Advanced Environmental Sciences ***(Adv. Environ. Sci.)*** **2026, 24(1):221-248** **ISSN: 2588-6177**

Original Article

Environmental Risk Modeling of Maintenance Processes in Zanjan's Transmission and High-Voltage Electrical Substations Using FMEA and ETBA Methods

Received: 2024.12.14
Accepted: 2025.02.15

Hamid Sarkheil,[1]* Masoud Sadeghian,[2] Ahmad Talebi,[2] Armita Partovi Hajidehi[1]

[1] Department of Mineral Processing and Environment, Faculty of Mining Engineering, University of Tehran, Tehran, Iran

[2] Faculty of Environment, Environmental Protection Organization, Tehran, Iran

EXTENDED ABSTRACT

Introduction: Risk assessment, particularly in the environmental domain, serves as a fundamental tool for identifying, controlling, and mitigating the hazards associated with human and industrial activities. This process enables systematic management and prevention of adverse outcomes by conducting a comprehensive analysis of potential threats. Through the application of reduction, elimination, and substitution strategies, high-severity and high-likelihood risks can be identified and mitigated to lower levels. Such measures facilitate the balance between human activities and environmental protection, effectively preventing further ecosystem degradation. Integrating environmental risk assessment into various stages of project planning and implementation ensures that potential threats are identified and managed effectively, minimizing negative impacts. This approach plays a vital role in fostering sustainability and responsibly managing natural resources, ultimately enhancing the quality of life and preserving these resources for future generations.

Material and methods: This study investigates environmental issues in the maintenance processes of Transmission and high-voltage electrical substations in Zanjan Province using two models: Failure Mode and Effects Analysis (FMEA) and Energy Trace and Barrier Analysis (ETBA). A total of 64 risks were identified in each model.

Results and discussion: The integration of these two methods allowed for a comprehensive identification of environmental hazards, including risks such as energy losses, harm to birds and animals, and hazardous waste. Recommendations for risk control and management were provided, such as fencing the equipment and sealing canal entrances and exits to prevent animals from entering. The analysis outcomes included identifying energy types and their sudden or unwanted release, evaluating barriers and energy control systems, calculating risk numbers, assessing barrier efficiency, and proposing actions for risk reduction and the resulting residual risk.

Conclusion: In this study, risk assessment was conducted using the Failure Modes and Effects Analysis (FMEA) and Energy Trace and Barrier Analysis (ETBA) methods, which demonstrated that the level and identification of risks were similar in both approaches. Among the most significant risks identified was energy loss, for which mitigation strategies such as network optimization, equipment upgrades, proper maintenance planning, and reducing leaks were recommended. For moderate risks, such as harm to animals and birds, solutions like fencing equipment, insulating busbars, and studying animal behavior in the region were suggested. In managing hazardous waste, such as mineral oils, the study recommended developing comprehensive guidelines, proper collection, and delivery to recycling centers. Additionally, reducing water and electricity consumption was emphasized through measures such as drip irrigation, energy-efficient equipment, and double-glazed windows. Finally, for managing administrative waste and minimizing paper use, the study advocated for the development of digital systems and promoting awareness and training in waste segregation, which significantly contribute to pollution reduction.

Keywords: Failure mode and effects analysis, Energy trace and barrier analysis, Power industry, Transmission and high-voltage substation, Maintenance.

How to cite this article:
Sarkheil, H., Sadeghian, M., Talebi, A and Partovi Hajidehi, A. 2026. Environmental Risk Modeling of Maintenance Processes in Zanjan's Transmission and High-Voltage Electrical Substations Using FMEA and ETBA Methods. Adv. Environ. Sci. 24 (1): 221-248.

* **Corresponding Author Email Address:** sarkheil@ut.ac.ir
DOI: 10.48308/envs.2025.1469

Copyright: © 2026 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

علوم محیطی نوین، ۲۴۸-۲۲۱ : (۱) ۲۴، ۱۴۰۵ شاپا: ۶۱۷۷-۲۵۸۸

مقاله پژوهشی

مدل‌سازی ریسک زیست‌محیطی فرآیند تعمیر و نگهداری پست‌های انتقال و فوق توزیع برق زنجان با استفاده از روش‌های نوین یکپارچگی FMEA و ETBA

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۹/۲۴
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۱/۲۷

حمید سرخیل[1]* ، مسعود صادقیان[2]، احمد طالبی[2]، آرمیتا پرتوی حاجی دهی[1]

[1] گروه فرآوری و محیط‌زیست معدنی، دانشکده مهندسی معدن، دانشکده معدن دانشکدگان فنی، دانشگاه تهران، تهران، ایران

[2] دانشکده محیط‌زیست، سازمان حفاظت محیط‌زیست، تهران، ایران

چکیده مبسوط

سابقه و هدف: ارزیابی ریسک به‌ویژه در حوزه زیست‌محیطی ابزاری کلیدی برای شناسایی، کنترل و کاهش مخاطرات ناشی از فعالیت‌های انسانی و صنعتی است. این فرآیند با تحلیل جامع تهدیدهای موجود، امکان مدیریت نظام‌مند و پیشگیری از پیامدهای منفی را فراهم می‌کند. با به‌کارگیری رویکردهای کاهش، حذف و جایگزینی، می‌توان ریسک‌های با شدت و احتمال بالا را شناسایی و به سطح پایین‌تری کاهش داد. این اقدامات به ایجاد تعادل میان فعالیت‌های انسانی و حفاظت از محیط‌زیست کمک کرده و از تخریب بیشتر اکوسیستم‌ها جلوگیری می‌کند. ادغام ارزیابی ریسک زیست‌محیطی در مراحل مختلف برنامه‌ریزی و اجرای پروژه‌ها تضمین می‌کند که تهدیدها شناسایی و کنترل شده، تأثیرات منفی به حداقل ممکن برسد. این فرآیند نقش مهمی در ایجاد محیطی پایدار و مدیریت صحیح منابع دارد که درنهایت به ارتقاء کیفیت زندگی و حفظ منابع طبیعی برای نسل‌های آینده منجر می‌شود.

مواد و روش‌ها: در این پژوهش به بررسی مسائل محیط‌زیست در بخش فرآیند تعمیر و نگهداری پست‌های انتقال و فوق توزیع برق در استان زنجان در سال ۱۳۹۷، با استفاده از دو مدل: ارزیابی ریسک حالات شکست و تجزیه‌وتحلیل اثرات (*FMEA*[1]) و ردیابی انرژی و تجزیه‌وتحلیل حفاظ‌ها (*ETBA*[2]) پرداخته شده است که در هر یک از مدل‌های مورداشاره، تعداد ۶۴ ریسک شناسایی شد.

نتایج و بحث: در نتیجه تلفیق این دو روش ریسک‌های محیط‌زیستی به طور کامل شناسایی شد که از جمله می‌توان به ریسک تلفات انرژی، آسیب به پرندگان و حیوانات، پسماندهای ویژه اشاره نمود. در پایان برای کنترل و مدیریت ریسک پیشنهاداتی ارائه شد، شامل: محصور کردن تجهیزات با فنس، بستن ورودی و خروجی کانال‌ها برای جلوگیری از ورود حیوانات به داخل کانال را می‌توان نام برد. نتایج این تحلیل شامل شناسایی انواع مختلف انرژی و نحوه رها شدن ناگهانی و غیرمنتظره آن‌ها، شناسایی انواع موانع و سیستم‌های کنترل انرژی، تعیین اهدافی که ممکن است تحت تأثیر آزادسازی ناخواسته انرژی قرار گیرند، محاسبه مقادیر ریسک مربوطه، ارزیابی عملکرد موانع و سیستم‌های کنترل انرژی و ارائه توصیه‌هایی برای کاهش سطح ریسک و تعیین مقدار ریسک باقیمانده بود.

نتیجه‌گیری: این مطالعه با استفاده از دو روش FMEA و ETBA به ارزیابی جامع ریسک‌های زیست‌محیطی در فرآیند تعمیر و نگهداری پست‌های انتقال و فوق‌توزیع برق استان زنجان پرداخته شد با شناسایی و تحلیل ۶۴ ریسک، نشان داده شد که سطوح شناسایی ریسک‌ها در هر دو روش مشابه است. از مهم‌ترین ریسک‌های شناسایی‌شده، تلفات انرژی بود که کاهش آن از طریق اصلاح و توسعه شبکه، بهینه‌سازی تجهیزات، برنامه‌ریزی مناسب برای تعمیرات و کاهش نشتی‌ها پیشنهاد شد. برای ریسک‌های متوسط نظیر آسیب به حیوانات و پرندگان، راهکارهایی چون محصور کردن تجهیزات با فنس، عایق‌کاری باسبارها و مطالعه رفتارشناسی حیوانات منطقه ارائه شد. در زمینه مدیریت پسماندهای خطرناک، مانند روغن‌های معدنی، تدوین دستورالعمل‌های جامع، جمع‌آوری مناسب و تحویل به مراکز بازیافت پیشنهاد شد. همچنین، کاهش مصرف آب و برق با اقداماتی از جمله استفاده از آبیاری قطره‌ای، تجهیزات کم‌مصرف و پنجره‌های دوجداره تأکید گردید. درنهایت، برای مدیریت پسماندهای اداری و حذف کاغذ از فرآیندهای اداری، توسعه سیستم‌های دیجیتال و فرهنگ‌سازی در تفکیک و مدیریت پسماند مطرح شد که نقش مؤثری در کاهش آلودگی‌ها و بهبود مستمر ایفا می‌کند.

واژه‌های کلیدی: حالات شکست و تجزیه‌وتحلیل اثرات آن، ردیابی انرژی‌ها و تجزیه‌وتحلیل حفاظ‌ها، صنعت برق، پست انتقال و فوق توزیع، تعمیر و نگهداری.

استناد به این مقاله: *سرخیل، ح.، صادقیان، م.، طالبی، الف.، آ. پرتوی حاجی دهی. ۱۴۰۵. مدل‌سازی ریسک زیست‌محیطی فرآیند تعمیر و نگهداری پست‌های انتقال و فوق توزیع برق زنجان با استفاده از روش‌های نوین یکپارچگی FMEA و ETBA. فصلنامه علوم محیطی نوین. ۲۴ (۱): ۲۲۱-۲۴۸.*

* **Corresponding Author Email Address:** sarkheil@ut.ac.ir
DOI: 10.48308/envs.2025.1469

Copyright: © 2026 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

مقدمه

امروزه اثرات ناشی از مخاطرات محیط‌زیستی، موجب نگرانی‌های عده‌ای شده است. در دهه‌های اخیر توجه به عواقب محیط‌زیستی‌ها و برنامه طرح‌ها و ریسک مربوط به وقوع آن به نحو مختلف مورد توجه سیاست‌گذاران قرارگرفته است. یکی از مقوله‌های مهم در این عرصه که کمتر به آن توجه شده، ارزیابی ریسک محیط‌زیستی است که می‌تواند به‌عنوان ابزار مناسبی برای بررسی آثار فعالیت‌های بشر بر محیط زیست به کار رود (Sarkheil *et al.*, 2016; Abbasi, 2013).

با توجه به رشد و توسعه تکنولوژی‌های نوین و لزوم به‌کارگیری نیروی برق جهت بهره‌برداری از بسیاری از این تکنولوژی‌ها مصرف برق و به‌تبع آن صنعت تولید، انتقال و توزیع برق در همه کشورها از جمله کشورمان رشد زیادی داشته است. با توجه به اینکه حیطه‌های جدید اثرگذاری صنعت برق بر انسان‌ها و محیط‌زیست مطرح می‌باشد (Rahmani and Omidari, 2015) لازم است اثرات سوء احتمالی آن‌ها مورد تحقیق و بررسی قرار گیرد و به منظور حذف، پیشگیری و یا کنترل حوادث و پیشامدهای ناگوار و بحران‌های احتمالی تدابیر لازم اتخاذ گردد (Eskandari *et al.*, 2012). مدیریت ریسک با برنامه‌ریزی، سازمان‌دهی، هدایت و کنترل فعالیت‌ها و دارایی‌های سازمان، اثرات سوء بر عملکرد و اقتصاد را که ممکن است بر اثر حوادث رخ دهد، به حداقل ممکن کاهش می‌دهد (Heidi *et al.*, 1999). به‌طورکلی، ریسک‌ها را نمی‌توان به طور کامل حذف کرد، اما می‌توان به حد قابل‌قبول کاهش داد (Sarkheil *et al.*, 2017; Sarkhil, and Tavakli, 2015)؛ بنابراین، هدف مدیریت ریسک ایجاد یک چارچوب نظام‌مند و مستمر به منظور شناسایی، ارزیابی، حذف، کنترل، پیشگیری، کاهش و ابلاغ ریسک‌ها است. لذا در فرآیند مدیریت ریسک، تصمیمات بر اساس مقایسه نتایج حاصل از ارزیابی ریسک و سطوح ریسک تعیین‌شده اتخاذ می‌گردد (Allen *et al.*, 2009; Andrew, 2003). در بخش فرآیند تعمیر و نگهداری پست‌های انتقال و فوق توزیع برق در استان زنجان به دلیل نیاز به تعمیر، نصب و جایگزینی تجهیزات الکترونیکی (رله‌های حفاظتی، تابلوهای برق، تابلوهای مخابراتی و...)، انتشار گاز هگزا فلوراید گوگرد (SF_6[3]) ، روغن‌های ترانس، مقره‌های سرامیکی، اسیدسولفوریک، گازوئیل، زباله و مواردی از این قبیل آلودگی محیط‌زیست و وجود شرایط ناایمن برای پرسنل و تجهیزات وجود خواهد داشت که شناسایی دقیق آن‌ها و بررسی ابعاد حوادث احتمالی و ارتباط تجمعی بین این حوادث و ریسک‌ها می‌تواند سودمند باشد.

در طول سالیان گذشته فرآیند شناسایی علل ریشه‌ای حوادث و نقص سیستم‌ها مراحل مختلفی را پشت سر گذاشته است؛ تا امروزه با پیشرفت روزافزون علم سبب شده از روش‌های مهندسی دقیقی نسبت به مدیریت انرژی و کنترل ریسک در راستای سیستم‌های مدیریت بهداشت، ایمنی و محیط‌زیستی (HSE) اقدام شود (Sarkheil *et al.*, 2020; Sarkheil and Rahbari, 2016).

تکنیک ردیابی انرژی و تجزیه‌وتحلیل حفاظ‌ها که به عنوان ابزاری جهت تجزیه‌وتحلیل اصولی علل حوادث مورد استفاده قرار می‌گیرد، روش ردیابی انرژی و تجزیه‌وتحلیل حفاظ‌ها، یک فرآیند تجزیه‌وتحلیل نظام‌مند است که با بررسی انرژی‌های موجود در سیستم و موانع موجود برای کنترل آن، به شناسایی خطرات کمک می‌کند (Kavousi, 2016; Rezaei, and Ghadiri, 2011). روش ردیابی انرژی و تجزیه‌وتحلیل حفاظ‌ها جهت تعیین علت‌هایی که ممکن است به بروز یک حادثه یا ضایعه کمک کند بسیار مفید است (Pinto, 2014; Habibi *et al.*, 2011). روش ردیابی انرژی و تجزیه‌وتحلیل حفاظ‌ها برای ارزیابی قابلیت اطمینان و صحت روش‌های کنترلی خطرات که در یک سیستم به کار رفته است، کاربرد دارد (Abbasi *et al.*, 2011; Ericson, 2005). همچنین روش حالات شکست و تجزیه‌وتحلیل اثرات آن بر محیط‌زیست یک روش کیفی ارزیابی پیامدهای

زیست‌محیطی است که قصد و هدف آن فراهم کردن ابزاری برای تسهیل کار شرکت‌ها است به‌طوری‌که توسعه تولید با ملاحظات محیطی همراه شود (Barendsa *et al.*, 2011). از بین تکنیک‌های ارزیابی ریسک یادشده روش حالات شکست و تجزیه‌وتحلیل اثرات آن تنها روش تحلیلی در ارزیابی ریسک است که بهتر می‌تواند خطرات بالقوه موجود در محدوده‌ها را ارزیابی و همچنین علل و اثرات مرتبط با آن را شناسایی و رتبه‌بندی کند (Liu *et al.*, 2023). از مزایای این روش می‌توان مناسب بودن آن در ارزیابی کمی ریسک و مطمئن بودن این روش برای پیش‌بینی مشکلات و تشخیص مؤثرترین راه‌حل پیشگیری از خطرات اشاره نمود (Sarkheil, 2021; Jensen *et al.*, 2001).

برای مدل‌سازی ریسک‌های محیط‌زیستی تعمیر و نگهداری پست‌های انتقال و فوق توزیع برق در استان زنجان بر مبنای روش ردیابی انرژی و تجزیه‌وتحلیل حفاظ‌ها و حالات شکست و تجزیه‌وتحلیل اثرات آن قبل از شروع فرایند لازم است نسبت به تشکیل تیم ارزیابی اقدام شود؛ بنابراین به دلیل تخصصی بودن فرایند، ملاک عمل برای انتخاب تیم ارزیابی تخصص و سمت افراد و میزان آشنایی آن‌ها با مفهوم ایمنی و ارزیابی ریسک بود که براین اساس از هر واحد، متخصص مربوطه جهت عضویت در تیم انتخاب می‌شود که شامل کارشناس خط، کارشناس پست، کارشناس مخابرات، کارشناس ایمنی، کارشناس بهره‌برداری، اپراتور پست می‌باشد. بعد از تشکیل تیم ارزیاب، فرایند ارزیابی با توجه به مدل‌های پیشنهادی به شرح زیر می‌باشد.

مواد و روش‌ها

ارزیابی ریسک با استفاده از روش اجرائی ردیابی انرژی و تجزیه‌وتحلیل حفاظ‌ها

۱- اولین گام در اجرای ردیابی انرژی و تجزیه‌وتحلیل حفاظ‌ها شناسایی فعالیت‌ها، خدمات و محصولات و شناسایی انواع انرژی‌های مرتبط با پروژه یا فرایند می‌باشد. برای شناسایی انواع خطرات بالقوه یا انرژی‌های موجود در سیستم، در این مرحله هرگونه مواد، مکانیسم و یا فرایند کاری که از پتانسیل آزادسازی انرژی و آسیب به اهداف سیستم برخوردار است گزارش تهیه می‌شود، هرگونه انرژی که آزادسازی آن در سیستم، پتانسیل آسیب به اهداف سیستم را دارد به عنوان انرژی‌های ناخواسته در نظر گرفته می‌شود. لیست انواع انرژی که می‌تواند در ارتباط با یک پروژه وجود داشته باشد مطابق جدول۱ جمع‌آوری می‌شود.

۲- برای هرکدام از انواع جریان انرژی باید محل‌هایی را که منشأ ایجاد انرژی بوده مشخص نموده و همچنین باید مسیرهای جریان انرژی یا همان اهداف بالقوه و مواردی که موانع قادر به ایجاد حفاظت کافی نباشد نیز مشخص شوند. کار ردیابی انرژی به وسیله مطالعه سیستم و دستورالعمل-های عملیاتی مقدور می‌شود. تجزیه‌وتحلیل موانع یا کنترل‌کننده‌های سیستم نیز باید به‌دقت صورت پذیرد. موانع می‌تواند به شکل‌های مختلفی مانند دیوارها، نرده‌ها، عایق‌ها، فاصله، موانع زمانی و... باشند.

۳-تعیین ریسک مربوط به خطرات آزاد شدن انرژی‌های ناخواسته و ناگهانی در سیستم با استفاده از ماتریس ارزیابی ریسک که به صورت کد ارزیابی ریسک[۴] است، انجام می‌شود. یکی از معروف‌ترین روش‌ها برای ارزیابی کیفی یا نیمه کمی در صنایع استاندارد نظامی آمریکا (MIL-std-882) است که در آن شدت واقعی از صدمات که به سیستم یا محیط وارد می‌شود و احتمال وقوع خطر با توجه به‌احتمال نسبی رخداد یک حادثه به صورت کیفی طبقه‌بندی می‌شوند. سپس با استفاده از ماتریس تصمیم‌گیری که با تلفیق عناصر شدت و احتمال خطر به دست می‌آید، شرایط مناسب برای پذیرش و یا رد ریسک‌های شناسایی‌شده صورت می‌گیرد (مطابق جداول شماره۲ الی شماره ۵).

۴- اقدامات اصلاحی و ارائه توصیه‌ها و پیشنهادات به منظور ایمن نمودن پروژه ارائه می‌شود. این اقدامات می‌تواند شامل برنامه‌هایی باشد که با تمرکز بر کاهش احتمال وقوع، شدت و یا هردو ارائه می‌شوند.

جدول ۱- چک‌لیست انواع انرژی (شیرالی، ۱۳۸۵ با اصلاحات)

Table 1- Checklist of types of energy (Shirali, 2006 with amendments)

۱	**انرژی الکتریکی**	۴۳	**انرژی گرمایی**
۲	جریان‌های متداول مستقیم یا متناوب	۴۴	تابشی
۳	انرژی الکتریکی ذخیره‌شده/ تخلیه الکتریکی	۴۵	جابه‌جایی
۴	تابش‌های الکترومغناطیس	۴۶	همرفت
۵	جریانات/ ولتاژهای القایی	۴۷	هدر رفت گرما
۶	کنترل‌کننده ولتاژها/ جریانات الکتریکی	۴۸	سیکل گرمایی
۷	جرم/ جاذبه/ ارتفاع	۴۹	تولید گرما
۸	سقوط فرد از ارتفاع/ زمین خوردن	۵۰	عوامل سبب‌شناسی/ اتیولوژیک
۹	ریزش/ سقوط اشیاء	۵۱	ویروس
۱۰	اشیاء معلق	۵۲	باکتری
۱۱	انرژی جنبشی/ چرخشی	۵۳	قارچ
۱۲	چرخ ها / چرخ‌دنده‌ها / ماشین‌آلات	۵۴	انگل
۱۳	حرکت فن/ پره‌های ملخی	۵۵	مسمومیت‌های بیولوژیک
۱۴	فشار/ حجم/ حرکت جنبشی	۵۶	انرژی تابشی
۱۵	افزایش فشار و ترکیدگی/ انفجار	۵۷	یونیزان
۱۶	افزایش خلأ	۵۸	غیر یونیزان
۱۷	ریزش مایع/ حالت شناوری/ افزایش و یا کاهش سطح مایع	۵۹	میدان‌های مغناطیسی
۱۸	انبساط سیالات/ جهش سیالات	۶۰	اشیاء یا موجودات زنده
۱۹	خارج شدن شیء از حالت حلقوی	۶۱	اعمال و عکس‌العمل‌های افراد
۲۰	حرکت هوا	۶۲	عکس‌العمل‌های حیوانات
۲۱	حرکت زمین/ حفاری و خاک‌برداری	۶۳	تأثیر درختان و بوته‌ها
۲۲	انرژی جنبشی خطی	۶۴	بلایای طبیعی
۲۳	پرتابه‌ها، موشک‌ها/ هواپیمای در پرواز	۶۵	زمین‌لرزه
۲۴	چکش‌ها، پایه کوب‌ها، قسمت‌های متحرک	۶۶	سیل/ غرق شدن
۲۵	قیچی‌ها، پرس‌ها	۶۷	بهمن/ ریزش کوه
۲۶	وسایل نقلیه/ تجهیزات متحرک	۶۸	رانش زمین
۲۷	فنرها، اشیاء تحت‌فشار	۶۹	فشردگی
۲۸	صدا/ ارتعاش	۷۰	آوار
۲۹	صدا	۷۱	جریانات آب زیرزمینی
۳۰	ارتعاش	۷۲	یخبندان
۳۱	نم/ رطوبت	۷۳	آتش‌فشان
۳۲	انرژی ناشی از مواد شیمیایی	۷۴	شرایط جوی
۳۳	بی‌هوشی آور/ خفگی آور شیمیایی	۷۵	جهت، تراکم، سرعت باد
۳۴	خوردگی	۷۶	باران
۳۵	مواد روان کننده/ حلال‌ها/ محلول‌ها	۷۷	برف
۳۶	مواد قابل‌تجزیه/ فسادپذیر	۷۸	الکترواستاتیک/ برق
۳۷	مواد ته‌نشین شده/ پسمانده	۷۹	ذرات گردوغبار/ آئروسل‌ها/ پودرها
۳۸	قابل‌انفجار	۸۰	درخشندگی خورشی/ نور خورشید
۳۹	مواد اکسیدکننده/ قابل‌احتراق/ خودسوز	۸۱	هدر رفت آب
۴۰	مواد قابل پلیمریزاسیون	۸۲	هدر رفت انرژی گاز
۴۱	مواد سمی/ سرطان‌زا/ آسیب‌زا (تراتوژن)	۸۳	باران اسیدی/ ابرهای بخار
۴۲	مواد زائد/ آلوده‌کننده	۸۴	هوا (معتدل/ سرد/ یخبندان، وارونگی هوا)

جدول۲- طبقه‌بندی شدت حادثه (استاندارد MIL-std-88213)

Table 2- Classification of accident severity (MIL-std-88213 standard)

تعریف	طبقه	نوع خطر
مرگ یا از بین رفتن سیستم.	1	فاجعه‌بار
جراحات، بیماری یا آسیب‌های وارده به سیستم شدید است.	2	بحرانی
جراحات، بیماری یا آسیب‌های وارده به سیستم کم است.	3	مرزی
جراحات، بیماری یا آسیب‌های وارده به سیستم بسیار جزئی است.	4	جزیی

جدول۳- درجات مختلف احتمال وقوع حادثه (MIL-std-882B)

Table 3- Different degrees of accident probability (MIL-std-882B)

پیامد	سطح	احتمال وقوع
احتمالاً به طور مکرر اتفاق می‌افتد.	A	مکرر (۱۰-۱) < X
به‌صورت متعدد در مدت زندگی یک آیتم اتفاق می‌افتد.	B	محتمل (۱۰-۲ < X < ۱۰-۱)
احتمالاً بعضی وقت‌ها اتفاق می‌افتد.	C	محتمل (۱۰-۳ < X < ۱۰-۲)
غیرمحتمل است، اما ممکن است احتمالاً اتفاق بیفتد.	D	محتمل (۱۰-۴ < X < ۱۰-۳)
بسیار احتمال وقوع آن کم است و می‌توان فرض کرد که خطر اتفاق نخواهد افتاد.	E	محتمل (۱۰-۴ > X)

جدول۴- ماتریکس ارزیابی ریسک (محمد فام، ۱۳۹۰)

Table 4- Risk assessment matrix (Mohammed Pham, 2011)

شدت خطر / احتمال وقوع	فاجعه‌بار	بحرانی	مرزی	جزیی
مکرر (A)	1A	2A	3A	4A
محتمل (B)	1B	2B	3B	4B
گاه‌به‌گاه (C)	1C	2C	3C	4C
ناچیز (D)	1D	2D	3D	4D
غیرمحتمل (E)	1E	2E	3E	4E

جدول۵- معیارهای تصمیم‌گیری بر اساس شاخص ریسک (محمد فام، ۱۳۹۰)

Table 5- Decision criteria based on risk index (Mohammed Pham, 2011)

طبقه‌بندی ریسک	معیار ریسک
1A1B1C2A2B3A	غیرقابل‌قبول.
1D2C2D3B3C	نامطلوب.
1E2E3D3E4A4B	قابل‌قبول با نیاز به تجدیدنظر.
4C4D4E	قابل‌قبول بدون نیاز به تجدیدنظر.

ارزیابی ریسک با استفاده از روش حالات شکست و تجزیه‌وتحلیل اثرات آن

پس از تشکیل تیم ارزیاب و جمع‌آوری اطلاعات لازم، ارزیابی ضریب تخریب محیط‌زیستی به روش تجزیه‌وتحلیل حالات شکست و اثرات آن بر محیط‌زیست انجام می‌شود (Hosseinpoor *et al.*, 2024; Dadashiet et *al.*, 2024). براین‌اساس، عدد اولویت ریسک موردنظر از ضرب سه پارامتر رتبه شدت، احتمال وقوع و گستره آلودگی محاسبه می‌شود. نحوه امتیازدهی به این صورت می‌باشد که برای پارامترها اعدادی بین ۱ تا ۵، نمره‌دهی می‌شود، به‌طوری‌که در شدیدترین حالت‌ها امتیاز ۵ و در کم‌ترین حالت‌ها امتیاز ۱ به پارامتر موردنظر تعلق می‌گیرد (طبق جداول۶ و۷ و۸) (وزدانی و همکاران، ۱۳۹۶).

جدول۶- گستردگی جنبه زیست‌محیطی (وزدانی و همکاران، ۱۳۹۶)
Table 6- Extent of the environmental aspect (Vazdani et al., 2017)

معیار	امتیاز
آلودگی خارج از سایت.	۵
آلودگی کل سایت را در بر می‌گیرد.	۴
آلودگی بخش اعظمی از سایت را در برمی‌گیرد.	۳
آلودگی بخش کوچکی از سایت را در بر می‌گیرد.	۲
آلودگی غیر قابل‌توجه.	۱

جدول۷- احتمال وقوع جنبه زیست‌محیطی (وزدانی و همکاران، ۱۳۹۶)
Table 7- Probability of environmental aspect (Vozdani et al., 2017)

معیار	امتیاز
یک‌بار در ماه یا کمتر.	۱
چند بار در ماه.	۲
چند بار در هفته.	۳
روزی یک‌بار.	۴
مداوم.	۵

جدول۸- شدت تأثیرات جنبه زیست‌محیطی (وزدانی و همکاران، ۱۳۹۶)
Table 8- Intensity of environmental effects (Vozdani et al., 2017)

معیار	امتیاز
تأثیرات بسیار کم.	۱
تأثیرات کم زیست‌محیطی/ ایجاد کمی مزاحمت یا ناراحتی جزئی.	۲
تأثیرات متوسط زیست‌محیطی/ مصرف منابع طبیعی و انرژی.	۳
تأثیرات قابل‌ملاحظه زیست‌محیطی/ تأثیرات سوء بر انسان و سایر موجودات زنده/ برهم زننده تعادل اکوسیستم.	۴
تأثیرات زیست‌محیطی/ تهدیدکننده زندگی انسان و سایر موجودات زنده.	۵

به‌طورکلی در روش حالات شکست و تجزیه‌وتحلیل اثرات آن هیچ عدد اولویت ریسک مبنایی وجود ندارد که بتوان داده‌ها را با آن مقایسه و سطوح ریسک‌ها را تعیین کرد. به همین دلیل در این تحقیق، به منظور تعیین سطح ریسک و تجزیه‌وتحلیل داده‌ها از روش‌های آماری استفاده شد. به این منظور ابتدا یک شاخص ریسک یا حد اطمینان ریسک، تعیین و سپس بر اساس آن سطوح ریسک‌ها مشخص گردید. بنابراین، پس از محاسبه عدد اولویت ریسک‌های به‌دست‌آمده که نشان‌دهنده ضریب تخریب محیط‌زیستی است، از رابطه‌های آماری ذیل جهت طبقه‌بندی سطوح ریسک استفاده شد.

رابطه محاسبه میانگین حسابی داده‌ها:

$$\bar{X} = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N} xi = \frac{X_1 + X_2 + \cdots X_3}{N} \qquad (۱)$$

رابطه محاسبه انحراف معیار:

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{N}\sum_{I=1}^{N}(X_i - \bar{X})^2} \qquad (۲)$$

X = میانگین حسابی

N =تعداد داده‌ها

Xi = (RPN)داده‌ها

با توجه به رابطه‌های فوق، کلیه جنبه‌ها در سه دسته جنبه-هایی با سطح ریسک پایین[5]، جنبه‌هایی با سطح ریسک متوسط[6] و جنبه‌هایی با سطح ریسک بالا[7] قرار گرفت و برای هریک از آن‌ها اقدامات اصلاحی و کنترلی پیشنهاد شد تا سطح ریسک آن‌ها تقلیل یابد (وزدانی و همکاران، ۱۳۹۶).

نتایج و بحث

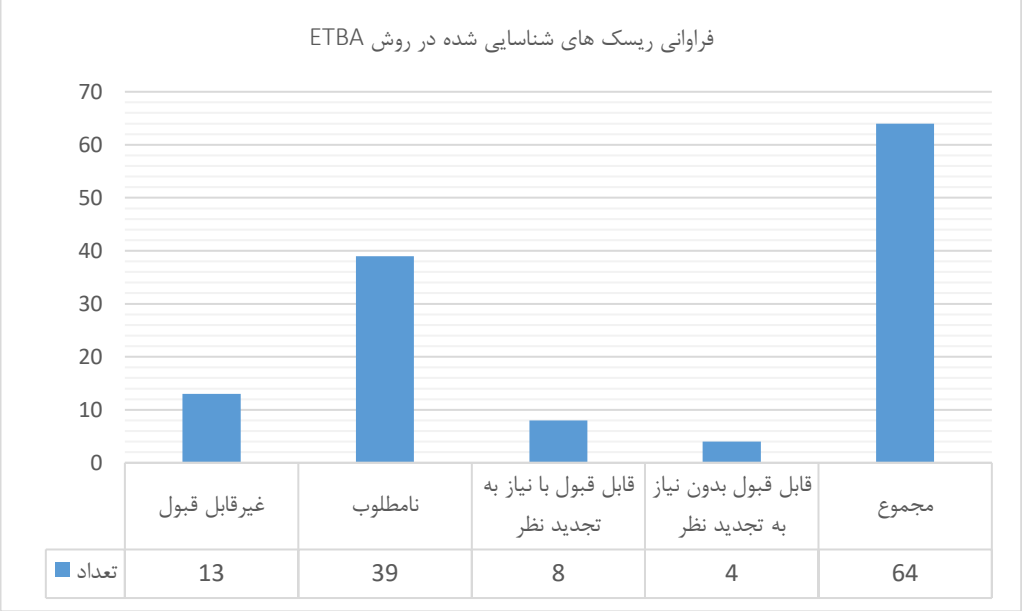
تجزیه‌وتحلیل داده‌های مربوط به مدل ردیابی انرژی و تجزیه‌وتحلیل حفاظ‌ها

در ارزیابی ریسک به روش ردیابی انرژی و تجزیه‌وتحلیل حفاظ‌ها و تجزیه‌وتحلیل دادهای مربوطه که همه موارد به‌تفصیل در جدول شماره ۹ آمده است (برای بررسی دیگر موارد جدول ۹ رجوع شود به پیوست شماره ۱) درمجموع ۶۴ ریسک شناسایی شد که ریسک‌ها و انرژی‌های شناسایی‌شده با تفکیک فراوانی هر دسته در شکل ۱ و ۲ آورده شده است. درمجموع ۵۲ مورد از ریسک‌های شناسایی‌شده غیرقابل‌قبول و نامطلوب بودند که لازم است با برنامه‌ریزی مناسب و با اجرای موارد پیشنهادی و کنترلی نسبت به حذف و یا کاهش ریسک تا محدوده قابل‌قبول اقدام شود.

جدول۹- ردیابی ریسک به روش ردیابی انرژی و تجزیه‌وتحلیل حفاظ‌ها

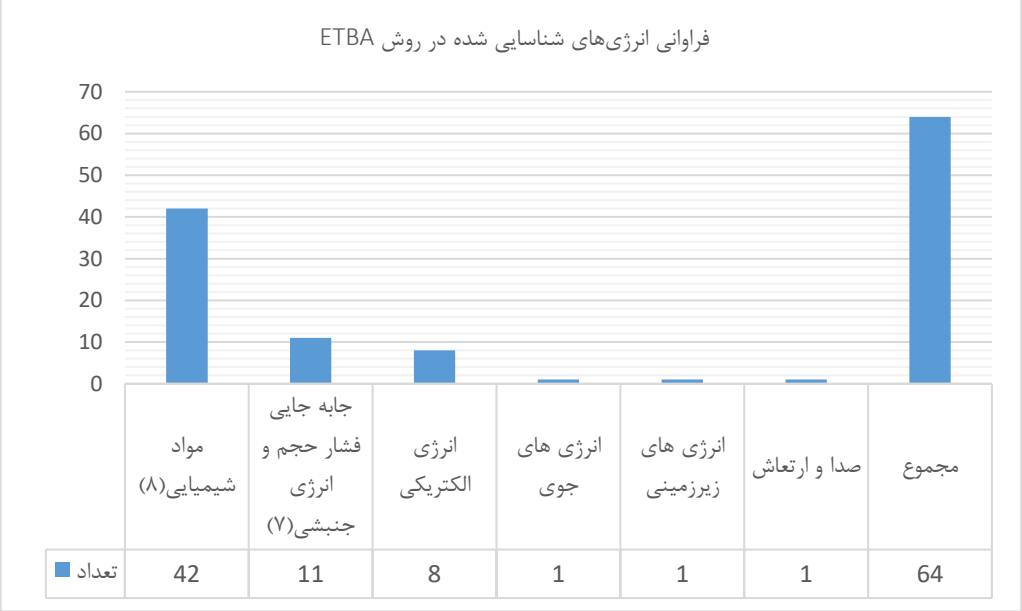
Table 9- Risk tracking by energy tracking and protection analysis

ردیابی انرژی و تجزیه‌وتحلیل حفاظ‌ها (ETBA)								
ردیف	فعالیت‌ها/ خدمات/ محصولات	نوع انرژی	توصیف رویداد ناخواسته	اهداف بالقوه در معرض تماس	حفاظ‌های موجود در مسیر جریان	سطح ریسک	ارزیابی کارایی کنترل‌کننده‌ها	کنترل و توصیه‌های پیشنهادی
۱	نمونه‌برداری روغن	مواد شیمیایی (۸)	نشت روغن معدنی، میست روغن	آلودگی آب، خاک و هوا	طراحی و نصب شیر گازی بر روی محل نمونه‌برداری	B۳	کافی نیست	نصب بشکه درب دار در محل پست‌ها آزمایشگاه، قرار دادن ظروف مناسب زیر شیرهای نمونه‌گیری و انتقال به‌موقع بشکه‌های پرشده به انبار مرکزی برای تحویل به شرکت‌های دارای مجوز بازیافت پسماندهای ویژه.
۲	فیدرهای فشار متوسط	جابه‌جایی فشار حجم و انرژی جنبشی (۷)	انفجار و آتش‌سوزی	آلودگی هوا، آسیب به حیوانات		C۳	کافی نیست	بازدید و سرویس به‌موقع، استفاده از اجناس باکیفیت، جلوگیری از نفوذ حشرات و حیوانات، نصب خاموش‌کننده اتوماتیک بر روی فیدر.
۳	فعالیت‌های شبکه مخابراتی بی‌سیم	انرژی الکتریکی	میدان مغناطیسی	آلودگی هوا و محیط		A۳	کافی نیست	رعایت فاصله استاندار در ایجاد تأسیسات جدید.



شکل ۱- نمودار فراوانی ریسک‌های شناسایی‌شده در روش ETBA

Fig. 1- Frequency diagram of risks identified in the ETBA method



شکل۲- نمودار فراوانی انرژی‌های شناسایی‌شده در روشETBA

Fig. 2- Frequency diagram of energies detected in ETBA method

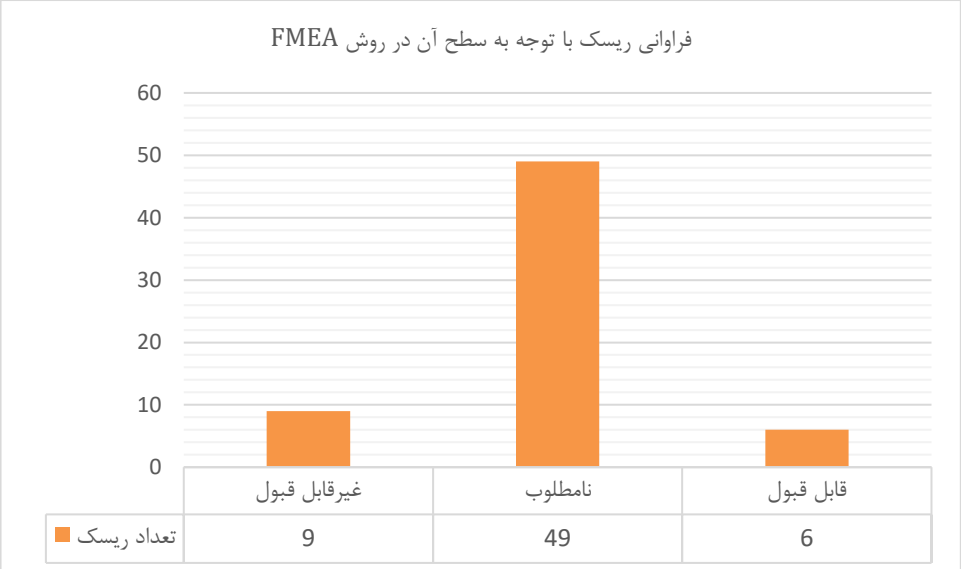
تجزیه‌وتحلیل داده‌های مربوط به روش حالات شکست و تجزیه‌وتحلیل اثرات آن

پس از شناسایی اثرات ناشی از تعمیر و نگهداری پست‌های انتقال و فوق توزیع و تعیین محیط‌های تحت تأثیر، ۶۴ ریسک ناشی از آن شناسایی گردید که توسط شاخص‌های موجود در روش حالات شکست و تجزیه‌وتحلیل اثرات آن ارزش‌گذاری گردیدند که در جدول ۱۰ به تفضیل آمده است (برای بررسی دیگر موارد جدول۱۰ رجوع شود به پیوست شماره ۲) و شکل۳ فراوانی ریسک‌ها با توجه به سطح آن‌ها (قابل‌قبول، نامطلوب، غیرقابل‌قبول) که توسط شاخص‌های موجود در روش حالات شکست و تجزیه‌وتحلیل اثرات آن ارزش‌گذاری شده است، نشان می‌دهد.

جدول ۱۰- ردیابی ریسک به روش حالات شکست و تجزیه‌وتحلیل اثرات آن

Table 10- Risk tracking by the method of failure modes and analysis of its effects

ردیف	فعالیت‌ها/ خدمات/ محصولات	جنبه زیست‌محیطی	پیامدها	کنترل‌های موجود	شدت اثر	احتمال وقوع	گستره آلودگی	سطح ریسک	کنترل و توصیه‌های پیشنهادی
					حالات شکست و تجزیه‌وتحلیل اثرات آن				
۱	نمونه‌برداری روغن	نشت روغن معدنی، میست روغن	آلودگی آب، خاک و هوا	طراحی و نصب شیر گازی بر روی محل نمونه‌برداری	۴	۲	۱	۸	نصب بشکه درب دار در محل پست‌ها آزمایشگاه، قرار دادن ظروف مناسب زیر شیرهای نمونه‌گیری و انتقال به‌موقع بشکه‌های پرشده به انبار برای تحویل به شرکت‌های دارای مجوز بازیافت پسماندهای ویژه.
۲	فیدرهای فشار متوسط	انفجار و آتش‌سوزی	آلودگی هوا، آسیب به حیوانات	سرویس دوره‌ای	۴	۱	۲	۸	بازدید و سرویس به‌موقع، استفاده از اجناس باکیفیت، جلوگیری از نفوذ حشرات و حیوانات، نصب خاموش‌کننده اتوماتیک بر روی فیدر.
۳	فعالیت‌های شبکه مخابراتی بی‌سیم	میدان مغناطیسی	آلودگی هوا و محیط		۲	۵	۱	۱۰	رعایت فاصله استاندار در ایجاد تأسیسات جدید.



شکل ۳- نمودار فراوانی ریسک‌ها با توجه به سطح آن‌ها (قابل‌قبول، نامطلوب، غیرقابل‌قبول) در روش FMEA

Fig. 3- Risk frequency diagram according to their level (acceptable, unfavorable, and unacceptable) in the FMEA method

با توجه به نتایج آماری به‌دست‌آمده از نرم‌افزار SPSS، میانگین برای ۶۴ داده (ریسک‌ها)، ۹/۸ و انحراف معیار ۴/۷ به دست آمد. به دنبال آن، مقادیر حد بالا، حد متوسط و حد پایین ریسک به شرح زیر محاسبه گردید و در جدول ۱۱ سطوح مختلف ریسک بر اساس عدد اولویت ریسک شرح داده شده است:

$$\text{حدبالا} = \sigma + 9.8 \cong 15$$

$$\text{حدپایین} = \sigma - 9.8 \cong 5$$

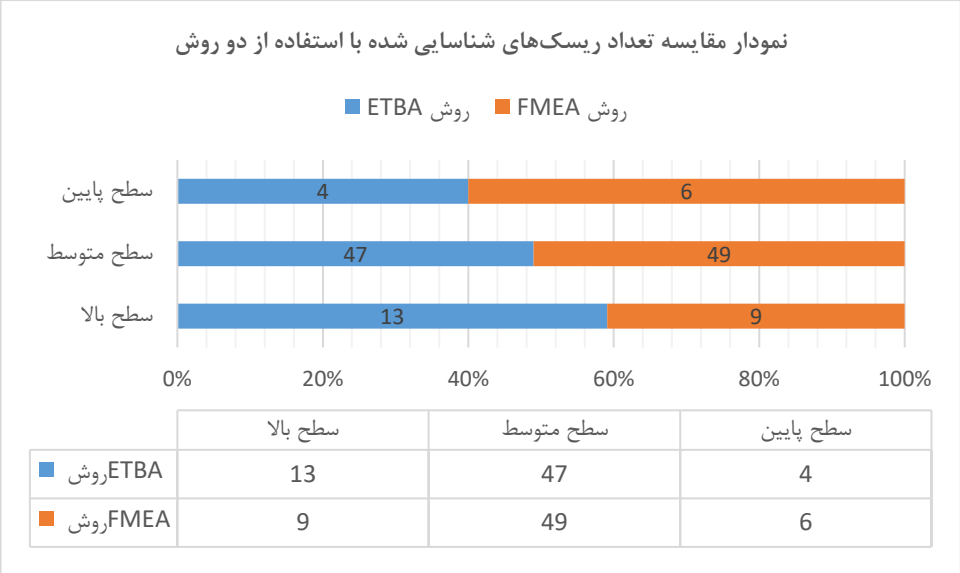
مطابق تقسیم، ۶ ریسک دارای سطح کم، ۴۹ ریسک دارای سطح متوسط و ۹ ریسک در سطح بالا قرار گرفتند که درنهایت اقدامات اصلاحی با هدف کاهش سطح ریسک‌هایی که دارای شرایط نامطلوب و غیرقابل‌قبول هستند جهت کاهش ریسک تا سطح قابل‌قبول ارائه شد.

در شکل ۴، ریسک‌های شناسایی‌شده از روش ردیابی انرژی و تجزیه‌وتحلیل حفاظ‌ها و روش ارزیابی ریسک حالات شکست و تجزیه‌وتحلیل اثرات آن بر اساس سطح ریسک با یک دیگر مقایسه شده است.

جدول ۱۱- سطوح مختلف ریسک بر اساس عدد اولویت ریسک

Table 11- Different risk levels based on the risk priority number

عدد اولویت ریسک:	توضیحات:
کمتر از حد پایین ریسک (RPN <۵)	قابل‌قبول و دارای شرایط طبیعی
بین حد بالا و حد پایین ریسک (۵< RPN <۱۵)	دارای شرایط غیرطبیعی و در حد متوسط
بیشتر از حد بالای ریسک (RPN>۱۵)	غیرقابل‌قبول و دارای شرایط اضطراری



شکل ۴- نمودار مقایسه تعداد ریسک‌های شناسایی‌شده با استفاده از دو روش

Fig. 4- Comparison chart of the number of identified risks using two methods

توجه: در نمودار بالا تعداد ریسک‌های نامطلوب و قابل‌قبول ولی نیاز به تجدیدنظر استخراج شده با استفاده از مدل ردیابی انرژی و تجزیه‌وتحلیل حفاظ‌ها در سطح متوسط در نظر گرفته شد.

هر دو روش FMEAو ETBA مورد استفاده در این تحقیق، ابزارهای کارآمد و نظام‌مندی برای شناسایی و ارزیابی ریسک هستند، اما روش‌شناسی و نقاط تمرکز آن‌ها منجر به دستاوردهای مشابه در شناسایی ریسک‌های محیط‌زیستی شده است. به‌طوری‌که در جدول ۱۲، جنبه‌های تحلیلی در این خصوص ارائه شده است.

جدول ۱۲- جنبه‌های اصلی مورد بررسی در روش‌شناسی و نقاط تمرکز روش‌های شناسایی و ارزیابی ریسک در تحقیق حاضر
Table 12- Key Aspects and Focus Areas of Methodologies for Risk Identification and Assessment in the Present Study

شماره	جنبه اصلی	توصیف
۱	ماهیت مکمل دو روش	روش FMEAبا تأکید بر شناسایی حالات شکست و اثرات مرتبط با آن‌ها، به شناسایی ریسک‌های عملکردی و عملیاتی تجهیزات می‌پردازد. در مقابل، روش ETBA با تمرکز بر ردیابی انرژی و تحلیل حفاظ‌ها، انواع انرژی‌های آزادشده و نحوه تأثیرگذاری آن‌ها بر محیط‌زیست را مورد بررسی قرار می‌دهد. اگرچه این دو روش از رویکردهای متفاوتی بهره می‌گیرند، ماهیت مکمل آن‌ها موجب شده که هر دو روش به شناسایی ریسک‌های کلیدی مشابهی نظیر تلفات انرژی، آسیب به حیات‌وحش و مدیریت پسماند منجر شوند. این هم‌پوشانی به دلیل جامعیت و گستردگی دامنه تحلیل در هر دو روش است.
۲	تمرکز بر ریسک‌های محیط‌زیستی	هر دو روش به‌طور ویژه بر ریسک‌های محیط‌زیستی تمرکز داشته‌اند که منجر به همگرایی نتایج شده است. برای مثال، ریسک‌های مرتبط با تلفات انرژی یا پسماندهای خطرناک در هر دو روش به دلیل اهمیت زیست‌محیطی و تأثیر بالای آن‌ها در اولویت شناسایی قرار گرفته‌اند. این هم‌پوشانی نشان‌دهنده کارایی روش‌های انتخاب‌شده برای اهداف این تحقیق است.
۳	ویژگی‌های خاص سیستم‌های توزیع برق	سیستم‌های توزیع برق، به دلیل ماهیت عملیاتی و تجهیزات فنی مشابه، الگوهای ریسک یکسانی را نشان می‌دهند. این مسئله باعث شده که هر دو روش به‌طور مشابه ریسک‌های مرتبط با این سیستم‌ها را شناسایی کنند. برای مثال، نشت روغن معدنی یا برخورد پرندگان با تجهیزات برق‌دار از چالش‌های رایج در این زیرساخت‌ها هستند که در هر دو روش مورد تأکید قرار گرفته‌اند.
۴	نیاز به تفسیر عمیق‌تر در مورد علل نتایج مشابه	شباهت نتایج این دو روش ممکن است به دلیل تمرکز بر حوزه‌های خاصی از ریسک‌ها باشد، درحالی‌که تحلیل سایر جنبه‌های ریسک (مانند ریسک‌های اقتصادی یا اجتماعی) می‌تواند به نتایج متنوع‌تری منجر شود؛ بنابراین، پیشنهاد می‌شود که در مطالعات آتی از ترکیب این دو روش با رویکردهای دیگری نظیر تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) یا مدل‌سازی مونت‌کارلو استفاده شود تا ابعاد مختلف ریسک‌های زیست‌محیطی و فنی مورد بررسی قرار گیرد.

درنهایت، نتایج حاصل از مطالعه حاضر، کارایی و جامعیت هر دو روش را در شناسایی ریسک‌های محیط‌زیستی نشان می‌دهد، اما تحلیل دقیق‌تر تفاوت‌ها و شباهت‌های نتایج می‌تواند به بهبود استراتژی‌های مدیریت ریسک در سیستم‌های توزیع برق کمک کند.

لازم به ذکر است که ریسک‌های شناسایی‌شده در این مطالعه عمدتاً بر پایه منابع درون‌سازمانی و فرآیندهای مرتبط با تعمیر و نگهداری پست‌های انتقال و فوق توزیع برق متمرکز بوده‌اند. بااین‌حال، ارزیابی ریسک‌های زیست‌محیطی می‌تواند به طور مستقیم یا غیرمستقیم به منابع برون‌سازمانی نیز مرتبط باشد، مانند عوامل خارجی نظیر تأثیرات آب و هوایی، حوادث طبیعی، یا دخالت‌های انسانی خارج از کنترل سازمان. در این پژوهش، موضوع پدافند غیرعامل به صورت جامع پوشش داده نشده است، اما اهمیت آن در مدیریت ریسک‌های برون‌سازمانی انکارناپذیر است؛ بنابراین، پیشنهاد می‌شود مطالعات تکمیلی و مستقل با تمرکز بر شناسایی و مدیریت ریسک‌های ناشی از منابع برون‌سازمانی و تهدیدات مرتبط

با پدافند غیرعامل انجام گیرد. این مطالعات می‌توانند شامل ارزیابی تاب‌آوری زیرساخت‌ها در برابر تهدیدات طبیعی و انسانی، تدوین راهبردهای پیشگیرانه و برنامه‌های واکنش اضطراری باشند که نقش مهمی در تکمیل مدیریت جامع ریسک ایفا خواهند کرد.

باید در نظر داشت که ریسک‌های مرتبط با فاز تعمیر و نگهداری معمولاً با ریسک‌های فاز بهره‌برداری تفاوت‌های قابل‌توجهی دارند، زیرا ماهیت فعالیت‌ها، اهداف و الزامات هر فاز در چرخه عمر سیستم‌های توزیع برق متفاوت است. در فاز بهره‌برداری، تمرکز اصلی بر تضمین عملکرد پایدار و ایمن تجهیزات است و ریسک‌ها عمدتاً شامل خرابی‌های پیش‌بینی‌نشده، نوسانات بار و مخاطرات زیست‌محیطی ناشی از عملیات روزمره می‌باشند. در مقابل، در فاز تعمیر و نگهداری، ریسک‌ها بیشتر مرتبط با فعالیت‌های انسانی، دسترسی به تجهیزات و احتمال بروز حوادث حین اجرای عملیات نگهداری یا تعمیرات هستند. برای ایجاد یکپارچگی مناسب بین فازهای مختلف چرخه عمر سیستم‌های توزیع برق، پیشنهاد می‌شود از رویکردهای مدیریت چرخه عمر دارایی، استفاده شود. این رویکرد شامل تدوین یک چارچوب یکپارچه برای ارزیابی و مدیریت ریسک‌ها در طول چرخه عمر سیستم، از طراحی و بهره‌برداری تا تعمیر و نگهداری و حتی بازنشستگی تجهیزات، است.

نتیجه‌گیری

نتایج این مطالعه نشان داد که دو روش ردیابی انرژی و تحلیل حفاظ‌ها و حالات شکست و تحلیل اثرات ابزارهای بسیار کارآمدی برای شناسایی و ارزیابی ریسک‌های محیط‌زیستی هستند. هر دو روش توانستند ریسک‌های مهم و سطح بالایی را که تهدیدکننده ایمنی، محیط‌زیست و عملکرد سیستم‌ها هستند، به‌طور دقیق شناسایی کرده و پیشنهادهایی عملی برای مدیریت و کاهش آن‌ها ارائه دهند.

ریسک‌های شناسایی‌شده و راهکارهای کاهش آن‌ها

ریسک تلفات انرژی: این ریسک به عنوان یکی از چالش‌های اصلی شناسایی شد. برای کاهش آن می‌توان اقداماتی مانند اصلاح و بهبود شبکه‌های برق، بهره‌برداری بهینه از ظرفیت ترانسفورماتورها، سرویس و نگهداری دوره‌ای تجهیزات، نوسازی دستگاه‌ها، کاهش نشتی‌ها و استفاده از تجهیزات باکیفیت را به کار گرفت. این اقدامات نه‌تنها بهره‌وری انرژی را بهبود می‌بخشند، بلکه خطرات مرتبط با تلفات انرژی را نیز به حداقل می‌رسانند.

آسیب به پرندگان و حیوانات: برخورد پرندگان و حیوانات با تجهیزات برق‌دار یکی دیگر از ریسک‌های شناسایی‌شده بود. راهکارهایی نظیر محصور کردن تجهیزات با فنس، انسداد ورودی و خروجی کانال‌های کابل، استفاده از عایق‌بندی روی هادی‌ها و باسبارها، بهره‌گیری از سیستم‌های التراسونیک و مطالعه رفتار زیستی گونه‌های جانوری منطقه پیشنهاد شد. این اقدامات می‌توانند با حفظ تنوع زیستی، تداخل زیست‌محیطی را به حداقل برسانند.

مدیریت پسماندهای خطرناک: مواد مخاطره‌آمیز مانند روغن معدنی و پسماندهای الکترونیکی نیازمند مدیریت ویژه‌ای هستند. تدوین دستورالعمل‌های مدیریت پسماند، نصب بشکه‌های درب‌دار در محل پست‌ها و آزمایشگاه‌ها، پیشگیری از نشت روغن به زمین و تحویل به شرکت‌های مجاز برای امحا یا بازیافت، از جمله راهکارهای مؤثر در این زمینه هستند. این اقدامات نه‌تنها خطرات زیست‌محیطی را کاهش می‌دهند، بلکه زمینه بازیافت پایدار را نیز فراهم می‌کنند.

کنترل مصرف آب: برای مقابله با هدررفت آب و افزایش بهره‌وری مصرف، روش‌هایی نظیر شناسایی و رفع نشتی لوله‌ها، استفاده از آبیاری قطره‌ای برای فضای سبز، نصب شیرهای الکترونیکی و مخازن سیفون با حجم کمتر و

همچنین نظارت دوره‌ای بر سیستم‌های مصرف پیشنهاد شد. این اقدامات به‌طور مستقیم در کاهش مصرف آب و جلوگیری از هدررفت منابع مؤثر هستند.

مدیریت مصرف برق: برای کاهش مصرف برق، اقداماتی مانند نصب پنجره‌های دوجداره، استفاده از لامپ‌های LEDدر تمامی تأسیسات، نصب سنسورهای حرکتی برای روشنایی، کنترل روشنایی محوطه با ساعت فرمان نجومی و ایجاد اتاقک‌های شیشه‌ای در اتاق‌های کنترل توصیه شد. این اقدامات همراه با آموزش و فرهنگ‌سازی می‌توانند مصرف انرژی را به طور قابل‌توجهی کاهش دهند.

مدیریت پسماندهای اداری: با هدف کاهش آلودگی‌های زیست‌محیطی، استفاده از سیستم‌های دیجیتال برای حذف کاغذ از فرایندهای اداری توصیه شد. راه‌اندازی سیستم‌های برنامه‌ریزی منابع سازمانی(ERP)، دیجیتالی کردن مکاتبات و ایجاد دستورالعمل‌هایی برای تفکیک پسماند و جمع‌آوری مجزا از جمله راهکارهای عملی در این زمینه است.

مدل‌های ردیابی انرژی و تحلیل حفاظ‌ها و حالات شکست و تحلیل اثرات با شناسایی انواع انرژی‌ها، نحوه آزادسازی ناگهانی آن‌ها، اهداف آسیب‌پذیر، کارایی حفاظ‌ها و ارائه اقدامات پیشنهادی برای کاهش ریسک، ابزارهایی نظام‌مند و مؤثر برای مدیریت ریسک‌های محیط‌زیستی هستند. این تکنیک‌ها نه‌تنها برای سیستم‌های موجود بلکه برای طراحی سیستم‌های جدید نیز کاربرد دارند و می‌توانند خطرات پنهان یا نادیده گرفته‌شده در مراحل اولیه طراحی را شناسایی کنند. درنهایت، حتی با رعایت کامل مقررات و اقدامات کاهش ریسک، بخشی از خطرات باقی خواهند ماند که باید به‌عنوان ریسک‌های اجتناب‌ناپذیر پذیرفته شوند؛ اما استفاده از این تکنیک‌ها، امکان کاهش چشمگیر این خطرات و افزایش ایمنی و پایداری سیستم‌ها را فراهم می‌کند.

سپاسگزاری

نویسندگان قدردان حمایت‌های معنوی دانشکده محیط زیست، سازمان حفاظت محیط زیست و همچنین دانشکده مهندسی معدن دانشکدگان فنی دانشگاه تهران، در راستای انجام و نگارش این پژوهش هستند.

پی‌نوشت‌ها

[1] Failare Mode & Effect Analysis
[2] Energy Trace and Barrier Analysis
[3] Sulfur hexafluoride
[4] Risk Assessment code (RAC)
[5] Low Risk (L)
[6] Medium risk(M)
[7] High Risk(H)

منابع

Andrew, J. 2003. Is Probabilistic Risk Assessment the Answer? The Journal of the RAC, First Quarter, pp. 5–12.

Barendsa, D.M., Oldenhofa, M.T., Vredenbregta, M.J., and Nautab, M.J., 2012. Risk analysis of analytical validations by probabilistic modification of FMEA. J. Pharmaceut. Biomed. Anal., 64–65, pp. 82–86.

Dadashi, T., Hosseinpoor, S., and Mohammadi, A. 2024. A comprehensive protocol for evaluating health, safety, and environmental risks of hospital solid waste through FMEA technique. MethodsX, 12, 102760. DOI: 10.1016/j.mex.2024.102760.

Ericson, A. 2005. Hazard Analysis Techniques for System Safety. Third edition. New Jersey: Wiley &

References

Abbasi, M. 2013. Environmental risk assessment and management of Alborz province electricity distribution company using FMEA method. The Third Environmental Planning and Management Conference, University of Tehran, Tehran.

Abbasi, S., Bakhtom, S., Ziaei, M., and Arghami, S. 2015. Comparison of Risk Assessment Using HAZOP and ETBA Techniques: Case Study of a Gasoline Refinery Unit in Iran. J. Hum. Environ. Health Promot. 1(1), pp. 19–27.

Allen, H. Hu., Hsu, C. W., Kuo, T. C., and Wu, W.-C. 2009. Risk evaluation of green components to hazardous substance using FMEA and FAHP. Expert Systems with Applications, 36, pp. 7142–7147.

Sons, pp. 335–351.

Eskandari, R., Soltani, A., Safari, M.A., and Yazdani, A.A. 2012. Risk assessment of the environmental crises of Alborz Province Electricity Distribution Company. The First International Conference on Environmental Crises in Iran and its Improvement Solutions, Islamic Azad University, Ahvaz Science and Research Branch, Kish Island.

Habibi, E., Zare, M., Barkhordari, A., Yousefi, H.A., and Morowatisharifabad, M.A. 2011. The Comparison of ETBA and HAZOPS Techniques. Process Safety Progress, 30(4), pp. 356–359.

Heidi, M. 1999. Assessment of risk by employees in hazardous workplaces. Safety Science Monitor, 3, pp. 45–56.

Hosseinpoor, S., Dadashi, T., and Mohammadi, A. 2024. Comprehensive analysis of hospital solid waste levels and HSE risks using FMEA technique: A case study in northwest Iran. Case Studies in Chemical and Environmental Engineering, 9, 100646. DOI: 10.1016/j.cscee.2024.100646.

Jensen, C., Johansson, M., Lindahl, M., and Magnusson, T. 2001. Environmental Effect Analysis (EEA) - Principles and Structure. Department of Technology, University of Kalmar, Sweden.

Kavousi, M. 2016. Energy tracking and protection analysis in the nitrogen production unit of the 7th South Pars Refinery using the ETBA method. The First National Energy Systems Conference, Islamic Azad University, Lamard Branch, Lamard.

Liu, P., Shen, M., and Geng, Y. 2023. Risk assessment based on failure mode and effects analysis (FMEA) and WASPAS methods under probabilistic double hierarchy linguistic term sets. Computers & Industrial Engineering, 186, 109758. DOI: 10.1016/j.cie.2023.109758.

Mohammadfam, I., and Kianfar, A. 2010. Application of Hazard and Operability Study (HAZOP) in Evaluation of Health, Safety, and Environmental (HSE) Hazards (Case Study: Oil Storage of National Iranian Oil Products Distribution Company). J. Environ. Sci. Technol. (JEST), 12, pp. 39–49.

Rahmani, S., and Omidari, M. 2015. Safety risk assessment in the electricity distribution process using the improved ETBA method and its ranking with VIKOR and TOPSIS models in a fuzzy environment. Occupational Health and Safety Quarterly, 6(1), pp. 12–25.

Rezaei, M., and Ghadiri, M. 2011. Identification of Risks and Their Management by Energy Trace and Barrier Analysis Technique (ETBA) in the Viscosity Decreasing Unit of one of the country's Oil Refinery Companies. The Fourth National Congress of HSE managers & Experts of Oil Ministry, Tabriz, pp. 52–57.

Sarkheil, H. and Tavakli, J. 2015. Inherent Safety. Jihad University Publications. Amir Kabir University of Technology Unit. First edition.

Sarkheil, H., Azimi, Y., and Rahbari, S. 2016. Modeling the assessment of air environmental quality using fuzzy logic in Pars Special Economic and Energy Zone; A case study in Asalouye, Bidkhon and Shirin regions. Environmental Science and Technology Quarterly.

Sarkheil, H., Azimi, Y., and Jafari Aghdash, J. 2017. An Innovative Permit to Work System Disconformities Identification (PTWDI) in the Commissioning and Start-Up Phases of South Pars Gas Complex. International Journal of Occupational Hygiene, 9(1), pp. 1–8.

Sarkheil, H., and Rahbari, S. 2016. HSE Key Performance Indicators in HSE-MS Establishment and Sustainability: A Case of South Pars Gas Complex, Iran. International Journal of Occupational Hygiene, 8(1), pp. 45–53.

Sarkheil, H., Tahery, B., Rayegani, B., Ramezani, J., Goshtasb, H., and Jahani, A. 2020. Evaluating the current status of the national health, safety, and environment management system for integration, harmonization, and standardization of environmental protection. Health Risk Analysis, 1, pp. 18–24. DOI: 10.21668/health.risk/2020.1.02.eng.

Sarkheil, H. 2021. Risk and incident analysis on key safety performance indicators and anomalies feedback in South Pars Gas Complex. Results in Engineering, 9, 100210. DOI: 10.1016/j.rineng.2021.100210.

Vazdani, S., Sabzegbaei, G., Dashti, S., and Chiraghi, M. 2017. Application of FMEA technique in environmental risk assessment. The 4th International Conference on Environmental Planning and Management, University of Tehran, Faculty of Environment, Tehran.

پیوست ۱

جدول۹- ردیابی ریسک به روش ردیابی انرژی و تجزیه‌وتحلیل حفاظ‌ها

Table 9- Risk tracking by energy tracking and protection analysis

ردیابی انرژی و تجزیه‌وتحلیل حفاظ‌ها (ETBA)								
ردیف	فعالیت‌ها/ خدمات/ محصولات	نوع انرژی	توصیف رویداد ناخواسته	اهداف بالقوه در معرض تماس	حفاظ‌های موجود در مسیر جریان	سطح ریسک	ارزیابی کارایی کنترل‌کننده‌ها	کنترل و توصیه‌های پیشنهادی
۱	نمونه‌برداری روغن	مواد شیمیایی (۸)	نشت روغن معدنی، میست روغن	آلودگی آب، خاک و هوا	طراحی و نصب شیر گازی بر روی محل نمونه‌برداری	B۳	کافی نیست	نصب بشکه درب دار در محل پست‌ها آزمایشگاه، قرار دادن ظروف مناسب زیر شیرهای نمونه‌گیری و انتقال به‌موقع بشکه‌های پرشده به انبار برای تحویل به شرکت‌های دارای مجوز بازیافت پسماندهای ویژه.
۲	تست روغن	مواد شیمیایی (۸)	نشت روغن معدنی، میست روغن	آلودگی آب، خاک و هوا	تهویه موضعی	B۳	کافی نیست	استفاده از تهویه با جاذب مناسب، سرویس تهویه و تعویض جاذب مطابق دستورالعمل‌ها، جمع‌آوری در ظروف دربسته و انتقال پسماند به انبار مطابق دستورالعمل مدیریت پسماند.
۳	سیرکوله روغن	مواد شیمیایی (۸)	نشت روغن	آلودگی آب، خاک و هوا		c۴	کافی است	استفاده از ظروف خالی در محل‌های اتصال برای جلوگیری از نشت‌های احتمالی، اطمینان از اتصالات، بازدید و نظارت مستمر، استفاده از لوله و شیلنگ نو و مناسب، رعایت دستورالعمل‌های ایمنی در نگهداری و حمل بشکه‌ها، استفاده از ظروف دربسته برای پسماند.
۴	تست‌های شیمیایی	مواد شیمیایی (۸)	نشت مواد شیمیایی	آلودگی آب، خاک و هوا	تهویه موضعی	c۳	کافی نیست	استفاده از تهویه با جاذب مناسب، سرویس تهویه و تعویض جاذب مطابق دستورالعمل‌ها، جمع‌آوری در ظروف دربسته و انتقال پسماند به انبار مطابق دستورالعمل مدیریت پسماند.
۵	فعالیت‌های اداری	جابه‌جایی فشار حجم و انرژی جنبشی (۷)	مصرف گاز	کاهش منابع	نصب شیرهای ترموستاتیک در رادیاتورها، استفاده از ساعت فرمان نجومی و سنسور حرکتی	A۴	کافی نیست	نصب پنجره‌های دوجداره، استفاده از لامپ‌های LED، ایجاد اتاقک‌های شیشه‌ای اپراتور داخل اتاق کنترل، نصب سنسور حرکتی و ساعت فرمان نجومی برای کنترل روشنایی محوطه پست‌ها، نظارت و بازدید دوره‌ای برای کنترل مصرف.
۶		جابه‌جایی فشار حجم و انرژی جنبشی (۷)	انفجار گاز	آسیب به تجهیزات، محیط‌زیست		D۲	کافی نیست	بازدید دوره‌ای، استفاده از تجهیزات گازی استاندارد، نصب دتکتور گاز.
۷	فعالیت‌های اداری	انرژی الکتریکی	مصرف برق	کاهش منابع	نصب شیرهای ترموستاتیک در رادیاتورها، استفاده از ساعت فرمان نجومی و سنسور حرکتی	A۳	کافی نیست	نصب پنجره‌های دوجداره، استفاده از لامپ‌های LED، ایجاد اتاقک‌های شیشه‌ای اپراتور داخل اتاق کنترل، نصب سنسور حرکتی و ساعت فرمان نجومی برای کنترل روشنایی محوطه پست‌ها، نظارت و بازدید دوره‌ای برای کنترل مصرف.
۸	فعالیت‌های اداری	جابه‌جایی فشار حجم و انرژی جنبشی (۷)	مصرف آب	کاهش منابع	استفاده از آبیاری قطره‌ای و شیرهای کم‌مصرف و چشم الکترونیکی	A۳	کافی نیست	استفاده از آبیاری قطره‌ای، استفاده از شیرهای کم‌مصرف، شیرهای چشم الکترونیکی، استفاده از مخازن سیفون با حجم کمتر، نظارت و بازدید دوره‌ای برای کنترل مصرف.

ادامه جدول۹- ردیابی ریسک به روش ردیابی انرژی و تجزیه‌وتحلیل حفاظ‌ها

Table 9 (cont.)- Risk tracking by energy tracking and protection analysis

ردیف	فعالیت‌ها/ خدمات/ محصولات	نوع انرژی	توصیف رویداد ناخواسته	اهداف بالقوه در معرض تماس	حفاظ‌های موجود در مسیر جریان	سطح ریسک	ارزیابی کارایی کنترل‌کننده‌ها	کنترل و توصیه‌های پیشنهادی
۹		مواد شیمیایی (۸)	تولید فاضلاب	کاهش منابع	استفاده از آبیاری قطره‌ای و شیرهای کم‌مصرف و چشم الکترونیکی، اتصال به فاضلاب شهری	A۳	کافی نیست	استفاده از آبیاری قطره‌ای، استفاده از شیرهای چشم الکترونیکی، استفاده از مخازن سیفون با حجم کمتر، نظارت و بازدید دوره‌ای برای کنترل مصرف.
۱۰	فعالیت‌های اداری	مواد شیمیایی (۸)	تولید پسماند خشک (کاغذ،CD، پلاستیک، نایلون و ...)	کاهش منابع	اتوماسیون اداری برای نامه‌ها و ایجاد شبکه ارتباط داخلی	B۳	کافی نیست	ایجاد سیستم یکپارچه سازمانی ERP و حذف کاغذ و انجام مکاتبات، مرخصی، مأموریت و انتقال فایل‌ها درون شرکت کاملاً به صورت سیستمی، فرهنگ‌سازی و آموزش، تفکیک پسماند با تدوین دستورالعمل و تعیین محل‌های جمع‌آوری مجزا برای پسماندها.
۱۱	تعمیر و نگهداری کامپیوتر	مواد شیمیایی (۸)	قطعات کامپیوتری، پرینتر، کارتریج	آلودگی آب، خاک و هوا	جمع‌آوری و انتقال به انبار	A۲	کافی نیست	تدوین دستورالعمل مدیریت پسماند (ایجاد محل جمع‌آوری مناسب برای ضایعات الکترونیک، انتقال ایمن و ارسال جهت بازیافت).
۱۲	سم‌پاشی درختان	مواد شیمیایی (۸)	استفاده از سم	آلودگی هوا و خاک		C۳	کافی نیست	استفاده از درختانی با نیاز کمتر به سم‌پاشی/ سم‌پاشی در روزهای تعطیل، استفاده از سموم با آسیب کمتر به محیط‌زیست.
۱۳	نظافت و شست‌وشو	مواد شیمیایی (۸)	استفاده از مواد شوینده، آب	آلودگی آب‌وخاک/ کاهش منابع		B۳	کافی نیست	استفاده از کاشی‌ها و سرامیک‌های آنتی باکتریال و خود تمیز شونده، صرفه‌جوئی در مصرف آب با استفاده از شیرهای کم‌مصرف/ آموزش و فرهنگ‌سازی در جهت استفاده بهینه از آب و مواد شوینده.
۱۴	فعالیت‌های آشپزخانه	مواد شیمیایی (۸)	زباله‌های تر و خشک و پلاستیکی	آلودگی خاک		B۳	کافی نیست	ایجاد ضایعات کمتر، تفکیک زباله‌ها، استفاده حداقلی از ظروف یک‌بارمصرف و در صورت نیاز مواد تجدید پذیر.
۱۵	تخلیه و بارگیری روغن تجهیزات حاوی روغن	مواد شیمیایی (۸)	نشت روغن	آلودگی آب‌وخاک		C۲	کافی نیست	رعایت نکات ایمنی/ آموزش و فرهنگ‌سازی/ نظارت مستمر.
۱۶	تخلیه و بارگیری مواد اسیدی	مواد شیمیایی (۸)	نشت اسید	آلودگی آب‌وخاک		C۲	کافی نیست	رعایت نکات ایمنی/ آموزش و فرهنگ‌سازی/ نظارت مستمر.
۱۷	کارکرد لیفتراک و جرثقیل	مواد شیمیایی (۸)	دود/ نشتی روغن/ مواد سوختی	آلودگی آب‌وخاک		C۳	کافی نیست	بازدید دوره‌ای، معاینه فنی، بازدید فنی و سرویس دوره‌ای لیفتراک‌ها به صورت مستمر.
۱۸	نگهداری و انبارش مواد شیمیایی، گاز و روغن	مواد شیمیایی (۸)	نشت مواد شیمیایی، روغن، گاز، انفجار	آلودگی آب‌وخاک	برگزاری آموزش، نصب سیستم اعلان حریق، نصب MSDS	A۲	کافی نیست	رعایت دستورالعمل‌ها و ایمنی انبارداری، بازدید و کنترل دوره‌ای، نصب اطفاء حریق خودکار و دتکتور گاز، آموزش و فرهنگ‌سازی مستمر، برگزاری مانور.

ادامه جدول۹- ردیابی ریسک به روش ردیابی انرژی و تجزیه‌وتحلیل حفاظ‌ها

Table 9 (cont.)- Risk tracking by energy tracking and protection analysis

ردیف	فعالیت‌ها/ خدمات/ محصولات	نوع انرژی	توصیف رویداد ناخواسته	اهداف بالقوه در معرض تماس	حفاظ‌های موجود در مسیر جریان	سطح ریسک	ارزیابی کارایی کنترل‌کننده‌ها	کنترل و توصیه‌های پیشنهادی
۱۹	تردد کامیون‌ها و تریلی‌های حمل کالا	مواد شیمیایی (۸)	دود/ نشتی روغن/ مواد سوختی	آلودگی آب‌وخاک و هوا		D۳	کافی نیست	رعایت دستورالعمل‌های ایمنی حمل‌ونقل، آموزش و فرهنگ‌سازی، برگزاری مانور برای شرایط اضطراری.
۲۰	نصب و راه‌اندازی ترانس‌های قدرت و فوق توزیع	مواد شیمیایی (۸)	نشتی روغن، ضایعات فلزی، ساختمانی، پخش سیلیکاژل	آلودگی آب‌وخاک	نظارت، جمع‌آوری و انتقال پسماندها	C۲	کافی نیست	استفاده از ظروف در محل نشتی/ جمع‌آوری و انتقال پسماندها به انبار و اقدام مطابق دستورالعمل‌ها/ نظارت و بازرسی مستمر.
۲۱	اورهال تعویض- روغن کلیدهای روغنی ۲۰ کیلوولت	مواد شیمیایی (۸)	نشتی روغن	آلودگی آب‌وخاک	تعمیر و نگهداری بر اساس گزارش و سرویس سالیانه	C۳	کافی نیست	استفاده از ظروف در محل نشتی/ تعویض کلیدهای روغنی با گازی.
۲۲	بریکرهای گازی (SF6)	جابه‌جایی فشار حجم و انرژی جنبشی (۷)	انفجار	آلودگی هوا (اثر گلخانه‌ای)	تعمیر و نگهداری بر اساس گزارش و سرویس سالیانه	C۲	کافی نیست	رعایت دستورالعمل، بازدید و سرویس دوره‌ای/ استفاده از دوربین لیزری GAS VUE جهت بازدید و تشخیص نشتی.
۲۳	بریکرهای گازی (SF6)	جابه‌جایی فشار حجم و انرژی جنبشی (۷)	نشت گاز (SF6)	آلودگی هوا (اثر گلخانه‌ای)	تعمیر و نگهداری بر اساس گزارش و سرویس سالیانه	C۲	کافی نیست	رعایت دستورالعمل/ دقت در اتصالات، بازدید و سرویس دوره‌ای/ استفاده از دوربین لیزری VUE GAS جهت بازدید و تشخیص نشتی.
۲۴	فیدرهای فشار متوسط	جابه‌جایی فشار حجم و انرژی جنبشی (۷)	انفجار و آتش‌سوزی	آلودگی هوا، آسیب به حیوانات		C۳	کافی نیست	بازدید و سرویس به‌موقع، جلوگیری از نفوذ حشرات و حیوانات، نصب خاموش‌کننده اتوماتیک بر روی فیدر.
۲۵	نصب و راه‌اندازی باطری	مواد شیمیایی (۸)	اسید، قلیا	آلودگی آب‌وخاک و هوا		C۳	کافی نیست	استفاده از باطری‌های خشک، نگهداری اسید و قلیا در ظروف سربسته جلوگیری از نشت آن، استفاده از تهویه دارای جاذب.
۲۶	تعمیر یا تعویض باطری‌های معیوب	مواد شیمیایی (۸)	ضایعات باطری آغشته به اسید یا قلیا	آلودگی آب‌وخاک و هوا	جمع‌آوری و انتقال به انبار	B۲	کافی نیست	جمع‌آوری و انتقال به انبار برای فروش جهت بازیافت / نظارت مستمر/ آموزش و فرهنگ‌سازی.
۲۷	رنگ‌کاری تجهیزات	مواد شیمیایی (۸)	رنگ	آلودگی آب، خاک و هوا		C۲	کافی نیست	جمع‌آوری ظروف و پسماند و انتقال به انبار، استفاده از رنگ‌های سازگاربامحیط‌زیست با پایه آبی.
۲۸	کارکرد دیزل ژنراتور	مواد شیمیایی (۸)	گازوئیل، روغن صنعتی، قطعات معیوب دیزل	آلودگی آب، خاک و هوا		C۳	کافی نیست	استفاده از ظروف برای جلوگیری از نشت گازوئیل در زمان تعمیر، جمع‌آوری و انتقال پسماندها به انبار، بازدید دوره‌ای و سرویس دوره‌ای، استفاده از اتصالات مناسب.

ادامه جدول۹- ردیابی ریسک به روش ردیابی انرژی و تجزیه‌وتحلیل حفاظ‌ها

Table 9 (cont.)- Risk tracking by energy tracking and protection analysis

ردیف	فعالیت‌ها/ خدمات/ محصولات	نوع انرژی	توصیف رویداد ناخواسته	اهداف بالقوه در معرض تماس	حفاظ‌های موجود در مسیر جریان	سطح ریسک	ارزیابی کارایی کنترل‌کننده‌ها	کنترل و توصیه‌های پیشنهادی
۲۹	تعویض درپوش‌های بتنی کانال‌ها	مواد شیمیایی (۸)	پسماند خشک	آلودگی تصویری و تخریب محیط‌زیست	تعویض دپوش‌های معیوب با سالم و خروج ضایعات از محیط	B۳	کافی نیست	استفاده از درپوش‌های نانو کامپوزیت.
۳۰	تعویض سیم و کابل داخل کانال‌ها، تابلوهای برق	مواد شیمیایی (۸)	ضایعات فلزی و الکترونیکی	آلودگی تصویری و تخریب محیط‌زیست	جمع‌آوری و انتقال به انبار به صورت غیر سیستمی	B۳	کافی نیست	جمع‌آوری و انتقال به انبار برای فروش جهت بازیافت مطابق دستورالعمل مدیریت پسماند.
۳۱	تمیز نمودن و روغن‌کاری تجهیزات پست	مواد شیمیایی (۸)	الکل، روغن صنعتی	آلودگی آب، خاک و هوا	جمع‌آوری و انتقال به انبار به صورت غیر سیستمی	B۴	کافی نیست	قرار دادن ظرف در محل تمیزکاری و انتقال پسماندها به انبار (تدوین دستورالعمل مدیریت پسماند).
۳۲	تعمیر یا تعویض تجهیزات پست	مواد شیمیایی (۸)	ضایعات فلزی و الکترونیکی	آلودگی تصویری و تخریب محیط‌زیست	جمع‌آوری و انتقال به انبار به صورت غیر سیستمی	B۳	کافی نیست	جمع‌آوری و انتقال به انبار برای فروش جهت بازیافت مطابق دستورالعمل مدیریت پسماند.
۳۳	تعمیر یا تعویض سیم ارت	مواد شیمیایی (۸)	ضایعات فلزی	آلودگی تصویری و تخریب محیط‌زیست	جمع‌آوری و انتقال به انبار به صورت غیر سیستمی	B۴	کافی نیست	جمع‌آوری و انتقال به انبار برای فروش جهت بازیافت مطابق دستورالعمل مدیریت پسماند.
۳۴	تعمیر و سرویس تابلوهای حفاظتی	مواد شیمیایی (۸)	ضایعات فلزی و الکترونیکی	آلودگی تصویری و تخریب محیط‌زیست	جمع‌آوری و انتقال به انبار به صورت غیر سیستمی	C۳	کافی نیست	جمع‌آوری و انتقال به انبار برای فروش جهت بازیافت مطابق دستورالعمل مدیریت پسماند.
۳۵	تعویض مقره	مواد شیمیایی (۸)	ضایعات مقره	آلودگی تصویری و تخریب محیط‌زیست	جمع‌آوری و انتقال به انبار به صورت غیر سیستمی	B۳	کافی نیست	جمع‌آوری و انتقال به انبار برای فروش جهت بازیافت مطابق با دستورالعمل مدیریت پسماند.
۳۶	تعمیر و سرویس تابلوهای مخابراتی و بی‌سیم	مواد شیمیایی (۸)	ضایعات الکترونیک و تجهیزات مخابراتی (خازن، مقاومت، سلف، رله، گوشی تلفن، آنتن و...)	آلودگی تصویری و تخریب محیط‌زیست	جمع‌آوری و انتقال به انبار به صورت غیر سیستمی	B۲	کافی نیست	جمع‌آوری و انتقال به انبار برای فروش جهت بازیافت مطابق دستورالعمل مدیریت پسماند.

ادامه جدول۹- ردیابی ریسک به روش ردیابی انرژی و تجزیه‌وتحلیل حفاظ‌ها

Table 9 (cont.)- Risk tracking by energy tracking and protection analysis

ردیف	فعالیت‌ها/ خدمات/ محصولات	نوع انرژی	توصیف رویداد ناخواسته	اهداف بالقوه در معرض تماس	حفاظ‌های موجود در مسیر جریان	سطح ریسک	ارزیابی کارایی کنترل‌کننده‌ها	کنترل و توصیه‌های پیشنهادی
۳۷	فعالیت‌های شبکه مخابراتی بی‌سیم	انرژی الکتریکی	میدان مغناطیسی	آلودگی هوا و محیط		A۳	کافی نیست	رعایت فاصله استاندار در ایجاد تأسیسات جدید.
۳۸		مواد شیمیایی (۸)	پسماند فلزی، الکترونیکی	آلودگی تصویری و تخریب محیط‌زیست	جمع‌آوری و انتقال به انبار به صورت غیر سیستمی	C۲	کافی نیست	جمع‌آوری پسماندها مطابق دستورالعمل‌ها، نظارت بر اجرای دستورالعمل‌ها.
۳۹	احداث تأسیسات	مواد شیمیایی (۸)	نخاله‌های ساختمانی، از بین بردن مراتع و منابع طبیعی	آلودگی تصویری و تخریب محیط‌زیست، کاهش مراتع و منابع طبیعی	جمع‌آوری و انتقال به صورت غیر سیستمی	C۳	کافی نیست	جمع‌آوری پسماندها مطابق دستورالعمل‌ها، نظارت بر اجرای دستورالعمل‌ها، ساخت پست‌های کمپکت.
۴۰		انرژی الکتریکی و آبی	مصرف منابع آب، برق	کاهش منابع		C۳	کافی نیست	نظارت بر اجرای دستورالعمل‌ها، صرفه‌جوئی در مصرف آب و برق با استفاده از تجهیزات کم‌مصرف.
۴۱	تردد ماشین‌آلات	مواد شیمیایی (۸)	دود/ نشتی روغن/ مواد سوختی	آلودگی هوا	معاینه فنی خودرو	C۴	کافی است	معاینه فنی خودرو مطابق استاندارد، سرویس دوره‌ای خودرو، استفاده از خودروهای نو با آلایندگی کمتر.
۴۲	مونتاژ ترانس‌ها	مواد شیمیایی (۸)	نشتی روغن، پخش سیلیکاژل	آلودگی آب‌وخاک	جمع‌آوری و انتقال به انبار به صورت غیر سیستمی	D۲	کافی نیست	استفاده از ظروف برای جلوگیری از ریختن روغن روی زمین، استفاده از سیلیکاژل نارنجی به جای آبی، جمع‌آوری و انتقال پسماند به انبار مطابق قوانین.
۴۳	کارکرد ترانس	انرژی الکتریکی	برق	برق‌گرفتگی پرندگان حیوانات	محصور کردن تجهیزات	D۱	کافی نیست	محصور کردن تجهیزات با فنس، بستن ورودی و خروجی کانال‌ها برای جلوگیری از ورود حیوانات.
۴۴		انرژی الکتریکی	میدان مغناطیسی	آلودگی محیط‌زیست		A۳	کافی نیست	رعایت فاصله استاندارد در ساخت ساختمان کنترل پست‌ها و رعایت آن در پست‌های شهری از مکان‌های عمومی و ساختمان‌های مسکونی.
۴۵		صدا و ارتعاش	ایجاد لرزش و سروصدا	آلودگی محیط‌زیست		A۳	کافی نیست	مهار کردن ترانس‌ها، سرویس به‌موقع استفاده از جاذب صدا و لرزه در زمان نصب و یا ساخت ترانس.
۴۶		مواد شیمیایی (۸)	ضایعات سیلیکاژل آبی	آلودگی آب‌وخاک و هوا		C۳	کافی نیست	استفاده از سیلیکاژل نارنجی، مدیریت پسماند با تدوین دستورالعمل مناسب.
۴۷		مواد شیمیایی (۸)	نشت روغن	آلودگی آب‌وخاک و هوا، حریق	ایجاد حوضچه زیر ترانس، استقرار سیستم اطفاء دستی	C۲	کافی نیست	طراحی و مکان‌یابی مناسب جهت به حداقل رساندن آسیب‌ها، سرویس دوره‌ای، بازدید مستمر و مؤثر، اقدام فوری جهت رفع عیب.

ادامه جدول۹- ردیابی ریسک به روش ردیابی انرژی و تجزیه‌وتحلیل حفاظ‌ها

Table 9 (cont.)- Risk tracking by energy tracking and protection analysis

ردیف	فعالیت‌ها/ خدمات/ محصولات	نوع انرژی	توصیف رویداد ناخواسته	اهداف بالقوه در معرض تماس	حفاظ‌های موجود در مسیر جریان	سطح ریسک	ارزیابی کارایی کنترل‌کننده‌ها	کنترل و توصیه‌های پیشنهادی
۴۸		جابه‌جایی فشار حجم و انرژی جنبشی	انفجار تجهیزات، آتش‌سوزی،	آلودگی آب، هوا، خاک، محیط	استقرار خاموش‌کننده‌های آماده‌به‌کار، آموزش اطفاء حریق، نظارت و بازدید تجهیزات	D۱	کافی نیست	بازدید و سرویس دوره‌ای، استفاده از تجهیزات باکیفیت، برگزاری مانور.
۴۹	کارکرد تجهیزات الکتریکی پست	انرژی الکتریکی	میدان مغناطیسی	آلودگی هوا و محیط		A۳	کافی نیست	رعایت فاصله استاندارد در ساخت ساختمان‌های کنترل و ساخت پست‌های برق داخل شهر.
۵۰		مواد شیمیایی (۸)	نشت روغن	آلودگی آب، هوا، خاک، محیط		C۲	کافی نیست	تعویض کابل‌های روغنی با نوع خشک، بازدید و سرویس دوره‌ای تجهیزات، استقرار ظروف مناسب برای استفاده در زمان وجود نشتی.
۵۱		انرژی الکتریکی	تلفات انرژی	کاهش منابع		A۲	کافی نیست	اصلاح، بهبود و توسعه شبکه، استفاده مناسب از ظرفیت ترانسفورماتورها، داشتن برنامه مناسب سرویس تجهیزات، نوسازی تجهیزات، حداقل رساندن نشتی‌ها.
۵۲		انرژی الکتریکی	برق	آسیب به پرندگان، حیوانات		D۱	کافی نیست	محصور کردن تجهیزات با فنس، بستن ورودی و خروجی کانال‌ها برای جلوگیری از ورود حیوانات.
۵۳		انرژی‌های جوی	باد، برف و باران، رعدوبرق، گردوخاک	آلودگی آب، هوا، خاک، محیط کاهش منابع	تهیه لجن کش، مقاوم‌سازی تجهیزات، سرویس و شست‌وشوی مداوم	C۲	کافی نیست	نظارت مستمر، رعایت دستورالعمل‌ها، مطالعه و پایش و شناسایی نقاط ضعف به صورت مستمر، مکان‌یابی مناسب و مقاوم‌سازی تجهیزات و تأسیسات در برابر شرایط بحرانی، آموزش نیروی انسانی، برگزاری مانور.
۵۴		انرژی‌های زیرزمینی	زلزله، آب‌های زیرزمینی	آلودگی آب، هوا، خاک، محیط کاهش منابع	ساخت تأسیسات و تجهیزات ضد زلزله، اصلاح و بهینه‌سازی	D۲	کافی نیست	نظارت مستمر، رعایت دستورالعمل‌ها، مطالعه و پایش و شناسایی نقاط ضعف به صورت مستمر و مقاوم‌سازی، انتخاب محل مناسب جهت احداث پست، آموزش و برگزاری مانور.
۵۵	کارکرد تجهیزات الکتریکی پست	جابه‌جایی فشار حجم و انرژی جنبشی (۷)	کپسول co2	آلودگی خاک	تست هیدرو استاتیکی، سرویس و نگهداری دوره‌ای	E۴	کافی است	
۵۶		جابه‌جایی فشار حجم و انرژی جنبشی (۷)	کپسول پودروگاز	آلودگی هوا، خاک	تست هیدرو استاتیکی، سرویس و نگهداری دوره‌ای	E۴	کافی است	
۵۷	تعمیر و نگهداری تأسیسات ساختمان	مواد شیمیایی (۸)	مواد زائد آغشته به روغن، گریس، چسب و غیره	آلودگی آب، هوا، خاک، محیط	جمع‌آوری و انتقال پسماندها	B۳	کافی نیست	تدوین دستورالعمل مدیریت پسماند، جمع‌آوری پسماندها و انتقال به انبار
۵۸		مواد شیمیایی (۸)	رنگ، ضایعات فلزی، پلاستیکی	آلودگی آب، هوا، خاک، محیط	جمع‌آوری و انتقال پسماندها	B۳	کافی نیست	تدوین دستورالعمل مدیریت پسماند، جمع‌آوری پسماندها و انتقال به انبار.

ادامه جدول۹- ردیابی ریسک به روش ردیابی انرژی و تجزیه‌وتحلیل حفاظ‌ها

Table 9 (cont.)- Risk tracking by energy tracking and protection analysis

ردیف	فعالیت‌ها/ خدمات/ نوع انرژی محصولات		توصیف رویداد ناخواسته	اهداف بالقوه در معرض تماس	حفاظ‌های موجود در مسیر جریان	سطح ریسک	ارزیابی کارایی کنترل‌کننده‌ها	کنترل و توصیه‌های پیشنهادی
۵۹		مواد شیمیایی (۸)	تولید ضایعات لامپ‌های جیوه‌ای سوخته و چراغ‌های شکسته و فرسوده (قاب و حباب)	آلودگی آب، هوا، خاک، محیط	جمع‌آوری و انتقال پسماندها	B۲	کافی نیست	تدوین دستورالعمل مدیریت پسماند، جمع‌آوری پسماندها و انتقال به انبار.
۶۰		مواد شیمیایی (۸)	دتکتورهای معیوب سیم، روکش سیم	آلودگی خاک، محیط	جمع‌آوری و انتقال پسماندها	C۳	کافی نیست	تدوین دستورالعمل مدیریت پسماند، جمع‌آوری پسماندها و انتقال به انبار.
۶۱	تعمیر و نگهداری سیستم اعلام و اطفاء حریق	جابه‌جایی فشار حجم و انرژی جنبشی (۷)	انفجار سیلندر co2	آلودگی خاک، محیط		E۲	کافی نیست	شارژ در محل مناسب و مطابق استاندارد.
۶۲		جابه‌جایی فشار حجم و انرژی جنبشی (۷)	انفجار سیلندر نیتروزن	آلودگی خاک، محیط		E۲	کافی نیست	شارژ در محل مناسب و مطابق استاندارد.
۶۳	تعمیر و نگهداری سیستم اعلام و اطفاء حریق	مواد شیمیایی (۸)	ضایعات کپسول، قطعات کپسول	آلودگی خاک، محیط	جمع‌آوری و انتقال پسماندها	E۳	کافی نیست	تدوین دستورالعمل مدیریت پسماند، جمع‌آوری پسماندها و انتقال به انبار.
۶۴		مواد شیمیایی (۸)	پودر کپسول‌های اطفاء، گاز CO2	آلودگی آب، هوا، خاک، محیط	جمع‌آوری و انتقال پسماندها	E۳	کافی نیست	تدوین دستورالعمل مدیریت پسماند، جمع‌آوری پسماندها و انتقال به انبار انجام شارژ در محیط دارای تهویه یا باز.

پیوست۲

جدول ۱۰- ردیابی ریسک به روش حالات شکست و تجزیه‌وتحلیل اثرات آن

Table 10- Risk tracking by the method of failure modes and analysis of its effects

ردیف	فعالیت‌ها/ خدمات/ محصولات	جنبه محیط‌زیستی	پیامدها	حالات شکست و تجزیه‌وتحلیل اثرات آن: کنترل‌های موجود	شدت اثر	احتمال وقوع	گستره آلودگی	سطح ریسک	کنترل و توصیه‌های پیشنهادی
۱	نمونه‌برداری روغن	نشت روغن معدنی، میست روغن	آلودگی آب، خاک و هوا	طراحی و نصب شیر گازی بر روی محل نمونه‌برداری	۴	۲	۱	۸	نصب بشکه درب دار در محل پست‌ها آزمایشـگاه، قرار دادن ظروف مناسب زیر شیرهای نمونه‌گیری و انتقال به‌موقع بشکه‌های پرشده به انبار برای تحویل به شرکت‌های دارای مجوز بازیافت پسماندهای ویژه.
۲	تست روغن	نشت روغن معدنی، میست روغن	آلودگی آب، خاک و هوا	تهویه موضعی	۴	۲	۱	۸	استفاده از تهویه با جاذب مناسب، سرویس تهویه و تعویض جاذب مطابق دستورالعمل‌ها، جمع‌آوری در ظروف دربسته و انتقال پسماند به انبار مطابق دستورالعمل مدیریت پسماند.
۳	سیرکوله روغن	نشت روغن	آلودگی آب، خاک و هوا		۴	۱	۳	۱۲	استفاده از ظروف خالی در محل‌های اتصال برای جلوگیری از نشت‌های احتمالی، اطمینان از اتصالات، بازدید و نظارت مستمر، استفاده از لوله و شیلنگ نو و مناسب، رعایت دستورالعمل‌های ایمنی در نگهداری و حمل بشکه‌ها، استفاده از ظروف دربسته برای پسماند.
۴	تست‌های شیمیایی	نشت مواد شیمیایی	آلودگی آب، خاک و هوا	تهویه موضعی	۳	۲	۱	۶	استفاده از تهویه با جاذب مناسب، سرویس تهویه و تعویض جاذب مطابق دستورالعمل‌ها، جمع‌آوری در ظروف دربسته و انتقال پسماند به انبار مطابق دستورالعمل مدیریت پسماند.
۵	فعالیت‌های اداری	مصرف گاز	کاهش منابع	نصب شیرهای ترموستاتیک در رادیاتورها، استفاده از ساعت فرمان نجومی و سنسور حرکتی	۱	۵	۱	۵	نصب پنجره‌های دوجداره، استفاده از لامپ‌های LED، ایجاد اتاقک‌های شیشه‌ای اپراتور داخل اتاق کنترل، نصب سنسور حرکتی و ساعت فرمان نجومی برای کنترل روشنایی، نظارت و بازدید دوره‌ای برای کنترل مصرف.
۶		انفجار گاز	آسیب به تجهیزات، محیط‌زیست		۴	۱	۲	۸	بازدید دوره‌ای، استفاده از تجهیزات گازی استاندارد، نصب دتکتور گاز.
۷		مصرف برق	کاهش منابع	نصب شیرهای ترموستاتیک در رادیاتورها، استفاده از ساعت فرمان نجومی و سنسور حرکتی	۲	۵	۲	۲۰	نصب پنجره‌های دوجداره، استفاده از لامپ‌های LED، ایجاد اتاقک‌های شیشه‌ای اپراتور داخل اتاق کنترل، نصب سنسور حرکتی و ساعت فرمان نجومی برای کنترل روشنایی، نظارت دوره‌ای برای کنترل مصرف.
۸		مصرف آب	کاهش منابع	استفاده از آبیاری قطره‌ای و شیرهای کم‌مصرف و چشم الکترونیکی	۲	۵	۲	۲۰	استفاده از آبیاری قطره‌ای، استفاده از شیرهای کم‌مصرف و چشم الکترونیکی، استفاده از مخازن سیفون با حجم کمتر، نظارت و بازدید دوره‌ای برای کنترل مصرف.
۹		تولید فاضلاب	کاهش منابع	استفاده از آبیاری قطره‌ای و شیرهای کم‌مصرف و چشم الکترونیکی، اتصال به فاضلاب شهری	۲	۵	۲	۲۰	استفاده از آبیاری قطره‌ای، استفاده از شیرهای چشم الکترونیکی، استفاده از مخازن سیفون با حجم کمتر، نظارت و بازدید دوره‌ای برای کنترل مصرف.

ادامه جدول ۱۰- ردیابی ریسک به روش حالات شکست و تجزیه‌وتحلیل اثرات آن

Table 10 (cont.)- Risk tracking by the method of failure modes and analysis of its effects

ردیف	فعالیت‌ها/ خدمات/ محصولات	جنبه محیط‌زیستی	پیامدها	کنترل‌های موجود	شدت اثر	احتمال وقوع	گستره آلودگی	سطح ریسک	کنترل و توصیه‌های پیشنهادی
۱۰	فعالیت‌های اداری	تولید پسماند خشک (کاغذ، پلاستیک، نایلون و ...)	کاهش منابع	اتوماسیون اداری برای نامه‌ها و ایجاد شبکه ارتباط داخلی	۲	۵	۱	۱۰	ایجاد سیستم یکپارچه سازمانی ERP و حذف کاغذ و انجام مکاتبات، مرخصی، مأموریت و انتقال فایل‌ها درون شرکت کاملاً به صورت سیستمی، فرهنگ‌سازی و آموزش، تفکیک پسماند با تدوین دستورالعمل و تعیین محل‌های جمع‌آوری مجزا برای پسماندها.
۱۱	تعمیر و نگهداری کامپیوتر	قطعات کامپیوتری، پرینتر، کارتریج	آلودگی آب، خاک و هوا	جمع‌آوری و انتقال به انبار	۴	۲	۲	۱۶	تدوین دستورالعمل مدیریت پسماند (ایجاد محل جمع‌آوری مناسب برای ضایعات الکترونیک، انتقال ایمن و ارسال جهت بازیافت).
۱۲	سم‌پاشی درختان	استفاده از سم	آلودگی هوا و خاک	استفاده از تجهیزات حفاظت فردی	۴	۱	۲	۸	استفاده از درختان با نیاز کمتر به سم‌پاشی/ سم‌پاشی در روزهای تعطیل، استفاده از سموم با آسیب کمتر به محیط‌زیست.
۱۳	نظافت و شست‌وشو	استفاده از مواد شوینده، آب	آلودگی آب‌وخاک/ کاهش منابع	استفاده از تجهیزات حفاظت فردی	۲	۵	۱	۱۰	استفاده از کاشی‌ها و سرامیک‌های آنتی باکتریال و خود تمیز شونده، صرفه‌جوئی در مصرف آب/ آموزش و فرهنگ‌سازی در جهت استفاده بهینه از آب و مواد شوینده.
۱۴	فعالیت‌های آشپزخانه	زباله‌های تر و خشک و پلاستیکی	آلودگی خاک		۱	۵	۲	۱۰	ایجاد ضایعات کمتر، تفکیک زباله‌ها، استفاده حداقلی از ظروف یک‌بارمصرف و در صورت نیاز مواد تجدید پذیر.
۱۵	تخلیه و بارگیری روغن تجهیزات حاوی روغن	نشت روغن	آلودگی آب‌وخاک		۴	۱	۳	۱۲	رعایت نکات ایمنی / آموزش و فرهنگ‌سازی/ نظارت مستمر.
۱۶	تخلیه و بارگیری مواد اسیدی	نشت اسید	آلودگی آب‌وخاک		۴	۱	۳	۱۲	رعایت نکات ایمنی / آموزش و فرهنگ‌سازی/ نظارت مستمر.
۱۷	کارکرد لیفتراک و جرثقیل	دود/ نشتی روغن/ مواد سوختی	آلودگی آب‌وخاک		۲	۳	۱	۶	بازدید دوره‌ای، معاینه فنی، بازدید فنی و سرویس دوره‌ای لیفتراک‌ها به صورت مستمر.
۱۸	نگهداری و انبارش مواد شیمیایی، گاز و روغن	نشت مواد شیمیایی، روغن، گاز، انفجار	آلودگی آب‌وخاک	برگزاری آموزش، نصب سیستم اعلان حریق، نصب MSDS	۴	۱	۳	۱۲	رعایت دستورالعمل‌ها و ایمنی انبارداری، بازدید و کنترل دوره‌ای، نصب اطفاء حریق خودکار و دتکتور گاز، آموزش و فرهنگ‌سازی مستمر، برگزاری مانور.
۱۹	تردد کامیون‌ها و تریلی‌های حمل کالا	دود/ نشتی روغن/ مواد سوختی	آلودگی آب‌وخاک و هوا	معاینه فنی	۲	۲	۱	۴	رعایت دستورالعمل‌های ایمنی حمل‌ونقل، آموزش و فرهنگ‌سازی، برگزاری مانور برای شرایط اضطراری.
۲۰	نصب و راه‌اندازی ترانس‌های قدرت و فوق توزیع	نشتی روغن، ضایعات فلزی، ساختمانی، پخش سیلیکاژل	آلودگی آب‌وخاک	نظارت، جمع‌آوری و انتقال پسماندها به انبار مرکزی	۴	۱	۳	۱۲	استفاده از ظروف در محل نشتی/ جمع‌آوری و انتقال پسماندها به انبار مرکزی و اقدام مطابق دستورالعمل‌ها/ نظارت و بازرسی مستمر.
۲۱	اورهال تعویض- روغن کلیدهای روغنی	نشتی روغن	آلودگی آب‌وخاک	تعمیر و نگهداری بر اساس گزارش و سرویس سالیانه	۴	۱	۲	۸	استفاده از ظروف در محل نشتی/ تعویض کلیدهای روغنی با گازی.
۲۲	بریکرهای گازی (SF6)	انفجار	آلودگی هوا (اثر گلخانه‌ای)	تعمیر و نگهداری بر اساس گزارش و سرویس سالیانه	۳	۱	۴	۱۲	رعایت دستورالعمل، بازدید و سرویس دوره‌ای/ استفاده از دوربین لیزری GAS VUE جهت بازدید و تشخیص نشتی.

ادامه جدول ۱۰- ردیابی ریسک به روش حالات شکست و تجزیه‌وتحلیل اثرات آن

Table 10 (cont.)- Risk tracking by the method of failure modes and analysis of its effects

ردیف	فعالیت‌ها/ خدمات/ محصولات	جنبه محیط‌زیستی	پیامدها	کنترل‌های موجود	شدت اثر	احتمال وقوع	گستره آلودگی	سطح ریسک	کنترل و توصیه‌های پیشنهادی
۲۳	بریکرهای گازی (SF6)	نشت گاز (SF6)	آلودگی هوا (اثر گلخانه‌ای)	تعمیر و نگهداری بر اساس گزارش و سرویس سالیانه	۳	۱	۴	۱۲	رعایت دستورالعمل/ دقت در اتصالات، بازدید و سرویس دوره‌ای/ استفاده از دوربین لیزری GAS VUE جهت بازدید و تشخیص نشتی.
۲۴	فیدرهای فشار متوسط	انفجار و آتش‌سوزی	آلودگی هوا، آسیب به حیوانات	سرویس دوره‌ای	۴	۱	۲	۸	بازدید و سرویس به‌موقع، استفاده از اجناس باکیفیت، جلوگیری از نفوذ حشرات و حیوانات، نصب خاموش‌کننده اتوماتیک بر روی فیدر.
۲۵	نصب و راه‌اندازی باطری	اسید، قلیا	آلودگی آب‌وخاک و هوا	استفاده از تجهیزات حفاظت فردی	۴	۱	۲	۸	استفاده از باطری‌های خشک، نگهداری اسید و قلیا در ظروف سربسته جلوگیری از نشت آن، استفاده از تهویه دارای جاذب.
۲۶	تعمیر یا تعویض باطری‌های معیوب	ضایعات باطری آغشته به اسید یا قلیا	آلودگی آب‌وخاک و هوا	جمع‌آوری و انتقال به انبار	۴	۲	۲	۱۶	جمع‌آوری و انتقال به انبار برای فروش جهت بازیافت مطابق با دستورالعمل مدیریت پسماند./ نظارت مستمر/ آموزش و فرهنگ‌سازی.
۲۷	رنگ‌کاری تجهیزات	رنگ	آلودگی آب، خاک و هوا	استفاده از تجهیزات حفاظت فردی	۳	۲	۲	۱۲	جمع‌آوری ظروف و پسماند رنگ و انتقال به انبار، استفاده از رنگ‌های سازگار با محیط‌زیست با پایه آبی.
۲۸	کارکرد دیزل ژنراتور	گازوئیل، روغن صنعتی، قطعات معیوب دیزل	آلودگی آب، خاک و هوا		۲	۲	۲	۸	استفاده از ظروف برای جلوگیری از نشت گازوئیل در زمان تعمیر، جمع‌آوری و انتقال پسماندها به انبار، بازدید دوره‌ای و سرویس دوره‌ای برای جلوگیری از نشت گازوئیل و یا روغن، استفاده از اتصالات مناسب.
۲۹	تعویض درپوش‌های بتنی کانال‌ها	پسماند خشک	آلودگی تصویری و تخریب محیط‌زیست	تعویض درپوش‌های معیوب با سالم و خروج ضایعات از محیط	۱	۲	۳	۶	استفاده از درپوش‌های نانو کامپوزیت.
۳۰	تعویض سیم و کابل داخل کانال‌ها، تابلوهای برق	ضایعات فلزی و الکترونیکی	آلودگی تصویری و تخریب محیط‌زیست	جمع‌آوری و انتقال به انبار به صورت غیر سیستمی	۳	۱	۲	۶	جمع‌آوری و انتقال به انبار برای فروش جهت بازیافت مطابق دستورالعمل مدیریت پسماند.
۳۱	تمیز نمودن و روغن‌کاری تجهیزات پست	الکل، روغن صنعتی	آلودگی آب، خاک و هوا	جمع‌آوری و انتقال به انبار به صورت غیر سیستمی	۳	۲	۱	۶	قرار دادن ظرف در محل تمیزکاری و انتقال پسماندها به انبار (تدوین دستورالعمل مدیریت پسماند)
۳۲	تعمیر یا تعویض تجهیزات پست	ضایعات فلزی و الکترونیکی	آلودگی تصویری و تخریب محیط‌زیست	جمع‌آوری و انتقال به انبار به صورت غیر سیستمی	۴	۲	۲	۱۶	جمع‌آوری و انتقال به انبار برای فروش جهت بازیافت مطابق دستورالعمل مدیریت پسماند.
۳۳	تعمیر یا تعویض سیم ارت	ضایعات فلزی	آلودگی تصویری و تخریب محیط‌زیست	جمع‌آوری و انتقال به انبار به صورت غیر سیستمی	۳	۱	۱	۳	جمع‌آوری و انتقال به انبار برای فروش جهت بازیافت مطابق دستورالعمل مدیریت پسماند.
۳۴	تعمیر و سرویس تابلوهای حفاظتی	ضایعات فلزی و الکترونیکی	آلودگی تصویری و تخریب محیط‌زیست	جمع‌آوری و انتقال به انبار به صورت غیر سیستمی	۴	۲	۱	۸	جمع‌آوری و انتقال به انبار برای فروش جهت بازیافت مطابق دستورالعمل مدیریت پسماند.
۳۵	تعویض مقره	ضایعات مقره	آلودگی تصویری و تخریب محیط‌زیست	جمع‌آوری و انتقال به انبار به صورت غیر سیستمی	۳	۲	۲	۱۲	جمع‌آوری و انتقال به انبار برای فروش جهت بازیافت مطابق با دستورالعمل مدیریت پسماند.

ادامه جدول ۱۰- ردیابی ریسک به روش حالات شکست و تجزیه‌وتحلیل اثرات آن

Table 10 (cont.)- Risk tracking by the method of failure modes and analysis of its effects

ردیف	فعالیت‌ها/ خدمات/ محصولات	جنبه محیط‌زیستی	پیامدها	کنترل‌های موجود	شدت اثر	احتمال وقوع	گستره آلودگی	سطح ریسک	کنترل و توصیه‌های پیشنهادی
۳۶	تعمیر و سرویس تابلوهای مخابراتی و بی‌سیم	ضایعات الکترونیک و تجهیزات مخابراتی (خازن، مقاومت، سلف، رله، گوشی تلفن، آنتن و...)	آلودگی تصویری و تخریب محیط‌زیست	جمع‌آوری و انتقال به انبار به صورت غیر سیستمی	۴	۲	۲	۱۶	جمع‌آوری و انتقال به انبار برای فروش جهت بازیافت مطابق دستورالعمل مدیریت پسماند.
۳۷	فعالیت‌های شبکه مخابراتی بی‌سیم	میدان مغناطیسی	آلودگی هوا و محیط		۲	۵	۱	۱۰	رعایت فاصله استاندار در ایجاد تأسیسات جدید.
۳۸	احداث تأسیسات	پسماند فلزی، الکترونیکی	آلودگی تصویری و تخریب محیط‌زیست	جمع‌آوری و انتقال به انبار به صورت غیر سیستمی	۴	۱	۲	۸	جمع‌آوری پسماندها مطابق دستورالعمل‌ها، نظارت بر اجرای دستورالعمل‌ها، صرفه‌جوئی در مصرف آب و برق با استفاده از تجهیزات و وسایل کم‌مصرف.
۳۹		نخاله‌های ساختمانی، از بین بردن مراتع و منابع طبیعی،	آلودگی تصویری و تخریب محیط‌زیست، کاهش مراتع و منابع طبیعی	جمع‌آوری پسماندها به صورت غیر سیستمی	۳	۱	۲	۶	جمع‌آوری پسماندها مطابق دستورالعمل‌ها، نظارت بر اجرای دستورالعمل‌ها ساخت پست‌های کمپکت.
۴۰	احداث تأسیسات	مصرف منابع آب، برق	کاهش منابع		۳	۱	۲	۶	جمع‌آوری پسماندها مطابق دستورالعمل‌ها، نظارت بر اجرای دستورالعمل‌ها، صرفه‌جوئی در مصرف آب و برق با استفاده از تجهیزات.
۴۱	تردد ماشین‌آلات	دود/ نشتی روغن/ مواد سوختی	آلودگی هوا		۲	۳	۱	۶	معاینه فنی خودرو، بازدید و سرویس دوره‌ای خودرو، استفاده از خودروهای نو با آلایندگی کمتر.
۴۲	مونتاژ ترانس‌ها	نشتی روغن، پخش سیلیکاژل	آلودگی آب‌وخاک		۴	۱	۲	۸	استفاده از ظروف برای جلوگیری از ریختن روغن روی زمین، استفاده از سیلیکاژل نارنجی به جای آبی، جمع‌آوری و انتقال پسماند به انبار مطابق قوانین.
۴۳	کارکرد ترانس	برق	برق‌گرفتگی پرندگان حیوانات		۴	۱	۲	۸	محصور کردن تجهیزات با فنس، بستن ورودی و خروجی کانال‌ها برای جلوگیری از ورود حیوانات.
۴۴		میدان مغناطیسی	آلودگی محیط‌زیست		1	۵	۲	۱۰	رعایت فاصله استاندارد در ساخت ساختمان کنترل پست‌ها و رعایت آن در پست‌های شهری از مکان‌های عمومی و ساختمان‌های مسکونی.
۴۵		ایجاد لرزش و سروصدا	آلودگی محیط‌زیست		۱	۵	۲	۱۰	مهار کردن ترانس‌ها، سرویس به‌موقع استفاده از جاذب صدا و لرزه در زمان نصب و یا ساخت ترانس.
۴۶		ضایعات سیلیکاژل آبی	آلودگی آب‌وخاک و هوا		۴	۱	۲	۸	استفاده از سیلیکاژل نارنجی، مدیریت پسماند با تدوین دستورالعمل مناسب.
۴۷	کارکرد ترانس	نشت روغن	آلودگی آب‌وخاک و هوا، حریق	ایجاد حوضچه زیر ترانس، استقرار سیستم اطفاء دستی	۴	۱	۲	۸	طراحی و مکان‌یابی مناسب جهت به حداقل رساندن آسیب‌ها، سرویس دوره‌ای، بازدید مستمر و مؤثر، اقدام فوری جهت رفع عیب.
۴۸	کارکرد تجهیزات الکتریکی پست	انفجار تجهیزات، آتش‌سوزی،	آلودگی آب، هوا، خاک، محیط	استقرار خاموش‌کننده‌های آماده‌به‌کار، آموزش اطفاء حریق، نظارت و بازدید تجهیزات	۴	۱	۳	۱۲	بازدید و سرویس دوره‌ای، استفاده از تجهیزات باکیفیت، برگزاری مانور.
۴۹	کارکرد تجهیزات الکتریکی پست	میدان مغناطیسی	آلودگی هوا و محیط		۱	۵	۳	۱۵	رعایت فاصله استاندارد در ساخت ساختمان‌های کنترل و ساخت پست‌های برق داخل شهر.

ادامه جدول ۱۰- ردیابی ریسک به روش حالات شکست و تجزیه‌وتحلیل اثرات آن

Table 10 (cont.)- Risk tracking by the method of failure modes and analysis of its effects

ردیف	فعالیت‌ها/ خدمات/ محصولات	جنبه محیط‌زیستی	پیامدها	کنترل‌های موجود	شدت اثر	احتمال وقوع	گستره آلودگی	سطح ریسک	کنترل و توصیه‌های پیشنهادی
۵۰		نشت روغن	آلودگی آب، هوا، خاک، محیط		۴	۱	۲	۸	تعویض کابل‌های روغنی با نوع خشک، بازدید و سرویس دوره‌ای تجهیزات، استقرار ظروف مناسب برای استفاده در زمان وجود نشتی.
۵۱	کارکرد تجهیزات الکتریکی پست	تلفات انرژی	کاهش منابع	تعمیر و نگهداری مطابق برنامه	۳	۵	۲	۳۰	اصلاح، بهبود و توسعه شبکه، استفاده مناسب از ظرفیت ترانسفورماتورها، داشتن برنامه مناسب سرویس تجهیزات، نوسازی تجهیزات، حداقل رساندن نشتی‌ها.
۵۲		برق	آسیب به پرندگان، حیوانات	استفاده از موانع خاردار در بالای گنتری‌ها، دکل‌ها و کراس آرم‌ها، استفاده از ایزولاتور در بوشینگ‌ها	۴	۱	۳	۱۲	محصور کردن تجهیزات با فنس، بستن ورودی و خروجی کانال‌ها برای جلوگیری از ورود حیوانات، تشخیص عوامل تأثیرگذار و جذب‌کننده جانوران جهت ورود به محدوده، مطالعه انواع جانوران به لحاظ گونه زیستی و پراکندگی جهت رفتارشناسی و علت‌یابی حضور حیوانات در پست‌های فشارقوی و ارائه راهکارهای مقابله.
۵۳	کارکرد تجهیزات الکتریکی پست	باد، برف و باران، رعدوبرق، گردوخاک	آلودگی آب، هوا، خاک، محیط کاهش منابع	تهیه لجن کش، مقاوم‌سازی تجهیزات، اصلاح و بهینه‌سازی، سرویس و شستوشوی مداوم	۴	۲	۳	۱۲	نظارت مستمر، رعایت دستورالعمل‌ها، مطالعه و پایش و شناسایی نقاط ضعف، مکان‌یابی مناسب و مقاوم‌سازی تجهیزات و تأسیسات در برابر شرایط بحرانی، آموزش نیروی انسانی، برگزاری مانور.
۵۴		زلزله، آب‌های زیرزمینی	آلودگی آب، هوا، خاک، محیط کاهش منابع	ساخت تأسیسات ضد زلزله، اصلاح و بهینه‌سازی	۴	۱	۳	۱۲	ساخت تأسیسات و تجهیزات مقاوم در برابر زلزله، نظارت مستمر، رعایت دستورالعمل‌ها، مطالعه و پایش و شناسایی نقاط ضعف و مقاوم‌سازی، انتخاب محل مناسب جهت احداث پست، آموزش و برگزاری مانور.
۵۵		کپسول co2	آلودگی خاک	تست هیدرو استاتیکی، سرویس و نگهداری دوره‌ای	۱	۱	۲	۲	
۵۶		کپسول پودروگاز	آلودگی هوا، خاک	تست هیدرو استاتیکی، سرویس و نگهداری دوره‌ای	۲	۱	۱	۲	
۵۷	تعمیر و نگهداری تأسیسات ساختمان	مواد زائد آغشته به روغن، گریس، چسب و غیره	آلودگی آب، هوا، خاک، محیط	جمع‌آوری و انتقال پسماندها از محیط کار	۴	۱	۲	۸	تدوین دستورالعمل مدیریت پسماند، جمع‌آوری پسماندها و انتقال به انبار.
۵۸		رنگ، ضایعات فلزی، پلاستیکی	آلودگی آب، هوا، خاک، محیط	جمع‌آوری و انتقال پسماندها	۴	۱	۲	۸	تدوین دستورالعمل مدیریت پسماند، جمع‌آوری پسماندها و انتقال به انبار.
۵۹		تولید ضایعات لامپ‌های جیوه‌ای سوخته و چراغ‌های شکسته و فرسوده (قاب و حباب)	آلودگی آب، هوا، خاک، محیط	جمع‌آوری و انتقال پسماندها	۴	۱	۲	۸	تدوین دستورالعمل مدیریت پسماند، جمع‌آوری پسماندها و انتقال به انبار.
۶۰		دتکتورهای معیوب سیم، روکش سیم	آلودگی خاک، محیط	جمع‌آوری و انتقال پسماندها	۳	۱	۲	۶	تدوین دستورالعمل مدیریت پسماند، جمع‌آوری پسماندها و انتقال به انبار.
۶۱	تعمیر و نگهداری سیستم اعلام و اطفاء حریق	انفجار سیلندر co2			۴	۱	۲	۸	شارژ در محل مناسب و مطابق استاندارد.
۶۲		انفجار سیلندر نیتروزن			۴	۱	۲	۸	شارژ در محل مناسب و مطابق استاندارد.
۶۳		ضایعات کپسول، قطعات کپسول	آلودگی خاک، محیط	جمع‌آوری و انتقال پسماندها	۳	۱	۲	۶	تدوین دستورالعمل مدیریت پسماند، جمع‌آوری پسماندها و انتقال به انبار.
۶۴	تعمیر و نگهداری سیستم اعلام و اطفاء حریق	پودر کپسول‌های اطفاء، گاز CO2	آلودگی آب، هوا، خاک، محیط	جمع‌آوری و انتقال پسماندها	۲	۱	۲	۴	تدوین دستورالعمل مدیریت پسماند، جمع‌آوری پسماندها و انتقال به انبار انجام شارژ در محیط دارای تهویه یا باز.

This page is intentionally left blank.