



سنجش میزان امواج الکترومغناطیس ناشی از آنتن‌های BTS در برخی مناطق مسکونی شهر کرج

فاطمه اکبری، ثمر مرتضوی*

گروه محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه ملایر، ملایر، ایران

چکیده	مقاله پژوهشی اصیل
<p>مقدمه</p> <p>با توجه به پیشرفت تکنولوژی و ارتباطات و گسترش سیستم‌های مخابراتی مانند تلفن همراه در سطح جهان، میزان استفاده از آنتن‌های BTS در سطح شهرها رو به افزایش است. با توجه به خطرات این امواج بر سلامت انسان، هدف از مطالعه حاضر بررسی میزان انتشار امواج الکترومغناطیس اطراف آنتن‌های BTS مناطق مسکونی شهر کرج است.</p> <p>مواد و روش‌ها</p> <p>با پایش میدانی تعداد ۵۷ ایستگاه در شهر کرج انتخاب شد. سنجش با ۳ تکرار در فاصله‌های ۵، ۱۰، ۳۰ و ۵۰ متر توسط دستگاه کالیبره شده TES-92 ساخت کشور تایوان صورت گرفت. آنالیز آماری نتایج برای مقایسه فواصل و استاندارد با نرم افزار SPSS انجام شد.</p> <p>یافته‌ها</p> <p>نتایج حاصل نشان داد با افزایش فاصله از آنتن‌ها مقدار چگالی توان امواج الکترومغناطیس کاهش می‌یابد. علاوه بر این در فاصله ۱۰ متر از دکل‌ها بیشترین میزان چگالی امواج اندازه‌گیری با میانگین ۱۰/۲۲۲ بدست آمد. تفاوت معنی‌داری در همه فاصله‌ها بجز ۵ و ۳۰ متر وجود داشت ($p < 0/05$) و میزان نتایج کمتر از استاندارد ICNIRP بود.</p> <p>نتیجه‌گیری</p> <p>عامل فاصله مهم‌ترین ویژگی در تعیین میزان شدت چگالی امواج الکترومغناطیس است بنظر می‌رسد علت زیاد بودن شدت امواج الکترومغناطیسی در فاصله ۱۰ متر نسبت به ۵ متر ایجاد حالت سایه و عوامل محیطی موقعیت آنتن‌ها است. نتایج کلی حاکی از شرایط ایمن میزان امواج الکترومغناطیس ناشی از آنتن‌های BTS در شهر کرج است که جهت حفظ شرایط موجود به نظارت بر نصب آنتن‌های جدید در فواصل امن توصیه می‌گردد.</p> <p>کلیدواژه‌ها</p> <p>آنتن BTS، امواج الکترومغناطیس، ICNIRP، کرج، مسکونی</p>	<p>تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۷/۱۵ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۱۱/۰۶</p> <p>*نویسنده مسئول: دکتر ثمر مرتضوی، گروه محیط زیست دانشکده منابع طبیعی ملایر، دانشگاه ملایر تلفن: ۰۹۱۶۶۶۵۲۰۰۸ پست الکترونیک: mortazavi.s@gmail.com</p>

مقدمه

حیاتی انسان می‌شود (۴). طیف امواج الکترومغناطیس EM دارای محدوده فرکانسی بسیار گسترده است و شامل فرکانس‌های بسیار پائین، رادیو فرکانس‌ها (امواج رادیویی)، امواج رادار، ماکروویوها، تشعشعات مادون قرمز، نور مرئی، تشعشعات فرابنفش، اشعه X و اشعه گاما است. ماکروویوها در بخش تابش غیر یونیزه کننده طیف الکترومغناطیسی قرار دارند که شامل فرکانس پایین (کامپیوتر، خطوط برق)، فرکانس متوسط (تلویزیون، رادیو) و فرکانس بالا (ماکروویو، دستگاه‌های تلفن همراه) امواج رادیویی است (۵). کاربردهای امواج ماکروویو شامل: امواج رادیویی و تلویزیون (۳۰۰-۳۰MHz)، تلفن همراه (۹۰۰-۱۸۰۰MHz)، اجاق‌های ماکروویو (۲۴۵۰MHz)، رادارها ۳۰-۳۰۰MHz و ماهواره‌ها (۳۰۰-۳۰GHz) می‌باشد. سیستم تلفن همراه GSM ۹۰۰ که در ایران مورد استفاده قرار می‌گیرد از طریق آنتن‌های گیرنده/فرستنده مخابرات (BTS) با فرکانس ۹۳۵-۹۶۰ مگا-هرتز در یک پهنای باند ۲۰۰ کیلوهرتز اطلاعات را به گوشی تلفن همراه ارسال می‌نماید (۶). در سراسر جهان به‌طور گسترده از تلفن‌های همراه استفاده می‌شود. در نتیجه، نیاز به ایستگاه‌های پایه تلفن بسیار بالا است (۷). با وجود این که میدان‌های الکترومغناطیسی با تابش غیر یونیزه (EMFNIR^۵) همیشه در طبیعت وجود دارد، اما توسعه سریع فناوری‌های متنوع و استفاده از تکنولوژی‌های جدید باعث افزایش سطح مواجهه با امواج الکترومغناطیس شده است. وجود آنتن‌های تلفن همراه قابل مشاهده در شهرها به خصوص بر روی ساختمان‌ها و مشاهده کابل‌های خطوط ولتاژ بالا به علت گسترش مناطق شهری مثال بارزی در این راستا است (۸).

زندگی امروزه بر روی کره زمین در واقع غوطه‌ور شدن در دریایی از امواج الکترومغناطیسی است. با پیشرفت تکنولوژی و استفاده از گوشی‌های موبایل تعداد روز افزون آنتن‌های BTS^۱ هم افزایش یافته است. در واقع امواج الکترو-مغناطیسی تاثیر بسزایی در زندگی بشر ایجاد کرده است. از گذشته‌های دور تا به امروز با افزایش و پیشرفت تکنولوژی، کاربرد امواج الکترو مغناطیس به شدت افزایش پیدا کرده است (۱). از پایان قرن نوزدهم با استفاده از خطوط انتقال و کابل، انتقالات امواج رادیویی انجام شده است؛ اما امروزه قدرت بی‌سیم برای استفاده و انتقال انرژی مورد بهره‌برداری قرار دارد. تاریخ انتقال پیام از راه دور بسیار جالب است. انسان در گذشته از سیستم‌های مختلفی مانند طی کردن مسافت‌های طولانی با حیوانات تا استفاده از ماشین‌ها و سیستم‌های پروازی برای ایجاد ارتباط استفاده می‌کرد تا اینکه امواج الکترومغناطیس، راه را برای انتقال اطلاعات از طریق مسافت‌های بسیار زیاد و در هر مسافتی ممکن نموده‌اند (۲).

استفاده از تلفن همراه در چند سال گذشته افزایش یافته است، تخمین زده می‌شود بیش از یک میلیارد تلفن همراه در سراسر جهان در حال استفاده است (۳). طبق آمارهای جهانی، افزایش مداوم در استفاده از تلفن‌های همراه باعث شده است تا موقعیت‌های زمینی مورد نیاز افزایش یابد. تلفن‌های همراه اشعه الکترومغناطیسی (EMR^۲) از خود ساطع می‌کنند که به عنوان یکی از خطرناک‌ترین انواع آلودگی برای انسان در نظر گرفته می‌شود، پژوهش‌ها حاکی از تاثیر این امواج در تغییر اجزای سلول و حتی عملکرد آن است، که منجر به وجود خطرات زیادی برای ارگان‌های

³ Electro magnetic

⁴ Global System for Mobile Communication

⁵electromagneticfieldsofnon-ionizing radiation

¹ Base Transceiver Station

² Electro Magnetic Radition



قدرت خروجی گوشی به صورت خودکار تنظیم می شود، هنگامی که در نزدیکی BTS قرار دارید قدرت خروجی کمتر و هنگامی که دور هستید بیشتر می شود (۱۰). در سال های اخیر این امواج باعث نگرانی های بسیار زیادی برای محیط زیست و انسان شده است که از آن جمله می توان به آثار حرارتی امواج و آسیب به سیستم تولید مثلی اشاره نمود. امواج تلفن همراه حتی با چگالی خیلی کم و ضعیف (یک میلی وات بر سانتی متر مربع) می تواند باعث بروز علائمی مانند سردرد، احساس گرما در گوش، ضعف حافظه و احساس خستگی گردد (۱۱).

از جمله وسایل مهم مؤثر در ایجاد امواج الکترومغناطیس در زندگی، امواج حاصله از آنتن ها و دکل هاست. آنتن های BTS یا ماکروسل، تولیدکننده امواج ماکروویو با فرکانس ۹۰۰ مگاهرتز هستند (آنتن هایی که برای مصارف مخابراتی در زمینه ی تلفن همراه، اینترنت پرسرعت و غیره استفاده می شود) به آنتن های BTS معروف هستند (۹). این آنتن ها دارای ۳ قسمت هستند که هر کدام حدود ۱۲۰ درجه در سطح افق را پوشش می دهند که جمعاً ۳۶۰ درجه است هر BTS تا حدود ۳۰ کیلومتری را پوشش می دهد. ارتفاع آنتن ها معمولاً بین ۱۵ الی ۵۰ متر است. قدرت خروجی BTS و

شدت میدان الکتریکی مؤثر (بافت سر و بدن) v/m	شدت میدان الکتریکی مؤثر (سیستم اعصاب مرکزی) v/m	SAR موضعی (دست و پا) W/Kg	SAR موضعی (سر و تنه) W/Kg	SAR متوسط (تمام بدن) W/Kg	چگالی جریان مؤثر (سر و تنه) mA/m ²	محدوده فرکانسی	نوع پرتوگیری
4×10^{-1}	$1 \times 10^{-1} \div f$	-	-	-	$8 \div f$	۴-۱ Hz	
4×10^{-1}	$1 \times 10^{-1} \div f$	-	-	-	۲	۱۰-۴ Hz	
4×10^{-1}	1×10^{-2}	-	-	-	۲	۲۵-۱۰ Hz	
4×10^{-1}	$4 \times 10^{-4} \times f$	-	-	-	۲	۱۰۰۰- Hz ۲۵	مردم
4×10^{-1}	4×10^{-1}	-	-	-	$50 \div f$	۳-۱ kHz	
$1/35 \times 10^{-4} \times f$	$1/35 \times 10^{-4} \times f$	-	-	-	$50 \div f$	۱۰۰-۳ kHz	
$1/35 \times 10^{-4} \times f$	$1/35 \times 10^{-4} \times f$	۴	۲	8×10^{-2}	$50 \div f$	۰/۱۰-۱ MHz	
-	-	۴	۲	8×10^{-2}	-	۱۰-MHz ۰/۰۱	

جدول ۱- حدود پایه پرتوگیری مردم در فرکانس های مختلف

الکترومغناطیسی روی DNA و ساختار کروموزومی انجام شده است (۱۲). در زندگی روزمره افراد معمولاً در معرض انواع مختلف میدان های الکترومغناطیس^۱ EMF قرار دارند که

نگرانی عمده در مورد اثرات نامطلوب قرار گرفتن در معرض میدان الکترومغناطیسی غیر یونیزه، القاء سرطان است. از آنجایی که اکثر سرطان ها با آسیب به ژنوم سلولی شروع می شوند، مطالعات انجام شده برای بررسی اثرات میدان های

^۱Electromagnetic fields

محیط زیست آسیب برسانند؛ با توجه به اینکه مقادیر به دست آمده از اندازه گیری ها به طور قابل توجهی پایین تر از مقادیر تعیین شده توسط استانداردهای جهانی بوده است مشخص گردید که ایستگاه های پایه باید آگاهانه و در حد قانونی قرار بگیرند (۱۶).

مطالعات Hardel و همکاران در سال ۲۰۱۸ بر روی گروهی از کودکان در برخی مناطق مسکونی در شهر استکهلم نشان داد که وجود دستگاه Wi-Fi در اتاق خواب کودکان و مدت زمان استفاده از آن در مقایسه با بزرگسالان باعث ایجاد مشکلاتی در کودکان می شود و کودکان بیشتر از بزرگسالان دچار مشکل می شوند و ممکن است در دوره زندگی پیش رو با بیماری های بیشتری در بزرگسالی مواجه شوند. لذا نتایج نشان داد، این منازل برای زندگی طولانی مدت بعلت تاثیر سوء بر سلامتی نامناسب هستند. آن ها اعلام نمودند برای نتیجه گیری قطعی در مورد اثرات امواج RF از ایستگاه های پایه، همه ایستگاه های پایه نزدیک خاموش شود و اندازه گیری های جدیدی انجام گیرد. از سویی دیگر مطالعات نشان می دهند تلاش برای در معرض قرار نگرفتن امواج بطور کامل امکان پذیر نیست (۱۷).

در سال ۱۳۹۷ جعفری و همکاران طی مطالعات خود به این نتیجه رسیدند که استفاده از تلفن همراه برای کودکان به مراتب ضرر بیشتری نسبت به بزرگسالان دارد طبق شبیه سازی تشعشعات تلفن همراه در مجاورت سر افراد در سنین مختلف (از بزرگسال تا کودکان) پی بردند که میدان های الکترومغناطیس قدرت نفوذ پذیری بیشتری در مغز کودکان دارد (۱۸). Havas در سال ۲۰۱۷ طی مطالعاتی در مورد افزایش خطر ابتلا به سرطان و مرگ و میر ناشی از استفاده از تلفن همراه و در معرض قرار گرفتن امواج Wi-Fi و زندگی در نزدیکی آنتن های پخش، آنتن های تلفن همراه و خطوط برق و تأثیر آن ها بر روی سلامت انسان پی بردند که تشعشع

غالب این ها میدان های مغناطیسی از نوع SMF_s هستند که دارای پهنای باند بین ۵۰-۶۰ هرتز است و معمولاً با فرکانس بسیار پایین ELF^۱ و فرکانس بالا HF^۲ طبقه بندی می شوند. EMF ها در بیشتر محیط ها بوسیله سیستم های برق مدرن مانند خطوط برق، ژنراتورهای الکتریکی و موتور، سیم کشی برق، دستگاه های الکترونیکی خانگی و سیستم های ارتباطی بی سیم ایجاد می شوند. در این میان در کنار برخی لوازم خانگی، شدت های میدان مغناطیسی می تواند تا چند صد میکرو تسلا و در برخی از موارد می تواند به ۱۰ میلی تسلا برسد (۱۴، ۱۳).

نکته مهم در این راستا، همواره اختلاف های اساسی بین مواجهه با تلفن همراه و مواجهه با آنتن های BTS است که بطور گسترده مورد توجه قرار نگرفته است. مواجهه با امواج تلفن های همراه، دائمی نیست اما مواجهه با امواج BTS ۲۴ ساعته و برای سال ها ممکن است وجود داشته باشد استفاده از تلفن همراه بطور آگاهانه و توسط فرد استفاده کننده انجام می شود اما در مورد آنتن های BTS در طول روز بصورت ناآگاهانه است و افراد بدون آن که بدانند حین رفت و آمد در خیابان ها، در داخل منازل و هنگام استراحت در پارک ها در معرض تشعشع امواج قرار می گیرند (۱۵). از این رو اخیراً توجه ویژه ای به میزان مواجهه مردم با امواج مایکروویو ناشی از آنتن های BTS در مناطق مختلف صورت گرفته است. Gülağız و همکاران (۲۰۱۶) در یک مطالعه در دانشگاه Kocaeli در ترکیه سطح میدان الکترومغناطیسی ایجاد شده توسط ایستگاه های پایه در نقاط مختلف دانشگاه را مورد بررسی قرار دادند و نتایج ارزیابی نشان داده است که برای فرکانس ۹۰۰-۱۸۰۰ مگاهرتز تراکم میدان الکترومغناطیسی وجود ندارد که بتواند به سلامت انسان و

¹Static magnetic fields

²extremely low frequencies

³high frequencies



امواج الکترومغناطیسی در اطراف آنتن‌های BTS در برخی مناطق مسکونی شهر کرج و مقایسه آن با استاندارد بین المللی ICNIRP^۱ است.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه:

کرج یکی از کلان شهرها و همچنین مرکز استان البرز با ۱۲ منطقه شهری است. جمعیت این شهر برپایه سرشماری سال ۱۳۹۵ خورشیدی برابر با ۱'۵۹۲'۴۹۲ نفر بوده است که از این جهت پس از شهرهای تهران، مشهد، اصفهان و تبریز به‌عنوان پنجمین شهر پرجمعیت ایران به‌شمار می‌رود. کرج پس از تهران بزرگ‌ترین شهر مهاجر پذیر ایران است و با توجه به جوان بودن آن نسبت به سایر شهرهای بزرگ ایران، هم‌اکنون به‌عنوان یکی از کلان‌شهرهای کشور به‌شمار می‌آید. شهر کرج دارای طول جغرافیایی ۵۱ درجه و ۰ دقیقه و ۳۰ ثانیه خاوری و عرض جغرافیایی ۳۵ درجه و ۴۸ دقیقه و ۴۵ ثانیه شمالی با ۱۶۲ کیلومتر مربع وسعت در ۳۵ کیلومتری غرب تهران و در دامنه جنوبی رشته کوه‌های البرز قرار گرفته‌است. جلگه پهناور کرج با ارتفاع متوسط ۱۳۲۰ متر از سطح دریا در مسیر راه ارتباطی وسایط نقلیه حامل کالاهای وارداتی و صادراتی از مرز ترکیه و آذربایجان و به مقصد تهران و بالعکس است.

در پژوهش حاضر ابتدا موقعیت‌های آنتن‌های BTS اپراتور-های مختلف (ایرانسل، همراه اول و رایتل) در سطح شهر کرج از طریق پایش میدانی شناسایی شد. به علت آن‌که تعداد آنتن‌ها در سطح شهر بسیار زیاد است و شناسایی و اندازه‌گیری همه آن‌ها کار سخت و دشواری است، برحسب اینکه کدام منطقه شلوغ‌تر و بافت جدیدتری دارد تعدادی آنتن در این مناطق مورد ارزیابی قرار گرفت و در نهایت،

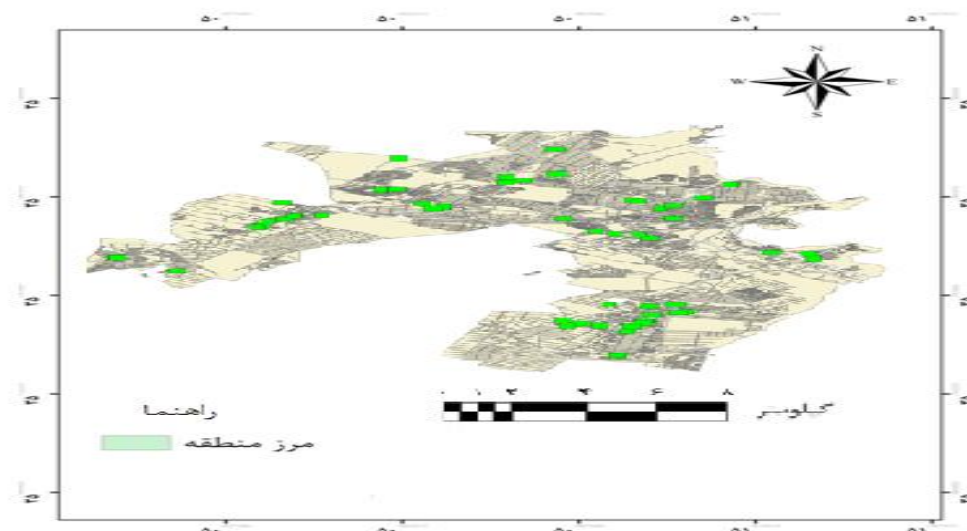
غیر یونیزه از میدان‌های الکترومغناطیس با فرکانس بسیار پایین، فرکانس‌های متوسط تا پرتوی ماکروویو با ترویج و رشد سلول‌های سرطانی و با دخالت در مکانیسم فعالیت‌های مغزی باعث ایجاد رادیکال‌های آزاد و آسیب به DNA می‌شود (۱۹). در سال ۱۳۹۰ نصیری و همکاران طی مطالعه‌ای چگالی توان امواج ناشی از آنتن‌های BTS در شهر تهران را اندازه‌گیری کردند. بر اساس نتایج به دست آمده با افزایش فاصله از پای آنتن میزان چگالی توان امواج مغناطیسی در میدان نزدیک افزایش می‌یابد و در میدان دور (۲۰ متر و بالاتر) با افزایش فاصله میزان چگالی توان امواج الکترو مغناطیس کاهش می‌یابد. در این مطالعه در فاصله ۲۰ متر بیشترین چگالی توان امواج مشاهده شد (۱۵).

Ellen Birks و همکاران (۲۰۱۸) نیز در مطالعات خود بر روی گروهی از افراد در استفاده از تلفن همراه به این نتیجه رسیدند که کودکان خردسال و دختران بیشتر از تلفن همراه استفاده می‌کنند و بیشتر در معرض خطر امواج آن قرار دارند. همچنین کودکانی که در محیط‌های شهری زندگی می‌کنند ۳ برابر بیشتر از گوشی تلفن همراه استفاده می‌نمایند که به دلیل تراکم بالای جمعیت در شهرها تعداد آنتن‌های مخابراتی در شهرها بیشتر از مناطق روستایی است و از سوی دیگر ایستگاه‌های پایه‌ای بیشتری برای پشتیبانی از کاربران در یک منطقه بسیار پر جمعیت مثل شهر در مقایسه با روستا مورد نیاز است. در سال ۱۳۹۲ ناصری و همکاران طی مطالعه مشابهی بر روی ۱۳ آنتن در شهر هشتگرد به این نتیجه رسیدند که با افزایش ارتفاع از سطح زمین و نزدیک شدن به آنتن میانگین چگالی هر دو نوع اپراتور همراه اول و ایرانسل افزایش می‌یابد. همچنین در سنجش‌های افقی بیشترین مقدار فاصله ۲۰ متر از پای هر دو اپراتور به ثبت رسید (۲۰). با توجه به موارد ذکر شده و در این راستا هدف از این مطالعه بررسی چگونگی انتشار

¹ International Commission on Non- Ionized Radiation Protection Against

دینامیکی بالا و زنگ هشدار قابل تنظیم و حافظه مستقل است و با واحد mW/m^2 سنجش شدند. براساس دستورالعمل دستگاه، در هر اندازه‌گیری به دلیل نوسانات بالا باید سیستم خاموش شود زیرا دستگاه دارای زمان سنج و بیشینه است که میانگین زمان برای استفاده را نشان می‌دهد. در نهایت در هر ایستگاه، ۱۲ بار دستگاه خاموش و روشن شد. پس از جمع‌آوری داده‌ها اطلاعات، وارد نرم افزار اکسل شد (جدول ۳) و سپس آنالیز آماری نتایج با استفاده از نرم افزار SPSS نسخه ۱۶٫۳ انجام شد. به منظور بررسی نرمال بودن داده‌ها از آزمون کلموگروف-اسمیرنوف (Kolmogrov-Smirnov) استفاده شد از آنجا که داده‌های این پژوهش نرمال نیستند برای مقایسه میزان امواج الکترومغناطیس در فواصل مختلف از آزمون کروسکال والیس و جهت پی بردن به وجود اختلاف معنی دار بین داده‌ها در فواصل مختلف از آزمون من ویتنی یو استفاده شد.

تعداد ۵۷ ایستگاه بطور تصادفی انتخاب شد. سنجش امواج الکترومغناطیسی در هر ایستگاه در فواصل ۵، ۱۰، ۳۰ و ۵۰ متر از هر دکل و ارتفاع اندازه‌گیری ۱۵۰ سانتی‌متر بطور ثابت در نظر گرفته شد و به منظور کاهش خطای اندازه‌گیری در هر فاصله، ۳ تکرار صورت گرفت. بطور کلی تعداد اندازه‌گیری‌ها ۷۰۸ عدد بدست آمد. لازم به ذکر است تمامی اندازه‌گیری‌ها در شرایط جوی یکسان و در هوایی آرام و کاملاً آفتابی در ۳ ماهه مهر، آبان و آذر ۱۳۹۷ انجام گرفت. در اندازه‌گیری‌ها سعی شده است حتی‌الامکان موانع کمتری بر سر راه اندازه‌گیری باشد و سنجش رو به سوی دکل‌ها صورت گیرد. جهت اندازه‌گیری از دستگاه اندازه‌گیری امواج الکتریکی پایا مدل TES-۹۲ ساخت شرکت TES تایوان استفاده شد. محدوده اندازه‌گیری فرکانسی دستگاه از ۵۰ MHz تا ۳/۵ GHz، قابلیت اندازه‌گیری ایزوتوپ سه‌بعدی EMF و اندازه‌گیری غیرمستقیم به همراه ۳ کانال اندازه‌گیری و همچنین با محدوده اندازه‌گیری



شکل ۱- نقشه موقعیت ایستگاه‌های انتخاب شده جهت بررسی میزان چگالی امواج الکترومغناطیسی در باند ۹۰۰-۱۸۰۰ مگاهرتز در مناطق مسکونی شهر کرج

نتایج حاصل از اندازه‌گیری‌های شدت چگالی توان امواج الکترومغناطیسی در باند ۹۰۰-۱۸۰۰ مگا هرتز آنتن‌های BTS در جدول ۲ ارزیابی شده است.

جدول ۲- میانگین و انحراف معیار نتیجه مقدار چگالی شدت امواج الکترومغناطیسی در ایستگاه‌های اندازه‌گیری شده در فواصل مختلف در شهر کرج واحد mW/m^2

ایستگاه	فاصله ۵ متر	انحراف معیار	فاصله ۱۰ متر	انحراف معیار	فاصله ۳۰ متر	انحراف معیار	فاصله ۵۰ متر	انحراف معیار
۱	۱۳/۳۸۳	۰/۰۶۵	۱۴/۶۰۳	۰/۰۷۰	۳/۲۵۵	۰/۰۰۵	۳/۰۸۲	۰/۰۰۳
۲	۴/۶۹۵	۰/۰۰۹	۴/۹۳۸	۰/۰۰۵	۶/۵۱۶	۰/۰۰۵	۲/۷۶۱	۰/۰۰۳
۳	۴/۵۵۸	۰/۰۱۱	۴/۲۱۵	۰/۰۰۵	۳/۹۰۷	۰/۰۰۴	۲/۵۵۴	۰/۰۱۱
۴	۳/۱۱۵	۰/۰۰۴	۱۰/۸۳	۰/۱۱۵	۳/۲۳۹	۰/۰۲۵	۳/۸۱۴	۰/۰۰۲
۵	۳۲/۲۵	۰/۲۲۰	۲۸/۳۰	۰/۰۹۰	۱۸/۴۳	۰/۰۱۱	۵/۱۴۶	۰/۰۳۰
۶	۴/۱۳۶	۰/۰۲۷	۴/۱۴۹	۰/۰۰۴	۱۲/۸۳۴	۰/۰۵۰	۱/۴۴۶	۰/۰۰۵
۷	۱۰/۵۷	۰/۰۴۰	۴/۰۴۸	۰/۰۰۳	۴/۰۵۸	۰/۰۰۲	۱/۳۲۰	۰/۰۴۹
۸	۲/۷۱۶	۰/۰۰۵	۷/۵۱۱	۰/۰۱۲	۳/۲۱۴	۰/۰۰۵	۲/۱۴۴	۰/۰۰۲
۹	۵/۳۹۱	۰/۰۹۳	۴/۰۳۴	۰/۰۰۸	۶/۷۱۶	۰/۰۴۵	۱/۶۴۱	۰/۱۳۱
۱۰	۴/۰۱۵	۰/۰۰۱	۱۸/۴۲	۰/۴۹۶	۱۲/۰۱	۰/۰۲۵	۸/۲۹۴	۰/۱۷۲
۱۱	۱۴/۲۲	۰/۶۶۰	۸/۲۹۴	۰/۱۷۲	۴/۳۲۸	۰/۲۰۵	۱/۲۶۶	۰/۰۵۴
۱۲	۱/۷۴۳	۰/۰۷۹	۸/۱۱۶	۰/۰۱۳	۴/۹۴۲	۰/۰۷۶	۲/۴۴۵	۰/۱۱۱
۱۳	۱۲/۱۰	۰/۰۰۵	۱۱/۲۳	۰/۰۱	۱۰/۱۳	۰/۰۲	۴/۰۶۳	۰/۰۳۰
۱۴	۷/۱۱۵	۰/۰۰۲	۱۰/۵۷	۰/۳۰۴	۱۲/۱۱	۰/۱۳۶	۴/۵۹۱	۰/۰۳۴
۱۵	۱/۴۰۴	۰/۰۰۱	۱۳/۱۱	۰/۰۰۲	۴/۳۳۶	۰/۰۵۶	۳/۲۱۱	۰/۰۷۶
۱۶	۴/۳۰۶	۰/۰۱۲	۶/۸۵۴	۰/۰۱۱	۴/۲۳۰	۰/۰۰۸	۴/۲۳۴	۰/۰۰۲
۱۷	۳/۶۴۹	۰/۴۰۸	۱۲/۳۹	۰/۵۸۱	۵/۱۳۵	۰/۰۱۱	۵/۰۰۱	۰/۰۱۰
۱۸	۸/۳۹۴	۰/۰۰۱	۶/۲۸۵	۰/۰۱۲	۱/۰۲۶	۰/۰۰۴	۱/۱۳۴	۰/۰۰۲
۱۹	۴/۶۳۱	۰/۰۰۳	۴/۴۰۷	۰/۰۰۴	۱۷/۶۵	۰/۰۲۵	۳/۹۲۸	۰/۰۲۸
۲۰	۶/۱۸۶	۰/۰۲۲	۸/۵۳۳	۰/۰۱۵	۳/۷۵۱	۰/۰۰۹	۲/۰۶۶	۰/۰۰۴
۲۱	۱/۱۱۴	۰/۰۰۲	۵/۳۳۸	۰/۰۶۸	۳/۹۳۸	۰/۰۷۷	۲/۱۱۳	۰/۰۰۶
۲۲	۸/۰۳۱	۰/۰۶۰۱	۳/۸۷۲	۰/۰۸۲	۷/۴۰۶	۰/۰۳۹	۲/۹۰۱	۰/۰۳۷
۲۳	۱۳/۱۹	۰/۱۳۴	۱۲/۱۵	۰/۱۷۲	۷/۴۹۶	۰/۰۲۷	۶/۲۶۸	۰/۰۴۷
۲۴	۲/۵۴۹	۰/۰۰۷	۷/۷۹۵	۰/۰۲۶	۱/۳۵۶	۰/۰۰۷	۱/۰۵۳	۰/۰۰۲
۲۵	۱۶/۳۵	۰/۰۴۷	۱۱/۳۰	۰/۰۵۱	۱۳/۷۲	۰/۰۴۷	۵/۸۱۹	۰/۰۰۷
۲۶	۲/۲۱۹	۰/۰۱۵	۳/۸۳۴	۰/۰۰۸	۳/۳۷۶	۰/۰۰۶	۱/۶۸۰	۰/۰۲۷
۲۷	۴/۸۹۸	۰/۰۳۴	۴/۷۸۱	۰/۲۸۵	۱۴/۸۰	۰/۰۳۷	۱۰/۳۹	۰/۲۰۵
۲۸	۴/۰۸۵	۰/۰۰۲	۱۴/۵۸	۰/۰۵۸	۱۸/۷۳	۰/۰۲۵	۱۱/۱۴	۰/۰۱۰



ایستگاه	فاصله ۵ متر	انحراف معیار	فاصله ۱۰ متر	انحراف معیار	فاصله ۳۰ متر	انحراف معیار	فاصله ۵۰ متر	انحراف معیار
۲۹	۶/۱۱۵	۰/۰۰۵	۶/۲۱۵	۰/۰۰۴	۳/۴۸۷	۰/۰۳۰	۳/۱۲۴	۰/۰۰۱
۳۰	۱۹/۰۳	۰/۱۹۶	۲۰/۱۱	۰/۱۴۲	۳۰/۱۶	۰/۳۲۴	۶/۴۳۴	۰/۱۰۶
۳۱	۲۱/۲۰	۰/۵۷۰	۱۴/۶۴	۰/۱۲۵	۱۱/۶۰	۰/۲۷۰	۵/۱۶۰	۰/۰۴۵
۳۲	۵/۱۶۸	۰/۰۳۷	۱۱/۶۶	۰/۱۴۴	۴/۶۰۲	۰/۳۴۱	۴/۶۰۱	۰/۰۷۰
۳۳	۱۳/۵۱	۰/۰۹۵	۱۸/۶۱	۰/۰۷۸	۸/۳۷۵	۰/۰۹۸	۶/۴۳۴	۰/۰۹۷
۳۴	۴/۹۸۶	۰/۰۳۸	۹/۵۲۳	۰/۰۱۶	۲۰/۶۷	۰/۶۱۱	۳/۷۵۵	۰/۴۳۶
۳۵	۱/۱۶۴	۰/۰۰۱	۶/۱۴۸	۰/۰۰۴	۱/۲۲۴	۰/۰۱۰	۱/۱۱۶	۰/۰۰۳
۳۶	۲۶/۳۵	۰/۳۳۹	۱۹/۱۷	۰/۰۹۴	۱۱/۴۴	۰/۰۸	۸/۵۲۰	۰/۱۶۵
۳۷	۱۷/۶۴	۰/۰۷۶	۱۴/۷۱	۰/۰۸۵	۲۰/۸۲	۰/۳۳۲	۶/۶۵۲	۰/۰۲۲
۳۸	۲۱/۱۳	۰/۱۸۳	۱۶/۳۳	۰/۱۱۰	۴/۵۳۷	۰/۱۹۲	۴/۲۵۰	۰/۰۱۵
۳۹	۱۲/۰۲	۰/۱۶۸	۵/۱۷۴	۰/۰۳۴	۷/۷۸۳	۰/۰۳۹	۲/۰۰۹	۰/۰۲۰
۴۰	۳/۰۴۴	۰/۰۲۰	۸/۲۷۶	۰/۰۳۱	۱/۰۵۲	۰/۰۱۶	۲/۶۴۱	۰/۰۸۴
۴۱	۱۲/۱۷	۰/۹۳۶	۶/۵۴۷	۰/۰۳۹	۱۲/۰۱	۲/۸۰۴	۱/۱۲۹	۰/۰۰۷
۴۲	۱۱/۳۴	۱/۱۴	۴/۶۴۹	۰/۳۰۱	۴/۰۸۶	۰/۱۰۷	۱/۳۴۵	۰/۳۱۷
۴۳	۳/۲۰۲	۰/۰۰۳	۹/۷۶۳	۰/۰۰۱	۱/۵۵۵	۰/۰۱۲	۱/۵۳۶	۰/۰۰۲
۴۴	۱۶/۱۱	۰/۴۱۶	۱۵/۵۲	۰/۰۸۶	۲۰/۳۴	۰/۸۲۸	۹/۹۳۸	۰/۰۷۱
۴۵	۴/۱۵۸	۰/۰۴۷	۵/۷۴۳	۰/۱۰۳	۱۲/۱۶	۰/۰۴۱	۲/۸۷۸	۰/۰۵۱
۴۶	۱۳/۰۸	۰/۰۵۵	۶/۳۴۳	۰/۰۰۴	۴/۵۱۶	۰/۰۰۵	۲/۷۳۱	۰/۰۰۵
۴۷	۱۷/۳۰	۰/۰۸۵	۲۱/۰۵	۰/۰۴۰	۱۹/۲۸	۰/۰۳۵	۶/۳۲۰	۰/۰۹۵
۴۸	۳/۲۶۶	۰/۲۱۳	۳/۹۰۲	۰/۰۰۵	۴/۰۲۴	۰/۰۳۹	۲/۱۱۳	۰/۰۰۹
۴۹	۱۰/۰۳	۰/۰۲۶	۱۰/۴۰	۰/۰۵۱	۳/۳۹۲	۰/۰۰۲	۱/۵۱۹	۰/۰۵۸
۵۰	۱۳/۹۷	۰/۶۸۰	۴۲/۷۹	۳/۹۶۳	۲۰/۴۹	۰/۳۰۱	۷/۴۹۷	۰/۰۳۵
۵۱	۵/۵۰۵	۰/۰۰۶	۶/۴۱۲	۰/۰۰۲	۶/۳۱۵	۰/۰۰۲	۲/۲۳۵	۰/۰۰۱
۵۲	۲/۱۶۴	۰/۰۰۷	۱۰/۵۳	۰/۰۷۳	۴/۶۹۴	۰/۰۸۲	۳/۱۹۴	۰/۱۶۸
۵۳	۱/۱۱۸	۰/۰۰۱	۷/۴۷۹	۰/۰۰۸	۲/۱۵۵	۰/۰۰۲	۲/۶۷۴	۰/۰۳۳
۵۴	۴/۵۳۵	۰/۱۸۵	۳/۵۸۴	۰/۳۵۶	۴/۰۴۱	۰/۰۲۲	۲/۶۳۲	۰/۱۰۹
۵۵	۱۰/۸۳	۰/۰۵۰	۱۰/۰۶	۰/۰۰۲	۱/۸۷۶	۰/۰۱۳	۲/۰۰۶	۰/۴۲۴
۵۶	۴/۲۵۳	۰/۰۱۳	۶/۸۵۲	۰/۰۰۳	۲/۳۴۹	۰/۰۰۴	۲/۳۵۰	۰/۰۰۷
۵۷	۱/۶۹۶	۰/۰۱۶	۷/۸۲۸	۰/۰۲۰	۷/۸۲۸	۰/۰۴۹	۳/۰۰۶	۰/۰۰۲



یافته ها

اختلاف معناداری ($p < 0.05$) در فواصل مختلف است (جدول ۴). جهت مشخص شدن اینکه کدام فواصل با بقیه فاصله‌ها دارای اختلاف معنی دار هست از آزمون من ویتنی استفاده شد و نشان داد که در همه فاصله‌ها بجز ۵ تا ۳۰ متر از دکل‌ها اختلاف معنی‌دار خیلی بیشتری وجود دارد (جدول ۵).

ابتدا نرمال بودن داده‌ها بررسی شد و بدلیل اینکه داده‌ها از توزیع نرمال پیروی نمی‌کردند تلاش شد از روش‌های نرمال سازی نتایج استفاده شود که بدلیل عدم موفق بودن برای آنالیز داده‌ها از روش‌های ناپارامتریک استفاده گردید. در ادامه مقایسه میزان امواج الکترومغناطیس در فواصل مختلف با آزمون کروسکال والیس انجام شد که نتایج حاکی از وجود

جدول ۳- نتایج حاصل از چگالی توان امواج الکترومغناطیس ساطع شده از آنتن‌های BTS مناطق مسکونی شهر کرج در فواصل مختلف

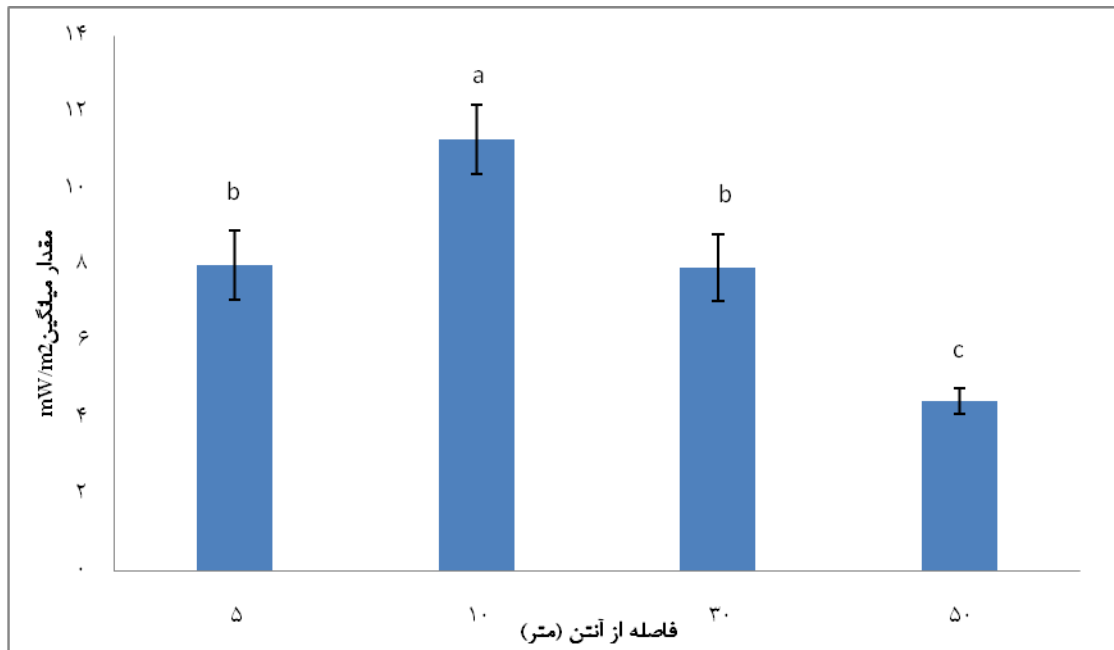
فاصله متر	تعداد	میانگین mW/m^2	انحراف استاندارد	خطای استاندارد	حداقل mW/m^2	حداکثر mW/m^2
۵	۱۷۷	۸/۴۶۲۰۸	۶/۷۵۵۱۶۱	۰/۵۰۷۷۴۹	۱/۱۱۲	۳۲/۵۱۰
۱۰	۱۷۷	۱۰/۲۲۲۲	۶/۷۳۵۷۰۹	۰/۵۰۶۲۸۷	۳/۲۱۱	۴۵/۸۶۰
۳۰	۱۷۷	۸/۱۴۸۳۴	۶/۵۵۷۳۵۲	۰/۴۹۲۸۸۱	۱/۰۲۲	۳۲/۷۶۰
۵۰	۱۷۷	۳/۷۴۶۳۷	۲/۴۵۱۶۴۱	۰/۱۸۴۲۷۱	۱/۱۰۳	۱۱/۱۵۰
جمع	۷۰۸	۷/۶۴۴۷۰	۶/۳۶۸۰۹۸	۰/۲۳۹۳۲۸	۱/۰۲۲	۴۵/۸۶۰

جدول ۴- تست آزمون کروسکال والیس امواج الکترومغناطیسی در شهر کرج

آزمون	نتیجه
آزمون کای اسکوئر	۱۵۲/۷۸۱
درجه آزادی	۳
سطح معناداری	۰/۰۰۰

جدول ۵- مقایسه جفتی میزان امواج الکترومغناطیس ناشی از آنتن‌های BTS در فاصله‌های مختلف با کمک آزمون ناپارامتریک من ویتنی یو

مقایسه فاصله‌های مختلف	داده آزمون Mann-Whitney U	معناداری
۵ متر با ۱۰ متر	۱۲۰۲۶/۵	۰/۰۰۰
۵ متر با ۳۰ متر	۱۵۱۰۸/۵	۰/۵۶۴
۵ متر با ۵۰ متر	۸۲۰۷/۵	۰/۰۰۰
۱۰ متر با ۳۰ متر	۱۱۳۸۴/۵	۰/۰۰۰
۱۰ متر با ۵۰ متر	۳۵۹۷/۰	۰/۰۰۰
۳۰ متر با ۵۰ متر	۸۵۹۶/۰	۰/۰۰۰



شکل ۲- مقایسه میانگین چگالی توان امواج الکترومغناطیسی در فواصل مختلف شهر کرج

محافظت در برابر تشعشعات امواج غیر یونیزان (ICNIR) میزان مواجهه مجاز استاندارد محیطی چگالی توان امواج الکترومغناطیسی از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$\text{Exposure Lim (mW/m}^2\text{)} = (F/200) \times 1000$$

در این رابطه F نشان دهنده فرکانس است. این تحقیق در باند فرکانسی ۹۰۰-۱۸۰۰ مگاهرتز انجام شده است. که استاندارد مواجهه محیطی 4500 mW/m^2 بدست می‌آید (۲۱، ۲۲).

با توجه به نتایج آزمون من ویتنی، اختلاف مقدار چگالی امواج الکترومغناطیسی در فاصله ۱۰ و ۵۰ متر با یکدیگر و سایر فواصل از دکل‌ها وجود دارد. در این راستا بر اساس شکل ۲ مقدار چگالی در فاصله ۵۰ متر داری سیر نزولی بوده که حاکی از کاهش میزان چگالی امواج الکترومغناطیسی با افزایش فاصله از آنتن‌ها می‌باشد. در این میان در فاصله ۱۰ متر بیشترین میزان چگالی امواج بدست آمده است. در ادامه میزان نتایج حاصل از اندازه‌گیری با استاندارد ICNIRP مقایسه شد. با توجه به رهنمودهای کمیسیون بین‌المللی

جدول ۶- مقایسه میانگین چگالی امواج الکترومغناطیسی با میزان مواجهه مجاز استاندارد محیطی

فاصله از آنتن (متر)	میانگین چگالی توان mW/m^2	مقایسه با میزان مجاز استاندارد محیطی (درصد)
۵	۸/۴۶۲۰۸	۰/۱۸۸
۱۰	۱۰/۲۲۲۲	۰/۲۲۲۷
۳۰	۸/۱۴۸۳۴	۰/۱۸۱
۵۰	۳/۷۴۶۳۷	۰/۰۸۳



است که انتشار امواج بستگی به (SAR) نرخ جذب و بویژه جهت بشقاب آنتن داشته و تا مسافتی از زیر آنتن حالت سایه بوده و توان موج منتشره در آن کمتر از مقدار آن در محدوده گلبرگ اصلی آنتن است (۲۳).

با توجه به نتایج بیشترین مقدار چگالی توان اندازه‌گیری شده در فاصله ۱۰ متر از دکل‌ها بوده است. سپس ۵، ۳۰ و در آخر ۵۰ متر دارای بیشترین شدت چگالی توان امواج الکترومغناطیسی بوده است. و بیشترین مقدار اندازه‌گیری شده طبق جدول ۲ مربوط به فاصله ۱۰ متر با مقدار عددی $42/79 \text{ mW/m}^2$ بوده است و مربوط به ایستگاه (۵۰) بلوار ملارد، خیابان شهید صلاحی جاهد است. نکته قابل توجه مربوط به فاصله ۵ متر از دکل‌ها و نزدیکی میانگین نتایج به فاصله ۳۰ متر است. در فاصله ۵ متر از دکل‌ها به دلیل ایجاد حالت سایه روی دکل‌ها و همچنین نصب آنتن‌ها بر روی مناطق مسکونی باعث شده است که مقدار عددی سنجش‌ها در این فاصله کم‌تر از انتظار ما شود.

بیشترین تاثیر در سنجش عددی چگالی امواج الکترو-مغناطیس را مداخلات ساختمان‌هایی که آنتن‌ها بر روی آن نصب شده‌اند دارند به طوری که مانع رسیدن امواج مایکروویو به نقطه سنجش می‌شوند. همچنین طبق مطالعات Atenaga و Isabona در سال ۲۰۱۸ پی بردند که مقادیر چگالی امواج به دست آمده از شش آنتن ایستگاه پایه مورد مطالعه در نیجریه نامنظم و متغییر است. بررسی‌ها نشان دادند که در بعضی موارد، در یک زمان مشابه، مقادیر چگالی امواج بسیار کم است در حالی که در بعضی موارد، واقعاً بسیار زیاد می‌شوند. این را می‌توان به انسدادهای مختلف طبیعی و انسانی که مانع از اندازه‌گیری‌ها می‌شوند، نسبت داد. در مواردی که این ایستگاه‌های پایه توسط ساختمان‌ها، پوشش گیاهی یا حتی انسان‌ها پوشانده

جدول ۶ نشان می‌دهد که بیشترین میزان چگالی توان مربوط به فاصله ۱۰ متر از دکل در حدود $0/227$ درصد میزان مواجهه مجاز استاندارد محیطی است. میزان مواجهه استاندارد شغلی چگالی امواج الکترومغناطیس از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$\text{Exposure Lim (mW/m}^2) = (F/40) \times 1000$$

در این رابطه F نشان دهنده فرکانس است. بر اساس باند فرکانسی پژوهش حاضر ۹۰۰-۱۸۰۰ مگاهرتز مواجهه شغلی 22500 mW/m^2 است. در مقایسه میزان مواجهه شغلی با حدود استاندارد، فاصله ۵ متر به عنوان مواجهه شغلی مورد بررسی قرار گرفت. مقایسه میانگین چگالی توان امواج الکترومغناطیس در فاصله ۵ متر از دکل‌ها (mW/m^2) $8/46208$ با حدود استاندارد، نشان می‌دهد که چگالی توان در پایه آنتن در حدود $0/037$ درصد استاندارد است. در مورد تکنسین‌های نصب و تعمیر اپراتورها با توجه به نتایج خطری وجود ندارد. بیشترین فعالیت آنان برای زمانی است که ایستگاه‌ها راه‌اندازی نشده‌اند و پس از راه‌اندازی مراجعه هر چند مرتبه در سال انجام می‌شود و بیشتر اوقات هنگام تعمیر ایستگاه‌ها در حالت خاموش قرار دارند.

بحث

ماهیت فیزیکی انتشار امواج الکترومغناطیسی یک آنتن، با توجه به میزان فاصله از منبع، وضعیت‌های متفاوتی را ایجاد می‌کند. به طور مثال در اطراف یک آنتن سه میدان نزدیک، میانه و دور شناسایی شده است. اجزاء میدان الکتریکی و مغناطیسی در میدان دور ارتباط تنگاتنگی با هم داشته و کافی است فقط یکی از آن‌ها را اندازه بگیریم ولی در میدان‌های نزدیک بدلیل پیچیدگی ارتباطات بین میدان‌های الکتریکی و مغناطیسی و تداخل انرژی فعال بین منبع و بدن انسان بهتر است میزان در معرض قرارگیری مستقیم تعیین شود. از سوی دیگر، نحوه عملکرد آنتن‌ها به شکلی

¹Specific Absorption Rate

(Expo-RF) قابل حمل شدت امواج را اندازه‌گیری کردند، نتایج نشان داد میانگین کل اندازه‌گیری شده در خانه‌ها ۳۲/۱ میکرووات بر متر مربع است که از مقدار تعیین شده توسط استاندارد پایین‌تر است. میرطاهری و همکاران (۳۰) در سنجش امواج الکترومغناطیس در برخی پارک‌های شهر تهران به این نتیجه دست یافتند که میزان امواج الکترومغناطیس پایین‌تر از حد مجاز تعیین شده می‌باشد. حسینی و همکاران (۳۱) در اندازه‌گیری امواج حاصله از دکل‌های مخابراتی منطقه‌ای در شهر تهران میزان سنجش شده امواج را پایین‌تر از استاندارد گزارش دادند. Hutter و همکاران (۳۲) با اندازه‌گیری چگالی توان امواج الکترومغناطیس دکل‌های BTS در اتریش پی‌بردند که میزان شدت امواج حاصله از آنتن‌های مخابراتی رابطه‌ی مستقیمی با فاصله دارد و مقدار سنجش شده کمتر از استاندارد جهانی است.

Isabona و همکاران (۳۳) ایالت لاگوس، نیجریه و در ترکیه طی بررسی‌های انجام شده متوجه شدند که رابطه معناداری بین شدت چگالی امواج الکترومغناطیسی و مقدار تعیین شده توسط استاندارد جهانی وجود دارد و مقادیر اندازه‌گیری شده از حد مجاز تعیین شده کمتر است، Silangam و همکاران (۳۴) در مدارس متوسطه بانکوک و تایلند طی بررسی‌های خود نشان دادند نصب آنتن‌های مخابراتی در نزدیکی مدارس و استفاده از سیستم‌های بی سیم در مدارس بر روی یادگیری دانش‌آموزان تاثیر می‌گذارد اما با این حال میزان شدت اندازه‌گیری امواج الکترومغناطیس پایین‌تر از میزان تعیین شده توسط آژانس‌های بین‌المللی بدست آمده است، Hardel و همکاران (۳۵) در شهر استکهلم با اندازه‌گیری شدت امواج ساطع شده از سیستم‌های بی سیم، اینترنت و با توجه به تاثیرات این امواج بر سلامت انسان پی‌بردند که قرارگیری طولانی مدت در برابر امواج بی سیم

یا مسدود شده باشد، چگالی قدرت کاهش می‌یابد. دلیل این امر این است که، این عناصر انسداد می‌توانند انرژی الکترومغناطیسی تابشی شده را جذب، پراکنده و یا منعکس کنند. در ادامه بررسی به منظور تعیین مداخلات ساختمان در میزان چگالی توان، مواردی از سنجش در داخل ساختمان‌هایی که آنتن بر روی آن‌ها نصب بوده و یا در فواصلی که تحت تاثیر آنتن‌ها بودند، انجام شد که همه موارد قویاً کاهش چگالی توان را در نتیجه حضور ساختمان به عنوان مانع بین آنتن و نقطه سنجش تایید می‌کردند (۲۴).

زارع و همکاران (۲۵) در شهر تهران با مطالعه بر روی تعدادی آنتن مخابراتی پی‌بردند در فواصل ۱۵ متر تا فاصله ۲۰ متر شدت چگالی امواج بیشتر است، بهشتی و همکاران (۲۶) در شهر هشتگرد با مطالعه بر روی اپراتورهای تلفن همراه (ایرانسل و همراه اول) متوجه شدند در فاصله ۲۰ متر شدت چگالی توان امواج در هر دو اپراتور بیشترین مقدار است.

بازرگانی و همکاران (۲۷) در شهر زنجان و Dahmi در سال در هند طی مطالعات انجام داده به این نتیجه رسیدند که در فاصله ۲۰ متر بیشترین مقدار چگالی توان اندازه‌گیری شده است. به طوری که در فاصله ۵۰ متر الی ۱۰۰ متر به بالا میزان چگالی توان به حد زمینه رسیده طوری که در فاصله ۱۰۰ متر به بعد شیب نمودار تقریباً خطی است. همچنین طبق نتایج مشخص شد که با افزایش فاصله از دکل‌ها مقدار سنجش کاهش یافته است (۲۸). طبق مقایسه داده‌های اندازه‌گیری شده با استاندارد بین‌المللی ICNIRP مشخص شد که نتایج حاصل بسیار کمتر از حد مجاز تعیین شده توسط آژانس بین‌المللی بوده است.

Roser و همکاران (۲۹) برای اندازه‌گیری فرکانس‌ها از ۶۲۰ تا ۲۴۵۰ مگاهرتز برای مدت زمان ۳ روز متوالی، با دستگاه



از طرفی پایین بودن مقدار اندازه‌گیری‌ها از میزان استاندارد تعیین شده نمی‌توان بطور قطع گفت که امواج الکترومغناطیس هیچ نگرانی از نظر سلامتی برای افرادی که در نزدیکی دکل‌ها زندگی می‌کنند ندارد زیرا طبق برخی مطالعات انجام شده مقدار چگالی توان در حد خیلی کم هم می‌تواند موجب اختلالاتی در انسان شود اما با این وجود میزان شدت چگالی امواج الکترومغناطیس در این مطالعه خیلی کمتر از حد مجاز تعیین شده توسط استاندارد جهانی است.

همچنین پیشنهاد می‌شود علاوه بر سنجش فاصله افقی با دکل‌های BTS فاصله عمودی (ارتفاع) در حین سنجش‌ها لحاظ گردد و سنجش‌ها در شرایط آب و هوایی مختلف (فصل‌ها) نیز مورد بررسی قرار گیرند. تعداد بیشتری از ایستگاه‌ها را در مناطق مختلف شهری با کاربری‌های گوناگون مورد ارزیابی و تأثیر هم‌پوشانی آنتن‌ها در سنجش‌ها مد نظر قرار گرفته شود. در همین راستا تعداد رادیوهای متصل به آنتن و قدرت آن‌ها نیز در اندازه‌گیری‌ها لحاظ گردد و به عوامل طبیعی مانند شیب زمین، موانع بر سر راه، نوع پوشش گیاهی، نوع مصالح ساختمانی، ارتفاع دکل‌ها و پارامترهای تأثیرگذار دیگر در سنجش‌ها توجه گردد.

علت آنکه در برخی مکان‌ها با افزایش فاصله میزان شدت چگالی امواج الکترومغناطیسی افزایش یافته این است که در برخی از مناطق ارتفاع دکل‌ها و همچنین ارتفاع ساختمان‌ها بسیار بالا بود و در فاصله نزدیک مقدار شدت کمتر و در فاصله دور میزان شدت امواج بیشتر می‌شود. همچنین شدت امواج در منبع بیشتر است که در فواصل دورتر، شدت آن کاهش می‌یابد. لذا بنظر می‌رسد در منطقه مورد مطالعه، امواج ناشی از ایستگاه‌های پایه تلفن همراه خطر خاصی برای سلامتی ایجاد نمی‌نماید. براساس مطالعات صورت گرفته، لازم است جانب احتیاط رعایت گردد چرا که در

باعث تأثیرات سوئی در حافظه افراد می‌شود با وجود این که شدت چگالی امواج الکترومغناطیس از مقدار استاندارد تعیین شده توسط آژانس بین‌المللی امواج غیر یونیزان کمتر بوده است اما تأثیرات آن را نمی‌توان نادیده گرفت. Sallomi و همکاران (۳۶) در عراق بر تأثیر امواج الکترومغناطیس ناشی از آنتن‌های مخابراتی و تأثیر آن بر روی کودکان و یادگیری آن‌ها متوجه شدند شدت امواج الکترومغناطیسی باعث عدم تمرکز کودکان در درازمدت می‌شود. در نهایت نتایج نشان داد که شدت چگالی امواج الکترومغناطیس پایین‌تر از حد مجاز تعیین شده است. Carlberg و همکاران (۳۷) در اندازه‌گیری شدت چگالی امواج الکترومغناطیسی در قسمت‌های مرکزی استکهلم دریافتند که چگالی توان امواج الکترومغناطیسی کمتر از میزان تعیین شده توسط استاندارد ICNIRP بوده است. که تمامی مطالعات با پژوهش حاضر همخوانی دارند.

نتیجه‌گیری

باتوجه به اینکه بیشترین مقادیر سنجش شده چگالی توان امواج مایکروویو آنتن‌های BTS در نزدیکترین فاصله از آنتن‌ها ثبت گردید بنابراین توصیه می‌گردد از نصب این آنتن‌ها در مجاورت ساختمان‌های مسکونی اجتناب شود. با توجه به متغیر بودن عددهای اندازه‌گیری در برخی نقاط، بدست آوردن نقاط بحرانی که در آن امواج چندین آنتن باهم برخورد کرده و شدت چگالی امواج و نیز میزان مواجهه را به بیشترین مقدار خود می‌رساند، مشکل است. در همین راستا لازم به ذکر است که مقدار آهن بکار رفته در ساختمان‌های اطراف آنتن‌ها، تعداد کاربران هر اپراتور، ارتفاع ساختمان‌هایی که آنتن‌ها بروی آن نصب بودند، وجود فضای سبز و درختان در اطراف دکل‌ها و نیز ساعات اوج مصرف و همچنین خرابی برخی آنتن‌ها و خاموش بودن برخی دیگر از آن‌ها از محدودیت‌های این تحقیق بشمار می‌رود.

نویسندگان کمال تشکر و قدردانی خود را از زحمات گروه محیط زیست دانشگاه ملایر بابت در اختیار قرار دادن امکانات لازم در انجام این پژوهش را اعلام می‌دارند.

تعارض منافع

هیچ گونه تعارضی در منافع نویسندگان وجود ندارد.

معرض قرار گرفتن طولانی مدت، پیامدهایی منفی بر سلامت افراد را ایجاد می‌کند که در نهایت برای رسیدن به پاسخ‌های دقیق در این رابطه مطالعات گسترده تری لازم است.

تشکر و قدردانی

References

- Nakhli A, Occupational Injuries from Non-Ionized Radiation. Final report, Institute of Labor and Social Affairs 1996; 3: 23 - 28 [Persian]
- Calamia M, Franceschetti G, Mori AElettromagnetismo e Ingegneria. Uno strettoconnubio. In: Storia dell'ingegneria, Atti del 4°Convegno Nazionale, Cuzzolin, Napoli 2012; 16-22 <http://www.academia.edu/download/32331668/ATTI2012-Igiene.pdf>
- WHO. Electromagnetic fields and public health: Mobile phone. World Health Organization Publication; 2014 https://scholar.google.com/scholar?q=related:VdapfvXKHdsJ:scholar.google.com/&scioq=Electromagnetic+fields+and+public+health:+Mobile+phone%2B2014&hl=en&as_sdt=0,5
- Omar S, Nasr M, Rafla D. Evaluation of Parenteral Antioxidant as a Protective Therapy Against Electromagnetic Radiation Produced by Cell Phones on Hematological and Biochemical Parameters in Rats. *J Adv Pharm Re* 2018; 2 (1): 28-35 http://aprh.journals.ekb.eg/article_4833.html
- Buckus R, Strukcinskien B, Raistenskis J, Stukas R, Šidlauskien A, Čerkauskien, Isopescu, D.N., Stabryla, J., Cretescu, I. A technical approach to the evaluation of radiofrequency radiation emissions from mobile telephony base stations. *Int.J. Environ. Res. Public Health* .2017; (14): 244p <https://www.mdpi.com/1660-4601/14/3/244>
- Bandara P, Weller S. Biological effects of low-intensity radiofrequency electromagnetic radiation—time for a paradigm shift in regulation of public exposure. *Radiat Protect Australas*.2017; 34:2–6. <https://scholar.google.com/scholar?q=related:3Z-K6cGT4JUJ:scholar.google.com>
- Akinyemi, L.A., N.T. Makanjuola, O. Shoewu, and F.O. Edeko. “Comparative Analysis of Base Transceiver Station (BTS) and Power Transmission Lines Effects on Human Body in the Lagos Environs, Lagos State, Nigeria.” *African Journal of Computing & ICT*. 2014; 7(2):33-42. <https://pdfs.semanticscholar.org/8b07/fd23891ab284fd29d0df87ccfd873bb9cf24.pdf>
- Röösli M, Hug K.. Wireless communication fields and non-specific symptoms of ill health: a literature review. *Wien Med Wochenschr*.2011; 161 (9–10): 240–250. <https://link.springer.com/article/10.1007/s10354-011-0883-9>
- Delnavaz F. Introduction to Non-Ionizing Radiation and Their Protection, *Journal of Bid Company*. 2006; 52 p. <http://media0.cnc.wgz.ro/files/media0:4aeaad5f72bf3.doc.upl/gsm%20engleza.doc>
- Mann S, Cooper T.G, Allen S.G, Blackwell R.P. and Lowe A.J. Exposure to radio waves near mobile phone base stations. *Radiological Protection Bulletin*. 2000; 4(7): 13-16. <http://www.statesassembly.gov.je/ScrutinyReviewResearches/2007/9701-12777-1912007.pdf>
- Jadid M, Firouzabad S, Rashidpour A, Bolouri B, Fathollahi Y. The effect of electromagnetic waves of GSM mobile phone system on electrical impedance of rat hippocampus. *Iran J Medl Phys* 2006; 21 - 28 [Persian] <http://koomeshjournal.semums.ac.ir/article-1-1887-fa.pdf>
- Phillips JL, Singh N.P, Lai H. Electromagnetic fields and DNA damage. *Pathophysiology*2009; 16(2-3): 79-88 <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0928468009000145>
- Chadwick P, Lowes F. Magnetic fields on British trains. *Ann. Occup. Hyg* 2001; 42: 331–335 <https://academic.oup.com/annweh/article-abstract/42/5/331/215878>

14. World Health Organization (WHO). Framework for Developing Health-Based EMF Standards; W H O: Geneva, Switzerland 2006; 458P https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/43491/9241594330_eng.pdf
15. Nasiri P, Monazzam M, Zare S, Azam K, Yousefi Z, Hemmat Jo R. Investigation of electromagnetic waves propagation induced by BTS antennas. *J Health & Enviro*, 2011; (4) 3: 331 – 340 [Persian] <http://ijhe.tums.ac.ir/article-1-64-fa.pdf>
16. Gonzalez-Rubio J, Najera A, Arribas E. Comprehensive personal RF-EMF exposure map and its potential use in epidemiological studies. *Environ. Res.* 2016; 149: 105–112. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0013935116301797>
17. Hardel L, Carlberg M, Hedendahl. Radiofrequency radiation from nearby base stations gives high levels in an apartment in Stockholm, Sweden: A case report. *ONCOLOGY LETTERS* 2018; 15: 7871-7883 <https://www.spandidos-publications.com/ol/15/5/7871>
18. Jafari N, Heydari M, Askari M. Mobile radiation simulator near adult and child head. *J Parame S & Milit Health* 2017; (13) 1: 45 – 56 [Persian] <https://www.magiran.com/paper/1863515>
19. Havas M. The Role of Electromagnetic Pollution in Cancer Promotion. *Clin Oncol*. 2017; 1278p https://emmind.net/openpapers_repos/Applied_Fields_Hazads/Various_Effects/Various_Reviews/2017_The_Role_of_Electromagnetic_Pollution_in_Cancer.pdf
20. Birks L.E, Struchen B, Eeftens M, van Wel L, Huss A, Gajšek P, Kheifets L, Gallastegi M, Dalmau-Bueno A, Estarlich M, Fernandez M.F. Spatial and temporal variability of personal environmental exposure to radio frequency electromagnetic fields in children in Europe. *Enviro interna* 2018; 117: 204-214 <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0160412017320597>
21. International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection. ICNIRP statement on the “guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic, and electromagnetic fields (up to 300 GHz)”. *Health Physics* 2009; 97(3): 257-58 <https://journals.lww.com/health>
22. Grandolfo M, Worldwide standards on exposure to electromagnetic fields: an overview. *The Environmentalist* 2009; 29(2): 109-17 <https://link.springer.com/article/10.1007/s10669-009-9226-4>
23. Pirogova E, Vojisavljevic V, Cosic I. Biological effects of electromagnetic radiation. *Biomedical engineering (Ed), Carlos Alexandra Barros de Mello* 2009; 13: 458-489 <https://www.intechopen.com/download/pdf/8795>
24. Atenaga M, Isabona J. Assessment of Radiated Electromagnetic Waves from Base Station Antennas using Calculation and Field Measurement Techniques. *Interna J Adv Resergh Computer S & Soft Eng* 2018; 3:46-56 <https://www.researchgate.net/profile/Joseph>
25. Zare S, Nasiri P, Monazzam M, Azam K, Yousefi Z, Hemmatjo R. Investigation of Electromagnetic Emission Status of 900 MHz BTS Band Antennas in Tehran. *J Health & Environ* 2011; (4) 3 331 -338 [Persian]] <http://ijhe.tums.ac.ir/article-1-65-fa.pdf>
26. Beheshti M, Naseri S, Monazzam M, Sididi Sh. Power density measurement of electromagnetic waves caused by BTS antennas in Hashtgerd city with an approach to study the possible effects on public health and its outline in GIS environment. *J Envirol Health Engine*. 2012; (1) 1: 30 - 36 [Persian] <http://jehe.abzums.ac.ir/article-1-26-fa.pdf>
27. Bazargani A, Yunsian M, Monazzam M, Mahawi A.H. Study of microwave propagation in indoor environments adjacent to Zanjan mobile phone microsites. *J Health & Enviro*, 2013; (7) 3: 350 - 339 [Persian] <http://ijhe.tums.ac.ir/article-1-5056-fa.pdf>
28. Dhama A.K, Study of electromagnetic radiation pollution in an Indian city. *Enviro monitor & asses* 2012; 184(11): 6507-6512 <https://link.springer.com/article/10.1007/s10661-011-2436-5>
29. Roser K, Schoeni A, Struchen B, Zahner M, Eeftens M, Fröhlich J and Rössli M: Personal radiofrequency electromagnetic field exposure measurements in Swiss adolescents. *Environ Internal* 2017; 99: 303-314 <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S016041201630527X>
30. Mir Taheri F, Kasmai Z, Kasai Z, Malk syah cheshm Z. Measurement of electromagnetic waves in parks in Tehran. *J Enviro science* 2013; 57: 32 - 45 [Persian] https://elmnet.ir/vslg?url=http%3A%2F%2Fuo.e.sinaweb.net%2Farticle_5094_0.html&type=0&id=625227
31. Hosseini Z, Jalili Jahromi A, Malkotian M. Investigation and measurement of electric and magnetic fields in the vicinity of Tehran metropolitan high pressure lines and substations. *Interna Confon Electric Tiran-Tehran* 2012; 28 - 36 [Persian] https://www.civilica.com/Paper-PSC27-PSC27_153.html

32. Hutter H.P, Moshammer H, Wallner p, Kundi M. Mobile telephone base- stations effects on helth and wellbeing. *Occup Environ Med* 2006; 63(17): 307- 313 http://www.avaate.org/IMG/pdf/HUTTER_RHODES.pdf
33. Isabona J, Srivastava V, Robert O. Spatial Variation of the Electromagnetic Radiations due to Exposure to Telecommunication Base station Transmitters in a Pilot Region. *Intern J Appl Engin Reserch* 2016; 10994-11001 https://www.researchgate.net/profile/Joseph_Isabona2/publication/311794972.pdf
34. Silangam W, Yoosook W, Kongtip P, Kongtaweler A, Theppeang K. Exposure to extremely low frequency EMF during lessons in secondary schools. *Radiat Prot Dosimetry* 2017; 5:1-5. <https://academic.oup.com/rpd/article-abstract/179/3/248/4677320>
35. Hardel L, Carlberg M, Hedendahl. Radiofrequency radiation from nearby base stations gives high levels in an apartment in Stockholm, Sweden: A case report. *ONCOLOGY LETTERS* 2018; 15: 7871-7883 <https://www.spandidos-publications.com/ol/15/5/7871>
36. Sallomi H, Hashem A, Naji K. Calculated and Measured Values of RF Pollution Level of Cellular Base Stations Radiation in Iraq. *J Advs Research in Dynamicl & Cntrl Sys* 2018; 1530-1536 <https://www.researchgate.net/publication/329028552>
37. Carlberg M, Hedendahl L, Koppel T, Hardell L. High ambient radiofrequency radiation in Stockholm city, Sweden. *ONCOLOGY LETTERS* 2019; 17: 1777-1783 <https://www.spandidos-publications.com/10.3892/ol.2018.9789>



Measurement of electromagnetic waves induced by BTS antennas in some residential areas of Karaj

Fatemeh Akbari, Samar Mortazavi*

Department of Natural Resources and Environment, University of Malayer Malayer, Iran

Original Article

Received: 7 Octob 2019

Accepted: 26 Jan 2020

***Corresponding Author:**

Dr. Samar Mortazavi,
Department of Environment,
Malayer School of Natural
Resources, University of
Malayer

TEL: 09166652008

Email:

mortazavi.s@gmail.com

ABSTRACT

Introduction

With the advances in technology and communications, telecommunications and wireless systems, mobile phones worldwide and the number of BTS antennas are increasing in cities. Due to the dangers of these waves on human health, the purpose of this study was to investigate the electromagnetic radiation emission around BTS antennas in Karaj residential areas.

Materials and Methods

By field monitoring, 57 stations in Karaj were selected. Three replicates were measured at 5, 10, 30, and 50 m intervals by a TES-92 calibrated instrument made by Taiwan. Statistical analysis was performed to compare the standard and the waves at intervals with SPSS software.

Results

The results showed that as the distance from the antennas increased, the power density of the electromagnetic waves decreased. In addition, within 10 meters of the masts, the highest measured wave density was obtained with an average of 10.2222. There were significant differences at all distances except 5 and 30 meters ($p < 0.05$) and the results were lower than the ICNIRP standard.

Conclusion

The distance factor is the most important characteristic in determining the density of electromagnetic waves. It seems that the magnitude of the electromagnetic waves at 10 meters distance is more than 5 meters due to shading and environmental factors. The overall results indicate the safe conditions of electromagnetic waves caused by BTS antennas in the city of Karaj, which is recommended to monitor the installation of new antennas at safe distances to maintain the existing conditions.

Keywords

BTS, Electromagnetic Waves, ICNIRP, Karaj, Residential

► **Please cite this article as:** Akbari F, Mortazavi S. Measurement of electromagnetic waves induced by BTS antennas in some residential areas of Karaj. J Neyshabur Univ Med Sci 2020;8(2):29-45.