

مطالعه انتشار امواج مایکروویو در محیط‌های درونی مجاور ماکروسایت‌های تلفن سیار شهر زنجان

اعظم بازرگانی^۱، مسعود یونسیان^۲، محمد رضا منظم^۳، امیر حسین محوی^۴ و^{۵*}

دریافت: ۹۲/۱۲/۱۴ پذیرش: ۹۳/۰۳/۱۱

چکیده

زمینه و هدف: رشد صنعت ارتباطات در دهه‌های اخیر موجب دسترسی عمومی به سیستم سیار تلفنی با صرفه اقتصادی گردید که ناگزیر از ایجاد ایستگاه‌های پایه تلفن همراه در حجم وسیع برای پاسخگویی به تقاضای جامعه شد. آنتن‌ها برای تامین پوشش مناسب بر روی دکل‌های مرتفع نصب می‌گردند و منابع اختصاصی تولید امواج مایکروویو محسوب می‌شوند. پرتوگیری افراد از میادین رادیوفرکانسی موجب نگرانی در خصوص احتمال ایجاد عوارض سو آنتن‌ها ناشی از امواج مایکروویو بر سلامتی شده است. هدف مطالعه حاضر بررسی وضعیت انتشار امواج مایکروویو در شرایط مواجهه واقعی افراد در محیط‌های درونی مجاور ماکروسایت‌ها در شهر زنجان است.

روش بررسی: در این تحقیق چگالی توان امواج مایکروویو در اطراف ۶۴ آنتن ماکروایستگاه پایه در محیط‌های درونی شامل اماکن مسکونی و مراکز حساس، در فواصل و ارتفاع‌های متفاوت اندازه‌گیری شد. اندازه‌گیری به روش استاندارد ۱، IEEE Std C95 با دستگاه پرتابل SPECTRAN.HF-۴۰۶۰ Rev.۳ انجام شد. تحلیل داده‌ها با نرم افزار آماري ۱۸ SPSS با استفاده از آزمون‌های کولموگروف اسمیرنف، تحلیل واریانس تک متغیره، و نهایتاً مدل رگرسیون چند متغیره انجام گرفت.

یافته‌ها: نتایج نشان داد بیشترین میانگین چگالی توان مربوط به فاصله ۲۰ m برابر 0.03787 mW/m^2 است. با افزایش فاصله مقدار چگالی توان امواج کاهش می‌یابد و حداقل مقدار در ۳۰۰ m آنتن با میانگین 0.0108 mW/m^2 اندازه‌گیری شد. همچنین با افزایش ارتفاع میزان چگالی توان امواج مایکروویو افزایش یافت.

نتیجه‌گیری: بیشترین چگالی توان اندازه‌گیری شده در بین ۲۵۲ مورد اندازه‌گیری برابر $7/32 \text{ mW/m}^2$ است که در حدود ۰/۱۶۶٪ میزان مواجهه مجاز استاندارد محیطی در ایران است. با توجه به عدم بررسی اثر عواملی مانند موقعیت ساختمان‌ها، لوازم داخل منازل در این تحقیق توصیه می‌شود مطالعات بیشتری در این زمینه انجام گیرد.

واژگان کلیدی: آنتن ایستگاه پایه، امواج مایکروویو، چگالی توان، محیط درونی

- ۱- کارشناس ارشد مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی تهران، تهران، ایران
- ۲- استاد گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی تهران، تهران، ایران
- ۳- مرکز تحقیقات آلودگی هوا، پژوهشکده محیط زیست، دانشگاه علوم پزشکی تهران، تهران، ایران
- ۴- استاد گروه مهندسی بهداشت حرفه ای، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی تهران، تهران، ایران
- ۵- مرکز تحقیقات مواد زائد جامد، پژوهشکده محیط زیست، دانشگاه علوم پزشکی تهران، تهران، ایران
- ۶- (نویسنده مسئول): استادیار گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی تهران، تهران، ایران

مقدمه

رشد صنعت ارتباطات در دهه‌های اخیر موجب دسترسی عمومی به سیستم سیار تلفنی با صرفه اقتصادی گردید که ناگزیر از ایجاد ایستگاه‌های پایه تلفن همراه در حجم وسیع برای پاسخگویی به تقاضای فزاینده مشترکین شد. آنتن‌های ماکروسول بطور معمول برای تامین پوشش مناسب بر روی دکل‌هایی با ارتفاع ۲۵ - ۲۰ m نصب می‌گردند (۱-۳). در ایران نیز هر چند صنعت مخابرات سیار با تاخیر ده ساله وارد کشور شد، مشابه سایر نقاط دنیا افزایش ناگهانی تعداد ایستگاه‌های پایه تلفن همراه را در پی داشت. آنتن‌های ایستگاه پایه منابع اختصاصی تولید امواج مایکروویوها در فرکانس معین و تشعشع هدفمند در محیط هستند. مایکروویو بخشی از امواج الکترومغناطیس غیر یون‌ساز هستند که در محدوده فرکانسی ۳۰۰ GHz تا ۳۰ MHz قرار دارند و طول موج آن از ۱ mm تا ۱ m ذکر شده است (۴-۶). در این تابشگرها امکان کاهش سطح تماس وجود ندارد زیرا میزان توان انتقالی، در حدود ۱۰ W برای هر کانال در آنتن‌های ماکروسول، برای عملکرد صحیح سیستم لازم است. در حال حاضر چگالی توان امواج مایکروویو به عنوان آلودگی زیست محیطی شناخته نمی‌شود. بنابراین هدف مطالعات بررسی و شناخت خطرات بالقوه و دور کردن افراد از این خطرات است (۱-۳).

اثرات سو بیولوژیکی امواج مایکروویو به آثار حرارتی و غیر حرارتی تقسیم می‌شود. میزان نفوذ پرتوهای الکترومغناطیس در بدن انسان در طول موج‌های مختلف یکسان نیست. میزان انرژی جذب شده توسط بدن انسان به بسامد موج، وضعیت نسبی بدن و منبع فرستنده موج، ابعاد بدن، شرایط محیطی نظیر دمای محیط و غیره بستگی دارد. در بسامدهای بالا ($GHz < 3$) انرژی مایکروویو عمدتاً توسط پوست جذب می‌شود حال آنکه در بسامدهای پایین‌تر، بخش مهمی از انرژی توسط اندام‌های داخلی بدن جذب می‌گردد. ساز و کار برهمکنش تابش میکروموج‌ها با سیستم‌های زنده هنوز به درستی شناخته نشده است (۲، ۴، ۷-۱۰). در برخی پژوهش‌ها به اثرات زیان بار بیولوژیکی ناشی از مقادیر بسیار کم تشعشع اشاره شده است که بدون ایجاد هر گونه تغییر قابل توجه در دمای بدن رخ داده است که نشان‌دهنده وجود اثرات غیر حرارتی در مقادیر کمتر از حدود مجاز تعیین شده توسط

کمیسیون بین‌المللی حفاظت در برابر تشعشع غیر یونیزان دارد (۱).

سازمان جهانی بهداشت از سال ۱۹۹۶ یک پروژه بین‌المللی را با نام پروژه میدین الکترومغناطیس (Electro magnetic frequency) با مشارکت کمیسیون بین‌المللی حفاظت در برابر تشعشع غیر یونیزان، هفت موسسه و بیش از ۴۵ مرکز ملی، برای ارزیابی خطرات احتمالی امواج الکترومغناطیس بر سلامتی انسان آغاز نموده است. در این پروژه بین‌المللی، محققین سراسر جهان بررسی‌هایی را در محیط‌های *in vitro*، *in vivo* بر روی اثرات زیستی امواج رادیو فرکانسی انجام می‌دهند (۱۱-۱۳).

در حال حاضر سرویس مخابرات سیار حدود ۵۳ میلیون مشترک را با ضریب نفوذ ۷۲ درصد در کل کشور پوشش می‌دهد که بزرگ‌ترین شبکه ارتباطی خاورمیانه محسوب می‌شود و دارای ۳۵ هزار آنتن ایستگاه پایه فعال است (۱۴).

موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران در سال ۱۳۸۵ در استاندارد کد ۸۵۶۷ با عنوان پرتوهای غیر یونساز، حدود پرتوگیری برای پرتوگیری عموم مردم را همان استاندارد کمیسیون بین‌المللی حفاظت در برابر تشعشعات غیر یونیزان برابر با 4500 mW/m^2 به عنوان حد مجاز پرتوگیری ذکر نمود (۱۴، ۵، ۲). نتایج تحقیق مرکز نظام ایمنی هسته‌ای کشور، حفاظت در برابر پرتو، در سال‌های ۱۳۸۹ تا ۱۳۹۰ در محیط‌های بیرونی و درونی در بیش از ۵۰ شهر نشان داد مقادیر چگالی توان اندازه‌گیری شده کمتر از حد مجاز توصیه شده برابر 4500 mW/m^2 است (۱۵). ۲۲۳ مورد اندازه‌گیری چگالی توان از سال ۱۹۹۷ تا سال ۲۰۰۰ در اتریش انجام شد. میانگین سنجش‌ها به ترتیب برابر با 0.1919 mW/m^2 در محیط‌های درونی و 0.3496 mW/m^2 در محیط بیرونی که کمتر از حد مجاز توصیه شده بود (۲).

در این مطالعه وضعیت انتشار امواج مایکروویو ماکروسایت‌های تلفن همراه در محیط‌های درونی مجاور ماکروسایت‌ها و شرایط واقعی مواجهه افراد در شهر زنجان بررسی و مقادیر چگالی توان به دست آمده در ایستگاه‌های تعیین شده با مقادیر استاندارد مواجهه مجاز محیطی مقایسه گردید.

معیار چگالی توان در ۴۰ نقطه بدست آمد. با در نظر گرفتن ۱۰ درصد خطای احتمالی برای نمونه‌گیری، ۲۵۲ مورد اندازه‌گیری در محیط‌های درونی در فواصل ۵۰، ۱۰۰، ۱۵۰، ۲۰۰، ۳۰۰، ۴۰۰، ۵۰۰، ۶۰۰، ۷۰۰، ۸۰۰، ۹۰۰، ۱۰۰۰، ۱۱۰۰، ۱۲۰۰، ۱۳۰۰، ۱۴۰۰، ۱۵۰۰، ۱۶۰۰، ۱۷۰۰، ۱۸۰۰، ۱۹۰۰، ۲۰۰۰، ۲۱۰۰، ۲۲۰۰، ۲۳۰۰، ۲۴۰۰، ۲۵۰۰، ۲۶۰۰، ۲۷۰۰، ۲۸۰۰، ۲۹۰۰، ۳۰۰۰، شامل محل‌های مسکونی (۱۷۴)، آموزشی و بهداشتی از جمله مدارس، هنرستان‌ها، مهد کودک، مراکز درمانی (۷۸)، انجام گرفت (به شرح جدول شماره ۱) که تمامی اندازه‌گیری‌های چگالی توان در فاصله بیش از ۱/۵ m از پای نزدیکترین پنجره و ۲ m از سطح محل اندازه‌گیری در طبقات مختلف ساختمان‌ها با ارتفاع‌های ۳، ۶، ۹، ۱۲، ۱۵، ۱۸، ۲۱، ۲۴، ۲۷، ۳۰، ۳۳، ۳۶، ۳۹، ۴۲، ۴۵، ۴۸، ۵۱، ۵۴، ۵۷، ۶۰، ۶۳، ۶۶، ۶۹، ۷۲، ۷۵، ۷۸، ۸۱، ۸۴، ۸۷، ۹۰، ۹۳، ۹۶، ۹۹، ۱۰۲، ۱۰۵، ۱۰۸، ۱۱۱، ۱۱۴، ۱۱۷، ۱۲۰، ۱۲۳، ۱۲۶، ۱۲۹، ۱۳۲، ۱۳۵، ۱۳۸، ۱۴۱، ۱۴۴، ۱۴۷، ۱۵۰، ۱۵۳، ۱۵۶، ۱۵۹، ۱۶۲، ۱۶۵، ۱۶۸، ۱۷۱، ۱۷۴، ۱۷۷، ۱۸۰، ۱۸۳، ۱۸۶، ۱۸۹، ۱۹۲، ۱۹۵، ۱۹۸، ۲۰۱، ۲۰۴، ۲۰۷، ۲۱۰، ۲۱۳، ۲۱۶، ۲۱۹، ۲۲۲، ۲۲۵، ۲۲۸، ۲۳۱، ۲۳۴، ۲۳۷، ۲۴۰، ۲۴۳، ۲۴۶، ۲۴۹، ۲۵۲، صورت گرفت. تعداد و موقعیت نقاط اندازه‌گیری (همکف) در اکثر موارد تابع موقعیت ساختمان‌های موجود در مجاورت ایستگاه‌های پایه، فاصله و ارتفاع طبقات بوده به همین جهت تعداد نقاط اندازه‌گیری در فواصل و ارتفاع‌های مختلف یکسان نیست. ایستگاه‌های انتخاب شده و محدوده مورد بررسی چگالی توان امواج مایکروویو در محیط درونی در شکل شماره ۱ مشاهده می‌شود.

مواد و روش‌ها

پژوهش حاضر از نوع مطالعات مقطعی است. منابع تابش امواج مایکروویو آنتن‌های ماکرو ایستگاه پایه تلفن همراه با فرکانس ۹۰۰ MHz بوده و محل جغرافیایی مطالعه شهر زنجان انتخاب شد. بعد از شناسایی موقعیت آنتن‌های ایستگاه‌های پایه در سایت مطالعه، با لحاظ اهمیت با توجه به محل استقرار مورد بررسی قرار گرفتند. چگالی توان امواج مایکروویو در محیط‌های داخلی مجاور با ایستگاه‌ها اندازه‌گیری شد. تعداد ۶۴ آنتن ایستگاهی پایه که شامل ۸۵٪ از کل آنتن‌های ایستگاه پایه موجود در شهر زنجان بود مورد مطالعه قرار گرفت. ابتدا با توجه به مطالعه مقدماتی تعداد $n = 10$ آنتن ماکروسل در باند ۹۰۰ MHz انتخاب و در اطراف هر آنتن ۴ اندازه‌گیری در فواصل (۰ پایه دکل، ۱۵ m، ۱۰ m، ۵ m از آنتن)، با زاویه ۴۵ درجه از تیلت آنتن انجام شد که در مجموع ۴۰ نقطه به صورت پایلوت انتخاب شد (۱۸، ۱۷، ۱۰). انحراف



شکل ۱: محل و محدوده ایستگاه‌های پایه انتخاب شده جهت بررسی چگالی توان امواج مایکروویو در محیط درونی

جدول ۱: تعداد نمونه‌های برداشت شده در محیط‌های درونی به تفکیک مناطق مسکونی و نقاط حساس

فاصله از آنتن (m)	ارتفاع از سطح زمین (m)	تعداد نمونه در مناطق مسکونی	تعداد نمونه در مناطق حساس
۱۰	۰	۹	۱
۲۰	۰	۱۵	۶
۳۰	۳	۶	۴
۴۰	۰	۳۴	۱۴
۵۰	۶	۵	۴
۶۰	۹	۳	۱
۷۰	۱۲	۳	۱
۱۰۰	۰	۳۳	۱۳
۱۰۰	۳	۵	۲
۱۵۰	۶	۱	۲
۱۵۰	۰	۲۲	۱۰
۲۰۰	۳	۰	۳
۲۰۰	۰	۲۱	۱۰
۳۰۰	۰	۷	۱

اندازه‌گیری‌ها به روش استاندارد IEEE Std C95.1 (۱۵) با استفاده از دستگاه پرتابل HF-4060 SPECTRAN, Rev.3 که برای اندازه‌گیری چگالی توان امواج مایکروویو، مورد استفاده قرار می‌گیرد، انجام شد. لازم به ذکر است کلیه اندازه‌گیری‌ها در جهت آنتن و دور از هر گونه وسیله تابش امواج مایکروویو صورت گرفت. به دلیل احتمال تاثیر شرایط جوی و تاثیرات احتمالی ناشی از ایجاد تداخل امواج مغناطیسی در نتایج نمونه‌برداری تمام سنجش‌ها در ساعات ۹-۱۵ شبانه روز و در شرایط جوی مشابه کاملاً آفتابی در فصل بهار و تابستان سال ۱۳۹۱ انجام گرفت.

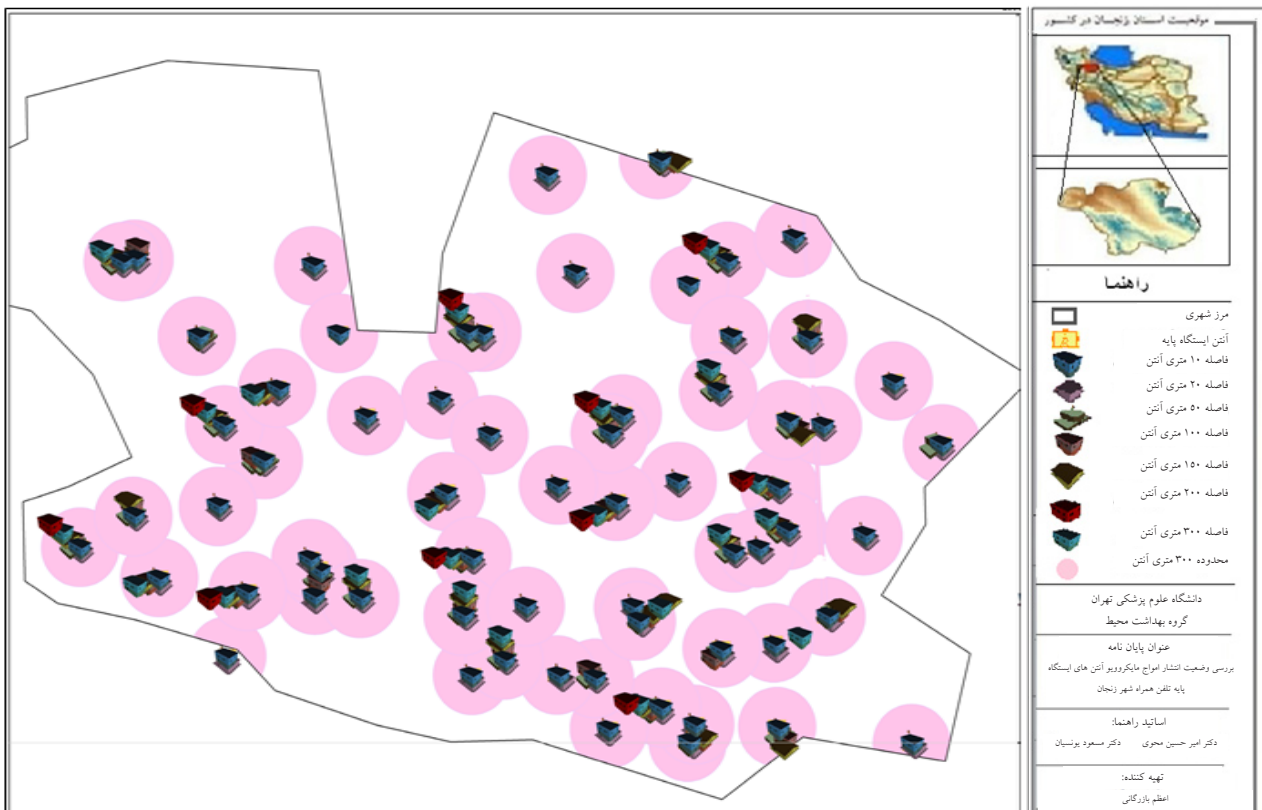
یافته‌ها

نتایج حاصل از اندازه‌گیری چگالی توان امواج مایکروویو در باند ۹۰۰ MHz آنتن‌های ایستگاه پایه در محیط‌های درونی، اماکن مسکونی و مراکز حساس، در شهر زنجان به شرح ذیل به دست آمد. در محیط درونی ۲۵۲ سنجش در فواصل مختلف

اندازه‌گیری‌ها به روش استاندارد IEEE Std C95.1 (۱۵) با استفاده از دستگاه پرتابل HF-4060 SPECTRAN, Rev.3 که برای اندازه‌گیری چگالی توان امواج مایکروویو، مورد استفاده قرار می‌گیرد، انجام شد. لازم به ذکر است کلیه اندازه‌گیری‌ها در جهت آنتن و دور از هر گونه وسیله تابش امواج مایکروویو صورت گرفت. به دلیل احتمال تاثیر شرایط جوی و تاثیرات احتمالی ناشی از ایجاد تداخل امواج مغناطیسی در نتایج نمونه‌برداری تمام سنجش‌ها در ساعات ۹-۱۵ شبانه روز و در شرایط جوی مشابه کاملاً آفتابی در فصل بهار و تابستان سال ۱۳۹۱ انجام گرفت.

اندازه‌گیری‌ها به روش استاندارد IEEE Std C95.1 (۱۵) با استفاده از دستگاه پرتابل HF-4060 SPECTRAN, Rev.3 که برای اندازه‌گیری چگالی توان امواج مایکروویو، مورد استفاده قرار می‌گیرد، انجام شد. لازم به ذکر است کلیه اندازه‌گیری‌ها در جهت آنتن و دور از هر گونه وسیله تابش امواج مایکروویو صورت گرفت. به دلیل احتمال تاثیر شرایط جوی و تاثیرات احتمالی ناشی از ایجاد تداخل امواج مغناطیسی در نتایج نمونه‌برداری تمام سنجش‌ها در ساعات ۹-۱۵ شبانه روز و در شرایط جوی مشابه کاملاً آفتابی در فصل بهار و تابستان سال ۱۳۹۱ انجام گرفت.

اندازه‌گیری‌ها به روش استاندارد IEEE Std C95.1 (۱۵) با استفاده از دستگاه پرتابل HF-4060 SPECTRAN, Rev.3 که برای اندازه‌گیری چگالی توان امواج مایکروویو، مورد استفاده قرار می‌گیرد، انجام شد. لازم به ذکر است کلیه اندازه‌گیری‌ها در جهت آنتن و دور از هر گونه وسیله تابش امواج مایکروویو صورت گرفت. به دلیل احتمال تاثیر شرایط جوی و تاثیرات احتمالی ناشی از ایجاد تداخل امواج مغناطیسی در نتایج نمونه‌برداری تمام سنجش‌ها در ساعات ۹-۱۵ شبانه روز و در شرایط جوی مشابه کاملاً آفتابی در فصل بهار و تابستان سال ۱۳۹۱ انجام گرفت.



شکل ۲: نقاط انتخاب شده جهت بررسی شارچگالی توان امواج مایکروویو در محیط‌های درونی مجاور ایستگاه های پایه

با توجه به نتایج حاصل از تحلیل واریانس تک متغیره و مقایسه دو به دو میانگین چگالی توان امواج مایکروویو (فاصله و ارتفاع)، در فاصله اطمینان ۹۵٪ بین میانگین اندازه‌گیری‌ها در فواصل ۰، ۳، ۶، ۹، ۱۲، ۲۰، ۵۰، ۱۰۰، ۱۵۰، ۲۰۰، ۳۰۰ m در تمام فواصل ۰، ۳، ۶، ۹، ۱۲، ۲۰، ۵۰، ۱۰۰، ۱۵۰، ۲۰۰، ۳۰۰ m ارتباط معنی دار آماری ($P\text{-value} < 0/05$) مشاهده شد. مقایسه دو به دو میانگین چگالی توان امواج مایکروویو در ارتفاع‌های مختلف نشان‌دهنده ارتباط معنی‌دار آماری ($P\text{-value} < 0/05$) بین میانگین اندازه‌گیری‌ها در ارتفاع‌های ۰، ۳، ۶، ۹، ۱۲، ۲۰، ۵۰، ۱۰۰، ۱۵۰، ۲۰۰، ۳۰۰ m (همکف) با میانگین سنجش‌ها در کل ارتفاع‌ها در فاصله اطمینان ۹۵٪ است. با افزایش ارتفاع چگالی توان نیز افزایش یافت. جهت بررسی همبستگی میان متغیرهای مستقل و متغیر وابسته از رگرسیون خطی چند متغیره استفاده گردید. با توجه به R^2 به دست آمده که عدد ۰/۷۹ است. در این داده‌ها متغیر فاصله و ارتفاع تواما تقریبا ۷۹٪ از واریانس چگالی توان امواج مایکروویو در محیط‌های درونی را توجیه می‌کند.

میکروویو در محیط‌های درونی وجود دارد و با افزایش ارتفاع مقادیر افزایش می‌یابد.

همانطور که در بالا اشاره شد در این تحقیق انتخاب نقاط نمونه برداری تابع موقعیت ساختمان‌های مجاور ایستگاه‌های پایه بود که با توجه به تعداد اندک ساختمان‌ها در میدان نزدیک آنتن‌ها تعداد سنجش انجام شده نیز کم بود، لذا آنالیز داده‌ها در پژوهش حاضر فقط در میدان دور انجام گردید.

جهت بررسی نرمال بودن توزیع چگالی توان از آزمون Kolmogorov-Smirnov استفاده شد، که نتیجه آزمون نشان می‌دهد مقادیر چگالی توان امواج مایکروویو به دست آمده از توزیع نرمال پیروی نمی‌کند. برای تعیین رابطه بین داده‌ها از داده‌ها لگاریتم گرفته و توزیع داده‌ها نرمال گردید که در واقع با استفاده از تغییر متغیر، داده‌ها تحلیل گردیدند. برای مقایسه میانگین اندازه‌گیری‌های انجام شده در فواصل و ارتفاع‌های مختلف از تحلیل واریانس تک متغیره استفاده گردید و جهت شناسایی تفاوت‌های میانگین دو به دو از تصحیح bonferroni استفاده شد.

جدول ۲: نتایج اندازه‌گیری چگالی توان امواج مایکروویو در باند ۹۰۰ MHz در محیط‌های درونی به تفکیک مناطق

فاصله m	ارتفاع m	میانگین (mw/m ²)		انحراف معیار		حداقل (mw/m ²)		حداکثر (mw/m ²)	
		مناطق مسکونی	مناطق حساس	مناطق مسکونی	مناطق حساس	مناطق مسکونی	مناطق حساس	مناطق مسکونی	مناطق حساس
۱۰	۰	۰/۰۳۰۳	۰/۰۱۲۵	۰/۰۱۰۸	۰/۰۱۲۵	۰/۰۱۵۲	۰/۰۱۲۵	۰/۰۴۵۰	۰/۰۱۲۵
۲۰	۰	۰/۰۳۷۷	۰/۰۳۴۰	۰/۰۱۸۱	۰/۰۲۱۱	۰/۰۲۶۱	۰/۰۱۰۳	۰/۰۶۸۰	۰/۰۵۶۳
۳۰	۳	۰/۰۷۰۷	۰/۰۷۲۳	۰/۰۳۵۵	۰/۰۵۶۱	۰/۰۳۱۱	۰/۰۲۶۱	۰/۱۲۵۴	۰/۱۵۳۹
۴۰	۰	۰/۰۳۱۶	۰/۰۲۹۸	۰/۰۱۲۳	۰/۰۰۸۹	۰/۰۱۳۱	۰/۰۲۰۱	۰/۰۶۱۸	۰/۰۵۲۰
۵۰	۳	۰/۱۶۲۶	۰/۰۸۶۱	۰/۰۸۲۵	۰/۰۶۲۵	۰/۰۳۶۱	۰/۰۲۸۵	۰/۲۷۳۰	۰/۱۷۱۲
۶۰	۶	۰/۱۹۴۱	۰/۴۴۱۶	۰/۰۸۸۸	۰/۲۹۲۷	۰/۰۷۹۹	۰/۲۱۹۸	۰/۲۸۶۰	۰/۹۵۸۰
۷۰	۹	۰/۷۵۳۴	۱/۴۵۴۰	۰/۳۹۵۴	۰/۴۳۸۱	۱/۷۵۴۰	۱/۱۹۷۱	۱/۱۹۷۱	۱/۷۵۴۰
۸۰	۱۲	۴/۳۴۸۱	۵/۱۴۳۰	۰/۵۸۳۷	۳/۸۱۱۰	۵/۱۴۳۰	۴/۹۶۹۰	۵/۱۴۳۰	۵/۱۴۳۰
۹۰	۰	۰/۰۱۶۲	۰/۰۰۸۰	۰/۰۳۱۴	۰/۰۰۹۷	۰/۰۰۲۲	۰/۰۰۲۱	۰/۱۶۲۴	۰/۰۳۸۷
۱۰۰	۳	۱/۴۹۰۲	۰/۰۲۳۴	۳/۲۵۸۹	۰/۰۰۴۶	۰/۰۰۳۴	۰/۰۲۰۱	۷/۳۲۰	۰/۰۲۶۷
۱۱۰	۶	۰/۰۳۶۸	۰/۳۸۲۹	۰	۰/۴۸۲۳	۰/۰۳۶۸	۰/۰۴۱۸	۰/۰۳۶۸	۰/۷۲۴۰
۱۲۰	۰	۰/۰۰۷۸	۰/۰۰۵۸	۰/۰۰۵۳	۰/۰۰۳۹	۰/۰۰۳۷	۰/۰۰۰۸	۰/۰۲۹۰	۰/۰۱۳۰
۱۳۰	۳	۰	۰/۰۱۰۶	۰	۰/۰۰۵۵	۰	۰/۰۰۴۳	۰	۰/۰۱۴۳
۱۴۰	۰	۰/۰۰۳۵	۰/۰۰۳۳	۰/۰۰۱۶	۰/۰۰۱۸	۰/۰۰۰۵	۰/۰۰۱۷	۰/۰۰۷۲	۰/۰۰۶۸
۱۵۰	۰	۰/۰۰۱۱	۰/۰۰۰۶	۰/۰۰۰۹	۰	۰/۰۰۰۳	۰/۰۰۰۶	۰/۰۰۲۸	۰/۰۰۰۶

حساب (m) و h ارتفاع از سطح زمین بر حسب (m) است. برای مقایسه نتایج به دست آمده با استاندارد مواجهه مجاز استاندارد محیطی ابتدا میزان مواجهه مجاز استاندارد محیطی چگالی توان امواج مایکروویو بر اساس استاندارد حدود عمومی ICNIRP در بازه ۲۰۰۰ - ۴۰۰ MHz از رابطه زیر محاسبه گردید.

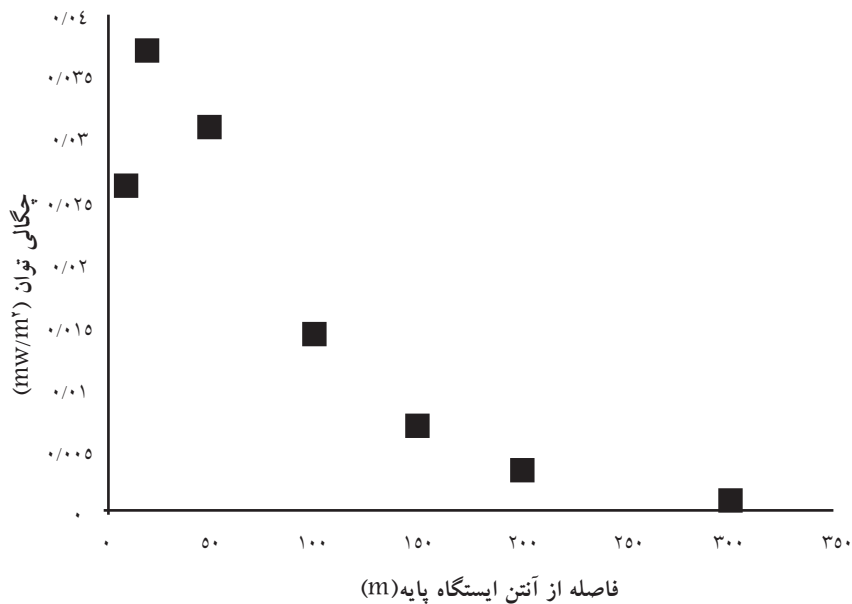
$$\frac{f}{200} \times 1000 = \text{mW/m}^2$$

معادله پیشنهادی حاصل از نتایج رگرسیون برای چگالی توان امواج مایکروویو ۹۰۰ MHz در محیط‌های درونی بصورت زیر است:

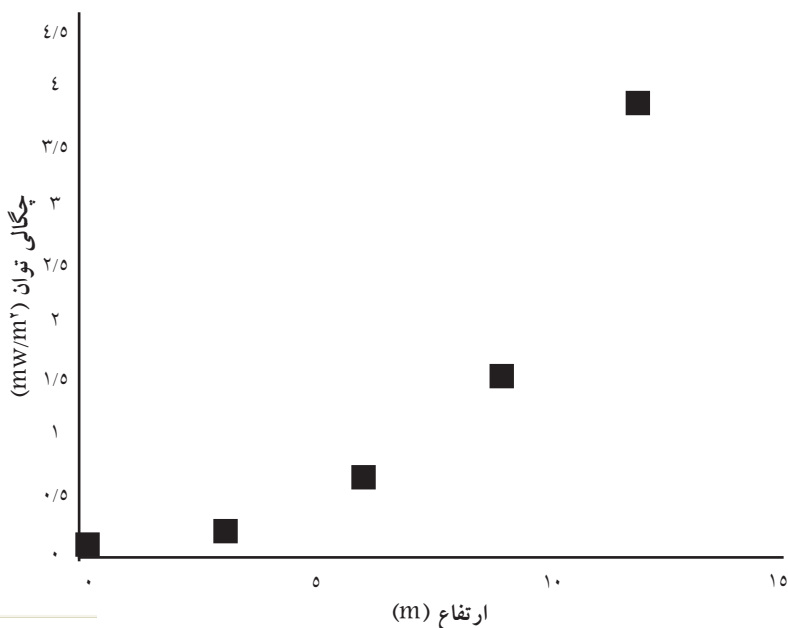
$$B=1.0 \cdot (-3/100 - 0.014x + 0.418h) \quad (1)$$

بطوری که $20 \leq x \leq 300$ و $0 \leq h \leq 12$.

در رابطه (۱)، B چگالی شار مغناطیسی و X فاصله از منبع بر



شکل ۳: انتشار میانگین چگالی توان امواج میکروویو در فواصل مختلف در طبقات همکف در محیط‌های درونی



شکل ۴: انتشار میانگین چگالی توان امواج میکروویو در ارتفاع‌های مختلف در فاصله ۵۰ m آنتن در محیط‌های درونی

مطابق با جدول ۳ در محیط درونی در مناطق مسکونی و نقاط حساس بیشترین مقدار میانگین چگالی توان امواج میکروویو در فاصله ۵۰ m از آنتن ایستگاه پایه در ارتفاع ۱۲ m به ترتیب برابر ۰/۰۹۷٪ و ۰/۱۱۴٪ و کمترین میزان در فاصله ۳۰۰ m و ارتفاع صفر (همکف) به ترتیب برابر با $2/4 \times 10^{-5}$ ٪ و $1/3 \times 10^{-5}$ ٪ حد مجاز استاندارد محیطی است.

که به ازای $f=900\text{MHz}$ مقدار مواجهه مجاز استاندارد محیطی چگالی توان امواج میکروویو برابر 4500mW/m^2 بدست آمد. سپس مقادیر به دست آمده طی انجام مطالعه با استاندارد مقایسه شد.

جدول ۳: مقایسه میانگین چگالی توان امواج مایکروویو با حدود مجاز استاندارد عمومی در محیط‌های درونی

میانگین چگالی توان (mWm^{-2})				ارتفاع از سطح زمین (m)	فاصله از آنتن (m)	مقایسه با استاندارد %
مناطق مسکونی	نقاط حساس	مناطق مسکونی	نقاط حساس			
۰/۰۰۰۳	۰/۰۰۰۷	۰/۰۱۲۵	۰/۰۳۰۳	۰	۱۰	۱
۰/۰۰۰۷	۰/۰۰۰۸	۰/۰۳۴۰	۰/۰۳۷۷	۰	۲۰	۲
۰/۰۰۱۶	۰/۰۰۱۶	۰/۰۷۲۳	۰/۰۷۰۷	۳		۳
۰/۰۰۰۷	۰/۰۰۰۷	۰/۰۲۹۸	۰/۰۳۱۶	۰	۵۰	۴
۰/۰۰۱۹	۰/۰۰۳۶	۰/۰۸۶۱	۰/۱۶۲۵	۳		۵
۰/۰۰۹۸	۰/۰۰۴۳	۰/۴۴۱۶	۰/۱۹۴۰	۶	۱۵۰	۶
۰/۰۳۲۳	۰/۰۱۶۷	۱/۴۵۴۰	۰/۷۵۳۴	۹		۷
۰/۱۱۴	۰/۰۹۶۶	۵/۱۴۳۰	۴/۳۴۸۱	۱۲	۳۰۰	۸
۰/۰۰۰۲	۰/۰۰۰۴	۰/۰۰۸۰	۰/۰۱۶۲	۰		۹
۰/۰۰۰۵	۰/۰۳۳۱	۰/۰۲۳۴	۱/۴۹۰۲	۳	۱۰۰	۱۰
۰/۰۰۸۵	۰/۰۰۰۸	۰/۳۸۲۹	۰/۰۳۶۸	۶		۱۱
۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۲	۰/۰۰۵۸	۰/۰۰۷۸	۰	۱۵۰	۱۲
۰/۰۰۰۲	۰	۰/۰۱۰۶	۰	۳		۱۳
$۷/۳ \times 10^{-5}$	$۷/۸ \times 10^{-5}$	۰/۰۰۳۳	۰/۰۰۳۵	۰	۲۰۰	۱۴
$۱/۳ \times 10^{-5}$	$۲/۴ \times 10^{-5}$	۰/۰۰۰۶	۰/۰۰۱۱	۰		۱۵

بحث

شد که با افزایش فاصله مقدار چگالی توان امواج کاهش یافت و حداقل مقدار در فاصله ۳۰۰ m ($۰/۰۰۱۰۸ mW/m^2$) از آنتن اندازه‌گیری شد. همچنین با افزایش ارتفاع میزان چگالی توان امواج مایکروویو افزایش یافت. کمترین مقدار در طبقه همکف (هم سطح زمین) برابر $۰/۰۳۰۴ mW/m^2$ و در ارتفاع ۱۲ m میانگین چگالی توان $۳/۸۲۱ mW/m^2$ بدست آمد. اندازه‌گیری چگالی توان در ۲۲۳ نقطه از سال ۱۹۹۷ تا سال ۲۰۰۰ در اتریش انجام شده است. از ۲۲۳ مورد اندازه‌گیری

در این پژوهش در محیط‌های درونی مجموعاً ۲۵۲ مورد سنجش چگالی توان امواج ماکروویو آنتن‌های ایستگاه پایه در باند ۹۰۰ MHz از منازل مسکونی و مراکز حساس شامل محل‌های آموزشی و بهداشتی بعمل آمد. نقاط اندازه‌گیری چگالی توان امواج ماکروویو در فواصل ۱۰، ۲۰، ۵۰، ۱۰۰، ۱۵۰، ۲۰۰، ۳۰۰ m از آنتن ایستگاه پایه و در ارتفاع‌های ۰، ۳، ۶، ۹، ۱۲، ۱۵ (همکف) در نظر گرفته شد. بیشترین مقدار میانگین چگالی توان مربوط به فاصله ۲۰ m برابر $۰/۰۳۷۸۷ mW/m^2$ از آنتن اندازه‌گیری

انجام شده، ۱۳۷ مورد در محیط‌های درونی و ۸۶ مورد در محیط بیرونی انجام شده است. میانگین سنجش‌ها به ترتیب برابر با $0/1919 \text{ mW/m}^2$ و $0/3496 \text{ mW/m}^2$ بوده است که نتایج مشابه یافته‌های پژوهش حاضر و کمتر از مقادیر مجاز توصیه شده ICNIRP برابر 4500 mW/m^2 است (۲).

در پژوهش C، Stocker-meier E و Bornkessel، تعداد ۸۷ نقطه، اکثر نقاط در داخل سال‌های ۲۰۰۲ - ۲۰۰۱، تعداد ۸۷ نقطه، اکثر نقاط در داخل ساختمان‌ها قرار داشت، در اطراف ۲۴ آنتن ایستگاه پایه در ۱۰ شهر مختلف آلمان انتخاب و شدت مؤثر میدان الکتریکی و چگالی توان اندازه‌گیری شد. گرچه میزان تابش‌گیری درست در زیر آنتن در برخی از این اندازه‌گیری‌ها بیشتر از حد مجاز بود اما کلیه مقادیر بدست آمده از مناطق دیگر کمتر از مقدار استاندارد ICNIRP است (۱۹).

در این مطالعه نیز مشابه مطالعات انجام شده قبلی نتایج به دست آمده در محیط‌های درونی، کمتر از حد مجاز محیطی در استانداردهای ایران و ICNIRP ۱۹۹۸ است. در بین ۲۵۲ مورد اندازه‌گیری حداکثر چگالی توان در فرکانس‌های منفرد $0/00026 \text{ mW/m}^2$ و $7/320 \text{ mW/m}^2$ متغیر است و کلیه مقادیر برداشت شده در تمام نقاط کمتر از حد مجاز برابر استانداردهای ایران و ICNIRP (4500 mW/m^2) است. در منازل مسکونی ۱۷۴ مورد سنجش با میانگین چگالی توان $0/1628 \text{ mW/m}^2$ و در مراکز حساس ۷۸ مورد سنجش با میانگین چگالی توان $0/1403 \text{ mW/m}^2$ به عمل آمد که تحلیل‌های آماری با توجه به متغیرهای فاصله و ارتفاع انجام شد بیشترین مقدار اندازه‌گیری شده در محیط‌های مسکونی برابر $7/32 \text{ mW/m}^2$ و در مراکز حساس $5/143 \text{ mW/m}^2$ به دست آمد که به ترتیب $0/166\%$ و $0/1143\%$ میزان مواجهه مجاز استاندارد محیطی در ایران است.

جهت بررسی رابطه همبستگی میان متغیرهای مستقل و متغیر وابسته از رگرسیون خطی چند متغیره استفاده گردید. R^2 به دست آمده برابر $0/79$ است و در این مطالعه متغیر فاصله و ارتفاع تواما حدود 79% از واریانس چگالی توان امواج میکروویو در میدان دور ایستگاه‌های پایه در محیط‌های درونی را توجیه می‌کند.

نتیجه گیری

در تحقیق انجام شده در محیط‌های درونی مجاور آنتن‌های ایستگاه پایه متغیر، فاصله از منبع مهم‌ترین عامل تاثیر گذار در تغییرات مقدار چگالی توان است. افزایش مقادیر چگالی توان بر اثر افزایش ارتفاع در پژوهش حاضر نیز نشان‌دهنده همین مطلب است. با توجه به اینکه در این تحقیق سنجش مقادیر چگالی توان در محیط‌های درونی مجاور آنتن‌های ایستگاه پایه بدون بررسی تاثیر موانع دیگر صورت گرفته است پیشنهاد می‌گردد برای بررسی اثر عواملی مانند ارتفاع و زاویه ساختمان‌ها، نوع اسکلت و مصالح ساختمان‌ها، لوازم داخل منازل، وجود وسایل تشعشع مایکروویو مطالعات بیشتری در این زمینه انجام گیرد.

تشکر و قدردانی

مقاله حاضر استنتاج شده از داده‌های پایان نامه کارشناسی ارشد مصوب دانشگاه علوم پزشکی تهران است. نویسندگان مقاله بر خود لازم می‌دانند بدین وسیله از حمایت‌های مالی دانشگاه علوم پزشکی تهران تقدیر و تشکر به عمل آورند.

منابع

- 1- Navarro EA, Segura J, Gomez-Perretta C, Portoles M, Maestu C, Bardasano JL. About the effects of microwave exposure from cellular phone base stations : A first approach. Proceedings of Conference of the Mobil Phone Base Station and Health; 2003 May 15-16 ; Dublin, Ireland.
- 2- Soleimani M, Abolghasemi M, Mohamadkhani M , Ahmadi H , Abasmoghdam D, Abdoli M. Effect of Electromagnetic Radiation in Human. Tehran: Mohammad Soleimani; 2010 (in Persian).
- 3- Al-Ruwais A. Electromagnetic field measurements near macrocellular base stations. Journal of King Abdulaziz University: Engineering Sciences. 2001;13(1):171-82.
- 4- Cember H. Introduction to Health Physics. 2nd ed. New York: McGraw Hill; 1992.
- 5- ISIRI. Non-Ionizing Radiation- exposure limits. Tehran: Institute of Standards and Industrial Research of Iran; 2006 (in Persian).
- 6- Banik S, Bandyopadhyay S, Ganguly S. Bioeffects of microwave—a brief review. Bioresource Technology. 2003;87(2):155-59.
- 7- Trošić I, Pavičić I. Disturbance of cell proliferation in response to mobile phone frequency radiation. Archives of Industrial Hygiene and Toxicology. 2009;60(1):109-15.
- 8- Ghyasinejad M, Katoosi M. Radiation Protection. Tehran: Dorbid; 2006 (in Persian).
- 9- Monazam M, Karchani M, Azrah K. Health Aspects of Ionizing Radiation. Tehran: Fanavaran; 2009 (in Persian).
- 10- Zare S. The Study of electromagnetic waves resulting from BTS (Base Transceiver station) in Tehran and draw it on GIS [dissertation]. Tehran: Tehran University of Medical Sciences; 2010 (in Persian).
- 11- Repacholi MH. Health risks from the use of mobile phones. Toxicology Letters. 2001;120:323-31.
- 12- Pirayesh Eslamian J. Biological effects of cellular telephone. Iranian Journal of Medical Physics. 2005;7(2):85-91 (in Persian).
- 13- Behbahani S, Karimi Moridani M. Electromagnetic waves. MED & LAB Engineering Magazine. 2012;133:33-52 (in Persian).
- 14- ICTNA. Scientific Association of Cellular Telephone Radiation Safety. Tehran: Information and Communication Technology News Agency; 2010 [cited 2011 Jul 28]. Available from: <http://www.ictna.ir>
- 15- Institute of Electrical and Electronics Engineers. IEEE standard for safety levels with respect to human exposure to radio frequency electromagnetic fields, 3KHz to 300GHz. New York: Institute of electrical and electronics engineers; 2005 [cited 2011 May 11]. Available from: <http://ieeexplore.ieee.org/servlet/opac?>
- 16- Nuclear Science and Technology Center. Status of mobile phone base station emissions in Iran. Tehran: Atomic Energy Organization of Iran; 2010 [cited 2011 May 18]. Available from: <http://www.aeo.org.ir>
- 17- Nasiri P, Monazam MR, Hasani F. The study of electromagnetic waves based on microwaves. Tehran: Information and Communication Technology News Agency; 2010 [cited 2011 Jul 28]. Available from: <http://www.ictna.ir>.
- 18- Norian AM, Hasani F. Environmental effects of electromagnetic waves from mobile-phone. Tehran: Department of Environment; 2008 [cited 2011 Dec 18]. Available from: <http://www.doe.ir/Portal>.
- 19- Nasiri P, Monazam MR, Zare S, Azam K, Yousefi Z, Hematjo R. The study of the status of electromagnetic waves resulting from BTS (Base Transceiver Station), 900 megahertz frequency in Tehran. Iranian Journal of Health and Environment. 2011;4(3):331-40 (in Persian).
- 20- Bornkessel C, Stocker-Meier E (2003) Results of a measurement programme concerning mobile phone base station emissions in North Rhine-Westphalia. Dublin, Ireland: Mobile Phone Base Station and Health; 2003.

Microwave emission in indoor sites in the vicinity of macro cellular base stations in Zanjan

A. Bazargani¹, M. Yunesian^{1,2}, M. R. Monazzam^{2,3}, A. H. Mahvi^{1,4*}

¹Department of Environmental Health Engineering, School of Public Health, Tehran University of Medical Sciences, Tehran, Iran.

²Center for Air Pollution, Institute for Environmental Research, Tehran University of Medical Sciences, Tehran, Iran.

³Department of Occupational Health Engineering, School of Public Health, Tehran University of Medical Sciences, Tehran, Iran.

⁴Center for Solid Waste Research, Institute for Environmental Research, Tehran University of Medical Sciences, Tehran, Iran.

Received; 5 March 2014

Accepted; 1 May 2014

Abstract

Background and objectives: In recent decades, progress of telecommunication industry resulted in public availability to cost-effective cellular mobile; hence, boom of base stations of cellular mobile in response to vast public demands. Base stations of cellular mobile are specific source of microwave production in a certain frequency in environment. Antennas are installed on high towers to create proper coverage. General public exposure because of possible health effects resulting from radiofrequency fields has become challenging problem. The purpose of this study was to investigate microwave radiation status in actual exposure in inside buildings vicinity of macro cellular base stations in Zanjan.

Materials and methods: considering location of base station antenna in city, power density of microwave around 64 base stations in indoor sites such as health care places and residential areas at different distances and different heights was measured. Measurements were performed based on IEEE Std C95.1 standard method using a portable SPECTRAN, HF-4060 Rev. 3. Analyzing of data was conducted using SPSS Ver. 18 software and statistical tests like Kolmogorov-Smirnov, univariate variance, and multi variant linear regression.

Results: It was found that the maximum level of power density was measured at a distance of 20 m from base station about 0.03787mW/m². With increasing distance from base station, the density of wave power decreased. Minimum measured at a distance of 300 m from tower was 0.00108mW/m². The positive variation of power density with height increase was shown.

Conclusions: The maximum level of power density among total of 252 measurements, in indoor sites was 7.32 mW/m². This is about 0.166 % of the Permissible Exposure Limits of the standards for public exposure. We did not consider factors such as building location and interior furniture. Therefore, we suggest such factors be included in the future studies.

Key words: base transceiver station antenna, microwave, power density, indoor site.

*Corresponding Author: ahmahvi@yahoo.com

Tel: +98 912 3211827-+98 2188951400