Occupational Medicine Quarterly Journal
Vol. 12, No.3, Autumn 2020
Pages: 53-63

فصلنامه علمی تخصصی طب کار
دوره ۱۲ ، شماره۳، پائیز ۱۳۹۹
صفحه: ۶۳-۵۳

مقایسه دو روش تحلیل درخت خطا و TRIPOD BETA در تحلیل حوادث یک صنعت نیروگاهی با استفاده از تحلیل سلسله مراتبی

آفرین اخوان[1*]، هاشم کریمی[2]، غلامحسین حلوانی[3]

چکیده

مقدمه: با توجه به اهمیت و ضرورت تحلیل حوادث، استفاده از تکنیک‌های مناسب، جهت آنالیز دقیق حوادث و ارایه اقدامات اصلاحی و پیشگیرانه‌ی مناسب، جهت جلوگیری از بروز مجدد حادثه، امری ضروری می‌باشد.

روش بررسی: در این مقاله توصیفی- تحلیلی، مهم‌ترین معیارهای بررسی و انتخاب تکنیک‌های تحقیق و تحلیل حادثه و انتخاب روش برتر آنالیز حادثه، در حوادث بحرانی صنایع در فاز ساخت، شناسایی و بررسی شد. در این پژوهش با استفاده از تحقیقات پیشین و جمع‌آوری نظرات خبرگان مهم‌ترین معیارهای انتخاب یک روش تحلیل حادثه شناسایی گردید. پس از آن با استفاده از روش‌های تحلیل حادثه TRIPOD BETA و FTA، دو حادثه بحرانی نیروگاهی بررسی شد. سپس ماتریس مقایسات زوجی بر اساس نقاط قوت و ضعف مدل‌ها تشکیل گردید. در انتها اولویت‌بندی این دو روش با استفاده از روش تصمیم‌گیری تحلیل سلسله مراتبی انجام شد.

نتایج: در این مقاله ۷ عامل کلیدی واقع‌بینی مدل، توصیفی بودن مدل، سیستماتیک بودن مدل، زمان اجرا، دوره‌های آموزشی مورد نیاز، توانایی کمی سازی و قابل رویت بودن وقایع به عنوان مهم‌ترین معیارهای انتخاب یک روش تحلیل حادثه مشخص شد.

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

واژه‌های کلیدی: آنالیز حادثه، ایمنی، تحلیل درخت خطا، TRIPOD BETA

[1] دکتری مهندسی صنایع، گروه مهندسی صنایع، دانشگاه علم و هنر، یزد، ایران
[2] کارشناسی ارشد مهندسی ایمنی صنعتی، دانشگاه علم و هنر، یزد، ایران
[3] گروه ارگونومی، دانشکده بهداشت، دانشگاه علم پزشکی و خدمات بهداشتی درمانی شهید صدوقی یزد ، یزد، ایران
* (نویسنده مسئول)؛ تلفن تماس: ۰۹۱۳۱۵۳۳۱۸۷ پست الکترونیک: akhavan@sau.ac.ir
تاریخ دریافت:.۱۳۹۸/۰۸/۲۳. تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۲/۱۰

[Downloaded from tkj.ssu.ac.ir on 2026-10-09]
[DOI: 10.18502/tkj.v12i3.4987]

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 روش‌های استاندارد می‌باشد. این روش‌ها باید در برنامه ایمنی محیط کار ذکر شده و در بررسی حوادث شغلی به‌طور عملی مورد استفاده قرار گیرد. بررسی حادثه شامل جمع‌آوری کلیه اطلاعات و تفسیرهای واقعی در خصوص یک حادثه به همراه تجزیه و تحلیل اطلاعات به‌منظور یافتن علل حادثه و نوشتن گزارش حادثه است.

انسان در رخداد حوادث نقش زیادی دارد؛ به‌طوری‌که ۸۰ درصد حوادث شغلی به علت رفتارهای ناایمن اتفاق می‌افتد (۱). 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 (۲) یا حادثه سکوی فیلادلفیا (۳) و یا از دست دادن شاتل فضایی Challenger (۴) و حوادث مشابه داخلی و خارجی دیگر که نمونه‌هایی غم‌انگیز از حوادث مهم صنعتی در جهان به شمار می‌روند. مطابق آمار سازمان جهانی کار، سالانه به‌طور متوسط ۳۱۷ میلیون حادثه شغلی اتفاق می‌افتد که از این تعداد ۲/۳ میلیون نفر جان خود را از دست می‌دهند. در واقع در هر ۱۵ ثانیه ۱۵۳ کارگر دچار حادثه می‌شوند و یک حادثه منجر به فوت اتفاق می‌افتد (۵).

فرایند بررسی حوادث توسط نویسندگان مختلف تا حدودی متفاوت است، لیکن دپارتمان انرژی آمریکا (DOE: Department of Energy) فرآیند را در سه مرحله اصلی طبقه‌بندی می‌نماید که شامل: جمع‌آوری حقایق و شواهد، تجزیه و تحلیل شواهد و توسعه نتیجه‌گیری و مرحله سوم توسعه قضاوت‌ها و نوشتن گزارش می‌باشد (۶). برخی نویسندگان دیگر نظیر Kjellén پیاده‌سازی و پیگیری توصیه‌ها را به‌عنوان بخشی از فرآیند بررسی حادثه می‌دانند (۷). 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. براساس مطالعات انجام شده روشی که بتواند تمامی معیارهای مورد نظر یک سازمان را پوشش دهد وجود ندارد (۸). بنابراین بر اساس نیاز سازمانی و نقاط قوت و ضعف روش‌ها، می‌توان روش مناسب را انتخاب کرد.

مهم‌ترین دلایل استفاده از این دو روش در پژوهش را می‌توان به پرکاربرد بودن و در دسترس بودن اطلاعات مربوط به آن‌ها مربوط دانست.

در این پژوهش روش‌های پرکاربرد در زمینه تحقیق و تحلیل حوادث خاص در صنایع را با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی که یکی از روش‌های پرکاربرد در تصمیم‌گیری با معیارهای چندگانه است را با هم مقایسه و روش برتر شناسایی خواهد شد. فرایند تحلیل سلسله مراتبی در هنگامی‌که عمل تصمیم‌گیری با چند گزینه رقیب و معیار تصمیم‌گیری روبروست می‌تواند استفاده گردد. معیارهای مطرح شده می‌تواند کمی و کیفی باشند. اساس این روش تصمیم‌گیری بر مقایسات زوجی نهفته است. تصمیم‌گیرنده با فرآهم آوردن درخت سلسله مراتبی تصمیم آغاز می‌کند. درخت سلسله‌مراتب تصمیم، عوامل مورد مقایسه و گزینه‌های رقیب مورد ارزیابی در تصمیم را نشان می‌دهد. سپس یک سری مقایسات زوجی انجام می‌گیرد. این مقایسات وزن هر یک از فاکتورها را در راستای گزینه‌های رقیب مورد ارزیابی در تصمیم را نشان می‌دهد. در نهایت منطق فرآیند تحلیل سلسله مراتبی به‌گونه‌ای ماتریس‌های حاصل از مقایسات زوجی را با یکدیگر تلفیق می‌سازد که تصمیم بهینه حاصل آید (۹).

در این پژوهش به دلیل کارکرد دقیق روش AHP و تحلیل مناسب آن از روابط سلسله مراتبی بین معیارها و اهداف و گزینه‌ها و امکان فرموله نمودن مسئله در آن که البته در عین دقت یکی از روش‌های آسان و پرکاربرد می‌باشد، از آن استفاده‌شده است. در این مقاله پس از مرور ادبیات مرتبط با موضوع و جمع‌آوری نظرات خبرگان، مهم‌ترین معیارهای انتخاب یک روش تحلیل حادثه، شناسایی‌شده و در گام بعدی دو حادثه مهم نیروگاهی که اطلاعات کاملی در خصوص آن موجود است، شناسایی و با

[Downloaded from tkj.ssu.ac.ir on 2026-10-09]

[DOI: 10.18502/tkj.v12i3.4987]

هریک از دو روش بررسی و تحلیل می‌شود. پس‌ازآن ماتریس تصمیم‌گیری بر اساس معیارها و با توجه به نقاط ضعف و قوت مدل‌های دوگانه ایجاد شده و تصمیم‌گیری در خصوص اولویت‌بندی این مدل‌ها با استفاده از روش تاپسیس انجام می‌گیرد.

بنر (۱۹۸۵) دو تکنیک تجزیه و تحلیل درخت خطا (FTA) و ترسیم وقایع پیوسته (STEP) را به‌عنوان قابل‌درک‌ترین و مناسب‌ترین روش‌ها برای تحلیل وقایع و حوادث بحرانی شناسایی نموده و همچنین از تکنیک سومی به نام PETRI NETS نیز در پژوهش خود بهره برده است (۸). در مطالعه‌ای که استرومگرن و همکاران انجام دادند، ۹ روش تجزیه و تحلیل حادثه را براساس 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 با یکدیگر مقایسه نمودند. همچنین سه روش ACCIMAP، HFACS و STAMP را بر اساس معیارهای چون تعیین علل ریشه‌ای و توانایی درک علل حوادث و رویدادها بررسی و نقاط ضعف و قوت هر یک را مشخص نمودند (۱۰). داین و همکاران (۲۰۱۲) قابلیت‌ها و محدودیت‌های روش‌هایی چون TRIPOD، MORT، MTO، SOL و ACCIMAP را بررسی نمودند (۱۱).

موریسون در مطالعه خود ۱۱ روش تجزیه و تحلیل حادثه که در صنایع فرآیند شیمیایی به کار می‌روند را بر اساس ویژگی‌هایی از قبیل 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 (۱۲).

پژوهش دیگری نیز در رابطه با مقایسه سه روش تحلیل حادثه توسط nivolianitou و همکاران انجام و روش‌ها با توجه به معیارهایی مقایسه شدند. در این پژوهش کارایی روش‌ها از نظر معیارها به‌صورت خوب، متوسط و کافی گزارش شده است (۱۳). کرولینگ و کامپانارو در مطالعه خود از روش تاپسیس جهت تعیین بهترین راهکار مقابله با حوادث نشت نفت دریایی با مطالعه موردی نشت نفت از مخازن برزیل استفاده کردند (۱۴).

در تحقیقی روش‌های انتخاب شده برای تحقیق حادثه را بر اساس ویژگی‌هایی چون ارائه توضیحات گرافیکی از توالی رویداد، تمرکز بر موانع ایمنی و سطوح سازمانی در نظر گرفته و این‌که چگونه روش تجزیه و تحلیل را تحت تأثیر قرار می‌دهند، مقایسه کرده است (۱۵). در تحقیق دیگری روش‌های تجزیه و تحلیل حادثه را بر اساس هفت ویژگی: مدل‌های حادثه‌ای که روش تحقیق حادثه را تحت تأثیر قرار می‌دهد، ارایه توضیحاتی کامل‌تر توسط روش تحلیلی در خصوص حادثه مورد بحث، ارایه پیشنهاداتی برای بهبود ایمنی، اعتبار روش، نیاز به آموزش و زمینه‌ای که روش در آن کاربرد دارد، دسته‌بندی نموده اند (۱۶).

احمدی و همکاران در مقاله‌ای به بررسی و مقایسه برخی روش‌هایی نظیر TRIPOD، BOW-TIE، MTO و SCAT جهت استفاده در تحقیق و تحلیل حوادث صنعت نفت پرداخته و روش TRIPOD را به‌عنوان روش بهینه معرفی کردند (۱۷). علیزاده و همکاران در مقاله خود به بررسی مدل‌های MORT و TRIPOD پرداخته و با توجه به معیارهای چون زمان، هزینه، آموزش و نیاز به متخصصین، مدل TRIPOD را مدلی برتر معرفی کردند (۵).

صرف نظر از هدف تحقیق در مورد حادثه، هر نتیجه‌گیری باید بر اساس درک کامل از وقایع حادثه انجام شود. این‌که آیا روش‌ها یک توصیف گرافیکی از دنباله رویداد را ارائه می‌دهند یا نه اولین ویژگی مشخص شده است. توصیف گرافیکی دنباله حادثه ممکن است در طی فرآیند تحقیق مفید باشد؛ زیرا به‌طور کلی، سبب قابل درک بودن وقایع منجر به حادثه و ارتباط بین وقایع مختلف می‌شود. علاوه بر این، ارتباط بین محققان و خبرگان را تسهیل می‌کند و در نهایت «پیوندهای گمشده» یا کمبود اطلاعات را آسان می‌کند (۱۸). با توجه به اینکه معیارهای فراوانی در انتخاب یک روش تحلیل حادثه مؤثر می‌باشند در این مقاله ابتدا معیارهای مهم در انتخاب و گزینش روش بهینه در تحلیل حوادث نیروگاهی مشخص و ارجحیت روش‌ها با استفاده از معیارهای منتخب و درنهایت اولویت هریک از روش‌های ذکرشده به صورت کمی محاسبه می‌شود. در این پژوهش از دو روش (آنالیز درخت خطا FTA: Fault tree analysis و تریپود بتا Tripod beta) برای بررسی یک حادثه مشخص، استفاده شده است. همچنین از تکنیک تصمیم‌گیری تحلیل سلسله مراتبی در مقایسه روش‌ها بهره برده شده است.

[Downloaded from tkj.ssu.ac.ir on 2026-10-09]
[DOI: 10.18502/tkj.v12i3.4987]

روش بررسی

این مطالعه توصیفی- تحلیلی در دو واحد نیروگاهی در شهرستان‌های بهبهان و شیروان در سال ۱۳۹۷ انجام شده است. در گام اول جمع‌آوری اطلاعات حوادث مهم از طریق مطالعه مستندات مربوط به حوادث سال‌های اخیر صورت گرفت. پس از آن دو حادثه مهم مربوط به سقوط از ارتفاع و برق‌گرفتگی جهت تجزیه و تحلیل انتخاب شد. حادثه اول مربوط به سقوط چهار کارگر در حین کار بر روی قالب‌های جهنده در زمان ساخت پوسته بخش کولینگ نیروگاه بوده و حادثه دوم مربوط به برق‌گرفتگی یک نفر در حین کار روی تابلوی برق‌دار بوده است. درگام دوم، حوادث مذکور با استفاده از روش‌های ذکر شده تجزیه و تحلیل گردید و علت‌های بروز حوادث توسط روش‌ها مشخص گردید. 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 جداول ۱ و ۳ مشخص شدند. سپس علت‌های پنهان وقوع حادثه که مرتبط به پیش شرایط و علت مستقیم یا بی‌واسطه بود تعیین شدند (جداول ۲ و ۴). در مرحله آخر نیز مؤثرترین علل ریشه‌ای که در وقوع حادثه نقش داشتند، تعیین گردیدند.

TRIPOD BETA در اواسط دهه ۱۹۹۰ میلادی در یک پروژه مشارکتی توسط دانشگاه لیدن هلند و دانشگاه منچستر انگلستان به‌منظور استفاده در صنعت نفت توسعه داده شد (۱۹). این روش علت‌های حادثه را به‌صورت مدل مشخص دنبال می‌نماید. در TRIPOD BETA عمدتاً خطاهای سازمانی و سیستمی دنبال می‌شود، چراکه مهم‌ترین دلایل ایجاد حادثه محسوب می‌شوند. در واقع یک حادثه زمانی اتفاق می‌افتد که کنترل‌ها و حفاظ‌های ایجاد شده دچار نقص شود (۱۶). در مدل TRIPOD BETA موانع و کنترل‌ها به طور مستقیم با اقدامات ناایمن، پیش‌شرط‌ها و شکست‌های پنهان مرتبط هستند. درواقع این مدل نشان می‌دهد که چگونه اعمال ناایمن سبب حذف موانع و یا شکست‌های پنهان در مجموعه شده است (۲۰).

در فاز دوم تحلیل حادثه از روش FTA جهت آنالیز حادثه استفاده شده است. روش FTA یک مدل گرافیکی است که ترکیب مختلفی از رویدادهای نرمال بوسیله درگاه‌های مشخصی مربوط به خطاهای تجهیزاتی، نقص‌های انسانی و فاکتورهای محیطی که به یک حادثه تبدیل می‌شوند را دارا می‌باشد (۱۶).

مدل FTA در دهه ۱۹۶۰ میلادی توسط لابراتوارهای بل توسعه پیدا کرد. در متد FTA یک رویداد شناسایی شده (حادثه) انتخاب شده و همه چیزهایی که ممکن است به این حادثه منتج شوند، توسط دیاگرامی نمایش و ارتباطات قبلی آن‌ها مشخص می‌گردد (۸). شکل ۱ آنالیز حادثه اول و شکل ۲ آنالیز حادثه دوم را به روش FTA نشان می دهد.

جدول ۱. پیش شرایط حادثه سقوط از ارتفاع – تحلیل TRIPOD BETA

آیتم	درصد فراوانی	توضیحات
G.۳	۲۲	روش اجرایی فراگیر نیست.
G.۹	۳۳	فرهنگ رایج در شرکت نامناسب است.
A.۸	۳۳	اطلاعات مهم به کارکنان، واحدها و بخش‌های مختلف به طور مناسب فرستاده یا ارجاع نمی‌شود.
C.۱۱	۲۲	سیستم تشخیص و هشدار دهنده به طور مناسب اعلام خطر نمی‌کند.

جدول ۲. اشکالات پنهان حادثه سقوط از ارتفاع – تحلیل TRIPOD BETA

آیتم	درصد فراوانی	توضیحات
۱/۰۷	۱۲	طرح‌های جدید یا اصلاح شده معرفی نمی‌شود.
۲/۱۱	۱۷	ارتباط بین واحدهای بازرسی فنی و تعمیر و نگه‌داری نامناسب است.
۲/۰۱	۱۸	سیستم تامین ابزار و تجهیزات نامناسب است.
۲/۰۴	۱۸	سیستم کنترل، ارزیابی دوره‌ای و بروز کردن مشخصات ابزار یا تجهیزات نامناسب است.
۲/۰۹	۱۷	محدودیت‌های مالی یا فشار زمانی هنگام خرید یا اصلاح ابزار و تجهیزات وجود دارد.
۳/۱۳	۱۲	سازمان به مسائل ایمنی در زمان تغییرات و بهینه‌سازی اهمیتی نمی‌دهد.
۹/۰۱	۶	اولویت‌های مدیریت نادرست تعیین شده است.

[Downloaded from tkj.ssu.ac.ir on 2026-10-09]

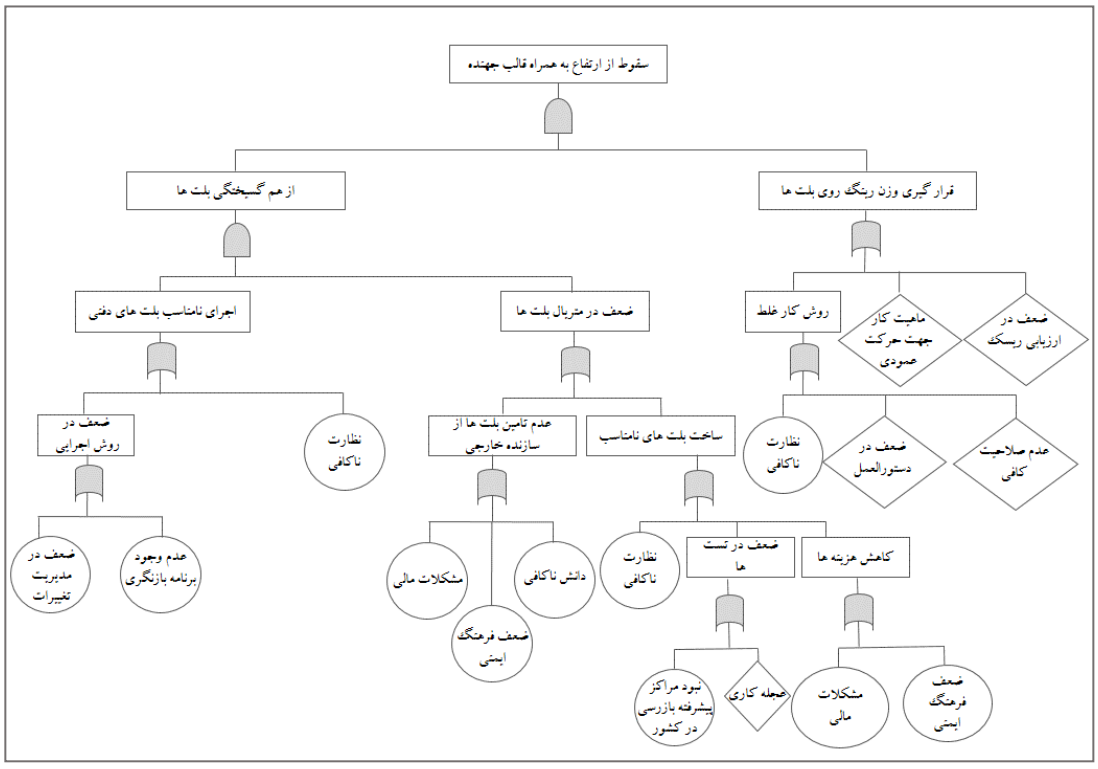
[DOI: 10.18502/tkj.v12i3.4987]

جدول ۳. پیش شرایط حادثه برق گرفتگی – تحلیل TRIPOD BETA

توضیحات	فراوانی	آیتم
سرعت در انجام عملیات منجر به بی‌دقتی در کار و نادیده گرفتن قسمت‌هایی از روش اجرایی می‌شود.	۲	۷.A
از یک موقعیت خطرناک بالقوه چشم پوشی شده است.	۳	۷.C
با وجود آگاهی پرسنل از ایمن نبودن شرایط کاری فعالیت ادامه پیدا می کند.	۲	۷.D
پرسنل تحت فشار کار می کنند.	۱	۷.E
نظارت نامناسب است.	۳	۹.A
تصمیمات نادرست یا غیر مسئولانه گرفته می شود.	۳	۹.D
فرهنگ رایج در شرکت ناسالم است.	۳	۹.G
تجهیزات ایمنی و حفاظتی در دسترس نیست.	۱	۱۱.B

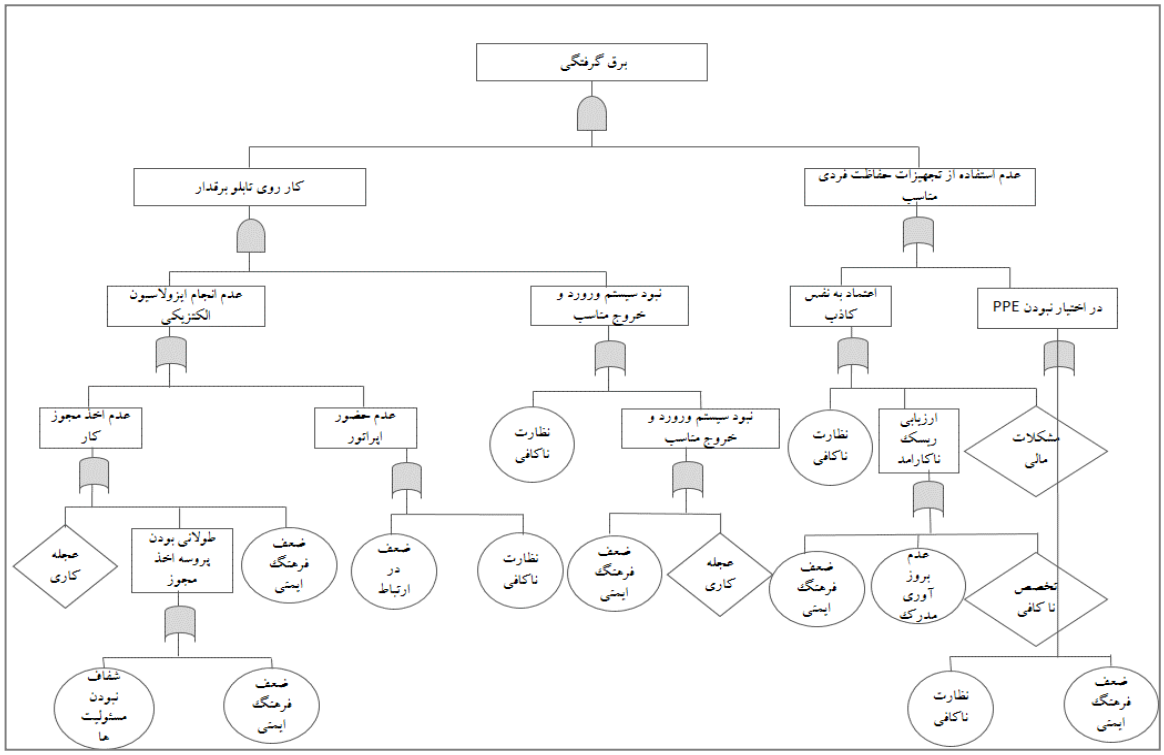
جدول ۴. اشکالات پنهان حادثه برق‌گرفتگی – تحلیل TRIPOD BETA

توضیحات	فراوانی	آیتم
طراحی برای شرایط محیطی عملیات نامناسب است.	۱	۱/۰۱
طراحی متناسب با استانداردهای صنعتی نیست.	۳	۱/۰۲
سیستم بازرسی ابزار یا تجهیزات نامناسب است.	۲	۲/۱۰
نظارت برای برقراری شرایط ایمن کافی نیست.	۳	۷/۰۶



شکل ۱. آنالیز حادثه سقوط به روش FTA

[Downloaded from tkj.ssu.ac.ir on 2026-10-09]
[DOI: 10.18502/tkj.v12i3.4987]



شکل ۲. آنالیز حادثه برق گرفتگی به روش FTA

نتایج

با بررسی مطالعات پیشین و بر اساس نظر خبرگان مهم‌ترین معیارها مشخص شده و هر دو روش بر اساس این معیارها با توجه به تحلیل‌های ۲ گانه صورت پذیرفته از ۲ حادثه مورد سنجش قرار گرفته است. ۷ معیار جهت گزینش و انتخاب روش برتر از بین تکنیک‌های FTA و TRIPOD BETA مشخص گردیده و هر ۲ روش بر اساس آن سنجش شده است. معیارها عبارت‌اند از:

۱. واقع‌بینی مدل (۸)
۲. توصیفی بودن مدل (۸،۱۲،۲۱)
۳. سیستماتیک بودن مدل (۸،۱۲،۲۱)
۴. زمان اجرا (۲۱)
۵. دوره‌های آموزشی (۲۱)
۶. توانایی کمی سازی (۲۱)
۷. قابل‌رؤیت بودن وقایع (۸،۲۱)

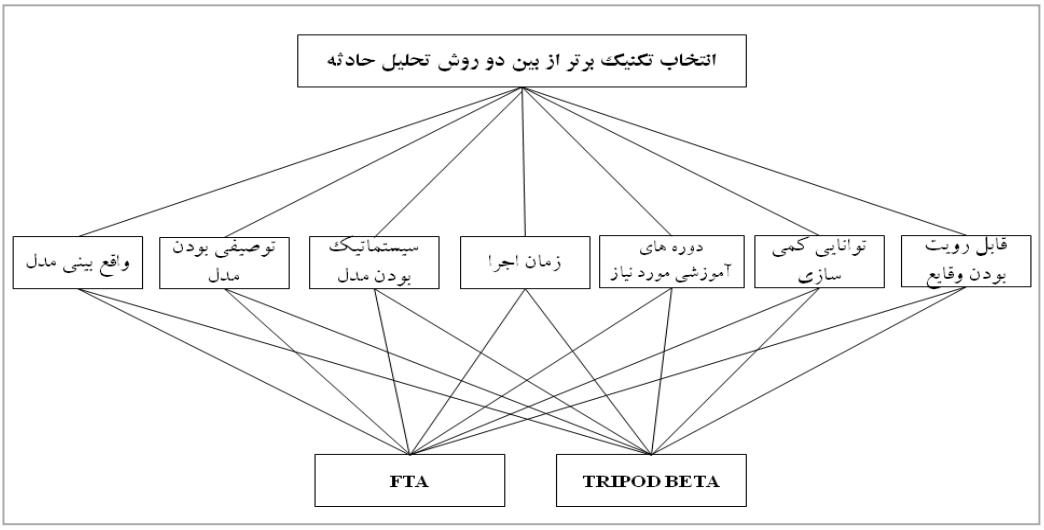
مراحل انتخاب تکنیک برتر با استفاده از روش تصمیم‌گیری سلسله مراتبی به شرح زیر می‌باشد:

- تشکیل سلسله مراتب تصمیم‌گیری و نمایش گرافیکی مسئله
- به دست آوردن ماتریس مقایسات زوجی و انجام قضاوت‌های ترجیحی
- نرمال نمودن ماتریس‌های مقایسات زوجی
- محاسبه وزن نسبی با استفاده از روش تقریبی ستونی
- ادغام نمودن وزن‌های نسبی و محاسبه وزن نهایی (معرفی تکنیک برتر)
- تعیین مقدار ناسازگاری تصمیم‌گیری

در شکل ۳ نمایش گرافیکی سلسله مراتبی انتخاب روش برتر از بین دو روش TRIPOD BETA و FTA آورده شده است.

[Downloaded from tkj.ssu.ac.ir on 2026-10-09]

[DOI: 10.18502/tkj.v12i3.4987]



شکل ۳. نمایش سلسله مراتب تصمیم‌گیری

به‌منظور انجام حل مسئله با استفاده از روش تصمیم‌گیری تحلیل سلسله مراتبی، ابتدا ماتریس مقایسات زوجی تشکیل گردید. جدول ۵ ماتریس مقایسات زوجی تصمیم در تحلیل حادثه اول را نشان می‌دهد. اعداد بر اساس نظرات خبرگان و طی سه مرحله جمع‌آوری اطلاعات پرسشنامه به‌دست‌آمده است. جدول ۶ ماتریس مقایسات زوجی معیارها نسبت به یکدیگر را نشان می‌دهد.

جدول ۵. مقایسات زوجی گزینه‌ها نسبت به معیارها در تحلیل حادثه اول

	قابل‌رؤیت بودن وقایع		توانایی سازی		کمی	دوره‌های آموزشی مورد نیاز		زمان اجرا		سیستماتیک بودن مدل		توصیفی مدل		بودن	واقع‌بینی مدل	
	TRIPOD BETA	FTA	TRIPOD BETA	FTA		TRIPOD BETA	FTA	TRIPOD BETA	FTA	TRIPOD BETA	FTA	TRIPOD BETA	FTA		TRIPOD BETA	FTA
FTA	۴	۱	۰/۲۵	۱		۰/۲	۱	۰/۱۲۵	۱	۰/۱۱	۱	۲	۱		۲	۱
TRIPOD BETA	۱	۰/۲۵	۱	۴		۱	۵	۱	۸	۱	۹	۱	۰/۵		۱	۰/۵

[Downloaded from tkj.ssu.ac.ir on 2026-10-09]

[DOI: 10.18502/tkj.v12i3.4987]

جدول ۶. مقایسات زوجی معیارها نسبت به یکدیگر بر اساس نظرات خبرگان

	معیار اول	معیار دوم	معیار سوم	معیار چهارم	معیار پنجم	معیار ششم	معیار هفتم
معیار اول	۱	۵	۳	۸	۷	۴	۴
معیار دوم	۰/۲	۱	۰/۵	۳	۳	۳	۲
معیار سوم	۰/۳۳	۱	۱	۳	۲	۲	۲
معیار چهارم	۰/۱۲۵	۰/۳۳	۰/۳۳	۲	۲	۰/۵	۰/۵
معیار پنجم	۰/۱۴۳	۰/۳۳	۰/۵	۱	۱	۰/۵	۰/۵
معیار ششم	۰/۲۵	۰/۳۳	۰/۵	۲	۲	۱	۱
معیار هفتم	۰/۲۵	۰/۵	۰/۵	۲	۲	۱	۱

سپس ماتریس‌ها نرمال شده و اوزان نسبی گزینه‌ها نسبت به معیارها و معیارها نسبت به هم در حادثه اول با روش ستونی مطابق جدول ۷ به‌دست‌آمده است.

بدین منظور ابتدا مجموع ستون‌ها را محاسبه و سپس ماتریس سطری به‌دست‌آمده را معکوس نموده و نرمالایز می‌نماییم.

جدول ۷. محاسبه اوزان نسبی گزینه‌ها نسبت به معیارها و معیارها در تحلیل حادثه اول

	معیار اول	معیار دوم	معیار سوم	معیار چهارم	معیار پنجم	معیار ششم	معیار هفتم
FTA	۰/۶۷	۰/۶۷	۰/۱	۰/۱۱	۰/۱۷	۰/۲	۰/۸
TRIPOD BETA	۰/۳۳	۰/۳۳	۰/۹	۰/۸۹	۰/۸۳	۰/۸	۰/۲
معیارها	۰/۴۲	۰/۱۴	۰/۱۴	۰/۰۶	۰/۰۵	۰/۰۸۶	۰/۰۸

وزن هر کدام از روش‌ها در حادثه اول در جدول ۸ بیان‌شده است. وزن هر کدام از روش‌ها از مجموع ضرب وزن معیارهای آنالیز در وزن هر کدام از معیارهای روش‌های دوگانه محاسبه می‌گردد.

جدول ۸. وزن نهایی دو روش تحلیل حادثه در حادثه اول

اولویت دوم	۰/۴۹۵	FTA
اولویت اول	۰/۵۰۴	TRIPOD BETA

مراحل فوق در خصوص حادثه دوم نیز تکرار شده است. در حادثه دوم نیز مطابق جدول ۹ روش TRIPOD BETA به‌عنوان روش برتر نشان داده شده است.

جدول ۹. وزن نهایی دو روش تحلیل حادثه در رویداد دوم

اولویت دوم	۰/۴۲۹	FTA
اولویت اول	۰/۵۷۵	TRIPOD BETA

به‌منظور محاسبه نرخ ناسازگاری از روش گوگوس و بوچر (۱۹۸۵) استفاده شده است.

با توجه به اینکه نرخ ناسازگاری کمتر از ۰/۱ می‌باشد، نتیجه محاسبات منطقی و قابل استناد می‌باشد و می‌توان روش TRIPOD BETA را به‌عنوان گزینه برتر از بین دو تکنیک تحلیل حادثه (FTA و TRIPOD BETA) و دارای اولویت بیشتر، با بهره‌گیری از اطلاعات مربوط به آنالیز هر دو حادثه بیان نمود.

بحث

نتایج نشان داد روش TRIPOD BETA اولویت بیشتری دارد. برتری روش TRIPOD BETA در این تحقیق می‌تواند ناشی از دلایل زیر باشد:

-شناسایی سیستماتیک شکست‌ها و علل بروز رویداد

-بررسی کلیه ابعاد احتمالی حادثه از فاز طراحی تا بهره‌برداری و تعمیر و نگه‌داری

[Downloaded from tkj.ssu.ac.ir on 2026-10-09]

[DOI: 10.18502/tkj.v12i3.4987]

-به‌کارگیری پارامترهای عددی از نظر احتمال وقوع و نیز تعداد حوادث که نتایج آن در به دست آوردن احتمال وقوع حادثه اصلی مؤثر می‌باشد

- شناسایی و محاسبه مقدار ارزش بیشترین واقعه

-شناسایی علل وقوع یک رویداد که می‌تواند مجموعه‌ای که باعث ایجاد یک رویداد ناخواسته شود را شناسایی و حذف نماید.

تکنیک‌های سیستماتیک که باعث تمرکز ذهن کاربر بر روی ویژگی‌های خاص حادثه شده و خط فکری مشخصی در تحلیل یک حادثه ایجاد می‌کند می‌تواند کارآمدتر از دیگر روش‌ها باشد. در این پژوهش نیز TRIPOD BETA بالاتر از روش FTA قرار گرفت که دارای این ویژگی‌ها می‌باشد.

در مطالعات آتی می‌توان از روش‌های دیگر تصمیم‌گیری نظیر تاپسیس در انجام مطالعه و بررسی نتایج این پژوهش استفاده نمود.

همچنین سایر مدل‌های تحلیل حادثه نظیر استخوان ماهی، مورت و ... را می‌توان در فرایند مقایسه وارد و طیف متعددی از روش‌ها را با یکدیگر مقایسه نمود.

نتیجه‌گیری

با توجه به وجود معیارهای بسیار در انتخاب و گزینش تکنیک‌های مناسب تحلیل حادثه، در این مقاله سعی شده است در مرحله اول مهم‌ترین معیارها با مرور تحقیقات پیشین و کسب نظر خبرگان و افراد باتجربه در این زمینه شناسایی شوند. به‌نحوی‌که این معیارها به شکل واقعی در سازمان‌ها و شرکت‌های پیشرو در حوزه HSE مبنای اول و محل چالش باشد. لذا ۷ عامل واقع‌بینی مدل، توصیفی بودن مدل، سیستماتیک بودن مدل، زمان اجرا، دوره‌های آموزشی، توانایی کمی سازی، قابل‌رؤیت بودن وقایع به ترتیب به‌عنوان مهم‌ترین معیارهای اصلی شناسایی و به‌منظور تعیین بهترین مدل آنالیز حادثه مورد استفاده قرار گرفتند. در مرحله بعد با تحلیل دو حادثه به وقوع پیوسته در دو نیروگاه، دو تکنیک TRIPOD BETA و FTA از روش تحلیل سلسله مراتبی مقایسه شدند. روش‌های زیادی به منظور تحلیل حوادث وجود دارد که بایستی بر اساس معیارهای مختلف و با توجه به داده ها، ضعف ها و وقت ها مناسب ترین روش را انتخاب نمود. نتایج نشان داد روش Tripod Beta می تواند به عنوان مدل برتر در تحلیل حوادث بحرانی پروژه های عمرانی عمل نماید. علاوه بر این نتایج این پژوهش بیانگر این موضوع است که روش‌های سیستماتیک و منظم که دارای قاعده مشخص جهت انجام آنالیز هستند و زمان کمتری نسبت به سایر مدلها جهت تحلیل حادثه احتیاج دارند، نیاز به تخصص ویژه ای از سوی آنالیزگر ندارند و می توانند بیشتر از سایر مدلها مد نظر قرار گیرند.

در این مطالعه جهت آنالیز، صرفا از دو حادثه مهم استفاده گردید که در مطالعه آتی می توان از چندین حادثه مهم با اثرات مختلف نظیر برق گرفتگی، برخورد با اشیاء، سقوط بار و ... جهت آنالیز و دسته بندی روش های تحلیل بر اساس آن استفاده نمود.

References:

1. Snashall D**.** ***Occupational health in the construction industry***. Scandinavian Journal of Work Environment and Health. 2005;31:5-10.
2. Hopkins A. ***Lessons from Longford: the Esso's gas plant explosion at longford***. InLessons from Disasters: Seminar Notes 2000(P.17). Institution of Engineers, Australia. P. 257.
3. Cullen LW. ***The Public Inquiry into the Piper Alpha Disaster***. Drilling Contractor ;(United States). 1993; 49(4):4.
4. Vaughan D. ***The Challenger launch decision: Risky technology, culture, and deviance at NASA***. University of Chicago press; 1996.P.334.
5. Alizadeh FA, Taghdisi MH, Mirilavasani MR. ***A study of the logical tree method of MORT and TRIPOD Beta in causal analysis of incident events by combining hierarchical model***. The journal of Health and safety at work. 2014; 4(4):48-39.[Persian]
6. DOE. ***Conducting Accident Investigations***. DOE Workbook. Revision 2. US Department of Energy. Washington DC. USA; 1999.P. 55.
7. Kjellén U. ***Prevention of accidents through experience feedback***. CRC Press; 2000 Jul 20.

[Downloaded from tkj.ssu.ac.ir on 2026-10-09]

[DOI: 10.18502/tkj.v12i3.4987]

8. Benner L. ***Rating accident models and investigation methodologies***. Journal of safety research. 1985;16(3):105-26.
9. Liu R, Cheng W, Yu Y, Xu Q. ***Human factors analysis of major coal mine accidents in China based on the HFACS-CM model and AHP method***. International journal of industrial ergonomics. 2018;68:270-9.
10. Strömgren M, Bergqvist A, Andersson R, Harms-Ringdahl L. ***A process-oriented evaluation of nine accident investigation methods***. Safety Science Monitor. 2015;19(1). Available from: http://urn.kb.se/resolve?urn=urn:nbn:se:kau:diva-27189.
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):1398-1407.
12. 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(1-3):161-6.
13. Nivolianitou ZS, Leopoulos VN, 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.
14. 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):4190-4197.
15. Sklet S. ***Comparison of some selected methods for accident investigation***. Journal of hazardous materials. 2004; 111(1-3):29-37.
16. 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.
17. Ahmadi O, Mortazavi SB, Kavanin AL. ***Selection of the optimal method for analysis of accidents in petroleum industry using fuzzy ANP and TOPSIS multi – criteria decision methods.*** Iran Occupational Health (IOH). 2017; 14(2):117-147. [Persian]
18. Wagenaar WA, Groeneweg J, Hudson PW, Reason JT. ***Promoting safety in the oil industry.*** Ergonomics. 2007; 37:1999-2013.
19. Reason J. ***TRIPOD–A principled basis for accident prevention. Manchester***: University of Manchester. 1988:23.
20. Ferry TS. ***Modern accident investigation and analysis***. John Wiley & Sons.1988 Mar 3.
21. Mohammadfam I, Mansouri N, Nikoomaram H. ***Systemic Accident Analysis Methods: A Comparison of Tripod-β, RCA and ECFC***. Jundishapur J Health Sci. 2014;6(2):327-3. [Persian]

[Downloaded from tkj.ssu.ac.ir on 2026-10-09]

[DOI: 10.18502/tkj.v12i3.4987]

Comparison of error tree analysis and TRIPOD BETA in accident analysis of a power plant industry using hierarchical analysis

Akhavan A[1*], Karimi H[2], Halvani GH [3]

[1] Assistant Professor, Industrial Engineering Department, Science and Arts University, Yazd, Iran
[2] Master of Safety Engineering, Science and arts university, Yazd, Iran
[3] Department of Ergonomics, School of Public Health, Shahid Sadoughi University of Medical Sciences, Yazd, Iran

Abstract

Introduction: Due to the importance and necessity of accident analysis, it is necessary to use the proper technique for precise accident analysis and provide corrective and preventive measures to prevent an accident's recurrence.

Materials and Methods: In this descriptive-analytical paper, the most important criteria for investigating and selecting accident investigation and analysis techniques and selecting the best accident analysis method were identified in critical industrial accidents in the construction phase, were identified and analyzed. In this study, the most important criteria for selecting an accident analysis method were identified using previous research and gathering expert opinions. Then, two critical power plant accidents were analyzed using TRIPOD BETA and FTA accident analysis methods. Then the pairwise comparisons matrix was formed based on the strengths and weaknesses of the models. Finally, the prioritization of these two methods was done using the hierarchical analysis decision-making method.

Results: In this paper, seven key factors, model realism, model descriptive, systematic modeling, run time, required training courses, ability to quantify, and visibility of events, were identified as the most important criteria for selecting an incident analysis method.

Conclusion: The TRIPOD BETA method has been introduced as an optimal method for investigating specific events due to its capabilities.

Keywords: Accident Analysis, Safety, Error Tree Analysis, TRIPOD BETA

This paper should be cited as:
Karimi H, Akhavan A, Halvani GH. ***Comparison of Error Tree Analysis and TRIPOD BETA in Accident Analysis of a Power Plant Industry Using Hierarchical Analysis***. Occupational Medicine Quarterly Journal. 2020:12(1): 53-63.

**** Corresponding Author:***
Email: akhavan@sau.ac.ir
Tel: +989131533187
Received: 14.11.2019 ***Accepted: 29.04.2020***

[Downloaded from tkj.ssu.ac.ir on 2026-10-09]

[DOI: 10.18502/tkj.v12i3.4987]