ارزیابی محیطی و مواجهه کارکنان یک نیروگاه حرارتی با میدان مغناطیسی در فرکانس بی‌نهایت کم

حامد جلیلیان[۱]، محمدرضا منظم[۲]، کامران نجفی[۳]، سید ابوالفضل ذاکریان[۴]، مجتبی امکانی[۵]، محسن حدادی[۶]

تاریخ دریافت: ۹۳/۰۲/۱۰ تاریخ ویرایش: ۹۳/۰۷/۲۰ تاریخ پذیرش: ۹۳/۱۰/۰۴

چکیده

زمینه و هدف: میدان مغناطیسی با فرکانس بی‌نهایت کم (ELF) قسمتی از امواج رادیویی با گستره فرکانسی ۳۰۰Hz-۳ می‌باشد. میانگین مواجهه با میدان مغناطیسی در مشاغلی که با تجهیزات الکتریکی و برقی سروکار دارند، بالاتر از دیگر مشاغل مثل کارهای دفتری است. تداخل بین میدان‌های مغناطیسی ناشی از خطوط، پست‌ها و دیگر تجهیزات با ارگانیسم‌های زنده هنوز مورد بحث و تحقیق دانشمندان است.

روش بررسی: به‌منظور اندازه‌گیری میدان مغناطیسی از دستگاه اندازه‌گیری سه جهته ۱۳۹۴ -TES استفاده گردید. اندازه‌گیری میدان بر اساس استاندارد ۱۹۹۴-IEEE std۶۴۴ انجام شد. در ابتدا تمامی منابع ایجاد میدان مغناطیسی در نیروگاه مشخص گردید، سپس در مجاورت و محیط اطراف منابع ایستگاه‌های اندازه‌گیری مشخص گردید. گروه‌های شغلی که با میدان‌های مغناطیسی مواجهه داشتند مشخص گردید تا حداکثر مقدار مواجهه آن‌ها مشخص، سپس با استاندارد کشوری۸۵۶۷ ISIRI مقایسه گردد.

یافته‌ها: حداکثر و حداقل مقادیر چگالی شار مغناطیسی به ترتیب در مجاورت ژنراتورها (۱۷/۶ μT) و کابل‌های برق ۶۳ Kv (۱/۰۳ μT) اندازه‌گیری شد. میانگین چگالی شار مغناطیسی در مجاورت منابع ساختمان ژنراتورها با دیگر منابع اختلاف معنادار داشت. میانگین مقدار محیطی چگالی شار مغناطیسی در پست ۲۳۰ Kv (۱/۵۸ μT) از دیگر محیط‌ها بیشتر بود. حداکثر مواجهه در گروه‌های شغلی مربوط به بهره‌برداران سالن ژنراتورها (۱۷/۶ μT) بود.

نتیجه‌گیری: نتایج سنجش میدانی چگالی شار مغناطیسی در مجاورت منابع با دیگر مطالعات انجام شده به‌جز در مورد اتاق کنترل هم‌خوانی داشت. حداکثر مواجهات در هیچ‌یک از گروهای شغلی از حدود مجاز مواجهه شغلی بالاتر نبود.

کلیدواژه‌ها: نیروگاه حرارتی، میدان مغناطیسی، ELF، چگالی شار مغناطیسی، مواجهه.

مقدمه

پرتوهای الکترومغناطیسی با عنوان‌های یون‌ساز و غیر یون‌ساز طبقه‌بندی می‌شوند [۱]. پرتوهای غیر یون‌ساز به آن دسته از امواج اطلاق می‌شود که دارای فوتون‌هایی با انرژی کمتر از ۱۰eV هستند. این سطح از انرژی برای تولید یون از طریق بیرون راندن الکترون از لایه‌های اتم کافی نیست؛ هرچند هنوز اثر قوی گرمایشی بر اجسام و بافت‌های انسانی دارند [۱]. یکی از انواع میدان‌های الکترومغناطیسی بر اساس رنج فرکانس، میدان‌های با فرکانس بی‌نهایت کم (ELF) (Extremely low frequency) می‌باشد. ELF قسمتی از امواج رادیویی از طیف امواج غیر یون‌ساز الکترومغناطیسی با گستره فرکانسی ۳۰۰Hz-۳ و با طول‌موج‌های بزرگ‌تر از ۱۰۰۰ کیلومتر می‌باشد که جز امواج خیلی بلند به‌حساب می‌آیند [۲-۴].

مهم‌ترین منابع ساخت بشر در ناحیه ELF در فرکانس های ۵۰/۶۰ هرتز کار می کنند [۴]. میانگین مواجهه با میدان مغناطیسی در مشاغلی که با تجهیزات الکتریکی و برقی سروکار دارند، بالاتر از دیگر مشاغل مثل کارهای دفتری است [۵]. نیروگاه‌های حرارتی از

۱- کارشناس ارشد مهندسی بهداشت حرفه‌ای، دانشکده بهداشت دانشگاه علوم پزشکی ایران، تهران، ایران.

۲- (نویسنده مسئول) دکترای مهندسی بهداشت حرفه‌ای، عضو هیئت علمی دانشکده بهداشت دانشگاه علوم پزشکی تهران، تهران، ایران. mmonazzam@hotmail.com

۳- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی بهداشت حرفه‌ای، دانشکده بهداشت دانشگاه علوم پزشکی تهران، تهران، ایران.

۴- دکترای ارگونومی، عضو هیئت علمی دانشکده بهداشت دانشگاه علوم پزشکی تهران، تهران، ایران.

۵- کارشناس ارشد مهندسی بهداشت حرفه‌ای، دانشکده بهداشت دانشگاه علوم پزشکی کرمان، کرمان ، ایران.

۶- کارشناس ارشد مهندسی بهداشت حرفه‌ای، دانشکده بهداشت دانشگاه علوم پزشکی ایران، تهران، ایران.

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2026-11-16]

مهم‌ترین بخش‌های تولید برق محسوب می‌شود. تجهیزات و پست‌های برق موجود در این مکان‌ها میدان‌های قوی تولید می‌کند، به‌گونه‌ای که باعث مواجهه کارکنان با میدان‌های مغناطیسی، الکتریکی و الکترومغناطیسی قوی می‌شوند [۶]. تا حد زیادی، نگرانی‌های سلامتی در مواجهه با میدان‌های مغناطیسی با فرکانس های قدرت (۵۰/۶۰ Hz) است. مطالعات کمی تأثیراتی را در مواجهه با میدان‌های الکتریکی در فرکانس قدرت نشان می‌دهد [۵]. تداخل بین میدان‌های مغناطیسی ناشی از خطوط برق، پست‌ها و دیگر تجهیزات الکتریکی با ارگانیسم‌های زنده هنوز مورد بحث و تحقیق دانشمندان بوده و نتایج مطالعات آزمایشگاهی و اپیدمیولوژیک نشان‌دهنده احتمال اثرات مضر این میدان‌ها بر ارگانیسم‌های زنده است [۱]. مستندات قوی بر احتمال تأثیر میدان‌های مغناطیسی با فرکانس بی‌نهایت کم در ارتباط با مشاهده دو شکل سرطان در جمعیت انسانی وجود دارد: سرطان خون در کودکان و سرطان گلبول‌های سفید در بزرگ‌سالان شاغل [۷]. آژانس بین‌المللی تحقیقات در مورد سرطان (IARC[1]) میدان‌های مغناطیسی را به‌عنوان «ممکن است سرطان‌زا باشد» دسته‌بندی کرده است. اساس طبقه‌بندی IARC برای میدان مغناطیسی (B) بر اساس مدارک به دست آمده در مورد لوسمی در کودکان است [۸].

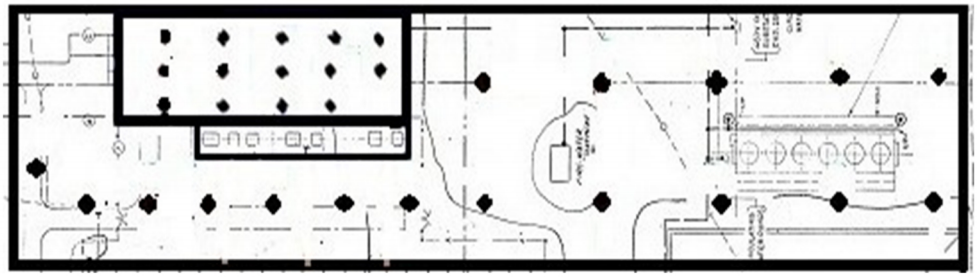
میل و مادوک در انگلستان و در نزدیکی فنس پست‌های فشار قوی ۴۰۰ Kv و ۱۱ مقدار میدان را به ترتیب ۱۰ μT و ۱/۶ گزارش کردند. این اندازه‌گیری‌ها در ارتفاع ۰/۵ متری از سطح زمین و میانگین فاصله‌ای ۱/۴ متر انجام شد [۹]. هیئت ملی حفاظت از پرتوها نیز نتایج مشابهی را از اندازه‌گیری‌های خود در ۲۷ پست برق فشار قوی گزارش کرد [۱۰]. قربانی و همکاران بعد از اندازه‌گیری میدان‌های ELF در پست‌های برق فشار قوی شهر همدان حداکثر مقدار را در فاصله صفر از ترانس به میزان ۵۰/۴۲ mG و حداقل مقدار را در فاصله ۱ متری باتری خانه به میزان ۱/۵۳ mG گزارش کردند [۱۱]. ساکورازاوا و همکاران در سال ۲۰۰۳ و در یک پست انتقال برق، میزان مواجهه کارمندان را اندازه‌گیری کردند. بر اساس گزارش این گروه میانگین زمانی مواجهه برای مهندسین اپراتور μT ۳، مهندسین تعمیرات و نگهداری μT ۱ و کارمندان دفتری کمتر از μT ۰/۱ بود. حداکثر مواجهه برای گروهی از مهندسین اپراتور μT ۶۰، مهندسین تعمیرات و نگهداری μT ۴۰ و کارمندان دفتری μT ۱/۸۸ گزارش شد [۱۲]. مطالعات محدودی در مورد مواجهه گروه‌های مختلف شغلی که در نزدیکی این میدان‌ها مشغول به کار هستند وجود دارد ولی بیشتر مطالعات با تمرکز بر تغییرات روانی و جسمانی در مورد تماس با این میدان‌ها در گروه‌های مختلف شغلی طراحی شده‌اند تا با دید منبع مواجهه گروه شغلی. نکته دیگر اینکه بیشتر مطالعات انجام شده در پست‌های برق فشار قوی انجام شده است تا نیروگاه‌ها و همین امر باعث در نظر گرفته نشدن گروه‌های مختلف شغلی است که اگرچه وظیفه‌ای به‌عنوان یک متخصص ندارند اما با این میدان‌ها مواجهه دارند. با توجه به این نکات مطالعه حاضر سعی بر این دارد که این اهداف را تحت پوشش قرار داده و با این رویکرد طراحی گردید. این مطالعه سعی بر این دارد تا با اندازه‌گیری چگالی شار مغناطیسی با فرکانس بی‌نهایت کم در نیروگاه حرارتی بعثت تهران، از طریق شناسایی منابع و توصیف توزیع میدان در نیروگاه و همچنین میزان مواجهه کارگران با توجه به وظیفه شغلی با این میدان‌ها، امکان برنامه‌ریزی برنامه‌های کنترلی فنی و مدیریتی را به‌منظور ارتقاء سلامت کارکنان این دسته از نیروگاه‌ها فراهم نماید.

روش بررسی

محیط پژوهش و ابزار اندازه‌گیری: این مطالعه به‌صورت مقطعی و توصیفی-تحلیلی در نیروگاه حرارتی برق بعثت به‌عنوان نمونه‌ای از یک نیروگاه حرارتی انجام شد. نیروگاه بعثت در زمینی به ابعاد ۸۰۰ در ۵۰۰ متر در جنوب شرق تهران و در منطقه خزانه واقع شده

[1]. International Agency for Research on Cancer

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2026-11-16]



شکل ۱- ایستگاه بندی ساختمان ژنراتورها و محوطه اطراف آن

است. این نیروگاه دارای سه واحد بخاری به قدرت اسمی هر کدام ۸۲/۵ مگاوات است که با سوخت گاز و مازوت کار می‌کند. به‌منظور اندازه‌گیری میدان مغناطیسی از دستگاه اندازه‌گیری سه جهته TES-۱۳۹۴ استفاده گردید. علیرغم گواهی کالیبراسیون، برای اطمینان از اندازه‌گیری، دستگاه با کمک سازمان انرژی اتمی کشور مجدداً با تعیین ضریب کالیبراسیون ۱ کالیبره شد. اندازه‌گیری میدان بر اساس استاندارد IEEE std ۶۴۴-۱۹۹۴ جهت اندازه‌گیری میدان، دستگاه و یا در حقیقت پروب آن باید در ارتفاع یک متری سطح زمین نگه داشته شود. نکته دیگر اینکه هنگام اندازه‌گیری میدان مغناطیسی اپراتور می‌تواند دستگاه را در دست بگیرد، چون ماهیت مغناطیسی ضعیف بدن انسان سبب آشفتگی میدان مغناطیسی و تأثیر در مقدار آن نمی‌شود [۱۳].

ارزیابی چگالی شار مغناطیسی: به‌منظور اندازه‌گیری میدانی، تمام سطح نیروگاه که منابع تولید میدان در آن قرار داشت شناسایی و سپس ایستگاه بندی شد. ایستگاه بندی بدین‌صورت بود که در مجاورت منابع و همچنین محوطه اطراف آن‌ها نقاطی مشخص شد. در مجاورت منابع به دلیل تغییرات سریع میدان‌های مغناطیسی در میدان‌های نزدیک تعداد ایستگاه‌های بیشتری در نظر گرفته شد تا دقت اندازه‌گیری بالاتر رود. ایستگاه‌های اندازه‌گیری در مجاورت و محیط اطراف ژنراتورها و مبدل‌های Kv ۶۳ و ۲/۴ (۳۱ ایستگاه)، پست Kv ۶۳ و بخش بیرونی آن (۴۰ ایستگاه)، پست و مبدل Kv ۲۳۰ (به ترتیب ۲۵ و ۱۸ ایستگاه)، ساختمان اتاق کنترل (۳۵ ایستگاه)، زیر و اطراف خطوط برق Kv ۶۳ (۴۵ ایستگاه) در نظر گرفته شدند.

تمامی اندازه‌گیری‌ها در ساعت ۱۵-۹ و در هوای صاف با دمای ۳۲ درجه سانتی‌گراد انجام شد. در مجموع ۱۹۴ ایستگاه در کل نیروگاه اندازه‌گیری شد. نمونه‌ای از ایستگاه بندی در شکل ۱ نشان داده شده است.

مواجهه فردی: به‌منظور بررسی مواجهه کارکنان در ابتدا کارکنان نیروگاه که در مواجهه با میدان‌های مغناطیسی بود، برحسب نوع شغل تقسیم‌بندی شدند. تعداد کل کارکنان در معرض ۳۳ نفر و از گروه‌های مختلف شغلی مشخص گردید. سپس محیط‌های کاری و محل‌های تردد آن‌ها تعیین شد (جدول ۱).

پس از اندازه‌گیری میدان مغناطیسی با فرکانس بی‌نهایت کم، این مقادیر با استاندارد کشوری (ISIRI-۸۵۶۷) مقایسه گردید تا میزان مواجهه کارکنان این مجموعه با میدان‌های مغناطیسی بررسی شود. به‌منظور آنالیز آماری تمام داده‌ها از نرم‌افزار SPSS ۲۰ استفاده شد.

یافته‌ها

نتایج بر اساس منابع: نتایج حاصل از اندازه‌گیری میدان مغناطیسی مجاورت منابع در جدول ۲ آورده شده است. در این جدول تعداد ایستگاه‌های اندازه‌گیری شده در مجاورت منابع نیروگاه، همچنین میانگین، انحراف معیار، حداکثر و حداقل مقادیر چگالی شار مغناطیسی هر منبع درج شده است.

بیشترین چگالی شار مغناطیسی اندازه‌گیری شده در مجاورت ژنراتورهای تولید برق می‌باشد (۱۷/۶ μT) که

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2026-11-16]

جدول ۱- دسته بندی، تعداد، محل تردد و برنامه کاری گروه‌های شغلی در مواجهه با میدان مغناطیسی

		تعداد کارکنان	محل‌های تردد	برنامه زمانی کار
نگهبانی	نگهبانان درب اصلی	۳	زیر خطوط ۶۳ Kv	۱۲ ساعت در نگهبانی
	نگهبان داخل کیوسک	۱	نزدیک خطوط ۶۳ Kv	۱۲ ساعت در کیوسک
	اپراتور سیستم هوشمند	۱	نزدیک خطوط ۶۳ Kv و سیستم‌های مدار بسته	۱۲ ساعت در اتاق سیستم
خدمات	کارگران تخلیه سوخت	۴	نزدیک خطوط ۶۳ Kv	۹ ساعت در محل تخلیه سوخت
	نجار	۲	نزدیک خطوط ۶۳ Kv و پست ۲۳۰Kv	۸ ساعت در نجاری و یک ساعت سالن غذا خوری
	تأسیسات	۳	نزدیک خطوط ۶۳ Kv و پست ۶۳ و ۲۳۰ Kv	۷ ساعت در تأسیسات و ۱ ساعت در ساختمان‌های نیروگاه، ۱ ساعت سالن غذا خوری
	خدمات پست ۲۳۰ Kv	۱	ساختمان پست ۲۳۰ Kv	ساختمان پست ۶۳
اتاق کنترل	اپراتور پست ۲۳۰ Kv	۳	نزدیک خطوط ۶۳ Kv ، پست ۲۳۰ Kv و۶۳	۱۲ ساعت ساختمان پست ۲۳۰ Kv
	اپراتور پست۶۳ Kv	۲	نزدیک ژنراتورها	۱۲ ساعت ساختمان ژنراتورها
	اپراتور اتاق کنترل مرکزی	۴	نزدیک ژنراتورها	۱۲ ساعت اتاق کنترل مرکزی
بهره برداری	بهره بردار (ساختمان پست ۲۳۰ Kv)	۴	پست ۲۳۰ Kv و ۶۳	۶ ساعت ساختمان پست ۲۳۰ Kv ، ۱ ساعت پست ۶۳ Kv ،۱ ساعت سالن غذا خوری
	بهره بردار (ساختمان ژنراتورها)	۵	نزدیک ژنراتورها	۵ ساعت اتاق کنترل مرکزی، ۲ ساعت ساختمان ژنراتورها، ۱ ساعت سالن غذا خوری

نقطه اصلی تولید جریان الکتریکی است و کم‌ترین میزان مربوط به خطوط برق ۶۳Kv (۱/۰۳ μT) می‌باشد. مقدار حداقل در این مکان به دلیل ارتفاع خطوط می‌باشد. اگرچه حداکثر مقدار چگالی شار میدان در پست ۶۳ Kv (۱۴/۴۳ μT) بیشتر از پست ۲۳۰ Kv (۶/۴ μT) است اما میانگین چگالی شار اندازه‌گیری شده در دو پست ۶۳ Kv (۴/۵ μT) و ۲۳۰ Kv (۴/۸ μT) با یکدیگر اختلاف کمی دارند. حداکثر مقدار میانگین (۱۰/۲۵ μT) مربوط ساختمان ژنراتورها می‌باشد. آزمون آماری ANOVA یک‌طرفه نشان داد که بین منابع مختلف در نیروگاه تفاوت آماری معناداری ($p <$ ۰/۰۰۱) وجود دارد. جدول ۳ تفاوت‌های آماری بین منابع را نشان می‌دهد.

مقایسه بین گروهی نشان می‌دهد که ساختمان ژنراتورها با تمام منابع دیگر اختلاف معنادار آماری دارد. خطوط برق ۶۳ Kv علاوه بر ساختمان ژنراتورها با پست ۶۳ Kv و ۲۳۰ اختلاف معنا دارد. مبدل ۲۳۰ Kv تنها با ساختمان ژنراتورها اختلاف معنادار دارد.

نتایج محیطی: نتایج حاصل از اندازه‌گیری میدان مغناطیسی محوطه اطراف منابع در جدول ۴ آورده شده است. در این جدول تعداد ایستگاه‌های اندازه‌گیری شده در محوطه اطراف، میانگین، انحراف معیار، حداکثر و

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2026-11-16]

حداقل مقادیر چگالی شار مغناطیسی هر قسمت درج شده است.

حداقل مقدار چگالی شار مغناطیسی در محوطه اطراف ژنراتورها (۰/۱۵ μT) می‌باشد. این امر به دلیل وجود فاصله زیاد ایستگاه اندازه گرفته شده از این منبع می‌باشد. حداکثر مقدار چگالی شار مغناطیسی در محوطه اطراف ساختمان اتاق کنترل (۱/۴۷ μT) می‌باشد که این مقدار به دلیل نزدیکی کابل‌های برق ۶۳ Kv به ایستگاه مورد نظر در محوطه ساختمان می‌باشد. نتایج نشان می‌دهد که مقدار میانگین جز در مورد خطوط (۰/۹۵ μT)، در دیگر محیط‌های نیروگاه بیشتر از ۱ μT می‌باشد.

مقایسه نتایج منابع و محیط: به‌منظور مقایسه چگالی شار مغناطیسی در مجاورت و محوطه اطراف منابع از آزمون تی زوجی استفاده شد. نتایج این آزمون (P-Value) در جدول ۵ آمده است.

نتایج مقایسه دوبه‌دوی میانگین‌ها نشان داد که بین میانگین چگالی شار مغناطیسی اندازه‌گیری شده در محوطه اطراف و مجاورت منابع، در تمام موارد اختلاف معنادار آماری وجود دارد.

مواجهه فردی: نتایج حاصل از بررسی انواع مشاغل، تعداد نفر در هر شغل و میانگین، حداقل و حداکثر

جدول ۲- تعداد ایستگاه، حداقل، حداکثر، میانگین و انحراف معیار در مجاورت منابع مختلف نیروگاه (μT)

	تعداد ایستگاه	حداقل	حداکثر	میانگین μT	انحراف معیار
خطوط برق ۶۳ Kv	۱۸	۱/۰۳	۳/۲۳	۱/۷۳	۰/۵۶
ساختمان ژنراتورها	۸	۳/۹۵	۱۷/۶	۱۰/۲۵	۷/۴
پست ۶۳ کیلو ولت	۲۰	۲/۴۳	۱۴/۴۳	۴/۵	۲/۶
مبدل ۲۳۰ کیلو ولت	۵	۲/۵۶	۶/۴۰	۴/۴۳	۱/۷
پست ۲۳۰ کیلو ولت	۹	۲/۵	۹/۴۲	۴/۸	۲/۷
ساختمان اتاق کنترل	۱۳	۱/۶۸	۲/۹۶	۲/۳۱	۰/۴۳

جدول ۳- مقایسه بین گروهی منابع (P-Value)

	خطوط برق ۶۳ Kv				ساختمان ژنراتورها				پست ۶۳ Kv		مبدل ۲۳۰Kv	
	ساختمان ژنراتورها	پست ۶۳ Kv	مبدل ۲۳۰Kv	پست ۲۳۰ Kv	ساختمان اتاق کنترل	پست ۶۳ Kv	مبدل ۲۳۰ Kv	پست ۶۳ Kv	ساختمان اتاق کنترل	پست ۲۳۰ Kv	ساختمان اتاق کنترل	پست ۲۳۰ Kv
p-value	<۰/۰۰۱	۰/۰۱۱	۰/۲۵	۰/۰۳۵	۰/۰۹۸	<۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	<۰/۰۰۱	<۰/۰۰۱	۹/۰۹	۰/۹۹	۰/۱۱

	ساختمان اتاق کنترل	ساختمان اتاق کنترل	پست ۲۳۰ Kv	ساختمان اتاق کنترل	پست ۲۳۰ Kv	مبدل ۲۳۰ Kv	ساختمان اتاق کنترل	پست ۲۳۰ Kv	مبدل ۲۳۰ Kv	پست ۶۳ Kv	ساختمان اتاق کنترل	پست ۲۳۰ Kv	مبدل ۲۳۰Kv	پست ۶۳ Kv	ساختمان ژنراتورها
	پست ۲۳۰ Kv	مبدل ۲۳۰Kv		پست ۶۳ Kv			ساختمان اتاق کنترل				خطوط برق ۶۳ Kv				

جدول ۴- تعداد ایستگاه، حداقل، حداکثر، میانگین و انحراف معیار در محوطه اطراف منابع نیروگاه (μT)

	تعداد ایستگاه	حداقل	حداکثر	میانگین	انحراف معیار
محوطه خطوط برق ۶۳ Kv	۲۷	۰/۰۱۶	۰/۹۵	۰/۴۳	۰/۲۳
محوطه پست ۶۳ Kv	۲۰	۰/۰۴۱	۲/۳۲	۰/۹۶	۰/۵
محوطه مبدل ۲۳۰ Kv	۱۳	۰/۰۳۹	۲/۳۳	۱/۱۷	۰/۶۵
محوطه پست ۲۳۰ Kv	۱۶	۰/۳۳	۲/۴۲	۱/۵۸	۰/۵۸
محوطه ساختمان ژنراتورها	۲۳	۰/۰۱۵	۲/۶	۰/۹	۰/۸
محوطه ساختمان اتاق کنترل	۲۲	۰/۳۳	۱/۴۷	۰/۸۱	۰/۳۵

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2026-11-16]

جدول ۵- مقایسه منابع و محوطه اطراف آنها (P-Value)

	محوطه خطوط برق ۶۳ Kv	زیر خطوط برق ۶۳ Kv	محوطه پست ۶۳ Kv	مجاورت منابع پست ۶۳ Kv	محوطه مبدل ۲۳۰ Kv	مجاورت مبدل	محوطه پست ۲۳۰ Kv	مجاورت منابع پست ۲۳۰ Kv	محوطه ساختمان ژنراتورها	مجاورت ژنراتور و تابلو برقها	محوطه ساختمان اتاق کنترل	مجاورت منابع اتاق کنترل
P-Value	۰/۰۰۱>	۰/۰۰۱>	۰/۰۰۱>	۰/۰۱۵	۰/۰۰۷	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱>					

جدول ۶- تعداد شاغلین، میانگین، حداکثر و حداقل مواجهه مشاغل مختلف نیروگاه (μT)

	نگهبانان درب اصلی	نگهبان داخل کیوسک	اپراتور سیستم هوشمند	کارگران تخلیه سوخت	نجار	تأسیسات	خدمات پست ۲۳۰ Kv	اپراتور پست ۲۳۰ Kv	اپراتور پست ۶۳ Kv	اپراتور اتاق کنترل مرکزی	بهره بردار (ساختمان پست ۲۳۰ Kv)	بهره بردار (ساختمان ژنراتورها)
تعداد	۳	۱	۱	۴	۲	۳	۱	۳	۲	۴	۴	۵
میانگین مواجهه	۱/۲۷	۰/۹۶	۰/۴۶	۰/۴۰	۰/۲۷	۰/۰۱۷	۱/۱۷	۱/۰۸	/۸۵ ۱	۷/۷۴	۲/۲۸	۷/۳۷
حداقل مواجهه	۱/۱۱	۰/۳۶	۰/۴۶	۰/۴۷	۰/۲۵	۰/۰۱۸	۰/۴۷	۰/۰۳۳	۱/۲	۲/۳	۰/۳۳	۱/۲۸
حداکثر مواجهه	۱/۵۶	۱/۵۶	۰/۴۶	۰/۵۴	۰/۰۳	۰/۰۱۸	۲/۵۹	۲/۹۶	۲/۵	۱۴/۵	۱۴/۴۳	۱۷/۶

جدول ۷- مقایسه مواجهه بهره برداران ساختمان ژنراتورها با دیگر گروه‌های شغلی (P-Value)

	بهره برداران ساختمان ژنراتورها										
	نگهبانان درب اصلی	نگهبان داخل کیوسک	اپراتور سیستم هوشمند	کارگران تخلیه سوخت	نجار	تأسیسات	خدمات پست ۲۳۰ Kv	اپراتور پست ۲۳۰Kv	اپراتور پست ۶۳ Kv	اپراتور اتاق کنترل مرکزی	بهره بردار (پست ۲۳۰Kv)
P-Value	۰/۰۰۲	۰/۰۰۱>	۰/۰۱۱	۰/۰۰۱	۰/۰۰۸	۰/۰۰۷	۰/۰۰۱>	۰/۰۰۱>	۰/۱۱۵	۰/۹۹	۰/۰۰۱>

مواجهه در مشاغل مورد نظر در جدول ۶ نشان داده شده است.

بیشترین تعداد کارکنان در ساختمان ژنراتورها قرار دارند. اپراتورهای اتاق کنترل مرکزی، بهره‌برداران ساختمان ژنراتورها و اپراتورهای پست ۶۳ Kv در سالن ژنراتورها مستقر بودند. حداکثر مواجهه مربوط به بهره‌برداران مستقر در سالن ژنراتورها (۱۷/۶ μT) و حداقل مواجهه مربوط به کارکنان بخش تأسیسات (۰/۱۸ μT) بود. اگرچه حداکثر مواجهه مربوط به بهره‌برداران مستقر در سالن ژنراتورها (۱۷/۶ μT) بود، ولی میانگین مواجهه اپراتور اتاق کنترل مرکزی (۷/۷۴ μT) از این گروه (۷/۳۷ μT) بیشتر بود. آزمون آماری ANOVA یک‌طرفه برای مقایسه مواجهه گروه‌های مختلف شغلی به کار برده شد (جدول ۵ و ۶). جدول ۵ مقایسه مواجهه

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2026-11-16]

جدول ۸- مقایسه مواجهه اپراتورهای اتاق کنترل مرکزی با دیگر گروه‌های شغلی (P-Value)

	اپراتور اتاق کنترل مرکزی									
	نگهبانان درب اصلی	نگهبان داخل کیوسک	اپراتور سیستم هوشمند	کارگران تخلیه سوخت	نجار	تأسیسات	خدمات پست ۲۳۰ Kv	اپراتور پست ۲۳۰ Kv	اپراتور پست ۶۳ Kv	بهره برداران ساختمان ژنراتورها	بهره بردار (پست ۲۳۰ Kv)
P-Value	۰/۰۰۷	۰/۰۰۱>	۰/۰۱۸	۰/۰۰۴	۰/۰۱۴	۰/۰۱۲	۰/۰۰۱>	۰/۰۰۱>	۰/۰۱۴	۰/۹۹	۰/۰۰۱>

بهره‌برداران ساختمان ژنراتورها را با دیگر گروه‌های شغلی نیروگاه نشان می‌دهد. همچنین جدول ۶ مقایسه مواجهه اپراتورهای اتاق کنترل مرکزی را با دیگر گروه‌های شغلی نشان می‌دهد. نتایج مقایسه بین گروهی مشاغل در معرض، تفاوت معناداری (۰/۰۰۱> p) را نشان داد. از بین گروه‌های شغلی، مواجهه بهره بردانی که در ساختمان ژنراتورها مشغول به کارند، جز در مقایسه با اپراتورهای اتاق کنترل مرکزی و اپراتورهای اتاق کنترل پست ۶۳ Kv با دیگر گروه‌های شغلی تفاوت معنادار دارد (جدول ۵). این امر در مورد اپراتورهای اتاق کنترل مرکزی نیز صادق است، بدان معنا که مقدار مواجهه اپراتورهای این اتاق با بهره‌برداران ساختمان ژنراتورها و اپراتورهای اتاق کنترل پست ۶۳ Kv اختلاف معناداری نداشته ولی با دیگر مشاغل اختلاف معنادار دارد (جدول ۶).

بحث و نتیجه‌گیری

در این مقاله چگالی شار مغناطیسی با فرکانس بی‌نهایت کم در محیط یک نیروگاه ارزیابی گردید و همچنین میزان مواجهه در گروه‌های مختلف شغلی که در معرض میدان مغناطیسی با فرکانس بی‌نهایت کم هستند، بر اساس زمان و محیط تردد آن‌ها ثبت شد تا با حدود استاندارد شغلی مقایسه شود. وجود تفاوت معنادار آماری (p<۰/۰۰۱) در میان میانگین چگالی شار مغناطیسی منابع نشان‌دهنده وجود اختلاف در توزیع چگالی شار مغناطیسی در نیروگاه است. این بدان معناست که برخی از منابع مقادیر بیشتری چگالی شار مغناطیسی با فرکانس بی‌نهایت کم تولید و منتشر می‌کنند که این خود از لحاظ مواجهه با این میدان‌ها حائز اهمیت است. شناسایی این دسته از منابع در کنترل و کاهش مواجهات شغلی از روش‌های مختلف مثل فاصله‌گذاری نقش بسزایی دارد [۵]. نتایج حاصل از جدول ۲ نشان می‌دهد که میانگین چگالی شار مغناطیسی در مجاورت ژنراتورها (۱۰/۲۵ μT) نسبت به دیگر منابع اختلاف زیادی دارد و مهم‌ترین بخش از لحاظ مواجهه و کنترل می‌باشد. حداقل مقدار اندازه‌گیری شده در ساختمان ژنراتورها (۳/۹۵ μT) بوده که از میانگین چگالی شار مغناطیسی اندازه‌گیری شده مجاورت خطوط برق ۶۳ Kv (۳/۲۳ μT) و ساختمان اتاق کنترل (۲/۹۶ μT) بیشتر و نزدیک به میانگین چگالی شار مغناطیسی اندازه‌گیری شده در پست ۶۳ Kv (۴/۵ μT)، مبدل ۲۳۰Kv (۴/۴۳ μT) و پست ۲۳۰ Kv (۴/۸ μT) است و دلیل این امر این است که ژنراتورها وظیفه اصلی تولید برق –تبدیل نیروی مکانیکی به جریان الکتریکی- را دارند و نقطه اصلی تولید جریان با آمپراژهای مختلف هستند.

اگرچه حداکثر مقدار چگالی شار میدان در پست ۶۳ Kv (۱۴/۴۳ μT) بیشتر از پست ۲۳۰ Kv (۶/۴ μT) است اما میانگین چگالی شار اندازه‌گیری شده در دو پست ۶۳ Kv (۴/۵ μT) و ۲۳۰ Kv (۴/۸ μT) با یکدیگر اختلاف معنی‌داری ندارند. در مطالعه قربانی شهنا و همکاران که در پست‌های برق فشار قوی Kv ۶۳،۲۳۰ و ۴۰۰ انجام گرفت، حداکثر مقدار شدت میدان مغناطیسی (۶۵ /۵ mG) در پست ۶۳Kv همدان ۱

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2026-11-16]

گزارش شد. این مقدار در فاصله ۲ متری از منابع اصلی پست اندازه‌گیری شد [۱۱]. شریفی فرد و همکاران میانگین مقدار میدان مغناطیسی با فرکانس بی‌نهایت کم را در پست‌های فشار قوی ۲۳۰Kv اندازه‌گیری کردند. این مقدار در پست‌های شوش، قورخانه، تهران‌پارس و بعثت به ترتیب ۳۹/۱ mG، ۳۸/۴mG، ۵۸/۴mG و ۳۴/۹ mG گزارش شد [۱۴] که همگی به میانگین مقدار اندازه‌گیری شده در پست ۲۳۰Kv نیروگاه (۴/۴۳ μT) نزدیک می‌باشند. مقایسه نتایج حاصل از مطالعه با دیگر مطالعات انجام شده نشان می‌دهد که نتایج حاصل از حداکثر مقدار اندازه‌گیری شده در مجاورت مبدل (۶/۴ μT) نیروگاه با آنچه در مطالعه اوزن گزارش شده است، هم‌خوانی دارد.

این مقادیر در مطالعه اوزن و در سمت ورودی (kv ۱۵۴) و خروجی (۲۳۰ Kv) مبدل ۳۸۰ Kv به ترتیب ۵/۵ μT و ۶ μT گزارش شد [۶]. اختلافی کمی که در مقادیر اندازه‌گیری شده وجود دارد به علت نوع مبدل و به طبع قوی‌تر بودن آمپراژ ورودی به مبدل می‌باشد. مقایسه بین گروهی منابع (جدول ۳) نشان می‌دهد که بین پست ۶۳ Kv، مبدل ۲۳۰ Kv، پست ۲۳۰ Kv هیچ‌گونه اختلاف معنادار آماری (۹۹/ ۰=p) وجود ندارد. ساختمان ژنراتورها با تمام منابع اختلاف معنادار آماری دارد. همچنین خطوط برق ۶۳ Kv با پست ۲۳۰ Kv (۰۳۵/ ۰=p) و پست ۶۳ Kv (۰۱۱/ ۰=p) اختلاف معنادار آماری دارد. دلیل این امر بار کم آمپراژ خطوط و همچنین ارتفاع آن‌ها در هنگام اندازه‌گیری‌ها بود که این امر باعث شد مقدار میانگین چگالی شار مغناطیسی خطوط به هنگام اندازه‌گیری پایین‌تر از پست ۲۳۰ Kv و پست ۶۳ Kv باشد که نشان‌دهنده اولویت کنترلی در پست‌ها می‌باشد. اوزن مقادیر چگالی شار مغناطیسی را در یک پست و در نقاط مختلف اندازه‌گیری کرد. این مقادیر در محوطه پست ۱۵۰ Kv و در ارتفاع ۱ متری تا ۱۵ μT و زیر خطوط برق فشار قوی ۳۸۰ Kv و ۱۵۰ به ترتیب ۳/۳ μT و ۳/۱ گزارش شد [۶]. با توجه به اینکه در مطالعه اوزن مقادیر اندازه‌گیری شده چگالی شار مغناطیسی در پست ۱۵۰ Kv از مقادیر اندازه‌گیری شده در زیر خطوط بیشتر است، تأییدی بر نتایج مطالعه حاضر است که نشان‌دهنده بیشتر بودن چگالی شار در پست‌ها می‌باشد.

میانگین چگالی شار اندازه‌گیری شده ساختمان اتاق کنترل در نیروگاه ۲/۳۱ μT گزارش شد. مطالعه شریفی فرد در پست‌های برق ۲۳۰ Kv شهر تهران نشان داد که در اتاق فرمان پست‌های ازگل، بعثت و آزادگان میانگین چگالی شار مغناطیسی به ترتیب ۶/۹، ۱/۶ و ۵ mG است [۱۴]. نتایج حاصل از اندازه‌گیری در ساختمان اتاق کنترل نیروگاه با نتایج گزارش شده در مطالعات دیگر اختلاف دارد. دلیل این امر نزدیکی خطوط جریان برق به اتاق کنترل و در نتیجه افزایش میزان‌های اندازه‌گیری شده در ساختمان اتاق کنترل بود. نتایج حاصل از اندازه‌گیری‌های محیطی (جدول ۴) نشان می‌دهد که جز در محوطه مبدل ۲۳۰ Kv و محوطه پست ۲۳۰ Kv، در محیط اطراف دیگر منابع مقدار میانگین از ۱ μT کمتر است. اگرچه در برخی از محیط‌ها شامل محوطه پست ۶۳ کیلوولت (۰/۹۶ μT) و محوطه ساختمان ژنراتورها (۰/۹ μT) این مقدار به ۱ μT نزدیک است. نزدیکی ایستگاه‌های اندازه‌گیری به منابع اصلی میدان در پست و مبدل مورد نظر باعث افزایش میانگین‌ها شد. در پست ۶۳ Kv نیز همین حالت وجود داشت اما به دلیل سطح پایین‌تر چگالی شار مغناطیسی در این پست میانگین محیطی کل کمتر از ۱ μT سنجش و گزارش شد. به علت فاصله زیاد ایستگاه‌های اندازه‌گیری در محوطه ساختمان ژنراتورها از منابع اصلی، میانگین مقادیر اندازه‌گیری شده کمتر از ۱ μT گزارش شد. همان‌گونه که از نتایج پیداست (جدول ۶) در هیچ‌یک از مشاغل مقدار مواجهه حتی در حالت حداکثر از استاندارد کشوری مواجهه شغلی در فرکانس ۵۰ هرتز (۰/۵ mT) بالاتر نبوده است. مطالعات مشابهی نیز انجام گرفته که همگی نشان‌دهنده عدم تجاوز از حدود مجاز است [۶، ۱۴-۱۶]. حداکثر مواجهه با چگالی شار مغناطیسی در بین مشاغل مربوط به بهره‌برداران مستقر در ساختمان ژنراتورها (۱۷/۷ μT) بود، اما میانگین مواجهه در این گروه شغلی (۷/۳۷ μT)

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2026-11-16]

از اپراتورهای اتاق کنترل مرکزی (۷/۴۷ μT) بیشتر بود. دلیل میزان مواجهه بالا در این دو گروه، موقعیت مکانی آن‌ها بود که هر دو گروه در سالن ژنراتورها مستقر بودند.

همچنین نتایج سنجش میدانی چگالی شار مغناطیسی در مجاورت منابع با دیگر مطالعات انجام شده به‌جز در مورد اتاق کنترل هم‌خوانی داشت. مواجهه در هیچ‌یک از گروه‌های مختلف شغلی از حدود مجاز مواجهه فراتر نبود. ولی با توجه به ابهامات موجود در خصوص بیماری‌زایی مواجهه با میدان‌ها، ضرورت انجام مطالعات بیشتر، استفاده از ابزارهای مناسب سنجش مواجهه مثل دستگاه‌های دوزیمتری، طراحی مطالعات اپیدمیولوژیک و بلندمدت و یا انجام آزمایشات دورهای مثل بررسی سطح استرس‌های اکسیداتیو در خون کارکنان- به‌عنوان یکی از مواردی که میدان مغناطیسی بر آن مؤثر است - پست‌های برق فشار قوی ضروری به نظر می‌رسد. همچنین انجام مطالعات گسترده در خصوص مواجهه با این میدان‌ها می‌تواند در ابهام‌زدایی این مسئله کمک‌کننده باشد.

تقدیر و تشکر

از تمام مسئولین و همکاران نیروگاه حرارتی بعثت تهران به‌خصوص جناب آقای کامرانی و مهندس شاهرودی که بنده را در انجام این پژوهش یاری کردند، کمال تشکر و سپاسگزاری را دارم.

منابع

1. Maruvada PS. Characterization of power frequency magnetic fields in different environments. Power Delivery, IEEE Transactions on. 2012;8(2): 606-589.

2. IRISI. Exposure Limits Non – Ionization Radiation. ISIRI 8567. Tehran: Institute of Standards and Industrial Research of Iran; 1385.[Persian]

3. Acgih. 2010 TLVs and BEIs: Based on the Documentation of the Threshold Limit Values for Chemical Substances and Physical Agents & Biological Exposure Indices: American Conference of Governmental Industrial Hygienists; 2010.

4. Nasiri P. Extremely Low Frequency Fields. Scientific Journal of School of Public Health and Institute of Public Health Research.1993; 5-47 [persian]

5. World Health Organization. Extremely Low Frequency Fields. 2007. 21-60 p.

6. Ozen S. Evaluation and measurement of magnetic field exposure at a typical high-voltage substation and its power lines. Radiation Protection Dosimetry. 2008;128(2):198-205.

7. Olden K. Niehs Report on Health Effects from Exposure to Power-Line Frequency Electric and Magnetic Fields: Diane Publishing Company; 1999.

8. IARC Working Group on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans. Non-ionizing radiation: Static and extremely low-frequency (ELF) electric and magnetic fields: IARC Press; 2002.

9. Renew DC, male JC, Maddock BJ. Power frequency magnetic fields: measurement and exposure assessment. CIGRE (International Conference on Large High Voltage Electric Systems). Paris, CIGRE, 1990.

10. Maslanyj MP. Power-frequency electromagnetic fields associated with local area electricity substations. Chilton, Didcot, National Radiological Protection Board, 1996 NRPB-M(751)

11. Ghorbani F, et al. Evaluation of the Extremely Low Frequency magnetic Fields in power substations in the hamedan and their effects on workers. Iranian Journal of Medical Physics. 2009;8(3).61-71 [Persian]

12. Sakurazawa H, Iwasaki A, Higashi T, Nakayama T, Kusaka Y. Assessment of exposure to magnetic fields in occupational settings. Journal of occupational health. 2002;45(2):100-104.

13. Transmission IPES, Committee D, Board IS, Electrical Io, Engineers E. IEEE Standard Procedures for Measurement of Power Frequency Electric and Magnetic Fields from AC Power Lines: IEEE Std 644-1994: The Institute; 1995.

14. Sharifi Fard M, Nasiri P, Monazzam MR. Measurement of the magnetic fields of high-voltage substations (230 kV) in Tehran (Iran) and comparison with the ACGIH treshold limit values. Radiation Protection Dosimetry. 2011;145(4):42-51.

15. Gobba F, Bargellini A, Scaringi M, Bravo G , Borella P. Extremely Low Frequency-Magnetic Fields (ELF-EMF) occupational exposure and natural killer activity in peripheral blood

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2026-11-16]

lymphocytes. Science of The Total Environment. 2009;4(3):12-23.

16. Baghaie khah H, Zare S, Azizi J, Zare M, Dehghan MH. Survey and determination of relation Between magnetic field intensity with employees health in one the country power plants. 24 th international power system conference; Tehran; 2009.[Persian]

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2026-11-16]

Environmental evaluation and employee's exposure of a thermal power plant with extremely low frequency magnetic fields

H. Jalilian[1], M.R. Monazzam[2], K. Najafi[3], S.A. Zakerian[4], M. Emkani[5], M. Hadadi[6]

Received: 2014/04/30 Revised: 2014/10/12 Accepted: 2014/12/25

Abstract

Background and aims: Extremely low frequency magnetic field (ELF) is a Spectrum of electromagnetic waves with the range of 30 to 300 Hz. The average magnetic field exposures in the workplace have been found to be higher in "electrical occupations" compared to the other occupations such as office work. The interaction between magnetic fields produced by power lines and substations with living organisms are not fully understood and still open to many researchers.

Methods: The three axes TES-1394 was used for magnetic field measurement. Magnetic field measurement conducted based on the IEEE std 644-1994 standard. Firstly all magnetic field sources were detected, then the measuring stations were determined nearby and around the source. The occupational groups with exposure to magnetic field were identified to determine the maximum exposure level and then to compare with ISIRI 8567 national standard.

Results: The minimum and maximum measured magnetic field were in near of 63 Kv lines (1.03 μT) and generators (17.6 μT), respectively. The mean of magnetic flux density nearby the generators building source was significantly different from the other sources. The environmental amount of magnetic flux density in 230 Kv (1.58 μT) post was higher than the other environments. Maximum exposure (17.6 μT) of occupational groups was related to engineer's of generators building.

Conclusion: Our results of the magnetic flux density measurement close to sources matched with the other relevant studies except for control room. The maximum exposure level of the occupational groups was not higher than the occupational exposure standard value.

Keywords: Power plant, Magnetic fields, ELF, Magnetic flux density, Exposure.

1. Master of Occupational Health, Department of Occupational Health, Iran University of Medical Sciences, Tehran, Iran.
2. **(Corresponding author)** PhD of Occupational Health, Department of Occupational Health, Tehran University of Medical Sciences, Tehran, Iran. mmonazzam@hotmail.com
3. student of Master of Occupational Health, Department of Occupational Health, Tehran University of Medical Sciences, Tehran, Iran.
4. PhD of Ergonomics, Department of Occupational Health, Tehran University of Medical Sciences, Tehran, Iran.
5. Master of Occupational Health, Department of Occupational Health, Kerman University of Medical Sciences, Kerman, Iran.
6. Master of Occupational Health, Department of Occupational Health, Iran University of Medical Sciences, Tehran, Iran.

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2026-11-16]