مقاله پژوهشی

مجله سنجش و ایمنی پرتو، جلد ۸، شمارهٔ ۲، ویژه‌نامه پرتوهای غیریون‌ساز، ۱۳۹۸، صفحه ۲۱-۳۰

پنجمین کنفرانس ملی سنجش و ایمنی پرتوهای یون‌ساز و غیریون‌ساز (مهرماه ۱۳۹۷)

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۷/۰۶/۰۱، تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۷/۰۷/۰۱

# بررسی سیستم‌های سنجش و پایش امواج الکترومغناطیسی غیریونیزان

**رامین رمضانی، امید مهدوی* و هومن قلمی**

شرکت تدبیر سنجش توانا، تهران، ایران.

*تهران، بزرگراه اشرفی اصفهانی، بالاتر از تقاطع جلال آل احمد، خیابان طالقانی، ساختمان گلشن، پلاک ۱۲، طبقه ۵، واحد ۲۱، شرکت تدبیر سنجش توانا.

کدپستی: ۱٤٦۱٦-٥۳۳٦۹

پست الکترونیکی: omidmhdv@gmail.com

## چکیده

در مقاله حاضر به بررسی سیستم‌های اندازه‌گیری و پایش امواج الکترومغناطیسی غیریونیزان و نتایج برخی اندازه‌گیری‌های انجام شده در شهر تهران پرداخته خواهد شد. در ابتدا مروری بر استانداردها و توصیه‌نامه‌های مربوط به بهداشت و اندازه‌گیری امواج الکترومغناطیسی غیریونیزان من جمله استاندارد ملی ایران به شماره ۸۵٦۷ و استاندارد ICNIRP و توصیه نامه ITU-K.83 انجام گرفته و الزامات پایش امواج را بررسی خواهیم نمود. در ادامه به بررسی مشخصات فنی و نحوه عملکرد دو دستگاه پرتابل و آنلاین اندازه‌گیری امواج الکترومغناطیسی موجود در بازار ایران خواهیم پرداخت. نحوه انجام تنظیمات و پیکربندی دستگاه‌ها را مرور کرده و چگونگی اندازه گیری و نظارت بر شدت میدان اندازه گیری شده بررسی خواهد شد. در انتها نتایج برخی اندازه‌گیری‌های انجام شده در شهر تهران توسط دستگاه‌های پرتابل و آنلاین از لحاظ آماری بررسی خواهد شد.

**کلیدواژگان:** میدان‌های الکترومغناطیسی، اندازه‌گیری و پایش امواج، استاندارد ICNIRP، بهداشت امواج، توصیه‌نامه ITU-K.83

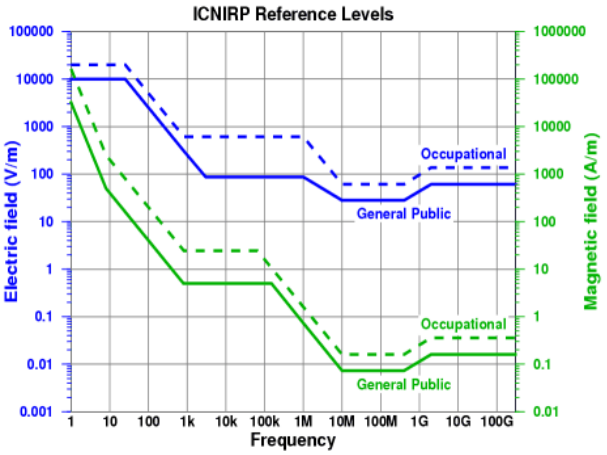
## ۱. مقدمه

میدان های الکترومغناطیسی برای عموم مردم نامحسوس و ناشناخته هستند. این عدم آگاهی و درک، باعث عدم اعتماد و پذیرش می‌شود که می‌تواند منجر به تضادهای اجتماعی و ایجاد تاخیر در استقرار و گسترش فناوری‌های جدید بی سیم شود [۱]. راه حل این مشکلات، کنترل انتشار امواج الکترومغناطیسی از طریق اندازه‌گیری‌ها و برقراری ارتباط مناسب است. اندازه گیری‌ها مشخص می‌کند شدت انتشار امواج در چه مکان‌هایی چه میزانی دارد و هنگامی که در قالبی قابل درک به مردم ارائه شود به از بین رفتن بی‌اعتمادی کمک می‌کند [۱].

این اندازه‌گیری‌ها در مکان‌هایی می‌تواند انجام گیرد که بیشترین حساسیت و نگرانی در آنجا دیده می شود مثل مکان‌هایی که افراد آسیب پذیر در آن وجود دارد (مثل مدارس، مهدکودک‌ها، بیمارستان‌ها، مراکز درمانی و ...) یا تحت تاثیر منبع یا منابع تابش امواج خاصی می‌باشد [۲-۵]. برای اینکه سنجش انجام گرفته قابل ارزیابی باشد، باید مقادیر شدت

میدان اندازه‌گیری شده با حدود تعیین شده توسط استانداردهای ملی و بین‌المللی مطابقت داشته باشد. مهم‌ترین مرجع تعیین کننده حدود مجاز پرتوگیری در ایران، استاندارد ملی ایران به شماره ۸۵۶۷ است که مشابه با استاندارد کمیسیون بین المللی حفاظت در برابر پرتوهای غیریونیزان[1] (ICNIRP) می‌باشد.

در این استاندارد حدود پرتوگیری در معرض پرتوهای غیریونساز شامل پرتوهای الکترومغناطیسی در محدوده فرکانس صفر تا ۳۰۰GHz و همچنین پرتوهای فراصوت ارائه شده است [۶]. شکل زیر، نمودار حدود پرتوگیری مردمی و شغلی تعیین شده توسط ICNIRP را برای میدان‌های الکتریکی و مغناطیسی نشان می دهد:




**شکل (۱): حدود پرتوگیری مردمی و شغلی تعیین شده توسط ICNIRP برای میدان‌های الکتریکی و مغناطیسی.**

## ۲. الزامات دستگاه سنجش

کار دستگاه اندازه‌گیری، محاسبه شدت میدان مبتنی بر اطلاعات دریافت شده از پراب است. حساسیت دستگاه باید برای تمایز شدت میدان کافی باشد. به طور مشابه، رنج دینامیک دستگاه باید با مقادیر اندازه‌گیری تطبیق داده شود. پراب به همراه دستگاه اندازه‌گیری باید مقدار مربع میانگین ریشه (RMS)[2] شدت میدان را اندازه‌گیری کند. به علاوه، دستگاه باید قادر به اندازه‌گیری پیوسته در بازه‌های مشخص باشد. نرخ نمونه برداری حداقل ۱ ثانیه توصیه می‌شود و متوسط دوره باید ۶ دقیقه باشد که توسط ICNIRP مشخص شده است [۶] و باید با مد پیوسته با زمان[3] باشد تا از حذف داده‌ها اجتناب شود که توسط استاندارد ارائه شده توسط IEEE[4] بیان گردیده است [۷]. باید حافظه کافی برای ذخیره مقادیر اندازه‌گیری وجود داشته باشد که حداقل اطلاعات یک هفته را ذخیره نماید. همچنین دستگاه باید در صورت پدید آمدن اشکال در سیستم اندازه‌گیری، قادر به ارسال آلارم باشد. دستگاه اندازه‌گیری باید با شرایط محیطی مکان اندازه‌گیری (مثل دما، رطوبت، سرعت باد، ارتعاش) که در مدت اندازه‌گیری می‌تواند وجود داشته باشد، سازگار باشد [۱].

## ۳. الزامات پراب سنجش

پراب پهن باند تمام تشعشعات را در باند فرکانسی مورد نظر اندازه‌گیری می‌کند. باید از یک پراب پهن باند مناسب استفاده کرد که باند مورد نظر را پوشش می‌دهد. این پراب باید ایزوتروپ (دارای توان اندازه‌گیری همزمان روی محور x، y و z) باشد و انحراف پراب ایزوتروپ باید در دامنه فرکانس تا ۳ گیگاهرتز کم تر از ۲/۵ dB و برای ۳ تا ۶ گیگاهرتز کم تر از ۳/۵ dB باشد. سنجش در ارتفاع مورد نظر (معمولا ۱/۵ متر بالاتر از سطح زمین) انجام می‌شود. همچنین برهم‌کنش بین پراب‌ها، پوشش محافظ و تجهیزات سنجش باید برای ارزیابی ایزوتروپی، حساسیت و عدم قطعیت سنجش مد نظر قرار گیرند [۱].

[1] International commission on non-ionizing radiation protection

[2] Root Mean Square
[3] sliding
[4] Institute of Electrical and Electronics Engineers

## ۴. کنترل مرکزی سیستم پایش

وظیفه کنترل مرکزی سیستم پایش، نظارت بر پایش امواج الکترومغناطیسی توسط دستگاه‌ها است. داده‌های اندازه گیری توسط درگاه‌های ارتباطی مربوطه به کنترل سنتر ارسال می‌شود و با استفاده از رابط کنترل پنل و لینک وبی که در اختیار قرار می‌گیرد داده ها بر روی نمودار قابل مشاهده هستند. همچنین تنظیمات دستگاه و سایت‌ها نیز قابل مشاهده و ویرایش می‌باشد [۱].

## ۵. دستگاه پرتابل سنجش امواج الکترومغناطیسی و مشخصات

مشخصات فنی دستگاه پرتابل سنجش امواج الکترومغناطیسی در جدول زیر آورده شده است [۸-۹].

**جدول (۱): مشخصات دستگاه پرتابل سنجش امواج الکترومغناطیسی.**

| مشخصه | توضیحات |
|---|---|
| پراب میدان | شناسایی اتوماتیک پراب |
| طیف اندازه گیری پهن باند | ۰ تا ۴۰GHz |
| تحلیل طیف فرکانسی | تا ۴۰۰kHz |
| روش پیک وزنی | ۱ تا ۴۰۰kHz |
| مقادیر نشان داده شده روی بازه ذخیره سازی مقادیر | لحظه ای، مینیمم، ماکزیمم و مولفه های x، y و z |
| روش های میانگین گیری | قابل تنظیم از ۰/۵ ثانیه تا ۶ دقیقه |
| بازه های میانگین گیری | پیوسته با زمان |
| ظرفیت حافظه | ۱۰ ثانیه تا ۳۰ دقیقه |
| سیستم GPS | بیش از ۱ میلیون نمونه |
| | نصب شده بر روی برد دستگاه |

دستگاه پرتابل اندازه‌گیری امواج دارای قابلیت آنالیز فرکانسی و همچنین اندازه‌گیری پهن باند می‌باشد. با استفاده از پراب‌های سنجش میدان‌های مغناطیسی و الکتریکی در محدوده فرکانسی ۰ تا ۴۰GHz (بسته به نوع پراب)، دستگاه پرتابل سنجش امواج مقادیر RMS را در شدت میدان پایین تر از ۴۵V/m به ما خواهد داد.

## ۶. پراب های سنجش میدان الکترومغناطیسی و مشخصات

دستگاه‌های سنجش امواج الکترومغناطیسی دارای پراب ایزوتروپ سه محوره با رنج‌های فرکانسی مختلفی (بسته به کاربرد) هستند. یکی از متداول‌ترین نوع این پراب‌ها، پراب پهن باند در رنج فرکانسی ۳۰۰ kHz تا ۱۸ GHz است و مشخصات فنی آن به شرح زیر می‌باشد:

**جدول (۲): مشخصات پراب سنجش امواج الکترومغناطیسی.**

| مشخصات پراب | توضیحات |
|---|---|
| نوع سنسور | ایزوتروپیک، تکنولوژی دیود RMS |
| باند فرکانسی | ۳۰۰kHz تا ۱۸GHz |
| رنج اندازه گیری | ۰/۵ تا ۳۵۰V/m (CW) |
| | ۰/۵ تا ۴۵V/m (RMS) |
| رنج دینامیک | ۵۴dB |
| حساسیت | ۰/۵V/m |
| رزولوشن | ۵%> |
| پاسخ فرکانسی | ±۲dB (۱MHz تا ۵GHz) |
| | ۰/-۶dB (۵GHz تا ۱۸GHz) |
| خطی بودن | ±۰/۵dB (۱V/m تا ۱۵۰V/m) |
| انحراف ایزوتروپیک | ±۱/۲dB (تا ۱۰GHz) |
| | ±۳dB (۱۰GHz تا ۱۸GHz) |
| دمای کارکرد | ۲۰°C- تا ۵۰°C+ |
| پاسخ دمایی | ۰/۱/-۱dB+ (نسبت به ۲۰°C) |
| | ۰/۳/-۰/۳dB+ (نسبت به ۱۰°C تا ۳۰°C) |
| نوع پاسخ فرکانسی | تخت |
| کالیبراسیون | آزمایشگاه ISO 17025 دارای گواهی از ILAC |

## ۷. دستگاه پایش امواج الکترومغناطیسی و مشخصات

دستگاه اندازه گیری امواج الکترومغناطیسی مورد بررسی دارای قابلیت پایش شبانه روزی میدان‌ها و اندازه‌گیری پهن باند می‌باشد. بدنه حفاظتی این دستگاه دارای ضریب حفاظت مطلوب IP66 بوده و ساخت و عملکرد این دستگاه با شرایط بیان شده در توصیه‌نامه ITU-K.83 تطابق کامل دارد. همچنین

این سیستم دارای یک کنترل سنتر است که قابلیت کنترل و انجام تنظیمات دستگاه و پایش لحظه‌ای شدت میدان از راه دور را فراهم می کند. ارتباط کنترل سنتر و دستگاه توسط ماژول GSM که بر روی برد اصلی دستگاه قرار گرفته انجام می‌پذیرد. این سیستم به صورت مستقل از شبکه برق نصب شده و توسط پنل خورشیدی تعبیه شده بر روی آن انرژی خود را از نور خورشید فراهم می‌نماید.

میدان‌های الکترو مغناطیسی بوسیله پراب، سنجش گردیده و توسط برد اصلی پردازش می‌گردند و در زمان های مشخص که قابل تنظیم می باشد، از طریق مودم GPRS/3G و سیم‌کارت تعبیه شده در آن به کنترل سنتر فرستاده می شود و اطلاعات فرستاده شده از طریق دسترسی به اینترنت و وب سایت کنترل سنتر قابل مشاهده برای کلیه کاربران می باشد. مشخصات فنی این سیستم به صورت زیر می‌باشد:

**جدول (۳): مشخصات دستگاه پایش امواج الکترومغناطیسی.**

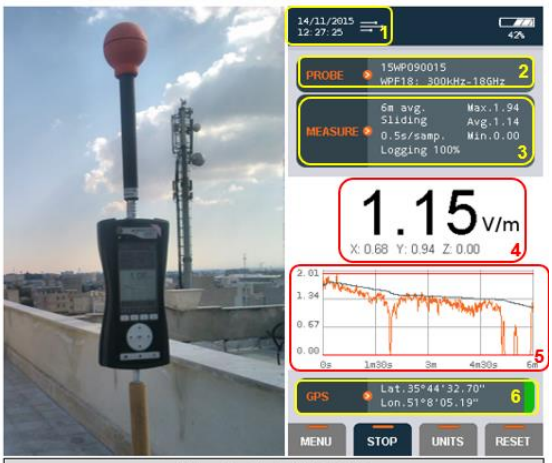
| مشخصه | وضعیت |
|---|---|
| نوع سنسور | ایزوتروپیک (اندازه‌گیری همزمان سه محور)، فناوری RMS |
| سیستم پراب‌ها | قابل تعویض از ۱ تا ۴۰GHz |
| فرکانس نمونه‌گیری | ۵۰۰ میلی ثانیه |
| میانگین‌گیری | ۶ دقیقه به روش sliding |
| مدت زمان ذخیره داده | قابل تنظیم از ۰/۵ ثانیه تا ۶ دقیقه |
| حافظه | Eprom + MicroSD |
| ارتباط بدون سیم | مودم 3G/GPRS |
| آلارم‌های قابل تنظیم | مقدار شدت میدان، ضعیف بودن باتری، خاموشی موقت (hibernation)، مشکل در اتصال، کالیبراسیون، هشدار دما و پراب |
| لاگ عملکرد دستگاه | دما، اتصالات، منبع تغذیه، مدهای عملکردی، ... |
| منبع تغذیه | AC 110-220V برق شهری<br>12V DC، پنل خورشیدی و باتری |
| مدت زمان کارکرد باتری | تا ۱۰ روز بدون نور خورشید |
| ضریب حفاظتی بدنه دستگاه | IP66 |
| تطابق با استانداردهای بین المللی | ITU K.83 |

## ۸. اندازه‌گیری با استفاده از دستگاه پرتابل سنجش امواج الکترومغناطیسی

برای انجام اندازه‌گیری با دستگاه پرتابل در ابتدا باید تنظیمات دستگاه را انجام داد. برای این کار باید توجه نمود که میانگین‌گیری دستگاه بر اساس استاندارد ICNIRP به مدت زمان ۶ دقیقه باشد.

طبق توصیه نامه ITU-K.83 دستگاه باید بر روی سه پایه چوبی با ارتفاع ۱/۵ متر از سطح زمین نصب گردد و پس از شروع اندازه‌گیری اشیاء فلزی و بدن انسان باید تا ۲ متر از دستگاه فاصله داشته باشند. پس از ۶ دقیقه اندازه‌گیری عدد میانگین به عنوان میزان تشعشع آن نقطه در نظر گرفته خواهد شد و با حدود تعیین شده توسط استاندارد مقایسه خواهد شد. برای محدوده فرکانسی ۳۰۰kHz تا ۱۸ GHz حد سختگیرانه شدت میدان ۲۸ V/m تعیین شده است. دستگاه مذکور به منظور بهره‌برداری بهتر از داده‌ها دارای قابلیت GPS می‌باشد. این قابلیت این امکان را می‌دهد که مختصات جغرافیایی مکان اندازه‌گیری شده ثبت شده و در گزارشات مورد استفاده قرار گیرد.

**شکل (۲): دستگاه پرتابل.**




| اطلاعات استخراج شده از دستگاه | |
|---|---|
| آدرس: ورد آورد – خیابان قرنی – بن بست انقلاب – پلاک ۱۳ | |
| تاریخ: ۹۴/۰۸/۲۳ ساعت: ۱۲:۲۱ | مقدار میانگین: ۱/۱۴ V/m |
| پراب: WPF18 : 300kHz – 18GHz | مقدار ماکزیمم: ۱/۹۴ V/m |
| مدت زمان میانگین گیری: ۶ دقیقه | مقدار مینیمم: ۰۰/۰ V/m |
| طول و عرض جغرافیایی: | بازه نمونه گیری: ۰/۵ ثانیه |
| Lat:35.742421 Long:51.13479 | |

**شکل (۳): صفحه نمایش (اسکرین شات) دستگاه پرتابل حین اندازه‌گیری (بالا سمت راست)، تصویری از مکان واقعی انجام اندازه‌گیری (بالا سمت چپ) و خلاصه‌ای از وضعیت اندازه‌گیری انجام شده (جدول پایین).**

شکل (۳)، تصویری از صفحه نمایش (اسکرین شات) دستگاه پرتابل حین اندازه‌گیری، تصویری از مکان واقعی انجام اندازه‌گیری و خلاصه‌ای از وضعیت اندازه‌گیری انجام شده را نشان می‌دهد. بخش‌های مختلف صفحه نمایش دستگاه با شماره‌های ۱ تا ٦ مشخص شده‌اند. موارد مختلف نمایش داده شده بر روی صفحه نمایش دستگاه به شرح زیر می‌باشند:

- قسمت ۱: تاریخ و ساعت اندازه‌گیری
- قسمت ۲: شماره سریال و بازه اندازه‌گیری فرکانسی دستگاه
- قسمت ۳: مشخصات اندازه گیری انجام شده شامل:
  - بازه زمانی میانگین‌گیری (در اینجا ٦ دقیقه)
  - نوع میانگین‌گیری (در اینجا sliding)
  - نرخ نمونه‌گیری (در اینجا ۲ نمونه بر ثانیه)
  - میزان زمان گذشته از اندازه‌گیری بر حسب درصد (در اینجا اندازه‌گیری به اتمام رسیده است)
  - مقادیر ماکزیمم، مینیمم و میانگین اندازه‌گیری از شروع تا این لحظه
- قسمت ٤: عددهای x، y و z نشان دهنده مختصات x، y و z میدان الکتریکی و عدد بزرگ مقدار کل شدت میدان
- قسمت ٥: نمودار تغییرات شدت میدان از شروع اندازه‌گیری تا این لحظه
- قسمت ٦: مختصات طول و عرض جغرافیایی محل اندازه‌گیری

در تصویر مکان واقعی انجام اندازه‌گیری، موقعیت آنتن و دستگاه پرتابل نسبت به هم دیده می‌شود که در درک بهتر وضعیت تشعشع آنتن با توجه به مقادیر شدت میدان اندازه‌گیری شده کمک می‌نماید. در قسمت پایین این شکل نیز، جدولی شامل موارد زیر آورده شده است:

- آدرس، تاریخ و ساعت مکان اندازه‌گیری
- مدل و بازه فرکانسی اندازه‌گیری پراب
- مدت زمان میانگین گیری و بازه نمونه‌گیری
- طول و عرض جغرافیایی مکان اندازه‌گیری
- مقادیر ماکزیمم، مینیمم و میانگین شدت میدان در مدت اندازه‌گیری

## ۹. مانیتورینگ امواج با استفاده از دستگاه پایش آنلاین

دستگاه پایش آنلاین قابلیت اندازه‌گیری شبانه‌روزی و ۲٤ ساعته شدت امواج الکترومغناطیسی را دارا می‌باشد. این دستگاه شدت میدان در هر ۰/۵ ثانیه را اندازه‌گیری کرده و میانگین این داده‌ها در بازه‌های ٦ دقیقه‌ای را محاسبه و در کارت حافظه ذخیره می‌کند. سپس داده‌های اندازه‌گیری را در کارت حافظه ذخیره کرده و در بازه‌های زمانی معین به کنترل سنتر ارسال می‌کند. کنترل سنتر بر روی سرور خاصی نصب

شده است و وظیفه آن کنترل دستگاه‌ها، نمایش داده‌های اندازه‌گیری شده و انجام تنظیمات مربوط به شبکه پایش است. روند اندازه‌گیری توسط دستگاه‌های پایش به اینصورت است که در ابتدا کارت حافظه و سیم کارت مربوطه بر روی دستگاه نصب شده و تنظیمات مربوط به دستگاه انجام می‌گیرد. پس از آن اطلاعات مربوط به سرور من جمله آدرس و پورت آن وارد می‌شود. در ادامه آلارم‌های مربوطه تنظیم شده و در نهایت تست ارتباط با سرور گرفته می‌شود. در صورتی که تست با موفقیت انجام گرفت، دستگاه آماده اندازه‌گیری و ارسال اطلاعات به کنترل سنتر می‌باشد.

**شکل (۴): دستگاه پایش امواج.**

## ۱۰. برخی از نتایج اندازه گیری های انجام شده در شهر تهران

در برخی از نقاط شهر تهران، اندازه‌گیری‌هایی توسط سیستم پرتابل و همچنین آنلاین پایش امواج الکترومغناطیسی در شهر تهران انجام گرفت. اندازه‌گیری پرتابل طبق استاندارد ICNIRP به صورت ٦ دقیقه‌ای و اندازه گیری‌های آنلاین نیز با توجه به موارد ذکر شده در توصیه نامه ITU-K.83 انجام شد. مشخصات کلی این اندازه گیری‌ها در جدول زیر دیده می‌شود.

**جدول (۴): مشخصات کلی اندازه‌گیری‌های انجام شده (پرتابل و آنلاین).**

| مشخصات اندازه‌گیری‌های انجام شده | واحد | پرتابل | آنلاین | کل |
|---|---|---|---|---|
| تعداد کل مجموعه داده‌ها | – | ٤٠ | ٥ | ٤٥ |
| مجموع کل داده‌های شدت میدان الکترومغناطیسی | – | ٢٨٨٠٠ | ٢٥٤٠ | ٣١٣٤٠ |
| میانگین مدت زمان استقرار ایستگاه ها (روز) | روز | – | ١٠ | – |
| کل زمان پایش و اندازه‌گیری (دقیقه) | دقیقه | ٢٤٠ | ٧٢٠٠٠ | ٧٢٢٤٠ |

### ۱،۱۰. نتایج اندازه‌گیری‌های پرتابل

تعداد ٤٠ نقطه در سطح شهر تهران برای اندازه‌گیری پرتابل شدت میدان الکترومغناطیسی انتخاب شد. سعی شد تا این اندازه‌گیری‌ها در مجاورت آنتن‌های BTS تلفن همراه باشد یا جایی که در معرض پرتوگیری از این آنتن‌ها قرار دارد. دستگاه بر روی سه پایه چوبی قرار گرفته، ٦ دقیقه اندازه‌گیری انجام شده و میانگین آن به عنوان عدد مرجع آن مکان در نظر گرفته شده است. در جدول زیر، مقادیر متوسط شدت میدان (بر حسب V/m) برای این ٤٠ مکان قابل مشاهده است.

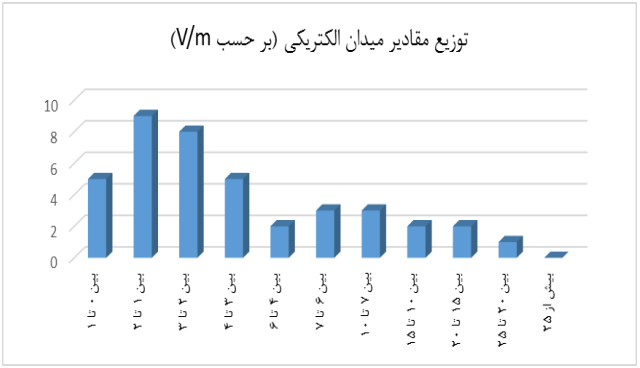
**جدول (۵): مقادیر شدت میدان متوسط در ۴۰ مکان اندازه‌گیری شده با دستگاه پرتابل.**

| ردیف | مقدار | ردیف | مقدار | ردیف | مقدار | ردیف | مقدار |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ١ | ٢/٤٥ | ١١ | ٩/٠٥ | ٢١ | ٢/٨١ | ٣١ | ٢/٥٤ |
| ٢ | ١٦/٣٧ | ١٢ | ٤/١١ | ٢٢ | ١/٠٥ | ٣٢ | ٢٢/٦٤ |
| ٣ | ١/١٦ | ١٣ | ٧/٣٦ | ٢٣ | ٢/٦٧ | ٣٣ | ٣/٥١ |
| ٤ | ٠/٥٦ | ١٤ | ٣/٤ | ٢٤ | ١٩/٠٥ | ٣٤ | ٢/٥٩ |
| ٥ | ٧/١٦ | ١٥ | ١/٥٢ | ٢٥ | ٣/٥٣ | ٣٥ | ٣/٣٩ |
| ٦ | ٠/٦٣ | ١٦ | ٠/٢١ | ٢٦ | ٢/٩٦ | ٣٦ | ٠/٠٢ |
| ٧ | ٢/٠٨ | ١٧ | ٦/١٤ | ٢٧ | ١/٤٤ | ٣٧ | ٢/٤٣ |
| ٨ | ١/٣ | ١٨ | ١/٤٤ | ٢٨ | ١٣/٠٨ | ٣٨ | ١/٦٤ |
| ٩ | ١/٦٦ | ١٩ | ٥ | ٢٩ | ٣/١٩ | ٣٩ | ١٠/٤٢ |
| ١٠ | ٦/٣٨ | ٢٠ | ٦/٦٥ | ٣٠ | ٠/٣٩ | ٤٠ | ١/٥٥ |

**میانگین کل اندازه گیری ها: ۴/۶۴ V/m**

**شکل (۵): برخی از اسکرین شات های گرفته شده از دستگاه پرتابل.**

در شکل زیر، توزیع تعدادی میانگین اندازه گیری ها در دستگاه‌های پرتابل نشان داده شده است.

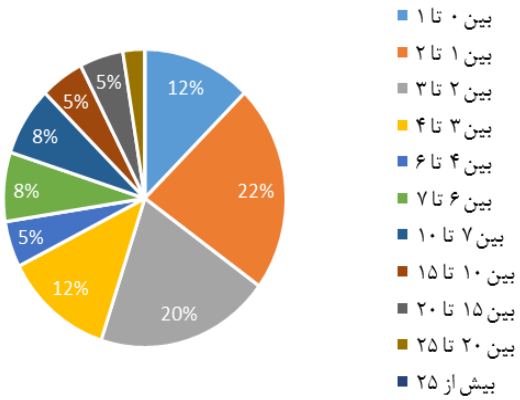



**شکل (۶): نمودار توزیع نسبی اندازه‌گیری‌های پرتابل در بازه های مختلف.**

**جدول (۶): توزیع نسبی اندازه‌گیری‌های پرتابل در بازه‌های مختلف.**

| بازه | بین ۰ تا ۱ | بین ۱ تا ۲ | بین ۲ تا ۳ | بین ۳ تا ٤ | بین ٤ تا ٦ | بین ٦ تا ۷ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| تعداد | ۵ | ۹ | ۸ | ٥ | ۲ | ۳ |
| بازه | بین ۷ تا ۱۰ | بین ۱۰ تا ۱۵ | بین ۱۵ تا ۲۰ | بین ۲۰ تا ۲۵ | بیش از ۲۵ | |
| تعداد | ۳ | ۲ | ۲ | ۱ | ۰ | |

در شکل ۷، میزان سهم بازهای مختلف شدت میدان از کل ٤٠ اندازه‌گیری انجام شده بر حسب درصد نشان داده شده است.




**شکل (۷): نمودار توزیع درصدی اندازه‌گیری‌های پرتابل در بازه‌های مختلف.**

**جدول (۷): توزیع درصدی اندازه‌گیری‌های پرتابل در بازه های مختلف.**

| بازه | بین ۰ تا ۱ | بین ۱ تا ۲ | بین ۲ تا ۳ | بین ۳ تا ۴ | بین ۴ تا ۶ | بین ۶ تا ۷ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| تعداد | ٪۱۲ | ٪۲۲ | ٪۲۰ | ٪۱۲ | ٪۵ | ٪۸ |
| بازه | بین ۷ تا ۱۰ | بین ۱۰ تا ۱۵ | بین ۱۵ تا ۲۰ | بین ۲۰ تا ۲۵ | بیش از ۲۵ | |
| تعداد | ٪۸ | ٪۵ | ٪۵ | ٪۳ | ٪۰ | |

همان‌طور که در جدول و شکل فوق دیده می‌شود، ٥٤٪ اندازه‌گیری‌ها در بازه بین ۰ تا ۳ V/m بوده است. همچنین، دیده می‌شود که بازه بین ۳ تا ٦ V/m میزان ۱۷٪ اندازه‌گیری‌ها را در خود جای داده است. بازه های ٦ تا ۱۰ V/m و ۱۰ تا ۲۰ V/m به ترتیب شامل ۱٦٪ و ۱۰٪ اندازه گیری‌ها می‌باشد و در نهایت در ۳٪ اندازه گیری‌ها دیده شده که میزان شدت امواج الکترومغناطیسی بین ۲۰ تا ۲۵ V/m می باشد. همانطور که دیده می‌شود، در هیچیک از اندازه گیری‌ها، شدت میدان از ۲۵ V/m تجاوز نکرده است. آمار ارائه شده نشان‌دهنده این است که میزان تشعشع امواج الکترومغناطیسی زیر حد تعیین شده توسط استاندارد جهانی می‌باشد.

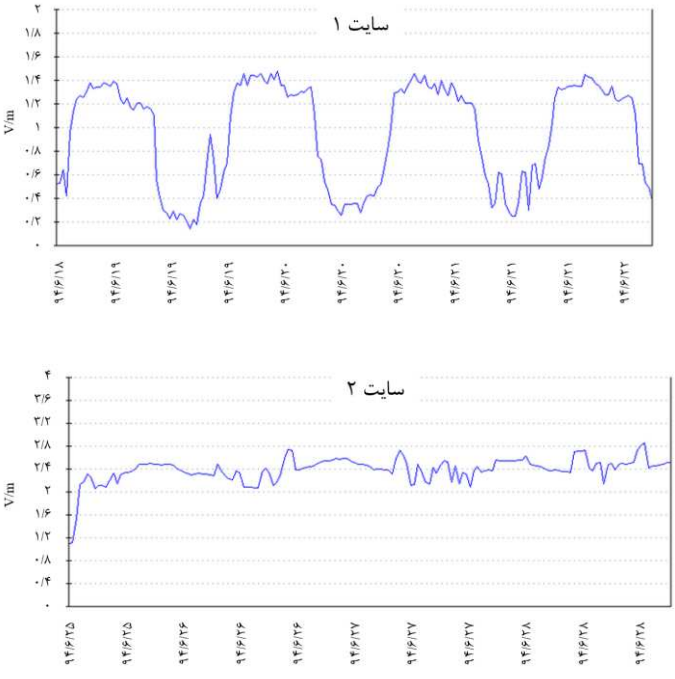
در جدول ۸، تعداد اندازه‌گیری‌های پرتابل در هر بازه مهم دیده می‌شود.

جدول (۸): تعداد اندازه‌گیری های پرتابل در هر بازه مهم.

| محدوده میدان (V/m) | تعداد |
|---|---|
| بین ۰ تا ۱ | ۵ |
| بین ۱ تا ۳ | ۱۷ |
| بین ۳ تا ۱۰ | ۱۳ |
| بین ۱۰ تا ۱۵ | ۲ |
| بین ۱۵ تا ۲۰ | ۲ |
| بین ۲۰ تا ۲۵ | ۱ |
| بالاتر از ۲۵ | ۰ |

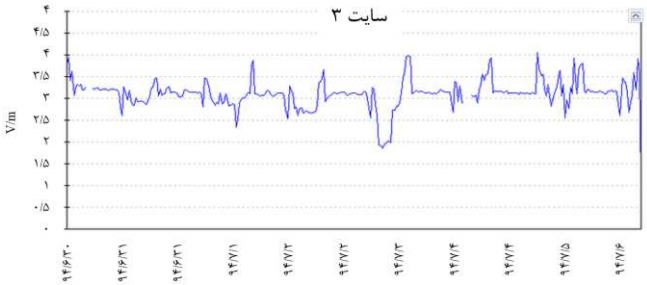
## ۲,۱۰. نتایج اندازه گیری‌های آنلاین

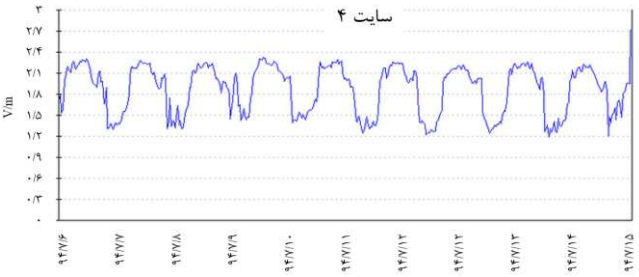
همان طور که قبلا نیز بیان شد، نتایج اندازه‌گیری‌های آنلاین به صورت نمودار در کنترل پنل قابل مشاهده هستند. تعداد ۵ ایستگاه در نقاط مختلف شهر تهران در بازه‌های زمانی بین ۳ روز تا ۱ ماه قرار گرفتند و به صورت شبانه‌روزی میزان شدت میدان را اندازه‌گیری و به کنترل سنتر ارسال کردند. نمودار شدت میدان الکتریکی اندازه‌گیری شده توسط ۵ دستگاه آنلاین در مدت زمان‌های مشخص به صورت شکل زیر می‌باشد.

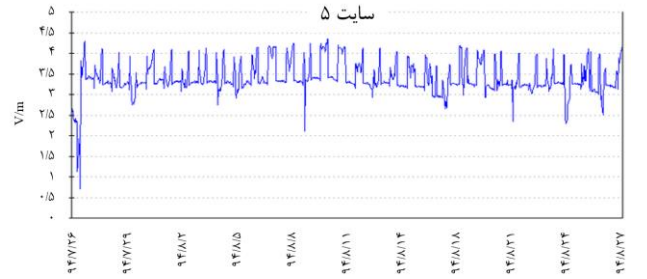









**شکل (۸): نمودارهای شدت میدان الکتریکی اندازه گیری شده توسط ۵ دستگاه آنلاین.**

همان‌طور که در این نمودارها دیده می‌شود، میزان شدت امواج در هیچ یک از این سایت ها از ٤/٥ V/m عبور نکرده است. میزان متوسط شدت میدان الکتریکی در پایش‌های انجام شده در ۵ سایت فوق و متوسط کل سایت‌ها در جدول زیر آورده شده است.

**جدول (۹): میزان متوسط شدت میدان الکتریکی در پایش‌های انجام شده در ۵ سایت آنلاین.**

| سایت | سایت ۱ | سایت ۲ | سایت ۳ | سایت ۴ | سایت ۵ | متوسط کل سایت ها |
|---|---|---|---|---|---|---|
| مقدار متوسط | ۰/۹۵ | ۲/۳۹ | ۳/۱۰ | ۱/۸۷ | ۳/۳۸ | ۲/۳۳۸ |

## ۱۱. نتیجه‌گیری

در مقاله حاضر، بررسی سیستم‌های اندازه‌گیری پرتابل و آنلاین شدت میدان الکترومغناطیسی انجام گرفت. در ادامه اجزای مختلف و نحوه عملکرد دستگاه‌های آنلاین و پرتابل به همراه الزامات تعیین شده برای در آنها استانداردهای بین‌المللی تشریح گردید. در انتها نیز نتایج چندین اندازه‌گیری انجام شده توسط دستگاه‌های پرتابل و آنلاین در شهر تهران از لحاظ آماری تحلیل گردید. متوسط شدت میدان الکترومغناطیسی در ٤٠ اندازه‌گیری پرتابل انجام شده برابر با ٤/٦٤ V/m و در ٥ اندازه‌گیری آنلاین برابر با ۲/۳۳۸ V/m بوده است. با توجه به سطوح سختگیرانه استاندارد ملی و استاندارد ICNIRP که برای بازه اندازه گیری پراب دستگاه‌های مذکور (۳۰۰ kHz تا ۱۸ GHz) برابر با ۲۸ V/m است، متوسط میزان پرتوگیری در نقاط اندازه‌گیری شده پرتابل و آنلاین به ترتیب تقریبا ۱۷٪ و ۸٪ حد استاندارد می‌باشد. همانطور که ITU-K.83 بیان می‌کند، برای برطرف کردن نگرانی مردم نیاز است که سنجش و پایش امواج الکترومغناطیسی انجام گرفته و نتایج آن به سمع و نظر آنها برسد، بنابراین توسعه پروژه‌های اندازه‌گیری امواج الکترومغناطیسی کمک شایانی به افزایش آگاهی و بالا رفتن اعتماد و اطمینان افراد جامعه به فناوری‌های جدید خواهد نمود.

## ۱۲. مراجع

[1] ITU-T K.83, Monitoring of electromagnetic field levels, Telecommunication Standardization Sector of ITU, (2011).

[2] ITU-T K.52, Guidance on complying with limits for human exposure to electromagnetic fields, Telecommunication Standardization Sector of ITU, (2004).

[3] ITU-T K.61, Guidance on measurement and numerical prediction of electromagnetic fields for compliance with human exposure limits for telecommunication installations, Telecommunication Standardization Sector of ITU, (2008).

[4] ITU-T K.70, Mitigation techniques to limit human exposure to EMFs in the vicinity of radiocommunication stations, Telecommunication Standardization Sector of ITU, (2007).

[5] ITU-T K.100, Measurement of radio frequency electromagnetic fields to determine compliance with human exposure limits when a base station is put into service, Telecommunication Standardization Sector of ITU, (2014).

[6] International Commissions on NON-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP), ICNIRP Guidelines, (2010).

[7] IEEE Std C95.1, IEEE Standards for safety levels with respect to human exposure to radio frequency electromagnetic fields 3kHz to 300GHz, (1999).

[8] http://governancaradioelectrica.gencat.cat , visited at Jul 2018, (2018).

[9] Wavecontrol.com, visited at Jul 2018, (2018).