

## آنالیز حوادث ریلی متروی شهر تهران با ترکیب تکنیک‌های FTA و Tripod-Beta

فریبا رضایی مهنی<sup>۱</sup>، سید محمدرضا میری لواسانی<sup>۲</sup>

۱- کارشناس ارشد مدیریت HSE دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات

۲- دکتری مدیریت ایمنی دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات

### چکیده

با توجه به حساسیت بالایی که نسبت به ایمنی در صنعت ریلی وجود دارد و با در نظر گرفتن گستره وسیع پیامدهای ناگوار و افراد درگیر در زمان وقوع حادثه، نیاز به پایش مستمر عملیات، تقویت در شناسایی، ارزیابی، کاهش و در صورت امکان حذف مخاطرات در این زمینه احساس می‌گردد. در این مقاله روشی جامع جهت شناسایی خطرات و ارزیابی مسیرهای بحرانی و آنالیز موانع موجود در سیستم ریلی ارائه گردیده است که با ترکیب دو روش آنالیز درخت خطا<sup>۱</sup> و تریپود بتا<sup>۲</sup> دلایل وقوع حادثه به شکل موثرتر و عمیق‌تری در لایه‌های سازمانی ردیابی شده است. با ترکیب این دو روش آنالیز ریشه‌یابی عوامل بروز حادثه و دلایل شکست موانع به شکل عمیق و موثر بالا می‌رود. در مقاله حاضر حادثه برخورد دو قطار شهری به عنوان رویداد راس در درخت خطا در نظر گرفته شد و در آن سه عامل "عدم توانایی مرکز فرمان، عدم توانایی ATP<sup>۳</sup> و عدم توانایی چراغ سیگنال" در جلوگیری از برخورد دو قطار به عنوان موانع اصلی (که به دلیل شکست منجر به حادثه گردیده‌اند) مشخص شد. در ادامه رویدادهای پایانی به عنوان ورودی‌های تکنیک تریپود بتا جهت بررسی زنجیره علل حادثه (علت مستقیم، پیش شرایط و علت نهان) در تکمیل درخت خطا به کار گرفته شدند. سپس با توجه به نظرات کارشناسان خبره در این زمینه و استفاده از منطق فازی احتمال وقوع رویداد راس با وزن ۰,۰۰۶ محاسبه و مسیرهای بحرانی شناسایی گردیدند. اهداف اصلی این مقاله شامل بررسی امکان ترکیب دو روش آنالیز درخت خطا و تریپود بتا و رفع معایب آنها از طریق ترکیبشان و نیز بررسی و تحلیل عوامل موثر در برخورد دو قطار متروی شهر تهران می‌باشد.

واژگان کلیدی: آنالیز درخت خطا (FTA)، تریپود بتا (TB)، متروی تهران، سوانح و حوادث ریلی

### ۱- مقدمه

همراه با توان جابجایی بالای مسافر و با سرعت مناسب است. حوادث ریلی حوادثی‌اند که زیاد اتفاق نمی‌افتند در صورت وقوع، افراد زیادی کشته و یا به شدت زخمی می‌شوند [۴]. جهت نیل به این امر سیستم‌های کنترل ترافیک و سیگنالی‌نگ در شبکه حمل و نقل ریلی بالاخص مترو به شدت پیشرفت نموده است. امروزه قطارهای مترو جهت ایمنی قطار بیشتر مجهز به سیستم محافظ اتوماتیک قطار می‌باشند. این سیستم با استفاده از اطلاعاتی که در طول مسیر از طریق ریل‌های به آن ارسال می‌شود، قادر است قطار را به طور ایمن در مسیر

با پیشرفت صنعت و تکنولوژی، زندگی انسان‌ها نیز تحت تاثیر آن قرار گرفته و با مسائل و مشکلات عدیده و پیچیده‌ای روبه‌رو شده است که وقوع آنها کیفیت زندگی و کار انسان را تحت تاثیر قرار داده و آثار زیان‌بار و هزینه‌های گزافی بوجود می‌آورند [۱،۲]. در سال‌های اخیر، جابجایی حجم زیادی از مسافری درون‌شهری و افزایش بی‌سابقه ترافیک و همچنین سرعت جابجایی مسافر با مترو، منجر به گسترش صنعت مترو شده است [۳] یکی از مهمترین فاکتورها در خطوط مترو ایمنی بالا

1 Fault Tree Analysis (FTA)

2 Tripod- Beta (TB)

3 Automatic Train Protection

### ۳- فرضیات پژوهش

فرضیات مدنظر در این نگارش بدین شرح است:

الف- به نظر می‌رسد امکان ترکیب دو روش آنالیز درخت خطا و تریپود بتا به منظور شناسایی و ارزیابی جامع‌تر علل بروز حادثه برخورد دو قطار متروی شهر تهران وجود دارد.

ب- به نظر می‌رسد خطاهای انسانی موثرترین عامل حادثه برخورد دو قطار متروی شرح تهران می‌باشد.

### ۳- مبانی نظری پژوهش

حادثه به عنوان یکی از عوامل تباه‌کننده پتانسیل‌های بالقوه موجود در صنایع، مطرح بوده و علیرغم تلاش‌های گوناگونی که برای پیشگیری از وقوع آن صورت گرفته هنوز سیستم منسجمی جهت ریشه‌یابی حوادث وجود ندارد. نکته قابل توجهی که در بررسی سوابق حوادث گذشته مشخص گردیده، تکرار حوادث مشابه در یک واحد و در یک دوره زمانی بسیار کوتاه می‌باشد [۹]. عوامل انسانی و محیطی از مهم‌ترین عوامل تاثیرگذار در بروز حوادث می‌باشد. عامل انسانی شامل علل جسمانی و روانی و همچنین علل فرهنگی و اجتماعی می‌باشد. از عوامل موثر محیطی می‌توان به زمینه‌های فیزیکی، زمینه‌های شیمیایی [۱۰]، زمینه‌های بیولوژیکی و ارگونومیکی [۱۱] ذکر کرد. از دیگر عواملی که می‌تواند در بروز حادثه تاثیرگذار باشد عواملی همچون نقص فنی و معایب ماشین‌آلات و ساختار مدیریتی و مدیریت حاکم بر آن‌ها مورد نظر می‌باشد [۷].

طی سالیان متمادی مدل‌ها و نظریات مختلفی در مورد حادثه و رویداد ارائه شده است که هر کدام بیانگر دیدگاه‌ها و بینش‌های متفاوت و متعددی در زمینه علل و عوامل بروز حوادث و عملکردهای پیشگیری‌کننده از آن است [۱۲]. در جدول شماره ۱ تعدادی از نظریاتی که به بحث حوادث پرداخته‌اند؛ مشاهده می‌گردد.

علاوه بر موارد فوق، نظریات و مدل‌های متعدد دیگری به منظور ریشه‌یابی علل بروز حوادث مطرح می‌باشد که از میان آنها می‌توان به TB و FTA اشاره داشت. در این مقاله از ترکیب این دو روش استفاده شده است. نظریه TB بر مبنای این فرضیه استوار است که همیشه هر حادثه، توالی یک سری رویداد است که چندین علت دارد. نقص‌های سطحی نظیر اعمال نایمن، جداگانه اتفاق نمی‌افتد بلکه متاثر از یک سری عوامل خارجی (پیش‌شرایط) هستند که این عوامل خود از یک سری

هدایت کند. شرکت راه‌آهن شهری تهران و حومه نیز از این تکنولوژی برای ارتقای سطح ایمنی سفر استفاده کرده است. با وجود رعایت همه‌ی این موارد ایمنی، اما عواملی همچون عوامل انسانی شامل "علل جسمانی و روانی" [۵]، عوامل محیطی [۶] و عواملی همچون نقص فنی و معایب ماشین‌آلات و ساختار مدیریتی و مدیریت حاکم بر آن‌ها [۷] باعث ایجاد حوادث مخرب و مرگ‌بار در خطوط ریلی و مترو می‌گردد.

در تاریخ ۱۳۹۱/۰۶/۳۰ دو قطار درون شهری متروی تهران در خارج از ایستگاه شهری بهم برخورد نموده‌اند که در اثر این حادثه ۳ نفر مجروح گشته‌اند (۱ راهبر و ۲ پاکبان). قطاری که از ایستگاه تجریش مسافرگیری کرده و به سمت شهری در حرکت بوده زمان ورود به ایستگاه حقانی دچار مشکل شده و سیستم ATP آن از کار می‌افتد. به علت قطع برق در محدوده پارکینگ و زمان پیک مسافری قطار پس از پیاده نمودن مسافری مجبور به ادامه حرکت شده و در ایستگاه شهری جهت انتقال به پارکینگ، راهبر قطار تعویض می‌شود. راهبر جدید زمانی که وارد کابین می‌شود بدون توجه به اینکه ATP قطار خراب است و نیز خارج از ایستگاه، قطار منتظر ریورس خط جهت شانت کردن است دسته ناچ را روی فوروارد ۳ قرار داده و شروع به حرکت می‌نماید و ۱۲ ثانیه بعد حادثه رخ می‌دهد [۸].

با توجه به اینکه در زمان وقوع این حادثه مسافری در قطار نبوده، این حادثه قربانی یا مجروح زیادی نداشته است و واضح است در صورت حضور مسافری در قطار پیامدها و خسارات فاجعه آمیزی را به همراه داشت. بنابراین به منظور جلوگیری از بروز حوادث مشابه و همچنین شناسایی ریسک فاکتورهای اصلی حادثه فوق، در پژوهش حاضر با استفاده از دو روش آنالیز درخت خطا و تریپود بتا به بررسی و تجزیه و تحلیل ریشه‌ای این حادثه پرداخته می‌شود.

### ۲- اهداف پژوهش

مهم‌ترین اهداف نوشتار حاضر شامل موارد زیر می‌باشد:

- شناسایی عوامل موثر در برخورد دو قطار متروی تهران و ارائه راهکارهایی به منظور کاهش حوادث ریلی.
- بررسی امکان ترکیب دو روش آنالیز درخت خطا و تریپود بتا به منظور بهبود روش شناسایی و ریشه‌یابی علل بروز حادثه و تحلیل و ارزیابی آن.

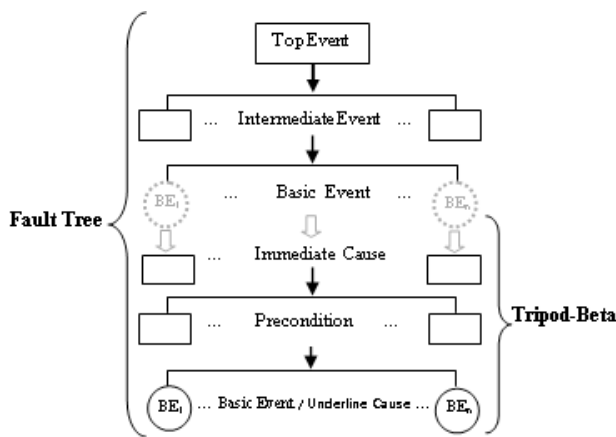
جدول ۱ خلاصه‌ای از نظریات مرتبط با حادثه

عنوان نظریه	توضیحات
نظریه‌ی تک علتی	در این نظریه حادثه از یک علت ساده که سریعاً قابل شناسایی است و معمولاً رخ می‌دهد منتج شده و در نهایت پیامدهایی نظیر زیان، آسیب و بیماری را متوجه ما می‌سازد.
نظریه دومینو	این نظریه توسط واکر هاینریش مطرح شده و براساس آن ۸۸ درصد حوادث به علت اعمال ناپایمن، ۱۰ درصد ناشی از شرایط ناپایمن و ۲ درصد از حوادث به دلایل نامعلوم رخ می‌دهد.
نظریه فاکتورهای انسانی	فاکتورهای موثر و تاثیرگذار خطای انسانی از دید این نظریه شامل ۱- بار اضافی (عدم تعادل میان ظرفیت‌های فرد در هر زمان و بار کاری که فرد در یک حالت خاص متحمل آن می‌شود)، ۲- واکنش یا پاسخ نامناسب انسان یا کاربر، ۳- فعالیت‌های نامناسب کاربر می‌باشد.
نظریه سیستم‌ها	بر اساس این نظریه و نگرش حاکم بر آن، به منظور پیشگیری از بروز حوادث، تمهیدات و اقدامات پیشگیرانه‌ای در قالب مدل نظریه سیستم‌ها ارائه شده است.
مدل علل سه‌گانه وقوع حوادث	عده‌ای از متخصصان ایمنی پس از بررسی‌ها و مطالعات دقیق و فراوان و بر اساس نظریه‌های مختلف، علل بروز حوادث را در قالب مدل علل سه‌گانه وقوع حوادث و در سه سطح کلی معرفی کردند. این سه سطح عبارتند از: ۱- سطح علل پایه‌ای / اولیه ۲- سطح علل مستقیم ۳- سطح علل غیرمستقیم
مدل خطرپذیری-تصمیم‌گیری فیرنز	به نظر فیرنز، برای کاستن از خطرات نیاز به تصمیم‌گیری صحیح بوده و برای اتخاذ تصمیمات درست و قاطع نیز به اطلاعات معتبر نیازمندیم. هر چه اطلاعات ما معتبرتر و دقیق‌تر باشد، تصمیمات ما از صحت و دقت بیشتری برخوردار بوده و میزان خط را بهتر می‌توانیم برآورد نماییم.
مدل پاپیون	در مدل پاپیون خطرات در شرایطی که بتوانند توان آسیب‌زدن را پیدا نمایند، می‌توانند سبب بروز اتفاقی ناخوشایند شده و در پیامد خود می‌توانند سبب جراحت به انسان و یا آسیب به ماشین، فرایند و غیره گردند.
مدل درخت واقعه	امتیاز اصلی این مدل، توانایی بالای آن در استفاده از استدلال‌های احتمالی در برآورد احتمال بروز حادثه است.

منبع: برگرفته از [۱، ۹، ۱۳، ۱۴، ۱۵، ۱۶، ۱۷]

جدول ۲ دسته‌بندی عوامل ریسک اصلی (BRFs) پیش‌شرط‌ها و علت‌های پنهان آنها [۱۹]

BRFs	عوامل ریسک اصلی	
1. (HW)	Hardware	سخت‌افزار (تاسیسات، تجهیزات، ابزار)
2. (DE)	Design	طراحی
3. (MM)	Maintenance Management	مدیریت تعمیر و نگهداری
4. (PR)	Procedures	روش‌های اجرایی
5. (EC)	Error Enforcing Conditions	شرایط تحمیلی نامناسب
6. (HK)	House Keeping	نظم و نظافت در محیط کار
7. (IG)	Incompatible Goals	اهداف ناسازگار
8. (CO)	Communication	ارتباطات
9. (OR)	Organization	سازمان
10. (TR)	Training	آموزش
11. (DF)	Defenses	روش‌ها و تجهیزات دفاعی



شکل ۱ طرح شماتیکی ترکیب دو روش FTA و TB

از آنجایی که روش ارزیابی درخت خطا مدلی منطقی از مسیر علت‌های اصلی و رویدادهای منتهی به رویداد راس را در شمای گرافیکی ترسیم می‌کند و TB که از مدل‌های کیفی بررسی حوادث است در ساختاری منظم و هدف‌دار برای موانعی که به هر نحوی دچار نقص شده از علل مستقیم، پیش‌شرط‌ها و علل نهان به کمک ۱۱ شاخص، عوامل ریسک اصلی را شناسایی می‌کند؛ می‌توان انتظار داشت ترکیب استفاده از این دو روش جهت بررسی و آنالیز حوادث سبب یافتن به نتایج مطلوبی (جدول شماره ۳) شده است.

مطابق با یافته‌ها و دلایل ذکر شده روش انجام تحقیق در ۶ مرحله پیاده‌سازی شده است

#### ۵- توصیف نمونه مورد مطالعه

قطار ۱۰۴ در اولین اعزام مورخه ۱۳۹۱/۰۶/۳۰ برای اعزام ۱۷:۱۹ شهری در نظر گرفته و پس از انجام مسیرسازی در ساعت ۱۷:۰۹ از پایانه عازم خط اصلی شده و در ساعت ۱۷:۲۲ وارد سکوی شهری و پس از مسافرگیری در ساعت ۱۷:۳۳

جدول ۳ ویژگی‌های تکنیک‌های FTA و TB

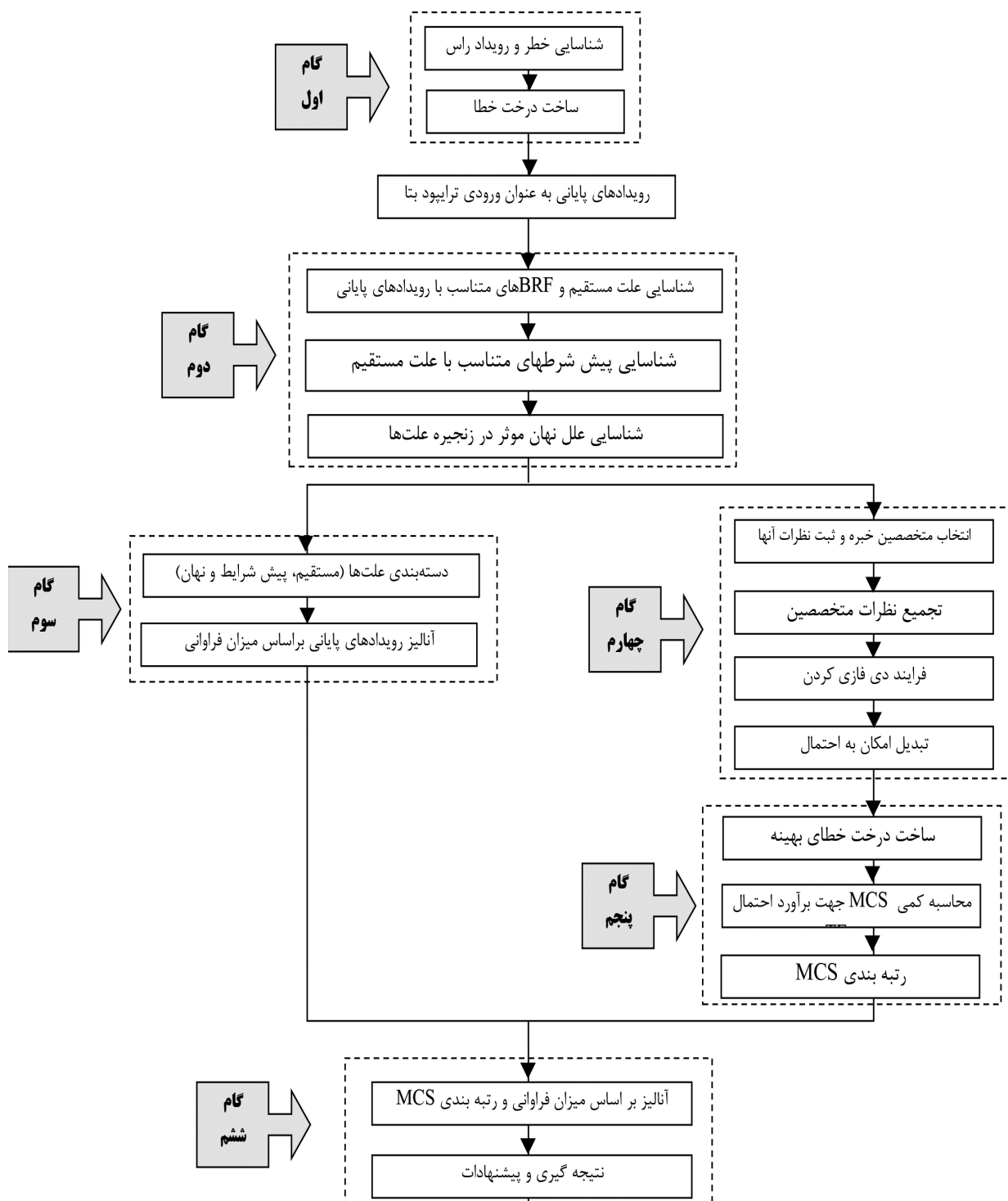
ویژگی‌های روش ترکیبی	ویژگی‌های تحلیل درخت خطا	ویژگی‌های TB
روش کمی- کیفی	روش کمی- کیفی	روش کیفی
روش تحلیل منطقی و قیاسی در قالب نظامند و هدف‌دار	روش منطقی و قیاسی	قالب نظام‌مند و دسته‌بندی شده
توجه به عوامل انسانی	نادیده‌گرفتن فاکتورهای انسانی	در نظر گرفتن فاکتورهای انسانی
ریشه‌یابی علل بروز حوادث با جزئیات تا عمق لایه‌های سازمانی	ریشه‌یابی علل بروز حوادث با جزئیات و شناسایی علل مستقیم	ریشه‌یابی تا عمق لایه‌ها سازمانی (بررسی زنجیره علل مستقیم، پیش‌شرایط، علل نهان)

نقص‌های نهان ناشی از تصمیمات یا رفتارهایی است که توسط طراحان، برنامه‌ریزان یا مدیران صورت می‌گیرد [۱۸]. در روش TB، کلیه نقص‌های نهان به ۱۱ نوع خطا تقسیم‌بندی می‌شود که هر دسته از آنها سطح متمایزی از فعالیت‌های مدیریت را نشان می‌دهد (جدول شماره ۲).

از سوی دیگر تکنیک تحلیل درخت خطا تکنیکی است که از آن می‌توان برای شناسایی آن دسته از عواملی که در وقوع یک رویداد مطلوب و یا نامطلوب نقش داشته‌اند، استفاده کرد. این تکنیک برای تجزیه و تحلیل رویدادها، متکی بر یک روش قیاسی است. بدین شکل که تجزیه و تحلیل را از یک رویداد اصلی (کل) شروع کرده و سعی می‌کند که علل بوجود آورنده آن را در قالب رویدادهای میانی و پایانی (جزء) شناسایی و تعیین نماید. یکی از توانمندی‌های این تکنیک که باعث شده، استفاده از آن شکل گسترده‌تری بخود گیرد، توانایی آن در تمیز دادن رویدادهایی که وقوع همه آنها برای رویداد فوقانی خود موثر است، می‌باشد. با استفاده از این تکنیک علاوه بر اینکه امکان تجزیه و تحلیل کیفی وجود دارد می‌توان در صورت وجود داده‌های کمی برای رویدادهای پایانی، تجزیه و تحلیل را کمی کرده و احتمال وقوع رویداد اصلی را نیز تعیین کرد.

#### ۴- روش مورد استفاده در پژوهش

در این پژوهش سعی شده است با استفاده از ترکیب دو روش FTA و TB حادثه موردنظر را از زوایای مختلف و با دید گسترده‌تری مورد بررسی قرار داد و ضمن پرداختن به جزئیات، ریشه‌های حادثه را در عمق لایه‌های سازمانی مطابق با دسته‌بندی‌های منظم و سیستماتیک ردیابی کرد. در شکل شماره ۱ طرح شماتیکی از ترکیب دو روش فوق‌ارائه گردیده است.



شکل ۲ روش بررسی حادثه مورد مطالعه

تخلیه مسافر در ساعت ۱۸:۴۸ با هماهنگی مرکز فرمان و بدون مسافر به سمت شهری حرکت می‌کند و در ساعت ۱۹:۳۳ بعد از تعویض راهبر در ساعت ۱۹:۳۴:۵۰ ایستگاه را به مقصد پایانه فتح‌آباد ترک می‌کند و با قطار ۱۳۴ که در موقعیت شانت منتظر مسیرگیری جهت ورود به سکوی شرقی به مدت کمتر از ۴ دقیقه متوقف بوده است، برخورد و متوقف می‌شود [۸].

توسط دو نفر راهبر ایستگاه را به سمت تجریش ترک کرده و در ساعت ۱۸:۱۴ در ایستگاه تجریش بدون هیچ مشکلی دریافت می‌شود. بعد از تعویض راهبر و انجام عملیات تعویض کابین با مشکل ATP با کد B۳۶۴ مواجه می‌شود و با مجوز مرکز فرمان تا ایستگاه شهید حقانی با ATP خاموش حرکت می‌کند و در ساعت ۱۸:۴۵ بمدت ۳ دقیقه در محل مذکور متوقف و پس از

## ۶- تجزیه و تحلیل حادثه

### الف- تحلیل حادثه با تکنیک FTA

مناسب بتوانند راهبر قطار را با تعاملات لازم هدایت کند و در صورتیکه در این امر اختلالی بوجود آید امکان بروز حادثه بالا می‌رود (شکل شماره ۵).

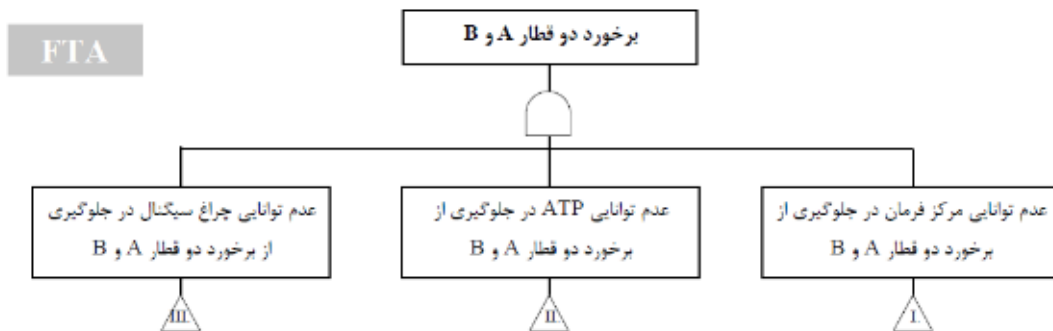
۳. مانع معیوب سوم: سیستم سیگنالینگ و چراغ سیگنال‌ها نیز موانعی هستند که بعد از دو مانع نامبرده فوق در هدایت و جلوگیری از اشتباه راهبر موثر بوده و چنانچه عملکرد مورد انتظار را به هر دلیلی نداشته باشد زمینه ساز رخداد حوادث است (شکل شماره ۶)

زمانی که هر سه مانع نامبرده عملکرد مناسب خود را نداشته و با شکست مواجه شوند حادثه راس رخ می‌دهد با این تفاوت که سیستم ATP به عنوان مانع اول از دیگر موانع نامبرده شده مهم‌تر و حیاتی‌تر است چرا که با شکست سیستم ATP احتمال شکست دیگر موانع نیز به شکل چشمگیری افزایش می‌یابد.

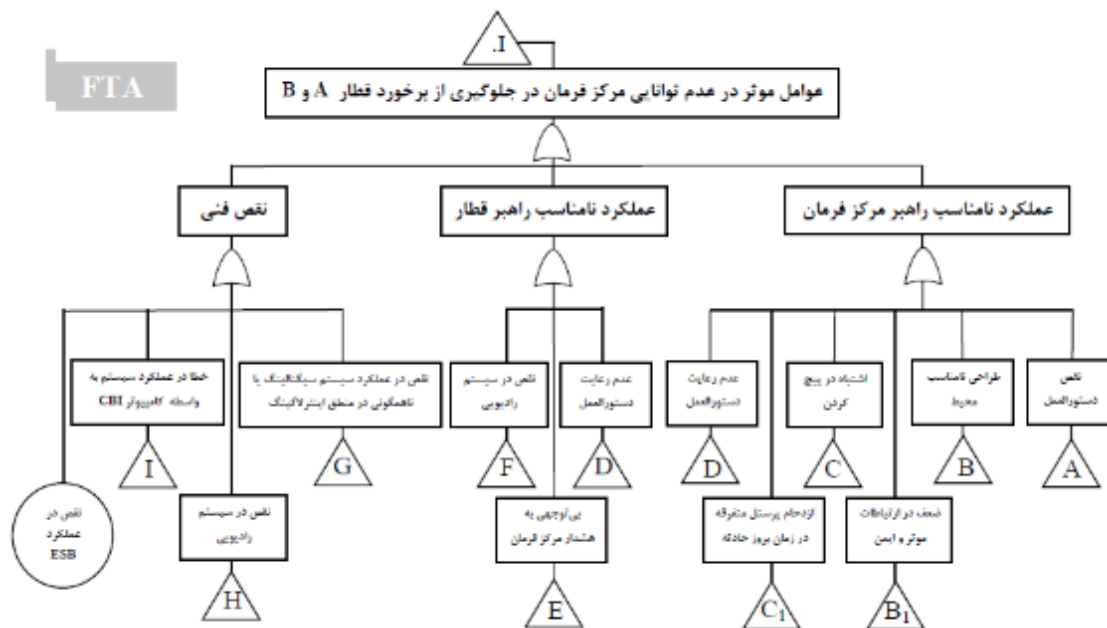
رویداد راس که ترک قطار A از ایستگاه شهرری و برخورد با قطار B متوقف در خارج از ایستگاه و در موقعیت شانت می‌باشد توسط سه مانع معیوب به شرح زیر پیگیری و بررسی می‌شود (شکل شماره ۳):

۱. مانع معیوب اول: این مانع که کلیدی‌ترین و اصلی‌ترین مانع در جلوگیری از برخورد دو قطار است سیستم ATP می‌باشد که در زمان بروز حادثه بدلیل نقص فنی خاموش بوده و کارایی موردنظر را نداشته است (شکل شماره ۴).

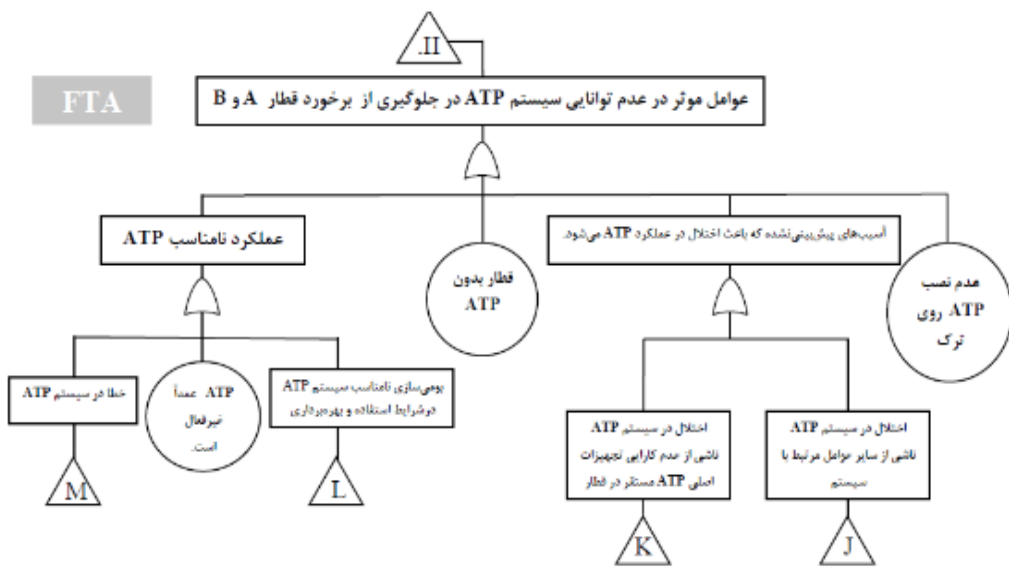
۲. مانع معیوب دوم: عملکرد پرسنل مرکز فرمان مانعی است که در زمانیکه سیستم ATP غیرفعال است از اهمیت ویژه‌ای برخوردار می‌باشد و نیاز است که به شکل موثر و



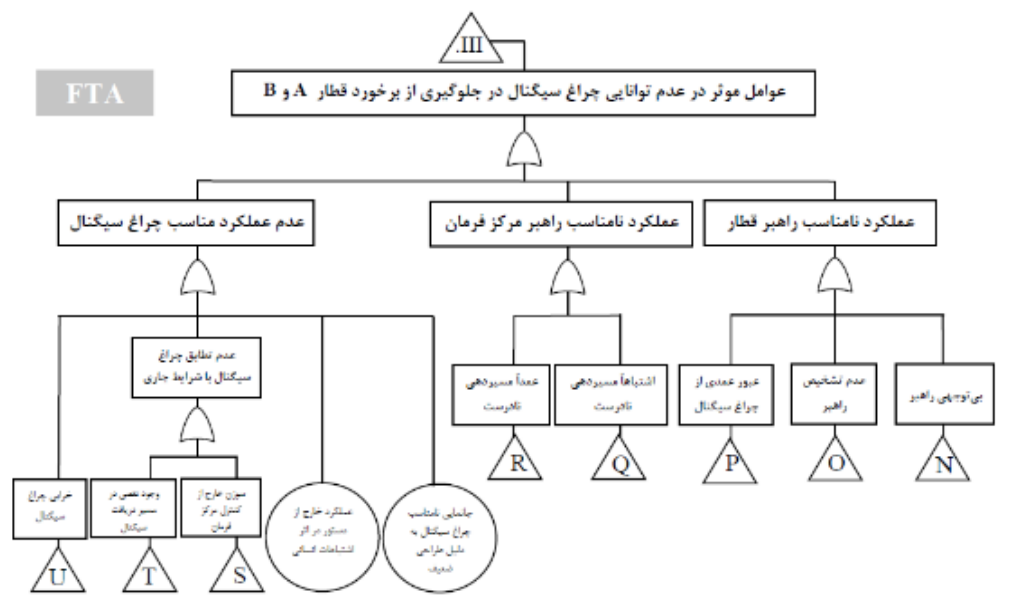
شکل ۳ موانع عیوب حادثه قطار



شکل ۴ عوامل موثر در عدم توانایی مرکز فرمان (مانع معیوب ۱)



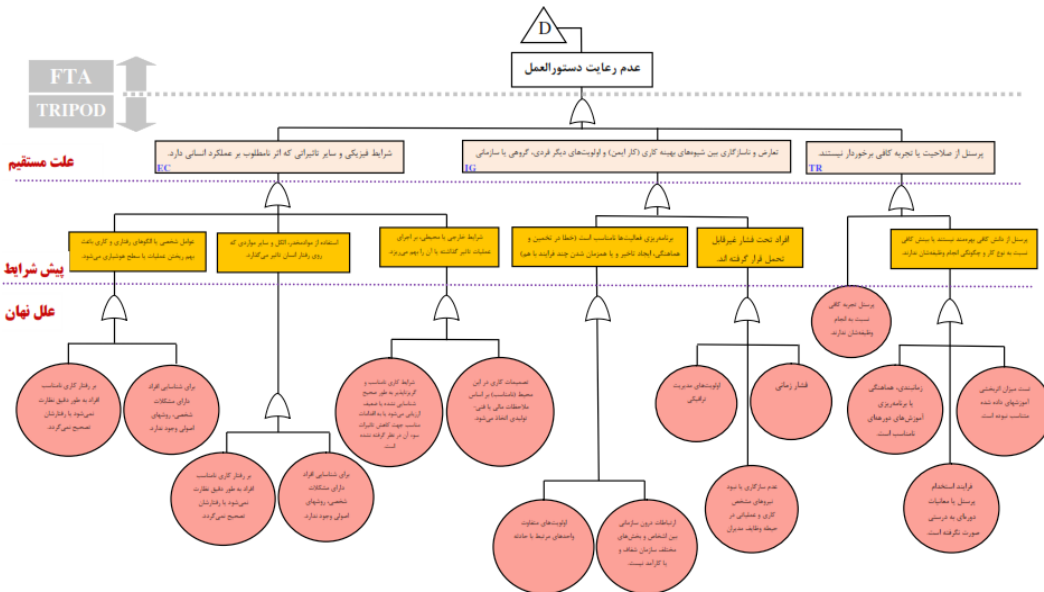
شکل ۵ عوامل موثر در عدم توانایی سیستم ATP (مانع معیوب ۲)



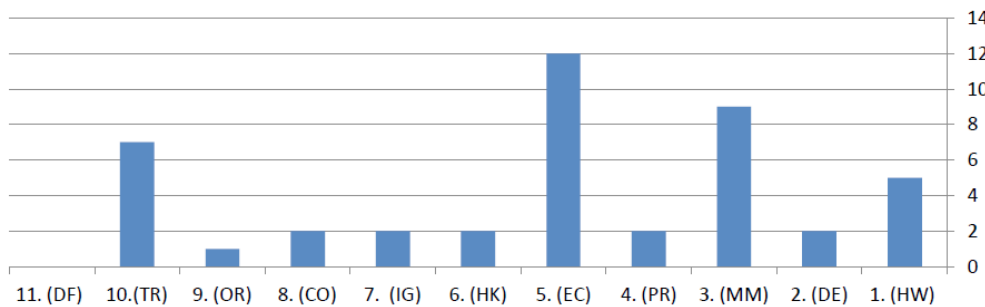
شکل ۶ عوامل موثر در عدم توانایی چراغ سیگنال (مانع معیوب ۳)

- ۱- پرسنل از تجربه و یا صلاحیت کافی نسبت به انجام وظیفه‌شان ندارند؛
- ۲- تعارض و ناسازگاری بین شیوه‌های بهینه کاری (کار ایمن) و اولویت‌های دیگر فردی، گروهی یا سازمانی؛
- ۳- شرایط فیزیکی و سایر تاثیراتی که اثر نامطلوب بر عملکرد انسانی دارد.

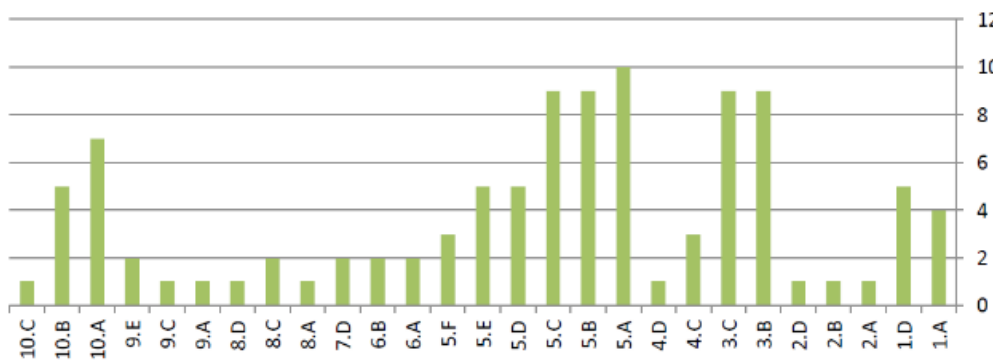
در شکل شماره ۷ نمونه‌ای از برش کامل بروز حادثه برخورد دو قطار ارائه شده است. این شکل مربوط به عدم رعایت دستورالعمل در درختواره عوامل موثر در عدم توانایی مرکز فرمان در جلوگیری از برخورد دو قطار می‌باشد. از مهم‌ترین عوامل تاثیرگذار در عدم رعایت دستورالعمل از سوی مرکز فرمان می‌توان موارد زیر را نام برد:



شکل ۷ برشی از درخت کامل بروز حادثه برخورد دو قطار



شکل ۸ فراوانی علل مستقیم حادثه برخورد دو قطار



شکل ۹ فراوانی پیش شرایط حادثه برخورد دو قطار

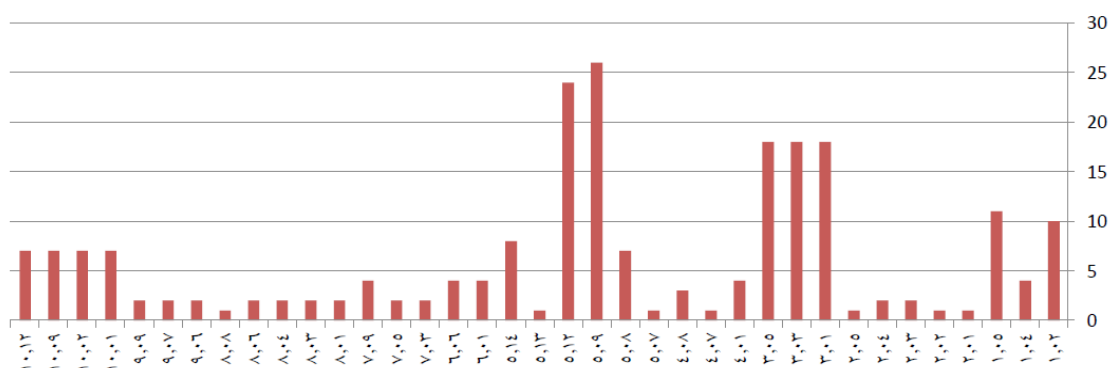
با ۹ بار تکرار حائز بیشترین فراوانی می باشند (شکل شماره ۸).

بیشترین میزان فراوانی پیش شرایط مربوط به BRF های دسته بندی شده در بالا طبق درختواره ترسیم شده از حادثه شامل عامل ۵.A با ۱۰ مرتبه تکرار و عامل های ۵.C، ۵.B، ۳.C، ۳.B با ۹ بار تکرار می باشد که در شکل شماره ۹ و جدول شماره ۴ آورده شده است:

ب- تحلیل درختواره براساس تکنیک TB

براساس آنالیز درخت خطای حادثه برخورد دو قطار ۱۰۴ و ۱۳۴ متروی تهران، فراوانی BRF های بدست آمده در نمودار زیر نشان داده شده است که عامل "شرایط احتمالی نامناسب" با ۱۲ بار تکرار و سپس عامل "مدیریت تعمیر و نگهداری" ۲

- 1 Error-enforcing Condition
- 2 Maintenance Management



شکل ۱۰ فراوانی علل نهان حادثه برخورد دو قطار

ATP عمدا غیرفعال شده است؛ می‌باشد. در جدول زیر نحوه امتیازدهی نهایی به رویداد "ATP" عمدا غیرفعال شده است" براساس نظرات متخصصین به صورت نمونه آورده شده است.

#### د- ساخت درخت خطای بهینه

جهت دستیابی به درخت خطای بهینه بر اساس روش تحلیل درخت خطا و روابط حاکم، ابتدا اقدام به ساده‌سازی درخت اولیه نموده که به دلیل فراوانی تعداد رویدادهای پایانی<sup>۳</sup> و به تبع آن به دلیل بالا بودن تعداد مینی‌مال کاتست‌ها<sup>۴</sup> تولیدی از نرم‌افزار Matlabs و محیط Excel استفاده گردیده است. نتایج نهایی به دست آمده حاکی از ۱۳۴۰ تعداد مینی‌مال کاتست‌ها در درخت خطای بهینه می‌باشد. در ادامه با توجه به عددهای احتمالی که از منطق فازی به دست آمد و با توجه به فرمول‌های حاکم بر روابط تحلیل درخت خطا محاسبات کمی در این خصوص انجام شد که نهایتاً مشخص گردید که عامل "بر رفتار کاری نامناسب افراد به طور دقیق نظارت نمی‌شود یا رفتارشان تصحیح نمی‌گردد." به عنوان بحرانی‌ترین مینی‌مال کاتست در حادثه برخورد دو قطار بوده است و ضمناً عدد رویداد راس<sup>۵</sup> معادل ۰,۰۰۶ مقدار محاسبه گردیده است. در تفسیر این مقدار این گونه می‌توان بیان نمود که به ازای هر ۱۰۰۰ مورد شرایط یکسان جهت رخداد حادثه احتمال وقوع ۶ مورد آن وجود دارد.

#### ۷- نتیجه‌گیری و ارائه پیشنهادات

با توجه به اهمیت رخداد‌های حوادث ریلی و پیامدهای ناشی از آن، بر اساس مطالعات انجام گرفته در این زمینه جهت بررسی

۵.A: شرایط خارجی یا محیطی، بر اجرای عملیات تاثیر گذاشته یا آن را بهم می‌ریزد؛

۳.B: ابزار یا تجهیزات معیوب بودند و یا درست عمل نمی‌کردند؛

۳.C: تعویض و جابجایی موقتی که بجای تعمیرات مناسب و صحیح مورد استفاده قرار گرفته است؛

۵.B: عوامل شخصی با الگوهای رفتاری و کاری باعث بهم‌ریختن عملیات یا سطح هوشیاری می‌شود؛

۵.C: استفاده از مواد مخدر، الکل و سایر موادی که روی رفتار انسان تاثیر می‌گذارد.

در نهایت پس از تحلیل علل مستقیم و پیش‌شرایط موثر در حادثه، میزان فراوانی علت‌های نهان مرتبط مورد بررسی قرار گرفت که براین اساس بیشترین میزان فراوانی با ۲۶ بار تکرار مربوط به عامل<sup>۱</sup> ۵,۰۹۱ می‌باشد. پس از آن عامل<sup>۲</sup> ۵,۱۲۲ با ۲۴ مرتبه تکرار از دیگر علت‌های نهان موثر در حادثه است (شکل شماره ۱۰)

#### ج- تحلیل حادثه با استفاده از نظرات کارشناسان با روش منطق فازی

براساس Scale<sup>۶</sup> منطق فازی به منظور تحلیل حادثه برخورد دو قطار شهری، در این مقاله از نظرات کارشناسان سه متخصص در زمینه حمل و نقل ریلی و مولفه‌های ایمنی که از آگاهی، شناخت و دانش کافی نسبت به حادثه موردنظر برخوردار بوده‌اند، استفاده گردید.

براساس نظر متخصصین منتخب؛ اولین آیتم مربوط به

۱ برای شناسایی افراد دارای مشکلات شخصی، روش‌های اصولی وجود ندارد.

۲ بر رفتار کاری نامناسب افراد به‌طور دقیق نظارت نمی‌شود یا رفتارشان تصحیح نمی‌گردد (عدم آموزش تحویل کار به دیگری، عدم توجه به عوامل انگیزشی و ترس از شکست، نبود روش برخورد با فرهنگ قلدرمانه).

3 Basic events

4 Minimal cutsets

5 Top event

جدول ۴ طبقه‌بندی امتیازات انتخاب متخصصین

Constitution	Classification	Score	Constitution	Classification	Score
Education Level	PhD	۵	Professional Position	Senior academic	۵
	Master	۴		Junior academic	۴
	Bachelor	۳		Engineer	۳
	HND	۲		Technician	۲
	School level	۱		Worker	۱
Age	≥۵۰ years	۴	Service Time	≥۳۰ years	۵
	۴۰-۴۹	۳		۲۰-۲۹	۴
	۳۰-۳۹	۲		۱۰-۱۹	۳
	≤۹۲	۱		۶-۹	۲
			≤۵	۱	

جدول ۵ امتیازات نهایی متخصصین منتخب

Expert	Occupation	Educational Time	Experience Time	Age	Weight Factor	Weighting Score
E۱	Senior Academia=۵	MSc=۴	۱۰-۱۹=۳	۳۰-۳۹=۲	۱۴	۰.۳۸
E۲	Senior Academia=۵	BSc=۴	۱۰-۱۹=۳	۳۰-۳۹=۲	۱۳	۰.۳۵
E۳	Engineer=۳	MSc=۴	≤۵=۱	۳۰-۳۹=۲	۱۰	۰.۲۷

جدول ۶ امتیاز نهایی رویداد «ATP عمدا غیرفعال شده است» براساس نظرات متخصصین

Expert۱ (E۱)	۰	۰.۱	۰.۱	۰.۲
Expert۲ (E۲)	۰.۱	۰.۲۵	۰.۲۵	۰.۴
Expert۳ (E۳)	۰	۰.۱	۰.۱	۰.۲
S (E۱ & ۲)	۰.۸۵	AA (E۱)		۰.۹۲۵
S (E۱ & ۳)	۱	AA (E۲)		۰.۸۵
S (E۲ & ۳)	۰.۸۵	(AA (E۳)		۰.۹۲۵
RA (E۱)	۰.۳۴۳	CC (E۱)		۰.۳۶۱
RA (E۲)	۰.۳۱۵	CC (E۲)		۰.۳۳۲
(RA (E۳	۰.۳۴۳	(CC (E۳		۰.۳۰۶
(Weight of expert (E۱)	۰.۳۸			
(Weight of expert (E۲)	۰.۳۵			
(Weight of expert (E۳)	۰.۲۷			
Aggregation for BE۱	۰.۰۳۳	۰.۱۵۰	۰.۱۵۰	۰.۲۶۶

جدول ۷ نتایج نهایی حاصل از پیاده‌سازی دو روش TB و FTA

احتمال	بحرانی‌ترین مسیرهای ایجاد رویداد راس براساس تکنیک FTA	فراوانی	پرتکرارترین رویدادهای پایانی براساس تکنیک TB
۰,۰۹۷۹	۱- بر رفتار کاری نامناسب افراد به طور دقیق نظارت نمی‌شود یا رفتارشان تصحیح نمی‌گردد.	۲۶	۱- برای شناسایی افراد دارای مشکلات شخصی روش‌های اصولی وجود ندارد.
۰,۰۶۰۶	۲- شرایط کاری نامناسب و گریزناپذیر به طور صحیح شناسایی نشده یا ضعیف ارزیابی می‌شوند.	۲۴	۲- بر رفتار کاری نامناسب افراد به طور دقیق نظارت نمی‌شود یا رفتارشان تصحیح نمی‌گردد.
۰,۰۵۷۲	۳- برای شناسایی افراد دارای مشکلات شخصی روش‌های اصولی وجود ندارد.	۱۸	۳- برنامه‌ریزی، کنترل، اجرا یا ثبت نامناسب تعمیر و نگهداری تجهیزات.
۰,۰۵۶۱	۴- برنامه‌ریزی، کنترل، اجرا یا ثبت نامناسب تعمیر و نگهداری تجهیزات.	۱۸	۴- محدودیت‌های مالی و زمانی مانع تعمیر و نگهداری مناسب.
۰,۰۲۵۴	۵- فرایند استخدام یا معاینات دوره‌ای به درستی صورت نگرفته است.	۱۸	۵- نامناسب بودن استراتژی تعمیر و نگهداری.

"شرایط خارجی یا محیطی بر اجرای عملیات تاثیر گذاشته و یا آن را به هم می‌ریزد." و "علت نهان برای شناسایی افراد دارای مشکلات شخصی روش‌های اصولی وجود ندارد و بر رفتار کاری نامناسب افراد به طور دقیق نظارت نمی‌شود" بوده است.

در ادامه جهت کمی‌سازی درخت خطا و یافتن بحرانی‌ترین مسیر سازنده رویداد راس و احتمال وقوع آن از scale<sup>۶</sup> منطق فازی استفاده گردید که در این خصوص از نظرات سه متخصص خبره بهره برده و با به کارگیری روابط مربوطه عدد احتمال هر یک از رویدادهای پایانی به دست آمد.

پس از ساخت درخت خطای بهینه و جایگذاری اعداد احتمال بحرانی مسیر سازنده رویداد راس با عدد احتمال ۰,۰۹۷۹ مربوط به "بر رفتار کاری نامناسب افراد به طور دقیق نظارت نمی‌شود یا رفتارشان تصحیح نمی‌گردد" بوده و احتمال وقوع رویداد راس برابر ۰,۰۰۶ به دست آمده است که بر این اساس و طبق نتایج به دست آمده از میزان فراوانی رویدادها متوجه آن می‌شویم که از هر دو روش بیشترین تکرارها و بحرانی‌ترین مسیرها دارای همپوشانی زیادی هستند که دقت نتیجه‌گیری را افزایش داده و انتظار توجهات بیشتر از سوی مسئولان صنعت مورد بحث می‌رود. این موارد به شرح جدول شماره ۸ می‌باشد.

با توجه به بررسی‌های انجام شده مهم‌ترین پیشنهادات و راهکارها به منظور کاهش خطرات و حوادث در متروی تهران شامل موارد زیر می‌شود:

و تحلیل چنین رویدادهایی، انتخاب اول استفاده از تکنیک تحلیل درخت خطا بوده که به دلیل مواردی که بیان گردید، از تکنیک دیگری تحت عنوان تریپود بتا در کنار تحلیل درخت خطا جهت تکمیل روش شناسایی و برآورد احتمال علت‌های بروز حادثه ریلی استفاده گردید به طوری که حادثه اصلی به عنوان رویداد راس در درخت خطا انتخاب و تا تشکیل رویداد پایانی ادامه یافت. پس از آن رویدادهای پایانی به دست آمده در روش تحلیل درخت خطا به عنوان ورودی‌های تکنیک تریپود بتا استفاده گردید و بنابراین رویدادهای پایانی از تکنیک اول به رویدادهای میانی تغییر یافته و سپس طبق اصول تریپود بتا (علت مستقیم، پیش شرایط و علل نهان) و ۱۱ شاخص عوامل ریسک اصلی پیگیری شده و در نهایت رویدادهای پایانی که همان علت‌های نهان مربوط به حادثه مورد نظر است ایجاد گردید. در واقع با تلفیق این دو روش جهت ریشه‌یابی و آنالیز حادثه مورد بررسی علت‌های مستقیم موثر در حادثه، پیش شرایط زمینه‌ساز آنها و علت‌های نهان به وجود آورنده‌ی این زنجیره شناسایی شده است. این امر خود بیانگر وسعت دید یا ابعاد همه جانبه با استفاده از هر دو تکنیک می‌باشد که در مرحله‌ی تحلیل روش نیز ابتدا با استفاده از میزان فراوانی رویدادهای پایانی در ۱۱ شاخص BRFها دسته‌بندی شده و در سه حوزه علل مستقیم، پیش‌شرایط و علل نهان بیشترین تکرارها مربوط به عامل شرایط تحمیلی نامناسب<sup>۱</sup> عامل

1 error-Enforcing condition

- Based on a Small Empirical Study. *Safety Science* 24, 143-155.
- 8- شرازگ، «ممود و نارهدت یورتم یرادر بهید تکرشد» 1391، «تایلمء و ینمیا دحاو ی لیر حناوسد ی لیلحت»
- 9- Wallace, Iane.G. 1996, “ Developing Effective Safety System.”
- 10- Boden, L., Galizzi, M., 1999. Economic consequences of workplace injuries and illnesses: lost earning and benefit adequacy, *Am.J. Ind. Med.* 36(5), 487-503.
- 11- Brody, B., Letourneau Y., Poirier A., 1990. An indirect cost theory of work accident prevention. *Journal of Occupational Accidents* 13, 256.
- 12- Baher, Nicholas J. (1997) *System Safety Engineering and Risk Assessment*
- 13- Harvey M.D. “Models for accident investigation” Alberta, 1985
- 14- Jovica Jovanovic, Mirjana Arandelovice, Milan Jovanovich, Multi disciplinar aspects of occupational accidents and injuries, *Working and Living Environmental Protection* Vol. 2, No4, 2004, pp. 325 –333
- 15-Thomas V Perneger, The Swiss cheese model of safety incidents: are there holes in the metaphor?, *BMC Health Services Research* 2005, 5:71. <http://www.biomedcentral.com/1472-6963/5/71>
- 16- Hale, A.R., Ale,B.J.M., Goossens,L.H.J., Heijer,T., Bellamy, L.J, Mud, M.L.,Roelen, A., Baksteen, H.,Post, J., Papazoglou, I.A., Bloemhoff, A., Oh, J.I.H., Modeling accidents for prioritizing prevention, *Reliability Engineering and System Safety* 92 (2009) 1701-1715
- 17- Munteanu, I., & Aldemir, T. (2003). A methodology for probabilistic accident management. *Nuclear Technology*, 144.
- 18- Mohammad fam, I., Kianfar, A., and Faridan, M., Application of Tripod-Beta Approach and Map – Overlaying Technigque to Analyze Occupational fatal Accidents in a Chemical in Iran, *byranian Occupational Health Association (IOHA)*,2010,2:33-39.
- ۱۹- میری لواسانی، سید محمدرضا، ۱۳۹۱، «جزوه آموزشی مدیریت ریسک»، دانشگاه آزاد واحد علوم تحقیقات.
- ۱- تعریف اقدامات اصلاحی بر اساس اولویت‌های مدیریتی؛
- ۲- اصلاح سیستم گزینش نیروی انسانی از منظر تخصص، مهارت و توانمندی انسانی؛
- ۳- ایجاد ارتباط مستقیم و مناسب بین سیستم ATP قطار و مرکز فرمان جهت پایش فعال یا غیر فعال بودن ATP از طریق راهبر کنترل ترافیک مرکز فرمان؛
- ۴- ایجاد سیستم ثبت حوادث با در نظر گرفتن زنجیره علل (مستقیم، پیش شرایط و نهان)؛
- ۵- تعریف، شناسایی و مدل‌سازی جامع و یکتایی جهت ارزیابی ریسک حوادث ریلی مترو تهران؛
- ۶- پیاده‌سازی بانک اطلاعاتی جهت گزارش‌گیری مناسب و تعیین نرخ شکست حوادث؛
- ۷- لزوم توجه به استانداردهای مکالمات جاری مابین راهبر مرکز فرمان و راهبر قطار؛
- ۸- لزوم پایش روزانه ATP و رفع نواقص مربوط به آن، با توجه به نقش حساس و حیاتی این سیستم در جلوگیری از بروز حوادث.

#### ۸- منابع

- 1- Brauer, Roger L.2006, “Safety and Health for Engineers, 2nded.”
- 2- Dhillon,(2009),*Human reliability, error and human factors in engineering maintenance*,Taylor & Francis group.
- 3- Marvin R, *System Reliability Theory* (2nd edition), Wiley, 2004.
- 4- Hambeck, W., Pueschel, K., 1981. Death by railway accident: incidence of traumatic asphyxia. *Journal of Trauma* 21, 28–31.
- ۵- امیدواری، منوچهر و نوروزی، ساجد، ۱۳۹۱، «بررسی و تحلیل حوادث شغلی و صنعتی با بهره‌مندی از شاخص‌ها و معیارهای سنجش و ارزیابی عملکرد ایمنی»، انتشارات سازمان مدیریت صنعتی
- 6- Asfahi R.C., Rieske D.W., *Industrial safety and health management*. Sixth edition, 2012, Prentice Hall cap:2,20-22.
- 7- Larsson, TJ., Betts, N., 1996. The Variation of Occupational Injury Cost in Australia: Estimates

## Analysis of rail accident by combining of FTA and Tripod-Beta techniques in Tehran Subway

Fariba Rezaei Mehani, S.Mohammadreza Miri Lavasani

1- Master of HSE Management, Islamic Azad University, Science and Research

2- Ph.D safety management, Islamic Azad University, Science and Research

### Abstract

Due to that there is high sensitivity to safety in the rail industry, and considering the wide range of adverse consequences and the people involved in the incident, requires continuous monitoring operation, strengthen the identification, assessment, reduction and if possible elimination of hazards In this context felt. In this paper, a comprehensive approach to identify hazard and assess the critical paths and analysis of the barriers of the rail system that by combining two methods of Fault tree analysis and Tripod-beta techniques the cause of incident have been detected effectively and deeper in the organizational layers. By combining these two methods improved the root causes analysis of the incident and the reasons for the failure barriers deeply and effectively. In this paper, considered "accident of two urban train as top event in the fault tree and defined in that three factors "inability of the command center, the inability of ATP and the inability of signal lights" to prevent the accident of two trains as the main barriers (That were failure led to accident. Then, the basic events were used as Tripod-beta technique inputs to investigate the chain causes of the accident (the immediate cause, the precondition and underline cause) at the completion of the fault tree. So, according to the opinions of experts in the field and using fuzzy logic the probability of the top event is calculated with  $0.006$  weight and have been detected the critical paths. The main objectives of this paper are to investigate the possibility of combining two methods of fault tree analysis and Tripod-beta and fix flaws of the composition, analysis of factors in the collision of two subway trains in Tehran.

**keyword:** Fault Tree Analysis (FTA), TB, Thran metro, rail accidents.