Journal of Occupational Hygiene Engineering Volume 7, Issue 2, Summer 2020, Pages: 22-31

Original Article

doi: 10.52547/johe.7.2.22

Identification and Analysis of Accident Scenarios in the Hospital Central Oxygen Unit by Fault Tree Analysis Method and Evaluation of the Adequacy of Control Devices Using Layer of Protection Analysis

Maryam Feiz Arefi[1, 2], Hamideh Delju[3], Fakhradin Ghasemi[4], Omid Kalatpour[5,*]

[1] *Instructor, Department of occupational Health Engineering, School of Health, Torbat Heydariyeh University of Medical Sciences, Torbat Heydariyeh, Iran*
[2] *Health Sciences Research Center, Torbat Heydariyeh University of Medical Sciences, Torbat Heydariyeh, Iran*
[3] *MSc in Occupational Health, Hamadan, Iran*
[4] *Assistant Professor, Department of Ergonomics, Center of Excellence for Occupational Health, Research Center for Health Science, School of Public Health, Hamadan University of Medical Sciences, Hamadan, Iran*
[5] *Assistant Professor, Department of Occupational Health, Center of Excellence for Occupational Health, Research Center for Health Science, School of Public Health, Hamadan University of Medical Sciences, Hamadan, Iran*

***Corresponding Author:** Omid Kalatpour, Department of Occupational Health, Center of Excellence for Occupational Health, Research Center for Health Science, School of Public Health, Hamadan University of Medical Sciences, Hamadan, Iran. Email: kalatpour@umsha.ac.ir*

Received: 31/12/2019
Accepted: 02/05/2020

How to Cite this Article:
Feiz Arefi M, Delju H, Ghasemi F, Kalatpour O. Identification and Analysis of Accident Scenarios in the Hospital Central Oxygen Unit by Fault Tree Analysis Method and Evaluation of the Adequacy of Control Devices Using Layer of Protection Analysis. *J Occup Hyg Eng*. 2020; 7(2): 22-31. DOI: 10.52547/johe.7.2.22

Abstract

Background and Objective: Central oxygen is one of the vital parts of hospitals responsible for supplying oxygen. Therefore, any defect in this system can result in human and financial losses. Therefore, effective risk analysis is of utmost importance in the prevention and mitigation of such potential accidents. In the light of aforementioned issues, the current study aimed to analyze the scenarios of accidents in the oxygen central unit of the hospital using Fault Tree Analysis (FTA) and Layer Of Protection Analysis (LOPA) methods.

Materials and Methods: In the first step, probable errors in oxygen leakage were identified and then FTA was plotted. Dangerous scenarios in central oxygen were identified and the risks were analyzed using the semi-quantitative LOPA method. Finally, control measures were proposed to reduce oxygen leakage. and semi-quantitative LOPA method was used for risk analysis. Finally, control measures to reduce oxygen leakage were predicted

Results: As evidenced by the obtained results, the most important accident scenarios include oxygen release, explosion, and fire. Independent protection layers are suitable for oxygen storage and production tanks, and the use of Independent Protection Layers (IPL) can significantly reduce the risk. The most important cause of leakage in the patient's room was due to the mask being removed from the respiratory area or the lack of fit with the patient's face.

Conclusion: The results of this study showed that the independent protective layers in central oxygen are sufficient to prevent oxygen leakage. It is also necessary to use a sensor to determine the concentration of oxygen in the patient's room and a special alarm to increase the concentration of oxygen in order to reduce the risk of oxygen leakage in the environment. Furthermore, periodic training to all employees and maneuvers should be implemented in the crisis management measures in hospitals.

Keywords: FTA, LOPA; Oxygen Central; Risk Assessment

[Downloaded from johe.umsha.ac.ir on 2026-11-08]

[DOI: 10.52547/johe.7.2.22]

Copyright © 2020 Journal of Occupational Hygiene Engineering. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License (http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/) which permits copy and redistribute the material just in noncommercial usages, provided the original work is properly cite

مجله مهندسی بهداشت حرفه‌ای دوره ۷، شماره ۲، تابستان ۱۳۹۹، صفحات ۲۲ تا ۳۱

مقاله پژوهشی

doi: 10.52547/johe.7.2.22

شناسایی و تجزیه‌وتحلیل سناریوهای حوادث در واحد اکسیژن سانترال بیمارستانی به روش FTA و بررسی کفایت دستگاه‌های کنترلی با روش LOPA

مریم فیض عارفی [۲،۱]، حمیده دلجو[۳]، فخرالدین قاسمی[۴]، امید کلات پور[۵،*]

[۱] مربی، گروه مهندسی بهداشت حرفه‌ای، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی تربت حیدریه، تربت حیدریه، ایران

[۲] مرکز تحقیقات علوم بهداشتی، دانشگاه علوم پزشکی تربت حیدریه، تربت حیدریه، ایران

[۳] کارشناسی ارشد مهندسی بهداشت حرفه‌ای، همدان، ایران

[۴] استادیار،گروه ارگونومی،مرکز تحقیقات بهداشت و ایمنی شغلی، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی همدان، همدان، ایران

[۵] استادیار،گروه بهداشت حرفه‌ای، قطب علمی و آموزشی مهندسی بهداشت حرفه‌ای کشور، مرکز تحقیقات ایمنی و بهداشت کار، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی همدان، همدان، ایران

*** نویسنده مسئول:** امید کلات پور، گروه بهداشت حرفه‌ای، قطب علمی و آموزشی مهندسی بهداشت حرفه‌ای کشور، مرکز تحقیقات ایمنی و بهداشت کار، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی همدان، همدان، ایران. ایمیل: kalatpour@umsha.ac.ir

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۸/۱۰/۱۰

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۹/۲/۱۳

تمامی حقوق نشر برای دانشگاه علوم پزشکی همدان محفوظ است.

چکیده

سابقه و هدف: اکسیژن سانترال یکی از بخش‌های حیاتی بیمارستان است که وظیفه تأمین اکسیژن را بر عهده دارد. وقوع هرگونه نقص در آن می‌تواند به خسارات زیادی منجر شود؛ بنابراین، تجزیه‌وتحلیل ریسک مؤثر برای جلوگیری و کاهش چنین حوادث احتمالی اهمیت بسیاری دارد. هدف از این مطالعه تجزیه‌وتحلیل سناریوهای حوادث در واحد اکسیژن سانترال بیمارستان به روش تجزیه‌وتحلیل درخت خطا (FTA: Fault Tree Analysis) و تجزیه‌وتحلیل لایه‌های حفاظتی (LOPA: Layer Of Protection Analysis) است.

مواد و روش‌ها: ابتدا خطاهای احتمالی در نشت اکسیژن شناسایی و سپس FTA ترسیم شد. سناریوهای خطرناک در اکسیژن سانترال شناسایی و با استفاده از روش نیمه‌کمّی LOPA ریسک‌ها تجزیه‌وتحلیل شدند. درنهایت اقدامات کنترلی برای کاهش میزان نشت اکسیژن پیشنهاد شد.

یافته‌ها: نتایج نشان داد مهم‌ترین سناریوهای حوادث شامل نشت اکسیژن، انفجار و حریق است. لایه‌های حفاظتی مستقل در مخازن ذخیره و تولید اکسیژن مناسب است و کاربرد لایه‌های حفاظتی مستقل (IPL: Independent Protection Layer) می‌تواند به‌طور معنی‌داری خطر را کاهش دهند. مهم‌ترین علت نشت در اتاق بیمار ناشی از برداشتن ماسک از منطقه تنفسی یا اندازه‌نبودن ماسک با صورت بیمار بوده است.

نتیجه‌گیری: نتایج این مطالعه نشان داد لایه‌های حفاظتی در اکسیژن سانترال برای پیشگیری از نشت اکسیژن کفایت لازم را دارند. استفاده از حسگر تعیین غلظت اکسیژن در اتاق بیمار و زنگ هشدار مخصوص افزایش غلظت اکسیژن به‌منظور کاهش ریسک مخاطرات ناشی از نشت اکسیژن در محیط نیز ضروری است. همچنین باید نسبت به آموزش دوره‌ای تمام کارکنان و انجام رزمایش در برنامه‌های مدیریت بحران بیمارستان تدابیر لازم اندیشیده شود.

واژگان کلیدی: ارزیابی ریسک؛ اکسیژن سانترال؛ FTA؛ LOPA

مقدمه

تأمین اکسیژن در بیمارستان مسئله‌ای حیاتی به شمار می‌رود. کمبود اکسیژن می‌تواند به آسیب‌های مغزی در بیمار منجر شود [۱]. تدابیر موجود به‌منظور تأمین اکسیژن برای بیماران نیازمند اکسیژن عبارت‌اند از: تأمین کپسول‌های اکسیژن و استفاده از مراکز تولید و توزیع اکسیژن که در اصطلاح رایج سانترال اکسیژن نامیده می‌شود. سانترال اکسیژن بخش مرکزی تأمین اکسیژن است که اکسیژن را تولید و از طریق دستگاه‌های لوله‌کشی به اتاق بیماران هدایت می‌کند. وجود چنین واحدی می‌تواند مشکلات ناشی از استفاده از کپسول‌های اکسیژن را به حداقل برساند؛ مشکلاتی از قبیل خالی‌شدن کپسول در زمان نیاز بیمار و موضوعات مرتبط با ایمنی سیلندرهای اکسیژن. بنابراین، وجود واحد سانترال اکسیژن در بیمارستان به‌ویژه بیمارستان‌های

[Downloaded from johe.umsha.ac.ir on 2026-11-08]

[DOI: 10.52547/johe.7.2.22]

بزرگ ضروری به نظر می‌رسد. از طرف دیگر، اگرچه بروز نقص‌های جدی در لوله‌های سانترال اکسیژن مورد نادری محسوب می‌شود، به‌طور بالقوه برای بیمارستان فاجعه‌بار است. در صورت بروز نقایص جدی در این واحد، علاوه بر مشکلاتی از قبیل تأمین‌نشدن اکسیژن برای بیمار، امکان نشت اکسیژن و انفجار هم وجود دارد [۲].

رفتار اکسیژن با هوای فشرده، نیتروژن و دیگر گازهای بی‌اثر متفاوت و بسیار واکنش‌پذیر است. حتی اندکی افزایش در میزان اکسیژن محیطی (تا ۲۴ درصد) که در اصطلاح غنی‌شدن با اکسیژن گفته می‌شود، بسیار خطرناک است و خطر حریق و انفجار افزایش می‌یابد. غنی‌سازی اکسیژن ناشی از نشت از تجهیزات اتفاق می‌افتد. حوادث زیادی ناشی از نشت اکسیژن طبی از سیلندر اکسیژن گزارش شده است و دلایل متعددی همچون خوردگی خروجی سیلندر، نقص در رگولاتور، بازبودن شیر اکسیژن، ضعیف‌شدن بدنه کپسول در اثر فرسودگی و کاهش ضخامت سبب نشت و به دنبال آن حریق و انفجار بیان شده است [۳،۴]. این حوادث گاهی در حین تولید و حمل کپسول‌ها اتفاق می‌افتد و گاهی هنگام استفاده و حمل بیمار به بیمارستان یا انتقال به بیمارستان دیگر بروز می‌کند و به آسیب کارکنان فوریت پزشکی منجر می‌شود [۵].

در برخی مطالعات حریق‌های بیمارستانی به علت نشت اکسیژن و افزایش غلظت O_2 محیطی در بخش‌های ICU، NICU و ... بیمارستان گزارش شده و در مواردی که منبع جرقه نیز وجود داشته، سبب آتش‌سوزی و آسیب به تجهیزات و ساختمان نیز شده است [۳،۵]. انجمن ملی آتش‌نشانی (NFPA: National Fire Protection Association) گزارش‌های موردی زیادی در رابطه با حوادث ناشی از نشت و انتشار اکسیژن طبی در محیط منتشر کرده است که عمدتاً به نشت اکسیژن از کپسول‌ها اشاره دارد و به ارزیابی خطر نشت اکسیژن در سانترال کمتر پرداخته شده است [۶]. برخی آمارها نشان می‌دهد استفاده از اکسیژن لوله‌کشی درحالی‌که منبع جرقه وجود داشته باشد، به حریق و آسیب به بیمار و سوختگی ناحیه صورت بیمار منجر می‌شود [۵]. بین سال‌های ۲۰۰۶ و ۲۰۰۷ یک حریق ناگهانی و شدید به علت نشت اکسیژن در اتاق عمل در هلند رخ داد و به مرگ بیمار منجر شد [۷].

برخلاف تصور معمول که بیمارستان‌ها را جزء محیط‌های کم‌خطر به لحاظ بار آتش در نظر می‌گیرند، این محیط‌ها بدون سیستم ایمنی مناسب جزء محیط‌های پرخطر محسوب می‌شوند [۸]. با توجه به جمعیت زیادی که در بیمارستان‌ها حضور دارند (اعم از کارکنان و بیماران)، در صورت بروز حادثه ناشی از اکسیژن، بروز وقایع مرگبار خارج از انتظار نخواهد بود؛ بنابراین، علاوه بر نیاز به تعمیر و نگهداری ویژه این واحدها، ارزیابی و مدیریت ریسک هم اهمیت بسزایی دارد. همچنین باید برنامه‌ریزی مدیریت بحران برای واکنش در شرایط اضطراری هم در پیش‌بینی‌های مدیریتی لحاظ شده باشد [۲].

در این مطالعه سعی شده است با استفاده از تجزیه‌وتحلیل درخت خطا (FTA: Fault Tree Analysis) شرایط حادثه‌ساز احتمالی مربوط به سیستم سانترال اکسیژن شناسایی شود. سپس با استفاده از تجزیه‌وتحلیل لایه‌های حفاظتی، کارایی لایه‌های حفاظتی موجود بررسی شود. روش تجزیه‌وتحلیل لایه‌های حفاظتی (LOPA: Layer Of Protection Analysis) نوعی روش ارزیابی خطر نیمه‌کمّی است که در سال ۱۹۹۳ از سوی مرکز ایمنی فرایند شیمیایی (CCPS: Chemical Center Of Process Safety) عرضه شده است. این روش بر مبنای اطلاعات به‌دست‌آمده از روش کیفی شناسایی خطر همچون روش مطالعه خطر و قابلیت عملکرد (HAZOP: Hazard And Operability Study)[۹] به ارزیابی خطر می‌پردازد. LOPA یک روش اقتصادی و قابل‌اطمینان است که با بررسی لایه‌های حفاظتی موجود به بررسی پرتکرارترین و شدیدترین خطرات می‌پردازد و سطح این خطرات را به حد قابل قبول می‌رساند [۹]. مطالعات حاکی از کاربرد این روش در موارد مختلف همچون واحد تولید هیدروژن و همچنین واحدهای پالایشگاهی، فرایندهای شیمیایی، پتروشیمی و ... است [۱۰-۱۶].

بیشتر مطالعاتی که درخصوص نقص عملکرد در لوله‌های اکسیژن‌رسان بیمارستانی صورت گرفته، با استفاده از روش حالت شکست و تحلیل اثرات (FMEA: Failure Mode & Effects Analysis)[۹] بوده است. در این مطالعات بیشتر به ایمنی بیمار در صورت بروز نقص در سیستم تأمین اکسیژن توجه شده و به برنامه‌ریزی برای اجرای اقدامات مناسب برای راه‌حل جایگزین به‌منظور تأمین اکسیژن موردنیاز بیماران پرداخته شده است [۱،۲،۱۷،۱۸]. با توجه به وجود خطرات بالقوه و اهمیت ارزیابی ریسک واحد اکسیژن سانترال بیمارستان و با عنایت به اینکه تاکنون مطالعه‌ای در رابطه با ارزیابی ریسک این واحد بیمارستانی صورت نگرفته است، این مطالعه به‌منظور حفظ ایمنی کارکنان و بیمارستان با استفاده از تکنیک ارزیابی ریسک به روش تجزیه‌وتحلیل لایه‌های حفاظتی (LOPA) در واحد سانترال اکسیژن بیمارستانی در شهر همدان طراحی شده است.

مواد و روش‌ها

این مطالعه توصیفی-تحلیلی در واحد اکسیژن سانترال یکی از بیمارستان‌های شهر همدان انجام شده است. در اکسیژن سانترال بیمارستان، با استفاده از دستگاه‌های مخصوص، اکسیژن از هوا جدا می‌شود. سپس اکسیژن با خلوص بالا (بیش از ۹۵ درصد) از طریق خطوط لوله به بخش‌های مصرفی بیمارستان منتقل می‌شود. واحد اکسیژن سانترال متشکل از بخش‌های مختلفی همچون کمپرسور هوا، فیلتر، مخازن اکسیژن‌ساز، مخازن ذخیره اکسیژن و خطوط انتقال است که در آن هوا با کمپرسور فشرده و با عبور از سه فیلتر مختلف، رطوبت، ذرات و روغن آن

[Downloaded from johe.umsha.ac.ir on 2026-11-08]

[DOI: 10.52547/johe.7.2.22]

حذف می‌شود. سپس در مخازن اکسیژن‌ساز که حاوی زئولیت هستند، اکسیژن با خلوص بالا تولید، در مخازن ذخیره اکسیژن نگهداری و از طریق لوله‌های مسی به اتاق بیمار منتقل می‌شود.

در این مطالعه پس از جمع‌آوری اطلاعات اولیه که عمدتاً شامل اطلاعات فنی سیستم است، شناسایی سناریوهای احتمالی با استفاده از نظرات خبرگان یا طوفان ذهنی انجام و سناریوهای اصلی فهرست شد. پس از ثبت سناریوهای اصلی، مواردی که دارای اهمیت یا پیامدهای ایمنی و بهداشتی بودند، با استفاده از روش FTA تجزیه‌وتحلیل شدند. با استفاده از نظر کارشناسان و تکنسین‌های فنی در بیمارستان‌ها و همچنین مهندسان شرکت‌های فروش و پشتیبانی این سیستم‌ها، خطاهای محتمل در بروز نشت اکسیژن شناسایی و سپس درخت خطا ترسیم شد.

رویداد نشت اکسیژن در اکسیژن سانترال بیمارستانی به نشت اکسیژن از خطوط لوله و نشت در محل مصرف اکسیژن در اتاق بیمار اشاره دارد. به‌منظور بررسی خطر شکست نشت اکسیژن، عوامل خطر در روند تولید، انتقال و مصرف اکسیژن بررسی شد. درخت خطا بر اساس تحلیل جامعی از خطاهای خطوط لوله اکسیژن، ساخت، بهره‌برداری و نگهداری خطوط لوله اکسیژن ساخته شده است. به‌منظور تعیین احتمال رویدادهای پایه، از روش ارائه‌شده Onisawa در سال ۱۹۸۸ استفاده شد. این روش بر اساس منطق فازی و شامل مراحل زیر است:

- مرحله اول: استخراج نظرات خبرگان با استفاده از عبارات کلامی: در این مرحله با استفاده از عبارات کلامی و اعداد متناظر آن‌ها، احتمال کلامی رخداد هر یک از رویدادهای پایه استخراج شد.
- مرحله دوم: تعیین وزن خبرگان: به‌منظور وزن‌دهی پانل خبرگان معیارهایی از قبیل موقعیت شغلی، سابقه کار مرتبط و سطح تحصیلات مورد استفاده قرار گرفت.
- مرحله سوم: یکپارچه‌سازی نظرات خبرگان: به‌منظور یکپارچه‌سازی نظرات خبرگان از روش مجموع وزنی و رابطه زیر استفاده شد.

$$FEPs = \sum_{i=1}^{n} W_i A_i, i = 1,2,3, \dots, n$$

در این رابطه W_i وزن خبره، i و A_i عدد فازی اختصاص داده‌شده توسط این خبره است.

- مرحله سوم: دفازی‌کردن عدد فازی و تعیین امکان شکست: در این مرحله اعداد فازی به‌دست‌آمده از خبرگان به اعداد کلاسیک ریاضی تبدیل شد. برای انجام این مرحله از روش مرکز ثقل (center of gravity) استفاده شد. رابطه کلی این روش به شکل زیر است:

$$X^* = \frac{\int \mu_i(x) x dx}{\int \mu_i(x) dx}$$

این رابطه را می‌توان برای اعداد فازی مثلثی به شکل زیر خلاصه کرد:

$$X^* = \frac{\int_{a_1}^{a_2} \frac{x-a_1}{a_2-a_1} x dx + \int_{a_2}^{a_3} \frac{a_3-x}{a_3-a_2} x dx}{\int_{a_1}^{a_2} \frac{x-a_1}{a_2-a_1} dx + \int_{a_2}^{a_3} \frac{a_3-x}{a_3-a_2} dx} = \frac{1}{3}(a_1+a_2+a_3)$$

همچنین شکل خلاصه‌شده این رابطه برای اعداد فازی ذوزنقه‌ای به‌صورت زیر است:

$$X^* = \frac{\int_{a_1}^{a_2} \frac{x-a_1}{a_2-a_1} x dx + \int_{a_2}^{a_3} x dx + \int_{a_3}^{a_4} \frac{a_4-x}{a_4-a_3} x dx}{\int_{a_1}^{a_2} \frac{x-a_1}{a_2-a_1} dx + \int_{a_2}^{a_3} dx + \int_{a_3}^{a_4} \frac{a_4-x}{a_4-a_3} dx} = \frac{1}{3} \frac{(a_4+a_3)^2 - a_4 a_3 - (a_1+a_2)^2 + a_1 a_2}{(a_4+a_3-a_1-a_2)}$$

- مرحله چهارم: تعیین احتمال شکست بر اساس امکان شکست: خروجی مرحله سوم امکان شکست بود که باید به احتمال شکست تبدیل شود. برای انجام این مرحله از روابط زیر استفاده شد:

$$k = \left[\left(\frac{1 - HEPs}{HEPs} \right)^{\frac{1}{3}} \right] \times 2.301$$

$$HEPr = \begin{cases} \frac{1}{10^k} & 0 \\ 0, & HEPs = 0 \end{cases}$$

در روابط فوق HEPs نمایانگر امکان شکست و HEPr نمایانگر احتمال شکست است.

با توجه به وزن‌های به‌دست‌آمده از خبرگان و پاسخ‌های دریافت‌شده مبنی بر احتمال وقوع رویدادهای پایه، احتمال هر رویداد پایه تعیین شد (جدول ۱). ازآنجایی‌که FTA روشی سناریومحور است و روی لایه‌های حفاظتی تمرکز ندارد، برای

جدول ۱: معیار وزن‌دهی خبرگان

خبرگان	شغل	سابقه کار (سال)	تحصیلات	وزن
۱	مدیر فروش شرکت تولیدکننده اکسیژن‌ساز	۱۹-۱۰	لیسانس	۲۵۶۴۱۰/۰
۲	مهندس تعمیر و نگهداری بیمارستان	۹-۶	لیسانس	۲۰۵۱۲۸/۰
۳	مهندس واحد فنی بیمارستان	≤۵	لیسانس	۱۷۹۴۸۸/۰
۴	تکنسین تعمیر و نگهداری بیمارستان	۱۹-۱۰	دیپلم	۱۷۹۴۸۷/۰
۵	تکنسین تعمیر و نگهداری بیمارستان	۱۹-۱۰	دیپلم	۱۷۹۴۸۷/۰

[Downloaded from johe.umsha.ac.ir on 2026-11-08]

[DOI: 10.52547/johe.7.2.22]

تکمیل ارزیابی‌ها از روش LOPA برای ارزیابی لایه‌های حفاظتی استفاده شد. LOPA یک روش نیمه‌کمّی برای تحلیل و ارزیابی خطر است. به‌طور معمول در LOPA، تکرارپذیری رویداد آغازگر، پیامد رویداد، شدت آن و احتمال عمل‌نکردن لایه حفاظتی مستقل (IPL: Independent Protection Layer) بررسی می‌شود. ارزیابی ریسک با استفاده از LOPA زمانی انجام می‌شود که ریسک فرایند تشخیص داده شود و با ریسک قابل‌تحمل مقایسه می‌شود. زمانی که ریسک فرایند بیشتر ازمقدار قابل تحمل باشد، عملکرد ایمنی شناسایی و لایه‌های حفاظتی مستقل اختصاص داده می‌شوند. در این مطالعه بدترین سناریو انتخاب شد که تبعات ایمنی و سلامتی در بیمارستان داشت و بر اساس کاربرگ مخصوص روش LOPA ارزیابی ریسک در اکسیژن سانترال بیمارستان انجام شد. سپس لایه‌های حفاظتی مستقل شناسایی و میزان احتمال خطا هنگام تقاضا (PFD: Probability of Failure on Demand) در هر لایه تعیین شد. درنهایت احتمال واقعه نهایی مشخص و با معیار ریسک قابل تحمل سازمان مقایسه شد. در مواردی که عدد ریسک بیشتر از معیار قابل تحمل سازمان بود، لایه حفاظتی بیشتر پیشنهاد شد. در تمامی این مراحل از گروهی استفاده می‌شد که در بیمارستان تشکیل شده بود. پس از شناسایی سناریوهای محتمل و بررسی کارایی لایه‌های حفاظتی، موارد نقص سیستم یا لایه‌هایی که نیازمند اقدامات اصلاحی بودند شناسایی شدند.

یافته‌ها

سانترال اکسیژن بیمارستان که وظیفه تولید اکسیژن مورد نیاز بیمارستان را بر عهده دارد، از بخش‌های مختلفی تشکل شده است. سناریوهای مختلفی ممکن است رخ دهد؛ اما با نظرخواهی از متخصصان این زمینه و مطالعات صورت‌گرفته، مهم‌ترین سناریوها به لحاظ مخاطرات آن‌ها بررسی و شناسایی شد (جدول ۲).

سناریوی حریق

نشت و تجمع اکسیژن در محیط سانترال یا بخش‌های بیمارستان و هم‌زمان وجود شعله باز یا منبع حرارت می‌تواند به حریق منجر شود. در صورت بروز حریق به علت وجود مواد قابل اشتعال مانند البسه و ملحفه بیمار نیز احتمال گسترش حریق وجود دارد. منبع حرارت یا جرقه می‌تواند استفاده از شعله باز در سانترال، تابلوی برق تأسیسات سانترال یا استعمال سیگار باشد.

سناریوی انفجار

تجمع اکسیژن در محیط سانترال یا اتاق بیمار و وجود منبع جرقه همچون الکتریسیته ساکن ناشی از لباس بیمار، تابلوی برق سانترال، استعمال سیگار یا جرقه جوشکاری می‌تواند سبب بروز انفجار شود.

سناریوی نشت اکسیژن

احتمال نشت اکسیژن از اتصالات و لوله‌ها و همچنین در اتاق بیمار به‌عنوان محل مصرف اکسیژن وجود دارد و در صورت افزایش غلظت تا حد قابل اشتعال یا قابل انفجار احتمال بروز این حوادث وجود دارد. سناریوی نشت اکسیژن به‌عنوان بدترین سناریو انتخاب و درخت خطا نیز ترسیم شد. بدین ترتیب عوامل بالقوه را نشان داده که ممکن است باعث نشت اکسیژن شود. نشت اکسیژن در اکسیژن سانترال بیمارستان در دو حالت نشت از خطوط لوله و نشت در محل مصرف ممکن است رخ دهد. نشت در محل مصرف شامل برداشتن ماسک از منطقه تنفسی درحالی‌که شیر اکسیژن باز است، عدم آموزش کافی، بازکردن عمدی شیر اکسیژن اتاق بیمار، اندازه‌نبودن ماسک با صورت بیمار و نشت اکسیژن به محیط است. نشت اکسیژن از خطوط شامل عوامل مختلف خارجی و داخلی است. عوامل خارجی مثل خوردگی، دخالت شخص ثالث و فاجعه طبیعی و عوامل داخلی مثل نقص مواد، نقص درز جوش و خرابی کمکی‌هاست.

خوردگی ممکن است به سوراخ و پارگی خط لوله منجر شود که نحوه و میزان نشت گاز را تعیین می‌کند. دو نوع خوردگی داخلی و خارجی وجود دارد. خوردگی داخلی بیشتر ناشی از محیط خورنده و انجام‌ندادن اقدامات محافظتی در برابر خوردگی است. محیط خورنده شامل محیط آب و کمک است. اقدامات محافظت در برابر خوردگی شامل تزریق مهارکننده‌های خوردگی، ساخت پوشش‌های ضدخوردگی و تمیزکردن لوله‌هاست. خوردگی خارجی عمدتاً به عدم موفقیت CP، عدم موفقیت در پوشش و خوردگی خاک نسبت داده می‌شود.

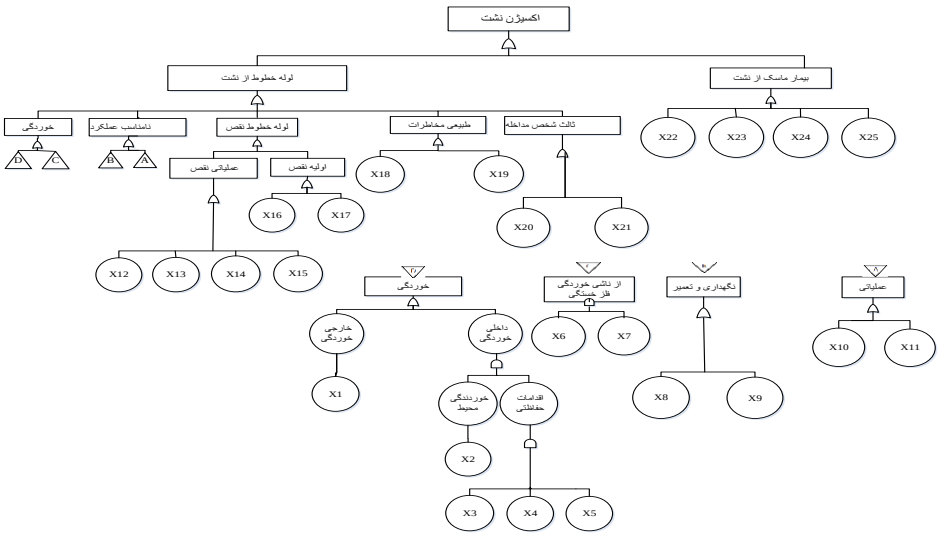
مداخله شخص ثالث عامل خطر مهمی است. ازجمله اینکه طرفین از علامت‌گذاری، علامت ضمنی، خرابکاری و اضافه‌بار صرف‌نظر می‌کنند که ممکن است آسیبی جدی به خطوط لوله وارد کند. بلایای طبیعی ازجمله زلزله، سیل و فرونشست نیز نمی‌تواند برای نشت اکسیژن خطوط لوله نادیده گرفته شود. نقص مواد و درز جوش، نقص ذاتی ناشی از طراحی نادرست یا عامل خطای عملکرد در مراحل طراحی و ساخت

جدول ۲: سناریوهای حوادث در واحد اکسیژن سانترال بیمارستان

سناریو	سناریو خطرناک	احتمال وقوع	شدت حادثه
S1	نشت اکسیژن	احتمال زیاد	فاجعه‌بار
S2	حریق	محتمل	بحرانی
S3	انفجار	محتمل	فاجعه‌بار

[Downloaded from johe.umsha.ac.ir on 2026-11-08]

[DOI: 10.52547/johe.7.2.22]



شکل ۱: درخت خطای نشت اکسیژن در اکسیژن سانترال بیمارستان

جدول ۳: رویدادهای پایه و احتمال وقوع آن‌ها

نمادها	توصیف	احتمال	*نمادها*	توصیف	نمادها
X1	فاکتورهای محیطی	۰/۰۰۲۲۸	X19	جوشکاری ضعیف	۰/۰۳۱۰۴
X2	خوردگی در اثر وجود اسید	۰/۰۰۰۶۹	X20	آسیب‌های مکانیکی	۰/۰۰۸۲۱
X3	نقص در سیستم پوشش‌دهی	۰/۰۰۱۰۷	X21	نقص ساختار	۰/۰۲۹۷۴
X4	نقص در اتصال مناسب لوله‌ها	۰/۰۲۶۶۰	X22	نقص مواد اولیه	۰/۰۰۹۲۲
X5	نقص در سیستم بازدارنده خوردگی	۰/۰۰۲۷۰	X23	نشت زمین	۰/۰۲۵۶۳
X6	محیط خورنده	۰/۰۰۲۲۸	X25	زلزله	۰/۰۲۵۹۳
X7	افزایش فشار درون لوله‌ها	۰/۰۲۵۴۴	X26	نادیده‌گرفتن علائم	۰/۰۳۵۱۵
X8	نقص در تعمیرات تجهیزات	۰/۰۳۱۶۶	X28	خرابکاری عمدی توسط شخص ثالث	۰/۰۱۴۴۸
X9	نقص در تعمیرات دستگاه‌ها	۰/۰۳۱۶۶	X30	برداشتن ماسک از ناحیه تنفسی توسط فرد	۰/۰۶۱۶۲
X10	کیفیت پایین	۰/۰۳۰۷۷	X31	اندازه‌نبودن ماسک	۰/۰۴۱۵۳
X11	ضعف سازمانی	۰/۰۲۶۳۰	X32	آموزش ناکافی	۰/۰۰۳۸۳
X12	شیارهای خطوط لوله	۰/۰۰۲۷۰	X33	بازگذاشتن شیر اکسیژن	۰/۰۰۵۸۹
X13	ضعف در نصب صحیح تجهیزات	۰/۰۳۰۶۴			

است. با وجود نیروهای خارجی، این نقص‌ها ممکن است به نشت خطوط لوله منجر شود. علاوه بر این، نبود کمکی‌های خط لوله از قبیل فلنج و شیر به دلیل نقص طراحی یا پیری نیز ممکن است به بروز نشتی یا شرایط خارج از کنترل منجر شود (شکل ۱). احتمال رویدادهای پایه در جدول ۳ ذکر شده است.

روش *LOPA*

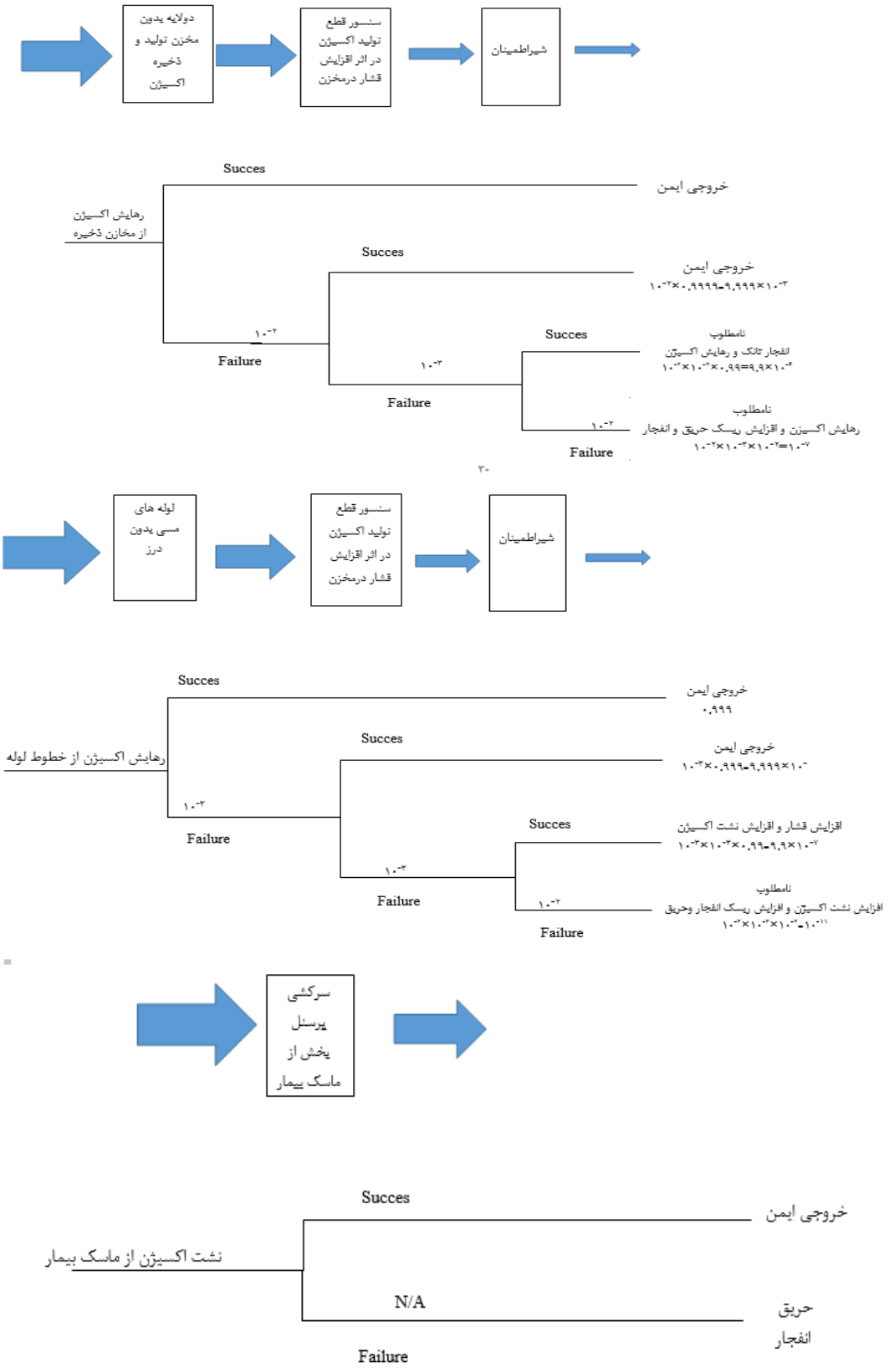
با توجه به اینکه از تانک‌های ذخیره اکسیژن تا اتاق بیمار، اکسیژن با خلوص بالای ۹۰ درصد وجود دارد، بدترین سناریو که تبعات ایمنی و سلامتی در بیمارستان خواهد داشت، سناریوی نشت اکسیژن است. در صورت نشت شناسایی‌نشده و کنترل‌نشده می‌تواند به انفجار و حریق منجر شود. کاربرگ مخصوص روش LOPA برای سناریوی نشت اکسیژن در اکسیژن سانترال بیمارستان در شکل ۲ نشان داده شده است.

لایه‌های حفاظتی موجود در اکسیژن سانترال و خطوط لوله مانند قطع‌کن اتوماتیک، شیر اطمینان، تست‌های دوره‌ای و ضخامت‌سنجی در کنترل حوادث احتمالی کفایت لازم را داشته‌اند، اما در بخش‌های داخلی بیمارستان و در اتاق بیمار لایه حفاظتی خاصی وجود نداشته و نیاز به طراحی لایه‌های حفاظتی مؤثر است.

بحث

اگرچه پیشرفت در طراحی و عملکرد اکسیژن سانترال به‌خودی‌خود مانع از بروز بسیاری از مشکلات می‌شود و این سیستم‌ها با ایمنی زیاد ساخته شده‌اند، لازم است فرایند ارزیابی ریسک و شناسایی خطا به‌منظور پیش‌بینی و کنترل ریسک‌ها صورت گیرد. در اکسیژن سانترال بیمارستان، اکسیژن با خلوص بیش از ۹۵ درصد تولید و به بخش‌های بیمارستان منتقل

[Downloaded from johe.umsha.ac.ir on 2026-11-08]
[DOI: 10.52547/johe.7.2.22]



شکل ۲: درخت رویداد نشت اکسیژن در سانترال اکسیژن بیمارستان

می‌شود؛ بنابراین، فرایند نشت از مخازن تولید و ذخیره اکسیژن در خطوط و محل مصرف به‌عنوان رویدادی خطرناک بررسی شده است.

مطالعات اندکی در رابطه با ارزیابی ریسک اکسیژن سانترال بیمارستان صورت گرفته است؛ بنابراین، اطلاعات اندکی برای مقایسه نتایج وجود دارد و مطالعات موجود عمدتاً به بحث نقص در سانترال اکسیژن و تأمین‌نشدن اکسیژن مورد نیاز بیماران به‌عنوان یک بحران پرداخته‌اند. مطالعه سعیدی و همکاران در

[Downloaded from johe.umsha.ac.ir on 2026-11-08]

[DOI: 10.52547/johe.7.2.22]

سال ۲۰۱۶ تنها مطالعه مشابه بود که به مقایسه دو روش چه می‌شود اگر (What if) و مطالعه خطر و قابلیت عملکرد (HAZOP) در ارزیابی ریسک در واحد اکسیژن سانترال بیمارستان پرداخته است. نتایج روش What if نشان داده است ۱۷۷ ریسک شناسایی شدند که تنها ۵ درصد ریسک‌ها قابل تحمل، ۶۹/۴ درصد نامطلوب و ۲۵/۴ درصد غیر قابل تحمل بوده‌اند. بر اساس روش HAZOP نیز ۴۳ ریسک شناسایی شدند که از این میان ۴/۶ درصد قابل تحمل، ۷۲ درصد نامطلوب و ۲۳/۲ درصد غیر قابل تحمل بوده‌اند. بیشترین ریسک شناسایی‌شده در روش What if مربوط به کمپرسور و در روش HAZOP مربوط به ورود هوا به فیلتر بوده است [۱۹].

در مطالعه حاضر از فرایند ارزیابی از مخازن تولید و ذخیره به بعد که اکسیژن با خلوص بالا تولید و ذخیره می‌شود تا محل مصرف بررسی شده است. نتایج ارزیابی ریسک با استفاده از روش LOPA نشان داد لایه‌های حفاظتی مستقل (IPL: Independent Protection Layer) موجود در مخازن تولید و ذخیره اکسیژن مانند قطع‌کن اتوماتیک، شیر اطمینان، تست‌های دوره‌ای و ضخامت‌سنجی در کنترل حوادث احتمالی کفایت لازم را داشته‌اند و سبب کاهش ریسک تا حد قابل قبول و قابل تحمل سازمان شده‌اند. با توجه به انجام فرایند تعمیر و نگهداری که در این سیستم‌ها بر اساس ساعت کارکرد استاندارد، احتمال بروز نشت اکسیژن بسیار کم بوده است، همچنین بر اساس نتایج مطالعه حاضر احتمال نشتی از خطوط لوله با توجه به کفایت لایه‌های حفاظتی موجود (ازجمله یکپارچه و بدون درز بودن لوله‌ها و وجود محافظ در محل عبور از دیوار یا سقف) در حد قابل قبول سازمان بوده است و با توجه به نتایج درخت خطا، نقص در خطوط لوله اکسیژن بیمارستان نادر اما به‌صورت بالقوه امکان‌پذیر است. بر اساس نظر خبرگان نادیده‌گرفتن علائم و تابلوهای ایمنی می‌تواند سبب آسیب به خطوط لوله شود و این عوامل بیشترین تأثیر را در بروز نشت از خطوط لوله دارد. نشت اکسیژن سبب افت فشار در سیستم اکسیژن‌ساز و همچنین توقف تولید اکسیژن به علت نیاز به تعمیر و نگهداری در محل نشتی می‌شود. عدم تأمین اکسیژن عواقبی جدی همچون آسیب‌های مغزی غیر قابل برگشت و حتی مرگ برای بیماران نیازمند اکسیژن را در پی دارد [۱].

بر اساس مطالعه Mostert وجود نشت شناسایی‌نشده هنگام فرایند جوشکاری سبب تجمع اکسیژن و وقوع انفجار می‌شود [۲]؛ بنابراین، در بخش اکسیژن سانترال و خطوط لوله اکسیژن نیز توصیه می‌شود احتمال نشتی به‌طور مرتب بررسی شود. همچنین پیشنهاد می‌شود به لیبل‌زدن و محافظت از خطوط اکسیژن توجه شود که منبع تأمین را به بخش‌های داخلی بیمارستان وصل می‌کند تا از وقوع آسیب تصادفی و نشت احتمالی جلوگیری شود. آموزش به کارکنان در خصوص خطرات موجود در مجاورت خطوط لوله اکسیژن و الزام به بازرسی و صدور مجوز کار قبل از شروع هرگونه تعمیر و نگهداری در محل‌هایی که خطوط اکسیژن عبور کرده است نیز از پیشنهادات الزامی است.

مطالعه‌ای که در سال ۲۰۱۸ روی سیستم اکسیژن‌رسانی گازی صورت گرفته حاکی از آن است که فشار بررسی‌شده در خطوط لوله اکسیژن تقریباً ۵۰ تا ۶۰ bar بوده است که در صورت وجود ضربه، خطر آتش‌سوزی اکسیژن وجود دارد. همچنین بیان شده است که علاوه بر توجه به بدنه و بخش داخلی لوله‌ها باید به بست‌های داخل لوله‌ها نیز توجه شود؛ چراکه با توجه به اینکه لوله‌ها به مدت طولانی در مدار عملیاتی قرار دارند، انتظار می‌رود بست‌ها تغییر حالت دهند و سبب نشت اکسیژن از دریچه داخلی شوند [۲۰].

در مطالعه حاضر در بررسی رهایش اکسیژن در محل مصرف (اتاق بیمار) نتایج نشان داد بیشترین احتمال نشت مربوط به نشت از ماسک اکسیژن بیمار است و با توجه به نتایج ارزیابی ریسک به روش LOPA در محل مصرف یعنی در اتاق بیمار هیچ‌گونه لایه حفاظتی مستقل به‌جز سرکشی کارکنان درمان وجود نداشته است. بدین ترتیب در اثر برداشتن ماسک یا اندازه‌نبودن ماسک با صورت بیمار، رهایش اکسیژن به محیط اتفاق می‌افتد. نشت اکسیژن شاید به‌تنهایی به حادثه منجر نشود، اما مطالعات نشان داده‌اند رفتار اکسیژن با هوای فشرده، نیتروژن و سایر گازهای بی‌اثر متفاوت و بسیار واکنش‌پذیر است. حتی اندکی افزایش در میزان اکسیژن محیطی (تا ۲۴ درصد) که در اصطلاح غنی‌شدن با اکسیژن گفته می‌شود، بسیار خطرناک است و خطر حریق و انفجار افزایش می‌یابد [۳].

مطالعات انجام‌شده روی تأثیر غلظت اکسیژن اشباع‌شده بر وقوع حریق حین جراحی در اتاق عمل نشان داده است غلظت اکسیژن و دبی جریان با شروع حریق ارتباط مثبت دارد [۲۱]. وجود الکتریسیته ساکن که ناشی از لباس، کف‌پوش یا ... است به انفجار منجر می‌شود [۲۲]. نتایج مطالعه Kalkman و همکاران نشان داد جوّ اشباع‌شده با اکسیژن، عامل مهمی در بیشتر آتش‌سوزی‌های جراحی است. با توجه به اینکه منابع احتراق همچون لیزر یا چاقوی دیاترمیک در اتاق عمل وجود دارد، احتمال بروز حریق بیشتر است. همچنین نتایج نشان داد حریق در اتاق‌های عمل کوچک‌تر می‌تواند به آسیب‌های جدی‌تر و سوختگی بیشتر منجر شود [۷]؛ بنابراین، لازم است لایه‌های حفاظتی مؤثر در اتاق بیمار طراحی و اجرا شود.

بنابر نتایج این مطالعه، علاوه بر آموزش کارکنان برای اطمینان از اندازه‌بودن ماسک با صورت بیمار و آموزش ایمنی به بیمار و همراه بیمار، باید در محیط حسگر تشخیص غلظت اکسیژن وجود داشته باشد و هنگام افزایش غلظت به بیش از ۲۲ درصد، در ایستگاه پرستاری زنگ هشدار به صدا درآید تا نسبت به پیشگیری از تجمع اکسیژن در محیط اقدام مناسب انجام شود. کارکنان پرستاری نیز باید از اهمیت این موضوع آگاه باشند.

[Downloaded from johe.umsha.ac.ir on 2026-11-08]

[DOI: 10.52547/johe.7.2.22]

پیامدهای خاموش‌نبودن کنتورهای جریان هنگام استفاده‌نکردن، پیامدهایی مانند خطر آتش‌سوزی، انفجار، سوختگی‌های شدید، آسیب به تجهیزات، تخلیه بی‌فایده و پرهزینه اکسیژن را در پی خواهد داشت.

نکات مهم ایمنی زیر برای بخش‌های بیمارستان و محل‌های مصرف اکسیژن به‌منظور جلوگیری از نشت اکسیژن در محیط و کاهش خطرات ناشی از آن توصیه می‌شود:

- فلومتر اکسیژن باید به سیستم لوله‌کشی گاز پزشکی متصل شود؛
- فلومتر اکسیژن باید همیشه بسته بماند، مگر در موارد استفاده؛
- هنگامی که فلومتر باز است، نباید ماسک را روی تخت رها کرد.

ازجمله مهم‌ترین محدودیت‌های موجود در اجرای این مطالعه حجم زیاد فعالیت‌ها، مشغله کاری کارکنان، محدودیت زمان و کمبود اطلاعات فنی در خصوص واحد سانترال اکسیژن بود.

نتیجه‌گیری

نتایج این مطالعه نشان داد لایه‌های حفاظتی در اکسیژن سانترال برای پیشگیری از نشت اکسیژن کفایت لازم را دارند، اما در بخش‌های داخلی بیمارستان به طراحی لایه‌های حفاظتی نیاز است که استفاده از حسگر تعیین غلظت اکسیژن در اتاق بیمار و زنگ هشدار مخصوص افزایش غلظت اکسیژن برای کاهش ریسک مخاطرات ناشی از نشت اکسیژن در محیط نیز ضروری است. آموزش دوره‌ای کارکنان در رابطه با استفاده صحیح از اکسیژن و مخاطرات احتمالی ناشی از کار با اکسیژن و انجام رزمایش به‌منظور آمادگی در صورت خرابی خطوط لوله، آتش‌سوزی و انفجار باید در برنامه‌های مدیریت بحران لحاظ شود.

تشکر و قدردانی

نویسندگان این مقاله مراتب تشکر خود را از دانشگاه علوم پزشکی همدان به دلیل حمایت مالی از انجام این طرح ابراز می‌دارند. این مطالعه حاصل طرح تحقیقاتی با شماره ۹۵۰۸۱۸۴۸۵۵ است.

تضاد منافع

پژوهش حاضر هیچ‌گونه تضاد منافعی برای نویسندگان نداشته است.

ملاحظات اخلاقی

اهداف مطالعه برای افراد تشریح شده و اطلاعات نزد محقق محرمانه باقی‌مانده است.

سهم نویسندگان

در مطالعه حاضر آقای دکتر امید کلات پور و خانم مریم فیض عارفی در طراحی پژوهش و نگارش مقاله، خانم حمیده دلجو در جمع‌آوری داده‌ها و آقای دکتر فخرالدین قاسمی در آنالیز داده‌ها و ویراستاری پیش‌نویس مقاله مشارکت داشتند.

حمایت مالی

این مطالعه با حمایت مالی دانشگاه علوم پزشکی همدان انجام شده است.

REFERENCES

1. Deleris LA, Yeo GL, Seiver A, Pate-Cornell ME. Engineering risk analysis of a hospital oxygen supply system. *Med Decis Making*. 2006;**26**(2):162-72. PMID: 16525170 DOI: 10.1177/0272989X06286477
2. Mostert LR, Coetzee A. Central oxygen pipeline failure. *South Afr J Anaesth Analg*. 2014;**20**(5):214-7. DOI: 10.1080/22201181.2014.979636
3. Tabin M, Sharma P. Case report penetrating missile injury by sudden oxygen release from compressed oxygen cylinder: a case report. *J Indian Acad Forensic Med*. 2013;**35**(4):392-7.
4. Coumans T, Maissan I, Wolff A, Stolker R, Damen J, Scheffer G. Fire by spontaneous combustion of oxygen cylinders. *Ned Tijdschr Geneeskd*. 2010;**154**:A2137. PMID: 21083949
5. Kelly F, Hardy R, Hall E, McDonald J, Turner M, Rivers J, et al. Fire on an intensive care unit caused by an oxygen cylinder. *Anaesthesia*. 2013;**68**(1):102-4. PMID: 23130822 DOI: 10.1111/anae.12089
6. Babaeipouya A, Mosavianasl Z, Amani S, Moazez Ardebili N. Human error analysis in neonatal intensive care unit by predictive analysis of cognitive errors. *J Occup Environ Health*. 2017;**3**(1):38-47. [Persian]
7. Kalkman C, Romijn C. Fire and explosion hazard during oxygen use in operating rooms. *Ned Tijdschr Geneeskd*. 2008;**152**(23):1313-6. PMID: 18661856
8. Sarsangi V, Saberi HR, Malakutikhah M, Sadeghnia M, Rahimizadeh A, Aboee Mehrizi E. Analyzing the risk of fire in a hospital complex by "fire risk assessment method for engineering"(FRAME). *Int Arch Health Sci*. 2014;**1**(1):9-13.
9. Jahangiri M, Norouzi MA. Management and risk assessment; Quantitative assessment of risks in the process industry. Theran: Fanavaran Publication; 2012.
10. Habibi E, Zare S, Keshavarzi M, Mousavi M, Yousefi HA. The application of the Layer of Protection Analysis (LOPA) in sour water refinery process. *Int J Environ Health Eng*. 2013;**2**(1):48. DOI: 10.4103/2277-9183.122445
11. Jafari M, Lajevardi S, Mohammad-Fam IR. Semi quantitative risk assessment of a Hydrogen production unit. *Int J Occup Hyg*. 2013;**5**(3):101-8.
12. Alimohamdadi I, Jalilian M, Nadi M. Determination of safety integrity level (SIL) using LOPA method in the Emergency Shutdown system (ESD) of hydrogen unit. *Iran J Health Saf Environ*. 2014;**1**(4):191-5.
13. Khandan M, Koohpaei A, Jabari M, Vosoughi S. Risk assessment of chemical processes using layer of protection analysis (LOPA) method: case study in a petrochemical unit's drum. *Iran Saf Sci Technol J*. 2015;**2**(3):63-77. [Persian]
14. Jafari MJ, Askarian AR, Omidi L, Lavasani MR, Taghavi L, Ashori AR. The assessment of independent layers of protection in gas sweetening towers of two gas refineries. *Saf Promot Inj Prev*. 2014;**2**(2):103-12.
15. Lee S, Chang D. Safety systems design of VOC recovery process based on HAZOP and LOPA. *Proc Saf Progr*. 2014;**33**(4):339-44. DOI: doi.org/10.1002/prs.11662
16. Lajevardi SS, Jafari MJ, Mohammadfam I. Determining safety integrity level on a hydrogen production unit with application of the layers of protection analysis method. *Saf Promot Inj Prev J*. 2014;**2**(1):23-30.
17. Blakeman TC, Branson RD. Oxygen supplies in disaster management. *Respir Care*. 2013;**58**(1):173-83. PMID: 23271827 DOI: 10.4187/respcare.02088
18. Anderson WR, Brock-Utne JG. Oxygen pipeline supply

[Downloaded from johe.umsha.ac.ir on 2026-11-08]

[DOI: 10.52547/johe.7.2.22]

failure: a coping strategy. *J Clin Monit*. 1991;**7**(1):39-41. PMID: 1999697 DOI: 10.1007/BF01617897
19. Saiedi F. Risk assessment of oxygen plant by HAZOP and What if in Besat hospital in Sanandaj. [Master Thesis]. Hamadan: Hamedan University of Medical Sciences; 2016. [Persian]
20. Lina TJ, Hussaina SA. Gaseous oxygen (GOX) system upgrade for mitigation to process safety risk of brownfield unit. *J Occup Saf Health*. 2018;**15**(2):47-56.
21. Davis LB, Saxen MA, Jones JE, McGlothlin JD, Yepes JF, Sanders BJ. The effects of different levels of ambient oxygen in an oxygen-enriched surgical environment and production of surgical fires. *Anesth Prog*. 2018;**65**(1):3-8. PMID: 29509520 PMCID: DOI: 10.2344/anpr-64-04-12
22. Ciliberti BJ, Wood PM. Survey of fires and explosions in hospitals of the United States. *Am J Surg*. 1952;**83**(4):527-30. PMID: 14914965 DOI: 10.1016/0002-9610(52)90232-8

[Downloaded from johe.umsha.ac.ir on 2026-11-08]

[DOI: 10.52547/johe.7.2.22]