



بررسی اثرات امواج الکترومغناطیس بر انسان در شبکه‌های مخابراتی بی سیم نسل جدید

تاریخ انتشار



عنوان گزارش: بررسی اثرات امواج الکترومغناطیس بر انسان در شبکه‌های مخابراتی بی‌سیم نسل جدید

کلمات کلیدی: امواج الکترومغناطیس، پرتوگیری، شبکه تلفن همراه

تهیه کننده: نرگس نوری

ناظر علمی: رضا بحری

گروه پژوهشی: ارتباطات رادیویی ثابت و سیار

تاریخ نشر: آذر ۱۴۰۲

حقوق معنوی این اثر متعلق به پژوهشگاه ارتباطات و فناوری اطلاعات است و استفاده از آن با ذکر مآخذ بلامانع است.

چکیده

نگرانی‌های عمومی در مورد خطرات ناشی از پرتوگیری الکترومغناطیسی از شبکه‌ها و دستگاه‌های تلفن همراه بر سلامتی انسان که از سالهای قبل مطرح بوده، با ادعاهای جدیدی پیرامون استقرار و راه‌اندازی شبکه‌های 5G دنبال شده است. این نگرانی‌ها عمدتاً نتیجه برداشت‌های نادرستی است که در مورد ماهیت و سطح پرتوگیری الکترومغناطیسی از شبکه‌های تلفن همراه وجود دارد. اندازه‌گیری‌های انجام شده در شبکه‌های واقعی و عملیاتی مخابرات سیار نشان می‌دهند که سطوح پرتوگیری الکترومغناطیسی از این شبکه‌ها، بسیار کمتر از حدود مجاز معرفی شده در دستورالعمل‌ها و استانداردهای بین‌المللی است. علاوه بر این، اندازه‌گیری‌ها نشان می‌دهند که راه‌اندازی شبکه‌های 5G نیز تأثیر قابل توجهی بر سطوح تشعشع ندارد. بطور خلاصه می‌توان گفت که بر اساس اجماع گروه‌های متخصص این حوزه و سازمان بهداشت جهانی، خطر اثبات شده‌ای بر سلامتی ناشی از مواجهه با تشعشعات الکترومغناطیسی در شبکه‌های تلفن همراه وجود ندارد. ولی در عین حال، برای به حداقل رساندن آسیب‌های احتمالی، همواره اجرای اقداماتی جهت پایش مستمر سطح تشعشع شبکه‌های تلفن همراه به منظور اطمینان از رعایت استانداردهای موجود و در کنار آن آگاهی رسانی عمومی پیرامون شیوه استفاده صحیح از تلفن همراه به ویژه به کودکان و گروه‌های حساس توصیه شده است.

فهرست مطالب

۱	مقدمه
۳	۲ بررسی اثرات بیولوژیکی استفاده از تلفن همراه در کودکان
۵	۳ حدود مجاز پرتوگیری الکترومغناطیسی
۶	۳-۱ بحث های منتقدان بر روی حدود پرتوگیری مجاز تعریف شده از سوی ICNIRP
۸	۳-۲ نگرانی های موجود در رابطه با پرتوگیری RF-EMF در شبکه های 5G
۱۱	۴ نتایج اندازه گیری های انجام شده بر روی پرتوگیری در شبکه های تلفن همراه
۱۴	۵ جمع بندی
۱۵	۶ مراجع

۱ مقدمه

طی دهه‌های گذشته با پیشرفت سیستم‌های ارتباطی سیار و توسعه استفاده از ارتباطات رادیویی در این سیستم‌ها، مسأله اثرات زیان‌بار امواج الکترومغناطیسی بر سلامت انسانها اهمیت زیادی پیدا کرده است. در نسل‌های کنونی ارتباطات سیار، برای پشتیبانی از نرخ بیت مورد نیاز سرویس‌های جدید و پاسخگویی به تقاضای کاربران موبایل، استقرار و توسعه ایستگاه‌های پایه (BSs) بیشتری مورد نیاز است. این توسعه همراه با فناوری‌های جدیدی همچون اینترنت اشیاء، نگرانی‌های قبلی در زمینه اثرات احتمالی میزان و سطح پرتوگیری^۱ افراد از تشعشعات الکترومغناطیسی را تشدید کرده است. اکثر نگرانی‌های عمومی در رابطه با پرتوگیری الکترومغناطیسی، متمرکز بر تشعشعات ناشی از ایستگاه‌های پایه در لینک‌های فرسود^۲ است، در حالی که تشعشعات الکترومغناطیسی ناشی از گوشی‌های تلفن همراه در لینک‌های فراسو^۳ به دلیل نزدیک‌تر بودن آنتن‌های این دستگاه‌ها به بدن انسان می‌تواند اهمیت بیشتری را در میزان پرتوگیری داشته باشد. به‌طور کلی، میدان‌های الکترومغناطیسی می‌توانند با تابش بر بدن انسان اثرات بیولوژیکی مختلفی را ایجاد کنند که این پیامدها متناسب با فرکانس و شدت میدان به صورت‌های مختلفی همچون تحریک اعصاب و عضلات، اثرات گرمایی و اثرات غیر گرمایی ظاهر می‌شوند. اثرات تحریکی این میدان‌ها غالباً در کاربردهای پزشکی قابل استفاده می‌باشند. اثرات گرمایی (که در محدوده فرکانسی ۱۰۰ kHz تا ۳۰۰ GHz رخ می‌دهند) باعث افزایش دمای بدن می‌شود. اما اثرات غیر گرمایی ناشی از پرتوگیری طولانی مدت و مکرر ممکن است سبب ایجاد حساسیت الکترومغناطیسی^۴ یا اختلالات عصبی شود.

برای بررسی اثرات بیولوژیکی امواج الکترومغناطیسی بر بزرگسالان، مطالعات مختلفی در سطح دنیا انجام شده است. در برخی از مطالعات که با هدف تعیین ارتباط بین خطر تومور مغزی بزرگسالان و استفاده از تلفن همراه صورت گرفته است، هیچ افزایشی در خطر ابتلا به تومور مغزی به دلیل استفاده از تلفن همراه گزارش نشده است. البته، آژانس بین‌المللی تحقیقات سرطان^۵ (IARC) استفاده از تلفن همراه را به عنوان یک احتمال سرطان‌زا برای انسان اشاره کرده است ولی قطعیتی را در این رابطه اعلام نمی‌کند [۱].

در مطالعه دیگری که در کشور و توسط دانشگاه علوم پزشکی شیراز انجام شده است، ارتباط بین استفاده از اینترنت تلفن همراه و مشکلات سلامتی ناشی از بیماری‌هایی مانند دیابت، فشار خون بالا، ایسکمی قلبی، انفارکتوس، نارسایی

^۱ exposure

^۲ downlink

^۳ uplink

^۴ Electromagnetic Hypersensitivity

حساسیت الکترومغناطیسی به احساسی اطلاق می‌شود که اگرچه فاقد مبنایی علمی در پزشکی است، اما افراد دارای این حساسیتی علائمی مانند سردرد، خستگی، استرس، اختلالات خواب، علائم پوستی مانند سوزش، و درد در عضلات را به هنگام مواجهه با سطوح میدان‌های الکترومغناطیسی بسیار کمتر از سطوح مجاز بین‌المللی تجربه می‌کنند.

^۵ International Agency for Research on Cancer

کلیه، کبد چرب، هپاتیت، بیماری مزمن ریوی، بیماری تیروئید، سنگ کلیه، سنگ کیسه صفرا، بیماری روماتوئید، صرع و سردرد مزمن مورد بررسی قرار گرفته است [۲]. افراد بررسی شده در این مطالعه ۲۷۹۶ نفر (۵۲٪ زن و ۴۸٪ مرد) از کارکنان دانشگاه علوم پزشکی شیراز بوده‌اند. یافته‌های حاصل از این پژوهش هیچ ارتباطی را بین استفاده از اینترنت تلفن همراه و مشکلات ذکر شده در بالا نشان نداده است.

علاوه بر اثرات استفاده از تلفن همراه بر روی بزرگسالان، با توجه به احتمال آسیب‌پذیری بیشتر کودکان در مقابل تابش امواج رادیویی، موضوع پیامدهای استفاده از تلفن همراه در این رده سنی توسط گروه‌های مطالعاتی و پژوهشگران بیش‌تری در سطح دنیا مورد بررسی قرار گرفته است.

۲ بررسی اثرات بیولوژیکی استفاده از تلفن همراه در کودکان

به‌طور کلی می‌توان گفت که در عصر حاضر، کودکان ممکن است بیش از هر گروه سنی دیگری در برابر امواج الکترومغناطیسی تلفن‌های همراه آسیب‌پذیر باشند زیرا نسبت به بزرگسالان، مدت زمان بیشتری از دوره زندگی خود را (از بدو کودکی) در معرض امواج الکترومغناطیسی قرار می‌گیرند و هم‌زمان، سیستم عصبی آنها نیز در حال رشد است. از سوی دیگر میزان رسانایی بدن کودکان به دلیل رطوبت (آب میان بافتی) بیشتر و محتوای یونی بالاتر نسبت به بزرگسالان، بیشتر است و سر کودکان نیز انرژی RF بیشتری را نسبت به سر بزرگسالان جذب می‌کند [۱].

مطالعات انجام شده بر روی ارتباط بین پرتوگیری RF و استفاده از تلفن همراه نتایج بعضاً متناقضی را نشان داده است. به عنوان مثال، در مورد کودکان ده ساله‌ای که در مناطقی با سطح پرتوگیری RF بالاتر زندگی می‌کنند، این موضوع هیچ تأثیری در بسیاری از پارامترهای شناختی آنها ندارد. با این حال، این کودکان نمرات کلامی پایین‌تری را کسب کرده‌اند. نتایج مطالعه‌ای که روی کودکان ۵ تا ۶ ساله انجام شده نشان می‌دهد که قرار گرفتن طولانی‌تر در معرض تشعشعات RF از یک طرف با بهبود کنترل مهارتی و انعطاف‌پذیری شناخت آنها و از سوی دیگر با کاهش هماهنگی بینایی حرکتی همراه بوده است [۱].

استفاده همیشگی و مکرر از تلفن همراه با کاهش کیفیت خواب همراه است که زمینه‌ساز این مشکلات به احتمال زیاد نور آبی گوشی‌ها است. از سوی دیگر، استفاده از تلفن همراه توسط مادران باردار در دوران قبل و بعد از زایمان نیز می‌تواند به بروز مشکلات رفتاری در کودکان کمک کند.

از آنجایی که انجام آزمایش‌های تشعشع واقعی بر روی کودکان تقریباً غیرممکن است، لذا تا زمانی که اثرات بالقوه این امواج برای سلامتی تأیید نشود، رعایت اصول احتیاطی برای کودکان به منظور به حداقل رساندن میزان پرتوگیری الکترومغناطیسی توصیه می‌شود [۳]. نکته‌ای باید در نظر داشت این است که اگر چه طبق اعلام IARC، احتمال سرطان‌زا

^۱ عوارضی که در اینجا برای کاربرد تلفن‌های همراه توسط کودکان ذکر شده است، ناشی از اثرات تشعشعات امواج الکترومغناطیسی این دستگاه‌ها نیست. در واقع، کسب نمرات کلامی پایین‌تر ناشی از مشغولیت زیاد کودکان با گوشی‌ها و استفاده از آن برای سرگرمی و بازی است. کودکی که بیشتر زمان خود را در استفاده از گوشی سپری می‌کند، کمتر با اطرافیان در ارتباط است و در نتیجه رشد کلامی وی تحت شعاع قرار می‌گیرد. کاهش هماهنگی بینایی حرکتی نیز نتیجه خیره شدن کودکان به صفحه گوشی است. در هر حال، با وجود اینکه این عوارض ناشی از تشعشعات الکترومغناطیسی نیست، همچنان توصیه می‌شود که استفاده کودکان از این دستگاه‌ها به‌صورت کنترل شده و محدود باشد.

بودن امواج الکترومغناطیسی منتفی نیست، اما نباید این اعلام مورد پذیرش قطعی قرار گیرد. بر همین اساس، همچنان انجام مطالعاتی برای ارزیابی اثرات فناوری 5G در امواج میلیمتری بر سلامت کودکان توصیه می‌شود. توصیه‌هایی که در رابطه با حفاظت بیشتر کودکان در مقابل امواج گوشی‌های تلفن همراه انجام شده را می‌توان به شرح زیر بیان کرد [۱]:

- ممنوعیت تبلیغات یا فروش تلفن همراه به کودکان،
- برچسب‌گذاری SAR بر روی تلفن همراه،
- ترجیح اتصال سیمی کودکان به WiFi،
- رعایت اصول احتیاطی (مانند سایر عدم قطعیت‌های علمی) در رابطه با پرتوگیری RF.

یونسکو نیز برخی اقدامات احتیاطی والدین، معلمان، سیاست‌گذاران و شرکت‌های تجاری را برای کاهش خطر

مواجهه بیش از حد کودکان با امواج الکترومغناطیسی پیشنهاد کرده است [۱]:

- جلوگیری از تماس طولانی مدت با EMF در خانه، مدرسه یا مکان‌هایی که کودک به مدت طولانی در آن قرار دارد.
- عدم استفاده از تجهیزات الکتریکی در فاصله کمتر از ۳۰ سانتی متری بدن.
- جلوگیری از تماس مستقیم گوشی‌های هوشمند با سر کودکان.
- جلوگیری از به کارگیری تجهیزات هوشمند توسط کودکان در طول غذا خوردن یا در ساعات قبل خواب.
- محافظت در برابر گرم شدن بدن کودکان هنگام استفاده از گوشی‌های هوشمند.
- سیاست‌گذاری با هدف کاهش تشعشعات محیطی الکترومغناطیس.
- ارائه محصولات کاهش دهنده تشعشعات الکترومغناطیس و هشداردهنده.

۳ حدود مجاز پرتوگیری الکترومغناطیسی

برای سنجش سطح پرتوگیری ناشی از تشعشعات الکترومغناطیسی حدود مرجع و مجازی از سوی مراجع بین‌المللی منتشر شده‌اند. در این رابطه، دستورالعمل‌های ارائه شده از سوی کمیسیون بین‌المللی حفاظت در برابر تشعشعات غیر یونساز^۱ (ICNIRP)، به عنوان حدود مرجع مورد توجه قرار گرفته‌اند^۲ [۴]. این دستورالعمل در کشور ما در قالب استاندارد ملی با شماره ۸۵۶۷ [۵] معرفی شده است. دستورالعمل‌های ICNIRP حدود مجاز پرتوگیری را برای فرکانس‌های ۰ تا ۳۰۰ گیگاهرتز ارائه کرده و شرایط پرتوگیری کوتاه مدت و بلند مدت دائمی یا غیردائمی از میدان‌های الکترومغناطیسی فرکانس‌های رادیویی را تبیین کرده‌اند.

ICNIRP برای تعیین حدود مجاز پرتوگیری ضمن شناسایی منابع علمی موجود درباره اثرات پرتوگیری الکترومغناطیسی در فرکانس‌های رادیویی بر سیستم‌های بیولوژیکی، مشخص می‌کند که کدام یک از این اثرات به صورت علمی تأیید شده‌اند. این مسأله حائز اهمیت است، زیرا از دید ICNIRP، باید اثرات اعلام شده به صورت مستقل مورد تأیید قرار گیرند و ضمن برخورداری از پشتوانه علمی بالا، با یافته‌های علمی کنونی منطبق باشند تا بتوان برای تعیین محدودیت‌های پرتوگیری به آنها استناد کرد. برای هر یک از اثرات ثابت شده، مقادیر آستانه‌ای توسط ICNIRP تعیین می‌شوند که استخراج آنها با دیدگاه محافظه کارانه‌ای صورت می‌گیرد. تعیین این مقادیر مبتنی بر ارتباط بین اثر اولیه پرتوگیری از تشعشع (مانند ایجاد گرما) و اثر سلامتی (همچون احساس درد) است تا به این ترتیب مقدار سطح مناسب برای حفاظت مشخص شود.

در دستورالعمل‌های ICNIRP بین پرتوگیری شاغلین و عموم مردم تفاوت‌هایی در نظر گرفته شده است. شاغلین به افراد بزرگسال سالمی اطلاق می‌شود که به واسطه شغل خود و تحت شرایطی کنترل شده در معرض پرتوگیری قرار می‌

^۱ International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection

ICNIRP همکاری تنگاتنگی با تعدادی از سازمان‌های غیرتجاری علاقه‌مند به حفاظت در مقابل تشعشعات غیر یونساز دارد. از جمله این سازمان‌ها می‌توان به انجمن بین‌المللی حفاظت در برابر تشعشع (IRPA)، سازمان بهداشت جهانی (WHO)، سازمان بین‌المللی کار (ILO)، سازمان جهانی هواشناسی و کمیسیون اروپا اشاره کرد. در کنار آن با دفاتر ملی حفاظت در برابر تشعشعات در سراسر جهان در ارتباط است یا در پروژه‌های موردی با سایر مؤسسات و آژانس‌های ملی حفاظت در برابر تشعشعات همکاری می‌کند.

^۲ تشعشعات یونساز که در محدوده طول موج نانومتر (امواجی با فرکانس بالاتر از امواج ماورای بنفش) قرار دارند می‌توانند پیوندهای شیمیایی موجود بین اتم‌های یک مولکول را بشکنند، یک یا چند الکترون را از اتم بیرون برانند و ذراتی (یون‌هایی) با بار مثبت ایجاد کنند. تشعشعات غیر یونساز نمی‌توانند چنین اثراتی داشته باشند. تشعشعاتی با فرکانس کمتر از ۳۰۰ GHz غیر یونساز به شمار می‌روند.

گیرند. این افراد با توجه به آموزش‌های انجام شده از خطرات پرتوگیری در فرکانس‌های رادیویی اطلاع دارند و اقدامات حفاظتی لازم را برای مقابله با خطرات احتمالی به کار می‌برند. عموم مردم به افرادی اطلاق می‌شود که در شرایط سنی و سلامتی متفاوتی قرار دارند. در این گروه ممکن است افراد آسیب‌پذیری وجود داشته باشند که فاقد آگاهی در رابطه با خطرات پرتوگیری EMF یا روش‌های حفاظت در برابر آن باشند. این تفاوت‌ها اهمیت اعمال محدودیت‌های سختگیرانه‌تر را برای پرتوگیری عموم مردم بیشتر می‌کند. ذکر این نکته ضروری است که برای اعمال محدودیت‌های پرتوگیری، چنین نیز در دسته عموم مردم قرار گرفته است. سطوح مجاز پرتوگیری تعیین شده (SAR^1 یا چگالی توان) توسط دستورالعمل ICNIRP برای عموم مردم، سطح به مراتب کمتری (حدود یک پنجم) را نسبت به دسته شاغلین دارد^۲.

۱-۳ بحث‌های منتقدان بر روی حدود پرتوگیری مجاز تعریف شده از سوی ICNIRP

منتقدان معتقدند برای ایجاد محدودیت‌های پرتوگیری ICNIRP مفروضات غالب این بوده است که هرگونه اثرات نامطلوب ناشی از قرار گرفتن در معرض RF-EMF تنها به دلیل افزایش گرمای بدن است زیرا پرتوهای غیریونساز انرژی کافی برای شکستن پیوندهای شیمیایی یا آسیب رساندن به DNA را ندارند. با این حال، اثرات غیرگرمایی RF-EMF از مطالعاتی که بر روی پرتوگیری از امواج پیوسته در مقابل امواج پالسی یا مدوله شده است مورد بررسی قرار گرفته‌اند. مطالعات انجام شده نشان داده است که میزان SAR برابر با ۴ وات بر کیلوگرم می‌تواند با افزایش تقریبی دمای بدن ۱ درجه سانتیگراد همراه باشد. از این دوز آستانه، یک «ضریب ایمنی» ۰٫۱ برای پرتوگیری شاغلین و یک ضریب ۰٫۰۲ (یک پنجم شاغلین) برای عموم مردم در نظر گرفته شده است که منجر به محدودیت‌های پرتوگیری SAR کل بدن کمتر از ۰٫۴ وات بر کیلوگرم برای شاغلین و ۰٫۰۸ وات بر کیلوگرم برای عموم مردم می‌شود. همانطور که پیشتر نیز اشاره شد، علت اختلاف ضرایب ایمنی فوق این است که شاغلین در مورد خطرات مرتبط با پرتوگیری از پرتوهای غیریونساز و نحوه کاهش آنها (با استفاده از تجهیزات حفاظتی) مطلع هستند، در حالی که عموم مردم در بیشتر موارد از قرار گرفتن در معرض پرتوهای غیریونساز آگاه نیستند و بدون آموزش آنها نمی‌توان انتظار داشت که اقدامات احتیاطی را برای به حداقل رساندن یا اجتناب از هرگونه اثرات نامطلوب پرتوگیری از آن انجام دهند. از منظر بهداشت عمومی باید مردم را

^۱ Specific absorption rate

^۲ اعمال محدودیت‌های سختگیرانه‌تر برای پرتوگیری عموم مردم.

از قرار گرفتن در معرض RF-EMF آگاه کرد و اقدامات پیشگیرانه را برای به حداقل رساندن اثرات نامطلوب احتمالی، به ویژه برای کودکان و زنان باردار، ترویج کرد.

با این وجود و بر مبنای دیدگاه منتقدان، SAR برابر با ۴ وات بر کیلوگرم یک حد آستانه قابل قبول برای پرتوگیری RF-EMF نیست و ممکن است در دوزهای پایین‌تر و مدت زمان‌های طولانی‌تر پرتوگیری، احتمال بروز نارسایی قلبی^۱، سرطان، آسیب DNA، اختلالات عصبی^۲، افزایش نفوذپذیری سد خونی مغز^۳ (افزایش آسیب‌پذیری مغز) و آسیب اسپرم وجود داشته باشد [۶].

نگرانی دیگر منتقدان در مورد محدودیت‌های فعلی پرتوگیری RF-EMF این است که این محدودیت‌ها، اثرات تشعشعات پالسی یا مدولاسیون فرکانس، تفاوت در سطوح جذب توسط کودکان و یا تفاوت بین افراد در حساسیت الکترومغناطیسی را در نظر نمی‌گیرند [۶]. به عنوان مثال برخی علائم عصبی که بروز آنها مورد تأیید ICNIRP است، توسط افراد مبتلا به حساسیت الکترومغناطیسی تجربه می‌شوند. این علائم از اثرات غیر گرمایی هستند و باید از طریق کاهش مواجهه افراد حساس با RF-EMF کنترل شوند.

از دیدگاه منتقدان، عوامل عدم قطعیت/ایمنی انتخاب شده برای SAR به‌منظور محافظت از سلامت عمومی، ناکافی است و ضریب ایمنی لازم حداقل ۱۸ تا ۲۰۰ برابر بیشتر از ضریب ایمنی توصیه شده توسط ICNIRP برای عموم مردم است. این ضریب ایمنی با در نظر گرفتن مجموعه‌ای از عوامل شامل تفاوت انسان‌ها، شرایط پرتوگیری و عدم قطعیت نتایج مطالعات حاصل شده است. در گزارش NCRP در سال ۱۹۸۶ [۷] و سند ANSI/IEEE در ۱۹۹۲ [۸] تأکید شده است، زمانی که مطالعات آتی در مورد اثرات بیولوژیکی RF-EMF (از جمله اثرات پرتوگیری مزمن یا شواهدی از فعل و انفعالات غیر گرمایی) در دسترس قرار گیرد، نیاز به ارزیابی مجدد وجود خواهد داشت و تجدید نظر احتمالی در استانداردهای پرتوگیری باید توسط دانشمندان و پزشکانی انجام شود که در رابطه با پرتوگیری RF-EMF، دزیمتری، سم‌شناسی، اپیدمیولوژی و ارزیابی بالینی تخصص دارند. همچنین اقدامات احتیاطی ویژه‌ای باید صورت گیرد تا اطمینان حاصل شود که تفاسیر داده‌های مربوط به اثرات سلامتی RF-EMF و تنظیم محدودیت‌های پرتوگیری از آن تحت تأثیر صنایع نظامی یا مخابراتی قرار نگیرد و تولیدکنندگان ملزم به توسعه فناوری‌های ایمن‌تر شوند [۶].

^۱ cardiomyopathy

^۲ neurological effects

^۳ blood-brain barrier permeability (BBB)

نفوذپذیری BBB از مغز در برابر عواملی که برای نوروهای آن آسیب‌زا است، محافظت می‌کند.

از سوی دیگر، به باور منتقدان، رفع نگرانی در مورد استقرار شبکه‌های ارتباطی 5G نیز بدون بررسی اثرات بهداشتی امواج میلی‌متری فرکانس بالا امکان‌پذیر نیست. این فرض که 5G حد چگالی توان توصیه شده توسط ICNIRP را برای فرکانس‌های موج میلیمتری رعایت می‌کند کافی نیست و نیاز به انجام مطالعات بر روی اثرات سلامتی این شبکه‌های را رفع نمی‌کند. به دلیل جذب سطحی امواج میلیمتری در پوست بدن (عدم ورود این طول موج‌ها به داخل بدن به دلیل تضعیف شدید آنها) بیشترین دغدغه در مورد این امواج، بحث محافظت از پوست و جلوگیری از بیماری‌های احتمالی پوستی و سرطان‌های پوست است. موضوع دیگری که در این رابطه مطرح است، تأثیر احتمالی امواج میلیمتری بر عدسی یا قرنیه چشم یا احتمال آسیب به نقاط حساس دیگر در بدن است. در این راستا توصیه به انجام مطالعاتی مبتنی بر انجام آزمایش می‌باشد، یعنی مطالعات تجربی و اپیدمیولوژیک بیشتری به منظور بررسی کامل تر اثرات بهداشتی ناشی از قرار گرفتن در معرض RF-EMF فرکانس‌های موج میلیمتری در گروه‌های سنی مختلف مورد نیاز است. با توجه به اصل WHO «سلامت در همه سیاست‌ها»، توسعه شبکه‌های ارتباطی جدید RF-EMF باید با مشارکت تمامی نهادهای عمومی فعال در زمینه بهداشت محیط، با بازنگری در محدودیت‌های مواجهه موجود، موازی شود [۹].

۳-۲ نگرانی‌های موجود در رابطه با پرتوگیری RF-EMF در شبکه‌های 5G

در بخش قبل اشاره شد که پیاده‌سازی فناوری 5G در فرکانس‌های موج میلیمتری، نگرانی منتقدان را درباره آسیب‌های احتمالی تشعشعات این فرکانس‌ها تقویت کرده است. از سوی دیگر، مسأله اضافه شدن یک شبکه 5G جدید به شبکه موجود که شامل چندین نسل ارتباطی تلفن همراه (2G، 3G و 4G) است، نیز می‌بایست از نظر میزان افزایش سطح پرتوگیری افراد مورد بررسی قرار گیرد. همچنین بررسی تأثیر فناوری‌های مختص شبکه 5G مانند MIMO^۱ انبوه^۱ نیز ضروری به نظر می‌رسد [۱۰].

ذکر این نکته لازم است که با توجه به اینکه دستورالعمل‌های ICNIRP تا فرکانس ۳۰۰ گیگاهرتز را پوشش می‌دهند، در مورد 5G نیز همچنان معتبر هستند و در رابطه با سطوح پرتوگیری در این شبکه‌ها می‌توان به آنها استناد کرد. در ادامه به برخی از نگرانی‌ها و باورهای موجود در رابطه با پرتوگیری RF-EMF و شبکه‌های 5G و تفسیر آنها می‌پردازیم:

^۱ Massive MIMO

• افزایش پرتوگیری RF-EMF با افزایش تعداد آنتن‌ها در شبکه‌های 5G

منتقدان 5G معتقدند که افزایش تعداد آنتن‌های شبکه تلفن همراه به معنای افزایش پرتوگیری است. در صورتی که افزایش تعداد آنتن‌ها به معنی امکان استفاده از شکل‌دهی پرتوهای^۱ تابشی در راستای مورد نیاز و عدم ارسال سیگنال در سایر جهات است. از سوی دیگر افزایش تعداد سایت‌ها و استفاده از سلول‌های کوچک^۲ باعث می‌شود که سطح توان ارسالی سایت و در نتیجه پرتوگیری ناشی از آن کاهش یابد. در اسناد علمی و گزارش‌های منتشر شده از سوی سازمان‌های مختلف، سطوح بسیار پایینی از پرتوگیری در شبکه‌های 5G اعلام شده، ضمن آنکه هیچگونه افزایش قابل توجهی به هنگام ارزیابی سطوح RF-EMF در این شبکه‌ها مشاهده نشده است. دستگاه‌های نظارت بر RF-EMF تأیید می‌کنند که سطوح پرتوگیری صدها یا هزاران بار کمتر از سطوح مجاز ارائه شده در دستورالعمل‌های ICNIRP است [۱۱].

• عدم کاهش سطح پرتوگیری با کاهش SAR گوشی‌های تلفن همراه

به‌طور کلی، بیشتر پرتوگیری RF-EMF افراد، ناشی از دستگاه‌های مجاور بدن است و سهم منابعی مانند BS‌ها و فرستنده‌های همه‌پخش در میزان پرتوگیری ناچیز است [۱۲]. طبق دستورالعمل‌های ICNIRP، محدودیت اساسی قابل اعمال برای دستگاه‌های تلفن همراه (در کمتر از ۶ گیگاهرتز)، SAR است. برخی از کشورها انتخاب یک تلفن با میزان SAR پایین را برای کاهش پرتوگیری افراد توصیه می‌کنند. همچنین، برخی استانداردها نیز استفاده از یک هندزفری شخصی یا ارتباط غیرصوتی (از طریق ارسال متن) را برای کاهش پرتوگیری مؤثر می‌دانند [۱۳].

• افزایش سطوح RF-EMF با استقرار شبکه 5G

اندازه‌گیری‌ها در شبکه‌های تجاری 5G، سطوح RF-EMF مشابه با سایر شبکه‌های تلفن همراه را نشان می‌دهد [۱۴]. همچنانکه برخی از ویژگی‌های 5G مانند استفاده از آنتن‌های MIMO انبوه^۳ به این معنی است که زمان متوسط پرتوگیری، کاهش می‌یابد زیرا پرتوهای باریک آنتن از نظر زمانی و مکانی تغییر می‌کنند^۴. بررسی‌ها نشان داده است که توان تشعشعی واقعی اندازه‌گیری شده برای دستگاه‌های 5G مشابه دستگاه‌های 4G است [۱۵].

^۱ beamforming

^۲ Small cells

^۳ Massive MIMO

^۴ در سیستم‌های MIMO انبوه، به جای ارسال پرتوهای تشعشعی در کل محیط اطراف ایستگاه پایه و در نتیجه افزایش سطح پرتوگیری در آن ناحیه، پرتوهای باریک تشعشعی تنها در جهت کاربر مورد نظر ارسال می‌شوند. به این ترتیب، جهت و راستای این پرتوها متناسب با تعداد و محل کاربرانی که

• عدم انجام تحقیقات گسترده بر روی پرتوگیری الکترومغناطیسی

بررسی اسناد علمی مرتبط با موضوع اثرات پرتوگیری EMF نشان می‌دهد که نگرانی اصلی در بحث پرتوگیری از شبکه 5G در رابطه با استفاده از امواج میلیمتری در این شبکه‌ها است، که باید اذعان داشت در مورد صحت نتایج برخی از مطالعات بیولوژیکی انجام شده در این محدوده فرکانس تردیدهایی وجود دارد. با این حال، مطالعات دقیق‌تر انجام شده احتمال کمتری را برای اثرات تشعشعات این محدوده فرکانسی بر سلامتی گزارش داده‌اند و به طور کلی نتایج ارتباط بین سطوح پایین امواج میلی‌متری و اثرات بیولوژیکی را تأیید نمی‌کنند [۱۶] و [۱۷].

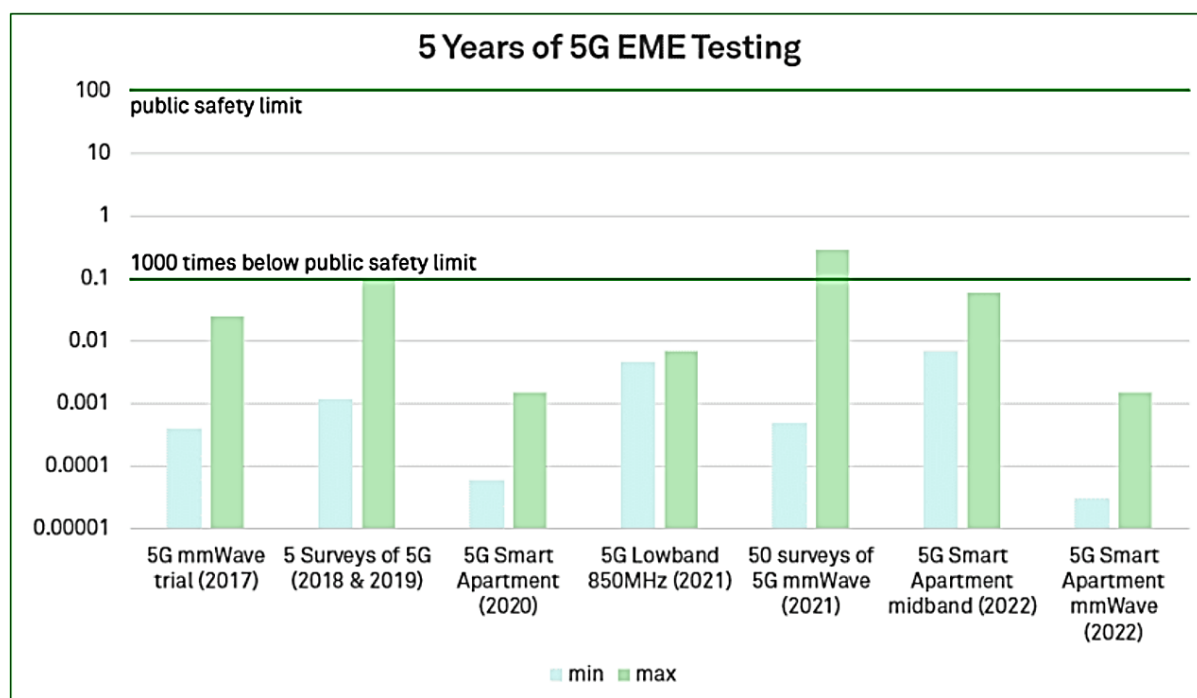
• وجود خطرات غیر گرمایی RF-EMF

از دیدگاه بیولوژیکی، برای فرکانس‌های بالاتر از حدود ۱۰ مگاهرتز، تنها مکانیزم ایجاد شده برای اثرات سلامت RF-EMF، گرم شدن بافت بدن (به صورت بخشی از بدن یا کل بدن) است [۴]. در حالی که مکانیزم‌های دیگری نیز ادعا شده‌اند، اما بر مبنای استدلال‌های قوی بیوفیزیکی چنین مکانیزم‌هایی برای سیگنال‌های تلفن همراه رخ نمی‌دهد [۱۸] و [۱۹].

در هر زمان، درخواست دریافت سرویس از شبکه را دارند تغییر می‌کند. این مسأله باعث کاهش سطح پرتوگیری در سایر جهاتی می‌شود که در آن، کاربر متقاضی دریافت سرویس وجود ندارد.

۴ نتایج اندازه‌گیری‌های انجام شده بر روی پرتوگیری در شبکه‌های تلفن همراه

اپراتور Telstra استرالیا، از سال ۲۰۱۷ اندازه‌گیری‌های گسترده‌ای را بر روی پرتوگیری الکترومغناطیسی در شبکه‌های 5G آزمایشی انجام داده است. این اپراتور انجام اندازه‌گیری‌های خود را پس از پیاده‌سازی تجاری شبکه‌های 5G در فرکانس‌های موج میلیمتری نیز ادامه داده است [۲۰]. این اندازه‌گیری‌ها به صورت جامعی در شرایط واقعی و در محیط‌های مختلف مسکونی، خیابان‌های، مدارس و ... انجام شده‌اند. نتایج حاصل از اندازه‌گیری‌های انجام شده نشان می‌دهند که سطوح پرتوگیری الکترومغناطیسی ناشی از فناوری 5G در بسیاری از موارد در حدود ۱۰۰۰ برابر کمتر از سطوح مجاز تعیین شده توسط ICNIRP می‌باشد. نمودار شکل ۱، حداقل و حداکثر سطوح EME اندازه‌گیری شده را برای حالت‌های مختلف نشان می‌دهد. این مقادیر به صورت درصد در مقایسه با حد ایمنی عمومی پرتوگیری الکترومغناطیسی تأیید شده از سوی ARPANSA^۱ (همان حدود تعریف شده از سوی ICNIRP [۲۱]) نمایش داده شده‌اند.



شکل ۱- سطوح پرتوگیری الکترومغناطیسی بر حسب مقیاس لگاریتمی به صورت درصدی از سطوح مجاز پرتوگیری [۲۰].

رگولاتور انگلستان، Ofcom، نیز نتایج اندازه‌گیری‌های پرتوگیری الکترومغناطیسی را در نزدیکی ایستگاه‌های پایه شامل تمامی فناوری‌های 2G، 3G، 4G و 5G ارائه داده است [۲۲]. مطابق این ارزیابی، بالاترین میانگین سطح پرتوگیری

¹ Australian Radiation Protection and Nuclear Safety Agency

ثبت شده در سایت‌های مختلف تلفن همراه به میزان قابل توجهی کمتر از سطوح مجاز تعیین شده در دستورالعمل ICNIRP برای عموم مردم است [۲۳]. در جدول ۱، سطوح پرتوگیری اندازه‌گیری شده به صورت درصدی از سطوح مجاز پرتوگیری عموم مردم در دستورالعمل ICNIRP نشان داده شده است. مقادیر اندازه‌گیری شده برای محل‌های مختلف سایت‌های BS در چندین شهر انگلستان ارائه شده‌اند. ستون‌های سوم و چهارم این جدول درصد سطوح پرتوگیری اندازه‌گیری شده را به ترتیب در تمام باندهای فرکانسی تلفن همراه؛ و در باند فرکانسی 5G (باند ۳/۶ GHz - ۳/۴) به صورت درصدی از سطح مجاز پرتوگیری ICNIRP بیان می‌کنند. مقادیر عددی این جدول نشان می‌دهند که سطوح پرتوگیری الکترومغناطیسی حاصل از همه ایستگاه‌های پایه مجهز به تمامی فناوری‌های 2G، 3G، 4G و 5G همواره عددی کمتر از ۱٪ سطوح مجاز تعیین شده توسط ICNIRP است. از سوی دیگر، بالاترین سطوح تشعشعی ایجاد شده در باندهای فرکانسی 5G درصد ناچیزی (کمتر از ۰٫۰۵٪) از سطوح مجاز تعیین شده توسط ICNIRP است.

جدول ۱- درصد بالاترین میانگین سطوح پرتوگیری اندازه‌گیری شده نسبت به حدود مجاز [۲۳].

City	Location	Highest All Band Value [%]*	Highest 5G Band Value [%]*
Abingdon	OX13	0.0645	0.0024
Belfast	BT2	0.2922	0.0031
	BT4	0.0555	0.0005
	BT5	0.1197	0.0046
	BT16	0.0335	0.0003
Birmingham	B17	0.1173	0.0091
	B28	0.1889	0.0095
Bristol	BS4	0.1112	0.0058
	BS11	0.1523	0.0027
	BS34	0.1527	0.0002
Cheltenham	GL51 (A)	0.0937	-
	GL51 (B)	0.2662	-
Dalkeith	EH22	0.1099	0.0082
Glasgow	G21	0.1769	0.0102
Gloucester	GL2	0.0955	0.0038
	GL4	0.1442	0.0064
Henlow	SG16	0.0714	-
Lisburn	BT27	0.1751	0.0003
	BT28	0.2836	-
Liverpool	L1	0.2582	0.0205
	L18	0.1069	0.0054
	L19	0.2076	0.0046
Loughborough	LE11	0.0809	0.0136
Marston Moretaine	MK43	0.1022	0.0184
Newtownabbey	BT36 (A)	0.0906	0.0103
	BT36 (B)	0.2266	-
	BT36 (C)	0.4047	0.0048
	BT37	0.4309	0.0028
Northampton	NN1	0.0834	0.0009
Nottingham	NG11	0.0935	-
Portishead	BS20	0.8668	0.0002
Rugeley	WS15	0.0423	-
Salford	M3	0.1872	0.0444
	M50	0.3281	0.0251
Speke	L24 (A)	0.1727	0.0046
	L24 (B)	0.2544	0.0164
St Albans	AL3	0.0799	0.0073
Worcester	WR4	0.2796	0.0345

*Results which are not sufficiently above the system noise floor to record as a valid measurement are shown as a dash (-)

۵ جمع‌بندی

همانطور که ذکر شد، بهره‌برداری از شبکه‌های 5G با تکرار نگرانی‌های نادرست قبلی در مورد ایمنی پرتوگیری RF-EMF و در کنار آن مطرح شدن ادعاهای جدیدی در این رابطه همراه شده است. منتقدان شبکه‌های 5G معتقدند که اگرچه این شبکه‌ها حدود مجاز توصیه شده توسط ICNIRP را برای فرکانس‌های موج میلیمتری رعایت می‌کنند اما انجام مطالعات جدید مبتنی بر انجام آزمایش بر روی اثرات سلامتی این شبکه‌ها لازم است. برای پاسخ به ادعای منتقدان می‌توان به موضوعات زیر اشاره کرد:

- براساس اجماع گروه‌های متخصص مستقل و سازمان بهداشت جهانی، برای فرکانس‌های بالاتر از حدود ۱۰ مگاهرتز (شامل امواج میلیمتری)، تنها مکانیزم ایجاد شده برای اثرات سلامت RF-EMF، گرم شدن بافت بدن است و بر مبنای استدلال‌های بیوفیزیکی، مکانیزم‌هایی دیگری برای سیگنال‌های تلفن همراه رخ نمی‌دهد. بنابراین، رعایت حدود مجاز تعریف شده در دستورالعمل‌های ICNIRP که بر مبنای اثرات گرمایی امواج استخراج شده‌اند، برای حفاظت در مقابل تشعشعات این باندهای فرکانسی کفایت می‌کند.
- نتایج حاصل از اندازه‌گیری‌های انجام شده برای سطوح پرتوگیری الکترومغناطیسی در شبکه‌های 5G در بسیاری از موارد در حدود ۱۰۰۰ برابر کمتر از سطوح مجاز تعیین شده توسط ICNIRP می‌باشد. بنابراین ضمن رعایت حدود پرتوگیری در این شبکه‌ها، این نتایج می‌تواند تا حدودی نگرانی‌های منتقدان را برطرف نماید (عملاً این حدود در شبکه‌های پیاده‌سازی شده فعلی رعایت می‌شود).

با عنایت به مباحث مطرح شده، پیشنهاد می‌گردد که برای رفع دغدغه‌های مربوط به پرتوگیری از شبکه‌های تلفن همراه در کشور، اپراتورها موظف باشند که ضمن سنجش میزان تشعشع ناشی از سایت‌های ایستگاه‌های پایه، گزارش‌های دوره‌ای را به منظور شفافیت بیشتر به نهادهای نظارتی و سازمان تنظیم مقررات و ارتباطات رادیویی ارائه نمایند. در همین رابطه، سازمان تنظیم مقررات و ارتباطات رادیویی به عنوان متولی نظارت بر سطح تشعشعات سیستم‌های مخابراتی می‌بایست ضمن تعیین سطوح مجاز، فرآیند و دستورالعمل پایش سطح پرتوگیری از شبکه‌های تلفن همراه را مصوب و ابلاغ نماید.

نکته دیگری که باید مورد توجه قرار داد این است که، اگرچه مطابق با بررسی‌های انجام شده در سطح بین‌المللی، اثر زیان‌بار اثبات شده‌ای برای سطوح تشعشعی کمتر از حدود تعریف شده توسط ICNIRP اعلام نشده است، اما توصیه می‌شود به دلیل عدم قطعیت‌هایی که در همه موضوعات علمی وجود دارد، افراد و به ویژه کودکان تا حد امکان اصول احتیاطی را در استفاده از گوشی‌های تلفن همراه برای به حداقل رساندن میزان پرتوگیری الکترومغناطیسی رعایت نمایند.

۶ مراجع

- [1] J.-H. Moon, Health effects of electromagnetic fields on children, *Chemical Engineering and Processing (CEP)*, vol. 63, no. 11, pp. 422–428, 2020.
- [2] M. Rabie, S. J. Masoumi, S. M. J. Mortazavi, S. Nematollahi and M. Haghani, “Mobile Cellular Data and Wi-Fi Use Are Not Associated with Adverse Health Effects,” *Journal of Biomedical Physics and Engineering*, Shiraz University of Medical Sciences, March 2023.
- [3] S. A. R. Mortazavi, M. Haghani, S. Zarei, N. Rastegarian, N. Alighanbari, M. Haghparast and L. Darvish, “Should Parents Allow Their Children to Use Smart Phones and Tablets? The Issue of Cognitive Performance,” *Journal of Biomedical Physics and Engineering*, Shiraz University of Medical Sciences, Sep. 2016.
- [4] International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP). Differences between the ICNIRP (2020) and previous guidelines, Available online: <https://www.icnirp.org/en/differences.html>, Nov. 2022.

[۵] پرتوهای غیر یونساز - حدود پرتوگیری، INSO-8567، سازمان ملی استاندارد ایران، ۱۳۹۵.

- [6] International Commission on the Biological Effects of Electromagnetic Fields (ICBE-EMF), “Scientific evidence invalidates health assumptions underlying the FCC and ICNIRP exposure limit determinations for radiofrequency radiation: implications for 5G,” *Environmental Health*, (2022) 21:92.
- [7] National Council on Radiation Protection and Measurements (NCRP). “Biological Effects and Exposure Criteria for Radiofrequency Electromagnetic Fields”, NCRP Report No. 86, 1986.
- [8] American National Standards Institute (ANSI), “Safety Levels with Respect to Human Exposure to Radio Frequency Electromagnetic Fields, 3 kHz to 300 GHz,” ANSI/IEEE C95.1–1992.
- [9] A. D. Ciaula, “Towards 5G communication systems: Are there health implications?,” *International Journal of Hygiene and Environmental Health* 221, pp. 367–375, 2018.

[۱۰] لادن اسمعیلی، مهسا رضایی و نرگس نوری، استخراج راه کارهای فنی طراحی شبکه و ساخت تجهیزات شبکه و کاربران با هدف کاهش سطح پرتوگیری افراد در شبکه‌های 4G و 5G، پژوهشگاه ارتباطات و فناوری اطلاعات، بهار ۱۴۰۰.

- [11] J. Rowley and H. Mazar, “Misunderstandings about radiofrequency electromagnetic field exposure and 5G misinformation,” in *proc. IEEE International Conference on Microwaves, Antennas, Communications and Electronic Systems (COMCAS)*, pp. 219-221, 2021.
- [12] I. Liorni et al., “Evaluation of Specific Absorption Rate in the Far-Field, Near-to-Far Field and Near-Field Regions for Integrative Radiofrequency Exposure Assessment,” *Radiation Protection Dosimetry*, vol. 190, no. 4, pp. 459–472, July 2020.

- [13] ITU-T K Series, Supplement 13: Radiofrequency electromagnetic field (RF-EMF) exposure levels from mobile and portable devices during different conditions of use, International Telecommunications Union, Geneva Dec. 2021.
- [14] S. Aerts et al., "In Situ Assessment of 5G NR Massive MIMO Base Station Exposure in a Commercial Network in Bern, Switzerland," *Applied Sciences*, vol. 11, no. 8, p. 3592, 16 April 2021.
- [15] P. Joshi, F. Ghasemifard, D. Colombi, and C. Törnevik, "Actual output power levels of user equipment in 5G commercial networks and implications on realistic RF EMF exposure assessment," *IEEE Access*, 9 Nov. 2020.
- [16] A. Wood, R. Mate, and K. Karipidis, "Meta-analysis of in vitro and in vivo studies of the biological effects of low-level millimetre waves," *Journal of Exposure Science & Environmental Epidemiology*, vol. 31, pp. 606-613, Mar. 2021.
- [17] K. Karipidis, R. Mate, D. Urban, R. Tinker, and A. Wood, "5G mobile networks and health—a state-of-the-science review of the research into low-level RF fields above 6 GHz," *Journal of Exposure Science & Environmental Epidemiology*, vol. 31, pp. 585-605, Mar. 2021.
- [18] C. C. Davis and Q. Balzano, "The brain is not a radio receiver for wireless phone signals: Human tissue does not demodulate a modulated radiofrequency carrier," *Comptes Rendus Physique*, vol. 11, no. 9-10, pp. 585-591, Nov.-Dec. 2010.
- [19] A. R. Sheppard, M. L. Swicord, and Q. Balzano, "Quantitative Evaluations Of Mechanisms Of Radiofrequency Interactions With Biological Molecules And Processes," *Health Physics*, vol. 95, no. 4, pp. 365-396, Oct. 2008.
- [20] <https://exchange.telstra.com.au/5g-electromagnetic-energy-eme-and-your-health-here-are-the-facts/>
- [21] <https://www.arpansa.gov.au/tags/icnirp>
- [22] ofcom: Electromagnetic field (EMF) measurements near 5G mobile phone base stations Summary of measurement results for April to October 2021.
- [23] ofcom; Electromagnetic Field (EMF) measurements near 5G mobile phone base stations, Publication Date: 21 February 2020.



نشانی: تهران، انتهای کارگر شمالی، پژوهشگاه
ارتباطات و فناوری اطلاعات، معاونت پژوهش و
توسعه ارتباطات علمی

تلفن: ۰۲۱-۸۸۶۳۰۳۵۵

نمابر: ۰۲۱-۸۸۶۳۰۳۵۶