

طراحی و ساخت دستگاه اندازه‌گیری شدت میدان‌های الکتریکی و مغناطیسی به منظور ارزیابی سلامت شاغلین و مردم در معرض این میدان‌ها

میرشهرام حسینی پناه

پژوهشکده راکتور و ایمنی هسته‌ای، پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای، تهران، ایران.
تهران، سازمان انرژی اتمی ایران، پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای، پژوهشکده راکتور و ایمنی هسته‌ای، گروه ایمنی پرتوی، کدپستی: ۱۴۳۹۹۵۱۱۱۳
پست الکترونیکی: srhosseini@aeoi.org.ir

چکیده

در محدوده فرکانسی به شدت کم (از ۳ تا ۳۰۰ هرتز) شدت میدان‌های الکتریکی و مغناطیسی با افزایش ولتاژ و جریان الکتریکی، افزایش می‌یابند. در صورتی که شدت این میدان‌ها زیاد باشد، می‌تواند اثرات مضر بر سلامت انسان داشته باشد. معمولاً در مجاورت خطوط انتقال برق و پست‌های برق فشار قوی، شدت این میدان‌ها زیاد است. بنابراین مردم و شاغلین در این تأسیسات همواره دغدغه‌هایی در ارتباط با سلامت خود دارند. در این پژوهش، ابتدا دستگاهی برای اندازه‌گیری شدت میدان‌های الکتریکی و مغناطیسی ساخته و کالیبره شد. با استفاده از این دستگاه این میدان‌ها در نزدیکی چند پست برق فشار قوی اندازه‌گیری و نتایج با حدود پرتوگیری ارائه شده در استاندارد ملی ایران با عنوان "پرتوهای غیر یون‌ساز - حدود پرتوگیری" مقایسه شد. این مقایسه نشان می‌دهد که شدت میدان‌های الکتریکی و مغناطیسی در مجاورت تجهیزات نصب شده در یک پست برق ۴۰۰ به ۲۳۰ کیلوولت که اندازه‌گیری‌ها در آن انجام شد، از حدود استاندارد ملی فراتر نمی‌رود. با وجود این، اندازه‌گیری و ارائه روش‌هایی برای بهینه‌سازی و کاهش شدت این میدان‌ها، همواره ضرورت دارد که با استفاده از دستگاه اندازه‌گیری امکان‌پذیر می‌شود. با این دستگاه، اندازه‌گیری‌هایی در صنایع مختلف انجام شد و نتایج آن برای مقایسه با شدت میدان‌های پست برق فشار قوی آورده شده است.

کلیدواژگان: شدت میدان الکتریکی، شدت میدان مغناطیسی، فرکانس به شدت کم، حدود پرتوگیری پرتوهای غیر یون‌ساز، پست برق فشار قوی، دستگاه اندازه‌گیری.

۱. مقدمه

میدان‌های الکتریکی و مغناطیسی در محدوده فرکانسی به شدت کم^۱ (از ۳ تا ۳۰۰ هرتز) از جمله منابع پرتوهای غیر یون‌ساز می‌باشند که انسان همواره در معرض آن‌ها قرار داشته است. پس این میدان‌ها می‌توانند برای سلامت انسان اثرات مضر داشته باشند [۱]. میدان مغناطیسی با دو کمیت چگالی

^۱ Extremely Low Frequency (ELF)

شار مغناطیسی (B) با یکای تسلا یا گوس و شدت میدان مغناطیسی (H) با یکای آمپر بر مترمربع بیان می‌شود. اندازه میدان الکتریکی با کمیت شدت میدان الکتریکی اندازه‌گیری می‌شود و یکای آن ولت بر متر است [۲]. اصولاً در محدوده فرکانسی به شدت کم، در مجاورت تجهیزاتی که جریان بالا تولید یا از آن استفاده می‌کنند، شدت میدان مغناطیسی بالا است. از سوی دیگر شدت میدان الکتریکی در مجاورت دستگاه‌هایی که ولتاژ بالا تولید و یا از آن استفاده می‌کنند، زیاد است. تجهیزات آزمون‌های غیرمخرب^۱ با ذرات مغناطیسی^۲ [۳]، ترانسفورماتورها [۴]، نیروگاه‌ها [۵]، پست‌های برق فشار قوی [۶]، کوره‌های القایی [۷]، برخی از منابع تولید میدان‌های الکتریکی و مغناطیسی قوی هستند.

در محدوده فرکانسی به شدت کم، برخی از اثرات بیولوژیکی شناخته شده میدان‌های الکتریکی و مغناطیسی به چگالی جریان ناشی از این میدان‌ها که به ارگان‌ها و بافت‌های داخلی بدن القاء می‌شود، نسبت داده می‌شود. مطالعات فراوانی بر روی اثرات بیولوژیکی میدان‌های الکتریکی و مغناطیسی و ارتباط آن با شدت اندازه‌گیری شده این میدان‌ها به انجام رسیده است [۸-۱۱]. بنابر یافته‌های آژانس بین‌المللی تحقیقات بر سرطان^۳ میدان‌های مغناطیسی در محدوده فرکانسی به شدت کم ممکن است در انسان سرطان ایجاد کند [۱۲]. در فرکانس‌های کم‌تر از ۱۰۰ کیلوهرتز برای حفاظت انسان در برابر میدان الکتریکی و جریان (یا چگالی جریان) اعمال شده به داخل بافت‌های (یا ارگان‌های) بدن، لازم است تحریک الکتریکی^۴ سلول‌ها یا بافت‌های سیستم‌های بیولوژیکی، عصبی و قلبی محدود شود [۱۳]. از سوی دیگر در فرکانس‌های بالای رادیویی میدان‌های الکتریکی یا مغناطیسی موجود در محیط،

میدان‌هایی در بافت‌های بدن ایجاد می‌کنند که با افزایش میدان‌های محیط افزایش می‌یابند ولی این افزایش به صورت خطی نیست. اندازه‌گیری شدت این میدان‌ها در داخل بدن شاغلین و مردم به سادگی امکان‌پذیر نیست. از جمله اثرات شناخته شده میدان‌های رادیویی اعمال شده به داخل بدن، انتقال انرژی به بافت و در نتیجه آن افزایش دمای بافت است. آهنگ جذب انرژی در واحد جرم بافت را با کمیت SAR^۵ اندازه‌گیری می‌کنند. تجهیزات اندازه‌گیری SAR، معمولاً آزمایشگاهی بوده و به سادگی قابل حمل و استفاده در محل کار شاغلین و یا سکونت مردم نیست. استانداردهای حدود پرتوگیری، حدود SAR برای فرکانس‌های بالای رادیویی و چگالی جریان برای فرکانس‌های کم و به شدت کم را تحت عنوان حدود پایه^۶ برای مردم و شاغلین ارائه داده است. استاندارد حدود ملی علاوه بر درج حدود پایه، حدود پرتوگیری را برای میدان‌های الکتریکی و مغناطیسی موجود در محیط با عنوان حدود مرجع^۷ ارائه داده است. بنابر اصول حفاظت در برابر اشعه، شدت میدان‌های الکتریکی و مغناطیسی اندازه‌گیری شده نباید از حدود مرجع ارائه شده در رهنمودهای^۸ کمیسیون بین‌المللی حفاظت در برابر پرتوهای غیریون‌ساز^۹ و حدود استاندارد ملی ایران با عنوان "پرتوهای غیریون‌ساز- حدود پرتوگیری" فراتر رود [۱۴-۱۶]. علاوه بر مراعات حدود پرتوگیری، بهینه‌سازی از اصول مهم حفاظت در برابر اشعه است. بنابر این اصل، مقادیر شدت میدان‌های الکتریکی و مغناطیسی باید تا جایی که منطقاً ممکن است از حدود مرجع کم‌تر باشد. دستگاه‌های اندازه‌گیری به منظور اندازه‌گیری این میدان‌ها در محیط کار و سکونت افراد طراحی و ساخته می‌شود. به دلیل جذب و

⁵ Specific energy Absorption Rate

⁶ Basic restrictions

⁷ Reference levels

⁸ Guidelines

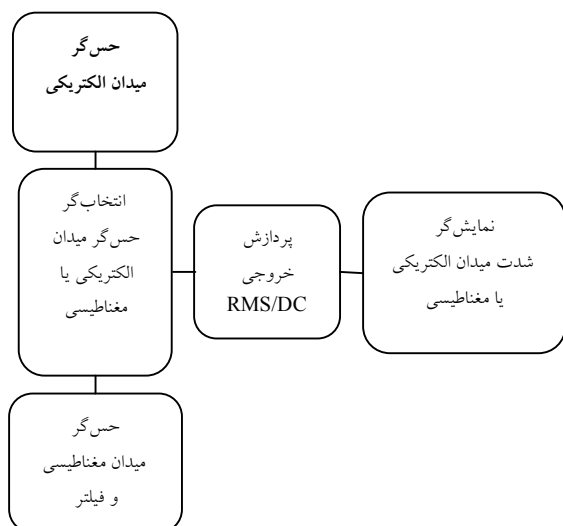
⁹ International Commission on Non-ionizing Radiation Protection (ICNIRP)

¹ Non-destructive testing (NDT)

² Magnetic Particle Testing (MT)

³ International Agency for Research on Cancer (IARC)

⁴ electrostimulation



شکل (۱): بخش‌های دستگاه اندازه‌گیری شدت میدان‌های الکتریکی و مغناطیسی.

۲. مواد و روش‌ها

برای اندازه‌گیری شدت میدان‌های الکتریکی و مغناطیسی یک دستگاه اندازه‌گیری مناسب در محدوده فرکانس‌های به شدت کم، مورد نیاز است. این دستگاه باید قابلیت حمل آسان، قرائت در لحظه، و نیز اندازه‌گیری جداگانه میدان‌های الکتریکی و مغناطیسی را داشته باشد. علاوه بر این دستگاه اندازه‌گیری نباید الگوی پخش^۱ میدان‌ها را به هم ریخته یا آشفته سازد و همچنین توانایی اندازه‌گیری شدت میدان‌های الکتریکی و مغناطیسی بسیار کم‌تر از حدودی که در استاندارد ملی ایران برای مردم، در محدوده فرکانسی به شدت کم، تا شدت میدان‌های بسیار قوی‌تر از حدود اعلام شده برای شاغلین در محیط‌های پرتوی را داشته باشد.

برای دستگاه اندازه‌گیری سه بخش اصلی در نظر گرفته می‌شود که در شکل ۱ نشان داده شده است. در ساختار دستگاه، دو حس‌گر^۲ جداگانه برای اندازه‌گیری میدان‌های الکتریکی و مغناطیسی به کار رفته است. این حس‌گرها، ولتاژ الکتریکی متناسب با شدت میدان الکتریکی یا شدت میدان مغناطیسی به‌عنوان ورودی پردازنده ایجاد می‌نمایند.

۱.۲. حس‌گر شدت میدان مغناطیسی

حس‌گر میدان مغناطیسی یک سیم‌پیچ دایره‌ای شکل است. هنگامی که این حس‌گر در میدان مغناطیسی قرار می‌گیرد، در دو سر سیم‌پیچ ولتاژی القا می‌شود که متناسب با شدت میدان مغناطیسی است. ولتاژ ایجاد شده در دو انتهای سیم‌پیچ با استفاده از رابطه فارادی قابل محاسبه است.

$$V = A\omega H_m \mu_0 \cos(\omega t) \quad (1)$$

که در آن $\omega = 2\pi f$ و μ_0 ضریب نفوذ مغناطیسی هوا، A سطح مقطع سیم‌پیچ، H_m بیشینه شدت میدان مغناطیسی و f فرکانس مورد اندازه‌گیری بر حسب هرتز است. ولتاژ خروجی متناسب با ω بوده و با افزایش فرکانس ولتاژ نیز افزایش می‌یابد. این در حالی است که از مهم‌ترین مشخصه‌های دستگاه‌های اندازه‌گیری تخت بودن پاسخ فرکانسی آن‌ها است. برای از بین بردن وابستگی ولتاژ به فرکانس، فیلتر جبران‌سازی طراحی و به کار گرفته شد. تابع تبدیل فیلتر طراحی شده به صورت زیر است:

$$\left| \frac{V_{out}}{V_{in}} \right| \approx \frac{1}{\omega} \quad (2)$$

¹ pattern
² sensor

شدت میدان‌ها به دقت قابل محاسبه می‌باشد. پس از محاسبه شدت میدان‌ها در مرکز کالیبراتور، دستگاه یک بار در مرکز کالیبراتور میدان مغناطیسی و بار دیگر در مرکز کالیبراتور میدان الکتریکی قرار گرفت، سپس مقادیر قرائت شده با مقادیر محاسبه شده مقایسه شده و ضریب کالیبراسیون به دست آمد.

لازم به ذکر است که با قرار دادن پروب الکتریکی در داخل کالیبراتور میدان مغناطیسی و بار دیگر پروب مغناطیسی در کالیبراتور میدان الکتریکی، قرائت دستگاه برای هر دو حالت بسیار کم بود. لذا می‌توان اطمینان داشت که هنگام اندازه‌گیری با پروب مغناطیسی، میدان الکتریکی روی قرائت آن تأثیری ندارد و در زمان اندازه‌گیری با پروب الکتریکی، میدان مغناطیسی روی قرائت پروب الکتریکی اثر ندارد. شکل ۳، کالیبراتور میدان مغناطیسی را نشان می‌دهد.



شکل (۳): کالیبراتور میدان الکتریکی.



شکل (۴): کالیبراتور میدان مغناطیسی.

به منظور جلوگیری از آشفتنگی در میدان، در ساختار این پروب، از هیچ گونه مواد فرومغناطیسی استفاده نشده است.

۲.۲. حس گر شدت میدان الکتریکی

حس گر میدان الکتریکی از دو صفحه موازی آلومینیومی که بین آن‌ها یک لایه دی‌الکتریک قرار گرفته، تشکیل شده است. ولتاژ ایجاد شده در دو سر حس گر الکتریکی از رابطه زیر قابل محاسبه است:

$$V = Ed \quad (۳)$$

با توجه به این رابطه، دامنه ولتاژ خروجی حس گر وابستگی به فرکانس ندارد. بنابراین نیازی به جبران‌ساز فرکانسی ندارد.

۳.۲. قرائت گر

قرائت گر دستگاه شامل یک مبدل RMS به DC است. پاسخ حس گرها به شکل موج بستگی دارد ولی این مبدل، مقدار مؤثر ولتاژ خروجی هر حس گر را تعیین می‌کند و ولتاژ ثابتی معادل با آن تولید می‌نماید. به این ترتیب پاسخ نهایی به شکل موج بستگی نخواهد داشت. دستگاه ساخته شده در شکل ۲ نشان داده شده است.



شکل (۲): دستگاه اندازه‌گیری شدت میدان‌های الکتریکی و مغناطیسی در محدوده فرکانسی به شدت کم.

۴.۲. کالیبراسیون

دستگاه اندازه‌گیری ساخته شده با استفاده از تجهیزات ویژه، کالیبره شد. برای انجام این کار از دو کالیبراتور میدان الکتریکی و میدان مغناطیسی استفاده شد. در مرکز این دو کالیبراتور،

۵.۲. روش اندازه‌گیری

تجهیزات مستقر در یک پست برق ۴۰۰ به ۲۳۰ کیلوولت، انجام شد. به‌منظور اطمینان از صحت عملکرد دستگاه ساخته شده، برخی اندازه‌گیری‌ها با یک دستگاه کالیبره مشابه ساخت شرکت ETS-Lindgren مدل HI-3604 ELF Survey Meter تکرار شد که نتایج با اختلاف کمتر از ۱۵٪ به‌دست آمد. اندازه‌گیری‌ها در فاصله تقریبی ۳۰ تا ۴۰ سانتی‌متری از مرکز دایره‌ای دستگاه اندازه‌گیری تا تجهیزات نصب شده در پست انجام شد. نتایج اندازه‌گیری‌های میدان مغناطیسی و میدان الکتریکی در جدول‌های ۱ و ۲ آمده است.

در این جدول‌ها برای هر موقعیت مکانی که اندازه‌گیری در آن انجام شده است، یک اندازه‌گیری با دستگاه ساخته شده و یک اندازه‌گیری با دستگاه کالیبره HI-3604 و در آخر درصد اختلاف نتایج این دو دستگاه آورده شده است. لازم به یادآوری است که مقادیر داده شده در جدول پس از اندازه‌گیری میدان مغناطیسی یا الکتریکی در سه جهت α ، β و γ و با استفاده از رابطه‌های ۴ یا ۵ مقدار کل میدان محاسبه شده است.

جدول (۱): نتایج اندازه‌گیری شدت میدان مغناطیسی (H) بر حسب آمپر بر متر با دستگاه اندازه‌گیری ساخته شده و دستگاه HI-3604 در فاصله تقریبی ۳۰ تا ۴۰ سانتی‌متری از تجهیزات.

موقعیت اندازه‌گیری	دستگاه ساخته شده	دستگاه HI-3604	درصد اختلاف
ترانس ۶۳۰kVA	۲/۵۴	۲/۶۰	۲/۳۰
سکسیونر	۲۶۴/۰۰	۲۵۵/۰۰	۳/۵۰
دژنکتور	۲۵/۹۶	۲۴/۵۰	۵/۹۰
تابلو برق ۴۰۰ آمپری	۲۳۵/۰۰	۲۲۲/۰۰	۵/۸۰
خروجی پست (فشار ضعیف)	۱۷۳/۰۰	۱۸۰/۰۰	۳/۸۰
cut-out fuse	۱۱۱/۰۰	۱۰۳/۰۰	۷/۷۰
ترانس پست هوایی	۱۹۲/۰۰	۱۸۰/۰۰	۶/۰۰
سکسیونر هوایی	۶۹/۰۰	۶۱/۰۰	۱۳/۰۰

برای اندازه‌گیری میدان مغناطیسی یا میدان الکتریکی در یک نقطه، با توجه به برداری بودن میدان‌ها، باید سه اندازه‌گیری جداگانه در صفحات $X-Y$ ، $Y-Z$ و $X-Z$ ، به گونه‌ای انجام گیرد که نقطه اندازه‌گیری برای هر سه حالت در مرکز پروب قرار داشته باشد. با استفاده از رابطه زیر برآیند میدان مغناطیسی در یک نقطه به‌دست آید.

$$H = H_x + H_y + H_z \quad (۴)$$

که در آن H_x ، H_y و H_z شدت میدان‌های مغناطیسی در سه جهت α ، β و γ می‌باشد. برای محاسبه میدان الکتریکی برآیند در یک نقطه از رابطه زیر استفاده می‌شود.

$$E = E_x + E_y + E_z \quad (۵)$$

که در آن E_x ، E_y و E_z شدت میدان‌های الکتریکی در سه جهت α ، β و γ است. شدت میدان مغناطیسی برآیند در یک نقطه با جابجا کردن حس‌گر مغناطیسی در سه جهت مختصاتی α ، β و γ و جمع مقادیر ولتاژهای القا شده به دو سر سیم‌پیچ حس‌گر مغناطیسی در سه جهت مختصاتی به‌دست می‌آید:

$$V = \sqrt{V_x^2 + V_y^2 + V_z^2} \quad (۶)$$

ولتاژهای V_x ، V_y و V_z متناسب با شدت میدان مغناطیسی در سه جهت مختصاتی α ، β و γ است. شدت میدان الکتریکی برآیند در یک نقطه با جابجایی حس‌گر الکتریکی در سه جهت مختصاتی α ، β و γ و جمع مقادیر ولتاژ ایجاد شده در دو سر صفحات حس‌گر الکتریکی در سه جهت مختصاتی با استفاده از رابطه ۶ محاسبه می‌شود.

۳. یافته‌ها

اندازه‌گیری میدان‌های مغناطیسی و الکتریکی با استفاده از دستگاه اندازه‌گیری ساخته و کالیبره شده در مجاورت

می‌شوند، اما با در نظر داشتن مواردی مانند پیک مصرف در ساعت‌های مختلف شبانه‌روز و فصل‌های مختلف سال، شرایط متفاوت محیطی و تجهیزات متفاوت اطراف، این اندازه‌گیری‌ها قابل تعمیم دادن به سایر پست‌های برق مشابه نیست. بنابراین وجود دستگاه‌های اندازه‌گیری در پست‌های برق فشار قوی و انجام اندازه‌گیری‌های دوره‌ای در ساعات پیک مصرفی می‌تواند بستر مناسبی برای بررسی‌های علمی همه‌گیرشناسی^۱ افراد در معرض این میدان‌ها فراهم کند. در صورتی که در یک محل هر دو میدان الکتریکی و مغناطیسی وجود داشته باشد دستگاه اندازه‌گیری ساخته شده، گزینه‌ای مناسب برای اندازه‌گیری آسان، سریع و دقیق محسوب می‌شود. این دستگاه برای اندازه‌گیری ضعیف‌ترین میدان‌ها در منازل و اطراف تجهیزات برقی خانگی و همچنین اندازه‌گیری قوی‌ترین میدان‌های موجود در مراکز صنعتی، کوره‌های الکتریکی، تجهیزات آزمون ذرات مغناطیسی، دستگاه‌های جوش قوس الکتریکی و اطراف کابل‌های برق فشار قوی کارایی و دقت بالایی دارد. نتایج اندازه‌گیری از منابع دیگر میدان‌های الکتریکی و مغناطیسی به شدت کم در جدول ۴ آورده شده است.

جدول (۴): نتایج اندازه‌گیری از منابع میدان‌های الکتریکی و مغناطیسی.

$H(A/m)$	$E(V/m)$	محل اندازه‌گیری
حد اکثر ۲/۵۰۰	۲۰۰۰/۰۰۰ تا ۷۰۰۰/۰۰۰	کوره‌های الکتریکی
۴/۰۰۰ تا ۰/۸۰۰	۱۰۰۰/۰۰۰ تا ۳۰۰۰/۰۰۰	کوره‌های القایی
۰/۵۴۰ تا ۰/۰۴۰	۱۰/۰۰۰ تا ۱۰۰۰/۰۰۰	مانیتورهای کاتدی 2K2K
۰/۰۸۰ تا ۶۰/۰۰۰	۱/۰۰۰ تا ۲۰/۰۰۰	آزمون غیر مخرب روش ذرات مغناطیسی اطراف یوک
۲/۰۰۰	۲۰۰۰/۰۰۰	تجهیزات قوس الکتریکی
۲/۶۰۰ تا ۰/۲۰۰	۱۰۰۰/۰۰۰ تا ۱۴۵۰۰/۰۰۰	زیر کابل‌های برق فشار قوی

جدول (۲): نتایج اندازه‌گیری شدت میدان الکتریکی (E) بر حسب ولت بر متر با دستگاه اندازه‌گیری ساخته شده و دستگاه HI-3604 در فاصله تقریبی ۳۰ تا ۴۰ سانتی‌متری از تجهیزات.

موقعیت اندازه‌گیری	دستگاه ساخته شده	دستگاه HI-3604	درصد اختلاف
ترانس ۶۳۰kVA	۰/۳۹	۰/۴۰	۳/۶۰
سکسیونر	۹/۳۰	۱۰/۱۰	۷/۹۰
دژنکتور	۶/۴۳	۵/۹۰	۸/۹۰
تابلو برق ۴۰۰ آمپری	۰/۷۳	۰/۷۰	۵/۰۰
خروجی پست (فشار ضعیف)	۲/۲۵	۲/۴۰	۶/۲۰
cut-out fuse	۲/۴۷	۲/۳۰	۷/۳۰
ترانس پست هوایی	۱/۶۷	۱/۸۰	۷/۲۰
سکسیونر هوایی	۰/۹۲	۱/۰۲	۹/۸۰

۴. بحث و بررسی

حدود ارائه شده در استاندارد ملی ایران با عنوان "پرتوهای غیریون‌ساز-حدود پرتوگیری" برای فرکانس ۵۰ هرتز در جدول ۳ آمده است.

جدول (۳): حدود پرتوگیری برای میدان‌های الکتریکی و مغناطیسی.

$H(A/m)$	$E(V/m)$	
۱۶۰	۵۰۰۰	حد پرتوگیری مردم
۸۰۰	۱۰۰۰۰	حد پرتوگیری شاغلین

مقایسه مقادیر اندازه‌گیری شده میدان‌های مغناطیسی و الکتریکی مندرج در جدول‌های ۱ و ۲ با حدود ارائه شده در جدول ۳، نشان می‌دهد که کلیه مقادیر از حدود استاندارد پرتو بسیار کمتر هستند. با وجود این، در فعالیت‌های پرتوی، با توجه به اصول حفاظت در برابر اشعه، لازم است علاوه بر مراعات حدود پرتو، بهینه‌سازی انجام پذیرد به گونه‌ای که شدت پرتوها تا جایی که ممکن است از حدود استاندارد پرتو کمتر شود و به دنبال آن اثرات احتمالی پرتوها به حداقل ممکن کاهش یابد. از سوی دیگر، در پست‌های برق فشار قوی مشابه، هرچند معمولاً تجهیزات مشابهی نصب و به کار گرفته

¹ Epidemiology

۵. نتیجه‌گیری

نتیجه‌گیری نهایی به یک پایش جامعی نیاز هست که پست‌های متعددی با ویژگی‌های متفاوت و در زمان‌هایی با بار کاری گوناگون را پوشش دهد. برای مقایسه شدت میدان‌های الکتریکی و مغناطیسی موجود در یک پست برق فشار قوی با منابع دیگر موجود در صنایع، با دستگاه اندازه‌گیری ساخته شده اندازه‌گیری‌هایی انجام شد. علاوه بر این با این اندازه‌گیری‌ها قابلیت دستگاه اندازه‌گیری ساخته شده برای اندازه‌گیری میدان‌های الکتریکی و مغناطیسی بسیار کم تا شدت میدان‌های بسیار بالا نشان داده شد.

افراد شاغل در پست‌های برق فشار قوی در معرض میدان‌های الکتریکی و مغناطیسی در فرکانس ۵۰ هرتز هستند. به منظور بررسی خطر پرتوی این افراد، یک دستگاه اندازه‌گیری میدان‌های الکتریکی و مغناطیسی ساخته و کالیبره شد. با این دستگاه میدان در مجاورت تجهیزات مختلف یک پست برق فشار قوی اندازه‌گیری شد. مقادیر اندازه‌گیری کم‌تر از حدود استاندارد ارائه شده در استاندارد ملی ایران "حدود پرتوگیری-پرتوهای غیریون‌ساز" است. با این وجود، این نتیجه‌گیری نمی‌تواند با قاطعیت به دیگر پست‌ها تعمیم داده شود و برای

۶. مراجع

- [1] World Health Organization (WHO), E.L.F.F.E , Health Criteria Monograph, 238 (2010).
- [2] R.R. Neutra. Glossary of Terms Used When Discussing Exposure to Electric and Magnetic Fields, *Journal of epidemiology and community health*, 59(7) (2005) 546.
- [3] A. Zolfaghari and F. Kolahan. Reliability and Sensitivity of Magnetic Particle Nondestructive Testing in Detecting the Surface Cracks of Welded Components, *Nondestructive Testing and Evaluation*, (2018) 1–11.
- [4] K . Ilonen, A. Markkanen, G. Mezei and J. Juutilainen. Indoor Transformer Stations as Predictors of Residential Elf Magnetic Field Exposure, *Bioelectromagnetics*, 29(3) (2008) 213–218.
- [5] J.-E. Deadman, B.G. Armstrong and G. Thériault. Exposure to 60-Hz Magnetic and Electric Fields at a Canadian Electric Utility, *Scandinavian journal of work, environment & health*, (1996) 415–424.
- [6] T. Barsam, M.R. Monazzam, A.A. Haghdooost, M.R. Ghotbi and S.F. Dehghan. Effect of Extremely Low Frequency Electromagnetic Field Exposure on Sleep Quality in High Voltage Substations, *Iranian journal of environmental health science & engineering*, 9(1) (2012) 15.
- [7] V.R. Gandhewar, S.V. Bansod and A.B. Borade. Induction Furnace-a Review, *International Journal of Engineering and Technology*, 3(4) (2011) 277–284.
- [8] M. Misakian. Elf Electric and Magnetic Field Measurement Methods, *International Symposium on Electromagnetic Compatibility*, (1993).
- [9] Y. Hobara, H. Yamaguchi, Y. Akinaga, T. Watanabe, H. Koons, J. Rieder and M. Hayakawa. New Ulf/Elf Measurement in Seikoshi, Izu Peninsula, Japan, in, *Abstracts and Program of International Workshop on Seismo Electromagnetics. The University of Electro-Communications, Chofu-city, Tokyo, September, (2000).*
- [10] K. Shimizu, H. Endo and G. Matsumoto. Fundamental Study on Measurement of Elf Electric Field at Biological Body Surfaces, *IEEE transactions on instrumentation and measurement*, 38(3) (1989) 779–784.
- [11] N. Hayashi, K. Isaka and Y. Yokoi. Elf Electromagnetic Environment in Power Substations, *Bioelectromagnetics*, 10(1) (1989) 51–64.
- [12] International Agency For Research On Canceriar (IARC), *Non-Ionizing Radiation: Static and Extremely Low-Frequency (ELF) Electric and Magnetic Fields*, (2002).
- [13] IEEE, *Recommended Practice for Measurements and Computations of Electric, Magnetic, and Electromagnetic Fields with Respect to Human Exposure to Such Fields, 0hz to 100khz*, (2010).

- [14] ICNIRP, Guidelines for Limiting Exposure to Time-Varying Electric and Magnetic Fields (1 Hz to 100 Khz), Health Physics, (2010).
- [15] ICNIRP, Guidelines for Limiting Exposure to Time-Varying Electric, Magnetic, and Electromagnetic Fields (up to 300 Ghz). International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP), Health Phys, (1998).
- [16] Institute of Standards and Industrial Research of Iran (ISIRI), Non-Ionizing Radiation Exposure Limits, (2016).