ORIGINAL ARTICLE

Assessment of Electric and Magnetic Fields Generated by High-Voltage Power Lines Near a Residential Area in Qazvin, Iran

Faezeh Mohammadi[1]
Mohammad Mehdi Emamjomeh[2]
Ahad Alizadeh[3]
Azam Janati Esfahani[4]

[1] MSc Student in environmental health , Student Research Committee, School of Health, Qazvin University of Medical Sciences, Qazvin, Iran
[2] Professor of Environmental Health, Social Determinants of Health Research Center, Research Institute for Prevention of Non-Communicable Diseases, Qazvin University of Medical Sciences, Qazvin, Iran
[3] Associate Professor of Biostatistics, Iran Medical Microbiology Research Center, Qazvin University of Medical Sciences, Qazvin, Iran
[4] Assistant Professor of Medical Physics, Cellular and Molecular Research Center, Research Institute for Prevention of Non-Communicable Diseases, Qazvin University of Medical Sciences, Qazvin, Iran

(Received July 18, 2026; Accepted September 23, 2026)

Abstract

Background and purpose: Given the close proximity of high-voltage power transmission lines to residential areas, it is essential to assess their potential health and environmental impacts. The presence of these lines near residential areas raises concerns about human exposure to extremely low-frequency (ELF) electromagnetic fields. This study aimed to measure the intensities of electric and magnetic fields generated by high-voltage transmission lines near a residential area in Qazvin, Iran.

Materials and methods: This descriptive-analytical study measured electric and magnetic field intensities around five transmission towers carrying 63-kV and 132-kV power lines. Measurements were taken in the four cardinal directions during each of the four seasons of 2025, at a height of 170 cm above ground level. Data were collected using a Holaday HI-3604 field meter and analysed using SPSS, R, and spatial analysis techniques. Distribution maps were generated using ArcGIS. The measured field intensities were compared with the exposure limits recommended by the Iranian National Standards Organization and the International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP).

Results: The highest electric field intensity was observed to the east of Tower 1, at a taxi station, where it exceeded the reference levels recommended by both the Iranian national standard and ICNIRP guidelines. By contrast, all measured magnetic field intensities remained within the recommended limits.

Conclusion: The findings characterise the spatial distribution of electric and magnetic fields around high-voltage transmission lines and indicate that exposure levels vary according to tower location and geographical orientation. The taxi station was identified as the location with the highest measured electric field intensity, highlighting the need for appropriate preventive measures. The other surveyed areas, including residential zones, were within the applicable exposure limits.

Keywords: extremely low-frequency (ELF), electric fields, magnetic fields, ArcGIS, power transmission lines

J Mazandaran Univ Med Sci 2026; 36 (Supple 1): 65-76 (Persian).

Corresponding Author: Azam Jannati Esfahani - Research Institute for Prevention of Non-Communicable Disease, Qazvin University of Medical Sciences, Qazvin, Iran (E-mail: Janaty.azam@gmail.com)

[Downloaded from jmums.mazums.ac.ir on 2026-11-03]

پژوهشی

مجله دانشگاه علوم پزشکی مازندران
دوره سی و ششم شماره ویژه نامه مهر سال ۱۴۰۵ (۷۶-۶۵)

ارزیابی امواج الکترومغناطیس ناشی از کابل های فشار قوی مستقر در منطقه ای در قزوین- ایران

فائزه محمدی[۱]
محمد مهدی امام جمعه[۲]
احد علیزاده[۳]
اعظم جنتی اصفهانی[۴]

چکیده

سابقه و هدف: با گسترش شبکه‌های انتقال برق فشار قوی در مجاورت مناطق مسکونی نگرانی ها در خصوص مواجهه با میدان‌های الکترومغناطیسی فرکانس بسیار پایین (ELF) افزایش یافته است. این مطالعه با هدف اندازه گیری شدت میدان‌های الکترومغناطیس ناشی از خطوط انتقال برق فشار قوی در منطقه ای در شهر قزوین و مقایسه با استانداردهای ملی و بین المللی، انجام پذیرفت.

مواد و روش ها: این پژوهش از نوع توصیفی–تحلیلی، است که در آن شدت میدان‌های الکتریکی و مغناطیسی اطراف پنج دکل حامل خطوط انتقال برق فشار قوی ۶۳ kV و ۱۳۲ kV در چهار جهت جغرافیایی، در چهار فصل سال (بهار ۱۴۰۴ تا زمستان ۱۴۰۴) و در ارتفاع متوسط قد انسان (۱۷۰ cm) اندازه‌گیری شد. اندازه‌گیری‌ها با استفاده از دستگاه Holaday (model: HI-3604) انجام گرفت. داده‌ها پس از ثبت و تحلیل آماری با نرم افزار R و تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی با استفاده از نرم‌افزار ArcGIS با حدود مجاز توصیه شده در استاندارد ملی ایران و دستورالعمل ICNIRP مقایسه شدند.

یافته‌ها: بیش‌ترین نوسانات میدان الکتریکی در جهت شرق دکل شماره ۱ که محل قرارگیری ایستگاه تاکسی می‌باشد مشاهده شد که از حد مرجع توصیه شده در استاندارد ملی ایران و دستورالعمل بین المللی ICNIRP بیش‌تر بود. از طرفی در بررسی میدان مغناطیسی، تمامی مقادیر اندازه‌گیری شده کم‌تر از حدود مرجع استاندارد ملی ایران و استاندارد ICNIRP بودند.

استنتاج: توزیع میدان‌های الکتریکی و مغناطیسی در اطراف خطوط انتقال برق تحت تأثیر جهت جغرافیایی و فاصله از دکل‌ها قرار دارد. بحرانی ترین محدوده محل قرارگیری ایستگاه تاکسی است، لذا اتخاذ تدابیر مناسب در این محل مانند قرار دادن کانکس فلزی (محافظت کننده در برابر امواج الکترومغناطیس) برای استقرار رانندگان توصیه می‌شود. سایر مناطق از جمله مناطق مسکونی در محدوده ایمن قرار دارند.

واژه های کلیدی: امواج مغناطیسی، امواج الکتریکی، نرم افزار ArcGIS، فرکانس های فوق کم

مولف مسئول: اعظم جنتی اصفهانی قزوین، پژوهشکده پیشگیری از بیماری های غیرواگیر، دانشگاه علوم پزشکی قزوین، قزوین، ایران – **E-mail:** Janaty.azam@gmail.com
۱. دانشجوی کارشناسی ارشد بهداشت محیط، کمیته تحقیقات دانشجویی، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی قزوین، قزوین، ایران
۲. استاد بهداشت محیط، مرکز تحقیقات عوامل اجتماعی مؤثر بر سلامت، پژوهشکده پیشگیری از بیماری‌های غیرواگیر، دانشگاه علوم پزشکی قزوین، قزوین، ایران
۳. دانشیار آمار زیستی، مرکز تحقیقات میکروب شناسی پزشکی، دانشگاه علوم پزشکی قزوین، قزوین، ایران
۴. استادیار فیزیک پزشکی، مرکز تحقیقات سلولی و مولکولی، پژوهشکده پیشگیری از بیماری های غیرواگیر، دانشگاه علوم پزشکی قزوین، قزوین، ایران
تاریخ دریافت : ۱۴۰۵/۴/۲۷ تاریخ ارجاع جهت اصلاحات : ۱۴۰۵/۴/۲۹ تاریخ تصویب : ۱۴۰۵/۷/۱

[Downloaded from jmums.mazums.ac.ir on 2026-11-03]

مقدمه

امروزه تولید سرانه برق و روند صعودی آن، به عنوان یکی از شاخص‌های مهم توسعه صنعتی، اقتصادی و رفاهی کشورها شناخته می‌شود(۱). در نتیجه، استفاده از فناوری‌های مبتنی بر انرژی الکتریکی در جوامع انسانی به طور چشمگیری افزایش یافته که این امر منجر به افزایش تولید و انتشار امواج الکترومغناطیسی شده است(۲). همسو با این روند، رشد شتابان شهرنشینی، توسعه افقی شهر ها و تقاضای فزاینده برای انرژی الکتریکی سبب شده است که خطوط انتقال برق فشار قوی به تدریج در مجاورت مناطق مسکونی، مراکز خدماتی و فضاهای عمومی قرار گیرند و بافت‌های شهری با حریم فیزیکی این خطوط تلاقی پیدا کنند. در چنین شرایطی، ارزیابی دقیق میزان مواجهه شهروندان با میدان‌های الکتریکی و مغناطیسی ناشی از این خطوط به عنوان یکی از مهم‌ترین آلاینده‌های فیزیکی محیط زیست شهری، اهمیت بهداشتی و کاربردی ویژه‌ای یافته است(۳). از منظر فیزیکی، طیف الکترومغناطیس از امواج فرکانس بسیار پایین (Extremely Low Frequency; ELF) و امواج رادیویی با طول موج‌های بسیار بلند آغاز شده و پس از عبور از نواحی مایکروویو، فروسرخ، نور مرئی، فرابنفش، پرتوهای ایکس و در نهایت پرتوهای گاما با بیش‌ترین انرژی ادامه می‌یابد(۴، ۵). در این طیف، پرتوهای ایکس و گاما به دلیل برخورداری از انرژی کافی برای یونیزه کردن اتم‌ها و شکستن پیوندهای شیمیایی، در گروه پرتوهای یونساز قرار می‌گیرند(۶). در مقابل، میدان‌های الکترومغناطیسی ناشی از خطوط انتقال برق فشار قوی که در محدوده فرکانس بسیار پایین قرار می‌گیرند(۷، ۸). از نوع تابش‌های غیریونساز هستند، زیرا فاقد انرژی لازم برای یونیزاسیون بوده و اثرات آن‌ها عمدتاً از طریق تغییر در انرژی ارتعاشی و چرخشی مولکول‌ها بروز می‌کند(۵، ۷). فرکانس برق شبکه انتقال و توزیع در ایران در حدود ۵۰ هرتز است که دقیقاً در همین محدوده فرکانسی غیریونساز طبقه بندی می‌شود(۹، ۱۰). علی‌رغم غیریونساز بودن این امواج، نگرانی‌های جدی درباره اثرات بیولوژیکی آن‌ها بر سلامت انسان وجود دارد، به طوری که آژانس بین‌المللی تحقیقات سرطان (IARC) میدان‌های الکترومغناطیسی فرکانس بسیار پایین را در گروه 2B، یعنی «احتمالاً سرطان‌زا برای انسان »، طبقه‌بندی کرده است(۱۱). از زمان انتشار نخستین گزارش تجربی درباره ارتباط مواجهه مسکونی با میدان‌های فرکانس بسیار پایین و بروز لوسمی در کودکان در سال ۱۹۷۹، مطالعات متعددی به بررسی اثرات احتمالی این میدان‌ها بر سلامت انسان پرداخته‌اند(۹). یافته‌های آزمایشگاهی فراوانی نشان می‌دهند که مواجهه حیوانات یا سلول‌های آزمایشگاهی در شرایط درون‌تنی یا برون‌تنی با میدان‌های فرکانس بسیار پایین می‌تواند با تغییرات ژنتیکی، مرگ سلولی، اختلالات خونی و مشکلات قلبی–عروقی مرتبط باشد(۱۶ - ۱۲). برای نمونه، Ahlbom و همکاران در مطالعه‌ای بر روی ارتباط مواجهه با میدان‌های مغناطیسی ۵۰ تا ۶۰ هرتز و خطر بروز لوسمی در کودکان نشان دادند که خطر ابتلا به این بیماری در کودکانی که در معرض میدان‌های مغناطیسی نسبتاً بالاتری قرار داشتند، حدود دو برابر بیش‌تر از سایر کودکان است(۱۷). اهمیت روزافزون این مخاطرات بیولوژیک سبب شده است که سازمان‌ها و نهادهای بین‌المللی، از جمله کمیسیون بین‌المللی حفاظت در برابر تابش‌های غیریونساز (ICNIRP)، با هدف محافظت از عموم مردم و محیط زیست، دستورالعمل‌های مواجهه ایمن را بر اساس شواهد معتبر علمی تدوین، به روزرسانی و منتشر نمایند(۷، ۱۸). با وجود انجام پژوهش‌های گوناگون در قلمرو سنجش میدان‌های الکترومغناطیسی ناشی از خطوط انتقال، بخش عمده‌ای از این ارزیابی‌ها به صورت مقطعی، در یک بازه زمانی محدود یا حداکثر در یک فصل انجام شده‌اند. برای مثال Saleem و همکاران در سال ۲۰۲۴ به ارزیابی میدان‌های الکتریکی و مغناطیسی فرکانس بسیار پایین در خطوط و پست‌های انتقال برق ۴۰۰ kv/m در سه منطقه متفاوت در عمان پرداختند. اندازه‌گیری‌ها در فواصل نزدیک به دکل‌ها انجام شد و تحلیل میدان‌های ساطع شده از خطوط انتقال با استفاده از مجموعه حسگر F E&H ۵۰

[Downloaded from jmums.mazums.ac.ir on 2026-11-03]

-EHP صورت گرفت. نتایج این مطالعه نشان داد که مقادیر میدان‌های الکتریکی و مغناطیسی اندازه‌گیری شده در تمامی مناطق مورد بررسی در محدوده مجاز استاندارد قرار داشتند(۱۹). این در حالی است که شواهد فیزیکی نشان می‌دهند متغیرهای جوی نظیر دما و رطوبت می‌توانند نقش مؤثری در میزان انتشار و نحوه توزیع این امواج ایفا کنند(۲۰)، بنابراین عدم وجود ارزیابی‌های جامع چهار فصل که تغییرات جهات جغرافیایی (چهار جهت اصلی)، فاصله افقی از دکل‌ها و مدل‌سازی پراکنش فضایی با نرم‌افزار GIS را به‌طور هم‌زمان در کانون‌های پرتردد شهری بررسی کند، یک خلاء تحقیقاتی اساسی محسوب می‌شود. برای پوشش این خلاء پژوهشی و پاسخ به ضرورت مذکور، مطالعه حاضر در منطقه شمالی پونک قزوین طراحی و اجرا شد. این منطقه به دلیل حضور هم‌زمان پنج دکل فشار قوی (۶۳ و ۱۳۲ کیلوولت) در مجاورت بافت مسکونی و اماکن پرتردد عمومی از جمله ایستگاه تاکسی، شرایط حساسی از نظر مواجهه روزانه شهروندان دارد. هدف اصلی این پژوهش، سنجش تجربی و دقیق شدت میدان‌های الکتریکی و مغناطیسی در چهار جهت جغرافیایی، فواصل مختلف و طی چهار فصل سال ۲۰۲۵ در ارتفاع استاندارد بدن انسان (۱۷۰ سانتی‌متر)، تحلیل پراکنش فضایی با استفاده از GIS و در نهایت ارزیابی انطباق مقادیر به‌دست آمده با حدود مجاز استاندارد ملی ایران و دستورالعمل‌های بین‌المللی ICNIRP می‌باشد.

مواد و روش‌ها

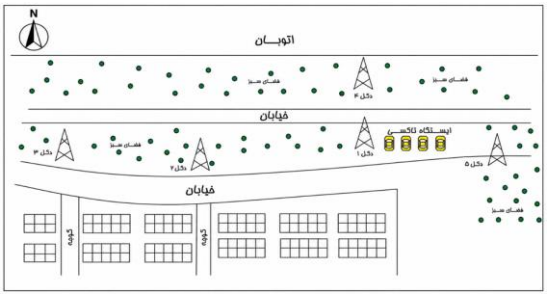
پژوهش حاضر از نوع مطالعات توصیفی-تحلیلی، با کد اخلاق IR.QUMS.REC.1403.338، بود که با هدف بررسی و مقایسه شدت میدان‌های الکتریکی و مغناطیسی اطراف کابل‌های سه دکل از خطوط انتقال برق فشار قوی با ولتاژ ۶۳ kV و دو دکل حاوی کابل های با ولتاژ kV ۱۳۲ در یکی از مناطق شهری در شهر قزوین- ایران انجام شد. منطقه مورد مطالعه حاوی همین پنج دکل ذکر شده است که برای این پژوهش تمام این دکل ها در این منطقه مورد ارزیابی قرار گرفت. اندازه‌گیری‌ها در بازه زمانی بهار ۱۴۰۴ تا زمستان ۱۴۰۴، با استفاده از دستگاه (Holadayمدل -HI ۳۶۰۴، ساخت ایالات متحده آمریکا) انجام شد. همچنین رسم نقشه رنگی توزیع شدت میدان های الکترومغناطیس با نرم افزار Arc-GIS صورت گرفت. روش اندازه‌گیری و الزامات مرتبط با اندازه‌گیری میدان‌های الکتریکی و مغناطیسیفرکانس پایین، با توجه به الزامات استانداردهای ۱-۶۱۷۸۶ IEC و۲-۶۱۷۸۶ IECمورد توجه قرار گرفت. این استانداردها الزامات مرتبط با تجهیزات و روش‌های اندازه‌گیری میدان‌های الکتریکی و مغناطیسی در محدوده فرکانسی ۱ هرتز تا ۱۰۰ کیلوهرتز را پوشش می‌دهند(۲۲و۲۱). در این پژوهش از استاندارد ملی ایران به شماره ۸۵۶۷ مصوب سال ۱۴۰۳ (تجدید نظر سوم) به عنوان مرجع مقایسه استاندارد ملی استفاده شد(۲۳). همچنین از ICNIRP GUIDELINES مصوب ۲۰۱۰ به عنوان مرجع مقایسه استاندارد بین المللی استفاده شد(۱۸). دستگاه مورد استفاده در این پژوهش قابلیت سنجش هم‌زمان شدت میدان‌های الکتریکی (E) با واحد kV/m و مغناطیسی (B) با واحد mA/m را در محدوده فرکانس‌های بسیار پایین (ELF) در محدوده برق شهری (۵۰ هرتز) را دارد. قرائت‌ها به‌صورت دیجیتال نمایش داده شد و دستگاه امکان اندازه‌گیری در واحدهای استاندارد را فراهم می‌کند. پیش از عملیات اندازه‌گیری، مطابق دستورالعمل کارخانه سازنده، توسط سازمان انرژی اتمی در تهران کالیبره گردید. همچنین نرم افزار GIS به جهت نمایش نحوه توزیع میادین الکترومغناطیس برای تحلیل مکانی داده‌های میدان الکتریکی و مغناطیسی و تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی استفاده شد.

اندازه گیری

پس از کالیبراسیون دستگاه اندازه‌گیری توسط سازمان انرژی اتمی ایران (تهران) در بهار ۱۴۰۴، عملیات اندازه‌گیری شدت میدان‌های الکتریکی و مغناطیسی در چهار جهت اصلی جغرافیایی (شمال، جنوب، شرق و غرب) پیرامون هر یک از پنج دکل

[Downloaded from jmums.mazums.ac.ir on 2026-11-03]

انجام گرفت (تصویر شماره ۱). طرح پایش به‌گونه‌ای تنظیم شد که اندازه‌گیری‌ها تا فاصله ۱۰۰ متر از پایه‌ی هر دکل با فواصل ۵ متر و از آن نقطه در چهار جهت جغرافیایی انجام گیرد. ارتفاع نقاط اندازه‌گیری برابر با ۱۷۰ سانتی‌متر (بر اساس متوسط قد انسان ایستاده) در نظر گرفته شد. اندازه‌گیری‌ها بدون در نظر گرفتن تغییرات لحظه‌ای جریان الکتریکی و در ماه‌های میانی هر یک از چهار فصل سال (اردیبهشت ۱۴۰۴، مرداد ۱۴۰۴، آبان ۱۴۰۴ و بهمن ۱۴۰۴) در ساعت اوج مصرف برق یعنی ساعت ۱۱ تا ۱۳ صبح، انجام شد. در هر موقعیت، اندازه‌گیری‌ها سه بار تکرار و میانگین مقادیر به‌عنوان داده نهایی ثبت شد. داده‌های حاصل شامل شدت میدان‌های الکتریکی و مغناطیسی، دما، رطوبت نسبی، ساعت و تاریخ اندازه‌گیری در نرم‌افزار Microsoft Excel وارد و برای تحلیل‌های آماری بعدی مورد استفاده قرار گرفتند.



تصویر شماره ۱: نقشه منطقه مورد پژوهش و محل قرارگیری دکل ها

رسم نقشه های پهنه بندی

در این پژوهش از نسخه ۱۰/۸/۲ نرم‌افزار ArcGIS به‌منظور نمایش نحوه توزیع شدت میدان‌های الکترومغناطیسی، تحلیل مکانی داده‌های میدان الکتریکی و مغناطیسی و تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی استفاده شد. در ابتدا، محدوده مورد مطالعه با استفاده از Google Earth تعیین و مختصات جغرافیایی آن استخراج شد. سپس تصویر خروجی وارد محیط ArcGIS شد و با استفاده از ابزار Georeferencing مختصات دهی شد. عوارض نقطه‌ای به‌عنوان دکل‌ها و نقاط برداشت بر روی نقشه منطقه تعیین شد و مقادیر اندازه‌گیری شده شدت میدان الکتریکی (kV/m) و شدت میدان مغناطیسی (mA/m) به‌صورت عددی در Attribute Table لایه نقاط وارد شدند.

به‌منظور نمایش توزیع پیوسته میدان‌ها، از ابزار Inverse Distance Weighted (IDW) استفاده شد. برای نمایش بصری بهتر، نقشه‌ها با طیف رنگی سبز تا قرمز، سبز: مقادیر کم، زرد تا نارنجی: مقادیر متوسط و قرمز: مقادیر بالاتر از حد مجاز استاندارد، طراحی شدند.

در نقشه میدان الکتریکی، مقدار ۵ kV/m به‌عنوان حد مجاز استاندارد ICNIRP به‌صورت مرز رنگ قرمز تعریف شد تا مناطق دارای خطر به‌صورت واضح قابل تشخیص باشند. در نقشه‌های میدان مغناطیسی نیز رنگ‌بندی مشابه اعمال شد، هر چند تمامی مقادیر کم‌تر از حد مرجع استاندارد ملی ایران (۱۶۰۰۰mA/m) و استاندارد بین‌المللی (۸۰۰۰۰mA/m) بودند. این رنگ‌بندی امکان شناسایی سریع نواحی پرخطر را فراهم کرد. در انتها، نقشه‌های پهنه‌بندی برای هر فصل و هر میدان در محیط Layout View طراحی شدند.

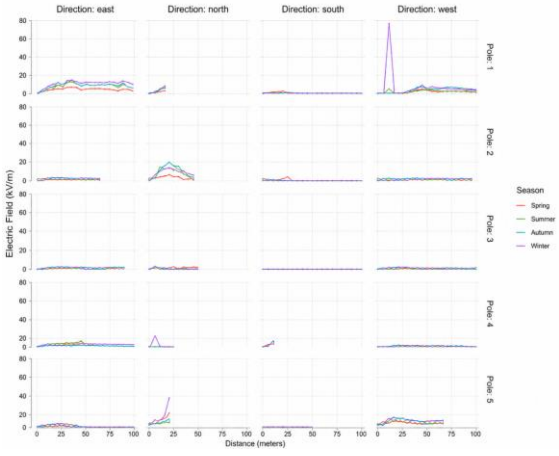
آنالیز آماری

داده‌های حاصل از اندازه‌گیری شدت میدان‌های الکتریکی و مغناطیسی پس از ورود به نرم‌افزار R نسخه 5/4/1 مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند. به‌منظور بررسی اثر عوامل مورد مطالعه شامل دکل، فاصله، جهت جغرافیایی و فصل بر شدت میدان‌های الکتریکی و مغناطیسی، از مدل خطی اثرات آمیخته (Linear Mixed-Effects Model) استفاده شد. برای مقایسه میانگین سطوح متغیرهای مورد مطالعه، میانگین‌های حاشیه‌ای برآورد شده (Estimated Marginal Means; EMMs) محاسبه و مقایسه‌های زوجی بین گروه‌ها انجام شد. نتایج به‌صورت ضرایب برآوردی، خطای استاندارد، فاصله اطمینان ۹۵ درصد و مقادیر P گزارش شدند. سطح معنی‌داری آزمون‌ها ۰/۰۵ در نظر گرفته شد.

[Downloaded from jmums.mazums.ac.ir on 2026-11-03]

یافته ها

مطابق تصویر شماره ۲، روند تغییرات شدت میدان الکتریکی بر حسب فاصله، جهت و فصل در اطراف پنج دکل مورد مطالعه ترسیم گردید. در این نمودارها، تغییرات شدت میدان الکتریکی در چهار جهت جغرافیایی (شرق، غرب، شمال و جنوب) و در چهار فصل سال نمایش داده شده است. چهار فصل مختلف با رنگ‌های متفاوت شامل بهار (قرمز)، تابستان (سبز)، پاییز (آبی) و زمستان (بنفش) بر حسب کیلوولت بر متر (kV/m) مشخص شده‌اند. بررسی کلی نمودارها نشان داد که بیش‌ترین نوسانات شدت میدان الکتریکی در میان دکل‌های مورد مطالعه، در دکل شماره ۱ و به‌ویژه در جهت شرق مشاهده شد؛ به‌گونه‌ای که مقادیر شدت میدان در هر چهار فصل سال، از نزدیکی دکل تا فاصله حدود ۱۰۰ متری، بالاتر از محدوده استاندارد ملی ایران و همچنین استاندارد بین‌المللی ICNIRP (۲۰۱۰)، معادل ۵ kV/m، است. این محدوده محل استقرار ایستگاه تاکسی بوده و بیش‌ترین شدت میدان الکتریکی در آن ثبت شد. در مقابل، کم‌ترین شدت میدان الکتریکی در جهت جنوب مشاهده شد که این ناحیه محل استقرار منطقه مسکونی است.



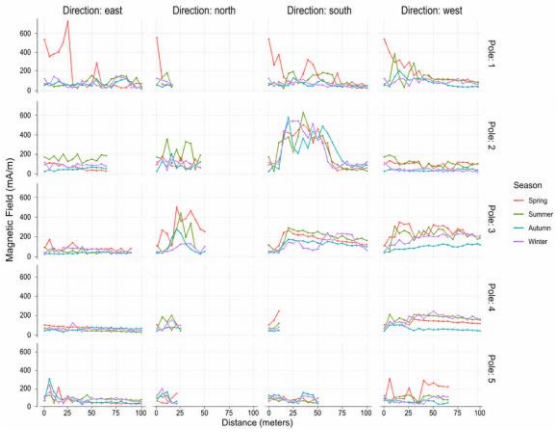
تصویر شماره ۲: نمودار های تغییرات شدت میدان الکتریکی بر حسب فاصله از دکل در جهات مختلف و فصول سال

نتایج مقایسه میانگین شدت میدان الکتریکی در جهت‌های مختلف نشان داد که در برخی از دکل‌ها اختلاف آماری معنی‌داری بین جهت‌های مختلف وجود دارد. در دکل شماره ۱، اختلاف بین جهت‌های شرق و شمال (P=۰/۰۰۱)، شرق و جنوب (P=۰/۰۰۱)، شرق و غرب (P=۰/۰۰۱)، شمال و جنوب (P= ۰/۰۰۰۳۴۱) و جنوب و غرب (P=۰/۰۰۱) معنی‌دار بود. در دکل شماره ۲ نیز اختلاف بین جهت‌های شرق و شمال (P<۰/۰۰۱)، شرق و جنوب (P=۰/۰۰۵۶۲۶)، شمال و جنوب (P=۰/۰۰۱) و شمال و غرب (P=۰/۰۰۱) از نظر آماری معنی‌دار گزارش شد. در دکل شماره ۳، اختلاف بین جهت‌های شرق و جنوب (P=۰/۰۲۸۲۹)، در دکل شماره ۴ اختلاف بین جهت‌های شرق و غرب (P=۰/۰۱۲۴۴۴) و در دکل شماره ۵ اختلاف بین جهت‌های شمال و جنوب (P= ۰/۰۰۶۸) و جنوب و غرب (P=۰/۰۰۷) معنی‌دار بود. از نظر تغییرات فصلی نیز، بیش‌ترین شدت میدان الکتریکی در فصل زمستان مشاهده شد. به طور کلی، روند تغییرات نشان داد که شدت میدان الکتریکی از فصل بهار به ترتیب در تابستان، پاییز و زمستان افزایش یافته است که این روند با نتایج تحلیل آماری نیز مطابقت دارد. تحلیل رگرسیون نشان داد که افزایش فاصله از دکل تأثیر معنی‌داری بر شدت میدان الکتریکی نداشت. به‌طوری که در هیچ یک از دکل‌های اول تا پنجم، ارتباط معنی‌داری بین فاصله از دکل و شدت میدان الکتریکی مشاهده نشد(P>۰/۰۵) همه مقادیر به منظور بررسی تأثیر فصل بر شدت میدان الکتریکی اندازه‌گیری شده در اطراف دکل‌های فشار قوی، از مدل رگرسیون خطی استفاده شد. در این تحلیل، فصل بهار به عنوان فصل مرجع در نظر گرفته شد و شدت میدان در سایرفصل ها با آن مقایسه گردید. نتایج نشان داد که شدت میدان الکتریکی در فصل تابستان (P=۰/۰۰۰۷)، فصل پاییز (P=۰/۰۰۱) و فصل زمستان (P=۰/۰۰۱) نسبت به فصل بهار به طور معنی‌داری بیش‌تر بود. همچنین، روند تغییرات شدت میدان الکتریکی از فصل بهار به سمت زمستان افزایشی بود، به طوری که کم‌ترین شدت میدان الکتریکی در فصل بهار و بیش‌ترین شدت آن در فصل زمستان مشاهده شد.

[Downloaded from jmums.mazums.ac.ir on 2026-11-03]

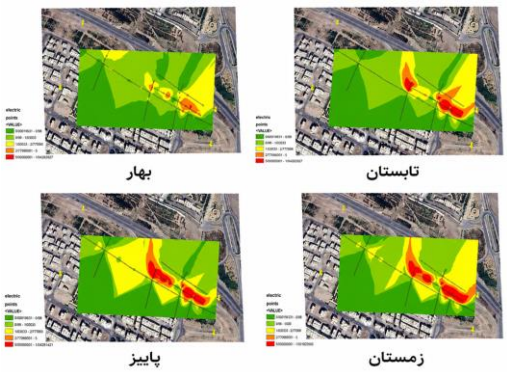
مطابق تصویر شماره ۳، نمودارهای مربوط به توزیع شدت میدان مغناطیسی، روند انتشار این میدان را در اطراف پنج دکل مورد مطالعه در منطقه ای در قزوین، در چهار جهت جغرافیایی (شرق، غرب، شمال و جنوب) و در چهار فصل سال نشان می‌دهد. در این نمودارها، تغییرات فصلی با رنگ‌های مختلف شامل بهار (قرمز)، تابستان (سبز)، پاییز (آبی) و زمستان (بنفش) نمایش داده شد و شدت میدان بر حسب میلی‌آمپر بر متر (mA/m) ارائه شده است. بررسی تغییرات فصلی نشان داد که در برخی از نقاط اندازه‌گیری، بیش‌ترین مقادیر میدان مغناطیسی در فصل بهار ثبت شده است. همچنین بیش‌ترین مقادیر میدان مغناطیسی عمدتاً در فواصل نزدیک به دکل‌ها و به‌ویژه در دکل‌های شماره ۱ و ۲ مشاهده شد و با افزایش فاصله از دکل، روند کلی شدت میدان مغناطیسی کاهش یافت. با وجود نوسانات مشاهده شده در چهار فصل سال و نقاط مختلف، تمامی مقادیر اندازه‌گیری شده به‌طور قابل توجهی کم‌تر از حدود مجاز استاندارد ملی ایران (۱۶۰۰۰۰ mA/m) و استاندارد بین‌المللی (۸۰۰۰۰ mA/m) بودند. نتایج آزمون‌های آماری نشان داد که اثر فاصله بر شدت میدان مغناطیسی در دکل‌های شماره ۱، ۲ و ۵ معنی‌دار بود. مقدار P برای این دکل‌ها به‌ترتیب ۰/۰۰۳، ۰/۰۰۷ و ۰/۰۴۶ به دست آمد که نشان دهنده کاهش معنی‌دار شدت میدان مغناطیسی با افزایش فاصله از پایه دکل است. در مقابل، در دکل‌های شماره ۳ و ۴، اثر فاصله بر شدت میدان مغناطیسی از نظر آماری معنی‌دار نبود و مقادیر P-value به‌ترتیب ۰/۳۷۰ و ۰/۴۴۹ گزارش شد. همچنین، نتایج مقایسه‌های زوجی بین دکل‌ها از نظر شیب تغییرات شدت میدان مغناطیسی بر حسب فاصله نشان داد که بین دکل شماره ۱ و دکل‌های شماره سه P= ۰/۰۳۳ و شماره چهار P=۰/۰۲۱ اختلاف معنی‌دار وجود داشت. علاوه بر این، اختلاف بین دکل شماره ۲ و دکل شماره ۴ نیز از نظر آماری معنی‌دار بود (P=۰/۰۴۳). در بررسی مقایسه میانگین شدت میدان مغناطیسی در جهت‌های مختلف هر دکل، ناهمگنی مکانی قابل توجهی در توزیع میدان مشاهده شد. در دکل شماره ۱، اختلاف بین جهت‌های شرق و شمال (P=۰/۰۰۰۳) شرق و جنوب (P<۰/۰۰۱)، شمال و غرب (P=۰/۰۱۵) و جنوب و غرب (P< ۰/۰۰۱) معنی‌دار بود. در دکل شماره ۲ نیز اختلاف بین جهت‌های شرق و جنوب (P<۰/۰۰۱)، شمال و جنوب (P< ۰/۰۰۱) و جنوب و غرب (P< ۰/۰۰۱) از نظر آماری معنی‌دار گزارش شد. همچنین در دکل شماره ۳، اختلاف بین جهت‌های شرق و شمال P= ۰/۰۳۷ و شمال و غرب (P= /۰۰۶) معنی‌دار بود، در حالی که در دکل‌های شماره ۴ و ۵ اختلاف معنی‌داری بین جهت‌های مختلف جغرافیایی مشاهده نشد (P >۰/۰۵). نتایج نشان داد با افزایش هر واحد فاصله از دکل، شدت میدان مغناطیسی در دکل مرجع به میزان ۱/۲۲ واحد کاهش یافت که این کاهش از نظر آماری معنی‌دار بود (P=۰/۰۰۱). همچنین، در دکل شماره ۲ نیز روند کاهش شدت میدان مغناطیسی مشابه دکل مرجع بود و اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد (P=۰/۷۸۸). در مقابل، روند تغییرات شدت میدان مغناطیسی با افزایش فاصله در دکل‌های شماره ۳ (P=۰/۰۰۱)، شماره ۴ (P=۰/۰۰۱) و شماره ۵ (P=۰/۰۰۱) نسبت به دکل مرجع تفاوت معنی‌داری داشت که نشان دهنده متفاوت بودن اثر فاصله بر شدت میدان مغناطیسی در این دکل ها است. به منظور بررسی تأثیر فصل بر شدت میدان مغناطیسی اندازه‌گیری شده در اطراف دکل‌های فشار قوی، از مدل رگرسیون خطی استفاده شد. در این تحلیل، فصل بهار به عنوان فصل مرجع در نظر گرفته شد و شدت میدان مغناطیسی در سایر فصل ها با آن مقایسه گردید. نتایج تحلیل رگرسیون نشان داد که شدت میدان مغناطیسی در فصل تابستان (P=۰/۰۰۱) فصل پاییز (P=۰/۰۱) و فصل زمستان (P=۰/۰۰۱) نسبت به فصل بهار به طور معنی‌داری کم‌تر بود. همچنین، روند تغییرات شدت میدان مغناطیسی نشان داد که بیش‌ترین مقدار این میدان در فصل بهار مشاهده شد و سپس به ترتیب در فصل‌های تابستان، زمستان و پاییز کاهش یافت؛ به‌طوری که کم‌ترین شدت میدان مغناطیسی در فصل پاییز ثبت گردید.

[Downloaded from jmums.mazums.ac.ir on 2026-11-03]



تصویر شماره ۳: نمودارهای تغییرات شدت میدان مغناطیسی بر حسب فاصله از دکل در جهات مختلف و فصول سال

مطابق تصویر شماره ۴، بررسی نقشه‌های پهنه‌بندی GIS و داده‌های اندازه‌گیری میدانی در چهار فصل سال نشان می‌دهد که توزیع شدت میدان الکتریکی در مجاورت خطوط انتقال پیرامون پنج دکل مورد مطالعه نسبتاً از یک الگوی پایدار پیروی می‌کند، اما مقدار میدان و وسعت پهنه‌ها با شدت بالاتر در چهار فصل مختلف متفاوت است. در تمامی فصل‌ها، بیش‌ترین شدت میدان الکتریکی عمدتاً در ناحیه ایستگاه تاکسی مجاور مشاهده شد در حالی که نواحی مسکونی عمدتاً در طبقات پایین‌تر شدت میدان قرار داشتند. از نظر فصلی، زمستان بیش‌ترین شدت میدان الکتریکی و گسترده‌ترین پهنه‌ها با مقادیر بالاتر را نشان می‌دهد، در حالی که بهار کم‌ترین شدت میدان الکتریکی را در میان چهار فصل سال داراست.

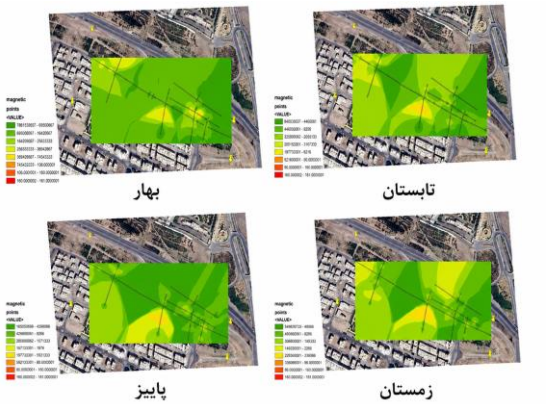


تصویر شماره ٤: تصاویر پهنه بندیGIS امواج الکتریکی در چهار فصل سال ۱۴۰۴

مطابق تصویر شماره ۵، بررسی نقشه‌های پهنه‌بندی GIS در چهار فصل سال نشان می‌دهد که توزیع شدت میدان مغناطیسی برخلاف شدت میدان الکتریکی، بیش از آن که تحت تأثیر کاربری زمین یا شرایط اقلیمی باشد، تابع مستقیم جریان عبوری از خطوط (بار شبکه) است.

روند تغییرات فصلی: بیش‌ترین شدت میدان مغناطیسی در فصل بهار (به دلیل پیک بار مصرفی برق منطقه‌ای در این فصل) مشاهده شد و کم‌ترین مقادیر آن در فصل پاییز به ثبت رسید، فصول تابستان و زمستان از نظر شدت میدان مغناطیسی در جایگاه میانگین قرار گرفتند. الگوی توزیع مکانی آن در طول سال نسبتاً یکنواخت است. پهنه‌های با شدت بالاتر صرفاً به مجاورت هادی‌ها و پایه دکل‌ها محدود بود و با افزایش فاصله از خط انتقال، شدت میدان به سرعت کاهش می‌یابد.

ارزیابی ایمنی: مقایسه نتایج به دست آمده با حدود راهنمای ICNIRP نشان می‌دهد که در هیچ یک از چهار فصل سال، مقادیر ثبت شده به حد آستانه مواجهه عمومی نزدیک نشده‌اند.



تصویر شماره ۵: نقشه پهنه بندی GIS امواج مغناطیسی در چهار فصل سال ۱۴۰۴

بحث

هدف اصلی این پژوهش، ارزیابی شدت میدان‌های الکتریکی و مغناطیسی در اطراف خطوط انتقال نیرو و سنجش میزان مواجهه با آن‌ها بر اساس استانداردهای ملی و بین‌المللی بود. یافته‌های تجربی نشان داد که

[Downloaded from jmums.mazums.ac.ir on 2026-11-03]

وضعیت مواجهه با میدان مغناطیسی در محدوده مورد مطالعه کاملاً مطلوب بوده و تمامی مقادیر اندازه‌گیری شده در فصول، دکل‌ها و جهات مختلف به طور معناداری پایین‌تر از حد مرجع استاندارد ملی ایران (۱۶۰۰۰۰ میلی‌آمپر بر متر) و حد مرجع بین‌المللی مورد استفاده (۸۰۰۰۰ میلی‌آمپر بر متر) قرار داشتند که این نشان دهنده ایمن بودن منازل مسکونی و سایر نقاط از نظر انتشار امواج مغناطیسی در این منطقه است. در مقابل، میدان الکتریکی دچار تجاوزهای موضعی شدید از حدود مجاز شده بود؛ به طوری که در مجاورت دکل شماره ۱ (راستای شرق) که محل استقرار ایستگاه تاکسی و توقف شهروندان است، شدت میدان الکتریکی بین ۱۰ تا ۱۵ کیلوولت بر متر ثبت شد که حدود ۲ تا ۳ برابر فراتر از حد مرجع مجاز برای جمعیت عمومی (۵ کیلوولت بر متر) است. از نظر مبانی فیزیکی، تفاوت بنیادی رفتار این دو میدان ناشی از منشأ فیزیکی متفاوت آن‌ها است. شدت میدان مغناطیسی در اطراف خطوط انتقال بیش از هر چیز تابع جریان عبوری است، بنابراین تغییرات مصرف برق و میزان بار شبکه در فصول مختلف می‌تواند موجب تغییر شدت میدان مغناطیسی شود، در حالی که میدان الکتریکی مستقیماً از ولتاژ (پتانسیل الکتریکی) هادی‌ها ناشی می‌شود. از نظر مبانی فیزیکی، میدان الکتریکی خطوط انتقال عمدتاً با ولتاژ هادی‌ها ارتباط دارد و باید در زیر خطوط ثابت بماند، اما در حقیقت توزیع فضایی آن تحت تأثیر هندسه دکل از جمله ارتفاع هادی، افتادگی هادی، آرایش فازها، وجود دکل، جهت، ویژگی‌های سطح زمین و سایر اجسام موجود در محیط قرار می‌گیرد(۲۴). این یافته نشان می‌دهد که فاصله افقی از پایه دکل به‌تنهایی شاخص مناسبی برای تعیین شدت میدان الکتریکی نیست. این نتیجه با مطالعات El Dein و همکاران همخوانی دارد که نشان داده‌اند پارامترهایی مانند ایجاد شکم در کابل هادی، پیکربندی دهانه، آرایش هادی‌ها و شرایط هندسی خط می‌توانند توزیع میدان الکتریکی را تغییر دهند همچنین در این مطالعه درباره پارامترهای مؤثر بر توزیع بار هادی‌ها، اهمیت ویژگی‌های فیزیکی و هندسی خط در شکل‌گیری میدان الکتریکی مورد توجه قرار گرفته است(۲۵). همچنین یافته‌های Ahsan و همکاران در سال ۲۰۲۵ نشان داد که افزایش ارتفاع هادی‌ها موجب کاهش میدان الکتریکی در سطح زمین می‌شود و توزیع میدان می‌تواند در زیر خط دارای الگوی غیر یکنواخت و حتی پیک‌های خارج از مرکز باشد(۲۶). از دیگر عوامل موثر بر انتشار این امواج می توان به دما و رطوبت در فصول مختلف سال اشاره کرد که در مطالعه Guri و همکاران که در سال ۲۰۲۵ در کوزوو انجام شده است و اثر تغییرات فصلی بر انتشار میدان الکتریکی گزارش شد(۲۷). همچنین مطالعه فتحی و همکاران نیز تاثیر مثبت تغییرات دما و رطوبت را بر میزان انتشار این امواج ثابت کردند(۲۰). از سوی دیگر، در مطالعه حاضر اختلاف معنی‌دار میدان الکتریکی در جهت‌های مختلف اطراف دکل‌ها نشان داد که توزیع میدان الکتریکی ماهیتی وابسته به جهت دارد. این یافته با نتایج Jiang و همکاران در سال ۲۰۱۴ همخوانی دارد، آنان نشان دادند که آرایش توالی فازها و نحوه قرارگیری هادی‌ها تأثیر قابل توجهی بر میدان الکتریکی زیر خطوط انتقال دارد و تغییر آرایش فازها می‌تواند شدت و توزیع میدان را تغییر دهد(۲۸).

با وجود تبیین دقیق رفتارهای فیزیکی فوق، تفسیر علمی این یافته‌ها مستلزم در نظر گرفتن محدودیت‌های ذاتی این مطالعه میدانی است. از محدودیت‌های اصلی این پژوهش، عدم بررسی اثر فاصله عمودی از سطح زمین، و انجام اندازه‌گیری در یک منطقه مشخص از شهر هستند.

در نهایت، برآیند این یافته‌های تجربی و محدودیت‌های فیزیکی، ضرورت فوری اتخاذ اقدامات مدیریتی و مهندسی را برای کاهش مواجهه شغلی و عمومی در نقاط شناسایی شده، به ویژه محدوده ایستگاه تاکسی مجاور دکل شماره ۱، آشکار می‌سازد. جهت

[Downloaded from jmums.mazums.ac.ir on 2026-11-03]

کنترل این مواجهه، انتقال فیزیکی و تغییر موقعیت ایستگاه تاکسی به منطقه‌ای دورتر با شدت میدان استاندارد به عنوان یک اقدام اولیه پیشنهاد می‌شود. همزمان، برای توقف‌های کوتاه مدت رانندگان، نصب کانکس‌های اسکان موقت با بدنه فلزی رسانای زمین شده جهت بهره‌مندی از پدیده قفس فارادی و تضعیف مستقیم مواجهه امواج توصیه می‌گردد. ارتقای آگاهی عمومی از طریق آموزش رانندگان برای کاهش توقف‌های غیرضروری در نقاط بحرانی نیز نقشی کلیدی خواهد داشت. در سطح مدیریت شهری نیز، الزامی شدن سنجش و ارزیابی میدان‌های الکترومغناطیسی پیش از اجرای طرح‌های عمرانی، خدماتی و رفاهی در مجاورت خطوط انتقال نیرو، به عنوان یک راهکار پایدار و پیشگیرانه پیشنهاد می‌شود.

به‌طور کلی، نتایج این پژوهش نشان داد که توزیع میدان‌های الکتریکی و مغناطیسی در اطراف خطوط انتقال برق تحت تأثیر عواملی مانند جهت جغرافیایی، فصل، ویژگی‌های هندسی خطوط و در مورد میدان مغناطیسی، فاصله از دکل قرار دارد. میدان الکتریکی بیش‌تر به جهت و موقعیت مکانی وابسته بود و با وجود تغییرات فصلی، اثر فاصله بر آن از نظر آماری معنی‌دار نبود؛ در حالی که میدان مغناطیسی علاوه بر تغییرات فصلی، در برخی دکل‌ها با افزایش فاصله کاهش معنی‌داری نشان داد. از دیدگاه بهداشت محیط، مهم‌ترین یافته این پژوهش که تنها نگرانی بهداشتی مشاهده شده مربوط به میدان الکتریکی بود، عبور شدت میدان الکتریکی از حد مرجع در محدوده ایستگاه تاکسی مجاور دکل شماره ۱ بود که ضرورت اجرای اقدامات مدیریتی برای کاهش مواجهه افراد را نشان می‌دهد. به عنوان یک اقدام مدیریتی و مهندسی، پیشنهاد می‌شود محل استقرار رانندگان در ایستگاه تاکسی مجاور دکل شماره ۱، به یک کانکس فلزی (محفظه‌ای با پوسته‌ی رسانا که مانند یک قفس فارادی عمل می‌کند) تغییر یابد تا شدت مواجهه با میدان الکتریکی کاهش یابد.

در مقابل، سایر مناطق از نظر امواج الکتریکی و تمام نقاط از نظر شدت میدان مغناطیسی کم‌تر از حدود مجاز ملی و بین‌المللی بود و از این نظر، منطقه مورد مطالعه در وضعیت ایمن قرار داشت، با این حال به جهت حساسیت این منطقه از نظر میدان مغناطیسی و الکتریکی، پایش مستمر میدان‌های الکترومغناطیس توصیه می‌شود.

سپاسگزاری

این مقاله حاصل از پایان نامه با عنوان "بررسی امواج الکترومغناطیس ناشی از کابل های فشار قوی مستقر در منطقه ای در شهر قزوین در سال ۱۴۰۴ "در مقطع کارشناسی ارشد رشته مهندسی بهداشت محیط در سال ۱۴۰۵ - ۱۴۰۴ است که با حمایت دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی، درمانی قزوین اجرا شده است.

References

1- Stern DI. The role of energy in economic growth. Ann N Y Acad Sci 2011; 1219(1): 26-51. PMID: 21332491

2- Afzali Behbahani N. Identification, evaluation and prioritization of hazards caused by high voltage power towers in urban areas. Big Data Comput Visions 2021; 1(1): 7-14.

3- World Health Organization. Extremely low frequency fields. Geneva: World Health Organization; 2007. Environmental Health Criteria No.: 238.

4- Sowa P, Rutkowska-Talipska J, Sulkowska U, Rutkowski K, Rutkowski R. Electromagnetic radiation in modern medicine: physical and biophysical

[Downloaded from jmums.mazums.ac.ir on 2026-11-03]

properties. Pol Ann Med 2012; 19(2): 139-142.

5- Parasuraman S, Xin EY, Zou LN. Health hazards with electromagnetic radiation. Int J Pharm Investig 2018; 8(4): 157-163.

6- Hall EJ, Giaccia AJ. Radiobiology for the Radiologist. 6th ed. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins; 2006.

7- Tian H, Zhu H, Gao C, Shi M, Yang D, Jin M, et al. System-level biological effects of extremely low-frequency electromagnetic fields: an in vivo experimental review. Front Neurosci 2023; 17: 1247021. PMID: 37869515

8- Alameri BM. Electromagnetic interference (EMI) produced by high voltage transmission lines. EUREKA Phys Eng 2020; 5: 43-50.

9- Moon JH. Health effects of electromagnetic fields on children. Clin Exp Pediatr 2020; 63(11): 422-428. PMID: 32683818

10- Gajšek P, Ravazzani P, Grellier J, Samaras T, Bakos J, Thuróczy G. Review of studies concerning electromagnetic field (EMF) exposure assessment in Europe: low frequency fields (50 Hz–100 kHz). Int J Environ Res Public Health 2016; 13(9): 875. PMID: 27608033

11- Joseph W, Vanhecke K, Geuzaine C, Verloock L, Van den Bossche M, Verlaek M, et al. QGIS calculation method for evaluation of ELF electromagnetic field exposure of general public due to overhead power lines. In: Joint Annual Meeting of the Bioelectromagnetics Society and the European BioElectromagnetics Association (BioEM 2018); 2018.

12- Panagopoulos DJ, Karabarbounis A, Yakymenko I, Chrousos GP. Human-made electromagnetic fields: ion forced-oscillation and voltage-gated ion channel dysfunction, oxidative stress and DNA damage (Review). Int J Oncol 2021; 59(5): 92. PMID: 35694745

13- Goodman EM, Greenebaum B, Marron MT. Effects of electromagnetic fields on molecules and cells. Int Rev Cytol 1995; 158: 279-338. PMID: 7721541

14- Santini MT, Ferrante A, Rainaldi G, Indovina P, Indovina PL. Extremely low frequency (ELF) magnetic fields and apoptosis: a review. Int J Radiat Biol 2005; 81(1): 1-11. PMID: 15962757

15- Phillips JL, Singh NP, Lai H. Electromagnetic fields and DNA damage. Pathophysiology 2009; 16(2-3): 79-88. PMID: 19264461

16- Panagopoulos DJ. Comparing DNA damage induced by mobile telephony and other types of man-made electromagnetic fields. Mutat Res Rev Mutat Res 2019; 781: 53-62. PMID: 31342892

17- Ahlbom A, Day N, Feychting M, Roman E, Skinner J, Dockerty J, et al. A pooled analysis of magnetic fields and childhood leukaemia. Br J Cancer 2000; 83(5): 692-698. PMID: 10944614

18- International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection. Guidelines for limiting exposure to time-varying electric and magnetic fields (1 Hz to 100 kHz). Health Phys 2010; 99(6): 818-836. PMID: 21068601and Neutrons. Lyon: IARC; 1999.

19- Saleem SA, Mihoub M, Al Hatmi HA, Al Zarouni MI. Assessment of extremely low frequency electric and magnetic field of 400kV transmission lines and substations in Oman. E3S Web Conf 2024; 472: 01018.

[Downloaded from jmums.mazums.ac.ir on 2026-11-03]

20- Fathi Loshkani Z, Mohammadi F, Emamjomeh MM, Alizadeh A,Janati Esfahani A. Assessment of extremely low frequency electromagnetic fields from high-voltage power lines in a public park in Qazvin, Iran. Iran J Health Environ 2026; 19(1): 137.

21- International Electrotechnical Commission. IEC 61786-1: 2013. Measurement of DC magnetic, AC magnetic and AC electric fields from 1 Hz to 100 kHz with regard to exposure of human beings – Part 1: Requirements for measuring instruments. Geneva: IEC; 2013.

22- International Electrotechnical Commission. IEC 61786-2: 2014. Measurement of DC magnetic, AC magnetic and AC electric fields from 1 Hz to 100 kHz with regard to exposure of human beings – Part 2: Basic guidance for measurements. Geneva: IEC; 2014.

23- Iran National Standards Organization. Non-ionizing radiation – Exposure limits. Iranian National Standard No. 8567, 3rd Revision. Tehran: INSO; 2024.

24- Hewett DP, Hewitt IJ. Homogenized boundary conditions and resonance effects in Faraday cages. Proc Math Phys Eng Sci 2016; 472(2189): 20160062. PMID: 27279775

25- El Dein AZ. Parameters affecting the charge distribution along overhead transmission lines' conductors and their resulting electric field. Electr Power Syst Res 2014; 108: 198-210.

26- Ahsan M, Baharom MNR, Khalil IU, Zainal Z. Comparative analysis of mathematical and simulation models for electric field generated beneath 400 kV overhead transmission lines. Measurement 2025; 256: 118566.

27- Guri K, Hodolli G, Kadiri S, Gjukaj A, Kastrati L. The effect of conductor sag on EMF exposure assessment for 400 kV double-bundle. Appl Sci 2025; 15(17): 9789.

28- Jiang YZ, Liang ZG, Li C, Du BX. Effect of phase sequence layout on electric field under overhead lines. Adv Mater Res 2014; 960: 921-924.

[Downloaded from jmums.mazums.ac.ir on 2026-11-03]