

اندازه‌گیری میدان‌های الکترومغناطیسی



مقدمه

مواجهه با میدانهای قوی الکترومغناطیس (EMF) اثرات زیان آوری بر سلامتی دارد. مواجهه با میدان رادیو فرکانس (RF) که شدت لازم را داشته باشد می تواند باعث گرم شدن بدن شود و به این منظور حدود مجازی برای پیشگیری از افزایش دمای بدن ارائه شده است. میدانهای قوی در دامنه فرکانسی بسیار پایین^۱ (ELF) می توانند جریان الکتریکی درون بدن را افزایش دهند به همین دلیل حدود مجازی برای پیشگیری از برانگیختگی عصبی ناشی از این میدانها ارائه شده است. برای میدانهای الکترومغناطیس در دامنه فرکانسی متوسط^۲ (IF) هر دو اثر فوق الذکر باید در نظر گرفته شوند. مواجهه شدید با میدانهای مغناطیس پایا در افرادی دیده می شود که با وسایل رزونانس مغناطیسی نظیر MRI، اسکنرها و اسپکترومترها کار می کنند. میدانهای مغناطیسی قوی فرکانس پایین را می توان در اطراف دستگاه های جوشکاری، اجاق های قوسی صنعتی، و کوره های حرارت القایی یافت. میدانهای مغناطیسی IF را نیز می توان در اسکنرهای MRI مشاهده کرد. همچنین کارکنانی که در برج های رادیو/تلویزیونی کار می کنند در معرض مواجهه بالا هستند.

مسئولیت کارشناس بهداشت حرفه ای

اندازه گیری عوامل زیان آور محیط کار از جمله میدان های الکترومغناطیس مستلزم استفاده از روش های استاندارد است. مسئولیت شناسایی، اندازه گیری و کنترل میزان مواجهه با عوامل زیان آور محیط کار، از جمله میدان های الکترومغناطیس به کمتر از حد مجاز مواجهه با کارشناسان بهداشت حرفه ای است.

دستگاه های اندازه گیری پایش فردی

کاربرد و اصول عملکرد: دستگاه اندازه گیری امواج رادیو فرکانس^۳ (RF)، جهت اندازه گیری میدان های الکتریکی و مغناطیسی ناشی از منابع RF استفاده می شوند. دستگاه های سنجش RF باید براساس فرکانس پرتو مورد اندازه گیری انتخاب شود. این وسایل اندازه گیری معمولاً دارای پروب های هستند که می توان با استفاده از آنها جهت اندازه گیری میدان های الکتریکی و مغناطیسی را تغییر داد. برخی از دستگاه ها و پروبها قادر به متوسط گیری فضایی و temporal از چندین فرکانس بوده و نتایج را بصورت درصدی از مقادیر مواجهه استاندارد توصیه شده نمایش می دهند. پایشگرهای فردی RF برای اندازه گیری مواجهه فردی با RF استفاده می شوند. این پایشگرها به کمر بند فرد متصل و بطور مداوم مواجهات فردی را ثبت کرده و با استفاده از پا سخ فرکانسی، نتیجه مواجهه را نشان می دهند.

جریان های القاء شده از مواجهه با RF را می توان با استفاده از دستگاه سنجش جریان القایی، اندازه گیری کرد. جریان های القایی در دست ها و پاها را با این وسایل می توان اندازه گیری نمود.

کالیبراسیون: امکان کالیبراسیون در عرصه وجود ندارد. کالیبراسیون توسط شرکت سازنده بصورت دوره ای انجام می شود.

1. Extremely low frequency (ELF)

2. Intermediate frequency range

3. Radio Frequency (RF)

دستگاه Narda 8860

پایشگر فردی RF مدل Narda 8860 جهت پایش مواجهه شغلی با منابع RF در دامنه فرکانسی ۱۰۰ kHz - ۱۰۰ GHz استفاده می‌شود. کاربر می‌تواند از بین چندین هشدار^۴ یکی را انتخاب و تنظیم کند. این وسیله بطور مداوم میزان مواجهه با RF را ثبت کرده و نتایج را بر اساس پاسخی فرکانسی شکل، گزارش می‌دهد.

راهبرد اندازه گیری

راهبرد های بکار گرفته شده در اندازه‌گیری میدانهای الکتریکی و مغناطیسی در مواد زیر دسته بندی می‌شوند:

- اندازه‌گیری نقطه‌ای یا آنی: اندازه‌گیری‌های نقطه‌ای عموماً با مقیاسهای ساده^۵ نظیر بزرگی بردار r.m.s میدان مغناطیسی ELF در نقاطی از بدن یا محیط کار انجام می‌گیرد. اندازه‌گیری نقطه‌ای تغییرات موقت میدان^۶ را لحاظ نمی‌کند.
- پایش فردی: پایشگرهای فردی یا دوزیمترها، میزان مواجهه را طی یک ساعت، یک شیفت کار، یک روز، یا دوره‌های طولانی‌تر اندازه‌گیری می‌کنند. در محیطهای شغلی، معمولاً پایش فردی دقیق‌ترین روش برآورد مواجهه کارگر با یک یا چند کمیت است.
- پایش محیطی: در این حالت از دستگاهی برای اندازه‌گیری در محل‌های مشخص از محیط کار استفاده می‌شود. در این حالت هم از اندازه‌گیری نقطه‌ای و هم از پایش مداوم استفاده می‌شود.
- بازرسی طی گردش در محیط کار: پایشگری با ثبت کننده داده، در محیط کار حمل می‌شود و بطور منظم EMF را در طول مسیر اندازه‌گیری می‌کند.
- اندازه‌گیری منبع: اندازه‌گیری‌ها در فواصل مشخصی اطراف منابع EMF صورت می‌گیرد.
- تعیین مشخصه‌های میدان: اندازه‌گیری‌ها (چه بصورت محیطی یا فردی، نقطه‌ای یا مداوم) بمنظور تعیین مشخصه‌های EMF نظیر فرکانس، پلاریزاسیون^۷، جهت فضایی^۸، شکل امواج انجام می‌شود.

محل اندازه گیری (محل قرارگیری پروب دستگاه)

- در فاصله مشخصی از منبع
- پایش فردی در یک یا چند نقطه از بدن کارگر
- اندازه‌گیری در حال حرکت^۹
- ایستگاه‌های معمول کاری
- اعضای بدن (مثلاً سر، بالاتنه، بیضه‌ها یا تخمدانها، اندامهای انتهایی - دست و پا)

4. alarm

5. simple metrics

6. field's temporal variation

7. polarization

8. Spatial orientation

9. walk-through surveys

اندازه گیری میدان های الکترومغناطیسی

زمان و مدت اندازه گیری

- اندازه گیری نقطه ای
- پایش چرخه کاری (Work-cycle monitoring)
- پایش قسمتی از شیفت یا یک شیفت کامل یا چند شیفت
- پایش یک روز کامل
- ارزیابی طراحی کنترلها مثلاً اندازه گیری با و بدون حضور
- کنترلها
- متوالی

وسیله اندازه گیری

کانالها: و سایل اندازه گیری EMF معمولاً بیش از یک سنسور دارند تا قادر به اندازه گیری یک سری از مشخصه های EMF باشند. برای مثال پایشگر Positron™ دارای سنسور میدان مغناطیسی سه بعدی (3D)، یک سنسور محوری میدان الکتریک، و یک سنسور میدان الکترومغناطیس گذرای فرکانس بالا است. هر یک از این پروبها مدارهای مربوط به خود را برای آنالیز سیگنالها و ارسال خروجی به صفحه نمایشگر دارند. در این بخش از کتاب هریک از پروبهای مستقل را یک "کانال" می نامیم. پروبهای سه وجهی که دارای مدار واحد هستند (نظیر پروب سه بعدی میدان مغناطیس)، یک کانال در نظر گرفته می شوند. کانالها بطور کلی بر اساس میدان اندازه گیری شده و پهنای باند فرکانسی، مثلاً کانال میدان مغناطیس ELF نامگذاری می شوند. دستگاه Multiwave™ System دارای کانالهای متعدد بوده و قادر به ثبت بسطیاری از جنبه های محیط الکترومغناطیس نظیر میدان مغناطیس پایا، میدانهای الکتریکی و مغناطیسی ELF، میدانهای VLF-LF، میدانهای گذرا و غیره است.

سنسور

- | | |
|---|---|
| سنسورهای میدان مغناطیسی: | سنسورهای میدان الکتریکی: |
| - کوئل القایی (تنها میدانهای متغییر) | - سنسور میدان آزاد (Free-field sensor) |
| - پروب Flux gate (میدانهای قوی پایا و | - سنسور اتصال به بدن Body- grounded sensor) |
| (ELF) | |
| - پروب Hall effect (میدانهای قوی پایا و | - سنسور اتصال به زمین Earth- grounded sensor) |
| میدانهای متغییر) | |

پاسخهای فرکانسی

پاسخهای فرکانسی ابزار به فرکانس و فیلتر بکار گرفته شده بستگی دارد:

طبقه بندی دامنه فرکانس

- پایا Hz ۰
- ELF ۳ - ۳۰,۰۰۰ Hz
- ELF > ۳ Hz
- VLF ۳ - ۳۰ KHz

فیلترهای مربوط به فرکانسهای میدان:

- باند باریک (Narrowband)
- باند پهن (Broadband)
- صاف (Flat)
- خطی (Linear)

مقیاسهای (کمیتها) مواجهه

اندازه گیری میدان های الکترومغناطیسی

مقیاسهای مواجهه پارامترهایی هستند که برای خلاصه کردن مواجهه با EMF جهت ارزشیابی خطرات بهداشتی احتمالی بکار گرفته می‌شوند.

مقیاسهای مواجهه با EMF شامل :

- بزرگی محور r.m.s (برآیند)
- طیف فرکانسی
- متوسط سنجش زمان^{۱۰} (TWA)
- اغتشاش هارمونیک کل^{۱۱}
- میانگین هندسی در طول زمان
- پلاریزاسیون (خطی، دایره‌ای یا بیضوی)
- حداکثر در مدت زمان مشخص
- فرم امواج (رسم مولفه‌های میدان بصورت تابعی از زمان)

واحدها

- میدان الکتریکی (volts/meter)
- میدان مغناطیسی (چگالی شار مغناطیسی بر حسب میکروتسلا μT ، یا میلی‌گوس mG یا توان مغناطیس میدان بر حسب آمپر بر متر A/m)
- مشتق میدان مغناطیس (تغییرات میدان به تغییرات زمان tesla/sec)

10. Time Weighted Average

11. Total harmonic distortion

اندازه گیری میدان های الکترومغناطیسی

روش ELF-EMF و میدانهای زودگذر با فرکانس بالا ^{۱۲}		
هدف	هدف: بررسی اپیدمیولوژیک	راهبرد: پایش فردی
راهبرد نمونه برداری	توضیح: پایش فردی محل: قراردادن روی کمر بند یا در جیب پیراهن در طول روز، و پایش محیطی در رخت خواب در طول شب مدت: یک هفته و در صورت نیاز به یافتن مواجهه نماینده هفته های بیشتر انتخاب کارگر: کارگران واحد برق به منظور ارزیابی مواجهه و بررسی اپیدمیولوژیک انتخاب شدند. سایر اطلاعات: مشخص ساختن وظایف با استفاده از شرح وظایف کارگر	
تجهیزات	دستگاه مدل IREQ / Positron electromagnetic dosimeter کانال ها: ۱. میدان مغناطیس ELF ۲. میدان الکتریکی ELF ۳. میدانهای گذرای فرکانس بالا	
کانال ۱	توضیح: میدان مغناطیس ELF سنسور: Three orthogonal air-core induction coils پاسخ فرکانسی: فیلتر با پهنای باند ۲۰۰-۴۰ Hz، پیک آن در ۶۰ Hz یا ۵۰ و پاسخ کاهش یافته به ۱ kHz زمان پاسخ: هر ۱۳۳ میلی ثانیه پیک ها ذخیره می شود. نرخ نمونه برداری: ۶۰ ثانیه دامنه دینامیک: ۵۰ mT - ۳/۱ nT دقت: ۲۵٪ میدان های ارزیابی شده به اشتباه ذخیره می شوند. (خطا = ۳۸٪ - ۸٪)	
مقیاس مواجهه	مقادیر پیک میدان مغناطیسی ۵۰/۶۰ Hz واحد: چگالی شار مغناطیسی (μT)	
کانال ۲	توضیح: میدان الکتریکی ELF سنسور: Single-axis parallel-plate electric field probe (عمود بر بدن فرد) پاسخ فرکانسی: فیلتر پهنای باند ۱۰۰-۴۰ Hz که پیک آن ۵۰/۶۰ Hz است. زمان پاسخ: مقادیر پیک هر ۱۳۳ میلی ثانیه در حافظه دستگاه ذخیره می شود. نرخ نمونه برداری: ۶۰ ثانیه دامنه دینامیک: ۱۵ kV/m - ۰/۶ V/m دقت: تعیین نشده	
مقیاس مواجهه ۲	مقیاس: مولفه پیک میدان الکتریکی ۵۰/۶۰ Hz واحد: میدان الکتریکی (V/m)	

<p style="text-align: center;">توضیح: میدانهای گذرای با فرکانس بالا سنسور: Cube of conductive foam sensitive to high-frequency E-fields پاسخ فرکانسی: ۲۰-۵ MHz زمان پاسخ: نسبتی از زمان که شدت میدان از ۲۰۰ V/m فراتر رود. نرخ نمونه برداری: ۶۰ ثانیه دامنه دینامیک: ۰/۸ ppb – ۸۹۴۸۰۰ ppm</p>	کانال ۳		
<p style="text-align: center;">مقیاس نهایی: مقیاس موقتی برای نرخ وقوع زودگذرها واحد: بخشی از زمان که زودگذرها از آستانه فراتر رود</p>	مقیاس مواجهه ۳		
برگه ثبت ارزیابی مواجهه			
<p>نام فرد: _____ شرکت: _____ تاریخ: _____ موقعیت: _____ دوزیمتر: _____ محل نصب: _____</p>	<p>سینه <input type="checkbox"/> کمر بند <input type="checkbox"/></p>		
<p>زمان (شروع و اتمام فعالیت)</p>	<p>محل (نام واحد، ایستگاه کاری و ...)</p>	<p>وظیفه/ فعالیت (توضیح فعلیتی که انجام می شود، وسایل، ولتاژ و ...)</p>	<p>روش کار (با دستکش، برق دار، عایق شده و ...)</p>

روش متوسط سنجش زمانی (TWA) میدان مغناطیسی ELF ^{۱۳}	
هدف	هدف: بررسی اپیدمیولوژیک راهبرد: پایش فردی
راهبرد نمونه برداری	توضیح: پایش فردی محل: الصاق به کمر بند مدت: کل شیفت انتخاب کارگر: انتخاب تصادفی از بین کارگرانی که برحسب عنوان شغلی دسته بندی شدند.
تجهیزات	دستگاه مدل AMEX-3D (Enertech Consultants, Campbell, CA) سنسور: کوئل القایی سه محوری (Three-axis induction coils) فرکانس پاسخ: فیلتر صاف پهنای باند ۱۲۰۰Hz - ۲۵ پیک آن در ۶۰ Hz زمان پاسخ: بزرگی متوسط بردار r.m.s در طول زمان که در سل الکترونیک یکپارچه می شوند. نرخ نمونه برداری: مداوم دامنه دینامیک: پاسخ خطی از ۹/۷ μT - ۰/۰۵ دقت: ±۲۵٪ در دامنه ۱۵ μT - ۰/۰۲
مقیاس مواجهه	مقیاس نهایی: بزرگی متوسط سنجش زمانی بردار r.m.s میدان مغناطیسی ELF واحد: چگالی شار مغناطیسی (μT) یا (mG)

اندازه گیری میدان های الکترومغناطیسی

روش اندازه گیری میدان مغناطیسی ELF اختصاصی شغل - وظیفه ^{۱۴}	
هدف	هدف: بررسی اپیدمیولوژیک، آموزش کارگر، مدیریت میدان راهبرد: پایش فردی
راهبرد نمونه برداری	توضیح: پایش فردی محل: الصاق به کمر بند مدت: کل شیفت، چند روز متوالی (۹- ۱ روز) انتخاب کارگر: انتخاب تصادفی از بین کارگرانی که برحسب عنوان شغلی دسته بندی شدند.
تجهیزات	دستگاه مدل EMDEX II (Enertech Consultants, Campbell, CA) سنسور: کوئل القایی سه محوری (Three-axis induction coils (ferrite-core) فرکانس پاسخ: فیلتر باند پهن (پهنای باند ۸۰۰-۴۰ Hz) زمان پاسخ: - انتگرال سیگنالهای کوئل القایی - r.m.s واقعی (زمان متوسط = ۱۰۰ میلی ثانیه) - تبدیل آنالوگ به دیجیتال نرخ نمونه برداری: به نحوی برنامه ریزی شده که هر ۱/۵ ثانیه نمونه بگیرد. دامنه دینامیک: تنظیم دامنه بطور خودکار در سه مقیاس ۴۰۰ μT - ۰/۰۱ دقت: ±۱۰٪ در دامنه ۱۰ μT - ۰/۰۱ و ±۱۲٪ در دامنه ۴۰۰ μT - ۱۰/۱
مقیاس مواجهه ۱	مقیاس نهایی: میانگین و فاصله اطمینان ۹۵٪ برای متوسط سنجش زمانی میدان مغناطیسی ELF با توجه به هر شغل و وظیفه واحد: چگالی شار مغناطیسی (μT) یا (mG)
مقیاس مواجهه ۲	مقیاس نهایی: میانگین و فاصله اطمینان ۹۵٪ برای میانگین هندسی بزرگی میدان مغناطیسی ELF با توجه به هر شغل و وظیفه واحد: چگالی شار مغناطیسی (μT) یا (mG)
مقیاس مواجهه ۳	مقیاس نهایی: میانگین و فاصله اطمینان ۹۵٪ برای انحراف معیار بزرگی میدان مغناطیسی ELF با توجه به هر شغل و وظیفه واحد: چگالی شار مغناطیسی (μT) یا (mG)
مقیاس مواجهه ۴	مقیاس نهایی: میانگین و فاصله اطمینان ۹۵٪ برای بخشی از میدانهای مغناطیسی ELF که از مقدار ۰/۵ μT فراتر هستند، با توجه به هر شغل و وظیفه واحد: چگالی شار مغناطیسی (μT) یا (mG)

روش اندازه گیری محیطی میدان الکتریکی و مغناطیسی ELF ^{۱۵}	
هدف	هدف: بررسی اپیدمیولوژیک راهبرد: اندازه گیری محیطی نقطه ای (Spot area measurements)
راهبرد نمونه برداری	توضیح: اندازه گیری محیطی محل: در فاصله ۱ متری منبع مدت: نقطه ای (آنی) انتخاب منبع: منابعی که احتمال ایجاد میدان الکترومغناطیسی قوی دارند.
تجهیزات	دستگاه مدل: Power-frequency Field Meter (Model 111, Electric Field Measurements, Inc., W. Stockbridge, MA) کانالها: ۱. میدان الکتریک ELF ۲. میدان مغناطیس ELF
کانال ۱	توضیح: میدان الکتریک ELF سنسور: free-body E-field sensor (قابل چرخش در سه جهت) پاسخ فرکانسی: فیلتر صاف (۳۵ - ۳۰۰ Hz) یا فیلتر خطی (۳۵ - ۳۰۰ Hz) زمان پاسخ: Average-sensing rms detector دامنه دینامیک: قابل تنظیم در ۱۱ دامنه که در کل ۱۰۰ kV/m - ۱ V/m را پوشش می دهند. دقت: ۰.۵٪
مقیاس مواجهه ۱	مقیاس نهایی: بزرگی بردار <i>r. m. s</i> میدان الکتریکی ELF واحد: میدان الکتریکی (V/m)
کانال ۲	توضیح: میدان مغناطیس ELF سنسور: Single-axis induction coil (air core) (قابل چرخش در سه جهت) پاسخ فرکانسی: فیلتر صاف (۳۵ - ۳۰۰ Hz) یا فیلتر خطی (۳۵ - ۳۰۰ Hz) زمان پاسخ: Integration of induction coil's signal Average-sensing rms detector دامنه دینامیک: ۱۰۰۰ A/m - ۰/۰۱ A/m (۱۲۵۰ μT - ۰/۰۱) را پوشش می دهند. دقت: ۰/۸٪ در دامنه ۳۰ μT - ۰/۰۳

مقیاس نهایی: بزرگی بردار <i>r.m.s</i> میدان مغناطیسی ELF واحد: چگالی شار مغناطیسی (μT) یا (mG)	مقیاس مواجهه ۲
--	----------------