثبت و d^- فاصله گزینه از ایده آل منفی می باشد:

مراحل روش TOPSIS به صورت زیر می باشد:

گام اول: ایجاد ماتریس تصمیم
اگر فرض شود که m گزینه (A_i ($i=1, 2, 3, \dots, m$)) در برابر n معیار انتخاب (Z_j ($j=1, 2, \dots, n$)) باشد. ماتریس تصمیم به صورت زیر خواهد بود:

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

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

x_{ij} امتیاز i امین گزینه (A_i) با توجه به زمین معیار (Z_j) و w_j نشان دهنده وزن j امین معیار (Z_j) می باشد:

گام دوم: محاسبه ماتریس تصمیم نرمال شده برای حذف غیرنرمالیتی های ناشی از واحد های اندازه گیری متفاوت

اگر R نشان دهنده ماتریس تصمیم فازی نرمال شده باشد:

$$R = \left[\begin{array}{c|c} \vdots & \vdots \\ r_{ii} & \end{array} \right], i = 1, 2, \dots, m, \text{ and } j = 1, 2, \dots, n$$

جایی که داده های فازی با استفاده از اعداد فازی مثلثی (l_{ij}, m_{ij}, u_{ij}) نشان داده می شوند، مقدار نرمال شده به صورت زیر محاسبه می شود که B معیار سود و C معیار هزینه می باشد:

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

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

$$u_i^+ = \max x_{ij} \quad \text{if } j \in B \quad 9$$

$$l_j^- = \min_i l_{ij} \quad \text{if } j \in C.$$



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 $0.375/0.168/0.088$ 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 $0.133/0.122/0.093/0.049$ بیشترین اهمیت را در بین زیر معیارهای ارائه شده 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 tie و bow بالاترین رتبه اند و روش‌های MTO و AEB

گام ششم: محاسبه نزدیکی نسبی نسبت به راه حل ایده آل (ضریب نزدیکی CC_i)

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

$$i = 1, 2, \dots, m$$

ضریب نزدیکی CC_i 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 اولویت‌بندی می‌شوند.

یافته‌ها

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

جدول ۲- روش‌های تجزیه و تحلیل حادثه انتخاب شده برای مطالعه

روش	برخی از محل به کاررفته	رفرنس	سال	ایجاد
AEB	نیروگاه برق - بیمارستان - راه‌آهن	[۲۵-۲۳]	۱۹۹۱	روشی جهت آنالیز حادثه فراهم می‌کند که به کمک آن سیر تکاملی حادثه به عنوان مجموعه‌ای از تعاملات میان سیستم‌های فنی و انسانی مدل‌سازی می‌شود. این تعاملات شامل نقص‌های، اعمال نادرست و یا خطاهایی هستند که می‌توانستند منجر به وقوع حادثه شوند. این روش محقق را وارد می‌کند تا در تجزیه و تحلیل‌هایی که با تکنیک‌های فلوجارتی 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 به طور مساوی در فرایند تحقیق موردنظر 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 موافق با شناسایی موافق فنی و اجرایی (مدیریتی) ناموفع می‌باشد.
STEP	برای حوادث شغلی در کلیه بخش‌های فعال	[۲۷]	۱۹۸۷	فرآیندی سیستماتیکی جهت تحقیق حادثه بر اساس سلسه مراتب و قایق‌چندخطی و مشاهده فرآیند حادثه می‌باشد. کاربرگ STEP روشی سیستماتیکی جهت سازماندهی بلوک‌ها برای شرح جامع و چندخطی از فرآیند حادثه، فراهم می‌کند. این کاربرگ متربس 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	[۲۷]	۱۹۶۰	در روش FTA رویداد اصلی انتخاب شده و تمامی احتمالات سهیم در وقوع رویداد به صورت دیاگرام درختی و به منظور نمایش روابط منطقی و عالی 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 تبیین گردد شروع می‌شود و سپس به سمت رویدادهای قبلی دنیال می‌شود. رویداد اصلی با شرایط و رویدادهای قبلی (همچون عوامل فنی، اعمال انسانی) از طریق دو دروازه منطقی («و»، «یا») مرتبط است.

در رتبه‌های بعدی قرار دارند.

ادامه جدول ۲

روشی سیستماتیک (درخت تحلیلی) برای برنامه‌ریزی، سازماندهی و هدایت تحقیق جامع حادث ایجاد می‌کند. از طریق تجزیه و تحلیل، محقق می‌تواند نقص‌ها و کمودهای مربوط به فاکتورهای سیستم مدیریت و فاکتورهای کنترلی خاص را شناسایی کند. این فاکتورها به منظور شناسایی عوامل علی‌حداده ارزشیابی و آنالیز می‌شوند. چکلیست گرافیکی این روش خواه سوالات عمومی است که محقق تلاش دارد با استفاده از دادهای واقعی موجود به سوالات پاسخ دهد. همچنین محقق را در تمرکز بر عوامل علی‌حداده ایجاد می‌سازد.	۱۹۷۳	[۲۹, ۲۸]	مناسب برای سازمان‌های بزرگ و بروکریتیک، تکنیک کاربردی برای صنایع هسته‌ای	MORT
تکنیک سیستماتیک آنالیز علت، ایزرازی است که به تحقیق ارزشیابی حادث از طریق یکه کارکریتی نمودار SCAT کمک می‌کند. نمودار SCAT چکلیستی است که اطمینان می‌دهد در فرایند تحقیق، تمام جنبه‌های حادته در نظر گرفته شده 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 می‌باشد. روش نرم‌افزاری هست که فراهام کننده دیدگاهی درخت‌مانند از حداده می‌مورد تحقیق می‌پاشد. این ایزار، محقق را از طریق فرایند ایجاد نمایش گرافیکی حداده هدایت می‌کند. حداده زمانی ایجاد شود که عامل بر روی هف تأثیر بگذارد که این در اثر شکست موئان یا نبود موئان اتفاق می‌افتد. شکست موئان در اثر رفتار تالیم می‌پاشد که بر اثر پیش‌زمینه‌های ایجادشده‌اند که این پیش‌زمینه‌ها نیز بر اساس ۱۱ رسمک پایه ایجاد می‌شوند. این روش، مدل علت و معلولی حادته Reason را دنیل می‌کند. قضله شروع، حداده است و با سوالات ساختار پاکه و خاص به کشف حقایق و یافته‌ها کمک می‌کند. هدف آنالیز تعیین چرایی وقوع حداده و کشف علل فرعی، زمینه‌ای و ریشه‌ای است.	۱۹۸۰	[۵, ۴]	برای حادث شغلی در کلیه بخش‌های فعال	SCAT
محقق با استفاده از ۳CA حداده را به صورت توالی رویدادهایی که در آن‌ها تغییرات تاخوسته رخ داده است می‌بیند. از لحاظ کشف پاکه و حقایق، این روش برای شناسایی «رویدادهای مهم» طراحی شده است. رویدادهای مهم رویدادهایی هستند که کنترل‌ها را ایشان داده و با وقوع تغییرات تاخوسته را افزایش می‌دهند با محمومعه‌ی رویدادهای مهم محقق می‌تواند ۱- موئان و کنترل‌هایی که می‌توانست از وقوع رویدادهای مهم خلوکری کند یا پیامداش را محدود کند، شناسایی نماید. ۲- کمودها و فقس‌های موئان و کنترل‌ها را شناسایی کند. ۳- قواعد و مقررات مدیریتی و فرایندی را که در زمان و قوع حداده باعث ایجاد مشکل در موئان و کنترل‌ها شده‌اند را شناسایی نماید.	۱۹۹۴	[۳۰]	نفت	TRIPOD BETA
یک مدل مبتنی بر مانع است که به اثر تقابل بین اجزای سیستم و مکانیسم‌های کنترل مورد استفاده در سراسر سیستم کار تمرکز می‌کند. سیستم را به عنوان سطوح سلسه مرتبی از کنترل‌ها می‌داند که هر سطحی در سلسه مرتب اعمال مانع، بر سطح زیرین شفار وارد نماید. در مقابل، اطاعت‌های در سطوح پایین‌تر در مورد تناسب و شرایط محدودیت کنترل‌ها به سطح بالا منتقل می‌شود. شیوه جاگزوب راسوسن، بر چگونگی پویایی و جاگایی سیستم‌های پیچیده به سمت تغییرات ایجاد می‌کند.	۲۰۰۴	[۵]	برای حادث شغلی در کلیه بخش‌های فعال	HSG245
این روش بر پایه مدل ریزن می‌باشد که خطاهای انسانی را به عنوان مجموعه‌ای از نقص‌های فعال و نقص‌های نغان معرفی می‌کند. این روش حداده را در چهار سطح پرسی می‌کند. سطح اول (عملیات) که وقایع تحت عنوان کلی اعمال تایین ایزاتورها طبقه‌بندی می‌شود که می‌تواند منجر به یک حداده شود. سطح دوم به پیش شرایط برای اعمال تایین که پیش از ۷ زیرگروه دارد می‌پردازد. سطح سوم مربوط به دررسی با نظرات تایین دارد. چهارمین سطح تأثیر سازمانی هست که شامل سه زیرگروه مدیریت متابی، جوگازیابی و فرایند سازمانی است.	۲۰۰۴	[۵]	برای حادث شغلی در کلیه بخش‌های فعال	3CA
جهت آنالیز توالی رویدادهایی که بعد از رویداد اولیه به وجود می‌آیند، استفاده می‌شود. آنالیز درخت رویداد در درجه‌ی اول روش پیشگیرانه‌ی آنالیز رسمک برای شناسایی توالی اختلالی رویدادها است. به علاوه ممکن است جهت شناسایی و نمایش توالی رویدادها و نیز دستیابی به ارزیابی و نمایش گیفی و کمی استفاده گردد. در تحقیق حداده، مسیر حداده به عنوان یکی از یوپی‌های اختلالی رویدادها نشان داده می‌شود.	۱۹۹۹	[۳۵, ۳۴, ۹]	نظامی و حمل و نقل	HFACS
آنالیز رویدادها و عوامل علی‌حداده ایشانی شرایط و رویدادهای مهمی که منجر بوقوع حداده شهادت به تعیین عوامل علی‌حداده می‌شوند. شرایط و رویدادهای «فرضی» نیز ممکن است به نمودار اضافه گردد.	۱۹۷۸	[۳۶]	شیمیابی، نیروگاه برق	ETA
هدف این روش جستجوی علل اتفاق‌ها حول سکوت‌های فنی و «خطاهای انسانی» می‌باشد. SOL تکمیل از مدل پیش‌سوئیس زیرین از یک سو و رویکرد سیستم‌های فنی-اجتماعی از سوی دیگر مشتق شده است.	۱۹۹۵	[۳۷, ۴]	-	ECFA
فاکتورهای شرک‌کننده اتفاق از نقطه‌نظر تعامل پنچ زیرگروه دارد. یک نسخه کامپیوتری از SOL (SOLVE) سازمانی و تکنولوژی، بهمنظور کمک به استفاده از روش، یک نسخه کامپیوتری از SOL (SOLVE) طراحی شده است.	۱۹۹۷	[۳۸]	صنعت برق و شیمیابی	SOL
یک روش گرافیکی می‌باشد که سارایو حداده را از شروع علت‌ها تا پایه‌های آن نشان می‌دهد. این روش تکمیلی از روش درخت خط و درخت ملت می‌باشد. این روش یک درک بهتری از رابطه بین علت‌های حداده، پیامدها و همچنین موانعی که می‌توانستند از وقوع حداده جلوگیری کنند، نشان می‌دهد.	۲۰۰۶	[۳۹]	در حادث شغلی	Bow Ties
یک روش باهدف خطاب قرار دادن مدیریت ریسک کشش با یک رویکرد کنترل سیستم است. این روش یا ایزار، صرفاً یک تکنیک تحقیق حداده 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 ایزار گرافیکی برای نشان دادن تأثیراتی که پویایی حادث را شکل می‌دهند، فراهم می‌کند.	۱۹۹۷	[۴۲-۴۰]	ریلی- جاده‌ای- هوانی- نفت و گاز، بهداشتی، پلیسی	AcciMap



جدول ۳- معیارها و زیر معیارهای ارائه شده برای انتخاب روش تجزیه و تحلیل حادثه در این مطالعه

زیر معیار	معیار (تعریف)
سطوح دامنه کاربرد (C ₁₁): 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 حادثه منعکس داده شود. روش تجزیه و تحلیل حادثه باید همه‌ی لایه‌های اشاره شده در مدل فنی اجتماعی راسموسن را پوشش دهد [۴۳، ۷، ۴].	سطوح دامنه کاربرد (C ₁₁): 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 حادثه منعکس داده شود. روش تجزیه و تحلیل حادثه باید همه‌ی لایه‌های اشاره شده در مدل فنی اجتماعی راسموسن را پوشش دهد [۴۳، ۷، ۴].
سطح مدیریت و سازمانی (C ₁₃): سطح خارج سازمانی (دولت، انحصار، 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؛ به عبارت دیگر یک روش جامع ممکن است نیاز به آموزش طولانی داشته باشد. برای استفاده از روش تجزیه و تحلیل حادثه بستگی به نوع حادثه، مقدار آموزش مورد نیاز متفاوت می‌باشد. در انتخاب روش، نیاز آموزش مهم می‌باشد [۴، ۷، ۵].
توالی اتفاق‌ها (C ₄₁) و استگاه اتفاق‌ها (C ₄₂): مدل کردن زمان و دوره زمانی (C ₄₃): در نظر گرفتن خطاها (C ₄₄):	واقع گرایانه بودن روش (C ₄): روش باید یک مدلی از طبیعت توالی، تعامل و همزمانی اتفاق‌ها ایجاد نماید؛ به عبارت دیگر توالی اتفاق‌هایی که اتفاق می‌افتد از نظر مکانی و زمان ارائه می‌شود [۴، ۷، ۴۳].
(C ₅₁): روابی (C ₅₂): پایابی (C ₆₁): ارائه گرافیکی (C ₆₂): ارائه جدولی (C ₆₃): ارائه بهصورت متن (C ₇₁ : نرم‌افزاری (C ₇₂ : دارای درخت منطق (C ₇₃ : دارای چک‌لیست (C ₇₄ :	روابی و پایابی (C ₅): اگر روش دوباره استفاده شود (برای یک مورد مشابه) نتایج مشابهی خواهد داد. درجه مستقل بودن روش از محقق و دانش محقق. تا چه حد یافته‌های آنالیز با واقعیت تفاوت دارد [۵، ۷، ۸].
-	مشهود بودن (C ₆): روش باید همه‌ی اتفاق‌ها و تعاملاتی که بین آن‌ها اتفاق می‌افتد را شناسایی کند و آن را به شیوه‌ای به افراد دیگر ارائه نماید که درک آن خیلی آسان بوده و مستنداتی را ارائه نماید [۴، ۷، ۴۳].
-	سیستماتیک (C ₇): روش باید یک رویکرد منطقی و منظمی را فراهم کند که همه‌ی تحقیق‌کنندگان را حمایت کند. روش باید یک رویکرد گام به گام را فراهم کند تا از منحرف شدن محقق، زمان جمع‌آوری داده و آنالیز خطاها جلوگیری نماید. در حقیقت سوگیری که ممکن است اتفاق بیافتد را کاهش دهد [۷، ۴].
-	ارائه راه حل (C ₈): روش تجزیه و تحلیل حادثه باید پیشنهادهای خاصی را برای جلوگیری از حادثه مشابه ارائه نماید [۴، ۷، ۴].

انتخاب روش بهینه تجزیه و تحلیل حادثه

ارائه راه حل سیستماتیک مشهود روابی و پایابی نیاز آموزشی واقع گرایانه علل توانایی شناسایی سطوح چندگانه سطوح دامنه کاربرد

C₁₁ C₁₂ C₁₃ C₁₄ C₂₁ C₂₂ C₂₃ C₄₁ C₄₂ C₄₃ C₄₄ C₅₁ C₅₂ C₆₁ C₆₂ C₆₃ C₇₁ C₇₂ C₇₃ C₈₁ C₈₂

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

جدول ۴- وزن و رتبه‌ی نهایی معیارها و زیر معیارها

معیار	وزن نهایی	رتبه	زیر معیار	وزن نهایی	رتبه	وزن نهایی	رتبه	زیر معیار	وزن نهایی	رتبه
سطح دامنه کاربرد (C1)	.۰/۰۸۸		(C11) سیستم‌های فی و کاری	.۰/۰۲۷	۳	رتبه در گروه	۳	وزن نهایی	۰/۰۲۷	۱۰
توانایی شناسایی سطوح چندگانه علل (C2)	.۰/۳۷۵	۱	(C12) سطح کارکنان	.۰/۰۲۹	۲					۹
واقع گرایانه بودن روش (C4)	.۰/۰۶۴	۶	(C13) سطح مدیریت و سازمانی	.۰/۰۹۳	۱					۳
روابط پیش‌بینی (C5)	.۰/۰۲۹	۸	(C14) سطح خارج سازمانی (دولت، انجمن‌ها، روابط بین سازمانی)	.۰/۰۱۸	۴					۱۲
روابط و پایایی (C5)	.۰/۰۵۶	۷	(C21) علل غیرمستقیم	.۰/۰۴۴	۳					۶
مشهود بودن (C6)	.۰/۰۷۸	۴	(C22) علل زمینه‌ای	.۰/۱۲۲	۲					۲
سیستماتیک (C7)	.۰/۰۷۶	۵	(C23) علل رشته‌ای	.۰/۱۳۳	۱					۱
ارائه راه حل (C8)	.۰/۰۲۹	۸	-	-	-					-
توالی اتفاق‌ها (C41)	.۰/۰۳۷	۱	توالی اتفاق‌ها	(C41)						۷
وابستگی اتفاق‌ها (C42)	.۰/۰۲	۲	وابستگی اتفاق‌ها	(C42)						۱۱
مدل کردن زمان و دوره زمانی (C43)	.۰/۰۱۶	۳	مدل کردن زمان و دوره زمانی	(C43)						۱۳
در نظر گرفتن حفاظتها (C44)	.۰/۰۰۵	۴	در نظر گرفتن حفاظتها	(C44)						
روایی و پایایی (C51)	.۰/۰۴۵	۱	روایی (C51)							۵
مشهود بودن (C6)	.۰/۰۷۸	۴	پایایی (C52)	.۰/۰۴۵	۱					۵
ارائه گرافیکی (C61)	.۰/۰۴۹	۱	ارائه گرافیکی	(C61)						۴
SCAT (C62)	.۰/۰۱۱	۲	ارائه جدولی	(C62)						۱۴
FTA (C63)	.۰/۰۰۸	۳	ارائه به صورت متن	(C63)						۱۵
HSG245 (C71)	.۰/۰۳۵	۱	نرم افزاری	(C71)						۸
STAMP (C72)	.۰/۰۱۱	۲	دارای درخت منطق	(C72)						۱۴
SOL (C73)	.۰/۰۰۸	۳	دارای چک لیست	(C73)						۱۵
ETA (C8)	.۰/۰۲۹	۸	-	-	-					-

جدول ۵- رتبه‌بندی روش‌ها

ردیف	روش‌ها	روش	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	۲/۲۲	.۰/۷۸	.۰/۲۲	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	۲/۳۲	۰/۹۹	.۰/۳	۱۴
۱۵	Tripod beta	A15	۲/۱۱	۳/۳	.۰/۶۱	۱
۱۶	Accimap	A16	۲/۲۲	۱/۴۲	.۰/۳۸	۱۰

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



نرم افزار را بهتر پوشش می دهد. این روش به طور گرافیکی تمامی اهداف، عاملین و اتفاق های موجود در هر حادثه و همچنین تمامی موانع شکست خورده و یا نبود مانع به دلیل نقص های فعال، پیش شرط ها و نقص های پنهان را نشان می دهد و درک روش نی از حوادث ارائه می دهد. از نظر نیاز آموزشی این روش نیازمند آموزش های سخت و پیچیده نمی باشد. همچنین این روش سطوح تجزیه و تحلیل نسبتاً گسترده ای را ارایه می دهد؛ اما بر اساس مطالعه ای که کلتز انجام داد این روش توانایی پوشش علل خارج سازمانی را ندارد [۴]. از جمله ضعف های دیگر این روش تمکن آن بر رویدادها است و کمتر به لایه های فنی اجتماعی که به این رویدادها منجر می شوند می پردازد [۱۱]. در حقیقت، روش Tripod Beta در فرآیند تحقیق حادثه کمتر به زمان گذشته بر می گردد و توجه کمتری به وضعیت ایمنی سازمان مورد نظر دارد. علاوه بر این، این روش برای جلوگیری از حوادث مشابه پیشنهادی ارایه نمی دهد. روش Tripod Beta علل زمینه ای را به ۱۱ عامل ریسک اساسی (BRFs) طبقه بندی می کند. این عوامل تصویر جامعی از مدیریت ریسک را ارائه می دهد که می تواند برای فعالیت های صنعتی مختلف مورد استفاده قرار گیرند اما راهنمای جزئی و دقیقی برای تجزیه و تحلیل حادثه و دستورالعمل مناسبی برای شناسایی علل زمینه ای خاص فراهم نمی کند. از جمله نقص های دیگر این روش پرداختن آن به موارد خارج سازمانی دخیل در حادثه می باشد. برای پوشش دادن این ضعف، می توان آن را در ترکیب با روش هایی مانند روش SOL، STAMP و Accimap مورد استفاده قرار داد. از جمله ضعف های روش هایی Accimap و STAMP نیز پیچیده بودن و نیاز آموزشی بالای آن ها می باشد که این ضعف ها در روش های MTO، Bow tie و Tripod beta tie به دلیل سهولت یادگیری این روش ها، 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 محدودیت هایی هست که به منظور پوشاندن آن ها می -

می باشند. بر اساس نتایج، هر کدام از روش های تجزیه و تحلیل مورد مطالعه می توانند برخی از معیارها و زیر معیارهای مورد نظر برای انتخاب روش بهینه را پوشش دهند و برای پوشش دادن تمام معیارها باید ترکیبی از روش های 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 $0/375$) است که مهمترین زیر معیار آن، توانایی روش در شناسایی علل زمینه ای (وزن نهایی برابر $0/122$) و ریشه ای (وزن نهایی برابر) حادثه می باشد. از دیگر معیارهای مهم، نیاز آموزشی روش (وزن نهایی برابر $0/168$) یا به عبارت دیگر میزان آموزش مورد نیاز جهت یادگیری و کاربرد روش می باشد. معیار مهم بعدی دامنه ای کاربرد روش (وزن نهایی برابر $0/088$) می باشد یعنی دامنه ای که یک روش هنگام تجزیه و تحلیل می تواند پوشش دهد. دیگر معیار حائز اهمیت، مشهود بودن روش (وزن نهایی برابر $0/078$) 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 برابر $0/049$) از اهمیت بالایی برخوردار است. معیار حائز اهمیت بعدی برای انتخاب روش در این مطالعه، سیستماتیک بودن روش (وزن نهایی برابر $0/076$) می باشد؛ اینکه یک روش تا چه حد رویکرد گام به گامی را جهت هدایت حقوق هنگام جمع آوری داده و آنالیز حقایق و جلوگیری از سوگیری هایی که در روند کار می تواند اتفاق بیفتند فراهم می کند. در این میان زیر معیار دارای اهمیت زیاد، نرم افزاری بودن روش (وزن نهایی برابر $0/035$) در درجه اول و در درجه دوم وجود درخت منطق (وزن نهایی برابر $0/011$) می باشد. روش هایی که توانایی پوشش دادن بهتر معیارهای مذکور را داشتند به ترتیب روش Tripod beta با ضریب نزدیکی برابر $0/61$ ، Bow tie با ضریب $0/056$ و MTO با ضریب نزدیکی برابر $0/056$ بودند. روش Tripod beta معیار مهم توانایی شناسایی سطوح چندگانه علل حادثه و زیر معیار داشتن

- 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.

توان از سایر روش‌ها کمک گرفت. بنابراین جهت دستیابی به تجزیه و تحلیل مناسب حوادث می‌توان ترکیبی از روش‌ها را مورد استفاده قرار داد [۴۵-۴۷]. مطالعه حاضر نشان داد که برای انتخاب روش تجزیه و تحلیل حادثه بهینه، معیارهای مختلفی وجود دارد و اهمیت معیارها دارای تفاوت زیادی می‌باشد. از طرفی روش‌های تجزیه و تحلیل حادثه دارای نقاط ضعف و قوت خاص خود هستند. بر اساس اهمیت معیارهای بدست آمده در این مطالعه، روش Tripod beta، به عنوان یک روش نسبتاً کارآمد و هماهنگ با معیارهای انتخاب شده در این مطالعه، می‌تواند برای تجزیه و تحلیل حوادث در صنعت نفت استفاده شود. زیرا بیشتر از ۵۰ درصد از معیارهای موجود برای انتخاب روش را با میانگین امتیاز بالای ۰/۵ توانست پوشش دهد. همچنین روش‌هایی مانند Bow tie و MTO در رتبه‌های بعدی قرار دارند. با توجه به اینکه روش‌های مذکور ضعف‌هایی دارند، برای بهبود تجزیه و تحلیل حوادث و پوشاندن این ضعف‌ها می‌توان از دیگر روش‌های تجزیه و تحلیل به عنوان روش مکمل استفاده کرد.

منابع

1. http://www.ilo.org/global/about-the-ilo/newsroom/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



- 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

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

Omran Ahmadi¹, Seyyed Bagher Mortazavi², Ali Khavanin³

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.