



Available online: <https://ijhe.tums.ac.ir>

مقاله پژوهشی



ارزیابی میدان‌های الکترومغناطیسی با فرکانس فوق پایین ناشی از خطوط برق فشار قوی در یک پارک عمومی در قزوین، ایران

زهرا فتحی لوشکانی^۱، فائزه محمدی^۱، محمد مهدی امام جمعه^۲، احد علیزاده^۳، اعظم جنتی اصفهانی^{۴،۵*}

- ۱- کمیته تحقیقات دانشجویی، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی قزوین، قزوین، ایران
- ۲- مرکز تحقیقات عوامل اجتماعی مؤثر بر سلامت، پژوهشکده پیشگیری از بیماری‌های غیرواگیر، دانشگاه علوم پزشکی قزوین، قزوین، ایران
- ۳- مرکز تحقیقات میکروب شناسی پزشکی، دانشگاه علوم پزشکی قزوین، قزوین، ایران
- ۴- گروه بیوتکنولوژی پزشکی، دانشکده پیراپزشکی، دانشگاه علوم پزشکی قزوین، قزوین، ایران
- ۵- مرکز تحقیقات سلولی و مولکولی، پژوهشکده پیشگیری از بیماری‌های غیرواگیر، دانشگاه علوم پزشکی قزوین، قزوین، ایران

چکیده

اطلاعات مقاله:

زمینه و هدف: این پژوهش به بررسی توزیع فضایی شدت میدان‌های الکتریکی و مغناطیسی اطراف خطوط برق فشار قوی ۶۳ kV در یکی از پارک‌های شهر قزوین می‌پردازد. هدف از این مطالعه، ارزیابی میزان مواجهه شهروندان با میدان‌های فرکانس فوق پایین (ELF) از طریق اندازه‌گیری تجربی و مدل‌سازی عددی است.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۱۲/۱۹
تاریخ ویرایش: ۱۴۰۵/۰۳/۰۵
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۵/۰۳/۱۱
تاریخ انتشار: ۱۴۰۵/۰۳/۲۶

روش بررسی: این مطالعه از نوع توصیفی-تحلیلی است که در آن شدت میدان‌های الکتریکی و مغناطیسی اطراف سه دکل حامل خطوط انتقال برق فشار قوی ۶۳ kV در چهار جهت جغرافیایی و در فواصل مختلف از دکل‌ها، در فصول چهارگانه سال از زمستان ۱۳۹۹ تا پاییز ۱۴۰۰ سنجش شد. اندازه‌گیری‌ها با استفاده از دستگاه Holaday (model: HI 3604) و در ساعت اوج مصرف برق انجام گرفت. همچنین به منظور بررسی نحوه انتشار میدان‌ها به صورت سه‌بعدی، مدل‌سازی عددی با نرم‌افزار COMSOL Multiphysics صورت گرفت. سپس مقادیر به دست آمده با حدود مجاز استاندارد ملی ایران مقایسه شد. تحلیل آماری داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار R و مدل معادلات برآوردی تعمیم‌یافته (GEE) انجام شد.

واژگان کلیدی: پارک شهر قزوین، خطوط فشار قوی، میدان الکتریکی، میدان مغناطیسی، کامسول

یافته‌ها: نتایج نشان داد شدت میدان‌های الکتریکی و مغناطیسی در نزدیکی دکل‌ها بیشترین مقدار را داشته و با افزایش فاصله کاهش می‌یابد. بیشینه میدان الکتریکی در بهار و تابستان و بیشینه میدان مغناطیسی در زمستان مشاهده شد. دما و رطوبت تأثیر معناداری بر شدت میدان‌ها داشتند ($p < 0.05$) مقادیر مدل‌سازی شده از اندازه‌گیری‌های تجربی بیشتر بود. تمامی مقادیر به دست آمده کمتر از حدود مجاز استاندارد ملی ایران بودند.

نتیجه‌گیری: مواجهه با میدان‌های الکترومغناطیسی در پارک مورد مطالعه، ایمن و پایین‌تر از حد مجاز بهداشتی بود. با این حال، به دلیل تأثیر شرایط محیطی و تغییرات فصلی، پایش‌های دوره‌ای توصیه می‌گردد. استفاده از فضای سبز به‌عنوان عناصر طبیعی نیز می‌تواند در کاهش مواجهه مؤثر باشد.

پست الکترونیکی نویسنده مسئول:

janaty.azam@gmail.com

Please cite this article as: 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. Iranian Journal of Health and Environment. 2026;19(1):137-52.



مقدمه

در سال‌های اخیر، پیشرفت‌های صنعتی در جوامع بشری منجر به توسعه گسترده فناوری برق و افزایش تولید و انتقال آن با استفاده از ولتاژهای بالا شده است (۱). این موضوع موجب شده است که مواجهه انسان با میدان‌های الکتریکی و مغناطیسی ایجاد شده ناشی از حرکت ذرات باردار الکتریکی در کابل‌های برق (۲) در تمامی جنبه‌های زندگی امری اجتناب‌ناپذیر باشد (۳). میدان‌های الکترومغناطیسی بر اساس محدوده فرکانس به دو گروه اصلی تقسیم می‌شوند: میدان‌های الکترومغناطیسی با فرکانس فوق پایین (Extremely Low Frequency; ELF) در بازه ۳۰-۳ Hz و میدان‌های الکترومغناطیسی با فرکانس خیلی پایین (Very Low Frequency; VLF) در محدوده ۳۰۰۰-۳۰۰۰۰ Hz (۴). میدان‌های تولید شده توسط شبکه‌های انتقال برق فشار قوی که با فرکانس برق شهری عمل می‌کنند، در گروه میدان‌های ELF قرار می‌گیرند و به‌عنوان امواج غیریونیزان طبقه‌بندی می‌شوند (۳). شدت میدان‌های الکتریکی و مغناطیسی ناشی از خطوط انتقال برق به عواملی مانند میزان ولتاژ، فاصله از منبع، ارتفاع خطوط، شرایط محیطی و مدت زمان مواجهه بستگی دارد و افزایش این عوامل می‌تواند پیامدهای محیط زیستی و بهداشتی نامطلوبی به همراه داشته باشد (۵). آژانس بین‌المللی تحقیقات سرطان (International Agency for Research on Cancer; IARC) نیز میدان‌های الکترومغناطیسی ELF را در گروه B2 (احتمالاً سرطان‌زا برای انسان) طبقه‌بندی کرده است (۶). مطالعات اپیدمیولوژیک متعددی به بررسی ارتباط بین مواجهه با میدان‌های الکترومغناطیسی ناشی از خطوط انتقال برق و پیامدهای سلامت، مثل سردرد، خستگی، اختلالات خواب پرداخته‌اند و در برخی از این مطالعات، ارتباط‌های آماری معناداری را در گروه‌های شغلی و جمعیت‌های ساکن در مجاورت این خطوط گزارش شده است (۲، ۳، ۷). همچنین Savitz و همکاران رابطه معناداری بین بیماری‌های قلبی-عروقی و

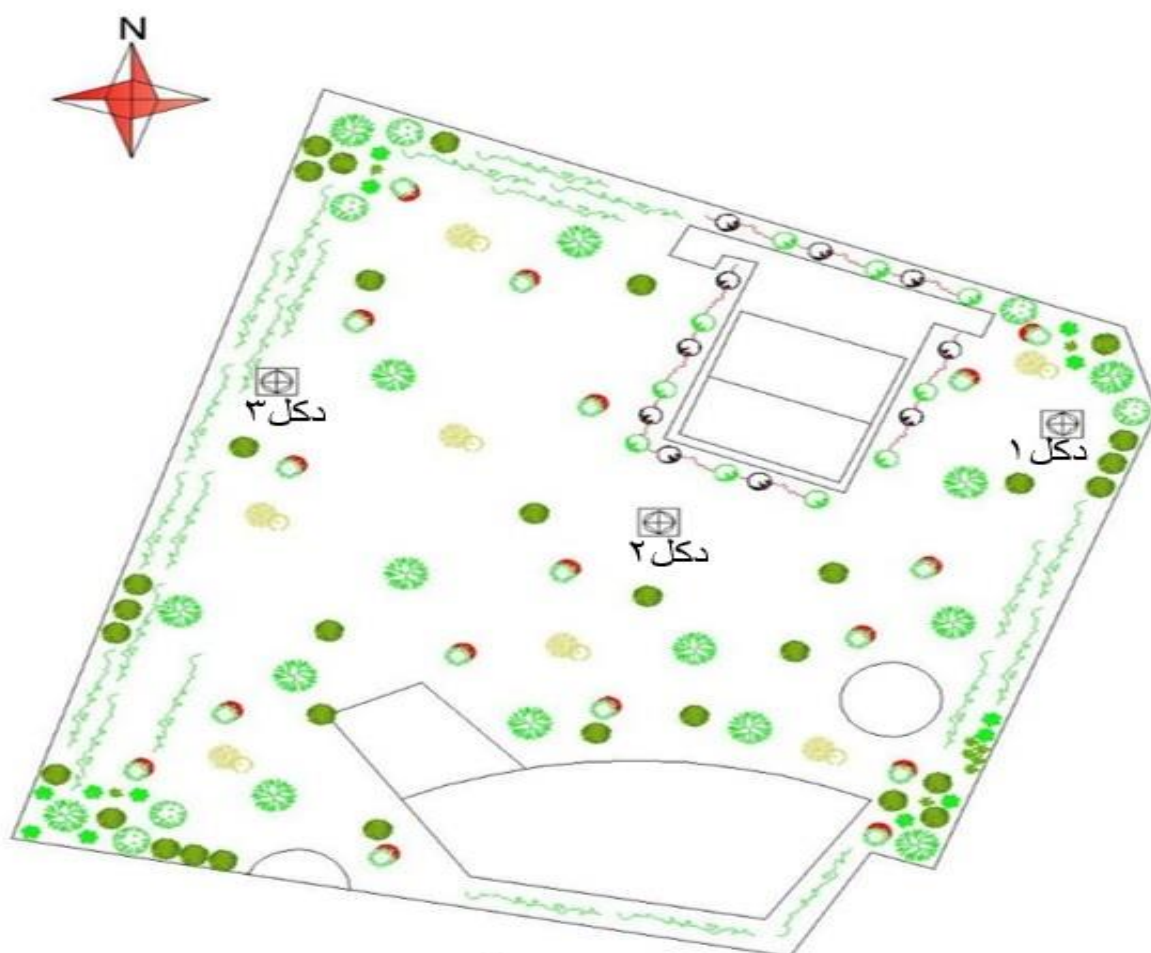
مواجهه کارکنان با میدان‌های الکترومغناطیسی ناشی از برق فشار قوی گزارش کردند (۸). بر اساس مطالعات پیشین، مواجهه با میدان‌های الکترومغناطیسی ELF می‌تواند با بروز برخی تغییرات فیزیولوژیک و اختلالات عملکردی در بدن، از جمله اختلالات خونی، افزایش خطر سرطان خون، رشد تومورها و اختلال در ریتم خواب و بیداری همراه باشد؛ با این حال، نتایج این مطالعات همواره یکسان نبوده و در برخی موارد شواهد متناقضی گزارش شده است (۲، ۶، ۹-۱۱). با گسترش شهرنشینی و قرارگیری خطوط انتقال برق فشار قوی در مناطق مسکونی یا فضاهای عمومی، نهادهای قانون‌گذار بین‌المللی اقدام به تدوین استانداردهایی برای محدودسازی میزان مواجهه عموم مردم با میدان‌های الکترومغناطیسی کرده‌اند (۳). در ایران نیز حدود مجاز مواجهه با میدان‌های الکتریکی و مغناطیسی توسط سازمان ملی استاندارد ایران تعیین شده است. با توجه به شواهد موجود و ضرورت ارزیابی میزان مواجهه واقعی در محیط‌های عمومی پرتردد، انجام مطالعات میدانی به‌منظور اندازه‌گیری میدان‌های الکترومغناطیسی و مقایسه آن‌ها با حدود مجاز توصیه شده ضروری به نظر می‌رسد. از این‌رو، هدف از مطالعه حاضر بررسی الگوی انتشار میدان‌های الکتریکی و مغناطیسی ناشی از خطوط انتقال برق فشار قوی مستقر در محوطه یکی از پارک‌های عمومی استان قزوین از طریق اندازه‌گیری تجربی و مدل‌سازی عددی و مقایسه نتایج حاصل با استانداردهای حفاظت پرتویی کشور است.

مواد و روش‌ها

پژوهش حاضر یک مطالعه توصیفی-تحلیلی است که با هدف بررسی و مقایسه شدت میدان‌های الکتریکی و مغناطیسی اطراف کابل‌های سه دکل از خط انتقال برق فشار قوی با ولتاژ ۶۳ kV در یکی از پارک‌های شهر قزوین انجام شد. اندازه‌گیری‌ها در بازه زمانی زمستان ۱۳۹۹ تا پاییز ۱۴۰۰، به دو روش تجربی و مدل‌سازی عددی صورت گرفت. در بخش تجربی، اندازه‌گیری شدت میدان‌های الکتریکی و مغناطیسی با

از نرم‌افزار COMSOL Multiphysics انجام شد. پارامترهای هندسی مدل بر اساس ابعاد واقعی دکل‌ها و کابل‌ها تعریف شده و شرایط مرزی متناسب با محیط طبیعی پارک در شبیه‌سازی لحاظ گردید. در پایان، نتایج حاصل از مدل‌سازی عددی و داده‌های تجربی با یکدیگر مقایسه شده و اختلاف آن‌ها نسبت به حدود مجاز تعیین شده در استاندارد ملی ایران مورد ارزیابی قرار گرفت.

استفاده از دستگاه Holaday مدل HI-۳۶۰۴، ساخت ایالات متحده آمریکا انجام شد. این دستگاه قابلیت سنجش هم‌زمان شدت میدان‌های الکتریکی (E) و مغناطیسی (B) را در محدوده فرکانس‌های بسیار پایین (ELF) داراست و پیش از عملیات اندازه‌گیری، مطابق دستورالعمل کارخانه سازنده، کالیبره گردید. در بخش مدل‌سازی عددی، شبیه‌سازی سه‌بعدی انتشار میدان‌های الکتریکی و مغناطیسی با بهره‌گیری



شکل ۱- نقشه پارک و محل قرار گیری دکل‌ها

اندازه‌گیری

پس از کالیبراسیون دستگاه اندازه‌گیری توسط سازمان انرژی اتمی ایران (تهران) در پاییز ۱۳۹۹، عملیات اندازه‌گیری میدان‌های الکتریکی و مغناطیسی در چهار جهت اصلی جغرافیایی (شمال، جنوب، شرق و غرب) پیرامون هر یک از سه دکل انجام گرفت (شکل ۱). بررسی‌های اولیه نشان داد که در مجاورت دکل‌ها شدت میدان‌ها بیشتر بوده و با افزایش فاصله از آن‌ها کاهش می‌یابد. همچنین وجود موانع فیزیکی مانند درختان، نیمکت‌های فلزی و سایر سازه‌ها موجب تغییر در میزان اندازه‌گیری شده میدان‌ها می‌شد. بر این اساس، طرح پایش به گونه‌ای تنظیم شد که اندازه‌گیری‌ها تا فاصله ۱۳ m از پایه هر دکل با فواصل ۱ m و از آن نقطه تا شعاع ۳۸ m با فواصل ۵ m در چهار جهت جغرافیایی انجام گیرد. ارتفاع نقاط اندازه‌گیری برابر با ۱۷۰ cm (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 (بهمن ۱۳۹۹، اردیبهشت ۱۴۰۰، مرداد ۱۴۰۰ و آبان ۱۴۰۰) در ساعت اوج مصرف برق یعنی ساعت ۱۱ صبح، انجام شد. برای هر دکل حدود ۸۶۴ نقطه اندازه‌گیری و ثبت گردید. 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.

شبیه‌سازی

در این مطالعه، شبیه‌سازی میدان‌های الکتریکی و مغناطیسی اطراف دکل‌ها و کابل‌های فشار قوی با استفاده از نرم‌افزار COMSOL Multiphysics و بر پایه روش المان محدود (Finite Element Method) انجام شد. در فرآیند مدل‌سازی، سه دسته پارامتر اصلی مورد استفاده قرار گرفت:

۱. پارامترهای هندسی و ساختاری کابل‌ها: این پارامترها

شامل هندسه کابل‌ها، آرایش قرارگیری آن‌ها و جنس مواد تشکیل‌دهنده بوده و به منظور ایجاد مدل فیزیکی دقیق کابل‌ها در فضای سه‌بعدی تعریف شدند.

۲. پارامترهای الکتریکی و مغناطیسی: این دسته شامل خواص فیزیکی مواد مانند رسانایی الکتریکی، ثابت دی‌الکتریک، نفوذپذیری الکتریکی و نفوذپذیری مغناطیسی است که رفتار الکترومغناطیسی کابل‌ها و محیط اطراف را تعیین می‌کند.

۳. پارامترهای فیزیکی و شرایط مرزی: این پارامترها شرایط عملکردی سیستم را مشخص کرده و شامل فرکانس برق، جریان نامی کابل‌ها و شرایط مرزی اعمال شده بر میدان‌های الکتریکی و مغناطیسی هستند.

در مرحله اول، دکل‌ها و سیم‌های حامل جریان بر اساس اشکال هندسی پایه شامل مخروط، دایره و مستطیل مدل‌سازی شدند. سپس خواص فیزیکی، الکتریکی و مغناطیسی هر بخش به مدل اعمال گردید. مقدار جریان نامی کابل‌ها در شبیه‌سازی ۲۰۰ mA در نظر گرفته شد. فضای هندسی مدل‌سازی شده محدوده‌ای به شعاع ۴۰ m پیرامون دکل را شامل می‌شد و محاسبات مربوط به میدان‌ها در ارتفاع ۱۷۰ cm از سطح زمین (ارتفاع متوسط سر انسان ایستاده) انجام گرفت. محیط اطراف دکل‌ها به‌صورت یک محیط همگن از جنس هوا در نظر گرفته شد. به‌منظور حل دقیق معادلات، محیط مدل‌سازی با استفاده از شبکه‌بندی (Mesh) مناسب تقسیم‌بندی شد تا امکان ایجاد تعداد کافی از المان‌های محدود برای حل عددی فراهم شود. سپس با حل معادلات ماکسول و اعمال شرایط مرزی مناسب، معادله لاپلاس حل شده و مقادیر میدان‌های الکتریکی و مغناطیسی در اطراف دکل‌ها و کابل‌ها به‌صورت سه‌بعدی استخراج گردید. در نهایت، نمودارهای تغییرات میدان‌های الکتریکی و مغناطیسی بر حسب فاصله از کابل‌ها ترسیم شد و الگوی فضایی انتشار میدان‌ها در اطراف کابل‌های حامل جریان نیز نمایش داده شد.

روش‌های آنالیز آماری

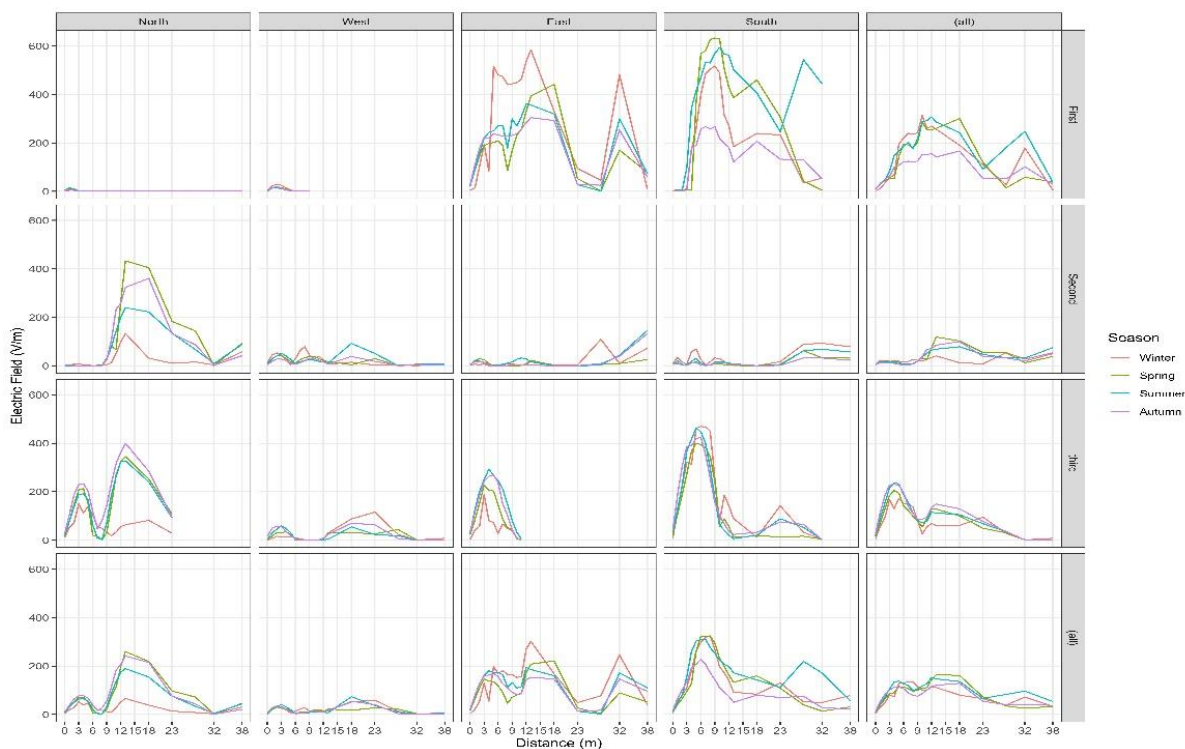
جهت تحلیل داده‌های تجربی از نرم‌افزار آماری R استفاده

یافته‌ها

مقادیر میانگین سه‌باره خوانش میدان الکتریکی (بر حسب V/m) در هر نقطه برای سه دکل و در فصول چهارگانه سال، در چهار جهت جغرافیایی جنوب، شمال، شرق و غرب اندازه‌گیری شد. نتایج حاصله که در نمودار ۱ ارائه شده‌اند نشان می‌دهند که شدت میدان الکتریکی در فاصله‌های نزدیک به دکل (تا حدود ۱۵ m) بیشینه است و با افزایش فاصله از دکل به تدریج کاهش می‌یابد. همچنین الگوی توزیع فضایی میدان الکتریکی بیانگر آن است که شدت میدان در جهات شرق و جنوب دکل‌ها بیشتر بوده، در حالی که در جهات شمال و غرب مقادیر کمتری مشاهده می‌شود.

شد. اندازه‌گیری‌ها در هر نقطه سه بار تکرار و نتایج به صورت میانگین \pm انحراف معیار گزارش شدند.

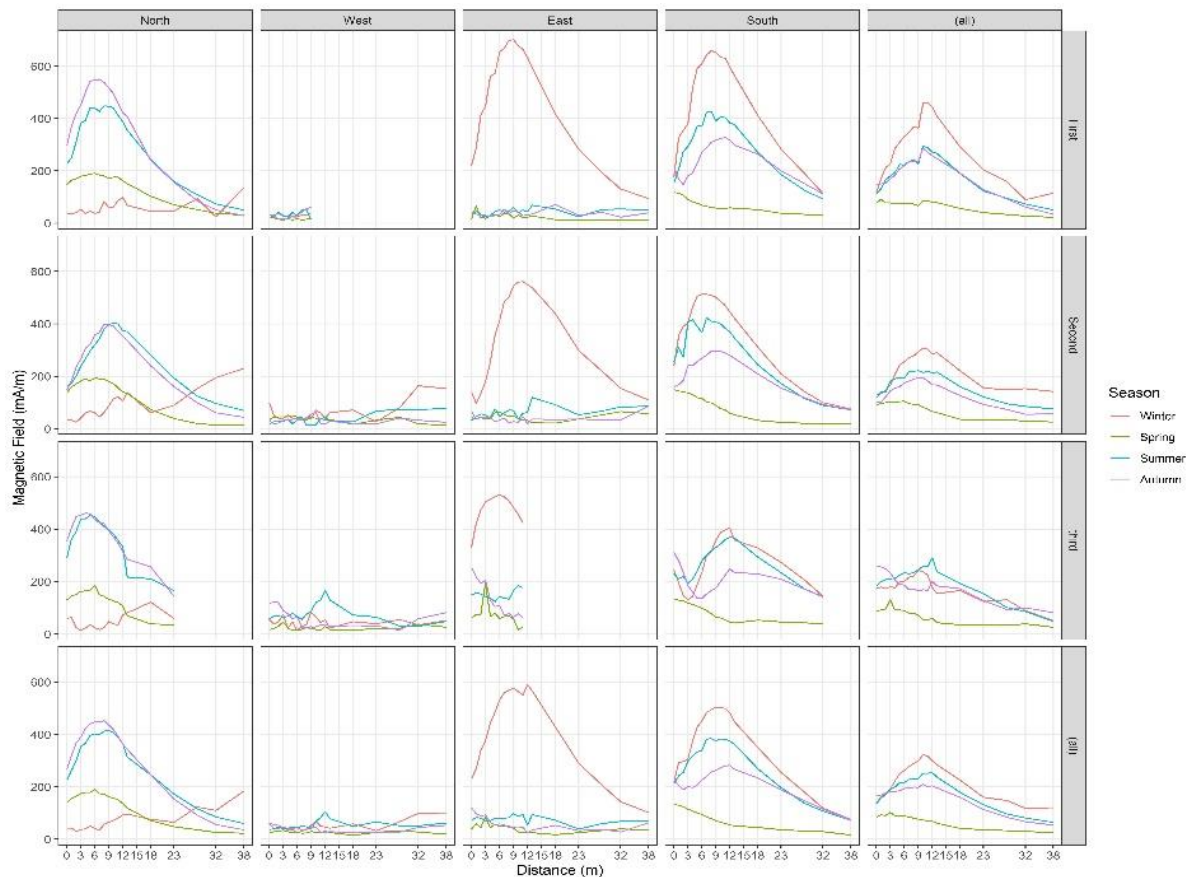
به منظور بررسی اثر هم‌زمان متغیرهای مستقل شامل زمان اندازه‌گیری، دما و رطوبت نسبی بر شدت میدان‌های الکتریکی و مغناطیسی، از روش معادلات برآوردی تعمیم‌یافته (Generalized Estimating Equations-GEE) استفاده شد. با توجه به تکرار اندازه‌گیری‌ها و وجود همبستگی درون‌گروهی میان داده‌ها، این روش برای تحلیل آماری مناسب تشخیص داده شد. برای برآورد میانگین‌های حاشیه‌ای (Marginal Means) و انجام مقایسات زوجی، از پکیج Emmeans در محیط R استفاده شد. تمامی آزمون‌ها با سطح معناداری ($p < 0.05$) انجام گرفتند.



نمودار ۱- نمودارهای نتایج تجربی میدان‌های الکتریکی در چهار جهت هر سه دکل در فصول مختلف سال

دکل، مقدار آن به تدریج کاهش یافت. همچنین نتایج نشان داد که جهت شرق دکل‌ها بیشترین شدت میدان مغناطیسی را تجربه می‌کند و پس از آن به ترتیب جهت جنوب، شمال و غرب دارای مقادیر کمتری هستند.

مقادیر میانگین میدان مغناطیسی (بر حسب mA/m) برای سه دکل در فصول چهارگانه سال و در چهار جهت جغرافیایی جنوب، شمال، شرق و غرب اندازه‌گیری شد. مطابق نمودار ۲، بیشترین شدت میدان مغناطیسی در نواحی نزدیک به پایه دکل‌ها (تا حدود ۳ m) مشاهده گردید و با افزایش فاصله از



نمودار ۲- نمودارهای نتایج تجربی میدان‌های مغناطیسی در چهار جهت هر سه دکل در فصول مختلف سال

مقادیر میدان مغناطیسی در فصل زمستان بیشترین مقادیر ثبت شده را در مقایسه با سایر فصول داشت. به منظور سنجش تأثیر دما و رطوبت نسبی بر تغییرات شدت میدان‌های الکترومغناطیسی، از مدل آماری معادلات برآوردی تعمیم‌یافته (GEE) استفاده شد. نتایج این مدل نشان داد که میدان الکتریکی به‌ازای افزایش هر واحد دما، ۷۴ واحد افزایش ($p=0/003$) و به‌ازای افزایش هر واحد رطوبت، ۷۸ واحد افزایش ($p=0/002$) داشته است.

همچنین نتایج نشان داد که بیشترین میزان میدان الکتریکی مربوط به دکل شماره ۱ بود و پس از آن به ترتیب دکل‌های شماره ۲ و ۳ قرار داشتند. برای میدان مغناطیسی نیز بیشترین مقدار به دکل شماره ۱ اختصاص داشت و پس از آن دکل‌های شماره ۲ و ۳ در رتبه‌های بعدی قرار گرفتند. بررسی نتایج در فصول مختلف سال نشان داد که در فصول بهار و تابستان، مقادیر اندازه‌گیری شده میدان الکتریکی بیشتر از سایر فصول بوده است؛ در حالی که

فصل بهار و تابستان ($p=0/125$) و همچنین بین زمستان و تابستان ($p=0/84$)، تفاوت آماری معناداری مشاهده نشد. در دکل شماره ۳ نیز نتایج نشان داد که بین اغلب فصول تفاوت معنادار آماری وجود دارد؛ اما بین زمستان و تابستان تفاوت معناداری مشاهده نشد ($p=0/121$). این نتایج در جدول ۱ ارائه شده‌اند. از سوی دیگر، مطابق جدول ۲، بیشترین برآورد مربوط به مقایسه مقادیر خوانده شده میدان مغناطیسی در فصل زمستان نسبت به پاییز است و کمترین برآورد مربوط به مقایسه فصل زمستان به تابستان است.

همچنین میدان مغناطیسی به‌ازای افزایش هر واحد دما، ۷۴ واحد کاهش ($p=0/001$) و به‌ازای افزایش هر واحد رطوبت، ۶۵ واحد کاهش ($p=0/001$) نشان داد.

یافته‌ها نشان داد که در دکل شماره ۱، میزان میدان الکتریکی در فصل بهار نسبت به زمستان حدود ۲۵۸ واحد بیشتر بوده است ($p=0/05$). همچنین بین تمامی فصول، تفاوت معنادار آماری مشاهده شد؛ با این حال بین تابستان و بهار تفاوت معنادار آماری وجود نداشت ($p=0/721$). در دکل شماره ۲ نیز بین بیشتر فصول سال تفاوت معنادار دیده شد؛ اما بین

جدول ۱- نتایج بدست آمده از برازش مدل GEE مرتبط با امواج الکتریکی سه دکل در فصول سال

ردیف	فصل‌ها	شماره دکل	برآورد	خطای استاندارد میانگین	p
۱	بهار-زمستان	۱	۲۵۸/۳۴۱۶۸	۱۰۰/۶۸۷۸۴	۰/۰۱
۲	تابستان-زمستان	۱	۲۶۸/۴۲۷۵۹	۱۱۰/۸۴۱۶۲	۰/۰۱۵
۳	پاییز-زمستان	۱	۲۰۱۳/۳۰۹۳۸	۶۴۶/۸۰۹۵	۰/۰۰۲
۴	تابستان-بهار	۱	۱۰/۰۸۵۹۱	۲۸/۲۰۹۶۲	۰/۷۲۱
۵	پاییز-بهار	۱	۱۷۵۴/۹۶۷۷	۵۵۶/۵۹۸۲۸	۰/۰۰۲
۶	پاییز-تابستان	۱	۱۷۴۴/۸۸۱۷۹	۵۴۷/۱۷۱۸۵	۰/۰۰۱
۷	بهار-زمستان	۲	-۳۰۷/۴۷۱۸۳	۹۴/۷۵۱۴۳	۰/۰۰۱
۸	تابستان-زمستان	۲	-۲۶۷/۱۶۰۵۵	۸۱/۷۱۲۳۱	۰/۰۰۱
۹	پاییز-زمستان	۲	۸۵۰/۷۱۸۱۸	۲۸۳/۸۳۸۳۳	۰/۰۰۳
۱۰	تابستان-بهار	۲	۴۰/۳۱۱۲۸	۲۶/۲۷۷۱۳	۰/۱۲۵
۱۱	پاییز-بهار	۲	۱۱۵۸/۱۹۰۰۱	۳۷۴/۳۷۹۹۵	۰/۰۰۲
۱۲	پاییز-تابستان	۲	۱۱۱۷/۸۷۸۷۴	۳۵۶/۶۹۴۵	۰/۰۰۲

ادامه جدول ۱- نتایج بدست آمده از برازش مدل GEE مرتبط با امواج الکتریکی سه دکل در فصول سال

ردیف	فصل ها	شماره دکل	برآورد	خطای استاندارد میانگین	p
۱۳	بهار-زمستان	۳	-۶۹۲/۴۱۲۶۸	۲۱۸/۲۹۷۲۳	۰/۰۰۲
۱۴	تابستان-زمستان	۳	-۷۵۲/۱۱۰۸۹	۲۲۷/۳۸۲۴۳	۰/۰۰۱
۱۵	پاییز-زمستان	۳	۳۴۵/۳۶۶۷۲	۱۲۹/۲۸۰۷۹	۰/۰۰۸
۱۶	تابستان-بهار	۳	-۵۹/۶۹۸۲۲	۲۶/۸۳۰۸۲	۰/۰۲۶
۱۷	پاییز-بهار	۳	۱۰۳۷/۷۷۹۳۹	۳۴۵/۵۱۵۰۲	۰/۰۰۳
۱۸	پاییز-تابستان	۳	۱۰۹۷/۴۷۷۶۱	۳۵۳/۶۱۵۹۷	۰/۰۰۲

جدول ۲- نتایج بدست آمده از برازش مدل GEE مرتبط با امواج مغناطیسی سه دکل در فصول سال

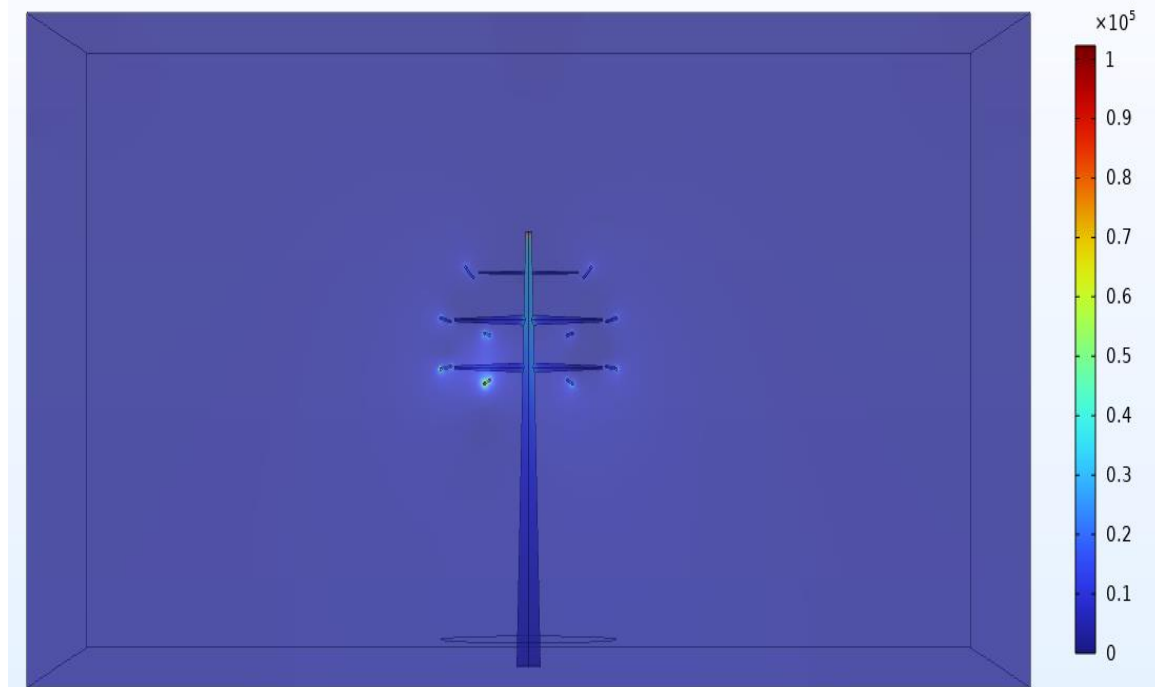
ردیف	فصل ها	دکل	برآورد	میانگین استاندارد خطای	p
۱	زمستان-بهار	۱	-۲۲۴/۵۹۳	۸۴/۹۱۰۷۱	۰/۰۰۸
۲	زمستان-تابستان	۱	-۴۳۹/۷۲۷	۹۹/۳۶۷۸۶	۰
۳	زمستان-پاییز	۱	-۱۵۵۴/۳۲	۴۸۷/۶۲۴۹۲	۰/۰۰۱
۴	بهار-تابستان	۱	-۲۱۵/۱۳۴	۲۰/۵۲۵۰۷	۰
۵	بهار-پاییز	۱	-۱۳۲۹/۷۳	۴۱۳/۲۳۶۷۸	۰/۰۰۱
۶	تابستان-پاییز	۱	-۱۱۱۴/۶	۴۰۰/۷۷۳۱۴	۰/۰۰۵
۷	زمستان-بهار	۲	۱۷۹/۹۴۲۲	۶۹/۴۴۴۰۸	۰/۰۱
۸	زمستان-تابستان	۲	-۱۲/۵۶۳۹	۶۲/۴۲۱۱۲	۰/۸۴
۹	زمستان-پاییز	۲	-۶۵۷/۶۱۱	۲۱۵/۳۵۴۳۱	۰/۰۰۲
۱۰	بهار-تابستان	۲	-۱۹۲/۵۰۶	۱۹/۱۹۷	۰
۱۱	بهار-پاییز	۲	-۸۳۷/۵۵۳	۲۷۷/۱۸۴۰۱	۰/۰۰۳
۱۲	تابستان-پاییز	۲	-۶۴۵/۰۴۷	۲۶۵/۵۰۶۶۶	۰/۰۱۵

ادامه جدول ۲- نتایج بدست آمده از برازش مدل GEE مرتبط با امواج مغناطیسی سه دکل در فصول سال

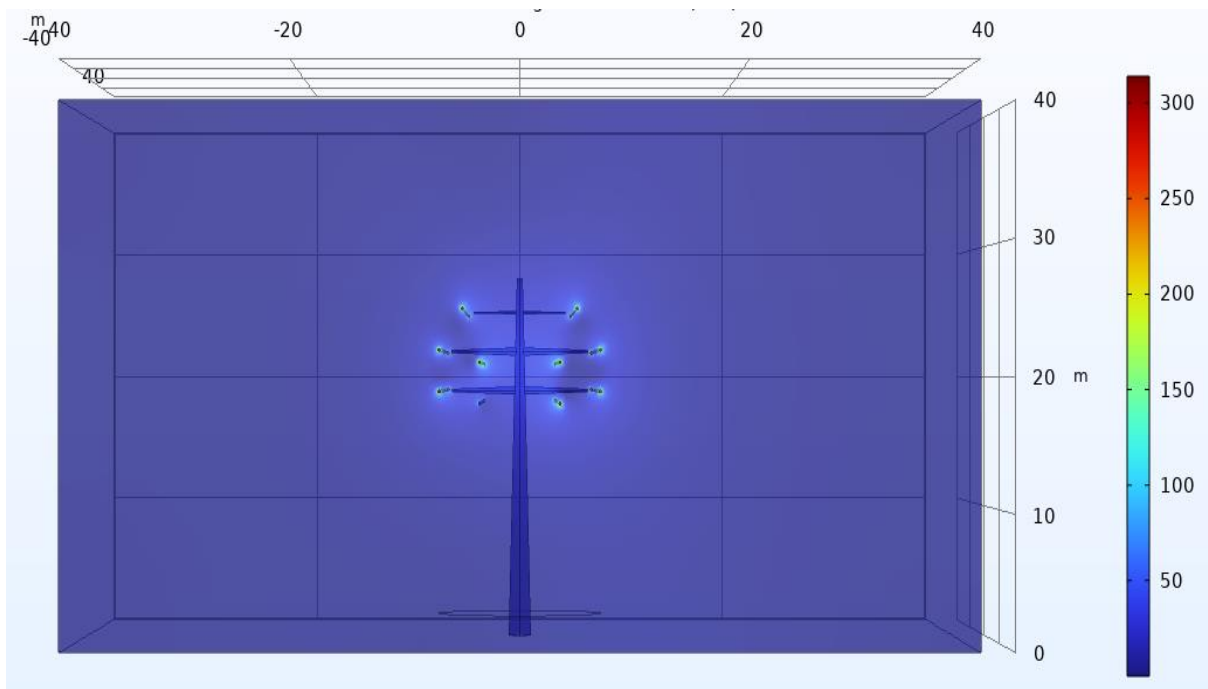
ردیف	فصل ها	دکل	برآورد	میانگین استاندارد خطای	p
۱۳	زمستان-بهار	۳	۵۱۲/۸۸۱۶	۱۶۱/۳۹۴	۰/۰۰۱
۱۴	زمستان-تابستان	۳	۲۶۰/۸۲۷۳	۱۶۸/۳۵۵۸	۰/۱۲۱
۱۵	زمستان-پاییز	۳	-۳۴۷/۲۳۱	۹۹/۵۳۸۵۵	۰
۱۶	بهار-تابستان	۳	-۲۵۲/۰۵۴	۲۲/۵۲۰۷	۰
۱۷	بهار-پاییز	۳	-۸۶۰/۱۱۲	۲۵۶/۳۲۹۵۲	۰/۰۰۱
۱۸	تابستان-پاییز	۳	-۶۰۸/۰۵۸	۲۶۱/۹۵۸۹۴	۰/۰۲

ولتاژ اسمی ۶۳ kV و نتایج محاسبه شد. در شکل ۲، نحوه توزیع میدان الکتریکی و در شکل ۳، توزیع میدان مغناطیسی در اطراف این دکل به تصویر کشیده شده است.

در بخش شبیه‌سازی عددی با استفاده از نرم‌افزار COMSOL Multiphysics، مقادیر میدان الکتریکی و مغناطیسی در اطراف یک دکل حامل کابل‌های فشارقوی با



شکل ۲- نمایش توزیع میدان الکتریکی بر حسب V/m ، در اطراف یک دکل ۶۳ kV



شکل ۳- نمایش توزیع میدان مغناطیسی بر حسب A/m در اطراف یک دکل ۶۳ kV

محیطی واقعی در نرم‌افزار وجود ندارد - از جمله پوشش گیاهی، درختان و سایر موانع و تجهیزات موجود در فضای پارک - نسبت به مقادیر اندازه‌گیری شده میدانی با دستگاه، به‌طور قابل توجهی بزرگ‌تر به‌دست آمد.

در جدول ۳، مقادیر میدان الکتریکی و میدان مغناطیسی حاصل از مدل‌سازی یک دکل ۶۳ kV با استفاده از مشخصات فنی دریافتی از اداره برق استان قزوین ارائه شده است. نتایج مدل‌سازی، به‌دلیل آنکه امکان وارد کردن تمامی شرایط

جدول ۳- مقادیر میدان الکتریکی و مغناطیسی حاصل از نرم‌افزار COMSOL MULTIPHYSIC در چهار جهت جغرافیایی

نقاط	جهت شرق (راستای خطوط)	جهت جنوب (عمود بر راستا)	جهت غرب (راستای خطوط)	جهت شمال (عمود بر راستا)	میدان	میدان	میدان	میدان	اندازه گیری (m)
	میدان الکتریکی (V/m)	میدان مغناطیسی (mA/m)	میدان الکتریکی (V/m)	میدان مغناطیسی (mA/m)	میدان الکتریکی (V/m)	میدان مغناطیسی (mA/m)	میدان الکتریکی (V/m)	میدان مغناطیسی (mA/m)	
۰	۱۱۰۳/۷۸	۵۵۳۲/۴۹	۱۰۶۶/۸۸	۶۱۸/۶۹	۱۱۰۳/۵۱	۵۴۹۵/۳۹	۱۱۷۴/۷۴	۷۶۸/۱۹	
۱	۶۹۲/۴۷	۳۴۷۲/۶۲	۶۴۶/۱۹	۱۵۴۳/۷۸	۶۹۴/۶۴	۳۴۲۱/۷	۷۲۵/۵۱	۲۸۳۶/۳۵	
۲	۷۷۸/۵۱	۳۱۰۴/۱۳	۷۰۴/۶۱	۱۴۴۷/۱۱	۷۶۸/۴۹	۳۰۹۵/۸	۸۰۸/۵۱	۳۵۶۰/۳۲	
۳	۸۹۳/۸۳	۲۹۹۱/۲۸	۸۱۹/۸۳	۱۱۷۲/۸۶	۸۸۸/۹۸	۲۹۹۴/۱۷	۹۳۲/۲۹	۴۰۰۲/۷۰	

ادامه جدول ۳- مقادیر میدان الکتریکی و مغناطیسی حاصل از نرم افزار COMSOL MULTIPHYSIC در چهار جهت جغرافیایی

نقاط	جهت شرق (راستای خطوط)	جهت جنوب (عمود بر راستا)	جهت غرب (راستای خطوط)	جهت شمال (عمود بر راستا)	میدان مغناطیسی (mA/m)	میدان الکتریکی (V/m)	میدان مغناطیسی (mA/m)	میدان الکتریکی (V/m)	میدان مغناطیسی (mA/m)	میدان الکتریکی (V/m)
۴	۱۰۲۵/۸۶	۲۹۲۱/۷۰	۹۰۵/۴۵	۹۰۳/۳۴	۱۰۰۰/۱۰	۲۹۲۹/۷۱	۱۰۳۵/۷۵	۴۲۹۲/۱۱		
۵	۱۰۷۰/۴۸	۲۸۹۵/۲۸	۹۷۲/۲۳	۶۴۰/۰۰	۱۱۰۱/۸۷	۲۹۰۱/۷۸	۱۱۲۰/۰۲	۴۵۰۶/۲۱		
۶	۱۱۰۷/۲۴	۲۸۹۴/۱۳	۱۰۴۷/۷۰	۵۳۱/۶۱	۱۲۰۴/۲۶	۲۸۸۱/۵۸	۱۲۰۷/۱۷	۴۷۳۴/۳۲		
۷	۱۲۰۲/۹۰	۲۸۷۲/۷۹	۱۰۶۶/۹۵	۵۸۰/۷۳	۱۲۴۶/۶۶	۲۸۷۶/۱۳	۱۲۴۳/۷۶	۴۸۰۶/۲۴		
۸	۱۲۵۷/۳۶	۲۸۶۷/۷۲	۱۰۸۴/۳۸	۶۷۱/۳۷	۱۲۷۳/۴۱	۲۸۷۲/۷۱	۱۲۶۰/۴۵	۴۸۲۵/۸۸		
۹	۱۲۸۶/۳۵	۲۸۶۰/۸۲	۱۱۰۶/۶۷	۸۴۶/۰۲	۱۳۱۳/۸۰	۲۸۶۷/۵۶	۱۲۷۹/۸۷	۴۸۲۷/۹۵		
۱۰	۱۳۲۶/۰۰	۲۸۶۰/۳۳	۱۱۱۶/۴۷	۱۰۱۳/۸۴	۱۳۴۹/۷۳	۲۸۶۱/۴	۱۲۸۷/۳۳	۴۷۸۳/۹۰		
۱۱	۱۳۵۳/۶۴	۲۸۷۴/۰۸	۱۱۱۸/۰۵	۱۱۰۷/۸۹	۱۳۸۲/۰۲	۲۸۵۸/۳۷	۱۲۸۶/۲۶	۴۶۸۶/۶۶		
۱۲	۱۳۷۸/۰۸	۲۸۵۱/۹۹	۱۱۱۳/۱۵	۱۱۷۰/۶۰	۱۴۱۱/۴۲	۲۸۶۱/۸۸	۱۲۷۲/۸۵	۴۵۳۳/۶۴		
۱۳	۱۴۰۲/۶۱	۲۸۵۶/۵۲	۱۱۰۶/۵۷	۱۲۲۸/۹۲	۱۴۳۱/۳۶	۲۸۶۵/۰۴	۱۲۶۰/۰۹	۴۴۱۴/۱۸		
۱۸	۱۴۲۲/۴۸	۲۸۵۸/۵۰	۱۰۲۱/۱۷	۱۲۳۱/۳۹	۱۴۸۷/۰۵	۲۸۵۵/۶۴	۱۱۳۴/۵۳	۳۳۶۶/۷۵		
۲۳	۱۴۸۸/۳۱	۲۸۵۳/۴۲	۹۳۳/۸۲	۹۸۸/۴۰	۱۵۱۵/۲۳	۲۸۶۲/۵۳	۹۹۵/۶۹	۲۲۵۵/۲۸		
۲۸	۱۵۱۵/۰۰	۲۸۵۴/۲۱	۸۵۰/۷۰	۶۶۲/۸۳	۱۵۲۳/۶۷	۲۸۳۲/۶۳	۹۱۳/۶۲	۱۵۳۲/۸۶		
۳۳	۱۵۲۷/۲۵	۲۸۵۳/۲۹	۷۹۵/۷۳	۳۵۴/۲۹	۱۵۳۱/۱۸	۲۸۵۰/۲۸	۸۴۹/۳۱	۸۰۸/۸۹		
۳۸	۱۵۳۱/۴۳	۲۸۶۰/۲۹	۷۷۲/۹۷	۱۱۱/۱۰	۱۵۳۳/۲۵	۲۸۵۵/۷۷	۸۲۲/۶۶	۲۴۹/۰۶		

بحث

دکل شماره ۱ مشاهده شده است. علاوه بر فاصله از منبع، در این مطالعه مشخص شد که برخی شرایط محیطی از جمله دما و رطوبت نیز می‌توانند بر مقادیر اندازه‌گیری شده میدان‌های الکترومغناطیسی تأثیرگذار باشند. در همین راستا، پژوهشی میدانی که در اطراف خطوط انتقال برق فشار قوی در شهرستان نکا انجام شد (۱۱)، به طور مستقیم تأثیر دما و رطوبت محیطی بر چگالی شار مغناطیسی را بررسی کرد. در این مطالعه توصیفی-مقطعی، نقاط مختلفی در اطراف خطوط انتقال انتخاب و پارامترهای دما و رطوبت به همراه چگالی شار

مطابق نتایج حاصل از نمودارهای ۱ و ۲، مشخص شد که شدت میدان‌های الکترومغناطیسی در نزدیکی دکل‌ها بیشتر بوده و با افزایش فاصله از دکل‌ها کاهش می‌یابد. این یافته نشان می‌دهد که فاصله گرفتن از دکل‌های انتقال برق می‌تواند به عنوان یکی از مؤثرترین راهکارها برای کاهش میزان مواجهه با این میدان‌ها در نظر گرفته شود. نتایج مقایسه مقادیر میدان‌های الکتریکی و مغناطیسی اندازه‌گیری شده در سه دکل مورد مطالعه نیز نشان داد که بیشترین مقدار این میدان‌ها در محدوده اطراف

(۱۵). یافته‌های مطالعه حاضر، همسو با بسیاری از مطالعات مشابه، نشان می‌دهد که مقادیر میدان‌های الکترومغناطیسی در محدوده‌های اندازه‌گیری شده عموماً کمتر از حدود مجاز استانداردهای بین‌المللی بوده‌اند؛ موضوعی که می‌تواند بخشی از نگرانی‌های عمومی در خصوص مواجهه با این میدان‌ها را کاهش دهد. با این حال، یکی از محدودیت‌های مشترک در بسیاری از پژوهش‌های پیشین آن است که اندازه‌گیری‌ها در بازه زمانی سالانه انجام نشده و تغییرات فصلی دما و رطوبت در نظر گرفته نشده‌اند. این مسئله دقت نتایج را کاهش می‌دهد؛ در حالی که در مطالعه حاضر، با انجام اندازه‌گیری‌ها در فصول مختلف سال، این محدودیت تا حد زیادی برطرف شده و دقت تحلیل افزایش یافته است. در مطالعه Ghorbani Shahna و همکاران که به بررسی میدان‌های الکتریکی و مغناطیسی امواج ELF در اطراف پست‌های فشارقوی همدان پرداخته بود، نتایج نشان داد که توزیع میدان‌ها یکنواخت نبوده است. به طوری که در برخی ایستگاه‌ها، با دور شدن از منبع اصلی، شدت میدان افزایش یافته و همین الگو در مورد میدان‌های مغناطیسی نیز مشاهده شد. علت این پدیده، نزدیکی تجهیزات مولد میدان در پست‌های فشارقوی و هم‌زمان بودن چندین منبع در مجاورت یکدیگر عنوان شده است. در چنین شرایطی، میدان‌های الکتریکی و مغناطیسی ناشی از منابع مختلف بر یکدیگر اثر گذاشته و میدان اندازه‌گیری شده در واقع حاصل برآیند چندین منبع است. بنابراین، در فواصل بین منابع، مقادیر میدان ممکن است بزرگ‌تر از نواحی مجاور هر منبع به‌طور منفرد باشد (۱۶). با توجه به یافته‌های مطالعه مذکور و با در نظر گرفتن اینکه دکل شماره ۱ در پارک مورد مطالعه این تحقیق، در مجاورت دکل‌های دیگری قرار دارد که در این پژوهش اندازه‌گیری نشده‌اند، مقادیر بالاتر میدان‌های ثبت شده در اطراف این دکل کاملاً قابل توجیه است. یکی دیگر از عوامل مؤثر بر اختلاف مقادیر میدان‌های الکترومغناطیسی، پدیده شکم کابل (Conductor Sag) در خطوط فشارقوی است. اگرچه در مطالعه حاضر این عامل به‌طور مستقیم بررسی

مغناطیسی اندازه‌گیری شدند. نتایج این مطالعه نشان داد که با افزایش رطوبت محیط، چگالی شار مغناطیسی کاهش می‌یابد. همچنین اختلاف مشاهده شده در مقادیر میدان‌ها در فصول مختلف را می‌توان تا حدی به تغییرات دمای محیط نسبت داد؛ موضوعی که در مطالعه Mazzanti نیز به آن اشاره شده است (۱۲). در مطالعه Ab Ghani و همکاران، مشابه با پژوهش حاضر، از دو روش اندازه‌گیری میدانی و شبیه‌سازی عددی با نرم‌افزار ANSYS Maxwell به روش المان محدود (FEM) برای خطوط انتقال با ولتاژ ۱۳۲ kV و ۲۷۵ kV استفاده شد. در اندازه‌گیری میدانی، با دستگاه HI-3604 و با بازه‌های زمانی ۳ دقیقه‌ای در طول یک ساعت، اندازه‌گیری انجام گرفت. نتایج شبیه‌سازی آن‌ها نیز مانند مطالعه حاضر، مقادیری پایین‌تر از حدود مجاز گزارش کرد (۱۳). در پژوهشی دیگر، Rachedi با بهره‌گیری از نرم‌افزار COMSOL Multiphysics به بررسی میدان‌های الکترومغناطیسی ناشی از کابل ۲۲۰ kV پرداخت. نتایج این مطالعه نشان داد که استفاده از ماژول‌های الکترواستاتیک و مگنتواستاتیک این نرم‌افزار در محاسبه میدان‌های الکترومغناطیسی در سطوح مختلف نزدیک خطوط انتقال نیرو اثربخش است. میدان‌های به‌دست آمده با دستورالعمل‌های کمیسیون بین‌المللی حفاظت در برابر تشعشعات غیر یونیزان (ICNIRP) مقایسه شدند و همانند مطالعه حاضر، تمامی مقادیر اندازه‌گیری شده پایین‌تر از محدوده مجاز استانداردهای بین‌المللی بودند (۱۴). در مطالعه Morales و همکاران، با استفاده از نرم‌افزار QuickField و بر اساس روش المان محدود (FEM)، توزیع میدان‌های الکترومغناطیسی در اطراف خطوط انتقال برق و مدار تقویت مربوط به سه پست برق شبیه‌سازی شد. مقادیر میدان‌های الکتریکی و مغناطیسی حاصل از شبیه‌سازی با مقادیر اندازه‌گیری شده میدانی و مقادیر آستانه مرجع استانداردهای بین‌المللی مقایسه گردید. نتایج شبیه‌سازی و اندازه‌گیری در این تحقیق نیز، مشابه نتایج مطالعه حاضر، پایین‌تر از حدود استاندارد مشاهده شد

الکترومغناطیسی تأثیرگذار باشند. در نتیجه، فقدان لحاظ این پارامترها در مدل عددی موجب ایجاد اختلاف قابل توجه بین نتایج شبیه‌سازی و اندازه‌گیری واقعی شده است. مطالعه Ab Ghani و همکاران نیز به این موضوع اشاره کرده و نشان داده است که ویژگی‌های فیزیکی و نوع مواد به کاررفته در ساخت کابل‌ها از عوامل تعیین‌کننده در شدت و توزیع میدان‌های الکترومغناطیسی محسوب می‌شوند، یافته‌ای که با تحلیل‌های ارائه شده در مطالعه حاضر همخوانی دارد (۱۳).

نتیجه‌گیری

بر اساس نتایج این مطالعه، تمامی مقادیر میدان‌های الکترومغناطیسی اندازه‌گیری‌شده به روش تجربی و همچنین مقادیر به‌دست آمده از مدل‌سازی در تمامی نقاط مورد بررسی، پایین‌تر از حدود مجاز استاندارد ملی ایران برای مواجهه عمومی با میدان‌های الکتریکی و مغناطیسی در فرکانس ۵۰ Hz (فرکانس برق شهری) بودند. مطابق این استاندارد، حدود مجاز برای میدان الکتریکی و میدان مغناطیسی به ترتیب 5000 V/m و 160000 mA/m تعیین شده است. بنابراین، نتایج نشان می‌دهد که محیط مورد مطالعه از نظر میزان میدان‌های الکترومغناطیسی برای حضور و تردد عموم مردم در محدوده ایمن قرار دارد. همچنین نتایج نشان داد که مقادیر میدان‌های الکترومغناطیسی محاسبه‌شده توسط نرم‌افزار COMSOL Multiphysics (بدون در نظر گرفتن شرایط محیطی) در مقایسه با مقادیر اندازه‌گیری‌شده به روش تجربی بیشتر بوده است. یکی از دلایل احتمالی این اختلاف می‌تواند وجود عناصر محیطی در فضای پارک مانند درختان، پوشش گیاهی و تجهیزات موجود از جمله نیمکت‌ها باشد که در مدل‌سازی لحاظ نشده‌اند. این عناصر می‌توانند به‌عنوان موانع فیزیکی مؤثر بر توزیع و کاهش نسبی شدت میدان‌های الکترومغناطیسی عمل کنند. در مجموع، این نتایج نشان می‌دهد که وجود پوشش گیاهی و موانع فیزیکی در اطراف خطوط یا دکل‌های انتقال برق می‌تواند در تعدیل و کاهش

نشود، اما مطالعه Kjani Guri و همکاران به‌صورت تخصصی اثر تغییرات شکم کابل در فصول مختلف سال را بر شدت میدان‌های الکترومغناطیسی ارزیابی کرده و نتایج نشان داد که در فصل تابستان، به‌دلیل انبساط حرارتی هادی‌ها، شکم کابل به سطح زمین نزدیک‌تر می‌شود؛ موضوعی که موجب افزایش حدود ۱۰ تا ۱۵ درصدی شدت میدان الکتریکی در ارتفاع ۱/۵ متری از سطح زمین می‌گردد. برعکس، در فصل زمستان به‌علت انقباض کابل‌ها، شکم کابل بالاتر رفته و در نتیجه شدت میدان الکتریکی کاهش می‌یابد. در مقابل، تغییرات میدان مغناطیسی در فصول مختلف بسیار کمتر گزارش شد که دلیل آن وابستگی مستقیم میدان مغناطیسی به شدت جریان عنوان شده است (۱۷). در مطالعه حاضر نیز تغییرات فصلی در مقادیر میدان‌های الکترومغناطیسی مشاهده شد؛ تغییری که از نظر ماهیت با نتایج مطالعه Kjani Guri و همکاران همسو بوده و می‌تواند آن یافته‌ها را تأیید کند. علاوه بر این، در مطالعه حاضر این تفاوت‌ها از نظر آماری نیز بین فصول مقایسه و تحلیل شده‌اند که دقت نتایج را نسبت به مطالعات پیشین افزایش می‌دهد. نتایج حاصل از مدل‌سازی عددی نشان داد که مقادیر میدان‌های الکترومغناطیسی محاسبه‌شده توسط نرم‌افزار COMSOL Multiphysics (در شرایط بدون لحاظ پارامترهای محیطی) بیشتر از مقادیر اندازه‌گیری‌شده تجربی با دستگاه بوده است. این عدم تطابق میان نتایج مدل‌سازی و اندازه‌گیری میدانی را می‌توان ناشی از محدودیت‌های موجود در شبیه‌سازی محیط واقعی پارک دانست؛ زیرا بازنمایی کامل محیط با تمام جزئیات فیزیکی و هندسی در نرم‌افزار، به‌دلیل پیچیدگی‌های زیاد، امکان‌پذیر نبوده است. به‌نظر می‌رسد عدم توانایی در وارد کردن اطلاعات محیطی شامل پوشش گیاهی (درختان بلند، سبزه‌ها و گیاهان کوتاه)، اشیاء و تجهیزات مستقر در محیط مانند نیمکت‌های فلزی، وسایل بازی چوبی یا پلاستیکی، نوسانات جریان روزانه خطوط انتقال، شکم کابل‌ها، تغییرات دما و رطوبت و همچنین ابعاد و جنس دقیق کابل‌ها، از جمله عوامل مؤثری هستند که می‌توانند بر شدت میدان‌های

تشکر و قدردانی

این مقاله حاصل از پایان نامه با عنوان "ارزیابی سطح میدان های الکترومغناطیسی ایجاد شده از کابل های فشار قوی در یک پارک استان قزوین" در مقطع کارشناسی ارشد در سال ۱۴۰۰-۱۳۹۹ است که با حمایت دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی، درمانی قزوین اجرأ شده است.

شدت میدان‌های الکترومغناطیسی در محیط‌های شهری نقش داشته باشد.

ملاحظات اخلاقی

نویسندگان کلیه نکات اخلاقی شامل عدم سرقت ادبی، انتشار دوگانه، تحریف داده ها و داده سازی را در این مقاله رعایت کرده اند. لازم به ذکر است کد اخلاق طرح IR.QUMS.REC.1399.352 است.

References

1. Afzali Behbahani N. Identification, evaluation and prioritization of hazards caused by high voltage power towers in urban areas. *Big Data and Computing Visions*. 2021;1(1):7-14.
2. Saeid R, Abbaspour M, Haji Seyed Mirzahosseini SA, Mansoori N. Investigation of the rate of extremely low frequency (ELF) magnetic flux density in the suburbs residential areas of high-power lines in Esfahan. *Human & Environment*. 2022;20(2):97-109 (in Persian).
3. Bidi M. Biological risk assessment of high-voltage transmission lines on worker's health of electric society. *Archives of Electrical Engineering*. 2020;69(1):57-68.
4. Habash RW. *Electromagnetic Fields and Radiation: Human Bioeffects and Safety*. Florida: CRC Press; 2018.
5. Balmori A. Electromagnetic pollution as a possible explanation for the decline of house sparrows in interaction with other factors. *Birds*. 2021;2(3):329-37.
6. Toledano MB, Shaddick G, De Hoogh K, Fecht D, Sterrantino AF, Matthews J, et al. Electric field and air ion exposures near high voltage overhead power lines and adult cancers: A case control study across England and Wales. *International Journal of Epidemiology*. 2020;49(1):57-66.
7. Amini M. The effect of electricity transmission lines on urban and human environment. *Human & Environment*. 2020;18(1):49-56 (in Persian).
8. Savitz DA, Liao D, Sastre A, Kleckner RC, Kavet R. Magnetic field exposure and cardiovascular disease mortality among electric utility workers. *American Journal of Epidemiology*. 1999;149(2):135-42.
9. Dowson D, Lewith G, Campbell M, Mullee M, Brewster L. Overhead high-voltage cables and recurrent headache and depressions. *The Practitioner*. 1988;232(1447):435-36.
10. Gryz K, Karpowicz J, Zajdler K. Evaluation of electromagnetic exposure during workers' activities

- near high-voltage electricity grids. *Electromagnetic Ergonomics*. Florida: CRC Press; 2023. p. 55-73.
11. Zazouli MA, Mohammadyan M, Mousavinasab SN, Mohajer Darabi M, Sarem Safari A. Magnetic flux emission from extremely low frequency electromagnetic fields around high voltage power transmission lines. *Journal of Mazandaran University of Medical Sciences*. 2019;28(169):140-50 (in Persian).
12. Mazzanti G. The effects of seasonal factors on life and Reliability of high voltage AC cables subjected to load cycles. *IEEE Transactions on Power Delivery*. 2020;35(4):2080-88.
13. Ab Ghani S, Khair MSA, Chairul IS, Rahim NH, Hashim S. Effects of parameter adjustment on the electromagnetic field of an overhead power transmission line model. *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science*. 2023;30(2):643-50.
14. Rachedi,BA, Babouri A, Berrouk F. A study of electromagnetic field generated by high voltage lines using comsol multiphysics. *International Conference on Electrical Sciences and Technologies in Maghreb (CISTEM)*. Tunis, Tunisia: Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE); 2014. p. 1-5.
15. Morales J, Gavela P, Morales N, Montesdeoca J. Electromagnetic fields simulation on distribution feeders. 2015 IEEE NW Russia Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering Conference (EIconRusNW). Saint Petersburg, Russia: Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE); 2015. p. 245-50.
16. Ghorbani Shahna F, Eshaghi M, Dehghanpour T, Karami Z. Evaluation of extremely low frequency electric and magnetic fields in high voltage substations of Hamedan and their effects on workers. *Iranian Journal of Medical Physics*. 2011;8(3):61-71 (in Persian).
17. Guri K, Hodolli G, Kadiri S, Gjukaj A, Kastrati L. The effect of conductor sag on EMF exposure assessment for 400 kV double bundle lines. *Applied Sciences*. 2025;15(17):9789.



Available online: <https://ijhe.tums.ac.ir>

Original Article



Assessment of extremely low frequency electromagnetic fields from high-voltage power lines in a public park in Qazvin, Iran

Zahra Fathi Loshkani¹, Faezeh Mohammadi¹, Mohammad Mehdi Emamjomeh², Ahad Alizadeh³, Azam Janati Esfahani^{4,5,*}

1- Student Research Committee, School of Health, Qazvin University of Medical Sciences, Qazvin, Iran

2- Social Determinants of Health Research Center, Research Institute for Prevention of Non-Communicable Diseases, Qazvin University of Medical Sciences, Qazvin, Iran

3- Medical Microbiology Research Center, Qazvin University of Medical Sciences, Qazvin, Iran

4- Department of Medical Biotechnology, School of Paramedical Sciences, Qazvin University of Medical Sciences, Qazvin, Iran

5- Cellular and Molecular Research Center, Research Institute for Prevention of Non-Communicable Disease, Qazvin University of Medical Sciences, Qazvin, Iran

ARTICLE INFORMATION:

Received: 10 March 2026

Revised: 26 May 2026

Accepted: 01 June 2026

Published: 16 June 2026

ABSTRACT

Background and Objective: This study investigated the spatial distribution of electric and magnetic field intensities around 63 kV high-voltage power lines located in a public park in Qazvin, Iran. The aim was to evaluate citizens' exposure to extremely low frequency (ELF) electromagnetic fields through experimental measurement and numerical modeling.

Materials and Methods: This descriptive-analytical research measured electric and magnetic field strengths around 63 kV pylons in four directions and various distances at typical human height (170 cm) across all seasons. Measurements were conducted using a calibrated Holaday field meter during peak power consumption periods. Three-dimensional field propagation was modeled using the COMSOL Multiphysics software and the finite element method (FEM). The obtained data were compared to Iranian national exposure standards and analyzed statistically using R software and the generalized estimating equation (GEE) model.

Results: The intensities of both electric and magnetic fields were highest near the pylons and decreased with increasing distance. The maximum electric field values occurred in spring and summer, while magnetic field maxima appeared in winter. Temperature and humidity exhibited significant effects on the field intensities ($p < 0.05$). Modeled values were higher than measured ones. Nevertheless, all measured values were below the permissible limits defined by Iranian national standards.

Conclusion: The exposure level of visitors to electromagnetic fields within the studied park was found to be within safe limits and below the national health thresholds. Considering seasonal variations and environmental influences, periodic monitoring throughout the year is recommended. Utilization of natural elements such as vegetation can effectively reduce local field exposure.

Keywords: Qazvin park, High-voltage power line, Electric field, Magnetic field, COMSOL multiphysics

***Corresponding Author:**

janaty.azam@gmail.com

Please cite this article as: 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. *Iranian Journal of Health and Environment*. 2026;19(1):137-52.

