

Magnetic Flux Emission from Extremely Low Frequency Electromagnetic Fields around High Voltage Power Transmission Lines

Mohammad Ali Zazouli¹,
Mahmoud Mohammadyan²,
Seyed Noroddin Mousavinasab³
Mostafa Mohajer Darabi⁴,
Adele Sarem Safari⁵

¹ Professor, Department of Environmental Health Engineering, Faculty of Health, Mazandaran University of Medical Sciences, Sari, Iran

² Associate Professor, Department of occupational Health Engineering, Faculty of Health, Mazandaran University of Medical Sciences, Sari, Iran

³ Associate Professor, Department of Biostatistics, Faculty of Health, Mazandaran University of Medical Sciences, Sari, Iran

⁴ BSc in Geographic Information Systems (GIS), Department of GIS, Communication Technology and Information Management Office, Mazandaran and Golestan Regional Electric Company, Sari, Iran

⁵ MSc Student in Environmental Health Engineering, Student Research Committee, Faculty of Health, Mazandaran University of Medical Science, Sari, Iran

(Received May 13, 2018 ; Accepted December 1, 2018)

Abstract

Background and purpose: Considerable increase on the use of electronic devices increased the rate of public occupational exposure to extremely low frequency electromagnetic fields. Assessment of exposure to these fields is highly important due to potential health hazards. This study aimed at investigating the magnetic flux emission from extremely low frequency electromagnetic fields around power lines of high voltage in Neka (north of Iran) and factors affecting the magnetic flux density.

Materials and methods: In this cross-sectional study, 50 sites around high voltage transmission lines were selected and the magnetic flux density was measured at four different distances from the lines. Humidity and temperature were measured in order to assess their impact on magnetic flux density. The extremely low-frequency magnetic field was measured using an electromagnetic field tester (model TES 1394). Statistical analysis was performed in SPSS V17 applying descriptive statistics and one-way ANOVA.

Results: The highest average magnetic flux density was at the 400 kV power transmission line ($2.11 \pm 1.36 \mu\text{T}$). The average magnetic flux density was higher in the afternoon ($2.55 \mu\text{T}$) compared with that in the morning. The average values for magnetic flux density under the pylon and between two pylons were 1.18 ± 0.75 and $2.55 \pm 1.42 \mu\text{T}$, respectively. Magnetic flux density decreased by increasing distance from the wire and the environment moisture.

Conclusion: The average magnetic flux density was lower than the standards set by the international commission on non-ionizing radiation protection and American Conference of Governmental Industrial Hygienists. Hence, the health effects would be negligible.

Keywords: magnetic flux density, power transmission line, extremely low-frequency magnetic field

J Mazandaran Univ Med Sci 2019; 28 (169): 140-150 (Persian).

* Corresponding Author: Adele Sarem Safari - Faculty of Health, Mazandaran University of Medical Science, Sari, Iran (E-mail: adele.sarem@gmail.com)

بررسی میزان انتشار شار مغناطیسی از میدان‌های الکترومغناطیس با فرکانس بی نهایت پایین در اطراف خطوط انتقال برق فشار قوی

محمدعلی ززولی^۱
محمود محمدیان^۲
سید نورالدین موسوی نسب^۳
مصطفی مهاجر دارابی^۴
عادله صارم صفاری^۵

چکیده

سابقه و هدف: روند افزایش قابل توجه استفاده از وسایل الکتریکی، سبب افزایش مواجهه شغلی و عمومی افراد با میدان‌های الکترومغناطیس با فرکانس بی نهایت پایین شده است. مواجهه با این میدان‌ها به علت مخاطرات بهداشتی بالقوه از اهمیت قابل توجهی برخوردار می‌باشد. این مطالعه با هدف بررسی میزان انتشار شار مغناطیسی از میدان‌های الکترومغناطیس با فرکانس بی نهایت پایین در اطراف خطوط انتقال برق ولتاژ بالا در شهرستان نکا و هم چنین عوامل تاثیر گذار بر چگالی شار مغناطیسی انجام شد.

مواد و روش‌ها: در این مطالعه توصیفی- مقطعی، ۵۰ نقطه در اطراف خطوط انتقال برق فشار قوی انتخاب و در ۴ فاصله مختلف از خطوط چگالی شار مغناطیسی اندازه گیری شد. رطوبت و دما به منظور بررسی تأثیر آن‌ها بر میزان چگالی شار مغناطیسی اندازه گیری و ثبت شدند. میدان مغناطیسی با فرکانس بی نهایت پایین با استفاده از یک دستگاه میدان‌سنج (مدل TES 1394) اندازه گیری شد. آنالیز آماری با استفاده از نرم‌افزار SPSS نسخه ۱۷ و آمار توصیفی و هم چنین آزمون آنالیز واریانس یک طرفه استفاده شد.

یافته‌ها: بالاترین میانگین چگالی شار مغناطیسی $(2/11 \pm 1/36)$ میکروتسلا) مربوط به پست انتقال برق ۴۰۰ کیلوولت بود. میانگین چگالی شار مغناطیسی در ظهر $(2/55)$ میکروتسلا) بیش تر از صبح بود. میانگین چگالی شار مغناطیسی در زیر دکل $1/18 \pm 0/75$ میکروتسلا و در بین دو دکل $2/55 \pm 1/42$ میکروتسلا بود. چگالی شار مغناطیسی با افزایش فاصله از سیم‌ها و افزایش رطوبت محیط کاهش یافت.

استنتاج: میانگین چگالی شار مغناطیسی پایین تر از میزان استاندارد تعیین شده توسط کمیسیون بین‌المللی حفاظت از پرتوهای غیر یون ساز و مجمع دولتی متخصصان بهداشت صنعتی آمریکا بود. لذا اثرات بهداشتی قابل اغماض هستند.

واژه های کلیدی: چگالی شار مغناطیسی، خطوط انتقال برق، میدان الکترومغناطیسی با فرکانس بی نهایت پایین

مقدمه

روند افزایش قابل توجه استفاده از وسایل الکتریکی، مواجهه شغلی و عمومی افراد با میدان‌های الکترومغناطیس

را افزایش داده است (۱). تشعشع الکترومغناطیس شامل

میدان‌های الکتریکی و مغناطیسی است که در فاز مربوط

مؤلف مسئول: صارم صفاری - ساری: کیلومتر ۱۷ جاده فرح آباد، مجتمع دانشگاهی پیامبر اعظم، دانشکده بهداشت

مواجهه شغلی و عمومی افراد با میدان‌های الکترومغناطیس

۱. استاد، گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی مازندران، ساری، ایران

۲. دانشیار، گروه مهندسی بهداشت حرفه‌ای، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی مازندران، ساری، ایران

۳. دانشیار، گروه آمار زیستی، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی مازندران، ساری، ایران

۴. کارشناس GIS، واحد GIS، دفتر فناوری ارتباطات و مدیریت اطلاعات، شرکت برق منطقه‌ای مازندران و گلستان، ساری، ایران

۵. دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی بهداشت محیط، کمیته تحقیقات دانشجویی، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی مازندران، ساری، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۲/۲۳ تاریخ ارجاع جهت اصلاحات: ۱۳۹۶/۳/۱ تاریخ تصویب: ۱۳۹۷/۹/۱۰

به خود نوسان کرده و عمود بر مسیر انرژی هستند (۲). میدان‌های الکتریکی و مغناطیسی توسط هرگونه کابل کشی یا تجهیزات حامل جریان الکتریکی از قبیل خطوط برق هوایی یا زمینی، سیم کشی منازل، تجهیزات پزشکی، وسایل الکتریکی و غیره تولید می‌شوند (۳). میدان‌های الکترومغناطیس با فرکانس بی‌نهایت پایین نیز بخشی از طیف امواج الکترومغناطیس هستند که فرکانس آن‌ها کم‌تر از امواج رادیوفرکانسی و در محدوده ۳ تا ۳۰۰ هرتز می‌باشد (۴-۵). عمده منابع انتشار میدان‌های الکترومغناطیس با فرکانس بی‌نهایت پایین (ELF) ۱ شامل ارتباطات زیردریایی، گرمایش القایی، انتقال و توزیع نیروی برق و لوازم الکتریکی می‌باشند (۶،۷). در اغلب کشورها، به دلیل وجود خطوط انتقال برق با فرکانس ۵۰ هرتز، مردم در معرض میدان‌های مغناطیسی می‌باشند. افرادی که در نزدیکی تأسیسات ولتاژ بالا زندگی می‌کنند، ممکن است ۲۰-۱۰ برابر بالاتر از میانگین در معرض میدان‌های مغناطیسی باشند (۸). اثرات بهداشتی که در ارتباط با میدان‌های الکترومغناطیسی، با توجه به مطالعات گذشته به اثبات رسیده‌اند شامل انواعی از سرطان‌ها، سرطان خون (۹-۱۲)، رشد تومور (۱۱،۱۳)، آسیب به پوست، فعالیت غیرعادی سلول یا اختلال در عملکرد سلول، اختلال در ریتم خواب و بیداری، تغییرات در ارداک و حافظه، اثرات نامطلوب ژنتیکی، اختلال در فرآیند تولید و تنظیم هورمون‌ها، مشکلات رفتاری و روانی، نقص سیستم ایمنی، سقط جنین و مشکلات خون و گردش خون، شکست DNA (۱۴،۹)، سرطان سینه، پیامدهای تولیدمثلی (۱۰)، بیماری‌های قلبی و عروقی و بیماری‌های عصبی (۱۵) می‌باشند. مطالعات اپیدمیولوژیک نشان داد که ELF با چگالی بالاتر از ۰/۳ و ۰/۴ میکروتسلا، شانس ایجاد لوسمی در کودکان را به میزان دو برابر افزایش می‌دهد. اگرچه در بیش تر نقاط جهان تماس کودکان با میدان‌های الکترومغناطیسی با فرکانس

بی‌نهایت پایین با چگالی پایین تر از این حد یعنی حدود ۰/۲۵ و ۰/۰۷ میکروتسلا می‌باشد، اما توجه به این نکته ضروری به نظر می‌رسد که نیمی از کودکانی که در تماس با سطح بالای میدان‌های الکترومغناطیسی با فرکانس بی‌نهایت پایین هستند، این امواج را از خطوط بالای سرشان دریافت می‌کنند. با این وجود سازمان بهداشت جهانی به دلیل عدم کفایت مطالعات در ارتباط با اثرات میدان‌های الکترومغناطیسی با فرکانس بی‌نهایت پایین، استاندارد برای مواجهه با این امواج تعیین ننموده است و استاندارد تماس با میدان‌های الکترومغناطیسی با فرکانس بی‌نهایت پایین تنها توسط کمیسیون بین‌المللی حفاظت از پرتوهای غیریون ساز (ICNIRP) تعیین شده است که برای میدان مغناطیسی جهت تماس شغلی در کار تمام روز و کوتاه مدت به ترتیب ۵۰۰ و ۵۰۰۰ میکروتسلا تعیین شده است. اما مقدار مجاز برای عموم مردم در اماکن عمومی تا ۲۴ ساعت تماس و چند ساعت در روز به ترتیب ۱۰۰ و ۱۰۰۰ میکروتسلا توصیه شد (۱۶). مجمع دولتی متخصصان بهداشت صنعتی آمریکا^۱ (ACGIH) نیز حد مجاز مواجهه شغلی برای چگالی شار مغناطیسی در فرکانس ۵۰ هرتز را ۱۲۰۰ میکروتسلا تعیین کرده است (۱۶). استاندارد مواجهه شغلی با میدان‌های الکترومغناطیس برای فرکانس ۵۰ هرتز نیز ۵۰۰ میکروتسلا می‌باشد (۱۷). با توجه به اثرات بهداشتی بالقوه ELF در سال‌های اخیر توجه زیادی به اندازه‌گیری مواجهه شغلی و عمومی آن‌ها انجام شده است (۱۹-۱۷)، لذا هدف از این تحقیق تعیین میزان چگالی شار مغناطیسی در اطراف خطوط انتقال برق فشار قوی شهر نکا می‌باشد.

مواد و روش‌ها

این مطالعه از نوع توصیفی-مقطعی می‌باشد که در آن ELF در اطراف خطوط انتقال برق فشار قوی نیروگاه نکا از یک دستگاه پرتابل

2. American Conference of Governmental Industrial Hygienists

1. Extremely Low Frequency (ELF) Electromagnetic Fields

همان طوری که در جدول دیده می شود، میانگین چگالی شار مغناطیسی $1/32 \pm 1/87$ میکروتسلا بود.

جدول شماره ۱: چگالی شار مغناطیسی در اطراف خطوط با ولتاژهای مختلف

ولتاژ (کیلوولت)	تعداد نمونه	چگالی شار مغناطیسی (میکروتسلا)	
		میانگین \pm SD	حداقل
۶۳	۳۲	$0/42 \pm 0/26$	۰/۱۸
۲۳۰	۶۴	$1/44 \pm 0/18$	۰/۲۸
۴۰۰	۳۰۴	$2/11 \pm 1/36$	۰/۳۴
کل	۴۰۰	$1/87 \pm 1/32$	۰/۱۸

تاثیر رطوبت بر چگالی شار

تغییرات میزان رطوبت و تاثیر آن بر میزان چگالی شار مغناطیسی در نمودار ۱ نمایش داده شده است. برای نمایش تاثیر رطوبت آن را به ۷ گروه: زیر ۴۰ درصد (گروه ۱)، ۴۰ تا ۵۰ درصد (گروه ۲)، ۵۰ تا ۶۰ درصد (گروه ۳)، ۶۰ تا ۷۰ درصد (گروه ۴)، ۷۰ تا ۸۰ درصد (گروه ۵)، ۸۰ تا ۹۰ درصد (گروه ۶) و بالاتر از ۹۰ درصد (گروه ۷) تقسیم بندی شدند. همان طور که در نمودار مشاهده می شود، با افزایش میزان رطوبت، چگالی شار مغناطیسی کاهش می یابد، به طوری که بالاترین میانگین چگالی شار مغناطیسی بر اساس نمودار مربوط به گروه ۱ و برابر با $1/83 \pm 2/4$ میکروتسلا و کم ترین میانگین چگالی شار مربوط به گروه ۷ و برابر با $1/08 \pm 1/46$ میکروتسلا می باشد. حداکثر چگالی شار مغناطیسی در یک نمونه خاص مربوط به درصد رطوبت زیر ۴۰ درصد (۶/۹۳ میکروتسلا) و کم ترین آن در یک نمونه مربوط به درصد رطوبت ۵۰ تا ۶۰ درصد (۰/۱۸ میکروتسلا) می باشد. آزمون آنالیز واریانس یک طرفه نشان داد که بین میانگین شار مغناطیسی در میزان درصد رطوبت های مختلف تفاوت معنی داری با همدیگر دارند ($p = 0/007$).

تاثیر فاصله بر چگالی شار

نمودار شماره ۲، میانگین چگالی شار مغناطیسی در پست های مختلف انتقال را نشان می دهد. بیش ترین

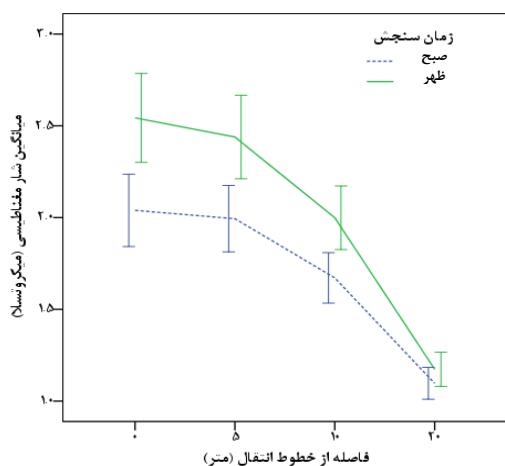
میدان سنج سه محوره قرائت مستقیم به نام Electromagnetic Fields Measurement TES ۱۳۹۴ ساخت کشور تایوان مورد بررسی قرار گرفت. در این مطالعه خطوط انتقال برق فشار قوی با ولتاژهای ۶۳، ۲۳۰ و ۴۰۰ کیلوولت مدنظر قرار گرفتند. تعداد نقاط اندازه گیری با توجه به مطالعات گذشته (۱۹) و با استفاده از فرمول آماری برآورد نمونه و با در نظر گرفتن سطح اطمینان ۹۵ درصد، دقت ۰/۱۸ میکروتسلا و انحراف معیار ۰/۴۳ میکروتسلا، تعداد ۴۸ نقطه به دست آمد که حداقل تعداد ۵۰ نقطه در نظر گرفته شد. برای بررسی تاثیر بار مصرف بر چگالی شار مغناطیسی، نمونه برداری در دو دوره زمانی ۹-۶ صبح و ۱۳/۳۰-۱۱/۳۰ ظهر با به ترتیب با حداقل و حداکثر جریان انجام شد. نیمی از نقاط نمونه برداری در زیر و نیمی دیگر بین دو دکل ها انجام شد. در مجموع با لحاظ نمودن تاثیر دو پارامتر زمان و فاصله در ۴۰۰ مرتبه سنجش صورت گرفت. دما با دماسنج جیوه ای ثبت شد و اطلاعات رطوبت هوا نیز از اداره هواشناسی استان مازندران دریافت شد. به منظور آنالیز آماری از نرم افزار SPSS نسخه ۱۷ و آمار توصیفی و هم چنین آزمون آنالیز واریانس یک طرفه برای مقایسه میانگین شار مغناطیسی در شرایط مختلف استفاده شد. به منظور تحلیل داده های مربوط به ویژگی های جغرافیایی و z-value که مقادیر چگالی شار مغناطیسی می باشد به عنوان ورودی به نرم افزار تعریف شدند. برای میانبایی و تحلیل فضایی داده های مکانی از نرم افزار ArcGIS 10.2.2 استفاده گردید. در این نرم افزار براساس روش های میانبایی کریجینگ معمولی و معکوس فاصله، نقشه های پهنه بندی داده های چگالی شار مغناطیسی به صورت رستری ترسیم گردید (۲۰).

یافته ها

چگالی شار مغناطیسی

مقدار حداقل، حداکثر و میانگین چگالی شار مغناطیسی در اطراف خطوط با ولتاژهای مختلف در منطقه مورد مطالعه در جدول شماره ۱ آورده شده است.

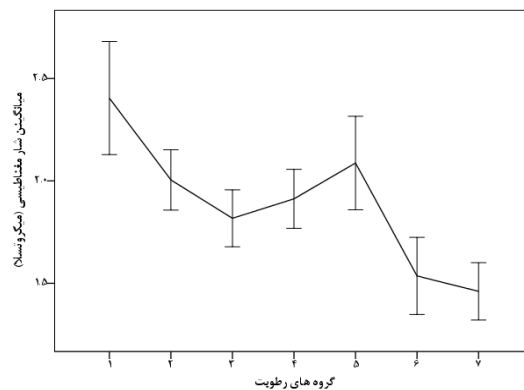
را نشان می‌دهد. بر اساس این نمودار، میانگین شار مغناطیسی در نمونه برداری صبح کم‌تر از ظهر و هم‌چنین با افزایش فاصله از خط انتقال در هر دو زمان میزان شار کاهش می‌یابد. بیش‌ترین میانگین شار در فاصله ۰ متری صبح (۲/۰۵ میکروتسلا) و بیش‌ترین مقدار ظهر (۲/۵۵ میکروتسلا) می‌باشد. میانگین چگالی شار مغناطیسی بدون در نظر گرفتن فاصله، در صبح $1/7 \pm 1/16$ میکروتسلا و در ظهر $2/039 \pm 1/46$ میکروتسلا بوده است. هم‌چنین آنالیز واریانس یک طرفه نشان داد که میانگین شار مغناطیسی در نمونه‌های اندازه‌گیری شده صبح و ظهر تفاوت معنی‌داری با هم دارند ($p = 0/011$).



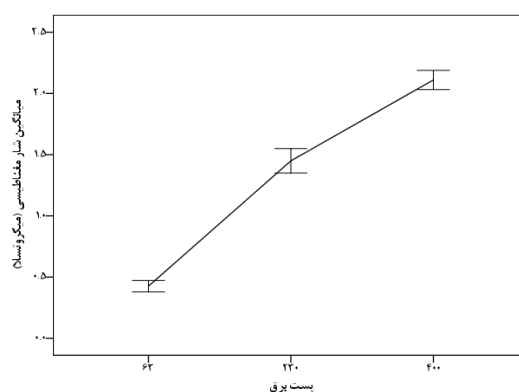
نمودار شماره ۳: تغییرات چگالی شار مغناطیسی با افزایش فاصله در زمان‌های مختلف سنجش

تاثیر فاصله و مکان سنجش نسبت به دکل‌های برق نمودار شماره ۴، تغییرات شار مغناطیسی با افزایش فاصله در مکان‌های مختلف نمونه‌برداری (زیر دکل و بین دکل) را نشان می‌دهد. همان‌طور که ملاحظه می‌شود، میانگین شار مغناطیسی در نمونه‌برداری زیر دکل کم‌تر از نمونه‌برداری بین دکل و هم‌چنین با افزایش فاصله از خط انتقال در فاصله بین دو دکل میزان شار کاهش می‌یابد و در زیر دکل با افزایش فاصله از خط فشار قوی در ابتدا و تا فاصله ۵ متری میانگین شار مغناطیسی کمی افزایش و سپس کاهش می‌یابد. بیش‌ترین

میانگین چگالی شار مربوط به خط ۴۰۰ کیلوولت می‌باشد که میانگین آن در این خط $2/11 \pm 1/36$ میکروتسلا می‌باشد و بیش‌ترین مقدار $6/93$ میکروتسلا می‌باشد. کم‌ترین میانگین شار مغناطیسی مربوط به پست انتقال ۶۳ کیلو وات ($0/425 \pm 0/26$ میکروتسلا) و حداقل مقدار در این پست $0/18$ میکروتسلا می‌باشد. آزمون آنالیز واریانس یک طرفه نشان داد که بین میانگین شار مغناطیسی در خط‌های متفاوت جریان تفاوت معنی‌داری وجود دارد ($p < 0/001$) که بر اساس آزمون مقایسه چندگانه LSD، میانگین شار مغناطیسی در همه پست‌ها متفاوت می‌باشد ($p < 0/001$).



نمودار شماره ۱: تاثیر میزان رطوبت هوا بر تغییرات چگالی شار مغناطیسی

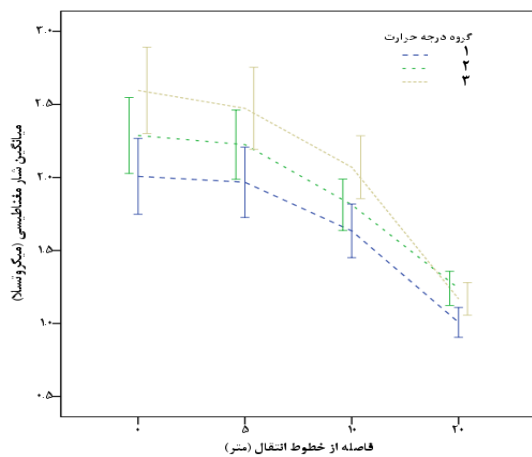


نمودار شماره ۲: تغییرات شار مغناطیسی در پست‌های مختلف انتقال

تاثیر زمان سنجش بر چگالی شار

نمودار شماره ۳، تغییرات شار مغناطیسی با افزایش فاصله در زمان‌های مختلف نمونه‌برداری (صبح و ظهر)

درجه حرارت‌ها کاهش می‌یابد. بالاترین میانگین شار مغناطیسی مربوط به گروه ۳ و درجه حرارت بالای ۲۰ (۲/۵۲ میکروتسلا) می‌باشد کم‌ترین مقدار هم مربوط به درجه حرارت زیر ۱۵ درجه سانتی‌گراد و در فاصله ۲۰ متری می‌باشد. آنالیز واریانس یک طرفه نشان داد که میانگین شار مغناطیسی در درجه حرارت‌های مختلف اندازه‌گیری شده تفاوت معنی‌داری با هم دارند ($p = 0.031$).

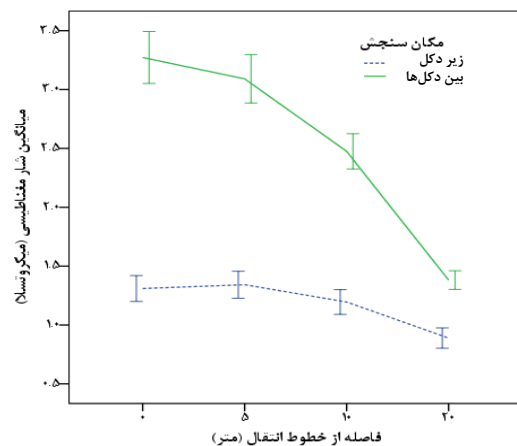


نمودار شماره ۵: میانگین شار مغناطیسی در درجه حرارت‌های مختلف و در فواصل مختلف خطوط

تاثیر فاصله از خطوط انتقال

نمودار شماره ۶، تغییرات میانگین چگالی شار مغناطیسی در فواصل مختلف از خطوط انتقال و بدون در نظر گرفتن سایر پارامترهای موثر را نشان می‌دهد. همان‌طور که ملاحظه می‌شود، با افزایش فاصله نسبت به خطوط فشار قوی، میانگین شار مغناطیسی کاهش می‌یابد. میانگین شار مغناطیسی در فواصل ۰، ۵، ۱۰ و ۲۰ متر به ترتیب 2.29 ± 1.57 ، 2.21 ± 1.46 ، 1.83 ± 1.11 و 1.13 ± 0.63 میکروتسلا می‌باشد. هم‌چنین آنالیز واریانس یک طرفه نشان داد که میانگین شار مغناطیسی در فواصل مختلف مورد اندازه‌گیری تفاوت معنی‌داری با هم دارند ($p < 0.001$).

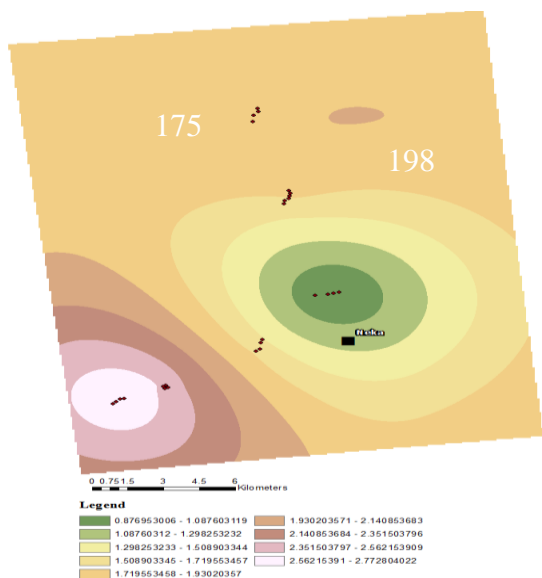
میانگین چگالی شار مغناطیسی مربوط به بین دو دکل در زیر سیم بین دو دکل (۳/۲۵ میکروتسلا) و بیش‌ترین میانگین چگالی شار مغناطیسی مربوط به بین زیر دکل در فاصله ۵ متری (۱/۳۳ میکروتسلا) می‌باشد. کم‌ترین مقادیر میانگین در هر دو مکان مربوط به فاصله ۲۰ متری می‌باشد. میانگین چگالی شار مغناطیسی بدون در نظر گرفتن فاصله در زیر دکل 1.18 ± 0.75 میکروتسلا و در مکان بین دو دکل 2.55 ± 1.42 میکروتسلا می‌باشد. هم‌چنین آنالیز واریانس یک طرفه نشان داد که میانگین چگالی شار مغناطیسی در نمونه‌های اندازه‌گیری شده زیر دکل و بین دو دکل تفاوت معنی‌داری با هم دارند ($p < 0.001$).



تصویر شماره ۶: تغییرات شار مغناطیسی با افزایش فاصله در مکان‌های مختلف نمونه‌برداری

تاثیر درجه حرارت محیط و فاصله از خطوط

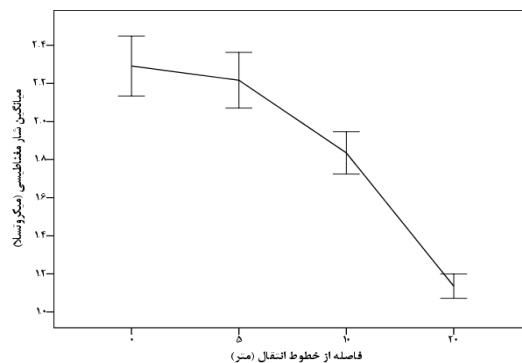
درجه حرارت محیط در ۳ گروه زیر ۱۵ درجه سانتی‌گراد (گروه ۱)، ۱۵ تا ۲۰ درجه سانتی‌گراد (گروه ۲) و بیش‌تر از ۲۰ درجه سانتی‌گراد (گروه ۳) تقسیم‌بندی شدند. نمودار شماره ۵، میانگین چگالی شار مغناطیسی در درجه حرارت‌های مختلف و در فواصل مختلف نسبت به خطوط انتقال فشار قوی را نشان می‌دهد. بر اساس این شکل، در درجه حرارت بالاتر، میانگین چگالی شار مغناطیسی بالاتر می‌باشد و با افزایش فاصله نسبت به خطوط میزان شار در هر یک از



نمودار شماره ۷: تغییرات مکانی چگالی شار مغناطیسی در محدوده مورد مطالعه با استفاده از روش های کریجینگ معمولی (الف) و روش معکوس فاصله (ب)

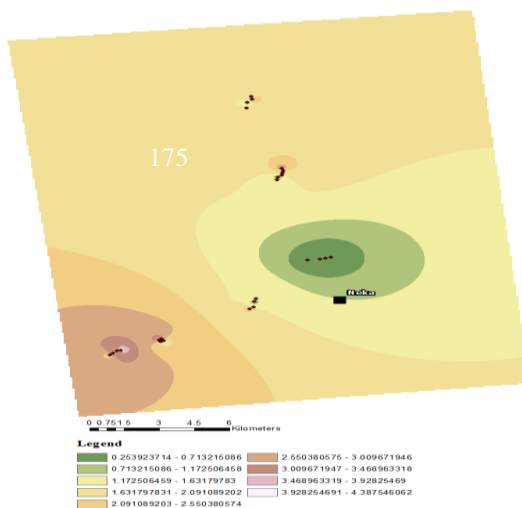
بحث

بر اساس نتایج این تحقیق حداکثر چگالی شار مغناطیسی ۶/۹۳ میکروتسلا بود که مربوط به رطوبت زیر ۴۰ درصد بود که معادل ۶/۹۳ درصد استاندارد ICNIRP می باشد. در نتایج حاصل از مطالعه نصیری، میزان متوسط و حداکثر چگالی شار مغناطیسی در اطراف بیمارستان های شهر تهران به ترتیب ۰/۱۸ و ۰/۵۲ میکروتسلا معادل ۰/۲ و ۰/۵ درصد استاندارد ICNIRP گزارش شد (۱۸). هم چنین نتایج مطالعه ززولی و همکاران روی میدان مغناطیسی با فرکانس بی نهایت پایین شهر تهران نشان داد که حداکثر چگالی شار مغناطیسی ۱۱/۵۱ میکروتسلا و مربوط به پست ۴۰۰ کیلوولت معادل ۱۱/۵۱ درصد استاندارد ICNIRP به دست آمد (۱۹). بر اساس مطالعه ما و هم چنین مطالعات مورد اشاره، چگالی شار مغناطیسی از حد استاندارد تعیین شده یعنی ۱۰۰ میکروتسلا در اطراف خطوط بسیار کم تر بوده است (۱۸). در این بررسی بیشترین مقدار شار مربوط به خط ۴۰۰ کیلوولت بود که با افزایش فاصله از خطوط انتقال، کاهش میزان میانگین شار مغناطیسی را شاهد بودیم.



نمودار شماره ۶: میانگین شار مغناطیسی در فواصل مختلف خطوط انتقال

تغییرات مکانی چگالی شار مغناطیسی در محدوده مورد مطالعه نمودار شماره ۷، تغییرات مکانی چگالی شار مغناطیسی در محدوده مورد مطالعه با استفاده از روش های کریجینگ معمولی و روش معکوس فاصله را نشان می دهد. همان طور که مشاهده می شود، میانگین چگالی شار مغناطیسی در مناطق شرقی و شمالی پایین می باشد و در جنوب غربی منطقه مورد مطالعه چگالی شار مغناطیسی بالاتر می باشد. اختلاف مشاهده شده در مناطق مختلف مورد مطالعه از نظر انتشار میدان های مغناطیسی به دلیل قدرت های متفاوت پست های انتقال منطقه مورد مطالعه می باشد. در شرق منطقه، پست انتقال برق ۶۳ کیلوولت و در شمال پست انتقال برق ۲۳۰ کیلوولت وجود دارد. در حالی که در جنوب غربی پست انتقال ۴۰۰ کیلوولت مورد بررسی قرار گرفته است. با این وجود چگالی شار مغناطیسی در همه مناطق پایین تر از استانداردهای تعیین شده می باشد.



کمترین میانگین شار مربوط به خط ۶۳ کیلوولت بود. در بررسی ززولی و همکاران نیز با افزایش شدت جریان میزان شار افزایش یافته بود (۱۹). هم‌چنین در ارزیابی ریسک مواجهه شغلی با میدان‌های الکترومغناطیس با فرکانس بی‌نهایت کم توسط قطبی راوندی نشان داد که بیشترین مواجهه شغلی با میدان‌های الکترومغناطیس فرکانس بی‌نهایت کم مربوط به پست ۴۰۰ کیلوولت و کمترین مواجهه مربوط به پست ۱۳۲ کیلوولت بود. دامنه مقادیر حداقل و حداکثر چگالی شار مغناطیسی و شدت میدان الکتریکی در تجهیزات داخلی پست‌ها از ۰/۱۱ تا ۶۰/۸ میلی‌گوس و ۰/۰۰۸ تا ۰/۱۳ کیلوولت بر متر و در تجهیزات بیرونی از ۰/۱ تا ۷۹۰ میلی‌گوس و ۰/۰۰۸ تا ۱۱۰ کیلوولت بر متر متفاوت بود (۱). یکی از عواملی که می‌تواند جهت جلوگیری از در معرض قرارگیری میدان مغناطیسی مفید باشد، ایجاد فاصله نسبت به منبع انتشار می‌باشد که در این تحقیق نیز با افزایش فاصله از خطوط جریان، میزان شار مغناطیسی کاهش یافت و با آزمون‌های آماری انجام شده مشخص شد که تفاوت معناداری بین میانگین شار مغناطیسی در فواصل مختلف نسبت به خطوط انتقال وجود دارد و در بیشترین فاصله که ۲۰ متر می‌باشد، مقدار چگالی شار مغناطیسی به مراتب کم‌تر می‌باشد. این یافته با یافته‌های ززولی و همکاران مطابقت دارد (۱۹). هم‌چنین در بررسی توسط علی‌آبادی و همکاران روی میزان مواجهه شغلی با میدان‌های مغناطیسی پایا و اثرات بهداشتی آن در تعدادی از مراکز تصویربرداری تشدید مغناطیسی، میانگین مواجهه کارکنان با دستگاه‌های ۱/۵ تسلا برابر $48/6 \pm 2/7$ میلی‌تسلا و پائین‌تر از حد مجاز (۶۰ میلی‌تسلا) قرار داشت. با افزایش فاصله از دهانه دستگاه، شدت میدان مغناطیسی به طور قابل ملاحظه‌ای کاهش نشان داد (۲۱). در مطالعه Tukimin که به اندازه‌گیری اطراف خط ۲۳۰ کیلوولت در فواصل ۰، ۱۰، ۲۰ و ۳۰ متر پرداخت، مشخص شد که میانگین چگالی شار با افزایش فاصله کاهش یافت (۲۲).

در مطالعه احمدی نیز مشخص شد که با افزایش فاصله از منبع (خطوط و وسایل برقی) چگالی شار مغناطیسی کاهش می‌یابد (۱۰). نتایج مطالعه انجام گرفته در کشور کویت و عمان در اطراف خطوط فشار قوی در فواصل مختلف نیز نشان داد که با افزایش فاصله، چگالی شار کاهش یافت (۲۳، ۲۴).

در مطالعه‌ای که ژوسف در سال ۲۰۰۷ در ایستگاه‌های توزیع نیروی ۲۳۰ کیلوولت در بلژیک جهت تعیین حداقل فاصله در مکان عمومی که افراد در معرض ELF ناشی از این ایستگاه‌ها قرار داشته‌اند، انجام گرفت، ۶۳۷ ایستگاه مورد اندازه‌گیری قرار گرفت که از این تعداد ۳۵۸ ایستگاه مربوط به اندازه‌گیری میدان‌های مغناطیسی و ۲۷۹ ایستگاه مربوط به اندازه‌گیری میدان‌های الکتریکی در مکان‌های مختلف بوده است که میدان‌های مغناطیسی در رنج ۴۷/۳۹-۰/۲۵ میکروتسلا بوده است. میدان‌های الکتریکی نیز بین ۵۳۶-۰/۱ ولت بر متر به دست آمده است. بیشینه مقادیر روزانه میدان‌های مغناطیسی و الکتریکی به ترتیب ۱۰۰ میکروتسلا و ۵ کیلوولت بر به دست آمده است. برای ایستگاه‌هایی که میدان‌های الکترومغناطیسی بالاتر از ۱۰۰ میکروتسلا تولید کرده‌اند، حداقل فاصله ۰/۲ متر به دست آمده است. در حالی که با میانگین ۰/۴ میکروتسلا حداقل فاصله ۵/۴ متر (میانگین روزانه) و ۷/۲ متر (میانگین سالیانه) به دست آمده است (۲۵).

نتایج این مطالعه نشان داد که با افزایش درجه حرارت، میزان شار مغناطیسی نیز افزایش می‌یابد. هم‌چنین مکان نمونه‌برداری نیز یکی از پارامترهای تاثیرگذار بر میزان شار مغناطیسی می‌باشد که در این مطالعه در دو حالت زیر دکل و بین دو دکل مورد بررسی قرار گرفت که بیشترین میانگین شار مربوط به حالت بین دو دکل بود که دلیل اصلی آن به علت کم شدن فاصله خطوط انتقال از سطح زمین و از محل نمونه‌برداری است. در مطالعه‌ای که توسط ازووه و همکاران در سال ۲۰۱۲ در مناطقی از نیجریه در اطراف

انتقال الکتریکی با ولتاژ زیاد به زمین نصب شوند. خطوط الکتریکی ممکن است به طور کافی با ولتاژهای بالا باردار شوند و در صورت نزدیک شدن شخص یا تماس با مانع شوک تکان دهنده دریافت نماید. در صورتی که میدان‌های مغناطیسی خیلی شدید باشند، تنها روش حفاظتی عملی محدود نمودن میزان مواجهه افراد می‌باشد. با توجه به نتایج به دست آمده در این مطالعه، چگالی شار مغناطیسی در تمامی فواصل و تمامی شرایط از حد استاندارد تعیین شده (۱۰۰ میکروتسلا) در اطراف خطوط بسیار کم تر بوده است. به طور کلی می‌توان بیان نمود که با وجود این که میزان چگالی شار در اطراف خطوط از حد استاندارد ICNIRP و ACGIH و استاندارد ملی پایین تر بود، ولی در اکثر موارد میزان چگالی شار مغناطیسی از حد تماس در مطالعات اپیدمیولوژیکی بالاتر بوده است.

سپاسگزاری

این مقاله برای انجام واحد پروژه دوره کارشناسی ارشد مهندسی بهداشت محیط تحقیق و تدوین شده است. از معاونت پژوهشی دانشگاه علوم پزشکی مازندران و شرکت توزیع نیروی برق استان مازندران که شرایط را برای انجام تحقیق مهیا نموده‌اند قدردانی می‌گردد.

References

1. Ghotbi Ravandi MR, Monazam M, Haghdoost A, Barsam T, Akbari H. Assessment of the risk of occupational exposure to extremely low frequency electromagnetic fields. *J Mil Med* 2011; 13(3): 133-140 (Persian).
2. Hemayatkhah Jahromi V, Fatahi E, Nazari M, Jowhary H, Kargar H. Study on the effects of mobile phones waves on the number of ovarian follicles and level of FSH, LH, estrogen and progesterone hormones in adult rats. *Journal of Cell & Tissue* 2010;

خطوط ۱۳۲ کیلوولت و ۳۳۰ کیلوولت انجام گرفت مشخص شد حداکثر چگالی شار مغناطیسی ۴۵ میلی‌گوس در زیر خطوط بود (۲۶).

بررسی میزان میدان مغناطیسی با فرکانس بی نهایت پایین شهر تهران مشخص شد که بیش از ۹۸ درصد موارد از حد تماس در مطالعات اپیدمیولوژیکی (۰/۲ میکروتسلا) بالاتر بود (۱۹) که در این مطالعه نیز در اکثر موارد چگالی شار مغناطیسی بالاتر از حد تماس در مطالعات اپیدمیولوژیکی بوده است.

با مقایسه نتایج حاصل از این مطالعه با مطالعات دیگران نتیجه گیری می‌شود، که میزان چگالی شار مغناطیسی در سطح شهرها و در اطراف خطوط تفاوت زیادی با حد استاندارد محیطی (ICNIRP) دارد و در واقع خیلی کم تر از استاندارد می‌باشند. اختلافات جزئی بین نتایج را نیز می‌توان به تأثیر عواملی از قبیل زمان اندازه گیری، شرایط آب و هوایی در زمان اندازه گیری، فصل اندازه گیری و هم چنین متغیرهای مورد بررسی دانست که هر کدام می‌توانند به نحوی در نتیجه اندازه گیری‌ها تأثیرگذار باشد. با توجه به اثرات اشاره شده، اقدامات حفاظتی ساده شامل دیوار یا مانع اطراف منابع جهت جلوگیری از دسترسی به مناطق، موثر می‌باشد. بهتر است مواد هدایتی بزرگ از جمله مواع فلزی، دیواره یا ساختارهای فلزی مشابه، نزدیک خطوط

1(1): 27-34 (Persian).

3. Shahna FG, Eshaghi M, Dehghanpour T, Karami Z. Assessment of extremely low frequency (elf) electric and magnetic fields in hamedan high electrical power stations and their effects on workers. *Iranian Journal of Medical Physics* 2011; 8(3): 61-71 (Persian).
4. de Groot MW, Kock MD, Westerink RH. Assessment of the neurotoxic potential of exposure to 50Hz extremely low frequency electromagnetic fields (ELF-EMF) in naive

- and chemically stressed PC12 cells. *Neurotoxicology* 2014; 44: 358-364.
5. Hu Y, Lai J, Wan B, Liu X, Zhang Y, Zhang J, et al. Long-term exposure to ELF-MF ameliorates cognitive deficits and attenuates tau hyperphosphorylation in 3xTg AD mice. *Neurotoxicology* 2016; 53: 290-300.
 6. Center for Environment and work Health. Occupational exposure permissible limits (oel). Hamedan, Ministry of Health and Medical Education; Daneshjo Pub. 2011.
 7. Aliabadi M. Health aspects of exposure to non-radiation beams. Hamedan; Kereshmeh Pub; 2012 (Persian).
 8. Olsen JH, Nielsen A, Schulgen G. Residence near high voltage facilities and risk of cancer in children. *BMJ* 1993; 307(6909): 891-895.
 9. Dib D, Mordjaoui M. Study of the influence high-voltage power lines on environment and human health (case study: The electromagnetic pollution in Tebessa city, Algeria). *J Electrical Electron Eng* 2014; 2(1): 1-8.
 10. Ahmadi H, Mohseni S, Akmal SA. Electromagnetic fields near transmission lines-problems and solutions. *Iran J Environ Health Sci Eng* 2010; 7(2): 181-188.
 11. Rifai AB, Hakami MA. Health hazards of electromagnetic radiation. *Journal of Biosciences and Medicines* 2014; 2(8): 1-12.
 12. Ross C. Mechanisms of extra low frequency electromagnetic field (ELF-EMF) on human bone marrow stem/stromal cell (hHM-MSC) differentiation. *JSM Biotech BME* 3 2016; 3(2): 1055.
 13. Belyaev I, Dean A, Eger H, Hubmann G, Jandrisovits R, Kern M, et al. EUROPAEM EMF Guideline 2016 for the prevention, diagnosis and treatment of EMF-related health problems and illnesses. *Rev Environ Health* 2016; 31(3): 363-397.
 14. Balaji A. Effect of High Voltage Transmission Lines on Human Health, Plant Life, and Animal Activity. *Int J Res Eng Technol* 2015; 2(3): 441-446.
 15. Dominici L, Villarini M, Fatigoni C, Monarca S, Moretti M. Genotoxic hazard evaluation in welders occupationally exposed to extremely low-frequency magnetic fields (ELF-MF). *Int J Hyg Environ Health* 2011; 215(1): 68-75.
 16. Fard MS, Nasiri P, Monazzam MR. Measurement of the magnetic fields of high-voltage substations (230 kV) in Tehran (Iran) and comparison with the ACGIH threshold limit values. *Radiat Prot Dosimetry* 2011; 145(4): 421-425
 17. Monazzam Monazzam M, Jalilian Jalilian HH, Najafi K, Zakerian A, Emkani MM, Hadadi MM. Environmental evaluation and employee's exposure of a thermal power plant with extremely low frequency magnetic fields. *IOH* 2015; 12(3): 65-75 (Persian).
 18. Nassiri P, Monazzam M, Yunesian M, Sowlat M, Safari M, Momen Bellah Fard S, et al. Extremely low frequency magnetic flux densities measured near hospital in Tehran. *Int J Environ Res* 2011; 5(4): 1035-1040.
 19. Zazouli MA, Monazzam MR, Yazdani Charati J, Hosseinzadeh F. Evaluation of extremely low-frequency magnetic field (ELF) at Tehran City in 2012. *J Mazandaran Univ Med Sci* 2013; 22(2): 146-151 (Persian).
 20. Zazouli MA, BarafrashtehPour M, Barafrashteh Pour Z, Vaisi F, Ghalandari V. Temporal and spatial variation of nitrate and nitrite concentration in drinking water resource in Kohgiluyeh county using geographic information system. *J Mazandaran Univ Med Sci* 2014; 23(109): 258-263 (Persian).
 21. Aliabadi M, Oliaee Z, Farhadian M, Kamalinia M. Study of Occupational Exposure to Static

- Magnetic Field and its related health effects in Magnetic Resonance Imaging MRI's Units. IOH 2013; 10(2): 45-53 (Persian).
22. Tukimin R, Mahadi W, Ali M, Thari M, editors. Extremely low frequency electromagnetic field (ELF EMF) survey of residential areas around transmission lines. Asia-Pacific Conference on Applied Electromagnetics (APACE 2007); IEEE. 2007
23. Al-Badi AH. Measurement and analysis of extremely low frequency electromagnetic field exposure in oman. JEMAA 2012; 8(4): 333-339.
24. Alkoot FM, Zaeri N. Experimental study on power frequency magnetic radiation from AC power lines in the State of Kuwait. Kuwait J SCI ENG 2011; 38(1): 79-104.
25. Joseph W, Verloock L, Martens L. Measurements of ELF electromagnetic exposure of the general public from Belgian power distribution substations. Health Physics 2008; 94(1): 57-66.
26. Ozovehe A, Ibrahim M, Hamdallh A. Analysis of electromagnetic pollution due to high voltage transmission lines. Journal of Energy Technologies and Policy 2012; 2(7): 1-11.