

## اثر تابش امواج وای فای بر حافظه‌ی کاری

شهرام بهبهانیان

دانشجوی دکتری علوم اعصاب شناختی،

پژوهشکده علوم شناختی

علیرضا مرادی\*

استاد روان‌شناسی بالینی، دانشکده علوم

تربیتی و روان‌شناسی، دانشگاه خوارزمی،

پژوهشکده علوم شناختی

رضا خسروآبادی

استادیار گروه مدل‌سازی شناختی،

پژوهشکده علوم شناختی و مغز، دانشگاه

شهید بهشتی

وحید نجاتی

دانشیار علوم اعصاب شناختی، پژوهشکده

علوم شناختی و مغز، دانشگاه شهید بهشتی

\*نشانی تماس: دانشکده روان‌شناسی

بالینی، دانشکده علوم تربیتی و روان

شناسی، دانشگاه خوارزمی

رایانامه: moradi@iricss.org

**مقدمه:** اساس بحث اثرگذاری امواج الکترومغناطیس بر دستگاه عصبی این است که این امواج می‌توانند با ایجاد میدان مغناطیسی و الکتریکی بر فعالیت الکتریکی مغز تأثیر گذاشته و باعث تغییر در پتانسیل غشای نواحی مختلف سیستم عصبی شوند. این پژوهش می‌کوشد تا آثار احتمالی امواج الکترومغناطیس سیستم وای فای را بر کارکرد حافظه‌ی کاری انسان بهنجار بررسی کند. **روش:** جمعیت آزمودنی این پژوهش ۲۴ دانشجوی پسر دانشگاه شهید بهشتی با میانگین سنی  $26.5 \pm 2.7$  بود که به روش در دسترس انتخاب و به صورت تصادفی به دو گروه مساوی (مداخله و شم) تقسیم شدند. تحقیق حاضر از نوع پیش‌آزمون-پس‌آزمون-پیگیری و یک‌سویه کور بود. مرحله‌ی پیگیری ۲۴ ساعت بعد از آزمون انجام شد. برای غربال‌گری اولیه، از چک لیست نشانه‌های اختلالات روانی SCL90-R و برای ارزیابی حافظه‌ی کاری آزمون ان بک (n-back) به کار رفت و متغیرهای زمان واکنش و درصد پاسخ‌گویی صحیح نیز بررسی شد. امواج ۲۴۵۰ مگاهرتز به مدت ۲۰ دقیقه از ناحیه‌ی پشت سر به آزمودنی تابانده شد که نرخ جذب مخصوص آن در ناحیه‌ی سر  $0.15$  وات بر کیلوگرم بود. داده‌ها در سه مرحله‌ی زمانی پیش‌آزمون-پس‌آزمون و پیگیری ثبت شدند و اگر زمان واکنش بیش از هزار میلی‌ثانیه و یا درصد پاسخ‌گویی صحیح کمتر از ۷۰ درصد بود، از محاسبات بعدی خارج می‌شدند. داده‌ها با آزمون تحلیل واریانس با اندازه‌های تکراری تجزیه و تحلیل شد. **یافته‌ها:** یافته‌های پژوهش نشان داد که در گروه مداخله، تابش امواج الکترومغناطیس به طور معناداری باعث کاهش زمان واکنش در مرحله‌ی پس‌آزمون می‌شود، ولی این تأثیر در پیگیری ۲۴ ساعت بعد از آزمون دیده نشد. یافته‌ی دیگر پژوهش نشان داد که در هر دو گروه آزمایش، تابش موج الکترومغناطیس اثر معناداری بر درصد پاسخ‌گویی صحیح ندارد. **نتیجه‌گیری:** یافته‌های پژوهش نشان داد که در گروه مداخله، تابش امواج الکترومغناطیس به طور معناداری باعث کاهش زمان واکنش در مرحله‌ی پس‌آزمون می‌شود، ولی این تأثیر در پیگیری ۲۴ ساعت بعد از آزمون دیده نشد. یافته‌ی دیگر پژوهش نشان داد که در هر دو گروه آزمایش، تابش موج الکترومغناطیس اثر معناداری بر درصد پاسخ‌گویی صحیح ندارد.

**واژه‌های کلیدی:** امواج الکترومغناطیس، حافظه‌ی کاری، زمان واکنش

## Effects of Wi-Fi Wave Exposure on Human Working Memory

**Introduction:** The possibility that electromagnetic waves affect human cognition arises from the fact that electromagnetic radiation induces magnetic and electrical fields which may affect brain electrical activity and membrane potential of nervous system. The purpose of this study was to investigate the effects of electromagnetic radiation on the working memory of humans. **Method:** A sample of 24 male students from Shahid Beheshti University (mean age  $26.5 \pm 2.7$  years) were selected for this study and randomly divided into two groups: sham exposed and experimental. To evaluate the psychological condition of participants, the SCL90-R questionnaire was used. The experimental group was exposed to electromagnetic wave at 2450 MHz frequency for 20 minutes. The head specific absorption rate (SAR) was estimated to be  $0.15$  W/kg. The participants' working memories were assessed at three stages of before, after and 24 hours following exposure using n-back task. In case the reaction time was more than 1,000 milli-seconds or accuracy rate less than 70%, the data was excluded from further analysis. An analysis of ANOVA with repeated measure was used to analyze the data. **Results:** A significant decrease in reaction time was observed in the experimental group after exposure as compared to the sham group, but the accuracy rate was not changed significantly. **Conclusion:** According to the findings of present study, it can be concluded that electromagnetic wave exposure in 2450 MHz frequency may induce transient effect on working memory in healthy humans by curbing the reaction time.

**Keywords:** Electromagnetic wave, Working memory, Reaction time

Shahram Behbahanian

PhD student in cognitive neuroscience, Institute for cognitive science studies

Alireza Moradi\*

Professor in clinical psychology, Department of psychology, University of Kharazmi

Reza Khosroabadi

Assistant Professor, Institute of cognitive and brain science, University of Shahid Beheshti

Vahid Negati

Associated professor, Institute of cognitive and brain science, University of Shahid Beheshti

\*Corresponding Author:

Email: moradi@iricss.org

## مقدمه

یادآوری می‌کند، در واقع آن اطلاعات از حافظه‌ی بلندمدت به حافظه‌ی کاری منتقل می‌شود. همچنین حافظه‌ی کاری فعالانه با اطلاعاتی ارتباط دارد که در فرایند انتقال به حافظه‌ی بلندمدت قرار دارند. در مجموع، میان حافظه‌ها نمی‌توان سرحد مشخصی تعیین کرد. حافظه‌ی کاری با هر فرآیندی که نیاز به استدلال دارد (مثل خواندن، نوشتن و محاسبات ذهنی) درگیر است (۴). مطالعات تصویربرداری تشدید مغناطیسی کارکردی<sup>۱</sup> شواهد مستحکمی دال بر درگیر بودن ناحیه‌ی پیش‌پیشانی در عملکرد حافظه‌ی کاری دارد. همچنین بر اساس آن، نیم‌کره‌ی راست با پردازش اطلاعات فضایی (مکانی) و نیم‌کره‌ی چپ با پردازش اطلاعات کلامی مرتبط است (۵).

به دنبال پیشرفت بشر در حوزه‌های مختلف علوم، دانشمندان توانستند منابع مختلف انرژی جهان را شناسایی و از آن استفاده کنند. یکی از اشکال انرژی، که در زندگی مدرن امروزی کاربرد فراوانی دارد، انرژی حاصل از تابش امواج الکترومغناطیس است. امروزه از این امواج در صنایع مختلف پزشکی، نظامی، لوازم خانگی و مخابرات استفاده می‌شود. به دنبال گسترش جهانی استفاده از ابزارهای مخابراتی همچون تلفن همراه، رادیو، تلویزیون و دیگر سیستم‌های مخابراتی، می‌توان گفت که بشر امروزی در اقیانوسی از امواج الکترومغناطیس غوطه‌ور است. این امواج که با حرکت ذره‌ی باردار الکتریکی ایجاد می‌شوند، دو منشأ طبیعی (اجرام آسمانی) و مصنوعی (ساخته‌ی دست بشر) دارند. میدان مغناطیسی‌ای که توسط ابزار و به طور مصنوعی ایجاد می‌شود بسیار قوی‌تر از میدان ایجاد شده به واسطه‌ی منابع طبیعی است. به دنبال نگرانی‌های عمومی در مورد اثر استفاده از این امواج بر سلامت انسان، سازمان بهداشت جهانی<sup>۲</sup> در سال ۱۹۹۶، تحقیقات خود را در این زمینه آغاز کرد. تاکنون در مورد آثار زیستی امواج الکترومغناطیس، پژوهش‌های مختلفی شده

بیشتر دانشمندان علوم شناختی بر این باورند که حافظه مهم‌ترین کارکرد شناختی انسان است و به نظر می‌رسد که اندیشه‌ها و تصورات ما حاصل عملکرد حافظه باشد و ادراک و اندیشه‌ی انسان از آن سرچشمه بگیرد. حافظه از پدیده‌های بی‌شمار هستی، واحدی یک‌پارچه می‌سازد. تمام شناخت و تجارب ما از دنیای اطراف، که پایه‌ی کلیه‌ی علوم علمی و عملی ماست، در حافظه ذخیره می‌شود. حافظه را می‌توان مجموعه‌ی متعدد بازتوانایی‌های شناختی دانست که اطلاعات را نگهداری و تجارب گذشته‌ی فرد را برای هدف کنونی وی بازسازی می‌کند (۱). دانشمندان حوزه‌ی شناختی، عموماً، حافظه را که شامل فرایندهای اکتساب و ضبط، رمزگردانی، ذخیره و بازیابی اطلاعات است، توانایی ذخیره‌سازی، دست‌کاری و پردازش اطلاعات مرتبط با تجارب موقت و دائمی و استفاده از آنها در تعاملات بعدی با محیط می‌دانند. به همین علت، حافظه در سیستم شناختی انسان، یک توانایی مرکزی شناخته می‌شود (۲). یکی از کارکردهای مهم شناختی، حافظه‌ی کاری است که عمل ذخیره‌سازی موقت و دست‌کاری اطلاعات ضروری برای انجام وظایف شناختی پیچیده مانند درک زبان، یادگیری و استدلال را فراهم می‌کند (۳). به این نوع حافظه، حافظه‌ی فعال، که اصطلاحی جدید است، می‌گویند. دانشمندان، حافظه‌ی کاری یا حافظه‌ی فعال را جایگزین حافظه‌ی کوتاه‌مدت کرده‌اند، زیرا حافظه‌ی کوتاه‌مدت نمی‌تواند یک حافظه‌ی منفعل باشد و اطلاعات در آن دست‌کاری می‌شود. از این‌رو، ظرفیت حافظه‌ی کوتاه‌مدت جای خود را به ظرفیت پردازش داده است. حافظه‌ی فعال در واقع تلفیقی از حافظه‌ی کوتاه‌مدت و عنصر توجه برای انجام تکالیف ذهنی خاص است، بنابراین این حافظه سیستم فعال و پویایی است که برای اندوختن و دست‌کاری موقتی اطلاعات و به منظور انجام تکالیف شناختی پیچیده نظیر یادگیری، استدلال، ادراک و تفکر به کار می‌رود.

هنگامی که فرد اطلاعاتی را مرور ذهنی، بازیابی و

1- Functional magnetic resonance image

2- World health Organization

سازوکارهای مهمی در هیپوتالاموس آن را کنترل می‌کند. انرژی امواج مایکروویو توسط بافت زنده جذب و منجر به افزایش حرارت بافت می‌شود. تغییر در حرارت بافت نیز باعث حرکت یونها و چرخش مولکول‌ها شده و به این وسیله انرژی امواج به محیط بیولوژیک منتقل می‌شود. بر اساس فرضیه‌ی آثار غیرحرارتی، اثرگذاری امواج با مداخله در عملکرد کانال‌های یونی از جمله کانال‌های کلسیمی وابسته به ولتاژ<sup>۵</sup> (VGCCs) اتفاق می‌افتد. بر اساس آزمایش‌ها، استفاده از مسدودکننده‌های کانال‌های کلسیمی وابسته به ولتاژ می‌تواند از ایجاد عوارض امواج الکترومغناطیس جلوگیری کند (۱۲). این کانال‌ها می‌توانند نقش مهمی در ایجاد علائم ناشی از امواج الکترومغناطیس ایفا کنند. در واقع، امواج پالسی میکروویو می‌تواند باعث افزایش سریع فعالیت مسیر اکسید نیتريت<sup>۶</sup> وابسته به کلسیم - کالمودولین و فعال شدن هم‌زمان کانال کلسیمی شوند. همچنین مطالعات چندریختی ژنتیکی<sup>۷</sup> نشان داده که این امواج می‌توانند باعث افزایش ظهور و بروز<sup>۸</sup> ژن بیان‌کننده‌ی کانال کلسیم نوع L شوند (۱۳). با توجه به نقش مهم کانال‌های کلسیمی وابسته به ولتاژ در رهاسازی واسطه‌گرهای شیمیایی و تراکم زیاد آنها در مغز، اثرگذاری امواج الکترومغناطیس بر عملکردهای شناختی و بروز آثار عصب‌روان‌شناختی<sup>۹</sup> قابل انتظار است (۱۴ و ۱۵).

نتایج تحقیقات روی حیوانات نشان داده که حساس‌ترین بافت زنده در مقابل اثر غیرحرارتی امواج، بافت‌های مغز، قلب و بیضه‌ها هستند و سایر بافت‌ها در رده‌های بعدی قرار دارند. امواج پالسی در مقایسه با امواج غیرپالسی اثر زیستی بیشتری می‌تواند ایجاد کنند. از بخش‌هایی از سیستم عصبی که تحت تأثیر امواج قرار می‌گیرند، ناحیه‌ی کورتکس و هیپوکمپ و تالاموس را می‌توان

که نتایج آنها متفاوت و گاهی متناقض بوده است (۶،۷). کمیته‌ی جهانی حفاظت از تابش اشعه‌ی غیریونیزه<sup>۱</sup>، به منظور محافظت جمعیت انسانی در مقابل خطرات زیستی احتمالی ناشی از تابش امواج، حد مجاز تابش آن را ۲ وات / کیلوگرم تعیین کرده است (۸).

اخیراً به اثر احتمالی میدان مغناطیسی بر عملکردهای شناختی و عصب- رفتاری<sup>۲</sup> نیز توجه شده است. اساس بحث اثرگذاری امواج الکترومغناطیس بر دستگاه عصبی این است که این امواج با ایجاد میدان مغناطیسی و الکتریکی می‌توانند بر فعالیت الکتریکی مغز تأثیر گذاشته و باعث تغییر پتانسیل غشا در نواحی مختلف سیستم عصبی و اندام‌های حسی شوند. از سوی دیگر، مغز به دلیل داشتن فعالیت الکتریکی، دارای میدان مغناطیسی بوده و می‌تواند تحت تأثیر دیگر امواج مغناطیسی قرار گیرد. امواج الکترومغناطیس دست‌ساز بشر نیز از جنس امواج پلاریزه محسوب می‌شوند. این امواج از دو راه می‌توانند باعث تغییرات زیستی شوند: یا از طریق تداخل در فرایند زیستی در حال انجام و شدت بخشیدن به آن و یا با اعمال نیرو موجب چرخش مولکول‌های قطبی و یون‌های آزاد سلول زنده شوند، به طوری که هم‌محور میدان تابش امواج شوند. این نیرو که باعث چرخش محوری یونها می‌شود، همچنین می‌تواند با وارد کردن نیروی الکترواستاتیک بر گیرنده‌های حساس به ولتاژ، برکانال‌های یونی اثر گذاشته و موجب تداخل عملکرد این کانال‌ها شود و در تعادل یونی الکتروشیمیایی سلول تغییر ایجاد کند. از منظر زیستی، این دو خصوصیت باعث فعال‌تر شدن امواج الکترومغناطیس دست‌ساز بشر نسبت به امواج طبیعی غیریونیزه می‌شود (۹). نتایج مطالعات نیز نشان داده که قرار گرفتن در معرض امواج الکترومغناطیس می‌تواند باعث ایجاد تغییرات زیستی، رفتاری و شناختی انسان و حیوان شود (۱۰ و ۱۱).

در مورد نحوه‌ی اثرگذاری امواج بر کارکردهای شناختی تاکنون دو مکانیسم حرارتی<sup>۳</sup> و غیرحرارتی<sup>۴</sup> پیشنهاد شده که اثر حرارتی شناخته‌شده‌ترین مکانیسم مفروض است. حرارت بافت‌های بدن در محدوده‌ای معین است و

1- International commission on non-Ionizing radiation protection	channels (VGCCs)
2- Neurobehavioural	6- Nitric oxide (NO)
3- Thermal	7- Genetic polymorphism
4- Non-thermal	8- Expression
5- Voltage gated calcium	9- Neuropsychiatric

اثرگذاری امواج الکترومغناطیس در فرکانس وای فای بر عملکرد حافظه‌ی کاری انسان پژوهشی منتشر نشده است، لذا این پژوهش تلاش کرد به بررسی آثار احتمالی امواج وای فای بر کارکرد حافظه‌ی کاری انسان بهنجار بپردازد.

#### ابزارهای پژوهش

۱. چک لیست نشانه‌های اختلالات روانی **SCL90-R**: از این آزمون که یکی از پر استفاده‌ترین ابزارهای تشخیص روان‌پزشکی است، برای غربال‌گری اولیه‌ی داوطلبان شرکت در تحقیق استفاده شد. این پرسش‌نامه‌ی ۹۰ سؤالی که به وسیله‌ی پاسخ‌گو گزارش می‌شود، در ارزشیابی علایم روانی به کار می‌رود و اولین بار برای نشان دادن جنبه‌های روان‌شناختی بیماران جسمی و روانی مطرح شد. با استفاده از این آزمون، که در گروه‌های بسیاری با موفقیت به کار رفته، می‌توان افراد سالم را از بیمار تشخیص داد. علاوه بر بیماران روانی، این آزمون برای معتادان به الکل، افراد دچار ناتوانی‌های جنسی، بیماران سرطانی، مبتلایان به نارسایی قلبی، بیماران با ناراحتی‌های شدید جسمی، و نیز به عنوان ابزار سرنند و تشخیص و همچنین دانشجویانی که به راهنمایی و مشاوره نیاز داشتند، به کار رفته است.

آزمون را دارگوئیس و همکارانش در سال ۱۹۷۳ معرفی کردند و سپس، بر اساس تجارب بالینی و تجزیه و تحلیل‌های روان‌سنجی، مورد تجدید نظر قرار گرفت و فرم نهایی آن در سال ۱۹۷۶ تهیه شد. دروگاتیس، ریکلز و راک (۱۳۷۶) اعتبار درونی این پرسش‌نامه را با استفاده از ضریب آلفا رضایت‌بخش گزارش کرده‌اند. بیشترین ضریب همبستگی برای افسردگی ۰/۹۵ و کمترین آن برای روان‌گسسته‌گرایی ۰/۷۷ به دست آمد. بلوکی و هاروت (۱۹۷۴) همبستگی این آزمون را با پرسشنامه سلامت روان (MHQ) بسیار بالا و حدود ۰/۹۲ گزارش کرده‌اند. در ایران مطالعات هنجاریابی را

نام برد. با افزایش زمان تابش، غدد هورمونی نیز تحت تأثیر قرار می‌گیرند. مطالعات نشان داده‌اند که نورون‌های پستانداران به شدت به محدوده‌ی پایین فرکانسی امواج میکروویو حساس‌اند و می‌توانند تحت تأثیر تأثیرات غیرحرارتی امواج قرار گیرند (۱۵). همچنین تابش امواج الکترومغناطیس باعث تحریک‌پذیری بیشتر نواحی کورتکس مغز می‌شود (۱۶).

تحقیقات نشان داده که تأثیر امواج وابسته به دوز نبوده و به متغیرهایی مانند شدت میدان الکتریکی، شدت میدان مغناطیسی، فرکانس و مدت تابش بستگی دارد و این امر موجب می‌شود آثار امواج با فرکانس‌ها و شرایط مختلف تابشی را نتوان پیش‌بینی کرد که این خود بر ضرورت تحقیق در این زمینه می‌افزاید. بیشتر مطالعاتی که تا امروز شده، مرتبط با آثار زیستی امواج بوده و بر اساس بررسی صورت گرفته، تحقیقات در زمینه‌ی تأثیرات آن بر کارکردهای شناختی و فرایندهای مغزی در طیف فرکانسی ۸۰۰ تا ۹۵۰ مگاهرتز محدود بوده است. به نظر محققان، پژوهش‌های موجود در حوزه‌ی تأثیرگذاری امواج الکترومغناطیس بر انسان از دیدگاه شناختی ناکافی و نیازمند مطالعات گسترده‌تر و در طیف فرکانسی وسیع‌تر است (۶ و ۷). با در نظر گرفتن این واقعیت که کلیه‌ی فعالیت‌های ذهنی و عملکردهای عالی شناختی انسان ناشی از فعالیت الکتریکی سلول‌های مغزی است و با توجه به مکانیسم‌های مطرح در نحوه‌ی اثرگذاری امواج الکترومغناطیس بر فعالیت‌های الکتریکی مغز، می‌توان احتمال تأثیر این امواج بر کارکردهای شناختی انسان همچون حافظه‌ی کاری را انتظار داشت.

حال با توجه به یافته‌های ضد و نقیض پژوهش‌های انجام شده، پژوهش حاضر به این سؤال پرداخته که تابش امواج الکترومغناطیس در فرکانس ۲۴۵۰ مگاهرتز (امواج سیستم وای فای) موجب بهبود و یا کاهش عملکرد حافظه‌ی کاری انسان بهنجار می‌شود؟ نوآوری پژوهش حاضر نسبت به سایر مطالعات، مرتبط با انتخاب فرکانس مورد مطالعه است که بر اساس مرور متون و منابع علمی دردسترس تاکنون در زمینه‌ی

1- Wi-Fi

2- Symptom check list-90-Revised

3- Michigan Hand Outcomes Questionnaire

در تحقیق حاضر، حافظه‌ی کاری دیداری با آزمون ان بک و روشی که آنجل<sup>۲</sup> در سال ۲۰۱۵ معرفی کرد، ارزیابی (۲۲) و آزمون در برنامه‌ی سای تسک *psytask* طراحی، نصب و اجرا شد. در اینجا به اختصار در مورد مشخصات آزمون توضیحاتی داده می‌شود. آزمودنی روی یک صندلی راحت در فاصله‌ی ۶۰ سانتی‌متری صفحه نمایش می‌نشیند. تکلیف شامل نمایش متوالی یک سری محرکات دیداری (مربع سیاه) در مکان‌های معینی از صفحه نمایش و نیز سه بخش صفر، یک، دو بک 0,1, 2-back است. در بخش صفر بک 0-back آزمودنی می‌بایست تصویر نمایش داده شده در هر خرده آزمون را با اولین تصویر مقایسه و در کوتاه‌ترین زمان و با دقت زیاد، تشابه را با فشار دادن کلید راست و عدم تشابه را با کلید چپ موس موشواره پاسخ دهد. در بخش یک- بک 1-back تصویر نمایش داده شده با تصویر ماقبل آخر و در دو- بک 2-back با تصویر دو نوبت قبل مقایسه و پاسخ داده می‌شود. با افزایش تعداد، بر سختی آزمون افزوده می‌شود. آزمون صفر بک 0-Back به میزان توجه آزمودنی و یک- بک و دو- بک 1-Back, 2-Back به حافظه‌ی کاری فرد بستگی دارد و با افزایش سطح آن، سخت‌تر می‌شود. در بخش صفر و یک- بک 1-Back, ۶۵ محرک و در بخش دو- بک 2-Back, ۶۶ محرک به صورت تصادفی نمایش داده می‌شود. در هر تکلیف نیمی از محرکات، مشابه و نیمی دیگر نامتشابه است. محرک دیداری به شکل مربع سیاه (فونت 37wingding) بود که در درون یک مربع بزرگ خاکستری، در یکی از هشت مکان محیطی آن و در فاصله‌ی چهار تا هشت سانتی‌متری مرکز قرار می‌گرفت. در مرکز مربع بزرگ، همواره علامت + به عنوان نقطه‌ی فیکس مرکزی نمایش داده می‌شد. مدت نمایش محرک ۱۰۰ میلی‌ثانیه بود و پس از آن، آزمودنی به مدت سه هزار میلی‌ثانیه فرصت پاسخ‌گویی داشت. بنابراین کل زمان اجرای هر خرده‌آزمون سه هزار و ۱۰۰ میلی‌ثانیه

1- Event related potential (ERP)

2- Angel

میرزایی (۱۳۵۹) و رضاپور (۱۳۷۶) انجام دادند که نشان از روایی هم‌زمان و اعتبار به روش بازآزمایی مناسب این ابزار در جمعیت ایرانی دارد.

سؤالات آزمون نه بعد مختلف را در بر می‌گیرد و هر یک از آنها میزان ناراحتی فرد را در یک طیف پنج درجه‌ای هیچ (صفر) تا شدید (چهار) می‌سنجد. نمره‌گذاری و تفسیر آزمون بر اساس سه شاخص شدت کلی، ناراحتی نشانه‌های مثبت و جمع نشانه‌های مثبت به دست می‌آید. شاخص شدت کلی، بهترین نشانه برای سطح و یا عمق یک ناراحتی است و می‌بایست در مواردی که به یک سنجش خلاصه و یا سرند کردن فرد نیاز است، از آن استفاده شود. قاعده‌ی کلی این است که نمره‌ی بیشتر از ۶۳ حاکی از وجود سطح معنادار مشکلات روانی است (۱۷).

۲. نرم‌افزار سای تسک *psytask*: یکی از برنامه‌های معتبر برای طراحی آزمون‌های روان‌شناسی است که به وسیله‌ی آن چگونگی پاسخ‌دهی آزمودنی به محرک‌های مختلف ارزیابی می‌شود. از این نرم‌افزار، که در آن می‌توان محرکات دیداری یا شنیداری به کار برد، در مطالعات سایکوفیزیک، طراحی آزمون برای مطالعات ثبت سیگنال مغزی مانند پتانسیل وابسته به رخداد<sup>۱</sup> و بسیاری از فعالیت‌های تحقیقاتی استفاده می‌شود (۱۸)، (۱۹). محرکات دیداری باید از جنس جی پگ (JPEG) و محرکات شنیداری از جنس و او (WAV) باشد (۱۸).

۳. آزمون ان بک: از میان آزمون‌های مختلفی که تاکنون برای ارزیابی حافظه‌ی کاری به کار رفته، آزمون شناختی ان بک به عنوان متداول‌ترین و برجسته‌ترین آزمون، بین محققان علوم‌شناختی کاربرد گسترده‌ای دارد (۲۱). از این آزمون که نخستین بار در سال ۱۹۸۵ توسط کرچنر معرفی شد، برای سنجش عملکرد شناختی مرتبط با کنش‌های اجرایی استفاده می‌شود. از آنجا که این آزمون هم نگهداری اطلاعات شناختی و هم به‌کارگیری آنها را شامل می‌شود، برای سنجش عملکرد حافظه‌ی کاری بسیار مناسب است و به طور گسترده در ارزیابی حافظه‌ی کاری به کار می‌رود (۲۱).

۵. دارا بودن سلامت بینایی و شنوایی. ملاک‌های خروج از آزمون نیز به قرار زیر بود: ۱. عدم سلامت روانی بر اساس آزمون غربال‌گری چک لیست نشانه‌های اختلالات روانی؛ ۲. مصرف مواد مخدر و ترکیبات مشابه از طریق خوداظهاری؛ ۳. استفاده از مواد دارویی که بر عملکرد مغز تأثیر می‌گذارد؛ ۴. ابتلا به بیماری‌های مرتبط با سیستم عصبی (مانند تشنج و صرع)؛ ۵. داشتن سابقه‌ی ضربه به سر.

ابتدا تمام شرایط آزمون برای داوطلبان توضیح داده شد و در صورت اعلام رضایت برای شرکت در پژوهش، فرم رضایت‌نامه را تکمیل می‌کردند. برای غربال‌گری داوطلبان، از چک لیست نشانه‌های اختلالات روانی و از زیرمقیاس شاخص شدت کلی<sup>۱</sup> به عنوان معیار سنجش غربال‌گری استفاده شد. اگر نمرات به دست آمده بیشتر از ۶۳ بود، آزمودنی‌ها از نمونه‌ی تحقیق خارج می‌شدند. افراد منتخب به صورت تصادفی به دو گروه مداخله و شام<sup>۲</sup> تقسیم شدند. برای ارزیابی حافظه‌ی کاری دیداری از آزمون ان بک (سه بخش صفر-یک-دو بک) استفاده شد. آزمون روی برنامه‌ی سالی تسک (psytask) طراحی، نصب و راه‌اندازی و متغیرهای زمان واکنش و نرخ پاسخ‌گویی صحیح محاسبه و ارزیابی شد. در مواردی که زمان واکنش آزمودنی بیشتر از هزار میلی‌ثانیه و یا نرخ پاسخ‌گویی صحیح کمتر از ۷۰ درصد بود، آزمودنی از محاسبات بعدی خارج می‌شد. برای تابش امواج الکترومغناطیس، از دستگاه مولد امواج به نام لوکاس اپسو (Lucas Epso) مدل 5234H-B4-R ساخت آمریکا استفاده شد. موج ارسالی از نوع پالسی با بسامد ۲۴۵۰ مگاهرتز (معادل بسامد سیستم وای‌فای)، با پهنای پالس سه میکروثانیه، نرخ تکرار ۷۰ پالس در ثانیه و مدت تابش ۲۰ دقیقه بود که به وسیله‌ی یک آنتن هورن که در فاصله‌ی دو متری در پشت آزمودنی قرار داشت، به کل بدن تابانده می‌شد. برای ارزیابی صحت و کنترل مشخصات موج خروجی، از دستگاه اسپکتروم آنالایزر

طول می‌کشید (ر.ک. به منبع مورد استفاده) (۲۲). پس از اجرای آزمون، زمان واکنش و دقت پاسخ‌گویی هر آزمودنی با برنامه‌ی سالی تسک psytask محاسبه و ثبت و داده‌ها برای محاسبات بعدی جمع‌آوری می‌شد.

### تجزیه و تحلیل داده‌ها

در این تحقیق، برای تجزیه و تحلیل داده‌های رفتاری (زمان واکنش و درصد پاسخ‌گویی صحیح) از روش‌های آمار توصیفی شامل میانگین و انحراف استاندارد و روش‌های آمار استنباطی شامل تحلیل واریانس با اندازه‌های تکراری و تحلیل واریانس یک‌راهه با سطح معناداری  $p < 0.05$  استفاده شد. برای آزمون نرمال بودن داده‌ها، آزمون کلموگروف-اسمیرنوف به کار رفت. همچنین تفاوت سنی و امتیاز به دست آمده از چک لیست نشانه‌های اختلالات روانی دو گروه آزمایشی، با آزمون  $t$  ارزیابی و داده‌ها با نسخه‌ی ۱۸ نرم‌افزار SPSS تجزیه و تحلیل شد.

### روش

روش تحقیق حاضر از نوع پیش‌آزمون-پس‌آزمون و به صورت یک‌سویه کور بود که طی چهار گام متوالی زیر اجرا شد: پیش‌آزمون؛ تابش امواج؛ پس‌آزمون؛ پیگیری (۲۴ ساعت بعد). برای تعیین حجم نمونه از جدول مورگان استفاده شد. نمونه‌ی آماری تحقیق شامل ۲۴ دانشجوی دانشگاه شهید بهشتی بود که به صورت در دسترس انتخاب شدند. در این تحقیق، ملاک‌های ورود و خروج با هدف کنترل متغیرهای مختلف، که می‌تواند به نحوی در نتایج آزمون اثرگذار باشند، در نظر گرفته شدند. برای مثال، انتخاب راست‌دست بودن با این رویکرد در نظر گرفته شد که نیم‌کره‌ی غالب مغز کلیه‌ی داوطلبان یکسان باشد و برای کنترل متغیر جنسیت صرفاً از داوطلبان مرد استفاده شد.

با توجه به رویکرد مورد اشاره، ملاک‌های ورود به گروه‌های مطالعه از این قرار بود: ۱. قرار داشتن در محدوده‌ی سنی ۲۰ تا ۳۰؛ ۲. راست‌دست بودن؛ ۳. داشتن سلامت روانی؛ ۴. داشتن تحصیلات حداقل کارشناسی؛

1- Global severity index

2- Sham

SCL90-R، تفاوت معناداری نداشتند و همسان بودند. نرخ جذب مخصوص<sup>۱</sup> امواج تابانده شده در ناحیه‌ی سر  $0.15 \text{ W/kg}$  (کمتر از یک‌دهم حد مجاز استاندارد بین‌المللی)، شدت میدان الکتریکی  $9/1 \text{ V/m}$  ولت/متر و شدت میدان مغناطیسی  $0.02 \text{ A/m}$  آمپر/متر بود که توسط آزمایشگاه تحقیقاتی دانشکده‌ی برق دانشگاه علم و صنعت اندازه‌گیری و گزارش شد. با توجه به توزیع نرمال داده‌ها، آزمون پارامتری تحلیل واریانس با اندازه‌های تکراری به کار رفت و زمانی که  $p < 0.05$  بود، برای انجام مقایسه‌های دوتایی، تحلیل واریانس یک‌طرفه و آزمون تعقیبی بونفرونی اجرا شد. جدول ۱، مقادیر میانگین و انحراف معیار زمان واکنش و درصد پاسخ‌گویی صحیح به محرکات مشابه و نامتشابه در آزمون ان بک (n-back) را در گروه‌های مداخله و شم، در سه مرحله‌ی زمانی پیش‌آزمون، پس‌آزمون و پیگیری (۲۴ ساعت بعد) نشان می‌دهد.

مدل U3661 ساخت شرکت ادونست (Advancet) ژاپن استفاده شد. دستگاه مولد امواج و اسپکتروم آنالیزر را مرکز علوم شناختی صدرا تهیه و در اختیار قرار داده بود. هیچ‌یک از آزمودنی‌ها با تکلیف آشنایی قبلی نداشتند و قبل از شروع، آموزش لازم به آنها داده شد و هر آزمودنی به عنوان تمرین ۲۰ خرده‌آزمون انجام داد. آزمون‌ها به صورت انفرادی و صبح (بین ساعت ۸ تا ۱۰) اجرا شد. داده‌ها در سه مرحله‌ی زمانی پیش‌آزمون، پس‌آزمون و پیگیری جمع‌آوری و برای تجزیه و تحلیل ثبت شدند.

### یافته‌ها

میانگین سنی شرکت‌کنندگان در این تحقیق،  $26/5 \pm 2/7$  بود. بر اساس نتایج آزمون کلموگروف-اسمیرنوف، داده‌ها از توزیع نرمال پیروی می‌کردند. نتایج آزمون t نشان داد که دو گروه از نظر سنی و نمرات کسب شده در آزمون

جدول ۱- میانگین زمان واکنش و درصد پاسخ‌گویی صحیح در آزمون n-back در سه مرحله‌ی اندازه‌گیری

متغیر وابسته	میانگین زمان واکنش بر حسب میلی‌ثانیه $\pm$		میانگین درصد صحیح پاسخ‌گویی $\pm$ انحراف معیار	
	پیش‌آزمون	پس‌آزمون	پیش‌آزمون	پس‌آزمون
<b>گروه مداخله</b>				
0-back محرک‌های مشابه	۵۱۴/۷ $\pm$ ۱۲۱/۷	۴۶۳/۸ $\pm$ ۸۲/۲	۴۸۸/۲ $\pm$ ۱۰۷/۲	۹۱/۲ $\pm$ ۶/۳
0-back محرک‌های نامتشابه	۵۷۳ $\pm$ ۱۰۱/۵	۵۲۶/۵ $\pm$ ۷۴	۵۳۵/۷ $\pm$ ۱۳۵/۴	۹۶/۸ $\pm$ ۲/۹
1-back محرک‌های مشابه	۵۶۱/۴ $\pm$ ۱۲۸/۷	۵۰۲/۳ $\pm$ ۱۱۰/۱	۵۲۴/۳ $\pm$ ۱۳۸/۵	۹۰ $\pm$ ۳/۲
1-back محرک‌های نامتشابه	۶۰۳/۸ $\pm$ ۱۱۴/۷	۵۲۲ $\pm$ ۱۱۶/۹	۵۸۹/۴ $\pm$ ۶۹/۹	۹۴/۶ $\pm$ ۷/۵
2-back محرک‌های مشابه	۶۶۱/۲ $\pm$ ۶۶/۵	۴۹۴/۳ $\pm$ ۶۸/۵	۶۰۶/۱ $\pm$ ۱۰۵/۳	۸۷/۸ $\pm$ ۶/۸
2-back محرک‌های نامتشابه	۷۳۸/۸ $\pm$ ۸۶/۷	۶۰۶/۰ $\pm$ ۶۵/۸	۷۰۸/۹ $\pm$ ۷۸/۲	۸۵/۸ $\pm$ ۷/۹
<b>گروه شم</b>				
0-back محرک‌های مشابه	۴۹۱/۷ $\pm$ ۱۴۵/۷	۵۰۵/۵ $\pm$ ۱۴۶/۸	۴۸۹ $\pm$ ۱۷۳/۳	۹۰ $\pm$ ۷/۷
0-back محرک‌های نامتشابه	۵۲۲ $\pm$ ۱۱۰/۵	۵۴۸/۵ $\pm$ ۱۴۷/۵	۵۴۴/۶ $\pm$ ۱۱۳	۹۲/۴ $\pm$ ۶/۸
1-back محرک‌های مشابه	۵۳۷/۴ $\pm$ ۱۴۵/۷	۵۲۴/۴ $\pm$ ۱۲۷/۳	۵۲۱/۷ $\pm$ ۱۴۶	۸۸/۵ $\pm$ ۴/۷
1-back محرک‌های نامتشابه	۵۸۸/۴ $\pm$ ۱۳۹/۷	۵۷۳/۳ $\pm$ ۱۲۰/۷	۵۶۳/۵ $\pm$ ۱۴۶/۷	۹۶/۲ $\pm$ ۴/۲
2-back محرک‌های مشابه	۶۱۱/۸ $\pm$ ۹۰/۴	۵۷۴/۹ $\pm$ ۹۸/۳	۵۷۳/۵ $\pm$ ۱۱۰/۷	۸۸/۰ $\pm$ ۶/۵
2-back محرک‌های نامتشابه	۷۳۷/۸ $\pm$ ۸۴/۴	۷۰۱/۳ $\pm$ ۹۳/۲	۶۷۸/۵ $\pm$ ۱۲۲/۱	۸۶/۶ $\pm$ ۹/۲

1- Specific absorption rate=SAR

دو-بک (2-back)، در سه مرحله‌ی اندازه‌گیری تفاوت معناداری داشت. مقدار آماره‌ی آزمون  $\eta^2 = 0/10$  با درجات آزادی ۲ و ۴۴ و  $p < 0/05$  و  $\eta^2 = 0/29$  برای پاسخ به محرکات مشابه و مقدار آماره‌ی آزمون  $\eta^2 = 0/34$  با درجات آزادی ۲ و ۴۴ و  $p < 0/05$  و  $\eta^2 = 0/30$  برای پاسخ به محرکات نامتشابه بود. همچنین بر اساس نتایج جدول ۲، میانگین درصد پاسخ‌گویی صحیح دو گروه آزمایشی، در سه مرحله‌ی زمانی اندازه‌گیری شده، اختلاف معناداری با یکدیگر نداشتند ( $p > 0/05$ ).

بر اساس داده‌های جدول ۱، زمان واکنش و درصد پاسخ‌گویی صحیح به آزمون در دو گروه آزمایشی، در زمان‌های اندازه‌گیری شده تفاوت داشت که برای تعیین معنادار بودن این تفاوت‌ها از آزمون تحلیل واریانس با اندازه‌های تکراری استفاده شد و وقتی  $p < 0/05$  بود، برای انجام مقایسه‌های دوتایی، تحلیل واریانس یک‌طرفه و آزمون تعقیبی بونفرونی اجرا شد. نتایج آزمون تحلیل واریانس با اندازه‌های تکراری برای زمان واکنش و درصد پاسخ‌گویی صحیح در جدول ۲ آمده است. بر اساس نتایج جدول ۲، میانگین زمان واکنش در بخش

جدول ۲- نتایج آزمون اندازه‌های تکراری برای مقایسه‌ی میانگین زمان واکنش و درصد پاسخ‌گویی صحیح آزمون n-back در سه زمان اندازه‌گیری

		درصد پاسخ‌گویی صحیح			زمان واکنش		
		سطح معناداری	مجذور اتا	آماره‌ی F	سطح معناداری	مجذور اتا	آماره‌ی F
گروه مداخله							
0-back	محرک‌های مشابه	0/31	0/05	1/19	0/50	0/03	0/68
	خطا						
0-back	محرک‌های نامتشابه	0/15	0/08	1/97	0/86	0/01	0/864
	خطا						
1-back	محرک‌های مشابه	0/08	0/10	2/56	0/14	0/08	2/0
	خطا						
1-back	محرک‌های نامتشابه	0/46	0/03	0/78	0/21	0/06	1/59
	خطا						
2-back	محرک‌های مشابه	0/05	0/12	3/12	*0/00	0/29	9/10
	خطا						
2-back	محرک‌های نامتشابه	0/15	0/08	1/97	*0/00	0/30	9/34
	خطا						

\*  $p > 0/05$

گروه مداخله، میانگین زمان واکنش مرحله‌ی پس‌آزمون با مراحل پیش‌آزمون و پیگیری اختلاف معناداری دارد ( $p < 0/05$ )، در حالی که در گروه شم، میانگین زمان واکنش افراد در سه زمان اندازه‌گیری شده اختلاف معناداری نداشت ( $p > 0/05$ ).

بنابراین در سطح خطای ۵ درصد، فرض برابری میانگین زمان واکنش در سه زمان اندازه‌گیری در بخش دو-بک (2-back) رد می‌شود. برای انجام مقایسه‌های دوتایی، از تحلیل واریانس یک‌طرفه و آزمون تعقیبی بونفرونی استفاده شد که نتایج آن در جدول ۳ آمده است. بر اساس نتایج به دست آمده از آزمون‌های تعقیبی در



جدول ۳- نتایج آزمون بونفرونی برای مقایسه‌های دوتایی زمان واکنش دو گروه مداخله و شم در آزمون 2-back در سه مرحله‌ی اندازه‌گیری

فاصله‌ی اطمینان ۵۹ درصد		سطح معناداری	خطای معیار	اختلاف میانگین	دو گروه مقایسه‌شده	
کران بالا	کران پایین					
<b>گروه مداخله</b>						
-۵۳/۰	-۲۸۰/۸	*۰/۰۰	۳۷/۳	-۱۶۶/۹	پس‌آزمون پیش‌آزمون	
۲/۰۵	-۲۲۵/۷	۰/۰۵	۳۷/۳	-۱۱۱/۸	پس‌آزمون پیگیری	محرک‌های مشابه
۱۶۸/۹	-۵۸/۸	۱/۰۰	۳۷/۳	۵۵/۰	پیش‌آزمون پیگیری	
-۳۳/۱	-۲۳۱/۷	*۰/۰۲	۳۲/۶	-۱۳۲/۴	پس‌آزمون پیش‌آزمون	
-۳/۶	-۲۰۲/۲	*۰/۰۳	۳۲/۶	-۱۰۲/۹	پس‌آزمون پیگیری	محرک‌های نامتشابه
۱۲۸/۸	-۶۹/۸	۱/۰۰	۳۲/۶	۲۹/۵	پیش‌آزمون پیگیری	
<b>گروه شم</b>						
۷۶/۹	-۱۵۰/۸	۱/۰۰	۳۷/۳	-۳۶/۹	پس‌آزمون پیش‌آزمون	
۱۱۵/۲	-۱۱۲/۵	۱/۰۰	۷۳/۳	۱/۳	پس‌آزمون پیگیری	محرک‌های مشابه
۱۵۲/۱	-۷۵/۶	۱/۰۰	۳۷/۳	۳۸/۲	پیش‌آزمون پیگیری	
۶۲/۸	-۱۳۵/۸	۱/۰۰	۳۲/۶	-۳۶/۵	پس‌آزمون پیش‌آزمون	
۱۲۲/۰	-۷۶/۵	۱/۰۰	۳۲/۶	۲۲/۷	پس‌آزمون پیگیری	محرک‌های نامتشابه
۱۵۸/۵	-۴۰/۰	۱/۰۰	۳۲/۶	۵۹/۲	پیش‌آزمون پیگیری	

\*  $p < 0.05$

نتایج پیگیری ۲۴ ساعت بعد، کارکرد حافظه‌ی کاری به سطح اولیه بازگشته است. یافته‌ی دیگر این تحقیق نشان داد که تابش امواج، تفاوت معناداری در میانگین نرخ پاسخ‌گویی صحیح در آزمون حافظه‌ی کاری به وجود نیاورده است. این یافته‌ها بر بعضی یافته‌های قبلی منطبق است (۲۳ و ۲۴).

تحقیق لاس روی ۳۰ داوطلب مرد و زن نشان داد که تابش امواج میکروویو می‌تواند بر عملکرد شناختی دیداری افراد در مراحل اولیه‌ی فعالیت شناختی (کارکرد مؤلفه‌ی حسی) اثر بگذارد (۲۵). پریس در تحقیقات خود گزارش داد که زمان ۳۰ دقیقه تابش امواج الکترومغناطیس با فرکانس ۹۱۵ مگاهرتز می‌تواند باعث کاهش زمان واکنش در انجام تکالیف شناختی شود (۲۳). کیتلی در آزمایش‌های خود مشاهده کرد که تابش امواج باعث عملکرد بهتر در انجام آزمون‌های شناختی می‌شود (۲۴). کوویستو نیز گزارش کرد تابش امواج موبایل باعث

## نتیجه‌گیری

استفاده‌ی گسترده از تلفن همراه و فن‌آوری‌های مرتبط با امواج الکترومغناطیس، محققان را بر آن داشت که به بررسی آثار احتمالی این امواج بر موجود زنده بپردازند. بیشتر مطالعاتی که تاکنون شده، با آثار زیستی ناشی از امواج مرتبط بوده است، اما تحقیقات مرتبط با تأثیرات احتمالی آن بر کارکردهای شناختی و فرایندهای مغزی محدود است. از طرفی این تحقیقات محدود به طیف فرکانسی ۸۰۰ تا ۱۰۰۰ مگاهرتز بوده که در فن‌آوری گوشی تلفن همراه به کار رفته است.

هدف مطالعه‌ی حاضر، بررسی اثر امواج الکترومغناطیس محدود‌ی فرکانسی سیستم وای فای (۲۴۵۰ مگاهرتز) بر کارکرد حافظه‌ی کاری انسان بهنجار است. یافته‌های این مطالعه نشان داد که تابش این امواج می‌تواند باعث کاهش معنادار زمان واکنش در آزمون حافظه‌ی کاری شود که اثر مشاهده شده موقتی و گذرا بوده و بر اساس

باست و همکاران امواج ۹۰۰ مگاهرتز را به مدت دو ساعت به ناحیه‌ی سر داوطلبان تاباندند و بعد از ۱۳ ساعت آثار آن را بررسی کردند که نتایج به دست آمده تفاوتی بین دو گروه مداخله و شام نشان نداد. او نتیجه گرفت که فاصله‌ی زمانی بین زمان تابش و انجام تکلیف می‌تواند باعث بازگشت عملکرد طبیعی سیستم عصبی شود (۳۶). در سال ۲۰۰۸ بارت یک گزارش فراتحلیلی منتشر کرد که بررسی نتایج گروهی از تحقیقات مستقل یک‌سویه کور و دوسویه کور روی افراد جوان و بهنجار را بررسی کرده بود. در کل، این گزارش نشان‌دهنده‌ی بهبود نسبی عملکرد شناختی بود که این بهبود کاهش زمان واکنش به همراه داشت، ولی در نرخ پاسخ‌گویی صحیح اثری دیده نشد (۳۷).

همان‌گونه که مشاهده می‌شود، نتایج تحقیقات شناختی در حوزه‌ی الکترومغناطیس متفاوت است که این، نتیجه‌گیری در مورد آن را بسیار دشوار می‌کند. یکی از عللی که می‌تواند باعث نتایج بسیار متفاوت شود، روش‌های مختلف به کار رفته در اجرای تحقیق و روش ارزیابی است. علت دیگری که می‌توان مطرح کرد، متغیرهای متعدد مرتبط با موج الکترومغناطیس مانند شکل موج، فرکانس، شدت تابش، پهنای پالس و نرخ تکرار پالس است. برای مثال، قدرت نفوذ امواج با فرکانس کمتر در بافت زنده بیشتر است. همچنین تحقیقات صورت گرفته در حوزه‌ی امواج، فرضیه‌ی اثربخشی پنجره‌ای<sup>۱</sup> را مطرح کرده که بر اساس آن اثربخشی امواج در طیف محدودی مشاهده می‌شود و در فرکانس‌های خارج از محدوده‌ی مورد نظر اثر آن ضعیف و یا ناپدید می‌شود (۳۸).

اساس بحث اثرگذاری امواج الکترومغناطیس بر سیستم عصبی مرکزی این است که این امواج با ایجاد میدان مغناطیسی و الکتریکی می‌توانند بر فعالیت الکتریکی مغز تأثیر گذاشته و باعث تغییر پتانسیل غشای نواحی مختلف سیستم عصبی و اندام‌های حسی شوند. از

کاهش زمان واکنش آزمودنی می‌شود. او همچنین در آزمونی دیگر نشان داد، تابش امواج باعث سرعت عمل بیشتر در انجام تکالیف ریاضی می‌شود (۲۶). مطالعه‌ی دیگر لاس نشان داد که تابش امواج باعث کاهش میزان خطا در پاسخ‌گویی می‌شود (۲۷). ادلستاین نشان داد که تابش امواج به مدت ۳۰ دقیقه قبل از اجرای آزمون، باعث بهبود انجام آزمون حافظه‌ی کاری و توجه پایدار می‌شود و نتیجه گرفت که تابش موج فعالیت شناختی را تسهیل می‌کند (۲۸). نتیجه‌ی مشابهی توسط اسمیت به دست آمد، با این تفاوت که بهبود در زمان واکنش و نرخ پاسخ‌گویی صحیح مشاهده شده محدود به داوطلبان مرد بود و این تأثیر در داوطلبان زن مشاهده نشد (۲۹). مطالعه‌ی لی و همکاران نشان داد که ۲۵ دقیقه تابش می‌تواند باعث بهبود عملکرد در آزمون‌های حافظه‌ی کاری و توجه شود (۳۰). کورسیو در تحقیق دیگری دو گروه آزمایشی برای مطالعه‌ی خود در نظر گرفت که یک گروه آزمایشی ۴۵ دقیقه قبل از انجام آزمون شناختی و گروه دیگر حین انجام آزمون تحت تابش قرار گرفتند. بر اساس نتایج گزارش شده، زمان واکنش افرادی که قبل از انجام آزمون تحت تابش بودند به صورت معناداری کمتر از افرادی بود که حین انجام تکلیف تحت تابش بودند (۳۱).

بخشی دیگر از مطالعات صورت گرفته نتایجی متفاوت به دست داد که با نتایج پژوهش حاضر ناهم‌خوان است. برای مثال، مایر و همکاران نشان دادند تابش امواج ۹۰۲ مگاهرتز باعث افزایش زمان واکنش و کاهش عملکرد شناختی آزمودنی‌ها در مقایسه با گروه کنترل شده است (۳۲). نتایج آزمایش‌های کراس نیز دلالت بر کاهش عملکرد شناختی و افزایش درصد خطا داشت (۳۳). همچنین هامبلین گزارش کرد تابش امواج موجب افزایش زمان واکنش گروه تحت تابش در مقایسه با گروه شام می‌شود، ولی بر درصد پاسخ‌گویی صحیح اثری مشاهده نشد (۳۴). هینریچس و همکاران نشان دادند که تابش امواج قبل از انجام آزمون در فرکانس ۱۸۰۰ مگاهرتز، تأثیری بر عملکرد شناختی ندارد (۳۵).

1- Window effect

آنجا که ناحیه‌ی کورتکس پیش‌پیشانی نقش حیاتی در کارکرد حافظه‌ی کاری ایفا می‌کند، این فرضیه را می‌توان در نظر داشت که احتمالاً افزایش جریان خون در این ناحیه موجب بروز تغییر سطح کارکرد حافظه‌ی کاری شده است.

نتایج تحقیق دیگری که روی مدل مغزی انجام شد، نشان داد که تابش امواج با شدت  $0/2$  ولت (شدت تابش در تحقیق حاضر  $0/15$  ولت بود) می‌تواند باعث افزایش بسیار اندک دمای بافت مغزی در حد  $0/11$  درجه‌ی سانتی‌گراد شود. این سطح از افزایش دما ناچیزتر از آن است که بتواند باعث بروز تغییرات پایدار در مغز شود (۱۱). بنابراین در این تحقیق، تغییر مشاهده‌شده در کارکرد حافظه‌ی کاری، احتمالاً با آثار غیرحرارتی امواج وای فای مرتبط است که موجب تداخل در عملکرد کانال‌های یونی از جمله کانال‌های کلسیمی وابسته به ولتاژ شده که می‌تواند به تغییر غلظت واسطه‌گرهای شیمیایی مختلف در نواحی مغزی مختلف بینجامد (۲۴). اگرچه برای فهم بهتر تغییرات نورویولوژیک ناشی از تابش امواج، به تحقیقات تکمیلی بیشتر با تکنیک‌های پیشرفته‌تر همچون تصویربرداری تشدید مغناطیسی کارکردی<sup>۴</sup> نیاز است. این تحقیق نشان داد تابش کوتاه‌مدت امواج وای فای می‌تواند باعث کاهش موقتی زمان واکنش در انجام آزمون حافظه‌ی کاری شود، ولی اثر معناداری بر نرخ صحیح پاسخ‌گویی دیده نشد. در مجموع یافته‌های این تحقیق، این فرض را که امواج الکترومغناطیس بر کارکردهای شناختی تأثیرگذار است تقویت می‌کند.

از محدودیت‌های پژوهش حاضر، تعمیم‌ناپذیری نتایج مطالعه به سایر جمعیت‌هاست که دلیل آن محدودیت سنی، جنسی، تحصیلی و جغرافیایی این مطالعه است که پیشنهاد می‌شود با استفاده از افراد رده‌های سنی و سطح تحصیلی مختلف و از هر دو جنس در پژوهش‌های آتی

سوی دیگر، مغز به دلیل داشتن فعالیت الکتریکی دارای میدان مغناطیسی بوده و می‌تواند تحت تأثیر دیگر امواج مغناطیسی قرار گیرد (۹). در یک جمع‌بندی کلی می‌توان گفت که بر اساس نتایج تحقیق حاضر، زمان واکنش آزمون حافظه‌ی کاری افرادی که تحت تابش امواج وای فای قرار گرفتند، به شکل معناداری کاهش یافت و عملکرد موقت گروه تحت تابش بهتر از افرادی بود که تحت تابش نبودند. بنابراین این فرضیه قابل طرح است که تابش امواج میکروویو می‌تواند سرعت واکنش را در انجام آزمون حافظه‌ی کاری موقتاً بهبود بخشد که این نتیجه‌گیری با تعدادی از پژوهش‌های انجام شده در این حوزه هم‌راستا است (۳۱-۲۳). همچنین بر اساس نتایج تحقیق حاضر، تابش امواج اثر معناداری بر نرخ پاسخ‌گویی صحیح در انجام آزمون حافظه‌ی کاری ندارد که با بخشی از مطالعات هم‌سوست (۳۷-۳۴).

تحقیقات نشان داده‌اند که در آزمون ان بک (n-back) همراه با افزایش بار شناختی<sup>۱</sup> با کاهش زمان واکنش، نشان‌دهنده‌ی سطح پایین‌تر فعالیت مغزی در پردازش اطلاعات در سیستم عصبی است (۴۰)، بنابراین می‌توان این فرضیه را مطرح کرد که تابش امواج وای فای به طور موقت باعث می‌شود که مغز برای انجام فرایندهای پردازشی خود به سطح فعالیت کمتری نیاز داشته باشد. کوویستو این فرضیه را پیشنهاد کرد که احتمالاً امواج مایکروویو بر سطوح بالای کارکردهای شناختی، که به توجه و حافظه‌ی کاری بیشتری نیاز دارد، تأثیر می‌گذارد (۲۶ و ۳۱) و از آنجا که هنوز مکانیسم دقیق این اثربخشی شناخته نشده و شناخت آن به تحقیقات گسترده‌تری نیاز دارد، می‌بایست یافته‌های موجود را با احتیاط مدنظر قرار داد (۲۴).

نکته‌ی جالب دیگر اینکه مطالعات هابر و همکاران نشان داد که تابش امواج الکترومغناطیس به مدت ۳۰ دقیقه باعث افزایش جریان خون در نواحی پشتی-جانبی کورتکس پیش‌پیشانی<sup>۲</sup> به صورت یک‌طرفه<sup>۳</sup> (سمت تابش موج) می‌شود (۴۲). چنین یافته‌ای می‌تواند یکی از علل تغییرات شناختی ناشی از تابش امواج باشد. از

1- Cognitive load

2- Dorsolateral prefrontal cortex

3- Ipsilateral

4- FMRI

شناختی صدرا که ما را در اجرای این پژوهش یاری کردند، صمیمانه سپاسگزاری می‌شود.

و نیز بررسی سایر مؤلفه‌های شناختی، به تعمیم‌پذیری و غنای اطلاعات به دست آمده افزود.

### سپاسگزاری

از کلیه دانشجویان عزیزی که در این پژوهش شرکت داشتند و نیز از راهنمایی‌های بی دریغ اساتید محترم پژوهش‌شکده علوم شناختی و پژوهش‌شکده مغز و شناخت دانشگاه شهید بهشتی و همچنین حمایت مرکز علوم

دریافت مقاله: ۹۶/۴/۱۱؛ پذیرش مقاله: ۹۶/۷/۵

### منابع

- Gashmardi M. Editor. *The role of memory in the process of learning a foreign language*. Chamran University, Faculty of Literature and human sciences, Chamran University; 2005;143-182 [Persian].
- Saadati SA, Kiamanesh A, Kadivar P, Hamidi M. Working memory explore the relationship between reading performance and academic achievement in language. *Journal of educational innovations* 2010;35(9):16-36.
- Baddeley A. Working memory. *Science* 1992;255(5044):556-559.
- Kyllonen PC, Christal RE. Reasoning abilities working memory capacity? *Intelligence* 1990;14(4):389-433.
- Shepperd J A, Grace J, Cole L J, Klein C. Anxiety and Outcome Prediction. *Personality and Social psychology Bulletin* 2005;31(2):267-275.
- Barth A, Ponocny I, Gnambs T, Winker R. No effects of short-term exposure to mobile phone electromagnetic fields on human cognitive performance: A meta-analysis. *Bioelectromagnetics* 2012;33(2):159-165.
- Jauchem R., Effects of low-level radio-frequency (3 kHz to 300 GHz) energy on human cardiovascular, reproductive, immune, and other systems: A review of the recent literature. *International Journal of Hygiene and Environmental Health* 2008: 211: 1-29.
- Vecchia P, Matthes R, Ziegelberger G, Lin J, Saunders R, Swerdlow A. Editors, *Exposure to high frequency electromagnetic fields, biological effects and health consequences* (100kHz-300 GHz) New York: Springer 2009:330-389.
- Panagopoulos D J, Johansson O, Carlo G. Polarization: A Key Difference between Man-made and Natural Electromagnetic Fields, in regard to Biological Activity. *Scientific Reports* 2015;5:149-154.
- Reilly JP, Editor. *Applied bioelectricity: From electrical stimulation to electropathology*, New York: Springer.1998;45;205-268.
- D'Andrea J.A Adair ER. Lorge O.D. Behavioral and cognitive effects of microwave exposure. *Bioelectromagnetics supplement* 2003(6);39-62.
- Pilla A. Electromagnetic fields instantaneously modulate nitric oxide signaling in challenged biological system. *Biochemistry Biophysics Research*. 2012;426;330-333.
- Ferreri F, Curcio G, Pasqualetti P, Gennaro L, Fini R, Rossini PM. Mobile phone emissions and human brain excitability. *Annual Neurology* 2006;60;188-196.
- Chu M K, Song H G, Kim C, Lee B, Clinical features of headache associated with mobile phone use: a cross-sectional study in university students. *Neurology* 2011;11:115-129.
- Pall M L. Microwave frequency electromagnetic fields (EMFs) produce widespread neuropsychiatric effects including depression. *Journal chemical Neuroanatomy* 2015;10;1016-1032.
- Huber R, Treyer V, Borbely A. Electromagnetic fields, such as those from mobile phones alter regional cerebral blood flow and sleep and waking EEG. *Journal of Sleep Research* 2002;11;289-295.
- Ashtiani A, Dastani M, editors. *Psychological Tests personality and mental health*. Tehran: Besaat press;2009:292-318 [Persian].
- Geethanjali, K. Adalarasu, R. Rajsekarana, Impact of Music on Brain Function during Mental Task using Electroencephalography, *International Journal of Medical, Health, Biomedical, Bioengineering and Pharmaceutical Engineering* 2012;6(6);27-31.
- Aleksandar T, Markovska B, Kocarev B, Jordanov B, Müller C, Candrian C, Machine learning approach

- for classification of ADHD adults, *International Journal of Psychophysiology* 2012;8(4);37-41.
20. Sabine J, Gottselig, M, Schuderer J. Pulsed radio frequency radiation affects cognitive performance and the waking electroencephalogram. *Neurophysiology, Basic and Clinical* 2007;18(8):803-807.
21. Owen M, McMillan M, Bullmore E, N-Back Working Memory Paradigm: A Meta-Analysis of Normative Functional Neuroimaging Studies, *Human Brain Mapping* 2005;25:46–59.
22. Pesonen M, Hämäläinen H, Krause M, Brain oscillatory 4–30 Hz responses during a visual n-back memory task with varying memory load, *Brain research* 2007;1138;171-177.
23. Angel J, Cortez J, Juarez D, Guerrero M, Garcia A, Candelaria R, Valdez P, Effects of sleep reduction on the phonological and visuospatial components of working memory, *Sleep Science* 2015;(69);0-77.
24. Preece AW, Iwi G, Smith A. Effect of a 915-MHz simulated mobile phone signal on cognitive function in man. *International Journal of Radiation Biology* 1999; (75);447-456.
25. Keetley V, Wood AW, Spong J, Stough C. Neuropsychological sequelae of digital mobile phone exposure in humans. *Neuropsychologia* 2006;44;1843-1848.
26. Lass J, Tuulik V, Ferenets R, Riisalo R, Hinrikus H. Effects of 7 Hz-modulated 450MHz electromagnetic radiation on human performance in visual memory tasks. *International Journal of Radiation Biology* 2002;78;937-944.
27. Koivisto M, Krause CM, Revonsuo A, Laine M, Hamalainen H. The effects of electromagnetic field emitted by GSM phones on working memory. *NeuroReport* 2000;11;1641-1643.
28. Lass J, Kruusing K, Hinrikus H. Modulated low-level electromagnetic field effects on EEG visual event-related potentials. *Estonian Journal of Engineering* 2008; 14(2);124–137.
29. Edelstyn N, Oldershaw A, The acute effects of exposure to the electromagnetic field emitted by mobile phones on human attention. *NeuroReport* 2002;13:119-121.
30. Smythe JW, Costall B. Mobile phone use facilitates memory in male, but not female subjects. *NeuroReport* 2003;14;243-246.
31. Lee TC, Lam PK, Yee LS, Chan CH, The effect of the duration of exposure to the electromagnetic field emitted by mobile phones on human attention. *NeuroReport* 2003;14;1361-1364.
32. Koivisto M, Revonsuo A, Krause C, Effects of 902 MHz electromagnetic field emitted by cellular telephones on response times in humans. *NeuroReport* 2000;11; 413-415.
33. Maier R, Greter SE, Maier H. Effects of pulsed electromagnetic fields on cognitive processes- A pilot study on pulsed field interference with cognitive regeneration. *Acta Neurologica Scandinavica* 2004;110;46-52.
34. Krause CM, Haarala C, Sillanmaki L. Effects of Electromagnetic Field Emitted by Cellular Phones on the EEG during an Auditory Memory Task: A Double Blind replication study. *Bioelectromagnetics* 2004;25;33-40.
35. Hamblin DL, Wood AW, Croft RJ, Stough C. Examining the effects of electromagnetic fields emitted by GSM mobile phones on human event-related potentials and performance during an auditory task. *Clinical Neurophysiology* 2004;115:171-178.
36. Hinrichs H, Heinze HJ. Effects of GSM electromagnetic field on the MEG during an encoding- retrieval task. *NeuroReport* 2004;15;1191-1194.
37. Besset A, Espa F, Dauvilliers Y, Billiard M, De Seze R. No effect on cognitive function from daily mobile phone use. *Bioelectromagnetics* 2005;26:102-108.
38. Barth A, Winker R, Ponocny S E. A meta-analysis for neurobehavioral effects due to electromagnetic field exposure emitted by GSM mobile phones. *Occupational and Environmental Medicine* 2008;65:342-346.
39. Croft, R J, Leung S, McKenzie J, Loughran S, Hamblin NR. Effects of 2G and 3G Mobile Phones on Human Alpha Rhythms: Resting EEG in Adolescents, Young Adults, and the Elderly, *Bioelectromagnetics* 2010;31:434-444.
40. Li Y, Yan X, Liu J, Li L, Hu X, Pulsed electromagnetic field enhances brain-derived neurotrophic factor expression through L-type voltage-gated calcium channel and dependent signaling pathways in neonatal rat dorsal root ganglion neurons. *Neurochemistry International* 2014;75:96–104.
41. Van L M, Lagendijk, J, Zwamborn, P, Hornsleth, N, Kotte, A, Calculation of change in brain temperatures due to exposure to a mobile phone. *Physics in Medicine and Biology* 1999;44:2367–2379.