

ORIGINAL RESEARCH PAPER

## Investigation of Root Cause of Work-related Accidents in a Vehicle Manufacturing Company Using Tripod-Beta Method

Pegah Shafiei<sup>1</sup>, Mousa Jabbari<sup>2,\*</sup>, Mahnaz Mirza Ebrahim Tehrani<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Health, Safety and Environment Management Department, North Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

<sup>2</sup> Workplace Health Promotion Research Center, Occupational Health and Safety Department, School of Public Health and Safety, Shahid Beheshti University of Medical Sciences, Tehran, Iran

<sup>3</sup> Management Department, School of Marine Science and Technology, North Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

Received: 2019-08-21

Accepted: 2020-09-30

### ABSTRACT

**Introduction:** Occupational accidents are one of the major challenges of the industrial workplaces. The identifying of the effective causes of the incidents occurrence, could be used to prevent them. This study was aimed to determine basic causes of occupational accidents in a vehicle manufacturing company.

**Material and Methods:** The occupational accidents leading to loss of time, which cause losing at least one working day, occurred from 2012 to 2017 were analyzed using the Tripod-Beta method and the causes of their occurrences were determined from the active failures to the root causes. The data were analyzed using the SPSS-22 software.

**Results:** Eighty percent of the occupational accidents that occurred in a vehicle manufacturing company were related to 6 root causes, i.e. the weakness of OR (20%), EC (17%), MM- (12%), CO (10%), IG (10%) and DE (9%). Absence of necessary authority to stop working is the most important reason for the occurrence of the weakness of Organization system with a rate of 28%.

**Conclusion:** By handling three root causes appropriately, i.e. improving OR, EC and MM, more than 50% of accidents can be prevented. Proper hiring of workers, exact definition of accountability and an accurate job description to the employees, proper monitoring and supervision, and near-miss recordings are suggested to reduce this incidence rate.

**Keywords:** Occupational Accidents, Root Cause Analysis, Vehicle Manufacturing Company, Direct Causes, Indirect Causes, Failed Defense and Control, Tripod-Beta

### 1. INTRODUCTION

The occupational accidents are one of the main causes of death and physical disabilities in developed and developing countries. In Iran, using a wide variety of machines, employing more workers, different work shifts, and urging the workforce to produce more cars, cause vehicle manufacturing companies to be an important center of accidents. It is essential to prevent accidents, save workers' lives, and control the financial losses by identifying the effective causes of accidents. Selecting appropriate methods and techniques for root causes analyzing

is one of the most important and fundamental steps. Many accident analysis techniques are available for finding the causes which were effective in the occurrence of accidents. These techniques include the Pareto Principle (the 80/20 rule), the fishbone diagram (Ishikawa/Cause and Disability), the Domino Effects, the Five whys, the STEP, the MORT, the FTA, the ETA, the DMAA, the MES, the Bow-tie and the Tripod-Beta. After studying and reviewing the available methods, the Tripod-Beta technique was selected due to the cost of analysis, the time required, training need, quantification ability, graphic description of the

\* Corresponding Author Email: [Jabbarim@sbmu.ac.ir](mailto:Jabbarim@sbmu.ac.ir)

event, and event analysis from control and defense dimensions. Using this method which focuses on the accident mechanism, it is possible to identify immediate causes, preconditions and latent causes which led to the unsafe acts and unsafe conditions, and determine the path of accident and defects in the control and defense systems which caused the accident due to not acting on time. In this study, using the Tripod-Beta method, the effective causes of occupational accidents in a vehicle manufacturing company, from the immediate causes to the latent causes are investigated.

## 2. MATERIAL AND METHODS

Through oral interviews with accident victims, witnesses, and specialized interviews with specialists with occupational health, safety, education, ergonomics experts, members of the meeting of technical protection committee, and the experts of insurance and assistance unit, the data were collected, and the relevant checklist was developed. In the next step, 20 occupational

accidents leading to rest which caused loss at least one working day between 2012–2017 were selected. Each accident was investigated by 10 experts in the studied vehicle manufacturing company. A total of 200 specialized checklists related to the Tripod-Beta method were evaluated and analyzed using Tripod-Beta software. The defects of barriers (the defects of controls and defense systems) which did not work as initiated, or did not exist at all were identified. The path of the occurrence of each accident from the immediate causes to the latent causes was showed. In this way, there were effective causes in the occurrence of each accident. Data were analyzed using SPSS.22 software.

## 3. RESULTS AND DISCUSSION

At first, unsafe acts as immediate causes were analyzed. This study was done by the Tripod-Beta method and by its Graphic model, the defects of defense systems that caused unsafe acts were analyzed.

Due to Fig. 1, ignoring equipment/machine/

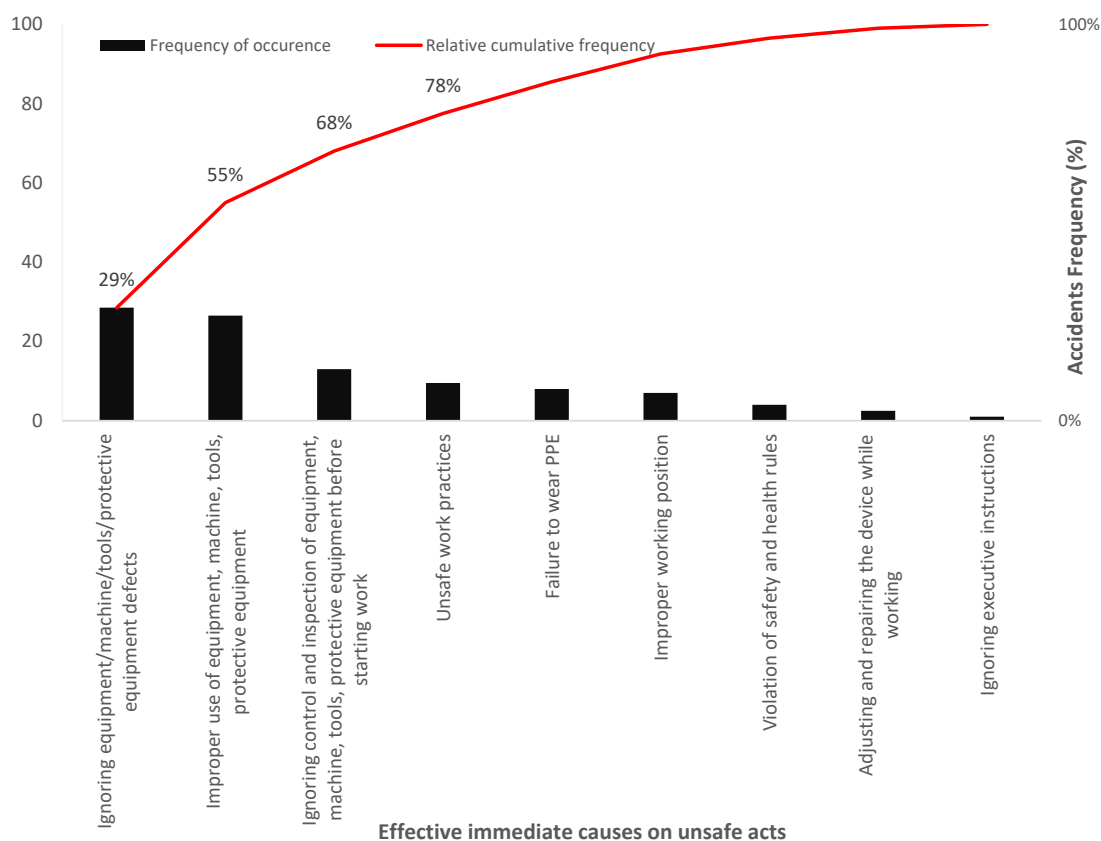


Fig. 1. The frequency of effective immediate causes on unsafe acts in a vehicle manufacturing company

Table 1. The definitions of the basic risk factors (BRFs) in Tripod-Beta method

Row	Basic Risk Factors	abbreviations
1	The weakness of Design system	DE
2	The weakness of Maintenance Management system	MM
3	The weakness of Hard Ware system	HD
4	The weakness of House Keeping system	HK
5	The weakness of Communications system	CO
6	The weakness of Defenses system	DF
7	The weakness of Procedures system	PR
8	The weakness of Training system	TR
9	The weakness of Organization system	OR
10	Error enforcing Conditions	EC
11	Incompatible Goal	IG

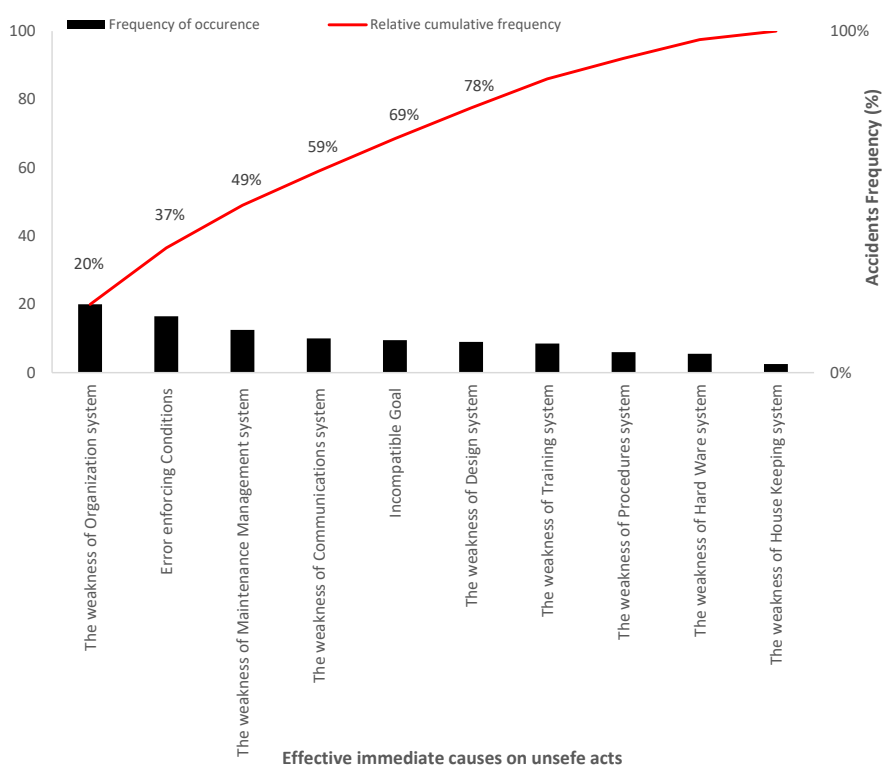


Fig. 2. The frequency of effective root causes on occurrence accidents in a vehicle manufacturing company

tools/protective equipment defects, improper use of equipment, machine, tools, protective equipment, ignoring control and inspection of equipment, machine, tools, protective equipment before starting work, unsafe work practices, as the most frequent immediate causes were identified. Improving the four aforementioned immediate causes, can reduce more than 76% of unsafe acts in a vehicle manufacturing company.

What is more important for researchers was to find the underlying causes which created immediate

causes at the company level that led to unsafe acts. The results of this study indicated that among the eleven root causes presented in Table 1 including the weakness of organization system (20%), error enforcing conditions (17%), the weakness of maintenance management system (12%), The weakness of communications system (10%), incompatible goal (10%) are about 3/4 accident occurred in a vehicle manufacturing company. Considering the study and the results presented in Fig. 2, it can be stated that if the organization focuses

on the same 20% of causes, which composed of only six factors mentioned above, can prevent 80% of occupational accidents at the company level.

#### **4. CONCLUSIONS**

Based on the obtained results in this study, it is obvious that the Tripod-Beta technique is the best method for analyzing the root causes of accidents. Using the graphic shape of this method, we are able to see the connection among the immediate causes, preconditions, and latent causes, in the best possible way. In this method, the probability of similar accidents occurred in the future is reduced by identifying the existing failures in the defense and control systems.

The obtained results from the analysis of root causes involved in the occurrence of accidents in the vehicle manufacturing company indicated by improving three root causes of OR, EC and MM can control more than 50% of accidents. The

proper hiring of workers, the exact definition of accountability, the accurate definition of the job description of employees, proper monitoring and supervision, and near-miss recordings, regular inspection of equipment, identifying of patient individuals, addicted, have the family problems, and referring them to the relevant units, exchange information on various aspects of safety among different departments, increasing management's commitment to safety issues, quality control, and design compliance with standards can eliminate root causes, avoid occurring direct and indirect (unsafe acts and conditions), and control the occurrence of accidents.

#### **5. ACKNOWLEDGMENT**

The authors would like to express special thanks to all HSE experts of vehicle manufacturing company and all other people who have seriously tried to guide and spend their time for this research.

## بررسی علل ریشه‌ای حوادث ناشی از کار در یک شرکت خودروسازی با استفاده از روش Tripod-Beta

پگاه شفیعی<sup>۱</sup>، موسی جباری<sup>۲\*</sup>، مهناز میرزا ابراهیم طهرانی<sup>۳</sup>

<sup>۱</sup> گروه مدیریت سلامت، ایمنی و محیط‌زیست، دانشگاه تهران شمال، تهران، ایران

<sup>۲</sup> مرکز تحقیقات ارتقای سلامت محیط کار، گروه مهندسی بهداشت حرفه ای و ایمنی کار، دانشکده بهداشت و ایمنی، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی، تهران، ایران

<sup>۳</sup> گروه مدیریت محیط‌زیست، دانشکده علوم و فنون دریایی، دانشگاه تهران شمال، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۵/۳۰، تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۷/۹

### مکیده

**مقدمه:** حوادث شغلی یکی از چالش‌های مهم موجود در صنایع هستند. هدف از این مطالعه تعیین علل ریشه‌ای حوادث شغلی رخ داده در یک شرکت خودروسازی و بررسی نقش آن‌ها در وقوع حوادث است.

**روش کار:** با استفاده از روش Tripod-Beta حوادث شغلی منجر به استراحتی که سبب از دست رفتن حداقل یک روز کاری در بین سال‌های ۱۳۹۰ تا ۱۳۹۶ شدند، مورد بررسی قرار گرفتند و علل تأثیرگذار بر وقوع آن‌ها از سطحی تا ریشه‌ای تعیین گردیدند. تجزیه و تحلیل داده‌ها از طریق نرم‌افزار SPSS-22 صورت پذیرفت.

**یافته‌ها:** حدود ۸۰٪ حوادث شغلی رخ داده در سطح شرکت خودروسازی، در نتیجه ۶ عامل ریشه‌ای، شامل نقص در سیستم سازماندهی (۲۰٪)، شرایط تقویت‌کننده خطا (۱۷٪)، نقص در سیستم مدیریت تعمیرات و نگهداری (۱۲٪)، نقص در سیستم ارتباطات (۱۰٪)، اهداف ناسازگار (۱۰٪) و نقص در سیستم طراحی (۹٪)، به وقوع پیوسته‌اند. عدم وجود اختیار لازم برای متوقف کردن عملیات به میزان ۲۸٪ بیشترین نقش را در بروز نقص سیستم سازماندهی ایفا نموده‌است.

**نتیجه‌گیری:** با اصلاح سه عامل ریشه‌ای سازماندهی، شرایط تقویت‌کننده خطا و مدیریت تعمیرات و نگهداری، می‌توان بیش از ۵۰ درصد حوادث شغلی را کنترل نمود، جهت کاهش این میزان حوادث، استخدام صحیح نفرات، تعریف دقیق پاسخ‌گویی، تعریف دقیق شرح وظایف، سرپرستی و نظارت مناسب و ثبت شبهه حوادث پیشنهاد می‌شود.

**کلمات کلیدی:** حوادث شغلی، تجزیه و تحلیل علل ریشه‌ای، صنعت خودروسازی، علل مستقیم، علل غیرمستقیم،

سیستم دفاعی و کنترلی، Tripod-Beta

## مقدمه

رشد چشم‌گیر صنایع، علی‌رغم داشتن مزایای فراوان و فراهم نمودن راحتی و آرامش افراد، آسیب‌ها و خطرات زیادی را به‌همراه داشته‌است (۱). این رشد، سبب افزایش حوادث منجر به فوت یا ناتوانی‌های دائم یا موقتی در بسیاری از افراد گشته‌است (۲). صنعت خودروسازی به علت استفاده از ماشین‌آلات متعدد و متنوع، نیروی انسانی زیاد، نوبت‌های کاری مختلف و اعمال فشار برای تولید خودروهای بیشتر، سبب شده‌است تا این صنعت از کانون‌های مهم حوادث شغلی تلقی شود (۳). سرانه هزینه‌های انسانی حوادث شغلی در تهران، به‌صورت سالانه معادل ۰/۳ درصد کل تولید ناخالص داخلی برآورد شده‌است (۴). بنابراین جهت کنترل خطرات احتمالی و خسارات جانی و مالی حوادث، بررسی حوادث و شناسایی علت دخیل در وقوع هر یک از آنها امری ضروری است.

در گذشته علت وقوع حوادث اعمال و رفتار نایمن گزارش می‌شد (۵، ۶)؛ اما آنچه امروزه حائز اهمیت است دستیابی به عللی است که خود سبب بروز رفتار نایمن شده‌است (۷). جهت دستیابی به علت اصلی و ریشه‌یابی حوادث، یکی از مراحل اساسی و مهم کسب اطلاعاتی دقیق و استفاده از مدل‌های مناسب است تا با به‌کارگیری آنها، احتمال وقوع حوادث مشابه در آینده کاهش یابد (۸). از جمله تکنیک‌هایی که حوادث را به صورت ریشه‌ای مورد بررسی قرار می‌دهد می‌توان به نمودار پارتو (اصل ۲۰-۸۰)، نمودار استخوان‌ماهی (ایشی‌کاوا / علت و معلولی)، اثرات دومینو، پنج چرا،<sup>۱</sup> STEP، MORT<sup>۲</sup>، FTA<sup>۳</sup>، ETA<sup>۴</sup>، DMAA<sup>۵</sup>، MES<sup>۶</sup>، Bow-tie و Tripod-Beta اشاره نمود (۵، ۷، ۹-۱۱). پس از مطالعه و بررسی روش‌های موجود، تکنیک Tripod-Beta به لحاظ هزینه، زمان اجرا، نیاز آموزشی، توانایی کمی‌سازی، شرح گرافیکی واقعه و آنالیز حوادث از دو بعد کنترلی

و دفاعی، انتخاب شد (۱۲، ۱۳). با به‌کارگیری این متد، می‌توان علت سطحی، پیش‌شرایط و علت پنهانی را که سبب وقوع رفتار و شرایط نایمن شده‌اند شناسایی و مسیر وقوع حادثه را مشخص نمود و نقص‌های موجود در سیستم‌های کنترلی و دفاعی را که در اثر عمل نکردن به‌موقع سبب وقوع حادثه شده‌اند، نمایان ساخت (۱۴).

جاهد و همکاران در مطالعه خود تحت عنوان تحلیل علت دخیل در وقوع حوادث شغلی کارکنان اقماری- طرح مخابرات خطوط انتقال گاز، با استفاده از تکنیک Tripod-Beta، شبه حوادث و حوادث رخ داده در بازه زمانی ۱۳۹۲ تا ۱۳۹۶ را تحلیل کردند. محققین با استفاده از روش Tripod-Beta، مسیر شکل‌گیری حادثه رخ داده را مشخص و نقص‌های موجود در سیستم دفاعی و کنترلی را بیان نمودند و علت مستقیم، غیرمستقیم و ریشه‌ای مؤثر در بروز حوادث شغلی را شناسایی کردند. آنان در تحقیق خود عدم برگزاری دوره‌های آموزشی مؤثر را به عنوان اصلی‌ترین عامل ریشه‌ای دخیل در وقوع حوادث بیان کردند و پایش منظم، برگزاری دوره‌های آموزشی و عدم به‌کارگیری نفرات با سابقه کم در مشاغل پر خطر را به عنوان اقدامات کنترلی جهت ممانعت از وقوع حوادث مشابه پیشنهاد دادند (۱۴).

محمد فام و همکاران در مطالعه خود با استفاده از تکنیک Tripod-Beta علت ایجادکننده حوادث منجر به فوت را در کارخانه شیمیایی اکسیر در ارومیه ایران تجزیه و تحلیل نمودند و سپس با استفاده از یک سیستم اطلاعات جغرافیایی پیش شرایطها و شکست‌های منجر به حوادث را مشخص نمودند. آن‌ها بیان کردند گذشته از اعمال و شرایط نایمن، حوادث از مجموعه علت و فاکتورهایی تشکیل شده‌است که سیستم مدیریتی در وقوع آن‌ها دخیل بوده‌است. نتایج حاصل از مطالعه آن‌ها نشان می‌دهد که علت ریشه‌ای بیشتر حوادث مربوط به ضعف در فرهنگ ایمنی، عدم وجود دستورالعمل‌های مناسب برای هر شغل، پایش نامناسب، پروسه کاری اشتباه و تجهیزات ایمنی نامناسب می‌باشد (۱۰).

رضایی مهنی و همکاران در تحقیق خود تحت عنوان

- 1 Sequentially Timed Events Plotting
- 2 Management Oversight and Risk Tree
- 3 Fault Tree Analysis
- 4 Event Tree Analysis
- 5 Data Mining for Accident Analysis
- 6 Multilinear Events Sequencing

تجزیه و تحلیل ریشه‌ای حوادث شغلی با استفاده از تکنیک Tripod-Beta می‌باشد تا بدین طریق علل تأثیرگذار در بروز حوادث شغلی در سطح یک شرکت خودروسازی از سطحی تا ریشه‌ای مورد بررسی قرار گیرد و نسبت به رفع آنها تا حد امکان اقدام گردد.

### روش کار

مطالعه حاضر یک روش کاربردی از نوع توصیفی-تحلیلی است و مبنای آن تحلیل حوادث و شناسایی علل ریشه‌ای دخیل در وقوع حوادث است. جامعه آماری تحقیق پیش‌رو، تمام حوادث رخ داده طی شش سال گذشته (۱۳۹۰ تا ۱۳۹۶) در یک شرکت خودروسازی است و نمونه آماری آن، حوادث شغلی منجر به استراحتی است که در این بازه زمانی با شکایت افراد حادثه‌دیده، نسبت به تشکیل جلسه تعیین درصد قصور و پرداخت میزان غرامت برای آنان اقدام شده‌است؛ از بین این حوادث، آن‌هایی استخراج گردید که دسترسی به اطلاعاتی نظیر کارگر، شاهدین حوادث، مستندات و دستگاه‌ها امکان‌پذیر بود؛ بدین طریق ۲۰ حادثه شغلی انتخاب شده توسط ۱۰ نفر از متخصصین (۱۸) صاحب نظر در شرکت خودروسازی مورد بررسی قرار گرفتند، به طوری که مجموع چک‌لیست‌های تخصصی مربوط به روش Tripod-Beta ارزیابی شده، به ۲۰۰ مورد رسید. جمع‌آوری داده‌ها از طریق مراجعه مستقیم به مدارک و مستندات موجود و مصاحبه شفاهی با افراد حادثه‌دیده و شاهدین و مصاحبه تخصصی با متخصصین واحدهای ایمنی، بهداشت، آموزش، ارگونومی، نفرت تشکیل‌دهنده جلسات کمیته حفاظت فنی و کارشناسان واحدهای بیمه و مددکاری صورت پذیرفت. تجزیه و تحلیل حوادث با استفاده از نرم‌افزار Tripod-Beta و تحلیل داده‌ها با استفاده از نمودار پارتو انجام گردید.

ساده بودن روش، کاربردی بودن آن و نشان دادن ارتباط بین خطای انسانی، از جمله مواردی بود که سبب شد تا تجزیه و تحلیل حوادث از طریق آن صورت پذیرد (۱۹). به کمک روش Tripod-Beta نقص سیستم دفاعی در اثر

آنالیز حادثه برخورد دو قطار شهری متروی تهران و ارزشیابی دلایل بروز آن، از روش‌های Tripod-Beta و AHP<sup>۷</sup> استفاده نمودند. در این مقاله یکی از روش‌های اصلی و مؤثر تجزیه و تحلیل علل ریشه‌ای حوادث معرفی شد. آن‌ها با استفاده از روش Tripod-Beta، علل مستقیم و غیرمستقیم دخیل در حادثه برخورد قطار را شناسایی نمودند و با استفاده از روش تحلیل سلسله‌مراتبی علل را رتبه‌بندی کردند. طبق نتایج به دست آمده در این پژوهش، خرابی ATP<sup>۸</sup> به عنوان عامل سطحی و اجرای نامناسب تعمیرات و نگهداری به عنوان مؤثرترین عامل ریشه‌ای دخیل در وقوع حادثه شناسایی شد (۱۵).

ابراهیم‌زاده و همکاران در مطالعه خود ۱۰۰۰ مورد حادثه منجر به فوت را با استفاده از روش Tripod-Beta مورد بررسی قرار دادند. آن‌ها با استفاده از ساختار سیستماتیک روش Tripod-Beta، توالی رویدادها و ارتباط بین علل و موانع از بین رفته‌ای که در نهایت منجر به حادثه شده‌اند را نمایش دادند؛ بر اساس تحقیق صورت گرفته، سرعت غیرمجاز به عنوان عامل سطحی و محدودیت و فشار زمانی در طراحی و ساخت خودرو و کیفیت نامرغوب جاده‌ها و خیابان‌های شهر از جمله علل ریشه‌ای مؤثر در وقوع حوادث جاده‌ای اعلام گردید (۱۶). گشتاسی و همکاران با استفاده از تکنیک Tripod-Beta علل ریشه‌ای حوادث را در پالایشگاه پنجم گاز جنوبی، تحلیل نمودند؛ در این تحقیق محققین با استفاده از دو تکنیک Tripod-Beta و RCA به تجزیه و تحلیل حوادث پرداختند؛ طی نتایج به دست آمده، اصلاح چهار عامل ریشه‌ای شامل روش‌ها و فرایندها، استفاده از تجهیزات با استاندارد لازم، به کارگیری قوانین و مقررات و آموزش مناسب، می‌تواند از بروز حوادث مشابه ممانعت نماید (۱۷).

با توجه به کمبود تحقیقات انجام شده با تکنیک Tripod-Beta در صنعت خودروسازی، انجام تحقیق بدین شیوه ضروری تلقی گردید؛ لذا هدف از این مطالعه،

7 Analytical Hierarchy Process

8 Automatic Train Protection

خطاهای احتمالی (۱۷، ۱۳). قابل تخصیص خواهد بود. این تکنیک یکی از روش‌های اصلی تجزیه و تحلیل علل ریشه‌ای حوادث تلقی می‌شود و به شناسایی علل پنهان دخیل در حوادث می‌پردازد. روشی کم‌هزینه است و به زمان و نیروی متخصص کم‌تری نیاز دارد. تکنیک Tripod-Beta یکی از روش‌های اصلی تجزیه و تحلیل علل ریشه‌ای حوادث تلقی می‌شود و به شناسایی علل پنهان دخیل در حوادث می‌پردازد. روشی کم‌هزینه است و به زمان و نیروی متخصص کم‌تری نیاز دارد؛ با به کارگیری این روش می‌توان روند وقوع حادثه و شکست موانع، علل نهان و پنهان را به خوبی متوجه شد (۱۲).

این روش در مقایسه با سایر روش‌های تجزیه و تحلیل حوادث با استفاده از روش TOPSIS<sup>9</sup> وزن‌دهی شد، طبق نتایج به دست آمده، توانایی کمی‌سازی، شرح گرافیکی واقعه و سطح آنالیز این تکنیک سبب برتری آن نسبت به سایر روش‌ها شده است (۲۰). جمع‌آوری اطلاعات از طریق مصاحبه با کارشناسان HSE<sup>10</sup>، کارگران حادثه‌دیده و سایر نفراتی که شاهد حادثه بودند یا در مورد آن اطلاعاتی داشتند صورت پذیرفت. اطلاعات جمع‌آوری شده از طریق نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۲ صورت پذیرفت.

### روش Tripod-Beta

این روش به شرح جنبه‌های مختلف مدیریت خطر در بروز حوادث می‌پردازد و تمرکز آن بر خطای انسانی و چگونگی کاهش آن است. روش Tripod-Beta ترکیبی از مدل چه و چرا است و توالی رویدادها را بررسی می‌کند و با ساختار درختواره‌ای که دارد مکانیسم حادثه و روابط بین آن‌ها را نمایش می‌دهد (۱۰).

این روش از سه رکن اساسی خطر، هدف و رویداد تشکیل شده است و می‌توان روی آن موانع و اقدامات کنترلی که وجود داشته ولی عمل نکرده، اشتباه عمل کرده یا اصلاً وجود نداشته است را نمایش داد و مسیر بروز حوادث را از سطحی تا ریشه‌ای برای هر رویداد

9 The Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution

10 health safety environment

مشخص نماید (۱۷).

جهت ترسیم مسیر با نوشتن سناریوهایی از حادثه روابط بین آن‌ها ترسیم می‌شود و رکن‌ها و موانع مورد بررسی قرار می‌گیرند. بدین صورت اقدامات ضروری اعم از کنترلی و دفاعی که یا وجود داشته و اشتباه عمل کرده‌اند یا اصلاً وجود نداشته است مشخص می‌شوند. اقداماتی که به خطر (hazard) مربوط می‌باشند، تحت عنوان اقدامات کنترلی و اقداماتی که مربوط به هدف (target) می‌باشند، تحت عنوان اقدامات دفاعی ذکر می‌گردند و در انتها با تعیین اشکالات سطحی، پیش‌شرایط و اشکالات پنهان، مسیرهای بروز حادثه نمایش داده می‌شود (۱۷).

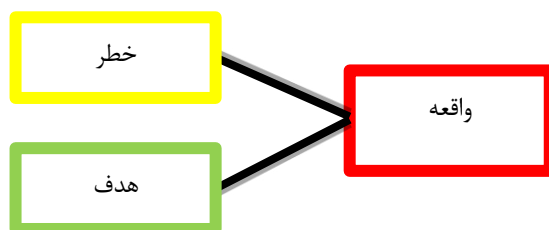
روش Tripod-Beta بیان می‌دارد، اشکالات سطحی ناشی از اعمال و شرایط نایمن به‌تنهایی سبب وقوع حادثه نمی‌شود بلکه فاکتورهای خارجی تحت عنوان پیش‌شرایط سبب وقوع آن‌ها گشته است، خود این فاکتورها از علل پنهانی نشأت می‌گیرند که سبب ایجادشان شده است. درواقع در این مدل اشکالات سطحی نظیر اعمال نایمن جداگانه اتفاق نمی‌افتد بلکه متأثر از یک سری فاکتورهای خارجی (پیش‌شرایط) هستند که آن‌ها نیز از یک سری اشکالات پنهان نشأت می‌گیرند (۱۷، ۲۰).

### اجرای تکنیک Tripod-Beta

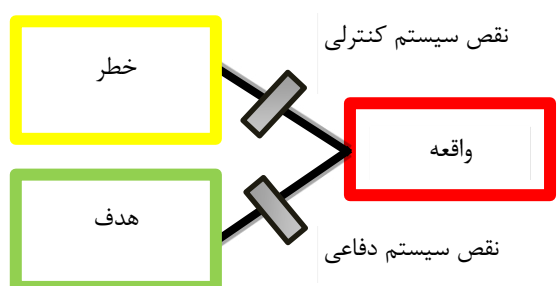
#### مرحله اول

طبق شکل ۱ سه عنصر خطر، واقعه و هدف، مشخص گردیده و تا آنجا که امکان دارد به تشکیل زوج‌های سه‌تایی پرداخته می‌شود (۱۰).

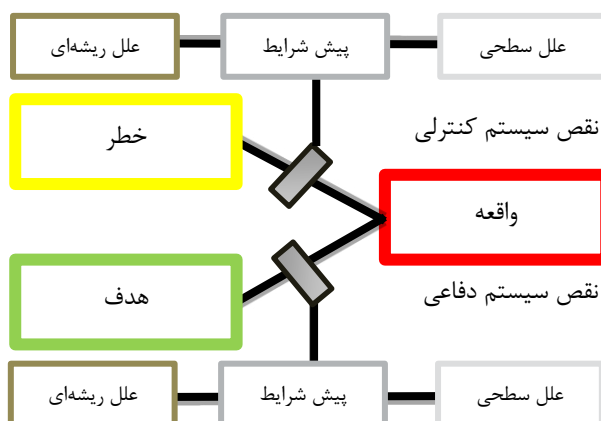
منظور از خطر، منبع انرژی، ماده یا شرایطی است که پتانسیل ایجاد آسیب، صدمه به کارکنان، خسارت به تجهیزات، ساختمان‌ها، از بین بردن مواد، کاهش قدرت کارایی، بیماری‌زایی و آسیب به محیط‌زیست را دارا می‌باشد. مثل انرژی. منظور از واقعه چیزی است که اتفاق می‌افتد، قابل مشاهده است مانند بالا رفتن دما، فشار و غیره. و منظور از هدف، افراد، سرمایه، محیط‌زیست و یا اعتباری که ممکن است به آن‌ها آسیب برسد.



شکل ۱. ساختار هسته دیاگرام Tripod-Beta



شکل ۲. مشخص نمودن سیستمهای حفاظتی



شکل ۳. درختواره Tripod-Beta

شرایط و علل پنهان بیان می‌شوند (۱۰).

مرحله دوم

سیستم‌های ضروری که وجود نداشته یا به‌درستی عمل نکرده‌است در این مرحله جای می‌گیرد و به دیاگرام اضافه می‌شود. شکل ۲ بیانگر این موضوع است.

مرحله چهارم:

کلیه اشکالات به ۱۱ نوع خطا تحت عنوان نقص در سیستم‌های سخت‌افزار، طراحی، مدیریت تعمیرات و نگهداری، ارتباطات، سازماندهی، حفاظتی، ضبط و ربط، دستورالعمل‌های اجرایی، آموزش، اهداف ناسازگار و شرایط تقویت‌کننده خطا تقسیم‌بندی شده‌است.

مرحله سوم

در درختواره تکنیک Tripod-Beta عللی که منجر به شکست موانع شده است به‌عنوان علل مستقیم، پیش

جدول ۱. دسته‌بندی انواع خطا در سیستم Tripod-Beta

ردیف	نوع خطا	(Basic Risk Factors)	کلمات اختصاری
۱	نقص در سیستم طراحی	The weakness of Design system	DE
۲	نقص در سیستم مدیریت تعمیرات و نگهداری	The weakness of Maintenance Management system	MM
۳	نقص در سیستم سخت‌افزار	The weakness of Hard Ware system	HD
۴	نقص در سیستم ضبط و ربط	The weakness of House Keeping system	HK
۵	نقص در سیستم ارتباطات	The weakness of Communications system	CO
۶	نقص در سیستم‌های دفاعی	The weakness of Defenses system	DF
۷	نقص در سیستم دستورالعمل‌های اجرایی	The weakness of Procedures system	PR
۸	نقص در سیستم آموزش	The weakness of Training system	TR
۹	نقص در سیستم سازماندهی	The weakness of Organization system	OR
۱۰	شرایط تقویت‌کننده خطا	Error enforcing Conditions	EC
۱۱	اهداف ناسازگار	Incompatible Goal	IG

هر دسته، سطح متمایزی از فعالیت‌های مدیریت را پوشش می‌دهد. لیست این خطاها در جدول شماره یک آورده شده است (۲۰).

تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۲ صورت پذیرفته است.

### یافته‌ها

#### نرم‌افزار Tripod Beta

جهت سهولت کار و صرفه‌جویی در زمان از نرم‌افزار این روش استفاده شد. این نرم‌افزار به محقق کمک می‌کند تا اطلاعات به دست آمده از تحقیق را جمع‌بندی کند و مدل گرافیکی آن را ارائه نماید (۱۰). لذا بدین منظور از نرم‌افزار Investigator\_3 استفاده شد. این نرم‌افزار با استفاده از الگوی Top-Set به فاکتورهای ایجادکننده هر یک از حوادث اشاره می‌کند و دو روش Tripod-Beta و علل ریشه‌ای حوادث (RCA) را پوشش می‌دهد. این شاخص کمک می‌کند تا محقق به تعداد بیشتری از رویدادها و علل دخیل در حادثه بپردازد. سپس تمام عوامل مؤثر در حادثه در قالب دیاگرام قرار می‌گیرد.

در این مطالعه، حوادث شغلی منجر به استراحتی که سبب از دست رفتن حداقل یک روز کاری در بین سال‌های ۱۳۹۰ تا ۱۳۹۶ گردید، مورد بررسی قرار گرفتند. این حوادث در کل سطوح شرکت خودروسازی به وقوع پیوستند. مشخصات دموگرافیک افراد حادثه‌دیده اعم از وضعیت تأهل، سطح تحصیلات، وضعیت استخدامی، شیفت کاری، تعداد حوادث رخ داده برای افراد و نوع آسیب‌های وارده در جدول ۲ آورده شده است.

علل سطحی مؤثر بر رفتارهای نایمن با استفاده از تکنیک Tripod-Beta مورد بررسی قرار گرفتند. نتایج حاصله در نمودار ۴ نشان داده شده است.

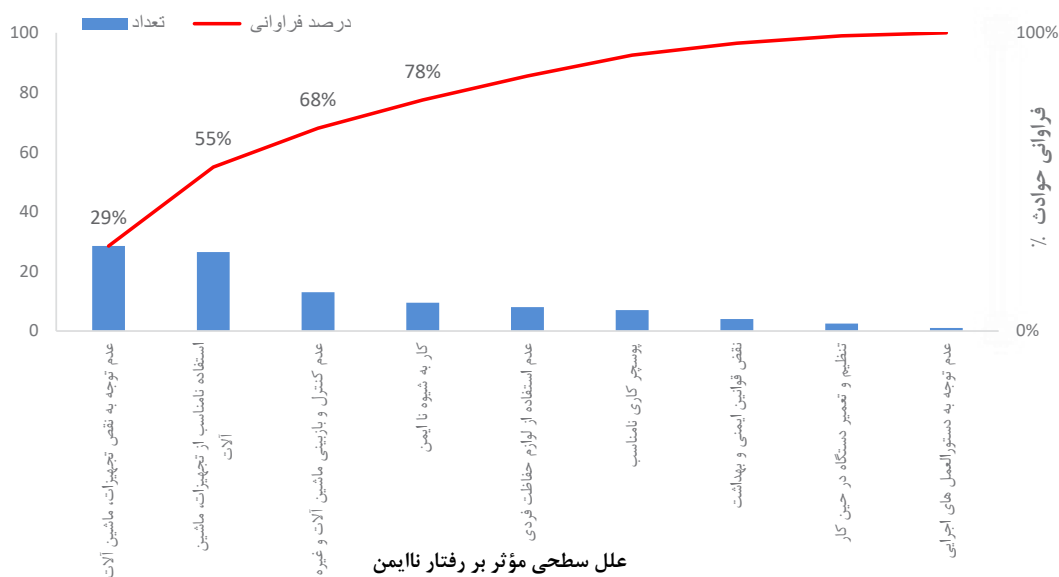
همان‌طور که دیده می‌شود، ۴ عامل زیر بیشترین سهم را در بروز رفتارهای نایمن دارا هستند:

- عدم توجه به نقص تجهیزات، ماشین‌آلات، ابزارآلات و لوازم استحفاظی به میزان ۲۹٪
- استفاده نامناسب از تجهیزات، ماشین‌آلات، ابزارآلات، لوازم استحفاظی به میزان ۲۶٪
- عدم کنترل و بازبینی تجهیزات، ماشین‌آلات،

در این تحقیق حوادث موردبررسی با نرم‌افزار مذکور مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند. شکل شماره ۶ بیانگر تحلیل یک نمونه حادثه رخ داده در شرکت خودروسازی است که با استفاده از تکنیک Tripod-Beta مورد بررسی قرار گرفته است. خروجی نرم‌افزار در جدول شماره ۲ ارائه شده است.

جدول ۲. متغیرهای دموگرافیک جامعه مورد مطالعه

ردیف	متغیر	کلمات اختصاری
۱	وضعیت تأهل	مجرد ۹۷٪
		متاهل ۳٪
۲	سطح تحصیلات	ابتدایی ۵٪
		سیکل ۵٪
		دیپلم ۷۵٪
		فوق دیپلم ۱۵٪
۳	نوع قرارداد	پیمانی ۷۹٪
		رسمی ۲۱٪
۴	وضعیت استخدامی	شیفت ۲ (۷-۱۵) ۴۴٪
		شیفت ۲ (۱۵-۲۳) ۴۳٪
		شیفت ۳ (۲۳-۷) ۱۱٪
۵	تعداد حوادث	بیشتر از ده حادثه ۳۱٪
		کمتر از ده حادثه ۶۹٪
۶	نوع آسیب	اندام فوقانی ۵۲٪
		اندام تحتانی ۵٪
		کل بدن ۴۳٪
۷	لوازم حفاظت فردی	در اختیار داشتند ۹۰٪
		در اختیار نداشتند ۱۰٪

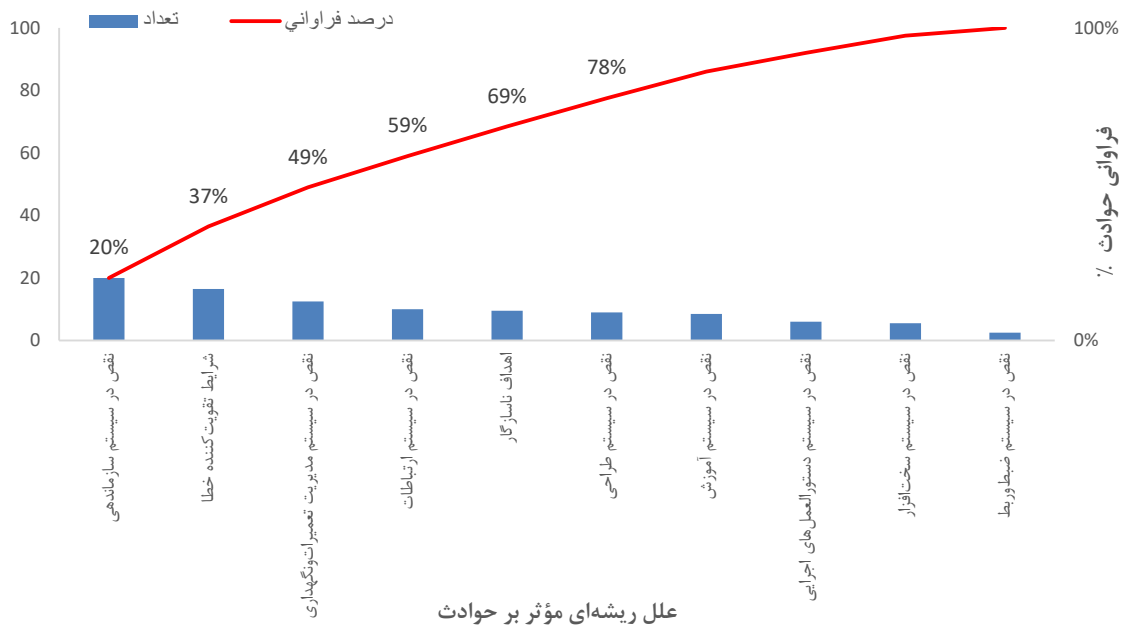


شکل ۴. درصد علل سطحی مؤثر بر رفتار نایمن در یک شرکت خودروسازی

در مجموع، مطابق خط درصد فراوانی شکل فوق، چهار عامل مذکور، ۷۸ درصد علل سطحی حوادث شغلی مورد مطالعه در صنعت خودروسازی را به خود اختصاص

ابزارآلات و لوازم استحفاظی قبل از شروع کار به میزان ۱۳٪

- انجام کار به شیوه نایمن به میزان ۱۰٪.



شکل ۵. درصد علل ریشه‌ای مؤثر بر وقوع حوادث شغلی در یک شرکت خودروسازی

- اهداف ناسازگار به میزان ۱۰٪  
 - نقص در سیستم طراحی به میزان ۹٪  
 بنابراین، مطابق درصد فراوانی حوادث موجود در شکل ۵، شش عامل فوق در مجموع، علل ریشه‌ای ۷۸ درصد حوادث شغلی مورد مطالعه در صنعت خودروسازی هستند و در اولویت اقدامات کنترلی قرار دارند. سپس به منظور تجزیه و تحلیل هر یک از علل ریشه‌ای و دستیابی به مؤثرترین علل دخیل در بروز هر نقص، مؤلفه‌های هر یک از علل ریشه‌ای مورد بررسی قرار گرفتند. طبق نتایج حاصله، نقص در سیستم سازماندهی که به عنوان اصلی‌ترین عامل ریشه‌ای بروز حوادث شغلی در شرکت خودروسازی، شناسایی شد، به میزان ۲۸٪ تحت تأثیر عدم وجود اختیار لازم برای متوقف کردن عملیات بوده است. شرایط تقویت کننده خطا، به عنوان دومین عامل مؤثر در بروز حوادث شغلی، به میزان ۷۶٪ تحت تأثیر عدم وجود روش اصولی مناسب برای شناسایی به موقع افراد بیمار، معنادار، دارای مشکلات خانوادگی و معرفی آنان به واحدهای مربوطه بوده است. نقص در سیستم مدیریت تعمیرات و نگهداری، به میزان ۳۴٪ تحت تأثیر سیستم

داده‌اند. بنابراین موارد فوق در اولویت اقدامات کنترلی قرار دارند. پس از تعیین علل سطحی، علل ریشه‌ای مؤثر در بروز حوادث با استفاده از تکنیک Tripod-Beta مورد بررسی قرار گرفتند. با استفاده از این تکنیک، علل ریشه‌ای به یازده عامل طبقه‌بندی شدند و از یازده عامل مورد بررسی، ده عامل نقص در سیستم سازماندهی، شرایط تقویت کننده خطا، نقص در سیستم مدیریت تعمیرات و نگهداری، نقص در سیستم ارتباطات، اهداف ناسازگار، نقص در سیستم طراحی، نقص در سیستم آموزش، نقص در سیستم دستورالعمل‌های اجرایی، نقص در سیستم سخت‌افزار و نقص در سیستم ضبط و ربط در وقوع حوادث تأثیرگذار بوده است. میزان تأثیرگذاری هر یک از علل در شکل ۵ نشان داده شده است. همان‌طور که مشخص است، ۶ عامل زیر بیشترین سهم را در بروز حوادث داشته‌اند:

- نقص در سیستم سازماندهی به میزان ۲۰٪،
- شرایط تقویت کننده خطا به میزان ۱۷٪،
- نقص در سیستم تعمیرات و نگهداری به میزان ۱۲٪،
- نقص در سیستم ارتباطات به میزان ۱۰٪،



جدول ۳. تجزيه و تحليل حادثه «ضربه خوردن فرد با يك ورقه فلزي» در يك شركت خودروسازی با استفاده از تكنيك Tripod-Beta

ردیف	متغیر	کلمات اختصاری
۱	وضعیت تأهل	مجرد ۹۷٪
		متأهل ۳٪
۲	سطح تحصیلات	ابتدایی ۵٪
		سیکل ۵٪
		دیپلم ۷۵٪
		فوق دیپلم ۱۵٪
۳	نوع قرارداد	پیمانی ۷۹٪
		رسمی ۲۱٪
۴	وضعیت استخدامی	شیفت ۲ (۷-۱۵) ۴۶٪
		شیفت ۲ (۱۵-۲۳) ۴۳٪
		شیفت ۳ (۲۳-۷) ۱۱٪
۵	تعداد حوادث	بیشتر از ده حادثه ۳۱٪
		کمتر از ده حادثه ۶۹٪
۶	نوع آسیب	اندام فوقانی ۵۲٪
		اندام تحتانی ۵٪
		کل بدن ۴۳٪
۷	لوازم حفاظت فردی	در اختیار داشتند ۹۰٪
		در اختیار نداشتند ۱۰٪

از دست رفتن حداقل یک روز کاری در بین سال‌های ۱۳۹۰ تا ۱۳۹۶ شدند، با استفاده از روش Tripod-Beta مورد بررسی قرار گرفتند و علل تأثیرگذار بر وقوع آن‌ها از سطحی تا ریشه‌ای تعیین گردیدند. نتایج حاصله نشان داد که ۴ مورد از علل سطحی و ۶ مورد از علل ریشه‌ای، علت ۷۶ درصد از حوادث شغلی مورد بررسی در صنعت خودروسازی مورد مطالعه را به خود اختصاص داده‌اند، به طوری که با تمرکز بر این علل می‌تواند نزدیک به ۸۰ درصد حوادث شغلی در صنعت مورد مطالعه را کاهش داد.

در این تحقیق رفتار نایمن افراد حادثه‌دیده به عنوان عامل سطحی مورد بررسی قرار گرفت؛ با استفاده از روش Tripod-Beta و شکل گرافیکی آن، نقص‌های موجود در سیستم دفاعی که سبب بروز رفتار نایمن گردیده‌است، بررسی شدند؛ از بین علل سطحی، عدم توجه به نقص تجهیزات، ماشین‌آلات، ابزارآلات، لوازم استحضاطی، استفاده نامناسب از تجهیزات، ماشین‌آلات، ابزارآلات،

آموزشی و عدم بررسی میزان تأثیرگذاری مطالب روی افراد آموزش دیده‌است؛ بدین ترتیب این عامل بیشترین سهم را در بروز نقص سیستم آموزشی ایفا نموده‌است. نقص در سیستم دستورالعمل اجرایی به میزان ۵۴٪ تحت تأثیر نظارت نامناسب مسئولین بر پیاده‌سازی روش اجرایی و دستورالعمل‌ها، عدم کارایی، جامعیت و مفید بودن مطالب بوده‌است. نقص در سیستم سخت‌افزار، به میزان ۴۹٪ تحت تأثیر عدم تأمین ابزار یا تجهیزات، قطعات و لوازم استحضاطی بوده‌است. در نهایت، عدم وجود منابع کافی جهت تمیز و مرتب نگه‌داشتن محیط کار، به میزان ۱۰٪ در بروز نقص سیستم ضبط و ضبط که به عنوان آخرین عامل مؤثر در وقوع حوادث شناسایی شد، تأثیرگذار بوده‌است.

### بحث

در تحقیق حاضر که در یک شرکت خودروسازی انجام گردید، حوادث شغلی منجر به استراحتی که سبب

لوازم استحفاظی، عدم کنترل و بازبینی تجهیزات، ماشین‌آلات، ابزارآلات، لوازم استحفاظی قبل از شروع کار و انجام کار به شیوه نایمن به عنوان تکرارپذیرترین علل، شناخته شدند؛ با اصلاح ۴ عامل سطحی مذکور در فوق ۷۶ درصد رفتارهای نایمن کارگران شاغل در صنعت خودروسازی مورد مطالعه، کاهش می‌یابد.

همان‌طور که در ابتدای مطالعه اشاره شد، علل سطحی تحت تأثیر علل ریشه‌ای هستند و آنچه برای محققین بیش از پیش حائز اهمیت است دستیابی به علل پنهانی است که علل سطحی را در سطح شرکت به وجود آورده‌اند و سبب بروز رفتار نایمن شده‌اند؛ نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد از بین یازده عامل ریشه‌ای مورد بررسی در سطح شرکت خودروسازی، ۶ عامل نقص در سیستم سازماندهی (به میزان ۲۰ درصد)، شرایط تقویت‌کننده خطا (به میزان ۱۷٪)، نقص در سیستم مدیریت تعمیرات و نگهداری (به میزان ۱۲٪)، نقص در سیستم ارتباطات (به میزان ۱۰٪)، اهداف ناسازگار (به میزان ۱۰٪) و نقص در سیستم طراحی (به میزان ۹٪)، علل اصلی حدود ۳۴ درصد حوادث در صنعت خودروسازی مورد مطالعه هستند. طبق بررسی صورت گرفته می‌توان بیان کرد که اگر سازمان از بین علل ریشه‌ای، تمرکز خود را معطوف به همین ۲۰٪ عللی نماید که تنها از شش عامل مذکور در فوق، تشکیل شده‌اند؛ می‌تواند از وقوع ۸۰٪ حوادث شغلی رخ داده در سطح شرکت، ممانعت نماید.

یافته‌ها حاکی از آن است که نقص در سیستم سازماندهی که به عنوان اصلی‌ترین عامل بروز حوادث شغلی شناخته شد را می‌توان با استخدام نفرات متناسب با قابلیت‌های فیزیکی و روانی آنان، ممانعت از تغییر شرح وظایف نفرات و نظارت مستمر بر کارکنان، اصلاح نمود (۱۷، ۲۱) و بدین ترتیب حوادث شغلی رخ داده در سطح شرکت خودروسازی را کاهش داد.

محمد فام و همکاران در تحقیق خود، شرایط تقویت‌کننده خطا، را به عنوان یکی از تأثیرگذارترین علل وقوع حوادث معرفی کرده‌اند (۲۱). در تحقیق پیش رو نیز شرایط تقویت‌کننده خطا، به عنوان دومین عامل مؤثر در

بروز حوادث شغلی شناسایی شد. در تحقیق ارائه شده توسط برخوردار و همکاران که نرخ رفتارهای نایمن، استعدادپذیری حوادث و شبه حوادث را مورد بررسی قرار داده‌اند، صراحتاً اشاره می‌کند که بالا بودن نرخ شبه حوادث نشانه بالا بودن اعمال و شرایط نایمن است که ممکن است در دفعات بعد منجر به وقوع حوادث جدی‌تر شود (۲۲). در مقاله حاضر نقص در سیستم مدیریت تعمیرات و نگهداری به عنوان سومین عامل تأثیرگذار در بروز حوادث شغلی شناخته شد افزایش گزارش شبه حوادث و ثبت سیستماتیک هر یک از آن‌ها، می‌تواند در کاهش وقوع حوادث نقش مهمی را ایفا نماید. محمد فام و زمان پرور در مطالعه خود، ضعف در سیستم برنامه‌ریزی و ارتباطات را یکی از علل مؤثر در وقوع اعمال نایمن بیان کرده‌اند (۲۱). در تحقیق پیش رو نیز، ضعف در سیستم ارتباطات و عدم هماهنگی بین واحدها به عنوان چهارمین عامل ریشه‌ای از جمله علل مؤثر در بروز حوادث شغلی معرفی شد.

مطالعه صورت گرفته توسط Cheyne و همکاران بیانگر آن است که فرهنگ ایمنی در یک سازمان به تعهد مدیریت وابسته است. همچنین بیان کردند درک کارکنان از خطرات محیط کار و برخورد با مسائل ایمنی متفاوت است لذا نظارت و پایش عملکرد ایمنی بسیار حائز اهمیت می‌باشد (۲۳). در این مطالعه نیز مشخص شد تعهد مدیریت که در این مطالعه، زیر مجموعه‌ای از اهداف ناسازگار تلقی می‌شود، جهت رعایت اصول ایمنی کافی نیست و الویت مدیران ارشد، رسیدگی به مواردی همچون سرعت بالای کار، تولید بیشتر و غیره می‌باشد و همین دیدگاه سبب وقوع شمار زیادی از حوادث شغلی گشته‌است. از طرفی علل مختلف، باعث شده‌است تا کارگران، رعایت اصول ایمنی را صرفاً اخذ مدرک از سازمان‌های دولتی و غیردولتی قلمداد نمایند؛ پیرو همین موضوع، انگیزه آنان جهت ارتقاء سطح ایمنی و مشارکت آنان برای حفظ و صیانت نیروی انسانی کاهش یافته‌است.

طبق مطالعه صورت گرفته توسط ادیبی و همکاران،

استفاده از این تحقیق در سایر سازمان‌ها مناسب است و می‌توان از طریق روش معرفی‌شده، علل سطحی و ریشه‌ای وقوع حوادث را تعیین نمود اما با توجه به این موضوع که منطقه موردتحقیق و شرایط ایجادکننده حوادث در سایر سازمان‌ها متفاوت است، علل به دست آمده ممکن است با نتایج این تحقیق متفاوت باشد؛ همچنین جهت تعیین علل بروز حوادث می‌توان از سایر روش‌های تجزیه‌وتحلیل علل ریشه‌ای نظیر تکنیک MORT، Bow-Tie، ETA و غیره بهره گرفت.

### نتیجه گیری

مطالعه حاضر نشان داد که روش Tripod-Beta یکی از روش‌های مناسب تجزیه‌وتحلیل علل ریشه‌ای حوادث است که با تحلیل گرافیکی، ارتباط بین علل سطحی، پیش شرایط و علل ریشه‌ای را به خوبی نمایش می‌دهد و با نمایان‌سازی شکست‌های موجود در سیستم‌های دفاعی و کنترلی، احتمال وقوع حوادث مشابه در آینده را کاهش می‌دهد. از طرف دیگر، با اجرای اقدامات لازم از قبیل ایجاد سیستم ساماندهی مناسب، نظارت دقیق بر رفتار کاری افراد و تعیین روش‌های اصولی برای شناسایی افراد بیمار/معتاد/ دارای مشکلات خانوادگی، رفع محدودیت‌های منابع، ثبت دقیق سوابق و گزارش شبه‌حوادث و پیگیری گزارش بازرسی تجهیزات، ایجاد سیستم ارتباطات مناسب، افزایش تعهد مدیریت نسبت به مسائل ایمنی، کنترل کافی بر فرایند طراحی، بازرسی و تطابق طراحی با استانداردها می‌توان علل ریشه‌ای را حذف کرد و از بروز علل مستقیم و غیرمستقیم ممانعت نمود و وقوع حوادث را تا حد زیادی کنترل کرد.

### تشکر و قدردانی

نویسندگان این مقاله، از همکاری صمیمانه متخصصین HSE شرکت خودروسازی و همه عزیزانی که در پیشبرد این تحقیق نقش به‌سزایی را ایفا نمودند، کمال تشکر و قدردانی را دارند.

ضعف در سیستم طراحی تجهیزات به عنوان عامل اصلی وقوع خطا و پس از آن نبود دستورالعمل‌ها، کمبود نظارت، ضعف در برنامه‌ریزی سازمانی، ارتباطات و عدم وجود چارچوب دقیق شرح وظایف، از دیگر علل مؤثر در وقوع حوادث شناسایی شدند (۲۴). تجزیه‌وتحلیل حوادث شغلی در سطح شرکت خودروسازی، علاوه بر شناسایی نقص در سیستم طراحی به عنوان ششمین علل ریشه‌ای مؤثر در وقوع حوادث شغلی، گواه این ادعاست که بسیاری از حوادث به‌وقوع پیوسته در اثر اعمال تغییر در شرح وظایف پرسنل و عدم نظارت کافی سرپرستان، به علت گستردگی شرح وظایف آنان، به‌وقوع پیوسته‌است. کاکایی و همکاران در مطالعه خود بیان داشتند بیشتر حوادث در اثر عمل نایمن رخ داده‌است که عدم توجه به آموزش‌ها و عدم برگزاری دوره‌های آموزشی مناسب سبب بروزشان شده‌است (۲۵). در تحقیق پیش رو نیز مشخص شد، علل ریشه‌ای در وقوع خطای انسانی تأثیرگذار بوده‌است و یکی از دلایل بروز رفتار نایمن، عدم آموزش به موقع به علت عدم تأمین منابع کافی (زمان کافی)، عدم اطمینان از اثر بخشی دوره‌های آموزشی، عدم فراگیری دوره‌ها برای سطوح مختلف می‌باشد؛ در این مطالعه، نقص در سیستم آموزش به عنوان هفتمین عامل ریشه‌ای تأثیرگذار در بروز حوادث شغلی شناسایی شد. همچنین در تحقیق دیگری که توسط محمدمفام و همکاران در شرکت Exir Chemical Plant انجام پذیرفت که به ترتیب سه عامل شرایط تقویت‌کننده خطا، ضعف در سیستم ضبط‌وربط و ضعف در سیستم سازماندهی به عنوان علل تأثیرگذار در وقوع حوادث گزارش شدند (۱۰). برخی از این عوامل با یافته‌های این تحقیق مرتبط می‌باشد و تواتر آنها به علت تفاوت محل پژوهش، با یکدیگر متفاوت است. در تحقیق جاری، بیشترین ضعف به ترتیب در سیستم سازماندهی، شرایط تقویت‌کننده خطا، سیستم مدیریت تعمیرات و نگهداری، اختصاص یافت و ضعف در سیستم ضبط‌وربط به عنوان آخرین عامل مؤثر در وقوع حوادث شناسایی شد.

## REFERENCES

1. Fam IM, Kianfar A, Mahmoudi S. Evaluation of relationship between job stress and unsafe acts with occupational accident rates in a vehicle manufacturing in Iran. *International Journal of Occupational Hygiene*. 2010;85-90.
2. Adl J. Analysis of the accidents of the car manufacturing industries. *Iranian Journal of Public Health*. 1993;37-50.
3. Nematolahi J, Nasrabadi M, Givhchi S. Analysis of accidents leading to amputations associated with operating with press machines, using Ishikawa and SCAT Combined method in a car manufacturing company. *Health and Safety at Work*. 2015;5(4):23-36.
4. Mohammad Fam I, Zokaei H, Simaei N. Epidemiological evaluation of fatal occupational accidents and estimation of related human costs in Tehran. *Journal of Zahedan University of Medical Sciences and Health Services*. 2007;8(4):299-307.
5. Omidvari M, Gharmaroudi M. Analysis of human error in occupational accidents in the power plant industries using combining innovative FTA and meta-heuristic algorithms. *Health and Safety at Work*. 2015;5(3):1-12.
6. Gharibi V, Mortazavi SB, Jafari AJ, Malakouti J, Abadi MBH. The relationship between workers' attitude towards safety and occupational accidents experience. *International Journal of Occupational Hygiene*. 2016;8(3):145-50.
7. Brook OR, Kruskal JB, Eisenberg RL, Larson DB. Root cause analysis: learning from adverse safety events. *Radiographics*. 2015;35(6):1655-67.
8. Qureshi Z. A Review of Accident Modelling Approaches for Complex Socio-technical Systems. *Australian Computer Society, Inc*; 2007.
9. Johnson C. Failure in safety-critical systems. *A Handbook of Accident and Incident Reporting* Available on-line at: <http://www.dcs.gla.ac.uk/johnson/book> October University of Glasgow Press, Glasgow, Scotland. 2003.
10. Fam IM, Kianfar A, Faridan M. Application of tripod-beta approach and map-overlapping technique to analyze occupational fatal accidents in a chemical industry in Iran. *International journal of occupational hygiene*. 2010;30-6.
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*. 2020;10(1):46-57.
12. Poursoleiman M, Mohammadfam I. derakhshanjazari M. Comparing the two techniques Tripod Beta and Mort at a critical accident analysis in power plant construction. *Journal of Engineering Research and Applications*. 2015;5(6):101-5.
13. Lali-Dastjerdi E, Mohammadfam I. Comparison of two techniques of fault tree analysis and Tripod-Beta using the analytic hierarchy process for accidents analysis in a steel-manufacturing industry. *Journal of School of Public Health and Institute of Public Health Research*. 2012;10(1):43-52.
14. Jahed A, Nikoomaram H, Ghaffari F. Analysis of the causes affecting the occurrence of occupational accidents in fly-in/fly-out workers of a gas pipeline dispatching project. *Health and Safety at Work*. 2020;10(3):212-26.
15. Rezaie F SkMSMS. Accident analysis of two metro trains of Tehran metro train and evaluation of its incidence by using AHP and Tripod-Beta. *The 1st National Conference on High-Speed Railway in Iran*. 2014.
16. Ebrahemzadih M, Giah O, Foroginasab F. Analysis of traffic accidents leading to death using tripod beta method in Yazd, Iran. *Promet-Traffic&Transportation*. 2016;28(3):291-7.
17. Gashtasebi E, Givhchi S, Nasrabadi M. Analysis of Gas Leak Events through the Combination of Tripod Beta and RCA Methods (Case Study: Fifth Refinery of South Pars Gas Complex). *European Online Journal of Natural and Social Sciences*. 2016;5(3):pp. 851-63.
18. Guest G, Bunce A, Johnson L. How many interviews are enough? An experiment with data saturation and variability. *Field methods*. 2006;18(1):59-82.
19. R.Amiri Ataolah DRR. Occupational Accident Analysis in a South Pars Refinery: *International Conference of HSE Experts in Oil, Gas, Petrochemical, Steel, Cement and Civil Engineering Projects*. 2018.
20. Mohamadfam I, Soleimani E, Ghasemi F, Zamanparvar A. Comparison of management oversight and risk tree and tripod-beta in excavation accident analysis. *Jundishapur J Health Sci*. 2015;7(1):e23554.
21. Mohammad Fam I, Zamanparvar E. The study on unsafe acts workers casting factories in Year 2000 Hamadan. *Scientific Journal of Hamadan University of Medical*

- Science. 2002;23(1):51-6.
22. Halvani G, Fallah H, Barkhordari A, Khoshk Daman R, Behjati M, Koohi F. A Survey of causes of occupational accidents at working place under protection of Yazd Social Security Organization in 2005. Iran occupational health. 2010;7(3):22-9.
23. Cheyne A, Cox S, Oliver A, Tomás J. Modelling employee attitudes to safety. Work and Stress. 1998;12(3):255-71.
24. Adibi H, Saeedi M. Medical adverse events: Root cause analysis of 16 reports from a teaching hospital. Payesh (Health Monitor). 2016;15(6):629-37.
25. Kakaei H, Hashemi Nejad N, Shokouhi M, Ahmadi M, Nasrollahi A, Bastaminejad S. Reasons of occupational accidents in Kermanshah Petroleum refinery: A retrospective study 1984-2009. scientific journal of ilam university of medical sciences. 2012;20(2):44-52.