Journal of Health and Safety at Work 2025; 15(3): 627-650

ORIGINAL RESEARCH PAPER

Investigation of Human Factors Contributing to Accidents and Unsafe Acts of Employees and Their Prioritization Using HFACS, DEMATEL, and ANP Methods: A Case Study in the Rebar Production Unit of a Steel Manufacturing Company

Farnaz Asghari, Rasoul Hemmatjou, Abolfazl Ghahramani*

Department of Occupational Health, Faculty of Health, Urmia University of Medical Sciences, Urmia, Iran

Received: 4/3/2025 Accepted: 20/9/2025

ABSTRACT

Introduction: Unsafe acts are one of the main causes of workplace accidents. Given the critical role of the steel industry in our country, and the limited research on human factors, and the importance of identifying the contributors to accidents, this study was conducted with the aim of identifying human factors influencing accidents and unsafe behaviors using the Human Factors Analysis and Classification System (HFACS). The identified factors were then prioritized using the Decision-Making Trial and Evaluation Laboratory (DEMATEL) and Analytic Network Process (ANP) methods. Based on the results, appropriate recommendations were proposed for the prevention of accidents and the reduction of unsafe acts.

Material and Methods: This descriptive-analytical study was carried out in the rebar production unit of a steel manufacturing plant. Among 35 recorded accidents over the past two years, 28 were related to the rebar production unit. Data were collected through review of accident reports, seven on-site observations during high-risk shifts, and interviews with employees. After analyzing the occupational accidents, the rebar production process in the rolling unit was identified as a high-risk area. The HFACS checklist was used to assess this process and classify the human factors contributing to accidents. Subsequently, DEMATEL and ANP methods were applied to determine causal relationships and prioritize the factors.

Results: The HFACS analysis identified 236 human factors, among which the preconditions for unsafe acts and organizational factors had the highest frequency (24.57% each), while external factors had the lowest (8.47%). According to DEMATEL results, organizational influences exerted the greatest impact on other levels, whereas external factors had the least effect. In terms of being influenced by other levels, unsafe acts showed the highest level of susceptibility, whereas unsafe supervision had the lowest levels. Based on ANP findings, the preconditions for unsafe acts had the highest importance, while unsafe supervision had the lowest in contributing to unsafe acts.

Conclusion: The findings of this study suggest that improving safety culture, improving organizational regulations, implementing targeted training programs, and updating equipment can play a significant role in reducing accidents caused by unsafe acts. The results provide practical insights for managers and policymakers and can serve as a useful tool for decision-making in occupational health and safety within the steel industry.

Keywords: *HFACS, human error, unsafe acts, DEMATEL, ANP, Steel*

HOW TO CITE THIS ARTICLE

Asghari F., Hemmatjou R., Ghahramani A. Investigation of Human Factors Contributing to Accidents and Unsafe Acts of Employees and Their Prioritization Using HFACS, DEMATEL, and ANP Methods: A Case Study in the Rebar Production Unit of a Steel Manufacturing Company. J Health Saf Work. 2025; 15(3): 627-650.

* Corresponding Author Email: *ghahramani@umsu.ac.ir*

Copyright © 2025 The Authors.
Published by Tehran University of Medical Sciences

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International license (https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/). Non-commercial uses of the work are permitted, provided the original work is properly cited.

[Downloaded from jhsw.tums.ac.ir on 2026-05-14]

1. INTRODUCTION

The advancement of industrial work systems has been accompanied by a rise in occupational accidents, presenting a major challenge to modern societies through significant human and economic costs. Addressing these incidents requires a focused effort on improving workplace conditions by applying safety and ergonomic principles, specifically by understanding and mitigating unsafe acts. Identifying human factors is therefore a fundamental step in job optimization, productivity enhancement, and accident prevention.

The Human Factors Analysis and Classification System (HFACS) is one of the most practical models for this purpose. The HFACS roots in Reason's Swiss cheese model and provides a structured method for analyzing the human errors behind industrial accidents. However, a primary drawback of HFACS is its qualitative nature, as it depends on expert judgment and lacks the ability to quantify the influence of different factors. To address this, Multi-Criteria Decision-Making (MCDM) techniques such as the Decision-Making Trial and Evaluation Laboratory (DEMATEL) and Analytic Network Process (ANP) methods can be integrated with HFACS. These methods use pairwise comparisons to analyze the complex causal relationships between factors and assign them quantitative weights. This hybrid model is especially suited to hazardous environments like the steel industry, where a precise understanding of human factors is crucial for preventing accidents with potentially irreparable consequences. Accordingly, this study was conducted with the aim of identifying human factors influencing accidents and unsafe behaviors using the Human Factors Analysis and Classification System (HFACS) in a rebar production unit of a steel manufacturing company. The identified factors were then prioritized using the Decision-Making Trial and Evaluation Laboratory (DEMATEL) and Analytic Network Process (ANP) methods. Based on the results, appropriate recommendations were proposed for the prevention of accidents and the reduction of unsafe acts.

2. MATERIAL AND METHODS

This study began by forming a survey team comprising safety and health experts, technical inspectors, and supervisors. In consultation with this team, we reviewed accident reports from the last two years (2023-2024). From a total of 35 recorded incidents, 28 were linked to the rebar production process, leading to the selection of the rolling unit's rebar production for further analysis.

Data was collected through seven structured observations of the afternoon rebar production shift—a period with the highest accident frequency—as well as interviews conducted with workers, supervisors, and engineers. The human factors contributing to these accidents were then identified and classified using the HFACS checklist. While HFACS is based on expert judgment, its key limitation is an inability to quantify the influence of these factors. This drawback was addressed by employing MCDM methods.

This study utilized the DEMATEL and ANP methods to quantify the factors identified in the HFACS checklist. The DEMATEL technique was first applied to model the complex causal relationships between the five HFACS-level indicators. A questionnaire capturing these relationships through pairwise comparisons was completed by a panel of six experts. The ANP method was then used to establish weightings for the factors, reflecting their relative importance and internal correlations. A second questionnaire was developed based on the HFACS structure (levels and sub-levels) and distributed to ten experts. The data from this questionnaire were analyzed using Super Decision software to perform the ANP calculations and determine the final weights.

3. RESULTS AND DISCUSSION

As noted in this study, 28 incidents associated with the rebar production process were analyzed. Of these, 13 occurred during the evening shift and 7 during the night shift. In terms of location, 10 incidents took place in the roughing section and another 10 during the rebar packaging stage. Carelessness was identified as the most common cause. Through seven observational sessions and repeated discussions with workers, supervisors, and engineers, 236 contributing factors were identified and classified using the HFACS framework. An initial frequency analysis of these errors revealed the following order of impact on human accidents and error occurrence: organizational factors and preconditions for unsafe acts (24.57%), unsafe acts (24.15%), unsafe supervision (18.22%), and external factors (8.47%) (See Table 1 for details).

The application of the DEMATEL method provided further insight into the causal relationships between these levels. The results of the DEMATEL

[Downloaded from jhsw.tums.ac.ir on 2026-05-14]

Table 1: Frequency and percentage of human factors in various activities based on the HFACS method

Levels	Percentage	Sub levels	Percentage
Unsafe acts	24.15	Skill-based errors	**5.50**
		Decision errors	**4.6**
		Perceptual errors	**2.50**
		Routine violations	**3.81**
		Situational violations	**3/38**
		Exceptional violations	**4.20**
Preconditions for unsafe acts	24.57	Adverse mental state	**7.20**
		Adverse physiological state	**2.90**
		Physical and mental limitation	**3.38**
		Crew resource management	**0.84**
		Personal readiness	**0.84**
		Physical environment	**4.60**
		Technological environment	**4.60**
Unsafe supervision	18.22	Inadequate supervision	**4.60**
		Planned inappropriate operations	**6.35**
		Failed to correct problem	**2.11**
		Supervisory violations	**5.08**
Organizational factors	24.57	Resource management	**6.35**
		Organizational climate	**6.35**
		Organizational processes	**8.47**
		Change Management	**3.38**
External factors	8.47	Regulatory regulations	**6.77**
		Economic/political/social/legal environment	**1.69**

Table 2: Determining the hierarchy of human factors based on the DEMATEL method

Criteria name	Value R	Value J	Value R+J	Value R-J
Unsafe acts	0.76	1.87	2.63	**-1.11**
Preconditions for unsafe acts	1.14	1.18	2.32	**-0.04**
Unsafe supervision	1.30	1.09	2.93	**0.21**
Organizational factors	1.37	0.71	2.08	**0.66**
External factors	0.36	0.08	0.45	**0.28**

analysis revealed that the organizational factors had the greatest causal influence on other levels (R-J = 0.66). In contrast, the level of external factors exhibited the least influence on other levels, while the level of unsafe acts was the most susceptible to influence from other levels (R+J = 2.63) (Table 2).

The final weighted rankings from the ANP analysis revealed that the main indicators contributing to unsafe acts, in descending order of importance, were: preconditions for unsafe acts, unsafe acts themselves, external factors, organizational factors, and supervisory factors. Furthermore, the analysis of the 23 sub-indices showed that supervision regulations held the highest priority, whereas exceptional violations had the lowest (Table 3).

[Downloaded from jhsw.tums.ac.ir on 2026-05-14]

Table 3: Weighted ranking of main criteria and sub- criteria in HFACS based on the ANP method

rank	Criteria	Weight	Sub-Criteria	scale
1	Preconditions for unsafe acts	0.28	Adverse mental state	**0.18**
			Physical and mental limitation	**0.15**
			Technological environment	**0.14**
			Adverse physiological state	**0.14**
			Crew resource management	**0.13**
			Physical environment	**0.12**
			Personal readiness	**0.12**
2	Unsafe acts	0.20	Skill-based errors	**0.20**
			Situational violations	**0.18**
			Decision errors	**0.18**
			Routine violations	**0.15**
			Perceptual errors	**0.14**
			Exceptional violations	**0.13**
3	External factors	0.18	Regulatory regulations	**0.80**
			Economic/political/social/legal environment	**0.20**
4	Organizational factors	0.17	Resource management	**0.34**
			Organizational processes	**0.23**
			Organizational climate	**0.21**
			Change Management	**0.20**
5	Unsafe supervision	0.16	Supervisory violations	**0.31**
			Failed to correct problem	**0.24**
			Planned inappropriate operations	**0.23**
			Inadequate supervision	**0.22**

The analysis using the HFACS framework identified the preconditions for unsafe acts level as critically important in the occurrence of accidents and unsafe acts. Within this layer, Individual States—shaped by factors like insufficient motivation, skill gaps, mismatched job assignments, excessive work pressure, and occupational illnesses (e.g., hearing loss, musculoskeletal disorders)—were found to be the most significant contributors.

These individual states were themselves influenced by higher-level organizational factors and inadequate supervision, such as weak management, disregard for employee capacity, poor enforcement of PPE use, and an underdeveloped safety culture. For these reasons, expert assessment via the ANP method confirmed this level's paramount importance.

Similarly, the organizational factors layer was also determined to play a fundamental role. As the deepest and most influential level in the HFACS model, it encompasses organizational processes, resource management, culture, and change management. organizational processes—particularly the use of outdated instructions, unrealistic time pressures, and ill-defined goals—were the most critical factors here. This sub-level was influenced by supervisory failures and, in turn, directly affected the preconditions for occurrence of accidents.

The DEMATEL method confirmed that organizational factors exerted the strongest influence on all other HFACS levels, thereby indirectly driving the incidence of accidents. To mitigate this effect, it is recommended to strengthen the safety culture, redesign management and operational procedures, adopt modern technologies, and integrate organizational ergonomics.

4. CONCLUSIONS

This study applied an integrated HFACS-DEMATEL-ANP framework to analyze the human factors behind incidents in a steel mill's rolling unit. Based on the findings, several key measures can significantly enhance workplace safety. Revising and strengthening supervisory structures by developing clear guidelines and consistently implementing inspection systems is vital for preventing incidents and reducing unsafe acts. Additionally, implementing targeted training programs, especially those using practical simulations, can greatly improve employees' perceptual and decision-making skills during high-risk shifts.

Reinforcing organizational and safety culture is also essential. This can be achieved by establishing

[Downloaded from jhsw.tums.ac.ir on 2026-05-14]

motivational systems, reforming inefficient processes, and fostering a non-punitive reporting culture. The adoption of smart warning and behavior-monitoring systems leveraging Internet of Things (IoT) technology further offers an effective means to predict and prevent high-risk behaviors. Ultimately, applying this integrated methodology to other industrial units could provide valuable insights into the human factors contributing to accidents within high-risk processes.

5. ETHICAL CODE

This study received ethical approval (ethics code: IR.UMSU.REC.1402.230) from the Research Ethics Committee of Urmia University of Medical Sciences.

6. FUNDING

The authors received no financial support for the research, authorship, and/or publication of this article.

[Downloaded from jhsw.tums.ac.ir on 2026-05-14]

فصلنامه بهداشت و ایمنی کار جلد ۱۵/ شماره ۳/ پاییز ۱۴۰۴ صفحات ۶۲۷-۶۵۰

بررسی عوامل انسانی مرتبط با حوادث و اعمال ناایمن کارکنان و اولویت‌بندی آن‌ها با استفاده از روش‌های DEMATEL ،HFACS و ANP: مطالعه موردی در واحد تولید میلگرد یک شرکت فولاد

فرناز اصغری، رسول همت جو، ابوالفضل قهرمانی*

گروه مهندسی بهداشت حرفه‌ای، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی ارومیه، ارومیه، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱۲/۱۴، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۶/۲۹

چکیده

مقدمه: اعمال ناایمن یکی از علل اصلی حوادث محیط کار می‌باشد و با کنترل اعمال ناایمن افراد می‌توان تعداد حوادث را کاهش داد. با توجه به اهمیت صنایع فولادی در کشور ما، کمبود مطالعات در زمینه عوامل انسانی و همچنین لزوم توجه به شناسایی عوامل موثر در بروز حوادث، این مطالعه با هدف شناسایی عوامل انسانی موثر در وقوع حوادث و ایجاد اعمال ناایمن با استفاده از روش سیستم طبقه‌بندی و آنالیز فاکتورهای انسانی (HFACS)[1] و اولویت‌بندی آن‌ها با استفاده از روش‌های ارزیابی و آزمایش تصمیم‌گیری (DEMATEL)[2] و فرایند تحلیلی شبکه‌ای (ANP)[3] انجام شد و پیشنهادات مناسب برای پیشگیری از حوادث و کاهش اعمال ناایمن ارائه شد.

روش کار: پژوهش حاضر به‌صورت توصیفی-تحلیلی در واحد نورد یک کارخانه فولاد انجام شد. از بین ۳۵ حادثه ثبت‌شده در دو سال گذشته، ۲۸ حادثه مرتبط با واحد تولید میلگرد بود. داده‌های مورد نیاز از طریق مرور گزارش‌های حوادث، ۷ مرتبه مشاهده میدانی در شیفت‌های پرحادثه و مصاحبه با کارکنان جمع‌آوری شدند. پس از بررسی حوادث شغلی، فرایند تولید میلگرد در واحد نورد به‌عنوان فرایند پرریسک انتخاب و با استفاده از چک‌لیست HFACS بررسی و عوامل انسانی موثر در ایجاد حوادث طبقه‌بندی شدند. سپس جهت تعیین روابط علّی و اولویت‌بندی آن‌ها از روش‌های DEMATEL و ANP استفاده شد.

یافته ها: نتایج HFACS نشان داد که از ۲۳۶ عامل انسانی شناسایی‌شده، سطوح پیش‌شرایط اعمال ناایمن و عوامل سازمانی هر دو با فراوانی ۲۴/۵۷ درصد بیشترین و عوامل خارجی با فراوانی ۸/۴۷ درصد کمترین تاثیر را در بروز حوادث و ایجاد اعمال ناایمن داشتند. طبق نتایج DEMATEL، عوامل سازمانی بیشترین و عوامل خارجی کمترین تاثیرگذاری را بر سایر سطوح داشته ولی سطوح اعمال ناایمن و نظارت ناایمن به ترتیب بیشترین و کمترین تاثیرپذیری را از سایر سطوح داشتند. طبق نتایج ANP سطوح پیش‌شرایط اعمال ناایمن و نظارت ناایمن به ترتیب بیشترین و کمترین اهمیت را در ایجاد اعمال ناایمن داشتند.

نتیجه گیری: یافته‌های این مطالعه نشان می‌دهد که تمرکز بر ارتقاء فرهنگ ایمنی، اصلاح مقررات سازمانی، آموزش هدفمند و به‌روزرسانی تجهیزات می‌تواند در کاهش حوادث ناشی از اعمال ناایمن مؤثر باشد. نتایج این تحقیق می‌تواند به‌عنوان ابزاری کاربردی در تصمیم‌سازی‌های ایمنی و بهداشت حرفه‌ای در صنایع فولاد مورد استفاده مدیران و سیاست‌گذاران قرار گیرد.

کلمات کلیدی: *HFACS، خطای انسانی، اعمال ناایمن، ANP، DEMATEL، فولاد*

1. Human Factors Analysis and Classification System
2. Decision Making Trial and Evaluation Laboratory
3. Analytical Network Process

* پست الکترونیکی نویسنده مسئول مکاتبه: ghahramani@umsu.ac.ir

[Downloaded from jhsw.tums.ac.ir on 2026-05-14]

مقدمه

پیشرفت‌های وسیع و پیچیدگی فعالیت‌های صنعتی بویژه در دهه‌های اخیر همراه با فشارهای روانی، زمانی و تکنولوژیکی بوده و موجب افزایش تعداد و شدت حوادث شغلی شده است. این حوادث علاوه بر تحمیل خسارات مالی و انسانی، باعث کاهش بهره‌وری و کیفیت در محیطهای کاری می‌شوند. وقوع حوادث شغلی در کارگران آسیب‌دیده منجر به از دست رفتن روزهای کاری، نیاز به مراقبت‌های پزشکی، از دست دادن هوشیاری، محدودیت در انجام فعالیت‌ها و یا حتی تغییر شغل می‌شود (۱ و ۲). این حوادث در هر سال عامل مرگ بیش از ۵۰۰ هزار نفر و آسیب بیش از ۳۰۰ میلیون نفر در سراسر جهان بوده است. مطالعات علمی متعددی نشان داده‌اند که بیش از ۸۰ درصد حوادث شغلی ناشی از رفتارهای ناایمن کارکنان و خطاهای انسانی است که ریشه در عوامل فردی، سازمانی و سیستمی دارند (۳-۵).

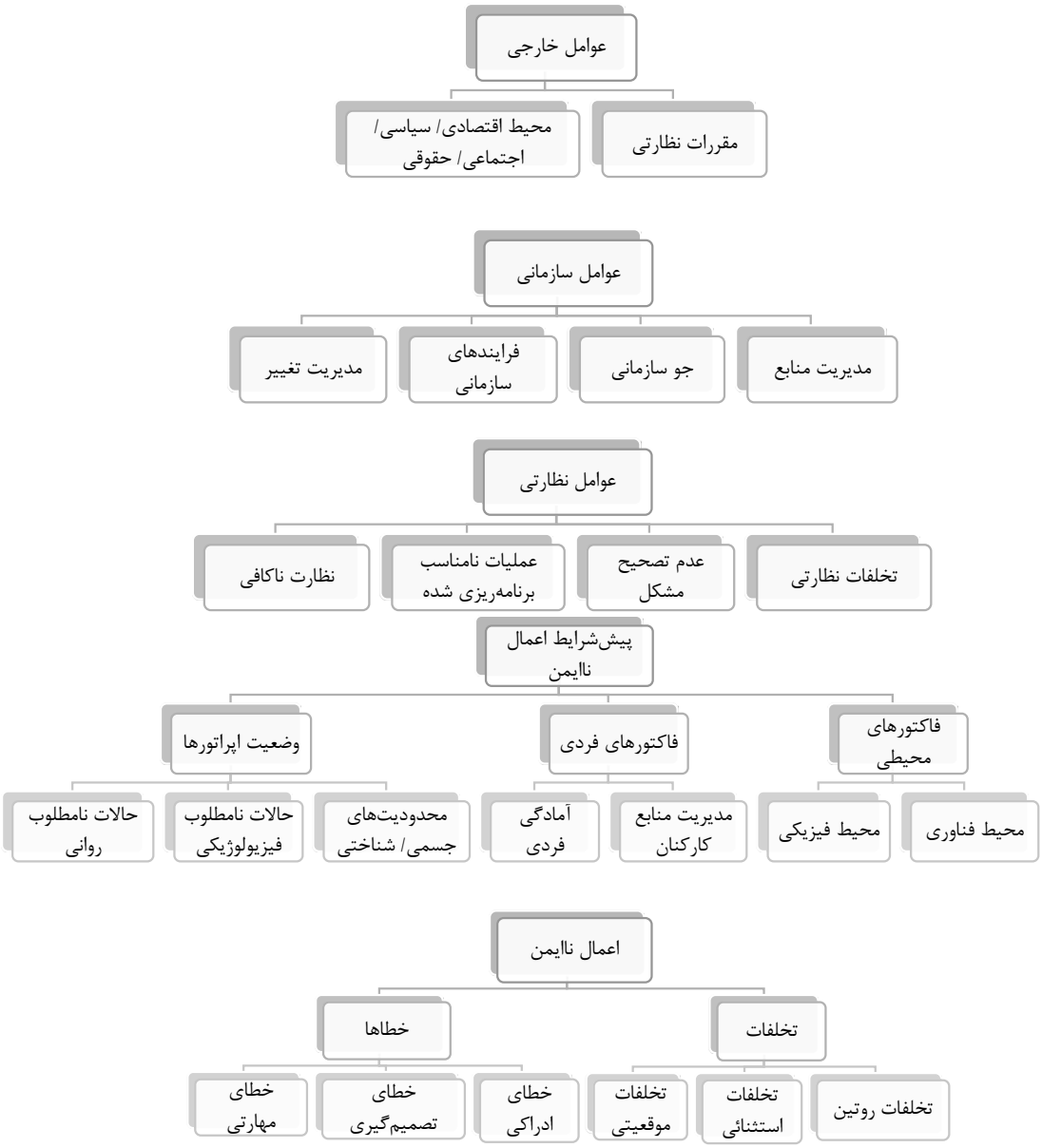
اعمال ناایمن، به‌عنوان رفتارهایی خارج از حدود تعریف‌شده ایمنی در یک سیستم، یکی از مؤلفه‌های اصلی در تحلیل و پیشگیری از حوادث صنعتی به‌شمار می‌روند (۶). فاجعه چرنوبیل که در اثر اعمال ناایمن ناشی از طراحی ناقص راکتور به همراه اشتباهات جدی اپراتورهای با آموزش ناکافی و فاجعه‌تری مایل آیلند به دلیل سهل انگاری در تعمیرات بموقع تجهیزات و رفع خرابی‌های مکانیکی و فاجعه شاتل فضایی چلنجر به دلیل خطا در طراحی مناسب اتصال بخش‌های موشک و ضعف فرهنگ ایمنی نمونه‌هایی از حوادث اخیر می‌باشند (۷). حوادث مذکور همگی مؤید نقش محوری اعمال ناایمن و ضعف در طراحی یا اجرای سیستم‌های ایمنی هستند.

در طی سال‌های اخیر، تمرکز بر نقش اعمال نایمن بویژه خطای انسانی در حوادث صنعتی نشان داده است که علاوه بر کمبود مهارت، تصمیم‌گیری، نگرش، عواملی نظیر فرهنگ سازمانی و عوامل نظارتی نیز به‌عنوان عوامل دخیل در حوادث شناسایی شده‌اند (۸). از این رو ضرورت توجه بیشتر به بهبود شرایط محیط کار بر اساس اصول ایمنی و ارگونومی و تمرکز بر روی اعمال ناایمن افراد و افزایش آگاهی و شناخت کافی نسبت به علل ایجاد حادثه برای کاهش حوادث آشکار می‌گردد. چرا که عوامل انسانی می‌توانند با کاهش تمرکز، حواس‌پرتی، اختلال در حافظه، تردید در انجام کارها، کاهش قدرت تصمیم‌گیری و سایر عوامل سهم بسزایی در ایجاد اعمال ناایمن داشته باشند. لذا شناسایی فاکتورهای انسانی در محیط کار و کاهش یا حذف اثرات نامطلوب این عوامل یکی از اقدامات مهم و اساسی در بهینه‌سازی مشاغل، افزایش بهره‌وری شاغلین، کاهش اعمال ناایمن و در نهایت پیشگیری از حوادث در صنایع می‌باشد.

در سال‌های اخیر از مدل‌های مختلفی برای شناسایی و کاهش اعمال ناایمن استفاده شده است. از جمله این روش‌ها می‌توان به SHERPA[1] (۹)، CREAM[2] (۱۰) و HFACS[3] اشاره کرد که یکی از کاربردی‌ترین مدل‌های تحلیل اعمال ناایمن، روش HFACS است. این مدل اصولا برای تجزیه و تحلیل اعمال ناایمن در حوادث می‌باشد که از مدل پنیر سوئیسی Reason[4] پیروی می‌کند. HFACS روشی سودمند و موثر جهت مطالعه اعمال ناایمن در صنایع می‌باشد که توانایی پیشگیری از تکرار حوادث و عواملی که منجر به حادثه می‌شود را دارا است (۱۱). این روش چهارچوبی است که علل انسانی، ریشه‌ای و سببی یک حادثه را شناسایی کرده و ابزاری در راستای کمک به فرایند تحقیق، آموزش و اقدامات پیشگیرانه می‌باشد. تفاوت اصلی بین HFACS و دیگر مدل‌های علیت حوادث در این است که این مدل نقش مدیریت و سازمان را به عنوان بخشی از سیستم ایمنی به صورت ویژه نشان می‌دهد و یک الگویی از علل مختلف تاثیرگذار در اعمال ناایمن را ارائه می‌دهد (شکل ۱) (۱۲). چهارچوب HFACS یکی از قدرتمندترین ابزارهای شناسایی عوامل انسانی موثر در وقوع حوادث مختلف است و اعمال ناایمن شامل خطاهای انسانی، تخلفات و عوامل انسانی آشکار و پنهان را در سازمان شناسایی و طبقه‌بندی می‌کند (۱۳).

1. Systematic Human Error Reduction and Prediction Approach
2. Cognitive Reliability Error Analysis Method
3. Human Factors Analysis and Classification System
4. Reason

[Downloaded from jhsw.tums.ac.ir on 2026-05-14]



شکل ۱: سطوح و زیر سطوح روش HFACS مورد استفاده

تاکنون مطالعات متعددی در خصوص ارزیابی اعمال ناایمن با استفاده از روش HFACS در حیطه کشتی‌سازی (۱۴)، صنایع نفت (۱۵)، هوانوردی (۱۶)، فولاد (۱۷)، خدمات درمانی (۱۸) انجام شده است. در یک مطالعه مقطعی تعداد ۶۶۴ حادثه شغلی رخداده در معدن مس کرمان طی سال‌های ۱۳۸۸ تا ۱۳۹۷ با استفاده از HFACSبررسی شد. یافته‌های این مطالعه نشان داد که هر چهار سطح عوامل انسانی در بروز حوادث مورد مطالعه در معدن تأثیرگذار بوده و علاوه بر اثربخشی مدل مذکور در تحلیل حوادث بر مبنای اعمال ناایمن، می‌توان از آن برای برنامه‌ریزی‌های آینده به‌منظور کاهش حوادث در بخش معدن استفاده کرد (۱۹). نتایج یک مطالعه دیگر با هدف شناسایی و ارزیابی خطاهای انسانی منجر به حوادث در یکی از پالایشگاه‌های گاز ایران، علل بروز حادثه و نقاط

[Downloaded from jhsw.tums.ac.ir on 2026-05-14]

ضعف متعدد در پالایشگاه را آشکار و مشخص نمود که با بکارگیری هم‌زمان کنترل‌های مدیریتی، ایجاد فضای آموزشی مناسب و افزایش سطح آگاهی افراد می‌توان به کاهش خطای انسانی در سازمان کمک کرد (۲۰). دیگر مطالعات اخیر، اغلب به تلفیق روش HFACS با سایر روش‌ها مانند روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره (MCDM)[1] (۲۱)، روش‌های بیزین (۲۲)، منطق فازی (۲۳) پرداخته‌اند. در یک مطالعه ۴۲ حادثه خروج قطارهای حمل و نقل ریلی کالاهای خطرناک در کانادا از سال‌های ۲۰۰۷ تا ۲۰۱۸ در چهارچوب سیستم مدیریت ایمنی شناسایی و با روش HFACS طبقه‌بندی شدند و از روش‌های ارزیابی و آزمایش تصمیم‌گیری (DEMATEL)[2] و فرایند تحلیل شبکه‌ای (ANP)[3] برای شناسایی روابط علی بین زیرسطوح چهارچوب HFACS استفاده شد. یافته‌ها حاکی از آن بود که عوامل نظارتی و سازمانی در پیشگیری از تلفات و حوادث ریلی نقش برجسته‌ای دارند (۲۴). Robert و همکاران (۲۰۱۹) مطالعه‌ای با عنوان اجرای روش FAHP[4] مبتنی بر HFACS برای شناسایی عوامل حیاتی موثر بر وقوع خطای انسانی در اتاق کنترل نیروگاه هسته‌ای هند انجام دادند که از تصمیم‌گیری گروهی برای افزایش اطمینان از ارزیابی کمی حوادث استفاده شد. در فاز اول مطالعه، ۱۸ رویداد مرتبط با عملکرد انسانی در نیروگاه هسته‌ای با استفاده از روش HFACS برای تحلیل و تعیین عوامل انسانی و سازمانی بررسی شد. فاز دوم، ارزیابی بیش از ۴۰ عامل وضعیت روانی نامطلوب و فرایندهای سازمانی با استفاده از پرسشنامه بود. عوامل حیاتی موثر در خطاهای انسانی شناسایی‌شده با FAHP (در ۸۸ اپراتور ارشد راکتور در نیروگاه که در حال فعالیت بودند)، شامل توجه، ادراک و حافظه، تصمیم‌گیری، آموزش و ارتباطات بود (۲۵). Ozdemir و همکاران (۲۰۱۵) مطالعه‌ای با هدف ارائه مدل رویکرد راهبردی برای بررسی نقش عامل انسانی و علل عوامل انسانی در حوادث کشتیرانی ترکیه با بکارگیری روش‌های HFACS، DEMATEL و ANP انجام دادند. نتایج حاصل از این مطالعه نشان داد که توانایی، مهارت، دانش، وضعیت جسمانی و شرایط آب و هوا به ترتیب بیشترین اهمیت و ویژگی‌های محموله کمترین اهمیت را در بروز سوانح دریایی دارند (۲۶). در مطالعه‌ای با هدف ارائه یک رویکرد ترکیبی برای ارزیابی ایمنی در سیستم‌های پروژه ساخت‌وساز نیروگاه آبی پرخطر در چین، روابط متقابل بین عوامل انسانی دخیل در پروژه ساخت‌وساز نیروگاه آبی بررسی و ۱۸۶ حادثه مرتبط با استفاده از روش‌های HFACS، DEMATEL و ANP تحلیل و ارزیابی شدند. نمودار علی و نتایج DEMATEL نشان داد که نظارت و بازرسی ایمنی و سازمان و مسئولیت مهم‌ترین عوامل تاثیرگذار می‌باشند. علاوه بر این، مطالعات تجربی نشان داد که روش ترکیبی موثرتر و مناسب‌تر از روش سنتی ANP است. مدل ارائه شده در این مطالعه تعامل بین عوامل را در نظر گرفته است که نسبت به روش سنتی برای حل مسائل با درجات مختلف تاثیر در میان خوشه‌ها مناسب‌تر بود. این مدل ترکیبی پیشنهادهایی را برای مدیریت ایمنی در سیستم‌های کاری پرخطر چندین پروژه بزرگ ساخت‌وساز نیروگاه آبی ارائه داد (۲۷).

صنایع از جمله صنعت فولاد با توجه به ماهیت فرایندهای انجام‌شده، شرایط محیطی، نوع انرژی‌های مورد استفاده و نیازهای فیزیکی فعالیت‌ها همواره جزء صنایع خطرناک محسوب می‌گردد که این عوامل منجر به افزایش وقوع حوادث در این صنعت می‌شود (۲۸). با توجه به ماهیت بالقوه خطرناک ناشی از فرایند و عملیات مربوطه در صنایع فولاد، حوادث به‌ویژه به دلیل عوامل انسانی نتایج و پیامدهای جبران ناپذیری در پی خواهد داشت. لذا بررسی علل حوادث و طبقه‌بندی آن‌ها جهت شناسایی عوامل دخیل در ایجاد اعمال ناایمن در صنایع مذکور کمک قابل توجهی به پیشگیری از حوادث آینده یا کاهش شدت پیامدهای آن خواهد کرد. همانطوری که ذکر شد یکی از مدل‌های معتبر و کاربردی برای تحلیل ریشه‌ای اعمال ناایمن، مدل HFACS است که بر پایه الگوی پنیر سوئیسی Reason طراحی شده است. با وجود

1. Multiple-Criteria Decision-Making
2. Decision Making Trial and Evaluation Laboratory
3. Analytical Network Process
4. Fuzzy Analytical Hierarchy Process

[Downloaded from jhsw.tums.ac.ir on 2026-05-14]

کاربرد گسترده HFACS در صنایع نفت، هوایی، درمانی و معدنی، مطالعات محدودی در صنعت فولاد ایران در زمینه بررسی عوامل انسانی موثر در بروز حوادث به‌ویژه در سطح تحلیل‌های ترکیبی و علّی انجام شده است. از سوی دیگر، بررسی تعامل بین سطوح مدل HFACS به‌صورت کمی در بسیاری از پژوهش‌ها نادیده گرفته شده است. با این حال، یکی از ضعف‌های HFACS، ناتوانی در کمّی‌سازی اولویت‌ها و روابط علی بین عوامل است. برای غلبه بر این محدودیت، استفاده از روش‌های MCDM توصیه می‌شود. در این میان، روش DEMATEL برای تعیین روابط علّی و جهت‌دار بین عوامل و روش ANP برای تعیین وزن و اولویت عوامل با در نظر گرفتن بازخورد متقابل، ابزارهایی توانمند در تحلیل سیستمی محسوب می‌شوند. از این رو، مطالعه حاضر با هدف شناسایی، تحلیل و اولویت‌بندی عوامل انسانی مؤثر بر وقوع حوادث و ایجاد اعمال ناایمن در یکی از واحدهای پرحادثه صنعت فولاد با استفاده از مدل HFACS و دو روش مکمل DEMATEL وANP انجام شده است. یافته‌های این پژوهش می‌تواند مبنایی برای تصمیم‌گیری‌های ایمنی و بهبود عملکرد سیستم‌های مدیریتی در صنایع مشابه باشد.

روش کار

طراحی مطالعه

این پژوهش به صورت توصیفی-تحلیلی و موردی در سال ۱۴۰۲ در یکی از واحدهای عملیاتی پرخطر (واحد تولید میلگرد) یک کارخانه فولاد در شمال غرب کشور انجام شد. در مطالعه حاضر پس از بررسی مستندات حوادث، عوامل انسانی موثر در وقوع حوادث با استفاده از روش HFACS مورد بررسی قرار گرفت. اساس تئوری HFACS متکی بر قضاوت متخصصان می‌باشد ولی نقص اصلی این روش عدم توانایی آن در کمی‌سازی عوامل موثر در حوادث است که برای رفع این نقص از روش‌های MCDM استفاده می‌شود (۲۹). بدین منظور در این مطالعه پس از شناسایی و طبقه‌بندی فاکتورهای موثر در ایجاد حوادث با استفاده از چک‌لیست HFACS در ۵ سطح و ۲۳ زیرسطح، برای وزن دهی به فاکتورهای انسانی شناسایی‌شده از روش‌های DEMATEL و ANP استفاده شد. از آنجایی که روش HFACS چهارچوبی ساختاریافته برای شناسایی سلسله‌مراتبی عوامل موثر در ایجاد اعمال نایمن است در ادامه از روش DEMATEL برای تعیین روابط علّی و جهت‌دار بین عوامل و روش ANP برای تعیین وزن و اولویت سطوح و زیرسطوح چهارچوب HFACS استفاده شد. روش DEMATEL به منظور بررسی جهت و شدت اثرگذاری بین عوامل طراحی شده و قابلیت تحلیل روابط علّی مستقیم و غیرمستقیم را دارد و همچنین روش ANP به لحاظ بازخورد و تعامل بین معیارها، امکان اولویت‌بندی و وزن‌دهی به شاخص‌ها را فراهم می‌کند. لذا ترکیب این سه روش به‌عنوان رویکردی سیستماتیک، می‌تواند دیدی جامع نسبت به ماهیت و تعاملات عوامل انسانی موثر در وقوع حوادث و ایجاد اعمال ناایمن در محیط‌های صنعتی فراهم آورد.

جمع‌آوری داده

در این مطالعه جهت شناسایی عوامل انسانی مؤثر در حوادث، فرآیند جمع‌آوری داده‌ها به‌صورت چندمرحله‌ای انجام شد:

الف) بررسی مستندات

با مشورت و همکاری اعضای تیم، مستندات مربوط به تمامی ۳۵ گزارش رسمی حوادث دو سال اخیر (۱۴۰۱-۱۴۰۲) مورد بررسی قرار گرفت. با توجه به اینکه ۲۸ حادثه از این تعداد مربوط به فرآیند تولید میلگرد بودند، بر این اساس فرایند تولید میلگرد در واحد نورد با بیشترین تعداد حوادث، شبه حوادث و تلفات جانی و مالی برای مطالعه انتخاب شد. برای گردآوری و تحلیل داده‌ها، تیمی ۵ نفره شامل یک نفر کارشناس بهداشت حرفه‌ای، دو نفر از مدیران تولید و دو بازرس فنی تشکیل شد. میانگین سنی اعضای تیم ۱۶/۵ ± ۴۲ و سابقه فعالیت تخصصی آنها ۲/۳۲ ± ۱۴ سال بود. معیارهای انتخاب اعضای تیم، مشارکت فعال کارشناسان، اختصاص زمان کافی برای همکاری، داشتن تجربه کافی در تحلیل حوادث، آشنایی

[Downloaded from jhsw.tums.ac.ir on 2026-05-14]

با وظایف مورد بررسی و فرایند مورد ارزیابی بود.

ب) مشاهده مستقیم

به‌منظور شناخت عمیق‌تر محیط، فرآیند تولید میلگرد در هفت نوبت در شیفت‌های عصر و شب که طبق مستندات بیشترین نرخ حادثه را داشتند، توسط پژوهشگر اول مشاهده شد. این تعداد مشاهده به دلیل تکرار رفتارهای پرخطر، رسیدن به اشباع داده و محدودیت‌های عملیاتی انتخاب گردید.

ج) مصاحبه نیمه‌ساختاریافته

در این مطالعه همچنین با هفت نفر از کارگران، یک نفر مدیر و دو نفر از مهندسان تولید مصاحبه شد. همچنین پرسشنامه DEMATEL و ANP به ترتیب در اختیار شش نفر از متخصصین حوزه ایمنی و بهداشت و ارگونومی (شامل یک کارشناس ایمنی صنعتی، سه کارشناس بهداشت حرفه‌ای و دو بازرس فنی با میانگین سنی ۸/۴۶ ± ۳۶/۵ و سابقه کاری ۱۴/۲۲ ± ۹/۸۳ و ده نفر از متخصصین حوزه ایمنی و بهداشت و ارگونومی شامل دو کارشناس ایمنی صنعتی، پنج کارشناس بهداشت حرفه‌ای و سه بازرس فنی با میانگین سنی ۶/۶۷ ± ۳۷/۶ و سابقه کاری ۹/۶ ± ۱۱/۷۲ قرار داده شد تا تکمیل گردد. معیار انتخاب خبرگان، داشتن سابقه کاری، دسترسی آسان به فرد و تمایل به مشارکت در طرح بود.

روش‌های مورد استفاده

روش HFACS یکی از مهم‌ترین و پرکاربردترین مدل‌های تحلیل حوادث و بویژه اعمال ناایمن می‌باشد که با ساختار سلسله مراتبی خود، مبتنی بر مدل حادثه معروف به پنیر سوئیسی است که نقایص آشکار و نهفته را در چهار و گاها پنج سطح اعمال ناایمن، پیش شرایط اعمال ناایمن، نظارت، سرپرستی ناایمن، عوامل سازمانی و عوامل خارجی و روابط بین سطوح شناسایی‌شده را بررسی می‌کند (شکل ۱). سطح اول اعمال ناایمن، سطح دوم پیش‌شرایط اعمال ناایمن، سطح سوم عوامل نظارتی، سطح چهارم عوامل سازمانی و سطح پنجم عوامل خارجی می‌باشد (۱۱).

به‌دنبال جمع‌آوری داده‌های موردنیاز، فاکتورهای انسانی موثر در وقوع حوادث شناسایی شده و با استفاده از چک‌لیست HFACS طبقه‌بندی شدند. در نهایت داده‌های حاصل از طبقه‌بندی فاکتورهای انسانی شناسایی شده در هر یک از سطوح HFACS تجزیه و تحلیل شدند. جهت آنالیز داده‌ها، از فرایند کدگذاری استفاده شد که هر کدام از سطوح به صورت یک‌به‌یک بررسی گردید و در صورت وجود خطا کد یک و در غیر این صورت کد صفر داده شد. اعداد به‌دست‌آمده از کدگذاری خطاها، شاخصی از وجود یا عدم وجود هریک از زیرگروه‌های دخیل در رویداد در نظر گرفته شدند.

تکنیک DEMATEL در بین سال‌های ۱۹۷۲ و ۱۹۷۶ توسط انستیتو Battelle Memorial ژنو ایجاد شده است. این روش برای شناسایی روابط میان متغیرها استفاده می‌شود که مبتنی بر مقایسه زوجی عوامل است ولی با این تفاوت که در هر مقایسه نحوه اثرگذاری متغیرها بر یکدیگر مورد ارزیابی قرار می‌گیرد و حاصل ارزیابی به‌وسیله یکی از چهار واژه تاثیرگذار، تاثیرپذیر، تاثیر متقابل و بی‌اثر بیان می‌شود (۳۰). این تکنیک علاوه‌بر اینکه به تاثیر زوجی بین عوامل می‌پردازد بلکه رابطه تاثیر غیرمستقیم در همه عوامل را نیز در نظر می‌گیرد که روشی موثر برای مقابله با مجموعه ضریب تاثیر در سیستم است ولی این روش اثرات متفاوت در میان متغیرهای سیستم را در نظر نمی‌گیرد. بنابراین به کمک این تکنیک به بررسی ۵ شاخص (پنج سطح HFACS) پرداخته و پرسشنامه آن تهیه شد. پرسشنامه یک جدول ۵ در ۵ است که پنج شاخص در سطر و ستون آن نسبت به هم سنجیده می‌شوند. در این پرسشنامه شاخص‌ها براساس گستره لیکرتی (جدول ۱)، توسط متخصصین با هم مقایسه و امتیازبندی شدند.

برای انجام تکنیک DEMATEL از چهار مرحله استفاده شد:

۱. تشکیل ماتریس ارتباط مستقیم: میانگین ساده

[Downloaded from jhsw.tums.ac.ir on 2026-05-14]

جدول ۱ : عبارات کلامی و اعداد متناظر روش DEMATEL

نام	مقدار
بدون تاثیر	۰
تاثیر خیلی کم	۱
تاثیر کم	۲
تاثیر زیاد	۳
تاثیر خیلی زیاد	۴

جدول ۲ : ماتریس ارتباط مستقیم زیر سطوح روش HFACS

سطوح اصلی	اعمال ناایمن	پیش شرایط اعمال ناایمن	عوامل نظارتی	عوامل سازمانی	عوامل خارجی
اعمال ناایمن	۰	۱	۱/۳۳۳	۱	۰
پیش شرایط اعمال ناایمن	۳/۱۷	۰	۱/۶۷	۰/۸۳	۰
عوامل نظارتی	۳	۲/۳۳	۰	۱/۱۷	۰
عوامل سازمانی	۲/۱۷	۲/۱۷	۲	۰	۰/۵
عوامل خارجی	۱/۶۷	۰/۳۳	۰	۰	۰

جدول ۳ : ماتریس نرمال شده زیر سطوح روش HFACS

	اعمال ناایمن	پیش شرایط اعمال ناایمن	عوامل نظارتی	عوامل سازمانی	عوامل خارجی
اعمال ناایمن	۰	۰/۱	۰/۱۳	۰/۱	۰
پیش شرایط اعمال ناایمن	۰/۳۷	۰	۰/۱۷	۰/۰۸	۰
عوامل نظارتی	۰/۳	۰/۲۳	۰	۰/۱۲	۰
عوامل سازمانی	۰/۲۱	۰/۲۲	۰/۲	۰	۰/۰۵
عوامل خارجی	۰/۱۷	۰/۰۳	۰	۰	۰

نظرات خبرگان که از پرسشنامه بدست آمده می‌باشد که در جدول ۲ نشان داده شده است که با رابطه ۱ محاسبه می‌گردد.

$$z = \frac{x^1 + x^2 + \ldots + x^p}{p} \qquad (۱)$$

در این رابطه، P تعداد خبرگان و X^1، X^2، X^p به ترتیب ماتریس مقایسه زوجی خبره‌ی ۱، خبره‌ی ۲ و خبره‌ی P هستند.

۲. نرمال کردن ماتریس ارتباط مستقیم: به منظور نرمال کردن ماتریس به‌دست آمده، از روابط ۲ و ۳ استفاده شده است. ماتریس نرمال شده در جدول ۳ آمده است.

$$N = K \times M \qquad (۲)$$

در رابطه ۲، K حاصل عبارت زیر است. ابتدا جمع تمامی سطرها و ستون‌ها محاسبه و سپس معکوس بزرگ‌ترین عدد سطر و ستون K تشکیل می‌شود.

$$K = \frac{1}{max \sum_{j}^{n} = 1 \; a_i j} \qquad (۳)$$

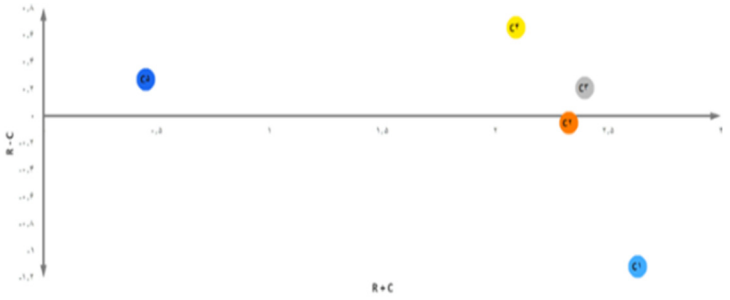
[Downloaded from jhsw.tums.ac.ir on 2026-05-14]

جدول ٤: ماتریس روابط کل زیر سطوح روش HFACS

	اعمال ناایمن	پیش شرایط اعمال ناایمن	عوامل نظارتی	عوامل سازمانی	عوامل خارجی
اعمال ناایمن	۰/۱۷	۰/۲۰	۰/۲۲	۰/۱۶	۰/۰۱
پیش شرایط اعمال ناایمن	۰/۴۹	۰/۱۶	۰/۲۹	۰/۱۸	۰/۰۱
عوامل نظارتی	۰/۵۲	۰/۳۷	۰/۱۷	۰/۲۲	۰/۰۱
عوامل سازمانی	۰/۴۷	۰/۳۷	۰/۳۵	۰/۱۲	۰/۰۵
عوامل خارجی	۰/۲۱	۰/۰۷	۰/۰۵	۰/۰۳	۰/۰۱

جدول ٥ : ماتریس روابط کلی- اعمال حد آستانه زیر سطوح روش HFACS

	اعمال ناایمن	پیش شرایط اعمال ناایمن	عوامل نظارتی	عوامل سازمانی	عوامل خارجی
اعمال ناایمن	۰	۰/۲۰	۰/۲۲	۰	۰
پیش شرایط اعمال ناایمن	۰/۴۹	۰	۰/۲۹	۰	۰
عوامل نظارتی	۰/۵۲	۰/۳۷	۰	۰/۲۲	۰
عوامل سازمانی	۰/۴۷	۰/۳۷	۰/۳۵	۰	۰
عوامل خارجی	۰/۲۱	۰	۰	۰	۰



نمودار ۱ : نمودار علی سطوح اصلی روش HFACS

۳. محاسبه‌ی ماتریس روابط کلی: هنگامی که ماتریس روابط مستقیم نرمال بدست آمد، ماتریس روابط کلی(T) از فرمول زیر محاسبه می‌شود که در آن I نشانگر ماتریس واحد است.

$$T= N\times(I-N)^{-1} \quad (۴)$$

جدول ۴ ماتریس روابط کل را نشان می‌دهد.

۴. ایجاد نمودار علی و محاسبه مقدار آستانه و بدست آوردن دیاگرام

جهت تعیین نقشه شبکه روابط درونی میان شاخص‌ها، ابتدا از ماتریس روابط کل (جدول ۶)، مقدار آستانه محاسبه شد. در مطالعه حاضر شدت آستانه برابر با ۰/۲ در نظر گرفته شد و تمامی مقادیر کمتر از این مقدار بی‌اهمیت بوده و صفر در نظر گرفته و در دیاگرام نمایش داده نشد و در نهایت، روابط میان شاخص‌ها با توجه به جدول ۵ و نمودار ۱ ترسیم شد.

بدین ترتیب رابطه بین عوامل انسانی شناسایی‌شده و نحوه اثرگذاری آن‌ها بر یکدیگر مشخص شد. در نهایت جهت بررسی همبستگی و ارتباط درونی میان عوامل شناسایی‌شده از روش ANP استفاده شد تا با وزن دهی به داده‌ها مهم‌ترین شاخص‌ها و زیرشاخص‌ها انتخاب شود.

[Downloaded from jhsw.tums.ac.ir on 2026-05-14]

ANP یکی از تکنیک‌های MCDM است که توسط Saaty و بر پایه تکنیک فرایند تحلیل سلسله مراتبی بمنظور ارتقاء قابلیت‌های این تکنیک در سال ۱۳۳۶ معرفی گردید. فرایند تحلیل شبکه با مجاز شمردن وابستگی و ساختار غیر خطی، این امکان را فراهم می‌سازد که هر مساله تصمیم‌گیری را بدون نگرانی از اینکه چه چیزی نخست و چه چیزی در پی می‌آید، ارائه شود. این روش اغلب برای حل مشکلات وابستگی میان گزینه‌ها یا معیارها بکار می‌رود و برای بسیاری از مدل‌های پیچیده که در آن بازخوردها و ارتباطات متقابل بین معیارها زیاد است، از دقت بالاتری برخوردار است یا به عبارتی این روش مبین روابط درونی پیچیده‌تر میان سطوح تصمیم و زیرمعیارها است (۳۱). در این روش ابتدا شاخص‌ها (سطوح HFACS) و زیرشاخص‌ها (زیرسطوح HFACS) تعیین شدند و بر این اساس پرسشنامه ANP تهیه و تکمیل گردید. پس از جمع‌آوری پرسشنامه‌ها در ابتدا جهت آنالیز داده‌های جمع‌آوری‌شده از پرسشنامه، مدل ساختار شبکه‌ای تشکیل شد. در این مرحله ارتباطات بین عناصر مختلف یعنی هدف، شاخص‌ها و زیرشاخص‌ها بررسی شد و عناصر با ویژگی‌های مشترک و قابل قیاس با هم در مجموعه‌هایی به نام خوشه طبقه‌بندی شدند. با تعریف این خوشه‌ها امکان تعیین و مدلسازی ارتباط بین خوشه‌ها فراهم گردید. بنابراین دسته‌ای از شاخص‌ها نسبت به دسته‌ای دیگر از شاخص‌ها مقایسه شدند. بمنظور طراحی مدل ساختار شبکه‌ای نیز مراحل مختلفی بکار رفت که اولین مرحله، ساختن یک شبکه دولایه و ساماندهی مسئله مطالعه بود. شبکه مذکور متشکل از لایه هدف و لایه معیارها بود (شکل ۲). ضمن اینکه خوشه‌ها همگی با هم در ارتباط بودند، ارتباط و وابستگی بین عناصر داخل هر خوشه (زیرشاخص‌ها) نیز تعیین و برقرار شد. پس از جمع‌آوری پرسشنامه‌ها با استفاده از نرم‌افزار Super Decision ماتریس وابستگی هر یک از شاخص‌های اصلی با توجه به سایر شاخص‌ها تشکیل شد و شاخص‌ها اولویت‌بندی شدند. سپس وزن محلی عوامل تاثیرگذار بر خطاها و وزن کلی تعیین گردید. پیاده‌سازی مدل ANP در این نرم‌افزار و مقایسه‌های زوجی و تعیین سطح اولویت متغیرها منجر به استخراج سه ماتریس جامع گردید: ماتریس جامع اولیه که تمامی بردارهای ویژه‌ای که از ماتریس مقایسه جفتی مدل حاصل شده را در بر گرفت. ماتریس جامع وزنی که از ضرب مقادیر ماتریس اولیه در ماتریس وزنی خوشه‌ای حاصل شد. ماتریس جامع حدی که با به توان رساندن جامع وزنی در بزرگترین عدد دلخواه استخراج شد. طبق قرارداد، ضرایب ناسازگاری باید همواره مقادیری کمتر از ۰/۱ را نشان دهند. طبق نتایج بدست آمده از محاسبه نرم‌افزار، ضرایب سازگاری کلیه شاخص‌ها و زیرشاخص‌ها بررسی و همگی کمتر از ۰/۱ بدست آمدند (شاخص ناسازگاری شاخص‌های اصلی نیز برابر با ۰/۰۲ بود). بدین ترتیب شاخص‌های عوامل انسانی موثر بر وقوع اعمال ناایمن محاسبه و وزن‌دهی شدند.

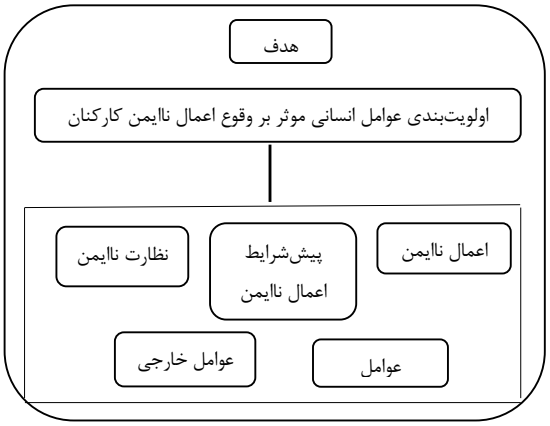
تحلیل داده‌ها

در این پژوهش عوامل انسانی موثر در وقوع حادثه با استفاده از روش HFACS شناسایی و درصد هر کدام از ۵ سطح و ۲۳ زیرسطح موجود مشخص و میزان سهم هر سطح و زیرسطح با استفاده از نرم‌افزار SPSS محاسبه شد. در ادامه روابط علّی بین سطوح با استفاده از نرم‌افزار Excel-DEMATEL استخراج شد. همچنین ماتریس‌های مقایسه زوجی ANP در نرم‌افزار Super Decisions وارد شده و وزن نهایی شاخص‌ها محاسبه گردید.

یافته ها

در این مطالعه، از مجموع ۳۵ حادثه بررسی‌شده در کارخانه، ۲۸ حادثه مرتبط با فرآیند تولید میلگرد انتخاب شد که بیشترین فراوانی در شیفت عصر (۱۳ مورد) و سپس شیفت شب (۷ مورد) رخ داده بودند. مهم‌ترین علت ثبت‌شده در گزارش‌ها، بی‌احتیاطی بود (جدول ۶). از ۲۸ حادثه رخداده ۱۰ مورد در رافینگ نورد و ۱۰ مورد در قسمت بسته‌بندی میلگرد اتفاق افتاده بودند. سپس فرایند تولید میلگرد ۷ بار مورد مشاهده قرار گرفت

[Downloaded from jhsw.tums.ac.ir on 2026-05-14]



شکل ۲: مدل ساختار شبکه‌ای سطوح اصلی روش HFACS

جدول ٦: بررسی حوادث مربوط به فرایند تولید میلگرد در سال های ۱۴۰۱ و ۱۴۰۲

ردیف	عنوان حادثه	زمان حادثه (شیفت)	مکان حادثه	علل اصلی شناسایی‌شده
۱	سقوط جعبه بر روی دست فرد	عصر	رافینگ نورد	بی دقتی
۲	برخورد دیلم با پهلوی فرد	شب	کوره نورد	بی‌احتیاطی، فشار کاری و زمانی
۳	برخورد آچار با قفسه سینه فرد به هنگام بستن پیچ‌های جعبه رافینگ	عصر	رافینگ نورد	بی‌احتیاطی، حواس پرتی، آموزش ناکافی
۴	برخورد شمش با تنه فرد به هنگام جابجایی با جرثقیل	شب	کوره نورد	تجهیزات قدیمی و معیوب
۵	ضربدیدگی انگشتان فرد به هنگام جداسازی ضایعات میلگرد	عصر	بسته‌بندی میلگرد	بی احتیاطی
۶	فرورفتن پلیسه‌های شمش در چشم فرد به هنگام برش شمش	صبح	کوره نورد	مناسب، کم آگاهی، آموزش ناکافی، PPE[1]عدم استفاده از نظارت ناکافی
۷	فرورفتن جوش در چشم فرد حین جوشکاری	صبح	کوره نورد	مناسب، کم آگاهی، آموزش ناکافی، PPEعدم استفاده از نظارت ناکافی
۸	برخورد ضایعات میلگرد با صورت فرد به هنگام جمع‌آوری آن‌ها	شب	بسته‌بندی میلگرد	مناسب، نظارت ناکافیPPEعدم استفاده از
۹	برخورد شمش با صورت فرد به هنگام شارژ شمش کوره	عصر	کوره نورد	بی احتیاطی، حواس پرتی
۱۰	آسیب انگشتان دست به هنگام تعویض استند برای تغییر سایز میلگرد	شب	رافینگ نورد	بی احتیاطی، آموزش ناکافی، فناوری قدیمی
۱۱	فرورفتن پلیسه در چشم فرد به هنگام برش میلگرد با هواگاز	صبح	رافینگ نورد	مناسب، کم آگاهی، آموزش ناکافی، PPEعدم استفاده از نظارت ناکافی
۱۲	برخورد دیلم با قفسه سینه به هنگام بازکردن پیچ‌های جعبه اسلیم	صبح	رافینگ نورد	حواس پرتی، فناوری و تجهیزات قدیمی
۱۳	برخورد میلگرد با بینی فرد به هنگام آزاد شدن میلگرد از گیوتین	صبح	بسته‌بندی میلگرد	فناوری و تجهیزات قدیمی، حفاظ نامناسب، آموزش ناکافی
۱۴	زمین خوردن فرد به هنگام تعمیر گیوتین	عصر	بسته‌بندی میلگرد	محیط ناایمن
۱۵	زمین خوردن فرد از پله‌های رافینگ	عصر	رافینگ نورد	محیط ناایمن
۱۶	برخورد ساعد دست فرد با زنجیره‌های انتقال‌دهنده شمش به هنگام جمع‌آوری اکسید	شب	کوره نورد	بی‌احتیاطی
۱۷	برخورد چکش با ساق پای فرد به هنگام چکش کاری رافینگ	عصر	رافینگ نورد	بی‌احتیاطی، آموزش ناکافی
۱۸	برخورد میلگرد با صورت فرد به هنگام آزادسازی آن از گیوتن	صبح	بسته‌بندی میلگرد	فناوری و تجهیزات قدیمی، حفاظ نامناسب
۱۹	برخورد میلگرد به سر فرد به هنگام بستن بندیل تسمه	عصر	بسته‌بندی میلگرد	بی‌احتیاطی
۲۰	برخورد فرد به زمین در حین جوشکاری شمش	شب	کوره نورد	بیماری زمینه‌ای
۲۱	برخورد میلگرد با بازوی فرد به هنگام بارگیری آن	عصر	بسته‌بندی میلگرد	فناوری و تجهیزات قدیمی
۲۲	برخورد قلاب جرثقیل سقفی با سر فرد	عصر	بسته‌بندی میلگرد	بی‌احتیاطی
۲۳	برخورد آچار به سر فرد به هنگام آچارکشی استند نورد	عصر	رافینگ نورد	بی‌احتیاطی، آموزش ناکافی
۲۴	برخورد میلگرد با بینی فرد به هنگام بارگیری با جرثقیل سقفی	عصر	بسته‌بندی میلگرد	آموزش ناکافی، فشار زمانی، خطا در سرپرستان
۲۵	سوختگی دست فرد به هنگام جابجایی میلگرد داغ از گیوتین	شب	بسته‌بندی میلگرد	آموزش ناکافی، فناوری قدیمی، فشار کاری و زمانی
۲۶	گیرکردن دست فرد مابین دیلم و شمش	عصر	کوره نورد	بی‌احتیاطی
۲۷	برخورد آچار با پیشانی فرد به هنگام آچارکشی در استند نورد	صبح	رافینگ نورد	بی‌احتیاطی
۲۸	زمین خوردن فرد به هنگام بررسی وضعیت فن‌های نورد	صبح	رافینگ نورد	محیط ناایمن

[1] Personal Protective Equipment

[Downloaded from jhsw.tums.ac.ir on 2026-05-14]

جدول ۷: فراوانی و درصد عوامل انسانی در فعالیت‌های مختلف براساس روش HFACS

سطوح اصلی	درصد	زیر سطح	درصد
اعمال ناایمن	۲۴/۱۵	خطای مبتنی بر مهارت	۵/۵۰
		خطای تصمیم‌گیری	۴/۶۰
		خطای ادراکی	۲/۵۰
		تخلفات روتین	۳/۸۱
		تخلفات موقعیتی	۳/۳۸
		تخلفات استثنایی	۴/۲۰
پیش شرایط اعمال ناایمن	۲۴/۵۷	حالات نامطلوب روانی	۷/۲۰
		حالات نامطلوب فیزیولوژیکی	۲/۹۰
		محدودیت‌های جسمی/شناختی	۳/۳۸
		مدیریت منابع کارکنان	۰/۸۴
		آمادگی فردی	۰/۸۴
		محیط فیزیکی	۴/۶۰
		محیط فناوری	۴/۶۰
نظارت ناایمن	۱۸/۲۲	نظارت ناکافی	۴/۶۰
		عملیات نامناسب برنامه‌ریزی شده	۶/۳۵
		عدم تصحیح مشکل	۲/۱۱
		تخلفات نظارتی	۵/۰۸
عوامل سازمانی	۲۴/۵۷	مدیریت منابع	۶/۳۵
		جو سازمانی	۶/۳۵
		فرایندهای سازمانی	۸/۴۷
		مدیریت تغییر	۳/۳۸
عوامل خارجی	۸/۴۷	مقررات نظارتی	۶/۷۷
		محیط اقتصادی/سیاسی/اجتماعی/حقوقی	۱/۶۹

و با کارگران، سرپرستان و مهندسین شاغل در فرایند گفتگوهای مکرری انجام شد تا ۲۳۶ عامل موثر در وقوع حوادث بر مبنای چهارچوب روش HFACS ثبت شد (جدول ۷). نتایج اولیه بر حسب تعداد و تکرار عوامل نشان داد که هر دو سطوح پیش‌شرایط اعمال ناایمن و عوامل سازمانی با فراوانی ۲۴/۵۷ درصد، سطح اعمال ناایمن با فراوانی ۲۴/۱۵ درصد، سطح نظارت ناایمن با فراوانی ۱۸/۲۲ درصد و سطح عوامل خارجی با فراوانی ۸/۴۷ درصد به ترتیب بیشترین تاثیر را در بروز خطاهای انسانی دارند. همچنین فرایند سازمانی (۸/۴۷ درصد)، حالات نامطلوب روانی (۷/۲ درصد)، مقررات نظارتی (۶/۷۷ درصد)، جو سازمانی (۶/۳۵ درصد)، خطای مهارتی (۵/۵ درصد)، تخلفات نظارتی (۵/۰۸ درصد)، خطای تصمیم‌گیری (۴/۶ درصد)، محیط فیزیکی و محیط فناوری (۴/۶ درصد)، نظارت ناکافی (۴/۶ درصد)، تخلفات استثنایی (۴/۲ درصد)، تخلفات روتین (۳/۸۱ درصد)، تخلفات موقعیتی (۳/۳۸ درصد)، محدودیت‌های جسمی/ شناختی (۳/۳۸ درصد)، مدیریت تغییر (۳/۳۸ درصد)، حالات نامطلوب فیزیولوژیکی (۲/۹ درصد)، خطای ادراکی (۲/۵ درصد)، عدم تصحیح مشکل (۲/۱۱ درصد)، محیط اقتصادی/سیاسی/اجتماعی/حقوقی (۱/۶ درصد)، مدیریت منابع کارکنان و آمادگی فردی (۰/۸۴ درصد) به ترتیب بیشترین فراوانی وقوع خطا را در این چهارچوب به خود اختصاص داده‌اند.

[Downloaded from jhsw.tums.ac.ir on 2026-05-14]

جدول ۸: تعیین سلسله مراتب عوامل انسانی براساس روش DEMATEL

نام معیار	مقدار R	مقدار J	مقدار R+J	مقدار R-J
اعمال ناایمن	۰/۷۶	۱/۸۷	۲/۶۳	-۱/۱۱
پیش شرایط اعمال ناایمن	۱/۱۴	۱/۱۸	۲/۳۲	-۰/۰۴
عوامل نظارتی	۱/۳۰	۱/۰۹	۲/۳۹	۰/۲۱
عوامل سازمانی	۱/۳۷	۰/۷۱	۲/۰۸	۰/۶۶
عوامل خارجی	۰/۳۶	۰/۰۸	۰/۴۵	۰/۲۸

جدول ۹: رتبه‌بندی وزنی نهایی سطوح اصلی و زیرسطوح روش HFACS براساس روش ANP

رتبه	شاخص	وزن	رتبه	زیرشاخص	وزن
۱	پیش‌شرایط اعمال ناایمن	۰/۲۸	۱	حالات نامطلوب روانی	۰/۱۸
			۲	محدودیت‌های جسمی/ شناختی	۰/۱۵
			۳	محیط فناوری	۰/۱۴
			۴	حالات نامطلوب فیزیولوژیکی	۰/۱۴
			۵	مدیریت منابع کارکنان	۰/۱۳
			۶	محیط فیزیکی	۰/۱۲
			۷	آمادگی فردی	۰/۱۲
۲	اعمال ناایمن	۰/۲۰	۱	خطای مبتنی بر مهارت	۰/۲۰
			۲	تخلفات موقعیتی	۰/۱۸
			۳	خطای تصمیم‌گیری	۰/۱۸
			۴	تخلفات روتین	۰/۱۵
			۵	خطای ادراکی	۰/۱۴
			۶	تخلفات استثنائی	۰/۱۳
۳	عوامل خارجی	۰/۱۸	۱	مقررات نظارتی	۰/۸۰
			۲	محیط اقتصادی/سیاسی/اجتماعی/حقوقی	۰/۲۰
۴	عوامل سازمانی	۰/۱۷	۱	مدیریت منابع	۰/۳۴
			۲	فرایند سازمانی	۰/۲۳
			۳	جو سازمانی	۰/۲۱
			۴	مدیریت تغییر	۰/۲۰
۵	عوامل نظارتی	۰/۱۶	۱	تخلفات نظارتی	۰/۳۱
			۲	عدم تصحیح مشکل	۰/۲۴
			۳	عملیات نامناسب برنامه‌ریزی شده	۰/۲۳
			۴	نظارت ناکافی	۰/۲۲

نتایج تحلیل DEMATEL نشان داد که سطح عوامل سازمانی بیشترین تأثیر علّی بر سایر سطوح را دارد (R-J = ۰/۶۶) و در مقابل، سطح عوامل خارجی کمترین تأثیرگذاری را بر روی سایر سطوح داشته و سطح اعمال ناایمن نیز به‌عنوان بیشترین سطح تأثیرپذیر از دیگر سطوح بود (R+J = ۲/۶۳). نمودار علی حاصل از این روش نقشه روابط متقابل سطوح HFACS تأیید کرد که مدیریت منابع، مقررات ناکارآمد و فرهنگ ضعیف ایمنی نقش کلیدی در تحریک زنجیره‌ای خطاها را ایفا کرده‌اند (جدول ۸) .

[Downloaded from jhsw.tums.ac.ir on 2026-05-14]

جدول ۱۰ : رتبه‌بندی کلی زیرسطوح روش HFACS

رتبه	زیرشاخص	وزن نهایی
۱	مقررات نظارتی	۰/۱۴۴
۲	مدیریت منابع	۰/۰۵۷
۳	حالات نامطلوب روانی	۰/۰۵۲
۴	تخلفات نظارتی	۰/۰۴۹
۵	محدودیت‌های جسمی/ شناختی	۰/۰۴۳
۶	خطای مبتنی بر مهارت	۰/۰۴۰
۷	محیط فناوری	۰/۰۴۰
۸	حالات نامطلوب فیزیولوژیکی	۰/۰۳۹
۹	مدیریت منابع کارکنان	۰/۰۳۹
۱۰	عدم تصحیح مشکل	۰/۰۳۸
۱۱	فرایندهای سازمانی	۰/۰۳۸
۱۲	عملیات نامناسب برنامه‌ریزی شده	۰/۰۳۸
۱۳	تخلفات موقعیتی	۰/۰۳۷
۱۴	خطای تصمیم‌گیری	۰/۰۳۶
۱۵	محیط اقتصادی/سیاسی/اجتماعی/حقوقی	۰/۰۳۶
۱۶	محیط فیزیکی	۰/۰۳۵
۱۷	نظارت ناکافی	۰/۰۳۵
۱۸	آمادگی فردی	۰/۰۳۵
۱۹	جو سازمانی	۰/۰۳۴
۲۰	مدیریت تغییر	۰/۰۳۴
۲۱	تخلفات روتین	۰/۰۳۱
۲۲	خطای ادراکی	۰/۰۲۸
۲۳	تخلفات استثنایی	۰/۰۲۷

جزئیات نتایج روش ANP به صورت رتبه‌بندی وزنی نهایی (به ترتیب اولویت) سطوح اصلی و زیرشاخص‌ها در جدول ۹ نشان داده شده است. رتبه‌بندی وزنی سطوح عوامل انسانی موثر بر وقوع اعمال ناایمن به ترتیب اولویت عبارتند از: پیش‌شرایط اعمال ناایمن، اعمال ناایمن، عوامل خارجی، عوامل سازمانی، عوامل نظارتی. همچنین اهمیت و اولویت نسبی هریک از ۲۳ زیرسطح نسبت به یکدیگر در جدول ۱۰ نشان داده شده است. طبق این نتایج، زیرشاخص‌های مقررات نظارتی و تخلفات استثنایی به ترتیب بیشترین و کمترین اهمیت را در میان زیرسطوح به خود اختصاص داده‌اند. وزن هر کدام از سطوح و زیرسطوح به صورت درصد بیان شده‌اند. طبق نتایج حاصله، زیرسطح مقررات نظارتی با بیشترین وزن نهایی (۰/۱۴۴) در صدر عوامل مؤثر قرار گرفت و تخلفات استثنایی پایین‌ترین وزن (۰/۰۲۷) را داشت. همچنین در میان سطوح، پیش‌شرایط اعمال ناایمن مهم‌ترین سطح در بروز حوادث شناخته شد. یافته‌های تلفیقی دو روش DEMATEL و ANP تأکید می‌کند که ناکارآمدی در طراحی رویه‌ها، نظارت ضعیف و عدم آمادگی روانی یا فیزیکی کارکنان از ریشه‌های اصلی بروز اعمال ناایمن در این واحد فولادی هستند. این نتایج مبنای ارزشمندی برای طراحی مداخلات پیشگیرانه در حوزه مدیریت ایمنی فراهم می‌آورد.

بحث

در پژوهش حاضر به بررسی علل وقوع حوادث و

[Downloaded from jhsw.tums.ac.ir on 2026-05-14]

اعمال نایمن کارکنان شاغل در یکی از صنایع فولاد کشور با استفاده از روش HFACS پرداخته شد. همچنین از روش‌های DEMATEL و ANP برای اولویت‌بندی و وزن‌دهی داده‌های حاصل از روش HFACS استفاده شد تا با تلفیق این سه روش بتوان عوامل موثر در ایجاد اعمال ناایمن را شناسایی کرده و از بروز حوادث در محیط‌های کاری پیشگیری کرد. طبق یافته‌های روش HFACS سطح پیش‌شرایط اعمال ناایمن با تاثیر از فاکتورهای فردی، محیطی و حالات افراد در بروز خطاهای انسانی نقش مهمی دارد. فاکتورهای فردی به ارتباط، هماهنگی و تناسب وظیفه با فرد بستگی دارد. بدین صورت که عدم برگزاری جلسات توجیهی قبل از انجام کار، شیفت‌های کاری نامناسب که اغلب منجر به خستگی و استرس ناشی از کار می‌گردد متاثر از ضعف مدیریتی می‌باشد که می‌تواند بر بروز خطاهای ادراکی تاثیر داشته باشد. عوامل محیطی به محیط فیزیکی و نوع فناوری مورداستفاده در محیط کار مربوط می‌شود. وجود عوامل زیان‌آور فیزیکی نظیر صدای بالاتر از حدمجاز و روشنایی نامناسب محیط مورد مطالعه، نبود حفاظ‌های مناسب دستگاه‌ها، بی‌نظمی محیط کار و عدم پیروی از سیستم مدیریتی۵ S، استفاده از تجهیزات و فناوری قدیمی از عوامل مهم بروز خطاهای انسانی در این سطح هستند که عوامل سازمانی از جمله نارسایی در مدیریت منابع و فرهنگ ضعیف سازمانی نقش عمده‌ای در بروز آن‌ها را دارد و این عوامل می‌تواند بر بروز خطاهای ادراکی و مهارتی افراد اثری منفی داشته باشد. حالات افراد که در این سطح HFACS مهمترین نقش را در بروز خطاهای انسانی دارد و دارای ۳ فاکتور حالات فیزیکی و روانی افراد و محدودیت‌های شناختی یا فیزیکی آن‌ها می‌باشد که بیشتر به دلیل انگیزه ناکافی، نداشتن مهارت و درک درست از وظیفه محوله، تخصیص شغل بدون در نظرگرفتن محدودیت‌های فردی، فشار و استرس کاری بیش از حد و ابتلای افراد به بیماری‌های شغلی از جمله افت شنوایی و اختلالات اسکلتی عضلانی رخ می‌دهد. این زیرسطح متاثر از عوامل سازمانی و نظارت ناکافی می‌باشد چرا که ضعف مدیریت، عدم توجه به ظرفیت کارکنان، نظارت ضعیف بر استفاده از PPE و فرهنگ ایمنی و دستورالعمل‌های ایمنی و بهداشتی ضعیف از عوامل مهم می‌باشند. به دلایل مذکور است که از نظر متخصصین این سطح بر اساس روش ANP بیشترین اهمیت را در بروز اعمال ناایمن دارد. در مطالعه جلالی (۲۰۲۳) نیز به اهمیت سطح پیش‌شرایط اعمال ناایمن و تاثیرات آن در بروز اعمال ناایمن پرداخته شده است. اما این سطح در مقایسه با یافته‌های مطالعه افشاری (۲۰۱۹) که به ارزیابی خطاهای انسانی با هدف شناسایی خطاهای انسانی در یک صنعت سیمان و بیان اهمیت سطح اعمال ناایمن پرداخته و بر نقش آموزش و سیستم‌های مدیریتی در کاهش بروز خطاهای انسانی تاکید می‌کند (۳۲و۳۳) مغایرت دارد که می‌تواند ناشی از تفاوت در شرکت‌های مورد مطالعه باشد. طبق یافته‌های مطالعه، بازنگری دستورالعمل‌های ایمنی و بهداشتی، پیاده‌سازی سیستم مدیریتی ۵S، انتخاب مسئولین مسلط بر ایمنی، بهداشت و ارگونومی، برگزاری دوره‌های آموزشی مرتبط، بروزرسانی تجهیزات، تنظیم شیفت‌های کاری مطابق با استانداردهای ارگونومی و متناسب با ظرفیت کارکنان، طراحی ارگونومیک محیط کار و متناسب‌سازی کار سبک و مناسب برای افراد با بیماری‌های زمینه‌ای جهت بهبود این سطح توصیه می‌گردد.

بر اساس یافته‌های چهارچوب HFACS سطح عوامل سازمانی نیز همانند سطح پیش‌شرایط اعمال ناایمن بیشترین نقش را در بروز حوادث و اعمال ناایمن دارد. این سطح بعنوان ریشه‌ای‌ترین و اثرگذارترین سطح HFACS تحت تاثیر فرایندهای سازمانی، مدیریت منابع، فرهنگ سازمانی و مدیریت تغییر می‌باشد. فرایندهای سازمانی بعنوان مهمترین عامل در این سطح بیشتر به دلیل استفاده از دستورالعمل‌های نامناسب یا منسوخ شده، تحمیل زمانی بیش از حد بر کارکنان و ناتوانی در تعیین اهداف مشخص‌شده بروز می‌کنند که بنا بر دلایل مذکور، این زیرسطح تحت تاثیر سطح عوامل نظارتی می‌باشد و همچنین می‌تواند سطوح اعمال ناایمن و پیش‌شرایط اعمال ناایمن را تحت تاثیر قرار دهد. جو

[Downloaded from jhsw.tums.ac.ir on 2026-05-14]

سازمانی نامناسب به دلایلی چون فرهنگ ایمنی ضعیف، نگاه از بالا به پایین مدیران و بی‌اعتنایی آن‌ها بر نیازهای کارکنان، عدم تعامل و استقلال در بین کارکنان اغلب به وقوع می‌پیوندد. فرهنگ سازمانی می‌تواند طبق دلایل مذکور بر بروز خطاهای تصمیم‌گیری و حالات نامطلوب افراد اثر منفی داشته باشد. ضعف در مدیریت منابع به دلایلی چون بی‌اعتنایی افراد و سازمان به دستورالعمل‌های ایمنی و بهداشتی، اتخاذ برنامه‌های راهبردی اشتباه، بی‌اعتنایی به نیازهای فیزیکی و ذهنی افراد و منابع انسانی، تمرکز مدیران بر منافع شخصی و بکارگیری قوانین غیرمنعطف رخ می‌دهد. مدیریت تغییر نیز مربوط به ساختار و فرایندهای سازمانی می‌باشد که رابطه مستقیمی با فناوری محیط مورد مطالعه دارد. این مسئله نشان می‌دهد که سیاست‌ها، فرآیندهای سازمانی و نحوه تخصیص منابع می‌تواند به‌صورت مستقیم و غیرمستقیم منجر به تقویت یا تضعیف ایمنی شود. از سوی دیگر، عوامل خارجی نظیر ملاحظات اقتصادی و شرایط بازار، تأثیر کمتری بر ایجاد خطاهای انسانی در این مطالعه داشتند. در مطالعه Oliveira (۲۰۲۳) مشخص شد که از میان حوادث ساخت‌وساز عمرانی که بین سال‌های ۱۹۹۷ تا ۲۰۲۰ در ایالات متحده به روش HFACS آنالیز گردید، فرایند سازمانی با ۹۷/۷ درصد رایج‌ترین فاکتور در ارتباط با مرگ‌ومیر افراد در چنین حوادثی بود (۳۴). مطالعه نعیمی (۲۰۲۴) نیز همسو با یافته‌های مطالعه حاضر می‌باشد که نشان داد علاوه‌بر اعمال ناایمن، سطح تاثیرات سازمانی همانند یافته مطالعه حاضر بدلیل دستورالعمل‌های ضعیف و آموزش ناکافی در وقوع حوادث شغلی نقش بسزایی ایفا کرده است (۳۷-۳۵). طبق یافته‌های روش DEMATEL سطح عوامل سازمانی از طریق موارد مذکور بر سایر سطوح HFACS بیشترین تاثیر را داشته و به صورت غیرمستقیم منجر به افزایش وقوع خطاهای انسانی می‌گردد. برای خنثی‌سازی اثرات این سطح بر بروز اعمال ناایمن، تقویت فرهنگ ایمنی، طراحی مجدد رویه‌های مدیریتی و عملیاتی، بکارگیری فناوری مدرن و جدید و توجه ویژه بر ارگونومی سازمانی توصیه می‌گردد.. همچنین یافته‌های بدست‌آمده در این پژوهش بیانگر آن است که بروز اعمال ناایمن در واحد نورد یک شرکت فولاد، نتیجه تعامل پیچیده‌ای از عوامل سازمانی، نظارتی، فردی و محیطی است. بیشترین فراوانی خطاها در سطوح پیش‌شرایط اعمال ناایمن و عوامل سازمانی تأکید می‌کند که سیستم‌های پشتیبان، طراحی محیط کار و فرهنگ ایمنی نقش پررنگی در وقوع حوادث ایفا می‌کنند.

سطح اعمال ناایمن بطور مستقیم و آشکار در بروز خطاهای انسانی نقش داشته و جزو لایه‌های مهم HFACSاست چرا که می‌تواند متاثر از دیگر فاکتورهای مهم باشد. این سطح متشکل از خطاها شامل خطاهای مهارتی، ادراکی و تصمیم‌گیری و تخلفات شامل تخلفات روتین، موقعیتی و استثنایی می‌باشد. خطاهای مهارتی بیشتر به دلیل تجربه و اعتماد بنفس بیش از حد افراد و اطمینان از عدم انجام خطا و یا بالعکس رخ می‌دهد. چنین خطاهایی شامل نقص در توجه، حافظه و خطاهای تکنیکی است. برای مثال فرد به دلیل تجربه کاری زیاد در فعالیت خود و عادت ذهن به آن، از عدم انجام خطا اطمینان حاصل کرده است و در هنگام بروز تغییرات در فرایند کاری در اتخاذ رویه جدید دچار مشکل می‌شود و یا فردی با تجربه ناکافی برای شغلی گماشته می‌شود که مهارت‌های لازم برای انجام آن و واکنش در شرایط بحرانی را ندارد و ذهن فرد نمی‌تواند پاسخگوی آن باشد. از طرفی خستگی نیز می‌تواند منجر به بروز خطاهای مهارتی شود. لذا می‌توان نتیجه گرفت که خطاهای مهارتی متاثر از سطوح پیش‌شرایط اعمال ناایمن و عوامل نظارتی می‌باشد که ممکن است بکارگیری آموزش‌های لازم برای سرپرستان جهت تشخیص و مدیریت خستگی کارکنان مفید باشد. خطاهای ادراکی و تصمیم‌گیری بدلیل عدم آگاهی پرسنل، آموزش ناکافی، فشار کاری و زمانی بیش از حد و عدم تناسب شغل فرد با توانایی ذهنی افراد رخ می‌دهند. این خطاها اغلب تحت تاثیر سطح سازمانی می‌باشند چرا که ضعف در مدیریت منابع و فرایندهای سازمانی وقوع چنین خطاهایی را تشدید

[Downloaded from jhsw.tums.ac.ir on 2026-05-14]

می‌کنند.

تخلفات نیز معمولا به دلیل بی‌اعتنایی نسبت به قوانین و مقررات بهداشتی، حجم کاری زیاد، محیط کاری نامناسب و کمبود اغلب تجهیزات رخ می‌دهند. در مطالعه حاضر تخلفات از سطوح نظارت ناایمن و پیش‌شرایط اعمال ناایمن تاثیر می‌پذیرند. بنابراین اعمال ناایمن جزء حیاتی خطاهای انسانی و حوادث می‌باشد که یافته‌های مطالعات هاشم زاده (۲۰۲۳) و Ugurlu (۲۰۱۸) بر اهمیت این سطح در بروز خطاهای انسانی پرداخته و نشان می‌دهند که سطح اعمال ناایمن سهم عمده‌ای از خطاها را به خود اختصاص داده است که می‌بایست راهکارهای کنترلی برای این نوع خطاها در نظر گرفته تا از بروز آن جلوگیری شود (۳۸ و ۳۹). در هر دو روش مذکور طبق نظرات کارشناسان سطح عوامل خارجی کمترین مشارکت را در بروز اعمال ناایمن دارد چرا که محیط اقتصادی، سیاسی، اجتماعی بیرون از سازمان تاثیر کمی در بروز خطاهای انسانی دارد درصورتی که مقررات نظارتی از جمله وضع قوانین مبهم و نامتناسب با افراد می‌تواند به ایجاد شرایط ناایمن محیط کار کمک کند. یافته‌های روش ANP نیز نشان می‌دهد که در مقابل سطح پیش‌شرایط اعمال ناایمن که به عنوان پراهمیت‌ترین سطح HFACS بحث شد، سطح نظارت ناایمن نیز از نظر متخصصین کم‌اهمیت‌ترین سطح HFACS در بروز اعمال ناایمن می‌باشد. در مطالعه حاضر، این سطح در صورت بروز سهل‌انگاری از جانب مدیریت و سرپرستان می‌تواند زمینه‌ساز بروز خطاهای انسانی در سازمان شود و به دلیل عواملی چون عدم نظارت سرپرستان و تطابق وظایف کاری با پرسنل، استفاده از افراد بی‌تجربه، بی‌اعتنایی نسبت به اصلاح مشکلات شناخته‌شده و نقض قوانین و مقررات رخ می‌دهد. این یافته تأیید می‌کند که ساختار کنترلی و نظارتی ضعیف، بستر بروز تخلفات و نادیده‌گرفتن مقررات را فراهم کرده است. بر همین اساس، بازنگری در ساختار آیین‌نامه‌ها و اعمال نظارت مؤثر و شفاف می‌تواند به‌عنوان یک راهبرد پیشگیرانه در کاهش خطاها و حوادث مورد توجه قرار گیرد. در مقایسه یافته‌های مطالعه حاضر با سایر مطالعات، این سطح نقش کمتری در بروز اعمال ناایمن دارد درصورتی که مطالعه Wang (۲۰۲۵) نشان داد که سطح عوامل نظارتی اصلی‌ترین فاکتور تاثیرگذار در بروز اعمال ناایمن می‌باشد بطوری که بررسی‌ها نشان داد عدم نظارت کافی مسئولان ایمنی، تخلف در نظارت برای تطابق شغل با فرد به کار گماشته‌شده، عدم آموزش کافی، استفاده از کارگران بی‌تجربه و عدم اجبار افراد برای استفاده از PPE از جمله عوامل تأثیرگذار در نظارت ناکافی بودند (۴۰). همچنین در برخی مطالعات نشان داده شده است که نظارت و سرپرستی ناکارآمد از نظر کمی و کیفی می‌تواند بر تکرارپذیری رفتارهای ناایمن تاثیرگذار و بطور غیرمستقیم بر میزان حوادث موثر باشد (۴۱).

نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که مدل HFACS در کنار روش‌های MCDM مانند DEMATEL و ANP می‌تواند ابزار مؤثری برای تحلیل سیستماتیک خطاهای انسانی باشد. ترکیب روش‌ها در بررسی عوامل انسانی مرتبط با حوادث و اعمال ناایمن منجر به تقویت روش HFACS و بدست آمدن یافته‌های دقیق‌تری گردید. همچنین تلفیق روشی کمک می‌کند تا تصمیم‌گیران سازمانی، مداخلات خود را بر اساس اولویت‌های تحلیلی و نه صرفاً مشاهدات تجربی طراحی کنند. در کنار این نقاط قوت، می‌توان به محدودیت‌هایی چون عدم تطابق برخی از سوالات موجود در چک‌لیست HFACS با شرایط مطالعه، خودداری برخی افراد از تکمیل پرسشنامه ANP بدلیل زمانبر بودن آن اشاره کرد. همچنین تعداد محدود حوادث و شبه حوادث ثبت‌شده در شرکت مورد مطالعه باعث شد که مستندات محدودی در دسترس باشد و امکان بررسی حوادث بیشتر میسر نشد.

نتیجه گیری

مطالعه حاضر با استفاده از ترکیب روش‌های HFACS، DEMATEL و ANP به شناسایی و تحلیل سیستماتیک عوامل انسانی مؤثر در بروز حوادث در واحد نورد یک شرکت فولاد پرداخت. با توجه به نتایج حاصله، بازنگری و تقویت ساختارهای نظارتی با تدوین دستورالعمل‌های

[Downloaded from jhsw.tums.ac.ir on 2026-05-14]

شفاف و اجرای مستمر نظام‌های بازرسی می‌تواند نقش مهمی در پیشگیری از حوادث و ایجاد اعمال ناایمن ایفا می‌کند. در گام بعد، طراحی و اجرای آموزش‌های هدفمند، به‌ویژه به‌صورت عملی و شبیه‌سازی‌شده، می‌تواند به ارتقاء مهارت‌های ادراکی و تصمیم‌گیری کارکنان، به‌ویژه در شیفت‌های پرحادثه کمک شایانی نماید. همچنین، تقویت زیرساخت‌های سازمانی و فرهنگی ایمنی از طریق ایجاد نظام‌های انگیزشی، اصلاح فرآیندهای ناکارآمد و نهادینه‌سازی فرهنگ گزارش‌دهی بدون ترس از تنبیه، از الزامات اساسی است. بهره‌گیری از سیستم‌های هوشمند هشدار و پایش رفتار مبتنی بر فناوری‌های مبتی بر اینترنت اشیا نیز ابزار مؤثری برای پیش‌بینی و جلوگیری از رفتارهای پرخطر به شمار می‌آید. در نهایت، تعمیم روش ترکیبی ارائه‌شده در این تحقیق به سایر واحدهای صنعتی می‌تواند در شناسایی عوامل انسانی موثر در وقوع حوادث در فرایندهای پرریسک نتایج ارزشمندی به‌همراه داشته باشد. با بهره‌گیری از این رویکرد تحلیلی و کاربردی، مدیران و تصمیم‌گیران صنعت می‌توانند منابع ایمنی خود را هدفمندتر تخصیص داده و اثربخشی سیاست‌های ایمنی را به شکل معناداری افزایش دهند. برای مطالعات آتی نیز پیشنهاد می‌گردد جهت بررسی بیشتر و دستیابی به نتایج دقیق‌تر، از روش DEMATEL و ANP در محیط فازی بجای اعداد قطعی و بررسی چندین شرکت فولاد بطور همزمان استفاده گردد.

کد اخلاق

این پژوهش به‌صورت توصیفی-تحلیلی با اخذ کد اخلاق به شماره IR.UMSU.REC.1402.230 از کمیته اخلاق و پژوهش دانشگاه علوم پزشکی ارومیه در سال ۱۴۰۲ در یک کارخانه فولاد در شمال غرب کشور انجام شد.

REFERENCES

1. Akhavan A, Salehi reyhani SH, Halvani G. Analysis of Fractures and Disability Defects Accidents in Lian Oil Company by Tripod Beta Technique. Occup Med J. 2021;13(2):1-10.
2. Ghahramani A, Zavvar H, Hemmatjo R. Modeling the Causes of Fuel Oil Tank Fire in an Industrial Plant Using Tripod Beta Method. J Saf Promot Inj Prev. 2021;9(1):44-54.
3. Vinnem JE. On the development of failure models for hydrocarbon leaks during maintenance work in process plants on offshore petroleum installations. Reliab Eng Syst Saf. 2013;113:112-21.
4. Shin M, Lee HS, Park M, Moon M, Han S. A system dynamics approach for modeling construction workers' safety attitudes and behaviors. Accid Anal Prev. 2014;68:95-105.
5. Hu WL, Meyer JJ, Wang Z, Reid T, Adams DE, Prabnakar S, et al. Dynamic data driven approach for modeling human error. Procedia Comput Sci. 2015;51:1643-54.
6. Baldissone G, Comberti L, Bosca S, Murè S. The analysis and management of unsafe acts and unsafe conditions. Data collection and analysis. Saf Sci. 2019;119:240-51.
7. Edwards DR. Tripod Beta: Guidance on Using Tripod Beta in the Investigation and Analysis of Incidents, Accidents and Business Losses. Energy Institute; 2017.
8. Ghahramani A, Amirbahmani A. A study of the causes of occupational accidents in manufacturing companies. Arch Trauma Res. 2021;10(2):64-72.
9. Adibhesami A, Ghahramani A, Mohebbi I. Assessment of Human Errors in Control Room Operators of a Cement Manufacturing Company Using Systematic Human Error Reduction and Prediction Approach. J Health Syst Res. 2022;18(2):161-9.
10. Ghahramani A, Adibhesami A, Mohebbi I. An Application of Cognitive Reliability Error Analysis Method for Identification and Evaluation of Human Errors of Control Room Operators in a Cement Manufacturing Company. J Saf Promot Inj Prev. 2020;7(4):183-91.
11. Kaptan M, Sarıalioğlu S, Uğurlu Ö, Wang J. The evolution of the HFACS method used in analysis of marine accidents: A review. Int J Ind Ergon. 2021;86:103225.
12. Ergai A, Cohen T, Sharp J, Wiegmann D, Gramopadhye A, Shappell S. Assessment of the Human Factors Analysis and Classification System (HFACS): Intra-rater and

[Downloaded from jhsw.tums.ac.ir on 2026-05-14]

inter-rater reliability. Saf Sci. 2016;82:393-8.
13. Yildiz S, Uğurlu Ö, Wang J, Loughney S. Application of the HFACS-PV approach for identification of human and organizational factors (HOFs) influencing marine accidents. Reliab Eng Syst Saf. 2021;208:107395.
14. Sarıalioğlu S, Uğurlu Ö, Aydın M, Vardar B, Wang J. A hybrid model for human-factor analysis of engine-room fires on ships: HFACS-PV&FFTA. Ocean Eng. 2020;217:107992.
15. Nwankwo CD, Arewa AO, Theophilus SC, Esenowo VN. Analysis of accidents caused by human factors in the oil and gas industry using the HFACS-OGI framework. Int J Occup Saf Ergon. 2022;28(3):1642-54.
16. Xu R, Luo F, Chen G, Zhou F, Abdulahi EW. Application of HFACS and grounded theory for identifying risk factors of air traffic controllers' unsafe acts. Int J Ind Ergon. 2021;86:103228.
17. Shirali GA, Karami E, Goodarzi Z. Human errors identification using the human factors analysis and classification system technique (HFACS). J Health Saf Work. 2013;3(3):45-54.
18. Jalali M, Dehghan H, Habibi E, Khakzad N. Application of "Human Factor Analysis and Classification System" (HFACS) model to the prevention of medical errors and adverse events: a systematic review. Int J Prev Med. 2023;14:127.
19. Amiri EA, 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;8(1):12-20.
20. Shirali G, Jahani F, Shakib M, Mir I. Identification and Evaluation of Human Errors leading to incidents in a gas refineries using Human Factors Analysis and Classification System: Case study gas refinery. J Occup Hyg Eng. 2018;4(4):1-11.
21. Havle CA, Kılıç B. A hybrid approach based on the fuzzy AHP and HFACS framework for identifying and analyzing gross navigation errors during transatlantic flights. J Air Transp Manag. 2019;76:21-30.
22. Rostamabadi A, Jahangiri M, Zarei E, Kamalinia M, Alimohammadlou M. A novel Fuzzy Bayesian Network approach for safety analysis of process systems; An application of HFACS and SHIPP methodology. J Clean Prod. 2020;244:118761.
23. Liou JJ, Liu PC, Luo SS, Lo HW, Wu YZ. A hybrid model integrating FMEA and HFACS to assess the risk of inter-city bus accidents. Complex Intell Syst. 2022;8(3):2451-70.
24. Ebrahimi H, Sattari F, Lefsrud L, Macciotta R. Analysis of train derailments and collisions to identify leading causes of loss incidents in rail transport of dangerous goods in Canada. J Loss Prev Process Ind. 2021;72:104517.
25. Karthick M, Robert TP, Kumar CS. HFACS-based FAHP implementation to identify critical factors influencing human error occurrence in nuclear plant control room. Soft Comput. 2020;24(21):16577-91.
26. Özdemir Ü, Güneroğlu A. Strategic approach model for investigating the cause of maritime accidents. Promet Traffic Transp. 2015;27(2):113-23.
27. Zhou JL, Bai ZH, Sun ZY. A hybrid approach for safety assessment in high-risk hydropower-construction-project work systems. Saf Sci. 2014;64:163-72.
28. Sarkar S, Patel A, Madaan S, Maiti J. Prediction of occupational accidents using decision tree approach. In: 2016 IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management (IEEM). 2016. p. 1-6.
29. Shappell SA, Wiegmann DA. A human error approach to accident investigation: The taxonomy of unsafe operations. Int J Aviat Psychol. 1997;7(4):269-91.
30. Fontela E, Gabus A. The DEMATEL observer. Battelle Institute, Geneva Research Center; 1976.
31. Dağdeviren M, Yüksel İ. A fuzzy analytic network process (ANP) model for measurement of the sectoral competition level (SCL). Expert Syst Appl. 2010;37(2):1005-14.
32. Jalali M, Dehghan H, Habibi E, Khakzad N. Application of Human Factor Analysis and Classification System (HFACS) model to the prevention of medical errors and adverse events: a systematic review. Int J Prev Med. 2023;14:127.
33. Afshari D, Jafarzadeh Z, Mousavian Z, Jahani F. Identification and evaluation of human errors using human factors analysis and classification system technique based on fuzzy analytic hierarchy process; case study in the cement industry. Occup Med Q J. 2019;11(1):42-58.
34. Oliveira SS, de Albuquerque Soares W, Vasconcelos BM. Fatal fall-from-height accidents: Statistical treatment

[Downloaded from jhsw.tums.ac.ir on 2026-05-14]

using the Human Factors Analysis and Classification System–HFACS. J Saf Res. 2023;86:118-26.

35. Naeimi A, Kamani M, Ahmadi H, Arefi M, Roveshti MM. Investigating Occupational Accidents based on the Human Factors Analysis and System Classification method: A Case Study in an Industrial and Mining Company. J Occup Hyg Eng. 2024;11(1):12-25.
36. Ghahramani A, Abbasi A. Assessment of the relationship between occupational accident experience and personal and job factors in tar paper manufacturing companies, Iran. Occup Health. 2016;12(6):48-57.
37. Ghahramani A, Fazli B. An investigation of safety attitude in a number of manufacturing companies in Urmia. J Health Saf Work. 2017;6(4):35-46.
38. Hashemzadeh F, Fouladvand R. Identification and analysis of unsafe occurrence factors in nursing activities based on human factors analysis and classification system (HFACS). In: Proceedings of the First International Conference of Health and Health Sciences Students of Iran; 2023; Tehran.
39. Uğurlu Ö, Yıldız S, Loughney S, Wang J. Modified human factor analysis and classification system for passenger vessel accidents (HFACS-PV). Ocean Eng. 2018;161:47-61.
40. Wang X, Li S, Wang X, Wang S, Ge S. Early warning of deep coal miners' unsafe behavior based on the HFACS-CM-BP neural network. Int J Occup Saf Ergon. 2025; [Epub ahead of print].
41. Liu R, Cheng W, Yu Y, Xu Q. Human factors analysis of major coal mine accidents in China based on the HFACS-CM model and AHP method. Int J Ind Ergon. 2018;68:270-9.

[Downloaded from jhsw.tums.ac.ir on 2026-05-14]