Iranian Journal of Ergonomics | ISSN: 2345-5365

Original Research

Identification and Evaluation of Human Errors in Locomotive Maneuvers Using the SHERPA Technique: A Case Study in a Rail Operation Repair and Development Project

Fatemeh Karami [1], Samira Ghiyasi [2*], Ahmad Soltanzadeh [3]

1. MSc in HSE, Department of Environmental Engineering, Central Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran
2. Assistant Professor, Department of Environmental Engineering, Central Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran
3. Assistant Professor, Department of Occupational Health Engineering and Occupational Safety, Environmental Pollutants Research Center, School of Health, Qom University of Medical Sciences, Qom, Iran

Article Info

Received: 2020/09/08;
Accepted: 2020/12/28;
ePublished: 2020/12/28

10.30699/jergon.8.4.1

Use your device to scan and read the article online

Corresponding Author
Samira Ghiyasi
Assistant Professor, Department of Occupational Safety & Hygiene Engineering, Research Center for Environmental Pollutants, Faculty of Health, Qom University of Medical Sciences, Qom, Iran

Email:
s.ghiasi@iauctb.ac.ir

ABSTRACT

Background and Objectives: Despite complex technologies in many work environments, human errors are of great importance as they might lead to severe and catastrophic accidents. Therefore, in order to prevent and limit the consequences of human error, it seems necessary to identify and find the causes of them. The aim of this study was to identify and evaluate the human errors of locomotive maneuvers in the railway repair and development project, 2019.

Methods: In this cross-sectional study, the identification and evaluation of human errors in locomotive maneuvers in the MAPNA railway repair and development project using SHERPA technique was done. First, using the hierarchical task analysis method, the activities of the maneuvers were divided into their tasks and sub-tasks; in the next step, the types of human errors in each of the tasks were identified and then human errors were evaluated according to SHERPA instruction.

Results: A total of 206 errors were identified in the present study. Errors included 48.5% action error, 39.8% checking error, 10.2% information communication error and 1.5% selection error. The lowest and highest errors related to locomotive displacement error were related to hot single diesel (14.0%) and locomotive displacement error on service pit (29.6%). Of the identified errors, 23.8% had an unacceptable risk level, 51.1% had an ALARP risk level and 25.2% had an acceptable risk level.

Conclusion: The findings of the study indicated that the most unacceptable risks and ALARP were related to checking and action error, respectively. So, it is suggested that the design and implementation of control measures related to these two types of errors should be prioritized.

Keywords: Human error, SHERPA technique, Accident, Locomotive maneuver

Copyright © 2021, This is an original open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution-noncommercial 4.0 International License which permits copy and redistribute of the material just in noncommercial usages with proper citation.

How to Cite This Article:

Karami F, Ghiyasi S, Soltanzadeh A. Identification and Evaluation of Human Errors in Locomotive Maneuvers Using the SHERPA Technique: A Case Study in a Rail Operation Repair and Development Project. Iran J Ergon. 2020; 8 (4) :1-14

Extended Abstract

Introduction

Despite complex technologies in many work environments, human errors are of great importance as they might lead to severe and catastrophic accidents. Therefore, in order to prevent and limit the consequences of human error, it seems necessary to identify and find the causes of them. The aim of this study was to identify and evaluate the human errors of locomotive maneuvers in the railway repair and development project, 2019.

Methods

In this cross-sectional study, the identification and evaluation of human errors in locomotive maneuvers in the Mapna railway repair and development project using SHERPA technique was done. First, using the hierarchical task analysis method, the activities of the maneuvers were divided into their tasks and sub-tasks; in the next step, the types of human errors in each of the tasks were identified and then human errors were evaluated according to SHERPA instruction.

Results

A total of 206 errors were identified in the present study. Errors included 48.5% action error, 39.8% checking error, 10.2% information communication error and 1.5% selection error. The lowest and highest errors related to locomotive displacement error were related to hot single diesel (14.0%) and locomotive displacement error on service pit (29.6%). Of the identified errors, 23.8% had an unacceptable risk level, 51.1% had an as low as reasonably practicable (ALARP) risk level and 25.2% had an acceptable risk level.

Table 1. Frequency and percentage of type of errors

Error type	N	%
Operational	100	48.5
Review	82	39.8
Recovery	0	0.0
communicational	21	10.2
Optional	3	1.5

Table 3. Frequency and percentage of risk level of errors studied

Risk levels	N	%
Acceptable	52	25.2
ALARP	105	51.0
Unacceptable	49	23.8

Table 4. Results of error assessment related to the task of moving the locomotive on the service pit

Sub-duty	Error type	Possibility	Intensity	Risk index
Get the app from the headmaster	C4	B	4	4B
Maneuvering position next to diesel	C1	D	4	4D
Inspection around diesel	A2	D	4	4D
Standing on the diesel ladder	C2	D	4	4D
Commanding locomotives to be placed on the service pit	C1	B	4	4B

Sub-duty	Error type	Possibility	Intensity	Risk index
Coming down from the diesel to change the needle	A6	A	3	3A
Needle replacement	A2	C	1	1C
Riding on diesel	C3	C	1	1C
Getting off the diesel	A7	B	3	3B
Ensure that the locomotive is braked	C2	B	4	4B

Discussion

The results of the present study showed that the SHERPA method, which has been extended to other industries, is suitable for predicting human error in the locomotive maneuver set; because this method was able to well identify and classify the human errors of the maneuvers and reveal the hidden shortcomings of the system [7, 16, 17]. A study conducted to identify human error in cockpit using three methods, SHERPA, HEIST and HUMAN HAZOP, showed that results obtained using SHERPA method in identifying and classifying errors as well as the ability to detect hidden errors, is better than the other two methods. It also suggested using SHERPA method to evaluate human errors in human-machine systems [18].

Findings of human error assessment using SHERPA technique in the present study indicated that the main amount of identified errors is functional type (48.5%) which was consistent with previous studies conducted in this field in Iran [16, 21].

Incorrect or incomplete maneuvering command of locomotives by wireless during coupling was reported to be a human error with ALARP risk level in this study. The exchange of correct information is very effective in reducing the likelihood of human error. Therefore, information exchange systems play an important role in this regard.

Based on the observations and findings of human error identification and evaluation in this study, the used communication equipment had technical defects and caused vague communication between maneuvers and locomotives; therefore, by replacing defective wireless and using quality wireless, communication can be done quickly and easily resulting in better accuracy and quality and reducing the incidence of human error and consequent accidents caused by human error.

Evaluation of the study data showed that the errors of locomotive moving tasks on the service pit and changing the direction of the locomotive related to cold diesel have the highest unacceptable level of risk. According to the results of SHERPA technique, the causes of errors with unacceptable level of risk include insufficient maneuverability of the maneuver and locomotives (inconsistency of the number of maneuvering members with what is stated in the general regulations), opening of the diesel end bridge (in Siemens and Steam diesels), lack of maneuver checking during coupling during coupling, the absence or malfunction of the wireless during coupling, the lack of sufficient light during displacement at the site surface and the exit from the hook due to the disconnection of the brake air tube during displacement in cold diesel. Based on the obtained results, control of checking errors (highest percentage of errors with unacceptable risk level) and performance errors (highest percentage of errors with ALARP risk level) should be given priority.

Some of the strategies to control and reduce the risk of human error that have been proposed and considered in the study environment are: training and holding workshops to identify and provide tool box meeting (TBM) for maneuvers and locomotives with the aim of reviewing pre-control systems from moving, compiling instructions and executive methods for maneuvering activities, employing different people for each maneuver in accordance with general rules, replacing defective cords and using

quality cords, considering people with appropriate physical conditions while working in the service pit, selecting people with Higher accuracy and intelligence, installation of safety and warning signs, improvement of the railway environment, connection of maneuver lines to the sensor and control room, identification of dangerous points of line fractures and correction of these fractures, placing the camera in front of diesels with monitor for locomotives, designing suitable maneuvering position in Siemens locomotive, equipment performance inspection by quality control and control unit, installation of appropriate lighting (optical mast) and design of a safe stand and installation of protection on the platform **[9, 22]**.

Conclusion

The findings of the study indicated that the most unacceptable risks and ALARP were related to checking and action error, respectively. So, it is suggested that the design and implementation of control measures related to these two types of errors should be prioritized.

Acknowledgement

This article is taken from the master's thesis in Health, Safety and Environmental Management (HSE) at the Islamic Azad University, Central Tehran Branch. The authors express their gratitude to the University's Vice Chancellor for Research as well as the HSE Management, the study participants and the staff of the MAPNA Railway Repair and Development Project.

Conflict of Interest

The authors declared no conflict of interest.

مقالهٔ پژوهشی

شناسایی و ارزیابی خطاهای انسانی مانورچی‌های لکوموتیوها با استفاده از تکنیک SHERPA (مطالعهٔ موردی در پروژهٔ تعمیرات و توسعهٔ بهره‌برداری ریلی)

فاطمه کرمی[۱]، سمیرا قیاسی[۲*]، احمد سلطان‌زاده[۳]

۱. کارشناسی ارشد مدیریت بهداشت، ایمنی، محیط‌زیست (HSE)، گروه مهندسی محیط‌زیست، دانشکدهٔ فنی و مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران مرکزی، تهران، ایران
۲. استادیار، گروه مهندسی محیط‌زیست، دانشکدهٔ فنی و مهندسی دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران مرکزی، تهران، ایران
۳. استادیار، گروه مهندسی بهداشت حرفه‌ای و ایمنی کار، مرکز تحقیقات آلاینده‌های محیطی، دانشکدهٔ بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی قم، قم، ایران

اطلاعات مقاله

دریافت: ۱۳۹۹/۰۶/۱۸
پذیرش: ۱۳۹۹/۱۰/۰۸
انتشار آنلاین: ۱۳۹۹/۱۰/۰۸

نویسندهٔ مسئول:
سمیرا قیاسی
استادیار، گروه مهندسی محیط‌زیست، دانشکدهٔ فنی و مهندسی دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران مرکزی، تهران، ایران
پست الکترونیک:
s.ghiasi@iauctb.ac.ir

برای دانلود این مقاله، کد زیر را با موبایل خود اسکن کنید.

خلاصه

زمینه و هدف: باوجود فناوری‌های پیچیده در بسیاری از محیط‌های شغلی، خطاهای انسانی به‌دلیل منتهی‌شدن به حوادث ناگوار بسیار مهم است. بنابراین، پیشگیری و محدودکردن پیامدهای ناشی از خطاهای انسانی، شناسایی و علت‌یابی آن‌ها ضروری به نظر می‌رسد. این مطالعه با هدف شناسایی و ارزیابی خطاهای انسانی مانورچی‌های لکوموتیوها در پروژهٔ تعمیرات و توسعهٔ بهره‌برداری ریلی انجام شده است.

روش‌کار: مطالعهٔ حاضر یک پژوهش مقطعی است که برای شناسایی و ارزیابی خطاهای انسانی مانورچی‌های لکوموتیوها در محدودهٔ خطوط مانور به جهت تنظیم و تفکیک قطارها (مانور) شامل خط هشت واگن‌خانه، خط سوخت، کارخانه‌های اساسی و پل متحرک/ سینی دوار در پروژهٔ تعمیرات و توسعهٔ بهره‌برداری ریلی مپنا در سایت راه‌آهن تهران در سال ۱۳۹۸ صورت گرفت. برای این منظور از تکنیک SHERPA استفاده شد. در ابتدا، با استفاده از روش تجزیه‌وتحلیل سلسله‌مراتبی وظیفه، فعالیت‌های مانورچی‌ها به وظایف و زیروظایف خود تقسیم و در مرحلهٔ بعد انواع خطاهای انسانی و هر یک از وظایف شناسایی شد. سپس ارزیابی خطاهای انسانی براساس دستورالعمل SHERPA صورت گرفت.

یافته‌ها: در مطالعهٔ حاضر ۲۰۶ خطا شناسایی شد. ۴۸/۵درصد خطای عملکردی، ۳۹/۸درصد خطای بررسی/ چک، ۱۰/۲درصد خطای ارتباط و ۱/۵درصد نیز خطای انتخاب طبقه‌بندی شد. کمترین و بیشترین خطا به خطای ناشی از جابه‌جایی لکوموتیو مربوط به تک‌دیزل گرم (۱۴/۰درصد) و خطای جابه‌جایی لکوموتیو روی چال سرویس (۲۹/۶درصد) مربوط بودند. ۲۳/۸درصد خطاهای شناسایی‌شده در سطح ریسک غیرقابل‌قبول، ۵۱/۰درصد در سطح ریسک ALARP و ۲۵/۲درصد در سطح ریسک قابل‌قبول قرار داشتند.

نتیجه گیری: یافته‌های مطالعه بیانگر این است که بیشترین ریسک‌های غیرقابل‌قبول و ALARP به‌ترتیب مربوط به خطای بررسی/ چک و خطای عملکردی بوده است. باتوجه‌به نتایج به‌دست‌آمده در حین انجام روش مطالعه می‌توان فاکتورهای تأثیرگذار بر خطای انسانی مانورچی‌ها در سایت راه‌آهن تهران را در چهار شاخص برنامه‌ریزی، شرایط فیزیکی، پارامترهای روانی و مهندسی طبقه‌بندی کرد. بنابراین، پیشنهاد می‌شود طراحی و اجرای اقدامات کنترلی مربوط به این دو نوع خطا در اولویت قرار بگیرد.

کلیدواژه‌ها: خطای انسانی، تکنیک SHERPA، حادثه، مانور لکوموتیو

مقدمه

امروزه در بسیاری از صنایع سیستم‌های حساس با فناوری‌های پیشرفته به‌کار گرفته می‌شود. ازآنجاکه این سیستم‌ها همواره در تعامل متقابل با انسان‌ها هستند، پتانسیل وقوع خطرات ناشی از خطاهای انسانی در این فرایندها بالاست. خطای انسانی شامل انحراف عملکرد انسان از قوانین و وظایف مشخص‌شده است که از حد قابل‌قبول سیستم فراتر برود و بر

کارایی سیستم اثر نامطلوب داشته باشد [۱-۲]. مطالعهٔ حوادث شغلی مختلف نشان می‌دهد که باوجود پیشرفت‌ها و استفاده از اتوماسیون در صنایع و کاهش نقش انسان در محیط کار، خطای انسانی همچنان می‌تواند سبب بروز حوادث ناگوار جانی و مالی شود؛ زیرا از یک‌سو وظایف انسان در محیط کار با افزایش بار روانی-فکری و پیچیدگی‌های کار همراه است که احتمال وقوع خطا را بیشتر می‌کند و از سوی دیگر با افزایش بار مسئولیت، پیامدهای حاصل از خطای انسانی نیز گرانبارتر می‌شود [۳-۴]. مطالعهٔ حوادث بزرگ سبب شد تا ارزیابی خطای انسانی به‌عنوان جزء تفکیک‌ناپذیر مطالعات ایمنی و فرایندی سیستم‌های انسان- ماشین قرار بگیرد. مدل‌ها و تئوری‌های بسیاری ارائه شدند تا به شناسایی این خطاها و جلوگیری از وقوع آن‌ها بپردازند [۵-۶].

مطالعاتی که تاکنون در زمینهٔ خطای انسانی با روش‌های مختلف صورت گرفته، سیستم‌هایی را بررسی کردند که اپراتور در ارتباط با سیگنال‌ها، نشانگرها و کلیدها قرار دارد [۷-۸]. مطالعات محدودی در زمینهٔ ارزیابی خطاهای انسانی مانورچی‌ها و نیز ارزیابی ریسک و پارامترهای ایمنی در فرایند مانور دیزل‌ها انجام شده است. مانور به حرکت هر وسیلهٔ نقلیه در داخل ایستگاه یا محوطه‌های مانور اطلاق می‌شود؛ مشروط بر اینکه به قصد خروج از ایستگاه نباشد. این جابه‌جایی وسایل نقلیه، به‌ویژه جابه‌جایی واگن‌ها با لکوموتیو (دیزل) انجام می‌شود. بنابراین، مانور به‌معنای تفکیک، به‌هم متصل‌کردن و جابه‌جایی لکوموتیو از خطی به خط دیگر است. حرکت در مانور با دستور سرمانورچی یا مانورچی خواهد بود و یک نفر لکوموتیوران نیز در عملیات مانور انجام‌وظیفه می‌کند. مانورچی مأموری است که هنگام کوپل یا دکوپل (جداسازی یا وصل‌کردن واگن‌ها به یکدیگر) واگن‌های قطار هماهنگی‌های لازم را با لکوموتیوران انجام می‌دهد. سرمانورچی نیز مأموری است که زیر نظر مسئول وقت ایستگاه، مسئول تنظیم و تشکیل و تفکیک قطارها و قراردادن واگن‌ها در محل‌های مربوط است. بنابراین، کوچک‌ترین اشتباه به آسیب‌های جانی و مالی شدیدی منجر می‌شود [۹].

دیزل‌های الکتریک در عملیات جابه‌جایی قطارها و حمل‌ونقل واگن‌ها کاربرد دارند. ماهیت عملکردی این لکوموتیوها مستلزم جابه‌جایی‌های مکرر و با فاصلهٔ زمانی کم است. ضمن‌اینکه تغییر سریع برای حرکت، دید مناسب راهبر لکوموتیو، امکان انجام سریع عملیات اتصال واگن‌ها و نیز سادگی تعمیرات و نگهداری، از نکات مهم در طراحی این لکوموتیوهاست. باوجود به‌کارگیری فناوری‌های استفاده‌شده در فرایند مانور، خطاهای انسانی مربوط به مانورچی‌ها و بروز حوادث در آن‌ها مهم است [۹-۱۰]. بنابراین، باتوجه‌به نقش حیاتی عامل انسانی در سیستم‌های کاری، ضروری است در همهٔ سیستم‌های عملیاتی، به‌ویژه در سیستم‌های بحرانی مانند فرایند ریلی، که بروز خطاهای انسانی می‌تواند پیامدهای شدیدی داشته باشد، خطاهای انسانی شناسایی و ارزیابی شود و اقدامات کنترلی لازم صور بگیرد تا حوادث و هزینه‌ها کاهش یابد، تولید و بهره‌وری بیشتر شود و رضایت شغلی افزایش یابد. باتوجه‌به بررسی‌هایی که در میان مانورچی‌های لکوموتیوهای پروژهٔ تعمیرات و توسعهٔ بهره‌برداری ریلی مپنا صورت گرفته است، مشاهده شد مواردی از حوادث به‌دلیل خطای انسانی در حین فرایند مانور به‌وقوع پیوسته و هزینه‌های هنگفتی برجای گذاشته است. تجزیه‌وتحلیل حوادث در بسیاری از ابعاد نقش مهم مدیریت و نیروهای انسانی را روشن می‌کند. بنابراین، شناسایی انواع خطاهای انسانی و ارزیابی ریسک بروز آن‌ها، اهمیت قابل‌توجهی می‌یابد؛ به‌طوری‌که کم‌کردن خطاهای انسانی هدف اصلی تمامی مدل‌های فاکتورهای انسانی موجود در علل حوادث است [۱۱-۱۳].

براین‌اساس، این مطالعه با هدف شناسایی و ارزیابی خطای انسانی مانورچی لکوموتیوها در پروژهٔ مرتبط با تعمیرات و توسعهٔ بهره‌برداری ریلی طراحی و اجرا شده است.

روش‌کار

مطالعهٔ حاضر یک پژوهش مقطعی است که برای شناسایی و ارزیابی خطاهای انسانی مانورچی‌های لکوموتیوها در محدودهٔ خطوط مانور به‌منظور تنظیم و تفکیک قطارها (مانور) شامل خط هشت واگن‌خانه، خط سوخت، کارخانه‌های اساسی و پل متحرک/ سینی دوار در پروژهٔ تعمیرات و توسعهٔ بهره‌برداری ریلی مپنا در سایت راه‌آهن تهران در سال ۱۳۹۸ انجام شده است. با مشاهدهٔ وظایف مختلف و نیز مصاحبه با سرمانورچی‌ها و مانورچی‌های لکوموتیوها، دو وظیفهٔ اصلی شامل جابه‌جاکردن لکوموتیو و تغییر جهت آن به‌عنوان حیطهٔ موردمطالعه انتخاب شد. سپس شناسایی و ارزیابی انواع خطاهای انسانی مطابق با دستورالعمل تکنیک SHERPA صورت گرفت.

تکنیک SHERPA

رویکرد پیش‌بینی و کاهش نظام‌مند خطای انسانی (SHERPA)[1] یکی از معتبرترین تکنیک‌های پیش‌بینی و شناسایی خطاهای انسانی است که در سال ۱۹۸۶ توسط Embrey ابداع شد و توسعه یافت. این تکنیک از برنامه‌ای حساب‌شده با جریان عادی پرسش و پاسخ مبتنی بر رده‌بندی خطاهای انسانی برخوردار است و خطاهای مشابه را در هر مرحله از فرایند تجزیه‌وتحلیل وظیفهٔ شغلی تشخیص می‌دهد. Stanton و Baber در مطالعهٔ خود آمار اعتبار و قابلیت اطمینان این روش را به‌ترتیب ۰/۸ و ۰/۹ اعلام کردند. این تکنیک به پیش‌بینی خطای انسانی، ارزیابی و شناسایی راه‌حل‌های کاهش خطاها بر مبنای رفتار می‌پردازد [۱۵-۱۴، ۷]. این روش در طراحی‌ها و ارزیابی سیستم‌های انسان-ماشین و پیش‌بینی و کنترل خطاهای انسانی در صنایع نفت و پتروشیمی و گاز و نیروگاه‌های هسته‌ای و برق و دیگر صنایع کاربرد دارد. در این روش، از تحلیل سلسله‌مراتبی وظیفه (HTA)[2] به همراه رده‌بندی خطاها استفاده می‌شود. بنابراین، مراحل انجام‌وظیفه در رفتارهای کاربر تجزیه‌وتحلیل شده و انواع خطاهای ذکرشده در آن مشخص می‌شود. سپس عواقب و پیامدهای بروز خطا، میزان احتمال وقوع و بحرانی‌بودن خطا تعیین و درنهایت راهکار کنترلی پیشنهاد می‌شود. این تکنیک به پیش‌بینی خطای انسانی، ارزیابی و شناسایی راه‌حل‌های کاهش خطاها بر مبنای رفتار می‌پردازد و در تعیین خطاهای انسانی در مواردی مانند حمل‌ونقل مواد خطرناک، اکتشاف گاز و نفت، کابین خلبان و ماشین بلیت‌دهنده به‌کار رفته است [۷]. چک‌لیست انواع خطای انسانی در روش SHERPA در جدول ۱ ارائه شده است.

جدول ۱. چک‌لیست انواع خطای انسانی در روش SHERPA

نوع خطا	شناسهٔ خطا	توصیف
عملکردی	A1	عمل خیلی زود/ دیر انجام شود.
	A2	عمل موردنظر بی‌موقع انجام شود.
	A3	عمل موردنظر در جهت اشتباه انجام شود.
	A4	عمل کمتر/ بیش‌ازحد الزام انجام شود.
	A5	عمل تغییر انجام می‌شود.
	A6	عمل صحیح روی گزینهٔ اشتباه انجام شود.
	A7	عمل اشتباه روی گزینهٔ صحیح انجام شود.
	A8	انجام عمل موردنظر فراموش شود.
	A9	عمل، ناقص انجام می‌شود.
	A10	عمل اشتباه روی گزینهٔ اشتباه انجام می‌شود.
چک/ بررسی	C1	بررسی فراموش می‌شود.
	C2	بررسی ناقص انجام می‌شود.
	C3	بررسی صحیح روی گزینهٔ اشتباه انجام می‌شود.
	C4	بررسی اشتباه روی گزینهٔ صحیح انجام می‌شود.
	C5	بررسی در زمان نامناسب انجام می‌شود.
	C6	بررسی اشتباه روی گزینهٔ اشتباه انجام شود.
بازیابی	R1	اطلاعات لازم دردسترس نیست.
	R2	اطلاعات به‌صورت اشتباه ارائه شده است.
	R3	بازیابی اطلاعات ناقص انجام می‌شود.

[1] Systematic Human Error Reduction & Prediction Approach

[2] Hierarchical Task Analysis

نوع خطا	شناسهٔ خطا	توصیف
ارتباطی	I1	تبادل اطلاعات صورت نمی‌گیرد.
	I2	اطلاعات اشتباه تبادل می‌شود.
	I3	تبادل اطلاعات به‌طور ناقص انجام می‌گیرد.
انتخاب	S1	انتخاب حذف می‌شود.
	S2	انتخاب اشتباه انجام می‌شود.

مراحل اجرای مطالعه

مرحلهٔ اول: تحلیل سلسله‌مراتبی وظیفه (HTA)

ساختار تحلیل سلسله‌مراتبی به‌گونه‌ای است که شغل مانورچی به جزئیات و مرتبه‌های لازم برای انجام آن تجزیه شده است. در این روش، وظایف به زیروظیفه‌ها شکسته شده است و تا آنجا ادامه یافته که دیگر زیروظیفه‌ای از آن وظایف باقی نمانده است. در این پژوهش، دو وظیفهٔ اصلی جابه‌جاکردن لکوموتیو و تغییر جهت لکوموتیو تعیین و سپس هرکدام به زیروظایف خود تقسیم شده‌اند.

مرحلهٔ دوم: طبقه‌بندی وظیفه

هر مرحله از کار از پایین‌ترین سطح تحلیل برای طبقه‌بندی خطا در پنج گروه عملکردی، بازیابی، انتخاب، بررسی/ چک و ارتباط/ تبادل اطلاعات درنظر گرفته شد.

مرحلهٔ سوم: شناسایی خطای انسانی

در این مرحله، خطاهای احتمالی در یک وظیفهٔ منتخب براساس طبقه‌بندی وظایف انجام‌شده در مرحلهٔ دوم و با استفاده از چک‌لیست انواع خطاهای انسانی در روش **SHERPA** شناسایی شد (جدول ۱).

مرحلهٔ چهارم: تحلیل نتایج

بررسی و ارزیابی پیامدهای هریک از خطاها روی سیستم در این مرحله صورت می‌گیرد. بنابراین، شرح کاملی از نتایج خطاهای شناسایی‌شده از مرحلهٔ قبل در این مرحله ارائه شد.

مرحلهٔ پنجم: تحلیل بازیابی

در این مرحله، پتانسیل سیستم برای پوشش و کنترل خطاهای شناسایی‌شده بررسی شد.

مرحلهٔ ششم: آنالیز احتمال خطا

در این مرحله، احتمال رخداد یک خطا با توجه به ماتریس ریسک گروه مپنا تعیین شد. در این ماتریس احتمال وقوع خطا در ۵ سطح **A-E** و فاکتور شدت نیز در ۶ سطح ۵-۰ طبقه‌بندی و مشخص شده است.

مرحلهٔ هفتم: تحلیل بحرانیت

میزان شدت خسارات ناشی از خطای انسانی با توجه به ماتریس ریسک گروه مپنا تعیین، و از تلفیق آن با احتمال رخداد خطا، سطح ریسک مربوط مشخص شد.

مرحلهٔ هشتم: تحلیل راهکارهای اصلاحی

در این مرحله، راهکارهای کاهش خطا ارائه شد و مواردی که با پیشنهاد آن‌ها می‌شود از بروز خطا تا حدی پیشگیری کرد، مطرح شد.

یافته‌ها

با تحلیل سلسله‌مراتبی وظایف مربوط به مانورچی با مشاهدهٔ وظایف مختلف و نیز مصاحبه با سرمانورچی‌ها و مانورچی‌های لکوموتیوها، دو وظیفهٔ اصلی جابه‌جاکردن لکوموتیو (۳ وظیفهٔ فرعی) و تغییر جهت لکوموتیو (۲ وظیفهٔ فرعی) شناسایی شد و زیروظایف هرکدام به تفکیک زیر صورت گرفت:

وظیفهٔ جابه‌جاکردن لکوموتیو تک‌دیزل (گرم): دوازده زیروظیفه شامل دریافت برنامه از سرمانورچی، قرارگیری مانورچی در مجاور دیزل، بازرسی اطراف دیزل (به‌منظور اطمینان از حضورنیافتن افراد درحال‌تردد و بررسی سیستم ترمز از بیرون)، برداشتن کفش خط (در صورت قرارنگرفتن روی چال سرویس/ پل متحرک)، ایستادن روی پلهٔ دیزل، فرمان‌دادن به لکوموتیوران به‌منظور نزدیک‌شدن دیزل به سوزن، پایین‌آمدن از دیزل برای تعویض سوزن، تعویض سوزن، سوارشدن به دیزل، پیاده‌شدن از دیزل، قراردادن کفش خط و اطمینان از ترمزبودن لکوموتیو.

وظیفهٔ جابه‌جاکردن دیزل‌های سرد: چهارده زیروظیفه شامل دریافت برنامه از سرمانورچی، قرارگیری مانورچی در مجاور دیزل، بازرسی اطراف دیزل (به‌منظور اطمینان از حضورنداشتن افراد درحال‌تردد و بررسی چرخ‌ها ازنظر ترمزنبودن)، برداشتن کفش خط (در صورت قرارنگرفتن

روی چال سرویس/ پل متحرک)، ایستادن روی پلهٔ دیزل، فرمان‌دادن به لکوموتیوران به‌منظور نزدیک‌شدن دیزل به لکوموتیو، رفتن مانورچی از زیر تامپون بین دو دیزل، انداختن قلاب، بستن شلنگ ترمز هوا، بیرون‌آمدن از زیر تامپون، بازرسی اطراف دیزل، بالارفتن روی پلهٔ مانوری، تعویض سوزن و اطمینان از ترمزبودن لکوموتیو.

وظیفهٔ جابه‌جاکردن لکوموتیو روی چال سرویس: ده زیروظیفه شامل دریافت برنامه از سرمانورچی، قرارگیری مانورچی در مجاور دیزل، بازرسی اطراف دیزل (به‌منظور اطمینان از حضورنداشتن افراد درحال‌تردد و بررسی سیستم ترمز از بیرون)، ایستادن روی پلهٔ دیزل، فرمان‌دادن به لکوموتیوران به‌منظور قرارگیری روی چال سرویس، پایین‌آمدن از دیزل برای تعویض سوزن، تعویض سوزن، سوارشدن به دیزل، پیاده‌شدن از دیزل و اطمینان از ترمزبودن لکوموتیو.

وظیفهٔ تغییر جهت لکوموتیو تک‌دیزل گرم: پانزده زیروظیفه شامل دریافت برنامه از سرمانورچی، قرارگیری مانورچی در مجاور دیزل، بازرسی اطراف دیزل (به‌منظور اطمینان از حضورنداشتن افراد درحال‌تردد و بررسی سیستم ترمز از بیرون)، ایستادن روی پلهٔ دیزل، فرمان‌دادن به لکوموتیوران به‌منظور نزدیک‌شدن دیزل به لکوموتیو، پایین‌آمدن از دیزل برای تعویض سوزن، تعویض سوزن، هماهنگی مانورچی با مأمور پل متحرک یا سینی دوار به‌صورت حضوری یا بی‌سیم، فرمان حرکت به دیزل برای حرکت روی سینی متحرک یا پل دوار، بررسی مجدد خط موردنظر (از حیث درست‌بودن سوزن و نبودن افراد)، فرمان خارج‌شدن از روی پل متحرک یا سینی دوار، سوارشدن به دیزل، پیاده شدن از دیزل، قراردادن کفش خط و اطمینان از ترمز بودن لکوموتیو.

وظیفهٔ تغییر جهت لکوموتیو دیزل سرد: ۲۳ زیروظیفه شامل دریافت برنامه از سرمانورچی، قرارگیری مانورچی در مجاور دیزل، بازرسی اطراف دیزل، برداشتن کفش خط، ایستادن روی پلهٔ دیزل، فرمان‌دادن به لکوموتیوران به‌منظور نزدیک‌شدن دیزل به لکوموتیو، رفتن مانورچی از زیر تامپون بین دو دیزل، انداختن قلاب، بستن شلنگ ترمز هوا، بیرون‌آمدن از زیر تامپون، بازرسی اطراف دیزل، بالارفتن از پلهٔ مانوری، تعویض سوزن، اطمینان از ترمزبودن لکوموتیو، فرمان حرکت به سمت پل متحرک یا سینی دوار، توقف و پیاده‌شدن پیش از رسیدن به پل متحرک یا سینی دوار، فرمان به حرکت‌دادن دیزل سرد توسط دیزل گرم برای قراردادن روی پل متحرک یا سینی دوار، بریدن لوله‌های هوا و کوپلینگ دو دیزل، فرمان جابه‌جایی به مأمور پل متحرک/ سینی دوار، انجام کوپلینگ مجدد دو دیزل گرم و سرد، بررسی خط موردنظر (از حیث تردد افراد یا صحیح‌بودن سوزن)، بالارفتن از پله‌های مانوری و دستور حرکت به سمت مقصد.

در این مطالعه، ابتدا تحلیل سلسله‌مراتبی (HTA) هریک از وظایف مربوط به مانورچی‌ها مشخص شد و سپس شناسایی خطاهای انسانی زیروظیفه‌ها برای هریک از وظایف صورت گرفت. بنابراین، درمجموع ۲۰۶ خطای انسانی شناسایی شد که از این تعداد ۴۸/۵درصد از نوع خطای عملکردی، ۳۹/۸درصد خطای بررسی/ چک، ۰/۰درصد خطای بازیابی، ۱۰/۲درصد خطای ارتباطی و ۱/۵درصد نیز از نوع خطاهای انتخابی طبقه‌بندی شد (جدول ۲).

در وظایف مربوط به فعالیت‌ها به‌ترتیب خطاهای جابه‌جاکردن لکوموتیو روی چال سرویس (۲۹/۶درصد)، تغییر جهت لکوموتیو مربوط به دیزل‌های سرد (۲۲/۸درصد)، جابه‌جاکردن لکوموتیو مربوط به دیزل‌های سرد (۱۷/۵درصد)، تغییر جهت لکوموتیو مربوط به تک‌دیزل گرم (۱۶/۰درصد) و جابه‌جاکردن لکوموتیو مربوط به تک‌دیزل گرم (۱۴/۱درصد) را به خود اختصاص دادند؛ بدین‌ترتیب در میان خطاهای شناسایی‌شده، خطاهای ناشی از جابه‌جایی لکوموتیو مربوط به تک‌دیزل گرم با ۱۴/۱درصد پایین‌ترین خطاها و خطاهای جابه‌جایی لکوموتیو روی چال سرویس با ۲۹/۶درصد بیشترین خطاها بودند (شکل ۱).

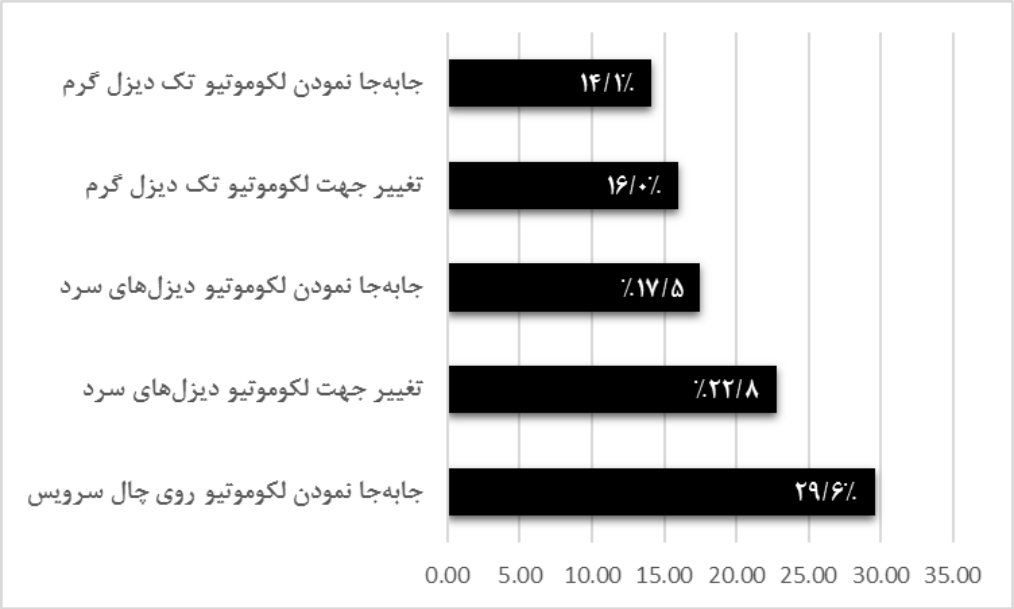
درصد هریک از خطاها به تفکیک وظایف مانورچی در شکل ۲ ارائه شده است. این نتایج نشان می‌دهد که درصد خطای عملکردی در وظایف جابه‌جاکردن لکوموتیو روی چال سرویس، تغییر جهت لکوموتیو دیزل‌های سرد، جابه‌جاکردن لکوموتیو دیزل‌های سرد، تغییر جهت لکوموتیو تک‌دیزل گرم و جابه‌جاکردن لکوموتیو تک‌دیزل گرم به‌ترتیب ۴۹/۰، ۴۳/۰، ۴۴/۰، ۴۸/۰ و ۶۲/۰درصد بوده است.

نتایج ارزیابی ریسک خطاهای پنج‌گانه در تکنیک SHERPA نشان می‌دهد ۲۳/۸درصد از این خطاها در سطح ریسک غیرقابل‌قبول، ۵۱/۰درصد در سطح ریسک ALARP و ۲۵/۲درصد نیز در سطح ریسک قابل‌قبول قرار دارند. همچنین این یافته‌ها نشان می‌دهد بیشترین سهم در خطاهای مربوط به سطوح ریسک غیرقابل‌قبول و ALARP

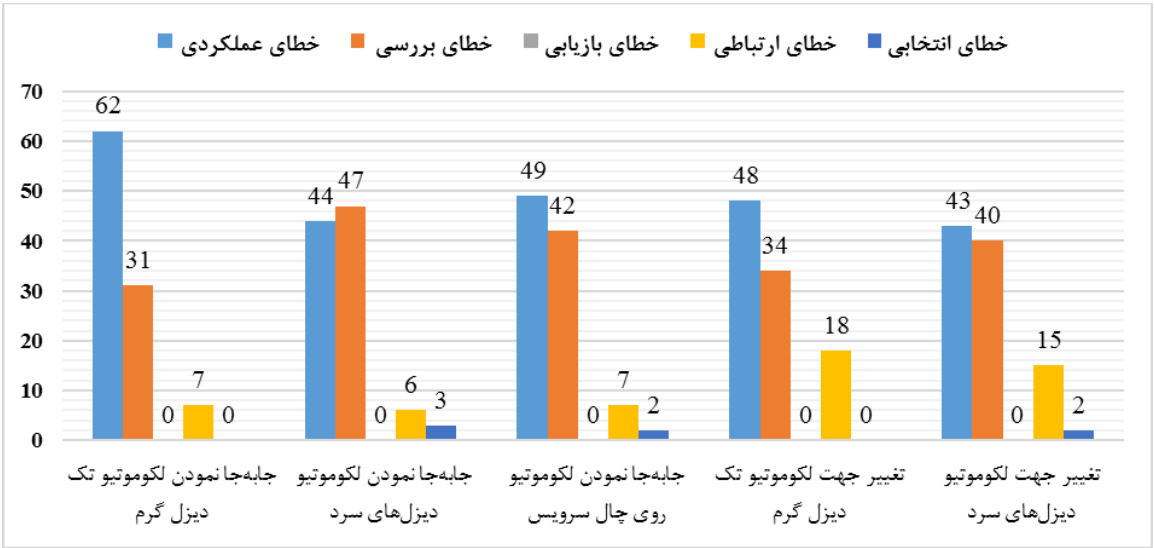
به‌ترتیب مربوط به خطای بررسی/ چک و خطای عملکردی است. نتایج ارزیابی ریسک خطاهای مربوط به ۱۰ زیروظیفهٔ جابه‌جاکردن لکوموتیو روی چال سرویس در جدول ۴ آمده است.

جدول ۲. فراوانی و درصد نوع خطاها

نوع خطا	تعداد	درصد
عملکردی	۱۰۰	۴۸/۵
بررسی	۸۲	۳۹/۸
بازیابی	۰	۰/۰
ارتباطی	۲۱	۱۰/۲
انتخابی	۳	۱/۵



شکل ۱. درصد کلی خطاها براساس وظایف مانورچی‌ها



شکل ۲. درصد خطاها در هریک از وظایف شغلی مانورچی‌ها

جدول ۳. فراوانی و درصد سطح ریسک خطاهای موردمطالعه

سطوح ریسک	تعداد	درصد
قابل‌قبول	۵۲	۲۵/۲
ALARP	۱۰۵	۵۱/۰
غیرقابل‌قبول	۴۹	۲۳/۸

جدول ۴. نتایج ارزیابی ریسک خطاهای مربوط به وظیفهٔ جابه‌جاکردن لکوموتیو روی چال سرویس

زیروظیفه	نوع خطا	احتمال	شدت	شاخص ریسک
دریافت برنامه از سرمانورچی	C4	B	4	4B
قرارگیری مانورچی در مجاور دیزل	C1	D	4	4D
بازرسی اطراف دیزل	A2	D	4	4D
ایستادن روی پلهٔ دیزل	C2	D	4	4D
فرمان‌دادن به لکوموتیوران به‌منظور قرارگیری روی چال سرویس	C1	B	4	4B
پایین‌آمدن از دیزل جهت تعویض سوزن	A6	A	3	3A
تعویض سوزن	A2	C	1	1C
سوارشدن به دیزل	C3	C	1	1C
پیاده‌شدن از دیزل	A7	B	3	3B
اطمینان از ترمزبودن لکوموتیو	C2	B	4	4B

بحث

نتایج مطالعهٔ حاضر نشان می‌دهد روش SHERPA که در صنایع دیگر گسترش یافته است، برای پیش‌بینی خطاهای انسانی در مجموعهٔ مانورچی‌های لوکوموتیوها مناسب است؛ چراکه این روش توانست به‌خوبی خطاهای انسانی مانورچی‌ها را شناسایی و طبقه‌بندی کرده و نواقص و کاستی‌های نهان سیستم را آشکار کند [۷، ۱۶-۱۷]. مطالعه‌ای که برای شناسایی خطای انسانی کابین خلبان به سه روش SHERPA, HEIST و HUMAN HAZOP صورت گرفت، روش SHERPA را در شناسایی و طبقه‌بندی خطا و همچنین قابلیت شناسایی خطاهای پنهان بهتر از دو روش دیگر بیان کرد. همچنین استفاده از روش SHERPA را برای ارزیابی خطاهای انسانی سیستم‌های انسان-ماشین پیشنهاد کرد [۱۸]. در مطالعه‌ای دیگر که با استفاده از روش SHERPA به شناسایی و پیش‌بینی خطاهای انسانی ممکن در طراحی کابین خلبان پرداخته شد، روایی و پایایی به‌ترتیب ۰/۷ و ۰/۹ گزارش شد [۱۹]. پیش‌ازاین نیز در مطالعه‌ای پایایی و روایی آماری روش SHERPA به‌ترتیب ۰/۸ و ۰/۹ توسط دو متخصص برای پیش‌بینی خطاهای استفاده از ماشین خودکار بلیت‌دهنده گزارش شد [۲۰]. براساس همهٔ این مطالعات، به‌کاربردن این روش در طراحی‌ها و ارزیابی سیستم‌های انسان-ماشین برای پیش‌بینی و کنترل خطاهای انسانی کارایی بالایی داشته است [۷، ۱۵-۱۷، ۱۹].

یافته‌های ارزیابی خطای انسانی با استفاده از تکنیک SHERPA در مطالعهٔ حاضر بیانگر این بود که عمده‌ترین میزان خطاهای شناسایی‌شده از نوع عملکردی (۴۸/۵درصد) است که با مطالعات قبلی که در این زمینه در ایران انجام گرفته است، همخوانی داشت [۱۶، ۲۱]. Mirzaei aliabadi و همکاران در شناسایی و ارزیابی خطای انسانی در آتش باری معدن سنگ‌آهن با استفاده از تکنیک SHERPA نشان دادند ۵۵/۰درصد خطاهای شناسایی‌شده از نوع عملکردی است [۱۶]. Mohammadfam و Saeidi

در ارزیابی خطاهای انسانی در فرایند جراحی آب‌مروارید چشم با استفاده از تکنیک SHERPA گزارش کردند، خطای عملکردی بیش از نیمی از خطاهای شناسایی‌شده (۵۰/۹۴درصد) را شامل می‌شود [۷]. براساس یافته‌های این مطالعه و نتایج مطالعات دیگر، برای رفع این مسئلهٔ مهم استفاده از دستورالعمل و روش اجرایی می‌تواند مؤثر باشد، همچنین ایجاد بستر فرهنگی مناسب برای انجام کار براساس دستورالعمل‌های کاری ایمن از راهکارهای حذف یا کاهش این نوع خطاهاست.

فرمان‌دادن اشتباه یا ناقص مانورچی به لکوموتیوران توسط بی‌سیم در حین انداختن قلاب (کوپلینگ) از خطاهای انسانی با سطح ریسک ALARP در این مطالعه بود. تبادل اطلاعات صحیح در کاهش میزان احتمال خطای انسانی بسیار مؤثر است. بنابراین، سیستم‌های تبادل اطلاعاتی نقش مهمی را در این امر ایفا می‌کنند. ازآنجاکه براساس مشاهدات و یافته‌های شناسایی و ارزیابی خطای انسانی در این مطالعه، تجهیزات ارتباطی به‌کاررفته دارای نقص فنی بودند و سبب ارتباطات مبهم بین مانورچی‌ها و لکوموتیورانان می‌شدند، با تعویض بی‌سیم‌های معیوب و استفاده از بی‌سیم‌های باکیفیت، برقراری ارتباطات می‌تواند به سهولت و با سرعت، دقت و کیفیت بهتر انجام شود و نرخ بروز خطای انسانی و درنتیجه حوادث ناشی از خطاهای انسانی را کاهش دهد.

نتایج حاصل از ارزیابی داده‌های مطالعه نشان می‌دهد، خطاهای وظایف جابه‌جاکردن لکوموتیو روی چال سرویس و تغییر جهت لکوموتیو مربوط به دیزل‌های سرد، بیشترین سطح ریسک غیرقابل‌قبول را دارند. مطابق نتایج تکنیک SHERPA ازجمله علل خطاهایی با سطح ریسک غیرقابل‌قبول شامل نداشتن دید کافی مانورچی و لکوموتیوران (مغایرت داشتن تعداد افراد دستهٔ مانوری با آنچه در مقررات عمومی عنوان شده است)، بازبودن پل انتهای دیزل (در دیزل‌های زیمنس و استیم‌ها) و چک‌نکردن مانورچی در حین کوپلینگ، نبود یا اختلال در بی‌سیم در حین انداختن قلاب (کوپلینگ)، نبود نور کافی در حین جابه‌جایی در سطح سایت و خارج‌شدن از قلاب به‌دلیل اتصال‌نیافتن لولهٔ هوای ترمز حین جابه‌جایی در دیزل سرد شناسایی شد. براساس نتایج به‌دست‌آمده، کنترل خطاهای بررسی/ چک (بیشترین درصد خطاهای با سطح ریسک غیرقابل‌قبول) و خطاهای عملکردی (بیشترین درصد خطاهای با سطح ریسک ALARP) باید در اولویت قرار بگیرند.

برخی از راهکارهای کنترل و کاهش میزان ریسک بروز خطای انسانی که در محیط مطالعه مطرح و به آن توجه شده، عبارت است از: آموزش و برگزاری جلسات کاری به‌منظور شناسایی و ارائهٔ راهکارهای عملی (TBM)[3] برای مانورچیان و لکوموتیورانان با هدف بررسی سیستم‌های راهبری پیش از اقدام به حرکت، تدوین دستورالعمل و روش اجرایی برای فعالیت‌های حوزهٔ مانور، به‌کارگیری نفرات مختلف برای هر دستهٔ مانوری مطابق قوانین عمومی، تعویض بی‌سیم‌های معیوب و استفاده از بی‌سیم‌های باکیفیت، درنظرگرفتن افراد با شرایط جسمانی متناسب حین کار در چال سرویس، انتخاب افراد دارای دقت و هوش بالاتر، نصب علائم ایمنی و هشداری، بهسازی محیط راه‌آهن، اتصال خطوط مانوری به حسگر و اتاق کنترل، شناسایی نقاط خطرناک شکستگی‌های خطوط و اصلاح این شکستگی‌ها، قراردادن دوربین جلوی دیزل‌ها به همراه مانیتور برای لکوموتیوران، طراحی جایگاه مناسب مانور در لکوموتیو زیمنس، بررسی عملکرد تجهیزات توسط واحد نظارت و کنترل کیفیت، نصب روشنایی مناسب (دکل نوری) و طراحی جایگاه ایمن و نصب حفاظ روی سکو [۲۲، ۹].

نتیجه‌گیری

این پژوهش اولین مطالعه در زمینهٔ بررسی خطاهای انسانی مانورچی‌های لکوموتیوها در سایت راه‌آهن تهران با استفاده از تکنیک SHERPA است. با توجه بـه پیامدهای ناگوار بروز خطاهای انسانی مانورچی‌ها در حین جابه‌جایی لکوموتیوها، توجـه بـه نتایج این مطالعه می‌تواند در جلوگیری از بروز خطای انسانی در فرایند مانور مؤثر باشد. با توجه به نتایج به‌دست‌آمده در حین انجام روش مطالعه، فاکتورهای تأثیرگذار بر خطای انسانی مانورچی‌ها در سایت راه‌آهن تهران را می‌توان در چهار شاخص برنامه‌ریزی، شرایط فیزیکی، پارامترهای روانی و مهندسی طبقه‌بندی کرد. فاکتورهای شاخص برنامه‌ریزی شامل چیدمان نامناسب لکوموتیو، نبود دستورالعمل ایمنی و فنی اجرایی مانور، کمبود نیروی کار، کمبود زمان در جابه‌جایی لکوموتیو، نامشخص‌بودن شرح شغل، متناسب‌نبودن برخی مقررات با فعالیت‌های رایج و تعمیرات است. فاکتورهای شاخص فیزیک شامل شرایط فیزیکی ناایمن محیط کار، شرایط فیزیولوژیکی کارکنان مانور و کمبود علائم ایمنی در محیط کار، فاکتورهای شاخص روانی شامل استرس روانی، فشار کاری بالا، احساس راحتی در انجام کار به شیوه‌ای غیر از استانداردهای ایمنی و فنی، نبود انگیزهٔ کافی در محیط کار (رفاهی-مالی)، ویژگی‌های شخصیتی منفی و فاکتورهای شاخص مهندسی شامل نقص در تجهیزات ارتباطی، نقص در طراحی جایگاه مانور لکوموتیو، نقص فنی لکوموتیو حین حرکت و تفاوت در الزامات فنی لکوموتیوهای متفاوت است.

تقدیر و تشکر

این مقاله برگرفته از پایان‌نامهٔ کارشناسی ارشد رشتهٔ مدیریت بهداشت، ایمنی و محیط‌زیست (HSE) در دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران مرکزی است. نویسندگان مراتب

[3]. Tool Box Meeting

قدردانی خود را از معاونت پژوهش این دانشگاه و همچنین مدیریت HSE، متخصصان شرکت‌کننده در مطالعه و کارکنان پروژهٔ تعمیرات و توسعهٔ بهره‌برداری ریلی مپنا اعلام می‌کنند.

تعارض منافع

بین نویسندگان هیچ‌گونه تعارضی در منافع وجود ندارد.

منابع مالی

منابع مالی این مطالعه توسط نویسندگان تامین شده است.

References

1. Abbassinia M, Kalatpour O, Motamedzade M, Soltanian A, Mohammadfam I. The application of lean production in reducing human error and improving response in emergencies: A case study in a petrochemical industry. Iran J Ergon. ISSN. 2020 Jun 10;2345:5365.
2. Zameni F, Soltanzadeh A, Nasiri P. Designing a conceptual model for the relationship between shift work, job stress, job satisfaction and health: A case study in petrochemical industry. Iran J Ergon. 2018 Oct 31;6(2):64-70. [DOI:10.30699/jergon.6.2.64]
3. Amiri Ebrahimabadi A, Soltanzadeh A, Ghiyasi S. Analysis of Occupational Accidents Based on the Human Factors Analysis and Classification System (HFACS): A Case Study in a Copper Mine. Iran J Ergon. 2020 May 10;8(1):12-20. [DOI:10.30699/jergon.8.1.12]
4. Ghasemi F, Kalatpour O, Moghimbeigi A, Mohammadfam I. Selecting strategies to reduce high-risk unsafe work behaviors using the safety behavior sampling technique and Bayesian network analysis. Res. J. Med. Sci . 2017;17(1):372.
5. Mohammadfam I, Eskandari T, Farokhzad M. Evaluation and Analysis of Human Error in the Use of Equipment Using PUEA Technique and Fuzzy Logic. Iran J Ergon. 2018 Oct 10;6(3):21-32. [DOI:10.30699/jergon.6.3.3]
6. Babamiri M, Ghasemi F, Heidari Moghadam R, Derakhshan J, Karimi M. Investigating the working Conditions Using the ILO Checklist Based on the Interventional Approach of Participatory Ergonomics and its Impact on the Quality of Working Life and Musculoskeletal Disorders. Iran J Ergon. 2018 Mar 10;5(4):49-55. [DOI:10.30699/jergon.5.4.49]
7. Mohammadfam I, Saeidi C. Evaluating human errors in cataract surgery using the SHERPA technique. Iran J Ergon. 2015;2(4):41-7.
8. Evans M, He Y, Maglaras L, Janicke H. HEART-IS: A novel technique for evaluating human error-related information security incidents. J. Comput. Secur. 2019 Jan 1;80:74-89. [DOI:10.1016/j.cose.2018.09.002]
9. Zhou JL, Lei Y, Chen Y. A hybrid HEART method to estimate human error probabilities in locomotive driving process. Reliab. Eng. Syst. Saf. 2019 Aug 1;188:80-9. [DOI:10.1016/j.ress.2019.03.001]
10. Reinach S, Viale A. Application of a human error framework to conduct train accident/incident investigations. Accid Anal Prev. 2006 Mar 1;38(2):396-406. [DOI:10.1016/j.aap.2005.10.013] [PMID]
11. Morais C, Moura R, Beer M, Patelli E. Analysis and estimation of human errors from major accident investigation reports. ASCE-ASME J Risk Uncert Engrg Sys Part B Mech Engrg. 2020 Mar 1;6(1). [DOI:10.1115/1.4044796]
12. Mohammadfam I, Movafagh M, Soltanian A, Salavati M, Bashirian S. Identification and evaluation of human errors among the nurses of coronary care unit using CREAM techniques. Iran J Ergon. 2014 Jun 10;2(1):27-35.
13. Ghasemi F, Mirzaei M, Mahdinia M, Darvishi E, Shahidi R. The role of personal commitment to safety in shaping safety performance of front-line employees: a case study in small manufacturing industries. Iran J Ergon. 2018 Sep 10;6(2):16-23. [DOI:10.30699/jergon.6.2.16]
14. Embrey DE. SHERPA: A systematic human error reduction and prediction approach. InProceedings of the international topical meeting on advances in human factors in nuclear power systems 1986.
15. Embrey D. Application of SHERPA to predict and prevent use error in medical devices. InProceedings of the International Symposium on Human Factors and Ergonomics in Health Care 2014 Jun (Vol. 3, No. 1, pp. 246-253). Sage CA: Los Angeles, CA: SAGE Publications.
16. Mirzaei aliabadi M, Mohammad fam I, Karimi S. Identification and assessment of human errors in blasting operations in Iron Ore Mine using SHERA technique. J. Occup. Hyg. Eng. 2015;2(1):57-65.
17. Ghasemi A, Atabi F, Golbabaei F. Human Error Classification for the Permit to Work System by SHERPA in a Petrochemical Industry. J. Occup. Hyg. Eng. 2015 Dec 10;2(3):66-73.
18. Stanton NA, Baber C. Validating task analysis for error identification: reliability and validity of a human error prediction technique. Iran J Ergon. 2005 Jul 15;48(9):1097-113. [DOI:10.1080/00140130500219726] [PMID]

19. Harris D, Stanton NA, Marshall A, Young MS, Demagalski J, Salmon P. Using SHERPA to predict design-induced error on the flight deck. Aerosp Sci Technol. 2005 Sep 1;9(6):525-32. [DOI:10.1016/j.ast.2005.04.002]

20. Stanton NA, Hedge A, Brookhuis K, Salas E, Hendrick HW, editors. Handbook of human factors and ergonomics methods. CRC press; 2004 Aug 30. [DOI:10.1201/9780203489925]

21. Mortazavi Sb, Mahdavi S, Asilian H, Arghami S, Gholamnia R. Identification and assessment of human errors in srp unit of control room of tehran oil refinery using heist technique (2007).

22. Baysari MT, Caponecchia C, McIntosh AS, Wilson JR. Classification of errors contributing to rail incidents and accidents: A comparison of two human error identification techniques. Saf. Sci. 2009 Aug 1;47(7):948-57. [DOI:10.1016/j.ssci.2008.09.012]