



Evaluating electromagnetic pollution level of Irancell BTS antennas in different locations (Shahinshahr city study)

Mahyar Charaki¹ | Nourollah Mirghaffari² | Zaker Hosein Firouzeh³ | Ali Jaffar⁴

1. Department of Natural Resources, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran. E-mail: m.charaki@na.iut.ac.ir

2. Corresponding Author, Department of Natural Resources, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran. E-mail: mnorolah@iut.ac.ir

3. Department of Electrical Engineering, Faculty of Electrical and Computer Engineering, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran. E-mail: zhfirouzeh@iut.ac.ir

4. Department of Civil Engineering, Faculty of Civil Engineering, Arak Azad Islamic University, Arak, Iran. E-mail: ali.jaff@mtmirancell.ir

Article Info

Article type:

Research Article

Article history:

Received 01 March 2024

Received in revised form 08

November 2024

Accepted 19 November 2024

Published online 01 July 2025

Keywords:

Environment pollution,

Densitometry,

Radiation,

Standard,

Waves.

ABSTRACT

Our surroundings are full of natural electromagnetic fields and man-made sources, including cell phones and radio communications. Mobile phone company service providers have set up BTS sites that may have radiation harmful to the environment and human health. Therefore, the level of exposure to these invisible waves is significant. The present study was conducted to investigate the amount of electromagnetic pollution caused by Irancell BTS antennas in Shahinshahr city. The density of electromagnetic waves emitted from all 34 Irancell sites in this city was measured with a radio frequency meter (ETS-Lindgren-HI2200) at distances of 30, 70, 150 and 170 meters in different areas to compare with the national standard of Iran, which is in accordance with the ICNIRP standard. Since the obtained data were not normal, non-parametric statistical tests, Wilcoxon's sign rank, Cross-Cal-Wallis, Mann-Whitney and sign test were used to check significance. According to the radiation pattern, the highest density of waves was at a distance of 150 meters, and with increasing distance, the density of waves decreases due to greater propagation. The results showed that the density of waves emitted from these sites is much lower than the permissible limit of Iran's national standard. The density of the waves in the commercial area was higher than the residential area, and the density of the waves from the shared sites was higher than the single Irancell sites. The amount of waves inside the building was much lower than outside the same building and the amount of radiation emitted from the rooftop sites was not different from the greenfield sites. Due to the fact that the wave density is lower than the national standard of Iran ($440 \mu\text{W}/\text{cm}^2$), it can be said that Irancell sites in this city are safe in terms of thermal effects.

Cite this article: Charaki, M., Mirghaffari, N., & Hosein Firouzeh, Z., Jaffar, A. (2025). Evaluating electromagnetic pollution level of Irancell BTS antennas in different locations (Shahinshahr city study). *Journal of Natural Environment*, 77 (Monitoring and Management of Natural Environmental Pollutants), 63-74. DOI: <http://doi.org/10.22059/jne.2024.373262.2654>



© The Author(s).

Publisher: University of Tehran Press.

DOI: <http://doi.org/10.22059/jne.2024.373262.2654>

بررسی میزان آلودگی الکترومغناطیسی آنتن های BTS ایرانسل در موقعیت های مختلف (مطالعه شهر شاهین شهر)

مهیار چارکی^۱ | نوراله میرغفاری^۲ | ذاکر حسین فیروزه^۳ | علی جفاری^۴

۱. گروه محیط زیست، دانشکده مهندسی منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران. رایانامه: m.charaki@na.iut.ac.ir
۲. نویسنده مسئول، گروه محیط زیست، دانشکده مهندسی منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران. رایانامه: mnorolah@iut.ac.ir
۳. گروه مهندسی برق، دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران. رایانامه: zhfirouzeh@iut.ac.ir
۴. گروه مهندسی عمران، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه آزاد اسلامی اراک، اراک، ایران. رایانامه: ali.jaff@mtnirancell.ir

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: مقاله پژوهشی	محیط اطراف ما پر از میدان های الکترومغناطیسی طبیعی و منابع ساخت بشر از جمله تلفن همراه و ارتباطات رادیویی است. ارائه دهنده گان خدمات شرکت های تلفن همراه، سایت های BTS را راه اندازی کرده اند که ممکن است تشعشعات مضر برای سلامت محیط زیست و انسان ها داشته باشند. بنابراین سطح مواجهه با این امواج نامرئی، قابل توجه است. پژوهش حاضر جهت بررسی میزان آلودگی الکترومغناطیسی ناشی از آنتن های BTS ایرانسل در شهر شاهین شهر انجام گرفته است. چگالی امواج الکترومغناطیس انتشار یافته از همه ۳۴ سایت ایرانسل این شهر برای مقایسه با میزان استاندارد ملی ایران که مطابق با استاندارد ICNIRP می باشد در فواصل ۳۰، ۷۰، ۱۵۰ و ۱۷۰ متر در مناطق مختلف با دستگاه رادیوفرکانس سنج (ETS-Lindgren- HI2200) اندازه گیری شد. از آنجا که داده های به دست آمده نرمال نبودند از آزمون های آماری غیر پارامتریک، رتبه نشانه ویلکوکسن، کروس کال والیس، من ویتنی و آزمون نشانه برای بررسی معنی داری استفاده گردید. با توجه به الگوی تابش، بیشترین چگالی امواج در فاصله ۱۵۰ متری بود و با افزایش فاصله به علت پخش بیشتر چگالی امواج کاهش می یابد. نتایج نشان داد چگالی امواج ساطع شده از این سایت ها بسیار کمتر از حد مجاز استاندارد ملی ایران می باشد. چگالی امواج در منطقه تجاری بیشتر از منطقه مسکونی و نیز چگالی امواج از سایت های مشترک بیشتر از سایت های تک ایرانسل بود. همچنین میزان امواج درون ساختمان به مراتب کمتر از بیرون همان ساختمان نشان داده شد و میزان اشعه ساطع شده از سایت های پشت بامی تفاوتی با سایت های زمینی نداشت. به علت کمتر بودن چگالی امواج از حد استاندارد ملی ایران ($\mu\text{W}/\text{cm}^2$) ۴۴۰ می توان گفت سایت های ایرانسل این شهر از نظر اثرات حرارتی ایمن می باشند.
تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۲/۱۱	
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۰۸/۱۸	
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۸/۲۹	
تاریخ انتشار: ۱۴۰۴/۰۴/۱۰	
کلیدواژه ها: آلودگی محیط زیست، استاندارد، اشعه، امواج، چگالی سنجی.	

استناد: چارکی، مهیار؛ میرغفاری، نوراله؛ حسین فیروزه، ذاکر؛ و جفاری، علی (۱۴۰۴). بررسی میزان آلودگی الکترومغناطیسی آنتن های BTS ایرانسل در موقعیت های مختلف (مطالعه شهر شاهین شهر). محیط زیست طبیعی، ۷۸ (ویژه نامه پایش و مدیریت آلاینده های محیط زیست طبیعی)، ۶۳-۷۴.

DOI: <http://doi.org/10.22059/jne.2024.373262.2654>



© نویسندگان.

ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.

مقدمه

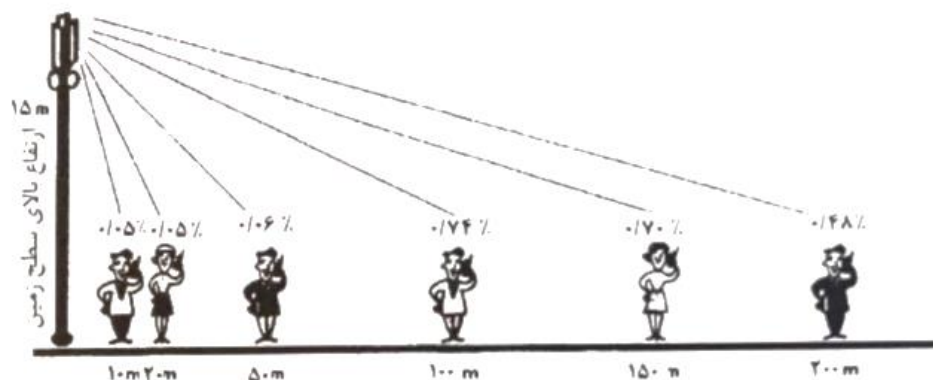
پرتوهای رادیویی با اختراع رادیو وارد محیط زندگی مردم شده‌اند و اکنون با پیشرفت‌های فناوری و استفاده از وسایل ارتباطی نظیر تلفن همراه، تلویزیون، رادیو، وسایل خانگی حرفه‌ای شامل فرهای مایکروویو صنعتی، خانگی و همچنین انواع تجهیزات مخابرات ماهواره‌ای و غیره محیط زندگی بشر سرشار از امواج مایکروویو و رادیویی شده است. هرچند پیشرفت تکنولوژی برای بشر، بهبودکار و آسایش شرایط زندگی را به ارمغان می‌آورد ولی همیشه فارغ از تأثیرات ناخواسته نیست، بنابراین در همه کشورهای دنیا نگرانی از امواج ساطع شده از ایستگاه‌های تلفن همراه با دغدغه‌های ملت و دولت هست (Farvadin et al., 2015). با افزایش مداوم تعداد مشترکان تلفن همراه در سراسر جهان، اپراتورها در حال افزایش تعداد ایستگاه‌های فرستنده و گیرنده پایه^۱ (BTS) هستند تا خدمات تلفن همراه را با سطح رضایت بیشتری در بین مردم مناطق مختلف پوشش دهند (Shariful et al., 2021). از این رو نگرانی‌هایی در رابطه با خطرات احتمالی امواج ساطع شده از این سایت‌ها به وجود آمده است، که مبدا به دلیل نزدیک بودن به این سایت‌ها دچار سرطان یا دیگر بیماری‌ها شوند، بنابراین مراکز حساس جمعیتی و مناطق مسکونی که مردم زمان بیشتری را در معرض این تشعشعات قرار می‌گیرند به طور جدی‌تری باید بررسی شوند (Heidari et al., 2020). آلودگی الکترومغناطیسی ساخت بشر بسیار قدرتمندتر از تشعشعات ناشی از هر منبع میدان الکترومغناطیسی طبیعی است (Arif et al., 2022). میدان‌های الکترومغناطیسی در فرکانس رادیویی جزء پرتوهای محیط‌زیستی و امواج غیر یونیزان هستند (Astrid et al., 2018). سازمان‌هایی مانند کمیسیون ارتباطات فدرال^۲، سازمان بهداشت جهانی و کمیسیون بین‌المللی حفاظت در برابر تشعشعات غیر یونساز^۳ دستورالعمل‌های ایمنی را برای حفاظت از همه موجودات زنده توصیه کرده است (Batool et al., 2019). عبارت فرکانس رادیویی^۴ به همه فرکانس‌های استفاده شده در رادار، مخابرات، ماهواره و غیره گفته می‌شود و معمولاً چند کیلوهرتز تا ۳۰۰ گیگاهرتز را شامل می‌شود (Makker et al., 2009; Kumar et al., 2019). یکی از تجهیزات مخابراتی که به منظور ارتباطات در زمینه‌های اینترنت پرسرعت و تلفن همراه استفاده می‌شوند آنتن‌های BTS نام دارند (Kalantari, 2006). دکل‌های مخابراتی برای نصب آنتن‌های شبکه تلفن همراه، بشقاب‌های مایکروویو، آنتن‌های رادیو و غیره استفاده می‌شوند. آنتن‌ها دریافت‌کننده یا ارسال‌کننده انرژی امواج رادیویی می‌باشند (Mann et al., 2000). باید بدانیم که این آنتن‌های مخابراتی هستند که تابش اشعه را انجام داده و دکل‌ها به تنهایی تشعشع خاصی ساطع نمی‌کنند (Atomic Energy Organization of Iran, 2018). ایستگاه‌های تلفن همراه به منظور پوشش‌دهی نواحی مختلف جغرافیایی، بر روی پشت‌بام ساختمان‌ها و یا روی دکل‌های با ارتفاع زیاد نصب می‌شوند (Pirogova et al., 2009). پرتوهای آنتن‌ها تقریباً در جهت افقی (حدود ۶ درجه زیر سطح افق و موازی با سطح زمین) منتشر می‌شوند و با افزایش فاصله، مقادیر انرژی ساطع شده کمتر خواهد شد. با این حال، قبل از رسیدن به فاصله ۵۰ تا ۱۰۰ متری از پای آنتن در سطح زمین مانند شکل ۱ انرژی کمتری به مردم می‌رسد (Ramezan Zadeh et al., 2019).

براساس مطالعات پیشین امواج رادیویی می‌تواند باعث بروز آثار حرارتی و غیرحرارتی گردد و میزان این اثرات به فرکانس، شدت و مدت زمان اعمال میدان مغناطیسی بستگی دارد (Subhan et al., 2018). هنگامی که اثرات زیست‌شناختی باعث ایجاد حرارت در بافت بدن شود به آن اثرات حرارتی گفته می‌شود که افزایش دمای بدن، داغ شدن گوش، آسیب به دستگاه تولیدمثل، چشم و آسیب به DNA در زمان استفاده از تلفن همراه نمونه‌هایی از اثرات حرارتی هستند (Markov and Grigoriev, 2015). زمانی که اثرات زیست‌شناختی ایجاد حرارت نکند به آن اثرات غیرحرارتی گفته می‌شود که از مواجهه مکرر و طولانی مدت ایجاد می‌شود، ولی اثرات غیرحرارتی تاکنون بسیار کم بررسی شده و کمتر شناخته شده هستند. از آثار غیرحرارتی امواج تلفن همراه می‌توان به آثار سوء بر فعالیت نورون‌های سلول‌های مغزی، تغییر الگوی خواب، سردرد، افسردگی، بدخواهی و احتمال بروز سرطان‌های مختلف اشاره کرد (Khavanin et al., 2008; Ruiz-Gomez et al., 2002). حدود مجاز مواجهه فعلی در خصوص پرتوهای مایکروویو و رادیوفرکانسی بر مبنای اثرات حرارتی تدوین و گزارش شده است. اثرات غیرحرارتی به عنوان اثرات احتمالی به دوز وابسته نیست

^۱Base Transceiver Station^۲Federal Communications Commission^۳International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection^۴Radio Frequency

و در کمترین مقادیر دوز مواجهه هم ممکن است ایجاد شود. بنابراین افزایش شدت مواجهه با افزایش ریسک ایجاد اثرات غیر حرارتی متناسب است (Ali Abadi, 2016).

تشعشعات رادیویی فرکانسی حاصل از ایستگاه های پایه تلفن همراه، شبکه های بی سیم، تلفن های همراه می تواند منجر به اثرات مضر برای بدن شوند (Belpomme et al., 2018). مغز کودکان، در حال رشد و همچنین سیستم عصبی آنها نسبت به افراد بزرگسال در برابر تشعشعات الکترومغناطیسی آسیب پذیرتر است. بنابراین نگرانی والدین در مورد اثرات سلامتی امواج رادیویی در حال افزایش است. بدین منظور بررسی میدان های الکترومغناطیسی قابل توجه می باشد (Moon, 2020). طبق مطالعه انجام شده در پارک پردیسان نتایج نشان داده است که امواج الکتریکی ساطع شده از تمامی سایت ها در این پارک از حد استاندارد کمتر بوده است (Samaei et al., 2016). با توجه به اندازه گیری های چگالی امواج در شهرستان دماوند، نتایج این گونه بوده که چگالی امواج در فاصله ۲۰ متری از آنتن به بیشترین حد خود رسیده و از فاصله ۲۰ متر به بعد مقدار انتشار امواج کاهش می یابد (Nasiri, 2019). در مطالعات انجام شده در کشور ترکیه بر روی ۶ آنتن BTS، نتایج نشان داده است بیشترین شدت چگالی اندازه گیری شده در مقایسه با مقدار توصیه شده توسط کمیسیون بین المللی حفاظت در برابر تشعشعات غیر یونساز بسیار کمتر و در حدود ۰/۰۰۰۴ وات بر متر می باشد (Atenaga and Isabona, 2018). اندازه گیری چگالی توان در چند بالکن از چندین آپارتمان نشان داده است که مقدار چگالی توان در بالکن ها به طور قابل توجهی از چگالی توان در درون همان ساختمان و همان اتاق که دارای بالکن است بیشتر بوده است که نشان می دهد مصالح ساختمانی اثر محافظ جزئی در برابر امواج رادیویی ساطع شده ایجاد می کنند (Koppel et al., 2019). طبق نتایج اندازه گیری انجام شده در کلمبیا مقدار چگالی بسیار پایین تر از حد استاندارد بوده است. همچنین چگالی امواج در تعطیلات آخر هفته ۱۲ تا ۱۶ درصد کمتر از چگالی امواج در روزهای کاری گزارش شده است (Koppel and Hardell, 2022). طبق مطالعه انجام شده در چندین شهر آمریکا که دارای جمعیتی در حدود ۸۳۰۰۰۰ نفر بوده است نتایج اندازه گیری ها نشان داده است که میزان پرتوگیری میانه ای از این جمعیت در برابر تابش های مصنوعی و طبیعی حدود ۰/۰۱۴ میکرووات بر سانتی متر مربع بوده است و این در حالی است که ۹۹ درصد از این جمعیت با چگالی با توان کمتر از ۱ میکرووات بر سانتی متر مربع رو به رو هستند (Cember, 1992). در مطالعه Hutter و همکاران (۲۰۱۰) در ۱۰ منطقه از شهرها و روستاهای کشور اتریش و اندازه گیری ها از باند ۹۰۰ مگاهرتز از آنتن های BTS گزارش کردند که بیشترین مقدار اندازه گیری شده عدد ۴/۱ میکرووات بر متر مربع بوده است که این مقدار طبق استاندارد کمیسیون بین المللی حفاظت در برابر تشعشعات غیر یونساز ۰/۰۱ درصد مواجهه شغلی و ۰/۰۹ درصد استاندارد مواجهه عمومی بوده است. با توجه به اندازه گیری های جهانی هم حتی بیشترین مقادیر اندازه گیری شده در مجاورت یک سایت، کمتر از مقدار مجاز استاندارد بوده است، که این موضوع بی خطر بودن این امواج را طبق استاندارد ICNIRP نشان می دهد. آنچه که جامعه علمی بر آن اتفاق نظر دارد این است که تشعشع کمتر از یک میزان آستانه مشخص برای بدن انسان مضر نیست و بنابراین آنچه که در تحقیق حاضر مد نظر است تعیین این امر است که سطح تشعشعات تجهیزات سایت های تلفن همراه از مقادیر آستانه مجاز تجاوز می کند یا خیر. این تشخیص از طریق چگالی سنجی امواج حاصل خواهد شد.

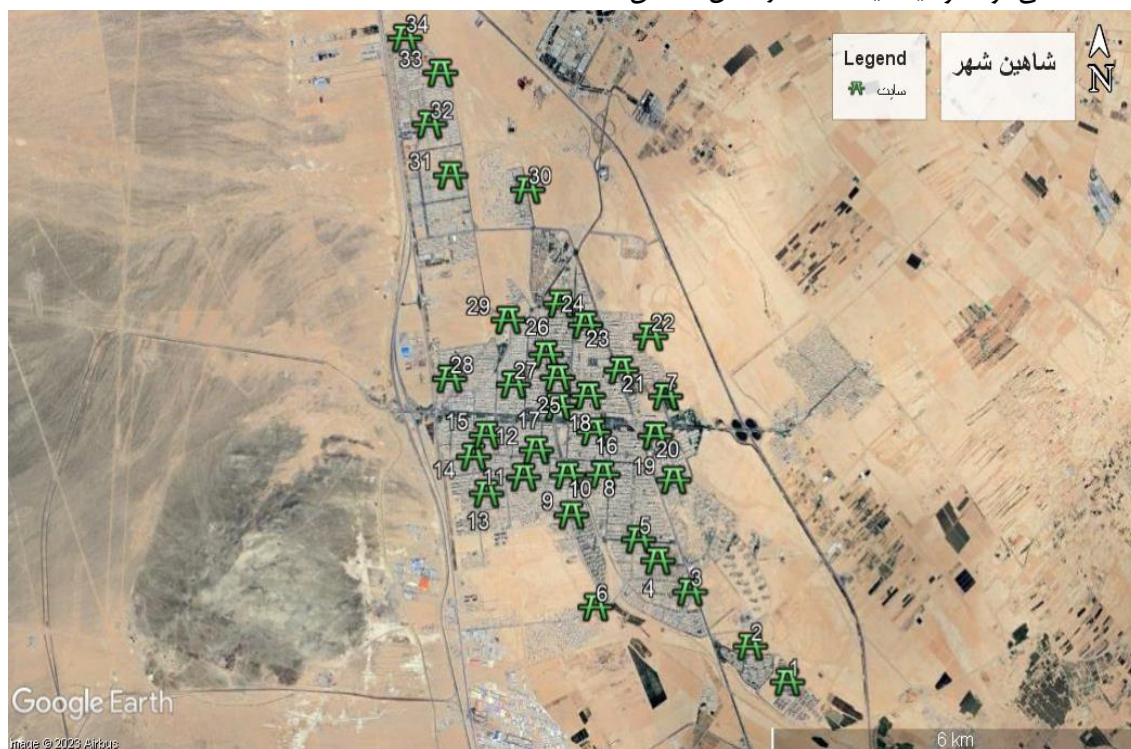


شکل ۱- تغییرات چگالی توان تشعشع با توجه به فاصله (Farvadin et al., 2015)

روش‌شناسی پژوهش

معرفی منطقه مورد مطالعه: شهرستان شاهین‌شهر با نام کامل شهرستان شاهین‌شهر و میمه از شهرستان‌های استان اصفهان است که مرکز آن شاهین‌شهر است و در ۱۷ کیلومتری شمال شهر اصفهان قرار گرفته است. تعداد مشترکان تلفن همراه در این شهر به دلیل رشد سریع فناوری و افزایش تقاضا برای ارتباطات مخابراتی در حال افزایش است (Management and Planning Organization of Isfahan Province, 2018). این شهر بر اساس آخرین سرشماری نفوس و مسکن در سال ۱۳۹۵ دارای ۵۴۳۰۰ خانوار و ۱۷۳۳۲۹ نفر جمعیت می‌باشد (Isfahan Municipality, 2019). با توجه به نیاز افراد تقریباً تمامی ساختمان‌های مسکونی، اداری و تجاری تحت تأثیر امواج سایت‌های تلفن همراه از جمله ایرانسل، همراه اول و غیره قرار گرفته‌اند و این موضوع اهمیت بررسی چگالی امواج ساطع‌شده از این آنتن‌ها را مورد توجه قرار داده است. در محیط‌های شهری به‌علت وجود ساختمان‌ها، موانع و همچنین برد مفید آنتن‌ها که ۲ تا ۵ کیلومتر است ایستگاه‌های تلفن همراه به‌منظور پوشش‌دهی نواحی جغرافیایی در منطقه‌های مختلف نصب می‌شوند (Pirogova et al., 2009).

پس از پایش میدانی تعداد ۳۴ سایت ایرانسل در این شهر شناسایی شد که با توجه به نوع کاربری مناطق در فواصل مشخص نصب شده‌اند. بر روی بعضی از این دکل‌ها علاوه بر آنتن ایرانسل، آنتن‌های دیگر اپراتورها نیز نصب شده است که به آنها سایت مشترک گفته می‌شود. موقعیت ایستگاه‌ها در شکل ۲ نشان داده شده است.



شکل ۲- نقاط سایت‌های ایرانسل شاهین‌شهر

از این ۳۴ ایستگاه، ۲۰ ایستگاه پشت‌بامی و ۱۴ ایستگاه زمینی هستند، ۱۹ ایستگاه آن در منطقه مسکونی و ۱۵ ایستگاه در منطقه تجاری-مسکونی مستقر شده‌اند و تعداد ۷ عدد از این سایت‌ها با اپراتورهای دیگر مشترک می‌باشند.

اندازه‌گیری چگالی امواج الکترومغناطیسی: چگالی سنجی از همه سایت‌ها با استفاده از دستگاه رادیوفرکانس سنج (ETS-Lindgren- HI2200) اندازه‌گیری شد. به‌علت حساس بودن دستگاه به شرایط آب و هوایی همه اندازه‌گیری‌ها در شرایط جوی یکسان و رو به‌روی آنتن‌ها انجام گرفت. با توجه به الگوی انتشار امواج آنتن‌ها و همچنین ارتفاع دکل، معمولاً در فواصل ۵۰ تا ۱۵۰ متر، پرتو به سطح زمین نمی‌رسد (Neubauer et al., 2003). اندازه‌گیری امواج در فواصل افقی ۳۰، ۷۰، ۱۵۰ و ۱۷۰ متر از دکل در سطح زمین و در فاصله عمودی ۱۷۰ سانتی‌متر صورت گرفت. زمان اندازه‌گیری میدان مغناطیسی، حسگر دستگاه حداقل ۲۰ سانتی‌متر با بدن فرد یا هر سطحی، به‌علت کمینه‌کردن تخریب میدان مغناطیسی باید فاصله داشته باشد. اندازه‌گیری به روش میانگین وزنی-زمانی انجام گرفت. در این روش مدت زمان اندازه‌گیری مورد نیاز برای هر بار اندازه‌گیری ۶ دقیقه است که فاکتور

زمانی ۶ دقیقه به عنوان ثابت زمانی حرارتی در نظر گرفته می شود زیرا این مدت می تواند اجازه دهد که گردش خون و تنظیم حرارت، مکانیسم های رسانش یا هدایت و افزایش دما، بخشی از بدن را تحت تأثیر قرار دهند (Ali Abadi, 2016). پس از اندازه گیری چگالی امواج، داده ها در فایل اکسل طبقه بندی و ثبت شدند و تجزیه تحلیل آماری به وسیله نرم افزار Minitab نسخه ۱۶ انجام شد. ابتدا نرمال بودن داده ها با آزمون های نرمالیتی تست بررسی شد. چون داده های به دست آمده توزیع نرمال نداشتند و واریانس بین گروه ها همگن نبود از آزمون های ناپارامتریک من ویتنی، کروس کال والیس و نشانه استفاده گردید (Akbari and Mortazavi, 2019).

یافته های پژوهش و بحث

میانگین نتایج اندازه گیری چگالی امواج از ایستگاه های BTS ایرانسل در همه فواصل با ذکر حداقل و حداکثر چگالی اندازه گیری شده برحسب میکرووات بر سانتی مترمربع در جدول ۱ ارائه شده است.

جدول ۱- مقایسه میانگین چگالی اندازه گیری شده با حد استاندارد بر حسب ($\mu\text{W}/\text{cm}^2$)

تعداد	P-value	میانگین	حداقل	حداکثر	استاندارد
۱۳۶	<۰/۰۵	۰/۵۲۵۱	۰/۰۶۷	۲/۶۹۵۰	۴۴۰

ایستگاه ها بایستی به نحوی در محدوده شهرها، جاده ها، روستاها و سایر مناطق جانمایی شوند که بتوانند منطقه گسترده ای را پوشش دهی کنند، به همین دلیل معمولاً بر روی پشت بام ساختمان ها و یا روی دکل های با ارتفاع زیاد نصب می شوند. این امواج در فواصل کم از آنتن به سطح ساختمان ها نمی رسد. شدت پرتو با افزایش فاصله از آنتن به علت انتشار امواج در فضا، کاهش می یابد، بنابراین مقدار چگالی توان در محل استقرار مردم روی زمین بسیار کم است و میدان های خطرناک بیشتر در اطراف خود آنتن ها وجود دارد. در صورتی که تابش به صورت افقی باشد ممکن است چگالی امواج ساطع شده در سطح زمین در بعضی از فاصله ها کم باشد و سپس با فاصله گرفتن از سایت چگالی افزایش یابد که این موضوع به ارتفاع مؤثر آنتن از سطح زمین و زاویه تابش بستگی دارد که اگر زاویه تابش کم باشد به علت انعکاس از سطح زمین با افزایش فاصله از سایت میدان الکترومغناطیسی قوی تر شده و همانند شکل ۱ گاهی ۳ تا ۶ برابر هم می شود (Farvadin et al., 2015). با مقایسه میانگین چگالی امواج ساطع شده از آنتن ها با استاندارد ملی ایران و همچنین با در نظر گرفتن سطح اطمینان معنای داری ۰/۹۵ و توجه به مقدار P-value میانگین چگالی امواج اندازه گیری شده بسیار کمتر از حد استاندارد ملی ایران می باشد. نتایج مطالعات انجام شده توسط Nasiri و همکاران (۲۰۱۱) در تهران، Akbari و Mortazavi (۲۰۱۹) در کرج، Farvadin و همکاران (۲۰۱۲) در ۴۵۰۰ نقطه در روستاها و شهرهای مختلف کشور، Mir Taheri و همکاران (۲۰۱۳) در بعضی پارک های تهران، Naderi و همکاران (۲۰۱۵) در مراغه، Behdarvand (۲۰۱۶) در گنوند، Nasiri (۲۰۱۹) در دماوند، Hutter و همکاران (۲۰۰۶) در اتریش، Marinescu و Poparlan (۲۰۱۶) در رومانی، Gonzalez-Rubio و همکاران (۲۰۱۶) در اسپانیا و Atenaga و Isabona (۲۰۱۸) در ترکیه چگالی امواج ساطع شده را کمتر از حد مجاز استاندارد نشان داده است. یک مرجع استاندارد مورد توافق کشورهای مختلف و مجامع بین المللی که برای پرتوگیری مجاز به آن استناد می شود کمیسیون بین المللی حفاظت در برابر پرتوهای غیر یونساز می باشد که معمولاً بیشتر کشورها از این مقادیر حدود مجاز استفاده می کنند. این حدود که ۴۴۰ میکرووات بر سانتی مترمربع در نظر گرفته شده است ۵۰ برابر کمتر از حد آستانه مضر می باشد. استاندارد ایران با شماره ۸۷۵۶، تجدید نظر دوم سال ۱۳۹۵ به طور کامل با ضوابط کمیسیون بین المللی حفاظت در برابر پرتوهای غیر یونساز مطابق است و سازمان انرژی اتمی ایران هم همین استاندارد را مبنای کار خود قرار داده است (Iranian Radiation Protection Association, 2019). سازمان بهداشت جهانی اعلام کرده است امواج الکترومغناطیس ساطع شده اگر مطابق با راهنمای ارائه شده ICNRIP باشد بر سلامت انسان عارضه ای ندارد. بنابراین بر اساس شواهد و مطالعات انجام شده، هیچ مکانی از حد استاندارد رسمی کمیسیون بین المللی حفاظت در برابر تشعشعات غیر یونساز فراتر نرفته است. دلیل این امر نصب این آنتن ها بر دکل های بلند و پشت بام ساختمان ها می باشد که اشعه رسیده به سطح زمین را با توجه به جذب، پخش و وجود موانع بسیار کمتر می کند.

مقایسه چگالی امواج ساطع شده در فواصل اندازه‌گیری شده: مطابق جدول ۲ بیشترین میانگین چگالی در فاصله ۱۵۰ متری می‌باشد و کمترین چگالی در فاصله ۷۰ متری است که طبق الگوی تابش، با مطالعات Farvadin و همکاران (۲۰۱۵) که بیان کرده‌اند با افزایش فاصله از دکل در سطح زمین چگالی امواج تا فواصلی کاهش و بعد از آن به دلیل خارج شدن از ناحیه سایه و انعکاس از سطح زمین چگالی بیشتر می‌شود مطابقت دارد. همچنین طبق مطالعات Neubauer و همکاران (۲۰۰۳) و Haumann (۲۰۰۶) که در فواصل ۱۰۰ تا ۲۰۰ متر با افزایش چگالی مواجه شده‌اند مطابقت دارد. این موضوع به زاویه تابش و ارتفاع آنتن و انعکاس از سطح زمین مربوط می‌باشد و این موضوع در شکل ۱ به وضوح نمایش داده شده است.

جدول ۲- مقایسه میانگین چگالی امواج اندازه‌گیری شده در ۴ فاصله ($\mu\text{W}/\text{cm}^2$)

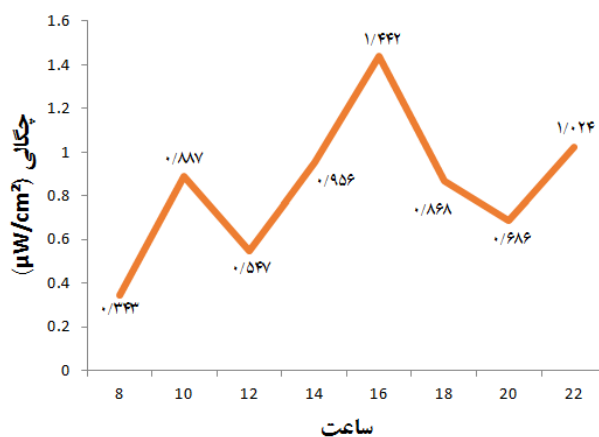
فاصله	تعداد	میان	میانگین	P-value
۳۰ متر	۳۴	۰/۲۹۹۰	۰/۴۱۷۵	<۰,۰۵
۷۰ متر	۳۴	۰/۳۰۴۰	۰/۳۹۳۹	
۱۵۰ متر	۳۴	۰/۶۱۶۵	۰/۷۵۷۵	
۱۷۰ متر	۳۴	۰/۴۵۴۰	۰/۵۳۱۷	

مقایسه چگالی امواج بین مناطق مسکونی و تجاری و بررسی چگالی امواج در بازه زمانی ۸ صبح تا ۱۰ شب

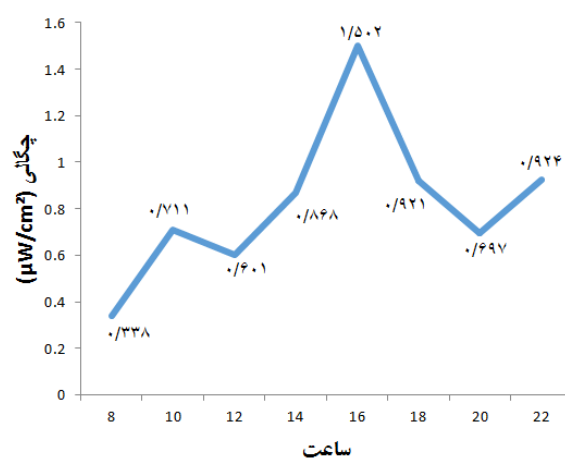
جدول ۳- مقایسه چگالی امواج اندازه‌گیری شده در مناطق مسکونی و تجاری ($\mu\text{W}/\text{cm}^2$)

فاصله	تعداد	میان	میانگین	P-value
مسکونی	۷۶	۰/۳۴۷۵	۰/۵۰۸۵	

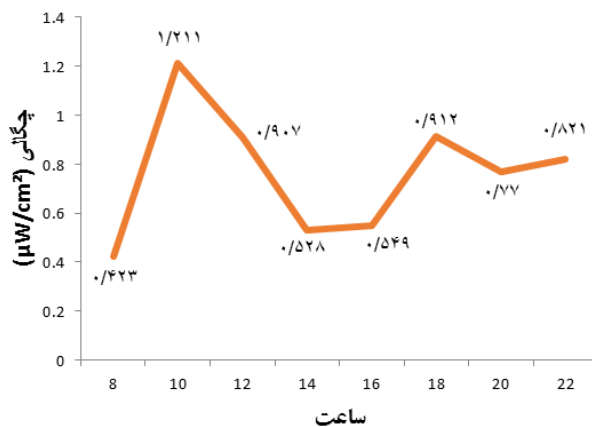
با توجه به نتایج جدول ۳ میانگین چگالی امواج ساطع شده در منطقه تجاری نسبت به منطقه مسکونی بیشتر می‌باشد، علت این امر می‌تواند بیشتر بودن تعداد مشترکان تلفن همراه در مناطق تجاری و استفاده بیشتر کاربران از سایت باشد. نتایج این تحقیق با توجه به نتایج به دست آمده از مطالعات انجام شده توسط Daryabeigy (۲۰۱۸)، Behdarvand (۲۰۱۶)، Thielens (۲۰۱۸)، Koppel و Hardell (۲۰۲۲) و Marinescu و Poparlan (۲۰۱۶) که مقادیر چگالی امواج را در مناطق تجاری و مراکز شلوغ شهر بیشتر از مناطق مسکونی به دست آوردند، همخوانی دارد. طبق مطالعات انجام شده هر چقدر تراکم جمعیت در یک منطقه بیشتر باشد باعث افزایش امواج ساطع شده از سایت به دلیل استفاده بیشتر کاربران نیز می‌شود. همچنین با توجه به شکل‌های ۳ تا ۶ می‌توان نتیجه گرفت بیشترین چگالی در زمان استفاده بیشتر از یک سایت می‌باشد، که بسته به نوع منطقه از تجاری یا مسکونی و تعداد کاربران منطقه و وجود سازمان‌های اداری و بانک‌ها در ساعات مختلف شبانه‌روز متفاوت می‌باشد. Bornkessel و Stocker-Meier (۲۰۰۳) نیز بیان کرده‌اند که چگالی امواج بسته به زمان و بار ترافیکی آنتن در طول روز متغیر می‌باشد. طبق مطالعات Baltrenas و همکاران (۲۰۱۲) بیشترین مقدار تابش از هر سایت در طول شبانه‌روز متفاوت است که این بیانگر بار سرویس ارتباطات سیار در زمان‌های مختلف است. توان تابش شده توسط ایستگاه‌های پایه به شدت به تعداد مشترکینی که همزمان با آنها تماس می‌گیرند، بستگی دارد. با توجه به این موضوع، توان تابشی اندازه‌گیری شده به عوامل مختلفی از جمله زمان، مکان، جهت، فاصله اندازه‌گیری، نوع سازه ساختمان‌های اطراف و سایر عوامل وابسته است (Marinescu and Poparlan, 2016). بنابراین اپراتورها به منظور خدمت‌رسانی بهتر و کامل‌تر و کاهش چگالی ساطع شده از سایت‌های نصب شده در مناطق شلوغ جمعیتی از جمله مناطق اداری، تجاری و چهار راه‌ها باید تعداد سایت‌ها یا ظرفیت آنها را مطابق با نیاز آن منطقه طراحی و اجرا نمایند.



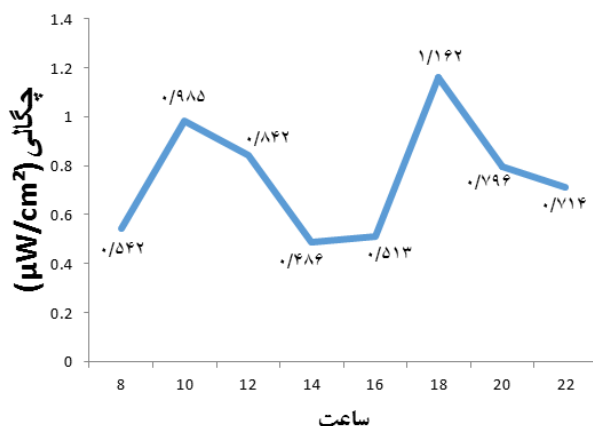
شکل ۳- روند تغییر امواج در ساعت های مختلف (سایت زمینی مسکونی)



شکل ۴- روند تغییر امواج در ساعت های مختلف (سایت پشت بامی مسکونی)



شکل ۵- روند تغییر امواج در ساعت های مختلف (سایت زمینی تجاری)



شکل ۶- روند تغییر امواج در ساعت‌های مختلف (سایت پشت‌بامی تجاری)

مقایسه چگالی امواج ساطع شده از دکل‌های ایرانسل و مشترک: با توجه به نتایج جدول ۴ چگالی امواج ساطع شده از دکل‌های مشترک بیشتر از چگالی امواج از دکل‌های تک اپراتور می‌باشد. علت این امر تشعشع امواج از دو سری آنتن است که سبب تشعشع بیشتر از آن سایت می‌شود. به نظر می‌رسد این موضوع در مطالعات پیشین بررسی نشده است.

جدول ۴- مقایسه چگالی امواج اندازه‌گیری شده در سایت‌های ایرانسل و مشترک (μW/cm²)

نوع سایت	تعداد اندازه‌گیری	میان	میانگین	P-value
ایرانسل	۱۰۸	۰/۳۴۷۵	۰/۴۸۴۴	

مقایسه چگالی امواج درون ساختمان و بیرون همان ساختمان: با توجه به نتایج جدول ۵ چگالی امواج ساطع شده در بیرون ساختمان بیشتر از درون ساختمان می‌باشد. اختلاف این کاهش امواج به دلیل عبور امواج از مصالح ساختمانی و جذب توسط این مصالح می‌باشد. نتایج پژوهش حاضر با نتایج مطالعات Farvadin و همکاران (۲۰۱۲)، Naseri و همکاران (۲۰۱۳)، Ramezan Zadeh و همکاران (۲۰۱۹)، Koppel و همکاران (۲۰۱۹) و Urbinello و همکاران (۲۰۱۴) که همگی امواج درون ساختمان‌ها را کمتر از امواج ساطع شده در بیرون ساختمان بیان کرده‌اند همخوانی دارد و بیشترین چگالی به دست آمده درون ساختمان در این پژوهش ۰/۱۹۶ میکرووات بر سانتی‌متر مربع می‌باشد که ۰/۰۴ درصد مقدار استاندارد مردمی می‌باشد. بنابراین درون ساختمان‌ها که بیشترین زمان را افراد در آنجا سپری می‌کنند می‌تواند منطقه امنی از نظر استاندارد حرارتی نیز باشد.

جدول ۵- مقایسه چگالی امواج اندازه‌گیری شده در درون ساختمان و بیرون ساختمان (μW/cm²)

نوع مکان	تعداد اندازه‌گیری	میانگین	حداقل	حداکثر	میان اختلاف‌ها	P-value
درون ساختمان	۹	۰/۰۶۳۱	۰/۰۱۲۰	۰/۱۹۶۰	۰/۴۸۵۰	۰/۰۰۳۹
بالکن	۹	۰/۵۰۷	۰/۰۷۲	۰/۸۹۷		

مقایسه میزان چگالی امواج ساطع شده از دکل‌های زمینی و پشت‌بامی: با توجه به مقدار P در جدول ۶ بین چگالی امواج ساطع شده از دکل‌های پشت‌بامی و زمینی اختلاف معنی‌داری وجود ندارد و به نظر می‌رسد این موضوع نیز در مطالعات پیشین بررسی نشده است.

جدول ۶- مقایسه چگالی امواج اندازه‌گیری شده در سایت‌های زمینی و پشت‌بامی (μW/cm²)

نوع سایت	تعداد اندازه‌گیری	میان	P-value
زمینی	۵۶	۰/۳۴۴۰	۰/۱۳۳۹
پشت‌بامی	۸۰	۰/۴۴۳۵	

نتیجه گیری

با توجه به نتایج چگالی امواج در فواصل مختلف از تمامی سایت ها از مقدار استاندارد ملی ایران بسیار کمتر است که مطابق با استاندارد ICNIRP است. بیشترین چگالی امواج در فاصله ۱۵۰ متری بود که این فاصله در محدوده گلبرگ اصلی آنتن قرار دارد و با افزایش فاصله چگالی امواج کاهش می یابد. با توجه به نتایج آماری مقدار چگالی امواج در منطقه تجاری بیشتر از منطقه مسکونی و در طول شبانه روز متفاوت است که این موضوع به تراکم جمعیت و استفاده بیشتر از سایت، مرتبط می باشد. چگالی امواج سایت های مشترک بیشتر از سایت های تک اپراتور ایرانسل بود. بین چگالی امواج ساطع شده از سایت های پشت بامی و سایت های زمینی اختلاف معنی داری وجود نداشت و در آخر چگالی امواج درون ساختمان به مراتب کمتر از چگالی امواج در بیرون همان ساختمان بود که نشان می دهد موانع باعث جذب امواج و کاهش آن می شوند. با توجه به این موضوع که استاندارد مربوطه برای اثرات حرارتی این امواج در نظر گرفته شده است، بنابراین می توان نتیجه گرفت سایت های ایرانسل این شهر از نظر اثرات حرارتی ایمن می باشند. اما چون استاندارد برای اثبات اثرات غیرحرارتی ناشی از امواج این آنتن ها هنوز در دسترس قرار نگرفته است احتمال وقوع این خطرات در هر میزان اشعه ای وجود دارد. با توجه به این که میزان امواج الکترومغناطیسی ساطع شده از این آنتن ها در سطح زمین بسیار کمتر از حد مجاز استاندارد می باشد ممکن است اثرات روانی و ترس بیش از حد از امواج این آنتن ها، بیشتر از اثرات فیزیکی احتمالی آن ها مخرب باشد. بنابراین احتیاط استفاده از گوشی تلفن همراه با توجه به انرژی ساطع شده از آن به علت فاصله نزدیکشان به بدن می تواند مهم باشد. پیشنهاد می شود پایش ها و سنجش ها به شکل دوره ای انجام شود تا از کمتر بودن میزان امواج نسبت به استاندارد اطمینان حاصل شود همچنین فعالیتهای پژوهشی و اندازه گیری در طولانی مدت مانند ده سال برای مشخص شدن اثرات غیرحرارتی امواج الکترومغناطیس انجام شود. با توجه به اینکه میزان امواج ساطع شده به عوامل مختلفی از جمله ارتفاع آنتن، زاویه تابش، موانع و ساختمان ها و همچنین انعکاس بستگی دارد بنابراین نمی توان یک فاصله مشخص و ایمن را تعیین نمود.

سپاسگزاری

این مقاله حاصل بخشی از پایان نامه با عنوان بررسی میزان آلودگی الکترومغناطیسی آنتن های BTS ایرانسل و تأثیرات آن بر سلامت افراد در شهر شاهین شهر در مقطع کارشناسی ارشد در سال ۱۴۰۲ و کد ۲۹۸۳۸۸۸ است که با حمایت دانشگاه صنعتی اصفهان اجرا شده است.

References

- Akbari, F., Mortazavi, S., 2019. Measuring the amount of electromagnetic waves caused by BTS antennas in some residential areas of Karaj city. Neyshabur Faculty of Medical Sciences 8(2), 25-44. (in Persian)
- Ali Abadi, M., 2016. Guide to measuring and evaluating radiation in the workplace. Work and Environment Health Center, Ministry of Health, Medical Education and Student Publications, Hamadan, 157 p. (in Persian)
- Arif, M., Rashedul, I., Sablkunnahar, N., Mahabub, U., 2022. The impact of electromagnetic pollution on human health and environment: recommendation for an effective regulatory framework in Bangladesh. Emergency Medicine 28(4), 74-78.
- Astrid, L.M., Marije, R., Tjabe, S., Anke, H., Danielle, T., Macie, S., Wim, S., Virissa, L., Hans, K., Robert, V., Slotte, P., Roel, C.H.V., 2018. Modeled and perceived RF-EMF, noise and pollution and symptoms in a population cohort. Is perception key predicting symptoms?. Science of the Environment 639(1), 75-83.
- Atenaga, M., Isabona, J., 2018. Assessment of radiated electromagnetic waves from base station antennas using calculation and field measurement techniques. Advanced Research in Computer Science and Software Engineering 8(8), 46-56.
- Atomic Energy Organization of Iran, 2018. Rules for Working with Radiation of Microwave and Radio. Tehran, 43 p. (in Persian)

- Baltrenas, P., Buckus, R., Vasarevicius, S., 2012. Research and evaluation of the intensity parameters of electromagnetic fields produced by mobile communication antennas. *Environmental Engineering and Landscape Management* 20(4), 273-284.
- Batool, S., Bibi, A., Frezza, F., Mangini, F., 2019. Benefits & hazards of electromagnetic waves, telecommunication, physical & biomedical: A review. *Medical & Pharmacological Sciences* 23(7), 3121-3128.
- Behdarvand, M., 2016. Measuring the amount of radio wave pollution of BTS antennas in different areas of the city. Environment group. Faculty of Natural Resources and Desertology. Yazd University, Iran, 109 p. (in Persian)
- Belpomme, D., Hardell, L., Belyaev, I., Burgio, E., Carpenter, D.O., 2018. Thermal and non-thermal health effects of non-ionizing radiation: An international perspective. *Environmental Pollution* 242(Pt A), 643-658.
- Bornkessel, C., Stocker-Meier, E., 2003. Results of a measurement programme concerning mobile phone base station emissions in North Rhine-Westphalia. *Proceeding of Congress on the Mobile Phone Base Station and Health*, Dublin, Ireland. p 95.
- Cember, H., 1992. Introduction to health physics. McGraw Hill, New York, 652 p.
- Daryabeigy, A., 2018. Investigation and spatial evaluation of electromagnetic wave pollution in Arak city. Environment group. Faculty of Natural Resources and Environment. Malayer University, Iran, 84 p. (in Persian)
- Farvadin, D., Naseh Nia, F., Shah Ahmad Ghasemi, F.S., Movafeghi, A., 2015. Protection Against Radio and Microwave Radiation. Arna, Tehran, Iran, 502 p. (in Persian)
- Farvadin, D., Naseh Nia, F., Zamani, M., Rahimian Mohammadi, A., 2012. Evaluation of radiation exposure of people from the antennas of mobile phone stations in the country. *Measurement and Radiation Safety* 1(1), 31-36. (in Persian)
- Gonzalez-Rubio, J., Najera Lopez, A., Arribas, E., 2016. Comprehensive personal RF-EMF exposure map and its potential use in epidemiological studies. *Environmental Research* 149(1), 105-112.
- Haumann, T., Munzenberg, U., Maes, W., Sierck, P., 2006. HF-Radiation adiation levels of GSM cellular phone towers in residential areas. *Environmental Science* 5(1), 327- 333.
- Heidari, M.T., Mohammadi, Sh., Tahmasebi Moghadam, H., 2020. Monitoring the health of citizens with the optimal location approach of mobile phone towers (case study: Zone 1 of Zanzan city municipality). *Geography and Urban Planning* 35(10), 127-142. (in Persian)
- Hutter, H.P., Moshammer, H., Wallner, P., Kundi, M., 2006. Subjective symptoms, sleeping problems, and cognitive performance in subjects living near mobile phone base stations. *Occupational and Environmental Medicine* 63(5), 307-313.
- Iranian National Standard No 8567 (second edision), 2016. Non-ionizing Radiation - Radiation Limits. National Standard Organization of Iran, Tehran, Iran, 37 p. (in Persian)
- Iranian Radiation Protection Association,. 2019. Examining the amount of exposure to non-ionizing radiation (frequency range of radio and microwave radiation). Available from <http://irps.org.ir>. (Accessed 21th May 2023). (in Persian)
- Isfahan municipality,. 2019. Statistics of Isfahan city. Available from <https://plan.isfahan.ir>. (Accessed 8th Nov 2024). (in Persian)
- Kalantari, M.A., 2003. Mobile Communications and Networking. Emam Reza University, Mashhad, Iran, 464 p. (in Persian)
- Khavanin, A., Zaraveshani, V., Mortazavi, S.B., Rezaee, A., Mirzaee, R., 2008. Comparison of antioxidant capacity changes in rabbit blood after disconnected exposure to mobile phone microwave. *Sabzevar University of Medical Sciences* 14(4), 238-245.
- Koppel, T., Ahonen, M., Carlberg, M., Hedendahl, L.K., Hardell, L., 2019. Radiofrequency radiation from nearby mobile phone base stations-a case comparison of one low and one high exposure apartment. *Oncology Letters* 18(5), 5383-5391.
- Koppel, T., Hardell, L., 2022. Measurements of radiofrequency electromagnetic fields, including 5G, in the city of Columbia, SC, USA. *World Academy of Sciences* 4(3), 1-12.
- Kumar, V., Shah, M., Kalra, J., Pant, B., 2019. Analytical study on the effects of electromagnetic waves on human beings. *Innovative Technology and Exploring Engineering* 8, 71-77.
- Management and planning organization of Isfahan province, 2018. Statistical yearbook of Isfahan province in 2017. Program and budget organization of the country, Tehran, 888 p. (in Persian)

- Mann, S.M., Cooper, T.G., Allen, S.G., Blackwell, R.P., Lowe, A.J., 2000. Exposure to Radio Waves near Mobile Phone Base Stations. National Radiological Protection Board, United Kingdom, 55 p.
- Makker, K., Varghese, A., Desai, N.R., Mouradi, R., Agarwal, A., 2009. Cell phones: modern mans nemesis?. Journal of Reproductive Bio Medicine Online 18(1), 148-157.
- Marinescu, I.E., Poparlan, C.I., 2016. Assessment of GSM HF-radiation impact levels within the residential area of Craiova city. Procedia Environmental Sciences 32(1), 177-183.
- Markov, M. & Grigoriev, Y. 2015. Protect children from EMF. Electromagnetic Biology and Medicine 34(3), 251-256.
- Mir Taheri, F., Samaei, Z., Malek Siah Cheshm, Z., 2013. Measuring the amount of electromagnetic waves in a number of parks in Tehran. Environmental science 57(1), 69-74. (in Persian)
- Moon, J.H., 2020. Health effects of electromagnetic fields on children. Clinical and Experimental Pediatrics 63(11), 422-428.
- Naderi, A., Naseri, S., Mahvi, A.H., Monazzam, M.R., 2015. Investigating the transverse propagation of microwave waves caused by BTS antennas in Maragheh city. Health and Environment Scientific Research Quarterly of Iranian Environmental Health Scientific Association 8(4), 471-480. (in Persian)
- Naseri, S., Monazzam, M., Beheshti, M., Seyedi, Sh., 2013. Measuring the power density of electromagnetic waves caused by BTS antennas in Hashtgerd city with the approach of investigating the possible effects on public health and drawing it in the GIS environment. Environmental health Engineering 1(1), 30-36. (in Persian)
- Nasiri, A., 2019. Measurement and zoning of BTS waves and its possible effects (case study of Damavand city). Environment group. Faculty of Technology and Engineering. Islamic Azad University of Damavand, Iran, 68 p. (in Persian)
- Neubauer, G., Haider, H., Lamedschwandner, K., Riederer, M., Coray, R., 2003. Measurement methods and legal requirements for exposure assessment next to GSM base stations. Proceedings of the 15th International Zurich Symposium on Electromagnetic Compatibility, Germany. pp. 143-148.
- Pirogova, E., Vojisavljevic, V., Cosic, I., 2009. Biological Effects of Electromagnetic Radiation. Royal Melbourne Institute of Technology, Australia, 658 p.
- Ramezan Zadeh, M., Nikouei, S., Shafeghat, P., 2019. The effect of radiation from BTS base station antennas on human health. Proceeding of Congress on the New and up-to-date Achievements in Engineering Sciences and New Technologies, Rasht, Iran. p. 5. (in Persian)
- Ruiz-Gomez, M.J., De la Pena, L., Prieto-Barcia, M.I., Pastor, J.M., Gil, L., Martinez-Morillo, M., 2002. Influence of 1 and 25 Hz, 1.5 mT magnetic fields on antitumor drug potency in a human adenocarcinoma cell line. Bioelectromagnetics 23(8), 578-585.
- Samaei, Z., Kasmaei, Z., Mir Taheri, F.A., 2016. Measurement of electromagnetic waves of BTS telecommunication towers in Pardisan Nature Park. Proceedings of first International Congress on the Environmental Pollutant Sampling and Monitoring, Tehran, Iran. p. 10. (in Persian)
- Shariful, I., Ashekraihaan, M., Sadek, A., Jashim, U., 2021. Analyzing the effect of radiation on human beings of electromagnetic waves from BTS and MS in Kushtia, Bangladesh. Computer and Mathematics Education (TURCOMAT). 12(10), 448-458.
- Subhan, F., Khan, A., Ahmed, S., Malik, M.N., Bakshah, S.T., Tahir, S., 2018. Mobile antenna's and its impact on human health. Medical Imaging and Health Informatics 8(6), 1266-1273.
- Urbinello, D., Joseph, W., Verloock, L., Martens, L., Roosli, M., 2014. Temporal trends of radiofrequency electromagnetic field (RF-EMF) exposure in everyday environments across European cities. Environmental Research 134(1), 134-142.