



راهکارهای کاهش مخاطرات انسانی امواج الکترومغناطیسی تجهیزات مخابراتی

پژوهشگاه ارتباطات و فناوری اطلاعات

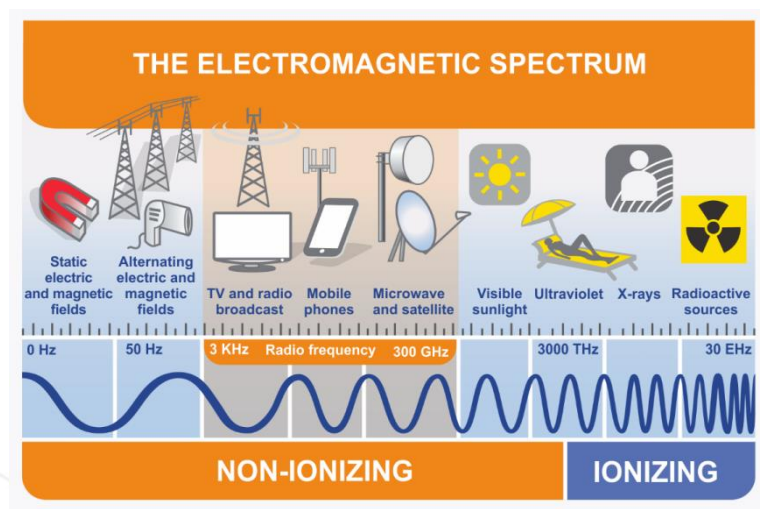
WWW.ITRC.AC.IR



مقدمه

قرار گرفتن روزمره انسان در معرض میدان‌های الکترومغناطیسی^۱ (EMFs) اتفاق جدیدی نیست. انسان‌ها در طول عمر خود همواره در معرض EMFهای طبیعی قرار داشته‌اند. با این حال، در قرن گذشته با توسعه فن‌آوری و ارتباطات رادیویی منابع مصنوعی EMF افزایش یافته است. طیف الکترومغناطیسی دارای گستره‌ای از میدان‌های الکتریکی و مغناطیسی استاتیک، از فرکانس‌های برق خانگی (۵۰/۶۰ هرتز) تا فرکانس‌های رادیویی، مادون قرمز و نور مرئی و حتی اشعه گاما می‌باشد. شکل ۱ طیف الکترومغناطیسی و منابع معمول میدان‌های الکترومغناطیسی را نشان می‌دهد.

سیگنال‌های رادیویی، شکلی از انرژی الکترومغناطیسی و یا تابش الکترومغناطیسی^۲ (EMR) می‌باشند. سیگنال‌های رادیویی، غیر یون‌سازند، به این معنی که نمی‌توانند به‌طور مستقیم انرژی کافی را به یک مولکول برای شکستن یا تغییر پیوندهای شیمیایی آن منتقل کنند. این برخلاف تشعشعات یون‌سازی مانند پرتوهای X یا امواج γ است که می‌توانند الکترون‌ها را از اتم‌ها و مولکول‌ها خارج کنند و باعث ایجاد تغییراتی شوند که می‌تواند منجر به آسیب بافتی و احتمالاً سرطان شود.



شکل ۱- طیف الکترومغناطیسی و منابع رایج تولید میدان‌های الکترومغناطیسی

^۱ Electromagnetic Fields

^۲ Electromagnetic Radiation

در راستای تأمین سلامتی افراد و حفاظت از آن‌ها در مقابل اثرات تشعشعات الکترومغناطیسی، نهادهای استاندارد گذاری در دنیا استانداردها و توصیه‌نامه‌هایی را در مورد سطوح مجاز این تشعشعات و حفاظت در مقابل آن‌ها ارائه داده‌اند.

در این گزارش، ابتدا به صورت خلاصه، اثرات بیولوژیکی و اختلالات ناشی از قرارگیری انسان در معرض امواج الکترومغناطیسی مورد بررسی قرار می‌گیرد. سپس، اشاره‌ای کلی به استانداردها و توصیه‌نامه‌های سطوح مجاز و حفاظت در مقابل اثرات این امواج انجام می‌شود. در نهایت، با جمع‌بندی مطالعات و بررسی‌های انجام‌شده، راهکارهایی بر مبنای استانداردها و توصیه‌نامه‌های موجود جهت کاهش این اثرات استخراج و ارائه می‌شود.

۱- اثرات بیولوژیکی و اختلالات ناشی از مواجهه با میدان‌های الکترومغناطیسی

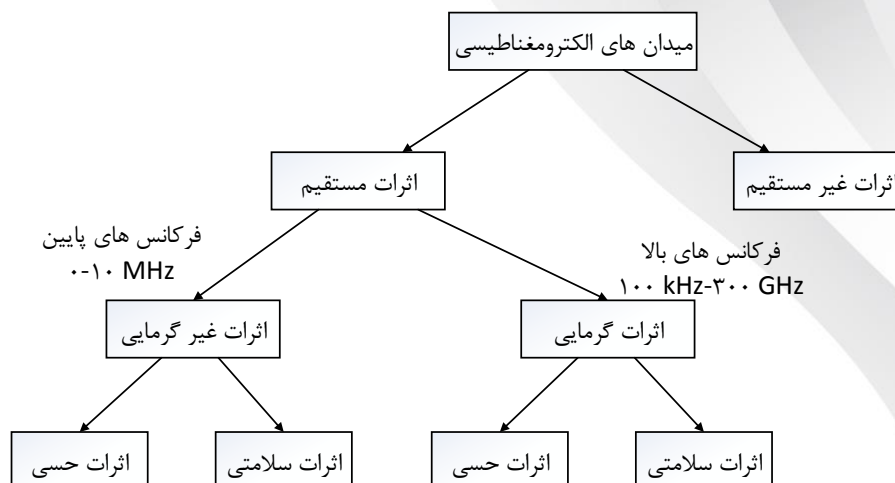
میدان‌های الکترومغناطیسی می‌توانند اثرات بیولوژیکی مختلفی را بر بدن انسان واقع در معرض تشعشع ایجاد کنند. این اثرات ممکن است در فرکانس‌های بالا به‌صورت اثرات گرمایی، به‌واسطه ویژگی جذب میدان‌ها، و در فرکانس‌های پایین به‌صورت اثرات غیر گرمایی، ناشی از ایجاد میدان‌های الکتریکی و جریان‌های القاء شده در داخل بدن باشند. اثرات بیولوژیکی درواقع تغییرات فیزیکی، بیوشیمیایی یا رفتاری یک موجود زنده در پاسخ به محرک‌ها می‌باشد. این تغییرات اگر در محدوده قابل‌پذیرش هم‌ایستایی (هومئوستازی)^۱ رخ دهند برگشت‌پذیر هستند، یعنی محدوده‌ای که به موجود زنده اجازه می‌دهد باوجود تحمل فشارها، تعادل داخلی خود را حفظ کند. این محدوده‌ها به ماهیت بافت زنده، حالت و شرایط محیطی آن بستگی دارند.

تأثیرات مستقیم بیولوژیکی میدان‌های الکترومغناطیسی به اثرات حسی و اثرات سلامتی تقسیم می‌شود. اثرات حسی می‌توانند درک حسی گذرا و تغییرات بسیار کوچکی در عملکرد مغز فرد تحت تأثیر قرار گرفته ایجاد کنند. اما اثرات سلامتی نتیجه‌ای منفی بر سلامت بدن خواهند داشت و می‌توانند منجر به شکل‌گیری اختلالات و ایجاد بیماری شوند.

علاوه بر این، اثرات غیرمستقیم تشعشع نیز وجود دارند. سوختگی ناشی از جریان تماسی، اختلال در تجهیزات پزشکی، جرقه تخلیه الکتریکی و جذب عناصر فرو مغناطیسی مثال‌هایی از این نوع اثرات می‌باشند. این اثرات ممکن است به خطراتی برای سلامتی و ایمنی تبدیل شوند. دسته‌بندی اثرات اصلی میدان‌های الکترومغناطیسی در شکل ۲ نشان داده شده‌اند.

^۱ homeostasis

تمایل به حفظ شرایط پایدار و ثابت بین عناصر وابسته به یکدیگر در یک سامانه (ارگان) زنده به‌ویژه از طریق فرآیندهای بیولوژیکی (همچون ویژگی حفظ دما در بدن).



شکل ۲- اثرات میدان های الکترومغناطیسی بر بدن

به طور کلی، اثرات مستقیم بیولوژیکی در دو گروه دسته بندی می شوند. اگرچه این دو اثر نا همبسته هستند، اما ایجاد آن ها به طور هم زمان توسط فرکانس های بین ۱۰۰ kHz تا ۱۰ MHz امکان پذیر است.

- **اثرات غیر گرمایی:** این اثرات در محدوده فرکانسی ۰ تا ۱۰ MHz رخ می دهند. میدان و جریان الکتریکی ناشی از یک میدان الکتریکی یا مغناطیسی می تواند باعث برانگیختن بافت های بیولوژیکی شود. اثرات میدان های فرکانس پایین بر بدن به دودسته حسی و سلامتی تقسیم شده اند. اثرات حسی شامل برانگیختن مستقیم سیستم اعصاب مرکزی^۱ (CNS) سر، برانگیختن عملکرد مغز و ادراک جلدی (پوستی)^۲ می شود. اما اثرات سلامتی ممکن است از برانگیختن سیستم اعصاب محیطی^۳ (PNS) که کنترل ماهیچه های اسکلتی^۴ را بر عهده دارند، و یا برانگیختن مستقیم ماهیچه ها ناشی شوند که می توانند بر سلامت و ایمنی افراد قرار گرفته در معرض تشعشع اثرگذار باشند. میدان های الکتریکی و مغناطیسی قادرند در درون بدن واقع در

^۱ central nervous system

^۲ cutaneous

^۳ peripheral nervous system

سیستم عصبی خارج از مغز و نخاع، یا سیستم عصبی محیطی، یکی از دو جزء سیستم عصبی است. سیستم عصبی بدن به دودسته سیستم عصبی مرکزی (CNS) و سیستم عصبی محیطی (PNS) تقسیم می شود. عملکرد اصلی PNS اتصال CNS به ارگان ها و اندام بدن می باشد و در اصل همچون رله ای بین مغز و نخاع با بقیه بدن عمل می کند.

^۴ skeletal muscles

معرض تابش، جریان و میدان الکتریکی ایجاد کنند. این سیگنال‌ها به سیگنال‌های فیزیولوژیکی طبیعی^۱ بدن افزوده شده و باعث برانگیختن گیرنده‌های حسی پوست، شبکه چشم، بافت‌های عصبی و بافت‌های عضلانی می‌شوند. به‌طور کلی، اثرات مشاهده شده در این محدوده فرکانسی می‌تواند طیف وسیعی از یک حس ساده تا مرگ را در برگیرد.

در حضور چنین میدان‌هایی این اثرات قابل مشاهده می‌باشند: اثرات ادراکی، سوزنی شدن، انقباض عضلات، از دست دادن کنترل عضلات، درد و مختل شدن عملکرد قلب. این اثرات زمانی رخ می‌دهند که میدان یا جریان‌های الکتریکی که فرد در معرض آن قرار گرفته، به آستانه مشخصی (وابسته به مدت زمان برانگیختن و میزان حساسیت فرد) رسیده باشد. سطوحی کمتر از سیگنال‌های فیزیولوژیکی طبیعی بدن قدرت کافی جهت ایجاد اثرات قابل تشخیص را ندارند.

• **اثرات گرمایی:** این اثرات در محدوده فرکانسی ۱۰۰ kHz تا ۳۰۰ GHz رخ می‌دهند. جذب میدان‌های

الکترومغناطیسی سبب گرم شدن بافت‌ها می‌شود. اثرات گرمایی نیز باعث ایجاد اثرات حسی و اثرات سلامتی می‌شوند. گرمای حاصل از میدان‌های الکترومغناطیسی متفاوت با سایر پدیده‌های حرارتی است، زیرا در درون بدن تولید می‌شود و از طریق پوست به داخل بدن نفوذ نمی‌کند. این گرمای غیرمعمول، حتی بدون افزایش درجه حرارت قابل تشخیص، می‌تواند منجر به اختلال در پاسخ به تغییرات متابولیسم داخلی فرد شود. چنین اختلالی با عنوان «استرس حرارتی^۲» شناخته می‌شود. گرمای حاصل از تابش، به حرارت ناشی از کارکرد متابولیسم ارگان‌ها اضافه می‌شود. دمای بدن به‌طور عمده از طریق انتشار گرما توسط جریان خون، و در مقدار کمتر از طریق هدایت ماهیچه‌ها و بافت‌های چربی تنظیم می‌شود. پاسخ فیزیولوژیکی بدن به گرم‌زدگی بیش از یک آستانه مشخص، افزایش ریتم قلب و گشاد شدن رگ‌ها خواهد بود. اگر گرم شدن تا رسیدن به آستانه قابل پذیرش هم‌ایستایی متوقف نشود، خطر سکتة گرمایی^۳ وجود خواهد داشت. در بدترین

^۱ natural physiological signals

^۲ thermal stress

^۳ hyperthermal collapse

حالت، نتیجه کشنده خواهد بود. همچنین ممکن است در حین مواجهه با میدان‌های شدید نکرز بافتی^۱ (کشندگی بافت)، رخ دهد. تابش یک پالس فرکانسی رادیویی، همانند آنچه توسط رادارها ارسال می‌شود، می‌تواند حسی قابل درک برای شنوایی انسان ایجاد کند. آستانه حساسیت به فرکانس سیگنال حامل و نوع مدولاسیون بستگی دارد. کمترین میزان آن در باند UHF (۶ - ۰/۳ GHz) بوده و سپس به آرامی در مقادیر بالاتر از این محدوده افزایش می‌یابد. پالس‌هایی که بیش از چند میکروثانیه طول می‌کشند بیشتر درک می‌شوند. بنابراین، برخی از افراد واقع در معرض سیگنال ممکن است احساس کنند که انتشار فرکانس‌های رادیویی قابل شنیدن است. عارضه شناخته‌شده‌ای از این اثر بر سلامتی افراد وجود ندارد.

۱-۱- اثرات میدان‌های الکترومغناطیسی در بلندمدت

اگرچه اجماع بین‌المللی بر روی اثرات کوتاه‌مدت میدان‌های الکترومغناطیسی وجود دارد، اما قرارگیری طولانی‌مدت در معرض این میدان‌ها با ابهاماتی همراه است. جهت بررسی اثرات بلندمدت میدان‌های الکترومغناطیسی سه روش اصلی بکار می‌رود: مطالعات اپیدمیولوژیک^۲، مطالعات بیولوژیکی برون تنی^۳ و مطالعات بیولوژیکی درون تنی^۴. در تمامی این روش‌ها لازم است که پارامترهای اثرگذار ناشی از قرارگیری در معرض سیگنال و مقادیر آن‌ها با دقتی بالا شناسایی و مشخص شوند. علاوه بر اندازه‌گیری مستقیم میدان با استفاده از پروب‌های^۵ مناسب، شبیه‌سازی عددی نیز امکان توصیف الکترواستاتیکی و الکترومغناطیسی میدان‌ها را با استفاده از مدل‌های بدن انسان امکان‌پذیر می‌سازد. با این وجود، شناسایی سطح میدان همیشه به‌سادگی امکان‌پذیر نبوده و می‌تواند نتایج بررسی را تحت تأثیر قرار دهد. در حال حاضر، برنامه‌های مطالعاتی دوزومتری^۶ در حال پیشرفت در این حوزه هستند.

^۱ tissue necrosis

^۲ epidemiological

مطالعه نحوه انتشار بیماری‌ها و عوامل بیماری‌زا، توزیع بیماری‌ها در زمان‌ها، مکان‌ها، نژادها یا فرهنگ‌های خاص یا هر عاملی که به سلامت مربوط باشد.

^۳ in vitro biological studies

^۴ in vivo biological studies

^۵ probe

^۶ dosimetry

مطالعات اپیدمیولوژیک - به دلایل اخلاقی، بیشتر مطالعات صورت گرفته بر روی اثرات مستقیم میدان‌های

الکترومغناطیسی روی انسان‌ها به صورت اپیدمیولوژیک است. مطالعات اپیدمیولوژیک بر مبنای مشاهده جمعیت‌ها در زندگی واقعی انجام می‌شوند. اپیدمیولوژیست‌ها اقدام به مقایسه تکرار یک بیماری در گروهی از انسان‌هایی که در معرض یک عامل مشکوک قرار دارند با گروهی می‌نمایند که در معرض آن عامل قرار ندارند. درواقع مطالعات آماری تطبیقی صورت می‌گیرد که به دنبال یافتن ارتباط بین ظهور یک بیماری و عوامل محیطی است. مشکل این روش در تفکیک عوامل تأثیرگذار می‌باشد، به‌ویژه وقتی این عوامل با عوامل دیگری همچون سبک زندگی ترکیب می‌شوند یا هنگامی که یک بیماری به صورت ناگهانی در جمعیتی کوچک رخ می‌دهد.

مطالعات اپیدمیولوژیک بر روی انسان به دودسته تقسیم می‌شوند:

- مطالعات مورد-شاهدی^۱: پس‌زمینه افراد مبتلا به بیماری و پس‌زمینه افراد بدون بیماری مقایسه می‌شوند.

این مطالعه از نوع گذشته‌نگر^۲ است؛

- مطالعه کوهورت^۳ (یا مطالعه پیگیری‌کننده^۴): مطالعه بر روی دو گروه از مردم تمرکز می‌کند. تنها یکی از

گروه‌ها در معرض عامل مورد ظن قرار می‌گیرند. این گروه در بلندمدت (مثلاً چندین سال و یا حتی چند

دهه) پایش می‌شوند و نتایج پایش با نتایج حاصل از گروهی که در معرض قرار ندارند، مقایسه می‌شوند.

از آنجایی که تعداد عوامل درگیر در این مطالعات زیاد است، عدم اطمینان در نتایج چنین مطالعاتی وجود خواهد

داشت.

مطالعات بیولوژیکی برون‌تنی - مطالعات برون‌تنی بر نتایج آزمایشگاهی کشت بافت سلولی در شرایط گوناگون

متمرکز است. در این آزمایش‌ها به جای به کار بردن جانداران زنده، بخشی از بدن آن‌ها مانند یاخته‌ها یا بافت‌هایشان

از محیط بیولوژی خود (بدن جاندار) جداسازی شده و در شرایط آزمایشگاهی کشت و موردبررسی قرار می‌گیرد.

^۱ case-control

^۲ retrospective

^۳ cohort

^۴ follow-up study

آزمایش‌ها تحت شرایطی کامل کنترل شده صورت می‌گیرد تا عوامل مخدوش کننده نتایج از بین بروند. چنین مطالعاتی می‌توانند در بلندمدت انجام شوند.

این روش باهدف شناسایی کلیه تغییرات سلولی از مراحل ابتدایی انجام می‌شود. بااین وجود، سیر تکامل بیولوژیکی منجر به عواقب خطرناکی همچون ظهور سرطان را نمی‌تواند پایش کند.

مطالعه جداگانه اجزای بدن جاندار در آزمایشگاه، امکان دستیابی به جزئیات بیشتری را فراهم می‌کند. هرچند که نتایجی که در مطالعه برون تنی به دست می‌آید ممکن است نتواند به‌طور کامل و دقیق اثرات را بر روی جاندار کامل پیش‌بینی کند.

مطالعات بیولوژیکی درون‌تنی - مطالعات درون تنی نیز به‌صورت آزمایشگاهی انجام می‌شوند. در این روش، اثرات بیولوژی عوامل مختلف به‌جای آن‌که بر روی جاندار مرده یا قسمتی از جاندار آزمایش شود، بر روی یک موجود زنده کامل آزمایش می‌شود. تجزیه و تحلیل در این روش می‌تواند چندین نسل از جانداران زنده را پوشش دهد.

۲-۱- اثرات غیرمستقیم

اثرات غیرمستقیم ناشی از حضور اشیاء در میدان الکترومغناطیسی می‌باشند، که می‌توانند برای سلامت و ایمنی خطرناک باشند. این اثرات ممکن است در طیف وسیعی از فرکانس‌ها ایجاد شوند. برخی از اثرات غیرمستقیم ممکن است ایجاد ناراحتی نمایند و برخی دیگر می‌توانند کشنده باشند.

مثال‌هایی از این اثرات عبارت‌اند از:

- درست کار نکردن تجهیزات فعال پزشکی، دستگاه‌های ایمپلنت^۱ یا پوشیدنی^۲ (ضربان‌ساز، پمپ دارو و ...)
- کوپلینگ^۳ با ایمپلنت‌های غیرفعال (پروتز ارتوپدی و ...)، یا اشیاء پوشیدنی (جواهرات، فلزات تزئینی و ..)، و یا سایر قطعات فلزی پوشیده شده؛

^۱ implanted

^۲ body-worn

^۳ coupling

- جذب و یا پرتاب اشیاء فرومغناطیسی در یک میدان الکترومغناطیس استاتیک؛
- انفجار دستگاه‌های الکترونیکی احتراق‌زا؛
- تخلیه جرقه، ایجاد آتش‌سوزی یا انفجار؛
- سوختن مواد جذب‌کننده فرکانس رادیویی در نزدیکی آنتن‌های پر قدرت؛
- عبور یک جریان الکتریکی که باعث شوک الکتریکی یا سوختگی در تماس با یک عنصر قطبی شده با میدان می‌شود؛
- اختلال دستگاه‌های الکترونیکی توسط میدان‌های خارجی که درون دامنه کارکردی سازگاری الکترومغناطیسی^۱ (EMC) قرار گرفته‌اند.

۳-۱- جمع‌بندی اثرات کوتاه‌مدت و بلندمدت قرارگیری در معرض میدان‌های الکترومغناطیسی بر بدن انسان

در جدول ۱ چکیده‌ای از اثرات مستقیم قرارگیری کوتاه‌مدت انسان در معرض امواج الکترومغناطیسی آمده است. کلیه این اثرات مربوط به شرایط قرارگیری کوتاه‌مدت در معرض امواج می‌باشد، که در صورت خروج از محدوده تابش امواج، پس از مدت‌زمانی از بین می‌روند. در جدول ۲ خلاصه‌ای از اثرات بلندمدت ناشی از قرارگیری در معرض میدان‌های الکترومغناطیسی آمده است. به دلیل فقدان نتیجه‌گیری جامع نمی‌توان احتمال ایجاد هرگونه اثر خطرناک برای بدن انسان را به‌طور کامل منتفی دانست. در نتیجه مرکز جهانی تحقیقات سرطان^۲ (IARC)، امواج فرکانس‌های رادیویی را در دسته عوامل احتمالاً سرطان‌زا قرار داده است. در حال حاضر، تحقیقات بسیاری بر روی احتمال اثرگذاری تغییرات متابولیک ناشی از قرارگیری در معرض میدان‌های الکترومغناطیسی فرکانس بالا بر روی رشد سلول‌های بدخیم متمرکز شده‌اند.

جدول ۱- چکیده‌ای از نتایج بررسی تأثیرات قرارگیری کوتاه‌مدت در معرض میدان‌های الکترومغناطیسی

میدان الکترومغناطیسی	نکات کلیدی اثرات مستقیم
----------------------	-------------------------

^۱ electromagnetic compatibility

^۲ International Agency for Research on Cancer

اثرات بیولوژیکی	پاسخ بیولوژیکی به عوامل محیطی، احتمالاً بدون اثر بر سلامتی.
میدان‌های استاتیک	میدان با شدت کمتر از ۲ T اثری بر بدن نخواهد داشت. میدان‌های کمتر از ۷ T می‌توانند اثراتی همچون القاء مگنتوفسینز، سرگیجه و حالت تهوع، تحریک اعصاب محیطی و احساس طعم فلزی را ایجاد کنند. بیشتر این اثرات به‌خودی‌خود خطرناک نیستند، اما ممکن است حسی آزاردهنده برای فرد ایجاد کنند. میدان مغناطیسی استاتیک بسیار قوی باعث ایجاد جریان و میدان الکتریکی در رگ‌های خونی (ناشی از گردش یون‌ها) می‌شوند.
محدودیت‌های میدان‌های استاتیک	تا هنگامی که القاء مغناطیسی کمتر از ۷ تسلا باشد، این میدان‌ها برای سلامت بدن خطرناک در نظر گرفته نمی‌شوند و با ترک میدان مغناطیسی، به‌سرعت ناپدید می‌شوند.
میدان‌های الکتریکی و مغناطیسی فرکانس پایین	مهم‌ترین اثر در فرکانس‌های کمتر از ۱۰ MHz تحریک ارگان‌های حسی، عصبی و بافت‌های ماهیچه‌ای است. این اثرات فراتر از مقادیر آستانه ویژه‌ای ایجاد می‌شوند. میدانی با قدرت ۲۰ kV/m اثرات حسی قابل‌درک به دنبال خواهد داشت. میدان الکتریکی در محدوده بین ۵۰ mV/m تا ۱۰۰ mV/m اثر مگنتوفسینز را در محدوده شبکیه چشم ایجاد می‌کند. در فرکانس ۵۰ Hz، سطح موردنیاز برای درک چنین احساسی باید حدود ۱۵ mT باشد. میدان الکتریکی خارجی چند صد کیلوولت بر متر، یا سطوح میدان مغناطیسی چند ده هزار میلی تسلا قادر به برانگیختگی اعصاب می‌باشد. میدان مغناطیسی ۲۰۰ mT در فرکانس ۵۰ Hz می‌تواند خطر مرگ را به همراه داشته باشد.
محدودیت‌های فرکانس‌های پایین	جهت جلوگیری از اثرات نامطلوب بر سلامتی، میدان‌های الکتریکی و جریان‌های القاء شده باید محدود شوند.
میدان‌های الکتریکی و مغناطیسی فرکانس بالا	مهم‌ترین اثر در فرکانس‌های بالای ۱۰۰ kHz گرم شدن بافت‌های قرارگرفته در معرض سیگنال می‌باشد. افزایش دما از آستانه‌ای مشخصی قابل شخیص است. تابشی که منجر به جذب کمتر از ۴ W/kg در بدن فرد قرارگرفته در معرض امواج شود، خطر گرمایی بر سلامت فرد نخواهد داشت. جذب میدان الکترومغناطیسی توسط بافت‌های بیولوژیکی به فرکانس و خواص دی‌الکتریک آن‌ها بستگی دارد. خطر گرمایی در بافت‌های دارای عروق کمتر، همچون چشم‌ها و بیضه‌ها، قابل‌توجه‌تر خواهد بود. متوسط عمق نفوذ در فرکانس ۳ GHz حدود ۲ cm است. فراتر از ۱۰ GHz، این پدیده به‌صورت سطحی (mm) < ۳/ خواهد بود و میدان الکترومغناطیسی، بیشتر شبیه نور قابل‌مشاهده‌ای می‌تابد که از طریق لباس عبور می‌کند. در این حالت میزان انرژی جذب‌شده در واحد وزن یا نرخ جذب ویژه ^۱ (SAR) بی‌مفهوم خواهد بود.
محدودیت‌های فرکانس‌های بالا	جهت جلوگیری از افزایش بیش‌ازحد گرما، باید جذب امواج توسط بافت‌ها محدود شود. گرمای زیاد برای سلامت بافت‌های خطرناک می‌باشد.
فرکانس‌های میانی	از فرکانس ۱۰۰ kHz تا ۱۰ MHz، اثرات تحریک‌کننده و گرمایی می‌توانند به‌صورت مستقل از یکدیگر ایجاد شوند.
میدان‌های ضعیف	هیچ اثر فیزیولوژیکی در کوتاه‌مدت ناشی از قرارگیری در معرض میدان‌های ضعیف دیده نشده است.

جدول ۲- خلاصه‌ای از نتایج بررسی تأثیرات ناشی از قرارگیری بلندمدت در معرض میدان‌های الکترومغناطیسی

نکات کلیدی اثرات بلندمدت	
اثرات ناشی از مواجهه بلندمدت با سیگنال، در سطحی کمتر از آستانه ایجادکننده اثرات حاد، همچنان موضوع بحث‌برانگیزی است.	بحث

^۱ specific absorption rate

باوجود تحقیقات بسیاری که صورت گرفته، امروزه دلایلی قطعی مبنی بر خطرناک بودن قرارگیری انسان در معرض امواج الکترومغناطیس ضعیف یافت نشده است. در حال حاضر مکانیسمی یافت نشده است که بتواند ارتباطی بین مواجهه با سیگنال و ایجاد سرطان را تعریف کند.	اثرات مواجهه بلندمدت
حساسیت الکترومغناطیسی توسط سازمان بهداشت جهانی شناخته شده است، اگرچه ارتباط علمی مابین قرارگیری در معرض امواج الکترومغناطیسی و حساسیت‌های ایجادشده یافت نشده است.	مشکلات مربوط به کیفیت زندگی

۲- استانداردها و توصیه‌نامه‌های بین‌المللی

اکثر کشورها، حدود مجاز قرارگیری در معرض میدان‌های الکترومغناطیسی را بر اساس استانداردهای ملی خود تعیین می‌کنند. چندین سازمان بزرگ بین‌المللی در خصوص ارائه استانداردهای مختلف بر روی اثرات تشعشع EMF بر بدن انسان فعالیت می‌کنند که از آن جمله می‌توان به WHO، IRPA، IEC، IEEE، ITU و کمیسیون بین‌المللی حفاظت در برابر تشعشعات غیر یون‌ساز^۱ (ICNIRP) اشاره کرد. از طرفی، سازمان بهداشت جهانی (WHO) نتایج علمی گردآوری شده از سراسر جهان را که معمولاً حدود استاندارد آن بر پایه حدود تعیین شده در ICNIRP است، ارزیابی می‌کند. همچنین ITU توصیه‌نامه‌های فراوانی را در خصوص به‌کارگیری و محافظت از تشعشعات ناشی از میدان‌های الکترومغناطیسی ارائه داده است.

گروه مطالعاتی ۵ در ITU-T (SG5)، یک گروه راهبردی ICT با موضوع پدیده‌های الکترومغناطیسی است. بخش ۲ این گروه، به مسائل EMF تحت عنوان Question 7/5 با موضوع «قرارگیری انسان در معرض میدان‌های الکترومغناطیسی (EMF) ناشی از سیستم‌های رادیویی و تجهیزات جانبی موبایل^۲» می‌پردازد. استانداردهای بین‌المللی مربوطه (توصیه‌نامه‌های ITU-T) چارچوب‌هایی را برای مدیریت قرارگیری انسان در معرض تشعشع EMF ناشی از تجهیزات مخابراتی فراهم می‌کنند که می‌توانند راهنمای خوبی برای رگولاتورها باشند.

۲-۱- سطوح مجاز قرارگیری در معرض میدان‌های الکترومغناطیسی ارائه شد توسط

ICNIRP

ICNIRP، یک کمیسیون بین‌المللی است که در زمینهٔ محافظت در برابر اشعه غیر یون‌ساز تخصص دارد و مأموریت آن مشاهده و ارزیابی یافته‌های علمی و ارائه دستورالعمل‌هایی برای محافظت در مورد اشعه غیر یون‌ساز است. اولین نسخه دستورالعمل ICNIRP برای محدوده فرکانسی ۰ تا ۳۰۰ گیگاهرتز در سال ۱۹۹۸ منتشر گردیده است که امروزه همچنان بسیاری از جوامع و نهادها به آن استناد می‌کنند.

^۱ International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection

^۲ Human exposure to electromagnetic fields (EMF) due to radio systems and mobile equipment

محدودیت‌های اعمال‌شده توسط ICNIRP مبتنی بر مشکلات ایجادشده برای سلامتی می‌باشند و در اصطلاح به آن‌ها محدودیت‌های اصلی گفته می‌شود. متناسب با فرکانس، کمیت‌های فیزیکی مورد استفاده برای تعیین محدودیت‌های اصلی قرارگیری در معرض EMF، عبارت‌اند از: چگالی جریان، SAR و چگالی توان. حفاظت در برابر اثرات مضر بر سلامتی مستلزم این است که از این محدودیت‌های اصلی تجاوز نشود.

سطوح مرجع قرارگیری در معرض EMF برای مقایسه با مقادیر اندازه‌گیری شده کمیت‌های فیزیکی ارائه می‌شوند. رعایت تمام سطوح مرجع ذکرشده در این دستورالعمل، رعایت محدودیت‌های اصلی را تضمین می‌کند. اگر مقادیر اندازه‌گیری شده بیش از سطوح مرجع باشند، لزوماً به این معنی نیست که مقادیر از محدودیت‌های اصلی فراتر رفته‌اند، بلکه تجزیه و تحلیل دقیق‌تری برای ارزیابی انطباق با محدودیت‌های اصلی لازم است.

جدول ۳- محدودیت‌های اصلی برای میدان‌های الکتریکی و مغناطیسی متغیر با زمان برای فرکانس‌های تا

۱۰ GHz

Exposure characteristics	Frequency range	Current density for head and trunk (mA m ⁻²)(rms)	Whole-body average SAR (W kg ⁻¹)	Localized SAR (head and trunk) (W kg ⁻¹)	Localized SAR (limbs) (W kg ⁻¹)
Occupational exposure	up to 1 Hz	40	—	—	—
	1–4 Hz	40/f	—	—	—
	4 Hz–1 kHz	10	—	—	—
	1–100 kHz	f/100	—	—	—
	100 kHz–10 MHz	f/100	0.4	10	20
General public exposure	10 MHz–10 GHz	—	0.4	10	20
	up to 1 Hz	8	—	—	—
	1–4 Hz	8/f	—	—	—
	4 Hz–1 kHz	2	—	—	—
	1–100 kHz	f/500	—	—	—
	100 kHz–10 MHz	f/500	0.08	2	4
	10 MHz–10 GHz	—	0.08	2	4

Notes:

1. f is the frequency in hertz.
2. Because of electrical inhomogeneity of the body, current densities should be averaged over a cross-section of 1 cm² perpendicular to the current direction.
3. For frequencies up to 100 kHz, peak current density values can be obtained by multiplying the rms value by $\sqrt{2}$ (~1.414). For pulses of duration t_p the equivalent frequency to apply in the basic restrictions should be calculated as $f = 1/(2t_p)$.
4. For frequencies up to 100 kHz and for pulsed magnetic fields, the maximum current density associated with the pulses can be calculated from the rise/fall times and the maximum rate of change of magnetic flux density. The induced current density can then be compared with the appropriate basic restriction.
5. All SAR values are to be averaged over any 6-minute period.
6. Localized SAR averaging mass is any 10 g of contiguous tissue; the maximum SAR so obtained should be the value used for the estimation of exposure.
7. For pulses of duration t_p the equivalent frequency to apply in the basic restrictions should be calculated as $f = 1/(2t_p)$. Additionally, for pulsed exposures, in the frequency range 0.3 to 10 GHz and for localized exposure of the head, in order to limit or avoid auditory effects caused by thermoelastic expansion, an additional basic restriction is recommended. This is that the SA should not exceed 10 mJ kg⁻¹ for workers and 2 mJ kg⁻¹ for the general public averaged over 10 g tissue.

محدودیت‌های اصلی روی چگالی‌های جریان، متوسط SAR کل بدن، و SAR محلی برای فرکانس‌های بین Hz ۱ و ۱۰ GHz در جدول ۳ و موارد مربوط به چگالی توان برای فرکانس‌های ۱۰ تا ۳۰۰ GHz در **Error! Reference source not found.** ۴ برای افراد شاغل و عموم مردم نشان داده شده است. محدودیت‌های اصلی با مقادیر پایین‌تر برای قرار گرفتن عموم مردم در معرض تشعشع با توجه به این واقعیت در نظر گرفته شده است که وضعیت سن و سلامتی عموم مردم با کارکنان مشاغل متفاوت می‌باشد. در محدوده فرکانس پایین، اطلاعات و داده‌های کمی در رابطه با جریان‌های گذرا و تأثیر آن‌ها بر سلامتی وجود دارد. بنابراین ICNIRP توصیه می‌کند که محدودیت‌ها بر چگالی جریان القایی ناشی از میدان‌های گذرا یا با پیک کوتاه‌مدت، به‌عنوان مقادیر آنی در نظر گرفته شوند و نباید از آن‌ها متوسط زمانی گرفت.

در جدول‌های ۵ و ۶ به ترتیب سطوح مرجع به هنگام قرارگیری افراد شاغل و عموم مردم در معرض تابش پرتوهای الکترومغناطیسی آورده شده است.

جدول ۴- محدودیت‌های اصلی برای چگالی توان در فرکانس‌های بین ۱۰ تا ۳۰۰ گیگاهرتز

Exposure characteristics	Power density (W m ⁻²)
Occupational exposure	50
General public	10

Note:

1. Power densities are to be averaged over any 20 cm² of exposed area and any 68/f^{1.05}-minute period (where f is in GHz) to compensate for progressively shorter penetration depth as the frequency increases.
2. Spatial maximum power densities, averaged over 1 cm² should not exceed 20 times the values above.

جدول ۵ سطوح مرجع به هنگام قرارگیری افراد در معرض تابش پرتوهای الکترومغناطیسی متغیر با زمان به واسطه شغل آنها

Frequency range	E-field strength (V m ⁻¹)	H-field strength (A m ⁻¹)	B-field (μT)	Equivalent plane wave power density S_{eq} (W m ⁻²)
up to 1 Hz	—	1.63×10^5	2×10^3	—
1–8 Hz	20 000	$1.63 \times 10^5/f^2$	$2 \times 10^3/f^2$	—
8–25 Hz	20 000	$2 \times 10^4/f$	$2.5 \times 10^4/f$	—
0.025–0.82 kHz	$500/f$	$20/f$	$25/f$	—
0.82–65 kHz	610	24.4	30.7	—
0.065–1 MHz	610	$1.6/f$	$2.0/f$	—
1–10 MHz	$610/f$	$1.6/f$	$2.0/f$	—
10–400 MHz	61	0.16	0.2	10
400–2000 MHz	$3f^{1/2}$	$0.008f^{1/2}$	$0.01f^{1/2}$	$f/40$
2–300 GHz	137	0.36	0.45	50

Notes:

1. f as indicated in the frequency range column.
2. Provided that basic restrictions are met and adverse indirect effects can be excluded, field strength values can be exceeded.
3. For frequencies between 100 kHz and 10 GHz, S_{eq} , E^2 , H^2 , and B^2 are to be averaged over any 6-minute period.
4. For peak values at frequencies up to 100 kHz see Table 4, note 3.
5. For peak values at frequencies exceeding 100 kHz see Figures 1 and 2. Between 100 kHz and 10 MHz, peak values for the field strengths are obtained by interpolation from the 1.5-fold peak at 100 kHz to the 32-fold peak at 10 MHz. For frequencies exceeding 10 MHz it is suggested that the peak equivalent plane wave power density, as averaged over the pulse width, does not exceed 1000 times the S_{eq} restrictions, or that the field strength does not exceed 32 times the field strength exposure levels given in the table.
6. For frequencies exceeding 10 GHz, S_{eq} , E^2 , H^2 , and B^2 are to be averaged over any $68/f^{1.05}$ -minute period (f in GHz).
7. No E-field value is provided for frequencies <1 Hz, which are effectively static electric fields. Electric shock from low impedance sources is prevented by established electrical safety procedures for such equipment.

جدول ۶ سطوح مرجع به هنگام قرارگیری افراد در معرض تابش پرتوهای الکترومغناطیسی متغیر با زمان برای عموم مردم [۲]

Frequency range	E-field strength (V m ⁻¹)	H-field strength (A m ⁻¹)	B-field (μT)	Equivalent plane wave power density S_{eq} (W m ⁻²)
up to 1 Hz	—	3.2×10^4	4×10^4	—
1–8 Hz	10,000	$3.2 \times 10^4/f^2$	$4 \times 10^4/f^2$	—
8–25 Hz	10,000	$4,000/f$	$5,000/f$	—
0.025–0.8 kHz	$250/f$	$4/f$	$5/f$	—
0.8–3 kHz	$250/f$	5	6.25	—
3–150 kHz	87	5	6.25	—
0.15–1 MHz	87	$0.73/f$	$0.92/f$	—
1–10 MHz	$87/f^{1/2}$	$0.73/f$	$0.92/f$	—
10–400 MHz	28	0.073	0.092	2
400–2000 MHz	$1.375f^{1/2}$	$0.0037f^{1/2}$	$0.0046f^{1/2}$	$f/200$
2–300 GHz	61	0.16	0.20	10

Notes:

1. f as indicated in the frequency range column.
2. Provided that basic restrictions are met and adverse indirect effects can be excluded, field strength values can be exceeded.
3. For frequencies between 100 kHz and 10 GHz, S_{eq} , E^2 , H^2 , and B^2 are to be averaged over any 6-minute period.
4. For peak values at frequencies up to 100 kHz see Table 4, note 3.
5. For peak values at frequencies exceeding 100 kHz see Figures 1 and 2. Between 100 kHz and 10 MHz, peak values for the field strengths are obtained by interpolation from the 1.5-fold peak at 100 kHz to the 32-fold peak at 10 MHz. For frequencies exceeding 10 MHz it is suggested that the peak equivalent plane wave power density, as averaged over the pulse width, does not exceed 1000 times the S_{eq} restrictions, or that the field strength does not exceed 32 times the field strength exposure levels given in the table.
6. For frequencies exceeding 10 GHz, S_{eq} , E^2 , H^2 , and B^2 are to be averaged over any $68/f^{1.05}$ -minute period (f in GHz).
7. No E-field value is provided for frequencies <1 Hz, which are effectively static electric fields. For most people the annoying perception of surface electric charges will not occur at field strengths less than 25 kVm^{-1} . Spark discharges causing stress or annoyance should be avoided.

۲-۲- توصیه‌نامه‌های ITU

• توصیه‌نامه‌های ITU-T

- توصیه‌نامه ITU-T K.52 (2018-01-13) با عنوان «راهنمایی در مورد رعایت حدود قرارگیری انسان در معرض تشعشع میدان‌های الکترومغناطیسی»^۱، به نحوه نصب تجهیزات تشعشعی و گوشی‌های موبایل در کنار سر به گونه‌ای می‌پردازد که حدود ایمنی سطح تشعشع رعایت شود. یک راهنمای کلی، یک روش محاسبه و یک فرآیند ارزیابی نصب در این توصیه‌نامه آمده است. همچنین حدود تعریف‌شده در راهنمای ICNIRP نیز آورده شده است.
- توصیه‌نامه ITU-T K.61 (2018-01-13) با عنوان «راهنمایی در مورد اندازه‌گیری و پیش‌بینی عددی میدان‌های الکترومغناطیسی برای انطباق با حدود قرارگیری انسان در معرض تشعشع ناشی از تأسیسات ارتباطی راه دور»^۲، برای کمک به اپراتورها جهت تطابق با سطوح تشعشعی استاندارد در نواحی ملی یا محلی است. این توصیه‌نامه روش‌های اندازه‌گیری و عددی تعیین مقدار تشعشع را برای شرایط مختلف آورده است.
- توصیه‌نامه ITU-T K.70 (2018-01-13) با عنوان «روش‌های کاهش تشعشع برای محدود کردن تماس انسان با EMF در مجاورت ایستگاه‌های ارتباطی رادیویی»^۳ جهت ارزیابی نسبت تشعشع کل در مجاورت آنتن‌های فرستنده و تعیین منبع اصلی تشعشع برای اپراتورها ارائه شده است. این توصیه‌نامه همچنین روش‌های کاهش تشعشع را به منظور تطابق با سطوح استاندارد بیان می‌کند.
- علاوه بر این، دستورالعمل‌ها و فرآیندهایی که نیاز است در محیط سایت (که در آن تشعشع در چندین فرکانس از چندین منبع مختلف وجود دارد) اجرا شود، آورده شده است.

^۱ Guidance on complying with limits for human exposure to electromagnetic fields

^۲ Guidance on measurement and numerical prediction of electromagnetic fields for compliance with human exposure limits for telecommunication installations

^۳ Mitigation techniques to limit human exposure to EMFs in the vicinity of radiocommunication stations

منابع تشعشی می‌توانند متعلق به چندین اپراتور باشند و سرویس‌های مختلفی (مانند سیستم‌های سلولی، همه پخشی، رله‌های رادیویی، دسترسی بی‌سیم و غیره) را ارائه دهند. این توصیه‌نامه همچنین دارای نرم‌افزار پیوستی به نام EMF-estimator است که بر اساس روش‌های محاسباتی موجود در این توصیه‌نامه پیاده‌سازی شده است.

- توصیه‌نامه ITU-T K.83 (2011-03-09) با عنوان «مانیتورینگ سطوح میدان الکترومغناطیسی»^۱، راهنمای چگونگی اندازه‌گیری بلندمدت میدان‌های الکترومغناطیسی در مناطق منتخب عمومی است تا تحت کنترل بودن و زیر حدود استاندارد بودن سطوح تشعشی، مشخص شود. هدف این توصیه‌نامه اطمینان از سطوح تشعشی مجاز استاندارد در یک منطقه عمومی و در شرایط اندازه‌گیری به‌صورت پیوسته است.

- توصیه‌نامه ITU-T K.90 (2018-07) با عنوان «روش‌های ارزیابی و فرآیندهای کاری برای انطباق با حدود قرارگیری پرسنل اپراتور شبکه در معرض فرکانس‌های قدرت (برق) میدان‌های الکترومغناطیسی»^۲، روش‌های ارزیابی میزان انطباق سطح توان تشعشی ایمن میدان‌های الکترومغناطیسی را برای کارکنان یک شبکه مخابراتی به همراه راهنمایی‌هایی جهت تطابق با سطوح ایمن در فرکانس‌های توانی (DC، ۵۰ Hz و ۶۰ Hz) آورده است. این توصیه‌نامه هیچ‌گونه حدود ایمنی را تعیین نمی‌کند، بلکه تلاش دارد تا روش‌هایی را برای اقدامات احتیاطی مور نیاز در محل کار ارائه دهد.

- توصیه‌نامه ITU-T K.91 (2019-05-22) با عنوان «راهنمایی برای ارزیابی، اندازه‌گیری و نظارت بر قرارگیری انسان در معرض میدان‌های الکترومغناطیسی با فرکانس رادیویی»^۳، راهنمایی در جهت چگونگی دسترسی و مانیتورینگ تشعش میدان‌های الکترومغناطیسی با فرکانس رادیویی بر بدن انسان در شرایطی است که بدن توسط تعدادی شبکه مخابراتی رادیویی احاطه شده است. این توصیه‌نامه بر اساس استانداردهای تطبیقی و برای محدوده فرکانسی ۹ کیلوهرتز تا ۳۰۰ گیگاهرتز می‌باشد.

^۱ Monitoring of electromagnetic field level

^۲ Evaluation techniques and working procedures for compliance with exposure limits of network operator personnel to power-frequency electromagnetic fields

^۳ Guidance for assessment, evaluation and monitoring of human exposure to radio frequency electromagnetic fields

توصیه‌نامه ITU-T K.91 شامل فرآیندهای ارزیابی میزان تشعشع و میزان انطباق آن با حدود مجاز استانداردهای موجود و برای مناطق قابل‌دسترس مردم در شرایطی است که تعداد زیادی منبع مختلف RF EMF در این مناطق وجود دارند.

- توصیه‌نامه ITU-T K.100 با عنوان «اندازه‌گیری میدان‌های الکترومغناطیسی با فرکانس رادیویی برای تعیین انطباق با حدود قرارگیری انسان در معرض تشعشع ایستگاه پایه در وضعیت سرویس‌دهی^۱»، برای شرایطی است که یک ایستگاه پایه جدید به شبکه وارد می‌شود تا شروع به سرویس‌دهی کند. در این حالت، توصیه‌نامه ITU-T K.100 اطلاعاتی در خصوص روش‌های اندازه‌گیری و فرآیندهای تطابق با استاندارد را با در نظر گرفتن شرایط محیطی و دیگر منابع رادیویی موجود در آن محیط بیان می‌دارد.

- توصیه‌نامه ITU-T K.113 با عنوان «تولید نقشه سطح میدان الکترومغناطیسی با فرکانس رادیویی^۲»، در رابطه با نحوه توزیع میدان‌های RF-EMF برای مناطق وسیع شهری ارائه‌شده است تا با روشی ساده و قابل‌فهم، امکان رسیدن به سطوح مجاز تشعشعی فراهم آید.

- توصیه‌نامه ITU-T K.121 (2016-12-14) با عنوان «راهنمایی در مورد مدیریت محیط‌زیست جهت انطباق با حدود مجاز EMF فرکانس رادیویی برای ایستگاه‌های پایه ارتباطات رادیویی^۳»، راهنمایی در خصوص چگونگی مدیریت تطابق با حدود مجاز RF-EMF در مناطق نزدیک به شبکه‌های ارتباطات رادیویی نصب‌شده و نحوه ایجاد فرآیندهایی به‌منظور پاسخگویی به نگرانی‌های عمومی در خصوص تشعشعات RF-EMF است.

- توصیه‌نامه ITU-T K.122 (2016-12-14) با عنوان «سطح قرارگیری در معرض تشعشع در مجاورت آنتن‌های ارتباطی رادیویی^۴»، شامل توصیه‌هایی برای ایمنی کارکنانی است که در نزدیکی آنتن‌های فرستنده‌ی در حال کار و در معرض تشعشع بالا قرار دارند. این توصیه‌نامه اطلاعاتی در خصوص سطوح شدت میدان‌های الکتریکی در نزدیکی

^۱ Measurement of radio frequency electromagnetic fields to determine compliance with human exposure limits when a base station is put into service

^۲ Generation of radio-frequency electromagnetic field level maps

^۳ Guidance on the environmental management for compliance with radio frequency EMF limits for radiocommunication base stations

^۴ Exposure levels in close proximity of radiocommunication antennas

آنتن‌های ارتباطات رادیویی و همه پخشی جهت انطباق با سطوح تشعشی استاندارد ارائه می‌دهد. این مسئله برای کارکنان شاغل در این محیط و حتی عموم مردم، مهم است. همچنین توصیه‌نامه ITU-T K.122، توصیه‌هایی را در خصوص آموزش کارکنان شاغل برای چگونگی نزدیک شدن به آنتن‌های فرستنده بیان می‌دارد.

- ITU-T K Suppl. 1 - مکمل ۱ برای توصیه‌نامه K.91 (2014-07-29) با عنوان «راهنمایی در مورد سلامت و میدان‌های الکترومغناطیسی»^۱، شامل اطلاعات کلی در خصوص تشعشعات EMF بر انسان بوده و استانداردهای مرتبط با آن را معرفی می‌کند.

- ITU-T K Suppl. 4 - مکمل دوم برای توصیه‌نامه K.91 با عنوان «ملاحظات میدان الکترومغناطیسی در شهرهای هوشمند»^۲، شامل اطلاعات کلی در خصوص میدان‌های الکترومغناطیسی است و سطوح تشعشی مجاز را معرفی می‌کند.

- ITU-T K Suppl. 9 (2017-11-22) با عنوان «فناوری 5G و قرارگیری انسان در معرض تشعشع میدان‌های الکترومغناطیسی فرکانس رادیویی»^۳، در رابطه با فناوری 5G و اثرات آن بر بدن انسان می‌باشد. پیاده‌سازی 5G باعث تحول و گسترش شبکه‌های 4G موجود و معرفی شبکه‌های دسترسی رادیویی جدیدی در باندهای موج میلی‌متری می‌شود. با بالا رفتن فرکانس مورد استفاده، تعداد ایستگاه‌های پایه به شدت افزایش می‌یابد که این مسئله به صورت ایجاد سلول‌های کوچک‌تر و استفاده از فناوری‌های پیشرفته آنتنی خواهد بود.

آنتن‌های MIMO انبوه پرتوهای باریکی به سمت کاربران موردنظر دارند. در فناوری 5G تعداد دستگاه‌های بی سیم به شدت افزایش می‌یابد که شامل اشیاء مختلف در IoT نیز هست.

این سند شامل تحلیلی بر اثرات پیاده‌سازی سیستم‌های موبایل 5G در حیطه سطوح تشعشی میدان‌های الکترومغناطیسی است.

^۱ Guide on electromagnetic fields and health

^۲ Electromagnetic field considerations in smart sustainable cities

^۳ 5G technology and human exposure to RF EMF

- 13 ITU-T K Suppl. (2018-05-25) با عنوان «میزان قرارگیری در معرض میدان الکترومغناطیسی فرکانس-

های رادیویی (RF-EMF) ناشی از دستگاه‌های همراه و قابل حمل در شرایط مختلف استفاده^۱»، بیان می‌دارد که گوشی‌های مدرن تلفن همراه می‌توانند برای اهداف مختلفی استفاده شوند و بسته به نوع سرویس موردنظر، نحوه استفاده از آن‌ها، متفاوت خواهد بود. به همین ترتیب، میزان تشعشعات RF-EMF بسته به نوع سرویس، محیط و شرایط استفاده از گوشی‌های تلفن همراه، متفاوت خواهد بود.

این سند، فاکتورهای مختلفی (از جمله SAR برای افراد مختلف مانند زنان باردار و کودکان) را که در تعیین تشعشعی RF-EMF دخیل می‌باشند بررسی می‌کند. بر این اساس، اطلاعات فنی، اطلاعات عملی و راهنمایی‌هایی برای کاربران گوشی‌های تلفن همراه ارائه شده است.

- 14 ITU-T K Suppl. (2018-05-25) با عنوان «تأثیر قرارگیری در معرض RF-EMF با حدود مجاز

سخت‌گیرانه‌تر از دستورالعمل‌های ICNIRP یا IEEE در پیاده‌سازی شبکه تلفن همراه 4G و 5G^۲»، گزارشی از چالش‌هایی را ارائه می‌دهد که کشورها، مناطق و شهرهای مختلف در خصوص پیاده‌سازی زیرساخت 4G یا 5G با آن روبه‌رو بوده‌اند (برای مثال شبیه‌سازی تأثیرات RF-EMF در هلند و مقایسه حدود تشعشعی با سایر کشورها با توجه به حدود تعیین‌شده در راهنمای ICNIRP یا IEEE).

نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهد، در مناطقی که حدود تشعشعی کمتر از مقادیر تعیین‌شده در این دو استاندارد انتخاب شوند، ظرفیت شبکه برای هر دو شبکه 4G و 5G محدود شده و مانع از افزایش تقاضای ترافیک و ایجاد سرویس‌های جدید در شبکه‌های موجود می‌شود. مطالعات تطبیقی در کشورهای چین، هند، ایتالیا، سوئیس، روسیه، مناطقی از بلژیک، و شهری مثل پاریس انجام شده است.

^۱ Radiofrequency electromagnetic field (RF-EMF) exposure levels from mobile and portable devices during different conditions of use

^۲ The impact of RF-EMF exposure limits stricter than the ICNIRP or IEEE guidelines on 4G and 5G mobile network deployment

• توصیه‌نامه‌های ITU-R

ITU-R BS.1698 با عنوان «ارزیابی میدان‌های ناشی از سیستم‌های ارسال پخش زمینی که در هر باند فرکانس برای ارزیابی قرارگیری در معرض اشعه غیر یونیزه فعالیت می‌کنند»^۱، اصول استخراج و تخمین مقادیر تابش الکترومغناطیسی از یک ایستگاه همه پخشی را در فواصل خاصی از سایت فرستنده فراهم می‌کند. سازمان‌های مسئول می‌توانند با استفاده از چنین اطلاعاتی، استانداردهای مناسبی را برای محافظت انسان از قرارگیری در معرض تشعشعات زیان‌بار ایجاد کنند. تصمیمات واقعی مورداستفاده در هر سازمان مقرراتی، به‌طور طبیعی وابسته به تصمیماتی است که توسط آژانس‌های بهداشتی مسئول داخلی و بین‌المللی گرفته می‌شود.

در بخش ۵-۱ این توصیه‌نامه، اقدامات احتیاطی جهت کنترل اثرات مستقیم تشعشع RF بر سلامت بیان شده است.

• توصیه‌نامه‌های ITU-D

QUESTION 23/1-STUDY GROUP 1 با عنوان «استراتژی‌ها و قوانین در خصوص تابش میدان‌های الکترومغناطیسی بر انسان»^۲، قوانین رگولاتوری کشورهای مختلف را در خصوص نصب تجهیزات مخابراتی تحلیل می‌کند. این سند بر اساس مشاهداتی از وجود خطرات طولانی‌مدت تجهیزات مخابراتی رادیویی تهیه شده است. مطالعات تطبیقی رگولاتوری در کشورهای ساحل عاج، برزیل، جمهوری کره، اسرائیل، ونزوئلا، مجارستان، ازبکستان و هند انجام شده است.

۲-۳- استاندارد IEEE

IEEE استانداردهای ارزیابی تطبیق با حدود مجاز سطوح تشعشعی را برای میدان‌های الکترومغناطیسی در محدوده فرکانس ۰ تا ۳۰۰ گیگاهرتز با عنوان IEEE Std C.95-1-2019 ارائه کرده است که آخرین نسخه آن در اکتبر سال ۲۰۱۹ منتشر شده است. این استاندارد برگرفته از دو نسخه پیشین آن یعنی IEEE Std C.95-6-2002

^۱ Evaluating fields from terrestrial broadcasting transmitting systems operating in any frequency band for assessing exposure to non-ionizing radiation

^۲ STRATEGIES AND POLICIES CONCERNING HUMAN EXPOSURE TO ELECTROMAGNETIC FIELDS

برای فرکانس‌های ۰ تا ۳ کیلوهرتز و استاندارد IEEE Std C.95-1-2005 برای فرکانس‌های ۳ کیلوهرتز تا ۳۰۰ گیگاهرتز است که البته در برخی از فرکانس‌های آن، حدود تعیین‌شده برای پارامترهای اندازه‌گیری با نسخه‌های پیشین متفاوت می‌باشد. عمده این تغییرات در فرکانس‌های بالا بوده و برای همگرایی با استاندارد ICNIRP انجام‌شده است.

۳- راهکارهای کاهش اثرات زیان بار امواج الکترومغناطیسی بر مبنای استانداردها و توصیه‌نامه‌های بین‌المللی

با توجه به بررسی‌هایی که بر روی استانداردها و توصیه‌نامه‌های بین‌المللی انجام شد در برابر تشعشعات میدان‌های الکترومغناطیسی در این اسناد به‌علاوه سایر مراجع معتبر، راهکارهای بیان شده به‌صورت زیر تفکیک شده‌اند:

- عموم مردمی که از تجهیزات کاربری از جمله گوشی تلفن همراه استفاده می‌کنند،
- اپراتورها که وظیفه حفاظت از عموم مردم و شاغلین را بر عهده دارند،
- رگولاتوری که وظیفه حفاظت از عموم مردم و شاغلین را بر عهده دارند.

۳-۱- کاربران و تجهیزات کاربری

برخی از افراد قرار گرفته در معرض خطر تشعشعات میدان‌های الکترومغناطیسی، دارای حساسیت بیشتری نسبت به تابش این امواج و ایجاد اثرات احتمالی ناشی از این قرارگیری می‌باشند. از جمله این افراد می‌توان به مادران باردار، شاغلینی که از وسایل پزشکی کاشته شده فعال (^۱AIMDs)، دستگاه‌های پزشکی کاشته شده پسیو (^۲PIMDs) یا وسایل پزشکی پوشیدنی (^۳BWMDs) استفاده می‌کنند، و یا شاغلینی که نزدیک به دستگاه‌های مواد منفجره یا محیط‌های قابل اشتعال کار می‌کنند را می‌توان نام برد.

راهکارهای قابل استفاده برای کاربران تجهیزات ارتباطی بی‌سیم که در معرض تشعشعات میدان‌های الکترومغناطیسی ساطع شده از آن‌ها قرار می‌گیرند، به‌صورت جدول ۷ بیان شده است. رعایت این توصیه‌ها و راهکارها توسط کاربر می‌تواند خطرات احتمالی ناشی از قرارگیری در معرض میدان‌های الکترومغناطیسی را به میزان قابل ملاحظه‌ای کاهش دهد.

^۱ Passive implanted medical devices

^۲ Active implanted medical devices

^۳ Body-worn medical devices

جدول ۷- راه کارها برای استفاده کاربران از تجهیزات ارتباطی بی سیم براساس مراجع مختلف

افراد و گوشی تلفن همراه و تجهیزات کاربری
با افزایش فاصله از گوشی، توان (و ازاین رو میزان قرارگیری یک کاربر در معرض تشعشع فرکانس رادیویی) به سرعت کاهش می یابد. توصیه می شود شخص از تلفن همراه با فاصله ۳۰ تا ۴۰ سانتی متر (تا یک متر [۱]) دورتر از بدن خود استفاده نماید.
توصیه می شود کاربران به جای برقراری تماس صوتی، از اینترنت یا پیامک استفاده نمایند.
توصیه می شود کاربران از دستگاه «دست-آزاد» ^۱ به همراه لاستیک هوایی که بر روی قسمت داخل شونده در گوش قرار می گیرد ^۲ ، و یا از حالت بلندگوی گوشی استفاده نمایند.
توصیه می شود کاربران زمان تماس صوتی را (به حدود ۵ الی ۶ دقیقه) کاهش دهند.
توصیه می شود کاربران تلفن همراه خود را در سمت گوش مخالف بخشی از بدن که در آن ضربان ساز قلب قرار داده شده است، استفاده نمایند تا فاصله بین ضربان ساز و تلفن افزایش یابد.
توصیه می شود کاربران از قرار دادن تلفن روشن در کنار دستگاه ضربان ساز خودداری نمایند (به عنوان مثال، تلفن در جیب پیراهن یا ژاکتی که به طور مستقیم بر روی دستگاه ضربان ساز قرار می گیرد، گذاشته نشود).
به استفاده کنندگان از سمعک توصیه می شود که برندها و مدل های مختلف تلفن همراه را امتحان کنند تا در نهایت به انتخاب مناسب ترین دستگاه تلفن همراهی که با سمعک آن ها به خوبی کار می کند، منتهی شود.
توصیه می شود کاربران در هنگام خواب، گوشی تلفن همراه خود را خاموش کرده و حتی در حالت stand by نیز در کنار سر قرار ندهند.
توصیه می شود کاربران در هنگام حمل گوشی تلفن همراه در لباس، آن را خاموش کرده یا در وضعیت flight قرار دهند.
ادعا می شود تجهیزات شیلد تبلیغاتی مانند چیپ هایی که به گوشی تلفن همراه متصل می شوند، سیگنال تشعشعی را کاهش می دهند. در حالی که این تجهیزات با کاهش سیگنال ورودی، اتصال گوشی به شبکه را تضعیف کرده و گوشی برای جبران آن، سطح تشعشع خود را افزایش می دهد که باعث آسیب زایی بیشتر می گردد. بنابراین توصیه بر این است که از تجهیزات شیلد گوشی استفاده نشود.
موقعیت قرارگیری گوشی نسبت به بدن انسان بر روی میزان SAR تأثیر می گذارد، پس توصیه می شود که به نحوه قرارگیری گوشی در کنار سر که در بروشور دستگاه بیان شده است توجه نمایند و گوشی را به گوش نچسبانند.
طراحی و مواد سازنده گوشی بر روی میزان SAR تأثیر می گذارد، پس توصیه می شود که قبل از خریداری گوشی، حتماً به میزان SAR آورده شده در بروشور توجه نمایند.
از اشیای محافظی مانند لباس هایی از جنس فلز، منسوجات، کیف حمل تلفن همراه فلزی، پارچه محافظ ضد تشعشع، کاغذهای دیواری فویل فلزی، رنگ ضد اشعه و غیره استفاده شود تا میزان SAR وارده بر سر انسان را کاهش دهد. این مواد با قابلیت رسانایی و ضریب نفوذ کم باعث کاهش اثرات القایی بر سر می شوند ^{**} .
تحقیقات اخیر نشان می دهند برای نوجوانانی که از تلفن های هوشمند استفاده می کنند، میزان قرار گرفتن در معرض تشعشع WiFi قابل توجه تر از تلفن همراه است. پس توصیه می شود در محیط هایی که دستگاه مودم وای فای در نزدیکی کاربر قرار دارد، این دستگاه در فاصله مناسبی از شخص قرار داده شود تا تأثیر تشعشعات با ایجاد فاصله کاهش یابد.
تفاوت در ضخامت پوست و لایه های زیرپوستی، به ویژه لایه چربی در بین افراد وجود دارد. چربی، در مقایسه با اکثر بافت های دیگر از هدایت پایین تری برخوردار است. یک لایه چربی ضخیم تر باعث افزایش فاصله بین دستگاه و اندام های داخلی بدن شده و در نتیجه میزان SAR ناشی از آن را کاهش می دهد.

^۱ Hands-free

^۲ air tube

تا حد امکان در وسایل حمل و نقل عمومی مانند اتوبوس، قطار و غیره از تلفن همراه استفاده نشود، چراکه به دلیل وجود سرعت بالا در حرکت، گوشی تلفن همراه برای حفظ اتصال به شبکه، ارسال و دریافت خود را با بالاترین سطح توان انجام می‌دهد و بنابراین سطح قرارگیری در معرض تشعشعات ناشی از آن بالا خواهد بود.
در وسایلی همچون کانتینرهای محصور فلزی، از گوشی تلفن همراه استفاده نشود، چراکه به دلیل پدیده «قفس فارادی» ^۱ تأثیر تشعشعات افزایش می‌یابد.
در وسایل حمل و نقل عمومی میزان قرارگیری در معرض تشعشع ناشی از گوشی‌های تلفن همراه کاربران مجاور، کم است ولی باین حال این میزان، بیشتر از میزان تشعشع ناشی از منابع محیطی مانند آنتن‌های شبکه تلفن همراه می‌باشد. بنابراین تا حد امکان فاصله با کاربران مجاور، به خصوص کاربرانی که در حال مکالمه با گوشی همراه خود می‌باشند، افزایش یابد.
از به کارگیری تلفن همراه در فضاهای محدودی با پوشش سلولی محدود مانند آسانسور، زیرزمین، کاروان (ماشین‌های مخصوص سفر) و غیره خودداری شود. چراکه در این شرایط توان سیگنال ارسالی و دریافتی بسیار زیاد خواهد بود و بنابراین سطح تشعشعات بسیار شدیدتر است.
ترجیحاً تلفن همراهی با کمترین میزان SAR انتخاب شود. حد استاندارد برای کاسه چشم ^۲ و گونه 1.1 W/kg است.
بهتر است گوشی تلفن همراه دارای آنتن خارجی باشد، چراکه آنتن همه جهت ^۳ با حداکثر راندمان ارسال می‌کند و بنابراین سیگنال ضعیف‌تری نسبت به یک گوشی با آنتن داخلی دارد.
جواهراتی مانند انگشتر و گوشواره، و وسایلی مانند عینک، ایمپلنت‌های دندان، گیره سر فلزی، پیچ، عینک با قاب فلزی، صندلی چرخدار، عصای فلزی و غیره می‌توانند به صورت موضعی باعث تقویت میدان‌ها شوند، اگرچه میزان این میدان‌ها از حدود استاندارد تجاوز نمی‌کند. ایمپلنت‌های فلزی داخل بدن می‌توانند باعث متمرکزتر شدن میدان شوند، ولیکن به طور کلی میزان افزایش درجه حرارت ناشی از آن‌ها کم خواهد بود. باین حال توصیه شده است که در صورت وجود اجزای فلزی در نزدیکی خود، تا حد امکان از تلفن همراه استفاده نکنید، تا از افزایش تشعشع توسط پدیده‌های بازتاب، تقویت، رزونانس و غیره جلوگیری شود.
چنانچه فردی در معرض EMFهای متغیر با زمان باشد، ممکن است PIMDهای فلزی گرم شوند. اگر گرمایش کافی باشد، می‌تواند باعث آسیب به بافت اطراف شود. اگر اندازه وسیله کاشته شده کمتر از ۲۰ میلی‌متر باشد، اثرات گرمایش حداقل خواهد بود.
برخی از ایمپلنت‌های پسیو ممکن است حاوی مواد فرومغناطیسی باشند که می‌توانند تحت تأثیر میدان مغناطیسی ایستا قرار گیرند. توصیه می‌شود افرادی با وسایل کاشته شده حاوی مواد فرومغناطیسی در معرض چگالی شار مغناطیسی استاتیک بیش از ۳ میلی تسلا قرار نگیرند.
تأثیر سن بر روی سطوح SAR القایی دستگاه در سر انسان (به خصوص در مقایسه با تأثیر تفاوت آناتومیکی بین افرادی در همان گروه سنی)، قابل صرف نظر است. باین حال، در بسیاری از مقالات پزشکی و فنی، توصیه شده است که نوزادان و کودکان به دلیل نوع بافت آن‌ها، در نزدیکی تجهیزات الکترومغناطیسی قرار نگیرند. به طور کلی کودکان طول عمر بیشتری را در معرض تشعشعات خواهند بود که می‌تواند (به خصوص در اندام‌هایی مانند مغز، دستگاه‌های تولیدمثل، مفر استخوان و غیره) آسیب‌رسان باشد.
برای یک زن باردار که از دستگاه تلفن همراه استفاده می‌کند، میزان قرارگیری جنین در حال رشد در معرض تشعشع همیشه کمتر از حدود تعریف شده بین‌المللی است باین حال توصیه شده است که زنان باردار نیز در نزدیکی تشعشعات قرار نگیرند.

**موادی که برای انسداد یا محافظت از اشعه EMF در نظر گرفته می‌شوند به طور کامل و ۱۰۰٪ مسدودکننده

و یا محافظت‌کننده در مقابل این امواج نمی‌باشند. چند نمونه از موارد تضعیف به این صورت است:

^۱ Faraday Cage

^۲ Eye socket

^۳ Omni-directional

- شیشه رنگ شده اتومبیل، هنگام عبور نور خورشید از آن باعث تضعیف تابش نور می شود.
- جلیقه سربی که در دندانپزشکی می پوشید، اشعه ایکس را تضعیف کرده و بدن را ایمن نگه می دارد.
- درب اتاق خواب باعث تضعیف سیگنال صدا می شود.

موادی مانند میلار^۱، مس، آلومینیوم، تابش EMF را با جذب یا پراکندگی فوتون ها عبور کننده از آن ها تضعیف می کنند. بنابراین، هنگام خرید لباس ضد تابش توجه به بسته بندی یا جزئیات محصول لازم است تا اطلاعاتی درباره میزان تضعیف آن به دست آید. برخی از محصولات پوشیدنی محافظ EMF تنها می توانند حفاظت را در برابر انواع خاصی از تشعشع مانند میدان های الکتریکی انجام دهند. لباس های حفاظتی مختلفی توسط شرکت های مختلف ارائه شده اند که در چند نمونه از آن ها معرفی و عملکردشان بررسی شده است. علاوه بر این، برخی لباس های حفاظتی برای زنان باردار وجود دارد که از مادر و جنین در مقابل تشعشعات محافظت می کند.

لازم به ذکر است پارچه هایی با راندمان ۱۰۰ درصدی نیز موجود است، که به طور کامل آنتن دهی موبایل را حذف می کند. این پارچه ها قابل پوشیدن نیستند و معمولاً برای مصارف شیلدینگ صنعتی استفاده می شوند.

۳-۲- اپراتورها، سرویس دهندگان ارتباطات رادیویی و شاغلین مخابراتی

در این بخش راه کارهایی که می بایست اپراتورها برای حفاظت کاربران و کارمندان قرار گرفته در معرض تشعشعات میدان های الکترومغناطیسی به کارگیرند، بیان می شود. این راه کارها و اقدامات به تفکیک برای شاغلین و کارکنان، و برای عموم مردمی که در معرض مستقیم تشعشعات فرکانس رادیویی قرار دارند به ترتیب، در جداول ۸ و ۹ آمده است.

همان طور که پیش تر ذکر شد، برخی اثرات غیرمستقیم نیز وجود دارند که به طور ناخواسته در محیط پدیدار می گردند. از جمله این اثرات خطر احتراق و انفجار ناشی از میدان های الکترومغناطیسی در برخی مناطق صنعتی

^۱ Mylar

یک لایه پلی استری که اغلب به عنوان ماده اصلی سازنده رسانه های ذخیره سازی داده با پوشش مغناطیسی (مانند دیسک و نوار)، مورد استفاده قرار می گیرد.

می‌باشد. این اثرات به دلیل قرارگیری ساختارهای فلزی در کنار میدان‌های الکترومغناطیسی و تشدید اثرات مخرب آن‌ها به وجود می‌آیند. راه کارهای مقابله با این اثرات در جدول ۱۰ آمده است. جداول ۱۱ و ۱۲ شامل وظایف اپراتورها و خدمات دهندگان سرویس برای مقابله با اثرات مخرب تشعشعات الکترومغناطیسی می‌باشند.

جدول ۸- راه کارهای حفاظتی اپراتورها در برابر اثرات مستقیم تشعشع میدان‌های الکترومغناطیسی در محیط برای شاغلین و کارکنان براساس مراجع مختلف

حفاظت از اثرات مستقیم تابش RF (شاغلین و کارکنان)	
اقدامات فیزیکی	در صورت لزوم، باید نوعی از سد محافظ برای محدود کردن دسترسی فرد به هر منطقه‌ای که در آن سطح قرارگیری در معرض تشعشع از حد مجاز فراتر می‌رود یا فردی که در معرض تماس با هادی RF قرار می‌گیرد، ایجاد شود. دسترسی به چنین مناطقی می‌بایست تنها با استفاده از یک کلید یا نوعی ابزار امکان‌پذیر باشد. در صورت نیاز به دسترسی برای انجام امور تعمیر و نگهداری، باید محفظه‌های مکانیکی یا الکتریکی ^۱ فراهم شوند.
	می‌توان از اقدامات فیزیکی دیگری مانند چراغ‌ها یا علائم هشداردهنده علاوه بر موانع محافظ برای محدوده‌هایی با سطح قرارگیری در معرض تشعشعی بیش از حد مجاز استفاده نمود.
	در جاهایی که استفاده از محافظ‌های مکانیکی یا الکتریکی ثابت یا قابل حمل (متحرک) امکان‌پذیر نیست، از تجهیزات حفاظتی حساس استفاده می‌شود. این تجهیزات شامل اسکرهایی است که ورود افراد به مناطق ممنوعه یا وجود فرد در آن منطقه را تشخیص داده و از عملکرد تشعشع منبع میدان الکترومغناطیسی جلوگیری به عمل می‌آورند. خطر ایجاد شوک یا سوختگی در اثر ولتاژهای RF ناشی از اجسام هادی، از قبیل نرده‌ها و سازه‌های پشتیبانی، باید با استفاده از تنظیمات کارآمد و زمین کردن صحیح به حداقل برسد. همچنین باید توجه ویژه‌ای به زمین کردن کابل یا سیم‌های موقت شود.
فرآیندهای عملیاتی	انجام اقدامات بیشتری برای حفاظت در برابر شوک‌ها یا سوختگی‌ها توسط پوشیدن دستکش‌های مخصوص و از طریق زدن برچسب امکان‌پذیر است.
	ارزیابی خطر تشعشعات RF توسط کارمندان باتجربه: ارزیابی خطر تشعشعات RF باید توسط کارمندان باتجربه انجام شود. این ارزیابی می‌بایست در صورت ایجاد هرگونه تغییر قابل توجهی در ایستگاه فرستنده، مجدداً تکرار گردد. هدف اولیه باید شامل شناسایی موارد زیر باشد:
	- مناطقی که افراد ممکن است در معرض تشعشع قرار گیرند. - افراد مختلفی (به‌عنوان مثال کارمندان، مشترکین سایت، عموم مردم و غیره) که ممکن است در معرض تشعشع قرار بگیرند. - عواقب ناشی از بروز خطا، مانند نشت از فلنج‌های RF^۲، عدم تنظیم آنتن یا خطاهای عملیاتی.
مدل‌سازی ریاضی یا در صورت نیاز اندازه‌گیری دقیق پارامترها: بررسی اولیه در مورد سطح تشعشع RF می‌تواند با محاسبه یا مدل‌سازی ریاضی انجام شود، ولی برخی از اندازه‌گیری‌های نمونه نیز باید به‌منظور ارائه تأییدیه‌ها انجام شوند. باین حال در بیشتر موارد، اندازه‌گیری‌های دقیق‌تری برای ارزیابی میزان تشعشعات RF	

^۱ mechanical or electrical interlocking

^۲ RF flanges

موردنیاز خواهد بود. مقادیر واقعی موردسنجش (E, H, چگالی توان و جریان القایی) باید بر اساس شرایط مخصوص اندازه‌گیری شامل فرکانس ایستگاه و ناحیه میدان (میدان نزدیک/دور) تعیین شوند. این شرایط همچنین تا حد زیادی مشخص خواهند کرد که آیا هر سه مؤلفه میدان باید به‌طور جداگانه اندازه‌گیری شوند یا اینکه باید از ابزار همسانگرد برای اندازه‌گیری استفاده شود. پس از تعیین اقدامات اندازه‌گیری مقرر شده، انجام بررسی‌های تشعشع RF با استفاده از ابزارهای اندازه‌گیری متناظر توسط پرسنل آموزش‌دیده انجام می‌شود و نتایج در قالب مشخصی ثبت می‌گردند.

همچنین برخی میدان‌ها دارای مراحل اندازه‌گیری پیچیده‌تری هستند که نیاز به داشتن اطلاعات بیشتری دارند، از جمله:

- قرار گرفتن در معرض تشعشع غیریکنواخت^۱
- قرار گرفتن در معرض تشعشع میدان‌هایی با محدوده فرکانسی بین ۱۰۰ کیلوهرتز تا ۱۰ مگاهرتز
- قرار گرفتن در معرض تشعشع چندین فرکانس به‌صورت هم‌زمان^۲
- قرار گرفتن در معرض تشعشع میدان‌های غیر سینوسی
- ارزیابی میدان‌هایی با فرکانس ۰ تا ۱ هرتز.

تعیین میزان عدم قطعیت اندازه‌گیری‌ها، یکی از مراحل است که می‌بایست به‌درستی انجام گیرد.

استفاده از ابزارهای اندازه‌گیری مناسب: شخص ذیصلاح معرفی‌شده باید مسئول شناسایی و تهیه ابزارهای مناسب در هر سازمان یا شرکتی باشد. این ابزار اندازه‌گیری همیشه باید مطابق با دستورالعمل‌های سازندگان مورد استفاده قرار گیرد و دارای عملکرد صحیح و کالیبراسیون باشد. برچسب‌هایی که تاریخ انقضای کالیبراسیون را نشان می‌دهند باید بر روی ابزارهای آزمون قرار داده شوند. سوابق کالیبراسیون، تنظیمات و یا تعمیرات باید نگهداشته شود تا بتوان از این اطلاعات برای تعیین فاصله بین کالیبراسیون‌ها استفاده کرد.

آموزش‌های ایمنی مناسب برای کارکنان در زمان تعمیر و نگهداری: کارمندان باید در مورد روش‌های مناسب ایمنی RF آموزش ببینند. آموزش ایمنی همچنین باید شامل ماهیت و اثرات تشعشعات RF^۳، جنبه‌های پزشکی و استانداردهای ایمنی باشد.

سرمایه‌گذاری در پرورش افراد متخصص در زمینه اندازه‌گیری میدان‌ها: اگرچه ممکن است افراد متخصص ماهر با تخصص لازم وجود داشته باشند، ولیکن سرمایه‌گذاری در این زمینه برای پرورش تعداد نیروهای ماهر بیشتر لازم است.

خاموش کردن فرستنده یا تغییر الگوی پترن تشعشعی: در مناطقی که به دلیل سطح بالای تابش RF دارای محدودیت‌های دسترسی است، تعمیر و نگهداری تجهیزات باید در زمان‌هایی انجام گیرد که عملکرد ایستگاه فرستنده متوقف یا الگوی تشعشعی آن تغییر داده شده است. در صورت لزوم، توان فرستنده‌ها را باید کاهش داد یا آن‌ها را خاموش کرد تا امکان دسترسی ایمن برای انجام عملیات تعمیر و یا نگهداری فراهم شود.

مناطق ممنوعه به‌وضوح مشخص شوند: مناطق ممنوعه در سایت ایستگاه‌های فرستنده باید به‌طور واضح تعیین و علامت‌گذاری شوند و تنها به افراد مجاز امکان تردد به آن مناطق داده شود. کلیه کارکنانی که به‌طور مرتب در مناطقی کار می‌کنند که سطح تشعشع RF بالایی دارند، باید به‌نوعی با زنگ هشدار شخصی یا ابزار اندازه‌گیری میزان خطر RF مجهز گردند.

^۱ Non-uniform exposure

^۲ Simultaneous exposure to multiple frequency components

^۳ nature and effects of RF radiation

بین کار بر روی دکل در شب و در طول روز با نور زیاد تعادل برقرار گردد: همیشه باید بین قرار گرفتن در معرض تشعشعات رادیویی و سایر خطرات کاری، مانند کار کردن روی دکل‌ها در شب و یا حتی هنگام نور زیاد، تعادل برقرار شود. بنابراین، جدول کاری فرد مسئول می‌بایست به گونه‌ای برنامه‌ریزی گردد که تعادلی بین وضعیت‌های کاری او در طول مدتی مشخص، برقرار شود.	
ثبت سوابق سطوح بالای تشعشع، ثبت کارکنان در حال تردد و انجام اندازه‌گیری و تحقیقات اپیدمیولوژیک: سوابق قرار گرفتن در معرض سطوح بالاتر از سطح مجاز تابش RF می‌بایست مشخص باشد. شرکت‌ها یا سازمان‌های مسئول ایستگاه‌های فرستنده باید بر سلامت کارمندی که مرتباً در مناطقی با سطح بالایی از تشعشعات RF کار می‌کنند، نظارت داشته و در صورت لزوم در اندازه‌گیری و تحقیقات اپیدمیولوژیک^۱ شرکت کنند.	
قوانین کتبی و ابلاغ به کارکنان: جزئیات قوانین و رویه‌های کلی مربوط به ایمنی تابش RF باید در دستورالعمل‌های ایمنی کتبی درج شده و به کلیه کارکنان مربوطه ابلاغ شود. علاوه بر این، باید برای هر ایستگاه فرستنده دستورالعمل‌های محلی صادر شود تا اطمینان حاصل شود که چنین سیاست‌ها و رویه‌های تعیین شده‌ای مورد اجرا قرار می‌گیرند.	

جدول ۹- راه کارهای حفاظتی اپراتور در برابر اثرات مستقیم تشعشع میدان‌های الکترومغناطیسی در محیط برای عموم مردم براساس مراجع مختلف

حفاظت از اثرات مستقیم تابش RF (عموم مردم)	
محدودیت دسترسی (ایجاد موانع محافظ): برای عموم مردم نیز ملاحظات مشابه با آنچه برای کارمندان شرح داده شد، مورد نیاز است. توجه ویژه‌ای باید به مناطقی صورت گیرد که ممکن است در شرایط خطا (نشت فلنج‌ها یا تغییر زاویه تشعشع آنتن یا خطاهای عملیاتی) سطوح تشعشعی میدان در این مناطق از حدود مجاز فراتر رود. موانع (سدهای) حفاظتی باید به شکل ضربتی در محیط مربوطه و در زمان مورد نیاز فراهم گردد. همچنین نصب علائم هشداردهنده خطر نیز ضروری خواهد بود. نصب چراغ‌ها یا علائم هشداردهنده زمین کردن صحیح اجسام هادی به دلیل جلوگیری از ایجاد شوک یا سوختگی در ولتاژهای بالا	اقدامات فیزیکی
لازم است یک ارزیابی در مورد میزان خطرات ایجاد شده برای افرادی از عموم مردم که دارای ایمپلنت‌های پزشکی هستند و در مناطقی با سطح تشعشع بالا قرار می‌گیرند انجام شود. همچنین می‌بایست فرآیند تهیه اطلاعات مربوط به خطرات سلامتی برای چنین افرادی همراه با رویه‌های ممنوعیت دسترسی انجام شود. برای بازدیدکنندگان عادی سایت نیز باید دستورالعمل‌های اساسی ایمنی RF فراهم شود. انجام بررسی بر روی میزان تشعشعات RF باید در خارج از مرزهای نیز صورت گیرد، به ویژه در مواردی که ممکن است ولتاژ القایی ناشی از سازه‌های فلزی خارجی (جرثقیل‌ها، پل‌ها، ساختمان‌ها و غیره) باعث ایجاد سوختگی جزئی یا شوک شوند.	فرآیندهای عملیاتی

^۱ epidemiological surveys

در صورت لزوم می‌بایست سیستم‌های نظارتی به کار گرفته شوند.

جدول ۱۰- راه کارهای حفاظتی اپراتورها و رگولاتورها در برابر اثرات غیرمستقیم تشعشع میدان‌های الکترومغناطیسی در محیط براساس مراجع مختلف

اثرات غیرمستقیم تابش RF	اپراتورها و رگولاتورها
خطرات احتراق مواد قابل اشتعال	انجام این گونه ارزیابی‌های با جزئیات فراوان کار ساده‌ای نمی‌باشد. از این رو، توصیه‌های اشاره شده در استانداردها شامل این گونه موارد نیست و اقدامات احتیاطی تفصیلی و کاملی باید توسط استانداردها یا مقررات ملی کشورها در نظر گرفته شود. ارزیابی اولیه باید بر اساس برآوردهای عملی از بدترین حالت ممکن با حداقل فاصله مورد نیاز بین نوع مشخصی از فرستنده و یک ساختار رسانا انجام شود تا از بروز چنین خطری جلوگیری شود (تعیین حداقل شدت میدان منجر به احتراق در فرکانس‌های فرستنده تابعی از نوع ماده قابل اشتعال و محیط است و نیازمند انجام محاسبه و مدل سازی ریاضی یا استفاده از جداول/ نمودارها می‌باشد).
خطرات ناشی از مواد منفجره	اگرچه این امر به ندرت روی می‌دهد، اما راهنمایی‌های دقیقی در استانداردهای ملی مانند استاندارد BS 6657 انگلستان در دسترس است.
تداخل در سیستم‌های ایمنی وسایل نقلیه‌ای مانند ماشین‌ها و جرثقیل‌ها که نزدیک یا در مرز ایستگاه‌های فرستنده قرار دارند	ایمنی این سیستم‌ها تحت پوشش مقررات سازگاری الکترومغناطیسی (EMC) است.

با توجه به مطالب بیان شده، وظایف اپراتورها برای حفاظت از عموم مردم و کارکنان را می‌توان به صورت خلاصه

در جدول ۱۱ مشاهده کرد.

جدول ۱۱- وظایف اپراتورها برای حفاظت از عموم مردم و کارکنان براساس مراجع مختلف

اپراتورها
تمرکز اصلی می‌تواند بر روی کارکنان در معرض تشعشع باشد. با استفاده از فناوری‌های مختلفی از جمله مکانیسم کنترل توان، شکل‌دهی پرتو و MIMO انبوه که منجر به کاهش تداخل و تمرکز انرژی تشعشعی به سمت هدف می‌شوند می‌توان توان ارسالی و بنابراین سطح تشعشع کلی را کاهش داد. چنانچه سطح EMF از حدود پرتوگیری مردم عادی فراتر رود اما از حدود پرتوگیری شغلی بیشتر نشود، توصیه می‌شود که دسترسی مردم عادی محدود شود، اما کارکنان می‌توانند اجازه ورود به این ناحیه را داشته باشند. موانع فیزیکی، رویه‌های قفل‌گذاری یا علائم کافی و مناسب می‌توانند محدودیت دسترسی را به وجود آورند. توصیه می‌شود ورود کارکنان به منطقه شغلی اطلاع داده شود. از طرف دیگر، توصیه می‌شود که محل کار دائمی یک فرد درون منطقه شغلی نباشد. در جایی که EMF از حدود پرتوگیری شغلی فراتر رود، توصیه می‌شود دسترسی کارکنان و مردم عادی محدود شود. توصیه می‌شود در صورت لزوم ورود کارکنان به چنین ناحیه‌ای، نکاتی از جمله موارد زیر برای کنترل پرتوگیری آن‌ها موردتوجه قرار گیرد: • توان گسیلنده موقتاً کاهش یابد؛ • مدت‌زمان قرارگیری فرد (افراد) در معرض تشعشع، کنترل شود تا متوسط زمانی پرتوگیری درون بازه ایمن باشد؛ • از لباس محافظ یا حفاظ الکتریکی استفاده شود؛ • ایجاد موانع، علائم هشداردهنده و قفل زدن بر در برای کنترل دسترسی پرسنل به منطقه‌ای که سطح تشعشع بیش‌ازحد مجاز است، توصیه می‌شود؛ • دسترسی عمومی به مناطق حرفه‌ای از منظر شغلی نباید مجاز باشد؛ • هنگامی که لازم است کارکنان وارد منطقه‌ای با تشعشع فراتر از حد مجاز شوند، باید اقدامات حفاظتی مانند کاهش موقت قدرت انتقال، کنترل زمان قرارگیری در معرض تشعشع و پوشیدن لباس محافظ و غیره انجام شود. درک حدود ایمنی EMF، شناسایی تجهیزات و آنتن‌های ICT، شناسایی مناطق اطراف آنتن که سطح تشعشع قرارگیری عموم در آن از حدود تعیین‌شده بالاتر است، کار ایمن با آنتن‌ها، کار ایمن با فرستنده‌ها، استفاده از ابزار اندازه‌گیری ایمنی EMF و مانیتورهای شخصی نیازمند آموزش است. جابه‌جایی ایستگاه پایه به‌خصوص در مناطق روستایی برای حفاظت از افرادی که تحمل تشعشعات الکترومغناطیسی را ندارند، توصیه می‌گردد. این مناطق به‌طورکلی نیاز به زیرساخت‌های کمتری نسبت به شهرهای بزرگ دارند، بنابراین اغلب تصور می‌شود که این مناطق سطح مواجهه با EMF پایین‌تری داشته باشند. ولیکن همیشه این‌گونه نیست. از طرفی، جابه‌جایی می‌تواند منجر به بار مالی قابل‌توجهی شود. بنابراین، این مسئله بسته به شرایط آن منطقه، نیاز به بررسی‌های بیشتری دارد. • در نظر گرفتن کامل وضعیت فعلی و نقشه‌های توسعه آینده شبکه در محیط اطراف، به‌منظور اطمینان از اینکه سایت می‌تواند استانداردهای قرارگیری در معرض RF-EMF عمومی را نه‌تنها در آغاز برپایی سایت، بلکه در مدت‌زمان طولانی رعایت نماید. • انتخاب معقول توان ارسالی ایستگاه پایه، فرکانس حامل، زاویه نیم‌توان، ارتفاع نصب آنتن، زاویه جهت و سایر پارامترها، به‌منظور حداقل کردن توان انتقالی واقعی و با فرض دستیابی به پوشش کافی انجام شود. • یکپارچه‌سازی آنتن‌ها تا از تأثیر بصری مخرب آن‌ها بر منظره محیط‌زیست کاسته شود (عدم تخریب زیبایی محیط‌زیست). اگرچه لینک‌های نقطه‌به‌نقطه ماکروویو به‌طور خاص خطری برای سلامتی انسان به همراه ندارد، اما، به‌کارگیری سیستم کابل‌های فیبر نوری جایگزین لینک ماکروویو در بخش بک‌هال و زیرساخت شبکه توصیه می‌شود. منبع RF در صورت مونتاژ باید از نظر تجاری باکیفیت معادل نمونه آزمایش‌شده تولید شود. به‌منظور اطمینان از ایمنی تجهیزاتی که در آزمایشگاه ساخته یا تعمیر شده‌اند می‌بایست آزمون سطح تابش اشعه آن انجام گیرد.

موجرها و سیم‌پیچ‌ها باید با دقت بررسی شوند تا هیچ شکاف و پیچ و مهره سستی وجود نداشته باشد که باعث نشت تشعشع شود. برای جلوگیری از سوختگی RF باید از تماس مستقیم با کویل‌ها جلوگیری کرد.

جدول ۱۲- راه کارهای اپراتور جهت حفاظت از تشعشع با اعمال تغییرات بر طراحی شبکه براساس مراجع مختلف

اپراتورها و ایستگاه پایه
کاهش توان فرستنده
افزایش ارتفاع آنتن
کاهش پترن تشعشع عمودی با زاویه شیب پایین
افزایش بهره آنتن
تغییرات در VRP
تغییرات در HRP
به کارگیری هم‌زمان چند روش کاهش دهنده سطح تشعشع
افزایش فاصله بین پرسنل و وسیله رسانا
انتخاب معقول توان ارسالی ایستگاه پایه، فرکانس حامل، زاویه نیم‌توان، ارتفاع نصب آنتن، زاویه جهت و سایر پارامترها، برای به حداقل رساندن توان انتقالی واقعی با فرض دستیابی به پوشش کافی
تغییر محل سایت
مدیریت می‌تواند باهدف اطمینان از تطابق با الزامات رگولاتوری RF-EMF یا به‌منظور افزایش اعتماد و اطمینان جامعه صورت گیرد. این مدیریت می‌بایست بر اساس مطالعه اسناد RCA، محاسبات، اندازه‌گیری تعدادی نمونه از ایستگاه‌های پایه، یا سیستم‌های مانیتورینگ RF-EMF انجام شود. سازمان‌های دارای مسئولیت در مانیتورینگ، می‌بایست دارای پرسنل متخصص با توانایی کافی و امکان دسترسی به تجهیزات مناسب باشند.

۳-۳- رگولاتوری

در این بخش راه‌کارهایی که می‌بایست رگولاتوری برای حفاظت کاربران و کارمندان در معرض تشعشعات

میدان‌های الکترومغناطیسی به کار گیرد، به‌صورت جدول ۱۳ بیان شده است.

جدول ۱۳- راهکارهای رگولاتوری برای حفاظت کاربران و کارمندان قرار گرفته در معرض تشعشعات میدان‌های الکترومغناطیسی براساس مراجع مختلف

رگولاتوری
در بسیاری از مواقع، سازمان‌های استانداردسازی یا سازمان‌های رگولاتوری محلی یا ملی، با استفاده از روش‌هایی متفاوت و بر پایه فرضیات مختلف، حدود ایمنی EMF را برای جامعه اعلام و منتشر می‌کنند. اگر چنین حدودی وجود نداشته باشد، یا فرکانس‌های موردنظر را پوشش ندهد، لازم است حدود تعیین‌شده توسط ICNIRP استفاده گردند. مقررات ملی الزامی بوده و می‌بایست با توجه به ارزیابی‌های انجام‌شده در زمان تشعشع تعیین گردند. در بسیاری از کشورها، حدود تشعشعی ICNIRP یا IEEE در نظر گرفته

می‌شوند. در کشورهایی که قوانین مختص به خود را ندارند، رعایت حدود تشعشی آورده شده توسط ICNIRP یا IEEE (که توسط سازمان بهداشت جهانی WHO توصیه شده است) به شدت توصیه می‌گردد.
نهادهای نظارتی (رگولاتورها) می‌توانند ممیزی دوره‌ای را انجام دهند.
ارائه اطلاعات در مورد محصولات EMF به عموم مردم برای کاهش تصورات و باورهای در مورد میزان مضر بودن قرار گرفتن در معرض تشعشعات، اهمیت زیادی دارد.
در مواردی که می‌بایست روش‌های کاهش میزان قرارگیری در معرض تشعشع به کار رود، توجه به روش‌های توصیه شده توسط متخصصان و ارگان‌های بهداشتی دولتی اهمیت دارد.
به دلیل وجود فاصله بین ایستگاه پایه و گوشی‌های تلفن همراه، و کنترل این دستگاه‌ها در سطوح مختلف (کنترل ایستگاه پایه توسط ارائه‌دهندگان خدمات و کنترل گوشی تلفن همراه توسط مشترکان)، همکاری و تبادل اطلاعات بین ارائه‌دهندگان خدمات و مشتریان ضروری است. بر این اساس، توصیه می‌شود که میزان SAR هر گوشی به طریقی به شبکه اطلاع‌رسانی شود و به منظور آگاهی‌رسانی به جامعه در دسترس عموم قرار گیرد
به دلایلی که پیش‌تر اشاره شد، توصیه نمی‌شود که برای کاهش اثرات تخریبی تشعشعات الکترومغناطیسی، حدود سخت‌گیرانه‌تری از آنچه توسط نهادهای استاندارد گذاری وضع شده، تعیین گردد.
ارائه اطلاعات به عموم مردم در خصوص میزان تشعشعات هر منطقه به صورت روزانه و دریافت پاسخ مردم در خصوص آسیب‌های احتمالی و انجام اقدامات مناسب در صورت لزوم توصیه می‌شود.
اگرچه در سازمان‌های ذی‌ربط متخصصین ماهر برای ارزیابی میزان تشعشعات وجود دارند، ولیکن استفاده از نیروهای دیگر بامهارت بیشتر می‌تواند مقرون به صرفه‌تر باشد تا اطمینان حاصل گردد که فراهم‌کنندگان سرویس و اپراتورها دارای زیرساخت‌های لازم و مناسب و مطابق با استاندارد می‌باشند.

۴- همکاری مشترک بین پژوهشگاه ارتباطات و فناوری اطلاعات و مرکز تحقیقات ارولوژی بیمارستان سینا

اهم قوانین، مقررات و استانداردهای تصویب شده در کشور در حوزه سطوح تشعشعات الکترومغناطیسی عبارت‌اند از:

- قانون حفاظت در برابر اشعه،
- قانون حفاظت و بهسازی محیط زیست،
- منشور حقوق شهروندی،
- قانون نحوه جلوگیری از آلودگی هوا،
- قانون هوای پاک،
- استاندارد پرتوهای غیر یون ساز- حدود پرتوگیری،
- مقررات حدود تشعشعی (SAR) گوشی‌های تلفن همراه و سایر دستگاه‌های رادیویی،

در داخل کشور سازمان‌های زیادی در این حوزه دارای وظایف تعریف شده می‌باشند که از آن جمله می‌توان به سازمان انرژی اتمی ایران، سازمان تنظیم مقررات و ارتباطات رادیویی، سازمان حفاظت محیط زیست، وزارت بهداشت، درمان و آموزش پزشکی و اپراتورهای تلفن همراه می‌باشند. سازمان تنظیم مقررات و ارتباطات رادیویی (با توجه به وظیفه این سازمان در مدیریت طیف فرکانسی کشور، اعطای پروانه به اپراتورها، و نظارت بر سطوح تشعشعات الکترومغناطیسی) و سازمان انرژی اتمی ایران (به عنوان متولی قانونی ایمنی تشعشعی کشور) اصلی‌ترین نهادهای نظارتی این حوزه به شمار می‌روند.

پژوهشگاه ارتباطات و فناوری اطلاعات از شهریورماه سال ۱۳۹۸ همکاری مشترکی را در قالب یک تفاهم‌نامه با مرکز تحقیقات ارولوژی بیمارستان سینا آغاز کرده است. هدف از این همکاری انجام پروژه‌های تحقیقاتی مشترک، تبادل دانش و اطلاعات فنی، برگزاری نشست‌ها و کارگاه‌های علمی، تبادل تجهیزات آزمایشگاهی و انتشار مقالات علمی در ارتباط با اثرات امواج رادیویی بر بافت‌ها و موجودات زنده می‌باشد.

برهمن اساس، پژوهشگاه بستر مناسبی را جهت ایجاد پرتوگیری از تشعشعات امواج الکترومغناطیسی در فرکانس‌های موبایل در محل آزمایشگاه مرکز تحقیقات ارولوژی نصب و پیاده‌سازی کرده است. در این آزمایشگاه،

پروژه‌های موردنظر تیم پزشکی با توجه به میزان و شدت تابش امواج و مدت زمان قرارگیری موجودات آزمایشگاهی (موش‌های rat شکل ۳) اجرا می‌شوند. در اجرای این پروژه‌ها، تیم پژوهشگاه مشاوره‌های فنی لازم را به تیم پزشکی ارائه می‌دهد و انجام پروژه‌ها با همکاری تنگاتنگ هر دو تیم صورت می‌گیرد.

از عناوین پروژه‌های تعریف‌شده در این زمینه می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

- بررسی اثرات امواج موبایل بر روی استئوپروز استخوان‌های مختلف بدن موش،
- بررسی میزان تغییرات وزن موش‌ها بعد از تابش امواج موبایل.

این امید وجود دارد که با ادامه همکاری بتوان به نتایج خوب و قابل استنادی در رابطه با اثرات بیولوژیکی امواج الکترومغناطیسی دست یافت.



شکل ۳- نمایی از قفسه‌های موجودات آزمایشگاهی مرکز تحقیقات ارولوژی بیمارستان سینا.

۵- جمع‌بندی و پیشنهادها

همان‌طور که اشاره شد، بر مبنای مطالعات دقیقی که در پژوهشگاه بر روی این استانداردها و توصیه‌نامه‌ها انجام شده است، راهکارهایی جهت کاهش اثرات زیان‌بار امواج الکترومغناطیسی استخراج گردید. این راهکارها در سه دسته مجزا به صورت جداولی برای کاربران و تجهیزات کاربری؛ اپراتورها، سرویس‌دهندگان ارتباطات رادیویی و شاغلین مخابراتی؛ و رگولاتوری تدوین شده‌اند. بر این اساس پیشنهادهای زیر برای پیگیری اقدامات مربوطه در کشور به صورت زیر قابل‌ارائه است:

- ارائه راهکارهای مرتبط به سازمان تنظیم مقررات و ارتباطات رادیویی جهت استفاده در امور نظارتی بر عملکرد اپراتورهای تلفن همراه یا سایر سرویس‌دهندگان ارتباطات رادیویی، این کار می‌تواند در قالب دستورالعمل‌های لازم‌الاجرا در سازمان انجام شود.
- ارائه راهکارهای مرتبط به اپراتورهای تلفن همراه و سرویس‌دهندگان ارتباطات رادیویی جهت ایمنی کارکنان و شاغلین این واحدها و همچنین کاهش پرتوگیری عموم مردم، این کار می‌تواند با تهیه بروشورها یا نصب پوسترها و استندهای آموزشی انجام شود.
- تهیه بروشورهای آموزشی با استفاده از راهکارها استخراج شده جهت استفاده عموم مردم و کاربران تلفن همراه، این بروشورها را می‌توان در مکان‌های عمومی در اختیار افراد مختلف قرارداد.



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

تلفن: ۰۲۱-۸۸۶۳۰۳۵۵

نمابر: ۰۲۱-۸۸۶۳۰۳۵۶