بررسی اثر میدان مغناطیسی با شدت‌های ۲ و ۸ میلی‌تسلا بر تثبیت حافظه فضایی موش بزرگ آزمایشگاهی

مجید جدیدی [۱*]، سیدمحمد فیروزآبادی [۲]، عباسعلی طاهریان [۳]، احمدعلی سجادی [۴]

خلاصه

سابقه و هدف: میدان‌های مغناطیسی موجود در محیط زندگی انسان می‌توانند بر یادگیری و حافظه اثر نمایند از این رو این مطالعه به منظور بررسی اثر میدان مغناطیسی کوتاه مدت با شدت‌های ۲ و ۸ میلی‌تسلا بر تثبیت حافظه در موش بزرگ آزمایشگاهی انجام گرفت.

مواد و روش‌ها: در این پژوهش از ۳۶ سر موش نر سه تا ۴ ماهه نژاد ویستار با وزن حدود ۱۵±۲۳۵ گرم استفاده شد که به صورت تصادفی به سه گروه کنترل، تابش‌گیری ۲ و ۸ میلی‌تسلا تقسیم شدند. آموزش یادگیری فضایی حیوانات در ماز آبی موریس، طی یک روز، و در دو مرحله ۴ جلسه‌ای با ۳ دقیقه استراحت بین دو مرحله انجام گرفت. بلافاصله پس از پایان آموزش، حیوانات برای مدت ۲۰ دقیقه در میدان مغناطیسی با یک جریان ۵۰ هرتزی به شدت ۲ و ۸ میلی‌تسلا قرار گرفتند. آزمون ردیابی ۴۸ ساعت بعد از اجرای مراحل آموزش و قرار گرفتن در معرض جریان مغناطیسی و به مدت ۶۰ ثانیه انجام شد.

نتایج: تجزیه و تحلیل داده‌ها حاکی از این بود که حیواناتی که در معرض تابش اشعه با شدت ۸ میلی‌تسلا قرار گرفته بودند در مقایسه با گروه کنترل، به طور واضحی مدت زمان کمتری در منطقه سکوگذرانده و دارای الگوی شنای متفاوتی بودند و تمایل زیادی برای یافتن سکو از خود نشان ندادند.

نتیجه‌گیری: یافته‌های این پژوهش نشان داد که میدان مغناطیسی کوتاه مدت ۵۰ هرتز در شدت ۸ میلی‌تسلا بر خلاف شدت ۲ میلی‌تسلا می‌تواند موجب اختلال در عملکرد مرحله تثبیت حافظه فضایی شود.

واژگان کلیدی : میدان الکترومغناطیسی، حافظه‌ی فضایی، حافظه، ماز آبی، رت

۱ - استادیار دانشگاه علوم پزشکی سمنان ـ مرکز تحقیقات فیزیولوژی

۲ - دانشیار گروه فیزیک پزشکی دانشکده پزشکی دانشگاه تربیت مدرس

۳ – مربی دانشکده پزشکی دانشگاه علوم پزشکی سمنان ـ مرکز تحقیقات فیزیولوژی

۴ - کارشناس ارشد فیزیولوژی دانشکده پزشکی دانشگاه علوم پزشکی سمنان ـ مرکز تحقیقات فیزیولوژی

* **نویسنده مسوول:** مجید جدیدی

آدرس: سمنان دانشگاه علوم پزشکی سمنان. مرکز تحقیقات فیزیولوژی

پست الکترونیک: jadidim@sem-ums.ac.ir

تلفن: ۰۹۱۲ ۳۳۱ ۱۹۸۵

دورنویس: ۰۲۳۱ ۴۴۴۰۲۲۵

تاریخ دریافت: ۸۶/۵/۱

تاریخ پذیرش نهایی: ۸۷/۲/۱۵

مقدمه

جریان الکتریکی مورد استفاده در کشورهای مختلف برای راه‌اندازی وسایل برقی، دارای بسامد ۵۰ یا ۶۰ هرتز است. این جریان الکتریکی می‌تواند در سیم‌های حامل جریان یا وسایل الکتریکی، یک میدان مغناطیسی کم‌بسامد را به وجود آورد. در سال‌های اخیر گزارشاتی مبتنی بر اثر میدان‌های مغناطیسی کم‌بسامد بر فرآیند یادگیری جوندگان به چاپ رسیده و در مجموع این عقیده را به وجود آورده است که میدان‌های مغناطیسی کم‌بسامد می‌توانند بر رفتارهای وابسته به حافظه در حیوانات موثر باشند [۱].

البته در اغلب آزمایشات اعمال میدان مغناطیسی قبل از مراحل آموزش حیوانات بوده و یا بین تابش میدان مغناطیسی و آزمون رفتاری حیوان فاصله ایجاد شده است. همچنین مطالعات نشان داده که به کارگیری میدان مغناطیسی (۵۰ یا ۶۰ هرتز) پیش از یادگیری می‌تواند بر عملکرد حیوان موثر باشد [۲، ۳] اما نتایج به جنسیت بستگی داشته و این میدان‌ها بر موش‌های نر تاثیر بیشتری در یادگیری فضایی دارد [۴]. علاوه بر آن شدت میدان مغناطیسی و مدت تابش میدان نیز از عوامل مهم اثربخشی میدان می‌باشد. به عنوان مثال تابش‌گیری در میدان‌های ۷/۵ میکروتسلا تا ۷/۵ میلی-

[Downloaded from feyz.kaums.ac.ir on 2026-06-28]

تسلا حتی به مدت ۴۵ دقیقه، هرچند در روزهای اول آزمایش موجب کاهش مهارت حیوانات می‌شود، لیکن در نهایت، موش‌های تحت آزمایش مانند گروه کنترل، مهارت کلی را به دست می‌آورند [۷-۵]. اما نکته با اهمیت این است که بلافاصله پس از اعمال میدان مغناطیسی ۲ میلی‌تسلا کاهش فعالیت قشر ناحیه‌ی فرونتال و هیپوکامپ ایجاد شده و می‌تواند بر حافظه‌ی حیوانات اثر نماید [۸]. حتی ۶۰ دقیقه تابش‌دهی موش در میدان مغناطیسی ۲۰۰ نانوتسلا قبل از اجرای مرحله‌ی آموزشی موجب اختلال در حافظه‌ی فضایی می‌شود، در حالی که تابش‌دهی پیش از آزمون نهایی با کاهش سرعت پاسخ‌دهی همراه است [۹]. آزمایشات انجام شده بر انسان بیان‌گر آن است که تابش‌گیری یک ساعته حتی با شدت‌های کم میدان مغناطیسی موجب کاهش فوری ادراک، شناخت و حافظه می‌شود که می‌تواند ناشی از حساسیت افراد به میدان الکترومغناطیسی باشد [۱۰]. از طرفی مشخص شده که اثرات میدان‌های مغناطیسی ۵۰ میکروتسلا کم بوده، زودگذر است و ارتباط واضحی بین شدت میدان و پاسخ ایجاد شده وجود ندارد [۱۱]. هرچند ممکن است میدان مغناطیسی بر دقت افراد اثر دیررس داشته باشد [۱۲]، اما میدان‌های مغناطیسی کم بسامد که در محیط کار وجود دارند نمی‌توانند بر مغز انسان اثر نماید [۱۳]. تحریک مغناطیسی وسیله‌ای مناسب برای بررسی تحریک‌پذیری قشر، ارتباطات قشری، پلاستیسیته مغز، فعالیت‌های شناختی و وضعیت بیماری می‌باشد. عده‌ای نیز از تحریک مغناطیسی برای درمان بیماری استفاده کرده‌اند و آن را در درمان افسردگی به کار گرفته‌اند ولی در تفسیر نتایج به دست آمده هنوز مشکلاتی وجود دارد [۱۴، ۱۵]. تحریک مکرر مغناطیسی قشر پری فرونتال، باعث آزاد شدن دوپامین در هسته دم‌دار می‌شود که در حرکت، یادگیری، انگیزه و در بیماری‌هایی مانند پارکینسون نقش مهمی دارد [۱۶]. همچنین مشخص شده که میدان‌های کم‌بسامد در حلزون به دنبال افزایش یون Ca^{2+}، منجر به کاهش بی‌حسی شده [۱۴] و حتی ۲۰ دقیقه تابش‌دهی در شدت‌های گوناگون می‌تواند اثراتی را بر فعالیت پتانسیل غشای سلولی ایجاد نماید [۱۷، ۱۸]. به نظر می‌رسد که بروز اثرات تابش‌گیری علاوه بر این که دارای یک آستانه‌ی شدت میدان مغناطیسی است، به نوع مطالعه، گونه‌های تحت آزمایش و روش‌های آزمون نیز بستگی دارد [۵] به عنوان مثال شدت ۲ میلی‌تسلا در آزمون‌های گوناگون، نتایج متفاوتی را بروز داده است [۷، ۱۷، ۱۸]. با توجه به نکات فوق، در این مطالعه از روش ارزیابی دقیقی مانند ماز آبی برای بررسی اثرات میدان مغناطیسی بر مرحله‌ی تثبیت حافظه استفاده گردید تا نقش عوامل مخدوش‌گر (مانند گرسنگی) بر عملکرد حیوان حذف شود. از آنجا که در بررسی‌های انجام شده در شرایط in vitro اثر تابش‌دهی کوتاه‌مدت بر سلول عصبی با دو شرایط ۲ و ۸ میلی‌تسلا مورد مطالعه قرار گرفته است، این مطالعه در شرایط in vivo اجرا گردید تا مشخص شود که آیا می‌توان نتایج حاصل از یک سلول عصبی منفرد را به موجودات بزرگ‌تر تعمیم داد؟

مواد و روش‌ها

الف- حیوانات: در این مطالعه‌ی تجربی، ۳۶ سر موش نر سه تا چهارماهه از نژاد ویستار با وزنی حدود ۱۵±۲۳۵ گرم برای انجام آزمایش‌ها استفاده شده و به صورت تصادفی در سه گروه کنترل، تابش‌گیری ۲ میلی‌تسلا و تابش‌گیری ۸ میلی‌تسلا تقسیم‌بندی شدند. در تمام مدت آزمایش موش‌های هر گروه در یک قفس نگهداری شده و آب و غذا در تمام روزها در دسترس حیوانات بود. به منظور پیشگیری از تاثیر شرایط محیط بر آزمایش، کلیه موش‌ها در مدت مطالعه در حیوان‌خانه‌ای با سیکل ثابت شبانه‌روزی (۱۲ ساعت شب و ۱۲ ساعت روز) نگهداری شدند. موش‌های مورد آزمایش نیم‌ساعت قبل از مراحل آموزش و انجام آزمایش به اتاق آزمون منتقل گردیدند.

ب ـ دستگاه‌ها: ـ دستگاه ایجاد میدان مغناطیسی: برای ایجاد میدان مغناطیسی از یک سیم‌پیچ حلقوی با قطر داخلی ۸ سانتی‌متر و دارای ۸۵۰ دور سیم مسی به ضخامت ۰/۷۵ میلی‌متر و با روکش لاکی استفاده شد. با استفاده از یک دستگاه سیگنال ژنراتور (GFG-8019G, Good Will instrument Co.) موج سینوسی ۵۰ هرتز تولید شده و قبل از انجام آزمایش توسط یک دستگاه اسیلوسکوپ (GOS-622B,Good Will instrument Co) شکل موج و بسامد مورد استفاده تایید شد. جریان الکتریکی خروجی پیام ژنراتور برای تقویت به یک دستگاه آمپلی فایر ۶۰۰ وات متصل شد تا با تنظیم خروجی آن، میدان مغناطیسی یکنواخت و بدون نوسانی در مرکز سیم‌پیچ ایجاد گردد. ماگزیمم شدت میدان مغناطیسی در مرکز سیم‌پیچ و با کمک یک دستگاه تسلامتر (HI-3550, HOLADAY industries inc.) بر اساس نوع آزمایش در حد ۲ یا ۸ میلی‌تسلا تنظیم شد. اندازه‌گیری شدت میدان، در هر مرحله و پیش از قرار گرفتن سر حیوان در مرکز میدان مغناطیسی صورت می‌گرفت.

- ماز آبی موریس: ماز آبی دارای یک وان مدور فلزی (قطر: ۱۴۰ سانتی‌متر، ارتفاع: ۵۰ سانتی‌متر) و به رنگ آبی بود که تا ارتفاع ۳۵ سانتی‌متری با آب ملایم (۱±۲۳ درجه سانتی‌گراد) پر می‌شد. یک سکوی مدور از جنس شیشه (قطر: ۱۱ سانتی‌متر) در مرکز ربع شمال ـ شرق ماز و ۳ سانتی‌متر زیر سطح آب قرار می-

[Downloaded from feyz.kaums.ac.ir on 2026-06-28]

گرفت. در سقف اطاق (در بالا و وسط ماز) یک دوربین مادون قرمز قرار دارد که کلیه‌ی حرکات حیوان را به رایانه‌ای که دارای نرم‌افزار تجزیه و تحلیل داده‌ها و رسم نمودار مربوط است منتقل می‌کند چهار جهت قراردادی شمال، جنوب، شرق، یا غرب به وسیله‌ی گیرنده‌هایی که در جدار خارجی ماز قرار گرفته‌اند به رایانه متصل هستند. در جهات مختلف و بر روی دیوار اطاق علایمی برای شناسایی جهت و یادگیری فضایی توسط حیوان نصب شده بود. رایانه به صورت تصادفی محل آزادسازی را در یکی از جهت‌های قراردادی فوق مشخص می‌کند که ملاک آزادسازی حیوان در ماز در هر دو مرحله‌ی آموزش و آزمایش همین نقاط می‌باشند. حیوان از همین نقاط و به آرامی از کناره ماز به داخل آب رها می‌شد تا آزادانه شنا کرده و بتواند سکوی مخفی زیر آب را پیدا کند.

ج ـ مرحله آموزش و یادگیری: در این مرحله حیوانات در یک روز، ۸ بار و طی دو مرحله (هر مرحله دارای چهار trial) با فاصله‌ی سه دقیقه بین هر مرحله و ۴۵ ثانیه بین هر trial مورد آموزش قرار می‌گرفت. حیوان پس از رها شدن از نقطه‌ای که رایانه به طور تصادفی مشخص و آزادانه شنا می‌کرد. اگر حیوان در مدت یک دقیقه موفق به یافتن سکو نمی‌شد، راهنمایی با دست بدون لمس حیوان صورت می‌گرفت تا پس از پیدا نمودن سکو، برای ۴۵ ثانیه بر روی آن توقف نماید. زمان ۳ دقیقه بین دو مرحله حیوان در قفس انفرادی و در همان اطاق استراحت می‌کرد. عملکرد حیوان در ماز، از طریق دوربین مادون قرمز به رایانه منتقل و ضبط می‌گردید. همان طوری که گفته شد ترتیب ورود حیوانات به داخل آب در مرحله‌ی آموزش به وسیله رایانه و به صورت تصادفی انجام می شد.

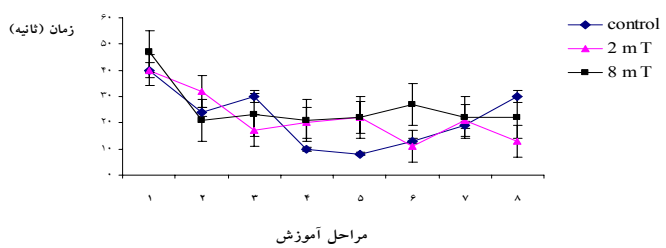
– مرحله تابش میدان مغناطیسی: بلافاصله پس از اتمام مراحل آموزش در آب، حیوان در داخل یک کیسه‌ی محدودکننده حرکت از جنس پارچه قرار گرفته و فقط سر حیوان از کیسه خارج می‌شد. ناحیه گردن توسط یک گیره پلاستیکی بی‌خطر ثابت نگهداشته شده تا سر حیوان به طور کامل در مرکز سیم‌پیچ مولد میدان مغناطیسی قرار گیرد. طول مدت تابش میدان مغناطیسی ۲۰دقیقه بود و حیوان در پایان آزمایش به حیوان‌خانه منتقل می‌گردید. شرایط تابش میدان مغناطیسی در هر سه گروه کاملا یکسان انتخاب شده و تنها در گروه کنترل، دستگاه مولد میدان مغناطیسی، خاموش بود.

– آزمون ردیابی (پروب): ۴۸ ساعت بعد از اجرای مراحل آموزش، آزمون ردیابی انجام شد که در آن پس از برداشتن سکو، حیوان از ناحیه مخالف محل سکو در آب رها شده و برای مدت یک دقیقه در آب شنا می‌کرد. در این مدت مسیر شنا، سرعت و درصد حضور حیوان در هر ناحیه از ماز به طور خودکار محاسبه و ضبط گردید. شاخص‌های ارزیابی عبارت بود از: مدت زمان گذرانده شده در ناحیه سکو و مخالف آن، سرعت شنا و طول مسیر پیموده شده.

د ـ روش آماری: با استفاده از اطلاعات ثبت شده در رایانه، زمان Escape latency (زمان بین آزادسازی حیوان در آب و رسیدن به سکو) به صورت درصد، اندازه‌گیری شده و در بین گروه‌های مختلف، با استفاده از آزمون تجزیه و تحلیل واریانس دوطرفه (گروه trial) با کمک روش Repeated measures بر روی trial انجام گرفت. داده‌های آزمون probe، شامل زمان گذرانده شده در ناحیه‌ی سکو یا مخالف آن، با تجزیه و تحلیل واریانس دوطرفه (گروه* Quadrant) و مسیر طی شده و همچنین سرعت شنا، با تجزیه و تحلیل واریانس یک‌طرفه مورد آزمون قرار گرفت. $p<0/05$ به عنوان سطح اختلاف معنی‌دار مورد استفاد قرار گرفت و در صورت نیاز برای تمایز اختلاف بین داده‌ها از آزمون Tukey استفاده شد.

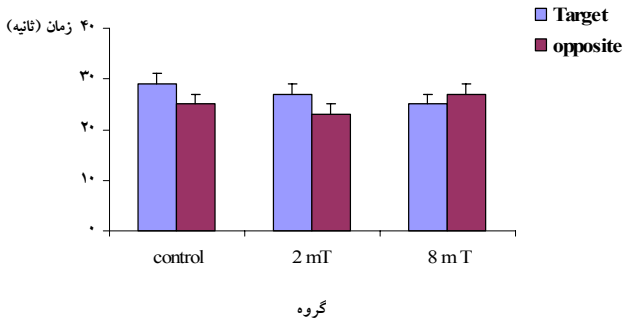
نتایج

نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد: در حیواناتی که دارای یادگیری خوبی بودند، افزایش جلسات آموزش زمان رسیدن به سکو را کاهش داده و این حیوانات دارای منحنی نزولی هستند (نمودار شماره‌ی ۱).

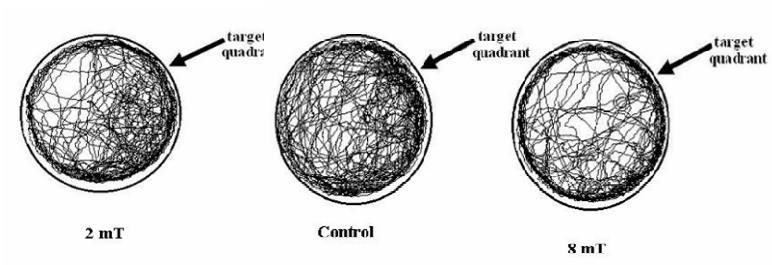


نمودار ۱– میانگین زمان صرف شده برای رسیدن به سکو در مراحل مختلف آموزش. همان طور که در نمودار مشاهده می‌شود، با افزایش جلسات آموزش زمان رسیدن به سکو کاهش یافته است

[Downloaded from feyz.kaums.ac.ir on 2026-06-28]



نمودار ۲- میانگین زمان صرف شده توسط هر یک از گروه‌ها در محل سکو و ناحیه مخالف آن در آزمون ردیابی. در گروه ۸ میلی‌تسلا میانگین زمان حضور در ناحیه سکو و مخالف آن، اختلاف معنی‌دار ندارد.



شکل ۳- الگوی شنای حیوانات در آزمون ردیابی

نتایج حاصل از میانگین زمان صرف شده توسط هر یک از گروه‌ها در محل سکو و ناحیه مخالف آن در گروه‌های مختلف یکسان نبود ($F_{[2,66]}=3.64, p\leq 0.03$) (نمودار شماره‌ی ۲). تجزیه و تحلیل داده‌ها اختلاف معنی‌داری را در درون گروه کنترل ($p\leq ۰/۰۳۸$) و گروه تابش‌گیری ۲ میلی‌تسلا ($p\leq ۰/۰۳$) نشان داد در حالی که در گروه آزمایشی ۸ میلی‌تسلا اختلاف معنی‌داری بین دو ناحیه‌ی سکو و مخالف آن به دست نیامد ($p\leq ۰/۳۱۶$). در این گروه الگوی شنای حیوانات در آزمون ردیابی تغییر نموده و مشابه حیواناتی بود که اصلا آموزش ندیده‌اند که بیان‌گر اثر میدان مغناطیسی بر فرآیند تثبیت حافظه می‌باشد. با بررسی الگوی شنا در گروه ۲ میلی‌تسلا مشخص گردید که تعدادی از حیوانات این گروه وضعیتی مشابه حیوانات گروه ۸ میلی‌تسلا داشته و در حاشیه ماز آبی شنا می‌نمایند (نمودار شماره‌ی ۳). از این رو گرچه آزمون آماری بیانگر اختلاف معنی‌دار بین گروه کنترل و ۲ میلی‌تسلا نمی‌باشد اما، تغییر در الگوی شنا بیان‌گر تاثیر میدان بر حافظه تعدادی از حیوانات است. در آزمون ردیابی، نتایج یافته‌ها، اختلاف معنی‌داری را بین میانگین سرعت شنا [$F_{2,33}=1.33, P\leq 0.27$] و میانگین مسافت طی شده [$F_{2,33}=1.49, P\leq 0.24$] در گروه‌های تحت آزمایش نشان نداد.

بحث

در این مطالعه اثر تابش حاد میدان مغناطیسی (50 Hz و 2, 8 mT) بر فرآیند یادگیری و تثبیت حافظه موش با سیستم ارزیابی ماز آبی مورد بررسی قرار گرفت. یافته‌های آزمایش نشان می‌دهد که عملکرد میدان مغناطیسی در شدت‌های مختلف یکسان نیست. نتایج حاصل از تابش‌دهی ۸ میلی‌تسلا بیانگر تاثیر میدان مغناطیسی بر فرآیند تثبیت حافظه است که موجب تغییر الگوی شنای حیوانات در آزمون نهایی گردید. این نتیجه با داده‌های برخی مطالعات دیگر مطابقت می‌نماید [۶، ۸، ۱۰، ۱۷، ۱۸]. تابش‌دهی با شدت ۲ میلی‌تسلا تاثیر قابل ملاحظه‌ای بر عملکرد حیوانات در ماز آبی نداشت و این یافته با یافته‌های دیگران که تاثیر میدان مغناطیسی کم‌بسامد را مورد بررسی قرار داده‌اند هم‌خوانی دارد. کاویانی در مطالعه‌ی خود نشان داد که میدان مغناطیسی با شدت ۲ میلی‌تسلا اثری بر عملکرد سلول عصبی حلزون ندارد [۱۷، ۱۸]. گرچه در مطالعات Kurokawa و همکاران و Sienkiewicz و همکاران میدان‌های مغناطیسی کم‌بسامد که در محیط کار وجود دارند نتوانست بر مغز انسان اثر نمایند [۷، ۱۳]، نتایج به دست آمده در برخی دیگر از آزمون‌ها بیانگر این است که حتی ۶۰ دقیقه تابش‌دهی موش در میدان مغناطیسی ۵۰۰ نانوتسلا قبل از اجرای مرحله‌ی آموزشی موجب اختلال در حافظه فضایی می‌شود، در

[Downloaded from feyz.kaums.ac.ir on 2026-06-28]

حالی که تابش‌دهی پیش از آزمون ردیابی با کاهش سرعت پاسخ‌دهی همراه است [۹]. همچنین Sienkiewicz و همکاران مشخص نمودند که در شدت‌های بالاتر از ۷۵ میکروتسلا تغییر رفتار با افزایش فلوی چگالی افزایش می‌یابد آنها بیان کردند که تابش‌گیری حاد در میدان مغناطیسی می‌تواند موجب کاهش یادگیری فضایی و عملکرد حافظه موش شود اما به نظر می‌رسد که حافظه‌ی طولانی‌مدت تحت تاثیر قرار نمی‌گیرد [۶]. در مطالعه دیگری نیز میدان مغناطیسی یک میلی‌تسلا در موش و انسان موجب کاهش فوری ادراک، شناخت و حافظه شد که می‌تواند ناشی از حساسیت افراد به میدان الکترومغناطیسی باشد [۱۰]. Marino و همکاران در پژوهش خود مشخص ساختند که میدان‌های مغناطیسی کم‌بسامد حتی در شدت‌های کم نیز می‌تواند توسط مغز انسان ثبت شده و بر EEG اثر نماید [۱۹]. به نظر می‌رسد که بروز اثرات تابش‌گیری علاوه بر این که دارای یک آستانه‌ی شدت میدان مغناطیسی است، به نوع مطالعه، گونه‌های تحت آزمایش و روش‌های آزمون نیز بستگی دارد [۶]. به منظور تعیین آستانه‌ی اثر میدان مغناطیسی با شدت‌های مختلف، Lai از میدانی با شدت‌های ۰/۵ تا ۲ میلی‌تسلا استفاده نمود. شدت و مدت تابش‌گیری بر ظهور عوارض میدان مغناطیسی موثر بوده و حتی با شدت‌های کم نیز در صورت طولانی بودن مدت تابش‌دهی، اثراتی ظاهر شد [۸]. Podd و Kavaliers نیز نشان دادند که میدان‌های مغناطیسی ضعیف می‌توانند بر دقت و یادگیری اثر نمایند [۴، ۱۲]. نکته‌ی دیگری که باید در مطالعات حافظه به آن توجه شود، اثر متفاوت میدان مغناطیسی بر مراحل مختلف حافظه (اکتساب، تثبیت و به خاطرآوری) است. اغلب مطالعات انجام شده بر مرحله اکتساب دارای چند جلسه تابش‌گیری قبل از یادگیری می‌باشند در حالی که برای بررسی مرحله تثبیت معمولا فقط یک جلسه تابش‌گیری وجود دارد، که بلافاصله پس از یادگیری صورت گرفته تا اثر میدان بر فرآیندهای پروتئین‌سازی حافظه مشخص گردد. از این رو نمی‌توان نتایج حاصل از آزمایشات مختلف را به یکدیگر تعمیم داد. به عنوان مثال تابش‌گیری در میدان‌های ۷/۵ میلی‌تسلا حتی به مدت ۴۵ دقیقه، هرچند در روزهای اول آزمایش موجب کاهش مهارت حیوانات شده، لیکن در نهایت، موش‌ها مانند گروه کنترل می‌شوند [۷-۵]. نتایج کلی این آزمایش با نتایج حاصل از تابش‌دهی سلول عصبی حلزون مطابقت می‌نماید که بیان‌گر حساسیت زیاد ماز آبی موریس به عنوان یک روش ارزیابی دقیق حافظه است. اما برای تعمیم نتایج به دست آمده از یک سلول عصبی به یک حیوان، ارزیابی بیشتری لازم می‌باشد. در هر حال واکنش بین مدت تابش میدان مغناطیسی و بروز علایم هنوز شناخته شده نیست و این احتمال وجود دارد که حتی با تابش‌های کوتاه‌مدت و در شرایط خاص (با شدت زیاد) یا تابش‌های طولانی‌مدت و با شدت کم، اثرات قابل ملاحظه‌ای مشاهده شود [۸] که نیازمند مطالعات بیشتری در این زمینه است، اما آنچه باید به آن توجه نمود اثر میدان مغناطیسی بر حافظه در شرایط خاص است که لازمه‌ی آن کاهش تماس انسان با محیط‌های کاری دارای میدان مغناطیسی (مانند دستگاه‌های جوش‌کاری) می‌باشد.

تشکر و قدردانی

بدین وسیله از مسوولین محترم سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور به دلیل حمایت مالی از پروژه و دانشگاه‌های تربیت مدرس و علوم پزشکی سمنان به سبب فراهم‌سازی امکانات لازم برای اجرای این پژوهش تشکر و قدردانی می‌شود.

References:

[1] Salzinger K. Behavioral effects of electromagnetic fields in animals. In: Carpenter DO, Ayrapetyan S, editors. biological Effects of electric and Magnetic Fields. New York: Academic; 1994. p. 315. 31. (Vol 1, Sources and Mechanisms).
[2] Lai H. Spatial learning deficit in the rat after exposure to a 60 Hz magnetic field. ***Bioelectromagnetics*** 1996; 17: 494-496.
[3] Lai H. Carino MA. Ushijima I. Acute exposure to a 60 Hz magnetic field affects rats water-maze performance. ***Bioelectromagnetics*** 1998; 19: 117-122.
[4] Kavaliers M. Ossenkopp KP. Prato FS. Innes DG. Galea LA. Kinsella DM. Spatial learning in deer mice: sex differences and the effects of endogenous opioids and 60 Hz magnetic fields. ***J Comp Physiol*** [A] 1996; 179: 715-724.
[5] Sienkiewicz ZJ. Bartram R. Haylock R. Saunders R. Single, brief exposure to a 50 Hz magnetic field does not affect the performance of an object recognition task in adult mice. ***Bioelectromagnetics*** 2001; 22: 19-26.
[6] Sienkiewicz ZJ. Haylock RGE. Bartrum R. Saunders RD. 50 Hz magnetic field effects on the performance of a spatial learning task by mice. ***Bioelectromagnetics*** 1998; 19: 486-493.
[7] Sienkiewicz ZJ. Haylock RG. Saunders RD. Deficits in spatial learning after exposure of mice to a 50 Hz magnetic field. ***Bioelectromagnetics*** 1998; 19: 79-84.

[Downloaded from feyz.kaums.ac.ir on 2026-06-28]

[8] Lai H. Carino M. 60 Hz magnetic fields and central cholinergic activity: effects of exposure intensity and duration. ***Bioelectromagnetics*** 1999; 20: 284-289.
[9] McKay BE. Persinger MA. Application timing of complex magnetic fields delineates windows of posttrainig- pretesting vulnerability for spatial and motivational behaviors in rats. ***Int J Neurosci*** 2000; 103: 69-77.
[10] Trimmel M. Schweiger E. Effects of an (50 Hz, 1 mT) electromagnetic field (EMF) on concentration in visual attention, perception and memory including effects of EMF sensitivity. ***Toxicol Lett*** 1998; 97: 377-382.
[11] Crasson M. 50-60 Hz electric and magnetic field effects on cognitive function in humans: a review. ***Radiat Prot Dosimetry*** 2003; 106: 333-340.
[12] Podd J. Abbott J. Kazantzis N. Rowland A. Brief exposure to a 50 Hz, 100 microT magnetic field: effects on reaction time, accuracy, and recognition memory. ***Bioelectromagnetics*** 2002; 23: 189-195.
[13] Kurokawa Y. Nitta H. Imai H. Kabuto M. No influence of short-term exposure to 50-Hz magnetic fields on cognitive performance function in human. ***Int Arch Occup Environ Health*** 2003; 76: 437-442.
[14] Prato FS. Kavaliers M. Thomas AW. Extremely low frequency magnetic fields can either increase or decrease analgesia in the land snail depending on field and light conditions. ***Bioelectromagnetics*** 2000; 21: 287-301.
[15] Schlaepfer TE. Kosel M. Nemerof CB. Efficacy of repetitive transcranial magnetic stimulation (r TMS) in the treatment of affective disorders. ***Neuropsychopharmacology*** 2003; 28: 201-205.
[16] Strafella AP. Paus T. Barret J. Dagher A. Repetitive transcranial magnetic stimulation of the human prefrontal cortex induces dopamine release in caudate nucleus. ***J Neurosci*** 2001; 21: RC157.
[17] Kaviani Mogadam M. Firoozabadi SMP. Effects of electromagnetic fields on the bioelectric activity of nerve cell of Helix Aspera. ***EMBEC*** 2002. p. 1314-1315.
[18] Kaviani Mogadam M. Firoozabadi SMP. Janahmadi M. Inhibitory effects of exposure to 50 Hz magnetic field in F1 neuronal soma membrane of Helix Aspersa. Biological Effects of Electromagnetic Fields, 3rd International Workshop. 2004. p. 4-8 October. Greece.
[19] Marino AA. Nilsen E. Chesson JAL. Frilot C. Effect of low-frequency magnetic fields on brain electrical activity in human subjects. ***Clinical Neurophysiology*** 2004; 115: 1195-1201.
[20] Lai H. Interaction of microwaves and a temporally incoherent magnetic field on spatial learning in the rat. ***Physiology & Behavior*** 2004; 82: 785-789.
[21] Pesic V. Janac B. Jelenkovic A. Vorobyov V. Prolic Z. Non-linearity in combined effects of ELF magnetic field and amphetamine on motor activity in rats. ***Behav Brain Res*** 2003; 147: 211-215.
[22] Lovely RH. Crein JA. Bushbom RL. Exposure to magnetic fields during spatial learning increases rates in rats: Early studies. The first world congress for electricity and magnetism in biology and medicine: 1992. Orlando, Florida. p. 23.

[Downloaded from feyz.kaums.ac.ir on 2026-06-28]