

## بررسی سیستم‌های سنجش و پایش امواج الکترومغناطیسی غیر یونیزان

رامین رضائی، 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: ۱۴۶۱۶-۵۳۳۶۹

پست الکترونیکی: [omidmhdv@gmail.com](mailto:omidmhdv@gmail.com)

### چکیده

در مقاله حاضر به بررسی سیستم‌های اندازه‌گیری و پایش امواج الکترومغناطیسی غیر یونیزان 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 غیر یونیزان من جمله استاندارد ملی ایران به شماره ۸۵۶۷ 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 اندازه‌گیری و نظارت بر شدت میدان اندازه‌گیری 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

میدان‌های 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 بی‌سیم شود [۱]. راه حل این مشکلات، کنترل انتشار امواج الکترومغناطیسی از طریق اندازه‌گیری‌ها و برقراری ارتباط مناسب است. اندازه‌گیری‌ها 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 می‌شود 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

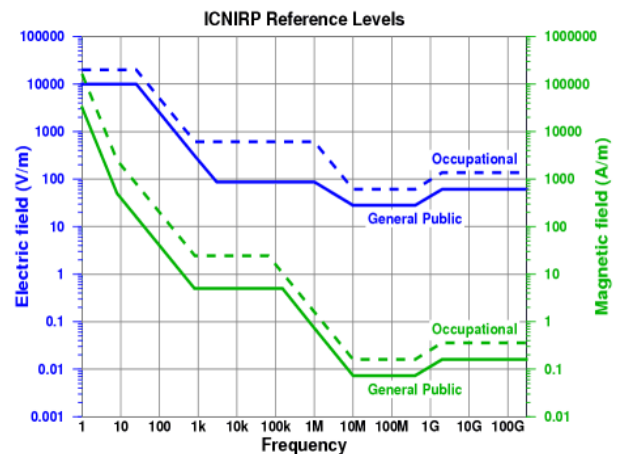
دینامیک دستگاه باید با مقادیر اندازه‌گیری تطبیق داده شود. پراب به همراه دستگاه اندازه‌گیری باید مقدار مربع میانگین ریشه  $^2$  (RMS) شدت میدان را اندازه‌گیری کند. به علاوه، دستگاه باید قادر به اندازه‌گیری پیوسته در بازه‌های مشخص باشد. نرخ نمونه برداری حداقل ۱ ثانیه توصیه می‌شود و متوسط دوره باید ۶ دقیقه باشد که توسط ICNIRP مشخص شده است [۶] و باید با مد پیوسته با زمان<sup>۳</sup> باشد تا از حذف داده‌ها اجتناب شود که توسط استاندارد ارائه شده توسط IEEE<sup>۴</sup> 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 آلام 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].

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 بین‌المللی حفاظت در برابر پرتوهای غیر یونیزان<sup>۱</sup> (ICNIRP) می‌باشد.

در این استاندارد حدود پرتوگیری در معرض پرتوهای غیر یونساز شامل پرتوهای الکترومغناطیسی در محدوده فرکانس صفر تا ۳۰۰ GHz 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 می‌دهد:



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

<sup>2</sup> Root Mean Square

<sup>3</sup> sliding

<sup>4</sup> Institute of Electrical and Electronics Engineers

<sup>1</sup> International commission on non-ionizing radiation protection

#### ۴. کنترل مرکزی سیستم پایش

وظیفه کنترل مرکزی سیستم پایش، نظارت بر پایش امواج الکترومغناطیسی توسط دستگاه‌ها است. داده‌های اندازه‌گیری توسط درگاه‌های ارتباطی مربوطه به کنترل سنتر ارسال می‌شود و با استفاده از رابط کنترل پنل و لینک وبی که در اختیار قرار می‌گیرد داده‌ها 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 اندازه‌گیری پهن باند	۰ تا ۴۰ GHz
تحلیل طیف فرکانسی	تا ۴۰۰ kHz
روش پیک وزنی	۱ تا ۴۰۰ kHz
مقادیر نشان داده شده روی	لحظه‌ای، مینیمم، ماکزیمم و مولفه های X, Y و Z
بازه ذخیره سازی مقادیر	قابل تنظیم از ۰/۵ ثانیه تا ۶ دقیقه
روش های میانگین گیری	پيوسته با زمان
بازه های میانگین گیری	۱۰ ثانیه تا ۳۰ دقیقه
ظرفیت حافظه	بیش از ۱ میلیون نمونه
سیستم GPS	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 ۴۰ GHz (بسته به نوع پراب)، دستگاه پرتابل سنجش امواج مقادیر RMS را در شدت میدان پایین تر از ۴۵ V/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	۳۰۰ kHz تا ۱۸ GHz
رنج اندازه‌گیری	۰/۵ تا ۳۵۰ V/m (CW)
رنج دینامیک	۰/۵ تا ۴۵ V/m (RMS)
حساسیت	۰/۵ V/m
رزولوشن	> ۵%
پاسخ فرکانسی	±۲ dB (۱ MHz تا ۵ GHz)
خطی بودن	±۰/۵ dB (۱ V/m تا ۱۵۰ V/m)
انحراف ایزوتروپیک	±۱/۲ dB (تا ۱۰ GHz)
دمای کارکرد	۲۰°C تا ۵۰°C
پاسخ دمایی	±۱/۱ dB (نسبت به ۲۰°C)
نوع پاسخ فرکانسی	±۰/۳/-۰/۳ dB (نسبت به ۱۰°C تا ۳۰°C)
کالیبراسیون	تخت آزمایشگاه ISO 17025 دارای گواهی از ILAC

#### ۷. دستگاه پایش امواج الکترومغناطیسی و

##### مشخصات

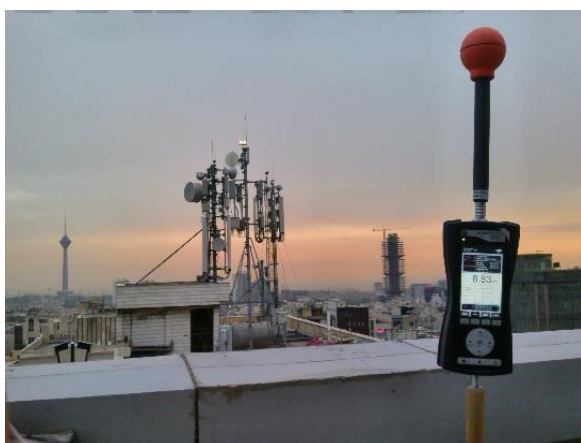
دستگاه اندازه‌گیری امواج الکترومغناطیسی مورد بررسی دارای قابلیت پایش شبانه روزی میدان‌ها و اندازه‌گیری پهن باند می‌باشد. بدنه حفاظتی این دستگاه دارای ضریب حفاظت مطلوب IP66 بوده و ساخت و عملکرد این دستگاه با شرایط بیان شده در توصیه‌نامه ITU-K.83 تطابق کامل دارد. همچنین

## 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.

این سیستم دارای یک کنترل ستر است که قابلیت کنترل و انجام تنظیمات دستگاه و پایش لحظه‌ای شدت میدان از راه دور را فراهم می‌کند. ارتباط کنترل ستر 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 الکترومغناطیسی بوسیله پراب، سنجش گردیده و توسط برد اصلی پردازش می‌گردند و در زمان‌های مشخص که قابل تنظیم می‌باشد، از طریق مودم GPRS/3G و سیم کارت تعبیه شده در آن به کنترل ستر فرستاده می‌شود و اطلاعات فرستاده شده از طریق دسترسی به اینترنت و وب سایت کنترل ستر قابل مشاهده برای کلیه کاربران می‌باشد. 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 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

○ مقادیر ماکزیمم، مینیمم و میانگین اندازه گیری از شروع تا این لحظه

● قسمت ۴: عددهای X، Y و Z نشان دهنده مختصات X، Y و Z میدان الکتریکی و عدد بزرگ مقدار کل شدت میدان

● قسمت ۵: نمودار تغییرات شدت میدان از شروع اندازه گیری تا این لحظه

● قسمت ۶: مختصات طول و عرض جغرافیایی محل اندازه گیری

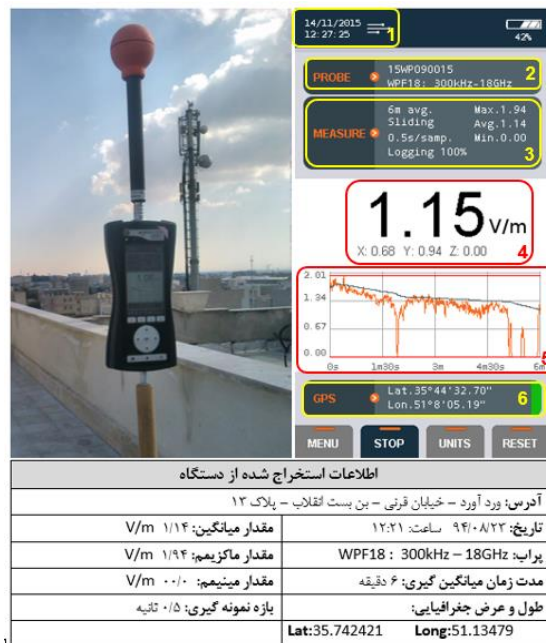
در تصویر مکان واقعی انجام اندازه گیری، موقعیت آنتن و دستگاه پرتابل نسبت به هم دیده می شود که در درک بهتر وضعیت تشعشع آنتن با توجه به مقادیر شدت میدان اندازه گیری شده کمک می نماید. در قسمت پایین این شکل نیز، جدولی شامل موارد زیر آورده شده است:

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

## ۹. مانیتورینگ امواج با استفاده از دستگاه

### پایش آنلاین

دستگاه پایش آنلاین قابلیت اندازه گیری شبانه روزی و ۲۴ ساعته شدت امواج الکترومغناطیسی را دارا می باشد. این دستگاه شدت میدان در هر ۰/۵ ثانیه را اندازه گیری کرده و میانگین این داده ها در بازه های ۶ دقیقه ای را محاسبه و در کارت حافظه ذخیره می کند. سپس داده های اندازه گیری را در کارت حافظه ذخیره کرده و در بازه های زمانی معین به کنترل ستر ارسال می کند. کنترل ستر بر روی سرور خاصی نصب



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

شکل (۴): تصویری از صفحه نمایش (اسکرین شات) دستگاه پرتابل حین اندازه گیری، تصویری از مکان واقعی انجام اندازه گیری و خلاصه ای از وضعیت اندازه گیری انجام شده را نشان می دهد. بخش های مختلف صفحه نمایش دستگاه با شماره های ۱ تا ۶ مشخص شده اند. موارد مختلف نمایش داده شده بر روی صفحه نمایش دستگاه به شرح زیر می باشند:

- قسمت ۱: تاریخ و ساعت اندازه گیری
- قسمت ۲: شماره سریال و بازه اندازه گیری فرکانسی دستگاه
- قسمت ۳: مشخصات اندازه گیری انجام شده شامل:
  - بازه زمانی میانگین گیری (در اینجا ۶ دقیقه)
  - نوع میانگین گیری (در اینجا sliding)
  - نرخ نمونه گیری (در اینجا ۲ نمونه بر ثانیه)
  - میزان زمان گذشته از اندازه گیری بر حسب درصد (در اینجا اندازه گیری به اتمام رسیده است)

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

مشخصات اندازه‌گیری‌های انجام شده	واحد	پرتابل	آنلاین	کل
تعداد کل مجموعه داده‌ها	-	۴۰	۵	۴۵
مجموع کل داده‌های شدت میدان الکترومغناطیسی	-	۲۸۸۰۰	۲۵۴۰	۳۱۳۴۰
میانگین مدت زمان استقرار ایستگاه‌ها (روز)	روز	-	۱۰	-
کل زمان پایش و اندازه‌گیری (دقیقه)	دقیقه	۲۴۰	۷۲۰۰۰	۷۲۲۴۰

### ۱.۱.۰. نتایج اندازه‌گیری‌های پرتابل

تعداد ۴۰ 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، ۶ 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 ۴۰ 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
۱	۲/۴۵	۱۱	۹/۰۵	۲۱	۲/۸۱	۳۱	۲/۵۴
۲	۱۶/۳۷	۱۲	۴/۱۱	۲۲	۱/۰۵	۳۲	۲۲/۶۴
۳	۱/۱۶	۱۳	۷/۳۶	۲۳	۲/۶۷	۳۳	۳/۵۱
۴	۰/۵۶	۱۴	۳/۴	۲۴	۱۹/۰۵	۳۴	۲/۵۹
۵	۷/۱۶	۱۵	۱/۵۲	۲۵	۳/۵۳	۳۵	۳/۳۹
۶	۰/۶۳	۱۶	۰/۲۱	۲۶	۲/۹۶	۳۶	۰/۰۲
۷	۲/۰۸	۱۷	۶/۱۴	۲۷	۱/۴۴	۳۷	۲/۴۳
۸	۱/۳	۱۸	۱/۴۴	۲۸	۱۳/۰۸	۳۸	۱/۶۴
۹	۱/۶۶	۱۹	۵	۲۹	۳/۱۹	۳۹	۱۰/۴۲
۱۰	۶/۳۸	۲۰	۶/۶۵	۳۰	۰/۳۹	۴۰	۱/۵۵

میانگین کل اندازه‌گیری‌ها:  $V/m$  ۴/۶۴

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 ستر می‌باشد.

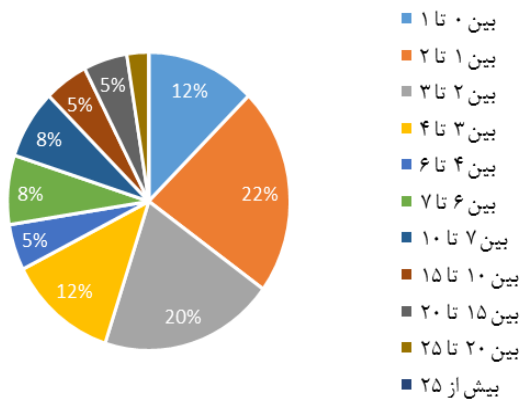


شکل (۴): دستگاه پایش امواج.

### ۱.۰. برخی از نتایج اندازه‌گیری‌های 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 ۶ دقیقه‌ای و اندازه‌گیری‌های آنلاین نیز با توجه به موارد ذکر شده در توصیه نامه ITU-K.83 انجام شد. مشخصات کلی این اندازه‌گیری‌ها در جدول زیر دیده می‌شود.



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

مختلف.

جدول (۷): توزیع درصدی اندازه‌گیری‌های پرتابل در بازه‌های مختلف.

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

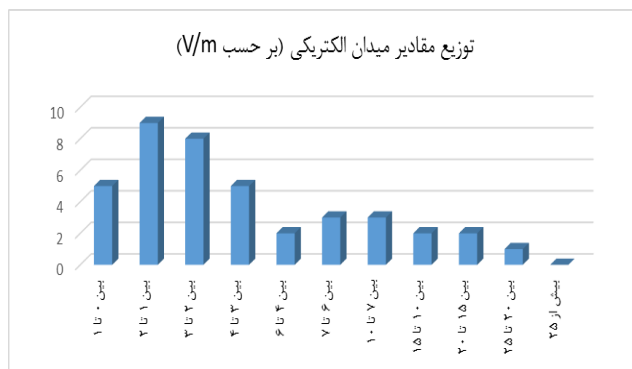
همان‌طور که در جدول و شکل فوق دیده می‌شود، ۵۴٪ اندازه‌گیری‌ها در بازه بین ۰ تا ۳ V/m بوده است. همچنین، دیده می‌شود که بازه بین ۳ تا ۶ V/m میزان ۱۷٪ اندازه‌گیری‌ها را در خود جای داده است. بازه‌های ۶ تا ۱۰ V/m و ۱۰ تا ۲۰ V/m به ترتیب شامل ۱۶٪ و ۱۰٪ اندازه‌گیری‌ها می‌باشد و در نهایت در ۳٪ اندازه‌گیری‌ها دیده شده که میزان شدت امواج الکترومغناطیسی بین ۲۰ تا ۲۵ V/m می‌باشد. همان‌طور که دیده می‌شود، در هیچیک از اندازه‌گیری‌ها، 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.



شکل (۵): برخی از اسکرین شات‌های گرفته شده از دستگاه پرتابل.

در شکل زیر، توزیع تعدادی میانگین اندازه‌گیری‌ها در دستگاه‌های پرتابل نشان داده شده است.



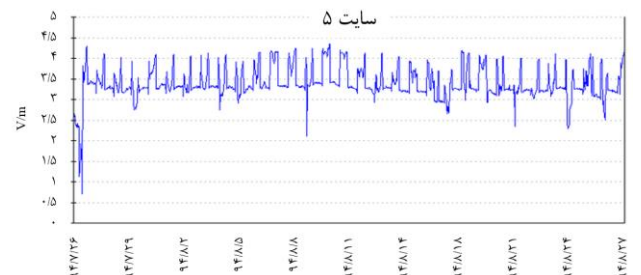
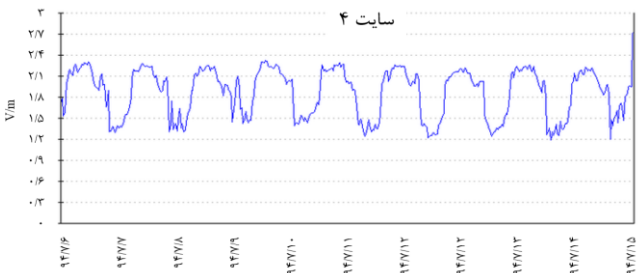
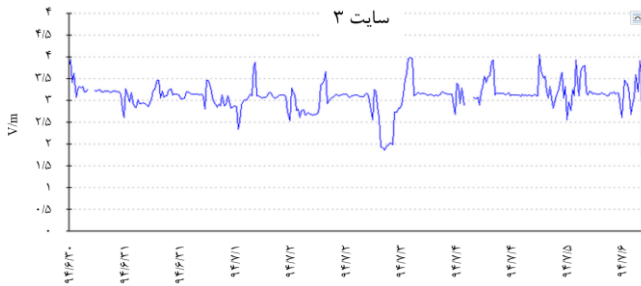
شکل (۶): نمودار توزیع نسبی اندازه‌گیری‌های پرتابل در بازه‌های

مختلف.

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

بازه	بازه ۰ تا ۱	بازه ۱ تا ۲	بازه ۲ تا ۳	بازه ۳ تا ۴	بازه ۴ تا ۶	بازه ۶ تا ۷
تعداد	۵	۹	۸	۵	۲	۳
بازه	۷ تا ۱۰	۱۰ تا ۱۵	۱۵ تا ۲۰	۲۰ تا ۲۵	بیش از ۲۵	
تعداد	۳	۲	۲	۱	۰	

در شکل ۷، میزان سهم بازه‌های مختلف شدت میدان از کل ۴۰ اندازه‌گیری انجام شده بر حسب درصد نشان داده شده است.



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 سایت‌ها از  $4/5 \text{ V/m}$  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.

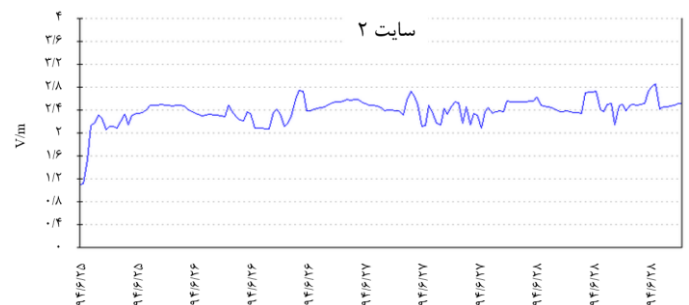
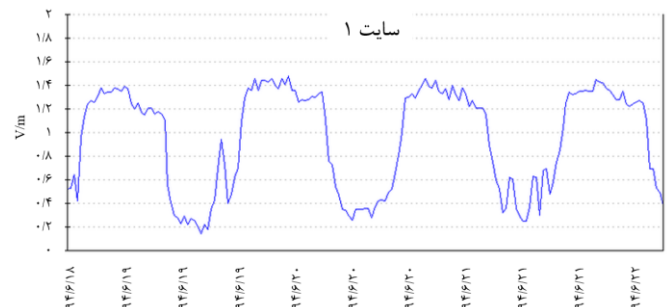
سایت	سایت ۱	سایت ۲	سایت ۳	سایت ۴	سایت ۵	متوسط کل سایت‌ها
مقدار متوسط	۰/۹۵	۲/۳۹	۳/۱۰	۱/۸۷	۳/۳۸	۲/۳۳۸

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

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

### ۲.۱۰. نتایج اندازه‌گیری‌های آنلاین

همان‌طور که قبلاً 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.





## ۱۱. نتیجه‌گیری

برای بازه اندازه‌گیری 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 تقریباً 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.

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 ۴۰ اندازه‌گیری پرتابل انجام شده برابر با ۴/۶۴ V/m و در ۵ اندازه‌گیری آنلاین برابر با ۲/۳۳۸ V/m بوده است. با توجه به سطوح سختگیرانه استاندارد ملی و استاندارد ICNIRP که

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).