



ارزیابی تأثیرات طولانی مدت قرارگیری در معرض امواج الکترومغناطیسی بر سلامت انسان و استانداردهای ایمنی مرتبط

اسماعیل حضرتی^۱، نوید مسرت^{۲*}

۱- استاد گروه فزیک، دانشکده‌ی تعلیم و تربیه، دانشگاه جوزجان، شبرغان، افغانستان. ایمیل: ismail.hazrati01@gmail.com

۲- استاد دیپارتمنت فزیک، دانشکده‌ی تعلیم و تربیه، دانشگاه جوزجان، شبرغان، افغانستان. ایمیل: nawidpirooz@gmail.com

* نویسنده مسئول: محمد اسماعیل حضرتی

چکیده

امواج الکترومغناطیسی (EMF) به عنوان یکی از انرژی‌های طبیعی و مصنوعی، به طور گسترده‌ای در زندگی روزمره انسان‌ها استفاده می‌شود. استفاده گسترده از این امواج در فناوری‌های مختلف مانند تلفن‌های همراه، تجهیزات بی‌سیم، و سیستم‌های پزشکی نگرانی‌هایی را در خصوص تأثیرات طولانی مدت آن‌ها بر سلامت انسان ایجاد کرده است. هدف از این مطالعه مروری، ارزیابی و تحلیل شواهد موجود در خصوص اثرات EMF بر سلامت انسان و بررسی نیاز به به‌روزرسانی استانداردهای ایمنی مرتبط با این امواج است. در این مقاله، ۷ مقاله مرتبط با تأثیرات طولانی مدت EMF انتخاب و بررسی شدند. معیارهای ورود شامل مقالاتی بود که به طور مستقیم به تأثیرات طولانی مدت EMF بر سلامت انسان پرداخته و از روش‌های تجربی، توصیفی یا سیستماتیک استفاده کرده بودند. مقالاتی که به دلیل نتایج متناقض، کیفیت پایین یا عدم تطابق با اهداف مطالعه حذف شدند. نتایج نشان می‌دهند که EMF می‌تواند موجب اختلالات فیزیولوژیکی مانند التهاب، خستگی، اختلال در ریتم شبانه‌روزی بدن، و آسیب‌های ساختاری در ارگان‌های مختلف بدن شوند. همچنین، لزوم به‌روزرسانی استانداردهای ایمنی برای پیشگیری از تأثیرات طولانی مدت این امواج تأکید شده است. به طور کلی، این مطالعه نیاز به انجام تحقیقات بیشتر برای بررسی اثرات درازمدت و اثرات اجتماعی و حرفه‌ای این امواج را آشکار ساخت.

کلمات کلیدی: امواج الکترومغناطیسی، سلامت انسان، اثرات طولانی مدت، سیستم عصبی، استانداردهای ایمنی.

Evaluation of the Long-Term Effects of Electromagnetic Field Exposure on Human Health and Related Safety Standards

Mohammad Ismail Hazrati ¹, Nawid Musarat ^{2,*}

1- Lecturer in Physics department, Education Faculty, Jawzjan University, Sheberghan, Afghanistan. Email: ismail.hazrati01@gmail.com.

2- Lecturer in Physics department, Education Faculty, Jawzjan University, Sheberghan, Afghanistan. Email: nawidpirooz@gmail.com

* Corresponding Author: Mohammad Ismail Hazrati ¹

Abstract

Electromagnetic fields (EMF), as one of the natural and artificial forms of energy, are widely used in human daily life. The extensive use of these fields in various technologies such as mobile phones, wireless devices, and medical systems has raised concerns about their long-term effects on human health. The aim of this review study is to evaluate and analyze the existing evidence regarding the effects of EMF on human health and to examine the need for updating the related safety standards. In this paper, 7 articles related to the long-term effects of EMF were selected and reviewed. The inclusion criteria involved articles that directly addressed the long-term effects of EMF on human health and employed experimental, descriptive, or systematic methods. Articles that were excluded due to conflicting results, low quality, or lack of alignment with the study objectives were removed. The findings indicate that EMF can cause physiological disruptions such as inflammation, fatigue, disruption of circadian rhythm, and structural damage to various organs of the body. Furthermore, the need to update safety standards to prevent the long-term effects of these fields has been emphasized. Overall, this study highlights the necessity for further research to explore the long-term effects and the social and professional impacts of these fields.

Keywords: Electromagnetic fields, human health, long-term effects, nervous system, safety standards.

گسترده‌ای افزایش یافته است (جعفری، ۱۳۹۵). این امواج که به طور طبیعی در محیط وجود دارند، اکنون از طریق منابع مصنوعی مانند تلفن‌های همراه، شبکه‌های بی‌سیم (Wi-Fi)، رادارها، تجهیزات پزشکی، خطوط انتقال برق و

۱- مقدمه

در عصر حاضر، با پیشرفت‌های بی‌سابقه در زمینه فناوری‌های ارتباطی و اطلاعاتی، استفاده از امواج الکترومغناطیسی در زندگی روزمره انسان‌ها به طور

سایر فناوری‌های نوین به میزان قابل توجهی در معرض انسان‌ها قرار گرفته‌اند (Hartwig, ۲۰۲۲). این افزایش چشمگیر در سطح تابش امواج الکترومغناطیسی، موجب نگرانی‌های بهداشتی و علمی پیرامون اثرات طولانی‌مدت این امواج بر سلامت انسان شده است (Modenese, ۲۰۲۱). از آنجا که بسیاری از این منابع امواج در تماس مداوم با انسان‌ها قرار دارند، ارزیابی تأثیرات طولانی‌مدت آنها به یک نیاز اساسی در تحقیق و پژوهش‌های بهداشتی تبدیل شده است (Davis, ۲۰۲۳). در این راستا، نیاز به استانداردهای ایمنی و مقررات مشخص برای محدود کردن میزان تابش این امواج از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است (قلی‌پور، ۱۳۹۳). امواج الکترومغناطیسی، به‌عنوان یکی از انواع انرژی‌های طبیعی و مصنوعی، در طیف وسیعی از فرکانس‌ها و طول‌موج‌ها دسته‌بندی می‌شوند (۲۰۲۱، Morelli). این امواج شامل امواج رادیویی، میکروویوها، نور مرئی، اشعه مادون قرمز، اشعه ایکس، و امواج گاما می‌باشند که هر یک ویژگی‌های فیزیکی خاص خود را دارند (Abdul-Al, ۲۰۲۲). از منظر علمی، امواج الکترومغناطیسی به‌وسیله پارامترهای مختلفی نظیر فرکانس، طول موج و شدت شناسایی می‌شوند. به‌طور خاص، امواج با فرکانس پایین (مانند امواج رادیویی) تا فرکانس‌های بالاتر (مانند اشعه ایکس و گاما) در این طیف قرار می‌گیرند. امواج با فرکانس بالا توانایی بیشتری برای نفوذ به بافت‌های بدن دارند و می‌توانند موجب تغییرات در ساختارهای سلولی شوند (عباسی نیا، ۱۳۹۱). به‌طور کلی، این ویژگی‌های فیزیکی در اثرات بیولوژیکی این امواج نقش اساسی دارند و می‌توانند موجب بروز آسیب‌های مختلفی در سطح سلولی و سیستم‌های بیولوژیکی بدن انسان گردند (Hirata, ۲۰۲۱). منابع امواج الکترومغناطیسی به دو دسته طبیعی و مصنوعی تقسیم می‌شوند. منابع طبیعی شامل تابش‌های خورشیدی و امواج رادیویی طبیعی هستند که در محیط وجود دارند. در مقابل، منابع مصنوعی شامل امواج ناشی از فناوری‌های نوین مانند تلفن‌های همراه، تجهیزات بی‌سیم (Wi-Fi)، رادارها، و تجهیزات پزشکی نظیر امواج MRI و اشعه ایکس می‌باشند (مکوندی، ۱۳۹۲). استفاده گسترده از این منابع در زندگی روزمره انسان‌ها، به‌ویژه در جوامع شهری که تکنولوژی‌های ارتباطی و اطلاعاتی به بخش جدایی‌ناپذیر از زندگی تبدیل شده است، موجب افزایش زمان قرارگیری انسان‌ها در معرض این امواج می‌شود. علاوه بر این، افزایش تعداد و نوع این منابع به‌طور مستقیم در شدت تابش امواج به انسان‌ها مؤثر است، که خود می‌تواند پیامدهای قابل توجهی بر سلامت انسان‌ها به‌ویژه در درازمدت داشته باشد (Gautam, ۲۰۲۳). در همین راستا، نگرانی‌های زیادی از سوی محافل علمی و بهداشتی پیرامون اثرات طولانی‌مدت قرارگیری در معرض امواج الکترومغناطیسی بر سلامت انسان مطرح شده است. این نگرانی‌ها از جمله احتمال بروز سرطان‌ها، اختلالات عصبی، مشکلات قلبی، آسیب‌های DNA، و دیگر اختلالات بیولوژیکی ناشی از تابش‌های مداوم این امواج می‌باشد (Shaikh, ۲۰۲۲). به‌ویژه امواج با فرکانس بالا که توانایی نفوذ بیشتری به بافت‌های بدن دارند، به‌طور جدی به‌عنوان عامل احتمالی در ایجاد آسیب‌های بیولوژیکی و اختلالات سلولی شناخته شده‌اند. در حالی که برخی از تحقیقات از اثرات مثبت احتمالی این امواج در زمینه‌های درمانی و کاربردی سخن گفته‌اند، اکثریت مطالعات به آثار منفی و آسیب‌های ناشی از تابش مداوم تأکید دارند (انوری، ۱۳۹۲). برای جلوگیری از خطرات ناشی از این تابش‌ها، سازمان‌های جهانی نظیر سازمان بهداشت جهانی (WHO)، کمیته بین‌المللی حفاظت از تابش‌های غیر یونیزه (ICNIRP)، و IEEE استانداردهای ایمنی خاصی را برای محدود کردن میزان تابش امواج الکترومغناطیسی و تأثیرات منفی آن بر سلامت انسان تدوین کرده‌اند (۲۰۲۲).

این استانداردها معمولاً شامل محدودیت‌هایی در مقدار تابش برای امواج مختلف بر اساس نوع و میزان تأثیر آن بر بدن انسان هستند. علاوه بر این، بررسی مداوم و روزرسانی این استانداردها به‌ویژه در مواجهه با توسعه فناوری‌های نوین و استفاده گسترده‌تر از منابع امواج الکترومغناطیسی ضروری به نظر می‌رسد (Gautam, ۲۰۲۳). هدف این مقاله مروری، ارزیابی و تحلیل شواهد موجود در خصوص تأثیرات طولانی‌مدت قرارگیری در معرض امواج الکترومغناطیسی بر سلامت انسان است. با بررسی گسترده تحقیقات و مقالات علمی در این زمینه، این مطالعه به شفاف‌سازی اثرات بهداشتی این امواج پرداخته و به روزرسانی استانداردهای ایمنی و مقررات جهانی در این خصوص را مورد توجه قرار می‌دهد.

در این مقاله مروری، چندین مطالعه معتبر به بررسی تأثیرات مختلف امواج الکترومغناطیسی بر سلامت انسان پرداخته‌اند. مودنزه و گوبا (۲۰۲۱)، در مقاله خود به تحلیل قوانین مربوط به نظارت بر سلامت کارکنان در معرض امواج الکترومغناطیسی در اتحادیه اروپا و چالش‌های مربوط به شواهد موجود در این زمینه پرداخته‌اند. هیراتا و همکاران (۲۰۲۱) نیز بررسی‌های گسترده‌ای در خصوص استانداردهای موجود برای ارزیابی قرارگیری انسان‌ها در معرض امواج الکترومغناطیسی و همچنین تحقیق در مورد تأثیرات این امواج بر سلامت از منظر علمی ارائه کرده‌اند. مارتل و همکاران (۲۰۲۳) در تحقیق خود اثرات امواج الکترومغناطیسی بر ریتم شبانه‌روزی بدن انسان و ارتباط آن با بیماری‌ها را مورد بررسی قرار داده‌اند. بوش-کاپلانچ و همکاران (۲۰۲۲) تحقیقاتی را پیرامون تأثیر امواج رادیوفریکونسی (RF-EMF) بر علائم گزارش‌شده توسط انسان‌ها در مطالعات تجربی جمع‌آوری کرده‌اند. در مقاله برتاگنا و همکاران (۲۰۲۱) اثرات امواج الکترومغناطیسی بر کانال‌های یونی عصبی و تأثیر آن بر سیستم عصبی مرکزی بررسی شده است. همچنین، خراسانی‌زاده و همکاران (۱۳۹۹) تحقیقی را در خصوص اثرات امواج الکترومغناطیسی بر بخش‌های مختلف بدن انسان، از جمله مغز و سیستم‌های تولید مثل، ارائه کرده‌اند. کاظمی درسکی (۱۳۹۷) نیز به تحلیل کاربردهای نظامی امواج مایکروویو و اثرات زیان‌بار آن بر سلامت انسان پرداخته است. در ادامه این مقاله، مقالات مختلفی که به تحلیل اثرات امواج الکترومغناطیسی پرداخته‌اند، به تفصیل مورد بررسی قرار خواهند گرفت. این مقالات شامل تحلیل‌هایی از منابع مختلف امواج، تأثیرات آنها بر بدن انسان و همچنین استانداردهای ایمنی مرتبط می‌باشند. هدف این مروری، مقایسه یافته‌های مختلف، شناسایی شکاف‌های موجود در تحقیقات، و تحلیل نتایج و نگرانی‌های مطرح شده توسط نویسندگان این مقالات است. در این راستا، هر مقاله از نظر روش‌شناسی، یافته‌ها و پیشنهادات برای تحقیقات آینده بررسی خواهد شد. علاوه بر این، تحلیل تأثیرات طولانی‌مدت قرارگیری در معرض این امواج بر سلامت انسان و شناسایی ضرورت‌های روزرسانی استانداردهای ایمنی، از دیگر اهداف کلیدی این مطالعه مروری است.

۲- روش پژوهش

در این مقاله مروری، هدف تحلیل و ارزیابی اثرات طولانی‌مدت امواج الکترومغناطیسی بر سلامت انسان از طریق جمع‌آوری و بررسی مقالات علمی مرتبط است. این بخش شامل شرح فرآیندهای جستجو، انتخاب و ارزیابی مقالات به‌طور دقیق است تا اطمینان حاصل شود که تمامی مقالات گنجانده‌شده در این مطالعه دارای کیفیت علمی لازم و مرتبط با اهداف تحقیق هستند. در این بخش به توضیح روش‌های جستجوی اطلاعات، پایگاه‌های داده‌ای استفاده‌شده، و معیارهای انتخاب و حذف مقالات پرداخته

شکل ۱ فرآیند انتخاب و حذف مقالات مرتبط با تأثیرات طولانی مدت امواج الکترومغناطیسی بر سلامت انسان را نشان می‌دهد. این نمودار مراحل مختلف جستجو و حذف مقالات از جمله مراحل بررسی عنوان و چکیده، بررسی متن کامل مقالات و دلایل حذف آنها را توضیح می‌دهد. در نهایت، تعداد مقالات گنجانده شده در مرور به طور دقیق مشخص شده است.

۳- یافته ها

بر اساس جدول ۱، مشخصات کلی از ۷ مقاله مرتبط با تأثیرات طولانی مدت امواج الکترومغناطیسی بر سلامت انسان نشان داده شده است. این مقالات از میان تعداد زیادی تحقیق در این زمینه انتخاب شدند. از مجموع ۶۰۰ مقاله شناسایی شده، در نهایت ۷ مقاله برای این مطالعه انتخاب و گنجانده شدند که شامل ترکیبی از مطالعات تجربی و سیستماتیک می‌باشد. از این میان، ۳ مقاله به صورت مطالعات تجربی طراحی شده‌اند که بر اساس آزمایشات میدانی و مشاهدات عملی اثرات تابش‌های EMF بر سلامت انسان را مورد بررسی قرار داده‌اند. در مقابل، ۴ مقاله دیگر به صورت مطالعات مرور سیستماتیک و متا آنالیز بودند که هدف آن‌ها جمع‌آوری و تحلیل داده‌های موجود از پژوهش‌های مختلف برای شفاف‌سازی وضعیت فعلی و نیازهای آینده در این حوزه بود. این تقسیم‌بندی به طور واضح نشان‌دهنده تنوع در روش‌های تحقیقاتی است که برای بررسی اثرات طولانی مدت EMF استفاده شده است و هر کدام از این رویکردها در ارائه شواهد و تحلیل نتایج از زاویه‌های متفاوت کار کرده‌اند.

در خصوص نوع مطالعات، مطالعات تجربی در بیشتر موارد به بررسی اثرات کوتاه مدت و آزمایشگاهی تمرکز داشته‌اند. به عنوان مثال، در مقاله‌های مودنزه و گوبا (۲۰۲۱) و خراسانی‌زاده و همکاران (۱۳۹۹)، آزمایش‌های میدانی و مشاهده‌ای برای ارزیابی اثرات بیولوژیکی EMF بر کارکنان و جمعیت‌های در معرض خطر انجام شد. این مطالعات بیشتر به اثرات مستقیم قرارگیری در معرض تابش‌های الکترومغناطیسی در شرایط خاص شغلی و روزمره پرداختند. در مقابل، مطالعات سیستماتیک مانند مقالات هیراتا و همکاران (۲۰۲۱) و بوش-کاپلانچ و همکاران (۲۰۲۲) بیشتر به بررسی و تجزیه و تحلیل شواهد موجود در زمینه تأثیرات طولانی مدت و به ویژه استانداردهای ایمنی پرداخته‌اند.

همچنین مطابق با جدول ۱، در این بخش، نتایج به طور عمده در سه دسته کلی گروه‌بندی می‌شوند: (۱) اثر امواج EMF بر سلامت عمومی و بیماری‌ها، (۲) اثرات بر سیستم‌های بیولوژیکی و آسیب‌های سلولی، و (۳) تأثیرات اجتماعی و حرفه‌ای. به عنوان مثال، مقاله مارتل و همکاران (۲۰۲۳) نشان داد که امواج الکترومغناطیسی می‌توانند بر ریتم شبانه‌روزی بدن تأثیر گذاشته و منجر به اختلالاتی مانند التهاب، خستگی و علائم مشابه آنفلوآنزا شوند. این اختلالات در نهایت می‌توانند به بروز بیماری‌های مزمن و عفونی منجر شوند. همچنین، مقاله برتاگنا و همکاران (۲۰۲۱) به تأثیرات EMF بر سیستم عصبی پرداخته و نشان داد که امواج EMF می‌توانند منجر به تغییرات در هموستاز کلسیم از طریق کانال‌های یونی عصبی شوند، که این تغییرات می‌توانند عملکرد سیستم عصبی را تحت تأثیر قرار دهند. در مقاله مودنزه و گوبا (۲۰۲۱)، بر تأثیر امواج EMF در محیط‌های شغلی تأکید شده و یافته‌ها نشان دادند که کارکنان در معرض تابش‌های EMF ممکن است با مشکلاتی مانند اختلالات عصبی و افزایش خطر ابتلا به سرطان‌ها مواجه شوند. این مقاله بر لزوم به روزرسانی استانداردهای ایمنی و شناسایی کارکنان

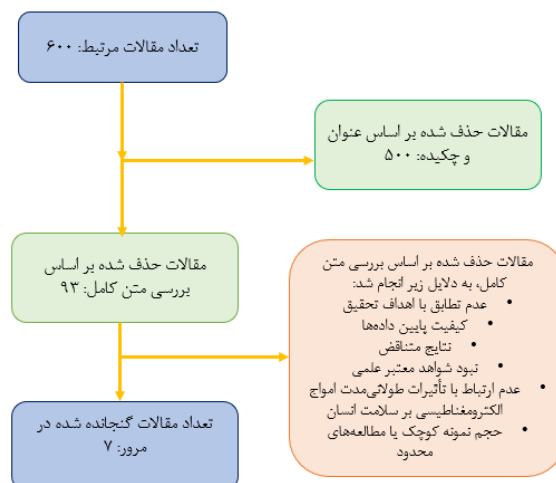
خواهد شد. همچنین این بخش شامل اشاره به انواع مختلف مطالعات مورد بررسی (مقالات تجربی، نظری یا سیستماتیک) و چگونگی ارزیابی کیفیت و اعتبار این منابع است.

۱.۲. منابع داده‌ای

برای جمع‌آوری مقالات مرتبط با تأثیرات طولانی مدت امواج الکترومغناطیسی بر سلامت انسان، جستجو در پایگاه‌های داده معتبر علمی داخلی و خارجی انجام شد. پایگاه‌های داده‌ای که برای این پژوهش استفاده شدند شامل PubMed، Scopus، Web of Science و Google Scholar برای مقالات خارجی و SID، MagIran و Civilica برای مقالات داخلی بودند. جستجوهای علمی در این پایگاه‌ها با استفاده از کلیدواژه‌هایی همچون "electromagnetic fields," "health effects," "long-term exposure," "EMF and health" انجام گرفت. جستجوی مقالات خارجی در بازه زمانی ۲۰۲۱ تا ۲۰۲۵ و مقالات داخلی در بازه زمانی ۱۳۹۷ تا ۱۴۰۴ انجام شده است. داده‌های استخراج شده شامل مقالات پژوهشی، گزارش‌های موردی، متا آنالیزها و مقالات سیستماتیک مرتبط با اثرات امواج الکترومغناطیسی بر سلامت انسان بودند.

۲.۲. معیارهای انتخاب/حذف مقالات

معیارهای انتخاب و حذف مقالات به طور دقیق و بر اساس اهداف تحقیق تنظیم شدند. مقالاتی که به طور مستقیم به تأثیرات طولانی مدت امواج الکترومغناطیسی بر سلامت انسان پرداخته‌اند و از روش‌های تجربی، توصیفی یا سیستماتیک استفاده کرده‌اند، وارد این مطالعه شدند. به ویژه مقالاتی که به اثرات تابش امواج با فرکانس‌های مختلف بر سیستم‌های بیولوژیکی انسان، مانند سیستم عصبی، قلبی و تولید مثل، تمرکز داشتند، به مطالعه وارد شدند. در ابتدا، ۶۰۰ مقاله جستجو شد که برخی از آن‌ها به دلایل عدم تطابق با اهداف تحقیق، کیفیت پایین داده‌ها، و نداشتن ارتباط مستقیم با اثرات طولانی مدت امواج الکترومغناطیسی بر سلامت انسان حذف شدند. در مرحله بعد، برخی مقالات به دلیل نتایج متناقض یا عدم اعتبار علمی پس از بررسی متن کامل حذف شدند. در نهایت، ۷ مقاله مورد بررسی قرار گرفت که دارای معیارهای ورود دقیق و معتبر بودند و برای گنجاندن در این مروری مناسب شناخته شدند.



شکل ۱: فرآیند انتخاب و حذف مقالات بر اساس معیارهای مختلف در مطالعه مروری.

			بیماری‌ها		تعامل امواج الکترومغناطیسی با الکترون‌ها و امواج الکترومغناطیسی است.
۴	بوش-کاپلانچ و همکاران (۲۰۲۲)	مرور سیستماتیک	تأثیرات قرارگیری در معرض امواج رادیوفریکوئ نسی بر علائم گزارش شده توسط انسان‌ها: یک مرور سیستماتیک	قرارگیری در معرض RF-EMF و علائم انسانی	مطالعه نشان داد که قرارگیری در معرض RF-EMF می‌تواند به بروز علائمی مانند سردرد، بی‌خوابی، مشکلات گوارشی و اختلالات عصبی منجر شود. همچنین، قرارگیری در معرض RF-EMF می‌تواند باعث حساسیت در افراد با اختلالات محیطی ناشناخته (IEI-EMF) شود.
۵	برتاگنا و همکاران (۲۰۲۱)	مرور سیستماتیک	اثرات امواج الکترومغناطیسی بر کانال‌های یونی عصبی: یک مرور سیستماتیک	اثرات RF-EMF بر کانال‌های یونی عصبی	نتایج نشان داد که EMF می‌تواند باعث تغییرات در هموستاز کلسیم از طریق کانال‌های کلسیم گیت‌شونده ولتاژ (VGs) شود. این تغییرات می‌تواند منجر به اثرات منفی در سیستم عصبی مرکزی (CNS) و اختلالات در عملکرد عصبی شود. تأثیرات دیگر شامل تغییرات در غلظت یون‌ها و تغییرات زنی در کانال‌های یونی بود.
۶	خراسانی زاده و همکاران (۱۳۹۹)	مطالعه تجربی	بررسی تأثیرات امواج الکترومغناطیسی روی قسمت‌های مختلف بدن انسان	اثرات RF-EMF بر بخش‌های مختلف بدن انسان	نتایج نشان داد که امواج الکترومغناطیسی می‌توانند تأثیرات منفی بر مغز، سیستم عصبی، و سیستم تولید مثل داشته باشند. این پژوهش همچنین نشان داد که امواج الکترومغناطیسی می‌توانند باعث تغییرات در ساختارهای سلولی و آسیب به بافت‌ها شوند. اثرات این امواج در بخش‌های مختلف بدن بسته به طول موج و نوع تابش متفاوت است.
۷	کاظمی و همکاران (۱۳۹۷)	مرور سیستماتیک	مروری بر کاربردهای نظامی و اثرات زیان‌بار امواج مایکروویو روی انسان	کاربردهای نظامی امواج مایکروویو	نتایج نشان داد که امواج مایکروویو در کاربردهای نظامی می‌توانند اثرات زیان‌بار متفاوتی بر سیستم‌های مختلف بدن انسان بگذارند. اثرات زیان‌بار شامل تأثیرات منفی بر سیستم‌های قلبی، ایمنی و تولید مثل بودند. این مطالعه همچنین به پیشرفت روش‌های مقابله با اثرات منفی امواج مایکروویو، مانند رعایت فاصله از تابش‌ها و استفاده از استانداردها اشاره کرد.

در معرض خطر ویژه تأکید دارد. همچنین، مقاله خراسانی‌زاده و همکاران (۱۳۹۹) اثرات امواج EMF بر بخش‌های مختلف بدن انسان، از جمله مغز و سیستم تولید مثل، را بررسی کرده و نشان داد که این امواج می‌توانند تغییرات ساختاری و عملکردی در این ارگان‌ها ایجاد کنند که در طولانی‌مدت می‌تواند به آسیب‌های جدی منجر شود. مقاله هیراتا و همکاران (۲۰۲۱) بررسی کرد که استانداردهای ایمنی برای قرارگیری انسان‌ها در معرض امواج EMF نیازمند به‌روزرسانی هستند، زیرا شواهد کافی برای جلوگیری از اثرات طولانی‌مدت این تابش‌ها وجود ندارد. این مقاله همچنین بر لزوم بهبود ارزیابی‌ها و اصلاح معیارهای ایمنی تأکید دارد. در مقاله بوش-کاپلانچ و همکاران (۲۰۲۲)، به تأثیرات امواج رادیوفریکوئ نسی بر علائم گزارش شده از افراد در معرض تابش پرداخته شده و نشان داده شد که این امواج می‌توانند علائمی مانند سردرد، بی‌خوابی و مشکلات گوارشی ایجاد کنند، به‌ویژه در افرادی که نسبت به EMF حساسیت بیشتری دارند. در مقاله کاظمی درسکی و همکاران (۱۳۹۷)، تأثیرات زیان‌بار امواج مایکروویو در کاربردهای نظامی و اثرات آن بر سلامت انسان بررسی شده است. نتایج نشان داد که این امواج می‌توانند به سیستم‌های مختلف بدن آسیب برسانند، به‌ویژه بر سیستم‌های قلبی-عروقی، ایمنی و تولید مثل. این مقاله همچنین به روش‌های مقابله با اثرات منفی این امواج، مانند رعایت فاصله و استفاده از استانداردهای ایمنی مناسب، اشاره کرده است.

جدول ۱: ویژگی‌های مطالعات شناسایی شده.

ردیف	نویسنده (سال)	عنوان مقاله	نوع مطالعه	فاکتور مؤثر	یافته‌ها
۱	بررسی قرارگیری شغلی در معرض امواج الکترومغناطیسی و مودنزه و گوبا (۲۰۲۱)	بررسی قرارگیری شغلی در معرض امواج الکترومغناطیسی و مودنزه و گوبا (۲۰۲۱)	مطالعه تجربی	قرارگیری در معرض امواج الکترومغناطیسی شغلی	نتایج نشان داد که طبق دستورالعمل اتحادیه اروپا، نظارت بر سلامت کارکنان در معرض امواج الکترومغناطیسی الزامی است. با این حال، هیچ شواهدی برای رابطه علت و معلولی در اثرات طولانی‌مدت وجود ندارد. مشکلات شامل عدم وجود آزمایش‌های تخصصی و نقص در شناسایی کارکنان در معرض خطر ویژه (WPR) شناسایی شد.
۲	هیراتا و همکاران (۲۰۲۱)	ارزیابی قرارگیری انسان در معرض امواج الکترومغناطیسی: مرور و جهت‌گیری‌های آینده	مرور سیستماتیک	استانداردهای ارزیابی قرارگیری انسان در معرض EMF	این مطالعه نشان داد که استانداردهای ارزیابی قرارگیری انسان در معرض امواج الکترومغناطیسی نیازمند به‌روزرسانی هستند. بررسی‌های جدید در زمینه سیستم‌های پزشکی و محصولات مصرفی نشان داد که بسیاری از این استانداردها هنوز ناکافی هستند. همچنین، تحقیقات آینده در زمینه تأثیرات EMF بر سلامتی ضروری به نظر می‌رسد.
۳	مارتل و همکاران (۲۰۲۳)	تأثیرات امواج الکترومغناطیسی بر ریتم شبانه‌روزی: پیامدها برای سلامت انسان و	مطالعه تجربی	تأثیرات بر ریتم شبانه‌روزی	نتایج نشان داد که امواج الکترومغناطیسی می‌توانند ریتم شبانه‌روزی بدن را مختل کنند. این اختلال می‌تواند منجر به افزایش التهاب و علائم مشابه آنفلوآنزا (خستگی، تب، و دردهای مشابه) در برخی افراد شود. همچنین، اختلال در ریتم شبانه‌روزی می‌تواند به بیماری‌های عفونی و مزمن منجر شود. مکانیزم‌های این اثرات شامل

در نهایت، مقایسه مقالات داخلی و خارجی نشان‌دهنده تفاوت‌ها و شباهت‌های قابل توجهی در زمینه‌های تحقیقاتی و رویکردهای مورد استفاده است. مقالات خارجی، مانند مودنزه و گوبا (۲۰۲۱) و هیراتا و همکاران (۲۰۲۱)، بیشتر به بررسی استانداردهای ایمنی و ارزیابی‌های جامع در سطح جهانی پرداخته‌اند و تأکید دارند که استانداردهای موجود برای حفاظت از انسان‌ها در برابر اثرات طولانی‌مدت امواج EMF نیاز به به‌روزرسانی دارند. این مقالات به‌ویژه بر نیاز به اصلاح و بهبود سیاست‌ها و قوانین بین‌المللی در خصوص قرارگیری در معرض EMF تمرکز دارند. در حالی که مقالات داخلی، مانند خراسانی‌زاده و همکاران (۱۳۹۹) و کاظمی درسکی و همکاران (۱۳۹۷)، بیشتر بر تأثیرات مستقیم و فوری امواج الکترومغناطیسی بر ارگان‌های مختلف بدن و به‌ویژه بر سلامت عمومی در جامعه‌های محلی و شغلی تأکید دارند. در این مقالات، مشکلات شغلی و اثرات زیان‌بار در محیط‌های خاص مانند صنایع و نیروهای مسلح مورد بررسی قرار گرفته است.

سیستم‌های مختلف بدن آسیب وارد کنند، به‌ویژه بر سیستم‌های قلبی، ایمنی و تولید مثل. مقایسه مقالات داخلی و خارجی نشان می‌دهد که مقالات خارجی مانند مودنزه و گوبا (۲۰۲۱) و هیراتا و همکاران (۲۰۲۱) بیشتر به ارزیابی و به‌روزرسانی استانداردهای ایمنی جهانی تأکید دارند و بر لزوم تطبیق سیاست‌ها و ارزیابی‌های جهانی در برابر اثرات طولانی‌مدت EMF تأکید می‌کنند. در مقابل، مقالات داخلی مانند خراسانی‌زاده و همکاران (۱۳۹۹) و کاظمی درسنگی و همکاران (۱۳۹۷) بیشتر به اثرات محلی و فوری این امواج در محیط‌های شغلی و خاص پرداخته‌اند که به نیازهای ویژه جوامع محلی و شرایط خاص شغلی مرتبط است. این تفاوت‌ها نشان‌دهنده لزوم ترکیب یافته‌های محلی با استانداردهای جهانی برای دستیابی به نتایج جامع‌تر و سیاست‌های بهبود یافته است. در مجموع، تحقیقات بیشتر در این زمینه به خصوص در مورد اثرات طولانی‌مدت و تأثیرات اجتماعی و حرفه‌ای این امواج نیاز است تا راهکارهای مؤثری برای حفاظت از سلامت انسان‌ها در برابر این تهدیدات پدید آید.

پیشنهادهای پژوهش‌های آینده

- ✓ بررسی تأثیرات طولانی‌مدت امواج الکترومغناطیسی در گروه‌های سنی مختلف، به‌ویژه سالمندان و کودکان.
- ✓ مطالعه تأثیرات اجتماعی و حرفه‌ای امواج الکترومغناطیسی بر سلامت کارکنان در صنایع پرخطر.
- ✓ ارزیابی اثرات تابش‌های EMF بر سیستم ایمنی بدن و پاسخ‌های التهابی در سطح مولکولی.
- ✓ تحقیق در مورد ارتباط بین حساسیت به EMF و بروز اختلالات روانی و عصبی در افراد مستعد.

مراجع

- Abasi-Nia, M., Mahmoudkhani, S., Rahmani, A., & Asghari, M. (2012). Biological effects of electromagnetic waves with an emphasis on extremely low frequency waves on humans. *Rasam Health, Safety, and Environment Journal*, 3, 58. (in Persian)
- Abdul-Al, M., Amar, A. S., Elfergani, I., Littlehales, R., Ojaroudi Parchin, N., Al-Yasir, Y., ... & Abd-Alhameed, R. A. (2022). Wireless electromagnetic radiation assessment based on the Specific Absorption Rate (SAR): A review case study. *Electronics*, 11(4), 511.
- Anvari, A., & Tavakoli, H. (2013). Effects of electromagnetic waves on humans. 2nd Iranian Engineering Electromagnetics Conference (CAM), Iran. (in Persian)
- Bertagna, F., Lewis, R., Silva, S. R. P., McFadden, J., & Jeevaratnam, K. (2021). Effects of electromagnetic fields on neuronal ion channels: a systematic review. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1499(1), 82-103.
- Bosch-Capblanch, X., Esu, E., Dongus, S., Oringanje, C. M., Jalilian, H., Eysers, J., ... & Rössli, M. (2022). The effects of radiofrequency electromagnetic fields exposure on human self-reported symptoms: A protocol for a systematic review of human experimental studies. *Environment international*, 158, 106953.
- Davis, D., Birnbaum, L., Ben-Ishai, P., Taylor, H., Sears, M., Butler, T., & Scarato, T. (2023). Wireless technologies, non-ionizing electromagnetic fields and children: Identifying and reducing health risks. *Current problems in pediatric and adolescent health care*, 53(2), 101374.

مقایسه این دو گروه از مقالات نشان می‌دهد که مقالات خارجی بیشتر به دنبال ارائه دیدگاه‌های کلان و جهانی در زمینه بهبود استانداردها و ایمنی هستند، در حالی که مقالات داخلی بیشتر بر اثرات محلی و خاص‌تر، به‌ویژه در مشاغل پرخطر، متمرکز شده‌اند. این تفاوت‌ها تأکید بر لزوم انجام تحقیقات جامع‌تر و تطبیق یافته‌های محلی با استانداردهای جهانی دارد.

۴- بحث و نتیجه‌گیری

در این مقاله مروری، به بررسی تأثیرات طولانی‌مدت قرارگیری در معرض امواج الکترومغناطیسی (EMF) بر سلامت انسان پرداخته شده است. با توجه به استفاده گسترده از این امواج در زندگی روزمره از طریق منابع مختلف مانند تلفن‌های همراه، وای‌فای، رادارها، و تجهیزات پزشکی، نگرانی‌هایی پیرامون اثرات بهداشتی طولانی‌مدت آن‌ها وجود دارد. از این رو، هدف این مطالعه جمع‌آوری و تحلیل شواهد علمی موجود برای ارزیابی اثرات EMF و به‌ویژه به‌روزرسانی استانداردهای ایمنی مرتبط با این امواج بود. اهمیت این تحقیق به نیاز اساسی برای ارزیابی دقیق اثرات EMF بر سلامت انسان و پیشبرد سیاست‌های ایمنی در سطح جهانی اشاره دارد. در بخش روش‌شناسی این مطالعه، جستجو در پایگاه‌های داده معتبر علمی داخلی و خارجی برای شناسایی مقالات مرتبط با تأثیرات طولانی‌مدت امواج الکترومغناطیسی (EMF) بر سلامت انسان انجام شد. پایگاه‌های داده مورد استفاده شامل PubMed، Scopus، Web of Science، و Google Scholar برای مقالات خارجی و Magran، SID، و Civilica برای مقالات داخلی بودند. جستجوها با استفاده از کلیدواژه‌هایی مانند "electromagnetic fields"، "long-term exposure"، "health effects"، و "EMF and health" انجام شد. پس از بررسی نتایج اولیه، ۶۰۰ مقاله شناسایی شدند که از این میان، ۷ مقاله بر اساس تطابق با اهداف مطالعه و معیارهای انتخاب دقیق، وارد این مروری شدند. این مقالات شامل ترکیبی از مطالعات تجربی و سیستماتیک بودند که به بررسی اثرات مختلف EMF بر سلامت انسان و سیستم‌های بیولوژیکی پرداختند. فرآیند انتخاب و حذف مقالات با استفاده از معیارهای دقیق مانند کیفیت داده‌ها و ارتباط مستقیم با موضوع تحقیق انجام شد. این پژوهش شامل تجزیه و تحلیل جامع مقالات با هدف ارائه شواهد مستند و به‌روزرسانی استانداردهای ایمنی است. نتایج نشان داد که مقالات مختلف تأثیرات طولانی‌مدت امواج الکترومغناطیسی (EMF) را در سه حوزه اصلی دسته‌بندی کردند: اثرات بر سلامت عمومی و بیماری‌ها، اثرات بر سیستم‌های بیولوژیکی و آسیب‌های سلولی، و تأثیرات اجتماعی و حرفه‌ای. به‌طور خاص، مقاله مارتل و همکاران (۲۰۲۳) نشان داد که EMF می‌تواند ریتم شبانه‌روزی بدن را مختل کرده و موجب التهاب، خستگی و بیماری‌های عفونی و مزمن شود. مقاله برتاگنا و همکاران (۲۰۲۱) نیز گزارش کرد که EMF باعث تغییرات در هموستاز کلسیم از طریق کانال‌های یونی عصبی شده که به اختلال در عملکرد سیستم عصبی منجر می‌شود. در مقالات مودنزه و گوبا (۲۰۲۱) و خراسانی‌زاده و همکاران (۱۳۹۹) به‌طور مشابه، اثرات منفی بر مغز، سیستم عصبی و تولید مثل مشاهده شد که منجر به تغییرات ساختاری و آسیب‌های سلولی می‌شود. هیراتا و همکاران (۲۰۲۱) بر لزوم به‌روزرسانی استانداردهای ایمنی تأکید کردند چرا که استانداردهای فعلی برای پیشگیری از اثرات طولانی‌مدت EMF ناکافی هستند. مقاله بوش-کاپلانچ و همکاران (۲۰۲۲) نشان داد که RF-EMF می‌تواند علائمی مانند سردرد، بی‌خوابی و مشکلات گوارشی ایجاد کند، و کاظمی درسنگی و همکاران (۱۳۹۷) نیز اشاره کردند که امواج میکروویو در کاربردهای نظامی می‌توانند به

- electromagnetic waves on various parts of the human body. *Elite in Science and Engineering*, 5(1), 145-149. SID. <https://sid.ir/paper/525048/fa> (in Persian)
- Makvandi, S., Yazdi Zadeh, H., Yazdi Zadeh, M., Zaker Hosseini, V., & Madihi, R. (2013). Effect of mobile phone electromagnetic waves on spermogram parameters: An in-vitro study. *Iran Journal of Obstetrics, Gynecology and Infertility*, 64, 19-25. (in Persian)
- Martel, J., Chang, S. H., Chevalier, G., Ojcius, D. M., & Young, J. D. (2023). Influence of electromagnetic fields on the circadian rhythm: Implications for human health and disease. *biomedical journal*, 46(1), 48-59.
- Modenese, A., & Gobba, F. (2021). Occupational exposure to electromagnetic fields and health surveillance according to the european directive 2013/35/eu. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(4), 1730.
- Morelli, M. S., Gallucci, S., Siervo, B., & Hartwig, V. (2021). Numerical analysis of electromagnetic field exposure from 5G mobile communications at 28 GHZ in adults and children users for real-world exposure scenarios. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(3), 1073.
- Shaikh, M. M., & Majid, I. (2022). Impact of Electromagnetic Pollution on human health and environment a case study in Pakistan. *Sukkur IBA Journal of Computing and Mathematical Sciences*, 6(2), 39-55.
- Gautam, R., Priyadarshini, E., Nirala, J., & Rajamani, P. (2023). Impact of nonionizing electromagnetic radiation on male infertility: an assessment of the mechanism and consequences. In *Environmental Radiobiology* (pp. 67-77). CRC Press.
- Gholipour, B. (2014). Electromagnetic waves and human health. *Magic of Pen*. (in Persian)
- Hartwig, V., Virgili, G., Mattei, F. E., Biagini, C., Romeo, S., Zeni, O., ... & Giovannetti, G. (2022). Occupational exposure to electromagnetic fields in magnetic resonance environment: an update on regulation, exposure assessment techniques, health risk evaluation, and surveillance. *Medical & biological engineering & computing*, 1-24.
- Hirata, A., Diao, Y., Onishi, T., Sasaki, K., Ahn, S., Colombi, D., ... & Chen, J. (2021). Assessment of human exposure to electromagnetic fields: Review and future directions. *IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility*, 63(5), 1619-1630.
- Jafari, M., Bahaladini, A., Khoshnam, S., & Ojfar, M. (2016). Investigation of the long-term exposure to extremely low frequency electromagnetic fields on the neurogenic activity in the small intestine of male rats. *Zanjan University of Medical Sciences*, 104, 94-101. (in Persian)
- Kazemi Darsanki, R., Habibi, A., & Reisi, S. (2018). A review of the military applications and harmful effects of microwave waves on humans. *Nurse and Physician in Combat*, 6(18), 68-71. SID. <https://sid.ir/paper/377383/fa> (in Persian)
- Kharaasani Zadeh, M., Davoodi, S., Heidarzadeh, A., Emrahi, H., & Esfandiar, S. (2020). Investigation of the effects of