



A Proposed National Framework for Managing Occupational Exposure to Non-Ionizing Radiation in Iran: Analysis of Policy Gaps and Options

Amirhossein Montazeri , Mehrana Esnaasharieh , Roohalah Hajizadeh* 

Environmental and Occupational Hazards Control Research Center, Research Institute for Health Sciences and Environment, Shahid Beheshti University of Medical Sciences, Tehran, Iran

Received: 2026/06/08

Accepted: 2026/08/11

Abstract

Background and Aim: The expanding use of non-ionizing radiation technologies in occupational settings, including industrial facilities, healthcare institutions, and telecommunications systems, has increased exposure to these radiations and highlighted the need for policy and management frameworks to control exposure and protect workers' health effectively.

Methods: This descriptive-analytical study employed a policy research approach. Data were collected through a review of scientific literature, international standards, guidelines, and relevant studies on non-ionizing radiation. The hazards associated with ultraviolet radiation, lasers, electromagnetic fields, and radiofrequency waves were analyzed regarding exposure sources, biological effects, occupational exposure limits, monitoring methods, and control strategies.

Results: The results indicated that workers in welding industries, healthcare facilities, laser-based units, telecommunication systems, and electronic industries are exposed to higher levels of non-ionizing radiation. The main identified challenges included the lack of continuous monitoring programs, insufficient specialized training, inadequate implementation of engineering controls, and non-compliance with exposure limits. Engineering controls, radiation source shielding, safety interlock systems, regular monitoring, and worker training were identified as effective strategies for exposure reduction. Analysis of national documents revealed major gaps in intersectoral coordination, occupational exposure registration, and establishment of an integrated monitoring system.

Conclusion: The management of non-ionizing radiation safety requires an integrated and preventive framework based on hazard identification, exposure assessment, continuous monitoring, training, and engineering controls. Developing national standards, strengthening specialized supervision, and improving monitoring systems are essential for effective worker health protection.

Keywords: *Electromagnetic fields, Laser safety, Occupational exposure, Occupational health, Radiation protection, Safety policy*

Please cite this article as:

Montazeri A, Esnaasharieh M, Hajizadeh R. A Proposed National Framework for Managing Occupational Exposure to Non-Ionizing Radiation in Iran: Analysis of Policy Gaps and Options. *Irtiqa Imini Pishgiri Masdumiyat*. 2025;13(4):30-43.
<https://doi.org/10.22037/iipm.v13i4.52402>

*Corresponding Author: roohalahhajizade@sbmu.ac.ir



چارچوب ملی پیشنهادی برای مدیریت مواجهه شغلی با پرتوهای غیریونساز در ایران: تحلیل شکاف‌ها و گزینه‌های سیاستی

امیرحسین منتظری^۱، مهرانا اثنی‌عشریه^۲، روح‌اله حاجی‌زاده^{۳*}

مرکز تحقیقات کنترل عوامل زیان‌آور محیط کار، پژوهشکده علوم و محیط زیست، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی، تهران، ایران

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۵/۰۵/۲۰

تاریخ دریافت: ۱۴۰۵/۰۳/۱۸

چکیده

سابقه و هدف: گسترش کاربرد فناوری‌های مبتنی بر پرتوهای غیریونساز در محیط‌های شغلی، از جمله صنایع، مراکز درمانی و سامانه‌های مخابراتی، موجب افزایش مواجهه با این پرتوها شده و ضرورت تدوین چارچوب‌های سیاستی و مدیریتی برای کنترل مؤثر مواجهه و حفاظت از سلامت شاغلان را برجسته کرده است. **روش کار:** این پژوهش به‌صورت توصیفی-تحلیلی و با رویکرد سیاست‌پژوهی انجام شد. داده‌ها از طریق مرور منابع علمی، استانداردها و دستورالعمل‌های بین‌المللی گردآوری شد. مخاطرات پرتوهای فرابنفش، لیزر، میدان‌های الکترومغناطیسی و امواج رادیوفرکانسی از نظر منابع مواجهه، اثرات بیولوژیکی، حدود مجاز، روش‌های پایش و راهکارهای کنترلی تحلیل و نقش کنترل‌های مهندسی، اداری و تجهیزات حفاظت فردی بررسی گردید.

یافته‌ها: نتایج نشان داد که کارکنان صنایع جوشکاری، مراکز درمانی، واحدهای دارای تجهیزات لیزری، سامانه‌های مخابراتی و صنایع الکترونیک با سطوح بالاتری از پرتوهای غیریونساز مواجه هستند. مهم‌ترین چالش‌های شناسایی‌شده شامل نبود برنامه‌های پایش مستمر، کمبود آموزش تخصصی، ضعف اجرای کنترل‌های مهندسی و عدم رعایت حدود مجاز مواجهه بود. همچنین، کنترل‌های مهندسی، محصورسازی منابع تابش، سیستم‌های ایمنی، پایش منظم و آموزش کارکنان به‌عنوان راهکارهای مؤثر کاهش مواجهه شناخته شدند. تحلیل اسناد ملی نیز شکاف‌های عمده‌ای در هماهنگی بین‌بخشی، ثبت مواجهه‌های شغلی و ایجاد نظام پایش یکپارچه نشان داد. **نتیجه‌گیری:** مدیریت ایمنی پرتوهای غیریونساز نیازمند چارچوبی یکپارچه و پیشگیرانه مبتنی بر شناسایی خطر، ارزیابی مواجهه، پایش مستمر، آموزش و کنترل‌های مهندسی است. توسعه استانداردهای بومی، تقویت نظارت تخصصی و ارتقای نظام پایش از الزامات اساسی حفاظت از سلامت کارکنان محسوب می‌شود.

واژگان کلیدی: ایمنی شغلی، بهداشت حرفه‌ای، پرتو فرابنفش، سیاست‌گذاری ایمنی، لیزر، میدان‌های الکترومغناطیسی

به این مقاله، به صورت زیر استناد کنید:

منتظری ا، ح، اثنی‌عشریه م، حاجی‌زاده ر. چارچوب ملی پیشنهادی برای مدیریت مواجهه شغلی با پرتوهای غیریونساز در ایران: تحلیل شکاف‌ها و گزینه‌های سیاستی. ارتقای ایمنی و پیشگیری از مصدومیت‌ها. ۱۳۴:۳۰-۴۳. <https://doi.org/10.22037/iipm.v13i4.52402>

*نویسنده مسئول مکاتبات: roohallahhajizade@sbmu.ac.ir



مقدمه

در دهه‌های اخیر، رشد سریع فناوری و توسعه تجهیزات صنعتی، پزشکی، مخابراتی و الکترونیکی موجب افزایش مواجهه انسان با انواع پرتوهای غیر یونساز در محیط‌های شغلی و عمومی شده است. امروزه بسیاری از فرایندهای صنعتی، تجهیزات درمانی، سامانه‌های مخابراتی، سیستم‌های روشنایی، فناوری‌های لیزری، دستگاه‌های جوشکاری، منابع فرابنفش و تجهیزات رادیوفرکانسی به‌صورت گسترده در زندگی روزمره و محیط‌های کاری مورد استفاده قرار می‌گیرند و همین مسئله سبب شده است که مواجهه با پرتوهای غیر یونساز به یکی از موضوعات مهم در حوزه بهداشت حرفه‌ای، ایمنی و سلامت محیط کار تبدیل شود (۱).

پرتوهای غیر یونساز بخشی از طیف الکترومغناطیسی را تشکیل می‌دهند که شامل پرتو فرابنفش، فروسرخ، امواج الکترومغناطیسی، لیزر، امواج مایکروویو، فرکانس‌های رادیویی و میدان‌های مغناطیسی هستند (۱). اگرچه این پرتوها برخلاف پرتوهای یونساز قادر به یونیزه کردن مستقیم اتم‌ها و مولکول‌ها نیستند، در صورت مواجهه طولانی مدت یا مواجهه با شدت بالا می‌توانند آثار زیان‌آوری بر سلامت انسان ایجاد کنند (۲). بر اساس مطالب ارائه شده در کتاب «پرتوهای غیر یونساز: شناسایی، ارزیابی و کنترل»، اثرات ناشی از این پرتوها می‌تواند پوست، چشم، سیستم عصبی و حتی سیستم ایمنی بدن را تحت تأثیر قرار دهد و در برخی موارد منجر به بروز بیماری‌های مزمن و آسیب‌های جبران‌ناپذیر شود (۱).

یکی از مهم‌ترین انواع پرتوهای غیر یونساز، پرتو فرابنفش است که در محدوده طول موج ۱۰۰ تا ۴۰۰ نانومتر قرار دارد و به سه ناحیه UVA، UVB و UVC تقسیم می‌شود (۱). مهم‌ترین منبع طبیعی این پرتو، خورشید است؛ با این حال، منابع مصنوعی متعددی نظیر لامپ‌های بخار جیوه، قوس‌های الکتریکی، تجهیزات جوشکاری، لامپ‌های میکروبوکس، دستگاه‌های فتوترپی، تجهیزات دندان‌پزشکی، لیزرها و سامانه‌های فرآوری نوری نیز می‌توانند باعث مواجهه شغلی با این پرتو شوند (۱). مطالعات نشان داده‌اند که مواجهه بیش از حد با اشعه فرابنفش می‌تواند منجر به آسیب‌های پوستی، آفتاب‌سوختگی، اریتما، پیری زودرس پوست، سرطان پوست، فوتوکراتیت، آب‌مروارید و اختلالات چشمی شود (۱ و ۳).

بر اساس گزارش سازمان جهانی بهداشت، بخش عمده‌ای از مواجهه انسان با اشعه فرابنفش ناشی از تابش خورشیدی است، اما در سال‌های اخیر افزایش استفاده از منابع مصنوعی فرابنفش، نگرانی‌های مرتبط با سلامت شغلی را به میزان قابل توجهی افزایش داده است (۲). در محیط‌های صنعتی، جوشکاران یکی از مهم‌ترین گروه‌های شغلی در معرض خطر محسوب می‌شوند. مطابق مطالب کتاب، شدت مواجهه در فرایندهای جوشکاری قوس الکتریکی می‌تواند در مدت زمان کوتاهی از حدود مجاز توصیه شده فراتر رود و علاوه بر شخص جوشکار، افراد حاضر در محیط اطراف را نیز در معرض خطر قرار دهد (۱). همچنین در بسیاری از بیمارستان‌ها، صنایع غذایی و آزمایشگاه‌ها از لامپ‌های میکروبوکس فرابنفش استفاده می‌شود که در صورت نبود کنترل‌های مناسب، احتمال آسیب‌های چشمی و پوستی را افزایش می‌دهد (۱).

علاوه بر پرتو فرابنفش، میدان‌های الکترومغناطیسی و امواج رادیوفرکانسی نیز به دلیل توسعه گسترده تجهیزات مخابراتی، دکل‌های ارتباطی، سامانه‌های راداری و تجهیزات انتقال داده، به یکی از مهم‌ترین چالش‌های حوزه ایمنی تبدیل شده‌اند (۱). استفاده روزافزون از تلفن‌های همراه، آنتن‌های مخابراتی، تجهیزات وایرلس، سیستم‌های MRI و فناوری‌های بی‌سیم سبب شده است که نگرانی‌ها درخصوص مواجهه مزمن با میدان‌های الکترومغناطیسی افزایش یابد (۴). اگرچه بسیاری از اثرات بیولوژیکی این میدان‌ها هنوز به‌صورت کامل شناخته نشده‌اند، شواهد موجود نشان می‌دهد که مواجهه طولانی مدت با برخی فرکانس‌ها می‌تواند باعث ایجاد اثرات حرارتی، تغییرات بیولوژیکی و اختلال در عملکرد سیستم‌های زیستی شود (۴). در سال‌های اخیر، استفاده از فناوری لیزر نیز در صنایع، پزشکی، آزمایشگاه‌ها، فرایندهای برش، حکاکی، جراحی، تجهیزات اندازه‌گیری و سامانه‌های اپتیکی به‌شدت افزایش یافته است (۱). لیزرها به دلیل ویژگی‌هایی نظیر همدوسی، تک‌فامی و تمرکز بالای انرژی، دارای خطرات ویژه‌ای برای چشم و پوست هستند (۱). مطابق طبقه‌بندی‌های ایمنی، برخی از لیزرهای کلاس B و ۴ می‌توانند حتی در مدت زمان بسیار کوتاه آسیب‌های شدید شبکیه، سوختگی پوست و آسیب‌های حرارتی ایجاد کنند (۱). از این‌رو، رعایت الزامات مهندسی، استفاده از عینک‌های حفاظتی، کنترل دسترسی، آموزش

کارکنان، اجرای کنترل‌های مهندسی و مدیریتی و استفاده از تجهیزات حفاظت فردی را در بر گیرد.



شکل ۱. سلسله‌مراتب کنترل مواجهه با پرتوهای غیریونساز بر اساس اصول مدیریت ریسک و استانداردهای ایمنی پرتو (۸-۱۱).

این مدل نشان می‌دهد که مؤثرترین روش کنترل مواجهه با پرتوهای غیریونساز، حذف یا کاهش منبع تابش و سپس استفاده از کنترل‌های مهندسی است؛ در حالی که تجهیزات حفاظت فردی به‌عنوان آخرین لایه حفاظتی در نظر گرفته می‌شود. این رویکرد با اصول مدیریت ریسک در ایمنی پرتوها و دستورالعمل‌های ICNIRP، OSHA و ACGIH همخوانی دارد.

از این رو، مطالعه حاضر با هدف تحلیل وضعیت موجود و شکاف‌های سیاستی مرتبط با مدیریت مواجهه شغلی با پرتوهای غیریونساز در ایران، شناسایی ذی‌نفعان اصلی، بررسی گزینه‌های سیاستی و ارائه یک چارچوب ملی پیشنهادی برای شناسایی، ارزیابی، کنترل و پایش این مواجهات انجام شد.

کاربران و اجرای برنامه‌های ایمنی لیزر از الزامات اساسی در محیط‌های کاری مرتبط با لیزر محسوب می‌شود (۵).

گسترش استفاده از پرتوهای غیریونساز در محیط‌های کاری موجب شده است که سازمان‌های بین‌المللی متعددی نظیر WHO، ICNIRP، OSHA و ACGIH دستورالعمل‌ها و حدود مجاز مواجهه مختلفی را برای حفاظت از کارکنان ارائه کنند (۲، ۵ و ۶). حدود مجاز مواجهه شغلی با پرتوهای غیریونساز بر مبنای شدت تابش، طول موج، مدت مواجهه و اندام هدف تعیین می‌شود و هدف اصلی از این حدود، پیشگیری از ایجاد آسیب‌های بیولوژیکی و حفظ سلامت کارکنان است (۱). در حوزه پرتو فرابنفش، حدود مجاز مواجهه بر اساس چگالی شار تابشی مؤثر و زمان مواجهه تعیین می‌شود و برای طول موج‌های مختلف ضرایب اثربخشی متفاوتی در نظر گرفته شده است (۱).

با وجود تدوین استانداردها و راهنماهای بین‌المللی، در بسیاری از محیط‌های شغلی هنوز برنامه‌های جامع شناسایی، ارزیابی و کنترل مواجهه با پرتوهای غیریونساز به‌صورت نظام‌مند اجرا نمی‌شود. در بسیاری از صنایع، تمرکز اصلی بر خطرات متداول فیزیکی و شیمیایی بوده و مخاطرات ناشی از پرتوهای غیریونساز کمتر مورد توجه قرار گرفته است (۷). کمبود تجهیزات اندازه‌گیری، نبود پایش مستمر، ضعف در آموزش کارکنان، عدم آگاهی نسبت به حدود مجاز مواجهه و استفاده ناکافی از تجهیزات حفاظت فردی از جمله مشکلات رایج در این حوزه محسوب می‌شوند (۱).

یکی از مهم‌ترین اقدامات در مدیریت ایمنی پرتوهای غیریونساز، شناسایی صحیح منابع مولد پرتو و ارزیابی دقیق میزان مواجهه است. امروزه ابزارهای مختلفی نظیر رادیومترها، اسپکترومتریترها، فلورومترها و دزیمترهای فرابنفش برای اندازه‌گیری شدت تابش و پایش مواجهه مورد استفاده قرار می‌گیرند (۱). استفاده از این تجهیزات امکان تعیین شدت تابش، مقایسه با حدود مجاز و طراحی اقدامات کنترلی مناسب را فراهم می‌کند. در کنار اندازه‌گیری، استفاده از کنترل‌های مهندسی، کنترل‌های مدیریتی و تجهیزات حفاظت فردی از مهم‌ترین راهکارهای کاهش مواجهه محسوب می‌شوند (۱).

بر این اساس، تدوین یک چارچوب سیاستی جامع برای مدیریت مواجهه با پرتوهای غیریونساز در محیط‌های شغلی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. این چارچوب باید تمامی مراحل شامل شناسایی منابع، ارزیابی شدت مواجهه، مقایسه با حدود مجاز، پایش مستمر، آموزش

روش کار

این مطالعه به صورت مروری - تحلیلی و با رویکرد تحلیل سیاستی در حوزه ایمنی و بهداشت حرفه‌ای انجام شد. هدف مطالعه، بررسی وضعیت موجود مدیریت مواجهه شغلی با پرتوهای غیریونساز در ایران، شناسایی ظرفیت‌ها و شکاف‌های سیاستی و اجرایی، تحلیل نقش نهادهای مسئول و تدوین یک چارچوب ملی پیشنهادی بود. فرایند مطالعه شامل جست‌وجوی منابع علمی و اسناد رسمی، انتخاب و استخراج اطلاعات، تحلیل محتوای کیفی، تحلیل شکاف میان وضعیت موجود و الزامات مطلوب و تلفیق یافته‌ها برای تدوین چارچوب پیشنهادی بود.

منابع اطلاعاتی و راهبرد جستجو

در این مطالعه، منابع علمی از پایگاه‌های اطلاعاتی PubMed، Scopus، Web of Science و ScienceDirect جستجو شدند. همچنین راهنماها، استانداردها و اسناد منتشرشده توسط سازمان‌های بین‌المللی از جمله World Health Organization (WHO)، International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP)، Occupational Safety and Health، American Conference of Administration (OSHA)، International Governmental Industrial Hygienists (ACGIH)، National Council on Radiation، Labour Organization (ILO)، International Protection and Measurements (NCRP)، American National و Electrotechnical Commission (IEC) Standards Institute (ANSI) مورد بررسی قرار گرفتند.

جستجو با استفاده از کلیدواژه‌هایی مانند: جستجو با استفاده از کلیدواژه‌های "Occupational Radiation", "Non-Ionizing", "Exposure", "Laser Safety", "Ultraviolet Radiation", "Electromagnetic Fields", "Microwave", "Radiofrequency", "Engineering Controls", "Exposure Assessment", "Occupational Health" و "Management Risk" و با ترکیب آن‌ها توسط عملگرهای بولی (AND و OR) انجام شد.

به منظور افزایش شفافیت در تدوین چارچوب، اطلاعات استخراج‌شده توسط دو پژوهشگر به صورت مستقل بررسی و پس از دستیابی به توافق، در طبقات مفهومی نهایی سازمان‌دهی شد. در موارد اختلاف، تصمیم‌گیری با اجماع انجام گرفت. علاوه بر منابع علمی و راهنماهای

بین‌المللی، قوانین، مقررات، استانداردها و اسناد رسمی مرتبط با مدیریت مواجهه با پرتوهای غیریونساز در ایران نیز بررسی شدند. جست‌وجوی اسناد ملی در وبگاه‌های رسمی سازمان انرژی اتمی ایران، سازمان ملی استاندارد ایران، سازمان تنظیم مقررات و ارتباطات رادیویی، مرکز پژوهش‌های مجلس شورای اسلامی و منابع رسمی وزارت تعاون، کار و رفاه اجتماعی انجام شد. جست‌وجوی اسناد تا تاریخ ۵ مرداد ۱۴۰۵ انجام گرفت.

کلیدواژه‌های فارسی شامل «پرتوهای غیریونساز»، «حفاظت در برابر اشعه»، «حدود پرتوگیری»، «مواجهه شغلی»، «امواج رادیویی»، «پایش میدان‌های الکترومغناطیسی»، «آموزش ایمنی»، «حفاظت فنی»، «لیزر»، «پرتو فرابنفش» و ترکیب آن‌ها با نام سازمان‌ها و نهادهای مسئول بود.

اسناد بازیابی‌شده از نظر مرجع صادرکننده، اعتبار و وضعیت جاری سند، ارتباط مستقیم با مواجهه شغلی، پوشش مسئولیت‌های سازمانی، حدود مجاز، پایش، آموزش، بازرسی، ثبت و گزارش‌دهی بررسی شدند. در نهایت، پنج سند رسمی اصلی زیر وارد تحلیل سیاستی شدند:

- قانون حفاظت در برابر اشعه مصوب ۱۳۶۸ (۱۲)؛
- استاندارد ملی ایران شماره ۸۵۶۷، بازننگری ۱۴۰۳ (۱۳)؛
- سند رسمی رگولاتوری درباره پایش مستمر تشعشعات امواج رادیویی (۱۴)؛
- آیین‌نامه آموزش ایمنی کارفرمایان، کارگران و کارآموزان (۱۵)؛
- اصلاح مواد ۹ و ۱۲ آیین‌نامه آموزش ایمنی مصوب ۱۴۰۱ (۱۶).

معیارهای انتخاب منابع علمی

مطالعات و اسناد منتشرشده که به یکی از موضوعات زیر پرداخته بودند وارد مطالعه شدند:

- منابع مواجهه شغلی با پرتوهای غیریونساز
 - اثرات بیولوژیکی و سلامت
 - روش‌های اندازه‌گیری و ارزیابی مواجهه
 - حدود مجاز مواجهه
 - راهکارهای کنترلی
 - سیاست‌ها و استانداردهای ایمنی
- مطالعات فاقد ارتباط مستقیم با مواجهه شغلی، گزارش‌های غیرعلمی، منابع فاقد اطلاعات کافی و اسناد تکراری از مطالعه کنار گذاشته شدند (جدول ۱).

جدول ۱. منابع اطلاعاتی، موضوعات و هدف استفاده از شواهد در تحلیل وضعیت موجود و تدوین چارچوب ملی پیشنهادی

منبع اطلاعاتی	موضوعات و کلیدواژه‌های جستجو	نوع شواهد	هدف استفاده در مطالعه
PubMed	«پرتوهای غیریونساز»، «مواجهه شغلی»، «پرتو فرابنفش»، «ایمنی لیزر»، «میدان‌های الکترومغناطیسی»	مقالات پژوهشی اصیل و مقالات مروری	شناسایی مخاطرات شغلی و اثرات سلامت
Scopus	«پرتوهای غیریونساز»، «ارزیابی ریسک»، «بهداشت حرفه‌ای»، «حفاظت در برابر پرتو»	مقالات علمی نمایه‌شده	استخراج شواهد مرتبط با مواجهه و راهکارهای کنترلی
Web of Science	«رادیوفرکانسی»، «مایکروویو»، «ارزیابی مواجهه»، «ایمنی شغلی»	مقالات علمی داوری‌شده	بررسی روش‌های ارزیابی مواجهه و تحلیل ریسک
ScienceDirect	«کنترل‌های مهندسی»، «لیزر»، «میدان‌های الکترومغناطیسی»، «مواجهه شغلی»	مقالات پژوهشی و فنی	استخراج راهکارهای کنترلی و مدیریتی
سازمان جهانی بهداشت (WHO)	دستورالعمل‌ها و گزارش‌های مرتبط با پرتوهای غیریونساز	گزارش‌ها و اسناد بین‌المللی	بررسی اثرات سلامت و توصیه‌های بهداشتی
کمیسیون بین‌المللی حفاظت در برابر پرتوهای غیریونساز (ICNIRP)	حدود مجاز مواجهه و دستورالعمل‌های حفاظتی	استانداردها و راهنماهای بین‌المللی	تعیین حدود مجاز مواجهه و اصول حفاظت پرتویی
اداره ایمنی و بهداشت شغلی آمریکا (OSHA)	دستورالعمل‌های ایمنی پرتوهای غیریونساز	راهنماهای ایمنی شغلی	استخراج الزامات ایمنی و کنترل‌های مدیریتی
کنفرانس آمریکایی متخصصان بهداشت صنعتی دولتی (ACGIH)	حدود مجاز مواجهه شغلی (TLVs)	استانداردهای مواجهه شغلی	تعیین معیارهای ارزیابی و کنترل مواجهه
سازمان بین‌المللی کار (ILO)	راهنماهای حفاظت پرتویی شغلی	اسناد و راهنماهای بین‌المللی	بررسی سیاست‌های حفاظت از کارکنان
ANSI، IEC و NCRP	استانداردهای ایمنی لیزر و حفاظت در برابر پرتو	استانداردها و اسناد فنی	استخراج الزامات فنی، طبقه‌بندی لیزر و کنترل‌های مهندسی
سازمان انرژی اتمی ایران، سازمان ملی استاندارد، سازمان تنظیم مقررات، وزارت تعاون، کار و رفاه اجتماعی و مرکز پژوهش‌های مجلس	حفاظت در برابر اشعه، حدود پرتوگیری، پایش امواج رادیویی، آموزش ایمنی، بازرسی و گزارش‌دهی	قوانین، استانداردها، آیین‌نامه‌ها و گزارش‌های رسمی	تحلیل وضعیت مقرراتی، مسئولیت سازمانی و شکاف‌های سیاستی ایران

معیارهای انتخاب اسناد سیاستی و مقررات ملی

قوانین، آیین‌نامه‌ها، استانداردهای ملی، دستورالعمل‌ها و گزارش‌های رسمی منتشرشده توسط نهادهای دولتی و قانونی ایران، در صورتی وارد مطالعه شدند که حداقل یکی از محورهای زیر را پوشش می‌دادند:

- تعریف مسئولیت قانونی یا سازمانی در حوزه حفاظت در برابر پرتو؛
- تعیین حدود مجاز یا معیارهای ارزیابی مواجهه؛
- پایش محیطی یا شغلی پرتوهای غیریونساز؛
- صدور مجوز، بازرسی یا نظارت بر منابع مولد پرتو؛
- آموزش ایمنی کارفرمایان و کارکنان؛
- ثبت، گزارش‌دهی یا مراقبت سلامت مرتبط با مواجهه.

اسناد فاقد مرجع رسمی، نسخه‌های منسوخ در صورت وجود نسخه معتبر جدیدتر، مطالب خبری فاقد اطلاعات سیاستی یا اجرایی، اسناد صرفاً مرتبط با پرتوهای یونساز و منابعی که ارتباط مستقیمی با مدیریت مواجهه شغلی نداشتند، از تحلیل نهایی کنار گذاشته شدند.

استخراج و ارزیابی اسناد

اسناد منتخب بر اساس پنج معیار شامل اعتبار مرجع صادرکننده، معتبر و جاری بودن سند، ارتباط مستقیم با مواجهه شغلی، صراحت در تعیین مسئولیت اجرایی و قابلیت استفاده در تدوین سیاست مورد ارزیابی قرار گرفتند. اطلاعات هر سند در یک فرم استخراج داده شامل عنوان سند، سال تصویب یا بازنگری، نهاد صادرکننده، دامنه پوشش، مسئولیت‌های تعیین‌شده، الزامات پایش و کنترل، سازوکار اجرا و شکاف‌های احتمالی ثبت شد.

تحلیل شکاف با مقایسه وضعیت موجود ایران با مؤلفه‌های مورد انتظار در راهنماهای بین‌المللی انجام شد. این مؤلفه‌ها شامل تعیین نهاد راهبر، تقسیم مسئولیت‌ها، حدود مجاز مواجهه، پایش محیطی و فردی، آموزش کارکنان، ثبت و گزارش‌دهی، بازرسی، اقدامات اصلاحی و شاخص‌های ارزیابی عملکرد بودند. وجود صریح هر مؤلفه در اسناد به‌عنوان «ظرفیت موجود»، پوشش ناقص یا بخشی آن به‌عنوان

ارزیابی ریسک، اجرای کنترل‌های مهندسی، کنترل‌های مدیریتی، استفاده از تجهیزات حفاظت فردی و پایش مستمر است (۴-۷).



شکل ۲. چارچوب مفهومی اولیه پیشنهادی برای شناسایی، ارزیابی و کنترل مواجهه با پرتوهای غیر یونساز در محیط‌های شغلی، طراحی شده بر اساس دستورالعمل‌های ICNIRP، WHO، OSHA و ACGIH (۴-۷).

همچنین نتایج تحلیل منابع نشان داد که مهم‌ترین انواع پرتوهای غیر یونساز قابل مواجهه در محیط‌های شغلی شامل پرتو فرابنفش، فروسرخ، لیزر، میدان‌های الکترومغناطیسی، امواج رادیوفرکانسی و مایکروویو هستند. این منابع با توجه به ویژگی‌های فیزیکی خود می‌توانند اثرات متفاوتی بر سلامت کارکنان داشته باشند و متناسب با نوع مواجهه، نیازمند راهکارهای کنترلی اختصاصی هستند. نتایج حاصل از تلفیق شواهد علمی نشان داد که منابع شغلی مواجهه، مهم‌ترین اثرات سلامت و راهکارهای کنترلی هر یک از انواع پرتوهای غیر یونساز در جدول ۲ خلاصه شده است (۱، ۵، ۶، ۸ و ۱۷).

«شکاف اجرایی» و عدم شناسایی آن در اسناد عمومی بررسی شده به عنوان «شکاف اطلاعاتی یا سیاستی احتمالی» طبقه‌بندی شد. برای جلوگیری از نتیجه‌گیری بیش از حد، مواردی که در منابع عمومی شناسایی نشدند به صورت «در اسناد عمومی بررسی شده یافت نشد» گزارش شدند و به عنوان فقدان قطعی قانون یا سازوکار اجرایی تلقی نشدند. استخراج و طبقه‌بندی اطلاعات توسط دو پژوهشگر به صورت مستقل انجام شد و اختلاف‌نظرها از طریق بحث و اجماع رفع گردید.

روش تحلیل داده‌ها و تحلیل شکاف سیاستی

داده‌های حاصل از منابع علمی و اسناد سیاستی با استفاده از تحلیل محتوای کیفی جهت‌دار بررسی شدند. طبقات اولیه تحلیل شامل شناسایی خطر، ارزیابی مواجهه، حدود مجاز، پایش، کنترل‌های مهندسی و مدیریتی، آموزش، مسئولیت سازمانی، ثبت و گزارش‌دهی و ارزیابی عملکرد بودند. مفاهیم استخراج‌شده در این طبقات سازمان‌دهی و سپس ارتباط میان آن‌ها تحلیل شد. در بخش تحلیل سیاستی، ظرفیت‌ها و شکاف‌های موجود در قوانین، استانداردها و سازوکارهای اجرایی ایران شناسایی و با الزامات بین‌المللی مقایسه شدند. در نهایت، نتایج تحلیل علمی و سیاستی برای تدوین چارچوب ملی پیشنهادی مدیریت مواجهه شغلی با پرتوهای غیر یونساز تلفیق شد.

تدوین چارچوب ملی پیشنهادی

پس از استخراج و طبقه‌بندی داده‌ها، چارچوب مفهومی اولیه مدیریت مواجهه شغلی با پرتوهای غیر یونساز بر اساس شواهد علمی و استانداردهای بین‌المللی تدوین شد. این چارچوب شامل مراحل شناسایی منابع پرتو، ارزیابی مواجهه، مقایسه با حدود مجاز، ارزیابی ریسک و اجرای سلسله‌مراتب کنترل شامل حذف یا کاهش منبع، کنترل‌های مهندسی، کنترل‌های مدیریتی و استفاده از تجهیزات حفاظت فردی بود. در نهایت، ارتباط میان مؤلفه‌ها در قالب یک الگوی مفهومی جهت مدیریت مواجهه شغلی با پرتوهای غیر یونساز ارائه شد.

یافته‌ها

بر اساس تحلیل منابع علمی، استانداردها و دستورالعمل‌های بین‌المللی، چارچوب مفهومی اولیه مدیریت مواجهه شغلی با پرتوهای غیر یونساز تدوین شد که مراحل اصلی آن در شکل ۲ ارائه شده است. این چارچوب شامل شناسایی منابع مولد پرتو، شناسایی محیط‌ها و گروه‌های در معرض خطر، ارزیابی مواجهه، مقایسه با حدود مجاز،

جدول ۲. طبقه‌بندی پرتوهای غیریونساز، منابع شغلی مواجهه، اثرات سلامت و مهم‌ترین راهکارهای کنترلی (۱، ۵، ۶، ۸ و ۱۷)

نوع پرتو	مهم‌ترین منابع شغلی مواجهه	اثرات سلامت	مهم‌ترین روش‌های کنترل
پرتو فرابنفش (UV)	جوشکاری، لامپ‌های میکروپ کَش، صنایع چاپ، فتوترایی	اریتما، فوتوکراتیت، آب‌مرورید، سرطان پوست	حفاظت UV، محدودسازی مواجهه، عینک حفاظتی، Face Shield
فروسرخ (IR)	کوره‌ها، صنایع ذوب فلزات، شیشه‌گری	سوختگی حرارتی، آسیب عدسی چشم، استرس گرمایی	شیلد حرارتی، تهویه، فاصله ایمن، لباس مقاوم حرارتی
لیزر	جراحی لیزری، برش لیزری، صنایع اپتیک	آسیب شبکیه، سوختگی پوست، آسیب چشمی دائمی	Interlock، عینک لیزر، محدودسازی دسترسی، افسر ایمنی لیزر
میدان‌های الکترومغناطیسی (EMF)	خطوط انتقال برق، تجهیزات MRI، صنایع الکتریکی	اثرات بیولوژیکی، اختلالات عصبی، اثرات حرارتی	فاصله ایمن، شیلدینگ، پایش میدان، کنترل زمان مواجهه
امواج رادیوفرکانسی (RF)	آنتن‌های مخابراتی، رادار، تجهیزات بی‌سیم	افزایش دمای بافت، اثرات حرارتی، تغییرات بیولوژیکی	پایش شدت میدان، محدودیت دسترسی، کنترل مهندسی
مایکروویو	تجهیزات مخابراتی، صنایع غذایی، رادار	سوختگی بافتی، آسیب چشمی، اثرات حرارتی	محصورسازی، شیلدینگ، بازرسی نشستی، علائم هشدار

کنترل‌های مدیریتی، تجهیزات حفاظت فردی و پایش مستمر به‌عنوان لایه‌های تکمیلی مدیریت مواجهه مورد استفاده قرار می‌گیرند (۱۰-۴) (جدول ۳).

علاوه بر این، تحلیل منابع نشان داد که مدیریت مؤثر مواجهه شغلی با پرتوهای غیریونساز بر اجرای یک رویکرد سلسله‌مراتبی کنترل خطر استوار است. بر این اساس، حذف یا کاهش منبع تابش و کنترل‌های مهندسی به‌عنوان مؤثرترین اقدامات کنترلی شناخته می‌شوند و

جدول ۳. خلاصه حدود مجاز مواجهه شغلی با انواع پرتوهای غیریونساز بر اساس منابع و دستورالعمل‌های بین‌المللی (۱، ۳، ۴، ۱۸ و ۱۹)

مرجع استاندارد یا منبع	واحد	حد مجاز مواجهه شغلی	محدوده فرکانس / طول موج	نوع پرتو غیریونساز
ICNIRP 2020	ژول بر مترمربع (J/m^2)	حداکثر تابش مؤثر روزانه $J/m^2 \times 30$	۱۸۰-۴۰۰ نانومتر	پرتو فرابنفش (UV)
ICNIRP	وابسته به چگالی توان و مدت مواجهه	حدود مجاز بر اساس اثرات حرارتی چشم و پوست؛ وابسته به طول موج	۷۸۰ نانومتر تا ۱ میلی‌متر	پرتو فروسرخ (IR)
ANSI Z136.1 / IEC 60825-1	MPE	حداکثر میزان مجاز مواجهه؛ وابسته به طول موج، زمان مواجهه و قطر پرتو	۱۸۰ نانومتر تا ۱ میلی‌متر	پرتو لیزر
ICNIRP	تسلا (T)	۲ تسلا برای مواجهه کل بدن کارکنان	میدان ساکن، ۰ هرتز	میدان مغناطیسی ساکن
حاجی‌زاده و همکاران (۱)	میلی‌تسلا (mT)	۱ mT	۶۰/۵۰ هرتز	میدان مغناطیسی با فرکانس بسیار پایین (ELF)
حاجی‌زاده و همکاران (۱)	کیلوولت بر متر (kV/m)	۱۰ kV/m	۶۰/۵۰ هرتز	میدان الکتریکی با فرکانس بسیار پایین (ELF)
ICNIRP 2020	وات بر کیلوگرم (W/kg)	SAR کل بدن = $0.4 W/kg$ ؛ موضعی سر و تنه = $2 W/kg$ ؛ اندام‌ها = $10 W/kg$	۱۰۰ کیلوهرتز تا ۶ گیگاهرتز	امواج رادیوفرکانسی (RF)
ICNIRP 2020	وات بر مترمربع (W/m^2)	۱۰۰ W/m^2 برای مواجهه شغلی در فرکانس‌های بالاتر از ۶ گیگاهرتز	بیش از ۶ تا ۳۰۰ گیگاهرتز	امواج مایکروویو

مقادیر ارائه‌شده بر اساس منابع و دستورالعمل‌های مورد استفاده در این مطالعه هستند. حدود مجاز مواجهه برای برخی انواع پرتوها، به‌ویژه لیزر و فروسرخ، به طول موج، مدت مواجهه، ویژگی‌های منبع و شرایط تابش وابسته است. مقادیر مربوط به میدان‌های الکتریکی و مغناطیسی با فرکانس بسیار پایین بر اساس منبع شماره ۱ ارائه شده‌اند.

شده و سازوکار واحد و شفاف برای هماهنگی بین‌بخشی، ثبت مواجهه‌های شغلی، تبادل اطلاعات و ارزیابی عملکرد شناسایی نشد. مهم‌ترین ظرفیت‌ها و شکاف‌های سیاستی استخراج‌شده از اسناد بررسی‌شده در جدول ۴ ارائه شده است.

وضعیت مقرراتی و شکاف‌های مدیریت مواجهه شغلی در ایران
بررسی اسناد ملی نشان داد که مدیریت مواجهه با پرتوهای غیریونساز در ایران از پشتوانه قانونی، استاندارد ملی و برخی سازوکارهای نظارتی برخوردار است. با این حال، مسئولیت‌های مرتبط میان چند نهاد توزیع

جدول ۴. ظرفیت‌های موجود و شکاف‌های سیاستی و اجرایی مدیریت مواجهه شغلی با پرتوهای غیریونساز در ایران (۱۶-۱۲)

حوزه سیاستی	ظرفیت یا وضعیت موجود در ایران	نهادهای مرتبط	شکاف سیاستی یا اجرایی شناسایی شده	جهت‌گیری پیشنهادی
قانون پایه	قانون حفاظت در برابر اشعه، پرتوهای یونساز و غیریونساز را پوشش می‌دهد و سازمان انرژی اتمی را واحد قانونی معرفی می‌کند.	سازمان انرژی اتمی ایران	قانون ماهیت کلی دارد و جزئیات اجرایی یکسان برای همه منابع UV، لیزر، RF و مایکروویو در آن ارائه نشده است.	تدوین دستورالعمل‌های اختصاصی و هماهنگ برحسب نوع پرتو و محیط کاری
حدود مجاز مواجهه	استاندارد ملی شماره ۸۵۶۷ درباره حدود پرتوگیری از پرتوهای غیریونساز وجود دارد و نسخه معتبر آن در سال ۱۴۰۳ بازنگری شده است.	سازمان ملی استاندارد و نهادهای ناظر	ارتباط الزام‌آور میان استاندارد، بازرسی محیط کار، تناوب پایش و اقدامات اصلاحی به‌طور شفاف در صفحه عمومی استاندارد مشخص نیست.	پیوند استاندارد با نظام بازرسی، پایش و گزارش‌دهی شغلی
پایش امواج رادیویی	رگولاتوری پایش جمعی تشعشعات دکل‌ها و سایت‌های رادیویی را گزارش کرده است.	سازمان تنظیم مقررات، سازمان انرژی اتمی و اپراتورها	تمرکز اصلی پایش بر محیط عمومی و دکل‌هاست و پوشش مواجهه شغلی کارکنان نصب، تعمیر و نگهداری نیازمند تصریح بیشتر است.	تعریف برنامه اختصاصی پایش شغلی کارکنان حوزه مخابرات
آموزش ایمنی	آیین‌نامه عمومی آموزش ایمنی، آموزش متناسب با نوع کار را برای کارفرمایان و کارکنان الزام‌آور کرده است.	وزارت تعاون، کار و رفاه اجتماعی و مرکز تحقیقات و تعلیمات حفاظت فنی و بهداشت کار	محتوای تخصصی و تناوب آموزش برای UV، لیزر، RF و میدان‌های الکترومغناطیسی به‌صورت یکپارچه مشخص نشده است.	تدوین بسته‌های آموزشی تخصصی و بازآموزی دوره‌ای
نظارت و بازرسی	ساختار عمومی حفاظت فنی و بازرسی کار در قوانین و مقررات کار وجود دارد.	وزارت تعاون، کار و رفاه اجتماعی و شورای عالی حفاظت فنی	آیین‌نامه جامع اختصاصی برای بازرسی همه انواع مواجهه شغلی با پرتوهای غیریونساز در جست‌وجوی حاضر شناسایی نشد.	افزودن الزامات پرتوهای غیریونساز به چک‌لیست‌های بازرسی کار
مراقبت سلامت شغلی	قانون حفاظت در برابر اشعه بر معاینات پیش از استخدام و دوره‌ای کارکنان کار با اشعه تأکید دارد.	سازمان انرژی اتمی، وزارت بهداشت و دانشگاه‌های علوم پزشکی	پیوند یکپارچه میان پایش محیطی، داده‌های مواجهه و مراقبت سلامت شاغلان برای همه انواع پرتوهای غیریونساز روشن نیست.	تدوین پروتکل مراقبت سلامت مبتنی بر نوع و سطح مواجهه
هماهنگی سازمانی	چندین نهاد در قانون‌گذاری، استانداردگذاری، پایش، آموزش و بازرسی نقش دارند.	وزارت بهداشت، وزارت کار، سازمان انرژی اتمی، وزارت ارتباطات و سازمان ملی استاندارد	سند واحدی برای تعیین نهاد راهبر، تقسیم کار، تبادل داده و پاسخ‌گویی مشترک شناسایی نشد.	تشکیل کارگروه ملی و تعیین نهاد راهبر
ثبت و گزارش‌دهی	برخی داده‌های بخشی، مانند نتایج پایش امواج رادیویی، تولید می‌شوند.	رگولاتوری و سایر نهادهای تخصصی	سامانه ملی جامع برای ثبت مواجهه شغلی، نتایج اندازه‌گیری و اقدامات اصلاحی در منابع عمومی شناسایی نشد.	ایجاد سامانه ملی ثبت و پایش مواجهه
ارزیابی عملکرد	مقررات موجود بر استاندارد، مجوز، آموزش یا پایش بخشی تمرکز دارند.	تمام نهادهای مسئول	مجموعه مشترکی از شاخص‌های کمی برای ارزیابی عملکرد ملی شناسایی نشد.	تعیین شاخص‌های ملی پوشش پایش، آموزش، انطباق و اصلاح

عبارت «شناسایی نشد» به معنای یافت‌نشدن سازوکار موردنظر در اسناد رسمی عمومی بررسی‌شده است و لزوماً به معنای فقدان کامل آن در دستورالعمل‌های داخلی یا منتشرنشده سازمان‌ها نیست.

تحلیل ذی‌نفعان مدیریت مواجهه شغلی با پرتوهای غیریونساز

تحلیل اسناد نشان داد که مدیریت مواجهه شغلی با پرتوهای غیریونساز به مشارکت مجموعه‌ای از نهادهای سیاست‌گذار، ناظر، استانداردگذار، اجرایی، علمی و گروه‌های شغلی نیاز دارد. ذی‌نفعان شناسایی‌شده از نظر میزان اختیار، مسئولیت اجرایی و میزان تأثیرپذیری از سیاست‌ها در سطوح متفاوتی قرار دارند. سازمان انرژی اتمی ایران، وزارت بهداشت، درمان و آموزش پزشکی و وزارت تعاون، کار و رفاه اجتماعی از مهم‌ترین ذی‌نفعان دارای اختیار و مسئولیت

سیاستی و نظارتی محسوب می‌شوند. سازمان ملی استاندارد ایران و وزارت ارتباطات و فناوری اطلاعات نیز دارای نقش‌های تخصصی و تنظیم‌گری هستند. در سطح اجرا، صنایع و کارفرمایان مسئول فراهم کردن شرایط ایمن، ارزیابی مواجهه و اجرای اقدامات کنترلی هستند؛ درحالی‌که کارکنان، اصلی‌ترین گروه تأثیرپذیر از اجرای سیاست‌ها به شمار می‌روند. نقش و جایگاه پیشنهادی ذی‌نفعان در جدول ۵ ارائه شده است. نتایج تحلیل ذی‌نفعان نشان داد که اجرای چارچوب ملی پیشنهادی به هماهنگی میان سه سطح سیاست‌گذاری،

نظارت‌های بخشی هستند. در سطح اجرا نیز صنایع، کارفرمایان، متخصصان بهداشت حرفه‌ای و کارکنان نقش اصلی را بر عهده دارند. بنابراین، واگذاری کامل مسئولیت مدیریت مواجهه به یک سازمان، بدون ایجاد سازوکار رسمی برای تقسیم وظایف، هماهنگی بین‌بخشی و تبادل اطلاعات، برای اجرای مؤثر چارچوب کافی نخواهد بود.

تنظیم‌گری تخصصی و اجرا وابسته است. در سطح سیاست‌گذاری و نظارت، سازمان انرژی اتمی ایران، وزارت بهداشت، درمان و آموزش پزشکی و وزارت تعاون، کار و رفاه اجتماعی نقش محوری دارند. در سطح تنظیم‌گری تخصصی، سازمان ملی استاندارد ایران و وزارت ارتباطات و فناوری اطلاعات مسئول تدوین معیارها و اعمال

جدول ۵. تحلیل ذی‌نفعان مدیریت مواجهه شغلی با پرتوهای غیریونساز در ایران

ذی‌نفع	نقش اصلی	میزان تأثیرپذیری از سیاست	میزان قدرت و اثربخشی	نقش پیشنهادی در چارچوب ملی
سازمان انرژی اتمی ایران	تنظیم ضوابط حفاظت پرتویی و اعمال نظارت قانونی	متوسط	زیاد	مشارکت در تدوین ضوابط تخصصی، صدور مجوز و نظارت بر منابع مشمول مقررات پرتویی
وزارت بهداشت، درمان و آموزش پزشکی	سیاست‌گذاری سلامت شغلی، مراقبت سلامت و نظارت بهداشتی	زیاد	زیاد	راهبری مراقبت سلامت شاغلان و ادغام داده‌های مواجهه با نظام بهداشت حرفه‌ای
وزارت تعاون، کار و رفاه اجتماعی	بازرسی محیط کار و نظارت بر اجرای الزامات ایمنی	زیاد	زیاد	ادغام الزامات پرتوهای غیریونساز در بازرسی کار، آموزش ایمنی و مقررات حفاظت فنی
سازمان ملی استاندارد ایران	تدوین و بازنگری استانداردهای ملی	متوسط	متوسط تا زیاد	بازنگری و به‌روزرسانی استانداردهای ملی مرتبط با حدود مواجهه و روش‌های ارزیابی
وزارت ارتباطات و فناوری اطلاعات و سازمان تنظیم مقررات	تنظیم مقررات و پایش امواج رادیویی	متوسط	متوسط تا زیاد	توسعه پایش شغلی کارکنان نصب، تعمیر و نگهداری تجهیزات و سامانه‌های مخابراتی
صنایع و کارفرمایان	تأمین منابع و اجرای الزامات ایمنی در محیط کار	زیاد	زیاد در سطح اجرا	اجرای ارزیابی مواجهه، کنترل‌های مهندسی و مدیریتی، آموزش و ثبت اقدامات اصلاحی
متخصصان و شرکت‌های خدمات بهداشت حرفه‌ای	پشتیبانی فنی و تخصصی از کارفرمایان و نهادهای ناظر	متوسط	متوسط	انجام اندازه‌گیری، ارزیابی ریسک، آموزش و ارائه خدمات مشاوره تخصصی
دانشگاه‌ها و مراکز پژوهشی	پژوهش، آموزش تخصصی و ارزیابی اثربخشی سیاست‌ها	متوسط	متوسط	توسعه شواهد علمی، اعتبارسنجی چارچوب و تربیت نیروی متخصص
کارکنان در معرض مواجهه	مشارکت در اجرای برنامه‌های ایمنی	بسیار زیاد	کم در سیاست‌گذاری و زیاد در موفقیت اجرا	رعایت دستورالعمل‌ها، مشارکت در آموزش و گزارش شرایط یا مواجهه‌های ناایمن
نمایندگان کارگران و تشکلهای صنفی	نماینده‌گری منافع کارکنان و مشارکت در نظارت	زیاد	متوسط	حمایت از حقوق کارکنان و انتقال مشکلات اجرایی به نهادهای مسئول
تولیدکنندگان، واردکنندگان و تأمین‌کنندگان تجهیزات	تأمین و بهره‌برداری ایمن از تجهیزات مولد پرتو	متوسط	متوسط	ارائه اطلاعات فنی و رعایت الزامات ایمنی در طراحی، نصب و نگهداری تجهیزات

نقش‌های ذکر شده در ستون «نقش پیشنهادی در چارچوب ملی» بیانگر پیشنهاد مطالعه حاضر برای تقسیم وظایف است و لزوماً به معنای اجرای کامل این مسئولیت‌ها در ساختار موجود نیست.

بحث

پایش مستمر تأکید کرده‌اند (۴-۱۱). پایش و ارزیابی مستمر مواجهه یکی از اجزای اصلی چارچوب پیشنهادی بود. اندازه‌گیری شدت تابش و مقایسه نتایج با حدود مجاز، مبنای شناسایی موقعیت‌های پرخطر و انتخاب اقدامات کنترلی مناسب است (۴ و ۲۰). با این حال، کمبود تجهیزات اندازه‌گیری، محدودیت منابع و دسترسی ناکافی به نیروی متخصص می‌تواند اجرای منظم این فرایند را با مشکل مواجه کند. دورنبرگر و همکاران (۲۱) نیز نبود برنامه‌های منظم پایش و تجهیزات مناسب را از موانع مدیریت مواجهه با پرتوهای غیریونساز معرفی

یافته‌های این مطالعه نشان داد که مدیریت مواجهه شغلی با پرتوهای غیریونساز به رویکردی نظام‌مند نیاز دارد که شناسایی منابع، ارزیابی مواجهه، مقایسه با حدود مجاز، ارزیابی ریسک، اجرای کنترل‌ها و پایش مستمر را به یکدیگر مرتبط سازد. چارچوب پیشنهادی مطالعه حاضر این مؤلفه‌ها را در قالب یک فرایند پیوسته ارائه می‌کند. این رویکرد با توصیه‌های ILO، OSHA، ICNIRP، WHO و همخوانی دارد که بر تلفیق ارزیابی مواجهه، کنترل‌های مهندسی، آموزش کارکنان و

کرده‌اند. بنابراین، توسعه ظرفیت اندازه‌گیری و تعریف برنامه‌های پایش مبتنی بر سطح خطر باید از اجزای اجرایی چارچوب ملی باشد.

تفسیر شکاف‌های سیاستی و پیامدهای آن برای نظام مدیریت مواجهه شغلی در ایران

بررسی اسناد ملی نشان داد که ایران از نظر وجود قانون پایه، استاندارد ملی و برخی سازوکارهای تخصصی، ظرفیت‌های اولیه لازم برای مدیریت مواجهه شغلی با پرتوهای غیریونساز را در اختیار دارد. با این حال، این ظرفیت‌ها عمدتاً به صورت بخشی توسعه یافته‌اند و هنوز در قالب یک نظام مدیریتی یکپارچه سازمان‌دهی نشده‌اند. در نتیجه، با وجود توزیع برخی مسئولیت‌های قانونی و نظارتی میان سازمان‌های مختلف، سازوکار روشنی برای هماهنگی بین‌بخشی، تبادل اطلاعات، پایش یکپارچه و ارزیابی مشترک عملکرد در اسناد عمومی بررسی شده شناسایی نشد. پراکندگی مسئولیت‌ها می‌تواند موجب هم‌پوشانی برخی وظایف و ایجاد خلأ در سایر حوزه‌های اجرایی شود. در چنین شرایطی، اندازه‌گیری مواجهه، ثبت نتایج، اقدامات اصلاحی، آموزش کارکنان و ارزیابی اثربخشی کنترل‌ها ممکن است با روش‌ها و معیارهای متفاوت انجام شوند. این ناهمگونی می‌تواند مقایسه داده‌ها، شناسایی صنایع اولویت‌دار و برنامه‌ریزی ملی برای پیشگیری از مواجهه‌های شغلی را محدود کند.

تحلیل ذی‌نفعان نیز نشان داد که مدیریت مؤثر مواجهه با پرتوهای غیریونساز تنها با اتکا به یک سازمان امکان‌پذیر نیست. اجرای چارچوب پیشنهادی به همکاری میان سازمان‌های سیاست‌گذار، نهادهای تنظیم‌گر، دستگاه‌های نظارتی، کارفرمایان، متخصصان بهداشت حرفه‌ای و کارکنان نیاز دارد. ایجاد سازوکار رسمی برای تقسیم مسئولیت‌ها، تبادل داده‌ها و پاسخ‌گویی مشترک می‌تواند از موازی‌کاری جلوگیری کرده و اجرای سیاست‌های موجود را تقویت کند. توسعه چارچوب ملی یکپارچه نیز به معنای جایگزینی قوانین و استانداردهای موجود نیست؛ بلکه هدف آن ایجاد ارتباط میان مقررات، پایش، آموزش، بازرسی، مراقبت سلامت و ثبت مواجهه‌های شغلی است.

از نظر کنترل مواجهه، یافته‌ها نشان داد که اقدامات مهندسی باید نسبت به کنترل‌های اداری و تجهیزات حفاظت فردی در اولویت قرار گیرند. محصورسازی منبع، استفاده از حفاظ، سیستم‌های اینترلاک، افزایش فاصله و طراحی ایمن محیط کار از مهم‌ترین اقدامات قابل

استفاده هستند (۸-۱۰). این رویکرد با اصول سلسله‌مراتب کنترل همخوانی دارد و وابستگی به رفتار فردی کارکنان را کاهش می‌دهد. در محیط‌های دارای تجهیزات لیزری، کنترل دسترسی، تعیین مسئول ایمنی لیزر و استفاده از تجهیزات حفاظت چشمی متناسب با طول موج و کلاس لیزر اهمیت ویژه‌ای دارد. این الزامات در استانداردهای ANSI Z136 و IEC 60825-1 نیز مورد تأکید قرار گرفته‌اند (۱۷، ۱۸ و ۱۹). در مواجهه با میدان‌های الکترومغناطیسی و امواج رادیوفرکانسی نیز پایش دوره‌ای، کنترل منابع و رعایت حدود مجاز برای پیشگیری از اثرات حرارتی و تحریک عصبی ضروری است (۴، ۷ و ۲۲). آموزش کارکنان یکی دیگر از مؤلفه‌های اساسی چارچوب پیشنهادی است. نبود آگاهی کافی درباره منابع پرتو، علائم هشدار، حدود مجاز و نحوه استفاده صحیح از تجهیزات حفاظت فردی می‌تواند احتمال مواجهه ناایمن را افزایش دهد (۲۳ و ۲۴). راهنماهای OSHA و ILO نیز آموزش مستمر و آشنایی کارکنان با مخاطرات را از اجزای اصلی برنامه‌های حفاظت شغلی معرفی کرده‌اند (۱۱، ۲۴ و ۲۵). بنابراین، آموزش باید متناسب با نوع پرتو، سطح مواجهه و مسئولیت شغلی طراحی و به صورت دوره‌ای تکرار شود. در مجموع، یافته‌های مطالعه نشان داد که مسئله اصلی در ایران صرفاً نبود قانون یا استاندارد نیست، بلکه نبود ارتباط منسجم میان ظرفیت‌های موجود، مسئولیت‌های سازمانی و سازوکارهای اجرایی است. چارچوب ملی پیشنهادی می‌تواند با تعیین نهاد راهبر، ایجاد نظام ثبت مواجهه، تعریف شاخص‌های مشترک و تقویت هماهنگی میان دستگاه‌های مسئول، اجرای منسجم‌تر برنامه‌های شناسایی، ارزیابی، کنترل و پایش مواجهه شغلی را تسهیل کند.

گزینه‌های سیاستی پیشنهادی برای مدیریت مواجهه شغلی با پرتوهای غیریونساز در ایران

بر اساس نتایج تحلیل شکاف و تحلیل ذی‌نفعان، سه گزینه اصلی برای بهبود مدیریت مواجهه شغلی با پرتوهای غیریونساز در ایران شناسایی شد. این گزینه‌ها شامل ادامه وضعیت موجود، تقویت هماهنگی میان نهادهای مسئول و ایجاد چارچوب ملی یکپارچه است. گزینه‌ها از نظر قابلیت اجرا، میزان تغییرات سازمانی مورد نیاز، انسجام مدیریتی و توانایی آن‌ها در کاهش شکاف‌های شناسایی شده با یکدیگر مقایسه شدند. ادامه وضعیت موجود، اگرچه به تغییر فوری در ساختار سازمانی نیاز ندارد، قادر به رفع پراکندگی مسئولیت‌ها، ناهمگونی در برنامه‌های

ایجاد چارچوب ملی یکپارچه، جامع‌ترین گزینه برای مدیریت پایدار مواجهه شغلی با پرتوهای غیریونساز است. این گزینه می‌تواند ارتباط میان قانون، استاندارد، پایش، آموزش، بازرسی، مراقبت سلامت و ثبت مواجهه را تقویت کند و مسئولیت هر یک از نهادهای مرتبط را شفاف‌تر سازد. با توجه به دامنه شکاف‌های شناسایی‌شده، مطالعه حاضر این گزینه را به‌عنوان گزینه مطلوب بلندمدت پیشنهاد می‌کند؛ با این حال، اجرای آن می‌تواند به‌صورت مرحله‌ای و با تقویت هماهنگی میان نهادهای موجود آغاز شود.

پایش و نبود نظام مشترک ثبت مواجهه نخواهد بود. از این‌رو، این گزینه کمترین انطباق را با شکاف‌های شناسایی‌شده در مطالعه حاضر دارد. تقویت هماهنگی میان نهادهای موجود می‌تواند به‌عنوان گزینه‌ای عملی در کوتاه‌مدت مورد توجه قرار گیرد. این گزینه از ظرفیت‌های قانونی و سازمانی موجود استفاده می‌کند و در مقایسه با ایجاد ساختار جدید، به منابع مالی و اداری کمتری نیاز دارد. با این حال، در صورت نبود سازوکار رسمی برای تقسیم وظایف، تبادل اطلاعات و پاسخ‌گویی، ممکن است بخشی از مشکلات موجود همچنان ادامه یابد.

جدول ۶. مقایسه گزینه‌های سیاستی مدیریت مواجهه شغلی با پرتوهای غیریونساز در ایران

گزینه سیاستی	مزایا	محدودیت‌ها	ارزیابی کلی
ادامه وضعیت موجود	نیاز نداشتن به تغییر فوری ساختار سازمانی و هزینه اجرایی اولیه محدود	تداوم پراکندگی مسئولیت‌ها، نبود ثبت یکپارچه مواجهه و تفاوت در نحوه پایش و کنترل	کمترین اثربخشی در رفع شکاف‌های موجود
تقویت هماهنگی میان نهادهای موجود	امکان اجرا در کوتاه‌مدت، استفاده از ظرفیت‌های قانونی و سازمانی موجود و هزینه کمتر نسبت به ایجاد ساختار جدید	وابستگی به همکاری داوطلبانه یا توافق‌های بین‌سازمانی و احتمال باقی‌ماندن برخی هم‌پوشانی‌ها	گزینه مناسب برای مرحله انتقالی و اقدامات کوتاه‌مدت
ایجاد چارچوب ملی یکپارچه	تقسیم روشن مسئولیت‌ها، یکپارچه‌سازی پایش و ثبت مواجهه، تعیین شاخص‌های مشترک و افزایش پاسخ‌گویی	نیازمند همکاری بین‌بخشی، تدوین سازوکار اجرایی، تأمین منابع و هماهنگی سازمانی	جامع‌ترین گزینه برای مدیریت پایدار و بلندمدت

نتیجه‌گیری

پرتوهای غیریونساز به‌عنوان یکی از مهم‌ترین عوامل فیزیکی نوظهور در محیط‌های شغلی و عمومی، امروزه به دلیل توسعه فناوری‌های صنعتی، پزشکی، مخابراتی و الکترونیکی اهمیت ویژه‌ای در حوزه ایمنی و بهداشت حرفه‌ای پیدا کرده‌اند. افزایش استفاده از منابع فرابنفش، سامانه‌های لیزری، تجهیزات رادیوفاکانسی، میدان‌های الکترومغناطیسی و فناوری‌های مبتنی بر امواج الکترومغناطیسی موجب شده است که کارکنان بسیاری از صنایع و مراکز خدماتی در معرض سطوح مختلفی از این پرتوها قرار گیرند.

نتایج این مطالعه نشان داد که اگرچه پرتوهای غیریونساز فاقد توان یونیزاسیون مستقیم هستند، اما مواجهه کنترل‌نشده با آن‌ها می‌تواند منجر به بروز طیف وسیعی از آسیب‌های بیولوژیکی و شغلی شود. آسیب‌های پوستی، اختلالات چشمی، اثرات حرارتی، تغییرات بیولوژیکی، مخاطرات ناشی از لیزر و مواجهات مزمن با میدان‌های الکترومغناطیسی از جمله مهم‌ترین پیامدهای ناشی از این پرتوها محسوب می‌شوند. همچنین مشخص شد که شدت اثرات ایجادشده به عواملی نظیر طول موج، شدت تابش، مدت زمان مواجهه، فاصله از منبع و شرایط محیط کار وابسته است. بررسی‌ها نشان داد که بسیاری از محیط‌های کاری فاقد نظام جامع پایش و کنترل مواجهه با پرتوهای

غیریونساز هستند و در برخی صنایع، کمبود تجهیزات اندازه‌گیری، ضعف آموزش تخصصی، نبود دستورالعمل‌های اجرایی و عدم اجرای کامل کنترل‌های مهندسی موجب افزایش احتمال مواجهه ناایمن کارکنان شده است. همچنین مشخص گردید که گروه‌هایی نظیر جوشکاران، کارکنان مراکز درمانی، اپراتورهای لیزر، کارکنان صنایع الکترونیک و افراد شاغل در مراکز مخابراتی در معرض ریسک بالاتری نسبت به سایر گروه‌های شغلی قرار دارند.

یافته‌های این مطالعه نشان داد که مؤثرترین راهکار برای مدیریت مواجهه با پرتوهای غیریونساز، استفاده از رویکردی نظام‌مند و مبتنی بر سیاست‌گذاری ایمنی است. در این راستا، شناسایی دقیق منابع مولد پرتو، ارزیابی مستمر شدت مواجهه، مقایسه نتایج با حدود مجاز بین‌المللی، اجرای کنترل‌های مهندسی، استفاده از کنترل‌های اداری، آموزش مستمر کارکنان و بهره‌گیری از تجهیزات حفاظت فردی مناسب، از مهم‌ترین اجزای برنامه کنترل مواجهه محسوب می‌شوند.

همچنین نتایج پژوهش نشان داد که کنترل‌های مهندسی نظیر محصورسازی منابع تابش، استفاده از حفاظ‌های جاذب، طراحی سیستم‌های اینترلاک، محدودسازی دسترسی و پایش مستمر محیط، نسبت به سایر روش‌های کنترلی اثربخشی بیشتری در کاهش مواجهه دارند. در کنار آن، آموزش کارکنان درباره مخاطرات پرتوهای

میدانی مستقیم در محیط‌های شغلی نبود. همچنین به دلیل تفاوت شرایط کاری، نوع تجهیزات و سطح اجرای الزامات ایمنی در صنایع مختلف، تعمیم یافته‌ها به همه محیط‌های شغلی باید با احتیاط انجام شود. همچنین، چارچوب مفهومی پیشنهادی در محیط‌های کاری واقعی اعتبارسنجی نشده است.

تشکر و قدردانی

نویسندگان از مرکز تحقیقات کنترل عوامل زیان‌آور محیط و کار، پژوهشکده علوم بهداشتی و محیط زیست، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی، تهران، ایران به دلیل حمایت‌های علمی از این پژوهش صمیمانه قدردانی می‌کنند.

ملاحظات اخلاقی

این مطالعه از نوع مروری - تحلیلی بوده و شامل مداخله بر روی انسان یا حیوان، جمع‌آوری داده‌های فردی و یا دسترسی به اطلاعات محرمانه افراد نبوده است؛ بنابراین نیاز به اخذ کد اخلاق نداشته است.

تضاد منافع

نویسندگان اعلام می‌کنند که هیچ‌گونه تضاد منافی در ارتباط با این پژوهش وجود ندارد.

منابع مالی

این پژوهش با حمایت علمی مرکز تحقیقات کنترل عوامل زیان‌آور محیط و کار، پژوهشکده علوم بهداشتی و محیط زیست، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی، تهران، ایران انجام شده است.

نقش نویسندگان

امیرحسین منتظری: ایده‌پردازی مطالعه، جستجوی منابع، جمع‌آوری داده‌ها و نگارش اولیه مقاله؛ مهرا اثناعشریه: جستجوی منابع، تحلیل داده‌ها و بازنگری علمی مقاله؛ روح‌الله حاجی‌زاده: نظارت علمی، طراحی روش مطالعه، بازنگری نهایی و تأیید نسخه نهایی مقاله.

استفاده از هوش مصنوعی

بدین وسیله اعلام می‌شود در تدوین مقاله از هوش مصنوعی استفاده نشده است.

غیریونساز، حدود مجاز مواجهه، علائم هشداردهنده و روش‌های حفاظت فردی نقش مهمی در کاهش رفتارهای ناایمن و ارتقای فرهنگ ایمنی ایفا می‌کند.

از سوی دیگر، مطالعه حاضر بر ضرورت توسعه چارچوب‌های سیاستی و نظارتی در حوزه پرتوهای غیریونساز تأکید دارد. استفاده از استانداردها و دستورالعمل‌های بین‌المللی نظیر ICNIRP، WHO، OSHA و ACGIH می‌تواند نقش مهمی در بهبود نظام‌های پایش و کنترل ایفا کند. علاوه بر این، تدوین دستورالعمل‌های بومی متناسب با شرایط صنایع و محیط‌های کاری کشور، توسعه سامانه‌های پایش تخصصی و تقویت نظارت قانونی بر محیط‌های دارای منابع تابشی از جمله اقدامات ضروری در این حوزه محسوب می‌شود.

در مجموع، می‌توان نتیجه گرفت که مدیریت ایمنی پرتوهای غیریونساز نیازمند رویکردی چندبعدی، علمی و مبتنی بر سیاست‌گذاری پیشگیرانه است. اجرای نظام جامع شناسایی، ارزیابی و کنترل مواجهه می‌تواند نقش مؤثری در حفاظت از سلامت کارکنان، کاهش مخاطرات شغلی، ارتقای سطح ایمنی محیط کار و پیشگیری از آسیب‌های ناشی از پرتوهای غیریونساز داشته باشد. چارچوب مفهومی اولیه ارائه‌شده در این پژوهش می‌تواند به‌عنوان مبنایی برای توسعه دستورالعمل‌های ملی و طراحی برنامه‌های مدیریت مواجهه شغلی با پرتوهای غیریونساز مورد استفاده قرار گیرد. بر این اساس، پیشنهاد می‌شود وزارت بهداشت، وزارت تعاون، کار و رفاه اجتماعی، سازمان انرژی اتمی ایران و سایر نهادهای مسئول با همکاری یکدیگر نسبت به تدوین چارچوب ملی، توسعه سامانه ثبت مواجهه‌های شغلی، تقویت برنامه‌های پایش و تعریف شاخص‌های مشترک ارزیابی عملکرد اقدام کنند. اجرای این چارچوب می‌تواند مبنایی برای بازنگری سیاست‌های ملی حفاظت در برابر پرتوهای غیریونساز و ارتقای نظام بهداشت حرفه‌ای کشور باشد.

محدودیت‌های مطالعه

این مطالعه به‌صورت توصیفی - تحلیلی و مبتنی بر مرور منابع علمی، استانداردها و دستورالعمل‌های تخصصی انجام شد و شامل اندازه‌گیری

References

- Hajizadeh R, Montazeri A, Esnaasharieh M. Non-ionizing radiation: identification, evaluation, and control. Tehran: Asar-e Sobhan; 2025.

- World Health Organization. Ultraviolet radiation and health. Geneva: World Health Organization; 2023.
- International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection. Guidelines on limits of exposure to ultraviolet radiation of wavelengths between 180 nm and 400 nm (incoherent optical radiation). Health Physics.

- 2004;87(2):171-186. <https://doi.org/10.1097/00004032-200408000-00006>
4. Ziegelberger G, Croft R, Feychting M, Green AC, Hirata A, d'Inzeo G, Jokela K, Loughran S, Marino C, Miller S, Oftedal G. Guidelines for limiting exposure to electromagnetic fields (100 kHz to 300 GHz). *Health Physics*. 2020;118(5):483-524. <https://doi.org/10.1097/HP.0000000000001210>
 5. Occupational Safety and Health Administration. Non-ionizing radiation: overview. Washington (DC): U.S. Department of Labor; 2022. <https://www.osha.gov/non-ionizing-radiation>
 6. American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH). 2023 TLVs and BEIs: Based on the documentation of the threshold limit values for chemical substances and physical agents and biological exposure indices. Cincinnati (OH): ACGIH; 2023.
 7. World Health Organization. Radiation: Non-ionizing radiation. Geneva: World Health Organization; 2022.
 8. Johnson TE. Introduction to health physics. 5th ed. New York: McGraw-Hill Education; 2017.
 9. Occupational Safety and Health Administration (OSHA). Hierarchy of Controls. Washington (DC): U.S. Department of Labor; 2022. <https://www.osha.gov/safety-management/hazard-prevention>
 10. International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection. Principles for non-ionizing radiation protection. *Health Physics*. 2020;118(5):477-482. <https://doi.org/10.1097/hp.0000000000001252>
 11. International Labour Organization. Radiation protection of workers (ionising radiations): an ILO code of practice. Geneva: International Labour Organization; 1987.
 12. Qanun-e Hefazat dar Barabar-e Ash'eh (Law on Protection against Radiation). Tehran: Islamic Consultative Assembly, Islamic Republic of Iran; 1989. <https://qavanin.ir/Law/TreeText/?IDS=17739902999358640384>
 13. Institute of Standards and Industrial Research of Iran (ISIRI). Iranian National Standard No. 8567: Non-Ionizing Radiation Safety Requirements. Revision 2024. <https://standard.inso.gov.ir/>
 14. Communications Regulatory Authority (CRA). Official regulatory document on continuous monitoring of radiofrequency radiation. Tehran: Communications Regulatory Authority; 2024. <https://www.cra.ir/>
 15. Ministry of Cooperatives, Labour and Social Welfare. Ayin-nameh-ye Amuzesh-e Imeni-ye Karfarmayan, Kargaran va Karamuzan (Regulation on Safety Training for Employers, Workers, and Apprentices). Tehran: Ministry of Cooperatives, Labour and Social Welfare; 2022. <https://rc.majlis.ir/>
 16. Ministry of Cooperatives, Labour and Social Welfare. Eslah-e Mavad-e 9 va 12 Ayin-nameh-ye Amuzesh-e Imeni, approved 2022 (Amendment to Articles 9 and 12 of the Safety Training Regulation). Tehran: Ministry of Cooperatives, Labour and Social Welfare; 2022. <https://rc.majlis.ir/fa>
 17. Sliney DH, Mellerio J. Safety with lasers and other optical sources: a comprehensive handbook. New York: Springer; 2013.
 18. International Electrotechnical Commission. IEC 60825-1:2014. Safety of laser products—Part 1: Equipment classification and requirements. 3rd ed. Geneva: International Electrotechnical Commission; 2014.
 19. American National Standards Institute. ANSI Z136.1-2022: American National Standard for Safe Use of Lasers. Washington, DC: American National Standards Institute; 2022.
 20. National Council on Radiation Protection and Measurements (NCRP). Biological effects and exposure criteria for radiofrequency electromagnetic fields. NCRP Report No. 86. Bethesda, MD: National Council on Radiation Protection and Measurements; 1986.
 21. Dürrenberger G, Fröhlich J, Rösli M, Mattsson MO. EMF monitoring—Concepts, activities, gaps and options. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2014;11(9):9460-9479. <https://doi.org/10.3390/ijerph110909460>
 22. World Health Organization. Electromagnetic fields and public health. Geneva: World Health Organization; 2021.
 23. Vecchia P. Exposure of humans to electromagnetic fields. Standards and regulations. *Annali dell'Istituto Superiore di Sanità*. 2007;43(3):260-267. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/17938457/>
 24. Occupational Safety and Health Administration. Guidelines for laser safety and hazard assessment. Washington (DC): U.S. Department of Labor; 1991.
 25. Modenese A, Gobba F. Occupational exposure to non-ionizing radiation: main effects and criteria for health surveillance of workers according to the European Directives. In: 2020 IEEE International Conference on Environment and Electrical Engineering and 2020 IEEE Industrial and Commercial Power Systems Europe (EEEIC/I&CPS Europe); 2020; Madrid, Spain. p. 1-6. <https://doi.org/10.1109/EEEIC/ICPSEurope49358.2020.9160831>