



## تعیین روش بهینه تحلیل حوادث خاص (مطالعه موردی: حادثه سقوط از ارتفاع در پروژه ساخت نیروگاه سیکل ترکیبی)

رضا رادمان فر<sup>۱</sup>، علیرضا حاجی حسینی<sup>۲</sup>، رضا جعفری ندوشن<sup>۳\*</sup>

### چکیده

**مقدمه:** امروزه تحقیق و تحلیل حوادث جزء مهمی از برنامه‌های ایمنی بوده و در اقدامات پیشگیرانه آن گنجانده می‌شود. بررسی حادثه شامل جمع‌آوری کلیه اطلاعات و تفسیرهای واقعی در خصوص یک حادثه، تجزیه و تحلیل اطلاعات به منظور یافتن علل حادثه و نیز نوشتن گزارش حادثه می‌باشد.

**روش بررسی:** این مقاله توصیفی-تحلیلی به منظور تعیین مهم‌ترین معیارهای بررسی و انتخاب تکنیک‌های تحقیق و تحلیل حادثه و انتخاب روش برتر آنالیز حادثه در حوادث صنعت نیروگاهی به رشته تحریر در آمده است. در این پژوهش با استفاده از مطالعات تحقیقات پیشین و جمع‌آوری نظرات خبرگان مهم‌ترین معیارهای انتخاب یک روش تحلیل حادثه مشخص و پس از آن با استفاده از 4 روش تحلیل حادثه، یک حادثه خاص بررسی و ماتریس تصمیم بر اساس نقاط قوت و ضعف مدل‌ها تشکیل گردیده است و در انتها اولویت‌بندی این 4 روش با استفاده از روش تصمیم‌گیری تاپسیس صورت پذیرفته است.

**یافته‌ها:** در این مقاله 5 عامل کلیدی، توانایی درک ترتیب وقایع در مدل، مشخص نمودن علل ریشه‌ای، توصیفی بودن و قابلیت ارایه دلایل به مدیران و متخصصان، نیاز به متخصصین فنی و کارشناسی و معیار زمان در بررسی علل به عنوان مهم‌ترین معیارهای انتخاب یک روش تحلیل حادثه مشخص شده و روش TRIPOD BETA به عنوان بهترین روش در تحلیل حوادث نیروگاهی عنوان گردیده است.

**نتیجه‌گیری:** روش TRIPOD BETA با توجه به قابلیت‌هایی که دارد به عنوان روش بهینه در بررسی حوادث صنعت نیروگاهی معرفی شده است.

### مقاله پژوهشی



تاریخ دریافت: 97/07/01

تاریخ پذیرش: 98/02/08

### ارجاع:

رادمان فر رضا، حاجی حسینی علیرضا، جعفری ندوشن رضا. تعیین روش بهینه تحلیل حوادث خاص (مطالعه موردی: حادثه سقوط از ارتفاع در پروژه ساخت نیروگاه سیکل ترکیبی). بهداشت کار و ارتقاء سلامت 1400؛ 5(1): 21-32.

**کلید واژه‌ها:** آنالیز حادثه، ایمنی، نیروگاه، TRIPOD BETA

<sup>1</sup> گروه مهندسی ایمنی صنعتی، دانشکده صنایع، دانشگاه علم و هنر، یزد، ایران

<sup>2</sup> گروه مهندسی ایمنی صنعتی، دانشکده صنایع، دانشگاه علم و هنر، یزد، ایران

<sup>3</sup> گروه مهندسی بهداشت حرفه ای و ایمنی کار، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی شهید صدوقی یزد، یزد، ایران

\* نویسنده مسئول: jafarinodoushan@gmail.com

## مقدمه

یکی از اجزای مهم در هر برنامه ایمنی، تحقیق و بررسی حوادث شغلی اتفاق افتاده در محیط کار است. تحقیق پیرامون حوادث شغلی یک مقوله علمی است که دارای متدهای استاندارد می‌باشد. این متدها بایستی در برنامه ایمنی محیط کار ذکر شده و در بررسی حوادث شغلی بطور عملی مورد استفاده قرار گیرد. بررسی حادثه شامل جمع‌آوری کلیه اطلاعات و تفسیرهای واقعی در خصوص یک حادثه به همراه تجزیه و تحلیل اطلاعات به منظور یافتن علل حادثه و نوشتن گزارش حادثه است.

انسان در رخداد حوادث نقش زیادی دارد به طوری که 80 درصد حوادث شغلی به علت رفتارهای نایمن اتفاق می‌افتد (1). حتی اگر در مقابل حجم فعالیت‌های اقتصادی و صنعتی تعداد این حوادث را کم بدانیم ولی حوادثی مهم همیشه در کنار ما اتفاق می‌افتد که سبب از دست رفتن جان انسان‌ها و وقوع صحنه‌های دلخراشی می‌شود؛ نظیر حادثه فرآیندی Longford (2) یا حادثه سکوی Piperalpha (3) و یا از دست دادن شاتل فضایی Challenger (4) و کلمبیا (5) و یا حادثه قطار نیشابور (6) که نمونه‌هایی غم‌انگیز از حوادث مهم صنعتی در جهان به شمار می‌روند. مطابق آمار سازمان جهانی کار سالانه بطور متوسط 317 میلیون حادثه شغلی اتفاق می‌افتد که از این تعداد 2/3 میلیون نفر جان خود را از دست می‌دهند. در واقع در هر 15 ثانیه 153 کارگر دچار حادثه می‌شوند و یک حادثه منجر به فوت اتفاق می‌افتد (ILO-2017).

فرایند بررسی حوادث توسط نویسندگان مختلف تا حدودی متفاوت است، لیکن دپارتمان انرژی آمریکا (DOE) فرآیند را در سه مرحله اصلی طبقه‌بندی می‌نماید (جمع‌آوری حقایق و شواهد، تجزیه و تحلیل شواهد و توسعه نتیجه‌گیری و مرحله سوم توسعه قضاوت‌ها و نوشتن گزارش) (7). برخی نویسندگان دیگر نظیر Kjellén پیاده‌سازی و پیگیری توصیه‌ها را به عنوان بخشی از فرآیند بررسی حادثه می‌دانند (8).

تمرکز این مقاله در حوزه گام دوم بررسی و موضوع انتخاب روشی مناسب جهت تحقیق و آنالیز حادثه و تجزیه و تحلیل

شواهد جهت توسعه نتیجه‌گیری‌ها است. سؤالی که مطرح می‌شود این است که آیا همه 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 برای انتخاب یک روش مناسب تعیین شود. 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 (9). بنابراین بر اساس نیاز سازمانی و نقاط قوت و ضعف روش‌ها، می‌توان روش مناسب را انتخاب کرد.

در این پژوهش روش‌های پرکاربرد در زمینه تحقیق و تحلیل حوادث خاص در صنایع را با استفاده از روش تاپسیس که یکی از روش‌های پرکاربرد در تصمیم‌گیری با معیارهای چندگانه است را با هم مقایسه و روش برتر شناسایی خواهد شد. از تکنیک تاپسیس می‌توان برای رتبه‌بندی و مقایسه گزینه‌های مختلف و انتخاب بهترین گزینه و تعیین فواصل بین گزینه‌ها و گروه‌بندی آنها استفاده کرد. از جمله مزیت‌های این روش آن است که معیارها یا شاخص‌های به کار رفته برای مقایسه می‌توانند دارای واحدهای سنجش متفاوتی بوده و طبیعت منفی و مثبت داشته باشند. به عبارت دیگر می‌توان از شاخص‌های منفی و مثبت به شکل ترکیبی در این تکنیک استفاده نمود. بر اساس این روش، بهترین گزینه یا راه حل، نزدیک‌ترین راه حل به راه حل یا گزینه ایده‌آل و دورترین از راه حل غیر ایده‌آل است. راه حل ایده‌آل، راه حلی است که بیش‌ترین سود و کمترین هزینه را داشته باشد، در حالی که راه حل غیر ایده‌آل، راه حلی است که بالاترین هزینه و کمترین سود را داشته باشد.

با توجه به اینکه درک معیارها در این روش بسیار مشخص و ساختار عملکردی آن راحت و همراه با دقت بالایی می‌باشد و نیز انتخاب گزینه برتر را بر اساس کمترین فاصله از ایده‌آل



چگونه روش تجزیه و تحلیل را تحت تاثیر قرار می دهد، مقایسه کرده است (16). پنگیوتا و همکارانش روش های تجزیه و تحلیل حادثه را بر اساس شش ویژگی: مدل های حادثه ای که روش تحقیق حادثه را تحت تاثیر قرار می دهد، ارایه توضیحاتی کاملتر توسط روش تحلیلی در خصوص حادثه مورد بحث، ارایه پیشنهاداتی برای بهبود ایمنی، اعتبار روش، نیاز به آموزش و زمینه ای که روش در آن کاربرد دارد، دسته بندی نموده اند (17).

احمدی و همکارانش در مقاله ای به بررسی و مقایسه برخی روش هایی نظیر BETA TRIPOD، MTO، BOW-TIE و SCAT جهت استفاده در تحقیق و تحلیل حوادث صنعت نفت پرداخته و روش TRIPOD را به عنوان روش بهینه معرفی کردند (18). علیزاده و همکارانش در مقاله خود به بررسی مدل های MORT و BETA TRIPOD پرداخته و با توجه به معیارهای چون زمان، هزینه، آموزش و نیاز به متخصصین، مدل BETA TRIPOD را مدلی برتر معرفی کردند (19).

صرف نظر از هدف تحقیق در مورد حادثه، هر نتیجه گیری باید بر اساس درک کامل از وقایع حادثه انجام شود. این که آیا روش ها یک توصیف گرافیکی از دنباله رویداد را ارائه می دهند یا نه، اولین ویژگی مشخص شده است. توصیف گرافیکی دنباله حادثه ممکن است در طی فرآیند تحقیق مفید باشد، زیرا به طور کلی، سبب قابل درک بودن وقایع منجر به حادثه و ارتباط بین وقایع مختلف می شود. علاوه بر این، ارتباط بین محققان و خبرگان را تسهیل می کند و در نهایت "پیوندهای گمشده" یا کمبود اطلاعات را آسان می کند (20).

در این مقاله معیارهای مهم در انتخاب و گزینش روش بهینه در تحلیل حوادث نیروگاهی مشخص و ارجحیت روش ها با استفاده از معیارهای منتخب و در نهایت اولویت هریک از روش های ذکر شده به صورت کمی محاسبه می شود. در این

مثبت و بیشترین فاصله تا ایده آل منفی می سنجد، در این پژوهش از این تکنیک برای انتخاب گزینه برتر استفاده شده است.

بدر در سال 1985 دو تکنیک تجزیه و تحلیل درخت خطا (FTA) و ترسیم وقایع پیوسته (STEP) را به عنوان قابل درک ترین و مناسب ترین روش ها برای تحلیل وقایع و حوادث بحرانی شناسایی نموده و همچنین از تکنیک سومی به نام PETRI NETS نیز در پژوهش خود بهره برده است (9).

سالمون و همکارانش سه روش ACCIMAP، HFACS و STAMP را بر اساس معیارهایی چون تعیین علل ریشه ای و توانایی درک علل حوادث و رویدادها، بررسی و نقاط ضعف و قوت هر یک را مشخص نمودند (10). در مطالعه ای که استرومگرن و همکارانش انجام دادند، 9 روش تجزیه و تحلیل حادثه را براساس معیارهایی مانند فرمت خروجی، اعتبار روش، میزان آموزش مورد نیاز برای کار با روش و میزان راهنمایی هایی که یک روش برای فازهای مختلف تحقیق حادثه ارائه می دهد با یکدیگر مقایسه نمودند (11). دین و همکارانش قابلیت ها و محدودیت های روش هایی چون ACCIMAP و SOL، MTO، MORT، BETATRIPOD را بررسی و در مقاله خود ارایه نمودند (12).

پژوهش دیگری نیز در رابطه با مقایسه سه روش تحلیل حادثه توسط نیوولیانیتو و همکارانش انجام و روش ها با توجه به معیارهایی مقایسه شدند. در این پژوهش کارایی روش ها از نظر معیارها به صورت خوب، متوسط و کافی گزارش شده است (14). کرولینگ و کامپانارو در مطالعه خود از روش تاپسیس جهت تعیین بهترین راهکار مقابله با حوادث نشت نفت دریایی در سال 2011 با مطالعه موردی نشت نفت از مخازن برزیل استفاده کردند (15).

کلتز روش های انتخاب شده برای تحقیق حادثه را براساس ویژگی هایی چون ارایه توضیحات گرافیکی از توالی رویداد، تمرکز بر موانع ایمنی و سطوح سازمانی در نظر گرفته و اینکه

در فاز اول تحلیل حادثه با استفاده از روش TRIPOD BETA ابتدا علل سطحی در شکست موانع کنترلی و دفاعی تعیین گردیدند. در گام بعدی پیش شرایط مرتبط با عوامل پایه‌ای خطر مطابق با جدول 1 مشخص شدند. سپس علت‌های پنهان وقوع حادثه که مرتبط به پیش شرایط و علت مستقیم یا بی واسطه بود تعیین شدند (جدول 2) و در مرحله آخر نیز موثرترین علل ریشه‌ای که در وقوع حادثه نقش داشتند، تعیین گردیدند.

TRIPOD BETA در اواسط دهه 1990 میلادی در یک پروژه مشارکتی توسط دانشگاه لیدن هلند و دانشگاه منچستر انگلستان بمنظور استفاده در صنعت نفت توسعه داده شد (21).

TRIPOD BETA علت‌های حادثه را به صورت مدل مشخص دنبال می‌نماید. در TRIPOD BETA ما عمدتاً به دنبال خطاهای سازمانی و سیستمی هستیم چراکه مهم ترین دلایل ایجاد حادثه محسوب می‌شوند و در واقع یک حادثه زمانی اتفاق می‌افتد که کنترل‌ها و حفاظ‌های ایجاد شده دچار نقص شود (22). در مدل تریپود موانع و کنترل‌ها به طور مستقیم با اقدامات نایمن، پیش شرط‌ها و شکست‌های پنهان مرتبط هستند. در واقع این مدل نشان می‌دهد که چگونه اعمال نایمن سبب حذف موانع و یا شکست‌های پنهان در مجموعه شده است (23).

پژوهش از چهار روش (FISH, RCA, TRIPOD BETA, FTA و BONE) برای بررسی یک حادثه مشخص، استفاده شده است.

### روش تحقیق

در این مقاله پس از مرور ادبیات مرتبط با موضوع و جمع‌آوری نظرات خبرگان، مهم‌ترین معیارهای انتخاب یک روش تحلیل حادثه، شناسایی شده و در گام بعدی یک حادثه مهم نیروگاهی، که اطلاعات کاملی در خصوص آن موجود است، شناسایی و با هریک از چهار روش بررسی و تحلیل می‌شود. پس از آن ماتریس تصمیم‌گیری براساس معیارها و با توجه به نقاط ضعف و قوت مدل‌های چهارگانه ایجاد شده و تصمیم‌گیری در خصوص اولویت بندی این مدل‌ها با استفاده از روش تاپسیس انجام می‌گیرد.

این مطالعه در یک واحد نیروگاهی در شهر یزد انجام شده است. در گام اول جمع‌آوری اطلاعات حوادث مهم از طریق مطالعه مستندات مربوط به حوادث سال‌های اخیر صورت گرفت و پس از آن یک حادثه مهم مربوط به سقوط از ارتفاع جهت تجزیه و تحلیل انتخاب شد. این حادثه مربوط به سقوط یکی از کارکنان داربست بند در حین بازنمودن داربست بوده که خوشبختانه نتیجه فوتی در بر نداشته است. در گام دوم، حادثه مذکور با استفاده از روش‌های ذکر شده تجزیه و تحلیل گردید و علت‌های بروز حادثه توسط توانمندی روش‌ها مشخص گردید

جدول 1: پیش شرایط مربوط به حادثه روش TRIPOD BETA

شماره آیتم	فراوانی	توضیحات
1.B	1	کار با ابزار یا تجهیزات مشکل است.
2.A	1	ابزار یا تجهیزات کارایی لازم را نداشته و دیگر در شرایط بهینه نیستند.
2.B	1	تعمیر و نگهداری ابزار یا تجهیزات متکی بر چاره جویی موقت است.
3.C	3	روش اجرایی فراگیر نیست.
4.C	2	استفاده از مواد مخدر، الکل و سایر موادی که روی رفتار انسان تاثیر می‌گذارد.
4.D	2	کاهش توجه به کارمربوطه.
8.A	3	اطلاعات مهم به کارکنان، واحدها و بخش‌های مختلف به طور مناسب فرستاده یا ارجاع نشده است.
9.A	3	نظارت نامناسب.
10.A	1	ابزار یا تجهیزات خراب هستند و دیگر در شرایط بهینه کار نمی‌کنند.
11.A	1	استفاده ناکافی از تجهیزات ایمنی و حفاظتی.



11.C	1	سیستم تشخیص و هشداردهنده به طور مناسب اعلام خطر نمی کنند.
------	---	---

جدول 2: اشکالات پنهان مربوط به حادثه - روش TRIPOD BETA

شماره آیتم	فراوانی	توضیحات
2/02	2	روش اجرایی برای استفاده از ابزار یا تجهیزات نامناسب است.
2/04	2	سیستم کنترل و ارزیابی دوره‌ای و به روز کردن مشخصات ابزار یا تجهیزات نامناسب است.
2/05	1	ابزار یا تجهیزات در شرایط نامناسب مورد استفاده قرار می گیرند.
2/07	3	از ابزار یا تجهیزات استفاده نادرست می شود.
3/11	3	نظارت بر پیاده سازی روش اجرایی نامناسب است.
6/01	1	فرآیند استخدام پرسنل به درستی صورت نگرفته است.
6/03	1	پرسنل بر مبنای ملاحظات خاص استخدام شده‌اند.
8/14	1	ساختار ارتباطی نامناسب مانع گرفتن اطلاعات، رسیدن به موقع و دریافت توسط شخص مربوطه می شود.
9/04	2	شرح وظایف به طور کامل تعریف نشده است.
9/07	2	پاسخگویی یا مسئولیت پذیری به طور صحیح و کارآمد تعریف نشده است.

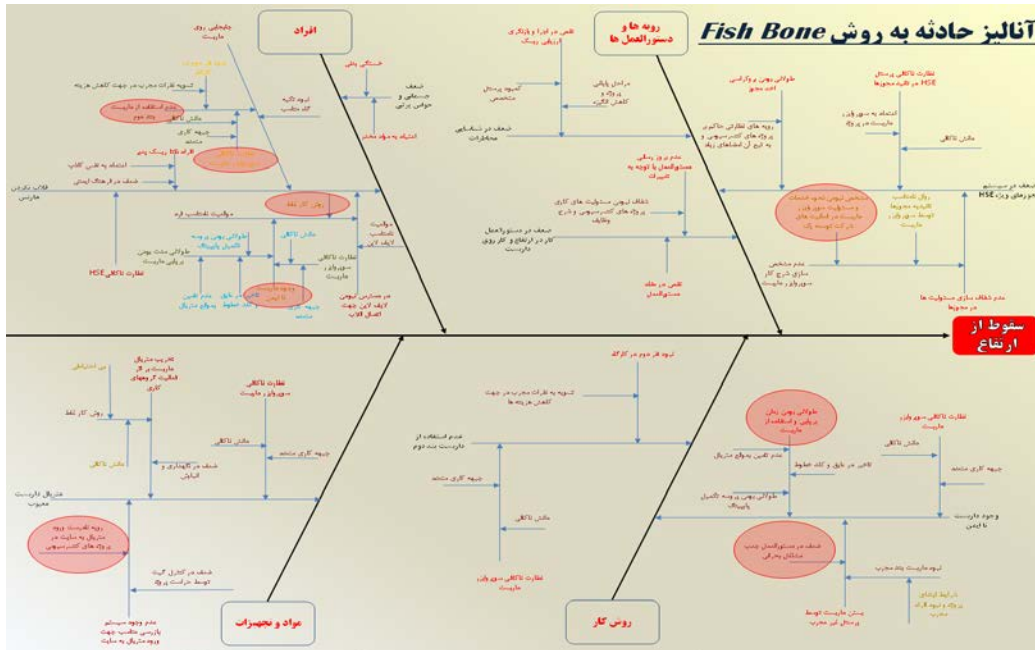
که در صورت تصحیح این نقص‌ها از وقوع حوادث مشابه و یکسان جلوگیری می‌نماید. تجزیه و تحلیل RCA یک فرایند سیستماتیک است که از تکنیک‌های تحلیلی برای تعیین مهم‌ترین دلایل ایجاد حادثه استفاده می‌نماید (20).

در فاز نهایی آنالیز حادثه از تکنیک FISH BONE استفاده شده است. نمودار استخوان ماهی که گاهی به آن نمودار ایشیکاوا می‌گویند، توسط پروفیسور کاتورو ایشیکاوا از دانشگاه توکیو در سال 1960 طراحی شد. دلیل نام گذاری این فرایند به "استخوان ماهی" روش منحصر به فرد جمع آوری اطلاعات است که به صورت بصری مرتب می‌شود (شکل 1). هنگامی که مساله و علل آن ثبت می‌شود، نموداری تشکیل می‌گردد که شبیه به اسکلت ماهی است (25).

در فاز دوم تحلیل حادثه از روش FTA جهت آنالیز حادثه استفاده گردیده است. روش FTA یک مدل گرافیکی است که ترکیب مختلفی از رویدادهای نرمال بوسیله درگاه‌های مشخصی مربوط به خطاهای تجهیزانی، نقص‌های انسانی و فاکتورهای محیطی که به یک حادثه تبدیل می‌شوند (20).

مدل FTA در دهه 1960 میلادی توسط لابراتوارهای بل توسعه پیدا کرد (24). در متد FTA یک رویداد شناسایی شده (حادثه) انتخاب شده و همه دلایلی که ممکن است به این حادثه منتج شوند توسط دیاگرامی نمایش و ارتباطات قبلی آنها مشخص می‌گردد (22).

در فاز سوم آنالیز حادثه از روش RCA (Root Cause Analysis) کمک گرفته شده است. RCA روشی است که به شناسایی نقص‌های اساسی در سیستم مدیریت ایمنی می‌پردازد



شکل 1: آنالیز حادثه به روش FISH BONE

### روش بررسی تعیین معیارها

شد.

در این پژوهش از 5 معیار ذیل در سنجش معیارها استفاده شده است (جدول 3).

1. توانایی درک ترتیب وقایع در مدل
2. مشخص نمودن علل ریشه‌ای
3. توصیفی بودن و قابلیت ارایه علل به مدیران و متخصصان
4. نیاز به متخصصین فنی و کارشناسی
5. معیار زمان انجام آنالیز

معیارهایی جهت گزینش و انتخاب روش برتر از بین تکنیک‌های بیان شده مشخص و هر 4 روش را بر اساس آن سنجش خواهیم نمود. همانگونه که پیشتر توضیح داده شده مطالعاتی در این خصوص صورت پذیرفته بود که بر اساس این پژوهش‌ها و بر اساس پرسش از خبرگان مهم‌ترین معیارها مشخص و کلیه روش‌ها بر اساس این معیارها با توجه به تحلیل‌های 4 گانه صورت پذیرفته از حادثه سنجش خواهد

جدول 3: ماتریس تصمیم‌گیری

ماتریس کمی	توانایی درک ترتیب وقایع در مدل	مشخص نمودن علل ریشه ای	توصیفی بودن و قابلیت ارایه علل	نیاز به متخصصین فنی و کارشناسی	زمان انجام آنالیز
FTA	9	9	9	9	48
TRIPOD	3	5	3	3	3
RCA	7	7	3	7	30
FISH BONE	9	9	7	7	48

گام 1: محاسبه درایه‌های ماتریس نرمال

$$K = \frac{1}{\ln m} \quad (1)$$

$$E_j = -k \sum_{i=1}^m P_{ij} * \ln P_{ij} \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (2)$$

$P_{ij}$  مقدار هر یک از درایه‌های ماتریس نرمال شده است.

گام 2: محاسبه درجه انحراف

$$d_j = 1 - E_j \quad (3)$$

مقدار  $d_j$  (درجه انحراف) بیان می‌کند شاخص مربوطه چه میزان اطلاعات مفید برای تصمیم‌گیری در اختیار تصمیم‌گیرنده قرار می‌دهد. هر چه مقادیر اندازه‌گیری شده شاخصی به هم نزدیک باشند نشان دهنده آنست که گزینه‌های رقیب از نظر آن شاخص تفاوت چندانی با یکدیگر ندارند.

گام 3: محاسبه وزن معیارها

$$w_j = \frac{d_j}{\sum d_j} \quad (4)$$

همانگونه که نشان داده شده است، مشخص نمودن علل ریشه‌ای دارای بالاترین وزن و نیاز به متخصصین فنی و کارشناسی دارای کمترین وزن می‌باشد.

گام 4: محاسبه درایه‌های ماتریس بی‌مقیاس موزون

پس از آن تشکیل ماتریس بی‌مقیاس موزون که با نماد (V) نمایش داده می‌شود و از حاصل ضرب وزن‌ها در درایه‌های نرمال محاسبه می‌گردد. و با استفاده از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$V = N_D * W_{n*n} \quad (5)$$

$N_D$  ماتریس نرمال شده و  $W$  ماتریس وزن‌ها است.

گام 5: تعیین فاصله گزینه‌ها تا ایده‌آل مثبت و منفی

برای معیارهایی که بار مثبت دارند ایده‌آل مثبت بزرگترین مقدار آن معیار است و برای معیارهایی که بار منفی دارند ایده‌آل مثبت کوچکترین مقدار آن معیار است و بالعکس. فاصله اقلیدسی هر گزینه از ایده‌آل مثبت و منفی با فرمول زیر محاسبه خواهد شد.

## انتخاب تکنیک برتر با استفاده از روش TOPSI (The Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution)

روش تاپسیس یا اولویت‌بندی بر اساس شباهت به راه حل ایده‌آل که اولین بار توسط ونگ و یون در سال 1981 معرفی گردید یکی از تکنیک‌های مورد استفاده در تصمیم‌گیری چند معیاره (MCDM) است (26). در این روش تصمیم‌گیری تعدادی گزینه و تعدادی معیار برای تصمیم‌گیری وجود دارد که باید با توجه به معیارها، گزینه‌ها رتبه‌بندی شوند، و یا اینکه به هر یک از آنها یک نمره کارایی اختصاص داده شود. فلسفه کلی روش تاپسیس این است که با استفاده از گزینه‌های موجود، دو گزینه فرضی تعریف می‌شوند. یکی از این گزینه‌ها مجموعه‌ای است از بهترین مقادیر مشاهده شده در ماتریس تصمیم‌گیری. این گزینه را اصطلاحاً ایده‌آل مثبت (بهترین حالت ممکن) می‌نامیم. ضمن اینکه یک گزینه فرضی دیگر تعریف می‌شود که شامل بدترین حالت‌های ممکن باشد. این گزینه ایده‌آل منفی نام دارد. معیارها می‌تواند دارای ماهیت مثبت یا منفی باشند، همچنین واحد اندازه‌گیری آن‌ها نیز می‌تواند متفاوت باشد.

معیار محاسبه نمرات در روش تاپسیس این است که گزینه‌ها تا حد امکان به گزینه ایده‌آل مثبت نزدیک و از گزینه ایده‌آل منفی دور باشد. بر این اساس یک نمره برای هر گزینه محاسبه می‌شود و گزینه‌ها مطابق این نمرات رتبه‌بندی می‌شوند.

در فاز اول این بخش لازم است وزن هریک از معیارها مشخص و درجه اهمیت آنها بیان گردد. بدین منظور از روش وزن‌دهی آنتروپی شانون استفاده شده است، که ضروری است ابتدا ماتریس تصمیم بر اساس وضعیت آنالیز حوادث توسط روش‌های 4 گانه تشکیل گردد.

در فاز بعدی ماتریس تصمیم را نرمال نموده و درایه‌های نرمال را  $P_{ij}$  می‌نامیم. سپس مقدار آنتروپی هر شاخص را با استفاده از فرمول زیر انجام می‌دهیم (27).

راه کار به جواب ایده آل نزدیکتر بوده و راه کار بهتری می باشد.

$$CL_i = \frac{d_i^-}{d_i^- + d_i^+} \quad (8)$$

#### یافته ها

در این پژوهش همانگونه که در جدول 4 مشخص گردیده وزن معیار دوم (مشخص نمودن علل ریشه ای) بالاتر از دیگر معیارها بوده است.

جدول 4. محاسبه وزن معیارها

	توانایی درک ترتیب وقایع در مدل	مشخص نمودن علل ریشه ای	توصیفی بودن و قابلیت ارایه علل	نیاز به متخصصین فنی و کارشناسی	زمان انجام آنالیز
$E_i$	0/764312099	0/933905335	0/887877418	0/973339701	0/925702637
$d_i$	0/235687901	0/066094655	0/112122582	0/026660299	0/074297363
$w_i$	0/457768353	0/128373353	0/217771763	0/051781365	0/144305166
Rank	1	4	2	5	3

$$d_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^+)^2} \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (6)$$

$$d_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^-)^2} \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (7)$$

گام 6. محاسبه نزدیکی نسبی گزینه ها به راه حل ایده آل در مرحله آخر لازم است نزدیکی نسبی (CL) یک گزینه به راه حل ایده آل تعیین و بهترین گزینه مشخص گردد. مقدار CL بین صفر و یک است. هرچه این مقدار به یک نزدیکتر باشد

گزینه و روش های RCA و FTA و FISH BONE در مرتبه های بعدی قرار می گیرند.

همانگونه که در جدول 5 مشاهده می شود، طبق نتایج حاصل از این مقاله، روش TRIPOD BETA به عنوان بهترین

جدول 5: تعیین روش بهینه تحلیل حوادث

FTA	0/302951598	
TRIPOD BETA	0/697048402	Best Alternative
RCA	0/370521656	
FISH BONE	0/25233695	

#### بحث

با توجه به وجود معیارهای بسیار در انتخاب و گزینش تکنیک های مناسب تحلیل حادثه در این پژوهش سعی شد در مرتبه اول مهم ترین معیارها با پرسش از خبرگان و افراد با تجربه در این زمینه شناسایی به نحوی که این معیارها به شکل واقعی در سازمان ها و شرکت های پیشرو در حوزه HSE مبنای اول و محل چالش باشد لذا 5 عامل زیر به عنوان معیارهای اصلی شناسایی و به منظور تعیین بهترین مدل آنالیز حادثه مورد استفاده قرار گرفت.

1. توانایی درک ترتیب وقایع در مدل

2. مشخص نمودن علل ریشه ای

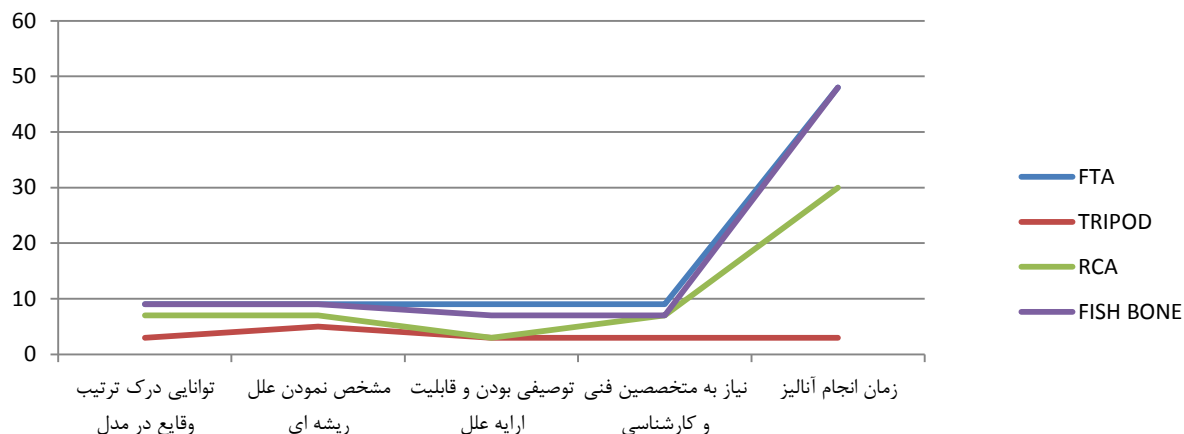
3. توصیفی بودن و قابلیت ارایه علل به مدیران و متخصصان

4. نیاز به متخصصین فنی و کارشناسی

5. معیار زمان آنالیز

در مرحله بعد با تحلیل یکی از حوادث بوقوع پیوسته در نیروگاه یزد با استفاده از 4 تکنیک TRIPOD BETA، FTA، FISH BONE و RCA و تشکیل ماتریس تصمیم بر اساس معیارهای فوق الذکر به بررسی نقاط ضعف و قوت روش ها پرداخته شد و با استفاده از روش TOPSIS که از تکنیک های تصمیم گیری با معیارهای چندگانه می باشد، متد TRIPOD BETA به عنوان روش بهینه در این پژوهش معرفی شد.





نمودار 1: مقایسه تاثیر معیارها در انتخاب روش های چهارگانه

شناسایی و حذف نمود.

در این مقاله مواردی مانند هزینه و وجود نرم افزارها در معیارها با نظر خبرگان حذف شده چرا که این موضوعات کمتر دغدغه سازمان‌ها و مدیران در فرایند انجام تحلیل حادثه است.

#### تقدیر و تشکر

از کلیه عزیزانی که در نگارش این مقاله ما را یاری رساندند کمال سپاسگزاری را داریم.

#### مشارکت نویسندگان

طراحی پژوهش: ع.ح.ح

جمع آوری داده: ر.ر

تحلیل داده: ر.ر

نگارش و اصلاح، ع.ح.ح، ر.ج

#### تضاد منافع

پژوهش حاضر با هزینه شخصی انجام شده و هیچگونه تعارض منافی وجود ندارد.

این مقاله برگرفته از پایان نامه کارشناسی ارشد رضا رادمان فر دانشجوی دانشگاه علم و هنر یزد می باشد.

همانگونه که در نمودار شماره 1 مشخص شده، روش TRIPOD BETA در شاخص‌های مثبت رتبه پایین‌تری نسبت به دیگر روش‌ها داشته و برتری آن در اختلاف بالای این روش در معیارهای منفی است، زمان پایین انجام آنالیز و عدم نیاز ویژه به کارشناسان و متخصصان فنی بیشترین تأثیر را در انتخاب این روش به عنوان روش برتر داشته است. به طور کلی می توان مهم‌ترین محاسن روش TRIPOD BETA و قرارگیری آن بالاتر از سایر متدهای مورد اشاره در این پژوهش که بیشترین کاربرد را در بررسی و آنالیز حوادث شغلی در ایران دارند را مرتبط با موارد ذیل دانست:

1. شناسایی سیستماتیک شکست‌ها و علل بروز رویداد
2. بررسی کلیه ابعاد احتمالی حادثه از فاز طراحی تا بهره‌برداری و تعمیر و نگهداری
3. بکارگیری از پارامترهای عددی از نظر احتمال وقوع و همینطور تعداد حوادث که نتایج آن در بدست آوردن احتمال وقوع حادثه اصلی موثر می باشد.
4. شناسایی و محاسبه مقدار ارزش بیشترین واقعه
5. با این روش به جهت شناسایی علل‌های وقوع یک رویداد می توان مجموعه‌ای که باعث ایجاد یک رویداد ناخواسته شود را



## منابع

1. Snashall D. Occupational health in the construction industry. *Occup Environ Med.* 2007;64(12): 789–790
2. Hopkins A. Lessons from Longford. CCH Australia Limited: Australia; 2000.
3. Cullen B. The Public Inquiry into the Piper Alpha Disaster. HMSO Publication: United Kingdom; 1990.
4. Vaughan A, The Challenger Launch Decision: Risky Technology, Culture and Deviance at NASA. University of Chicago Press: London; 1996.
5. NASA. 2003. Available at: <http://www.nasa.gov/columbia>
6. Farsnews. 2012. Available at: <https://www.tasnimnews.com/fa/news/1392/11/29/286696>. [Persian]
7. DOE, Conducting Accident Investigations, DOE Workbook. 2<sup>nd</sup> ed. US Department of Energy: Washington: DC: USA; 1999.
8. Kjellén UA, Prevention of Accidents Thorough Experience Feedback. Taylor & Francis: London: UK; 2000 .
9. Benner L. Rating accident models and investigation methodologies. *Safety Research.* 1985;16(3):105-26.
10. 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.
11. Strömngren M, Bergqvist A, Andersson R, Harms-Ringdahl L. A Process-Oriented Evaluation of Nine Accident Investigation Methods. *Safety Science.* .2013;2(1): 121-43.
12. 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.
13. Morrison LM. Best practices in incident investigation in the chemical process industries with examples from the industry sector and specifically from Nova Chemicals. *Hazardous Materials.* 2004;111(1):161-6.
14. Nivolianitou ZS, Lepoulos VN, Konstantinidou M. Comparison of techniques for accident scenario analysis in hazardous systems. *Journal of Loss prevention.* 2004; 14(3): 115-29.
15. Renato A.Krohling, Vinicius C.Campanharo” Fuzzy TOPSIS for group decision making: A case study for accidents with oil spill in the sea” , *Expert Systems with Applications.* 2011;12(3):4190-97.
16. Sklet S. Comparison of some selected methods for accident investigation. *Hazardous Materials.* 2004;111(1):29-37.
17. 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.
18. Ahmadi OM, Mortazavi SB, Kavanin AL. The choice of optimal method for analyzing oil industry accidents using Fuzzy ANP and Fuzzy TOPSIS multi-criteria decision making methods. *Iran Occupational Health (IOH)*. 2017;14(2):117-47. [Persian]
19. Alizadeh FA, Taghdisi MH, Mirilavasani MR. Study of the logical tree method of MORT and TRIPOD Beta in causal analysis of incident events by combining hierarchical model. *Health and Safety at Work*. 2014;4(4):25-41. [Persian]
20. Snorre SK. Comparison of some selected methods for accident investigation. *Hazardous Materials*. 2004;111:29-37.
21. Wagenaar WA, Groeneweg J, Hudson PW, Reason JT. Promoting safety in the oil industry. *Ergonomics*. 2007;37:1999-2013.
22. Katsakiori P, Sakellariopoulos G, Manatakis E. Towards an evaluation of accident investigation methods in terms of their alignment with accident causation models. *Safety science*. 2009;47:1007-15.
23. Reason J. *Tripod—a Principled Basis for Accident Prevention*. 1988.
24. Ferry TS. "Modern accident investigation and analysis. John Wiley & Sons; 1988.
25. Higgins JM. *101 Creative Problem Solving Techniques*. Translate by Poordariani MA, Amirkabir. 2017. [Persian]
26. Tzeng GH, Huang JJ. *Multiple attribute decision making: methods and applications*. US: CRC Press; 2011.
27. Olsen DA. *Multi-criteria decision making methods*. Translate by Khatami AL. 1<sup>th</sup> ed. Marandiz; 2007. [Persian]





## Determining the Optimal Method for Analyzing Specific Accidents (Case study: Falling accidents in the construction project of a combined cycle power plant)

Reza RADMANFAR<sup>1</sup>, Alireza HAJI HOSSEINI<sup>2</sup>, Reza JAFARI NODOUSHAN<sup>3\*</sup>

### Abstract

### Original Article



Received: 2018/09/23

Accepted: 2019/05/17

### Citation:

RADMANFAR R, HAJI HOSSEINI AR, JAFARI NODOUSHAN R. Determining the Optimal Method for Analyzing Specific Accidents (Case study: Falling accidents in the construction project of a combined cycle power plant). Occupational Hygiene and Health Promotion 2021; 5(1): 21-32.

**Introduction:** Today, accident investigation and analysis is an important component of safety programs in preventive measures. Incident investigation involves collecting all the information and actual interpretations of an incident, analyzing information to find out the causes of the incident, and writing an incident report.

**Methods:** This descriptive-analytical article was conducted to determine the most important criteria for investigating and selecting the techniques of accident investigation as well as analyzing and selecting the best method of accident analysis in the events of the power plant industry. In this research, previous research studies were studied and expert opinions were collected with regard to the most important criteria for choosing a specific accident analysis method. Later, the 4 accident analysis methods was applied in a special power plant accident and the decision matrix was designed based on the strengths and weaknesses of the model formation. Finally, these four methods were prioritized using the Topsis decision-making method.

**Results:** The key factors in investigating the main criteria for selecting an incident analysis method included the ability to understand the sequence of events in the model, identifying the root causes, descriptiveness and ability to provide reasons for managers and specialists, the need for technical experts, and the time criterion. The TRIPOD BETA method was selected as the best method for analyzing the power accidents.

**Conclusion:** The TRIPOD BETA method was introduced as the most effective method for investigating power plant accidents.

**Keywords:** Accident analysis, Safety, Power plant, TRIPOD BETA

<sup>1</sup> Department of Industrial Safety Engineering, School of Industrial, Elm o Honar University, Yazd, Iran

<sup>2</sup> Department of Industrial Safety Engineering, School of Industrial, Elm o Honar University, Yazd, Iran

<sup>3</sup> Department of Occupational Health and Safety Engineering, School of Public Health, Shahid Sadoughi University of Medical Sciences, Yazd, Iran

\* (Corresponding Author: jafarinodoushan@gmail.com)

