Research Article

Journal of Hospital

https://jhosp.tums.ac.ir

Identifying and Analyzing Investment Risks in Hospital Wastewater Infrastructure Using the FMEA Method

Jahangiri. Abbas[1*]

1- Research Expert, Water and Wastewater Company of Markazi Province, Arak, Iran.

Received Date: 2025.5.20
Accepted Date: 2025.7.13

***Corresponding Author Email:** Jahangirieng@yahoo.com

Abstract

Background and purpose: Hospital wastewater infrastructure is critical for safeguarding public health and protecting the environment. Deficiencies in the management of these systems can precipitate severe public health and environmental crises. This study aimed to identify and prioritize investment risks associated with hospital wastewater infrastructure.

Methods: This applied case study was conducted in a general hospital in Arak, Iran, during April 2025. Initial risk identification involved a comprehensive literature review and semi-structured interviews with 14 experts, with data analysis facilitated by MAXQDA 2022 software. Subsequently, a Failure Mode and Effects Analysis (FMEA) approach, utilizing a customized checklist, was employed to score each identified risk based on its severity, probability of occurrence, and detectability. The Risk Priority Number (RPN) for each risk was then calculated using Microsoft Excel. Finally, risks were ranked in descending order according to their RPN values.

Results: A total of 23 key risks were identified and categorized into five principal areas: design, technical, environmental, operational, and managerial. The highest RPNs were attributed to "lack of pre-treatment systems," "insufficient capacity planning," and "wastewater leakage into surrounding soil". Additionally, managerial and operational risks, such as "insufficient budget for maintenance" and "shortage of skilled personnel," were recognized as significant aggravating factors for other risks.

Conclusion: The findings underscore that many critical risks within hospital wastewater infrastructure originate from fundamental weaknesses in initial design and ongoing management. The FMEA method proved to be an effective and systematic tool for identifying and prioritizing these risks, thereby facilitating improved engineering and managerial decision-making and enhancing the overall effectiveness of investments in this vital infrastructure.

Keywords: Hospital Wastewater, Risk Analysis, Failure Mode and Effects Analysis (FMEA)

Copyright©2025 Scientific Association of Hospital Affairs, and Tehran University of Medical Sciences. Published by Tehran University of Medical Sciences. This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International license (https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0). Non-commercial uses of the work are permitted, provided the original work is properly cited.

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2026-04-08]

پژوهشی

فصلنامه بیمارستان

https://jhosp.tums.ac.ir

شناسایی و تحلیل ریسک‌های سرمایه‌گذاری در زیرساخت‌های فاضلاب بیمارستانی با استفاده از روش FMEA

عباس جهانگیری*[1]

۱- کارشناس تحقیقات، شرکت آب و فاضلاب استان مرکزی، اراک، ایران.

تاریخ دریافت:
۱۴۰۴/۲/۳۰
تاریخ پذیرش:
۱۴۰۴/۴/۲۲

* **نویسنده مسئول مقاله:**
Jahangirieng@yahoo.com

چکیده:

زمینه و هدف: زیرساخت‌های فاضلاب بیمارستانی نقش مهمی در حفظ سلامت عمومی و محیط زیست دارند و ضعف در مدیریت این سیستم‌ها می‌تواند منجر به بروز بحران‌های بهداشتی و زیست‌محیطی شود. هدف این پژوهش، شناسایی و اولویت‌بندی ریسک‌های سرمایه‌گذاری در زیرساخت‌های فاضلاب بیمارستانی بود.

مواد و روش‌ها: این مطالعه از نوع کاربردی و به روش مطالعه موردی در یکی از بیمارستان‌های عمومی شهر اراک در فروردین ۱۴۰۴ انجام شد. ابتدا ریسک‌ها با استفاده از مطالعات کتابخانه‌ای و مصاحبه‌های نیمه‌ساختاریافته با ۱۴ نفر از خبرگان به کمک نرم‌افزار MAXQDA 2022 شناسایی شد. سپس با استفاده از چک‌لیست و رویکرد FMEA، شدت، احتمال وقوع و قابلیت کشف هر ریسک امتیازدهی شد و عدد اولویت ریسک (RPN) برای هر مورد با استفاده از نرم‌افزار Excel محاسبه گردید. در نهایت ریسک‌ها بر اساس عدد اولویت ریسک از بیشترین به کمترین مقدار رتبه‌بندی شدند.

نتایج: در مجموع ۲۳ ریسک کلیدی در پنج دسته طراحی، فنی، زیست‌محیطی، بهره‌برداری و مدیریتی شناسایی شد. بیشترین عدد اولویت ریسک مربوط به عدم پیش‌بینی سیستم پیش‌تصفیه، عدم پیش‌بینی ظرفیت کافی و نشت فاضلاب به خاک اطراف بود. ریسک‌های مدیریتی و بهره‌برداری مانند نبود بودجه کافی و کمبود نیروی متخصص نیز به عنوان عوامل تشدیدکننده سایر ریسک‌ها شناسایی شدند.

نتیجه‌گیری: نتایج نشان داد که بسیاری از ریسک‌های بحرانی زیرساخت فاضلاب بیمارستانی ریشه در ضعف طراحی و مدیریت دارند. استفاده از روش FMEA ابزاری مؤثر برای شناسایی و اولویت‌بندی ریسک‌ها فراهم می‌کند و می‌تواند به بهبود تصمیم‌گیری‌های مهندسی و مدیریتی و افزایش اثربخشی سرمایه‌گذاری‌ها کمک نماید.

کلیدواژه: فاضلاب بیمارستانی، تحلیل ریسک، روش FMEA

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2026-04-08]

مقدمه

زیرساخت‌های فاضلاب بیمارستانی به‌عنوان یکی از حیاتی‌ترین مؤلفه‌های سیستم بهداشت عمومی، نقش انکارناپذیری در حفظ سلامت جامعه، حفاظت از محیط‌زیست و جلوگیری از شیوع بیماری‌های عفونی ایفا می‌کنند. برخلاف فاضلاب شهری که عمدتاً شامل ترکیبات ارگانیک و خانگی است، فاضلاب‌های بیمارستانی به‌طور گسترده‌ای حاوی ترکیبات دارویی مقاوم، پاتوژن های خطرناک، فلزات سنگین، مواد پرتوزا، ضدعفونی کننده های قوی، بقایای آزمایشگاهی و زباله‌های پاتولوژیک هستند. این ماهیت پیچیده و بالقوه خطرناک، نه تنها فرآیندهای تصفیه را با چالش های مختلف فنی و زیست‌محیطی مواجه می‌سازد، بلکه ریسک‌های متعددی را در زمینه طراحی، سرمایه‌گذاری، بهره‌برداری و مدیریت این نوع زیرساخت‌ها ایجاد می‌کند(۱-۳). سرمایه‌گذاری در زیرساخت‌های فاضلاب بیمارستانی، برخلاف سایر پروژه‌های عمرانی، مستلزم ارزیابی عمیق ریسک‌ها در ابعاد مختلف فنی، اقتصادی، مدیریتی، زیست‌محیطی و حتی اجتماعی است(۴). مطالعات نشان داده اند که غفلت از تحلیل سیستماتیک ریسک در مراحل اولیه سرمایه‌گذاری، می تواند منجر به پیامدهایی نظیر اتلاف منابع مالی، شکست فنی پروژه، عدم انطباق با استانداردهای زیست‌محیطی، نارضایتی ذی‌نفعان و بروز بحران‌های بهداشتی شود(۵). این موضوع به ویژه در کشورهای در حال توسعه و مناطقی که با محدودیت منابع مالی، ناپایداری مدیریتی و خلأهای نظارتی مواجه هستند، به‌مراتب بحرانی‌تر است(۶).

از سوی دیگر، با افزایش فشارهای نهادهای بین المللی و داخلی برای رعایت استانداردهای ایمنی زیست‌محیطی، بیمارستان ها ملزم به ارتقاء عملکرد سیستم های فاضلاب خود شده‌اند. در چنین شرایطی، ارزیابی جامع ریسک های مرتبط با سرمایه‌گذاری در این حوزه نه‌تنها به‌منظور کاهش خسارات احتمالی، بلکه برای بهینه‌سازی تخصیص منابع، افزایش اثربخشی تصمیمات اجرایی و ارتقاء تاب آوری زیرساخت ها نیز ضرورت دارد(۷). در این راستا، استفاده از رویکردهای تحلیل ریسک ساختاریافته و کمی، به یکی از اولویت های اصلی در برنامه ریزی راهبردی پروژه های زیربنایی بدل شده است(۸). روش تحلیل حالات خرابی و آثار آن (FMEA[1])، یکی از متداول‌ترین، اثربخش‌ترین و انعطاف‌پذیرترین ابزارهای تحلیل ریسک در مدیریت دارایی‌های فیزیکی و زیربنایی به شمار می رود. این روش که در ابتدا در صنایع هوافضا و نظامی توسعه یافت، به مرور در حوزه های بهداشت، مهندسی زیست‌محیطی، تولید، انرژی و مدیریت پروژه‌های زیربنایی نیز کاربرد گسترده‌ای یافته است(۹).

روش FMEA بر پایه شناسایی سیستماتیک حالات بالقوه خرابی در یک سیستم، تحلیل علل و آثار آن ها و محاسبه عدد اولویت ریسک(RPN[2]) بر اساس سه شاخص شدت[3] (S)، احتمال وقوع[4] (O) و قابلیت کشف[5] (D) عمل می کند. یکی از مزایای کلیدی این روش، ارائه یک چارچوب تصمیم گیری کمّی برای اولویت‌بندی ریسک‌ها و پیشنهاد اقدامات اصلاحی در جهت حذف، کاهش یا کنترل آن‌ها است(۹).

مروری بر مطالعات موجود نشان می دهد که علی رغم گستردگی کاربرد روش FMEA در حوزه‌های صنعتی، استفاده از آن در تحلیل ریسک زیرساخت‌های فاضلاب بیمارستانی، به‌ویژه از منظر سرمایه‌گذاری، بسیار محدود بوده است. اغلب مطالعات متمرکز بر جنبه‌های عملیاتی و بهره‌برداری سیستم های فاضلاب بیمارستانی بوده‌اند، در حالی

[1] Failure Modes and Effects Analysis
[2] Risk Priority Number
[3] Severity
[4] Occurrence
[5] Detection

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2026-04-08]

که ارزیابی ریسک‌های مرحله پیش‌ساخت، شامل انتخاب فناوری، بودجه‌بندی، طراحی مهندسی، تطابق با مقررات و تحلیل هزینه-فایده، مغفول مانده است. این خلأ پژوهشی، به‌ویژه در زمینه پروژه‌های بیمارستانی با بودجه عمومی یا سرمایه‌گذاری مشترک، می‌تواند منجر به تصمیمات ناکارآمد و پرهزینه شود (۱۰-۱۳).

نتایج حاصل از این تحقیق، چشم‌اندازی کاربردی برای تصمیم‌سازان حوزه سلامت، مدیران فنی بیمارستان‌ها، نهادهای ناظر و سرمایه‌گذاران فراهم می‌سازد تا با تکیه بر داده‌ها و تحلیل‌های مبتنی بر ریسک، برنامه‌ریزی‌های دقیق‌تری در حوزه توسعه زیرساخت های فاضلاب انجام دهند. همچنین این پژوهش می‌تواند به‌عنوان الگویی برای طراحی دستورالعمل‌های بومی‌شده در کشورهایی با شرایط مشابه ایران مورد استفاده قرار گیرد؛ به‌ویژه در زمینه ارتقاء ایمنی زیست‌محیطی، کاهش عدم‌قطعیت‌های سرمایه‌گذاری و تضمین پایداری بلندمدت سامانه های فاضلاب بیمارستانی. انتظار می‌رود نتایج این مطالعه، بنیانی برای تدوین سیاست‌های مؤثرتر و تخصیص منابع کارآمدتر در پروژه های زیرساختی حوزه سلامت باشد. پژوهش حاضر با هدف توسعه یک رویکرد تحلیلی نظام‌مند مبتنی بر تکنیک FMEA به بررسی ریسک‌های موجود در مسیر سرمایه‌گذاری در زیرساخت‌های فاضلاب بیمارستانی می‌پردازد. با توجه به پیچیدگی‌های ذاتی این نوع زیرساخت‌ها، اتخاذ یک چارچوب ساخت‌یافته برای شناسایی و اولویت‌بندی عوامل پر ریسک، می‌تواند به تصمیم‌گیران در ارزیابی جامع‌تر تهدیدها و فرصت‌های سرمایه‌گذاری یاری رساند. در این مطالعه، شاخص‌های اصلی FMEA شامل شدت، احتمال وقوع و قابلیت کشف، مبنای تحلیل قرار گرفته‌اند تا ریسک‌های بالقوه در بستر واقعی بیمارستان‌ها به‌طور دقیق و قابل اتکا ارزیابی شوند. این چارچوب نه‌تنها به شناسایی شکاف‌های عملکردی و مدیریتی کمک می‌کند، بلکه می‌تواند در طراحی اقدامات اصلاحی و پیشگیرانه نیز نقش مؤثری ایفا نماید.

مواد و روش‌ها

تحقیق حاضر از نظر هدف، کاربردی است و از یک رویکرد ترکیبی (کیفی و کمّی) بهره می‌برد که در فروردین ماه سال ۱۴۰۴ در یکی از بیمارستان‌های عمومی شهر اراک انجام شده است. در مرحله نخست، شناسایی ریسک‌ها با استفاده از روش‌های کیفی و مبتنی بر مطالعات کتابخانه‌ای و مصاحبه‌های نیمه‌ساختاریافته انجام گرفت و در مرحله دوم، از روش کمّی FMEA برای ارزیابی و اولویت‌بندی ریسک‌ها استفاده شد. این ترکیب روش‌ها امکان تحلیل جامع‌تری از ابعاد مختلف ریسک‌ها را فراهم ساخت. مطالعات کتابخانه‌ای از طریق پایگاه‌های علمی معتبر از جمله ScienceDirect، PubMed و SID انجام شد. همچنین، برای بررسی منابع داخلی، از دستورالعمل‌های وزارت بهداشت، شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور و مستندات فنی و عملیاتی بیمارستان‌ها استفاده گردید. داده‌ها در این مرحله با استفاده از یک فرم استخراج اطلاعات طراحی‌شده توسط محقق، گردآوری شدند که شامل چک‌لیستی از مستندات مرتبط با طراحی، نگهداری و بهره‌برداری از سیستم‌های فاضلاب بیمارستانی بود.

در مرحله دوم، مصاحبه‌های نیمه‌ساختاریافته با استفاده از یک راهنمای مصاحبه طراحی‌شده توسط پژوهشگر و با استناد به منابع معتبر در حوزه تحلیل ریسک بیمارستانی تدوین شد. راهنمای مصاحبه پس از مشورت با دو متخصص حوزه مدیریت ریسک و محیط زیست نهایی گردید. نمونه‌ای از پرسش‌های مصاحبه عبارت بودند از: «به نظر شما چه عواملی در طراحی نادرست سیستم فاضلاب بیمارستانی دخیل

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2026-04-08]

هستند؟»، «چه مشکلاتی در نگهداری تجهیزات فاضلاب بیشتر مشاهده شده است؟» و «چه عواملی باعث نشت یا آلودگی در سیستم‌های موجود شده‌اند؟». مصاحبه‌ها به صورت حضوری یا تلفنی، هر کدام به مدت تقریبی ۳۰ تا ۴۵ دقیقه انجام شد.

با استفاده از روش نمونه‌گیری هدفمند، ۱۴ نفر از خبرگان شامل مدیران فنی بیمارستان، کارشناسان تأسیسات، اساتید و متخصصان محیط زیست و کارشناسان شرکت آب و فاضلاب استان مرکزی برای مشارکت در مصاحبه انتخاب شدند. دامنه تخصصی این افراد شامل مهندسی محیط زیست، بهداشت محیط، تصفیه فاضلاب و مدیریت بیمارستانی بود.

برای اعتباربخشی به داده‌های فاز کیفی، چهار مؤلفه اعتبار، قابلیت اعتماد، قابلیت انتقال و تأییدپذیری مورد توجه قرار گرفت. برای اعتبار، راهبرد بازبینی مشارکت‌کنندگان استفاده شد .برای تأییدپذیری و قابلیت اعتماد، از فرآیند مشابهی استفاده گردید؛ کلیه مراحل گردآوری و تحلیل داده مستندسازی شده و توسط دو همکار پژوهشی بازبینی گردید. همچنین، با انتخاب مشارکت‌کنندگانی از موقعیت‌های شغلی و سازمانی متنوع، قابلیت انتقال یافته‌ها تقویت شد. داده‌های کیفی حاصل از مراحل فوق، با روش تحلیل محتوای کیفی و با استفاده از نرم‌افزار MAXQDA 2022 تحلیل شد. به این صورت، ریسک‌های سرمایه‌گذاری در زیرساخت‌های فاضلاب بیمارستانی مشخص شد.

در مرحله بعد، جهت تحلیل و اولویت‌بندی ریسک‌ها، از چک‌لیست FMEA محقق ساخته استفاده گردید. این چک‌لیست بر اساس مرور منابع علمی و تحلیل محتوای مصاحبه‌ها طراحی و در دو مرحله توسط سه نفر از متخصصان حوزه فاضلاب و محیط زیست مورد بررسی روایی محتوا قرار گرفت. برای سنجش پایایی، از روش توافق بین کدگذاران در دو نوبت استفاده شد که ضریب توافق بیش از ۸۵ درصد به دست آمد. فرایند امتیازدهی به چک‌لیست FMEA توسط گروهی از همان ۱۴ نفر خبره انجام شد. در این مرحله، هر ریسک شناسایی‌شده بر اساس سه شاخص شدت پیامد(S) ، احتمال وقوع (O) و قابلیت کشف (D) توسط این خبرگان از ۱ تا ۱۰ امتیازدهی گردید. معیارهای امتیازدهی بر اساس دستورالعمل استاندارد FMEA و با توضیح دقیق به مشارکت‌کنندگان ارائه شد. نهایتاً، داده‌های مربوط به امتیازدهی در نرم‌افزار Excel وارد و عدد اولویت ریسک (RPN) از حاصل‌ضرب سه شاخص ($RPN = S \times O \times D$) برای هر ریسک محاسبه شد.

یافته‌ها

خبرگان این تحقیق که در مجموع ۱۴ نفر شامل مدیران فنی بیمارستان، کارشناسان تأسیسات، اساتید و متخصصان محیط زیست و کارشناسان حوزه آب و فاضلاب بودند، ۲۱ درصد دارای مدرک دکتری، ۳۶ درصد دارای مدرک کارشناسی ارشد و ۴۳ درصد دارای مدرک کارشناسی در رشته‌های مرتبط با مهندسی محیط‌زیست، بهداشت محیط و تصفیه فاضلاب بودند. ۷۱ درصد از خبرگان دارای بیش از ۱۰ سال سابقه کار در حوزه تصفیه فاضلاب و مدیریت آلاینده‌های زیست‌محیطی بودند. ۳۶ درصد از شرکت‌کنندگان از مدیران و کارشناسان تصفیه‌خانه‌های فاضلاب بیمارستانی، ۱۴ درصد از اساتید دانشگاه و ۵۰ درصد از متخصصان شرکت آب و فاضلاب استان مرکزی بودند.

مطالعه کتابخانه‌ای انجام شده نشان داد که در اسناد داخلی نظیر دستورالعمل‌های وزارت بهداشت و گزارش‌های شرکت آب و فاضلاب، بر ضرورت پیش‌بینی ظرفیت کافی و طراحی مناسب سیستم‌های پیش‌تصفیه در بیمارستان‌ها تأکید شده بود، اما در بسیاری از موارد، نحوه پیاده‌سازی این الزامات در عمل

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2026-04-08]

با ضعف مواجه بوده است. همچنین در مقالات علمی مورد بررسی، نشت فاضلاب، نبود برنامه‌های اضطراری و کمبود نیروهای متخصص به عنوان چالش‌های کلیدی زیرساخت فاضلاب در مراکز درمانی معرفی شده بودند.

بر اساس نتایج حاصل از مطالعات کتابخانه‌ای و مصاحبه‌های نیمه‌ساختاریافته با خبرگان، ۲۳ ریسک کلیدی در پنج دسته‌بندی اصلی شناسایی شد که عبارت بودند از: ریسک‌های طراحی (۵ ریسک)، ریسک‌های فنی (۵ ریسک)، ریسک‌های بهره‌برداری و نگهداری (۴ ریسک)، ریسک‌های زیست‌محیطی (۳ ریسک) و ریسک‌های مدیریتی (۶ ریسک). تمامی این ریسک‌ها توسط خبرگان مذکور مورد ارزیابی قرار گرفتند و برای هر ریسک، مقادیر شدت، احتمال وقوع و قابلیت کشف مشخص شد و سپس با استفاده از روش FMEA، عدد اولویت ریسک محاسبه گردید.

به منظور تقویت یافته‌های کیفی، نقل‌قول‌هایی از برخی مشارکت‌کنندگان که اهمیت بالایی در تحلیل داشتند در ادامه آورده می‌شود: یکی از مدیران فنی بیمارستان اظهار داشت: "طراحی اولیه سیستم فاضلاب بیمارستان بر اساس ظرفیت اون وقتش انجام شده، در حالی که توسعه‌ی فیزیکیش تو سال‌های اخیر در نظر گرفته نشده (کد مصاحبه:F01)" یکی از کارشناسان شرکت آب و فاضلاب بیان کرد: "بعضی جاها دیدیم که فاضلاب خطرناک داره میاد تو خطوط مشترک، دلیلش اینه که از اول فکر تفکیکش رو نکرده بودن (کد مصاحبه:E03)" یک کارشناس تصفیه فاضلاب گفت:" بعضی از تجهیزات کلیدی مثل پمپ ها هی خراب میشن و به خاطر بودجه ی کم، نمیتونیم تعمیر اساسیشون کنیم (کد مصاحبه: W07)". این نقل‌قول‌ها نشان می‌دهد که یافته‌های حاصل از تحلیل کیفی با نتایج کمّی روش FMEA هم‌راستا هستند و وجود شکاف‌های مهم در طراحی، بهره‌برداری و مدیریت سیستم فاضلاب بیمارستانی را برجسته می‌کنند.

در جدول ۱ جزئیات مربوط به ۲۳ ریسک از جمله ریسک‌ها، مقادیر شدت (S)، احتمال وقوع (O)، قابلیت کشف (D) و عدد اولویت ریسک (RPN) به‌طور کامل به ترتیب از بیشترین تا کمترین عدد اولویت نشان داده شده است. در جدول ۲ نیز مجموع RPN هر دسته از ریسک‌ها به ترتیب از بیشترین به کمترین مقدار نشان داده شده است.

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2026-04-08]

جدول۱- ریسک‌ها، مقادیر شدت(S)، احتمال وقوع(O)، قابلیت کشف(D) و عدد اولویت ریسک(RPN)

ردیف	ریسک	دسته‌بندی	شدت (S)	احتمال وقوع (O)	قابلیت کشف (D)	RPN
۱	عدم پیش‌بینی سیستم پیش‌تصفیه	طراحی	۹	۷	۶	۳۷۸
۲	عدم پیش‌بینی ظرفیت کافی سیستم	طراحی	۹	۷	۶	۳۷۸
۳	نشت فاضلاب به خاک اطراف	زیست‌محیطی	۸	۸	۵	۳۲۰
۴	خرابی مکرر پمپ‌ها	فنی	۷	۷	۶	۲۹۴
۵	نبود بودجه کافی برای نگهداری	مدیریتی	۷	۷	۶	۲۹۴
۶	عدم کارکرد صحیح تجهیزات تصفیه	فنی	۸	۶	۶	۲۸۸
۷	طراحی نامناسب مسیرهای انتقال فاضلاب	طراحی	۸	۶	۶	۲۸۸
۸	آلودگی منابع آبی زیرزمینی	زیست‌محیطی	۹	۶	۵	۲۷۰
۹	نبود پیش‌بینی برای تفکیک فاضلاب خطرناک	طراحی	۹	۶	۵	۲۷۰
۱۰	نبود نیروی انسانی متخصص	بهره‌برداری	۷	۶	۶	۲۵۲
۱۱	نگهداری نامنظم از تجهیزات	بهره‌برداری	۶	۸	۵	۲۴۰
۱۲	فرسودگی تجهیزات قدیمی	بهره‌برداری	۶	۷	۵	۲۱۰
۱۳	نبود سیستم هشدار نشت یا خرابی	مدیریتی	۷	۶	۵	۲۱۰
۱۴	عدم دسترسی به قطعات یدکی	فنی	۶	۵	۷	۲۱۰
۱۵	نداشتن فضای کافی برای توسعه آتی	طراحی	۷	۵	۶	۲۱۰
۱۶	ضعف در مدیریت بحران	مدیریتی	۷	۶	۵	۲۱۰
۱۷	نشتی در اتصالات	فنی	۶	۷	۵	۲۱۰
۱۸	عدم هماهنگی بین بخش‌های درگیر	مدیریتی	۶	۵	۶	۱۸۰
۱۹	کیفیت پایین لوله‌کشی	فنی	۶	۶	۵	۱۸۰
۲۰	نبود دستورالعمل‌های بهره‌برداری	بهره‌برداری	۶	۶	۵	۱۸۰
۲۱	فقدان نظارت بر پیمانکاران	مدیریتی	۶	۶	۵	۱۸۰
۲۲	نبود برنامه اضطراری تخلیه فاضلاب	مدیریتی	۷	۵	۵	۱۷۵
۲۳	انتشار بوی نامطبوع	زیست‌محیطی	۵	۶	۴	۱۲۰

جدول ۲- مجموع RPN هر دسته از ریسک‌ها

دسته ریسک	مجموع RPN
طراحی	۱۵۲۴
مدیریتی	۱۲۴۹
فنی	۱۱۸۲
بهره‌برداری	۸۸۲
زیست‌محیطی	۷۱۰

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2026-04-08]

بحث

نتایج این پژوهش نشان داد که در زیرساخت فاضلاب بیمارستانی مورد بررسی، مجموعه‌ای از ریسک‌های متنوع در پنج حوزه طراحی، فنی، زیست‌محیطی، بهره‌برداری و مدیریتی وجود دارد که هر یک می‌تواند تأثیر قابل‌توجهی بر ایمنی، پایداری عملکرد و هزینه‌های سرمایه‌گذاری در سیستم فاضلاب داشته باشد. در مجموع، ۲۳ ریسک کلیدی شناسایی و تحلیل شدند. مهم‌ترین آن‌ها از نظر عدد اولویت ریسک (RPN)، شامل: عدم پیش‌بینی سیستم پیش‌تصفیه، عدم پیش‌بینی ظرفیت کافی و نشت فاضلاب به خاک اطراف بودند که همگی دارای RPN بالا (بیش از ۳۲۰) بوده و در گروه ریسک‌های بحرانی قرار گرفتند. ریسک‌هایی چون خرابی پمپ‌ها، نبود بودجه کافی برای نگهداری نیز در رتبه‌های بعدی اهمیت قرار گرفتند.

بر اساس تحلیل ترکیبی کیفی و کمّی انجام‌شده در این مطالعه که شامل تحلیل محتوای مصاحبه‌های نیمه‌ساختاریافته و امتیازدهی به ریسک‌ها از طریق روش FMEA بود، می‌توان دریافت که ریسک‌های مربوط به طراحی زیرساخت از بیشترین اهمیت برخوردارند. این مسئله نشان می‌دهد که بسیاری از مشکلات فنی و زیست‌محیطی در مراحل بهره‌برداری، ریشه در تصمیم‌گیری‌های اولیه و طراحی ناکافی دارند. به‌عبارت‌دیگر، غفلت از آینده‌نگری و تحلیل دقیق در مرحله طراحی می‌تواند هزینه‌ها و چالش‌های قابل توجهی را در فاز اجرا و بهره‌برداری به‌دنبال داشته باشد.

ریسک‌های مدیریتی نیز گرچه در برخی موارد دارای RPNکمتری نسبت به ریسک‌های فنی یا طراحی بودند، اما بعد از ریسک‌های طراحی، مجموع اعداد اولویت ریسک بالایی را به خود اختصاص داده‌اند و می‌توانند به‌عنوان عوامل تسهیل‌کننده یا تشدیدکننده سایر ریسک‌ها عمل کنند. برای مثال، فقدان بودجه کافی یا ضعف در هماهنگی بین واحدها می‌تواند منجر به عدم تعمیرات به‌موقع، غفلت از نگهداری یا حتی نادیده گرفتن ریسک‌های زیست‌محیطی شود. از سویی دیگر، گرچه مجموع اعداد اولویت ریسک مربوط به ریسک‌های زیست‌محیطی کمتر از بقیه بوده است، ولی در مواردی مانند نشت فاضلاب و آلودگی منابع آب زیرزمینی مقدار بالایی داشته‌اند که این موضوع اهمیت رعایت استانداردهای ایمنی و بهداشتی را به‌ویژه در محیط‌های بیمارستانی برجسته می‌کند.

در مطالعه‌ی بهزادی و کیانی (۱۴۰۱) با استفاده از روش‌های FMEA و EFMEA[1] ، ۱۱ جنبه ایمنی و بهداشتی و ۷ جنبه زیست‌محیطی شناسایی شد. از این میان، ۶ جنبه در سطح بالا و ۵ جنبه در سطح پایین قرار داشتند. مطالعه‌ی آنان نشان داد که بسیاری از ریسک‌های شناسایی‌شده مربوط به طراحی و بهره‌برداری نامناسب سیستم‌های تصفیه است(۱۴). همچنین، در مطالعه‌ی صالحی و همکاران (۱۴۰۲)، با استفاده از روش‌های FMEA و AHP[2] ، بالاترین اعداد اولویت ریسک مربوط به سقوط اسکرابر روی افراد، سقوط در کانال دانه‌گیر و سقوط گیربکس شناسایی شد. پیشنهاد مطالعه‌ی آنان بر تقویت دستورالعمل‌های ایمنی و آموزش پرسنل تأکید دارد(۱۵). در سطح بین‌المللی، نتایج مطالعه‌ی امین و همکاران (۲۰۲۴) نشان داد که در بسیاری از کشورهای کم‌درآمد، ۸۰ درصد تصفیه‌خانه‌های بیمارستانی قادر به رعایت استانداردهای تخلیه فاضلاب نیستند. مطالعه آنان بر ضرورت سرمایه‌گذاری در بهبود زیرساخت‌ها و پایش دقیق خروجی تأکید داشت(۱۶). مطالعه‌ای خان و همکاران (۲۰۲۴) با رویکرد

[1] Environmental Failure Mode and Effects Analysis (EFMEA)
[2] Analytical Hierarchy Process (AHP)

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2026-04-08]

ارزیابی چرخه عمر(LCA[1]) ، نشان داد که کمبود داده‌های زیست‌محیطی و ضعف طراحی اولیه در تصفیه‌خانه بیمارستانی پاکستان منجر به پیامدهای زیان‌بار برای منابع آب سطحی و زیرزمینی شده است. این یافته‌ها مشابه مشکلات شناسایی‌شده در تحقیق حاضر است(۱۷).

در مجموع، یافته‌های این تحقیق با مطالعات داخلی و بین‌المللی هم‌جهت است و نشان می‌دهد که ریشه بسیاری از ریسک های بحرانی زیرساخت فاضلاب بیمارستانی در ضعف طراحی اولیه، کمبود منابع مالی و انسانی و نبود نظام مدیریت ریسک ساختاریافته نهفته است و رفع این چالش‌ها نیازمند برنامه‌ریزی جامع، آموزش تخصصی و اصلاح دستورالعمل‌های اجرایی است.

روش FMEA در این مطالعه توانست به شکل ساختاریافته ریسک‌های اصلی را شناسایی کرده و به اولویت‌بندی آن‌ها بپردازد، به‌گونه‌ای که تصمیم‌گیری مدیریتی برای تخصیص منابع و برنامه‌ریزی اصلاحی تسهیل شود .همچنین، نتایج نشان می‌دهد که بسیاری از مشکلات را می‌توان با اقدامات ساده در مرحله طراحی، پیشگیری یا به حداقل رساند.

انجام این تحقیق همانند سایر تحقیقات با محدودیت‌هایی مواجه بود. از جمله محدودیت‌های این تحقیق می‌توان به ماهیت موردی پژوهش اشاره کرد که صرفاً در یکی از بیمارستان‌های عمومی شهر اراک انجام شده و به دلیل ملاحظات محرمانگی، امکان ذکر نام بیمارستان و تعمیم کامل نتایج به سایر مراکز وجود ندارد. همچنین، محدود بودن جامعه خبرگان مشارکت‌کننده و استفاده از روش نمونه‌گیری هدفمند ممکن است منجر به کاهش تنوع دیدگاه ها شده باشد. علاوه بر این، داده‌های جمع‌آوری‌شده عمدتاً مبتنی بر مصاحبه‌های نیمه ساختاریافته و تحلیل کتابخانه ای بوده و امکان سنجش میدانی یا آزمایشگاهی برخی ریسک‌ها فراهم نبوده است. از سوی دیگر، تمرکز این پژوهش بر تحلیل ریسک‌های سرمایه گذاری در زیرساخت فاضلاب بیمارستانی با رویکرد FMEA بوده و سایر روش های تحلیل ریسک مورد بررسی قرار نگرفته است.

نتیجه‌گیری

نتایج این تحقیق نشان داد که زیرساخت‌های فاضلاب بیمارستانی با مجموعه‌ای از ریسک‌های متنوع در حوزه‌های طراحی، فنی، زیست‌محیطی، بهره‌برداری و مدیریتی مواجه هستند که هر یک می‌تواند پیامدهای جدی برای سلامت عمومی، محیط زیست و بهره‌وری اقتصادی بیمارستان‌ها به‌دنبال داشته باشد. در این میان ریسک‌های طراحی و بعد از آن، ریسک‌های مدیریتی به علت کسب بیشترین عدد اولویت ریسک از اهمیت ویژه‌ای برخوردارند و نقش کلیدی در تشدید سایر ریسک‌ها دارند. همچنین روش FMEA ابزار مناسبی برای شناسایی، ارزیابی و اولویت‌بندی این ریسک‌ها فراهم آورد و کمک کرد تا مهم‌ترین نقاط ضعف در این سیستم‌ها به‌صورت نظام‌مند استخراج شوند.

در حوزه سیاست‌گذاری، پیشنهاد می‌شود که ارزیابی ریسک با رویکرد FMEA به عنوان یک الزام در طراحی، اجرای پروژه و بهره‌برداری از زیرساخت‌های فاضلاب بیمارستانی در نظر گرفته شود و در دستورالعمل‌های رسمی وزارت بهداشت و سازمان حفاظت محیط زیست درج گردد. در سطح مدیریتی، تقویت آموزش نیروهای بهره‌بردار، اختصاص بودجه کافی برای نگهداری پیشگیرانه و ایجاد سامانه‌های هشداردهنده هوشمند برای نشت یا نقص در سیستم‌ها، از راهکارهای کلیدی برای کاهش ریسک‌های

[1] Life-Cycle Assessment (LAC)

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2026-04-08]

بحرانی به‌شمار می‌روند. همچنین، تدوین چک‌لیست‌های استاندارد طراحی و بهره‌برداری توسط سازمان نظام مهندسی، تهیه بانک اطلاعاتی ریسک‌ها و تبادل تجربه میان بیمارستان‌ها، می‌تواند در ارتقای تاب‌آوری سیستم‌های فاضلاب درمانی کشور مؤثر باشد. در نهایت، با توجه به نقش حیاتی این زیرساخت‌ها در حفظ سلامت عمومی، توصیه می‌شود که بررسی‌های دوره‌ای ریسک، به‌عنوان بخشی از نظام مدیریت بهره‌برداری بیمارستان‌ها به‌صورت ساختاریافته تعریف شود.

تشکر و قدردانی

بدین وسیله از تمامی کارشناسان، مدیران فنی بیمارستان، متخصصان محیط زیست و کارشناسان شرکت آب و فاضلاب استان مرکزی که با صبر و همکاری خود در انجام مصاحبه‌ها و ارائه اطلاعات ارزشمند، این پژوهش را یاری کردند، صمیمانه قدردانی می‌شود. همچنین از حمایت‌های علمی و فنی اساتید دانشگاه که راهنمایی‌های مؤثری ارائه دادند، نهایت سپاس را دارم. این تحقیق بدون همکاری و مشارکت این عزیزان امکان‌پذیر نبود.

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2026-04-08]

References

1. Ramírez-Coronel AA, Mohammadi MJ, Majdi HS, Zabibah RS, Taherian M, Prasetio DB, et al. Hospital wastewater treatment methods and its impact on human health and environments. Reviews on environmental health. 2024 Sep 25;39(3):423-34.
2. Khan MT, Shah IA, Ihsanullah I, Naushad M, Ali S, Shah SHA, et al. Hospital wastewater as a source of environmental contamination: An overview of management practices, environmental risks, and treatment processes. Journal of Water Process Engineering. 2021;41:101990.
3. Kokkinos P, Venieri D, Mantzavinos D. Wastewater treatment risks and challenges for public health and the environment during the Covid-19 pandemic: a review. Journal of Chemical Technology & Biotechnology. 2024;99(10):2119-28.
4. Amin N, Foster T, Shimki NT, Hasan MR, Sarkar S, Adnan SD, et al. Inadequate wastewater management in Dhaka's major hospitals: A socio-technical systems analysis of leadership, policy, and technological challenges. PLOS Water. 2025;4(1):e0000270.
5. Zhang X, Qiao W, Zhang M, Chen H, Wen Y. Improvement and evaluation of hydrodynamic conditions in plain regional drainage systems by artificial lakes: a case study of Xinxiang Economic Development Zone, China. Environmental science and pollution research international. 2023 Jul;30(31):77642-56.
6. Chaitkin M, McCormick S, Alvarez-Sala Torreano J, Amongin I, Gaya S, Hanssen ON, et al. Estimating the cost of achieving basic water, sanitation, hygiene, and waste management services in public health-care facilities in the 46 UN designated least-developed countries: a modelling study. The Lancet Global health. 2022;10(6):e840-e9.
7. Parida VK, Sikarwar D, Majumder A, Gupta AK. An assessment of hospital wastewater and biomedical waste generation, existing legislations, risk assessment, treatment processes, and scenario during COVID-19. Journal of environmental management. 2022;308:114609.
8. Garrido Martins C, Bogus SM, Valentin V. Quantitative Risk Assessment Model and Optimization in Infrastructure Fast-Track Construction Projects. Infrastructures. 2023;8(4):78.
9. Koh WYC, Tan HQ, Lew KS, Kor WTA, Samsuri NAB, Chan JWS, et al. Real-time gated proton therapy: Introducing clinical workflow and failure modes and effects analysis (FMEA). Technical Innovations & Patient Support in Radiation Oncology. 2025;34:100311.
10. Mokhtari Azar A, Rajvandi S. Risk management of Shahid Hasheminejad Hospital wastewater treatment plant with integrated application of FMEA & William Fine model. 8thInternational Congress on civil engineering, architecture and urban development; Tehran, Iran.2023. 1-11. [Article in persian].
11. Nashira A, Rahmah AU, Wahyuningsih A, Azizah P. Risk Assessment of Hospital Waste Water Treatment Plant Operation–A Case Study of a Class B Hospital in Indonesia. International Journal of Safety & Security Engineering. 2024;14(4):1305-17.
12. Dadashi T, Hosseinpoor S, Mohammadi A. A comprehensive protocol for evaluating health, safety, and environmental risks of hospital solid waste through FMEA technique. MethodsX. 2024;12:102760.
13. Vo HM, Yang J-B, Rangasamy V. Effective Risk Assessment of Complicated EPC Projects: A Case Study of Wastewater Treatment Plant Projects. ASCE-ASME Journal of Risk and Uncertainty in Engineering Systems, Part A: Civil Engineering. 2025;11(2):05025001.
14. Behzadi B, Kiani B. Safety, health and environmental risk assessment and management in a wastewater treatment plant, Nasirabad, Tehran. The Second National Conference on Sustainable Development of the Persian Gulf: Environment on Coastal Areas; Booshehr.2022. 1-9. [Article in persian].
15. Salehi M, Jalal Kamali N, Nikooyan F. Identifying and prioritizing health, safety, and environmental risks in wastewater treatment plants (Case study:

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2026-04-08]

Sirjan wastewater treatment plant). 9th International Conference on Health, Crisis and Safety; Tehran2024. 1-24. [Article in persian].

16. Amin N, Foster T, Shimki NT, Willetts J. Hospital wastewater (HWW) treatment in low- and middle-income countries: A systematic review of microbial treatment efficacy. Science of The Total Environment. 2024;921:170994.

17. Khan MT, Ahmad R, Liu G, Zhang L, Santagata R, Lega M, et al. Potential Environmental Impacts of a Hospital Wastewater Treatment Plant in a Developing Country. Sustainability. 2024;16(6):2233.

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2026-04-08]