Journal of Health and Safety at Work 2024; 14(3): 647-660

ORIGINAL RESEARCH PAPER

Determining and Analyzing Factors Affecting Fire Safety Based on Fire Risk Assessment Method for Engineering and providing Control Solutions: A Case Study in a Hospital

Samaneh Salari[1], Azar Soltani[2], Maedeh Nadim Qaziany[1], Ali Karimi[1*]

[1]Department of Occupational Health Engineering, School of Public Health, Tehran University of Medical Sciences, Tehran, Iran
[2]School of Public Health, Hamedan University of Medical Sciences, Hamedan, Iran

Received: 29 - 4 - 2024 Accepted: 14 - 9 - 2024

ABSTRACT

Introduction: Fire safety in healthcare centers is crucial due to the limited evacuation capacity of the occupants and the necessity of not disrupting the operation in these centers. In this study, the fire risk of a public hospital was evaluated using the Fire Risk Assessment Method for Engineering (FRAME). Additionally, the factors affecting fire safety in the hospital were analyzed quantitavely, and fire control strategies were presented.

Material and Methods: First, the fire risk assessment checklist was filled in all the hospital departments. Then, the values of the factors affecting fire safety were obtained. In the next step, the fire risk for the building, occupants and activities were estimated using Excel software-FRAME. Finally, control strategies and intervention measures were presented based on the value of these factors.

Results: In the hospital under study, 22% of the departments posed an undesirable fire risk to the building and its property. On the other hand, 90% of the departments had risk levels that were undesirable for the occupants. The results of the initial risk (R0) showed that a balance between potential fire risk and risk acceptance can be established by implementing manual fire extinguishing systems and automatic detectors in all departments.

Conclusion: ased on the condition of the hospital studied, a balance between potential fire risk level and risk acceptance level was not established. Therefore, there is a need for fire control measures, especially fire safety measures for the occupants. The results of this study can be useful for readers and experts in interpreting fire risk assessments and presenting detailed control measures based on the risk assessment and the value of the parameters.

Keywords: *Fire risk, Hospital, Fire control, Risk assessment, Control solutions, FRAME*

HOW TO CITE THIS ARTICLE

Salari S, Soltani A, Nadim Qaziany M, Karimi A. Determining and analyzing factors affecting fire safety based on Fire Risk Assessment Method for Engineering and providing control solutions: a case study in a hospital. J Health Saf Work. 2024; 14(3): 647-660.

1. INTRODUCTION

According to the National Fire Protection Agency of the United States (NFPA), between 2011 and 2015, 5,750 fires occurred in hospitals in the United States annually. Fires in hospitals are occurring frequently and potentially catastrophically around the world. On the other hand, in the hospital, patients have poor mobility and require assistance to evacuate. As a result, fire in hospitals can have more casualties than any other building types. Hospitals have expensive equipment; consequently, fire can result in significant financial losses. Therefore, fire safety plays a crucial role in hospital management and safety, and risk assessment and management to identify fire hazards and accurately choose fire

* Corresponding Author Email: *a_karimi@sina.tums.ac.ir.*

Copyright © 2024 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.

intervention and control strategies are essential for fire prevention.

Among the fire risk assessment methods, the Fire Risk Assessment Method for Engineers (FRAME) is the result of a 30-year search for a practical tool for designing appropriate fire protection for buildings; This is a comprehensive approach to fire risk assessment and includes the fire risk of activities in addition to fire risk quantification for buildings and property, and occupants. In this study, one of the educational and medical hospitals of Birjand city was assessed using the FRAME method. In addition, critical parameters that influenced the fire safety were analyzed, and effective precaution on fire safety has been presented according to the fire risk assessment and coefficients of parameters.

2. MATERIAL AND METHODS

The current study, which is descriptive, applied, and analytical, was carried out at a hospital in 2023. 31 departments and 196 wards on the ground and first floors of this hospital were evaluated.

The purpose of the fire risk assessment was to determine whether the balance between threat, protection and exposure was achieved given the conditions in this hospital. The chosen method calculated all of the factors affecting fire safety, such as fire load, fire spread, area factor, evacuation time factor, and venting factor. Potential risk levels (R), risk acceptance (A) and protection level (D) were calculated based on these factors for buildings, occupants and activities according to the equations presented in Table 1. To determine the potential risk level, the worst fire scenario was considered in all three dimensions.

3. RESULTS AND DISCUSSION

The results of the fire risk assessment are shown in Table 2. In the facilities, kitchen, operating room and laundry departments, the fire risk was estimated to be higher than 1 for the building and occupants. Additionally, the fire risk for occupants in all departments was higher than 1, with the exception of the emergency room, MRI, and property warehouse.

Based on the obtained results, the facilities, kitchen, operating room and laundry had an unfavorable fire risk for the building and occupants. In these departments, initial fire risk level was calculated between 0.23-1.93, according to the Table 2. As a result, between 20-50% of these departments would be destroyed during a fire, and the hospital building would suffer the most damage in the event of a fire at the facilities department. In similar studies of fire risk assessment in hospitals, The facilities department has been one of the most fire-prone and dangerous areas. In this study, fire risk level for occupants in 90% of the departments was obtained undesirable. In some departments, similarly, the fire risk for activities was also higher than 1, due to the dependence of activities on equipment and property. In most departments, the fire spread was estimated to be between 1-1.2. Based on the information obtained from this factor, it was possible to estimate the heat release rate (HRR), which ranged between 125-250 kW/m2 in the event of a fire breakout. The access factor was determined to be greater than 1 in over 30% of the departments, indicating restricted access for firefighting team. The access factor in all departments except the emergency department, property warehouse, MRI and waste disposal was higher than 1; this is because the hospital building was a large one-story building that did not have enough exit routes.

Evacuation time is one of the most critical parameters in fire safety, especially for the risk acceptance level. Furthermore, this factor is very important in evaluating fire safety in buildings, in which the available safe egress time (ASET) should be greater than the required safe egress time (RSET) during the worst-case scenario. Acceptance risk level in most departments was less than 0.8; this means RSET is estimated to be high and fire risk for occupants will be high. In order to improve the level of acceptance risk, it is necessary to take control measures to improve the evacuation statues

Table 1: Fire risk calculation equations for property, occupants and activities

	Potential risk levels (R)	risk acceptance (A)	protection level (D)
building and contents	$P = q \times i \times g \times e \times v \times z$	$A = 1.6 - a - t - c$	$D = W \times N \times S \times F$
occupants	$P_1 = q \times i \times e \times v \times z$	$Al = 1.6 - a - t - r$	$D_1 = N \times U$
activities	$P_2 = q \times i \times e \times v \times z$	$A2 = 1.6 - a - c - d$	$D_2 = W \times N \times S \times Y$
At the level of potential risk, fire load (q), fire spread (i), area factor (g), level factor (e), Venting factor (v) and access factor (z) are effective. At the risk acceptance level, activity factor (a), evacuation time factor (t), environmental factor (r), content factor (c) and dependency factor (d) are effective. In the protection level, water supply factor (W), normal protection factor (N), escape factor (U), special protection factor (S), fire resistance factor (F) and salvage factor (Y) are effective.			

Table 2: Fire risk for the property, occupants and activities in different departments

department	initial fire risk	property	occupants	activities
Facilities	1.93	1.612	3.199	1.473
Kitchen	1.20	1.207	2.413	0.802
Operating room	1.10	1.223	2.509	1.042
Laundry	1.37	1.158	1.959	0.980
Waste disposal	1.03	0.723	1.764	0.687
Post NICU 1	1.04	1.097	1.764	1.109
Post-NICU 2	1.09	1.158	1.541	1.122
NICU	1.18	1.106	1.541	1.107
Laboratory	1.38	0.527	1.524	1.586
ICU 1	1.35	0.460	1.521	1.112
ICU 2	1.30	0.656	1.521	1.107
Pathology	1.02	0.723	1.509	1.687
Endoscopy	1.19	0.249	1.508	1.487
Angiography	1.06	0.223	1.461	1.042
Radiology - CT scan	0.29	0.564	1.341	0.922
Pharmacy	0.47	0.582	1.317	1.600
Maternity hospital	0.39	0.270	1.316	1.224
LDR	0.39	0.279	1.316	0.544
Poison department	0.30	0.406	1.243	0.973
Special surgery inpatient	0.98	0.499	1.210	1.665
Education	0.82	0.546	1.091	0.792
Library	0.65	0.527	1.080	1.586
Administrative department	0.82	0.435	1.056	1.420
Pediatrics	0.4	0.809	1.066	1.039
General Internal medicine	0.38	0.520	1.060	1.903
Internal medicine specialist	0.35	0.825	1.057	1.016
Infectious	0.39	0.682	1.013	1.021
Property warehouse	0.26	0.356	1.008	0.273
MRI	0.22	0.279	0.941	1.244
Emergency room	0.23	0.216	0.941	0.973

of occupants.

According to the results, many departments in the studied hospital had a potential risk that was higher than the risk acceptance level for both occupants and property. Therefore, control measures and precautions are suggested to reduce fire risk; separating fire sources from the existing fire load in department is the best strategy to lower the potential fire risk and increase the risk acceptance level. The most common sources of fire in hospitals are chemicals and electrical equipment. Compartmentation is one of the most cost-effective risk reduction measures, as it can minimize financial losses by limiting the spread of fire. The use of combustible materials, such as medical gases, along with electrical equipment is classified under electrical regulations because switchboards and electrical equipment can produce sparks and have hot surfaces. On the other hand, minimum fire load should be used in hospital buildings. A balance between potential risks and the level of risk acceptance is established through the use of fire protection and control tools. For this purpose, it is recommended to install automatic fire detectors and manual fire alarms with full coverage in all departments. It is also recommended to install navigation guide boards, floor number indicators in the stairwells, exit signs, and main door exit signs in all departments.

4. CONCLUSIONS

The Fire risk level for occupants, buildings and activities is affected by many factors. Therefore, it is important to identify, evaluate and control these factors in health care buildings. The fire risk assessment method for engineering is a comprehensive and complete method to assess the fire risk for such buildings.

تعیین و تحلیل عوامل مؤثر بر ایمنی حریق مبتنی بر ارزیابی ریسک حریق برای مهندسین و ارائه ی راهکارهای کنترلی: مطالعه موردی در یک بیمارستان

سمانه سالاری[۱]، آذر سلطانی[۲]، مائده ندیم قاضیانی[۱]، علی کریمی[۱*]

[۱]گروه مهندسی بهداشت حرفه ای، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی تهران، تهران، ایران
[۲]گروه مهندسی بهداشت حرفه ای، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی همدان، همدان، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۲/۱۰، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۶/۲۴

چکیده

مقدمه: ایمنی حریق در مراکز بهداشتی و درمانی به دلیل محدودیت توان حرکتی ساکنین و ضرورت عدم اختلال در عملکرد آن از اهمیت فوق العاده ای برخوردار است. بنابراین، اقدامات احتیاطی ضعیف در برابر حریق منجر به تلفات جانی و خسارات مالی بیشتر می شود. در این مطالعه، ضمن اینکه ریسک حریق یک بیمارستان آموزشی و درمانی شهرستان بیرجند به روش جامع و کامل ارزیابی ریسک حریق برای مهندسین [۱] (FRAME) مورد ارزیابی قرار گرفته است؛ پارامترهای مؤثر بر ایمنی حریق بیمارستان مورد تحلیل قرار گرفت و راهکارهای کنترلی نیز ارائه شده است.

روش کار: در ابتدا در کلیه بخش های بیمارستان چک لیست ارزیابی ریسک حریق تکمیل گردید سپس مقادیر پارامترهای مؤثر بر ایمنی حریق بدست آمد در مرحله ی بعد، ریسک حریق برای اموال، ساکنین و فعالیت ها با استفاده از نرم افزار تحت اکسل تخمین زده شد. در نهایت، بر اساس مقادیر عوامل مؤثر بر ایمنی حریق، راهکارهای کنترلی ارائه گردید.

یافته ها: نتایج بدست آمده از ارزیابی ریسک نشان داد ریسک ۲۲ درصد بخش های بیمارستان مورد مطالعه برای ساختمان و اموال نامطلوب بوده از طرفی سطح ریسک ۹۰ درصد بخش های بیمارستان برای ساکنین نامطلوب بدست آمد. نتایج ریسک اولیه ساختمان نشان داد در اکثر بخش های بیمارستان می توان با استفاده از سیستم های اطفاء حریق و کاشف های خودکار تعادل بین ریسک بالقوه حریق و پذیرش ریسک برقرار نمود. مطابق با نتایج بدست آمده بخش تاسیسات ساختمان نیاز به سیستم های اطفاء حریق از جمله اسپرینکلرها می باشد. همچنین در هنگام وقوع حریق در بخش های مختلف، نرخ انتشار حرارت (HRR) بین ۱۲۵-۲۵۰ کیلووات بر متر مربع تخمین زده شد.

نتیجه گیری: به طور کلی نیاز به اقدامات کنترلی حریق به خصوص تدابیر ایمنی حریق برای افراد می باشد. نتایج این مطالعه می تواند برای خوانندگان و متخصصین در تفسیر ارزیابی ریسک حریق و ارائه ی دقیق راهکارهای کنترلی بر اساس ارزیابی ریسک و مقادیر پارامترهای بدست آمده از آن مفید واقع شود.

کلمات کلیدی: *حریق، بیمارستان، کنترل حریق، ارزیابی ریسک، راهکار کنترلی، FRAME*

[۱] Fire risk assessment method for engineering

* پست الکترونیکی نویسنده مسئول مکاتبه: *a_karimi@sina.tums.ac.ir*

مقدمه

حریق در بیمارستان ها به طور مکرر و به طور بالقوه فاجعه بار در سراسر جهان در حال رخ دادن است (۱). از طرفی حریق یکی از تهدیدات ساختمانی است که باید از آن جلوگیری شود تا خطر تلفات جانی و خسارات مادی کاهش یابد (۲). طبق آمار آژانس ملی حفاظت از حریق ایالات متحده[1] (NFPA)، بین سال‌های ۲۰۱۱ تا ۲۰۱۵، سالانه ۵۷۵۰ حریق در بیمارستان های ایالات متحده رخ می دهد این در صورتی است که بیمارستان های ایالات متحده به نسبت کشورهای دیگر از سطح ایمنی بالاتری برخوردار است (۳). حوادث حریق در بیمارستان چندین بار در ایران و جهان رخ داده است (۱، ۴). در ۲۴ آوریل ۲۰۲۱، حریق فاجعه بار در بیمارستان عراق جان ۸۲ نفر را به خود اختصاص داد (۵). در سال ۲۰۲۴، بیمارستان گاندی در ایران با گسترش حریق ناشی از اتصالی سیم برق و بار حریق بالا مواجه شد. از سوی دیگر انفجار ناشی از نشت گاز پزشکی و اتصالی سیم برق در اتاق عمل مرکز پزشکی سینا در سال ۱۳۹۹ منجر به کشته شدن ۱۹ نفر و مجروح شدن بسیاری شد (۶). از زمان شیوع بیماری همه گیر کووید ۱۹ در مارس ۲۰۲۰، حوادث حریق بیمارستان های مرتبط با اکسیژن در کشورهای مختلف در سراسر جهان باعث مرگ بیش از ۲۰۰ نفر شده است (۵). از طرفی در بیمارستان اکثر ساکنان با توانایی حرکتی ضعیف بوده و برای تخلیه نیاز به کمک دارند. در نتیجه، حریق در بیمارستان ها می تواند بیش از هر مکان دیگری تلفات داشته باشد. همچنین به دلیل وجود تجهیزات گران قیمت و با ارزش در بیمارستان ها، حریق می تواند با خسارات مالی شدیدتری همراه باشد (۷). بنابراین ایمنی حریق عامل مهمی در ایمنی و مدیریت بیمارستان است و لازم است به این عامل توجه جدی شود (۸، ۹). ارزیابی ریسک و مدیریت ریسک برای شناسایی منابع حریق و انتخاب صحیح استراتژی های مداخله و کنترل حریق امری مهم در پیشگیری حریق است. ارزیابی ریسک حریق، فرایندی سیستماتیک جهت ارزیابی مخاطرات حریق بالقوه محیط کار و تخمین ریسکی است که این خطرات می توانند برای افراد و دارائی ها ایجاد کنند (۱۰-۱۲). روش‌های ارزیابی ریسک نیمه کمی حریق مثل NFPA 101 A (۱۳-۱۵)، FRAME[2] (۱۶)، FMEA[3] (۱۷) و غیره برای ارزیابی ریسک ایمنی حریق ساختمان به کار می‌روند (۱۸) در میان روش های ارزیابی ریسک حریق، روش ارزیابی ریسک حریق برای مهندسین نتیجه جستجوی ۳۰ ساله برای ابزاری عملی برای طراحی حفاظت حریق مناسب برای ساختمان ها است (۱۹). این روش یک روش ارزیابی ریسک حریق کامل و جامعی است که علاوه بر کمی‌سازی حریق برای اموال و افراد، ریسک حریق فعالیت‌ها را نیز در بر می گیرد علاوه بر این این روش می تواند برای مراکز بهداشتی و درمانی با توجه به اینکه پارامترهای موثر بر ایمنی حریق این مراکز را در نظر می گیرد (۲۰، ۲۱). این روش ارزیابی ریسک حریق می تواند برای اهداف طراحی مبتنی بر عملکرد سیستم های حفاظت حریق نیز مفید باشد زیرا علاوه بر تعیین سطوح ریسک، به این سوال پاسخ داده می شود که آیا سیستم‌های حفاظت و کنترل حریق باتوجه به سطح ریسک بالقوه حریق موجود در ساختمان مورد ارزیابی کافی هستند یا خیر؟ ریسک حریق کلی برای یک ساختمان با در نظر گرفتن سیستم‌های حفاظت حریق فعال و غیرفعال مورد ارزیابی قرار می گیرد (۲۲). بنابراین در این مطالعه، یکی از بیمارستان های آموزشی و درمانی شهرستان بیرجند با استفاده از روش ارزیابی ریسک حریق برای مهندسین[4] (FRAME) مورد ارزیابی قرار گرفت. علاوه براین، پارامترهای مؤثربر ایمنی حریق در روش FRAME مورد تحلیل قرار گرفت. از طرفی راهکارهای مؤثر بر ایمنی حریق با توجه به ارزیابی ریسک حریق و مقادیر پارامترهای بدست آمده، ارائه شده است. نتایج این مطالعه می تواند برای خوانندگان و متخصصین در تفسیر ارزیابی ریسک حریق و ارائه ی دقیق راهکارهای کنترلی مفید واقع شود.

1. National fire protection association

2. Fire risk assessment method for enterprises
3. Failure mode and effects analysis
4. Fire risk assessment method for engineering

روش کار

مطالعه توصیفی، تحلیلی و کاربردی حاضر در سال ۱۴۰۲ در یکی از بیمارستان های بیرجند انجام شده است. در این بیمارستان سی ویک بخش مورد مطالعه قرار گرفت که به طور کلی ریسک حریق در ۱۹۶ واحد همکف و طبقه یکم این بیمارستان، به روش جامع و کامل ارزیابی ریسک حریق برای مهندسین (FRAME) مورد ارزیابی قرار گرفت. هدف از ارزیابی ریسک حریق FRAME این است که آیا تعادل بین تهدید، حفاظت و مواجهه با توجه به شرایط موجود در بیمارستان به دست آمده است یا خیر؟ در این روش کلیه ی پارامترهای مؤثر بر ایمنی حریق اعم از فاکتور زمان تخلیه، فاکتور دسترسی، فاکتور مساحت، فاکتور وابستگی، فاکتور تهویه، فاکتور بار حریق، فاکتور گسترش حریق و غیره محاسبه می شود برخی از پارامترها به همراه فرمول های مربوطه که در مطالعه حاضر موردتحلیل قرارگرفته است در ادامه ارائه شد.

فاکتور بار حریق بر اساس چگالی بار حریق غیرمتحرک (سازه و مصالح ساختمان) (Q_i) و چگالی بار حریق غیرمتحرک (وسایل و تجهیزات) (Q_m) بر حسب مگاژول بر متر مربع با استفاده از فرمول (۱) بدست می آید:

$$q = 2/3 log\left(Q_i + Q_m\right) - 0.55 \qquad (۱)$$

فاکتور گسترش حریق یک پارامتر بسیار مؤثر در ایمنی ساکنین می باشد زیرا مدت زمان موجود برای فرار از منطقه حریق را مشخص می کند. این فاکتور با استفاده از عوامل مؤثر در رشد حریق شامل نسبت حجم به مساحت مواد قابل احتراق، قابلیت احتراق سطوح و ویژگی های سطوح مواد قابل اشتعال بر اساس معادله (۲) بدست می آید:

$$i = 1 - \frac{T}{1000} - \left(0.1 \log m\right) + \frac{M}{10} \qquad (۲)$$

در اینجا، میانگین ابعاد وسایل m؛ طبقه انتشار شعله M؛ طبقه بندی در استاندارد EN 13501-1 که یک استاندارد اروپایی است، کلاس حریق مصالح ساختمانی و عناصر سازه با استفاده از آزمایشات واکنش به حریق این مواد به دست آمده است؛ و دمای تخریب مواد T (℃).

فاکتور تهویه که نشان دهنده ی نشان‌دهنده تأثیر دود و گرما در داخل ساختمان است. با استفاده از معادله (۳) بدست می آید:

$$v = 0.84 + 0.1 \log Q - \sqrt{\left(k \times h\right)} \qquad (۳)$$

در اینجا فاکتور بار متحرک حریق در داخل ساختمان (Q)، ارتفاع بین کف و سقف اتاق (h) و نسبت تهویه (k) است.

فاکتور مساحت نشان دهنده نفوذ افقی حریق است که حریق در صورت نبود مانع مؤثر می تواند در کل ساختمان گسترش یابد. مانع دیوار ضد حریقی است که قدرت کافی برای مقاومت در برابر حریق بزرگ را دارد.

$$g = \frac{b + 5 \times \sqrt{\left(b^2 \times l\right)}}{200} \qquad (۴)$$

در اینجا طول نظری l، طولانی ترین فاصله بین مراکز دو طرف محیط اتاق و B عرض معادل است.

فاکتور دسترسی، نشان دهنده ی میزان دشواری وارد شدن تیم آتش نشانی به منطقه حریق است. دسترسی آسان به ساختمان نیازمند یک درب یا دیواری سبک برای ورود تیم آتش نشانی به ساختمان و تعدادی مسیر اختصاصی جهت عبور ماشین آتش نشانی می باشد.

$$z = 1 + 0.5 \times \mathrm{INT}\left[\frac{b}{20Z} + \frac{H^+}{25} \mathrm{OR}\left(\frac{H^-}{3}\right)\right] \qquad (۵)$$

در اینجا عرض معادل b، تعداد جهت‌های دسترسی Z (۱، ۲، ۳ و ۴)؛ H^+ و سطح جاده دسترسی با ارتفاع به سمت بالا در طبقات و همکف (H^+) و ارتفاع ازجاده دسترسی سطح زمین به سمت پایین در طبقات زیرین (H^-) می‌باشد.

فاکتور زمان تخلیه برای ارزیابی خطر برای ساکنین و همچنین برای اموال در نظر گرفته می شود.

$$t = \frac{P \times \left[(b+1) + \left(\frac{X}{x} \right) + 1.25H^{+} + 2H^{-} \right] \times \left[x \times (b+1) \right]}{800k \times \left[1.4 \times x \times (b+1) - 0.44X \right]} \quad (۶)$$

در اینجا؛ تعداد ساکنین عبوری X، تعداد واحدهای خروجی x می باشد.

سطوح ریسک بالقوه (R)، پذیرش ریسک (A) و سطح حفاظت (D) را بر اساس این سطوح برای اموال، ساکنین و فعالیت ها به ترتیب مطابق با معادلات ارائه شده در جدول ۱ محاسبه شد. برای تعیین سطح ریسک بالقوه بدترین سناریو حریق در هر سه بعد در نظر گرفته شده است. لازم به ذکر است پرسشنامه ارزیابی ریسک حریق برای مهندسین در پیوست (۱) ارائه شده است.

سطوح ریسک کلی برای اموال (R)، ساکنین (R_1) و فعالیت ها (R_2) بر اساس سطوح ذکر شده به ترتیب بر اساس معادلات زیر بدست می آید.

$$R = \frac{P}{A.\ D}$$

$$R_1 = \frac{P_1}{A_1.\ D_1}$$

$$R_2 = \frac{P_2}{A_2.\ D_2}$$

همچنین مقدار ریسک اولیه جهت تعیین سیستم های حفاظتی مورد نیاز نیز با استفاده از معادله زیر بدست آمد.

$$R_0 = \frac{P}{(A \times F_0)}$$

مقدار F_0 بر اساس فاکتور مقاومت ساختاری در برابر حریق بدست می آید.

یافته ها

مطالعه حاضر در یک از بیمارستان های بیرجند انجام شده است. تعداد بخش های مورد مطالعه ۳۱ مورد بوده است که به طور کلی ۱۹۶ واحد در همکف و طبقه یکم این بیمارستان مورد ارزیابی ریسک حریق قرار گرفت. سازه ی ساختمان این بیمارستان، در بخش‌های مختلف متفاوت است اکثر بخش‌ها با قدمت ۳۰ سال بودند که مقاومت سازه بتونی و آجری، بین ۳۰ تا ۶۰ دقیقه متغیر در نظر گرفته شد. همچنین، در اکثر بخش ها سیستم سرمایشی تبریدی و سیستم گرمایشی، هوارسان و فن کوئل بوده است سیستم تأمین آب در شرایط اضطراری موجود بود. حفاظت و کنترل حریق از طریق سیستم های حفاظت دستی از جمله خاموش کننده ها و ایستگاه های شلنگ بود ضمن اینکه ایستگاه های شلنگ به تعداد کافی موجود نبوده به طوری که فاصله ی هر دو فایرباکس بیش از ۳۰ متر نصب شده اند و از آنجاییکه شلنگ فایرباکس ۲۵ متری است در بدترین سناریو نمی تواند کل اتاق های

جدول۱: معادلات محاسبه ریسک حریق برای اموال، ساکنین و فعالیت ها

	سطح ریسک بالقوه (R)	سطح پذیرش ریسک (A)	سطح حفاظت (D)
اموال (ساختمان و محتویات آن)	$P = q \times i \times g \times e \times v \times z$	$A = ۱.۶ - a - t - c$	$D = W \times N \times S \times F$
ساکنین	$P_۱ = q \times i \times e \times v \times z$	$Al = ۱.۶ - a - t - r$	$D_۱ = N \times U$
فعالیت	$P_۲ = q \times i \times e \times v \times z$	$A2 = ۱.۶ - a - c - d$	$D_۲ = W \times N \times S \times Y$

در سطح ریسک بالقوه، فاکتور بار حریق (q)، فاکتور گسترش(i)، فاکتور مساحت (g)، فاکتور تعداد طبقات (e)، فاکتور تهویه (v) و فاکتور دسترسی (z) مؤثر است.
در سطح پذیرش ریسک، فاکتور فعالیت (a)، فاکتور زمان تخلیه (t)، فاکتور محیطی (r)، فاکتور ارزش محتوا (c) و فاکتور وابستگی (d) مؤثر است.
در سطح حفاظت، فاکتور تأمین آب (W)، فاکتور حفاظت معمول (N)، فاکتور رهایی از خطر (U)، فاکتور حفاظت ویژه (S)، فاکتور مقاومت در برابر حریق (F) و فاکتور نجات (Y) مؤثر است.

بخش را پوشش دهد. خاموش کننده های دستی مناسب بر اساس منابع قابل اشتعال و قابل احتراق در واحدهای مختلف موجود بود. علاوه بر این سیستم اعلام حریق به صورت دستی در بسیاری از بخش‌ها نصب شده بود. با این حال راهنمای اعلام و اطفاء حریق جهت دسترسی سریع به وسایل حفاظت حریق موجود نبود. بازرسی دوره ای از سیستم‌ها و خاموش‌کننده‌ها انجام می گرفت. تجهیزات الکتریکی بر اساس استاندارد ملی برق بوده است، به طور دوره ای و منظم از تاسیسات برقی مورد بازرسی قرار می گرفت. نتایج ارزیابی ریسک حریق در جدول ۲ نمایش داده شده است بخش های تاسیسات، آشپزخانه، اتاق عمل و لاندری ریسک حریق کلی بالاتر از یک برای ساختمان و محتویات آن و ساکنین تخمین زده شد.

همچنین کلیه بخش ها به جز انبار اموال، MRI و اورژانس ریسک کلی حریق برای ساکنین بالاتر از یک داشتند. مقادیر پارامترهای مختلف مؤثر بر حریق برای هر بخش تعیین شد که در جدول ۳ تعدادی از این پارامترها قابل مشاهده است.

جدول۲: ریسک حریق برای اموال، ساکنین و فعالیت ها در بخش های مختلف

بخش	ریسک اولیه	ریسک اموال	ریسک ساکنین	ریسک فعالیت ها
تاسیسات	۱/۹۳	۱/۶۱۲	۳/۱۹۹	۱/۴۷۳
آشپزخانه	۱/۲۰	۱/۲۰۷	۲/۴۱۳	۰/۸۰۲
اتاق عمل	۱/۱۰	۱/۲۲۳	۲/۵۰۹	۱/۰۴۲
لاندری	۱/۳۷	۱/۱۵۸	۱/۹۵۹	۰/۹۸۰
امحاء زباله	۱/۰۳	۰/۷۲۳	۱/۷۶۴	۰/۶۸۷
post NICU۱	۱/۰۴	۱/۰۹۷	۱/۷۶۴	۱/۱۰۹
post-NICU2	۱/۰۹	۱/۱۵۸	۱/۵۴۱	۱/۱۲۲
NICU	۱/۱۸	۱/۱۰۶	۱/۵۴۱	۱/۱۰۷
آزمایشگاه	۱/۳۸	۰/۵۲۷	۱/۵۴۲	۱/۵۸۶
ICU 1	۱/۳۵	۰/۴۶۰	۱/۵۲۱	۱/۱۱۲
ICU 2	۱/۳۰	۰/۶۵۶	۱/۵۲۱	۱/۱۰۷
پاتولوژی	۱/۰۲	۰/۷۲۳	۱/۵۰۹	۱/۶۸۷
آندوسکوپی	۱/۱۹	۰/۲۴۹	۱/۵۰۸	۱/۴۸۷
آنژیوگرافی	۱/۰۶	۰/۲۲۳	۱/۴۶۱	۱/۰۴۲
رادیولوژی و سی تی اسکن	۰/۲۹	۰/۵۶۴	۱/۳۴۱	۰/۹۲۲
داروخانه	۰/۴۷	۰/۵۸۲	۱/۳۱۷	۱/۶۰۰
زایشگاه	۰/۳۹	۰/۲۷۰	۱/۳۱۶	۱/۲۲۴
LDR	۰/۳۹	۰/۲۷۹	۱/۳۱۶	۰/۵۴۴
مسمومین	۰/۳۰	۰/۴۰۶	۱/۲۴۳	۰/۹۷۳
بستری جراحی ویژه	۰/۹۸	۰/۴۹۹	۱/۲۱۰	۱/۶۶۵
بخش آموزش	۰/۸۲	۰/۵۴۶	۱/۰۹۱	۰/۷۹۲
کتابخانه	۰/۶۵	۰/۵۲۷	۱/۰۸۰	۱/۵۸۶
اداری	۰/۸۲	۰/۴۳۵	۱/۰۵۶	۱/۴۲۰
اطفال	۰/۴	۰/۸۰۹	۱/۰۶۶	۱/۰۳۹
داخلی عمومی	۰/۳۸	۰/۵۲۰	۱/۰۶	۱/۹۰۳
داخلی فوق تخصص	۰/۳۵	۰/۸۲۵	۱/۰۵۷	۱/۰۱۶
عفونی	۰/۳۹	۰/۶۸۲	۱/۰۱۳	۱/۰۲۱
انبار اموال	۰/۲۶	۰/۳۵۶	۱/۰۰۸	۰/۲۷۳
MRI	۰/۲۲	۰/۲۷۹	۰/۹۴۱	۱/۲۴۴
اورژانس	۰/۲۳	۰/۲۱۶	۰/۹۴۱	۰/۹۷۳

جدول ۳: برخی از فاکتورهای مؤثر بر ایمنی حریق در بخش های مختلف

بخش	بار حریق	گسترش حریق	فاکتور مساحت	فاکتور تهویه	فاکتور دسترسی	فاکتور تخلیه
تاسیسات	۱/۳۰۲	۱/۲۰۲	۰/۵۸۶	۰/۹۲۴	۱/۰۰	۰/۳۱۴
آشپزخانه	۱/۴۱۹	۱/۱۰۲	۰/۵۸۶	۰/۹۳۲	۱/۱۰	۰/۲۴۶
اتاق عمل	۱/۱۸۵	۱/۰۸۰	۰/۴۰۰	۰/۸۰۵	۱/۰۵۰	۰/۵۱۵
لاندری	۱/۳۲۴	۱/۱۰۲	۱/۱۸۵	۰/۸۸۴	۱/۱۵۰	۰/۲۶۵
امحاء زباله	۱/۴۹۰	۱/۱۵۲	۱/۱۴۵	۰/۸۹۶	۰/۸۵۰	۰/۰۲۲
post NICU۱	۱/۳۶۷	۱/۱۲۰	۰/۴۱۳	۰/۶۴۶	۱/۱۵۰	۰/۴۶۴
post-NICU2	۱/۳۶۷	۱/۱۳۰	۰/۴۱۷	۰/۳۹۹	۱	۰/۴۰۶
NICU	۱/۱۶۵	۱/۰۳۰	۰/۶۵۲	۰/۷۴۲	۱/۰۵۰	۰/۵۵۵
آزمایشگاه	۱/۱۸۵	۱/۰۵۲	۰/۵۰۹	۰/۴۳۵	۱/۱۰	۰/۳۴۵
ICU 1	۱/۱۶۰	۱/۰۳۴	۰/۸۵۲	۰/۴۵۰	۱/۰۰	۰/۵۳۲
ICU 2	۱/۱۶۰	۱/۰۳۰	۰/۸۹۵	۰/۴۶۰	۱/۰۰	۰/۵۴۰
پاتولوژی	۱/۲۳۰	۱/۰۲۴	۰/۴۵۰	۰/۳۵۳	۱/۰۰	۰/۳۲۰
آندوسکوپی	۱/۱۸۵	۱/۰۵۲	۰/۵۰۹	۰/۴۳۵	۱/۱۰	۰/۳۴۵
آنژیوگرافی	۱/۱۴۶	۱/۰۵۲	۰/۶۰۹	۰/۵۶۹	۱/۱۰	۰/۲۳۵
رادیولوژی و سی تی اسکن	۱/۳۶۵	۱/۰۳۰	۰/۳۱۴	۰/۷۹۱	۱/۰۰	۰/۰۵۵
داروخانه	۱/۲۱۹	۱/۰۳۰	۰/۴۴۴	۰/۶۸۴	۱/۱۰۰	۰/۲۰۷
زایشگاه	۱/۲۴۳	۱/۰۲۰	۰/۳۱۵	۰/۶۰۵	۱/۰۰	۰/۵۲۳
LDR	۱/۲۴۳	۱.۰۲۰	۰/۳۱۵	۰/۶۰۵	۱/۰۰	۰/۵۲۳
مسمومین	۱/۳۶۷	۱/۰۲۰	۰/۳۲۴	۰/۸۹۴	۱/۰۰	۰/۳۵۵
بستری جراحی ویژه	۱/۲۴۳	۱/۰۲۰	۰/۳۱۵	۰/۸۹۴	۱/۰۰	۰/۳۵۴
بخش آموزش	۱/۳۴۲	۱/۱۸۰	۰/۵۰۶	۰/۴۵۰	۱/۱۰	۰/۵۵۶
کتابخانه	۱/۴۲۰	۱/۲۰۵	۰/۶۵۴	۰/۹۵۲	۱/۱۰	۰/۲۸۰
اداری	۱/۴۱۱	۱/۲۰۳	۰/۴۸۹	۰/۵۴۷	۱/۱۵۰	۰/۵۳۰
اطفال	۱/۲۴۰	۱/۰۲۵	۰/۳۵۰	۰/۸۹۴	۱/۰۰	۰/۳۸۰
داخلی عمومی	۱/۲۴۳	۱/۰۳۰	۰/۳۶۲	۰/۸۹۴	۱/۰۰	۰/۴۲۰
داخلی فوق تخصص	۱/۲۴۳	۱/۰۳۰	۰/۳۴۵	۰/۸۹۴	۱/۰۰	۰/۲۸۰
عفونی	۱/۲۴۳	۱/۰۳۰	۰/۳۸۶	۰/۸۹۴	۱/۰۰	۰/۳۷۰
انبار اموال	۱/۱۴۳	۱/۰۱۸	۰/۴۵۸	۰/۹۵۵	۰/۹۰۰	۰/۳۴۰
MRI	۱/۳۵۶	۱/۱۰۸	۱/۱۸۰	۰/۳۵۰	۰/۸۵۰	۰/۲۵۰
اورژانس	۱/۱۸۳	۱/۰۲۰	۱/۱۵۴	۰/۳۶۵	۰/۶۰۰	۰/۰۴۰

بحث

بر اساس نتایج بدست آمده بخش های تاسیسات، آشپزخانه، اتاق عمل و لاندری ریسک حریق کلی نامطلوبی برای ساختمان و محتویات آن و ساکنین داشته است. یکی از جنبه‌های جالب محاسبه FRAME رابطه بین مقدار ریسک اولیه و میزان خسارت معمول می باشد که می توان پس از یک موقعیت حریق جدی انتظار داشت. جدول ۳ ارتباط بین میزان خسارت حریق بر اساس ریسک اولیه ساختمان ارائه می دهد. از طرفی با توجه به جدول ۲ در بخش های بیمارستان مورد مطالعه، میزان ریسک اولیه بین ۰/۲۳-۱/۹۳ تخمین زده شده است که در صورت وقوع حریق بین ۲۰-۸۰ درصد تخریب ساختمان خواهد شد. در این بین، بخش تاسیسات که از یک طرف به موتورخانه (وجود دیگ بخار، منبع سوخت جایگزین و تابلوبرق) و از طرفی دیگر به محل دپو و شارژ سیلندرهای اکسیژن پزشکی نزدیک است علاوه بر اینکه منابع قابل اشتعال و قابل احتراق این بخش زیاد است به علت وجود سیلندرهای اکسیژن در صورت وقوع حریق، گسترش حریق بسیار بالا خواهد بود. از طرفی دیگر بار حرارتی که یکی از فاکتورهای بسیار مهم و مؤثر بر ریسک

جدول ۴: تخمین تخریب ساختمان درهنگام وقوع حریق بر اساس ریسک اولیه

مقدار ریسک اولیه (R_0)	درصد تخریب ساختمان	مقدار ریسک اولیه (R_0)	درصد تخریب ساختمان
کمتر از ۱	کمتر از ۱۰ درصد	۱ تا ۱/۷۳	۱۰ تا ۲۰ درصد
۱/۷۳ تا ۱/۷۵	۲۰ تا ۳۰ درصد	۱/۷۵ تا ۱/۷۷	۳۰ تا ۵۰ درصد
۱/۷۷ تا ۱/۹	۵۰ تا ۸۰ درصد	بیش از ۱/۹	۸۰ تا ۱۰۰ درصد

حریق است نیز در این بخش بسیار بالا است. البته باید در نظر داشت در ارزیابی ریسک حریق برای مهندسین علاوه بر پارامتر بار حرارتی موجود در تاسیسات، با در نظر گرفتن فاکتورهای بسیار بیشتر علاوه بر بار حریق و عامل گسترش حریق، ریسک حریق بدست آمده است. همانطور که در جدول۳ نمایش داده شده است، درصورت وقوع حریق بیشترین خسارت (۸۰-۱۰۰ درصد) به ساختمان بیمارستان متحمل می شود. در اکثر بخش های بیمارستان ریسک حریق اولیه، کمتر از ۱/۷۳ بوده است که در صورت وقوع حریق در این بخش‌ها کمتر از ۲۰ درصد به ساختمان خسارت وارد خواهد شد. از طرفی، در ارزیابی ریسک حریق یکی از بیمارستان های ایران در مطالعه ی حکم آبادی و همکاران، بیشترین سطح ریسک مشابه با مطالعه ی حاضر برای بخش های تاسیسات و اتاق عمل بدست آمده است (۲۲). اگرچه سطح ریسک بدست آمده بسیار وابسته به شرایط موجود در ساختمان است. از سوی دیگر، در مطالعه ای دیگر نیز، بیشترین سطح ریسک برای لاندری و تاسیسات بدست آمده است (۲۳). در مطالعه ی حاضر، سطح ریسک ۹۰ درصد بخش های بیمارستان برای ساکنین نامطلوب بدست آمد. علت این مورد می تواند عدم وجود راهنمای مناسب مسیر خروجی در بخش ها، تعداد مسیر خروجی نامناسب و ناکافی با وجود افراد ناتوان حرکتی باشد. همچنین در بخش های طبقه دوم مسیرهای خروجی اضطراری به بالکن ختم شده است که جزئی از مسیرهای تخلیه در شرایط اضطراری محسوب نمی شود. در برخی بخش ها ریسک حریق برای فعالیت ها نیز به علت وابستگی فعالیت های کارکنان به وسایل و تجهیزات بالاتر از یک بدست آمده است. در مطالعه ای که با روش پیشنهادی خود با نام FLAME[1]، دو بیمارستان در ایتالیا را مورد ارزیابی ریسک حریق قرار دادند. نتایج تخمین ریسک نشان داد که حدود ۴۴٪ از دپارتمان های بیمارستان در معرض ریسک متوسط و ۳۹٪ در معرض ریسک بالا برای ساختمان بوده اند ازطرفی بیش از ۶۰ درصد از بخش های بیمارستان در معرض خطر بالا برای ساکنین بوده است (۲۴). همچنین در مطالعه ای نشان می‌دهد که سطح ریسک در همه بخش‌های یک بیمارستان تایوان بیش از یک بوده و با وجود اینکه ریسک کمتر از یک قابل قبول است، حداقل شرایط ایمن در اکثر بخش‌ها ایجاد نشده است (۲۵).

در جدول ۳ مقادیر برخی از پارامترهای مؤثر بر حریق این بیمارستان را نمایش می دهد. فاکتور بار حریق منعکس کننده ی گرمای خروجی حریق به مدت دو ساعت در دپارتمان مورد بررسی است که احتمالاً بار حریق واقعی بیشتر از مقادیر بدست آمده خواهد بود. در این بیمارستان تخمین زده شده است که امحاء زباله با مقدار ۱/۴۹۰ از بیشترین میزان بار حریق در این بیمارستان برخوردار است. انبار البسه هر یک از بخش‌های بستری و درمانی، کتابخانه و بخش اداری نیز بار حریق بالایی دارند. در مطالعه‌ای نیز تعیین شده است که بیشترین پارامترهایی که بر ریسک بالقوه تأثیر داشته است؛ فاکتور بارحریق، فاکتور تهویه و فاکتور دسترسی در بیمارستان مورد بررسی بوده است (۲۶). فاکتور گسترش حریق که علاوه بر بار حریق موجود به کلاس انتشار حریق مواد و دمای تخریب بستگی دارد در اکثر بخش ها بین ۱-۱/۲ تخمین زده شد بر اساس اطلاعات بدست آمده از این فاکتور می توان نرخ انتشار حرارت (HRR) را

1. Fire risk assessment method for enterprises

تخمین زد که در کلیه بخش ها نرخ انتشار حرارت بین ۱۲۵- ۲۵۰کیلووات بر مترمربع[1] در هنگام وقوع حریق خواهد بود. بدین معنی که وقوع حریق در ساختمان با رشد آهسته تا رشد متوسط متغیر خواهد بود.

با توجه به اینکه فاکتور تهویه در کلیه بخش ها کمتر از ۱,۱ بدست آمده است می توان نتیجه گرفت اگر حریقی در بدترین حالت رخ دهد تهویه لازم جهت خروج دود و گرما از این بخش وجود دارد و نیاز به تهویه مطبوع آئرودینامیکی با ظرفیت بیشتر نمی‌باشد از آنجاییکه بیش از ۶۰ درصد بخش های ساختمان بیمارستان، نسبت تهویه طبیعی و آئرودینامیکی بیش از ۲ درصد سطح کف اتاق تخمین زده شد؛ برای تخلیه دود حریق در حال گسترش کافی است. فاکتور مساحت برای کلیه بخش ها کمتر از یک بدست آمد علت آن این است که مساحت اتاق‌های هر دپارتمان کمتر از ۱۶۰۰متر مربع بوده و ساختمان از واحدبندی مناسبی برخوردار بود. فاکتور مساحت مؤثرترین عامل در انتخاب وسایل اطفاء حریق است و معمولاً با فاکتور مساحت کمتر از یک می‌توان با نصب وسایل کشف خودکار، سطح ریسک حریق این اتاق‌ها را متعادل کرد. بیش از ۳۰ درصد بخش های بیمارستان، فاکتور دسترسی بیش از یک تخمین زده شد که نشان دهنده ی محدودیت دسترسی تیم آتش نشانی است. اگر چه فاکتور دسترسی کلیه بخش ها به جز بخش اورژانس، انبار اموال، MRI و امحاء زباله بالاتر از یک می باشد این امر به این دلیل است که ساختمان بیمارستان یک طبقه بزرگ است که مسیرهای خروجی کافی نداشته در نتیجه برای بهبود این فاکتور می توان با ایجاد جاده ی اختصاصی در اطراف ساختمان، دسترسی تیم آتش نشانی در هنگام وقوع حریق را راحتتر نمود.

زمان تخلیه افراد یکی از مؤثرترین پارامترها در ایمنی حریق علی الخصوص در پذیرش ریسک حریق می‌باشد (۲۷). همچنین این پارامتر در تفسیر ایمنی حریق بسیار مهم است. به طوریکه زمان خروج مورد نیاز برای ترک ساختمان (RSET)[2] باید کوتاه تر از زمان در دسترس برای خروج ساختمان (ASET)[3] در بدترین سناریو باشد (۲۸). سطح ریسک پذیرش در اکثر بخش‌ها کمتر از ۰/۸ است این یعنی RSET بالا تخمین زده شده و ریسک حریق برای ساکنین بالا خواهد بود. برای بهبود سطح ریسک پذیرش برای ساکنین ضروریست راهکارهای کنترلی جهت بهبود وضعیت تخلیه افراد صورت گیرد. سطح ریسک اولیه برای کلیه بخش‌ها محاسبه شده و در جدول ۲ ارائه شده است. بخش هایی که مقدار ریسک اولیه[4] آنها کمتر از یک بدست آمده است را می‌توان با سیستم‌های حفاظت حریق دستی یا بهبود این سیستم‌ها همانند ایستگاه های شلنگ، مداخله تیم آتشنشانی، خاموش‌کننده‌های دستی و سیستم اعلام حریق دستی بین ریسک بالقوه حریق و پذیرش ریسک حریق تعادل برقرار کرد و بخش هایی که ریسک اولیه آن بین ۱ و ۱/۶ بدست آمده است استفاده از سیستم‌های کشف حریق خودکار پیشنهاد می‌گردد. از آنجاییکه در بخش‌ها بمقدار ریسک اولیه بیش از ۱/۶ بدست نیامده است. بخش تاسیسات و موتورخانه این بیمارستان که از یک طرف به دیگ بخار و از طرفی دیگر به محل دپو و شارژ سیلندرهای اکسیژن پزشکی نزدیک است و ایجاد حریق می‌تواند باعث انفجار شود. ریسک اولیه بخش تاسیسات و موتورخانه بیش از ۱/۶ بدست آمده است که نیاز است از سیستم‌های اطفاء حریق خودکار نظیر اسپرینکلرها استفاده گردد تا ریسک بالقوه

۱. به طور کلی رابطه ی زیر بین عامل گسترش حریق (i) و نرخ انتشار حرارت (HRR) برقرار است:

$$HRR = 25\times10^{i}\,kW/m^2$$

این لینک را می توان به صورت زیر توضیح داد:

برای حریقی با شدت گسترش حریق متوسط، نرخ انتشار حرارت ۲۵۰ کیلووات بر متر مربع خواهد بود. به عنوان مثال آتش سوزی در محیط اداری عبارتند از: i بیمارستان در چنین محیطی مقادیر معمولی برای تعیین عامل m = می شود i = 1 ، که منجر به گسترش حریق T = 250، M = 2، 0.3.

گسترش حریق آهسته را می توان در خطرات معمول خطر آتش در می شود = i سوزی گروه ۱، مانند کارگاه‌های فلزی یافت که منجر به فاکتور ۰/۷ کیلووات بر متر مربع خواهد بود ، HRR۱۲۵این صورت.

2. Required Safe Egress Time
3. Available Safe Egress Time
۴. Initial Risk: ریسک اولیه، نشان‌دهنده سطح حفاظتی ایجاد شده از اقدامات ایمنی فعلی مانند محفظه‌سازی، جداسازی ریسک، تخلیه دود، و عایق‌سازی در برابر حریق، می باشد.

و پذیرش ریسک تعادل برقرار شود. از طرفی در بدترین سناریو تعداد عبور افراد به تعداد واحدهای خروجی در طبقه دوم بیش از ۱۲۰ تخمین زده شد که معرف تعداد ناکافی واحدهای خروجی در کلیه بخش‌های طبقه دوم بوده است. نتایج مطالعه صالح و همکاران نشان داده است که طبقات اول تا سوم بیمارستان‌های مورد مطالعه مالزی دارای وضعیت تخلیه نامناسب بوده است. نتایج کلی ارزیابی خطر آتش سوزی در این مطالعه نشان داد که از نظر جنبه‌های کنترل حریق، خروجی و ایمنی ساکنین، امتیاز ارزیابی خطر آتش سوزی در تمام ساختمان‌های بیمارستان مورد مطالعه غیرقابل قبول بوده است (۱۴).

با توجه به مقادیر ریسک بالقوه و سطح ریسک پذیرش در بخش‌های مختلف می توان نتیجه گرفت بسیاری از بخش‌های بیمارستان مورد مطالعه میزان سطح ریسک بالقوه بیش از سطح ریسک پذیرش برای ساکنین و اموال است. بنا به ریسک حریق بدست آمده و نتایج مربوط به عوامل مؤثر بر ایمنی حریق ساختمان در ادامه اقدامات کنترلی جهت کاهش سطح ریسک بالقوه پیشنهاد می شود. متداولترین منابع حریق موجود در بیمارستان مواد شیمیایی و تجهیزات الکتریکی هستند. بهترین راهکار کاهش ریسک بالقوه حریق و افزایش سطح ریسک پذیرش جداسازی این منابع حریق از بار حریق موجود در دپارتمان است. این تقسیم بندی یکی از مقرون به صرفه‌ترین اقدامات کاهش ریسک است که اینکار می‌تواند مجموع ضررهای مالی ناشی از وقوع حریق را با کاهش گسترش حریق کاهش دهد.

مواد شیمیایی در بخش‌های مختلف بیمارستان از جمله آزمایشگاه‌ها، داروخانه‌ها و غیره موجود است. بنابراین باید برگه اطلاعات ایمنی مواد (MSDS) را از تأمین‌کننده مواد شیمیایی تهیه کرد و از وجود مواد قابل اشتعال و احتراق در بخش مطلع شود. از طرفی در اکثر بخش‌ها در مراکز بهداشتی و درمانی دارای تجهیزات الکتریکی هستند که ممکن است باعث آتش سوزی شوند. استفاده از مواد قابل احتراق همانند گازهای پزشکی در کنار تجهیزات الکتریکی در آیین نامه های الکتریکی طبقه بندی شده است زیرا تابلوبرق ها و تجهیزات الکتریکی، جرقه تولید می کنند و دارای سطوح داغ هستند (۲۹). نگهداری و حفاظت از تاسیسات الکتریکی باید مطابق مقررات و آیین نامه ها باشد و همچنین بازرسی‌های منظم صورت گیرد تا از اتصالات کوتاه و آسیب دیدن کابل ها جلوگیری شود. در بیمارستان باید از حداقل بار حریق در سازه و ساختمان به کار برده شود. بدین منظور نباید با هدف تزیینات و دکوراسیون بار حریق ساختمان را افزایش داد زیرا به محض وقوع حریق، بار حریق منجر به گسترش حریق می‌شود. در انبار البسه و رختکن‌ها نباید منابع حریق از جمله وسایل پخت و پز وجود داشته باشد. استفاده از سیستم‌های حفاظت و کنترل حریق، تعادل میان ریسک بالقوه حریق و سطح پذیرش ریسک را برقرار می‌نماید. بدین منظور، پیشنهاد می شود در کلیه بخش های بیمارستان سامانه اعلام حریق خودکار با پوشش دهی کامل استفاده شود. از طرفی سامانه اعلام حریق دستی نیز در همه بخش‌ها در منتهی الیه دسترسی خروج طبقات و ایستگاه های پرستاری نصب و راه اندازی شود. جعبه‌های اعلام حریق می‌بایست از نوع اهرمی باشد و به آسانی باز شوند. دسترسی به ایستگاه های شیلنگ به سهولت امکان‌پذیر باشد از طرفی بهتر است شیلنگ از نوع هوزریل باشد. راه اندازی سامانه اطفاء حریق هوزریل‌تر در تمام ساختمان با پوشش کامل با حداکثر فاصله ایستگاه های شیلنگ در ساختمان ۵۲ متر و در محوطه با فواصل حداکثر ۱۵۰ متری قرار گیرد. طراحی و اجرای سامانه اطفاء حریق خودکار از جمله اسپرینکلرها در بخش‌هایی در بیشتر زمانها، افراد حضور ندارند ازجمله، انبارها، اتاق‌های بایگانی و اتاق سرور که متصل به بخش‌های درمانی است ضروری می‌باشد. نصب تابلوهای راهنمای مسیریابی و نیز راهنمای شماره طبقات در راه پله و راهنمای خروج یا نوار خروج و نیز تابلو خروج سردرب در کلیه ساختمان پیشنهاد می‌گردد. از طرفی تقویت عوامل سازمانی از جمله آموزش کارکنان وپرسنل در استفاده از کلیه وسایل حفاظت حریق، ایجاد مانور خروج افراد در شرایط اضطراری نیز می تواند سطح

پذیرش ریسک حریق را افزایش دهد.

نتیجه گیری

با توجه به اینکه سطح ریسک حریق برای ساکنین، ساختمان و فعالیت‌ها متأثر از فاکتورهایی بسیار زیادی است بنابراین شناسایی و ارزیابی و کنترل این عوامل در ساختمان ها با کاربری مراقبت بهداشتی و درمانی حائز اهمیت می باشد. روش ارزیابی ریسک حریق برای مهندسین نسبتاً روشی جامع و کامل جهت ارزیابی ریسک حریق ساختمان با کاربری مراقبت بهداشتی و درمانی است که در تعیین ریسک حریق بسیاری از این فاکتورهای مهم و مؤثر را در نظر می گیرد و می‌توان با توجه به خروجی و محاسبات هر یک از فاکتورها، تحلیل دقیقی از فاکتور و اصلاح آن با صرف هزینه کمتر، محقق می سازد. می‌توان از نتایج ارزیابی ریسک حریق در کنار اعتباربخشی و شاخص های ایمنی بیمارستان استفاده شود تا با مدیریت ایمنی حریق با توجه به شناسایی فاکتورهایی که تأثیر بسزایی در افزایش ریسک حریق دارند به کیفیت خدمات بیشتر و هدفمندتر جهت کاهش ریسک حریق دست یافت. در این مطالعه سعی شده است نتایج حاصل از ارزیابی ریسک حریق به روش FRAME مورد تحلیل قرار گیرد تا متخصصین ارزیاب بتوانند تفسیر کاملی از نتایج ارزیابی ریسک حریق داشته باشند. از مزایای روش ارزیابی ریسک حریق این است که بسیار فراتر از تعیین ریسک حریق برای هر بخش است زیرا با تحلیل هر یک از فاکتورهای آن در کاهش ریسک حریق می توان به راهکارهای کنترلی جهت کاهش ریسک حریق دست یافت. با این حال، روش ارزیابی ریسک حریق برای مهندسین مانند بسیاری از روش های دیگر با نظر و قضاوت کارشناسان انجام می شود که بهتر است کمّی کردن قضاوت های کارشناسان از طریق مجموعه‌های فازی صورت گیرد تا ارزیابی ریسک حریق با قطعیت بالاتری بدست آید. علاوه بر این، ساختمان های با کاربری مراقبت بهداشتی و درمانی چندین فاکتور منحصربه فرد را شامل می شود مانند وجود گازهای پزشکی که به طور قابل توجهی بر گسترش حریق تأثیر گذارند. بنابراین لزوم ارائه ی روش های ارزیابی ریسک حریق با قطعیت بیشتر و در نظر گرفتن کلیه ی فاکتورهای مؤثر حائز اهمیت می باشد.

تشکر و قدردانی

این پژوهش بخشی از طرح مصوب پژوهشی با کد طرح ۱۴۰۰-۲-۹۹-۵۴۰۱۰ می‌باشد بدینوسیله نویسندگان به‌دلیل حمایت مالی دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی درمانی تهران کمال سپاس و تشکر را دارد. همچنین نویسندگان از مسئولین محترم بیمارستان مورد مطالعه نیز تشکر و قدردانی می نمایند. با توجه به استانداردهای اخلاقی، برخی از اطلاعات مربوط به بیمارستان تحت بررسی از جمله نام و یافته‌های جزئی آن محرمانه نگه داشته می شود.

REFERENCES

1. Liu D, Xu Z, Wang Y, Li Y, Yan L. Identifying fire safety in hospitals: Evidence from Changsha, China. Alex Eng J. 2023;64:297-308.
2. Kodur V, Kumar P, Rafi MM. Fire hazard in buildings: review, assessment and strategies for improving fire safety. PSU Res Rev. 2020;4(1):1-23.
3. Goodman GR. Hospital facility safety standards. Clin Eng Handb: Elsevier; 2020. p. 728-30.
4. Agus Salim NA, Salleh NM, Jaafar M, Sulieman MZ, Ulang NM, Ebekozien A. Fire safety management in public health-care buildings: issues and possible solutions. J Facil Manag. 2023;21(1):69-83.
5. Wood MH, Hailwood M, Koutelos K. Reducing the risk of oxygen-related fires and explosions in hospitals treating Covid-19 patients. Process Saf Environ Prot. 2021;153:278-88.
6. Zaroushani V, Khajehnasiri F. Challenges on Hospital Fire Safety during COVID-19 Crisis. J Health Saf Work. 2022;12(2):237-43.
7. Jaafar M, Salim NAA, Salleh NM, Sulieman MZ, Ulang NM, Ebekozien A. Developing a framework for fire safety management plan: the case of Malaysia's public hospital buildings. Int J Build Pathol Adapt.

2023;41(4):713-33.
8. Hannani S, Ramzanpour E, Amiri F, Rasoli M. Evaluation the safety standards in the operating room of the medical education hospital of Iran University of Medical Sciences in the year is 2018. J Adv Pharm Educ Res. 2019;9(S2):169-73.
9. Juyal S, Abbasi T, Abbasi S. An analysis of failures leading to fire accidents in hospitals; with specific reference to India. J Fail Anal Prev. 2023;23(3):1344-55.
10. Salari S, Farokhzad M, Khalili A, Mohammadfam I. Identification of Human Errors in the Use of Neonatal Ventilator Device by Predictive Use Error Analysis method. J Health Saf Work. 2019;9(3):212-20.
11. Wang Y, Hou L, Li M, Zheng R. A novel fire risk assessment approach for large-scale commercial and high-rise buildings based on fuzzy analytic hierarchy process (Fahp) and coupling revision. Int J Environ Res Public Health. 2021;18(13):7187.
12. Salari S, Sadeghi-Yarandi M, Golbabaei F. An integrated approach to occupational health risk assessment of manufacturing nanomaterials using Pythagorean fuzzy AHP and fuzzy inference system. Sci Rep. 2024;14(1):180.
13. Khakkar S, Ranjbarian M, Pouyakian M. Study of CFSES software compliance with Iranian national standards for fire safety assessment of commercial complexes. J Health Field. 2019;7(1):26-35.
14. Salleh N, Nuzaihan Aras AS, Norazman N, Kamaruzzaman SN. Fire risk assessment of Malaysia public hospital buildings. J Facil Manag. 2023;21(4):635-50.
15. Jahangiri M, Rajabi F, DAROOGHE F. Fire risk assessment in selected hospitals of Shiraz University of Medical Sciences in accordance with NFPA101. Iran Occup Health J. 2016.
16. Rabiei H, Zare A, Ahmadian Taheri S, Ebrahimi N, Mazaheri Tehrani A, Malakoutikhah M. Fire risk assessment of Kashan's commercial and shopping centers using fire risk assessment method for engineering (FRAME). Fire Mater. 2024.
17. Omidvari F, Jahangiri M, Mehryar R, Alimohammadlou M, Kamalinia M. Fire risk assessment in healthcare settings: Application of FMEA combined with multi-criteria decision making methods. Math Probl Eng. 2020;2020(1):8913497.
18. Salazar LGF, Romao X, Paupério E. Review of vulnerability indicators for fire risk assessment in cultural heritage. Int J Disaster Risk Sci. 2021;60:102286.
19. Wang Y, Zheng R, Li M. Risk assessment of fire safety in large-scale commercial and high-rise buildings based on intuitionistic fuzzy and social graph. J Build Eng. 2024;89:109165.
20. HR S. Analyzing the Risk of Fire in a Hospital Complex by" Fire Risk Assessment Method for Engineering"(FRAME). Int Arch Health Sci. 2014;1(1).
21. Brzezińska D, Bryant P. Risk index method—A tool for building fire safety assessments. Appl Sci. 2021;11(8):3566.
22. Manan N, Hasan NIA, Ghafar NMA, Jamal NF. Fire Risk Assessment of Residential Buildings Based on Fire Statistics from Selangor. Int J Res Sci Innov. 2020;7(9):71-6.
23. Hokmabadi R, Mahdinia M, Zaree R, Mirzaee M, Kahsari P. Fire risk assessment by FRAME in a hospital complex. J North Khorasan Univ Med Sci. 2017;9(2):182-73.
24. Danzi E, Fiorentini L, Marmo L. FLAME: a parametric fire risk assessment method supporting performance based approaches. Fire Technol. 2021;57(2):721-65.
25. Wu CL, Tseng WW, editors. Development of a fire risk index to evaluate fire safety in Taiwanese small scale hospitals. Proc Interflam. 2016.
26. Kurd H, Zaroushani V, Akbari Shahrestanaki Y, Safari Variani A. Determining factors affecting fire risk in a hospital in Qazvin, Iran. Health Emerg Disasters Q. 2021;6(2):115-22.27.
27. Wang N, Gao Y, Li C-y, Gai W-m. Integrated agent-based simulation and evacuation risk-assessment model for underground building fire: A case study. J Build Eng. 2021;40:102609.
28. Chu G, Wang J, Wang Q. Time-dependent fire risk assessment for occupant evacuation in public assembly buildings. Struct Saf. 2012;38:22-31.
29. Babrauskas V. Electrical fires. SFPE Handb Fire Prot Eng. 2016:662-704.