مطالعه کمی میزان اثرگذاری امواج الکترومغناطیس غیریونیزان بر سیستم عصبی

محمد ستاری کیکله[1*]، محمد ناصح طالبی[2]، فرزانه زرین[3]، مهدی فخیمی کامران[4]، شادی اکبری[5]

1. استادیارگروه زیست‌شناسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه ملایر، ملایر، ایران

2. استادیار مدل‌سازی شناختی، مؤسسه آموزش عالی علوم‌شناختی، تهران، ایران

3. دانشجوی کارشناسی ارشد زیست‌شناسی سلولی و مولکولی- بیوفیزیک، دانشگاه صنعتی مالک اشتر، تهران، ایران

4. دانشجوی دکتری گروه روان‌شناسی شناختی اجتماعی، مؤسسه آموزش عالی علوم شناختی، تهران، ایران

5. استادیار گروه علوم اعصاب‌شناختی، دانشکده علوم نوین پزشکی، دانشگاه علوم پزشکی تبریز، تبریز، ایران

* نویسنده مسول: m.satari@modares.ac.ir

دریافت: 1401/2/30 پذیرش: 1402/11/16

چکیده

با گسترش روزافزون امواج الکترومغناطیسی در محیط زندگی، نگرانی در مورد آثار مضر این امواج بر سلامت انسان افزایش پیدا کرده است. هرچند، مطالعه‌های زیادی در مورد آثار زیستی پرتوهای غیریونیزان انجام شده است، اما هنوز در مورد آثار این تابش‌ها به‌طور ویژه بر سیستم عصبی قطعیت وجود ندارد. نتایج به‌دست‌آمده از مطالعه‌ها در مورد آثار این تابش‌ها اختلاف زیادی دارند و حتی نتایج متضاد هم گزارش شده است. براساس نتایج منتشرشده، هنوز نمی‌توان نتیجه گرفت که آیا پرتوهای الکترومغناطیسی غیریونیزان به سیستم عصبی آسیب می‌رساند یا خیر. هدف از این مطالعه بررسی و تحلیل مقاله‌های منتشرشده درباره آثار تابش الکترومغناطیسی غیریونیزان بر سیستم عصبی برای استخراج داده‌های کمی از اثرگذاری این امواج است. در آغاز مقاله‌های منتشر شده در پایگاه داده ORSAA بررسی شد. سپس به دو دسته پارامترهای سلولی و مولکولی و پارامترهای عصبی و شناختی تقسیم شدند. نتایج به‌دست‌آمده از بررسی‌های و آنالیزهای کمی مقاله‌های موجود در پایگاه دادهORSAA نشان داد، در دسته پارامترهای سلولی و مولکولی امواج الکترومغناطیس غیریونیزان بیشترین اثرگذاری را بر تغییر فعالیت آنزیم‌ها و آسیب به پروتئین‌ها با 418 مورد دارند. همچنین در دسته پارامترهای عصبی و شناختی امواج بیشترین اثرگذاری را بر رفتار و آثار شناختی با 171 مورد گزارش‌شده، دارند.

واژه‌های کلیدی: تابش الکترومغناطیس غیریونیزان، سیستم عصبی، باندهای فرکانسی، پایگاه داده ORSAA.

[Downloaded from biot.modares.ac.ir on 2024-12-26]

1- مقدمه

امروزه به دلیل پیشرفت فناوری و نیاز به ارتباطهای سریع تر، استفاده از امواج الکترومغناطیسی گسترش پیدا کرده است. بیشتر فناوری‌های بدون سیم شامل انواع امواج رادیویی، تلفن همراه، رادار، سیستم ماکروویو و ایستگاه پخش امواج تلویزیونی، دستگاه‌های صوتی و تصویری و... در حال انتشار امواج الکترومغناطیس هستند. میدان الکترومغناطیسی ساخته‌شده به‌وسیله انسان (EMF[1]) و تشعشعات مرتبط با آن تابش الکترومغناطیسی (EMR) در چند دهه گذشته به میزان 12 مرتبه افزایش پیدا کرده است [1] و اکنون به‌عنوان یکی از منابع آلودگی محیط‌زیست به شمار می‌رود. در سال‌های پیشین، استفاده از تلفن همراه در نزدیکی مغز به کانون اصلی بسیاری از پژوهش ها تبدیل شده است. با افزایش سطح مواجهه EMF ساخته‌شده به‌وسیله بشر که به آن EMR[2] نیز گفته می‌شود،

این سؤال مطرح می‌شود که آیا سلامتی و رفاه عمومی کوتاه‌مدت یا بلندمدت به خطر می‌افتد؟ امواج الکترومغناطیسی گستره وسیعی دارند و امواج با طول موج کوتاه و انرژی زیاد مثل امواج گاما و ایکس تا امواج با طول موج بلند و انرژی کم ازقبیل امواج رادیویی را شامل می‌شوند.

بخشی از امواج الکترومغناطیس که انرژی لازم برای تأثیر بر سطح اتمی و خارج‌کردن الکترون از تقید هسته را دارد، تابش یونیزان[3] می‌نامند. بخشی از امواج الکترومغناطیس که انرژی لازم برای تأثیر بر سطوح اتمی و کندن الکترون از اتم و مولکول را ندارد، تابش غیر یونیزان نام دارد [2]. امواج غیر یونیزان طول موج بالای 100 نانومتر دارند. انرژی این امواج کمتر از 12,4 الکترون ولت است و بسامد آنها 1 تا 1015 هرتز (HZ) است [3].

میدان‌های الکترومغناطیسی (EMFs) با توجه به فرکانس به سه دسته فرکانس خیلی پایین[4](ELF) امواج با فرکانس از 0 تا 300 هرتز [4]، فرکانس بالا[5] و امواج میکروویو (از300 مگاهرتز تا 300 گیگاهرتز) تقسیم می‌شوند [5]. امواج غیریونیزان توانایی نفوذ به بافت‌های موجود زنده را دارند. زمانی‌که انسان در معرض این امواج قرار می‌گیرد، به دلیل اختلاف ویژگی‌های الکتریکی بافت زنده با محیط، تغییراتی در این امواج به وجود می‌آید. بخشی از امواج تابیده‌شده به درون بافته نفوذ می‌کند و میزان اثرگذاری به قابلیت نفوذ امواج تابیده شده و نوع بافت هدف وابسته است. میزان نفوذ در بدن انسان به طول موج و فرکانس امواج وابسته است، برای مثال امواج میکروویو به اندازه یک دهم طول موج خود (میلیمتر) نفود می‌کنند، اما امواج با طول موج دسی‌متر به عمق بیشتری نفود می‌کنند. از حیث فرکانس هم عمیق‌ترین نفوذ در فرکانس 0,9 گیگا هرتز و کمترین نفوذ در فرکانس 9گیگا هرتز اتفاق می‌افتد [3]. عامل نفوذپذیری امواج الکترومغناطیسی جزء مغناطیسی این امواج است. به همین دلیل هم میدان‌های مغناطیسی ایستا میزان نفوذپذیری بالایی به بافت هدف دارند و آثار زیستی این میدان‌ها به دلیل نفوذپذیری به‌نسبت بالای آنها است [6؛ 7].

آثار گرمایی و غیرگرمایی دو سازوکار برهم‌کنش امواج غیریونیزان بر موجود زنده است که اختلاف این دو سازوکار تولید یا عدم تولید حرارت در بافت زنده است. در آثار گرمایی، جذب انرژی امواج (در فرکانس میکروویو) به‌وسیله مولکول‌های آب و الکترولیت‌ها منجر به ارتعاش شده و درنتیجه این ارتعاش در بافت هدف، گرما تولید می‌شود [8]. تولید گرما در حضور نانوذرات مغناطیسی در فرکانس‌های بسیار کم هم رخ می‌دهد [9]. پاسخ دمایی موجود زنده به عوامل بسیاری وابسته است،

1 -Electromagnetic field
2 -Electromagnetic radiation
3 -Ionising radiation

4 -Extremely low frequency
5 -High frequency

[Downloaded from biot.modares.ac.ir on 2024-12-26]

اما بیشترین خطرپذیری آسیب در نواحی که شبکه عروقی وجود ندارد مثل عدسی چشم وجود دارد. آثار دیگر نیز می‌تواند در افزایش آستانه اعصاب درد خود را نشان دهد [10]. آثار غیرگرمایی به علت برهم‌کنش مستقیم امواج با مولکول‌ها یا اجزای بافتی بدون ایجاد حرارت ایجاد می‌شود. آثار غیرگرمایی بر ویژگی‌های بیوشیمیایی و الکتروفیزیولوژی بافت‌ها تأثیر می‌گذارد و منجر به تغییر در سیستم‌های عصبی ایمنی و .. می‌شود. همچنین اشباع دی‌الکتریک که در محلول‌های پروتئینی و مولکول‌های زیستی در اثر اعمال امواج الکترومغناطیس به وجود می‌آید، از آثار غیرگرمایی محسوب می‌شود [10].

در بین دستگاه‌ها و اندام‌های مختلف، دستگاه عصبی بیشترین حساسیت را به امواج الکترومغناطیس دارد. جانسون و گای بیان کردند که سیستم عصبی مرکزی به دلیل ماهیت الکتریکی خود حساس‌ترین ساختار در کل بدن نسبت به امواج میکروویو در شدت‌های زیر آستانه‌های گرمایی است. سوسینکی گزارش داد که امواج در فرکانس 0,2 تا 3 گیگاهرتز در مد پالسی پاسخ شنوایی افراد به‌صورت وزوز گوش به همراه داشته است [3]. اثرهایی ازقبیل به هم‌خوردن الگوی خواب، سردرد، میگرن، انواع تومورهای مغزی تأثیر بر فعالیت نرونی تأثیر بر جریان خونی ورودی به مغز و ... در اثر تابش امواج غیریونیزان به سیستم عصبی گزارش شده است [11-13]. امواج به‌صورت مستقیم یا غیرمستقیم بر سیستم عصبی عمل می‌کنند و منجر به تغییرات شیمیایی الکتریکی و ریخت شناسی در آن شده و درنهایت منجر به تأثیرات نورولوژیکی می‌شود. این تغییرات خود را به‌صورت تغییرات روان‌شناسی ازقبیل حافظه، توانایی یادگیری و احساس نشان می‌دهند. امواج الکترومغناطیس بر فعالیت الکتریکی مغز نیز تأثیر می‌گذارند. این تأثیر بسته به اینکه فرد در حال چه فعالیتی است، نتایج متفاوتی دارد [14]. امواج الکترومغناطیس در فرکانس خیلی بالا موتور اعصاب را تحریک می‌کنند. این تأثیر منجر به کاهش آستانه تحریک عصب گالوانیک و انقباض‌کننده نواحی که این عصب درگیر است، می‌شود [15]. فاکتورهای بسیاری بر تأثیر امواج غیریونیزان بر سیستم عصبی اثرگذارند. یکی از این عوامل شرایط سنی فردی است که در معرض این امواج قرار گرفته است. مطالعات نشان می‌دهد که دستگاه عصبی کودکان به علت میزان بیشتر آب و همچنین رسانایی بیشتر حساسیت خیلی بیشتری به امواج نشان می‌دهند [16]. علاوه‌بر شرایط سنی فاکتورهایی ازقبیل، شدت و فرکانس امواج، مدت زمان اعمال، شرایط محیطی و... بر میزان تأثیر امواج غیریونیزان بر سیستم عصبی مؤثرند.

مطالعاتی هم بی‌اثربودن امواج غیریونیزان را بر دستگاه عصب مرکزی گزارش کرده‌اند [17]. همچنین سازمان جهانی بهداشت در سال 2002 به علت وجود نداشتن شواهد کافی بر اثرگذاری امواج بر سلامتی انسان، این امواج را بی‌خطر گزارش داد. از میان گستره وسیع امواج غیریونیزان بیشترین مطالعه بر تأثیر امواج تلفن همراه (900 تا 1800 مگاهرتز) انجام شده است. این امواج می‌تواند بر ناحیه عملکردی شناختی مغز تأثیر بگذارد. تأثیر امواج تلفن همراه بر خطرپذیری ابتلا به تومور دستگاه عصبی مرکزی در 13 کشور بررسی شد. شدت فرکانس خروجی از تلفن همراه، مدت زمان استفاده، نوع تلفن همراه استفاده‌شده در منطقه جغرافیایی می‌تواند در احتمال ابتلا مؤثر باشد [14]. نتایج بعضی از آزمایش‌ها نشان می‌دهد که آثار امواج رادیویی با گذشت زمان و استفاده مداوم تجمع پیدا می‌کنند. بیشتر انرژی آنتن‌های تلفن همراه به‌وسیله پوست و پروتئین‌های قشر مغز جذب می‌شوند [18]. صحبت‌کردن با تلفن همراه منجر به آثار گرمایی در سطح سر شده و منجر به افزایش دمای مغز می‌شود [19]. سیستم تنظیم‌کننده دمای مغز با افزایش جریان خون به آن ناحیه، درصدد کاهش دمای آن

[Downloaded from biot.modares.ac.ir on 2024-12-26]

برمی‌آید. همچنین متابولیسم گلوکز در آن ناحیه افزایش پیدا می‌کند [20]. با وجود تمامی مطالعه‌های انجام‌شده هنوز درباره آثار غیریونیزان امواج الکترومغناطیسی قطعیت وجود ندارد. یکی از دلایل این مسئله سخت‌بودن بررسی آثار بیولوژیک این امواج است که به‌شدت تابش، فرکانس تابش، توانایی نفوذ به بافت هدف و ویژگی‌های جذبی بافت هدف وابسته است. آهنگ ویژه جذب[1](SAR) برای توصیف میزان انرژی نفوذ یافته در زمان اعمال تابش الکترومغناطیس به ازای وزن بافت هدف با واحد وات بر کیلوگرم (W/kg) استفاده شد [21]. مشاهده‌های تئوریکی نشان داده است که پیک SAR در بافت‌های سر در محدوده 2- 8 W/kg به ازای وات خروجی دستگاه است [22-24].

با توجه مطالعه‌های فراوانی که در ارتباط با امواج الکترومغناطیس غیریونیزان و آثار بیولوژیک آن انجام شده است، اما همچنان در ارتباط با آثار قطعی این امواج بر سیستم‌های بیولوژیک نمی‌توان با قاطعیت اظهارنظر کرد. نتایج به‌دست‌آمده از مطالعه‌های انجام‌شده پیرامون آثار امواج الکترومغناطیس بر سیستم عصبی در شرایط خاص آن مطالعه به دست آمده است و با تغییر شرایط و متغیرهای اثرگذار نتایج قابل تکرار نیست. برای همین آثار متضاد در مطالعه‌ها دیده می‌شود. به عبارت دیگر هنوز درباره این امواج جمع‌بندی وجود ندارد که چه فاکتورهایی (ازقبیل مدت اعمال فرکانس و شدت تابش، نوع بافت و..) بر سیستم عصبی اثرگذارتر هستند و آیا آثار این امواج قابل تکرار هستند یا خیر، برای مثال گزارش های بسیاری از احساس سرگیجه [25-26] بعد از تابش امواج یونیزان گزارش شده است، یکی از دلایل احساس سرگیجه بعد از اعمال تابش، نشت یون کلسیم از سلول‌های مغزی است که موجب سردرد و سر گیجه می‌شود [27]. این موضوع در حالی است که اگر همان تابش بر همان فرد در زمان دیگری اعمال شود، ممکن است احساس سرگیجه در آن فرد ایجاد نشود.

هدف از انجام این مطالعه بررسی آثار امواج الکترومغناطیس غیریونیزان بر سیستم عصبی و همچنین بررسی گزارش‌های منتشرشده آنالیز و تجزیه‌وتحلیل آماری مطالعات است. از آن‌جایی‌که نتایج و گزارش‌های ضد و نقیضی در مورد آثار امواج الکترومغناطیس غیر یونیزان وجود دارد، همیشه این سؤال مطرح است که چه موجی می‌تواند اثر مشخص را به‌صورت تکرارپذیر ایجاد کند؟ پاسخ به این سؤال با توجه به مطالعه‌های انجام‌شده ناممکن است. اما می‌توان با آنالیز مطالعه‌ها و بررسی کمی و آماری این مطالعه‌ها به این نتیجه رسید که چه فرکانسی از امواج اثرگذاری بیشتری دارند و یا چه آثاری با توجه به مطالعه‌های انجام‌شده فراوان‌تر هستند؟

2- آثار امواج الکترومغناطیس غیریونیزان بر سیستم عصبی

مطالعه‌های کلینیکی و آزمایشگاهی بسیاری در مورد آثار طیف انواع امواج الکترومغناطیس غیریونیزان بر سیستم‌های عصبی انجام شده است. مطالعه‌های جامع تأثیر امواج بر تغییرات بافتی، عملکرد دستگاه عصب مرکزی و محیطی جانوران در شوروی و در غرب در دهه 1950 -1960 شروع شد. تولوگ اسکایا و گوردون[2] در سال 1973 خلاصه کارهای شوروی و غرب رو به صورت مدون و با رویکرد آثار گرمایی و غیرگرمایی امواج بر فعالیت عصبی موجودات منتشر کردند. بیشتر مطالعه آنها بر آثار غیرگرمایی متمرکز بود و موش اولین موجودی بود که آنها در آزمایش‌های خود استفاده کردند [28].

سال 1975 رابرت و همکاران امواج غیریونیزان در ناحیه میکروویو و در زمان‌های مختلف به موش تاباندند، گزارش دادند که این امواج هیچ اثر مخربی بر سیستم

1-Specific absorption rate

2 - Tolgskaya and Gordon

[Downloaded from biot.modares.ac.ir on 2024-12-26]

عصب مرکزی موش‌ها ندارد [29]. با گسترش استفاده از امواج رادیویی نگرانی‌های تأثیر این امواج بر سیستم عصبی (جایی که فعالیت سایر بافت‌ها را کنترل می‌کند) افزایش پیدا کرد و مطالعه‌های زیادی هم بر آثار امواج رادیویی بر سیستم عصبی مرکزی انجام شد. در اولین مراحل پژوهش‌ها بر آثار امواج الکترومغناطیس نشان داده شد که تغییرات رفتاری در موجود زنده شاخص‌ترین تغییر در اثر اعمال اموج رادیویی است [30]. اولین مطالعه‌های تیم روسی در سال 1970 نشان داد که امواج رادیویی در شدت بالا و زمان طولانی منجر به تغییرات مورفولوژیکی در مغز می‌شود که این تغییرات شامل خونریزی، ادم و تشکیل خلأ در سلول‌های عصبی بود. حتی این آثار در شدت‌های پایین این امواج هم گزارش شد [28؛ 31]. در سال 1975 البرتس و همکاران در سلول‌های هیپوتالموس و ناحیه شبه‌قدامی مغز در اثر تابش امواج رادیویی تغییراتی مشاهده کردند. این تغییرات شامل تورم در سلول‌های عصبی با سیتوپلاسم متراکم و تعداد اندامک‌های شبکه آندوپلاسمی و ریبوزم کاهش پیدا کرده بود که نشان‌دهنده کاهش پروتئین‌سازی این سلول‌ها بود درحالی‌که این تغییرات در تالاموس، هیپوکامپ، ساقه مغز، مخچه و نخاع مشاهده نشد [32]. یکی از مهم‌ترین نگرانی‌ها درمورد تأثیر امواج این است که آیا این امواج بر سد خونی مغزی[1] اثرگذار هستند؟ تأثیر بر سد خونی مغزی منتج به تغییر ریخت شناسی، فیزولوژیکی، متابولیکی و ژنتیکی در دستگاه عصبی می‌شود که این تغییرات ممکن است دائمی یا موقت باشد [18]. چانگ و همکاران نشان دادند که میزان نفوذپذیری آلبومین لیبل شده با ید 131 به مغز سگ در اثر تابش امواج رادیویی 1000مگاهرتز افزایش معناداری پیدا کرد [33]. لین و همکاران گزارش دادند که تابش امواج رادیویی به سر موش‌ها تغییری در نفوذپذیری مغز آنها ندارد [34]، اما با تغییر SAR و شرایط قبلی میزان نفوذپذیری افزایش پیدا می‌کند و همزمان دمای مغز به 43 درجه سانتی‌گراد افزایش پیدا کرد [35] . مطالعه‌های دیگر هم افزایش دمای مغز همزمان با افزایش نفوذپذیری را تأیید کردند که نشان می‌دهد افزایش دما نقش حیاتی در افزایش نفوذپذیری یا عبور بیشتر مواد از سد خونی مغزی دارد [36؛ 37]. هرچند بیشتر مطالعه‌ها نشان می‌دهد که امواج رادیویی با شدت کم به دلیل عدم تغییر در دمای مغز تأثیری بر نفوذپذیری سد خونی مغزی ندارد [38-40]، مطالعاتی هم افزایش نفوذپذیری مغز را در اثر اعمال امواج رادیویی با شدت کم گزارش داده‌اند [41]. اولین بار در سال 1997 آقای اسکار و همکاران تأثیر امواج رادیویی را بر سد خونی و مغزی مطالعه کردند و نشان دادند این امواج باعث افزایش نفوذپذیری سد خونی مغزی می‌شود [42]. جنسیت هم می‌تواند در میزان نفوذپذیری سد خونی مغزی مؤثر باشد، سیراو و همکاران در سال 2016 گزارش دادند که جنسیت موش در میزان نفودپذیری سد خونی مغزی اثرگذار است و نفوذپذیری سد خونی مغزی موش‌های نر در 1800 مگاهرتز و موش‌های ماده در 900 مگاهرتز بیشینه بود [43].

بردلی و همکاران الگویی را برای توصیف فیزیک تحریک نرون‌ها در اثر اعمال امواج الکترومغناطیس ارائه دادند. در این الگواز معادلات مکسول برای پیش‌بینی توزیع مؤلفه الکتریکی امواج الکترومغناطیسی در نرون‌ها و توصیف پاسخ نرون‌ها به این میدان الکتریکی استفاده شد. آنها اثبات کردند که فیبرهای نرونی با میدان الکتریکی موازی با فیبرهای نرونی تحریک می‌شود که ممکن است پتانسیل عمل را در این فیبرها ایجاد کند. نویسندگان بیان کردند اگر ولتاژ اعمال‌شده زیر آستانه باشد، تحریکی انجام نمی‌شود و ولتاژ میرا است و اگر ولتاژ بالای آستانه تحریک باشد (بالای 32,5 ولت) پتانسیل عمل ایجاد می‌شود [44]. هینریکوس و همکاران

1 -Blood-Brain-Barrier

[Downloaded from biot.modares.ac.ir on 2024-12-26]

سرعت انتشار پالس عصبی را در حضور و عدم حضور امواج میکروویو در جهت‌های مختلف پلاریزه‌شدن نرون‌ها بررسی کردند. بررسی بیش از 20 اندازه‌گیری نشان داد که امواج ماکروویو باعث افزایش معنادار سرعت حرکت فیبرهای نرونی انسان شد و همچنین نفوذپذیری غشای اکسون‌ها و فیبرهای عصبی افزایش پیدا کرد [45]. شنیدر و پکر[1] آثار غیرگرمایی امواج ماکروویو ضعیف را بر فیبرهای نرونی بررسی کردند. مشاهده‌های آنها نشان داد که این امواج می‌تواند لرزش مکانیکی اولتراسونیک را القا کند و از این راه باعث تخریب پروتئین‌های انتقال دهنده غشایی شده و منجر به تغییر در پتانسیل عمل و استراحت در فیبرهای نرونی شود [46]. سازوکار تأثیر امواج میکروویو ضعیف به‌وسیله هینریکوس و همکاران در سال 2015 بررسی شد. سازوکار پیشنهادی آنها برپایه تأثیر این امواج بر قطبیت مولکول آب و نیروهای پیوند هیدرژنی بین مولکول‌های آب استوار بود که این تأثیرات بر مولکول آب منجر به افزایش سرعت انتشار نروتزنسمیترها و تأثیر بر پتانسیل استراحت بود [47].

آثار غیرگرمایی امواج میکروویو با شدت کم باعث ایجاد ترکیبی از علایم عصبی- روانی می‌شود. اولین بار در سال 1998 هوکینگ و همکارن و بعدها جانسون در سال 2001 این اختلال را مطالعه و از آن به نام سندرم میکروویو نام بردند [48؛ 49]. این سندرم (در افرادی که در معرض امواج میکروویو قرار گرفته‌اند) خود را به صورت نشانه‌هایی ازقبیل سردرد، خستگی، تمرکزنداشتن، بی‌خوابی و علایم دیگر نشان می‌دهد. علایم مشابه و شدیدتر هم پس از مواجه شغلی در دو گزارش از دهه 1980/1970 به‌وسیله مؤسسه تحقیقات پزشکی نیرویی دریایی ارتش امریکا گزارش شد. همچنین علایم مشابه در افرادی که در معرض امواج میکروویو فرکانس پایین محیط زیستی قرار داشتند، در دو مطالعه در سال 2010 گزارش شد [50؛ 51]. درباره سازوکار این آثار نورولوژیک و سازوکار اختلال‌هایی که در اثر امواج میکروویو با فرکانس پایین به وجود می‌آید، فرضیه‌هایی مطرح است. در 26 مطالعه که روی سازوکار آثار عصبی این امواج انجام شده است، تأثیر این امواج بر نقش کانال‌های کلسیمی وابسته به ولتاژ (VGCC)[2] را به‌عنوان محتمل‌ترین سازوکار گزارش کردند. کاهش این آثار در نمونه‌های تیمارشده با مهارکننده‌های کانال کلسیمی نقش این کانال‌ها را در سازوکار اثر امواج بر سیستم عصبی اثبات کرد [52-55]. افزایش فعالیت کانال‌های کلسیمی در اثر تابش امواج موجب آزادسازی نروترنسمیترها در مغز و همچنین آزادسازی هورمون‌ها از سلول‌های نورواندوکرین می‌شود [56؛ 57]. به علت تراکم بالای کانال‌های کلسیمی در مغز و همچنین عملکرد این کانال‌ها، بافت مغز به امواج میکروویو بسیار حساس است.

1-2 تحلیل آماری

مطالعه‌های بسیاری بر آثار فرکانس‌های مختلف امواج الکترومغناطیسی غیریونیزان بر سیستم عصبی انجام شده است. با توجه به نتایج گاهی متناقض و یا آثار نامشخص گزارش‌شده در این مطالعه‌های بسیار نمی‌توان به نتیجه‌گیری واحدی از آثار امواج بر سیستم عصبی دست پیدا کرد. به همین دلیل باید نتایج گزارش‌های منتشرشده به‌صورت آماری تحلیل شود تا بتوان به‌صورت کمی و درصدی پیرامون آثار این امواج بر سیستم عصبی نتیجه گیری کرد و آثار این امواج را در شرایط مختلف (شرایط وابسته به تابش ازقبیل فرکانس تابش نوع موج..) و همچنین شرایط مستقل از تابش (نوع مطالعه درون‌تن، موجود زنده، بیرون‌تن، مطالعه‌های انسانی ...) مقایسه کرد. به‌همین‌منظور با مراجعه به پایگاه‌های داده امواج

1 -Shneider and Pekker

2 - Voltage-gated calcium channels

[Downloaded from biot.modares.ac.ir on 2024-12-26]

الکترومغناطیس غیریونیزان و تجزیه‌وتحلیل مقاله‌های پایگاه داده پرداخته شد و تحلیلی آماری روی نتایج این مقاله‌ها انجام گرفت.

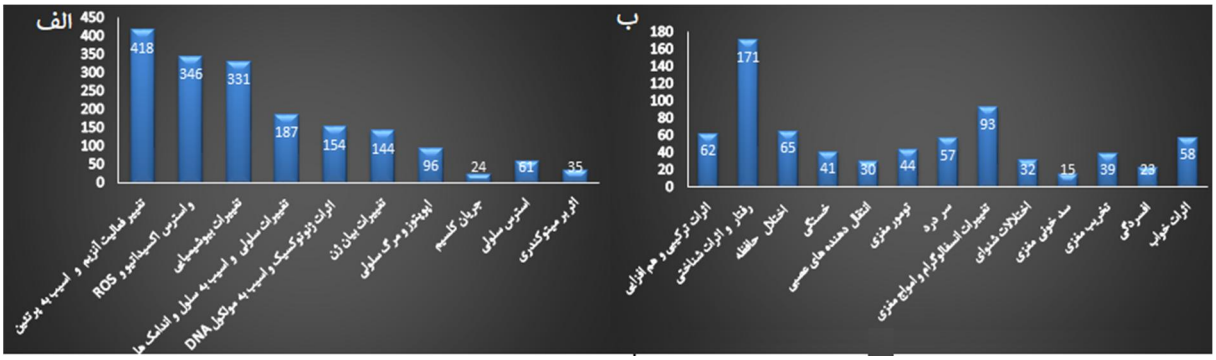
2-2 مطالعه‌های پایگاه‌های داده

پایگاه داده ORSAA[1] پایگاه داده‌ای جامع، غیرمغرضانه، چنددسته‌ای و قابل جستجو برای مقاله‌های مربوط به آثار زیستی امواج الکترومغناطیس غیریونیزان است. این پایگاه داده پویا بوده است و به‌طور مرتب مقاله‌های جدید به آن اضافه می‌شود و به‌صورت آنلاین نیز دردسترس است. همچنین این پایگاه به‌گونه‌ای طراحی شده است که بتوان داده‌ها را به‌راحتی بازیابی، مرتب و تجزیه‌وتحلیل کرد. جستجوها به‌صورت تأثیر/ عدم تأثیر، باند فرکانس/ ثانیه، درون‌تن، بیرون‌تن، آثار بیولوژیکی، نوع مطالعه و منبع تأمین مالی ارائه می‌شوند [58] . از جنبه نوع اثرگذاری در این پایگاه داده، مطالعه‌ها به سه دسته «اثرگذار»، «بدون اثر» و «اثرات نامشخص» دسته‌بندی شدندکه تعداد مقاله‌های اثرگذار سه برابر مطالعه‌های بدون اثر است. در کل 2651 مطالعه در پایگاه داده ORSAA بررسی شد که 18 درصد مطالعه‌ها غیرآزمایشگاهی (467)، 888 مطالعه روی موجودات زنده که حدود 64 درصد از این تعداد اثرگذار بودند. 1296 مطالعه‌های غیرحیوانی که 60 درصد آنها اثرگذار بودند. آثار امواج بر موجود زنده بیشتر از مطالعه‌های غیرحیوانی بود.

یافتن پاسخ برای این سؤال که چه پارامترها و فاکتورهایی از سیستم عصبی بیشتر تحت تأثیر امواج الکترومغناطیسی قرار می‌گیرد، بسیار حایز اهمیت است. برای پاسخ به این سؤال در پایگاه داده ORSAA، مطالعه‌ها از این زاویه نیز بررسی شدند. در این بررسی پارامترها به دو دسته سلولی- مولکولی (پارامترهایی از قبیل آثار ژنوتوکسیک، تأثیر بر پروتئین‌ها، ..) و پارامترهای عصبی شناختی (تأثیر بر یادگیری، حافظه، سد خونی مغزی..) تقسیم‌بندی شدند (شکل 1 الف و ب). این بررسی نشان داد که 45 پارامتر بیشتر از سایر پارامترها از امواج الکترومغناطیس تأثیرپذیر هستند. از میان این 45 پارامتر، تعدادی که بیشترین فراوانی اثرپذیری را داشتند، در نمودار شکل‌های 1 الف و ب نشان داده شده است. همان‌طور که در این شکل نمایش داده شده است، در مورد پارامترهای سلولی و مولکولی، به‌ترتیب تغییر فعالیت آنزیم با 418 گزارش، تأثیر امواج بر رادیکال‌های آزاد اکسیژن و استرس اکسیداتیو با 346 گزارش، تغییرات بیوشیمیایی با 331 گزارش، تغییرات سلولی و آسیب به سلول 187، آثار ژنوتوکسیک و آسیب به مولکول DNA 154 مورد، تغییرات بیان ژن 144 مورد، آپوپتوز و مرگ سلولی 96 مورد، استرس سلولی 61 مورد، اثر بر میتوکندری 35 مورد و جریان یون کلیسیم 24 مورد (شکل 1 الف) از پارامترهای با بیشترین فراوانی تأثیرپذیری از امواج الکترومغناطیس در دسته آثار سلولی و مولکولی را داشتند. در مورد آثار شناختی و فیزیولوزیک سیستم عصبی، بیشترین فراوانی تأثیرپذیری به‌ترتیب بر رفتار و آثار شناختی (171)، تغییرات انسفالوگرام و امواج ساطع‌شده از مغز (93)، اختلال در حافظه 65، آثار ترکیب و هم‌افزایی 62، اثر بر خواب 58، سردرد 57، تومور مغزی 44، خستگی 41، تخریب مغزی 39، اختلال شنوایی 32، اثر بر انتقال‌دهنده‌های عصبی 30، افسردگی 23 و سد خونی مغزی 15 مورد گزارش شد (شکل 1 ب).

1- Oceania Radiofrequency Scientific Advisory Association

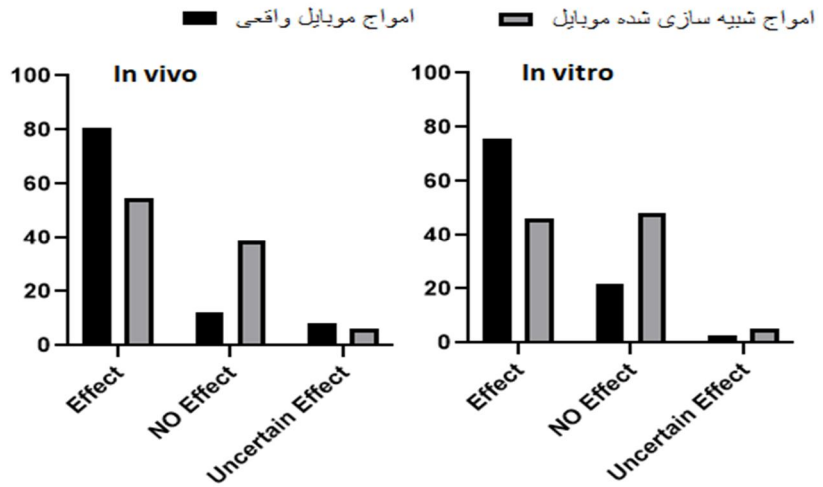
[Downloaded from biot.modares.ac.ir on 2024-12-26]



شکل 1 پارامترهایی با بیشترین تعداد مقاله‌های گزارش شده مبنی بر تأثیر پذیری از امواج الکترومغناطیس غیریونیزان. الف- پارامترهای سلولی و مولکولی؛ ب- پارامترهای عصبی و شناختی [58]

3-2 مقایسه اثر گذاری امواج تلفن همراه و امواج شبیه سازی‌شده تلفن همراه

با افزایش روزافزون استفاده از تلفن همراه در جوامع بشری آسیب های احتمالی استفاده از این وسیله مورد توجه بوده است. مطالعه‌های زیادی پیرامون آثار زیستی به‌خصوص تأثیر بر سیستم عصبی به علت نزدیکی تلفن همراه به سر در زمان مکالمه انجام شده است. آنالیز گزارش‌های موجود در پایگاه داده نشان می‌دهد که پژوهشگران از دو روش برای بررسی تأثیر تلفن همراه بر سیستم عصبی استفاده کرده‌اند. در یک روش از خود تلفن همراه به‌عنوان منبع تابش استفاده شده است. در روش دیگراز امواج شبیه‌سازی‌شده تلفن همراه به‌عنوان منبع تابش استفاده شده است. آنالیزها نشان می‌دهد که اختلاف چشمگیری بین این دو نوع موج استفاده‌شده در میزان اثر گذاری وجود دارد. همان‌طور که در شکل 2 نشان داده شده است، میزان گزارش‌های اثرگذار در امواج تلفن همراه هفت برابر تعداد گزارش‌های بی‌اثر در هر دو نوع مطاله درون‌تن و برون‌تن است درحالی‌که تعداد گزارش های اثرگذار و بی‌اثر در امواج شبیه‌سازی‌شده تلفن همراه برابر می‌باشد. شکل موج هم از پارامترهای تأثیرگذار بر میزان اثرگذاری امواج است. بررسی مقاله‌های موجود در پایگاه داده ORSSA نشان می‌دهد که امواج پالسی (68 درصد اثرگذار) نسبت به امواج پیوسته (54 درصد اثر گذار) اثرگذاری بیشتری دارند.



شکل 2 مقایسه آثار زیستی امواج تلفن همراه واقعی و امواج شبیه‌سازی‌شده تلفن همراه در دو نوع مطالعه درون‌تن و برون‌تن [59]

[Downloaded from biot.modares.ac.ir on 2024-12-26]

4-2 تأثیر نوع مطالعه بر میزان اثرگذاری

در پایگاه داده ORSAA گزارش‌ها برحسب نوع مطالعه به چند طبقه دسته‌بندی شده‌اند. در یک دسته‌بندی مطالعه ها به دو دسته مطالعه‌های حیوانی و غیرحیوانی تقسیم بندی شدند. در دسته مطالعه‌های حیوانی بیشتر از حیواناتی مانند رت، موش، همستر و تخم بلدرچین استفاده شده است [60]. بررسی آماری و مقایسه میزان اثرگذاری بین این دو دسته نشان می‌دهد که هرچند تعداد گزارش‌های غیرحیوانی بیشتر است، اما حیوانات خیلی بیشتر از غیرحیوانات تحت تأثیر تابش (همه طیف‌های امواج غیریونیزان) الکترومغناطیس قرار می‌گیرند و میزان اثرگذاری امواج در این دو دسته به‌ترتیب 80,5 و 59 درصد می‌باشد (جدول 1).

جدول 1 تعداد مطالعه‌های بررسی‌شده در پایگاه داده در دو دسته مطالعه‌های حیوانی و غیرحیوانی و میزان اثرگذاری امواج بر هر دسته مطالعه [58]

	تعداد مطالعه‌ها	اثرگذار	بی‌اثر	آثار نامشخص	درصد اثرگذاری
مطالعه‌های حیوانی	888	718	144	26	80,855
مطالعه‌های غیرحیوانی	1296	767	372	157	59,182

با استفاده از مقاله‌های موجود در پایگاه داده ORSAA، مطالعه‌ها این بار به دو دسته مطالعه‌های درون تن[1] و برون‌تن[2] تقسیم شدند. همان‌طور که در جدول 2 نشان داده شده است، میزان تأثیرپذیری از امواج الکترومغناطیس در هر مطالعه تقریباً برابر و 68 درصد از مطالعه‌های انجام‌شده بود. مقایسه پارامترهایی که در هر دو دسته مشترک بود، نشان می‌دهد که امواج الکترومغناطیس بر این پارامترها در مطالعه‌های درون‌تن خیلی بیشتر اثرگذار است به‌طوری‌که در اثرگذاری امواج بر مرگ سلولی، استرس اکسیداتیو و آثار ژنوتوکسی در مطالعات درون‌تن به‌ترتیب 81,8، 92,5 و 62,5 درصد و در مطالعه‌های بیرون‌تن میزان اثرگذاری بر همان پارامترها به‌ترتیب 51,28، 60,71 و 53 درصد است. همچنین بررسی آنالیزهای انجام‌شده درباره مطالعه‌های درون‌تن نشان می‌دهد که بیش از 97 درصد از مطالعه‌های انجام شده روی تأثیر مستقیم امواج بر پروتئین‌ها اثرگذارند و بیشترین اثرگذاری در مورد این پارامتر مشاهده شد و این مقدار برای غشای سلول 87,33، سیگنالینگ داخل سلولی 83,3 و بیان ژن 81,33 درصد بود. در دسته مطالعه‌های درون‌تن اثرگذاری امواج بر پارامترهای سلولی و مولکولی بسیار بیشتر از پارامترهای عصبی و شناختی نظیر حافظه یادگیری و سد خونی مغزی بود (جدول 2).

1- In vivo
2- In vitro

[Downloaded from biot.modares.ac.ir on 2024-12-26]

جدول 2 مقایسه تأثیر امواج الکترومغناطیس غیریونیزان بر دو نوع مطالعه درون‌تن و برون‌تن . تعداد مطالعه و میزان اثرگذاری امواج بر پارامترهای هر دسته در جدول مشخص شده است [59]

In vitro		
تعداد مطالعات	میزان اثر گذاری	نوع اثر
۱۱۷	٪۵۱,۲۸	مرگ سلولی و اپوپتوز
۲۸	٪۶۰,۷۱	استرس اکسیداتیو
۸۳	٪۵۳,۰۱	اثرات ژنوتوکسی و جهش
۷۵	٪۸۱,۳۳	بیان ژن
۴۷	٪۵۹,۷۹	پروتئین‌های شوک حرارتی
۱۲	٪۸۳,۳۳	سیگنالینگ درون سلولی
۳۱	٪۸۷,۱	اثر بر غشاء
۸۰	٪۹۶,۲۵	اثر مستقیم بر پروتئین
۴۷۳	٪۶۸,۵	مجموع

In vivo		
تعداد مطالعات	میزان اثر گذاری	نوع اثر
۸۸	٪۸۱,۸	مرگ سلولی و اپوپتوز
۱۳۴	٪۹۲,۵	استرس اکسیداتیو
۵۴	٪۶۲,۵	اثرات ژنوتوکسی و جهش
۱۱	٪۹۰,۹	انتقال دهنده‌های عصبی
۲۲	٪۵۹	یادگیری
۳۴	٪۷۹,۴	غدد درون ریز
۲۵	٪۶۰	حافظه فضایی
۵۳	٪۶۹,۸	سیستم ایمنی
۴۰	٪۳۵	بارداری و تکامل جنین
۲۵	٪۴۰	سد خونی و مغزی
۴۸۶	٪۶۸(میانگین)	مجموع

مطالعه‌های فراوانی درباره تأثیر امواج الکترومغناطیس غیریونیزان انجام شده است و این مطالعه‌ها در دسته‌های مختلف درون‌تن، برون‌تن، حیوانی، غیرحیوانی... دسته‌بندی شده‌اند. نتایج این مطالعه‌ها قابل تعمیم به انسان نیستند و این سؤال هنوز بی‌پاسخ است که این امواج روی انسان چقدر تأثیرگذارند؟ برای پاسخ به این سؤال مطالعه‌های انجام‌شده روی انسان در پایگاه داده ORSAA جستجو شد. مطالعه‌های انسانی در این پایگاه داده به دو دسته طبقه‌بندی شده‌اند مطالعه‌های داوطلبانه انسانی و مطالعه‌های همه‌گیرشناسی[1] (اپیدمیولوژیکی). در مطالعه‌های داوطلبانه انسانی با رعایت اصول اخلاقی برای بررسی آثار امواج، داوطلبان تحت تابش مشخص و مدت زمان معین قرار می‌گیرند. در مطالعه‌های همه‌گیرشناسی آثار امواج به‌طور مستقیم بر انسان‌ها در شرایط واقعی بررسی می‌شود، برای مثال بررسی شیوع بیماری سرطان مغز در افرادی که در نزدیکی دکل‌های فشار قوی و یا منابع تولیدکننده امواج زندگی می‌کنند. برخی از این مطالعه‌ها آینده‌نگر هستند و نیازمند یک بررسی طولانی مدت برای ایجاد اثر خاص در افراد تحت تیمار هستند. هرچند این مطالعه‌ها ارتباط مستقیم امواج و یک بیماری را بررسی می‌کنند، اما به علت اینکه پارامترهای اثرگذار قابل کنترل نیستند، نتایج و آنالیزهای آن دشوار است [61].

مطالعه‌های داوطلبانه انسانی در پایگاه داده ORSAA بررسی شد. در این بررسی آثار امواج الکترومغناطیس باند UHF (300 مگاهرتز تا 3 گیگا هرتز) استفاده شد. در این آنالیز از 219 مورد مقاله موجود در پایگاه داده ORSAA 132 مطالعه اثرگذار، 87 مورد بی‌اثر و 26 مطالعه هم آثار نامشخص داشتند. در این بررسی از منظر نوع اثر مشاهده شده، تأثیر باند UHF بر الکتروانسفالوگرام (EEG) مغز انسان بسیار مشهود بود و حدود 87 درصد اثرگذاری را نشان داد و از 90 مطالعه انجام‌شده در این زمینه 78 مورد اثرگذار، 7 مورد بی‌اثر و 5 مورد با آثار نامشخص گزارش شد. مقایسه میزان اثرگذاری امواج باند UHF بر انسان‌ها و حیوانات در آنالیزی در پایگاه داده ORSAA انجام شد که از 51 مطالعه بررسی‌شده امواج بر انسان تعداد 37 مورد، یعنی 72,5 درصد اثرگذار گزارش شد و در حیوانات 19 گزارش از 24 مورد مطالعه، یعنی 79 درصد اثرگذار گزارش شد.

مطالعه‌های همه‌گیرشناسی مرتبط با تلفن‌های همراه نشان می‌دهد که گزارش‌های اثرگذار و بدون اثر تقریباً برابر است [62]. آنالیز گزارش مطالعه‌های همه‌گیرشناسی موجود

1 -Epidemiologic studies

[Downloaded from biot.modares.ac.ir on 2024-12-26]

در پایگاه داده ORSAA به تفکیک باندهای فرکانسی مختلف انجام شد. در این مجموع از مطالعه‌های تأثیر امواج رادیویی (30 تا 300 مگا هرتز)، کارگرانی که در معرض امواج 3 هرتز تا 3 گیگا هرتز بودند، تابش رادیویی، برج‌های پخش تلوزیونی و غیره که در جدول 3 نشان داده شده است، بررسی شد. نسبت اثرگذاری به بی‌اثربودن در مطالعه‌های همه‌گیرشناسی در اغلب موارد برابر بود، اما در برخی از باندهای فرکانسی و مطالعه‌های موردی این نسبت نابرابر و مطالعه‌های اثرگذار غالب بود. در آنالیز گزارش‌های مربوط به ایستگاه رادار حدود 66 درصد از مطالعه‌ها اثرگذار و 6 درصد بی‌اثر و بقیه با آثار نامشخص گزارش شده است، برای مثال از 122 مطالعه همه‌گیر شناسی باند فرکانسی UHF-SHF (300 مگاهرتز تا 60 گیگاهرتز) که روی آثار تلفن همراه بر تمام تومورهای مغزی کار شده است، 55 مورد اثرگذار 52 مورد بی‌اثر و 15 مورد هم آثار نامشخص گزارش شده است.

جدول 3 آنالیز مطالعه‌های همه‌گیرشناسی به تفکیک مطالعه براساس نوع امواج بررسی شد. این آنالیز روی آثار تارنماهای مختلف ساطع‌کننده امواج ازقبیل رادارها، دکل‌های پخش‌کننده امواج رادیو و تلوزیون، آنتن‌های تلفن همراه...انجام شد که نتایج به صورت اثرگذار بدون اثر و آثار نامشخص نمایش داده شده است [58].

نوع مطالعه / طبقه‌بندی فرکانس	اثرگذار	اثربی	آثار نامشخص	درصداثرگذاری
رادیو و تلویزیون (30 تا 300 مگاهرتز) VHF	1	1	-	50
3 ELF –UHF هرتز – 3 گیگاهرتز (کارگران)	7	26	6	18
3 UHF -ELF هرتز – 3 گیگاهرتز (تابش‌های رادیویی)	8	8	-	50
ELF-VHF (3 هرتز -300 مگاهرتز) اکولوژیکی، دکل‌های پخش تلوزیون	5	0	3	62,5
ELF (3 هرتز – 100 هرتز)	21	29	10	35
SHF-ELF (3 هرتز – 60 گیگاهرتز) کارگران	4	1	4	45
HF- VHF(3 هرتز – 300 مگا هرتز) اکولوژیکی	3	5	2	28,5
HFها(3-30 مگاهرتز) مطالعه	1	1	0	50
MF (300 کیلوهرتز - 3 مگاهرتز) مطالعه‌ها	2	2	1	40
SHF (3- 60 گیگاهرتز) مطالعه‌ها و رادار	1	0	0	-
UHF-SHF (300 مگا – 60 گیگاهرتز) ایستگاه‌های پایه و رادار	19	3	7	65,5
UHF(300 مگا -3 گیگاهرتز) مطالعه‌های همه‌گیرشناسی و ایستگاه‌های پایه	17	10	3	62,9
UHF (300 مگا -3 گیگاهرتز) فرکانس‌های تلفن همراه	92	88	50	40
UHF (300 مگا -3 گیگاهرتز) مطالعه‌های همه‌گیرشناسی تلفن همراه و تمام مطالعه‌های تومورهای مغزی	55	52	15	45
UHF (300 مگا -3 گیگاهرتز) مطالعه همه‌گیری‌شناسی تلفن همراه گلیوبلاستومای چندگانه[1]	13	20	5	34,2
UHF (300 مگا -3 گیگاهرتز) مطالعه موردی همه‌گیری‌شناسی تلفن همراه	115	96	53	43,5

1 - شایعترین تومور بدخیم اولیه سیستم عصبی مرکزی است که در نخاع یا مغز بروز می‌کند

[Downloaded from biot.modares.ac.ir on 2024-12-26]

جدول 4 مقایسه اثرگذاری فرکانس‌های مختلف امواج الکترومغناطیس غیریونیزان در دو نوع مطالعه داوطلبانه انسانی و همه‌گیر شناسی. باند فرکانسی UHF بیشترین اثرگذاری را دارد [59].

فرکانس	اثرگذار			بدون اثر			آثار نامشخص		
	تعداد	داوطلبانه	همه‌گیر شناسی	تعداد	داوطلبانه	همه‌گیر شناسی	تعداد	داوطلبانه	همه‌گیر شناسی
ELF (3Hz- 100Hz)	5	5	0	2	2	0	3	2	1
ELF-UHF(3Hz-3GHz)	5	1	4	1	1	0	2	1	1
ELF - SHF(3Hz-60GHz)	4	0	4	1	1	0	4	0	4
ELF - VHF(3Hz-300MHZ)	1	1	0	0	0	0			
UHF(300MHz-3GHz)	36	10	26	18	15	3	9	7	2
UHF-SHF(300MHz-60GHz)	1	0	1	0	0	0			
VHF-SHF(30MHz-60GHz)	2	0	2	0	0	0			
مجموع	54	17	37	22	9	3	18	10	8

5-2 تأثیر باندهای مختلف فرکانسی امواج بر میزان اثرگذاری

فرکانس امواج غیریونیزان یکی از پارامترهای اثرگذار بر میزان تأثیر این امواج بر سیستم‌های زیستی است. با گسترش صنعت برق و استفاده امواج غیریونیزان با فرکانس خیلی کم (ELF)[1] در این صنعت به بررسی آثار امواج 50 تا 60 هرتز توجه شده است. باندهای فرکانسی رادیویی VHF و HF که به‌وسیله دکل‌های پخش‌کننده تلویزیونی منتشر می‌شود و مطالعه‌های همه‌گیرشناسی اطراف این دکل‌ها از دیگر تمرکزهای مطالعه‌های همه‌گیرشناسی در دو دهه گذشته بوده است. باندهای فرکانسی UHF (نوارهای مایکروویو) تا دهه 1990 در واقع به‌وسیله شرکت‌های ارتباطات تلفن همراه استفاده نشده و تا سال 2000 به اشباع نرسیده بود [1]. در نیمه دوم دهه اول قرن بیست دانشمندان توجه خود را به تشعشعات ساطع شده از Wi-Fi متمرکز کردند. استفاده از تلفن‌های همراه و نزدیکی با مغز به دلیل گسترش این دستگاه‌ها در سراسر جهان، توجه بسیاری از پژوهش‌ها را به خود جلب کرده است. استفاده از فرکانس‌های مایکروویو در ایستگاه‌های پایه تلفن همراه (MPBS) و گسترش روزافزون این پایگاه‌ها از یک طرف و از طرف دیگر بروز علایمی مانند سردرد، وزوز گوش، مشکلات خواب، عوارض شناختی، رفتاری در افرادی که در کنار این ایستگاه‌ها زندگی می‌کنند، مطالعه همه‌گیرشناسی گروه‌های جمعیتی کنار این ایستگاه‌ها و پایگاه‌ها را جذاب کرده است. در بررسی آثار امواج الکترومغناطیس پاسخ به این سؤال که کدام طیف از امواج و در چه محدوده فرکانسی بیشترین اثرگذاری را دارند، حایز اهمیت است. آنالیز آماری پایگاه داده ORSAA که در محیط درون‌تن و روی موجودات زنده انجام شد، نشان می‌دهد که باند فرکانسی UHF بیشترین مطالعه‌ها را شامل می‌شود و میزان اثرگذاری این باند فرکانسی که در ارتباطات استفاده می‌شود، بیشتر از سایر باندهای فرکانسی است. به‌طور کلی میانگین اثرگذاری این باند حدود 76 درصد است در حالی‌که میانگین اثرگذاری سایر باندهای فرکانسی حدود 60 درصد می‌باشد. در باند فرکانسی ELF (3 – 100 هرتز) بیشتر مطالعه‌ها روی فرکانس‌های 50 و 60 هرتز به علت کاربرد این امواج در وسایل الکتریکی خانگی و

1- Extremly low frequncy

[Downloaded from biot.modares.ac.ir on 2024-12-26]

تجاری انجام شد و هر 14 مطالعه گزارش‌شده در این پایگاه داده اثرگذاربودن این باند را نشان داده‌اند. ازاین‌رو به سایر باندهای فرکانسی توجه کمتری شده است. (جدول 5 الف و ب) .

جدول 5 مقایسه میزان اثرگذاری باندهای مختلف فرکانسی امواج الکترومغناطیسی غیریونیزان. نوع مطالعه در همه گزارش‌های این مقایسه مطالعه‌های درون‌تن انتخاب شد. الف- گزارش‌ها در پایگاه داده ORSAA بر حسب نوع باند فرکانسی جداسازی شدند و و تعداد گزارش‌های اثرگذار، بی اثر و آثار نامشخص هر باند فرکانسی نشان داده شده است. باند فرکانسیUHF نسبت به سایر باندهای فرکانسی بیشترین تعداد مطالعه‌ها و بیشترین اثرگذاری را داشت؛ ب- تعداد مطالعه‌های انجام شده و همچنین میزان اثرگذاری باند فرکانس UHF در مقایسه با مجموع سایر باندهای فرکانسی نشان داد که درصد اثرگذاری این باند 75,5 درصد در مقابل 60 می باشد [59].

ب

نوع مطالعه	اثرگذار	بی اثر	اثرات نامشخص	درصد اثر گذاری
فرکانس UHF	۵۷۲	۱۴۷	۳۸	۷۵,۵
سایر فرکانس ها	۱۳۴۵	۶۸۰	۲۱۷	۶۰

الف

فرکانس	اثرگذار	بی‌اثر	اثرات نامشخص
ELF-UHF(3Hz-3GHz)	۳		
ELF (3Hz- 100Hz)	۱۴		
ELF - VHF(3Hz-300MHZ)	۲		
ELF - SHF(3Hz-60GHz)	۶		
ELF - MF(3Hz-3MHz)	۲		
VLF (3kHz-30kHz)	۱		
LF (30kHz-300kHz)	۱		
UHF-SHF(300MHz-60GHz)	۴		
UHF(300MHz-3GHz)	۱۴۷	۱۰	۳
SHF(3GHz-60GHz)	۲		
Microwave	۴		
مجموع	۱۸۶	۱۰	۳

3- نتیجه‌گیری

با پیشرفت علم و فناوری نقش و حضور امواج الکترومغناطیس غیریونیزان در زندگی بشر افزایش چشمگیری داشته است و همواره نگرانی در مورد خطرهای این امواج بر سلامتی مطرح بوده است. به‌رغم مطالعه‌های بسیاری که در مورد خطرهای این امواج بر سلامتی انجام شده است، اما به دلیل نتایج گاهی متضاد این مطالعه‌ها به‌طور قطع نمی‌توان نتیجه گرفت که کدام دسته از امواج و یا چه فرکانسی بیشترین آثار را بر سیستم عصبی دارند و یا چه پارامترهایی از سیستم عصبی بیشتر تحت تأثیر امواج الکترومغناطیس قرار می گیرند؟ برای پاسخ به این سؤال‌ها در این مطالعه آنالیزهای کمی و بررسی‌هایی روی مقاله‌های موجود در پایگاه داده ORSAA انجام شد. نتایج این بررسی‌ها نشان داد که تغییر فعالیت آنزیم‌ها و پروتئین‌ها، تأثیر امواج بر رادیکال‌های آزاد اکسیژن و استرس اکسیداتیو، تغییرات بیوشیمیایی، تغییرات سلولی و آسیب به سلول، آثار ژنوتوکسیک و آسیب به مولکول DNA بیشترین فراوانی اثرپذیری از امواج الکترومغناطیس را در میان پارامترهای سلولی و مولکولی داشتند. در مورد آثار شناختی و فیزیولوزیک سیستم عصبی، بیشترین فراوانی تأثیرپذیری از امواج الکترومغناطیس به‌ترتیب در رفتار و آثار

[Downloaded from biot.modares.ac.ir on 2024-12-26]

شناختی، تغییرات انسفالوگرام و امواج ساطع‌شده از مغز، اختلال در حافظه، آثار ترکیب و هم‌افزایی اثر بر خواب، سردرد، تومور مغزی، خستگی و تخریب مغزی مشاهده شد. اغلب این تأثیرات یا به‌طور مستقیم و یا غیرمستقیم به رادیکال‌های آزاد و گونه‌های فعال اکسیژن (ROS) مربوط می‌شوند. هر دو جزء الکتریکی و مغناطیسی امواج الکترومغناطیس بر فعالیت رادیکال‌های آزاد تأثیر می‌گذارند؛ یعنی از راه تأثیر بر کینتیک و سرعت واکنش‌های شیمیایی که رادیکال‌های آزاد با نیمه عمر کوتاه به‌عنوان حدواسط واکنش وجود دارد، اثرگذارند و از این راه فعالیت آنزیم‌ها را تغییر می‌دهند [63]. همچنین امواج از راه اثر زیمان[1] و واکنش فنتون منجر به افزایش، غلظت، پایداری و نیمه عمر رادیکال‌های آزاد می‌شوند [64]. الکترون‌هایی که در یک مدار الکترونی حول هسته اتم می‌چرخند، سطوح انرژی یکسانی دارند، اما زمانی که اتم‌ها درمعرض یک میدان مغناطیسی خارجی قرار می‌گیرند، سطوح مختلف انرژی برای الکترون‌های هر مدار به وجود می‌آید که این موضوع باعث می‌شود خطوط طیفی تازه‌ای (که بسیار به هم نزدیک هستند) در اتم‌های تحت میدان مغناطیسی خارجی به وجود آید. از این اتفاق با عنوان اثر زیمان یاد می‌شود که نیمه عمر رادیکال‌های آزاد را افزایش می‌دهد. واکنش فنتون یک فرایند کاتالیزوری است که پراکسید هیدروژن، محصول تنفس اکسیداتیو میتوکندری را در حضور یون آهن به یک رادیکال آزاد هیدروکسیل بسیار سمی تبدیل می‌کند [65]. افزایش میزان رادیکال‌های آزاد و گونه‌های فعال اکسیژن (ROS) منجر به پراکسیداسیون لیپیدها، اکسیدشدن پروتئین‌ها و اسیدهای نوکلئیک می‌شود. همچنین باعث تغییر در فعالیت آنزیم و بیان ژن نیز می‌شود [66] که این موضوع می‌تواند منجر به بسیاری از اختلال‌ها و بیماری‌های مختلف ازقبیل اختلال خواب، تصلب شرایین، ازدست‌دادن اشتها، دیابت، سرگیجه، آرتریت‌روماتوئید، اظطراب، حالت تهوع و سکته مغزی شود [67-69]. پراکسیداسیون لیپیدها منجر به آسیب‌هایی ازقبیل اختلال در انتقال‌های غشا، تغییرات ساختاری، سیال‌بودن غشای سلول، آسیب رسپتورهای پروتئینی در ساختار غشایی و تغییر در فعالیت آنزیم‌های غشای سلول می‌شود [70-71]. از میان بافت‌های مختلف مغز به چند دلیل بیشتر از سایر قسمت‌ها تحت تأثیر آثار ROS و رادیکال‌های آزاد قرار می‌گیرد. مغز به علت مصرف بالای اکسیژن مستعد تولید بیشتر ROS است. زنجیره انتقال الکترون میتوکندری تقریباً 98 درصد اکسیژن مولکولی را در مجموعه سیتوکروم اکسیداز مصرف می‌کند و اکسیژن باقیمانده به پراکسید هیدروژن و رادیکال‌های سوپراکسید کاهش پیدا می‌کند. در طی متابولیسم طبیعی و عملکردهای مختلف، سوپراکسید رادیکال اکسیژن و اکسیدکننده پراکسید هیدروژن غیر رادیکال (H_2O_2) و اسید هیپوکلروس تولید می‌شود. همچنین به علت گردش خون بالا در این بافت میزان یون‌های فلزی ازقبیل یون آهن که برای واکنش فنتون ضروری است، بیشتر است. درنتیجه میزان تولید رادیکال‌های آزاد در مغز افزایش پیدا می‌کند. از طرفی درصد زیادی از بافت مغزی از چربی تشکیل شده است و این چربی‌ها حساس به پراکسیداسیون هستند. به همین دلیل مستعد آسیب بیشتر در برابر امواج الکترومغناطیس می‌باشند [72] .

یکی دیگر از سازوکارهای اثرگذاری امواج تأثیر از راه جریان یون کلسیم است. در 26 مطالعه که بر سازوکار آثار عصبی این امواج انجام شده است، تأثیر این امواج بر نقش کانال‌های کلسیمی وابسته به ولتاژ (VGCC) را به عنوان محتمل‌ترین سازوکار گزارش داده‌اند، استفاده از مهارکننده این کانال‌ها در کاهش آثار این امواج مؤثر نشان داده است که نقش کانال‌های کلسیمی را در سازوکار اثر

1 - Zeeman effect

[Downloaded from biot.modares.ac.ir on 2024-12-26]

امـواج اثبـات مـی‌کنـد [73-75]. افـزایش فعالیـت ایـن کانـال‌هـای کلسـیمی در اثـر امـواج موجـب آزادسـازی نروترنسمیترها در مغز و همچنین آزادسازی هورمون‌ها از سلول‌های نورواندوکرین می‌شود [56؛ 57]. به علت تراکم بالای کانال‌های کلسیمی در مغز و همچنین عملکرد ایـن کانـال‌هـا، بافـت مغـز بـه امـواج بسـیار حسـاس است.گزارش‌های بسیاری از ایجاد سرگیجه بعد از تـابش این امواج گزارش شده است [25؛ 26] . یک از دلایل این اثر نشت یون کلسیم از سلول‌های مغزی است که موجب سردرد و سرگیجه می‌شود [27]. بنابرایـن برخـی از آثـار شناختی و فیزیولوزیکی سیستم عصـبی تحـت تیمـار بـا امواج الکترومغناطیس منشأ مولکولی دارند .

در این مطالعه نتایج به‌دست‌آمده از آنالیز مقاله‌های موجود در پایگاه داده به‌صورت فراوانی میزان اثرگذاری گزارش شد. نتایج نهایی مقاله‌های منتشرشده به سه صورت اثرگذار بی‌اثر و آثار نامشخص در پایگاه داده دسته‌بندی شدند. برای مقایسه پارامترهای مختلف ازقبیل فرکانس، نوع مطالعه، .... نسبت تعداد مقاله‌های اثرگذار گزارش شده برای هر پارامتر و یا برای هر نوع مطالعه به کل مطالعه‌های بررسی‌شده همان پارامتر و مطالعه به‌عنوان درصد اثرگذاری مشخص شد. آنالیز مطالعه‌های انجام‌شده بر انسان نشان داد که درصد اثرگذاری مطالعه‌های داوطلبانه انسانی نسبت به مطالعه‌های همه‌گیرشناسی بسیار بالاتر است. مهم‌ترین علت این اختلاف استفاده از امواج باند فرکانسی UHF در مطالعه‌های داوطلبانه است که این باند اثرگذاری بیشتری نسبت به سایر باندهای فرکانسی دارد. در مطالعه‌های داوطلبانه انسانی هم شرایط وپارامتر های وابسته به تابش مثل مدت زمان تابش و دوره های اعمال تابش و هم پارامترهای غیر وابسته به تابش از قبیل سن، جنسیت قابل کنترل است. به عبارت دیگر همه شرایط توسط پزوهشگر انتخابش شده و برای همه داوطلبین یکسان است، درحالی‌که در مطالعه‌های همه‌گیرشناسی هیچ‌یک از این پارامترها قابل کنترل نیست و به همین دلیل تفاوت چندانی بین درصد اثرگذاری و بی اثر در این نوع مطالعه وجود نداشته است.

همان‌طور که بیان شد، آنالیز بررسی‌های انجام‌شده در مقاله‌های موجود در پایگاه داده براساس نتایج نهایی این مقاله‌ها است که مقاله‌های منتشرشده را در دسته اثر گذار بی‌اثر و یا آثار نامشخص قرار داده است که در این مطالعه برای آنالیز هر پارامتر و نوع مطالعه براساس تعداد و فراوانی مقاله‌های هر دسته مقایسه انجام شد است. اما شرایط و متغیرهایی هم وجود دارد که نتایج نهایی مقاله های منتشرشده را تحت تأثیر قرار می‌دهد، برای مثال حساسیت به امواج الکترومغناطیس در افراد مختلف متفاوت است. حساسیت الکترومغناطیسی شامل طیف وسیعی از علایم ناشی امواج الکترومغناطیس است که نتیجه فعالیت ایمنی ضعیف و پاسخ متفاوت سیستم عصبی به امواج است [50]. نتایج مطالعه‌ها نشان می‌دهد تعداد کمی از افراد در معرض امواج، علایم عمومی مانند سردرد، خستگی، وزوز گوش، سرگیجه، نقص حافظه، ریتم نامنظم قلب و برخی علایم پوستی را نشان می‌دهند [76]. مطالعه‌ای به‌منظور بررسی علت پاسخ متفاوت افراد انجام شد. در این مطالعه شرکت‌کنندگان به دو دسته حساس افرادی که علایم را در 20 دقیقه اول استفاده از تلفن همراه نشان می‌دهند و گروه کنترل شرکت‌کنندگان که چنین علایمی را نشان نمی‌دهند، تقسیم شدند. نتایج این مطالعه نشان داد که این دو گروه هیچ تفاوت فیزیولوژیکی ندارند [77] . به‌هرحال شیوع حساسیت الکترومغناطیسی از چند مورد در هر میلیون نفر تا 5 درصد از جمعیت، به منطقه و شرایط بستگی دارد و بر نتایج نهایی مقاله‌ها اثرگذار است [78].

نتایج نهایی مقاله‌های منتشرشده به‌صورت معنا داری به حامیان مالی مطالعه وابسته است. شرکت‌های صنعتی ازقبیل شرکت‌های سازنده لوازم ارتباطی تمام

[Downloaded from biot.modares.ac.ir on 2024-12-26]

تلاش خود را برای بی‌اثر جلوه‌دادن امواج الکترومغناطیس به کار می‌برند [58]. در یک بررسی مقاله‌های منتشرشده در پایگاه داده ORSAA در مورد تأثیر امواج بر آسیب به مولکول DNA به تفکیک حامیان مالی مختلف آنالیز شد. در این بررسی تعداد برابر از گزارش‌های علمی از حامیان مالی مختلف در مورد این اثر استخراج شد. نتایج به‌دست آمده اختلاف معناداری داشتند به‌طوری‌که درپژوهش های حمایت‌شده به‌وسیله مؤسسه‌ها (اغلب دانشگاهی) میزان اثرگذاری و بی اثر به ترتیبی77 و 12 درصد گزارش شد، درحالی‌که در مقاله‌های حمایت‌شده به‌وسیله صنایع مختلف، اثرگذاری 22 درصد و بی‌اثر 62 درصد بود [79]. حامیان مالی پژوهش‌ها در اینکه مقاله درنهایت در چه دسته‌ای اثرگذار یا بی‌اثر دسته‌بندی شود، بسیار تأثیرگذار است و به‌طور مسلم بر آنالیزهای انجام‌شده در این مطالعه اثر خود را گذاشته است.

منابع

[1] Philips A, Lamburn G. Natural and human-activity-generated electromagnetic fields on Earth. Child Cancer. 2012;

[2] Teknologi J, Syafiq M, Azizi N, Salleh A, Othman A, Azlan N, et al. NON-IONIZING (ULTRA-WIDEBAND FREQUENCY) ELECTROMAGNETIC RADIATION EFFECT ON NERVE FIBER ACTION POTENTIAL OF HUMAN BODY. Vol. 78. 2016.

[3] Ng K-H. Non-Ionizing Radiations-Sources, Biological Effects, Emissions and Exposures.

[4] Juutilainen J, Research SL-MR-R in M, 1997 undefined. Genotoxic, carcinogenic and teratogenic effects of electromagnetic fields. Introduction and overview. infona.pl.

[5] Gaestel M. Biological monitoring of non-thermal effects of mobile phone radiation: Recent approaches and challenges. Biol Rev. 2010 Aug;85(3):489–500.

[6] Ashoori F, Hajipour-Verdom B, Satari M, Abdolmaleki P. Polyethylenimine-based Magnetic Nanocomplexes Enhanced Cisplatin Toxicity on Ovarian Cancer Cells in Presence of Static Magnetic Field. 2021;

[7] Satari M, Javani Jouni F, Abolmaleki P, Soleimani H. Influence of static magnetic field on HeLa and Huo2 Cells in the presence of Aloe Vera extract. Asian Pacific J Cancer Prev. 2021;22(S1):9–15.

[8] Syafiq M, Azizi N, Azlan MAN, Salleh A, Othman A. Non-ionizing electromagnetic radiation effect on nerve fiber action potential of human body-A review Wireless Electrical via Electromagnetic Induction View project antenna View project. 2015;

[9] Abodolmaleki P, Cancer NH-M, 2018 undefined. The Effects of Synthesized Superparamagnetic Iron Oxide Nanoparticles and Electromagnetic Field on Cell Death of MCF-7 Breast Cancer Cell Line. mcijournal.com [Internet]. [cited 2018 May 30]; Available from: http://mcijournal.com/article-1-64-en.html

[10] Johnson C, IEEE AG-P of the, 1972 undefined. Nonionizing electromagnetic wave effects in biological materials and systems. ieeexplore.ieee.org.

[11] Barth A, Winker R, … EP-S-O and, 2008 undefined. A meta-analysis for neurobehavioural effects due to electromagnetic field exposure emitted by GSM mobile phones. oem.bmj.com.

[12] Cardis E, Dosimetry MK-RP, 1999 undefined. International case-control study of adult brain, head and neck tumours: results of the feasibility study. academic.oup.com.

[13] Schüz J, Waldemar G, Olsen JH, Johansen C. Risks for central nervous system diseases among mobile phone subscribers: A Danish retrospective cohort study. PLoS One. 2009 Feb;4(2).

[14] Lai H. Neurological effects of non-ionizing electromagnetic fields. 2012;

[15] The Effect of Microwave on The Central Nervous System". - Google Scholar [Internet]. [cited 2020 Oct 22]. Available from: https://scholar.google.com/scholar?hl=en&as_sdt=0%2C5&q=The+Effect+of+Microwave+on+The+Central+Nervous+System".+&btnG=

[16] Warille AA, Onger ME, Turkmen AP, Deniz G, Altun G, Yurt KK, et al. Controversies on electromagnetic field exposure and the nervous systems of children. Histol Histopathol. 2016;31(5):461–8.

[17] reviews PK-C treatment, 2010 undefined. Epidemiology of childhood cancer. Elsevier.

[Downloaded from biot.modares.ac.ir on 2024-12-26]

Electromagnetic Fields " ZV …, 1974 undefined. Investigation on the susceptibility of animal to microwave irradiation following treatment with pharmacologic agents.

[32] Albert EN, DeSantis M. DO MICROWAVES ALTER NERVOUS SYSTEM STRUCTURE? Ann N Y Acad Sci. 1975;247(1):87–108.

[33] Chang BK, Huang AT, Joines WT, Kramer RS. The effect of microwave radiation (1.0 GHz) on the blood-brain barrier in dogs. Radio Sci. 1982;17(5 S):165S-168S.

[34] Lin JC, Lin MF. Studies on microwave and blood-brain barrier interaction. Bioelectromagnetics. 1980;1(3):313–23.

[35] Lin JC, Lin MF. Microwave Hyperthermia-Induced Blood-Brain Barrier Alterations. Radiat Res. 1982 Jan;89(1):77.

[36] Finnie J, Blumbergs P, Manavis J, Pathology TU-, 2002 undefined. Effect of long-term mobile communication microwave exposure on vascular permeability in mouse brain. Elsevier.

[37] Neilly JP, Lin JC. Interaction of ethanol and microwaves on the blood-brain barrier of rats. Bioelectromagnetics. 1986;7(4):405–14.

[38] Williams W, Cerro M Del, Reviews SM-BR, 1984 undefined. Effect of 2450 MHz microwave energy on the blood-brain barrier to hydrophilic molecules. B. Effect on the permeability to HRP. Elsevier.

[39] Ward TR, Ali JS. Blood-brain barrier permeation in the rat during exposure to low-power 1.7-GHz microwave radiation. Bioelectromagnetics. 1985;6(2):131–43.

[40] Williams W, Hoss W, reviews MF-B research, 1984 undefined. Effect of 2450 MHz microwave energy on the blood—brain barrier to hydrophilic molecules. A. Effect on the permeability to sodium fluorescein. Elsevier.

[41] Frey A, Feld S, Sci BF-ANA, 1975 undefined. Neural function and behavior: defining the relationship. ehtrust.org.

[42] Merritt JH, Chamness AF, Allen SJ. Studies on blood-brain barrier permeability after microwave-radiation. Radiat Environ Biophys. 1978 Dec;15(4):367–77.

[43] Sırav B, neuroanatomy NS-J of chemical, 2016 undefined. Effects of GSM modulated radio-frequency electromagnetic radiation on permeability of blood–brain barrier in male &

[18] Lai H. Neurological Effects of Radiofrequency Electromagnetic Radiation Relating to Wireless Communication Technology.

[19] Preece AW, Iwi G, Davies-Smith A, Wesnes K, Butler S, Lim E, et al. Effect of a 915-MHz simulated mobile phone signal on cognitive function in man. Int J Radiat Biol. 1999;75(4):447–56.

[20] Volkow N, Tomasi D, Wang G, Vaska P, Jama JF-, 2011 undefined. Effects of cell phone radiofrequency signal exposure on brain glucose metabolism. jamanetwork.com.

[21] Rubtsova N, Perov S, Belaya O, Kuster N, Balzano Q. Near-field radiofrequency electromagnetic exposure assessment. Electromagn Biol Med. 2015 Jul;34(3):180–2.

[22] Dimbylow PJ, Mann SM. SAR calculations in an anatomically realistic model of the head for mobile communication transceivers at 900 MHz and 1.8 GHz. Phys Med Biol. 1994;39(10):1537–53.

[23]. Dimbylow PJ. FDTD calculations of the SAR for a dipole closely coupled to the head at 900 MHz and 1.9 GHz. Phys Med Biol. 1993;38(3):361–8.

[24] Martens L, Moerloose J De, … DDZ-R, 1995 undefined. Calculation of the electromagnetic fields induced in the head of an operator of a cordless telephone. Wiley Online Libr.

[25] Frey AH. Headaches from cellular telephones: Are they real and what are the implications? Vol. 106, Environmental Health Perspectives. Public Health Services, US Dept of Health and Human Services; 1998. p. 101–3.

[26] Terzi M, Ozberk B, Deniz OG, Kaplan S. The role of electromagnetic fields in neurological disorders. J Chem Neuroanat. 2016;75:77–84.

[27] A review of the potential health hazards of radio... - Google Scholar.

[28] Pathological Effects of Radio Waves - M. S. Tolgskaya - Google Books.

[29] Roberti B, Heebels G, … JH-A of the N, 1975 undefined. Preliminary investigations of the effects of low-level microwave radiation on spontaneous motor activity in rats. europepmc.org.

[30] Kaplan S, Deniz OG, Önger ME, Türkmen AP, Yurt KK, Aydın I, et al. Electromagnetic field and brain development. J Chem Neuroanat. 2016;75:52–61.

[31] YA Lobanova - Effects of Radiofrequency

[Downloaded from biot.modares.ac.ir on 2024-12-26]

al. Pulsed electromagnetic field enhances brain-derived neurotrophic factor expression through L-type voltage-gated calcium channel- and Erk-dependent signaling pathways in neonatal rat dorsal root ganglion neurons. Neurochem Int. 2014;75:96–104.

[56] Llinas R, Sugimori M, Hillman D, neurosciences BC-T in, 1992 undefined. Distribution and functional significance of the P-type, voltage-dependent Ca2+ channels in the mammalian central nervous system. Elsevier.

[57] Neuronal Calcium Signaling Review.

[58] Leach V, Weller S, Redmayne M. A novel database of bio-effects from non-ionizing radiation. Rev Environ Health. 2018;33(3):273–80.

[59] ORSAA website. Data Dictionary for use in selection of fields for downloading in CSV files. Available from: http://www.orsaa.org/orsaa-database.html.

[60] Hao Y-H, Zhao L, Peng R-Y. Effects of microwave radiation on brain energy metabolism and related mechanisms. Mil Med Res. 2015;2(1):1–8.

[61] Toledano MB, Auvinen A, Tettamanti G, Cao Y, Feychting M, Ahlbom A, et al. An international prospective cohort study of mobile phone users and health (COSMOS): Factors affecting validity of self-reported mobile phone use. Int J Hyg Environ Health. 2018;221(1):1–8.

[62] Morgan LL. Estimating the risk of brain tumors from cellphone use: Published case–control studies. Pathophysiology. 2009;16(2–3):137–47.

[63] Betskii O V, Devyatkov ND, Kislov V V. Low intensity millimeter waves in medicine and biology. Crit Rev Biomed Eng. 2000;28(1&2).

[64] Crutcher RM, Kemball AJ. Review of Zeeman Effect Observations of Regions of Star Formation. Front Astron Sp Sci. 2019;6:66.

[65] Dasdag S, Akdag MZ. The link between radiofrequencies emitted from wireless technologies and oxidative stress. J Chem Neuroanat. 2016;75:85–93.

[66] Haghighat N, Abdolmaleki P, Behmanesh M, Satari M. Stable morphological-physiological and neural protein expression changes in rat bone marrow mesenchymal stem cells treated with electromagnetic field and nitric oxide. Bioelectromagnetics [Internet]. 2017 Dec 1 [cited 2017 Nov 18];38(8):592–601. Available from: female rats. Elsevier.

[44] Roth BJ, Basser PJ. A Model of the Stimulation of a Nerve Fiber by Electromagnetic Induction MRI Project View project Diffusion exchange spectroscopic imaging for biological applications View project. 1990;

[45] Hinrikus H, Lass J, Annual TT-P of the 25th, 2003 undefined. Low-level microwave effect on nerve pulse propagation velocity. ieeexplore.ieee.org.

[46] Shneider MN, Pekker M. Non-thermal mechanism of weak microwave fields influence on neurons. J Appl Phys. 2013 Sep;114(10).

[47] Hinrikus H, Bachmann M, Karai D, Lass J. Mechanism of low-level microwave radiation effect on nervous system. Electromagn Biol Med. 2017 Apr;36(2):202–12.

[48] Johnson Liakouris AG. Radiofrequency (RF) sickness in the lilienfeld study: An effect of modulated microwaves? Arch Environ Health. 1998 May;53(3):236–8.

[49] Hocking B. Microwave sickness: a reappraisal.

[50] Khurana VG, Hardell L, Everaert J, Bortkiewicz A, Ahonen M. Epidemiological Evidence for a Health Risk from Mobile Phone Base Stations Epidemiological Evidence for a Health Risk from Mobile Phone Base Stations. Int J Occup Environ Health. 2013;3525(March 2016):263–7.

[51] Blake Levitt B, Lai H, Lai H. Biological effects from exposure to electromagnetic radiation emitted by cell tower base stations and other antenna arrays. Environ Rev. 2010;18:369–95.

[52] Pall ML. Electromagnetic fields act via activation of voltage-gated calcium channels to produce beneficial or adverse effects. J Cell Mol Med. 2013 Aug;17(8):958–65.

[53] Walleczek J. Electromagnetic field effects on cells of the immune system: the role of calcium signaling. FASEB J [Internet]. 1992 [cited 2017 Jun 11]; Available from: http://www.fasebj.org/content/6/13/3177.short

[54] Lisi A, Ledda M, Rosola E, Pozzi D, D'Emilia E, Giuliani L, et al. Extremely low frequency electromagnetic field exposure promotes differentiation of pituitary corticotrope-derived AtT20 D16V cells. Bioelectromagnetics. 2006 Dec;27(8):641–51.

[55] Li Y, Yan X, Liu J, Li L, Hu X, Sun H, et

[Downloaded from biot.modares.ac.ir on 2024-12-26]

http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/jcmm.12088/full

[74] Sun Z, Ge J, Guo B, Guo J, Hao M, Wu Y, et al. Extremely low frequency electromagnetic fields facilitate vesicle endocytosis by increasing presynaptic calcium channel expression at a central synapse. Sci Rep. 2016;6(1):1–11.

[75] Li Y, Yan X, Liu J, Li L, Hu X, Sun H, et al. Pulsed electromagnetic field enhances brain-derived neurotrophic factor expression through L-type voltage-gated calcium channel-and Erk-dependent signaling pathways in neonatal rat dorsal root ganglion neurons. Neurochem Int. 2014;75:96–104.

[76] Leszczynski D. Review of the scientific evidence on the individual sensitivity to electromagnetic fields (EHS). Rev Environ Health. 2021;

[77] Rubin GJ, Hahn G, Everitt BS, Cleare AJ, Wessely S. Are some people sensitive to mobile phone signals? Within participants double blind randomised provocation study. Bmj. 2006;332(7546):886–91.

[78] Levallois P, Neutra R, Lee G, Hristova L. Study of self-reported hypersensitivity to electromagnetic fields in California. Environ Health Perspect. 2002;110(suppl 4):619–23.

[79] Leach V, Weller S. Radio frequency exposure risk assessment and communication: Critique of ARPANSA TR-164 report. Do we have a problem. Radiat Prot Australas. 2017;34(2):9–18.

http://doi.wiley.com/10.1002/bem.22072

[67] Mattson MP. Metal-catalyzed disruption of membrane protein and lipid signaling in the pathogenesis of neurodegenerative disorders. Ann N Y Acad Sci. 2004;1012(1):37–50.

[68] Fedoce A das G, Ferreira F, Bota RG, Bonet-Costa V, Sun PY, Davies KJA. The role of oxidative stress in anxiety disorder: cause or consequence? Free Radic Res. 2018;52(7):737–50.

[69] Yin H, Xu L, Porter N. Free radical lipid peroxidation: mechanisms and analysis. Chem Rev [Internet]. 2011 [cited 2016 Jan 27]; Available from: http://pubs.acs.org/doi/full/10.1021/cr200084z

[70] Catalá A, Díaz M. Impact of lipid peroxidation on the physiology and pathophysiology of cell membranes. Front Physiol. 2016;7:423.

[71] Van der Paal J, Neyts EC, Verlackt CCW, Bogaerts A. Effect of lipid peroxidation on membrane permeability of cancer and normal cells subjected to oxidative stress. Chem Sci. 2016;7(1):489–98.

[72] Ando K, Fujita M. Reactive oxygen species and the central nervous system in salt-sensitive hypertension: possible relationship with obesity-induced hypertension. Clin Exp Pharmacol Physiol. 2012;39(1):111–6.

[73] Pall M. Electromagnetic fields act via activation of voltage-gated calcium channels to produce beneficial or adverse effects. J Cell Mol Med [Internet]. 2013 [cited 2017 May 4]; Available from:

[Downloaded from biot.modares.ac.ir on 2024-12-26]

Biotechnology-Tarbiat Modares University

Quantitative study of the effect of non-ionizing electromagnetic radiation on nervous system

Mohammad Satari Keykeleh[1*], Mohammad Naseh Talebi[2], Farzaneh Zarrin[3], Mehdi Fakhimi Kamran[4], Shadi Akbari[5]

[1-] Assistant Professor, Department of Biology, Faculty of Basic Sciences, Malayer University, Malayer, Iran

2- Assistant Professor, Department of Cognitive modeling, Institute for Cognitive Science Studies, Tehran, Iran.

3- Postgraduate student, Department of bioscience and biotechnology, Malek Ashtar University of technology (MUT), Tehran, Iran.

4- Doctoral student, Department of Social cognition, Institute for Cognitive Science Studies, Tehran, Iran.

5-Assistant Professor, Department of Neurocognitive Sciences, Faculty of Modern Medical Sciences, Tabriz University of Medical Sciences, Tabriz, Iran

***** Correspondening Author

email: m.satari@modares.ac.ir

Received: 2022/5/20 Accepted: 2024/2/5

Abstract

With the wide spread of electromagnetic waves in living environment, concerns about the harmful effects of these waves on human health have increased. However, many studies have been conducted on the biological effects of non-ionizing radiation, but there is no certainty about the effects of these radiation, especially on the nervous system. The achieved results from studies have many differences and even conflicting results have been reported. According to the previous studies, it is not yet concluded whether non-ionizing electromagnetic radiation damaging to the nervous system. The purpose of this study is to analyze published articles about the effects of non-ionizing electromagnetic radiation on the nervous system in order to extract quantitative data on the effects of these waves. The purpose of this study is to analyze published articles about the effects of non-ionizing electromagnetic radiation on the nervous system in order to extract quantitative data on the effects of these waves. At first, the articles published in the ORSAA database were reviewed and divided into two categories: cellular and molecular parameters and neurological and cognitive parameters. The results obtained from the reviews and quantitative analyzes of the articles in the ORSAA database showed that in the category of cellular and molecular parameters, non-ionizing electromagnetic waves have the greatest effect on the change of enzyme activity and damage to proteins with 418 cases. Also, in the category of neurological and cognitive parameters, non-ionizing waves have the greatest effect on behavior and cognitive effects with 171 reported cases.

Keywords: Non-ionizing electromagnetic radiation, nervous system, frequency bands, ORSAA database

[Downloaded from biot.modares.ac.ir on 2024-12-26]