



سنجش میزان تشعشعات امواج رادیویی آنتن‌های BTS با استفاده از مدل تنظیم‌گری با رویکرد متدولوژی سیستم‌های نرم (مورد مطالعه: کلان‌شهر اهواز)

علیرضا ملکی جهان^۱، مریم شعار^{۱*}، علی رجب زاده قطری^۱ و عظیم فرد^۲

^۱ گروه مدیریت صنعتی، واحد تهران شمال، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.

^۲ گروه مهندسی برق، واحد تهران شمال، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.

* تهران، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران شمال، دانشکده مدیریت، صندوق پستی: ۹۳۶/۱۹۵۸۵ / کد پستی: ۱۶۵۱۱۵۳۳۱۱

پست الکترونیکی: m_shoar@iau-tnb.ac.ir

چکیده

روند رو به رشد استفاده از تجهیزات الکترونیکی تولید کننده امواج الکترومغناطیسی همچون گوشی تلفن همراه، که موجب قرارگیری بیش تر افراد در معرض میدان‌های الکترومغناطیسی می‌شود؛ ضرورت تحقیق در خصوص اثرات احتمالی این امواج را بر سلامت شهروندان دوچندان می‌کند. بنابراین مطالعه حاضر با استفاده از متدولوژی سیستم‌های نرم (SSM) و ساختار مسئله‌ساز با هدف اندازه‌گیری واقعی سطح تشعشعات ایستگاه پایه فرستنده (BTS) انجام شد. همچنین راه‌کارهایی مؤثر جهت کاهش مخاطرات انسانی در مواجهه با امواج ارائه گردید. در این مطالعه با همکاری رگولاتوری، سازمان تنظیم مقررات و ارتباطات رادیویی منطقه جنوب غرب، ۱۰ نقطه که دارای بیش‌ترین فراوانی نصب آنتن‌های BTS در کلان‌شهر اهواز بود، انتخاب گردید. سپس با تجهیزات مرتبط و دستگاه نازدا نسبت به اندازه‌گیری سطح تشعشعات ایستگاه پایه فرستنده اقدام شد. برای هر نقطه، اندازه‌گیری در ۳ ارتفاع مختلف (۱۰۰، ۱۵۰ و ۱۷۰ سانتی‌متری از سطح زمین) در فاصله‌های مختلف (۲۰، ۳۰ و ۱۰۰ متری از هر آنتن) (BTS) برای یافتن بیش‌ترین سطح چگالی توان تشعشعی انجام شد. مدت زمان اندازه‌گیری در هر ارتفاع به میزان ۶ دقیقه مطابق با استانداردهای مربوطه برای محاسبه میانگین سطح چگالی توان تشعشعی مورد استفاده قرار گرفت. نهایتاً بیش‌ترین مقدار سطح تشعشع به‌دست آمده به‌عنوان نتیجه برای هر نقطه ثبت گردید. علی‌رغم انتخاب بیش‌ترین مقدار به‌دست آمده برای هر نقطه، پس از مقایسه نتایج استخراج شده با حد آستانه تعیین شده توسط سازمان انرژی اتمی ایران مشخص گردید تمام نقاط مورد نظر، حد آستانه را برآورده ساخته و اختلاف بسیار زیادی با حداقل آستانه داشتند. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت بر اساس استاندارد از کمیسیون بین‌المللی حفاظت در برابر پرتوهای غیر یونساز ICNIRP پیروی می‌کند و سطح تشعشعات در این نقاط، نگران‌کننده نیست و می‌توان این نتیجه‌گیری را به مقیاس‌های بزرگ‌تر تعمیم داد. در عین حال با توجه به این‌که نگرانی‌ها در رابطه با اثرات بلند مدت قرار گرفتن افراد در معرض تشعشعات فرکانس‌های رادیویی وجود دارد، لزوم استمرار اندازه‌گیری و گزارش به رگولاتوری، و در صورت عدم تأمین الزامات استاندارد و رگولاتوری، انجام اقدامات بهینه‌سازی بدیهی است.

کلیدواژه‌گان: تشعشعات الکترومغناطیسی، ایستگاه پایه فرستنده (BTS)، سیستم‌های نرم (SSM)، گوشی تلفن همراه، کلان‌شهر اهواز.

۱. مقدمه

در مطالعات بیولوژیکی در فرکانس‌های میکروویو استفاده می‌شود که نشان دهنده آهنگ جذب انرژی در یک میدان الکترومغناطیسی در واحد جرم ماده است. سار (SAR)، معیاری است استاندارد برای اندازه‌گیری یا محاسبه مقدار تشعشعات الکترومغناطیسی که توسط بافت جذب می‌شود و بر حسب وات بر کیلوگرم (W/kg) می‌باشد آهنگ جذب ویژه توسط رابطه (۱) محاسبه می‌شود [۳].

$$SAR = \frac{d}{dt} \left(\frac{dw}{dm} \right) = \frac{d}{dt} \left(\frac{dw}{pdv} \right) \quad (1)$$

که در آن

w = انرژی رادیویی جذب شده در واحد جرم بافت است.

m = جرم بافت بر حسب کیلوگرم (Kg).

p = چگالی بافت بر حسب کیلوگرم بر متر مکعب (Kg/m^3)

t = زمان بر حسب ثانیه

v = حجم بافت بر حسب متر مکعب (m^3)

یکای SAR وات بر کیلوگرم (W/Kg)

در این تحقیق، پارامترهایی که در فضای آزاد در دکل‌های BTS قابل اندازه‌گیری بوده و حدود استاندارد روی آن‌ها وضع می‌گردد، عبارتند از شدت میدان الکتریکی $E(V/m)$ ، شدت میدان مغناطیسی $H(A/m)$ ، چگالی شار مغناطیسی $B(\mu T)$ و چگالی سطحی توان امواج الکترومغناطیسی تخت $S_{eq}(W/m^2)$. از سوی دیگر با توجه به این‌که خطرات امواج الکتریکی و مغناطیسی فرستنده‌های آنتن‌های موبایل نگرانی‌هایی را در بین اقشار جامعه به‌وجود آورده است، بازیگران حوزه ارتباطات و فناوری اطلاعات^۵ (ICT)، دستگاه‌های مرتبط و غیرمرتبط، و بدنه رگولاتوری متشکل از رگولاتوری ارتباطی کشور که در این

امروزه انسان‌ها ناگزیر از به کارگیری فناوری‌های نوین از جمله گوشی تلفن همراه هستند. رشد و پیشرفت فناوری‌های ارتباطی تقاضای استفاده از این فناوری نیز افزایش پیدا کرده است. با افزایش مشترکان تلفن همراه دکل‌های^۱ BTS در سطح شهرها و روستاها گسترش یافته و به دنبال آن آلودگی امواج میدان‌های الکترومغناطیسی^۲ (EF) با فرکانس‌های مختلف در محیط‌های مسکونی افزایش پیدا کرده است. قرار گرفتن در معرض تشعشعات الکترومغناطیسی^۳ (ER) علاوه بر گوشی‌های تلفن همراه ممکن است به دلیل به کارگیری دستگاه‌ها و لوازم مختلف مورد استفاده در زندگی روزمره از قبیل تلویزیون، رادیو، اجاق میکروویو، نمایش‌گرهای کامپیوتری، برخی از لامپ‌های کم مصرف نیز صورت گیرد. ایجاد تماس با این امواج ممکن است ایجاد تغییراتی در سیستم‌های بیولوژیکی و به مخاطره افتادن سلامت بافت‌ها را به دنبال داشته باشد. میدان‌های الکترومغناطیسی موجب بروز اثرات گرمایی و غیر گرمایی می‌شوند که در هر دو صورت می‌توانند در سطوح سلولی و مولکولی اثرات مخربی داشته باشند [۱]. از طرفی با وجود آن‌که هنوز اثرات زیستی استفاده طولانی مدت از گوشی‌های تلفن همراه به خوبی مشخص نشده است، در حال حاضر میلیاردها نفر در سراسر دنیا از این وسیله ارتباطی استفاده می‌نمایند. یکی از تجهیزاتی که امروزه بیش‌تر مورد توجه و نگرانی افراد قرار گرفته است ایستگاه‌های پایه فرستنده (BTS) تلفن همراه هستند. در این مورد سلامتی افراد در صورت عدم رعایت فاصله مناسب دکل‌های مخابراتی با حوزه‌های مسکونی و مراکز حساس جمعیتی مورد تردید بوده و هنوز مشخص نشده است که در درازمدت به اثرات ناخواسته ای منجر نخواهد شد [۲]. آهنگ جذب انرژی^۴ (SAR) به‌عنوان شاخص تابش الکترومغناطیسی

4- Specific Absorption Rate

5- Information and Communications Technology

1- Base Transceiver Station

2- Electromagnetic Field

3- Electromagnetic Radiation

۲. مبانی نظری پژوهش

۱.۲. مفهوم سیستم و تفکر سیستمی

تفکر سیستمی، یک متدولوژی جدید و نتیجه پژوهش‌های عمیق و طولانی است [۴]. تفکر سیستمی نرم با استفاده از نگرش سیستمی برای موقعیت‌های مسئله‌زا، ساختار تفکر و یادگیری را پی‌ریزی می‌کند و هدف آن بحث و توافق بر سر ماهیت مسئله است نه ارائه راه حل آن [۵]. تفکر سیستمی نرم با تأکید بر شناسایی صحیح ماهیت و ساختار مسئله، درکی شفاف‌تر فراهم کرده و برای بهبود وضعیت آشفته و موقعیت اجتماعی ساختار نیافته، ایجاد شده است. مسائل ساختار نیافته در دنیای واقعی با ابزار کلاسیک حل نمی‌شوند و منجر به خلق روش‌های ساختاردهی می‌شوند. ویژگی‌های این‌گونه مسائل عبارتند از: ذی‌نفعان چندگانه، منافع گنگ و یا متناقض، عوامل نامشهود و عدم قطعیت [۶].

۲.۲. متدولوژی سیستم نرم

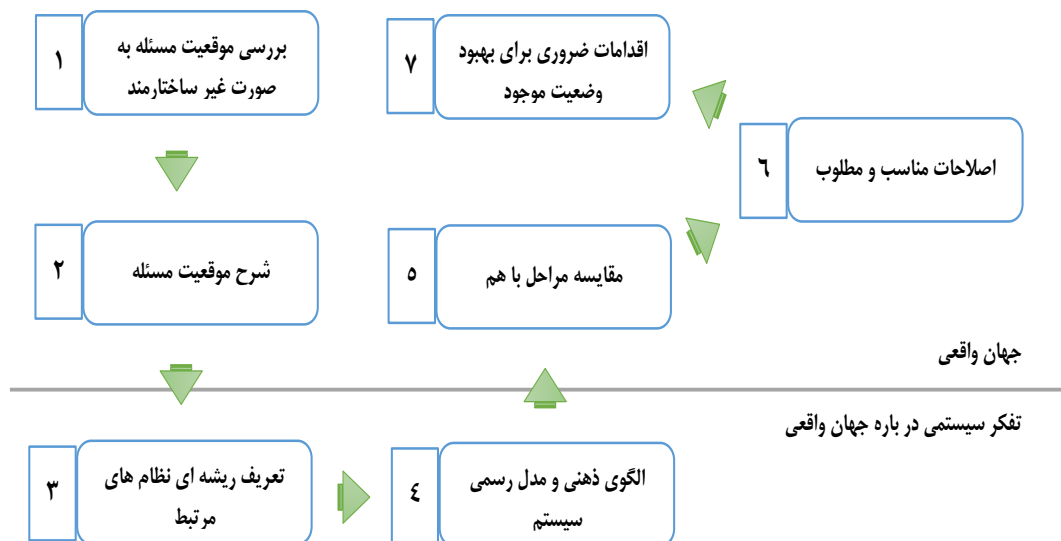
متدولوژی سیستم‌های نرم در هفت گام تحلیل مجزا در قالب ساختاری توسط چکلند برای SSM ارائه شده است که این گام‌ها لزوماً به ترتیب دنبال نمی‌شوند [۷]. شکل (۱) ساختار این متدولوژی را نشان می‌دهد.

مراحل ۱ و ۲: مواجه شدن با شرایط مسئله ساز

در این مراحل تلاش می‌شود تا غنی‌ترین تصویر ممکن از وضعیت مشکل‌ساز تدوین شود. عملکرد این دو مرحله نمایش وضعیت است تا طیفی از انتخاب‌های ممکن و امیدوارانه مرتبط را بتوان آشکار نمود [۸].

صنعت با عنوان سازمان تنظیم مقررات و ارتباطات رادیویی^۱ (CRA) شناخته می‌شود و رگولاتوری پرتویی کشور که واحد قانونی و متولی نظارت بر حسن اجرای قانون حفاظت در برابر اشعه نیز بوده و سازمان انرژی اتمی ایران^۲ (AEOI) است، با همکاری یکدیگر و با استفاده از توصیه‌ها و استانداردهای بین‌المللی حفاظت در برابر اشعه غیر یونساز میزان انتشار امواج رادیویی را مورد سنجش قرار می‌دهند. لذا در این تحقیق با استفاده از ترکیب متدولوژی سیستم‌های نرم^۳ (SSM) به همراه روش‌شناسی سیستم‌های سخت به‌عنوان پُرکاربردترین رویکرد در ساختاردهی مسئله مورد بررسی محققان قرار گرفته است.

ادامه این پژوهش، به این‌صورت بخش‌بندی شده است که ابتدا مبانی نظری و مفاهیم مورد نیاز پژوهش، تعریف و پیشینه جامع از به‌روزترین مطالعات انجام شده مرتبط با موضوع مرور شده است. در ادامه، اثرات بیولوژیکی و اختلالات ناشی از مواجهه انسان با امواج الکترومغناطیسی در قالب گام‌های متدولوژی SSM مورد بررسی قرار گرفته است. در این روش، ابتدا با استفاده از مراحل اول و دوم به معرفی استانداردها و توصیه‌نامه‌های بین‌المللی و شناسایی مسئله و بیان خطرات میدان‌های الکترومغناطیسی، پرداخته می‌شود. موضوعات بعدی در دنیای واقعی با توجه به مبانی نظری و نظرات خبرگان جهت حل مسئله در گام‌های ۳ و ۴ ادامه این موضوعات را پوشش می‌دهند. پس از آن، جهت بررسی میزان تشعشعات ساطع شده از دکل‌های مخابراتی تلفن همراه و مقایسه نتایج به‌دست آمده، یک مطالعه موردی واقعی انجام شده است. بخش پایانی این مقاله نیز به نتیجه‌گیری، اختصاص داده شده است.



شکل (۱): چرخه روش شناسی سیستم های نرم.

مرحله ۳؛ توسعه تعاریف ریشه ای

در این مرحله تحلیلگر از دنیای واقعی به سوی تفکر سیستمی حرکت می کند. پس از توسعه تصاویر غنی از وضعیت مسئله، یک یا چند توصیف کوتاه از دنیای واقعی برای مدل سازی در مرحله بعد انتخاب می کند. چکوند برای ایجاد تعاریف ریشه ای، کد کاتوو^۱ را به عنوان یک شیوه کار ارائه می دهد که یک توصیف گسترش عنصری است و تعاریف ریشه ای می بایست آن ها را شامل شوند [۹].

مرحله ۴؛ ساخت مدل مفهومی

برای هر تعریف ریشه ای، مدلی مفهومی و کاربردی خلق می شود. هر مدل مفهومی مجموعه ای از فعالیت ها و فرایندهای ارتباطی بین آن ها هستند [۱۰].

مرحله ۵؛ مقایسه مدل با دنیای واقعی

در مرحله ۵ تحلیلگر، تفکرات سیستمی را رها کرده و پرسش های زیر را مطرح می کند:

۱- آیا این واقعیت در دنیای واقعی اتفاق می افتد؟

۲- در صورتی که اتفاق بیفتد چگونه رفتار می شود؟

۳- با چه معیاری و چگونه ارزیابی می شود؟

۴- آیا این مدل و فرایند در وضعیت فعلی مناسب است؟

مراحل ۶ و ۷؛ شناسایی و تعیین تغییرات مورد نیاز و اجرا
مراحل پایانی مربوط به اجرای تغییرات برای بهبود وضعیت مسئله هستند. در عمل SSM به اندازه ای که در این جا به عنوان یک فرایند مرحله به مرحله ایده آل تشریح شد، خطی نیست. اغلب تکرارها انجام می شوند و از این رو بحث ایجاد شده در مرحله ۵ توجه را به تحلیل و تعاریف اولیه جلب می کند.

مدل چکوند این امکان را می دهد که تعریفی ریشه ای برای هر سیستم فعالیت از سانی ارائه کند. این معنا در قالب عنوان کاتوو تعریف شده است. جدول (۱) عناصر کاتوو و تعاریف آن ها را نشان می دهد:

جدول (۱): عناصر کاتوو و تعاریف آن‌ها.

عناصر	تعاریف کاتوو
مشتریان Customers	مشتریان، و افرادی که در سیستم متضرر می‌شوند چه کسانی هستند؟
بازیگران Actors	بازیگران و شرکت‌کنندگان در سیستم چه کسانی هستند؟
فرایند تبدیل Transformation	چه چیزی توسط این سیستم دگرگون می‌شود؟
جهان بینی Weltanschauung	اساس جهان‌بینی و نگرش در این سیستم چیست؟
مالکان Owners	مالک این سیستم کیست؟ چه کسی قدرت تغییر و یا توقف فرایند را دارد؟
عوامل محیطی Environment	محدودیت‌های محیطی که باید در این سیستم در نظر گرفته شود چه چیزهایی هستند؟

هستند که بیش‌تر در معرض آسیب‌شناسی احتمالی ناشی از تشعشعات دکل‌های مخابراتی قرار دارند [۱۲].

نویسندگان در مطالعه [۱۳]، با ارائه توضیحات جامع در خصوص نرخ اشتراک رو به رشد تلفن همراه بین افراد جامعه، افزایش نگرانی‌ها در مورد اثرات سلامتی بالقوه آن را به دلیل انتشار انرژی میدان‌های الکترومغناطیسی مورد هدف قرار داده‌اند. در مطالعه دیگری که در این رابطه انجام شده است با اشاره به رشد سریع فن‌آوری ارتباطات بی‌سیم در ۱۰ سال گذشته، که موجب ایجاد نگرانی عمومی در مورد اثرات مخرب زیست‌محیطی امواج الکترومغناطیسی این فناوری شده است؛ نقش تلفن‌های همراه در انتقال انرژی این تشعشعات به بدن انسان، مورد بررسی قرار گرفته است. در این پژوهش راه‌کارهایی در جهت کاهش اثرات این امواج بر بدن انسان ارائه شده است [۱۴]. نویسندگان در مطالعه [۱۵]، کودکان ۹ تا ۱۲ ساله که به صورت روزانه از گوشی موبایل، تبلت و لپ‌تاپ در حالت‌های مختلف ارتباطات صوتی، تصویری، اتصال به اینترنت برای انجام عملیات‌های مختلف استفاده می‌نمایند انتخاب شدند تا تأثیر امواج الکترومغناطیسی بر کاهش حجم مغز مورد بررسی قرار گیرد. در این مطالعه، اگر چه در برخی موارد رابطه‌ای معنادار برای تأثیر استفاده از تجهیزاتی که کودکان را در معرض امواج قرار می‌دهند ارائه می‌شود اما در عین حال نویسندگان تأثیر عوامل دیگر در بروز این اتفاق را رد نمی‌کنند. در همین حوزه، مطالعه [۱۶] صورت پذیرفته است که در پژوهش مذکور ۲۸ کودک اروپایی به مدت ۲ سال برای قرارگیری موقت در فضاهای متنوع میدان‌های الکترومغناطیسی با فرکانس‌های رادیویی مختلف مورد آزمایش قرار گرفتند.

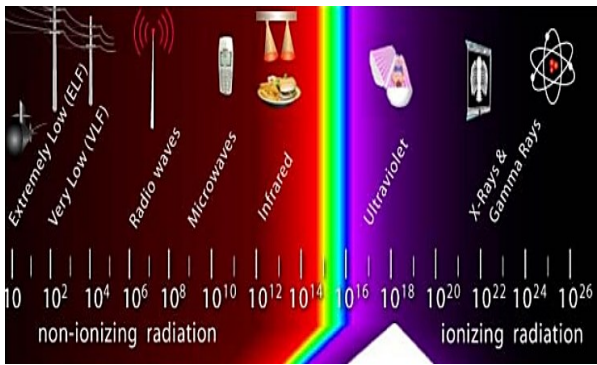
پژوهشگران در [۱۷]، با ایجاد این فرضیه که تابش میدان الکترومغناطیسی باعث آسیب مورفولوژیک و بیوشیمیایی به بافت نخاع موش‌های صحرایی می‌شود؛ اثرات احتمالی تابش میدان الکترومغناطیسی (۶۰ دقیقه در روز به مدت ۲۸ روز) را بر روی نخاع موش‌های با عمر ۱۲ هفته مورد بررسی قرار دادند. همچنین در [۱۸]، یک بررسی جامع از پژوهش‌هایی که بر روی اثرات میدان‌های الکتریکی، مغناطیسی و الکترو-مغناطیسی بر میکروارگانیسم‌ها صورت پذیرفته‌اند ارائه شده است. مهم‌ترین

فرآیند SSM برای یک موقعیت مسئله، شناختی سازمان یافته ارائه می‌دهد؛ به نحوی که این شناخت منجر به اقدام متنا سب برای بهبود مسئله می‌شود [۶].

۳. پیشینه‌ای از پژوهش‌های انجام شده در حوزه تأثیر تشعشعات بر سلامت افراد

آنچه تاکنون از بررسی پژوهش‌های انجام شده نتیجه گرفته می‌شود این است که اثبات رابطه‌ای معنادار بین هر گونه اثرات سلامتی با قرارگیری در معرض امواج الکترومغناطیسی همچنان در هاله‌ای از ابهام قرار دارد. هر چند خطرات حرارتی ناشی از قرارگرفتن در معرض میداین الکترومغناطیسی با سطح بالای تشعشعات ثبت شده است؛ اما هیچ‌گونه خطرات سلامتی شناخته شده‌ای در این خصوص ثبت نشده است. در واقع تشعشعات ناشی از دکل‌های مخابراتی برای ایجاد حرارت مؤثر بر بافت بدن دارای سطح بسیار پایینی هستند [۱۱].

طی بررسی گسترده مطالعات صورت گرفته در خصوص آسیب‌پذیری سلامت افرادی که در معرض میدان‌های الکترو مغناطیسی قرار دارند مشخص گردید کودکان از جمله گروه‌هایی



شکل (۲): تعامل تابش خورشید با جو زمین یک طیف الکترومغناطیسی تولید می‌کند که نور مرئی فقط بخش کوچکی از آن است [۱۹].

تشعشعات یون‌ساز

هر تشعشعی اعم از ذرات متحرک یا امواج الکترومغناطیسی که انرژی کافی برای تولید یون در یک ماده داشته باشد تحت عنوان پرتو یون‌ساز شناخته می‌شود. یونیزاسیون هنگامی اتفاق می‌افتد که انرژی کافی به یک اتم منتقل می‌گردد و در نتیجه یک الکترون اوربیتال از اتم خارج می‌شود و بدین ترتیب، یون ایجاد می‌گردد [۲۰]. یونیزاسیون اتم‌های داخل سلولی سبب بروز تغییرات بیوشیمیایی می‌شود که ممکن است تأثیرات آبی یا دیررس بیولوژیک را داشته باشد.

تشعشعات غیر یون‌ساز

تشعشعات غیر یون‌ساز، پرتوهای الکترومغناطیسی با طول موج بیشتر از ۱۰۰ نانومتر هستند. انرژی فوتون این پرتوها کم‌تر از آن است که بتوانند در محیط بیولوژیکی یون‌سازی کنند و کم‌تر از انرژی فوتون پرتوهای ایکس و گاما است. این امر به دلیل کم‌تر بودن فرکانس تشعشعات الکترومغناطیسی غیر یون‌ساز است [۲۱، ۲۰]. تشعشعات غیر یون‌ساز به سه محدوده اصلی پرتوهای نوری (شامل پرتوهای فرابنفش، نور مرئی و پرتوهای فروسرخ) و میدان‌های الکترومغناطیسی (شامل میدان‌های رادیویی، مایکروویو و میدان‌های الکترومغناطیسی با فرکانس کم) و میدان‌های الکتریکی و مغناطیسی ثابت تقسیم می‌شوند.

استانداردها و توصیه‌نامه‌های بین‌المللی

در کشورهای مختلف، حدود مجاز قرارگیری در معرض میدان‌های الکترومغناطیسی، بر اساس استانداردهای ملی تعیین

نتیجه‌ای که از بررسی این مطالعات به دست آمده است این است که اثرات بیولوژیکی میدان‌های الکتریکی، مغناطیسی و الکترومغناطیسی به مدت زمان قرار گرفتن در معرض این تشعشعات بستگی دارد. با توجه به این‌که بررسی کامل تحقیقات صورت پذیرفته در حوزه تأثیر تشعشعات الکترومغناطیسی بر روی سلامت افراد، خارج از حوصله این پژوهش است؛ به همین مقدار بسنده می‌شود.

۴. به‌کارگیری روش سیستم شناسی نرم در حوزه تأثیر تشعشعات الکترومغناطیسی بر سلامت شهروندان

هدف از این پژوهش عبارت است از فراهم نمودن درکی شفاف از تأثیر تشعشعات الکترومغناطیسی بر سلامت افراد جامعه و ارائه ساختاری سیستمی جهت آشنایی عمومی افراد با موضوع در راستای کاهش نگرانی‌های جمعی. از طرفی ارائه راه‌کارهایی عملی و مناسب در کاهش قرار گرفتن افراد در معرض میدان‌های الکترومغناطیسی می‌تواند کامل‌کننده این هدف باشد. لازم به توضیح است در این پژوهش با توجه به این‌که تنها ایجاد اجماع ذی‌نفعان مسئله بر ابعاد و ساختار آن مد نظر قرار داشته است، فقط چهار مرحله ابتدایی متدولوژی SSM مورد مطالعه قرار گرفته است.

مراحل ۱ و ۲؛ تشریح موقعیت مسئله‌ساز (تشعشعات الکترومغناطیسی و مفاهیم مرتبط با آن)

تشعشعات ناشی از امواج رادیویی تولید شده در یک ایستگاه فرستنده ارتباطات سیار در یک بازه زمانی معین، شکلی از انرژی الکترومغناطیسی و یا تابش الکترومغناطیسی به‌شمار می‌آید. این تشعشعات غیر یون‌ساز می‌باشند، به این معنی که نمی‌توانند به‌طور مستقیم انرژی کافی را به یک مولکول برای شکستن یا تغییر پیوندهای شیمیایی آن منتقل کنند. این پدیده با تأثیر گذاری تشعشعات یون‌ساز مانند پرتوهای ایکس یا امواج گاما که قادرند الکترون‌ها را از اتم‌ها و مولکول‌ها خارج کنند و باعث ایجاد تغییراتی شوند که می‌تواند منجر به آسیب بافتی شود، متفاوت است.

بازیگران اصلی و روابط آن‌ها در رابطه با تأثیر تشعشعات الکترومغناطیسی بر سلامت شهروندان را نشان می‌دهد. همان‌طور که در تصویر غنی شده مشخص است با توجه به به این‌که موضوع این پژوهش حول محور بررسی اثر تشعشعات بر سلامتی افراد می‌باشد جهت تحلیل این تصویر، نهادهای تأثیرگذارتر شامل، سازمان انرژی اتمی ایران، سازمان تنظیم مقررات و ارتباطات رادیویی، کمیسیون ICNIRP است.

کمیسیون ICNIRP

ICNIRP، کمیسیون بین‌المللی است که در زمینه حفاظت در برابر اشعه غیر یون‌ساز تخصص دارد و مأموریت آن مشاهده و ارزیابی یافته‌های علمی و ارائه دستورالعمل‌هایی برای محافظت در مورد خطرات و آسیب‌های اشعه‌های غیر یون‌ساز است. اولین نسخه این دستورالعمل ICNIRP برای محدوده فرکانسی صفر تا ۳۰۰ گیگاهرتز در سال ۱۹۹۸ منتشر گردیده است که امروزه همچنان بسیاری از جوامع و نهادها به آن استناد می‌کنند (ICNIRP, ۱۹۹۸). محدودیت‌های اعمال شده توسط ICNIRP مبتنی بر مشکلات ایجاد شده 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 میدان‌های الکترومغناطیسی عبارتند از: چگالی جریان، SAR و چگالی توان. حفاظت در برابر اثرات مضر بر سلامتی مستلزم این است که از این محدودیت‌ها تجاوز نشود. در جداول (۲) و (۳) به ترتیب سطوح مرجع به هنگام قرارگیری پرتوکاران و عموم مردم در معرض تابش پرتوهای الکترومغناطیسی در محدوده فرکانس‌های رادیویی از ۳ مگاهرتز تا ۱۸ گیگاهرتز که دامنه بررسی و تحقیق این پژوهش بوده، آورده شده است.

می‌شود. با این حال چندین سازمان بزرگ بین‌المللی در خصوص ارائه استانداردها و رهنمودهای مختلف بر اساس اثرات میدان‌های الکترومغناطیسی بر بدن انسان فعالیت می‌کنند که از آن جمله می‌توان به سازمان بهداشت جهانی (WHO)، انجمن بین‌المللی حفاظت در برابر اشعه^۱ (IRPA)، کمیسیون بین‌المللی الکتروتکنیک^۲ (IEC)، مؤسسه مهندسان برق و الکترونیک^۳ (IEEE)، اتحادیه بین‌المللی مخابرات^۴ (ITU) و کمیسیون بین‌المللی حفاظت در برابر تشعشعات غیر یون‌ساز^۵ (ICNIRP) اشاره کرد. از طرفی سازمان بهداشت جهانی نتایج علمی گردآوری شده از سراسر جهان را که معمولاً حدود استاندارد آن بر پایه حدود ارائه شده توسط ICNIRP است، را ارزیابی می‌کند. در ایران وزارت ارتباطات و فناوری اطلاعات توسط سازمان تنظیم مقررات و ارتباطات رادیویی وظیفه مدیریت بر طیف فرکانسی کشور و همچنین اعطای پروانه به اپراتورهای تلفن همراه، را به عهده دارد. سازمان انرژی اتمی ایران به‌عنوان متولی نظارت بر اجرای قانون حفاظت در برابر اشعه در کشور، در زمینه بررسی نتایج اندازه‌گیری تشعشعات آنتن‌ها و مطابقت با مقررات حفاظت در برابر اشعه، و سازمان تنظیم مقررات و ارتباطات رادیویی همکاری بسیار نزدیکی در امر پایش امواج الکترومغناطیسی دکل‌های مخابراتی دارند.

تصویر غنی^۷

پس از کشف مسئله و آشنایی با مفاهیم مرتبط با آن با توجه به مبنای نظری پژوهش نسبت به ایجاد تصویر غنی شده اقدام شد. برای ایجاد این تصویر تلاش شده است تا تمام بازیگران اصلی و روابط ما بین آن‌ها به کمک علائم گرافیکی و ارائه توضیحات مختصر به نمایش گذاشته شود. از طرفی جهت طراحی چنین تصویری همان‌طور که در مطالعات صورت گرفته پیشین آمده است محدودیت‌های خاصی وجود ندارد و با قراردادن علائم گرافیکی مختلف و ارائه توضیحات کمکی در مواقع لزوم در بخش‌های مختلف تصویر می‌توان مخاطبان را در درک بهتر موضوع یاری کرد. بر همین اساس شکل (۳) تصویر غنی شده

5- International Telecommunication Union

6- International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection

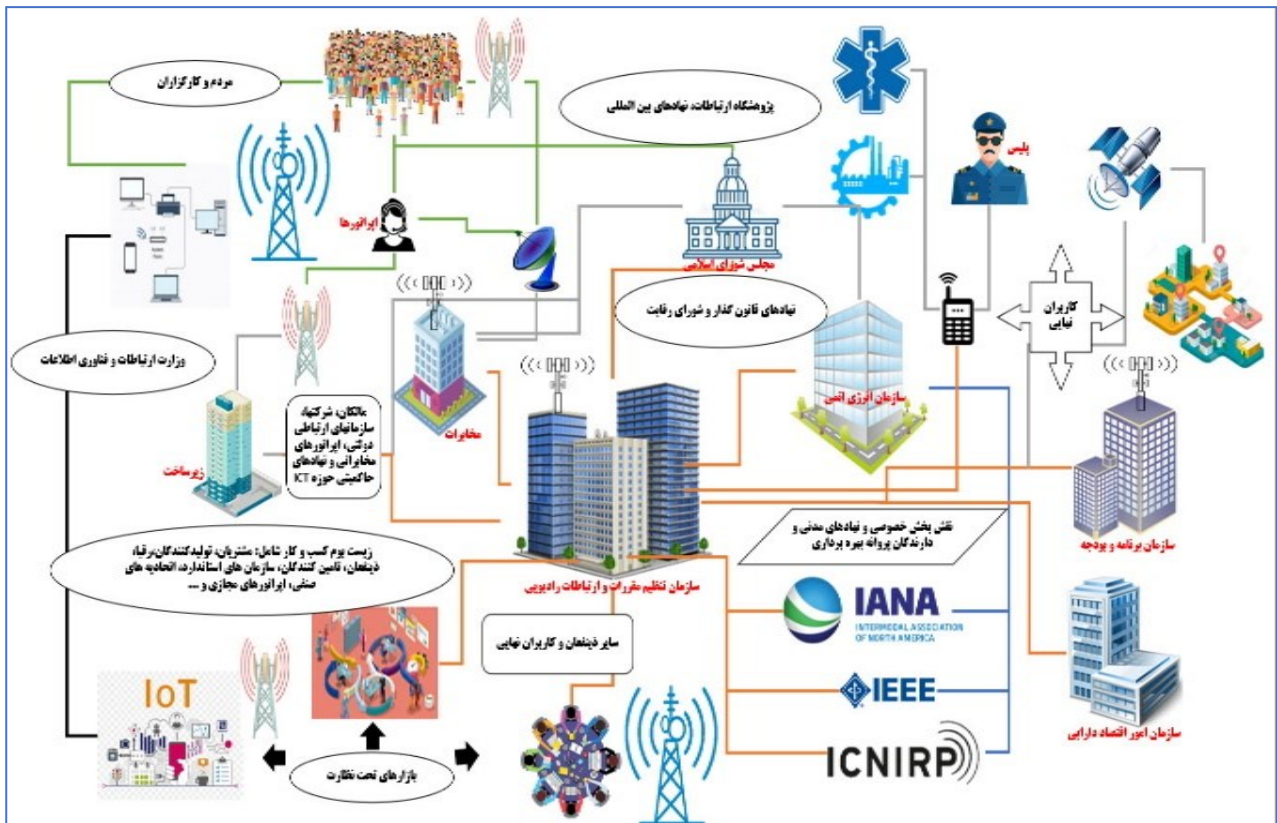
7- Rich-Picture

1- World Health Organization

2- International Radiation Protection Association

3- International Electrotechnical Commission

4- The Institute of Electrical and Electronics Engineers



شکل (۳): تصویر غنی شده از بازیگران اصلی و روابط آن‌ها در رابطه با تأثیر تشعشعات بر سلامت.

جدول (۲): حد آستانه مرجع به هنگام قرارگیری افراد شاغل در معرض تابش پرتوهای الکترومغناطیسی.

محدوده فرکانس (f)	حد شدت میدان الکتریکی E(V/m)	حد شدت میدان مغناطیسی H(A/m)	حد چگالی شار مغناطیسی B(μT)	حد چگالی توان موج تخت Seq (W/m ²)
۱ تا ۱۰ مگا هرتز	610 / f	1.6 / f	2.0 / f	-
۱۰ تا ۴۰۰ مگا هرتز	61	0.16	0.2	10
۴۰۰ تا ۲۰۰۰ مگا هرتز	3 f ^{1/2}	0.008 f ^{1/2}	0.01 f ^{1/2}	f / 40
۲ تا ۳۰۰ گیگا هرتز	137	0.36	0.45	50

جدول (۳): حد آستانه مرجع به هنگام قرار گیری عموم مردم در معرض تابش پرتوهای الکترومغناطیسی.

محدوده فرکانس (f)	حد شدت میدان الکتریکی E(V/m)	حد شدت میدان مغناطیسی H(A/m)	حد چگالی شار مغناطیسی B(μT)	حد چگالی توان موج تخت Seq (W/m ²)
۱ تا ۱۰ مگا هرتز	87 f ^{1/2}	0.73 / f	0.92 / f	-
۱۰ تا ۴۰۰ مگا هرتز	28	0.073	0.092	2
۴۰۰ تا ۲۰۰۰ مگا هرتز	1.37 f ^{1/2}	0.0037 f ^{1/2}	f ^{1/2} / 0.0046	f / 200
۲ تا ۳۰۰ گیگا هرتز	61	0.16	0.20	10

جدول (۴): مؤلفه‌های کاتوو مربوط به کل سیستم مرتبط با پژوهش.

عناصر	تعاریف
مشتریان (C)	مردم، ادارات، شرکت‌ها و کارخانجات.
بازیگران (A)	مردم (به‌ویژه افراد شاغل در حوزه فناوری اطلاعات و ارتباطات)، ادارات، شرکت‌ها و کارخانجات.
فرایند تبدیل (T)	<ul style="list-style-type: none"> • شناسایی انواع بیماری‌ها و تأثیرات روحی و روانی ناشی از قرارگیری در معرض تشعشعات الکترومغناطیسی. • گردآوری اطلاعات مربوط به حدود مجاز قرارگیری در معرض این تشعشعات. • اطلاع‌رسانی همگانی و عمومی مناسب برای بالابردن دانش جمعی از موضوع تأثیر تشعشعات بر سلامت افراد جامع به‌ویژه کودکان. • ارائه پیشنهاد معاینه و آزمایشات در بازه‌های زمانی مورد تأیید مالکان برای افراد شاغل در حوزه فناوری اطلاعات و ارتباطات در راستای تشخیص زودرس و پیشگیری.
جهان بینی (W)	تقویت دانش در زمینه تأثیر تشعشعات. الکترومغناطیسی بر سلامت افراد جامعه.
مالکان (O)	وزارت بهداشت، درمان و آموزش پزشکی - سازمان انرژی اتمی ایران - سازمان تنظیم مقررات و ارتباطات رادیویی.
عوامل محیطی (E)	<ul style="list-style-type: none"> • دستیابی به اطلاعات جامع و مفید در خصوص میزان تأثیرگذاری تشعشعات در گروه همکاری بهره‌برداران حوزه فناوری اطلاعات، قانون‌گذاران در این حوزه و همچنین وزارت بهداشت و درمان و آموزش پزشکی خواهد بود. • نظارت و اخذ مجوزهای مختلف از نهادهای مختلف برای احداث یا تولید و ارائه تجهیزات مخابرات تولید کننده امواج.

اثرات بیولوژیکی در واقع تغییرات فیزیکی، بیوشیمیایی یا رفتاری یک موجود زنده در پاسخ به محرک‌ها هستند. میدان‌های

در این دستورالعمل، 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 است.

مرحله ۳: تحلیل کاتوو منطبق با موضوع پژوهش

موضوعی که این پژوهش در روش شناسی نرم به بررسی آن پرداخته است. عدم وجود یک اثبات علمی در خصوص تأثیر داشتن یا نداشتن امواج الکترومغناطیسی ساطع شده از تجهیزات الکترونیکی همچون گوشی موبایل و BTS بر سلامتی افراد جامعه است. بررسی مطالعات و پژوهش‌ها و همچنین توصیه نامه‌های بین‌المللی امکان اظهار نظر دقیق در این خصوص را به افراد نمی‌دهد. علاوه بر این به دلیل نبود سیستم اطلاعاتی مناسب و پایگاه داده‌ای منسجم برای بیماری‌های ناشی از این تشعشعات هیچ‌گونه آمار دقیقی از میزان تأثیر گذاری امواج بر سلامتی اشخاص در دسترس نیست. در این مرحله تلاش شده است انواع اثرات بیولوژیکی و اختلالات ناشی از قرارگیری انسان در معرض امواج الکترومغناطیسی در قالب تحلیل کاتوو ارائه گردد. جدول (۴) مؤلفه‌های کاتوو مربوط به کل سیستم مرتبط با موضوع پژوهش را نشان می‌دهد.

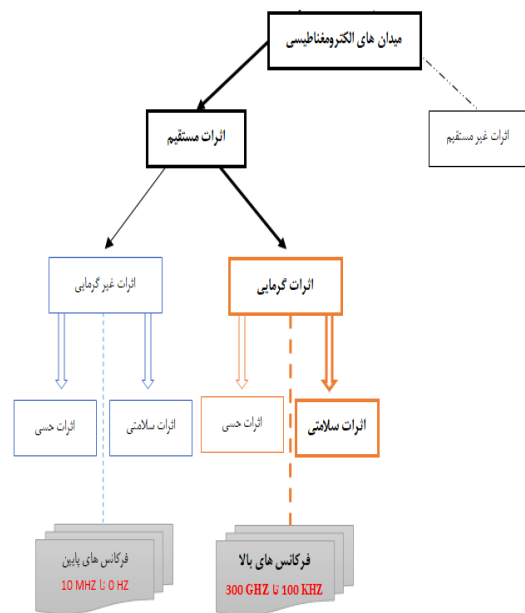
فرایند T : (اثرات بیولوژیکی و اختلالات ناشی از

قرارگیری انسان در معرض امواج الکترومغناطیسی)

با توجه به این‌که فرایند T به دنبال تبدیل ورودی‌ها (که در مراحل ۱ و ۲ SSM مشخص گردید) به خروجی‌های مطلوب می‌باشد و در تعریف برخی دیگر از عناصر کاتوو به آن ارجاع داده می‌شود به نظر می‌رسد شروع نمودن تحلیل کاتوو از T، کاری صحیح و مورد قبول باشد [۲۲]. در این پژوهش T به اثرات بیولوژیکی و اختلالات ناشی از قرارگیری انسان در معرض امواج الکترومغناطیسی پرداخته است.

پایه‌ای SSM از تکنیک دیمتل^۱ و گام‌های شش‌گانه آن برای تحلیل دقیق و تصمیم‌گیری نهایی جهت اولویت بندی تعداد ۵۰ معیار رگولاتوری در حوزه ارتباطات و فناوری اطلاعات به‌عنوان شاخص عملکردی استخراج شده از تحلیل پرسشنامه و مصاحبه خبرگانی ۳۲ نفری از صاحب نظران و اعضای هیأت علمی پژوهشکده مرکز تحقیقات مخابرات و مدیران ارشد اپراتورها و سازمان تنظیم مقررات و ارتباطات رادیویی استفاده شده است. این متدولوژی روابط بین معیارها و متغیرها را شناسایی می‌کند و خروجی دیمتل نموداری است که تصمیم‌گیرنده می‌تواند رفتار خود را با استفاده از آن ساختار دهد. با توجه به ویژگی مهم تکنیک مدل دیمتل در زمینه اندازه‌گیری چندین معیار مهم و همبستگی بین آن‌ها از روابط متقابل بین متغیرها پیش‌امواج رادیویی استفاده شده است. پس از شناسایی ارتباط بین متغیرها، مدل ساختاری طراحی شده در منطقه جنوب غرب سازمان تنظیم مقررات و ارتباطات رادیویی پیاده و شبیه‌سازی شد. و در ادامه سطح تشعشعات رادیویی آنتن‌های مورد شکایت مردمی با سطح تشعشع مورد ادعای اپراتورها مورد صحت‌سنجی قرار گرفت. بعد از این‌که تحلیل داده‌ها با استفاده از روش پایه‌ای SSM و همچنین فرآیند تحلیل رویکرد روش دیمتل با استفاده از مقایسه معیارها صورت پذیرفت نوبت به اعتبارسنجی یافته‌های تحقیق می‌رسد، در آخرین مرحله از روش ترکیبی به اعتبارسنجی مدل اختصاص دارد. که در این پژوهش با شبیه‌سازی مدل طراحی شده با روش نرم در منطقه جنوب غرب و با استفاده از روش شناسی ریاضی دیمتل در شهر اهواز میزان انتشار امواج رادیویی مورد تست و بررسی قرار گرفت. یافته‌های مدل نشان از بهبود عملکرد سازمان تنظیم مقررات و ارتباطات رادیویی و رضایت مدیران آن نهاد رگولاتوری بود. شکل (۵) مدل مفهومی و کاربردی این پژوهش را نشان می‌دهد که در آن تلاش شده است تمام عوامل مورد نیاز جهت بررسی تأثیر تشعشعات بر سلامت شهروندان گنجانده شود.

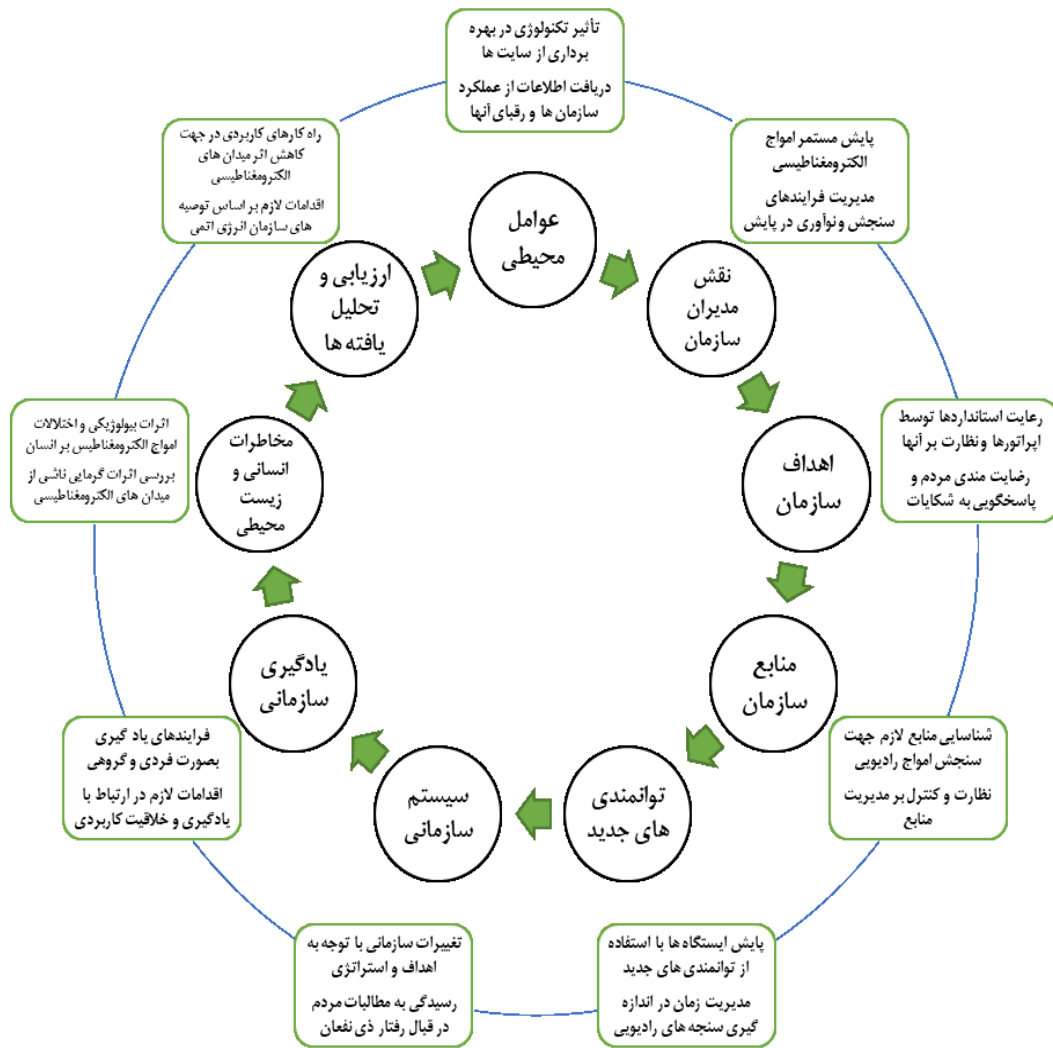
الکترومغناطیسی می‌تواند اثرات بیولوژیکی مختلفی را بر بدن انسان واقع در معرض تشعشع ایجاد کند. این اثرات ممکن است در فرکانس‌های بالا به‌صورت اثرات گرمایی، به واسطه ویژگی جذب انرژی میدان‌ها، و در فرکانس‌های پایین به‌صورت اثرات غیر گرمایی ناشی از ایجاد میدان‌های الکتریکی و جریان‌های القا شده در داخل بدن باشند. شکل (۴) انواع اثرات مستقیم و غیرمستقیم بیولوژیکی میدان‌های الکترو-مغناطیسی را نشان می‌دهد.



شکل (۴): اثرات مختلف تشعشعات میدان‌های الکترومغناطیسی.

مرحله ۴: ساخت مدل مفهومی

در این مرحله تعاریف و مفاهیم اصلی و ریشه‌ای در قالب مدل مفهومی ارائه می‌شود که انطباق با مرحله فرایند در مؤلفه‌های کاتوو مورد تأکید آن‌ها بوده است. این مدل در برگیرنده افعالی است که در تعاریف ریشه‌ای به کار گرفته شده است و در نهایت با ترتیبی منطقی به هم وصل شده است [۲۴]. نکته قابل توجه در این مرحله این است که مدل ترسیمی در این مرحله بر اساس توافقات عمومی دست اندرکاران و بر اساس تعاریف ریشه‌ای رسم شده است. در این پژوهش برای یافتن و حل مشکلات پیچیده ساختار دهی مسئله‌ی نهاد تنظیم‌گری علاوه بر روش



شکل (۵): مدل مفهومی این پژوهش.

تشعشعات الکترومغناطیسی بر سلامت شهروندان نیز گنجانده شود. در ادامه با توجه به این که یک مطالعه موردی واقعی جهت بررسی این موضوع صورت پذیرفته است به چگونگی انجام این مطالعه و تجزیه و تحلیل یافته‌ها پرداخته شده است.

۵. مطالعه موردی

با توجه به این که تقریباً در تمامی مطالعات و پژوهش‌های صورت گرفته در حوزه بررسی خطرات احتمالی تشعشعات الکترومغناطیسی بر سلامتی افراد، نتایج به گونه‌ای است که سطح تشعشعات اندازه‌گیری شده پایین تر از حد آستانه‌های تعیین شده است [۲۵]. در این مطالعه تلاش گردید طی انجام یک اندازه‌گیری دقیق با استفاده از "روش شناسی نرم و سخت" برای

مدل مفهومی در این پژوهش ۹ مرحله مرتبط با مورد مطالعه را پوشش می‌دهد که هر کدام می‌تواند تکمیل‌کننده دیگری باشد که به صورت زنجیر وار می‌بایست یکی پس از دیگری مورد تحلیل واقع شود با توجه به این که تحلیل لازم هر مرحله در تصویر ارائه شده است از باز کردن مفهوم مراحل در این قسمت خودداری شده است.

در این پژوهش تلاش شد موضوع مورد بحث با توجه به متدولوژی سیستم‌های نرم مورد تجزیه و تحلیل قرار گیرد که بنا به اقتضات از مراحل هفت‌گانه SSM تنها چهار مرحله جهت تشریح و به سرانجام رساندن موضوع مورد بحث کفایت کرد. در هر مرحله تلاش گردید همزمان با تشریح مفاهیم مربوط به آن مرحله، موضوع مورد مطالعه پژوهش یعنی بررسی تأثیر

- ۱- اندازه‌گیری سطح تشعشعات رادیویی بر اساس دستورالعمل اداره کل حفاظت در برابر اشعه، مرکز نظام ایمنی هسته ای کشور، سازمان انرژی اتمی ایران انجام شده است.
- ۲- مقادیر اندازه‌گیری شده بر اساس ضوابط کار با پرتوهای رادیویی و مایکروویو، مصوب مرکز نظام ایمنی هسته‌ای کشور، با حدود ارائه شده در استاندارد پرتوهای غیر یون‌ساز- حدود پرتوگیری با کد مصوب ۸۵۶۷ در سازمان ملی استاندارد ایران [۲۸]، مقایسه شده است.
- ۳- با بررسی اولیه مکان، اندازه‌گیری دقیق در جایی که بیش‌ترین شدت پرتو رادیویی در آن‌جا مشاهده شده، صورت گرفته است.
- ۴- در هر نقطه، اندازه‌گیری در ارتفاع های ۱۰۰، ۱۵۰ و ۱۷۰ سانتیمتری از سطح زمین صورت گرفته است.
- ۵- مدت زمان اندازه‌گیری در هر ارتفاع گفته شده در بند ۴، ۶ دقیقه است.
- ۶- با توجه به موقعیت اندازه‌گیری در محل‌های مختلف، مقادیر میانگین و حداکثر چگالی توان در مدت زمان ۶ دقیقه به‌عنوان نتیجه، در نظر گرفته شده است.

۳.۵. نتایج بررسی اندازه‌گیری میزان تشعشعات حد آستانه

حدود پرتوگیری از پرتوهای غیر یون‌ساز شامل پرتوهای الکترومغناطیسی در بازه فرکانسی از ۳ مگاهرتز تا ۱۸ گیگاهرتز که دامنه بررسی و تحقیق این پژوهش بوده، در استاندارد ملی ایران با عنوان "پرتوهای غیر یون‌ساز- حدود پرتوگیری" ارائه شده است. مطابق با این استاندارد کم‌ترین حد پرتوگیری مردم در باند فرکانسی تلفن همراه، $440 \mu\text{W}/\text{Cm}^2$ (میکرو وات بر سانتی متر مربع) معادل ۰.۴۴ میلی وات بر سانتی متر مربع است. در این پژوهش پس از شناسایی ۱۰ نقطه پر تردد جمعیت شهری که دکل‌های تلفن همراه در کلان‌شهر اهواز احداث شده بودند

اولین بار و به‌عنوان یک نوآوری، در این صنعت، سطح تشعشعات ساطع شده از دکل‌های مخابراتی تلفن همراه مورد بررسی قرار گیرد. در راستای انجام این اندازه‌گیری، ۱۰ نقطه در محدوده‌های پر جمعیت شهری، در مدارس، مناطق مسکونی و همچنین در مناطق عمومی که افراد تردد زیاد دارند و دکل‌های BTS کلان شهر اهواز در آن‌جا نصب شده‌اند، با همکاری سازمان تنظیم مقررات و ارتباطات رادیویی منطقه جنوب غرب انتخاب گردید. در ادامه این مقاله به مفاهیم مرتبط با موضوع، نحوه اندازه‌گیری و تحلیل نتایج به‌دست آمده پرداخته شده است.

۱.۵. شهر اهواز

شهر اهواز یکی از کلان شهرهای ایران است که در بخش مرکزی شهرستان اهواز قرار دارد. جمعیت این شهرستان طبق سرشماری مرکز آمار ایران در سال ۱۳۹۵ حدود ۱۴۳۰۳۰۰۰ نفر است (که با احتساب ۴۰۰ هزار نفری حاشیه شهر، جمعیت این شهر به بالای ۱۴۷۰۰۰۰۰ نفر می‌رسد). این شهر، هفتمین شهر پرجمعیت ایران به شمار می‌آید. شهر اهواز با مساحت ۱۸۶۵۰ هکتار، پنجمین شهر بزرگ ایران، محسوب می‌شود. در این مطالعه تلاش شده است که نقاط پرجمعیت و مورد شکایت مردمی را در شهر اهواز انتخاب و نسبت به اندازه‌گیری سطح تشعشعات اقدام گردد.

ابزارهای مورد نیاز جهت اندازه‌گیری سطح تشعشعات در این پژوهش جهت انجام اندازه‌گیری سطح تشعشعات از دستگاه اندازه‌گیری ساخت کارخانه ناردا^۱ با پروب EF-۱۸۹۱ استفاده شده است که توانایی اندازه‌گیری تشعشعات رادیویی در محدوده فرکانسی ۳ مگاهرتز تا ۱۸ گیگاهرتز را دارد.

۲.۵. روش اندازه‌گیری

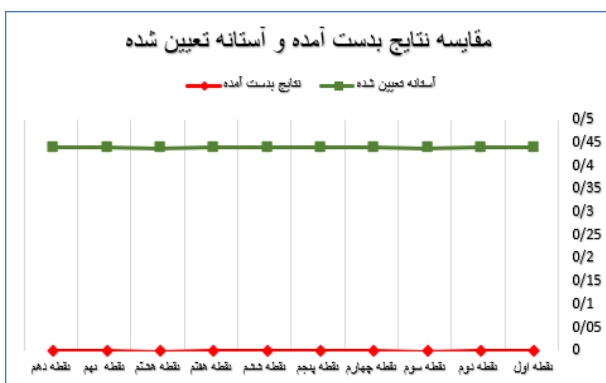
اندازه‌گیری تشعشعات رادیویی در کلان‌شهر اهواز به‌صورت زیر انجام شده است:

1 - NARDA_ NBM520

دقت را برای افزایش اعتبار نتایج در مرحله تجزیه و تحلیل مدنظر داشته‌اند و از دستگاه اندازه‌گیری کالیبره استفاده شده است. شکل (۷) مقایسه نتایج به‌دست آمده با حد آستانه استاندارد [۲۶] را نشان می‌دهد.

نتایج بررسی‌ها نشان می‌دهد در ۱۰۰ درصد نقاط، مقدار چگالی توان اندازه‌گیری شده به مراتب کم‌تر از حد آستانه به‌دست آمده است، در نتیجه در این نقاط میزان تشعشعات نگران‌کننده نیست. البته، منطبق با گام ۴ از مدل مفهومی توسعه داده شده (شکل ۵)، این اندازه‌گیری‌ها بایستی به‌طور مستمر تداوم داشته باشد.

همچنین طبق ابلاغیه‌های سازمان انرژی اتمی ایران [۲۷]، در صورتی که مقادیر اندازه‌گیری، بیش‌تر از حدود آستانه تعیین شده باشد، اپراتور شبکه ارتباطات سیار لازم است یک سری عملیات فنی و اجرایی و باز-طراحی را برای بهینه‌سازی سطح تابش ناشی از آنتن‌های سایت BTS در جهت یا جهت‌های مفروض انجام دهد، تا وقتی که مقادیر اندازه‌گیری شده به سطوح کم‌تر از حدود آستانه برسند (منطبق با گام ۲ از مدل مفهومی توسعه داده شده است (شکل ۵)).



شکل (۷): مقایسه نتایج به‌دست آمده با حد آستانه تعیین شده است.

۶. نتیجه‌گیری

در این مقاله مفاهیم تخصصی مرتبط با لزوم احراز ایمنی تابش میدان‌های الکترومغناطیسی ساطع شده از تجهیزات BTS شبکه‌های ارتباطات سیار روی آحاد جامعه، با زبان یک مدل

و بعضاً برخی از آن نقاط مورد شکایت مردمی واقع شده بودند اقدام به اندازه‌گیری میزان تشعشعات تا ۱۸ گیگاهرتز شد. نتایج این اندازه‌گیری در جدول (۵) مشخص شده است.

جدول (۵): نتایج کیفیت اندازه‌گیری شده در ۱۰ نقطه شهر اهواز.

نتیجه اندازه‌گیری ($\mu\text{W}/\text{cm}^2$)	مختصات اندازه‌گیری		نقاط اندازه‌گیری
	عرض جغرافیایی	طول جغرافیایی	
۰.۳	۳۱.۳۶۹۱۳۸	۴۸.۶۷۷۹۶۳	کیان‌آباد - خیابان ۳۸
۰.۳	۳۱.۳۶۴۷۷۷	۴۸.۶۷۸۴۹۹	کیان‌آباد ۱۸متری ۶
۰.۲	۳۱.۳۵۸۸۳۲	۴۸.۶۸۰۰۳۴	کیان‌آباد خ ۲۴ شرقی
۰.۵	۳۱.۳۵۲۸۴۹	۴۸.۶۷۷۱۱۵	کیان‌آباد - خ ۱۷
۰.۳	۳۱.۳۴۶۱۷۹	۴۸.۶۷۵۲۳۳	کیان‌آباد - خ سپهر
۰.۳	۳۱.۳۴۱۴۵۱	۴۸.۶۷۳۸۶۵	کیان‌آباد - خ ۲ غربی
۰.۴	۳۱.۳۴۲۸۱۶	۴۸.۶۷۷۸۶۶	کیانپارس خ میهن
۰.۲	۳۱.۳۴۶۸۵۷	۴۸.۶۷۹۶۹۰	کیانپارس خیابان ۶
۰.۴	۳۱.۳۵۳۲۱۵	۴۸.۶۸۱۳۲۱	کیانپارس ۱۵ غربی
۰.۳	۳۱.۳۵۱۵۶۶	۴۸.۶۹۲۴۵۸	کیانپارس خ-۱۷

۴.۵. تجزیه و تحلیل یافته‌ها

در این پژوهش از توصیه‌های سازمان ملی استاندارد ایران [۲۶] و دستورالعمل‌های رگولاتوری سازمان انرژی اتمی ایران [۲۷] جهت اندازه‌گیری سطح چگالی توان و مقایسه آن با حدود آستانه تعیین شده در استاندارد مذکور استفاده شده است و در انجام هر اندازه‌گیری، افراد متصدی اندازه‌گیری، بیش‌ترین حساسیت و

است اقدامات بهینه‌سازی برای کاهش تابش آنتن‌ها صورت پذیرد.

اگر چه نتایج به‌دست آمده به‌صورت واضح بسیار کم‌تر از حد آستانه است و تشعشعات نگران‌کننده نیستند، اما در حالت کلی بر اساس نظر مجامع علمی جهان، نمی‌توان احتمال ایجاد هر گونه آسیب‌پذیری بر بدن انسان را به‌طور کامل منتفی دانست. بنابراین پیشنهاد می‌شود برای بررسی اثرات بهداشتی ناشی از مواجهه با امواج دکل‌های مخابراتی مطالعات بیشتر تری در این زمینه صورت گیرد.

۷. تشکر و قدردانی

در پایان از مدیران و کارشناسان سازمان تنظیم مقررات و ارتباطات رادیویی منطقه جنوب غرب و اپراتورهای تلفن همراه که ما را در انجام این پژوهش یاری نمودند، کمال تشکر و قدردانی را داریم.

مفهومی توسعه یافته توسط نویسندگان مقاله تبیین گردید، مدلی که با ترکیبی از متدولوژی سیستم‌های نرم (SSM)، شیوه کار کاتوو، و تکنیک تصمیم‌گیری و ارزیابی دیمتل ایجاد شده است سپس به منظور بررسی میزان تشعشعات ناشی از تجهیزات شبکه ارتباطات سیار و تأثیرمحتمل آن‌ها بر سلامت شهروندان، یک اندازه‌گیری میدانی مطابق با استاندارد ملی ایران - حدود پرتوگیری غیریونیزان - کد ۸۵۶۷، آخرین ویرایش آن و مصوبات کمیسیون تنظیم مقررات ارتباطات به‌عنوان رگولاتوری از چگالی توان در ۱۰ نقطه پرجمعیت در کلان شهر اهواز صورت پذیرفت و نتایج با حدود آستانه تعیین شده قانونی مقایسه گردید. اگر چه نتایج به‌دست آمده به‌صورت واضح گویای ریسک بسیار ناچیز سطح تشعشعات از نظر سلامتی افراد جامعه بود، مطابق با گام ۴ از مدل مفهومی توسعه داده شده لازم است اندازه‌گیری‌های مشابه به‌طور مستمر تداوم داشته باشد. همچنین مطابق با گام ۲ از مدل مفهومی توسعه داده شده، در مواردی که نتایج اندازه‌گیری از حدود آستانه‌ای قانونی بیش‌تر باشند، لازم

۸. مراجع

1. M. J. Ortner, M. J. Galvin, D. I. McRee. Studies on acute in vivo exposure of rats to 2450 MHz microwave radiation. *Radiat. Res.* 86 (1981) 580-588.
2. R. W. Y. Habash. *Electromagnetic Fields and Radiation Human Bioeffects and Safety*. CRC Press. Health Effects, Elsevier, 2018.
3. R. Acharya, D. Kumar, G. Mathur. *Study of Electromagnetic Radiation Effects on Human Body and Reduction Techniques*. In: Optical and Wireless Technologies, Springer, Singapore, 2018.
4. G. H. Stephen. *The Systems Thinking Approach to Strategic Planning and Management*. Boca Raton, London, 2000.
5. M. Rosenhead, J. Mingers (eds.). *Rational Analysis for a Problematic World Revisited*, 2nd edn., John Wiley & Sons, Chichester, 2001.
6. J. Mingers, Soft OR comes of age—but not everywhere!. *Omega* 39 (6) (2011) 729-741.
7. P. Check land, S. Holwell. *Information, Systems and Information Systems-Making Sense of the Field*. Wiley, Chichester, 1998.
8. L. J. Fine, Surveillance in occupational health, *Int. J. Occup. Environ. Health* 5 (1999) 26-29.
9. J. D. Schipper, D. D. Dankel, A. A. Arroyo, J. L. Schauben. A knowledge-based clinical toxicology consultant for diagnosing single exposures. *Art. Intell. Med.* 55 (2) (2012) pp. 87- 95.
10. P. B. Check land. *Systems Thinking, Systems Practice*. John Wiley & Sons, Chichester, 1999.
11. R. Durusoy, H. Hassoy. *Electromagnetic Fields from Mobile Phones and Their Base Stations: Health effects, Encyclopedia of Environmental Health*. 2nd edn, Ege University Medical School, Izmir, Turkey, 2019.
12. T. Miah, D. Kamat. Current Understanding of the Health Effects of Electromagnetic Fields. *Pediatric Ann.* 46 (4) (2017) e172-e174.
13. J. D. Usman, U. M. Isyaku, R. A. Magaji, A. A. Fasanmade. Assessment of electromagnetic fields, vibration and sound exposure effects from multiple transceiver mobile phones on oxidative stress levels in serum, brain and heart tissue. *Sci. African* 7 (2020) e00271.

14. D. Kumar, G. Mathur, R. Acharya. *Study of Electromagnetic Radiation Effects on Human Body and Reduction Techniques*. In: V. Janyani, M. Tiwari, G. Singh, P. Minzioni (eds), *Optical and Wireless Technologies. Lecture Notes in Electrical Engineering*, vol 472. Springer, Singapore, 2018.
15. A. Cabré-Rieraa, H. El Marround, R. Muetzel, L. van Wel, I. Liorni, A. Thielens, L. E. Birks, L. Pierotti, A. Huss, W. Joseph, J. Wiart, M. Capstick, M. Hillegers, R. Vermeulen, E. Cardis, M. Vrijheid, T. White, M. Rössli, H. Tiemeier, M. Guxens. Estimated whole-brain and lobe-specific radiofrequency electromagnetic fields doses and brain volumes in preadolescents. *Environ. Int.* 142 (2) (2020) 105808.
16. L. E. Birks, B. Struchen, M. Eeftens, L. van Wel, A. Huss, P. Gajšek, L. Kheifets, M. Gallastegi, A. Dalmau-Bueno; M. Estarlich, M. F. Fernandez, I. K. Meder, A. Ferrero, A. Jiménez-Zabala, M. Torrent, T. G. M. Vrijkotte, E. Cardis, J. Olsen, B. Valič, R. Vermeulen, M. Vrijheid, M. Rössli, M. Guxens. Spatial and temporal variability of personal environmental exposure to radio frequency electromagnetic fields in children in Europe. *Environ. Int.* 117 (2018) 204–214.
17. A. Yahyazadeh, B. Z. Altunkaynak. Investigation of the neuroprotective effects of thymoquinone on rat spinal cord exposed to 900 MHz electromagnetic field. *J. Chem. Neuroanat.* 100 (2019) 101657.
18. G. Beretta, A. F. Mastorgio, L. Pedrali, S. Saponaro, E. Sezenna. The effects of electric, magnetic and electromagnetic fields on microorganisms in the perspective of bioremediation. *Rev. Environ. Sci. Biotechnol.* 18 (2019) 29–75.
19. M. M. Ohayon, V. Stolc, F. Freund, C. Milesi, S. S. Sullivan. The potential for impact of man-made super low and extremely low frequency electromagnetic fields on sleep. *Sleep Med. Rev.* 47 (2019) 28e38.
20. G. A. S. Cruz. Microdosimetry: Principles and applications. *Rep. Pract. Oncol. Radiother.* 21 (2) (2016) 135–139.
21. B. Ghandchi, T. Archer, D. Garcia. Electromagnetic Fields and Human Beings: A person-centered approach to human technology. *Clin. Exp. Psychol.* 2 (3) (2016) 138.
22. S. Z. Fatemi, A. Azar, A. Moghbelbaarz, A. khadivar. Exploring the concept of strategic renewal with soft system methodology. *Sterategic Management Thought.* 13 (1) (2019) 165-188. [in Persian]
23. L. Bodewein, K. Schmiedchen, D. Dechent, D. Stunder, D. Graefrath, L. Winter, T. Kraus, S. Driessen. Systematic review on the biological effects of electric, magnetic and electromagnetic fields in the intermediate frequency range (300 Hz–1 MHz). *Environ. Res.* 171 (2019) 247-259.
24. D. Poljak, K. E. Drissi. *Computational Method in Electromagnetic Compatibility: Antenna Theory Approach versus Transmission line Models*. Wiley Online Library, 2018.
25. IRISI. Exposure Limits Non-Ionization Radiation. ISIRI 8567. Tehran: Institute of Standards and Industrial Research of Iran. 1385. [In Persian]
26. National Standard of Iran - Limits of non-ionizing radiation - Code 8567, last edition 2015. [In Persian]
27. The document form of the investigation and measurement of the level of radio radiation of the complained antennas - Iran Mobile Communications Company - with document code: page 6, table 3, measurement results FO-309-01/100. [In Persian]