Archive of SID

Iranian Journal of Military Medicine
Vol. 13, No. 3, Fall 2011
Pages: 133-140

مجله طب نظامی
دوره ۱۳، شماره ۳، پاییز ۱۳۹۰
صفحات: ۱۴۰-۱۳۳

ارزیابی ریسک مواجهه شغلی با میدان‌های الکترومغناطیس با فرکانس بی‌نهایت کم

محمدرضا قطبی راوندی[۱] *PhD*، محمدرضا منظم[۲] *PhD*، علی‌اکبر حقدوست[۱] *PhD*، طیبه برسم[*] *BSc*،
حسام اکبری[۳] *MSc*، حامد اکبری[۳] *BSc*

[*]دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی کرمان، کرمان، ایران
[۱]دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی کرمان، کرمان، ایران
[۲]دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی تهران، تهران، ایران
[۳]مرکز تحقیقات بهداشت و تغذیه، دانشگاه علوم پزشکی بقیه‌ا...(عج)، تهران، ایران

چکیده

اهداف: فرکانس‌های بی‌نهایت‌کم در محدوده فرکانس‌های امواج مغزی هستند و تاثیر بیشتری در عملکرد دارند. کارکنان پست‌های فشارقوی برق بیشتر از سایر افراد در معرض این امواج قرار دارند. هدف این تحقیق ارزیابی ریسک مواجهه شاغلین پست‌های فشار قوی در تماس با میدان‌های الکترومغناطیس با فرکانس بی‌نهایت‌کم بود.

روش‌ها: این پژوهش توصیفی- مقطعی در سال ۱۳۸۹ روی ۶۷ نفر از اپراتورهای پست‌های برق شهر کرمان که به‌روش نمونه‌گیری در دسترس انتخاب شدند، انجام شد. شدت میدان الکتریکی و چگالی شار مغناطیسی در قسمت‌های مختلف پست‌ها اندازه‌گیری شد و میزان مواجهه اپراتورها با میانگین شدت میدان الکتریکی و چگالی شار مغناطیسی در یک شیفت کاری تخمین زده و داده‌ها با استفاده از روش‌های آماری توصیفی و آنالیز واریانس یک‌طرفه با نرم‌افزار SPSS 18 تحلیل شد.

یافته‌ها: بیشترین مواجهه شغلی با میدان‌های الکترومغناطیس فرکانس بی‌نهایت‌کم 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 ۰/۰۰۰۸ تا ۰/۱۳ کیلوولت بر متر و در تجهیزات بیرونی از ۰/۱ تا ۷۹۰ میلی‌گوس و ۰/۰۰۰۸ تا ۱۱۰ کیلوولت بر متر متفاوت بود.

نتیجه‌گیری: جز در بعضی نقاط در قسمت تجهیزات بیرونی پست‌ها که شدت میدان الکتریکی بیش از حد مجاز است، در بقیه موارد میانگین زمانی مواجهه اپراتورها در یک شیفت کاری در پست‌های مختلف پایین‌تر از حدود مجاز شغلی است و علت آن می‌تواند نزدیکی این نقاط به سیستم ارت ترانسفورماتورها باشد.

کلیدواژه‌ها: مواجهه شغلی، میدان‌های الکترومغناطیس با فرکانس بی‌نهایت‌کم، پست برق

Assessment of the risk of occupational exposure to extremely low frequency electromagnetic fields

Ghotbi Ravandi M. R.[1] *PhD*, Monazam M. R.[2] *PhD*, Haghdoust A. A.[1] *PhD*, Barsam T.[*] *BSc*, Akbari H.[3] *MSc*, Akbari H.[3] *BSc*

[*]Faculty of Health, Kerman University of Medical Sciences, Kerman, Iran
[1]Faculty of Health, Kerman University of Medical Sciences, Kerman, Iran
[2]Faculty of Health, Tehran University of Medical Sciences, Tehran, Iran
[3]Health & Nutrition Research Center, Baqiyatallah University of Medical Sciences, Tehran, Iran

Abstract

Aims: Extremely low-frequency electromagnetic fields are identical to the spectrum of human brainwaves and therefore, have more effect on function. Power substation operators are more exposed to these waves compared to other people. The purpose of this study was to assess the risk of power substation workers' occupational exposure to extremely low-frequency electromagnetic fields.

Methods: This cross-sectional descriptive study was performed on 67 power substation operators of Kerman who were selected by accessible sampling method in 2010. The electric field intensity and magnetic flux density were measured in different parts of the substations and the amount of occupational exposure of each operator was estimated using the mean intensity of electric field and magnetic flux density in a work shift. Data was analyzed by descriptive statistical methods and one-way variance analysis using SPSS 18 software.

Results: Occupational exposure to extremely low-frequency electromagnetic fields was mostly related to 400kv substations and the lowest exposure was related to 132kv substations. Minimum and maximum ranges of the magnetic flux density and electric field intensity varied from 0.11 to 60.8mG and from 0.0008 to 0.13kv/m in the interior equipment and from 0.01 to 790mG and from 0.0008 to 110kv/m in the outdoor equipment.

Conclusion: The mean exposure time of operators in a work shift in various substations is lower than standard occupational permissible limits, except for some parts in the outdoor equipment which may have resulted from their proximity to transformators' earth system.

Keywords: Occupational Exposure, Extremely Low-Frequency Electromagnetic Fields, Power Substation

نویسنده مسئول: طیبه برسم. تمام درخواست‌ها باید به نشانی yusra_302@yahoo.com فرستاده شوند.

دریافت مقاله: ۸۹/۱۱/۱۹ پذیرش مقاله: ۹۰/۳/۱۸

www.SID.ir

Archive of SID

مقدمه

میدان‌های الکتریکی و مغناطیسی با فرکانس‌های بزرگتر از ۳ هرتز و کمتر از ۳۰۰۰ هرتز به‌طور کلی به‌عنوان میدان‌های الکترومغناطیسی با فرکانس بی‌نهایت‌کم (ELF) شناخته شده‌اند [۱]. مواجهه با این میدان‌ها در همه جا وجود دارد [۲] که به‌طور طبیعی به‌وسیله تولید و انتقال نیروی برق و استفاده از برق در برخی لوازم خانگی به‌وجود می‌آیند. بنابراین بسیاری از مردم جامعه در معرض این میدان‌ها هستند [۳]. پست‌های برق، خطوط انتقال، خطوط توزیع، دستگاه‌های صنعتی و همچنین لوازم الکترونیکی و برقی، برخی منابع رایج شناخته‌شده از میدان‌های مغناطیسی با فرکانس بی‌نهایت‌کم موجود در محیط زیست هستند. از آن‌جا که بسیاری از پست‌ها توسط مناطق مسکونی یا تجاری احاطه شده‌اند، ممکن است مردمی که در نزدیکی آنها زندگی می‌کنند و همچنین افراد شاغل در پست‌ها در معرض این میدان‌های مغناطیسی باشند [۴]. اثرات میدان‌های الکترومغناطیسی عمدتاً در ناحیه فرکانس بی‌نهایت‌کم است [۵] و بیشتر مطالعات اخیر، در مورد اثرات مواجهه با پرتوهای غیریونیزان فرکانس پایین بوده است [۴]. اثرات بهداشتی احتمالی مواجهه با میدان‌های مغناطیسی با فرکانس بی‌نهایت‌کم به‌طور قابل توجهی موجب نگرانی عام و انگیزه تحقیقاتی مراکز علمی جهان شده است. میدان‌های الکترومغناطیس می‌توانند منجر به پیری زودرس شوند و تاثیر قابل توجهی بر سیستم‌های متابولیک شامل بالارفتن میزان گلوگز خون، افزایش میزان چربی، کاهش میزان تستوسترون در مردان و تاثیر بر سیستم عصبی مرکزی و سیستم‌های قلبی و عروقی و ایمنی سایر بافت‌ها داشته باشند. میدان‌های الکترومغناطیس ممکن است ۲۰۰ تا ۴۰۰٪ بیشتر خطر ابتلا به بیماری‌هایی مانند؛ سرطان، لوسمی، تومور مغزی، سقط جنین خودبه‌خودی، آلزایمر و میزان خودکشی را در کارگران برق افزایش دهند [۶]. در نتیجه، بررسی میزان مواجهه و اثرات ناشی از آنها ضروری به‌نظر می‌رسد. انواع مختلف موجودات، از جمله انسان نشان داده‌اند که به مواجهه نسبتاً جزئی با میدان‌های الکتریکی حساس هستند [۴].

چندین مطالعه اپیدمیولوژیک، ارتباط بین مواجهه با میدان‌های مغناطیسی با فرکانس بی‌نهایت‌کم و افزایش خطر در بچه‌ها و بزرگسالانی که مواجهه شغلی با این میدان‌ها داشته‌اند را نشان داده‌اند [۵]. در سال ۱۹۷۹، *نانسی* اپیدمیولوژیست و *ورتایمر* و *لیپر* فیزیکدان در گزارش خود به این نتیجه رسیدند که کودکانی که از سرطان فوت شده‌اند ۲ یا ۳ برابر بیشتر احتمال دارد که در فاصله ۴۰متری از خطوط انتقال برق زندگی می‌کردند [۶]. در سال ۱۹۷۹ *ورتایمر* و *لیپر* ارتباط بین لوسمی دوران کودکی و نحوه اتصال سیم‌کشی از خطوط انتقال برق به خانه این کودکان را گزارش کردند. آنالیز این مقالات توسط آکادمی ملی علوم در سال ۱۹۹۶ نشان داد که خطوط برق نزدیک مناطق مسکونی با خطر ابتلا به لوسمی دوران کودکی در ارتباط است (RR=۱/۵ خطر نسبی)، اما با سرطان‌های دیگر در ارتباط نیست [۷]. مطالعات پزشکی انجام‌شده در ۱۶ پست از پست‌های فشارقوی شامل مجموعاً ۲۸۶ نفر، عوارض بدی از مواجهه با میدان الکتریکی در سیستم عصبی مرکزی و قلبی- عروقی را ذکر کردند [۸]. مطالعه *شریفی* و همکاران در سال ۱۳۸۸ در پست‌های فشارقوی ۲۳۰ کیلوولت شهر تهران گزارش کرد که مواجهات طولانی‌مدت با میدان‌های مغناطیسی با وجود پایین‌تربودن از حدود مجاز شغلی استاندارد کمیسیون بین‌المللی حفاظت در برابر پرتوهای غیریونساز (ICNIRP)، سبب تشدید اختلالات اعصاب و روان از جمله اختلال خواب شده است [۹]. *یوسفی* نیز مطالعه خود را روی ۱۰۳ نفر از کارکنان پست‌های فشارقوی شهر تهران انجام داد. وی علایم افسردگی، پارانویا، وسواس فکری و عملی، حساسیت در روابط بین‌فردی، اضطراب، پرخاشگری، فوبیا و روان‌پریشی را براساس نتایج پرسش‌نامه گزارش نمود [۱۰].

فرکانس‌های بی‌نهایت‌کم در محدوده فرکانس‌های امواج مغزی هستند و در نتیجه، تاثیر بیشتری در عملکرد دارند. همچنین آژانس بین‌المللی مرکز تحقیقات سرطان (IARC) و سازمان جهانی بهداشت (WHO) به این نتیجه رسیدند که میدان‌های مغناطیسی با فرکانس بی‌نهایت‌کم احتمالاً برای انسان سرطان‌زا هستند. این نتیجه‌گیری بیشتر توسط کمیسیون بین المللی حفاظت در برابر پرتوهای غیریونساز حمایت شده است [۴]. چون کارکنان پست‌های فشارقوی برق بیشتر از سایر افراد در معرض این امواج قرار دارند، بنابراین سعی شده است با اندازه‌گیری میدان‌های مغناطیسی و الکتریکی پست‌های برق شهر کرمان و مقایسه با استاندارد کمیسیون بین‌المللی حفاظت در برابر پرتوهای غیریونساز، میزان ریسک مواجهه اپراتورها با این میدان‌ها بررسی شود.

لذا هدف از این تحقیق، ارزیابی ریسک مواجهه شغلی افراد شاغلِ در تماس با میدان‌های الکترومغناطیس با فرکانس بی‌نهایت‌کم در پستهای برق شهر کرمان بود.

روش‌ها

پژوهش حاضر یک پژوهش توصیفی- مقطعی است که در سال ۱۳۸۹ انجام شد. حجم نمونه با استفاده از مقایسه میانگین‌ها محاسبه شد. به‌دلیل کم‌بودن تعداد افراد شاغل، کلیه پست‌های شهر کرمان و حومه (۱۶ پست) انتخاب شدند که از این ۱۶ تا پست، یک پست ۴۰۰ کیلوولت، ۳ پست ۲۳۰ کیلوولت و ۱۲ پست ۱۳۲ کیلوولت بودند و ۶۷ نفر اپراتور (با دامنه سنی ۲۴ تا ۵۷ سال) در این پست‌ها (۴۱ نفر در پست‌های ۱۳۲ کیلوولت، ۲۰ نفر در پست‌های ۲۳۰ کیلوولت و ۶ نفر در پست ۴۰۰ کیلوولت) مشغول به کار بودند. کلیه اپراتورهای شاغل در این پست‌ها مرد بودند. معیار ورود این افراد به مطالعه، مواجهه آنان با میدان‌های الکترومغناطیس

www.SID.ir

Archive of SID

با فرکانس بی‌نهایت‌کم بود. فاکتور مهمی که اثر زیادی در ارزیابی مواجهه تجمعی افراد می‌گذارد، مقدار زمان صرف‌شده برای انجام وظایف شغلی است که مستلزم تماس با میدان‌های الکترومغناطیس با فرکانس بی‌نهایت‌کم است. اصطلاح وظیفه شغلی که در این‌جا استفاده شده است، تنها شامل بازرسی و نگهداری از تجهیزات نمی‌شود، بلکه فعالیت‌های انجام‌شده در اوقات فراغت، خوردن، استراحت‌کردن و تماشای تلویزیون و غیره را در بر می‌گیرد [۱۱، ۱۲].

جدول ۱) بار ولتاژ در زمان اندازه‌گیری میدان‌های الکتریکی و مغناطیسی در پست‌های مختلف

نام پست	نوع پست (کیلوولت)	بار ولتاژ (مگاوات)
صنایع جنبی مس	۱۳۲	۱۰
باغین۲	۲۳۰	۱۸۴
باغین۱	۱۳۲	۲۸
صنایع لاستیک	۱۳۲	۱۴
زنگی‌آباد	۱۳۲	۳۸
کرمان۲	۱۳۲	۱۴
شهاب	۲۳۰	۱۴۰
ماهان	۱۳۲	۸
توکل‌آباد	۱۳۲	۳۳
کرمان ۱	۱۳۲	۴۰
کاظم‌آباد	۱۳۲	۲۹
راین	۱۳۲	۱۱/۴
سیرچ	۱۳۲	۹
نیروگاه	۴۰۰	۱۱۰۰
نیروگاه	۲۳۰	۱۰۰
سیمان	۱۳۲	۲۳/۸۳

برای محاسبه میزان مواجهه شاغلان، در ابتدا کلیه پست‌ها مورد بازرسی اولیه قرار گرفتند. بعد از انجام بازرسی، نقاط اندازه‌گیری با توجه به مساحت هر پست، میزان حضور اپراتورها در قسمت‌های مختلف و نزدیکی به تجهیزات و همچنین در قسمت تجهیزات، محوطه نیز در قسمت‌هایی که اپراتورها بیشترین رفت و آمد را داشتند، انتخاب شد و ایستگاه‌بندی انجام گرفت و تعداد نمونه‌ها در هر پست مشخص شد. براساس استاندارد انجمن مهندسین برق و الکترونیک (IEEE std 644-1994) و با استفاده از دستگاه HI-۳۶۰۴ (ساخت هالدی؛ ایالات متحده)، اندازه‌گیری شدت میدان الکتریکی و چگالی شار مغناطیسی انجام گرفت [۱۳]. این دستگاه برای فرکانس‌های ۳۰ تا ۲۰۰۰ هرتز طراحی شده است. دامنه حساسیت این دستگاه از ۰/۲ میلی‌گوس تا ۲۰ گوس و از یک ولت بر متر تا ۲۰۰ کیلوولت بر متر است. اندازه‌گیری چگالی شار مغناطیسی (برحسب میلی‌گوس) و شدت میدان الکتریکی (برحسب ولت بر متر) در فاصله یک‌متری از سطح زمین انجام گرفت و پس از اتمام اندازه‌گیری، شدت میدان الکتریکی به کیلوولت بر متر تبدیل شد. برای اندازه‌گیری شدت میدان الکتریکی، دستگاه روی سه‌پایه نصب شد (در هنگام اندازه‌گیری شدت میدان الکتریکی، فاصله اپراتور از دستگاه باید حداقل دوبرابر قد آن و زانوهایش نیز باید خم باشد) و با استفاده از سیستم کنترل از راه دور، مقدار میدان الکتریکی قرائت شد [۱۴، ۱۵]. در موقع انجام اندازه‌گیری‌ها بار مصرفی هر پست نیز ثبت شد (جدول ۱). از آن‌جایی که شرایط جوی می‌تواند در نتیجه اندازه‌گیری تاثیرگذار باشد، از لحاظ زمانی نیز تمام اندازه‌گیری‌ها بین ساعات ۴ عصر تا ۹ شب در فصل تابستان و در شرایط جوی مشابه و کاملاً آفتابی انجام گرفت.

تعداد نقاط اندازه‌گیری‌شده جمعاً ۱۴۴۵ بود که از این تعداد، ۷۷۷ میدان مغناطیسی و ۶۶۸ میدان الکتریکی بود. از ۷۷۷ میدان مغناطیسی اندازه‌گیری‌شده، ۵۰۹ نقطه در پست‌های ۱۳۲ کیلوولت، ۲۱۵ نقطه در پست‌های ۲۳۰ کیلوولت و ۳۸ نقطه در پست ۴۰۰ کیلوولت انجام شد. از ۶۶۸ میدان الکتریکی اندازه‌گیری‌شده، ۴۶۹ نقطه در پست‌های ۱۳۲ کیلوولت، ۱۶۲ نقطه در پست‌های ۲۳۰ کیلوولت و ۳۷ نقطه در پست ۴۰۰ کیلوولت انجام گرفت. میزان مواجهه شغلی اپراتورهای پست‌های برق با میدان‌های الکترومغناطیس با فرکانس بی‌نهایت‌کم در یک شیفت کاری از طریق فرمول زیر محاسبه شد:

$$B_c = \frac{\sum B(t)_i \times h_i}{h}$$

که در آن، B_c= مواجهه شغلی، $B(t)_i$= میانگین چگالی شار مغناطیسی قسمت‌های مختلف هر پست، h_i= میانگین زمان صرف‌شده توسط اپراتور برای یک وظیفه خاص در قسمت‌های مختلف پست (برحسب ساعت) و h= مدت یک شیفت کاری (۲۴ ساعت و ۱۲ ساعت) بود [۱۶].

در نهایت، نتایج اندازه‌گیری با استاندارد کمیسیون بین‌المللی حفاظت در برابر پرتوهای غیریونساز و حدود تماس شغلی عوامل بیماری‌زای وزارت بهداشت مقایسه شد. میزان مواجهه شغلی برحسب استاندارد کمیسیون بین‌المللی حفاظت در برابر پرتوهای غیریونساز برای چگالی شار مغناطیسی ۵۰۰ میکروتسلا (۵۰۰۰ میلی‌گوس) و برای شدت میدان الکتریکی ۱۰ کیلوولت بر متر است. همچنین میزان مواجهه شغلی براساس استاندارد حدود تماس شغلی عوامل بیماری‌زای وزارت بهداشت برای میدان‌های مغناطیسی با فرکانس بی‌نهایت‌کم در فرکانس ۵۰ هرتز، ۱۲هزار میلی‌گوس و در فرکانس ۶۰ هرتز، ۱۰هزار میلی‌گوس و برای شدت میدان الکتریکی ۲۵ کیلوولت بر متر است [۱۷، ۱۸، ۱۹].

نتایج اندازه‌گیری پس از ورود اطلاعات، با استفاده از روش‌های آماری توصیفی و آنالیز واریانس یک‌طرفه تحلیل شدند.

www.SID.ir

Archive of SID

نتایج

نتایج حاصل از مواجهه اپراتورها در یک شیفت کاری ۱۲ و ۲۴ساعته در جدول ۲ نشان داده شده است که بیشترین مواجهه شغلی مربوط به پست ۴۰۰ کیلوولت با ۷/۵۱ میلی‌گوس و کمترین آن مربوط به پست ۱۳۲ کیلوولت با ۲/۳۲ میلی‌گوس بود. همچنین بیشترین میانگین شدت میدان الکتریکی مربوط به پست ۴۰۰ کیلوولت با ۰/۸۳ کیلوولت بر متر و کمترین آن مربوط به پست ۱۳۲کیلوولت با ۰/۲۶ کیلوولت بر متر بود.

جدول ۲) میانگین چگالی شار مغناطیسی (mG) و شدت میدان الکتریکی (KV/m) مواجهه شغلی اپراتورها در یک شیفت کاری

نوع پست	تعداد پست	تعداد اپراتور	چگالی شار مغناطیسی در یک شیفت	شدت میدان الکتریکی در یک شیفت
۱۳۲ (کیلوولت)	۱۲	۴۱	۲/۳۲±۱/۳۲	۰/۲۶±۰/۳۱
۲۳۰ (کیلوولت)	۳	۲۰	۷/۴۹±۳/۶۱	۰/۶۸±۰/۵۰
٤۰۰ (کیلوولت)	۱	۶	۷/۵۱±۰	۰/۸۳±۰

جدول ۳) میانگین چگالی شار مغناطیسی (mG) و شدت میدان الکتریکی (KV/m) در پست نیروگاه ۴۰۰ کیلوولت

ایستگاه	چگالی شار مغناطیسی	شدت میدان الکتریکی
اتاق فرمان	۶/۹۵	۰/۰۰۷
اتاق استراحت	۶/۶	۰/۰۰۴
آشپزخانه	۶/۳۸	۰/۰۵
تجهیزات بیرونی	۱۶/۶۱	۹/۹۰

نتایج حاصل از اندازه‌گیری شدت میدان الکتریکی و چگالی شار مغناطیسی و میزان مواجهه اپراتورها با میدان‌های الکترومغناطیس در کلیه پست‌های برق در جداول ۳، ۴، ۵ و ۶ نشان داده شده است.

بحث

نتایج حاصل از این مطالعه نشان می‌دهد که بیشترین میانگین مواجهه شغلی اپراتورها در یک شیفت کاری ۱۲ساعته (پست‌های نیروگاه) و ۲۴ساعته در پست‌های ۱۳۲، ۲۳۰ و ۴۰۰ کیلوولت شهر کرمان، مربوط به پست ۴۰۰ کیلوولت با ۷/۵۱ میلی‌گوس و ۰/۸۳ کیلوولت بر متر و کمترین آن مربوط به پست ۱۳۲ کیلوولت با ۲/۳۲ میلی‌گوس و ۰/۲۶ کیلوولت بر متر است. مقادیر میانگین مواجهه شغلی اپراتورهای پست‌های مذکور، پایین‌تر از حد مجاز استاندارد کمیسیون بین‌المللی حفاظت در برابر پرتوهای غیریونساز و حدود تماس شغلی عوامل بیماری‌زای وزارت بهداشت است. این نتیجه با داده‌های حاصل از مطالعه *کورپینن* و همکاران که در سال ۲۰۱۰ گزارش کردند مواجهه شغلی با میدان‌های مغناطیسی و الکتریکی در وظایف کاری مختلف در پست‌های فشارقوی ۱۱۰ کیلوولت در منطقه تمپری فاینلند در هیچ‌کدام از وظایف کاری از حدود مجاز شغلی استاندارد کمیسیون بین‌المللی حفاظت در برابر پرتوهای غیریونساز فراتر نرفته است [۲۰]، همخوانی دارد. نتایج مطالعه *هِلهِل* و همکاران در سال ۲۰۰۷ در پست‌های ۱۵۴ و ۳۴/۵ کیلوولت نشان داد که میانگین مواجهه اپراتورها با میدان‌های مغناطیسی بیشتر از ۰/۳ میکروتسلا برای ۸ ساعت کار در روز است [۲۱]. اگرچه این مقدار نسبت به مقدار مواجهه مطالعه کنونی تفاوت دارد، اما این میزان مواجهه و مقادیر ماکزیممِ اندازه‌گیری‌شده میدان‌های مغناطیسی در پست‌های مذکور، پایین‌تر از حدود مجاز شغلی استاندارد کمیسیون بین‌المللی حفاظت در برابر پرتوهای غیریونساز است. همچنین نتایج مطالعات *لینا* و همکاران در پست‌های ۴۰۰ کیلوولت [۲۲] و *جوزف* و همکاران در سال ۲۰۰۸ در پست‌های توزیع برق بلژیک [۲۳]، نتایج مطالعه کنونی را تایید می‌کند.

جدول ٤) میانگین چگالی شار مغناطیسی (mG) و شدت میدان الکتریکی (KV/m) در پست‌های ۲۳۰ کیلوولت

ایستگاه← / محوطه↓	پست شهاب		پست باغین۲		پست نیروگاه	
	چگالی شار مغناطیسی	شدت میدان الکتریکی	چگالی شار مغناطیسی	شدت میدان الکتریکی	چگالی شار مغناطیسی	شدت میدان الکتریکی
اتاق فرمان	۵/۶۷	۰/۰۰۵	۸/۷۴	۰/۰۱	۱/۱۸	۰/۰۰۷
اتاق استراحت	۷/۱۹	۰/۰۲	۶/۶	۰/۰۰۱	۰/۹۶	۰/۰۰۵
آشپزخانه	۰/۲۶	۰/۰۰۶	۵/۲۸	۰/۰۲	۱/۱۲	۰/۰۲
تجهیزات بیرونی	۳۴/۲۴	۸/۰۲	۳۲/۱۶	۱۲/۷۲	۲۶/۳۳	۹/۸۱

براساس بررسی‌های انجام‌شده در کلیه پست‌ها، اپراتورها بیشترین زمان را در یک شیفت کاری به‌ترتیب؛ در اتاق فرمان، اتاق استراحت، آشپزخانه، تجهیزات بیرونی و به‌ندرت در قسمت‌های دیگر سپری می‌کنند. در پست‌های ۲۳۰ کیلوولت، بیشترین میانگین چگالی شار مغناطیسی و شدت میدان الکتریکی در اتاق فرمان مربوط به پست باغین ۲ با ۸/۷۴ میلی‌گوس و ۰/۰۱ کیلوولت بر متر و کمترین آن مربوط به پست نیروگاه با ۱/۱۸ میلی‌گوس و پست شهاب با ۰/۰۰۵ کیلوولت بر متر است. یکی از دلایل بالابودن میانگین چگالی شار مغناطیسی و شدت میدان الکتریکی در اتاق فرمان پست باغین ۲، مربوط به فاصله کم این اتاق با تجهیزات بیرونی پست است. در پست ۲۳۰ نیروگاه و پست شهاب، اتاق فرمان در مجاورت ترانسفورماتورها و خطوط انتقال

www.SID.ir

Archive of SID

وجود ندارد. به همین دلیل در این قسمت چگالی شار مغناطیسی و شدت میدان الکتریکی کمتر است. در اتاق استراحت، بیشترین میانگین چگالی شار مغناطیسی و شدت میدان الکتریکی مربوط به پست شهاب با ۷/۱۹ میلی‌گوس و ۰/۰۲ کیلوولت بر متر و کمترین آن مربوط به پست نیروگاه با ۰/۹۶ میلی‌گوس و پست باغین ۲ با ۰/۰۰۱ کیلوولت بر متر است. از زیر اتاق استراحت پست شهاب، خطوط برق عبور می‌کند. به همین دلیل این قسمت دارای بیشترین میانگین چگالی شار مغناطیسی و شدت میدان الکتریکی است. در آشپزخانه بیشترین میانگین چگالی شار مغناطیسی و شدت میدان الکتریکی به‌ترتیب مربوط به پست باغین ۲ با ۵/۲۸ میلی‌گوس و پست باغین ۲ و نیروگاه با ۰/۰۲ کیلوولت بر متر و کمترین مقدار آن مربوط به پست شهاب با ۰/۲۶ میلی‌گوس و ۰/۰۰۶ کیلوولت بر متر است. علت افزایش چگالی شار مغناطیسی و شدت میدان الکتریکی در آشپزخانه پست باغین ۲، نزدیکی این اتاق به تجهیزات الکتریکی داخلی و بالابودن بار مصرفی این پست است. در تجهیزات بیرونی، بیشترین میانگین چگالی شار مغناطیسی و شدت میدان الکتریکی به‌ترتیب مربوط به پست شهاب با ۳۴/۲۴ میلی‌گوس و باغین ۲ با ۱۲/۷۲ کیلوولت بر متر و کمترین آن مربوط به پست نیروگاه با ۲۶/۳۳ میلی‌گوس و پست شهاب با ۸/۰۲ کیلوولت بر متر است (جدول ۴).

علت افزایش چگالی شار مغناطیسی و شدت میدان الکتریکی در این دو پست، بالابودن بار مصرفی آنها است. در پست نیروگاه، فاصله آن از خطوط انتقال برق و ترانسفورماتورها زیاد است و در پست شهاب، فضای سبز نسبت به پست‌های ۲۳۰ دیگر بیشتر است و به همین دلیل کمترین شدت میدان الکتریکی مربوط به این پست است.

جدول ۵) میانگین چگالی شار مغناطیسی (mG) و شدت میدان الکتریکی (KV/m) در پستهای ۱۳۲ کیلوولت

ایستگاه		اتاق فرمان	اتاق استراحت	آشپزخانه	تجهیزات بیرونی
پست توکل‌آباد	مغناطیسی	۲/۸۱	۰/۷۷	۰/۷۳	۷۹/۱۴
	الکتریکی	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۳	۳/۶۳
پست کرمان ۱	مغناطیسی	۲/۵۹	۱/۰۶	–	۳۶/۶
	الکتریکی	۰/۰۱	۰/۰۰۹	–	۳/۵۱
پست کاظم‌آباد	مغناطیسی	۲/۰۲	۱/۰۴	۳/۳	۶/۰۳
	الکتریکی	۰/۰۲	۰/۰۵	۰/۰۴	۲
پست کرمان ۲	مغناطیسی	۴/۲۶	۵/۰۹	۵/۸۸	۲/۰۵
	الکتریکی	۰/۰۱	۰/۰۰۹	۰/۰۲	۳/۹۲
پست صنایع جنبی مس	مغناطیسی	۲/۸۶	۰/۵۲	۰/۱۱	۱۸/۷۶
	الکتریکی	۰/۰۲	۰/۰۶	۰/۰۲	۵/۸
پست باغین۱	مغناطیسی	۲/۹۳	۰/۹۵	۰/۷۶	۲۵/۱۵
	الکتریکی	۰/۰۰۶	۰/۰۰۷	۰/۰۰۱	۲/۰۵
پست صنایع لاستیک	مغناطیسی	۰/۸۱	۰/۲۹	۰/۴۸	۴/۳۲
	الکتریکی	۰/۰۰۲	۰/۰۰۸	۰/۰۰۹	۱۰/۸۷
پست ماهان	مغناطیسی	۴/۵۶	۰/۶۹	۰/۵۷	۱۲/۵۶
	الکتریکی	۰/۰۰۶	۰/۰۰۵	۰/۰۰۶	۵/۶۱
پست سیرچ	مغناطیسی	۰/۶۳	۰/۲۴	۰/۳۲	۵/۴۵
	الکتریکی	۰/۰۰۸	۰/۰۰۹	۰/۰۳	۲/۷۵
پست راین	مغناطیسی	۰/۹	۰/۵۸	۰/۵۴	۹/۸۲
	الکتریکی	۰/۰۰۱	۰/۰۶	۰/۰۰۲	۵/۲۱
پست زنگی‌آباد	مغناطیسی	۱/۳	۰/۸۲	۰/۴۷	۴۶/۲۷
	الکتریکی	۰/۰۰۲	۰/۰۰۸	۰/۰۰۲	۴/۵۵
پست سیمان	مغناطیسی	۱۴/۶۱	۲/۴۱	۰/۴۳	۵۰/۱۳
	الکتریکی	۰/۰۰۲	۰/۰۵	۰/۰۲	۲/۰۱

بیشترین میانگین چگالی شار مغناطیسی و شدت میدان الکتریکی در اتاق فرمان پست‌های ۱۳۲ کیلوولت به‌ترتیب مربوط به پست سیمان با ۱۴/۶۱ میلی‌گوس و پست کاظم‌آباد و صنایع جنبی مس با ۰/۰۲ کیلوولت بر متر و کمترین میانگین به‌ترتیب مربوط به پست سیرچ با ۰/۶۳ میلی‌گوس و پست راین با ۰/۰۰۱ کیلوولت بر متر است. علت افزایش چگالی شار مغناطیسی در پست سیمان، قرارداشتن این اتاق در فاصله کمتر از ۲ متر از تجهیزات سوییچ‌گیر این پست است و در پست کاظم‌آباد و صنایع جنبی مس به‌دلیل

www.SID.ir

Archive of SID

نزدیکی به ترانسفورماتورها است. در اتاق استراحت، بیشترین میانگین چگالی شار مغناطیسی و شدت میدان الکتریکی به‌ترتیب مربوط به پست کرمان ۲ با ۵/۰۹ میلی‌گوس و پست صنایع جنبی مس و پست راین با ۰/۰۶ کیلوولت بر متر و کمترین آن به‌ترتیب مربوط به پست سیرچ با ۰/۲۴ میلی‌گوس و پست ماهان با ۰/۰۰۵ کیلوولت بر متر است. در آشپزخانه، بیشترین میانگین چگالی شار مغناطیسی و شدت میدان الکتریکی به‌ترتیب مربوط به پست کرمان ۲ با ۵/۸۸ میلی‌گوس و پست کاظم‌آباد با ۰/۰۴ کیلوولت بر متر و کمترین میانگین به‌ترتیب مربوط به پست صنایع جنبی مس با ۰/۱۱ میلی‌گوس و پست باغین یک با ۰/۰۰۱ کیلوولت بر متر است. علت آن نزدیکی آشپزخانه این دو پست به تجهیزات بیرونی است. در قسمت تجهیزات بیرونی بیشترین میانگین چگالی شار مغناطیسی و شدت میدان الکتریکی به‌ترتیب مربوط به پست توکل‌آباد با ۷۹/۱۴ میلی‌گوس و پست صنایع لاستیک با ۱۰/۸۷کیلوولت بر متر و کمترین آن مربوط به پست کرمان ۲ با ۲/۰۵ میلی‌گوس و پست کاظم‌آباد با ۲ کیلوولت بر متر است (جدول ۵). با توجه به نتایج ارایه‌شده در جداول ۳، ۴ و ۵، بیشترین میانگین چگالی شار مغناطیسی و شدت میدان الکتریکی در قسمت‌های مختلف پست‌ها به‌علت فاصله کم آنها از تجهیزات بیرونی، قرارداشتن در مسیر خطوط انتقال برق، نزدیکی به ترانسفورماتورها و عبور کابل‌های برق از زیر این اتاق‌ها است. فاصله از منابع تولیدکننده میدان‌های الکترومغناطیس باعث کاهش این میدان‌ها می‌شود. *مارتین* و همکاران نیز در مطالعه خود گزارش کردند که با افزایش فاصله از منبع، چگالی شار مغناطیسی و شدت میدان الکتریکی به‌شدت کاهش می‌یابد [۲۴]. همچنین در مطالعه *سعید* و همکاران نیز این نتیجه تایید شده است [۲۵].

جدول ٦) نتایج اندازه‌گیری شدت میدان‌های الکتریکی (KV/m) و چگالی شار مغناطیسی (mG) در کلیه پست‌های برق شهر کرمان

نوع پست	تجهیزات	تعداد اندازه‌گیری‌ها	چگالی	شار مغناطیسی	تعداد اندازه‌گیری‌ها	شدت میدان الکتریکی
۱۳۲ کیلوولت	داخلی	۳۷۸	حداقل	۰/۱۱	۳۲۳	۰/۰۰۰۸
			حداکثر	۶۰/۸		۰/۱۳
			میانگین	۳/۲۳±۵/۷۵		۰/۱±۰/۱
	خارجی	۵۶۰	حداقل	۰/۲۸	۵۶۰	۰/۰۰۱
			حداکثر	۷۹۰		۱۱۰
			میانگین	۲۲/۸±۷۵/۶		۴/۷۹±۹/۱۵
۲۳۰ کیلوولت	داخلی	۱۵۹	حداقل	۰/۱۳	۱۱۲	۰/۰۰۰۸
			حداکثر	۴۴/۸		۰/۱۱
			میانگین	۴/۰۲±۴/۷۳		۰/۰۰۶±۰/۰۱
	خارجی	۱۶۸	حداقل	۷/۶۳	۱۶۸	۰/۱۴
			حداکثر	۷۵/۳		۴۸/۵
			میانگین	۳۲/۲۸±۲۲/۷۲		۷/۹۷±۷/۰۴
٤۰۰ کیلوولت	داخلی	۲۲	حداقل	۰/۶۶	۲۱	۰/۰۰۰۹
			حداکثر	۱۳/۵۴		۰/۰۹
			میانگین	۶/۴۵±۳/۱۶		۰/۰۰۰۹±۰/۰۹
	خارجی	۵۶	حداقل	۳/۱۳	۵۶	۰/۴۶
			حداکثر	۶۶/۲		۵۰/۳
			میانگین	۱۶/۶۱±۱۸/۹۴		۹/۹۰±۱۱/۵۶

براساس نتایج ارایه‌شده در جدول ۶ در تمام پست‌ها مقادیر حداقل، حداکثر و میانگین چگالی شار مغناطیسی پایین‌تر از حد مجاز استاندارد (۵۰۰۰ میلی‌گوس) مواجهه شغلی کمیسیون بین‌المللی حفاظت در برابر پرتوهای غیریونساز است. این نتیجه با داده‌های حاصل از مطالعه *شریفی* و همکاران در سال ۲۰۱۰ در پست‌های فشارقوی ۲۳۰ کیلوولت شهر تهران و مطالعه *حبیبا...* و همکاران در سال ۲۰۰۳ در پست‌های فشارقوی ۲۳۰ کیلوولت، مطالعه *مالفیت* و همکاران، مطالعه *سعید* و همکاران در سال ۲۰۰۴ در پست‌های فشارقوی ۱۳۲ کیلوولت مالزی و مطالعه *اوزن* در سال ۲۰۰۷ در پست‌های فشارقوی ۱۵۴/۳۸۰ کیلوولت همخوانی دارد [۹، ۱۴، ۲۵، ۲۶]. اما برخی از مقادیر حداکثر اندازه‌گیری‌شده در پست‌ها و میانگین شدت میدان الکتریکی در دو پست صنایع لاستیک ۱۳۲ کیلوولت و باغین دو ۲۳۰ کیلوولت بیش از حد مجاز استاندارد فوق است. با توجه به این‌که این دو میانگین نیز مانند مقادیر حداکثر، جزء نتایج اندازه‌گیری‌شده در فاصله یک‌متری از ترانسفورماتورها هستند، شاید علت افزایش شدت میدان الکتریکی در این فاصله (با توجه به این‌که در نقاط کمتر از یک‌متری ترانسفورماتورها شدت میدان در حد مجاز است)، سیستم ارت

www.SID.ir

Archive of SID

دستگاه‌ها به‌ویژه دستگاه ترانسفورماتور باشد. چون سیستم ارت در فاصله یک‌متری از ترانسفورماتور نصب شده و در این قسمت، عبور جریان شدید از الکترود اتصال زمین آن، سبب می‌شود که ولتاژ زمین در این نقطه به‌مقدار قابل توجهی برسد و در نقاط مجاور محل عبور جریان به زمین، به‌علت پخش جریان در مقطع بزرگتر زمین، ولتاژ به‌تدریج کاهش می‌یابد و در فاصله دور مقدار آن تقریباً به صفر می‌رسد [۲۷]. همچنین مناسب‌نبودن جنس زمین این پست‌ها برای سیستم ارت نیز می‌تواند علت این امر باشد. مطالعات مشابهی نیز در دیگر کشورها انجام شده است. از جمله؛ در مطالعه *ویکتورآنجلو* و *مارگالو* که در دو تا از پست‌های ۱۰۰ مگاولت‌آمپر در فیلیپین انجام شد، گزارش شد که بیشترین مقدار میدان‌های مغناطیسی و الکتریکی اندازه‌گیری‌شده در مجاورت ترانسفورماتورها است و تمام مقادیر میدان مغناطیسی، پایین‌تر از حدود مجاز است [۴]. همچنین نتایج مطالعه *کریستین* و همکاران در سال ۲۰۰۶ در برخی ایستگاه‌های انتقال برق رومانیا که نشان داد در بعضی نقاط اندازه‌گیری‌شده، شدت میدان الکتریکی بیش از حد مجاز استاندارد است نیز با نتایج این مطالعه همخوانی دارد [۲۸].

از آن‌جایی که برای محافظت در برابر میدان‌های مغناطیسی هیچ روش عملی و مقرون‌به‌صرفه‌ای وجود ندارد، تنها روش عملی برای کنترل این میدان‌ها محدودکردن مواجهه افراد است [۷] و برای کاهش شدت میدان الکتریکی می‌توان منابع اصلی را که اغلب ترانسفورماتورها هستند توسط یک قفس فلزی متصل به زمین محصور کرد. در این مطالعه به‌دلیل نداشتن دستگاه دوزیمتر، اندازه‌گیری محیطی انجام گرفت. لذا برای بررسی دقیق میزان مواجهه شغلیِ اپراتورهای پست‌های برق، انجام مطالعه با استفاده از دوزیمتری می‌تواند نتایج دقیق‌تری را ارایه دهد.

نتیجه‌گیری

میانگین چگالی شار مغناطیسی در تمام پست‌ها پایین‌تر از حدود مجاز استاندارد توصیه‌شده توسط کمیسیون بین‌المللی حفاظت در برابر پرتوهای غیریونساز است. اما میانگین شدت میدان الکتریکی در برخی نقاط بیش از حد مجاز استاندارد مذکور است. میزان مواجهه شغلی اپراتورها براساس این استاندارد پایین‌تر از حد مجاز است.

تشکر و قدردانی: از معاونت محترم پژوهشی دانشگاه علوم پزشکی کرمان به‌خاطر حمایت مالی این پروژه، همچنین از مسئولان محترم شرکت برق منطقه‌ای کرمان، اپراتورهای پست‌های فشارقوی و فوق‌فشارقوی ۴۰۰ کیلوولت شهر کرمان، آقای *شیرزاد گلچین*، آقای مهندس *سلاجقه* و سرکار خانم مهندس *سامپور* که برای انجام این پروژه همکاری داشته‌اند، تشکر و قدردانی می‌شود.

منابع

1- Tworoger SS. Effect of a nighttime magnetic field exposure on sleep patterns in young women. Am J Epidemiol. 2004;160(3):224-9.
2- Deadman JE. Individual estimation of exposures to extremely low frequency magnetic fields in jobs commonly held by women. Am J Epidemiol. 2002;155(4):368-78.
3- IARC Working Group on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans. Non-ionizing radiation, Part 1: Static and Extremely Low Frequency (ELF) electric and magnetic fields. IARC Monogr Eval Carcinog Risks Hum. 2002;80:1-395.
4- Margallo VA. Extremely Low Frequency (ELF) magnetic field exposure assessment of two 100 MVA electric power substations in the Philippines. Asia Oceania; Congress of Medical Physics, 2009.
5- Stavroulakis P. Biological effects of electromagnetic fields: Mechanisms, modeling, biological effects, therapeutic effects, international standards, exposure criteria. New York: Springer; 2003.
6- Wilson K. Electrical and EMF pollution: Potential human effects. London: Electro Pollution Publication; 2008.
7- Health Physics Society [homepage on the Internet]. New York: Extremely low frequency radiation/power lines; c1999-2011 [updated 2011 Jul 6; cited 2010 Feb 17]. Available from: http://www.hps.org/hpspublications/articles/elfinfosheet.html
8- Marino AA, Becker RO. Biological effects of extremely low frequency electric and magnetic fields: A review. Physiol Chem Phys. 1977;9(2):131-47.
9- Sharifi M. Measurement of the magnetic fields of high voltage substations (230 KV) in Tehran (Iran) and study exposure effects to magnetic fields. Radiat Prot Dosimetry. 2011;145(4):421-5.
10- Yousefi HA. Psychological effect of occupational exposure to electromagnetic fields. J Res Health Sci. 2006;6(1):18-21.
11- Srdjan S. ECG changes in human exposed to 50 Hz magnetic fields. J Occup Health. 2005;47(5):391-6.
12- Saedalizadeh SA, Nassiri P. Study on electrocardiogram changes in humans exposed with 50 Hz electromagneticfield. Med Phys J. 2008;4(16-17):43-52. [Persian]
13- Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE). IEEE standard procedures for measurement of power frequency electric and magnetic fields from AC power lines. Gujarat: IEEE Publication; 1994.
14- Malfait A, Hameyer K, Belmans R. Measuring the electric and magnetic fields. Belgium: Leuven University Publication; 2002.
15- Holaday Industries. ELF survey meter user's manual. USA: Holaday Industries; 1992.
16- Paniagua JM. Exposure to extremely low frequency magnetic fields in an urban area. Radiat Environ Biophys. 2007;46(1):69-76.
17- International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection. ICNIRP statement on the guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic and electromagnetic fields (up to 300 GHz). Health Phys. 2009;97(3):257-8.
18- Herbertz J. Comment on the ICNIRP guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic and electromagnetic fields (up to 300 GHz). Health Phys. 1998;75(5):535.
19- American Conference of Governmental Industrial Hygienists. TLVs and BEIs based on the documentation of

www.SID.ir

Archive of SID

the threshold limit values for chemical substances and physical agents and biological exposure indices. Cincinnati: ACGIH Publication; 2007.
20- Korpinen LH, Paakkonen RJ. Occupational exposure to electric and magnetic fields during work tasks at 110 kV substations in the Tampere region. Bioelectromagnetics. 2010;31(3):252-4.
21- Helhel S, Ozen S. Assessment of occupational exposure to magnetic fields in high-voltage substations (154/34.5 kV). Radiat Prot Dosimetry. 2008;128(4):464-70.
22- Korpinen LH, Elovaara JA, Kuisti HA. Occupational exposure to electric fields and induced currents associated with 400 kV substation tasks from different service platforms. Bioelectromagnetics. 2011;32(1):79-83.
23- Joseph W, Verloock L, Martens L. Measurements of ELF electromagnetic exposure of the general public from Belgian power distribution substations. Health Phys. 2008;94(1):57-66.
24- Martin L. ELF magnetic in a city environment. Bioelectromagnetics. 2001;22(2):87-90.
25- Said I, Farag AS, Hussain H, Rahman NA. Measurement of magnetic field from distribution substations in Malaysia. Australasian; Australasian Universities Power Engineering Conference, 2004.
26- Ozen S. Evaluation and measurement of magnetic field exposure at a typical high-voltage substation and its power lines. Radiat Prot Dosimetry. 2008;128(2):198-205.
27- Ministry of Energy. Iran power generation and transmission management organization. Tehran: Ministry of Energy Publication; 2002. [Persian]
28- Goiceanu C, Danulescu R. Occupational exposure to power frequency fields in some electrical transformation stations in Romania. Int J Occup Saf Ergon. 2006;12(2):149-53.

www.SID.ir