Iran Occupational Health

Iran Occupational Health. 2025 (01 May);22: 4

Original Article

http://ioh.iums.ac.ir

Assessment and optimal design of lighting of emergency exit route based on standards and time performance: Case study of a combined cycle power plant

Somaye Salari Pak, MSc of occupational health and safety Tehran University of Medical Sciences Department of Occupational Health and Safety Engineering, School of public health, Tehran University of medical sciences, Tehran, Iran.

Seyed Abolfazl Zakerian, professor Tehran University of Medical Sciences Department of Occupational Health and Safety Engineering, School of public health, Tehran University of medical sciences, Tehran, Iran.

Farin Fatemi, Assistant Professor Semnan University of Medical Sciences Social Determinants of Health Research Center, Semnan University of Medical Sciences, Semnan, Iran.

Seifollah Gharib, (*Corresponding author), assistant professor, department of health,safety, environment management, school of health, Mashhad University of Medical Sciences, Mashhad, Iran. seif.gharib@gmail.com

Abstract

Background and aims: Lighting of escape routes is crucial in emergency evacuations, as it provides the necessary illumination for safe and rapid evacuation. The aim of the present study is to assess lighting conditions in emergency evacuations before and after interventions

Methods: This interventional study was conducted on the emergency lighting system of the control unit of a power plant. First, the study assessed emergency lighting levels, individuals' evacuation speed, visibility of signs along the escape route, and the ability to identify escape routes. These factors were evaluated during a simulated electrical system failure scenario using recorded movement speeds from night vision cameras and a designed checklist.

Next, necessary interventions, including the installation of fluorescent tapes, were implemented in the emergency exit routes. Finally, a reassessment was conducted two weeks after the intervention.

Results: The results indicated a significant difference in evacuation time before and after the intervention. The post-intervention evacuation time showed a significant decrease (P-value < 0.0001). The mean evacuation time decreased from 38.8 ± 10.4 seconds before the corrective action to 27.7 ± 8.66 seconds after the intervention.

Additionally, a significant improvement in the assessment of the escape route was observed between pre- and post-intervention. The mean assessment score of the routes increased from 18.6 ± 1.56 before the intervention to 22.5 ± 2.1 after the corrective action. The mean illumination intensity of the escape route pre- and post-intervention was 5.52 ± 2.02 and 19.90 ± 2.47, respectively.

Conclusion: The findings of this study indicate that modifications to the design of exit routes, including the installation of fluorescent tapes and exit signs, can enhance individuals' ability to locate and use escape routes effectively. Moreover, the proper design of emergency exit routes can help reduce congestion and alleviate stress in critical situations. The results also demonstrated individuals' satisfaction with the improved ability to quickly and easily find the exit route following the implementation of appropriate emergency exit route designs.

Conflicts of interest: None

Funding: None

Keywords

Emergency Lighting

Fluorescent Tapes

Exit Signs

Escape Route

Received: 2024/06/10

Accepted : 2025/04/19

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2025-07-22]

EXTENDED ABSTRACT

INTRODUCTION

Natural or man-made disasters and emergencies can occur in industrial environments and workplaces at any time. Establishing emergency response protocols, determining safe assembly areas, and ensuring standardized emergency exit routes play a crucial role in saving lives, facilitating the rapid evacuation of employees, and minimizing human casualties.

Proper lighting of Emergency Exit Routes (EERs) enables the quick and safe evacuation of a building. Additionally, designing and installing emergency exit signs and markers in accordance with standards such as ISO 3864-1, ISO 3864-4, and EN ISO 7010 along EERs is essential for ensuring the safety and well-being of individuals during evacuation. The lighting and accessibility of EERs also influence the emotional and psychological state of individuals as they evacuate hazardous areas to safe locations. EERs must be designed to enable the fastest possible evacuation while minimizing injuries and fatalities.

Findings from studies indicate that reducing emergency lighting levels within a building can impair individuals' performance, resulting in slower movement, increased doubt and hesitation, and heightened secondary risks. Some studies have also demonstrated that various factors—such as education level, work experience, work duration, types of safety signs, and the background color of safety signs—affect individuals' perception of safety signs during emergency evacuations.

The aim of this study is to assess the emergency lighting and safety signs in a combined-cycle power plant before and after the intervention. The considered intervention is redesigning the EER.

METHODOLOGY

The present interventional study was designed in 11 stages and 3 phases at a combined-cycle power plant in Tehran, Iran.

Phase one of the study involved identifying the building structure, selecting the target population, determining existing lighting systems, and assessing factors affecting emergency evacuation (individual and physical factors). An evaluation of general and EER lighting was also carried out at this stage. Lighting measurements were conducted using a Lux meter model Hanger Screen Master at a height of 75 centimeters above the ground.

Phase two of the study included preparing evaluation equipment (installing night vision cameras in the EER) and conducting a simulation of the initial emergency evacuation exercise based on an incident scenario involving the target group. The target group consisted of all power plant employees. Required data were collected using a designed checklist.

Phase three of the study involved implementing interventions and conducting the second simulation exercise. The intervention included redesigning and modifying the EER in accordance with the standards ISO 3864-1, ISO 3864-4, EN ISO 7010, EN IEC 60598-2-1:2021, and NFPA 101. It also included installing photoluminescent tapes along the EER and on all stairs along the route to improve step visibility. Additionally, luminous signs related to emergency evacuation were installed, and any obstacles along the EER were removed. Photoluminescent tapes have the ability to absorb natural and artificial light and reflect it when no lighting is available.

After three weeks of intervention and compliance with the necessary standards, the second emergency evacuation simulation exercise was conducted based on an incident scenario involving the target group. Data for the second exercise were also collected using a checklist.

Both emergency evacuation simulation exercises were conducted without prior coordination or informing the target group. The same group participated in both the first and second simulation exercises. Statistical analysis was performed using SPSS 26 software, employing statistical tests such as the paired-sample t-test, Kolmogorov-Smirnov test, Wilcoxon test, and independent samples t-test. The independent variables examined in this study included artificial lighting, emergency lighting, and natural lighting, while the dependent variables included understanding of exit signs, evacuation time, and ease of access. The level of statistical significance in this study was set at 0.05 (P-value < 0.05).

RESULTS

Participants in this study included all control room and power plant operating technicians from the two main shifts, all of whom were male, totaling 23 individuals. The mean and standard deviation of their demographic characteristics were as follows: age, 35.2 ± 2.85 years; height, 179.1 ± 1.59 centimeters; weight, 73.1 ± 1.78 kilograms; and body mass index, 25.9 ± 9.42. Seventeen individuals (74%) had normal vision, while six individuals (26%) wore glasses—half for distance vision and half for near-sightedness. No color vision problems were reported among the participants.

The lighting was measured at 580 lux in the control room. Based on other measurements, the lighting levels were 100 lux in the central corridor, 200 lux in the building's waiting room, and 50 lux on the stairs. The emergency lighting sources consisted of LED lamps installed in the control room, central corridor, waiting room, and stairs. The measured lighting on the floor and centerline during an emergency, particularly in the control room, was below the permissible occupational exposure limit (1.0 lux on the floor, 5.0

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2025-07-22]

Table 1. Results of accessibility to EER in pre and post interventions

Variable	Pre- intervention Mean± SD	Post intervention Mean± SD	P-value
Identifiability of EER	1.74±0.61	2.00±0.0	0.06
Visibility of emergency exit signs	1.35±0.83	1.91±0.29	0.004
Understandability of emergency exit signs	1.43 ±0.84	1.69±0.7	0.034
Appropriateness the height and color of emergency exit signs	0.91±0.94	1.83±0.5	0.001
Appropriateness the lighting of EER in order to access the safe point	1.26±0.75	1.78±0.52	0.003
Visibility of existing obstacles in the EER	1.44±0.66	1.78±0.52	0.005
Identifiability of safety signs in the EER with minimum effort	1.39±0.89	1.80±0.50	0.014
Quality of lighting in EER	1.00±0.7	1.73±0.61	0.001
Total score	18.6± 1.56	22.5± 2.1	0.001

lux on the centerline).

During a failure of the main electricity system, parts of the control room lacked sufficient visibility to detect and avoid obstacles. Adjacent to the control room was a utilities room measuring 11 meters in length and 6 meters in width, equipped with 12 LED lamps. The angle of the emergency exit signs exceeded 20 degrees from the direct line of sight. The emergency lamp installed on the stairs was positioned at a low height, with an angle of less than 30 degrees from the direct line of sight, causing glare. Additionally, this emergency lighting did not provide the required 15 lux as specified in the BS EN 1838 standard. The emergency light activation time was less than 0.5 seconds, but the system was unable to provide 100% lighting within 60 seconds. The installed safety signs were old and insufficient due to poor visibility and illumination.

The EER contained several obstacles. Under these conditions, the first emergency evacuation exercise was conducted for control room operators at the power plant during nighttime and under electricity failure conditions. Subsequently, necessary interventions were implemented, including the installation of photoluminescent strips along the EER and on the stairs, removal of obstacles from the EER, and installation of new self-illuminating signs for nighttime visibility. Photoluminescent strips were installed along the EER path for a length of 150 meters.

A reassessment of lighting under normal and emergency power outage conditions showed that the lighting on the floor and central line of the EER increased from 5.52 lux to 19.9 lux, in accordance with the IES standard. Unclear emergency exit signs and symbols that had been mistakenly installed were corrected. Additionally, five emergency exit signs were installed at a height of 1.5 meters on walls near exit doors and at the beginning and end of the stairs. All interventions and corrections were carried out in accordance with OSHA, ISO 3864-4, and EN ISO 7010 standards.

After two weeks, the second emergency evacuation exercise was conducted. Questionnaires were completed during both exercises and compared pre- and post-intervention (Table 1).

The correlation test indicated a statistically significant difference in the average evacuation time of individuals before the intervention (38.8 ± 10.4 seconds) and after the intervention (27.7 ± 8.66 seconds) (P-value = 0.001). The results of the statistical tests showed a significant difference in the overall assessment scores of the EER before and after the intervention, indicating improved ease of access and increased satisfaction among individuals with the EER, which was designed based on standards.

The findings of this study are consistent with a 2019 study conducted at an underground metro station in South Korea, where proper EER design and the use of emergency exit signs led to a reduction in emergency evacuation time. Similarly, a 2010 study conducted in Canada observed a significant difference in the evacuation speed of individuals using stairs equipped with fluorescent strips compared to stairs without these strips. A significant reduction in evacuation time and the ability of individuals to reach safe points without secondary incidents highlight the effectiveness of proper EER design, particularly in the absence of electricity or during emergency power failures.

Moreover, appropriate interventions can significantly reduce indirect costs and the psychological burden associated with injuries and fatalities. The results of this study demonstrate that proper EER design can enhance evacuation speed in buildings during emergencies and disasters.

The results of the independent t-tests did not indicate a statistically significant relationship between education, wearing glasses, and Body Mass Index (BMI) and the length of individuals' evacuation time (P-value > 0.05). Additionally, no statistically significant relationship was observed between BMI and work experience, education and wearing glasses, or age and history with the level of improvement in the overall evaluation score. However, a statistically significant relationship was observed between age and evacuation time (P-value < 0.05).

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2025-07-22]

CONCLUSION

This study showed that improving the design of emergency exit routes can accelerate the evacuation of individuals during disasters and emergencies. Well-designed exit routes also prevent overcrowding, reduce potential accidents caused by collisions between individuals or objects, and minimize financial and human losses. Additionally, factors such as aging can affect evacuation speed. Therefore, specific precautions must be considered for vulnerable groups, such as designing their workstations near emergency exits until their evacuation speed improves in emergency situations. Other factors, including work experience, familiarity with the building, and cultural and educational background, also influence individuals' decision-making ability during incidents and their evacuation speed. The more individuals are trained, familiar with the building, and have participated in emergency evacuation exercises, the faster their decision-making ability and evacuation speed will be during disasters and emergencies. Furthermore, the interventions conducted in this study can be generalized to other work environments to enhance preparedness for emergency evacuations during fires and similar accidents or disasters.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

The authors contributed equally to the writing of the article.

OPEN ACCESS

©2025 The author(s). This article is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License, which permits use, sharing, adaptation, distribution and reproduction in any medium or format, as long as you give appropriate credit to the original author(s) and the source, provide a link to the Creative Commons license, and indicate if changes were made. The images or other third-party material in this article are included in the article's Creative Commons license, unless indicated otherwise in a credit line to the material. If material is not included in the article's Creative Commons license and your intended use is not permitted by statutory regulation or exceeds the permitted use, you will need to obtain permission directly from the copyright holder. To view a copy of this license, visit: http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/

ETHICAL CONSIDERATION

Ethical issues including plagiarism, informed consent, misconduct, data falsification, and repeated publication and submission have been observed by the authors.

CODE OF ETHICS

IR.TUMS.SPH.REC.1395.765

How to cite this article:
Somaye Salari Pak, Seyed Abolfazl Zakerian, Farin Fatemi, Seifollah Gharib. Assessment and optimal design of lighting of emergency exit route based on standards and time performance: Case study of a combined cycle power plant. Iran Occupational Health. 2025 (01 May);22:4.

***This work is published under CC BY-NC 4.0 licence**

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2025-07-22]

سلامت کار ایران
دوره ۲۰۲۲ - ۴/۱۴۰۴

مقاله پژوهشی
http://ioh.iums.ac.ir

ارزیابی و طراحی بهینه روشنایی مسیر خروج اضطراری براساس استاندارد و عملکرد زمانی افراد: مطالعه موردی نیروگاه سیکل ترکیبی

سمیه سالاری پاک: کارشناسی ارشد، گروه مهندسی بهداشت حرفه ای و ایمنی کار، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی تهران، تهران، ایران.
سید ابولفضل ذاکریان: استاد، گروه مهندسی بهداشت حرفه ای و ایمنی کار، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی تهران، تهران، ایران.
فرین فاطمی: مرکز تحقیقات عوامل اجتماعی موثر بر سلامت، دانشگاه علوم پزشکی سمنان، سمنان، ایران و دپارتمان مهندسی بهداشت حرفه ای و ایمنی کار، دانشکده بهداشت دامغان، دانشگاه علوم پزشکی سمنان، سمنان، ایران.
سیف اله غریب: (* نویسنده مسئول) استادیار، گروه مدیریت سلامت، ایمنی و محیط زیست (HSE)، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی مشهد، مشهد، ایران و مرکز تحقیقات عوامل اجتماعی موثر بر سلامت، دانشگاه علوم پزشکی مشهد، مشهد، ایران. seif.gharib@gmail.com

چکیده

زمینه و هدف: روشنایی مسیر فرار یکی از ارکان مهم در تخلیه اضطراری است زیرا تامین روشنایی مورد نیاز تخلیه سریع و ایمن افراد را فراهم می سازد. مطالعه حاضر با هدف تعیین شرایط روشنایی موجود در تخلیه اضطراری قبل و بعد از اصلاحات مورد نیاز جهت تسهیل خروج ایمن و سریع افراد صورت گرفت.

روش بررسی: مطالعه مداخله ای حاضر در سیستم روشنایی اضطراری ساختمان کنترل یک نیروگاه برق سیکل ترکیبی انجام گرفت. ابتدا میزان روشنایی شرایط اضطراری، سرعت خروج افراد و میزان قابلیت رویت علائم موجود در مسیر و قابلیت تشخیص مسیر فرار در اجرای سناریو نقص سیستم الکتریکی ساختمان با استفاده از ثبت سرعت و عملکرد افراد توسط دوربین های دید در شب و چک لیست طراحی شده مورد بررسی قرار گرفت. سپس مداخله لازم شامل طراحی مجدد روشنایی اضطراری نصب نوارهای فتولومینسنت، علائم خروج و حذف موانع در مسیر فرار انجام و با فاصله ی دو هفته بعد از مداخله تمرین دوم انجام شد.

یافته ها: نتایج نشان دهنده وجود اختلاف آماری معنادار در مدت زمان خروج قبل از انجام مداخله و بعد از آن بود. به نحوی که میزان مدت زمان خروج بعد از مداخله کاهش معناداری داشته است (P-value < ۰/۰۰۱). واکنش زمانی خروج افراد قبل از مداخله با میانگین و انحراف معیار ۱۰/۴ ± ۳۸/۸ ثانیه بود که بعد از مداخله به ۸/۶۶ ± ۲۷/۷ ثانیه کاهش یافت (P-value = ۰/۰۰۱). همچنین اختلاف معنا داری در ارزیابی مسیر فرار توسط اپراتور ها قبل از انجام مداخله و بعد از آن مشاهده شد. بدین صورت که میانگین امتیاز کلی ارزیابی مسیر قبل از مداخله ۱/۵۶ ± ۱۸/۶ و بعد از مداخله به ۲/۱ ± ۲۲/۵ امتیاز افزایش یافت. میانگین شدت روشنایی مسیر راهرو های خروج قبل و بعد از مداخله به ترتیب ۲/۰۲ ± ۵/۵۲ و ۲/۴۷ ± ۱۹/۹۰ بود.

نتیجه گیری: این مطالعه نشان داد که با تغییر طراحی مسیر خروج و نصب نوار فتولومینسنت و علائم خروج می توان عملکرد زمانی افراد را در مسیر خروج اضطراری کاهش داد. همچنین طراحی اصولی مسیر خروج اضطراری می تواند در کاهش ازدحام و کاهش استرس های ناشی از قرار گرفتن در شرایط بحرانی موثر باشد. نتایج مطالعه حاضر نشان داد مداخلات انجام شده شامل تغییر چیدمان مسیر خروج، نصب نوار فتولومینسنت و علائم خروج به افراد در پیدا کردن سریع تر و راحت تر مسیر خروج کمک می کند.

تعارض منافع: *گزارش نشده است.*
منبع حمایت کننده: *ندارد.*

کلیدواژه‌ها
روشنایی اضطراری
نوار فتولومینسنت
علائم خروج
مسیر فرار

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۳/۲۱
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۱/۳۰

شیوه استناد به این مقاله:
Somaye Salari Pak, Seyed Abolfazl Zakerian, Farin Fatemi, Seifollah Gharib. Assessment and optimal design of lighting of emergency exit route based on standards and time performance: Case study of a combined cycle power plant. Iran Occupational Health. 2025 (01 May);22:4.

*انتشار این مقاله به صورت دسترسی آزاد مطابق با CC BY-NC 4.0 صورت گرفته است

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2025-07-22]

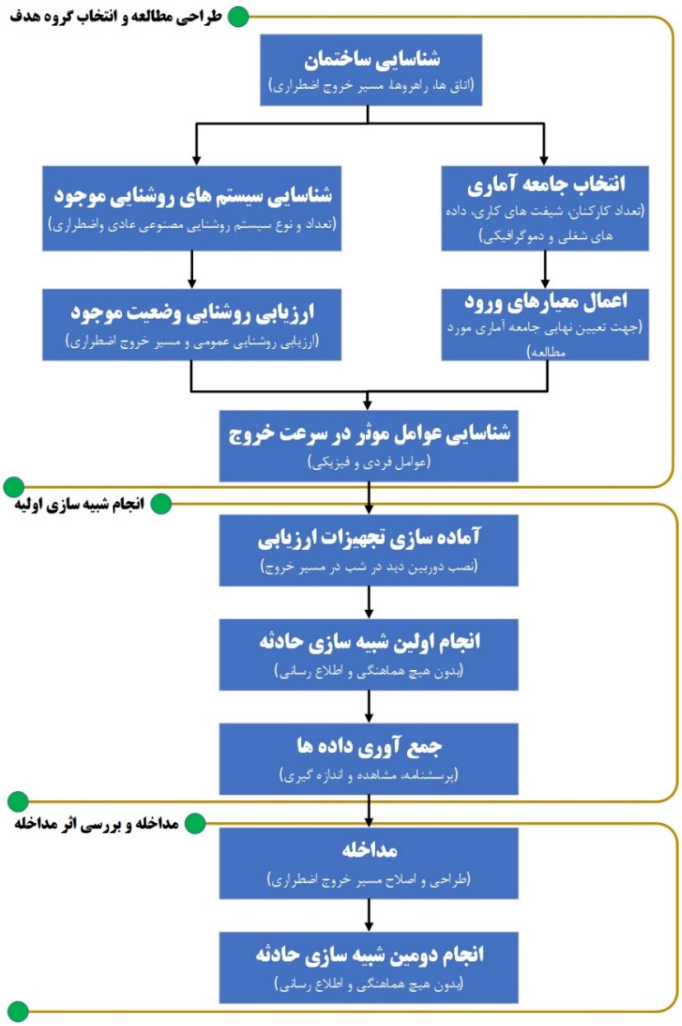
مقدمه

حوادث و بلایای طبیعی و انسان ساخت مانند طوفان، سیل، زلزله، آتش سوزی و حوادث بزرگ صنعتی ناشی از خطاهای انسانی مانند نشت مواد شیمیایی همواره در کمین کارکنان و کارگران در محیط های صنعتی می باشد (۱-۳). لذا داشتن پروتکل های واکنش در شرایط اضطراری، جانمایی مکان های تجمع ایمن و استاندارد بودن مسیرهای خروج اضطراری که کارکنان بتوانند در سریع ترین زمان ممکن خود را از مکان های پرخطر و محصور دور کرده و به محل های تجمع ایمن برسانند بسیار مهم و ضروری می باشد (۴). هدف از مسیرهای خروج اضطراری، خروج سریع و ایمن افراد در کوتاهترین زمان ممکن در هنگام رخداد حوادث و بلایا است تا میزان تلفات انسانی به حداقل ممکن کاهش یابد (۵). روشنایی مسیرهای فرار در شرایط اضطراری نقش مهمی را ایفا نموده زیرا افراد حاضر در یک مکان به واسطه تأمین میزان روشنایی مناسب توانایی تشخیص مسیرهای خروج اضطراری و عبور از آنها را در هر زمان از روز و شب را دارا هستند. همچنین طراحی و نصب نشانگرهای مناسب با میزان خود روشنایی و وضوح کامل در طول مسیر خروج اضطراری به منظور تخلیه سریع و ایمن از الزامات ضروری و استاندارد در شرایط تخلیه اضطراری می باشد (۶, ۷). تأمین روشنایی اضطراری در شرایط قطع جریان برق برای مسیرهای خروج از شرایط استاندارد دیگر تخلیه اضطراری می باشد. هدف اصلی روشنایی اضطراری زمانی محقق می شود که افرادی که در حال فعالیت در یک مکان هستند بدانند از کدام راه بروند و مسیرهای خروجی به گونه ای واضح باشند که افراد بتوانند به دنبال هم، به سرعت و به طور ایمن حرکت نمایند. در این صورت ایمنی ایجاد شده توسط روشنایی اضطراری را می توان معادل پیمودن ایمن یک مسیر بدون برخورد با موانع موجود در مسیر دانست (۸-۹).

هرچند پارامترهای بسیاری بر روی ایمنی افراد در هنگام تخلیه اضطراری تاثیر دارد اما براساس نتایج مطالعات می توان بیان کرد که کمیت و کیفیت روشنایی یکی از مهم ترین فاکتورهای دخیل در این موضوع می باشد. از طرفی دیگر زمان خروج افراد از مناطق خطرناک به محل ایمن همراه با احساسات و تاثیرات ذهنی است که روشنایی اضطراری می تواند بر این دو مهم موثر باشد (۷, ۹, ۱۰). منابع تأمین انرژی جایگزین سیستم های روشنایی اضطراری در محیطهای کاری باید هنگام قطع جریان برق اصلی به صورت خودکار فعال شده و حداقل روشنایی قابل قبول را فراهم نموده تا افراد بتوانند به راحتی و در کوتاهترین زمان ممکن مسیرهای خروج اضطراری را شناسایی و اقدام به فرار نمایند (۱۱-۱۶). نتایج مطالعه اولت و همکاران نشان داد که با کاهش میزان روشنایی اضطراری در داخل ساختمان عملکرد افراد کاهش یافته و سرعت حرکت کندتر و با شک و تردید بیشتری همراه شده که همین امر می تواند منجر به ایجاد ریسک فاکتورهای خطر ثانویه مانند هیاهو، سردرگمی، برخورد افراد با اشیاء و آسیب دیدن افراد در اثر برخورد با اشیاء، با یکدیگر و یا ماندن زیر دست و پا شود (۱۷). بنابراین، تأمین روشنایی مناسب مسیر فرار یکی از عوامل مهم در تخلیه اضطراری داخل ساختمان ها است. وجود علائم خروج اضطراری در طول مسیر فرار روند تخلیه را تسریع می کنند.

علائم خروج اضطراری از ابتدایی ترین ابزار فراهم کننده اطلاعات مربوط به مسیرحرکت و روشنایی مسیر فرار در شرایط بحران است که دید کامل افراد را برای حرکت در مسیر انتخابی میسر می سازد. تشخیص علائم خروج با توجه به نوع حادثه یا فاجعه می تواند تحت تاثیر دود، گروغبار، صدا، همهمه، استرس و سردرگمی افراد قرار گیرد (۸, ۱۴, ۱۶, ۱۸, ۱۹). نتیجه حاصل از مطالعه رایت نشان داد که در خروج افراد از یک مسیر اشباع از دود، علائم راهنما و نوارهای نشانگر مسیر که در ارتفاع یک متری از کف بر روی دیوارها نصب شده بودند در مقایسه با سیستم روشنایی نرمال و اضطراری تاثیر بیشتری را در راهنمایی افراد جهت خروج از ساختمان داشته اند (۲). چهار پارامتر رنگ، اندازه، موقعیت و ارتفاع قرارگیری این علائم نسبت به میدان دید از عوامل مهمی در تشخیص و دیده شدن این علائم در شرایط اضطراری می باشد. در این خصوص می توان به استاندارد های ISO 3864-1، ISO 3864-4 و EN ISO 7010 اشاره کرد (۶). نتایج مطالعه وانگ و همکاران نیز نشان داد عوامل مختلفی نظیر میزان تحصیلات، تجربه کاری، زمان کار، نوع علایم ایمنی و رنگ زمینه علایم ایمنی بر میزان درک علایم ایمنی تاثیر گذار است (۱۳). براساس راهنمای EN IEC 60598-2-1:2021 در نزدیکی هر درب خروجی و هرموقعیتی که نیاز بر تاکید وجود خطر است باید چراغ روشنایی فرار نصب شود. چراغ های اضطراری باید در کنار هر درب خروجی که در شرایط اضطراری استفاده می شود، پله ها، تقاطع راهروها، تجهیزات

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2025-07-22]



شکل ۱. فازها و مراحل انجام مطالعه

کمک های اولیه، اطفاء حریق و زنگ خطر نصب گردد (۲۰). همینطور، طبق استاندارد NFPA 101 حداقل روشنایی برای روشن شدن خارجی علایم ۵۴ لوکس می باشد (۲۱). با این حال آیین نامه ها و قوانین وزارت کار و مدیریت سلامت محیط و کار ایران در ایران در خصوص روشنایی شرایط عادی کار می باشد و در زمینه روشنایی شرایط اضطرار و روشنایی خروج اضطراری راهنما یا اطلاعاتی منتشر نشده است و از طرفی دیگر تا کنون در زمینه سرعت خروج افراد و طراحی مسیرهای خروج اضطراری در محیط های صنعتی مانند نیروگاه ها در ایران اطلاعاتی در دسترس نیست و بیشتر مطالعات انجام شده در ساختمان های تجاری و مسکونی صورت گرفته است (۲، ۸، ۱۳، ۲۱) لذا هدف از انجام این مطالعه ارزیابی وضعیت روشنایی اضطراری و علائم ایمنی فرار در یک نیروگاه سیکل ترکیبی برق و انجام و ارزیابی مداخلات اصلاحی مسیر خروج اضطراری جهت تسهیل و تسریع خروج کارکنان در هنگام نقص سیستم های الکتریکی با رویکرد مخاطرات همه جانبه (طبیعی و انسان ساخت) است.

روش کار

مطالعه حاضر از نوع مداخله ای بوده و در سال ۱۴۰۰ در ۳ فاز مشتمل بر طراحی مطالعه و انتخاب گروه هدف، شبیه سازی اولیه و انجام مداخله و ارزیابی انجام گردید (شکل ۱). در این مطالعه بدترین سناریو شرایط خروج اضطراری در شب که سیستم روشنایی اضطراری نیز خراب است به همراه پارامترهای عملکردی خروج اپراتورها مانند سرعت حرکت و تلاش ذهنی درک شده افراد در توانایی شناسایی مسیر خروج اضطراری مورد بررسی قرار گرفت.

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2025-07-22]

فاز اول: طراحی مطالعه، انتخاب جامعه مورد مطالعه و ارزیابی روشنایی اولیه

این مطالعه در یک نیروگاه سیکل ترکیبی در استان تهران، ایران انجام شد. در ابتدا تمامی واحدهای نیروگاه مورد نظر بررسی شد. با لحاظ نمودن معیارهایی نظیرتراکم جمعیت، اهمیت مکان، شیفت های کاری شب، موقعیت قرارگیری محل تجمع ایمن (Muster point) در بیرون از ساختمان، درجه سختی دسترسی به مسیرهای خروج اضطراری و فشار کار روانی در نهایت اتاق کنترل مرکزی نیروگاه جهت انجام مطالعه انتخاب شد. همه شرکت کنندگان در مطالعه فرم رضایت آگاهانه شرکت در پژوهش را تکمیل کردند. معیارهای ورود به مطالعه شاغل بودن در اتاق کنترل نیروگاه با سابقه کاری حداقل ۱ سال و معیارهای خروج از مطالعه شامل مشکل در دید رنگی، مشکل در شنوایی، مشکل در راه رفتن و مشکلات شناختی تعیین شد.

در مرحله بعد میزان روشنایی عادی و اضطراری در تمام راهروها، اتاق کنترل، راه پله ها و دیگر فضاهای موجود (سالن انتظار) در ساختمانی که اتاق کنترل در آن قرار داشته و در مسیر رفت و آمد کارکنان اتاق کنترل بود، اندازه گیری و ارزیابی شد. جهت اندازه گیری روشنایی عمومی اتاق کنترل نیروگاه با توجه به نوع چیدمان منابع، از الگوهای پیشنهادی IES[1] استفاده شد. براساس این الگو ۱۸ نقطه مختلف جهت محاسبه میانگین روشنایی انتخاب شد. میانگین روشنایی اتاق کنترل با استفاده از معادله ۱ محاسبه شد.

$$E_{avg} = \frac{Q(N-1)+T(M-1)+P+R(N-1)(M-1)}{MN} \quad (۱)$$

همچنین جهت ارزیابی روشنایی راهرو ها از معادله ی ۲ استفاده شد، براساس این الگو میزان روشنایی عادی و اضطراری در ۱۰ نقطه مورد اندازه گیری قرار گرفت به گونه ای که بعد از اندازه گیری روشنایی شرایط عادی، اضطراری برق اصلی ساختمان بطور کامل قطع گردید و تنها منابع روشنایی اضطراری در مدار قرار گرفته و مجدداً روشنایی مورد نظر در هر یک از بخش های ساختمان (اتاق کنترل، راه پله و سالن انتظار و ...) اندازه گیری شد. اندازه گیری روشنایی عمومی در اتاق کنترل در ارتفاع ۷۵ سانتی متر و در مسیر اضطراری در ارتفاع ۵ سانتی متر از سطح زمین (کف سالن) توسط دستگاه لوکس متر کالیبره شده مدل HAGNER MASTER SCREEN انجام گردید. همزمان اطلاعات مرتبط با تعداد کارکنان در شیفت های کاری روز و شب نیز جمع آوری گردید.

$$E_{avg} = \frac{Q(N-1)+P}{N} \quad (۲)$$

در ادامه جهت درک بهتر و طراحی دقیق تر سیستم های روشنایی اضطراری و علائم خروج جهت انجام مداخله لازم به مطالعه استانداردهای مرتبط شامل BS 5266، BS EN1838، ISO 30061، CEN 1999، ISO 3864 و NFPA 101 پرداخته شد. مهمترین ویژگی های مورد استفاده استانداردهای نامبرده در مطالعه حاضر در جدول زیر خلاصه گردیده است (جدول ۱).

فاز دوم: شبیه سازی اولیه

این فاز شامل انجام یک تمرین عملیاتی مبتنی بر سناریوی حریق از پیش تعیین شده بود. پیش از انجام تمرین، نصب دوربین دید در شب در مسیر خروج اضطراری جهت اندازه گیری زمان تخلیه افراد انجام شد. سناریو بروز حادثه حریق در نیروگاه مورد مطالعه در روز ۳ آبان، ساعت ۱۹ سال ۱۴۰۰ انجام شد که در طی آن با هماهنگی های از پیش انجام شده و همکاری واحد الکتریکی نیروگاه تمام منابع روشنایی از مدار خارج گردیده و با به صدا در آمدن آژیر خطر حریق، افراد حاضر در ساختمان قبلی اقدام به خروج از ساختمان نمودند. این تمرین بدون اطلاع قبلی کارکنان انجام شد. علاوه بر ثبت زمان خروج افراد توسط دوربین دید در شب از سوی ارزیابان تمرین نیز از لحظه به صدا در آمدن آژیر خطر به عنوان زمان آغاز تمرین، بازه زمانی شروع تا خروج افراد از ساختمان به وسیله کرونومتر ثبت گردید. همچنین دو پارامتر سرعت تخلیه و رویت پذیری علائم هریک بصورت جداگانه مورد بررسی قرار گرفتند. لازم به ذکر است فاصله نقطه آغاز تا پایان برابر با ۳۰ متر بود. تمامی این مراحل برای کارکنان شیفت دوم نیز در ساعت ۲۰:۱۵ به ترتیبی که ذکر شد، تکرار گردید.

همچنین اطلاعات دموگرافیکی و شغلی شرکت کنندگان در تمرین و اطلاعات مربوط به سهولت دسترسی به نقطه امن و میزان رویت پذیری علائم خروج و تلاش ذهنی درک شده از یک پرسشنامه محقق ساخته که روایی آن توسط ۱۰ متخصص خبره (متخصصان دانشگاهی و کارشناسان ارشد صنایع) از رشته های بهداشت حرفه ای و ایمنی صنعتی و HSE

1 Illuminating Engineering Society

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2025-07-22]

جدول ۱. ویژگی های مورد استفاده استانداردهای مرتبط با روشنایی در مطالعه حاضر

استاندارد	ویژگی/های مورد استفاده
استاندارد BS 5266	در این استاندارد به چگونگی حرکت ایمن افراد در طول مسیر فرار پرداخته و بیان می کند حرکت ایمن افراد به میزان روشنایی جهت مشاهده خطرات، تغییرات سطح حرکت مسیر و جهت حرکت افراد بستگی دارد. در بند ۵.۲.۷ استاندارد آمده است در محل های با ریسک خطر بالا و پروسه هایی که احتمال وقوع حادثه در آنها برای افراد بالا می باشد، مدت زمان لازم برای روشن شدن منابع روشنایی اضطراری نباید بیشتر از ۰/۵ ثانیه باشد. همچنین در بند ۵.۲.۶ مکان هایی که دارای مساحتی بیشتر از ۶۰ متر مربع می باشند و یا براساس ارزیابی های انجام شده وجود روشنایی اضطراری در آنها مورد نیاز می باشد، روشنایی افقی ایجاد شده در کف (به استثنای مرز ۰/۵ متر از طرفین) نباید از ۰/۵لوکس کمتر باشد (۲۴).
استاندارد BS EN1838	در بند ۴.۱.۱ استاندارد ذکر شده تمام منابع روشنایی و علائم خروج اضطراری نصب شده روی سقف باید بالاتر از ۲ متر از کف زمین و جهت مشاهده بهتر، علائم خروج اضطراری نباید بیش از ۲۰ درجه بالاتر از افق دید مستقیم افراد نصب شوند. در بند ۴.۲.۲ آمده است برای مسیرهای فرار با عرض بیش از ۲ متر روشنایی افقی کف در امتداد خط مرکزی مسیر فرار نباید از ۱ لوکس کمتر باشد. بند ۴.۱.۱ استاندارد نیز بیان می کند در مناطق باریسک بالا میزان روشنایی اضطراری موجود نباید کمتر از ۱۰٪ روشنایی معمول در محل خطر و کمتر از ۱۵ لوکس باشد.
استاندارد ISO 30061	در بند ۱۰.۳.۱ استاندارد آمده است، میزان درخشندگی هر قسمت از رنگ ایمنی علامت در تمام جهات باید حداقل ۲ کندل بر متر مربع و در صورت وجود دود در فضا این میزان باید حداقل ۱۰ کندل بر متر مربع باشد (۲۵).
استاندارد علائم ایمنی ISO ۳۸۶۴	در این استاندارد، سیستمی منسجم از اشکال هندسی و رنگ ها برای استفاده و تولید علائم ایمنی مشخص شده است. هم چنین در این استاندارد نمادهای گرافیکی مناسب برای هر علائم مشخص شده است که در تولید تابلو ایمنی باید رعایت شود. استاندارد مذکور شامل موارد زیر می باشد: ۱) اصول طراحی برای ایمنی علائم و نشانه گذاری های ایمنی ۲) اصول طراحی برای برچسب ایمنی محصول ۳) اصول طراحی برای نمادهای گرافیکی برای استفاده در علائم ایمنی ۴) خواص رنگ و فوتومتریک از مواد علائم ایمنی (۲۶)
استاندارد NFPA 101	حداقل روشنایی لازم برای قابل رویت بودن علائم و تابلوهای ایمنی ۵۴ لوکس می باشد.

مورد تأیید قرار گرفت. ضریب نسبی روایی محتوا (CVR)[1] و شاخص روایی محتوا (CVI)[2] محاسبه شده برای پرسشنامه مورد نظر به ترتیب برابر با ۰/۹۲ و ۰/۸۶ بود که از روایی مطلوب برخوردار بود. قابلیت تکرار پذیری پرسشنامه نیز توسط ۳۰ نفر از جامعه هدف در نیروگاه دیگر در یک فاصله زمانی دو هفته ای انجام شد که آلفای کرونباخ محاسبه شده در رنج قابل قبول بود (ICC= 0.96). این پرسشنامه با توجه به مقالات مشابه تهیه و توسط افراد مورد مطالعه پس از رسیدن به مکان تجمع ایمن تکمیل گردید. پرسشنامه مذکور شامل ۱۶ سوال بود که ۸ سوال ابتدایی مربوط به ارزیابی وضعیت روشنایی و علائم موجود در مسیر بود. مقیاس پاسخ به هر سوال از حداقل ۱ تا حداکثر ۳ امتیاز بود که توسط فرد علامت زده می شد. حداقل و حداکثر امتیاز کلی ارزیابی مسیر، عددی در بازه ۲۴-۸ قرار داشت که عدد بالاتر نشان دهنده سهولت و سرعت دسترسی به مسیر خروج و میزان تلاش درک شده در خارج شدن افراد بود. ۸ سوال بعدی جهت جمع آوری اطلاعات دموگرافیک، شغلی و ویژگی های فردی آنها طراحی شد که شامل متغیرهای سن، سابقه کار، میزان تحصیلات، قد، وزن، سطح تحصیلات، ساعات کاری، عنوان شغلی، وضعیت تأهل، مشکلات بینایی و دید رنگی، مشکل شناختی، مشکلات شنوایی و مشکلات حرکتی بود.

فاز سوم: انجام مداخله، شبیه سازی ثانویه و ارزیابی مداخلات انجام شده

پس از پایان تمرین شبیه سازی اول و ارایه گزارش به مدیریت با موافقت مجموعه اصلاحاتی در طول مسیر خروج اضطراری صورت گرفت. در ابتدا نوارهای فتولومیسنت که از خاصیت جذب نور طبیعی و مصنوعی و انعکاس آن در هنگام نبود روشنایی برخوردار بودند، تهیه گردید و در طول مسیرهای خروج اصلی و فرعی و همچنین جهت درک بهتر فاصله پله های موجود در مسیر بر روی آنها نصب گردیدند (شکل ۲). پس از پایان مداخلات انجام شده به منظور ارزیابی مداخلات انجام شده، تمرین دوم پس از دو هفته انجام شد. تمامی شرکت کنندگان در تمرین اول در تمرین دوم نیز حضور داشتند و پس از پایان تمرین مجدداً پرسشنامه محقق ساخته تکمیل شده در شبیه سازی اولیه جهت تکمیل

1 Content Validity Ratio
2 Content Validity Index

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2025-07-22]

شکل ۲. مسیر خروج اصلی و اضطراری قبل و بعد از مداخله

بین شرکت کنندگان در تمرین توزیع گردید.

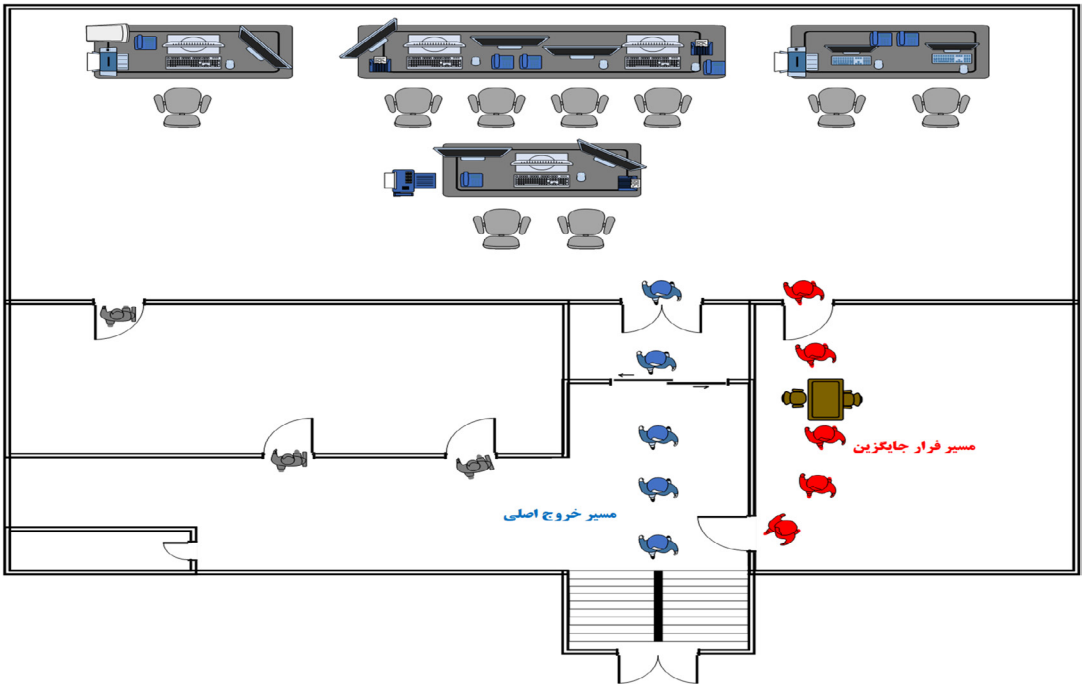
تجزیه و تحلیل آماری اطلاعات جمع آوری شده با استفاده از نرم افزار SPSS 26 و انجام آزمون های توصیفی (توزیع فراوانی، میانگین و انحراف معیار) و آزمون های تحلیلی انجام شد. متغیرهای مستقل مورد بررسی در این مطالعه شامل شدت روشنایی مصنوعی، روشنایی اضطراری و متغیرهای وابسته شامل درک نشانه های خروج، زمان خروج و میزان سهولت دسترسی به مسیر خروج اضطراری بود. ابتدا آزمون کلموگرو- اسمیرنوف جهت تعیین نرمال بودن توزیع داده های جمع آوری شده در متغیرهای موردنظر انجام شد. در صورت نرمال بودن داده ها از آزمون های تحلیلی پارامتری t-زوجی، t-مستقل و آزمون همبستگی پیرسون استفاده شد (P-value> 0.05). در صورت نرمال نبودن داده ها نیز از آزمون های تحلیلی ناپارامتری من- ویتنی، کروسکال والیس و ضریب همبستگی اسپیرمن استفاده شد (P-value<0.05).

نتایج

شرکت کنندگان در این مطالعه کلیه اپراتورهای بهره برداری اتاق کنترل مرکزی و تکنسین های بهره برداری نیروگاه در دو شیفت اصلی کاری صبح و شب (در مجموع ۲۳ نفر) و همگی مرد بودند. میانگین و انحراف معیار سن افراد شرکت کننده در مطالعه برابر با ۵/۸۵ ±

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2025-07-22]

شکل ۳. چیدمان افراد و منابع روشنایی اتاق کنترل نیروگاه



شکل ۴. چگونگی توزیع نفرات و مسیرهای خروج اضطراری اصلی و فرعی اتاق کنترل نیروگاه

۳۵/۲ سال بود. همچنین میانگین و انحراف معیار قد و وزن شرکت کنندگان در مطالعه به ترتیب برابر با ۵/۵۹ ± ۱۷۹/۱ سانتی متر و ۷/۵۸ ± ۷۳/۱ کیلوگرم بود. وضعیت بینایی ۱۷ نفر (۷۴٪) سالم و ۶ نفر (۲۶/۱٪) از عینک استفاده می کردند که از این تعداد ۳ نفر (۱۳٪) عینک دوربین و ۳ نفر (۱۳٪) دیگر عینک نزدیک بین داشتند. مشکل دید رنگ در هیچ یک از افراد حاضر در مطالعه گزارش نشد. ضمناً میانگین و انحراف معیار شاخص توده ی بدنی بدست آمده از افراد در این مطالعه برابر با ۲/۴۲ ± ۲۵/۹ بود.

ارزیابی اولیه روشنایی ساختمان و مسیرهای خروج اضطراری

فضای مطالعه متشکل از یک ساختمان شامل ۷ اتاق و ۳ راهرو بود. روشنایی عادی اتاق کنترل توسط ۱۳۲ لامپ SMD (شکل ۳)، راهروی میانی ۱۲ و راهروی اصلی ۴۵ و در راه پله توسط۱۲ لامپ فلورسنت در ۶ چراغ (شکل ۴) تامین می‌گردید. اندازه گیری میزان روشنایی در اتاق کنترل برابر با ۵۸۰ لوکس بود. براساس اندازه گیری های انجام شده میزان روشنایی موجود در راهروی میانی برابر با ۱۰۰ لوکس و در سالن انتظار

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2025-07-22]

شکل ۵. تصویر راهروی خروج اضطراری

ساختمان برابر با ۲۰۰ لوکس بود و در راه پله برابر با ۵۰ لوکس بود. منابع روشنایی اضطراری از نوع لامپ های LED بودند که در اتاق کنترل، راهروی میانی، سالن انتظار و راه پله ها نصب شده بودند اما میزان روشنایی کف و خط مرکزی در شرایط اضطرار بویژه در اتاق کنترل از حدود مجاز مواجه شغلی (در کف ۰/۱ لوکس ، خط مرکزی ۰/۵ لوکس) کمتر بود. در هنگام نقص سیستم روشنایی اصلی قسمت هایی از اتاق کنترل فاقد دید کافی برای تشخیص و اجتناب از برخورد با موانع موجود در مسیر بود. در مجاورت اتاق کنترل، اتاق تاسیسات بطول ۱۱ و عرض ۶ متر قرار داشت که شامل ۱۲ لامپ از نوع LED بود. لامپ های LED دارای دمای رنگ ۴۰۰۰ کلوین، ۱۰ وات، شار نوری ۵۴۰۰ لومن بود همچنین لامپ های فلورسنت راهرو دارای دمای رنگ ۴۰۰۰ کلوین، ۳۶ وات، شار نوری ۲۵۰۰ لومن بود. زاویه علائم خروج اضطراری با افق دید مستقیم افراد بیش از ۲۰ درجه بود. لامپ اضطراری نصب شده در راه پله در ارتفاع کم به گونه ای که زاویه ای کمتر از ۳۰ درجه با افق دید مستقیم افراد داشت و سبب خیرگی می شد. همچنین این چراغ روشنایی شرایط اضطرار ۱۵ لوکس (بر اساس استاندارد BS EN 1838) را تامین نمی کرد. مدت زمان روشن شدن چراغ اضطرار کمتر از ۰/۵ ثانیه بود ولی سیستم قادر به تامین روشنایی ۱۰۰ درصد در کمتر از ۶۰ ثانیه نبود. درخشندگی علائم ایمنی نصب شده به علت کهنه شدن در طول چندین سال از درخشندگی لازم برخوردار نبود.

در مرحله بعد مسیر خروج اضطراری از نظر وجود موانع موجود که در هنگام فرار احتمال برخورد افراد با آنها وجود دارد، مورد بررسی قرار گرفت. ساختمان کنترل نیروگاه برای دسترسی به راهرو منتهی به درب خروج از قسمت اتاق کنترل دارای دو مسیر بود که یکی از آن ها اصلی و دیگری فرعی بود. درب اصلی بصورت اتوماتیک و برقی بود و در هنگامی که به علت نقص سیستم الکتریکی از کارایی لازم برخوردار نبود، افراد می‌بایست از درب مجاور که اتاق تاسیسات بوده و دارای تابلوهای برق زیادی است، مسیری به طول ۱۱ متر را طی نموده تا به راه پله ها برسند. همچنین در مسیر مذکور یک میز و سه صندلی وجود داشت که مانع حرکت افراد در هنگام فرار شده بود و احتمال آسیب دیدگی افراد در برخورد با آنها بسیار بالا بود (شکل ۵).

بررسی علائم راهنمای مسیر خروج نشان داد در طول مسیر تنها دو علامت خروج با مفهوم خروج (Exit) وجود داشت که یکی از آن ها دارای تصویر فرد در حال فرار به جهتی که مسیر خروج را به درستی نشان نمی داد و دیگری تنها شامل عبارت "خروج" بود. نکته بعدی نصب نامناسب علائم خروج در مسیر خروج اضطراری بود. تابلو اول در ارتفاع نزدیک به سقف قرار داشت، بگونه ای که برای افراد به ویژه در هنگام بروز حریق قابل رویت نبوده و علامت دیگر حتی در هنگام وجود منابع روشنایی اضطراری نیز به درستی قابل رویت نبود زیرا که با رنگ نامناسب و بر روی یک کاغذ نوشته شده بود. همچنین ساختمان تنها دارای یک مسیر خروج اضطراری و فاقد راه پله خروج اضطراری به صورت مجزا بود.

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2025-07-22]

جدول ۲. مقایسه مدت زمان خروج، شدت روشنایی اندازه گیری شده و سهولت دسترسی قبل و بعد از مداخله

متغیر	قبل مداخله (میانگین و انحراف معیار)	بعد مداخله (میانگین و انحراف معیار)	P-value
مدت زمان خروج افراد	۳۸/۸ ± ۱۰/۴	۲۷/۷ ± ۸/۶۶	۰/۰۰۱*
میانگین شدت روشنایی مسیر خروجی	۵/۵۲ ± ۲/۰۲	۱۹/۰۹ ± ۲/۴۷	۰/۰۰۱
قابل تشخیص بودن مسیر خروجی	۱/۷۴ ± ۰/۶۱	۲/۰۰ ± ۰/۰۰	۰/۰۶
قابل رویت بودن علائم و نشانه های خروج	۱/۳۵ ± ۰/۸۳	۱/۹۱ ± ۰/۲۹	۰/۰۰۴
قابل درک بودن مفهوم علائم خروج	۱/۴۳ ± ۰/۸۴	۱/۶۹ ± ۰/۷	۰/۰۳۴
مناسب بودن ارتفاع و رنگ علائم خروج اضطراری	۰/۹۱ ± ۰/۹۴	۱/۸۳ ± ۰/۵	۰/۰۰۱
کافی بودن روشنایی مسیر خروج جهت دسترسی به نقطه امن	۱/۲۶ ± ۰/۷۵	۱/۷۸ ± ۰/۵۲	۰/۰۰۳
قابل رویت بودن موانع موجود در مسیر	۱/۴۴ ± ۰/۶۶	۱/۷۸ ± ۰/۵۲	۰/۰۰۵
حداقل تلاش در مسیر انتخابی متناسب با علائم و نشانه های خروج	۱/۳۹ ± ۰/۸۹	۱/۸ ± ۰/۵	۰/۰۱۴
کیفیت روشنایی مسیر	۱ ± ۰/۷	۱/۷۳ ± ۰/۶۱	۰/۰۰۱
امتیاز کلی (P-Value)	۱۸/۶ ± ۱/۵۶	۲۲/۵ ± ۲/۱	۰/۰۰۱

* آزمون آماری مورد استفاده برای کلیه متغیرها (با توجه به نرمال بودن داده ها) T-مستقل بود.

انجام مداخلات در مسیرهای خروج اضطراری براساس الزامات و استانداردها

جهت انجام مداخله در ابتدای امر، کلیه وسایل و تجهیزاتی که در مسیر خروج افراد وجود داشت و مانع از حرکت آنها شده و یا احتمال برخورد با آن ها وجود داشت از مسیر خروج اضطراری حذف شدند. سپس نوارهای فتولومیسنت در طول مسیر خروج افراد به طول ۱۵۰ متر نصب گردیدند. نصب نوارهای مذکور و اندازه گیری مجدد روشنایی در شرایط قطع جریان برق عادی و اضطراری نشان داد که روشنایی کف و خط مرکزی مسیرهای فرار از ۵/۵۲ به ۱۹/۹۰ لوکس افزایش یافته است. علایم و نمادهای خروج اضطراری ناواضح که به اشتباه نصب شده بود، اصلاح گردید و همچنین ۵ علامت خروج اضطراری در ارتفاع ۱/۵ متری روی دیوارها در نزدیکی درب های خروج، ابتدای پله ها و پاگرد ها نصب شد. تمام مداخلات و اصلاحات نامبرده مطابق با استانداردهای OSHA، ISO 3864-4 و EN ISO 7010 انجام شد.

تکمیل پرسشنامه ها و ارزیابی مداخلات با استفاده از نتایج تمرین ها

آزمون آماری T-مستقل (Independent sample T-test) اختلاف آماری معناداری را میان میانگین مدت زمان خروج اضطراری افراد قبل از مداخله (۱۰/۴ ± ۳۸/۸ ثانیه) و بعد از مداخله (۸/۶۶ ± ۲۷/۷ ثانیه) نشان داد (P-value< ۰/۰۰۱). جدول ۱ مقایسه میزان سهولت دسترسی به راه خروج اضطراری قبل و بعد از مداخله را نشان می دهد. نتیجه نهایی در خصوص تفاوت پارامترهای دسترسی شامل قابل تشخیص بودن مسیر خروجی (قبل: ۸۷٪، بعد:۱۰۰٪)، قابل رویت بودن علائم و نشانه های خروج (قبل: ۵۶,۶٪، بعد: ۹۱,۳٪)، قابل درک بودن مفهوم علائم خروج (قبل: ۶۵,۳٪، بعد:۸۲,۷٪)، مناسب بودن ارتفاع و رنگ علائم خروج اضطراری (قبل: ۳۹,۱٪، بعد: ۸۷٪)، کافی بودن روشنایی مسیر خروج جهت دسترسی به نقطه امن (قبل: ۴۳,۵٪ ، بعد: ۸۲,۷٪)، قابل رویت بودن موانع موجود در مسیر (قبل: ۵۲,۲٪ ، بعد: ۸۲,۷٪)، حداقل تلاش در مسیر انتخابی متناسب با علائم و نشانه های خروج (قبل: ۶۲,۳٪ ، بعد: ۸۲,۷٪)، کیفیت روشنایی مسیر (قبل: ۳۰,۴٪، بعد:۸۲,۷٪) بود. میانگین امتیاز کلی ارزیابی مسیر قبل از مداخله ۱/۵۶ ± ۱۸/۶ و بعد از مداخله به ۲/۱ ± ۲۲/۵ افزایش یافت. نتایج حاکی از اختلاف آماری معنادار امتیاز کلی ارزیابی مسیر قبل و بعد از مداخله بود (P-value< ۰/۰۰۱).

جدول ۲ ارتباط بین متغیر های دموگرافیک با میانگین مدت زمان خروج افراد را نشان می دهد آزمون T-مستقل نشان داد بین تحصیلات و استفاده از عینک با میزان بهبود مدت زمان خروج افراد ارتباط آماری معناداری وجود ندارد. همچنین آزمون همبستگی پیرسن نشان داد بین BMI و سابقه کار با مدت زمان خروج افراد ارتباط آماری معناداری وجود ندارد ولی بین سن و مدت زمان خروج افراد همبستگی معنادار مشاهده شد و به

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2025-07-22]

جدول ۳. ارتباط بین متغیر های دموگرافیک با مدت زمان خروج افراد مورد مطالعه

متغیر		مدت زمان خروج افراد	نتیجه آزمون
تحصیلات	فوق دیپلم و لیسانس	۳۳/۴۵ ± ۱/۹۳	P-value = ۰/۱۱۳
	فوق لیسانس و بالاتر	۳۳/۲ ± ۲/۹	
استفاده از عینک	خیر	۳۳/۴ ± ۲/۳۷	P-value = ۰/۴۶۸
	بله	۳۳/۱ ± ۲/۶۴	
سن		R = ۰/۴۵۶ و P-value = ۰/۰۲۹	
BMI		R = -۰/۲۰۱ و P-value = ۰/۳۵۸	
سابقه کار		R = ۰/۳۸۲ و P-value = ۰/۰۷۲	

نحوی که با افزایش سن افراد مدت زمان خروج افراد هم بیشتر شده بود (R =۰/۴۵۶ و P-value = ۰/۰۲۹)

بحث

هدف از انجام این مطالعه، ارزیابی و طراحی بهینه روشنایی و اصلاح مسیر خروج اضطراری براساس استانداردهای مرتبط و سنجش عملکرد زمانی افراد در یک نیروگاه برق تهران از طریق اجرا و ارزیابی تمرین قبل از انجام مداخله و بعد از آن بود. در میان سناریوهای مختلف جهت تمرین تخلیه اضطراری، سناریوی مبتنی بر شرایط دود و آتش به عنوان شرایط پراسترس قلمداد شده و یکی از پرکاربردترین سناریوها در پیش بینی و تخمین زمان تخلیه می باشد (۲۵) که در این مطالعه نیز به دلایل ذکر شده از سناریوی تخلیه اضطراری مبتنی بر حریق در نیروگاه مورد مطالعه استفاده گردید. همچنین یافته های این مطالعه می تواند برای تدوین راهنماها و یا استاندارد های روشنایی شرایط اضطرار در محیط های صنعتی و حیاتی مانند پالایشگاه ها و پتروشیمی ها از سوی متولیان امر مفید باشد.

نتایج این مطالعه نشان داد به طور متوسط زمان خروج کارکنان بعد از مداخلات انجام شده حدود ۳۰٪ (۱۱ ثانیه) بهبود یافت. متغیر زمان خروج در بین افراد با سطح تحصیلات مختلف یکسان بود. اپراتورهای اتاق کنترل به طور معمول دارای بار کار ذهنی بالا و یکنواخت، محیط یکسان و شرح وظایف منظم و تعریف شده می باشند و هر گونه سهل انگاری یا کم کاری می تواند پیامدهای جبران ناپذیری را به همراه داشته باشد. در عین حال کلیه اپراتورهای اتاق کنترل با هر سطح تحصیلاتی باید آمادگی ذهنی بالا برای شرایط پیش بینی نشده و واکنش مناسب و سریع را نیز دارا باشند. یافته های مطالعه حاضر نشان داد که در هنگام خروج اضطراری نیاز به دید واضح و شفاف نبوده و همان تأمین حداقل روشنایی برای تشخیص مسیرهای خروج اضطراری کافی است. مداخله انجام شده جهت قابل تشخیص بودن مسیر خروجی در این مطالعه شامل نصب نوارهای فتولومیسنت در مسیر خروج اضطراری بود که باعث شد روشنایی کف و خط مرکزی مسیر فرار در شرایط قطع جریان برق اضطراری به ۱۹ لوکس برسد. این میزان شدت روشنایی مطابق با استاندارد EN 1838 ISO 30061 , است که حداقل و حداکثر روشنایی لازم برای مسیرهای فرار را بیش از ۱۵ لوکس پیشنهاد می کند (۲۵). در واقع دیدن علائم خروج اضطراری و پیدا کردن مسیر خروج مربوطه با توجه به استفاده از نوارهای فتولومیسنت منجر به ایجاد اطمینان و کاهش استرس و سردرگمی در افراد شده که همین امر منجر به افزایش سرعت تخلیه افراد و در نتیجه کاهش زمان خروج در مطالعه حاضر شده است. در مطالعه مشابه انجام شده در کانادا در سال ۲۰۱۰ نیز اختلاف معناداری در سرعت تخلیه افراد از راه پله های ساختمان مجهز به نوارهای فتولومیسنت در مقایسه با راه پله هایی که که در آنها از نوارهای مذکور استفاده نشده بود، مشاهده گردید (۲۷) ضمناً در مطالعه دیگر انجام شده در سال ۲۰۱۴ در بیمارستان های منتخب دانشگاه علوم پزشکی شیراز، ارزیابی میزان میانگین روشنایی و علامت گذاری مسیر خروج اضطراری نامطلوب و به ترتیب برابر با ۱۱/۳٪ و ۲۲/۷٪ بود (۲۸).

نتایج تمرین دوم بعد از مداخلات اصلاحی انجام شده نشان داد که علائم نصب شده در مسیر خروج اضطراری علاوه بر قابل رویت بودن، ساده و قابل فهم نیز بوده و نیازی به سطح دانشی بالا برای تفسیر شرکت کنندگان در مطالعه نداشته است که یکی از معیارهای مهم در طراحی و نصب علائم و نمادهای ایمنی در مسیرهای خروج اضطراری می باشد. نتیجه بدست آمده در این مطالعه با نتایج مطالعه انجام شده در یک ایستگاه مترو

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2025-07-22]

زیرزمینی در کره جنوبی در سال ۲۰۱۹ همخوانی دارد که در آن مطالعه نیز طراحی و استفاده صحیح از علائم خروج اضطراری منجر به کاهش زمان تخلیه اضطراری گردید (۲۹). همچنین استفاده از علائم خروج اضطراری ترکیبی متنی-تصویری با خاصیت فتولومیسنت و مناسب بودن ارتفاع نصب و رنگ علائم خروج اضطراری دید واضح تر و جامع تری را در اختیار افراد قرار داده و کفایت روشنایی مسیر خروج باعث قابل رویت بودن موانع موجود در مسیر شده که مانع از زمین خوردن افراد و هدایت بهتر آنها به سمت درب خروج اضطراری و دسترسی به نقطه امن گردیده است که هدف نهایی از تخلیه اضطراری در زمان رخداد شرایط اضطراری و بلایا می باشد. علاوه بر این برطبق استاندارد OSHA، استفاده از نورها در علائم و نمادهای ایمنی و نوارهای رنگی در مسیرهای خروج و راه پله ها برای افرادی که از نظر بینایی دید مناسبی ندارند از جمله معیارهای مهم دیگر در خروج اضطراری ایمن می باشد (۳۰). همچنین یافته های مطالعه حاضر اختلاف آماری معناداری را بین امتیاز کلی ارزیابی مسیر قبل و بعد از مداخلات اصلاحی براساس استانداردها نشان داد که نشان دهنده راحتی دسترسی و رضایت افراد در قابل تشخیص بودن مسیر فرار با حداقل تلاش بعد از تمرین دوم بود.

در این مطالعه با افزایش سن، زمان خروج افراد افزایش یافت. اما در هر گروه سنی، عملکرد زمانی خروج افراد بعد از مداخلات انجام شده کاهش آماری معناداری را نشان داد. این امر می تواند به دلیل واکنش سریع تر جوانان به شرایط خطرناک و تفاوت ویژگی ها شناختی در جوانان در مقایسه با افراد مسن تر باشد. همچنین سرعت دویدن، شناسایی بهتر و سریع تر مسیر خروج و تشخیص بهتر علائم و اصلاح موانع مسیر منجر به کاهش معنادار سرعت خروج با کاهش سن شده است. از سوی دیگر، ارتباط معناداری بین شاخص توده بدنی و زمان خروج مشاهده نشد. دلیل این امر می تواند نزدیک بودن شاخص توده بدنی شرکت کنندگان به همدیگر باشد زیرا افراد با توده بدنی بسیار بالا یا بسیار پایین در این مطالعه حضور نداشتند. در نهایت کاهش معنادار زمان خروج و رسیدن افراد به نقاط امن در نظر گرفته شده بدون وقوع حوادث ثانویه مانند برخورد با موانع در مسیر خروج اضطراری یا برخورد افراد با یکدیگر به دلیل ازدحام، به خصوص در لحظه وقوع حادثه و در نبود کامل برق و عدم عملکرد برق اضطراری، نشان دهنده اثربخشی طراحی اصولی مسیرهای خروج اضطراری بود. این موضوع از نظر جنبه های قانونی و مالی نظیر پرداخت بیمه برای سازمان نیز به صرفه است. همچنین، مداخلات اصولی انجام شده می تواند در کاهش چشمگیر هزینه های غیرمستقیم و بار روانی حاصل از مرگ و میر افراد و بازتاب آن در جامعه و ناامیدی های ناشی از آن در سازمان، تأثیر بسزایی داشته باشد.

نتیجه گیری

نتایج این مطالعه نشان داد که مداخلات انجام شده در طراحی مسیرهای خروج اضطراری براساس استانداردها می تواند منجر به بهبود عملکرد زمانی خروج افراد، جلوگیری از ازدحام افراد، جلوگیری از حوادث احتمالی ناشی از برخورد افراد با یکدیگر یا برخورد با اشیاء و کاهش خسارات جانی و اقتصادی در هنگام خروج شرایط اضطراری شود. همچنین نتایج این مطالعه نشان داد که با افزایش سن افراد، سرعت خروج آن ها افزایش پیدا می کند. بنابراین برای افراد با شرایط خاص (سن بالا یا هر گونه معلولیت جسمی منجر به محدودسازی دامنه حرکتی) می توان تمهیدات خاصی نظیر طراحی ایستگاه های کاری آن ها در نزدیکی خروجی های اضطراری در نظر گرفت و سرعت خروج آن ها را در هنگام رخداد شرایط اضطراری افزایش داد. ضمناً مداخلات انجام شده در این مطالعه و نتایج مثبت حاصل شده از آنها می تواند به سایر محیط های کاری و جامعه تعمیم یافته تا میزان آمادگی در تخلیه اضطراری به هنگام وقوع حریق و حوادث مشابه افزایش یابد.

همانطور که نتایج مطالعه حاضر نشان داد برنامه ریزی و برگزاری تمرین ها در این زمینه نیز می تواند منجر به افزایش آمادگی افراد را برای خروج اضطراری در هنگام رخداد حوادث و بلایا از محل کار شود. بنابراین سطح آمادگی افراد در محل های کار به عنوان یک پارامتر مهم در کاهش عملکرد زمانی افراد هنگام تخلیه اضطراری به شمار می رود. همچنین بررسی تغییر کیفیت روشنایی شرایط اضطرار بر عملکرد زمانی خروج اضطراری افراد از توصیه های این پژوهش جهت مطالعات آینده می باشد

تشکر و قدردانی

از مدیریت و کلیه کارکنان نیروگاه سیکل ترکیبی پرند که در مطالعه ما شرکت کرده اند تشکر و قدردانی به عمل می آید. از معاونت پژوهشی دانشگاه علوم پزشکی تهران نیز بابت حمایت های مادی و معنوی تشکر و قدردانی می شود.

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2025-07-22]

تضاد منافع

هیچ تضاد منافعی در این مطالعه وجود ندارد.

حمایت مالی

منابع تامین هزینه های پژوهش منتج به مقاله با معاونت پژوهشی دانشگاه علوم پزشکی تهران بوده است

ملاحظات اخلاقی

موضوعات اخلاقی شامل سرقت ادبی، رضایت آگاهانه، سوءرفتار، جعل داده‌ها، انتشار و ارسال مجدد و مکرر ازسوی نویسندگان رعایت شده است.

کد اخلاق

IR.TUMS.SPH.REC.1395.765

مشارکت نویسندگان

نویسندگان به طور یکسان در نگارش مقاله سهیم بوده اند.

دسترسی آزاد

کپی‌رایت نویسنده(ها) ©2024: این مقاله تحت مجوز بین‌المللی Creative Commons Attribution 4.0 اجازهٔ استفاده، اشتراک‌گذاری، اقتباس، توزیع و تکثیر را در هر رسانه یا قالبی مشروط بر درج نحوهٔ دقیق دسترسی به مجوز CC، منوط به ذکر تغییرات احتمالی بر روی مقاله می‌داند. لذا به استناد مجوز یادشده، درج هرگونه تغییرات در تصاویر، منابع و ارجاعات یا سایر مطالب از اشخاص ثالث در این مقاله باید در این مجوز گنجانده شود، مگر اینکه در راستای اعتبار مقاله به اشکال دیگری مشخص شده باشد. در صورت درج نکردن مطالب مذکور و یا استفادهٔ فراتر از مجوز بالا، نویسنده ملزم به دریافت مجوز حق نسخه‌برداری از شخص ثالث است.

به‌منظور مشاهدهٔ مجوز بین‌المللی Creative Commons Attribution 4.0 به نشانی زیر مراجعه شود:

http://creativecommons.org/licenses/by/4.0

References

1. Summerton N. The medical history as a diagnostic technology. British Journal of General Practice. 2008;58(549):273-6.
2. Wright M, Cook G, Webber G, editors. The effects of smoke on people's walking speeds using overhead lighting and wayguidance provision. Proceedings of the 2nd international symposium on human behaviour in fire MIT, Boston; 2001.
3. Zhong Y, editor Research on Intelligent Control Method of Fire Emergency Lighting Distribution in High Rise Buildings. Journal of Physics: Conference Series; 2021: IOP Publishing.
4. Tarno H, Qi H, Endoh R, Kobayashi M, Goto H, Futai K. Types of frass produced by the ambrosia beetle Platypus quercivorus during gallery construction, and host suitability of five tree species for the beetle. Journal of Forest Research. 2011;16(1):68-75.
5. Boyce PR. Movement under emergency lighting: the effect of illuminance. Lighting Research & Technology. 1985;17(2):51-71.
6. 류석오, 준호최. Development of Standards for Production of an Exit Sign Lighting to Minimize Human Reaction Time-Part I: The Minimum Effective Dimensions. Fire Science and Engineering. 2020;34(6):44-50.
7. Mermillod M, Khazaz S, Point S, Mondillon L. Improving detection of safety lighting on the basis of psychophysics. 2022 Joint Meeting of Neuroergonomics and NYC Neuromodulation Conferences; 2022-07-28; New York, United States2022.
8. Kinateder M, Warren WH, Schloss KB. What color are emergency exit signs? Egress behavior differs from verbal report. Applied ergonomics. 2019;75:155-60.
9. Ding N, Chen T, Zhu Y, Lu Y. State-of-the-art high-rise building emergency evacuation behavior. Physica A: Statistical Mechanics and Its Applications. 2021;561:125168.
10. Jaschinski W. Conditions of emergency lighting. Ergonomics. 1982;25(5):363-72.
11. Bullen A. Emergency lighting: Legislation and application. Lighting Research & Technology. 1988;20(2):61-2.
12. Narasimha S, Salkuti SR. Design and development of smart emergency light. TELKOMNIKA (Telecommunication Computing Electronics and Control). 2020;18(1):358-64.
13. Wong LT, Lo K. Experimental study on visibility of exit signs in buildings. Building and environment. 2007;42(4):1836-42.
14. Şahin C, Rokne J, Alhajj R. Human behavior modeling for simulating evacuation of buildings during emergencies. Physica A: Statistical Mechanics and its Applications. 2019;528:121432.

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2025-07-22]

15. FRANGULEA M-M, editor Intelligent safety and emergency lighting solutions in disaster situations. Smart Cities International Conference (SCIC) Proceedings; 2020.
16. Fujii K, Sano T, Ohmiya Y. Influence of lit emergency signs and illuminated settings on walking speeds in smoky corridors. Fire Safety Journal. 2021;120:103026.
17. Ouellette M, Rea MS. Illuminance requirements for emergency lighting. Journal of the Illuminating Engineering Society. 1989;18(1):37-42.
18. Wang D, Liang S, Chen B, Wu C. Investigation on the impacts of natural lighting on occupants' wayfinding behavior during emergency evacuation in underground space. Energy and Buildings. 2022;255:111613.
19. Filippidis L, Xie H, Galea ER, Lawrence PJ. Exploring the potential effectiveness of dynamic and static emergency exit signage in complex spaces through simulation. Fire safety journal. 2021;125:103404.
20. Jaakkonen L. Automated System for IEC 60598-1 Endurance Test. 2019.
21. Gao J, He J, Gong J. A simplified method to provide evacuation guidance in a multi-exit building under emergency. Physica A: Statistical Mechanics and its Applications. 2020;545:123554.
22. Bernardini G, Bernardini G. How to Increase Occupants Safety with No Architectural Modifications: Defining Effective Wayfinding Systems. Fire Safety of Historical Buildings: Traditional Versus Innovative "Behavioural Design" Solutions by Using Wayfinding Systems. 2017:45-75.
23. Thorns P. Review of the current state and future development in standardising artificial lighting. Light and Engineering. 2019;27(2).
24. Zamanian Z, Afshin A, Davoudiantalab A, Hashemi H. Comprehension of workplace safety signs: A case study in Shiraz industrial park. Journal of Occupational Health and Epidemiology. 2013;2(1):37-43.
25. Jeon G-Y, Na W-J, Hong W-H, Lee J-K. Influence of design and installation of emergency exit signs on evacuation speed. Journal of Asian Architecture and Building Engineering. 2019;18(2):104-11.
26. Proulx G, Tiller D, Kyle B, J. C. Assessment of Photoluminescent Material During Office Occupant Evacuation. UK: National Research Council of Canada (NRC),
Public Works and Government Services Canada (PWGSC); 1999. Contract No.: No. 774.
27. Proulx G, Bénichou N. Photoluminescent Stairway Installation for Evacuation in Office Buildings. Fire Technology. 2010;46(3):471-95.
28. Jahangiri M, Dadbin poor M, Ghaffari S. Survey of Emergency Exit Indices in Selected Hospitals of Shiraz Medical University. ioh 2014; 11 (3): 1-9.
29. Jeon G-Y, Kim J-Y, Hong W-H, Augenbroe G. Evacuation performance of individuals in different visibility conditions. Building and Environment. 2011;46(5):1094-103.
30. OSHA Fact Sheet, Emergency exit routes. U.S. Department of Labor; 2018.

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2025-07-22]