

## تجزیه و تحلیل علل ریشه‌ای حوادث سقوط از ارتفاع با پیامدهای شدید در شرکت توزیع نیروی برق استان گیلان با استفاده از تکنیک Bow Tie

سلمان ترابی گودرزی، نسربین اسدی، امیر دالوند

### چکیده

**مقدمه:** تجزیه و تحلیل ریشه‌ای به منظور پیشگیری از وقوع مجدد حوادث مشابه انجام می‌شود. در این مطالعه علل ریشه‌ای حوادث سقوط از ارتفاع با پیامدهای شدید در شرکت توزیع نیروی برق استان گیلان با استفاده از تکنیک Bow Tie (گره پاپیونی) بررسی و تحلیل گردیده است.

**مواد و روش‌ها:** این مطالعه به روش توصیفی - تحلیلی است. در این پژوهش تجزیه و تحلیل حوادث ده سال اخیر (۱۳۹۱-۱۴۰۱) سقوط از ارتفاع در شرکت توزیع نیروی برق استان گیلان انجام شده است. با استفاده از نرم افزار Bow Tie pro نمودار مربوط به ۱۰ حادثه مهم با پیامدهای فوت، شکستگی شدید و از کار افتادگی رسم شد و پس از ثبت و شناخت علل ریشه‌ای مربوط، اقدامات اصلاحی برای جلوگیری از بروز حوادث مشابه بیان گردید.

**یافته‌ها:** این مطالعه نشان می‌دهد که عدم رعایت اصول ایمنی به دلیل کاهش آگاهی کارکنان و کمبود آموزش‌های دوره‌های بلند مدت و کوتاه مدت و همچنین نظارت و بازرسی ناکافی از عوامل مهم ریشه‌ای حوادث مطالعه شده و بالاترین تأثیر را در رویدادهای مزبور داشته است (به ترتیب ۲۷ درصد و ۲۵ درصد موارد مربوط به این دو علت حادثه بوده است).

**نتیجه‌گیری:** تکنیک Bow Tie در حال حاضر یکی از بهترین روش‌های ریشه‌یابی حوادث با قابلیت نمایش گرافیکی در سطوح مختلف دانشی است. نتایج بدست آمده حاکی از آن است که طرح‌ریزی آموزشی، به کارگیری روش‌های مختلف آموزش، ارزشیابی آموزش‌های ارائه شده و همچنین ایجاد سیستم‌های نظارتی چند لایه‌ای می‌تواند تا حد بسیار زیادی از وقوع حوادث سقوط از ارتفاع پیشگیری به‌عمل آورد.

**کلمات کلیدی:** تجزیه و تحلیل حوادث، Bow Tie، ریشه‌یابی حوادث، گره پاپیونی

## مقدمه

صنعت برق به عنوان صنعت زیر بنایی و مادر نقش مهمی در توسعه اقتصادی و رفاه جوامع دارد. اهمیت برق از آن جهت است که به دلیل امکان به کارگیری تکنولوژی های مدرن تر و نیز ملاحظات زیست محیطی، در تمامی زمینه های فعالیت می تواند به عنوان انرژی مناسب انتخاب شود (۱). شبکه های توزیع برق قسمتی از سیستم برق قدرت می باشند که خود از بخش های متنوعی تشکیل می شود (۲). در بین بخش های مختلف سیستم برق قدرت، شبکه های توزیع برق در مقایسه با دیگر بخش ها به دلایلی همچون: گستردگی و توسعه دائمی، قابلیت تغییرپذیری و انعطاف بالا، حفاظت ضعیف، متنوع بودن تجهیزات شبکه، دخیل بودن عامل انسانی، کم اهمیت جلوه نمودن خطرات به علت در دسترس بودن تجهیزات شبکه برای افراد و بخصوص کارگروه های اجرایی خطرناک تر است (۳).

برق پنجمین علت حوادث شغلی منجر به مرگ (۷ درصد کل مرگومیر در محل کار) در آمریکا است و می تواند برای کارکنانی که در نزدیکی با منابع برق کار می کنند، خطری جدی محسوب شود (۴، ۵). بر اساس اعلام اداره ایمنی و بهداشت شغلی (OSHA)، سالانه به طور متوسط ۱۲۹۷۶ روز کاری از دست رفته ناشی از حوادث و ۸۶ درصد تلفات در صنعت تولید، انتقال و توزیع برق ناشی از اثرات برق است. برخی از مطالعات نشان می دهد که بیشترین میزان مرگ و میر ناشی از جریان برق در بین نیروهای کار مشغول در صنعت برق به ویژه سیمبازان اتفاق می افتد (۶). از این رو فرایند بررسی و تجزیه و تحلیل تک تک حوادث باعث شناسایی و تعیین دلایل وقوع آنها شده و در نهایت باعث عبرت آموزی برای تمام صنعت برق به ویژه شرکت های توزیع نیروی برق خواهد شد؛ در ضمن باعث جلوگیری از وقوع مجدد آنها نیز می گردد و علاوه بر سود، بهره وری و کنترل زیان موجب تأمین ایمنی و حفظ جان و سلامت نیروهای متخصص در صنعت برق خواهد شد (۷). در سالهای اخیر تلاش های زیادی صورت گرفته است که نه تنها از وقوع حوادث شدید پیشگیری شود، بلکه شدت پیامد آنها نیز کاهش یابد که این امر مستلزم آگاهی از علل ریشه ای وقوع حوادث می باشد تا با کمترین هزینه، بیشترین پیشگیری و کنترل بر روی سناریوهای محتمل وقوع حوادث انجام داد. بدین منظور شناسایی و تجزیه و تحلیل حوادث اجتناب ناپذیر است و لازم است پیرامون حادثه توضیحات لازم ارائه شود (۸).

حادثه یک واقعه یا زنجیره ای از وقایع است که می تواند موجب بروز آسیب، بیماری یا خسارت به تجهیزات، افراد و محیط زیست شود (۹). اساس کنترل حوادث، ایجاد سیستم های کنترلی و دفاعی مناسب به نحوی است که از تلاقی و برهم کنش عامل خطر و عامل هدف جلوگیری شود. در مواقعی که این سیستم های کنترلی و دفاعی موجود نبوده و یا از عملکرد مناسب برخوردار نباشد امکان برهم کنش دو عامل مزبور فراهم شده و رویداد بروز می کند (۱۰). در روش تجزیه تحلیل حوادث، این سیستم ها مورد بررسی قرار گرفته، علل نقص کارکرد آنها مشخص می شود. ریشه یابی حوادث (Root Cause Analysis) آخرین و کاراترین روش بررسی علل حوادث است که با تقسیم بندی علل در سه طبقه علل مستقیم (Indirect Cause)، علل غیر مستقیم (Direct Cause) و علل ریشه ای (Basic Cause) زمینه بررسی های دقیق تر برای یافتن علل ریشه ای در یک قانون نظام مند را فراهم می کند (۱۱). علل غیرمستقیم از اعمال نایمن و یا از شرایط نایمن سرچشمه می گیرند. بررسی علل ریشه ای می تواند کمک زیادی به حل مشکلات ایمنی در سازمان نماید و تأثیر قابل ملاحظه ای در کاهش حوادث داشته باشد. از جمله این علل می توان به خطا در طراحی، نقص در خط مشی و آموزش ضعیف اشاره کرد (۱۲، ۲). استفاده از تکنیک های تجزیه و تحلیل حوادث به صورت ریشه ای و ساختار یافته از قبیل تکنیک Bow Tie (گره پاپیونی) در سازمان می تواند نتایج مهمی از جمله کاهش هزینه ها، کاهش خسارت ها و مهمتر از همه، کار در محیط ایمن را فراهم کند که همگی این نتایج، منجر به افزایش بهره وری خواهد شد (۱۳). ضمناً استفاده از این تکنیک ها در مبحث مدیریت ریسک مدرن می تواند در شناسایی خطر به صورت واکنشی بسیار مفید بوده و استفاده شود (۷). تکنیک پاپیونی (Bow-Tie) از موثر و

نوین‌ترین روش‌های تجزیه و تحلیل علل وقوع حوادث به شمار می‌رود (8). این تکنیک سیستماتیک تحلیلی، ایده‌ای است ساده از ترکیب درخت خطا (Fault Tree) و درخت رویداد (Event Tree) (14).

روش Bow Tie یا گره پاپیونی درک واقعی تری از ارتباط میان عوامل موثر در بروز خطرات، پیامدهای حاصل از آن و موانعی که می‌تواند در هر مرحله مانع از بروز حادثه شود را ایجاد می‌کند. در این روش با ایجاد دیاگرام پاپیونی برای یک فرآیند خاص مستندسازی لازم صورت می‌گیرد (15).

دومین اقدام، ارزیابی ریسک و تصمیم در رابطه با اقدامات لازم جهت کنترل خطرات می‌باشد (16). تفاوت عمده این روش با روش‌های دیگر از این مرحله صورت می‌گیرد که می‌بایست به این پرسش پاسخ‌دهیم که در صورت وقوع حادثه چه پیامدهایی به همراه خواهد داشت و چگونه می‌توان این پیامدها را کنترل نمود که از بروز خسارات و ضررهای بیشتر جلوگیری شود (17). نکته مهم دیگر این است که با ترسیم دیاگرام پاپیونی برای یک فرآیند خاص، تمامی افراد مشغول به کار در محل و به خصوص افراد درگیر با فرآیند مربوطه، کاملاً به وظایف خود در رابطه با یک خطر، مشخص و نحوه وقوع حادثه و پیامدهای ناشی از آن را به خوبی مشاهده می‌کنند (18). به این نحو که در یک فرآیند خاص طراح فرآیند میدانند که چگونه باید تدابیر لازم در رابطه با یک خطر در طراحی لحاظ شود و پس از آن افراد مسئول وظایفشان را می‌دانند که چگونه می‌بایست اجرا، تعمیر و نگهداری را به انجام رسانند (19). زمانی که خطرات مورد شناسایی قرار گرفتند از روش دیاگرام پاپیونی می‌توانیم برای ارزیابی بهتر خطر با استفاده از یک چارچوب مشخص و حتی برای نشان دادن کنترل موثر خطرات استفاده کنیم (20). مسأله مورد بررسی در این پژوهش، ریشه‌یابی علل وقوع حوادث سقوط از ارتفاع در شرکت توزیع نیروی برق استان گیلان است و راه کارهای متناسبی برای جلوگیری از حوادث مشابه در آینده ارائه می‌شود.

### مواد و روش‌ها

این پژوهش از نوع توصیفی - تحلیلی است. در این پژوهش تجزیه و تحلیل حوادث سقوط از ارتفاع با پیامد شدید در شرکت توزیع نیروی برق استان گیلان انجام شده است. در مرحله اول مطالعات کتابخانه‌ای انجام شد و در مرحله بعد جمع‌آوری داده صورت گرفت و پس از رسم نمودار Bow Tie با استفاده از نرم افزار pro 3.3.5 Tie Bow فرایند تجزیه و تحلیل انجام شد. ضمناً در مراحل شناسایی روند رویداد و رسم نمودار از یک تیم یا پانل خبرگان متشکل از محقق و دو نفر از مهندسين ایمنی و یک سراسنادهکار خبره استفاده شد و تمام مراحل کار با تأیید تیم صورت گرفت. مراحل ترسیم نمودار Bow Tie (گره پاپیونی) در شکل شماره ۱ نمایش داده شده است.



شکل ۱. مراحل ترسیم نمودار Bow Tie

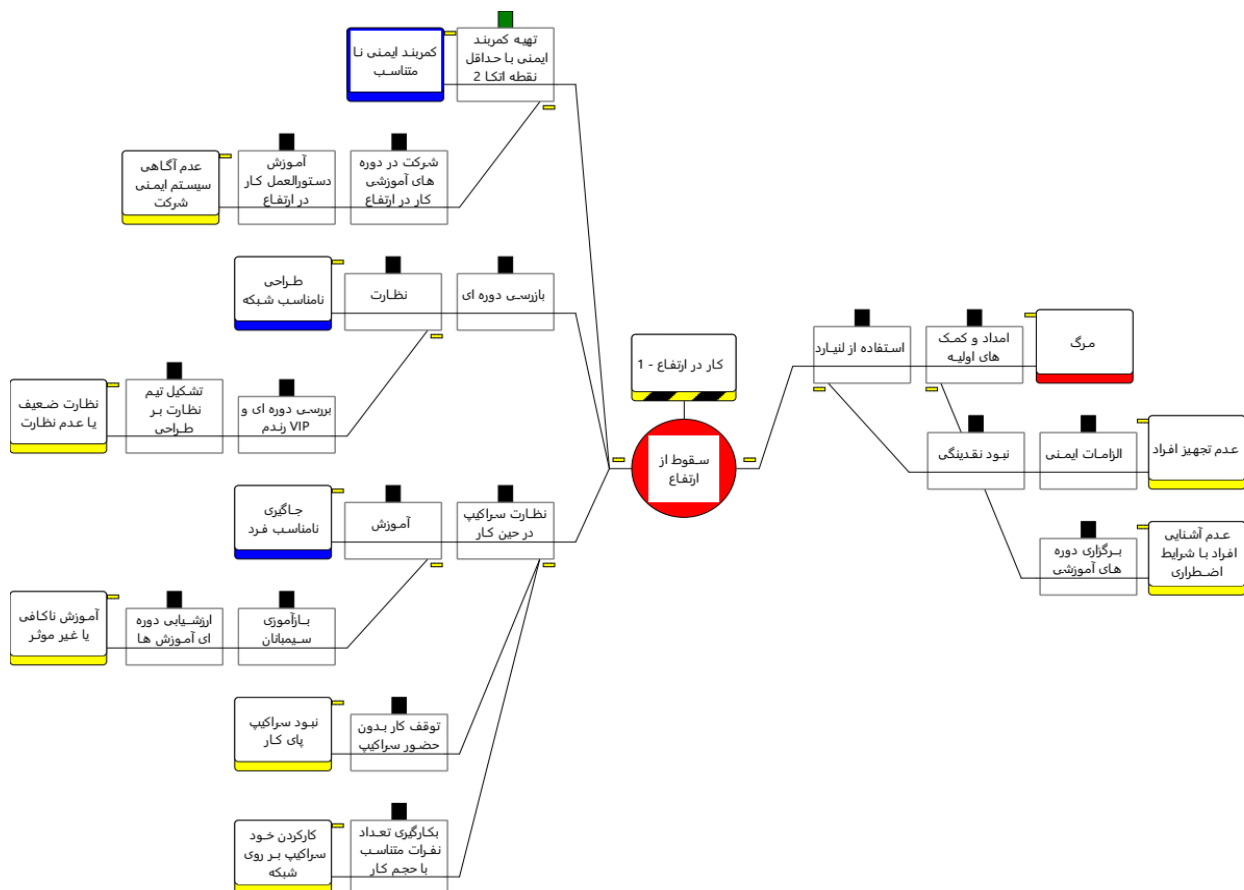
این مطالعه با کد اخلاق به شماره IR.BHN.REC.1402.064 به تصویب رسید.

#### یافته ها (نتایج)

ریشه یابی حوادث سقوط از ارتفاع با پیامد شدید در ۱۰ سال گذشته با استفاده از روش Bow Tie انجام شد. در زیر نمودار سه حادثه با پیامد فوت نشان داده شده است.

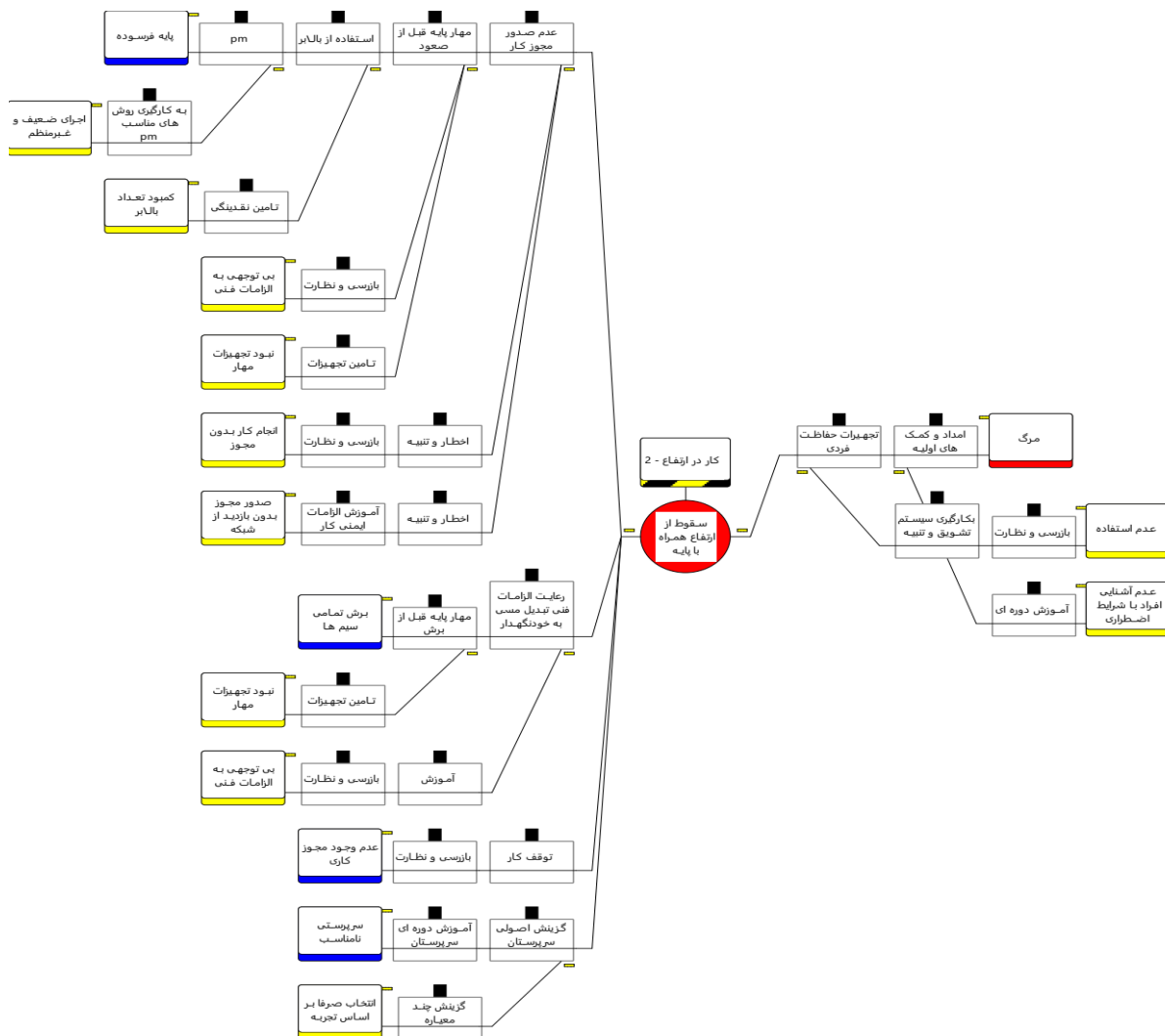
#### شرح حادثه شماره یک:

شخص حادثه دیده در بالای پایه بتونی ۱۲ متری مشغول تعویض مقره سوزنی ۲۰ کیلوولت بوده که به علت استقرار نامناسب، کمر بند ایشان از بالای پایه و کنسول رها شده و موجب سقوط وی می‌شود. فرد حادثه دیده در بیمارستان فوت می‌کند. نمودار پاییونی این حادثه در شکل شماره ۲ آمده است.



### شرح حادثه شماره دو:

در هنگام تعویض سیم مسی به کابل خودنگهدار، فرد حادثه دیده از پایه بتنی فشار ضعیف صعود نموده و با بریدن تمامی سیم های مسی موجبات بهم خوردن تعادل نیروهای وارده بر پایه و متعاقب آن شکسته شدن پایه و سقوط شخص همراه با پایه را ایجاد می کند. فرد حادثه دیده پس از چند دقیقه فوت می کند. نمودار پایبونی این حادثه در شکل شماره ۳ آمده است.



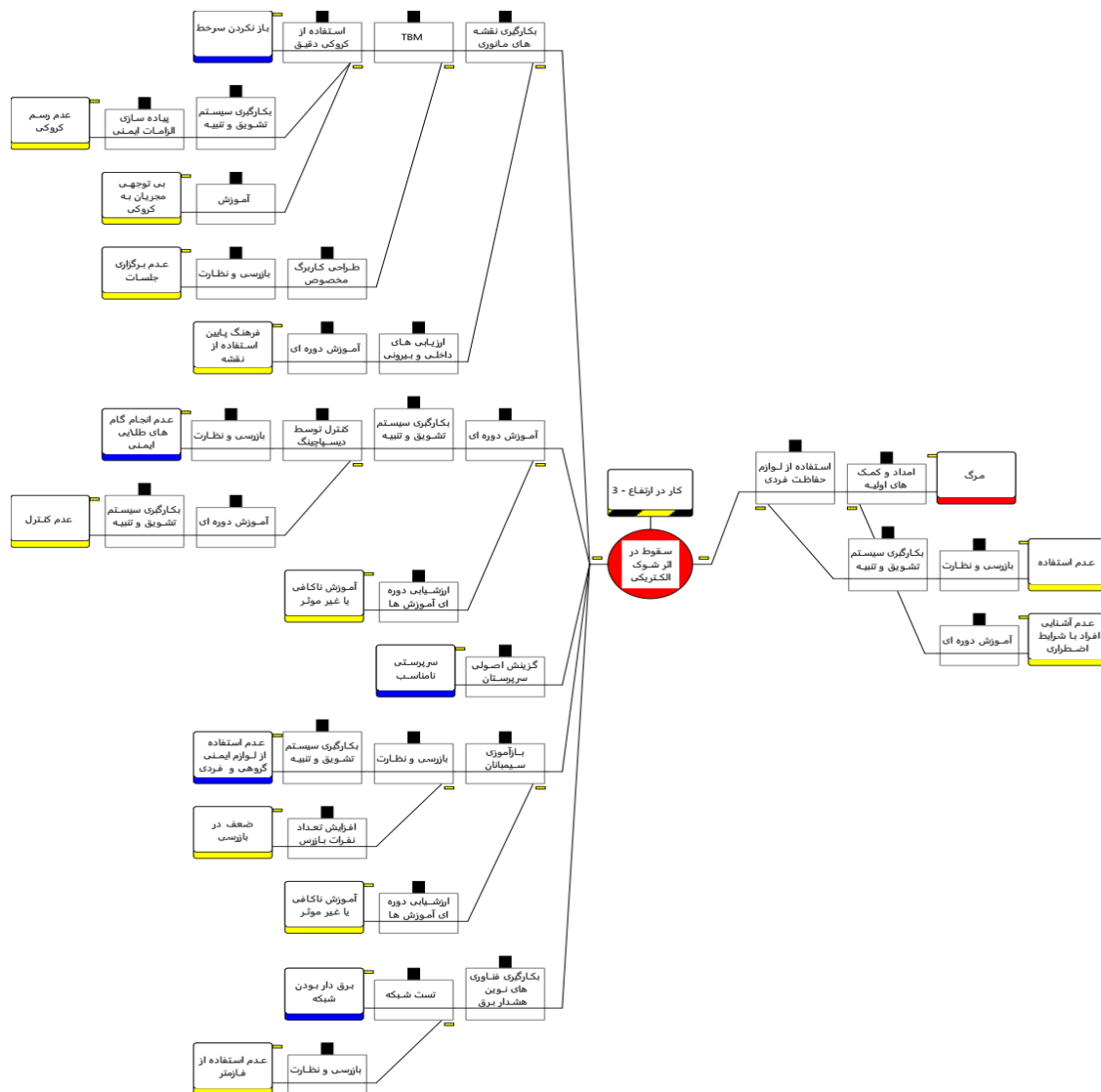
شکل ۳. نمودار Bow Tie حادثه سقوط از ارتفاع منجر به فوت – حادثه شماره دو

### شرح حادثه شماره سه:

به منظور تعویض سه عدد پایه کات اوت فیوز ترانس هوایی، اکیپ به محل کار اعزام می‌شود. سراسیمه به اشتباه سرخط دیگری را باز نموده و محل کار هم‌چنان برق‌دار است. فرد حادثه دیده بدون انجام هیچ کدام از مراحل ایمن سازی شبکه، از پایه ترانس صعود نموده و در حالی که هنوز روی پایه کاملاً مستقر نشده بود در اثر شوک الکتریکی ناشی از ورود به میدان خط ۲۰ (جمپر کات اوت به پوشینگ ترانس) سقوط می‌نماید. نمودار پایبونی این حادثه در شکل شماره ۴ آمده است.

شکل ۴. نمودار Bow Tie حادثه سقوط از ارتفاع منجر به فوت - حادثه شماره سه

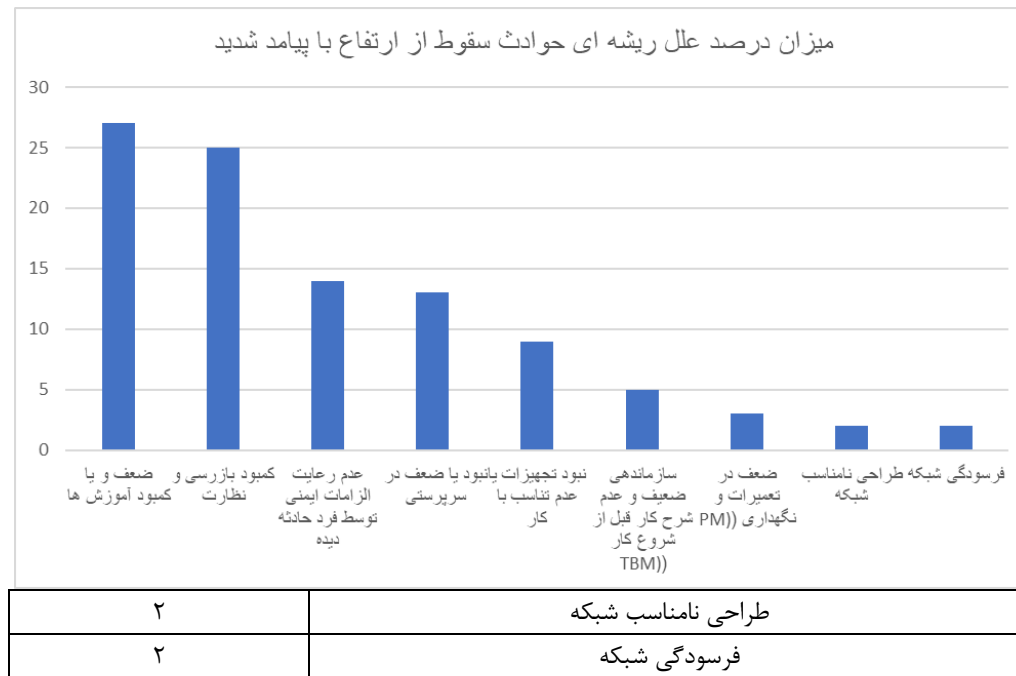
عوامل ریشه‌ای حوادث سقوط از ارتفاع با استفاده از روش Bow Tie در جدول شماره ۱ و درصد آن‌ها در نمودار شماره ۱ آمده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود ضعف و یا کمبود آموزش‌ها، کمبود بازرسی و نظارت و عدم رعایت الزامات ایمنی توسط فرد حادثه دیده بیشترین تاثیر را در وقوع حوادث سقوط از ارتفاع با پیامدهای شدید دارد.



جدول ۱. درصد علل ریشه ای حوادث سقوط از ارتفاع با پیامد شدید

| درصد | علت ریشه ای                                        |
|------|----------------------------------------------------|
| ۲۷   | ضعف و یا کمبود آموزش ها                            |
| ۲۵   | کمبود بازرسی و نظارت                               |
| ۱۴   | عدم رعایت الزامات ایمنی توسط فرد حادثه دیده        |
| ۱۳   | نبودن یا ضعف در سرپرستی                            |
| ۹    | نبودن تجهیزات یا عدم تناسب با کار                  |
| ۵    | سازماندهی ضعیف و عدم شرح کار قبل از شروع کار (TBM) |
| ۳    | ضعف در تعمیرات و نگهداری (PM)                      |

میزان درصد علل ریشه ای حوادث سقوط از ارتفاع با پیامد شدید



نمودار ۱. درصد علل ریشه ای حوادث سقوط از ارتفاع با پیامد شدید

### بحث و نتیجه گیری

روش های تحلیل ریشه ای علل حوادث کاربرد زیادی در مدیریت حوادث و پیشگیری از وقوع آن ها در آینده دارند (21). روش Bow tie (گره پاپیونی) درک واقعی تری از ارتباط میان عوامل موثر در بروز حوادث، پیامدهای حاصل از حوادث و موانعی که می تواند در هر مرحله از بروز حادثه جلوگیری نماید را ایجاد می کند (۱۷). در این مطالعه علل ریشه ای حوادث سقوط از ارتفاع به عنوان یکی از پرتکرارترین حوادث در صنعت توزیع برق با استفاده از روش Bow Tie بررسی گردید. نتایج نشان داد که عامل ریشه ای "ضعف و یا کمبود آموزش" بیشترین نقش را در وقوع حوادث سقوط از ارتفاع ایفا می کند که با مطالعه مبارکی و همکاران مطابقت دارد (۲۲). بازرسی و نظارت ناکافی دومین عامل مهم ریشه ای در بروز حوادث سقوط از ارتفاع است.

نظارت ایمنی از این جنبه حائز اهمیت است که اگر در هنگام کار عملیاتی، انحرافی از استاندارد و دستورالعمل‌ها مشاهده شود، به سرعت قابلیت بررسی و اصلاح عدم انطباق وجود دارد. همچنین با بازرسی و نظارت است که می‌توان میزان جاری بودن اصول ایمنی در لایه‌های عملیاتی را سنجید و در صورت نیاز اقدام اصلاحی و کنترلی مناسبی را به کار برد. نتایج این مطالعه با پژوهش تاجیک و عدل مطابقت دارد. عدم رعایت اصول ایمنی توسط خود فرد در بروز حادثه سقوط از ارتفاع جایگاه سوم را به خود اختصاص داده است که بی تاثیر از علل قبلی نمی‌باشد و به نظر می‌رسد با رفع علل قبلی، این علت ریشه‌ای تا حد زیادی مرتفع گردد. سایر عوامل از جمله ضعف در سرپرستی، کمبود تجهیزات و ساماندهی محیط کار قبل از شروع عملیات (برگزاری جلسات TBM) از دیگر علل ریشه‌ای بروز حوادث سقوط از ارتفاع هستند.

#### پیشنهادهای

تجزیه و تحلیل ریشه‌ای در این مطالعه نشانگر این مطلب است که اجرای برنامه‌های آموزشی و رسیدن به مهارت مورد نظر و انجام آموزش‌های دوره‌ای، ایجاد سیستم چندلایه‌ای نظارت و بازرسی ایمنی (Safety Audit & Inspection)، پیاده سازی دستورالعمل‌های ایمنی در سطوح عملیاتی، استفاده از سیستم تشویق و تنبیه ایمنی، جدیت در برگزاری جلسات کوتاه قبل از شروع کار (Box Meeting Tool)، پیاده سازی روش‌های نوین تعمیرات و نگهداری با رویکرد پیشگیرانه می‌تواند از بروز خطاهای انسانی و وقوع حوادث سقوط از ارتفاع به مقدار زیادی جلوگیری به عمل آورد.

### تقدیرنامه:

این مطالعه با حمایت مالی دانشکده علوم پزشکی بهبهان براساس قرارداد شماره ۴۱۳۹ انجام شده است. نویسندگان مقاله بر خود لازم می دانند مدیریت و کارکنان شرکت توزیع نیروی برق استان گیلان که با همکاری صمیمانه خود امکان انجام پژوهش را فراهم آوردند، تشکر و قدردانی نمایند.

### منابع

1. Futurology and Electrical Industry of Iran. Eighth National Energy Conference. National Energy Committee of the Islamic Republic of Iran. ۲۰۱۱
2. Garcez TV, de Almeida AT. A risk measurement tool for an underground electricity distribution system considering the consequences and uncertainties of manhole events. Reliability Engineering & System Safety. ۲۰۱۴; ۸۰-۱۲۴:۶۸.
3. Golmohamadi A. Identification and analysis of risk management risk in activities. Electricity safety Handbook. ۲۰۱۴. p 97.
4. ISO/IEC. Safety aspects – Guidelines for their inclusion in standards Guide . ۵۱
5. USDo L, editor. . Job hazard analysis. Occupational Safety and Health Administration, : OSHA PublicationP. ۷۰۱-۳۶۴۵. ۲۰۰۱.
6. Covello VT, Merkhoher MW. Risk assessment methods: approaches for assessing health and environmental risks: Springer Science & Business Media; . ۱۹۹۳
7. Khosravirad F, Zarei E, Mohammadfam I, Shoja E. Analysis of root causes of major process accident in town border stations (TBS) using functional hazard analysis (FuHA) and bow tie methods. Journal of Occupational Hygiene Engineering. ۲۰۱۴; ۱(۳): ۲۸-۱۹ (persian).
8. MirzaeeAliabadi M, Mohammadfam I. Root causes analysis of the Blow out of oil and gas wells in the drilling industry using Bow-Tie Analysis. Iran Occupational Health. ۲۰۱۹; ۱۵(۶): ۳۱-۲۲ (persian).
9. ILO. Prevention of major industrial accidents, Geneva. International Labour Office. ۱۹۹۹ .
10. Yazdi M. Risk assessment based on novel intuitionistic fuzzy-hybrid-modified TOPSIS approach. Safety Science. ۲۰۱۸; ۴۸-۱۱۰: ۴۳۸ (persian).
11. Ghaedsharaf Z, Jabbari M. Identifying hazards and presenting HSE risk management program using Bow-Tie and SOWT-ANP methods at the urea unit of Shiraz petrochemical complex. Health and Safety at Work. ۲۰۲۰; ۱۰(۱): ۵۷-۴۶ (persian).
12. Rahmani A, Khadem M, Madreseh E, Aghaei H-A, Raei M, Karchani M. Descriptive study of occupational accidents and their causes among electricity distribution company workers at an eight-year period in Iran. Safety and health at work. ۲۰۱۳; ۴(۳): ۵-۱۶۰ (persian).
13. Taleb-Berrouane M, Khan F, Hawboldt K. Corrosion risk assessment using adaptive bow-tie (ABT) analysis. Reliability Engineering & System Safety. ۲۰۲۱; ۲۱۴: ۱۰۷۷۳۱
14. Aqlan F, Ali EM. Integrating lean principles and fuzzy bow-tie analysis for risk assessment in chemical industry. Journal of Loss Prevention in the process Industries. ۲۰۱۴; ۴۸-۲۹: ۳۹
15. Kaptan M. Risk assessment of ship anchorage handling operations using the fuzzy bow-tie method. Ocean Engineering. ۲۰۲۱; ۲۳۶: ۱۰۹۵۰۰
16. Bayazit O, Kaptan M. Evaluation of the risk of pollution caused by ship operations through bow-tie-based fuzzy Bayesian network. Journal of Cleaner Production. ۲۰۲۳; ۳۸۲: ۱۳۵۳۸۶

17. Khakzad N, Khan F, Amyotte P. Dynamic risk analysis using bow-tie approach. Reliability Engineering & System Safety. ۲۰۱۲; ۴۴-۱۰۴:۳۶.
18. Kabir G, Sadiq R, Tesfamariam S. A review of multi-criteria decision-making methods for infrastructure management. Structure and infrastructure engineering. ۲۰۱۴; ۱۰(۹): ۲۱۰-۱۱۷۶.
19. Yazdi M, Kabir S and Walker M (2019). Uncertainty handling in fault tree based risk assessment: State of the art and future perspectives. Process Safety and Environmental Control. 131;89-104.

**Analyzing the root causes of falls from a height with severe consequences in the electric power distribution company of Gilan province using the Bow Tie technique**

Nasrin Asadi\*<sup>1</sup> Salman Torabi Gudarzi<sup>2</sup> Amir Dalwand<sup>3</sup>

## Abstract

**Introduction:** Root analysis is done in order to prevent similar incidents from happening again. In this study, the root causes of falls from a height with severe consequences in the electric power distribution company of Gilan province have been investigated and analyzed using the Bow Tie technique.

**Methods and Materials:** This study is descriptive-analytical. In this research, the analysis of incidents of falling from a height in the last ten years (۲۰۱۲-۲۰۲۲) in the electric power distribution company of Gilan province has been done. Using the Bow Tie pro software, a diagram was drawn of 10 important accidents with the consequences of death, severe fracture, and disability, and after recording and recognizing the root causes, corrective measures were stated to prevent similar accidents.

**Results:** This study shows that non-observance of safety principles due to the reduction of employees' awareness and the lack of long-term and short-term trainings, as well as insufficient supervision and inspection of the important root factors of the studied incidents, had the highest impact on the said incidents. respectively, 27% and 25% of cases related to these two causes were accidents).

**Conclusion:** The Bow Tie technique is currently one of the best methods for finding the root of incidents with the ability to display graphics at different levels of knowledge. The obtained results indicate that educational planning, the use of different training methods, the evaluation of the provided training, and the creation of multi-layered monitoring systems can prevent the occurrence of falls from a height to a great extent.

**Key words:** incident analysis, Bow Tie, incident rooting, bow tie