ارزیابی مقایسه‌ای ریسک‌های محیط‌زیستی، بهداشتی و ایمنی در بازسازی شبکه فاضلاب شهری به روش‌های سنتی و CIPP با رویکرد ویلیام فاین

چکیده

شبکه‌های فاضلاب شهری به‌عنوان یکی از مهم‌ترین زیرساخت‌های حیاتی، نقش اساسی در حفظ سلامت عمومی و محیط‌زیست دارند. ترمیم و بازسازی این شبکه‌ها همواره با ریسک‌های متعددی در حوزه‌های محیط‌زیستی، بهداشتی و ایمنی همراه است. این پژوهش جهت ارزیابی ریسک‌های محیط‌زیستی، بهداشتی و ایمنی استفاده از دو روش سنتی و روش CIPP در سال ۱۴۰۴ انجام شده است. جامعه آماری مورد بررسی شامل کلیه فعالیت‌ها، تجهیزات و عملیات فنی مرتبط با پروژه بازسازی شبکه فاضلاب شهری بود. برای ارزیابی ریسک، از تکنیک ویلیام فاین استفاده شد و سطوح ریسک در سه دسته قابل‌قبول، نامطلوب و اضطراری طبقه‌بندی شدند. یافته‌ها نشان داد که در روش سنتی مبتنی بر حفاری باز علاوه بر ایجاد اختلال در تردد شهری، منجر به انتشار آلاینده‌ها، تخریب اکوسیستم و افزایش خطرات ایمنی برای کارکنان می‌شود. در روش CIPP، ریسک‌های ایمنی ناشی از کار با ماشین‌آلات سنگین، ریسک‌های بهداشتی مرتبط با مواجهه کارکنان با فاضلاب و ریسک‌های محیط‌زیستی شامل آلودگی خاک، آب‌وهوا در مقایسه با روش سنتی کاهش می‌یابد. در این پژوهش، تعداد ۱۹۳ ریسک برای روش سنتی و ۲۰۸ ریسک برای روش CIPP شناسایی شد. در روش سنتی علت مخاطرات شامل (۴۳/۵ ٪) عامل انسانی، (۳۳/۶٪) تجهیزاتی و (۲۲/۸ ٪) اجرایی بود. در روش CIPP علت مخاطرات شامل (۳۷٪) انسانی، (۳۴/۶٪) تجهیزاتی و (۲۸/۴) اجرایی بوده است. نتایج ارزیابی پس از اعمال اقدامات کنترلی نشان داد که در روش سنتی، ریسک‌های اضطراری از ۲۶/۹٪ به ۲/۱ ٪ کاهش و موارد قابل‌قبول از ۲۸٪ به ۶۳/۷٪ افزایش یافتند. در روش CIPP، ریسک‌های اضطراری از ۳۹/۹٪ به ۰/۵٪ کاهش و موارد قابل‌قبول از ۸/۷٪ به ۷۵/۵٪ افزایش پیدا کردند؛ بنابراین روش CIPP در کاهش ریسک‌های محیط‌زیستی، بهداشتی و ایمنی اثربخشی بالاتری نسبت به روش سنتی دارد و می‌تواند به‌عنوان یک رویکرد پایدار جهت بازسازی زیرساخت‌های شهری مورد استفاده قرار گیرد.

واژگان کلیدی: بازسازی شبکه فاضلاب، ارزیابی ریسک، روش سنتی، روش CIPP

بهمن ذوالفقاری فر [۱]
فروزان فرخیان [۲*]

۱و۲. گروه محیط زیست و HSE ، واحد اهواز ، دانشگاه آزاد اسلامی ، اهواز ، ایران.

* **نویسنده مسئول مکاتبات**
foroz.farrokhian@iau.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۴/۲۹
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۹/۰۹

این مقاله برگرفته از طرح پژوهشی است.

مقدمه

بازسازی شبکه‌های فاضلاب شهری به دلیل فرسودگی لوله‌ها، نشت فاضلاب و مشکلات بهداشتی و محیط‌زیستی مانند انتشار بوی نامطبوع و افزایش حشرات موذی، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است؛ بنابراین بازسازی و نوسازی این شبکه‌ها به یکی از ضرورت‌های اصلی مدیریت شهری بدل شده است (Thakre *et al*., 2025). روش‌های سنتی بازسازی نظیر حفاری باز و تعویض خط (Open-Cut) اگرچه رایج و در برخی موارد ناگزیر هستند، اما به‌طور معمول با خاک‌برداری گسترده، تعویض لوله‌های فرسوده، هزینه‌های بالا، مدت زمان طولانی، و پیامدهای منفی محیط‌زیستی و اجتماعی همراه هستند. این پیامدها شامل آلودگی هوا و صوت ناشی از ماشین‌آلات سنگین مانند بیل مکانیکی و جرثقیل، افزایش ترافیک و اختلال در خدمات شهری، و نیز مصرف بالای انرژی و منابع طبیعی است (Najafi & Gokhale, 2005; Thakre *et al*., 2025). به‌منظور رفع این چالش‌ها، روش‌های نوین و کم‌تخریب نظیر CIPP (Cured-In-Place Pipe) توسعه یافته‌اند. در روش CIPP، بدون نیاز به حفاری گسترده، یک آستر رزینی درون لوله‌های موجود قرار گرفته و با استفاده از گرما یا نور فرابنفش سخت می‌شود. این روش با کاهش نیاز به خاک‌برداری، تولید پسماند کمتر و حداقل‌سازی مداخلات محیطی، به‌عنوان یک راهکار

[Downloaded from jweb.ahvaz.iau.ir on 2026-05-29]

پایدارتر شناخته می‌شود (Karkhanis *et al*., 2025). با این حال، روش CIPP نیازمند دقت در اجرای فرآیندهایی مانند نصب لاینر و مدیریت مواد شیمیایی است تا از ریسک‌های محیطزیستی مانند نشت رزین جلوگیری شود (Das, 2016). مقایسه این دو روش نشان می‌دهد که CIPP می‌تواند اثرات محیطزیستی و اجتماعی کمتری داشته باشد، اما موفقیت آن به مدیریت دقیق فرآیندها وابسته است. ارزیابی اثرات محیطزیستی در بازسازی شبکه‌های فاضلاب شهری از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است، زیرا انتخاب روش اجرایی می‌تواند تأثیرات متفاوتی بر محیطزیست، سلامت عمومی و کیفیت زندگی شهری داشته باشد. مطالعات متعدد نشان داده‌اند که استفاده از CIPP نسبت به روش‌های سنتی، کاهش قابل توجهی در اثرات محیطزیستی و مصرف منابع به همراه دارد. برای نمونه، نتایج تحلیل چرخه عمر (Life Cycle Assessment) LCAنشان داده است که اجرای CIPP در مقایسه با Open-Cut موجب ۶۸٪ کاهش اثرات محیطزیستی، ۷۵٪ کاهش ریسک‌های سلامت انسان و ۶۲٪ صرفه‌جویی در مصرف منابع می‌شود (Karkhanis, 2025). پژوهشی دیگر نیز نشان داد که این روش توانسته است انتشار کربن را بین ۷۸ تا ۱۰۰ درصد نسبت به روش‌های سنتی کاهش دهد (Serajiantehrani *et al*., 2021). در پروژه‌های بازسازی و ترمیم شبکه‌های فاضلاب شهری که در مناطق پرجمعیت و پرتراکم انجام می‌شود، روش‌های سنتی معمولاً به دلیل نیاز به حفاری گسترده و آثار محیطزیستی منفی، چالش‌هایی به همراه دارند. در این میان، روش‌های نوین مانند CIPP به دلیل نیاز کمتر به حفاری و آثار محیطزیستی کمتر، به عنوان یک راهکار مؤثر مطرح شده‌اند (Damvergis, 2014). با وجود این مزایا، استفاده از CIPP عاری از مخاطرات بهداشتی و ایمنی نیست. فرآیند اجرای این روش شامل حرارت‌دهی و پخت رزین است که می‌تواند سبب انتشار ترکیبات آلی فرار (VOCs) و به‌ویژه استایرن شود. شواهد علمی نشان داده‌اند که این ترکیبات در محیط کار و حتی ساختمان‌های مجاور می‌توانند منتشر شوند و موجب مخاطرات جدی برای سلامت کارگران و ساکنان اطراف گردند (Bavilinezhad, Elledge, *et al*., 2024; Teimouri Sendesi *et al*., 2017) گزارش‌های میدانی و مطالعات موردی حاکی از آن است که مواجهه با بخارات استایرن در برخی پروژه‌ها حتی منجر به مرگ کارگران شده است (Kaushal *et al*., 2019). همچنین، بررسی‌های آزمایشگاهی نشان داده‌اند که ذرات و بخارات حاصل از این فرآیند می‌توانند آثار مخرب بر سیستم تنفسی پستانداران داشته باشند (Noh, 2022). بنابراین، اگرچه CIPP مزایای محیطزیستی و اقتصادی دارد، اما از منظر بهداشت حرفه‌ای و ایمنی نیازمند بررسی‌های جامع و اقدامات کنترلی سختگیرانه است.

از سوی دیگر، فعالیت‌های مرتبط با بازسازی شبکه‌های فاضلاب، چه به روش سنتی و چه به روش‌های نوین، همواره با خطرات ایمنی، بهداشتی و محیطزیستی متنوعی همراه هستند. این خطرات شامل ریسک‌های ناشی از فضاهای محصور، گازهای سمی نظیر هیدروژن سولفید و متان، کمبود اکسیژن، خطر سقوط و آلودگی‌های محیطی می‌باشند (Whelton, 2022). تفاوت در ماهیت و شدت این ریسک‌ها بین دو روش سنتی و CIPP ، ضرورت انجام مطالعات تطبیقی دقیق را آشکار می‌سازد. برای تحلیل و اولویت‌بندی این مخاطرات، ابزارها و روش‌های مختلفی پیشنهاد شده است. یکی از رویکردهای شناخته‌شده، مدل ویلیام فاین (William-Fine Method) است که با ترکیب شاخص‌هایی مانند احتمال وقوع، میزان مواجهه، شدت پیامد و هزینه اقدامات کنترلی، امکان کمی‌سازی و اولویت‌بندی ریسک‌ها را فراهم می‌آورد (Fine, 1971). این روش در صنایع مختلف از جمله پالایشگاه‌ها (Hafezi *et al*., 2018)، پروژه‌های تونل‌سازی (Zahed *et al*., 2023) و صنایع معدنی (Sarkheil *et al*., 2024)، در ایران و جهان به‌کار گرفته‌شده و کارایی آن در تعیین اولویت‌های اصلاحی اثبات شده است.

با وجود رشد مطالعات مرتبط با بازسازی شبکه فاضلاب به روش CIPP در سطح بین‌المللی، هنوز بررسی‌های جامعی که به‌طور هم‌زمان ریسک‌های محیطزیستی، بهداشتی و ایمنی را در مقایسه با روش‌های سنتی و با استفاده از رویکرد ویلیام فاین تحلیل کنند، محدود است. این خلأ پژوهشی در شرایط خاص اقلیمی و زیرساختی شهرهای ایران، به‌ویژه در منطقه گرم و مرطوبی مانند اهواز که شبکه فاضلاب آن با چالش‌های متعددی مواجه است، بیش از پیش نمایان می‌شود. از این‌رو، پژوهش حاضر با تمرکز بر مقایسه ریسک‌های محیطزیستی، بهداشتی و ایمنی در دو روش سنتی و CIPP در شبکه جمع‌آوری فاضلاب شهر اهواز و با بهره‌گیری از مدل ویلیام فاین، تلاش می‌کند تصویری دقیق‌تر از سطوح ریسک و راهکارهای مدیریتی برای کاهش آن‌ها ارائه نماید.

[Downloaded from jweb.ahvaz.iau.ir on 2026-05-29]

مواد و روش‌ها

این پژوهش با هدف شناسایی و ارزیابی نظام‌مند ریسک‌های محیطزیستی ناشی از روش‌های سنتی و نوین ترمیم و بازسازی شبکه‌های فاضلاب شهری طراحی شد. در مرحله نخست، چک‌لیست‌های استاندارد جهت شناسایی خطرات ایمنی، بهداشتی و محیطزیستی طراحی گردید. تدوین این چک‌لیست‌ها مبتنی بر مطالعات کتابخانه‌ای و مشورت با کارشناسان فنی در این حوزه صورت گرفت. سپس خطرات شناسایی‌شده بر اساس سه شاخص کلیدی احتمال وقوع، شدت پیامد و میزان مواجهه با خطر در هریک از فعالیت‌های پروژه ارزیابی شدند. نتایج ارزیابی به‌صورت طبقه‌بندی شده ارائه گردید و اقدامات کنترلی متناسب با اولویت‌بندی ریسک‌ها پیشنهاد شد.

جامعه آماری مورد بررسی شامل کلیه فعالیت‌ها، تجهیزات و عملیات فنی مرتبط با پروژه بازسازی شبکه فاضلاب شهری اهواز بود که به دو بخش اصلی تقسیم گردید: – روش سنتی(Open-Cut) : شامل حفاری و لوله‌گذاری شبکه فاضلاب جدید به طول تقریبی ۱۰ کیلومتر، در قالب ۶ جبهه کاری، در ۶ خیابان مجزا و طی مدت زمان حدود ۲ سال، در قالب ۲۳ فعالیت کاری. – روش (CIPP): شامل بازسازی درونی خطوط فاضلاب قدیمی (بتنی و چدنی با عمر ۲۵ تا ۴۰ سال) به روشCIPP ، به طول حداقل ۲۵ کیلومتر، شامل خطوط اصلی و نیمه اصلی شبکه فاضلاب، به‌صورت سه شیفت کاری، طی ۳ سال و در قالب ۲۸ فعالیت کاری.

داده‌ها از طریق دو مسیر اصلی جمع‌آوری گردیدند: ۱- مطالعات کتابخانه‌ای: بررسی منابع علمی داخلی و خارجی، مستندات، استانداردهای بین‌المللی از جمله (ISO 14001) و دستورالعمل‌های مرتبط با مدیریت ریسک در حوزه ایمنی، بهداشت و محیطزیست. ۲- پایش میدانی: بازدیدهای مستقیم از محل پروژه‌ها به‌منظور شناسایی خطرات موجود. در این فاز، از چک‌لیست‌های محیطزیستی مطابق با ISO 14001 و چک‌لیست‌های حفاظت فنی و بهداشت حرفه‌ای جهت ارزیابی دقیق استفاده شد. جهت ارزیابی، تکنیک (Fine, 1971) William-Fineبه‌کار گرفته شد. این روش با محاسبه شاخص عددی ریسک(R) ، امکان اولویت‌بندی خطرات و طراحی اقدامات کنترلی را فراهم می‌سازد. (R) با استفاده از فرمول زیر محاسبه می‌شود:

$$R = C \times E \times P \quad (۱)$$

که در آن:

- C (Consequence): شدت پیامد که نشان‌دهنده میزان خسارت یا تأثیر یک خطر است (امتیازدهی از ۱ تا ۱۰).
- E (Exposure): دفعات مواجهه یا مدت زمان تماس با خطر (امتیازدهی از ۱ تا ۶).
- P (Probability): احتمال وقوع خطر (امتیازدهی از ۱ تا ۱۰).

در این پژوهش، ریسک‌ها بر اساس مقدار R در سه دسته طبقه‌بندی شدند: قابل‌قبول: ($R < 20$)؛ نامطلوب: ($70 > R \geq 20$)؛ اضطراری: ($R \geq 70$). برای خطراتی که در دامنه غیرقابل‌قبول (نامطلوب یا اضطراری) قرار داشتند، مجموعه‌ای از اقدامات کنترلی پیشنهاد شد که شامل موارد ذیل بود: حذف یا جایگزینی آن‌ها با روش‌های کم‌خطرتر، استفاده از کنترل‌های مهندسی (مثلاً تهویه موضعی، پوشش‌های محافظ)، نصب علائم هشدار دهنده و راهنمای ایمنی، استفاده از تجهیزات حفاظت فردی (PPE) مناسب. پس از اجرای این اقدامات، ارزیابی مجدد انجام شد و مقادیر جدید R برای بررسی اثربخشی اقدامات محاسبه گردید.

نتایج

به‌منظور ارزیابی ریسک‌های محیطزیستی، بهداشتی و ایمنی در فعالیت‌های مختلف پروژه، ابتدا خطرات بالقوه شناسایی گردیدند. در این پژوهش، خطر به‌عنوان هر منبع یا شرایط بالقوه‌ای تعریف می‌شود که قابلیت ایجاد آسیب به نیروی انسانی، تجهیزات، محیطزیست یا فرآیندهای کاری را دارد (Dentch, 2018). شناسایی این خطرات گام نخست در فرآیند ارزیابی ریسک محسوب می‌شود و امکان محاسبه ریسک بر اساس سه شاخص شدت پیامد، احتمال وقوع و میزان مواجهه را فراهم می‌سازد.

[Downloaded from jweb.ahvaz.iau.ir on 2026-05-29]

جدول ۱. شناسایی خطرات ایمنی، بهداشت و محیط‌زیست در روش سنتی ترمیم و بازسازی شبکه‌های فاضلاب شهری

ردیف	فعالیت / شغل	خطرات بالقوه (Hazards)
۱	کار با جرثقیل	سقوط بار، واژگونی دستگاه، برخورد با خطوط برق هوایی، آلودگی صوتی، صدمات جانی
۲	کار با موتور دیزل	انتشار ذرات و گازهای آلاینده (CO, NOx, PM)، خطر آتش‌سوزی و انفجار، سوختگی، صدای زیاد، خطرات مکانیکی
۳	کار با دستگاه خم و برش	بریدگی و له‌شدگی دست، پرتاب براده، برق‌گرفتگی، آسیب‌های ارگونومیک
۴	آرماتوربندی	بریدگی با میلگرد، سقوط از ارتفاع، آسیب اسکلتی–عضلانی، آلودگی ناشی از زنگ‌زدگی
۵	امور اداری	استرس شغلی، مشکلات ارگونومیک، آتش‌سوزی تجهیزات الکتریکی
۶	انبارداری	سقوط اجسام، حریق و انفجار، تصادف با لیفتراک، مواجهه با مواد شیمیایی
۷	بتن‌ریزی	سوختگی شیمیایی ناشی از سیمان، سقوط از ارتفاع، آلودگی محیطی بتن، صدای ویبراتور
۸	برق‌کاری	برق‌گرفتگی، آتش‌سوزی، سقوط از ارتفاع، مواجهه با میدان‌های الکترومغناطیس
۹	تعمیرات	خطرات مکانیکی ابزار، برق‌گرفتگی، سقوط اجسام، تماس با روغن‌ها و حلال‌ها
۱۰	جوش‌کاری	سوختگی، آسیب چشمی(Arc Eye) ، استنشاق دود فلزی، آتش‌سوزی
۱۱	خاک‌برداری	ریزش ترانشه، سقوط افراد/ماشین‌آلات، برخورد با تأسیسات زیرزمینی، گردوغبار، تخریب اکوسیستم، آلودگی خاک و آب‌های زیرزمینی
۱۲	کار با دستگاه بالابر	سقوط بار یا افراد، واژگونی بالابر، برخورد با موانع یا خطوط برق، گیرکردن افراد
۱۳	کمپرسور هوای فشرده	انفجار مخزن، صدای شدید، پرتاب شیلنگ، پرتاب ذرات با هوا
۱۴	رانندگی با ماشین‌آلات	تصادف، واژگونی، خستگی راننده، آلودگی هوا و صدا
۱۵	سوخت‌گیری	نشت سوخت، آتش‌سوزی و انفجار، استنشاق بخارات، آلودگی خاک/آب، التهاب پوستی
۱۶	قالب‌بندی	سقوط اجسام، بریدگی با تجهیزات، ریزش قالب، خطرات ارگونومیک
۱۷	عملیات حفاری	ریزش دیواره، برخورد با لوله و کابل مدفون، لرزش و صدا، گردوغبار، تخریب اکوسیستم محلی به دلیل خاک‌برداری، نشت گاز متان و هیدروژن سولفوره ناشی از تجزیه مواد آلی فاضلاب، نخاله‌های ساختمانی
۱۸	نقشه‌برداری	برخورد با ماشین‌آلات، آفتاب‌زدگی/گرمازدگی، خستگی بینایی، لغزش در محیط ناهموار
۱۹	کار با بیل مکانیکی	واژگونی دستگاه، برخورد با کارگران، شکست بازوی بیل، آلودگی صدا و دود دیزل، ریزش زمین، نشت گاز متان و هیدروژن سولفوره ناشی از تجزیه مواد آلی فاضلاب، انتشار گازهای گلخانه‌ای

جدول ۱، خطرات بالقوه شناسایی‌شده در فعالیت‌ها و مشاغل مختلف مرتبط با روش سنتی ترمیم و بازسازی شبکه‌های فاضلاب شهری را نشان می‌دهد. همان‌گونه که مشاهده می‌شود، طیف متنوعی از خطرات ایمنی، بهداشتی و محیط‌زیستی در این فعالیت‌ها وجود دارد. خطرات ایمنی شامل ریزش ترانشه، سقوط افراد یا بار، واژگونی ماشین‌آلات و برق‌گرفتگی هستند که در فعالیت‌هایی نظیر حفاری، رانندگی ماشین‌آلات و کار با بیل مکانیکی به‌طور برجسته مشاهده می‌شوند. خطرات بهداشتی شامل استنشاق دود و بخار سمی، گردوغبار و مواجهه با صداهای شدید بوده که بیشتر در فعالیت‌هایی مانند سوخت‌گیری، جوشکاری و کمپرسور هوا دیده می‌شوند. در بعد محیط‌زیستی، فعالیت‌های خاک‌برداری و حفاری بیشترین اثر منفی را دارند و منجر به تخریب اکوسیستم، آلودگی خاک و آب‌های زیرزمینی و انتشار گازهای گلخانه‌ای می‌شوند.

جدول ۲ نشان می‌دهد که در روش سنتی، ۱۹۳ ریسک مورد شناسایی قرار گرفته که ۵۴ مورد در ناحیه قابل‌قبول، ۸۷ مورد در ناحیه نامطلوب و ۵۲ مورد در ناحیه اضطراری می‌باشند. این ریسک‌ها شامل مواردی مانند نشت گاز متان و هیدروژن سولفوره ناشی از تجزیه مواد آلی در فاضلاب، آلودگی خاک و آب‌های زیرزمینی در اثر نشت فاضلاب از لوله‌های قدیمی یا شکسته، ریزش لوله‌های قدیمی به دلیل حفاری‌های گسترده و تخریب اکوسیستم محلی به دلیل خاکبرداری بودند که بیشتر مرتبط با فعالیت‌هایی مانند کار با جرثقیل، موتور دیزل، بیل مکانیکی و دستگاه‌های حفاری هستند.

[Downloaded from jweb.ahvaz.iau.ir on 2026-05-29]

جدول ۲: طبقه‌بندی ریسک فعالیت‌ها و مشاغل در روش سنتی ترمیم و بازسازی شبکه‌های فاضلاب شهری

ردیف	فعالیت / شغل	قابل قبول	نامطلوب	اضطراری	مجموع
۱	کار با جرثقیل	۵	۶	۳	۱۴
۲	کار با موتور دیزل	۳	۴	۴	۱۱
۳	کار با دستگاه خم و برش	۲	۲	۳	۷
۴	آرماتوربندی	۴	۲	۲	۸
۵	امورات اداری	۳	۴	۲	۹
۶	انبارداری	۲	۷	۳	۱۲
۷	بتن‌ریزی	۲	۵	۴	۱۱
۸	برق کاری	۲	۷	۰	۹
۹	تعمیرات	۳	۵	۰	۸
۱۰	جوش‌کاری	۲	۴	۱	۷
۱۱	خاک‌برداری	۵	۴	۲	۱۱
۱۲	کار با دستگاه بالابر	۰	۷	۵	۱۲
۱۳	کار با دستگاه کمپرسور هوای فشرده	۳	۳	۶	۱۲
۱۴	رانندگی ماشین‌آلات کارگاهی	۷	۵	۳	۱۵
۱۵	سوخت‌گیری	۰	۳	۶	۹
۱۶	قالب‌بندی	۴	۵	۱	۱۰
۱۷	عملیات حفاری	۳	۶	۳	۱۲
۱۸	نقشه برداری	۰	۲	۱	۳
۱۹	کار با بیل مکانیکی	۴	۶	۳	۱۳
	مجموع	**۵۴**	**۸۷**	**۵۲**	**۱۹۳**

جدول۳، خطرات بالقوه مرتبط با فعالیت‌ها و مشاغل مختلف در اجرای روش نوینCIPP را نشان می‌دهد، بخش عمده‌ای از این خطرات ماهیتی متفاوت از روش سنتی دارند و بیشتر به ریسک‌های شیمیایی، اجرایی و تجهیزات تخصصی مربوط می‌شوند. برای نمونه، در فعالیت‌هایی نظیر تعمیرات CIPP و نصب لاینر، خطر انتشار بخار شیمیایی رزین و ترکیبات آلی فرار(VOCs) ، سوختگی حرارتی و محبوس‌شدگی در فضاهای بسته مشاهده می‌شود. در مقابل، فعالیت‌هایی مانندCCTV و لایروبی عمدتاً با خطر انتشار گازهای سمی (H_2S، CH_4) سقوط به منهول و آلودگی‌های میکروبی همراه هستند. همچنین، استفاده از تجهیزات مکانیکی و برقی نظیر دستگاه ژنراتور، کمپرسور هوا و رباتUV با ریسک‌هایی مانند انفجار مخزن، برق‌گرفتگی و مواجهه با اشعه فرابنفش همراه است.

[Downloaded from jweb.ahvaz.iau.ir on 2026-05-29]

جدول ۳: شناسایی خطرات بالقوه در روشCIPP ترمیم و بازسازی شبکه فاضلاب شهری

ردیف	فعالیت / شغل	خطرات بالقوه (Hazards)
۱	CCTV (Closed-Circuit Television Inspection)	برق‌گرفتگی، خرابی کابل‌ها، انتشار گازهای سمی مانند H_2S و CH_4 در منهول، سقوط به منهول، گیر کردن ربات و نیاز به بازیابی در شرایط خطرناک
۲	تعمیراتCIPP	انتشار بخارات شیمیایی رزین، سوختگی حرارتی، محبوس‌شدگی در فضای بسته، نشت مواد به محیط
۳	Over Pumping	نشت یا سرریز فاضلاب، آلودگی آب و خاک، خطرات زیستی (میکروبی)، تماس پوستی با فاضلاب
۴	دستگاه ربات UV	مواجهه با اشعه فرابنفش، برق‌گرفتگی، گیرکردن تجهیزات در لوله، سوختگی اپراتور
۵	امورات اداری	مشکلات ارگونومیک، استرس شغلی، حریق ناشی از تجهیزات الکتریکی، خستگی بینایی
۶	انبارداری	سقوط اجسام، حریق و انفجار، برخورد با لیفتراک، مواجهه با مواد شیمیایی ذخیره‌شده
۷	برق‌کاری	برق‌گرفتگی، آتش‌سوزی، سقوط از ارتفاع، تماس با کابل‌های معیوب
۸	تدارکات اجرایی	تصادفات رانندگی در حین جابه‌جایی مصالح، سقوط بار، مشکلات ایمنی در بارگیری و تخلیه
۹	دستگاه بالابر	سقوط افراد یا بار، واژگونی، گیرکردن در قسمت‌های متحرک، برخورد با خطوط برق
۱۰	دستگاه ژنراتور	نویز و ارتعاش شدید، استنشاق گازهای آلاینده، خطر آتش‌سوزی سوخت، برق‌گرفتگی
۱۱	دستگاه ساکشن	مکش ناگهانی و گیرکردن اشیا یا اندام، آلودگی صوتی، انتشار گازهای فاضلاب
۱۲	دستگاه کمپرسور هوا	انفجار مخزن، پاشش روغن یا ذرات، صدای شدید، جداشدن شیلنگ تحت فشار
۱۳	ماشین‌آلات CIPP	دود موتور دیزل، آلودگی صوتی، خطرات مکانیکی متحرک، تصادف با افراد
۱۴	لایروبی	انتشار گازهای سمی(H_2S, CH_4) ، سقوط به منهول، غرق‌شدگی، آلودگی میکروبی، تماس پوستی با فاضلاب
۱۵	ماشین واترجت	پاشش آب با فشار بالا (خطر بریدگی یا آسیب چشمی)، صدای شدید، لغزش سطحی
۱۶	نصب توپی انسداد	شکست یا پرتاب توپی تحت فشار، نشت فاضلاب، محبوس‌شدگی در فضای بسته
۱۷	نصب لاینر	انتشار بخارات رزین یا استایرن، انتشار ترکیبات آلی فرار (VOCs)، خطر خفگی در فضای بسته، سوختگی حرارتی، لغزش سطحی
۱۸	نقشه‌برداری	خطر برخورد با ماشین‌آلات، گرمازدگی یا آفتاب‌زدگی، سقوط یا لغزش در محیط ناهموار

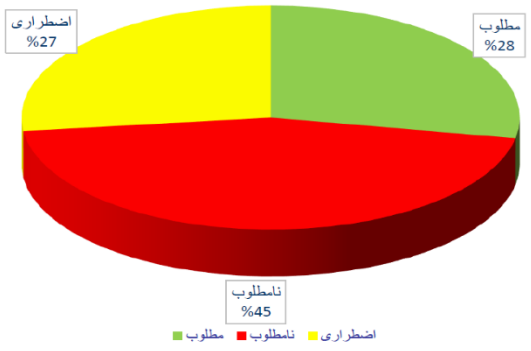
جدول ۴، تعداد ریسک‌های شناسایی شده در روش CIPP را نشان می‌دهد. در روش نوین، تعداد ۲۱۰ ریسک شناسایی و ارزیابی شد که ۱۸ مورد در ناحیه قابل‌قبول، ۱۰۹ مورد در ناحیه نامطلوب و ۸۳ مورد در ناحیه اضطراری قرار گرفتند. این ریسک‌ها شامل نشت مواد شیمیایی مورد استفاده در فرآیند لاینرگذاری (مانند رزین‌های اپوکسی)، آلودگی هوا به دلیل استفاده از دستگاه‌های ژنراتور و کمپرسور و خطاهای اپراتوری در نصب لاینر بودند که می‌توانند منجر به نشت فاضلاب یا کاهش کیفیت ترمیم شوند. این ریسک‌ها عمدتاً در فعالیت‌هایی مانند تعمیرات دستگاه‌هایCIPP، لایروبی و انبارداری تجهیزات مشاهده شده‌اند.

[Downloaded from jweb.ahvaz.iau.ir on 2026-05-29]

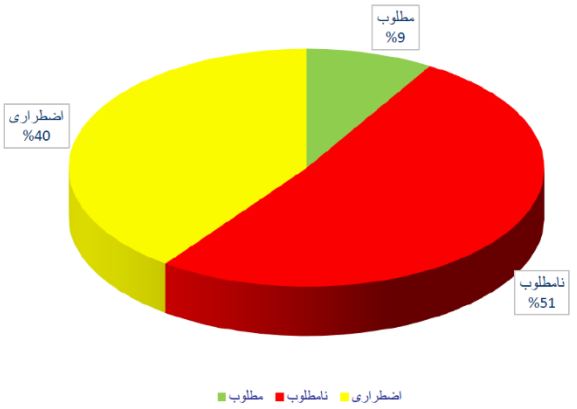
جدول ۴: طبقه‌بندی ریسک فعالیت‌ها و مشاغل در روش CIPP ترمیم و بازسازی شبکه‌های فاضلاب شهری

ردیف	فعالیت / شغل	قابل قبول	نامطلوب	اضطراری	مجموع
۱	CCTV	۰	۴	۷	۱۱
۲	CIPPتعمیرات	۱	۱۲	۵	۱۸
۳	Over Pumping	۰	۸	۴	۱۲
۴	UVدستگاه ربات	۰	۴	۳	۷
۵	امور اداری	۳	۴	۲	۹
۶	انبارداری	۰	۶	۹	۱۵
۷	برق‌کاری	۲	۸	۰	۱۰
۸	تدارکات اجرایی	۳	۶	۱	۱۰
۹	دستگاه بالابر	۰	۸	۶	۱۴
۱۰	دستگاه ژنراتور	۲	۵	۴	۱۱
۱۱	دستگاه ساکشن	۰	۵	۵	۱۰
۱۲	دستگاه کمپرسور هوا	۳	۳	۶	۱۲
۱۳	ماشین‌آلات CIPP	۰	۷	۵	۱۲
۱۴	لایروبی	۰	۱۱	۷	۱۸
۱۵	ماشین واترجت	۲	۵	۷	۱۴
۱۶	نصب توپی انسداد	۲	۴	۴	۱۰
۱۷	نصب لاینر	۰	۶	۸	۱۴
۱۸	نقشه‌برداری	۰	۲	۱	۳
	مجموع	**۱۸**	**۱۰۹**	**۸۳**	**۲۱۰**

در شکل‌های ۱ و ۲، درصد ریسک های شناسایی شده در دو روش سنتی و CIPP نشان داده شده است. این نمودارها به منظور مقایسه درصد ریسک در سطوح قابل قبول، نامطلوب و اضطراری در پروژه ترمیم و بازسازی شبکه فاضلاب شهری ارائه شده‌اند.



شکل ۱: درصد ریسک های شناسایی شده در روش سنتی ترمیم و بازسازی شبکه‌های فاضلاب شهری



شکل ۲: درصد ریسک های شناسایی شده در روشCIPP ترمیم و بازسازی شبکه‌های فاضلاب شهری

این نمودارها به وضوح نشان می‌دهند که در روش سنتی، بخش عمده‌ای از خطرات در ناحیه نامطلوب قرار دارند، در حالی که در روش نوینCIPP ، بیشترین ریسک ها در ناحیه نامطلوب و اضطراری متمرکز شده‌اند.

[Downloaded from jweb.ahvaz.iau.ir on 2026-05-29]

تحلیل انواع خطاهای موجود در روش سنتی و روشCIPP

در روش سنتی ترمیم و بازسازی شبکه‌های فاضلاب شهری، ریسک‌های محیط‌زیستی، بهداشتی و ایمنی از سه دسته عمده خطای تجهیزاتی، خطای انسانی و خطای روش اجرایی ناشی می‌شوند (جدول ۵).

جدول ۵: بررسی انواع خطاهای موجود در روش سنتی ترمیم و بازسازی شبکه‌های فاضلاب شهری

ردیف	فعالیت / شغل	خطای تجهیزاتی	خطای انسانی	خطای روش اجرایی	مجموع
۱	کار با جرثقیل	۴	۶	۴	۱۴
۲	کار با موتور دیزل	۴	۵	۲	۱۱
۳	کار با دستگاه خم و برش	۳	۲	۲	۷
۴	آرماتوربندی	۳	۲	۳	۸
۵	امورات اداری	۴	۳	۲	۹
۶	انبارداری	۳	۷	۲	۱۲
۷	بتن‌ریزی	۲	۶	۳	۱۱
۸	برق‌کاری	۵	۳	۱	۹
۹	تعمیرات	۴	۲	۲	۸
۱۰	جوش‌کاری	۳	۳	۱	۷
۱۱	خاک‌برداری	۱	۷	۳	۱۱
۱۲	کار با دستگاه بالابر	۵	۶	۱	۱۲
۱۳	کار با دستگاه کمپرسور هوای فشرده	۶	۴	۲	۱۲
۱۴	رانندگی ماشین‌آلات	۶	۷	۲	۱۵
۱۵	سوخت‌گیری	۳	۴	۲	۹
۱۶	قالب‌بندی	۲	۵	۳	۱۰
۱۷	عملیات حفاری	۴	۴	۴	۱۲
۱۸	نقشه‌برداری	۰	۲	۱	۳
۱۹	کار با بیل مکانیکی	۳	۶	۴	۱۳
	مجموع	**۶۵**	**۸۴**	**۴۴**	**۱۹۳**

جدول ۵، توزیع انواع خطاهای شناسایی‌شده در روش سنتی ترمیم و بازسازی شبکه‌های فاضلاب شهری را نشان می‌دهد. بر اساس داده‌ها، مجموع خطاهای ثبت‌شده برابر با ۱۹۳ مورد بوده که از این میان، ۸۴ خطای انسانی (۴۳/۵ ٪)، ۶۵ خطای تجهیزاتی (۳۳/۶٪) و ۴۴ خطای ناشی از روش اجرایی (۲۲/۸ ٪) گزارش شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، بیشترین سهم خطاها به عامل انسانی اختصاص دارد که بیانگر اهمیت آموزش، نظارت و پایش مستمر نیروی کار در پروژه‌های مبتنی بر حفاری باز است. در میان فعالیت‌ها، رانندگی ماشین‌آلات (۱۵ مورد)، کار با بیل مکانیکی (۱۳ مورد) و کار با دستگاه‌های بالابر، کمپرسور و عملیات حفاری (هر کدام ۱۲ مورد) بیشترین خطاها را به خود اختصاص داده‌اند. این نتایج نشان می‌دهد که فعالیت‌های مرتبط با ماشین‌آلات سنگین و تجهیزات مکانیکی، به دلیل پیچیدگی عملیاتی و احتمال بالای خطاهای انسانی و تجهیزاتی، ریسک‌پذیری بیشتری دارند. همچنین، فعالیت‌های دفتری و پشتیبانی نظیر امورات اداری (۹ مورد) و انبارداری (۱۲ مورد) نیز سهم قابل‌توجهی از خطاها را شامل می‌شوند که نشان‌دهنده این است که ریسک‌ها صرفاً محدود به فعالیت‌های میدانی نبوده و فرآیندهای مدیریتی و پشتیبانی نیز در ایجاد خطا مؤثرند.

[Downloaded from jweb.ahvaz.iau.ir on 2026-05-29]

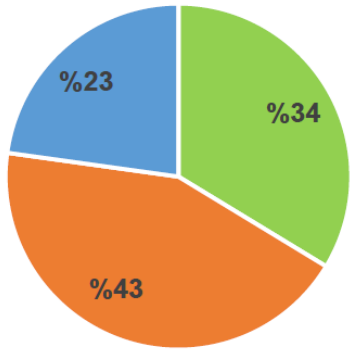
جدول ۶: بررسی انواع خطاهای موجود در روش نوین CIPP ترمیم و بازسازی شبکه‌های فاضلاب شهری

ردیف	فعالیت / شغل	خطای تجهیزاتی	خطای انسانی	خطای روش اجرایی	مجموع
۱	CCTV	۵	۳	۳	۱۱
۲	CIPP تعمیرات	۶	۷	۵	۱۸
۳	Over Pumping	۴	۵	۳	۱۲
۴	دستگاه ربات UV	۳	۲	۲	۷
۵	امورات اداری	۳	۴	۳	۱۰
۶	انبارداری	۳	۹	۳	۱۵
۷	برق‌کاری	۵	۳	۲	۱۰
۸	تدارکات اجرایی	۳	۳	۴	۱۰
۹	دستگاه بالابر	۴	۶	۴	۱۴
۱۰	دستگاه ژنراتور	۴	۵	۲	۱۱
۱۱	دستگاه ساکشن	۵	۴	۱	۱۰
۱۲	دستگاه کمپرسور هوا	۶	۴	۲	۱۲
۱۳	ماشین‌آلات CIPP	۵	۴	۳	۱۲
۱۴	لایروبی	۳	۶	۹	۱۸
۱۵	ماشین واترجت	۶	۳	۵	۱۴
۱۶	نصب توپی انسداد	۴	۳	۳	۱۰
۱۷	نصب لاینر	۳	۶	۵	۱۴
	مجموع	**۷۲**	**۷۷**	**۵۹**	**۲۰۸**

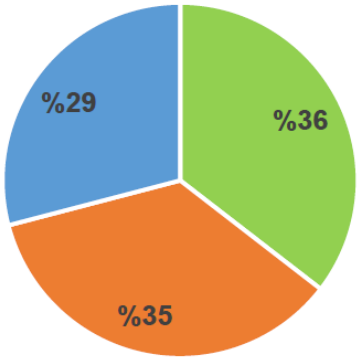
جدول ۶، انواع خطاهای شناسایی‌شده در روش نوین CIPP برای ترمیم و بازسازی شبکه‌های فاضلاب شهری را نشان می‌دهد. در مجموع ۲۰۸ خطا ثبت شد که شامل ۷۷ خطای انسانی (۳۷٪)، ۷۲ خطای تجهیزاتی (۳۴/۶٪) و ۵۹ خطای ناشی از روش اجرایی(۲۸/۴%) بوده است. این توزیع نشان می‌دهد که در مقایسه با روش سنتی، سهم خطاهای انسانی کاهش نسبی یافته، اما سهم خطاهای ناشی از روش اجرایی در روش CIPP بیشتر است؛ موضوعی که نشان‌دهنده حساسیت بالای فرآیندهای نوین به استانداردهای اجرایی و تنظیم دقیق تجهیزات می‌باشد. در بین فعالیت‌ها، بیشترین خطاها مربوط به تعمیرات (۱۸ مورد)، لایروبی (۱۸ مورد) و فعالیت‌های مرتبط با ماشین‌آلات و تجهیزات مانند Over Pumping، دستگاه کمپرسور هوا و ماشین‌آلات CIPP (هرکدام ۱۲ مورد) بوده است. این نتایج بیانگر آن است که فعالیت‌های پیچیده و فنی که نیازمند هماهنگی بین تجهیزات مکانیکی و نیروی انسانی هستند، بیشترین پتانسیل بروز خطا را دارند. همچنین، فعالیت‌هایی نظیر امور اداری (۱۰ مورد) و انبارداری (۱۵ مورد) نیز سهم قابل‌توجهی از خطاها را به خود اختصاص داده‌اند. این موضوع اهمیت مدیریت پشتیبانی و فرآیندهای غیرمیدانی را در کاهش خطاها و ارتقای بهره‌وری پروژه‌های CIPP برجسته می‌سازد.

شکل‌های ۳ و ۴، نشان می‌دهند که در هر دو روش، خطاهای انسانی درصد بالایی را به خود اختصاص داده‌اند. لذا لزوم توجه به بهبود آموزش‌ها، نظارت و کنترل‌های مدیریتی در هر دو روش مشهود است. در مقایسه با روش سنتی، در روشCIPP نیز خطاهای اجرایی و تجهیزاتی به ترتیب درصد بالاتری نسبت به روش سنتی دارند.

[Downloaded from jweb.ahvaz.iau.ir on 2026-05-29]



شکل ۳ :درصد انواع خطاها در روش سنتی ترمیم و بازسازی شبکه‌های فاضلاب شهری



شکل ۴: درصد انواع خطاها در روش CIPP ترمیم و بازسازی شبکه‌های فاضلاب شهری

اقدامات کنترلی مناسب:

پس از بررسی انواع خطاهای موجود در روش‌های سنتی و نوین CIPP در ترمیم و بازسازی شبکه‌های فاضلاب شهری و همچنین مشخص شدن سطح خطرات، اقدامات کنترلی مناسب و به موقع باید پیشنهاد گردد تا خطرات محیطزیستی، ایمنی و بهداشتی کاهش یابند. این اقدامات شامل روش‌های حذف خطر، کاهش یا جایگزینی خطر، تکنیک‌های مهندسی، کنترل‌های مدیریتی و استفاده از تجهیزات ایمنی می‌شوند. جداول ۷ و ۸ به تفصیل تعداد اقدامات کنترلی تعریف شده جهت کاهش سطوح ریسک‌ها در پروژه‌های ترمیم و بازسازی شبکه‌های فاضلاب شهری با استفاده از روش‌های سنتی و نوین CIPP را نمایش می‌دهند.

جدول ۷: اقدامات کنترلی جهت کاهش سطوح ریسک در روش سنتی

ردیف	فعالیت / شغل	حذف خطر	کاهش/جایگزینی	مهندسی	مدیریتی/اداری	PPE
۱	کار با جرثقیل	۴	۴	۲	۲	۲
۲	کار با موتور دیزل	۳	۳	۲	۲	۱
۳	کار با دستگاه خم و برش	۲	۱	۱	۲	۱
۴	آرماتوربندی	۳	۲	۱	۱	۱
۵	امور اداری	۵	۱	۲	۰	۱
۶	انبارداری	۴	۳	۲	۱	۲
۷	بتن‌ریزی	۳	۳	۳	۲	۰
۸	برق‌کاری	۲	۲	۳	۱	۱
۹	تعمیرات	۴	۲	۱	۱	۰
۱۰	جوش‌کاری	۲	۲	۱	۱	۱
۱۱	خاک‌برداری	۳	۲	۳	۲	۱
۱۲	کار با دستگاه بالابر	۵	۴	۲	۱	۰
۱۳	کمپرسور هوای فشرده	۴	۴	۱	۱	۲
۱۴	رانندگی ماشین‌آلات	۶	۳	۱	۳	۲
۱۵	سوخت‌گیری	۳	۲	۱	۲	۱
۱۶	قالب‌بندی	۳	۲	۲	۱	۲
۱۷	عملیات حفاری	۳	۳	۲	۳	۱
۱۸	نقشه‌برداری	۱	۱	۱	۰	۰
۱۹	کار با بیل مکانیکی	۴	۲	۳	۳	۱
	مجموع	**۶۴**	**۴۶**	**۳۴**	**۲۹**	**۲۰**

[Downloaded from jweb.ahvaz.iau.ir on 2026-05-29]

همان‌گونه که در جدول ۷ مشاهده می شود، استفاده از روش‌های حذف خطر با ۶۴ مورد، استفاده از روش‌های کاهش یا جایگزینی خطر با ۴۶ مورد، استفاده از روش‌ها و تکنیک‌های مهندسی با ۳۴ مورد، استفاده از کنترل‌های مدیریتی با ۲۹ مورد و در نهایت استفاده از تجهیزات ایمنی و حفاظت فردی (Personal Protective Equipment) PPE با ۲۰ مورد به ترتیب بیشترین فراوانی را دارند.

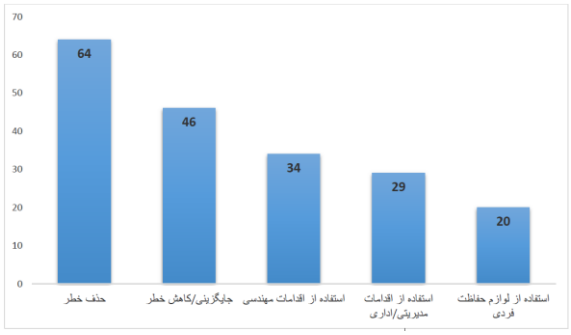
جدول۸: اقدامات کنترلی جهت کاهش سطوح ریسک در روشCIPP

ردیف	فعالیت / شغل	حذف خطر	کاهش/جایگزینی	مهندسی	مدیریتی/اداری	PPE
۱	CCTV	۲	۵	۲	۱	۱
۲	تعمیرات CIPP	۶	۶	۲	۳	۱
۳	Over Pumping	۵	۳	۲	۱	۱
۴	دستگاه ربات UV	۳	۲	۱	۱	۰
۵	امور اداری	۵	۱	۲	۱	۱
۶	انبارداری	۴	۸	۱	۲	۰
۷	برق‌کاری	۳	۱	۳	۲	۱
۸	تدارکات اجرایی	۶	۴	۰	۰	۰
۹	دستگاه بالابر	۵	۶	۲	۱	۰
۱۰	دستگاه ژنراتور	۴	۴	۱	۱	۱
۱۱	دستگاه ساکشن	۳	۴	۲	۰	۱
۱۲	دستگاه کمپرسور هوا	۴	۴	۱	۱	۲
۱۳	ماشین‌آلاتCIPP	۴	۴	۲	۱	۱
۱۴	لایروبی	۶	۹	۱	۱	۱
۱۵	ماشین واترجت	۶	۵	۳	۰	۰
۱۶	نصب توپی انسداد	۵	۳	۱	۰	۱
۱۷	نصب لاینر	۶	۶	۱	۰	۱
	مجموع	**۷۷**	**۷۵**	**۲۷**	**۱۶**	**۱۳**

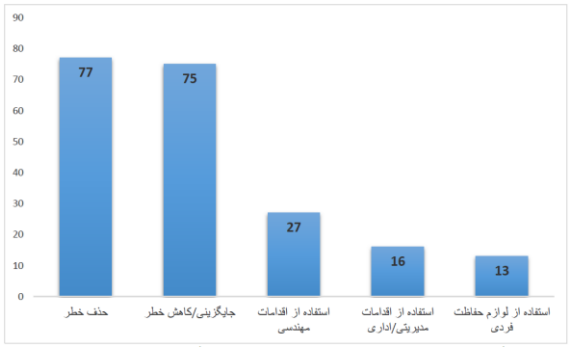
همان‌گونه که در جدول ۸ نشان داده شده است، در روش CIPP، بیشترین تعداد اقدامات کنترلی برای کاهش ریسک‌ها به استفاده از روش‌های حذف خطر اختصاص دارد که در مجموع ۷۷ مورد از این اقدامات ثبت شده‌اند. پس از آن، استفاده از روش‌های کاهش یا جایگزینی خطر با ۷۵ مورد، استفاده از تکنیک‌های مهندسی با ۲۷ مورد، استفاده از کنترل‌های مدیریتی و اداری با ۱۶ مورد و در نهایت استفاده از تجهیزات ایمنی و حفاظت فردی با ۱۳ مورد در رتبه‌های بعدی قرار دارند.

در شکل‌های ۵ و ۶ درصد تعداد اقدامات کنترلی مورد استفاده جهت کاهش سطوح ریسک در روش سنتی و روش CIPP نشان داده شده است. مطابق با این نمودارها، در روش سنتی بیشترین تعداد اقدامات کنترلی به حذف خطرات اختصاص دارد و پس از آن استفاده از روش‌های کاهش یا جایگزینی خطر قرار دارد. هم‌چنین، در روش CIPP نیز بیشترین تعداد اقدامات کنترلی به حذف خطرات اختصاص دارد، اما استفاده از روش‌های کاهش یا جایگزینی خطر به‌طور قابل‌توجهی در این روش بیشتر از روش سنتی است.

[Downloaded from jweb.ahvaz.iau.ir on 2026-05-29]



شکل ۵: تعداد اقدامات کنترلی مورد استفاده جهت کاهش سطوح ریسک در روش سنتی



شکل ۶: تعداد اقدامات کنترلی مورد استفاده جهت کاهش سطوح ریسک در روش CIPP

ارزیابی ریسک مجدد

در این بخش، ارزیابی مجدد ریسک‌ها پس از اعمال اقدامات کنترلی انجام شد تا سطح نهایی ریسک‌ها و میزان اثربخشی اقدامات مدیریتی، فنی و ایمنی مشخص گردد. این ارزیابی با مقایسه وضعیت ریسک‌ها قبل و بعد از اقدامات کنترلی صورت گرفت و تغییرات در توزیع ریسک‌ها بررسی شد. نتایج نشان داد که پس از اجرای اقدامات کنترلی، تعداد ریسک‌های اضطراری کاهش یافته و موارد قابل‌قبول افزایش یافته‌اند.

جدول ۹: طبقه بندی سطوح ریسک با استفاده از تکنیک ویلیام فاین پس از انجام اقدامات کنترلی مناسب در روش سنتی

ردیف	فعالیت / شغل	قابل‌قبول	نامطلوب	اضطراری	مجموع
۱	کار با جرثقیل	۱۰	۴	۰	۱۴
۲	کار با موتور دیزل	۶	۵	۰	۱۱
۳	کار با دستگاه خم و برش	۴	۳	۰	۷
۴	آرماتوربندی	۵	۳	۰	۸
۵	امور اداری	۴	۵	۰	۹
۶	انبارداری	۹	۳	۰	۱۲
۷	بتن‌ریزی	۵	۵	۱	۱۱
۸	برق‌کاری	۷	۲	۰	۹
۹	تعمیرات	۸	۰	۰	۸
۱۰	جوش‌کاری	۵	۲	۰	۷
۱۱	خاک‌برداری	۷	۴	۰	۱۱
۱۲	کار با دستگاه بالابر	۷	۵	۰	۱۲
۱۳	کار با دستگاه کمپرسور هوای فشرده	۸	۴	۰	۱۲
۱۴	رانندگی ماشین‌آلات	۱۰	۵	۰	۱۵
۱۵	سوخت‌گیری	۳	۶	۰	۹
۱۶	قالب‌بندی	۹	۱	۰	۱۰
۱۷	عملیات حفاری	۴	۶	۲	۱۲
۱۸	نقشه‌برداری	۲	۱	۰	۳
۱۹	کار با بیل مکانیکی	۱۰	۲	۱	۱۳
	مجموع	**۱۲۳**	**۶۶**	**۴**	**۱۹۳**

طبق جدول ۹، پس از اجرای اقدامات کنترلی، اکثر خطرات به دسته‌های قابل‌قبول منتقل شده‌اند و تعداد کمی از خطرات در دسته اضطراری باقی مانده است.

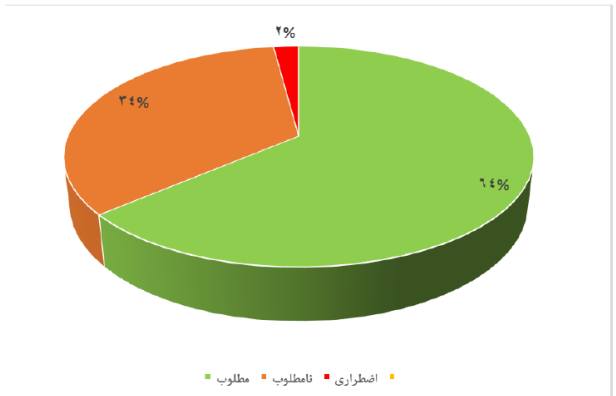
[Downloaded from jweb.ahvaz.iau.ir on 2026-05-29]

در روش CIPP، اقدامات کنترلی منجر به کاهش سطوح ریسک شده‌اند. در جدول ۱۰، تعداد ریسک‌های اضطراری به‌طور چشمگیری کاهش یافته است و بیشتر ریسک‌ها در دسته‌های قابل‌قبول و نامطلوب قرار گرفته‌اند.

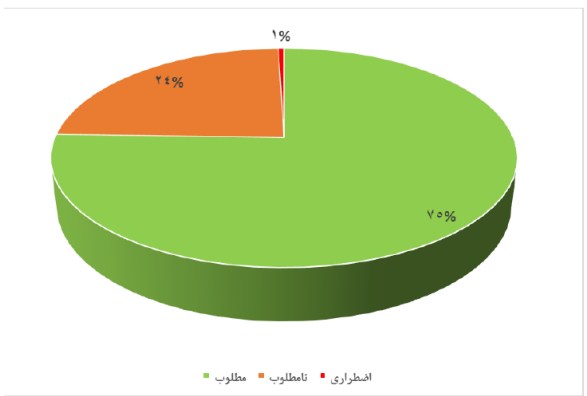
جدول ۱۰: طبقه‌بندی سطوح ریسک با استفاده از تکنیک ویلیام فاین پس از انجام اقدامات کنترلی مناسب در روش CIPP

ردیف	فعالیت / شغل	قابل‌قبول	نامطلوب	اضطراری	مجموع
۱	CCTV	۷	۴	۰	۱۱
۲	تعمیرات CIPP	۱۵	۳	۰	۱۸
۳	Over Pumping	۱۰	۲	۰	۱۲
۴	دستگاه ربات UV	۶	۱	۰	۷
۵	امورات اداری	۸	۲	۰	۱۰
۶	انبارداری	۸	۷	۰	۱۵
۷	برق‌کاری	۹	۱	۰	۱۰
۸	تدارکات اجرایی	۹	۱	۰	۱۰
۹	دستگاه بالابر	۱۱	۳	۰	۱۴
۱۰	دستگاه ژنراتور	۹	۲	۰	۱۱
۱۱	دستگاه ساکشن	۸	۲	۰	۱۰
۱۲	دستگاه کمپرسور هوا	۱۰	۲	۰	۱۲
۱۳	ماشین‌آلات CIPP	۹	۳	۰	۱۲
۱۴	لایروبی	۱۲	۶	۰	۱۸
۱۵	ماشین واترجت	۱۰	۴	۰	۱۴
۱۶	نصب توپی انسداد	۷	۲	۱	۱۰
۱۷	نصب لاینر	۹	۵	۰	۱۴
	مجموع	**۱۵۷**	**۵۰**	**۱**	**۲۰۸**

شکل ۷ نشان می‌دهد که پس از اعمال اقدامات کنترلی، درصد ریسک‌های اضطراری در روش سنتی کاهش یافته و درصد ریسک‌های قابل‌قبول به میزان قابل‌توجهی افزایش پیدا کرده است. شکل ۸، کاهش ریسک‌های اضطراری و افزایش موارد قابل‌قبول را نشان می‌دهد. این نشان‌دهنده کارایی بالای اقدامات کنترلی در کاهش خطرات محیطزیستی و بهبود سطح ایمنی و بهداشت حرفه‌ای در به‌کارگیری روش CIPP برای پروژه‌های ترمیم و بازسازی شبکه‌های فاضلاب شهری است.



شکل ۷: درصد سطوح ریسک پس از ارائه اقدامات کنترلی مناسب در روش سنتی



شکل ۸: درصد سطوح ریسک پس از انجام اقدامات کنترلی مناسب در روش CIPP

[Downloaded from jweb.ahvaz.iau.ir on 2026-05-29]

بحث و نتیجه‌گیری

این پژوهش با هدف بررسی و مقایسه ریسک‌های محیطزیستی، بهداشتی و ایمنی روش‌های سنتی و نوین در بازسازی شبکه‌های فاضلاب شهری با تکنیک ویلیام فاین انجام شد. روش سنتی مبتنی بر حفاری باز و عملیات مکانیکی سنگین است، در حالی که روش نوین CIPP از فناوری‌های کمتر تهاجمی مانند آسترگذاری بدون حفاری بهره می‌برد. یافته‌ها نشان داد که در روش سنتی، مهم‌ترین ریسک‌های محیطزیستی شامل آلودگی خاک و آب‌های زیرزمینی به دلیل نشت فاضلاب یا سوخت، تخریب اکوسیستم به دلیل خاک‌برداری گسترده، تولید نخاله‌های ساختمانی، آلودگی صوتی با شدت بیش از ۹۰ دسی‌بل و اختلال در تردد شهری هستند. ریسک‌های بهداشتی شامل مواجهه کارکنان با گازهای سمی مانند هیدروژن سولفوره و بروز بیماری‌های عفونی و ریسک‌های ایمنی شامل صدمات جسمانی مانند سقوط در گودال‌های حفاری و برخورد با ماشین‌آلات سنگین بودند. در روش CIPP، ریسک‌های محیطزیستی شامل نشت رزین‌های اپوکسی، تولید پسماندهای شیمیایی و آلودگی هوا به دلیل استفاده از ژنراتورها و کمپرسورها، ریسک‌های بهداشتی شامل مواجهه با مواد شیمیایی و تأثیر اشعه UV و ریسک‌های ایمنی شامل خطرات نصب لاینر، برق‌گرفتگی و سوختگی بودند. در روش سنتی ترمیم و بازسازی شبکه‌های فاضلاب شهری، مجموع خطاهای شناسایی‌شده برابر با ۱۹۳ مورد بوده که از این میان، ۸۴ مورد خطای انسانی (۴۳/۵ ٪)، ۶۵ مورد خطای تجهیزاتی (۳۳/۶٪) و ۴۴ مورد خطای ناشی از روش اجرایی (۲۲/۸ ٪) بوده است. این یافته‌ها تأکید می‌کنند که در روش سنتی، ضعف‌های موجود در مدیریت منابع انسانی، نگهداری تجهیزات و استانداردسازی روش‌های اجرایی، به‌طور هم‌زمان در افزایش تعداد خطاها نقش دارند؛ بنابراین، اتخاذ راهبردهایی مانند آموزش تخصصی اپراتورها، نگهداری پیشگیرانه تجهیزات و بازنگری در دستورالعمل‌های اجرایی می‌تواند به کاهش این خطاها و ارتقای ایمنی پروژه‌های مشابه کمک کند. خطاهای شناسایی‌شده در روشCIPP در مجموع ۲۰۸ مورد خطا شامل ۷۷ مورد خطای انسانی (٪۳۷)، ۷۲ مورد خطای تجهیزاتی (٪۳۴/۶) و ۵۹ مورد خطای ناشی از روش اجرایی (٪۲۸/۴) بوده است. این توزیع نشان می‌دهد که در مقایسه با روش سنتی، سهم خطاهای انسانی کاهش نسبی یافته، اما سهم خطاهای ناشی از روش اجرایی و تنظیم فرآیندها در روشCIPP بیشتر است؛ موضوعی که نشان‌دهنده حساسیت بالای فرآیندهای نوین به استانداردهای اجرایی و تنظیم دقیق تجهیزات می‌باشد؛ بنابراین، برای کاهش خطاها در این روش، باید تمرکز ویژه‌ای بر تدوین دستورالعمل‌های اجرایی دقیق، آموزش تخصصی اپراتورها در کار با تجهیزات نوین و پایش مستمر فرآیندهای نصب و ترمیم صورت گیرد. چنین اقداماتی می‌تواند به کاهش خطاهای بحرانی و افزایش ایمنی و پایداری در اجرای پروژه‌های CIPP کمک نماید. اقدامات کنترلی نظیر حذف خطر (استفاده از تجهیزات استاندارد)، کاهش یا جایگزینی خطر (استفاده از مواد با کیفیت بالا)، تکنیک‌های مهندسی (بهبود سیستم‌های تهویه)، کنترل‌های مدیریتی (آموزش پرسنل) و استفاده از تجهیزات ایمنی (مانند ماسک و دستکش) برای کاهش این ریسک‌ها اعمال شدند. ارزیابی انجام‌شده پس از اقدامات کنترلی بیانگر آن است که در روش سنتی، ریسک‌های اضطراری از ۵۲ مورد به ۴ مورد کاهش یافته و موارد قابل‌قبول از ۵۴ به ۱۲۳ مورد افزایش یافته‌اند. در حالی‌که در روش CIPP، این تغییرات چشمگیرتر بوده‌اند؛ به‌طوری که ریسک‌های اضطراری از ۸۳ مورد به ۱ مورد کاهش یافته و موارد قابل‌قبول از ۱۸ به ۱۵۷ مورد افزایش یافته‌اند. در روش سنتی، پس از اعمال اقدامات کنترلی، ریسک‌های اضطراری از ٪۲۶/۹ به ٪۲/۱ کاهش و موارد قابل‌قبول از ٪۲۸ به ٪۶۳/۷ افزایش یافتند. در روش CIPP، ریسک‌های اضطراری از ٪۳۹/۹ به ٪۰/۵ کاهش و موارد قابل‌قبول از ٪۸/۷ به ٪۷۵/۵ افزایش پیدا کردند. در مجموع، یافته‌های این پژوهش نشان می‌دهد که استفاده از روش CIPP در پاسخ به اقدامات کنترلی عملکرد بهتری دارد. کاهش ٪۹۸/۸ ریسک‌های اضطراری، تأییدکننده قابلیت بالای آن در ارتقای ایمنی و کاهش سطوح ریسک است. این نتایج با یافته‌های سایر پژوهشگران هم‌راستا است. به‌عنوان نمونه، در پژوهشی نشان داده شد که روش CIPP به دلیل کاهش حفاری و کاهش تولید پسماند، حدود ٪۷۰ کاهش در اثرات محیطزیستی و ٪۷۵ کاهش در اثرات بهداشتی نسبت به روش سنتی دارد (Karkhanis *et al.*, 2025). همچنین در پژوهش دیگری گزارش شده است که روش CIPP منجر به ٪۶۰ کاهش در مصرف منابع و ٪۷۰ کاهش در آلودگی‌های محیطزیستی می‌شود (Kaushal & Najafi, 2020) که با یافته‌های این تحقیق مبنی بر کاهش چشمگیر ریسک‌های اضطراری و افزایش موارد قابل‌قبول هم‌خوانی دارد. همچنین، مطالعه فیوسلی و همکاران تأیید کرده است که روش‌های بدون حفاری مانند CIPP با کاهش مداخلات محیطی،

[Downloaded from jweb.ahvaz.iau.ir on 2026-05-29]

ریسک‌های مرتبط با آلودگی خاک و آب را به‌طور مؤثر کاهش می‌دهند (Fuselli *et al*., 2022)، که این نتایج مشابه با یافته‌های حاضر است. از سوی دیگر، یکی از چالش‌های محیطزیستی در به‌کارگیری روش CIPP، آن است که هرچند روش CIPP مزایای قابل توجهی در کاهش برخی ریسک‌ها، به‌ویژه در زمینه حفاری، آلودگی خاک و آب‌های زیرزمینی و اختلالات ناشی از عملیات سنتی دارد، اما باید توجه داشت که این روش نیز عاری از برخی مخاطرات نیست. به عنوان نمونه، یافته‌های پژوهشی نشان می‌دهد که اگرچه CIPP به‌طور گسترده به‌عنوان روشی کارآمد و مقرون به‌صرفه برای نوسازی خطوط لوله پذیرفته شده و از مزایایی نظیر نصب سریع و کاهش هزینه‌های اجرایی برخوردار است، اما در فرآیند نصب آن انتشار ترکیبات آلی فرّار(VOCs) ، به‌ویژه ناشی از رزین‌های استایرن‌دار، می‌تواند خطرات محیطزیستی و بهداشتی قابل‌توجهی ایجاد کند. بر همین اساس، توصیه شده است که به منظور کاهش این مخاطرات، استفاده از رزین‌های غیر استایرن و فناوری‌های نوین کنترل انتشار در پروژه‌های CIPP مورد توجه قرار گیرد (Bavilinezhad, Najafi, *et al*., 2024). علاوه بر این، روش CIPPبا چالش‌های دیگری از جمله ریسک‌های اجرایی و تجهیزاتی مانند خطاهای اپراتوری در نصب لاینر، احتمال نشت رزین‌های شیمیایی و انتشار بخار خطرناک در فرآیند پخت مواجه است. بنابراین، مدیریت این ریسک‌ها نیازمند اعمال اقدامات دقیق‌تر مانند آموزش تخصصی کارکنان، نظارت بر عملکرد تجهیزات، استفاده از مواد شیمیایی با کیفیت بالا و پایش مستمر انتشار ترکیبات شیمیایی است. در نهایت می‌توان نتیجه گرفت که اگر روش CIPP با به‌کارگیری مواد اولیه استاندارد، کنترل دقیق فرآیند نصب و رعایت الزامات محیطزیستی اجرا شود، می‌تواند به‌عنوان روشی ایمن، پایدار و کارآمد برای بازسازی شبکه‌های فاضلاب شهری به‌کار گرفته شود و عاملی مؤثر در راستای تحقق اهداف توسعه پایدار شهری و بهبود مدیریت زیرساخت‌های شهری به‌شمار آید.

منابع

Bavilinezhad, S., Elledge, W., Kaynak, B., Najafi, M., Sattler, M., Kaushal, V., & Hamidzadeh, P. 2024. Environmental Impacts of Emissions from Cured-in-Place Pipe Installation: Initial Results from a Case Study. In *Pipelines 2024* (pp. 406-415) .

Bavilinezhad, S., Najafi, M., Kaushal, V., Elledge, W., & Kaynak, B. 2024. Environmental Impact Assessment of Volatile Organic Compound Emissions during Trenchless Cured-in-Place Pipe Installation. *Environments*, *11*(8), 169 .

Damvergis, C. 2014. Sewer systems: Failures and rehabilitation. *Water Utility Journal*, *8*(2014), 17-24 .

Das, S. 2016. Evaluation of cured-in-place pipe lining installations .

Dentch, M. P. 2018. *The ISO 45001: 2018 implementation handbook*. Quality Press .

Fine, W. T. 1971. *Mathematical evaluations for controlling hazards* .

Fuselli, F., Huber, S., & Mambretti, S. 2022. Environmental aspects of trenchless pipe rehabilitation methods. *Urban Water Journal*, *19*(8), 879-887 .

Hafezi, S., Dashti, S., & Sabzghabaei, G. 2018. Risk assessment health and safety of acid recovery unit of Abadan oil refining company by using William fine. *Journal of Environmental Health Enginering*, *6*(1), 67-83 .

Karkhanis, E., Kaushal, V., Thakre, G., & Najafi, M. 2025. A Comprehensive Analysis of Environmental Emissions from Trenchless CIPP and Excavation Technologies for Sanitary Sewers. *Applied Sciences*, *15*(3), 1268 .

Karkhanis, E. N. 2025. Comparative Life Cycle Assessment of Conventional Open-Cut Pipeline Replacement with Trenchless Cured-in-Place Pipe Renewal Method for Wastewater Applications Using Midpoint Approach .

Kaushal, V., & Najafi, M. 2020. Comparative assessment of environmental impacts from open-cut pipeline replacement and trenchless cured-in-place pipe renewal method for sanitary sewers. *Infrastructures*, *5*(6), 48 .

Kaushal, V., Najafi, M., Sattler, M., & Schug, K. 2019. Review of literature on chemical emissions and worker exposures associated with cured-in-place pipe (CIPP) installation. *Pipelines 2019*, 565-573 .

Najafi, M., & Gokhale, S. B. 2005. Trenchless technology: Pipeline and utility design, construction, and renewal. *(No Title)* .

Noh, Y. 2022. *Protection of Public and Worker Safety by Understanding Hazardous Chemical Air and Exposure Risks during Plastic Cured-In-Place-Pipe Manufacture and Use* Purdue University Graduate School .[

Sarkheil, H., Talaeian, M., Abbaszadeh Gorani, A., & Sadeghy Nejad, A. 2024. Hazard identification and process risk assessment at the building stone processing company through combination of EFMEA & William fine methods. *International Journal of Mining and Geo-Engineering*, *58*(2), 229-241 .

[Downloaded from jweb.ahvaz.iau.ir on 2026-05-29]

Serajiantehrani, R., Najafi, M., Kaushal, V., & Malek Mohammadi, M. 2021. Life-cycle Assessment of Trenchless Cured-in-place Pipe (CIPP) Renewal Method in Large Diameter Stormwater Drainage Conduits. World Environmental and Water Resources Congress 2021 ,

Teimouri Sendesi, S. M., Ra, K., Conkling, E. N., Boor, B. E., Nuruddin, M., Howarter, J. A., Youngblood, J. P., Kobos, L. M., Shannahan, J. H., & Jafvert, C. T. 2017. Worksite chemical air emissions and worker exposure during sanitary sewer and stormwater pipe rehabilitation using cured-in-place-pipe (CIPP). *Environmental Science & Technology Letters*, *4*(8), 325-333 .

Thakre, G., Kaushal, V., Karkhanis, E., & Najafi, M. 2025. A Data-Driven Visualization Approach for Life-Cycle Cost Analysis of Open-Cut and Trenchless CIPP Methods for Sanitary Sewers: A PRISMA Systematic Review. *Applied Sciences*, *15*(4), 1765 .

Whelton, A. 2022. Sewer Pipe Repair Sites—Anticipating the Hazards. 2022 NFPA Conference & Expo ,

Zahed, M. A., Seidi, F., Salehi, S., & Pardakhti, A. 2023. Simultaneous assessment of health, safety, and environmental risks using William Fine and FMEA methods based on OHSAS 18001: 2007 standard in the Alborz tunnel, Iran. *Geomechanics and Tunnelling*, *16*(1), 103-113 .

[Downloaded from jweb.ahvaz.iau.ir on 2026-05-29]

Comparative Risk Assessment of Environmental, Health, and Safety Risks in Urban Sewer Network Rehabilitation Using Traditional and CIPP Methods with William Fine's Approach

Bahman Zolfagharifar[1]
Forouzan Farrokhian[2*]

1,2. Department of Environment and HSE, Ahv. C., Islamic Azad University, Ahvaz, Iran.

[*]**Corresponding author:**
foroz.farrokhian@iau.ac.ir

Received date: **July/20/2025**
Reception date: **November/30/2025**

Abstract

Urban sewer networks, as one of the most vital infrastructures, play an essential role in maintaining public health and the environment. The repair and rehabilitation of these networks are consistently accompanied by various risks in the environmental, health, and safety domains. This research was conducted in 2025 to evaluate the environmental, health, and safety risks associated with the use of two methods: traditional and CIPP (Cured-In-Place Pipe). The statistical population under study included all activities, equipment, and technical operations related to the urban sewer network rehabilitation project. The William Fine technique was utilized for risk assessment, and risk levels were categorized into three groups: acceptable, undesirable, and emergency. The findings indicated that the traditional method, based on open-trench excavation, besides disrupting urban traffic, leads to the release of pollutants, ecosystem damage, and increased safety hazards for personnel. In the CIPP method, safety risks from working with heavy machinery, health risks associated with personnel exposure to sewage, and environmental risks including soil, water, and air pollution are reduced compared to the traditional method. In this study, a total of 193 risks were identified for the traditional method and 208 risks for the CIPP method. In the traditional method, the causes of hazards included: human factors (43.5%), equipment (33.6%), and execution (22.8%). In the CIPP method, the causes of hazards included: human factors (37%), equipment (34.6%), and execution (28.4%). The results of the assessment after implementing control measures showed that in the traditional method, emergency risks decreased from 26.9% to 2.1%, and acceptable cases increased from 28% to 63.7%. In the CIPP method, emergency risks decreased from 39.9% to 0.5%, and acceptable cases increased from 8.7% to 75.5%. Therefore, the CIPP method demonstrates higher effectiveness than the traditional method in reducing environmental, health, and safety risks and can be used as a sustainable approach for urban infrastructure rehabilitation.

Keywords: Sewer Network Rehabilitation, Risk Assessment, Traditional Method, CIPP Method.

[Downloaded from jweb.ahvaz.iau.ir on 2026-05-29]