Original Article

Effect of physical activity and 217-Hz extremely low frequency electromagnetic field on rat locomotor activity

Zeidabadi R[1*], Arab-Ameri E[2], Naghdi N[3], Bolouri B[4]

1- Faculty of Sport Sciences, University of Hakim Sabzevari, Sabzevar, I. R. Iran.
2- Faculty of Sport Science, University of Tehran, Tehran, I. R. Iran.
3- Department of Physiology and Pharmacology, Pasteur Institute of Iran, Tehran,I. R. Iran.
4- Department of Medical Physics, Faculty of Medicine, Iran University of Medical, Tehran, I. R. Iran.

Received June 18, 2016; Accepted November 21, 2016

Abstract:

Background: Nowadays the widespread use of cell phones has increased concerns about the biological effects of electromagnetic fields on human body. The purpose of the present study was to examine the role of physical activity in moderating the effects of extremely low frequency electromagnetic fields (ELF-EMF) emitted from cell phones on rat locomotor activity.

Material and Methods: Male Albino-Wistar rats (no=70) were divided into seven groups: Short and Long- term physical activity; Control, ELF-EMF; Sham; Long-term physical activity+ELF-EMF; Short-term physical activity+ELF-EMF. Short and Long- term physical activity groups were forced to daily treadmill running (30 minutes) for one week and one month, respectively. ELF-EMF group was exposed to ELF-EMF cell phone simulator for three hours during the period. Having placed in the ELF-EMF simulator device, the physical activity+ELF-EMF groups were transferred to treadmill. Locomotor activity were analyzed as distance, time and speed of movement in open field apparatus.

Results: The results showed that the ELF-EMF from cell phones can significantly decrease the locomotor activity in the exposed rats. On the other hand, short and long-term physical activity significantly increased motor activity in the trained rats ($P \leq 0.05$). However, there was no significant difference between the combination groups (Physical activity+ELF-EMF) and ELF group in locomotor activity.

Conclusion: The results revealed that the physical activity could not prevent the decrease of locomotor activity caused by ELF-EMF from cell phone.

Keywords: Cell Phones, Electromagnetic Fields, Motor Activity

*** Corresponding Author.**
Email: r.zeidabadi@hsu.ac.ir
Tel: 0098 915 371 5602
Fax: 0098 514 401 2607

Conflict of Interests: ***No***

Feyz, Journal of Kashan University of Medical Sciences, February, 2017; Vol. 20, No 6, Pages 483-494

Please cite this article as: Zeidabadi R, Arab-Ameri E, Naghdi N, Bolouri B. Effect of physical activity and 217-Hz extremely low frequency electromagnetic field on rat locomotor activity. ***Feyz*** 2017; 20(6): 483-94.

[Downloaded from feyz.kaums.ac.ir on 2026-10-11]

اثر فعالیت بدنی و میدان الکترومغناطیسی کم‌فرکانس ۲۱۷ هرتز بر فعالیت حرکتی موش صحرایی

رسول زیدآبادی [۱*]، الهه عرب عامری [۲]، ناصر نقدی [۳]، بهرام بلوری [۴]

خلاصه:

سابقه و هدف: امروزه استفاده گسترده از تلفن‌های همراه، نگرانی‌ها را درباره اثرات بیولوژیکی میدان‌های الکترومغناطیسی این وسیله ارتباطی بر بدن انسان فزونی بخشیده است. پژوهش حاضر با هدف بررسی نقش فعالیت‌بدنی در تعدیل اثرات میدان الکترومغناطیسی کم-فرکانس تلفن همراه بر فعالیت حرکتی موش صحرایی انجام شد.

مواد و روش‌ها: برای انجام مطالعه تجربی حاضر، تعداد ۷۰ موش صحرائی بالغ در هفت گروه فعالیت بدنی بلند مدت و کوتاه مدت، کنترل، میدان الکترومغناطیسی، شَم، فعالیت بدنی بلندمدت-میدان الکترومغناطیسی و فعالیت بدنی کوتاه مدت-میدان الکترومغناطیسی تقسیم شدند. گروه فعالیت بدنی کوتاه مدت و بلند مدت به‌ترتیب یک هفته و یک ماه هر روز به‌مدت ۳۰ دقیقه روی تردمیل به دویدن پرداختند. گروه میدان الکترومغناطیسی نیز به‌مدت یک ماه هر روز سه ساعت در دستگاه شبیه‌ساز امواج تلفن همراه قرار گرفتند. گروه-های ترکیبی فعالیت بدنی-میدان الکترومغناطیسی، بعد از قرارگیری موش‌ها در دستگاه شبیه‌ساز امواج تلفن همراه، جهت انجام فعالیت بدنی روی تردمیل منتقل می‌شدند. در نهایت، شاخص‌های زمان حرکت، مسافت طی شده و سرعت حرکت اندازه‌گیری شد.

نتایج: میدان الکترومغناطیسی تلفن همراه موجب کاهش معنی‌دار فعالیت حرکتی موش‌ها نسبت به گروه شم گردید. فعالیت بدنی بلند مدت و کوتاه مدت به‌طور معنی‌داری فعالیت حرکتی موش‌های تمرین کرده را نسبت به گروه کنترل افزایش داد ($P\leq ۰/۰۵$)، اما فعالیت حرکتی گروه‌های ترکیبی (تحت تابش و دارای فعالیت‌بدنی) اختلاف معنی‌داری با گروه تحت تابش نداشتند ($P\geq ۰/۰۵$).

نتیجه‌گیری: نتایج نشان داد که استفاده از فعالیت بدنی نمی‌تواند به‌طور معنی‌داری از کاهش فعالیت حرکتی ناشی از میدان الکترو-مغناطیسی کم‌فرکانس تلفن همراه جلوگیری نماید.

واژگان کلیدی: تلفن‌های همراه، میدان الکترومغناطیسی، فعالیت حرکتی

دو ماه نامه علمی- پژوهشی فیض، دوره بیستم، شماره ۶، بهمن و اسفند ۱۳۹۵، صفحات ۴۹۴-۴۸۳

مقدمه

پیشرفت تکنولوژی و کاربرد روزافزون وسایل الکترو-نیکی در زندگی بشر علی‌رغم ایجاد رفاه، خطرات بیولوژیکی زیادی را به همراه داشته و نگرانی‌های زیادی را در این خصوص ایجاد نموده است. طی قرن گذشته محیط اطراف ما به‌شدت تحت تاثیر میدان‌های الکترومغناطیسی فوق‌العاده کم‌فرکانس یا Extremely low frequency electromagnetic field (ELF_EMF; 0_300 Hz) وسایل الکترونیکی ساخت بشر قرار گرفته است [۱]. امروزه اثرات بیولوژیک میدان‌های الکترومغناطیس به‌طور وسیعی مورد توجه مجامع علمی قرار گرفته است.

[۱] استادیار، دانشکده علوم ورزشی، دانشگاه حکیم سبزواری

[۲] دانشیار، دانشکده علوم ورزشی، دانشگاه تهران

[۳] استاد، گروه فیزیولوژی و فارماکولوژی، انستیتو پاستور ایران

[۴] دانشیار، گروه فیزیک پزشکی، دانشکده پزشکی، دانشگاه علوم پزشکی ایران

* **نشانی نویسنده مسئول:**

سبزوار، دانشگاه حکیم سبزواری، دانشکده علوم ورزشی

تلفن: ۰۹۱۵ ۳۷۱۵۶۰۲ **دورنویس:** ۰۵۱ ۴۴۰۱۲۶۰۷

پست الکترونیک: r.zeidabadi@hsu.ac.ir

تاریخ دریافت: ۹۵/۳/۲۹ **تاریخ پذیرش نهایی:** ۹۵/۹/۱

مطالعات گسترده سازمان بهداشت جهانی (WHO) برای ارزیابی نقش این میدان‌های الکترومغناطیسی بر بدن انسان نشان‌دهنده اهمیت این موضوع در نظر سازمان‌های بین‌المللی می‌باشد. سازمان بهداشت جهانی از سال ۱۹۹۶ برنامه بلند مدتی را تحت عنوان پروژه بین‌المللی میدان‌های الکترومغناطیسی (EMF Project) با مشارکت کمیسیون بین‌المللی حفاظت در برابر تشعشع غیریونیزان (International commission on non-ionizing radiation protection; ICNIRP) و بیش از ۴۵ مرکز ملی برای ارزیابی خطرات احتمالی ناشی از میدان‌های الکترومغناطیسی بر ابعاد مختلف سلامت انسان آغاز نموده‌اند. تحقیقات صورت گرفته در زمینه تاثیر میدان‌های الکترومغناطیسی بر سیستم گردش خون، سیستم ایمنی، تراکم استخوانی، DNA، سیستم عصبی، حافظه، و فعالیت حرکتی، نشان می‌دهد احتمال ایجاد سرطان، افسردگی و سقط جنین خودبه‌خودی و کاهش عملکرد حافظه در افرادی که در معرض این امواج قرار می‌گیرند، در حال افزایش است [۷-۲]. بسیاری از وسایل الکتریکی از قبیل تلویزیون، رادیو، سشوار، و خطوط انتقال برق در اطراف خود میدان‌های الکترومغناطیسی کم-فرکانس ایجاد می‌کنند. در این میان تلفن‌های همراه یکی از مهم-

[Downloaded from feyz.kaums.ac.ir on 2026-10-11]

ترین منابع ایجاد کننده این میدان‌ها هستند که به‌دلیل کاربرد گسترده این وسیله، توجه بسیاری از مجامع علمی و پزشکی به اثرات بیولوژیک و روانشناختی این سیستم ارتباطی معطوف شده است. اگرچه امروزه ورود تلفن‌های همراه به زندگی بشر باعث گسترش ارتباطات شده است، اما نگرانی‌های ناشی از اثرات میدان‌های الکترومغناطیسی کم‌فرکانس این وسیله ارتباطی بر عملکرد موجود زنده به‌ویژه بر فعالیت حرکتی و شناختی او جزء بحث برانگیزترین موضوعات باقی مانده است [۵-۸،۳]. سیستم عصبی به‌علت وسعت در ساختار و عملکرد و هم‌چنین نزدیک بودن تلفن همراه به ناحیه سر در هنگام مکالمه، بیش از سایر سیستم‌های بدن در معرض این میدان‌ها قرار دارد. Shin و همکاران نشان داده‌اند که قرارگیری در معرض میدان‌های الکترو-مغناطیسی کم‌فرکانس، موجب افزایش سطوح دوپامین می‌شود که این امر موجب بروز تغییراتی در رفتار و افزایش فعالیت حرکتی (بیش‌فعالی) حیوان می‌شود. این تغییرات متناسب با مدت قرار-گیری در معرض امواج متغیر خواهد بود؛ به‌طوری‌که مواجهه طولانی‌تر، تحریکات حرکتی طولانی‌تری را ایجاد می‌کند. آنها برای مقابله با این بیش‌فعالی روش‌های دارویی را مورد بررسی قرار دادند [۴،۳]. در مقابل، برخی دیگر از تحقیقات کاهش فعالیت حرکتی را در نتیجه قرار گرفتن در معرض میدان‌های الکترو-مغناطیسی گزارش کرده‌اند [۱۱-۹]. Janac و همکاران نشان دادند یک هفته مواجهه با میدان‌های الکترومغناطیسی ۵۰ هرتز باعث کاهش فعالیت حرکتی موش‌های ۱۰ ماهه می‌گردد [۱۱]. هم‌چنین، گزارش شده است که میدان الکترومغناطیسی گوشی‌های تلفن همراه باعث ایجاد تغییراتی در فعالیت سلول‌های عصبی شده و کاهش دامنه و پتانسیل‌های عمل سلول عصبی F_1 و کاهش تحریک پذیری آنها می‌شود [۱۲]. در مطالعه‌ای دیگر میدان‌های الکترو-مغناطیسی کم‌فرکانس ۵۰ هرتز چه به‌صورت پیوسته و چه به-صورت متناوب موجب تغییرات معنی‌داری در دامنه رویداد مربوط به پتانسیل مغز (Event-related brain potential; ERP) در تکلیف شنود دو گوشی و آهسته شدن ERP و زمان عکس‌العمل در یک تکلیف افتراقی شده است [۱۳]. He و همکاران نیز نشان دادند که چهار هفته قرار گرفتن در معرض میدان الکترومغناطیسی ۵۰ هرتز به‌مدت چهار ساعت در روز موجب افزایش رفتارهای اضطرابی موش‌ها می‌شود [۱۴]. در مجموع به‌نظر می‌رسد که تغییرات ساختاری و عملکردی ایجاد شده در مغز پس از پرتو-گیری به‌وسیله این امواج موجب بروز تغییراتی در میزان فعالیت حرکتی می‌شود [۱۶،۱۵]. بنابراین، با توجه به تحقیقات صورت گرفته در این زمینه و بازنگری‌های انجام شده در مورد خطرات احتمالی میدان‌های الکترومغناطیسی کم‌فرکانس روی سایر اندام-های حیاتی، رعایت جوانب احتیاط و اتخاذ شیوه‌های محافظتی را معقول و ضروری می‌سازد [۱۷]. در همین راستا، برخی تحقیقات اثر مداخلات دارویی نظیر استفاده از ویتامین A، E، C و چای کومبوچا را در مقابل اثرات منفی میدان‌های الکترومغناطیسی مورد بررسی قرار داده‌اند [۲۰-۱۸]. مطالعات ما نشان داد تاکنون تحقیقی که رویکردهای محافظتی غیر دارویی را جهت جلوگیری از اثرات این میدان‌های الکترومغناطیسی بر تغییرات فعالیت حرکتی مورد بررسی قرار داده باشد، وجود ندارد. فعالیت بدنی و ورزش و به-طور کلی سبک زندگی فعال از جمله رویکردهایی است که به‌دلیل اثرات مثبت جسمانی و روان‌شناختی همواره مورد توجه پژوهش-گران بوده است. اثرات مثبت غیرقابل انکار فعالیت بدنی بر شاخص‌های حرکتی و سلامتی در بسیاری از مطالعات به اثبات رسیده است [۲۳-۲۱]. مشاهده اثرات مثبت فعالیت بدنی و ورزش بر بهبود عملکرد حرکتی در مدل‌های حیوانی و انسانی پارکینسونی [۲۴،۲۱] و بهبود عملکرد حرکتی موش‌های دچار انسداد جریان خون مغزی شده [۲۵] از یک طرف و نیز مبانی نظری که نشان می-دهد، احتمالا مکانیسم‌های مشابهی در اثر میدان‌های الکترو-مغناطیسی (افزایش استرس اکسیداتیو در مغز [۲۶]، کاهش سلول-های عصبی [۲۷]، تغییرات در سیستم دوپامینرژیک [۲۸] و توقف موضعی متابولیسم گلوکز در مغز [۲۹]) و فعالیت بدنی (افزایش مقاومت بدن در برابر استرس اکسیداتیو [۳۰]، افزایش شکل پذیری سیناپسی [۳۱]، تغییرات در سیستم دوپامینرژیک [۳۲]، افزایش جریان خون و آنژیوژنز [۳۳]) تحت تاثیر قرار می‌گیرند از طرف دیگر، موجب شد تا در پژوهش حاضر تاثیر ورزش و فعالیت بدنی که همواره به‌عنوان یک شیوه غیردارویی موثر مدنظر محققین حوزه سلامت بوده و حتی بیشتر از مداخلات دارویی مورد تاکید قرار داشته، به‌عنوان شیوه‌ای جهت کاهش اثرات مضر احتمالی میدان‌های الکترومغناطیسی کم‌فرکانس ناشی از گوشی‌های تلفن همراه بر فعالیت حرکتی موش صحرایی مورد بررسی قرار گیرد.

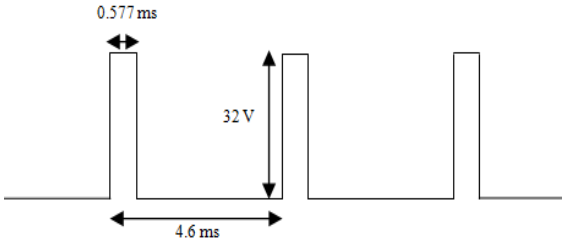
مواد و روش‌ها

برای انجام پژوهش تجربی حاضر تعداد ۷۰ سر موش صحرایی نر بالغ نژاد ویستار با میانگین وزن ۲۰±۲۰۰ گرم از انستیتو پاستور ایران تهیه گردید. موش‌های مورد آزمایش در هفت گروه ۱۰ تایی در قفس‌های فایبرگلاس (ابعاد: عرض ۳۱، طول ۴۷، ارتفاع ۲۱ سانتی متر) در حیوان‌خانه انستیتو پاستور در دمای محیطی ۲±۲۲ درجه سانتی‌گراد و چرخه روشنایی-تاریکی ۱۲:۱۲ ساعته (روشنایی از ساعت ۷ الی ۱۹) و رطوبت هوا ۴±۵۵/۶

[Downloaded from feyz.kaums.ac.ir on 2026-10-11]

درصد، نگهداری شدند. کلیه آزمایشات بر اساس اصول کمیته اخلاقی انستیتو پاستور ایران و مطابق با مقررات نگهداری و استفاده از حیوانات آزمایشگاهی انجام شد. قبل از اجرای پروتکل، به‌منظور سازگاری و آشنایی با محیط آزمایشگاه حیوانات به‌مدت یک هفته در محل جدید نگهداری شده و پس از آن در گروه‌های مورد نظر تقسیم شدند. در این پژوهش از دستگاه تردمیل شش کاناله مخصوص حیوانات با قابلیت تنظیم در سرعت‌های مختلف [۳۴]، دستگاه شبیه‌ساز امواج الکترومغناطیسی کم‌فرکانس تلفن همراه (این دستگاه در آزمایشگاه بیوالکترومغناطیس گروه فیزیک پزشکی دانشگاه علوم پزشکی ایران ساخته شد؛ شکل شماره ۱) و از دستگاه Open field جهت سنجش فعالیت حرکتی موش‌ها استفاده گردید. منبع اصلی تغذیه تجهیزات فراهم آورنده میدان الکترومغناطیسی برق شهری بود، اما به‌دلیل نیاز این پژوهش به میدان الکترومغناطیسی پالسی با بسامد ۲۱۷ هرتز و شدت میدان ۲۰۰ میکروتسلا (فرکانس به‌کار گرفته شده در سیستم تلفن‌های همراه)، از یک مبدل پالسی استفاده شد. پهنای پالس به‌کار رفته ۰/۵۷۷ میلی‌ثانیه و دوره تناوب ۴/۶ میلی‌ثانیه بود که همان فرکانس ۲۱۷ هرتز می‌باشد. ولتاژ خروجی به‌گونه‌ای تنظیم شد که پس از اتصال مولد به کویل هلم‌هولتز، شدت میدان ۲۰۰ میکروتسلا به‌دست آید. محاسبات نشان داد که ولتاژ لازم برای این منظور ۳۲ ولت می‌باشد. یکنواختی و اطمینان از صحت میدان ایجاد شده به کمک نرم‌افزار Matlab شبیه سازی شد و نتیجه شبیه سازی با وضعیت موجود توافق داشت. میدان الکترومغناطیسی و ویژگی‌های سیگنال قبل از انجام آزمایشات با استفاده از تسلامتر اندازه‌گیری و با اسیلوسکوپ مانیتور می‌شد (شکل شماره ۲). محل قرار دادن دستگاه شبیه ساز امواج تلفن همراه به‌گونه‌ای بود که غیر از دستگاه مذکور هیچ وسیله الکتریکی دیگری در اتاق وجود نداشت. هم‌چنین، جهت کاهش نویز حاصل از وسایل الکتریکی اتاق‌های مجاور، میدان الکترومغناطیسی محیطی آزمایشگاه در نقاط مختلف به‌وسیله تسلامتر دیجیتال LEYBOLD مدل ۶۶۷۹۲۹ با دقت ۱ mT اندازه‌گیری شد و پس از تعیین دوزیمتری تابش زمینه در نقاط مختلف اتاق، مکان مناسب جهت قراردادن دستگاه تعیین گردید. صفحات نگهدارنده کویل‌ها و پایه‌های آنها از جنس چوب ساخته شدند و برای متصل کردن آنها به یکدیگر از چسب و بست پلاستیکی استفاده شد، به‌گونه‌ای که تداخلی در میدان به‌وجود نیاید. موش‌ها پس از یک هفته آشنایی با محیط آزمایشگاه، در هفت گروه به‌ترتیب زیر وارد شدند: گروه کنترل: این گروه بدون هرگونه مداخله‌ای در حیوان‌خانه نگهداری شد؛ گروه میدان الکترومغناطیسی کم‌فرکانس: این گروه در طول دوره، یعنی به‌مدت یک ماه هر روز به‌مدت سه ساعت (ساعت ۹ تا ۱۲ ظهر) تحت تابش میدان الکترومغناطیسی قرار گرفت؛ گروه شم: این گروه در شرایطی مشابه با گروه تحت تابش میدان الکترومغناطیسی بود، با این تفاوت که در مدت زمان قرار گیری حیوان در داخل دستگاه شبیه ساز امواج، دستگاه خاموش بوده و هیچ جریانی از سیم پیچ عبور نمی‌کرد و موش‌ها هیچ امواجی دریافت نمی‌کردند؛ گروه فعالیت بدنی بلند مدت: این گروه به‌مدت یک ماه، روزانه ۳۰ دقیقه با پروتکلی که در بخش برنامه تمرینی توضیح داده شده است به دویدن روی تردمیل پرداخت؛ گروه فعالیت بدنی کوتاه مدت: این گروه به‌مدت یک هفته، روزانه ۳۰ دقیقه با همان پروتکل روی تردمیل دوید؛ گروه تحت تابش میدان الکترومغناطیسی همراه با فعالیت‌بدنی بلند مدت: این گروه علاوه بر اینکه در طول دوره، روزانه به‌مدت سه ساعت در معرض میدان الکترومغناطیسی قرار می‌گرفت، بعد از تابش گیری به‌مدت ۳۰ دقیقه روی تردمیل نیز می‌دوید؛ و گروه تحت تابش میدان الکترومغناطیسی همراه با فعالیت بدنی کوتاه مدت: این گروه نیز علاوه بر اینکه در طول دوره، روزانه به‌مدت سه ساعت در معرض میدان الکترومغناطیسی قرار می‌گرفت، پس از گذشت ۲۳ روز از شروع تابش گیری، یا به‌عبارت دیگر در یک هفته پایانی ماه، به‌مدت هفت روز و در هر روز ۳۰ دقیقه روی تردمیل دوید.

شکل شماره ۱- دستگاه شبیه ساز میدان الکترومغناطیسی کم‌فرکانس تلفن همراه و موقعیت قرارگیری حیوانات



شکل شماره ۲- مشخصات پالس اعمال شده توسط دستگاه

[Downloaded from feyz.kaums.ac.ir on 2026-10-11]

در پایان میزان فعالیت حرکتی تمامی گروه‌ها در دستگاه Open field مورد بررسی قرار گرفت. به‌منظور شبیه سازی میدان الکترومغناطیسی کم‌فرکانس تلفن همراه، دو کویل (سیم پیچ‌ها) هلم‌هولتز به‌صورت عمودی به پایه‌های ثابت چوبی متصل شد و در مرکز آنها صفحه‌ای جهت نگهداری قید حیوانات طراحی گردید. در داخل کویل‌ها از هیچ ماده فلزی استفاده نشد؛ چراکه این مواد با ایجاد سطوحی از تابش محیطی باعث انحراف یا کاهش میدان‌های الکترومغناطیسی می‌شوند. قطر هر کویل ۹۰ سانتی‌متر (قطر خارجی ۹۴ و قطر داخلی ۹۰ سانتی‌متر) و دارای ۳۵۰ دور سیم مسی به قطر ۰/۹ میلی‌متر بود. فاصله بین دو کویل ۴۵ سانتی‌متر در نظر گرفته شد تا بیشترین میزان یکنواختی در مرکز کویل‌ها فراهم شود و حیوان نیز در مرکز دستگاه قرار داده می‌شد (شکل شماره ۱). با توجه به قطر زیاد کویل‌ها، پایه‌ها و نگهدارنده‌های چوبی به‌گونه‌ای طراحی شد که کویل‌ها ثابت و بدون خمش باقی بمانند و تهویه هوا از میان کویل‌ها به راحتی انجام گیرد. به‌دلیل پایین بودن ولتاژ مورد استفاده، میزان گرم شدن کویل‌ها در طول مدت آزمایش بسیار کم بود ($\Delta\theta$=۴/۹C)، بنابراین هیچ سیستم خنک کننده‌ای برای دستگاه مورد نیاز نبود. تغییرات دمایی کویل‌ها و نگهدارنده‌های حیوانات به‌وسیله ترمومتر دیجیتال ارزیابی می‌شد، و مشاهده شد که عملکرد سیستم تابشی اثری بر دمای محیطی داخل و خارج باکس حیوانات ندارد. گروه‌های تحت تابش میدان الکترومغناطیسی کم-فرکانس به‌مدت یک ماه، روزانه به‌مدت سه ساعت (از ساعت ۹ تا ۱۲ ظهر) در معرض تابش امواج قرار گرفتند. این زمان بر اساس تحقیقات مشابه [۲۰،۸] و نیز با توجه به میانگین زمانی که یک فرد در نزدیک‌ترین فاصله با تلفن همراهش قرار دارد و هم-چنین میزان تحمل حیوان در مطالعه مقدماتی انتخاب گردید. برنامه فعالیت بدنی (دویدن روی تردمیل) بدین صورت بود: ابتدا موش‌های مورد نظر یک روز پیش از شروع تمرین به‌مدت ۱۵ دقیقه با دستگاه تردمیل آشنا شده و روش دویدن روی تردمیل را یاد گرفتند. دویدن روی تردمیل شامل دو برنامه یک هفته‌ای (برای گروه ورزش کوتاه مدت) و یک ماه (برای گروه ورزش بلندمدت) بود. برنامه دویدن روی تردمیل، روزانه به‌مدت ۳۰ دقیقه (۱۰ دقیقه اول با سرعت چهار متر در دقیقه، ۱۰ دقیقه بعدی با سرعت هفت متر در دقیقه و ۱۰ دقیقه پایانی با سرعت ۱۰ متر در دقیقه) با شیب صفر درجه تعیین گردید. این پروتکل تمرینی جزء تمرینات با شدت پایین محسوب می‌شود که با هدف کاربردی‌تر شدن موضوع پرداختن به ورزش و حذف هرگونه شرایط استرس‌زای دیگری که ممکن است باعث تغییرات جسمانی و فیزیولوژیک در حیوان شود، انتخاب گردید [۳۵]. دستگاه Open field به‌منظور تعیین سطوح فعالیت عمومی، فعالیت جابه‌جایی و عادات کاوشی موش‌های آزمایشگاهی مورد استفاده قرار می‌گیرد. این ابزار از یک محفظه چوبی با ابعاد ۳۰×۶۸×۶۸ سانتی‌متری تشکیل شده است. مراحل اجرای آزمون بدین صورت بود که پس از سازگاری موش‌ها با محیط، هر موش به‌مدت پنج دقیقه در داخل جعبه قرار می‌گرفت تا آزادانه حرکت کند. حرکات و رفتار موش از طریق نرم‌افزار Etho 7 Vision و دوربینی که در بالای جعبه قرار داشت ردیابی و ثبت می‌شد و شاخص‌های مسافت طی شده، مدت زمان حرکت و سرعت حرکت برای سنجش فعالیت حرکتی جهت تجزیه و تحلیل به کامپیوتر ارسال می‌شد [۳۶،۳۴]. برای بررسی داده‌ها در ابتدا نرمال بودن آنها با آزمون کلموگروف-اسمیرنوف، همگنی واریانس‌ها با آزمون لوین و همبستگی کافی بین متغیرهای وابسته با Bartlett's test of sphericity مورد بررسی قرار گرفت. به‌منظور تحلیل داده‌های به‌دست آمده از شاخص‌های فعالیت حرکتی شامل مسافت طی شده، مدت زمان حرکت و سرعت حرکت از تحلیل واریانس چندمتغیره (MANOVA) multivariate analysis of variance و آزمون تعقیبی توکی در سطح معنی‌داری $P\leq$۰/۰۵ استفاده شد.

نتایج

شاخص‌های توصیفی مربوط به فعالیت حرکتی گروه‌های مورد مطالعه شامل میزان مسافت طی شده، زمان در حال حرکت و سرعت حرکت در جدول شماره ۱ ارایه شده است.

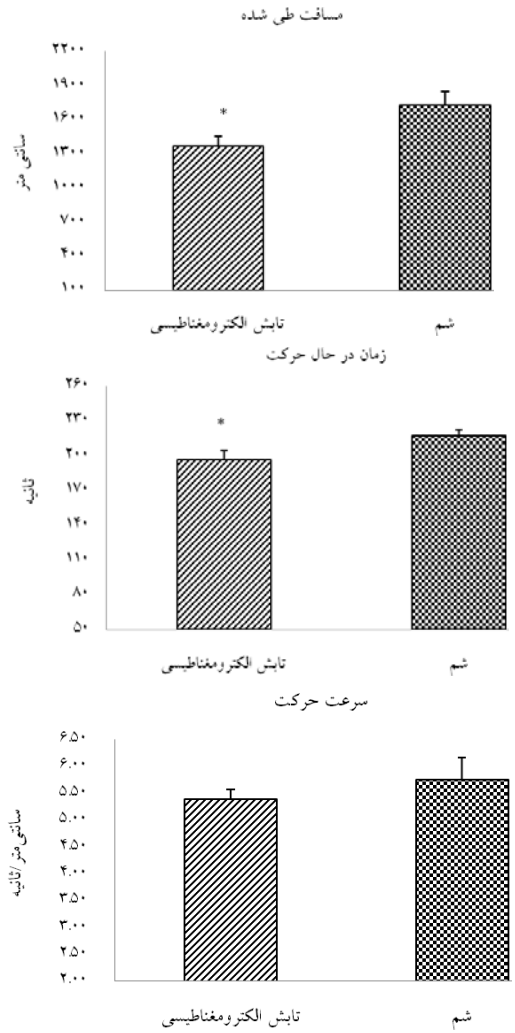
بررسی اثر میدان الکترومغناطیسی کم فرکانس بر فعالیت حرکتی:

نتایج آزمون‌های آماری نشان داد که اثر میدان الکترو-مغناطیسی تلفن همراه معنی‌دار است (P=۰/۰۰۱)؛ به‌طوری‌که قرارگیری در معرض تابش میدان الکترومغناطیسی کم‌فرکانس به-کار رفته در تلفن همراه موجب کاهش فعالیت حرکتی موش‌های در معرض نسبت به گروه شم گردید.

[Downloaded from feyz.kaums.ac.ir on 2026-10-11]

جدول شماره ۱- میانگین فعالیت حرکتی (زمان حرکت، مسافت طی شده و سرعت حرکت) در گروه‌های تحقیق

گروه‌های مطالعه	مسافت طی شده (سانتی‌متر)	زمان حرکت (ثانیه)	سرعت حرکت (ثانیه/سانتی‌متر)
	$\overline{X} \pm SD$	$\overline{X} \pm SD$	$\overline{X} \pm SD$
تابش الکترومغناطیسی	۱۳۶۸/۶۱±۲۸۸/۴۷	۱۹۶/۶۵±۲۵/۲۹	۵/۳۹±۰/۵۸
شم (تابش کاذب)	۱۷۲۸/۲۰±۳۹۰/۲۰	۲۱۷/۳۲±۱۶/۵۸	۵/۷۶±۱/۳۱
فعالیت‌بدنی کوتاه مدت	۱۵۳۴/۸۰±۳۰۲/۵۴	۱۹۰/۴۸±۳۹/۷۵	۵/۱۲±۱/۰۱
فعالیت‌بدنی بلند مدت	۱۵۹۰/۶۵±۲۹۱/۹۵	۱۸۶/۶۳±۲۴/۷۹	۵/۲۷±۰/۹۸
تابش* فعالیت کوتاه مدت	۱۶۹۵/۸۲±۲۳۵/۵۷	۲۰۸/۶۱±۲۱/۸۰	۵/۹۲±۰/۹۲
تابش* فعالیت بلند مدت	۱۶۳۱/۴۲±۲۷۹/۷۸	۱۹۰/۸۳±۲۰/۹۷	۵/۵۹±۱/۱۹
کنترل	۷۵۹/۰۵±۲۳۹/۸۹	۱۰۲/۹۹±۳۸/۰۰	۲/۵۸±۰/۷۴



شکل شماره ۳- مقایسه مسافت طی شده، زمان در حال حرکت و سرعت حرکت بین گروه تحت تابش الکترومغناطیسی و شم

(* بیانگر اختلاف در سطح $P\leq$۰/۰۵)

نتایج آزمون‌های تعقیبی نشان داد، میدان الکترومغناطیسی کم-فرکانس تلفن همراه بر شاخص‌های مسافت طی شده (P=۰/۰۳) و مدت زمان در حال حرکت تاثیر معنی‌دار داشته (P=۰/۰۴)، اما اثر آن بر شاخص سرعت حرکت معنی‌دار نبود ($P\geq$۰/۰۵)؛ به‌طوری-که گروه تحت تابش امواج شبیه سازی شده تلفن همراه نسبت به گروه شم در هر دو متغیر مسافت طی شده و مدت زمان در حال حرکت، عملکرد پایین‌تر و در نتیجه فعالیت حرکتی پایین‌تری داشت (شکل شماره ۳).

بررسی اثر فعالیت بدنی بر فعالیت حرکتی:

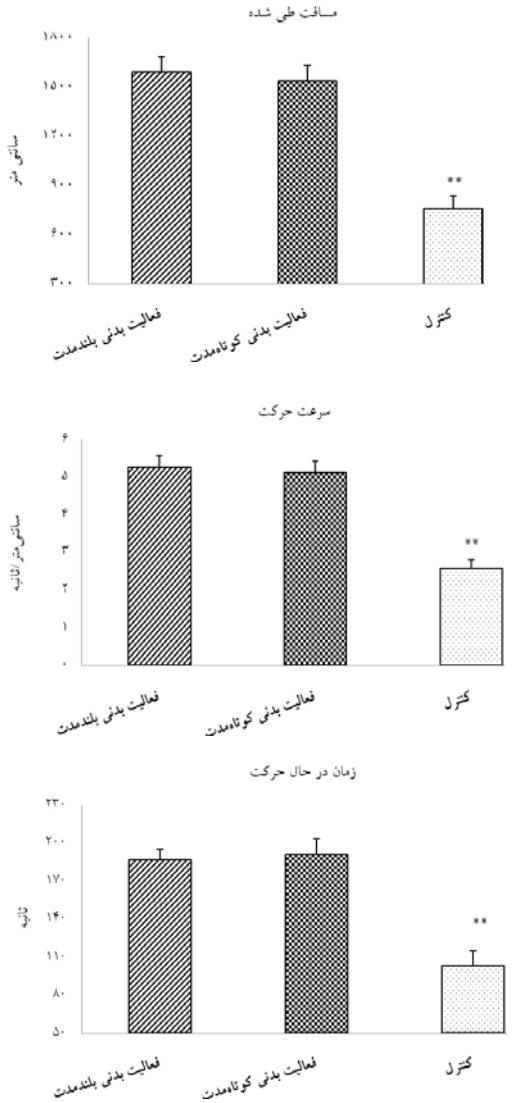
نتایج آزمون‌های آماری نشان داد که اثر فعالیت بدنی معنی‌داری است (P=۰/۰۰۱)؛ به‌طوری‌که فعالیت دویدن روی تردمیل (کوتاه مدت و بلند مدت) موجب بهبود فعالیت حرکتی موش‌های تمرین کرده نسبت به گروه کنترل شد. نتایج آزمون‌های تعقیبی نشان داد که هر دو گروه فعالیت بدنی کوتاه مدت و بلند مدت نسبت به گروه کنترل در هر سه شاخص مسافت طی شده، مدت زمان در حال حرکت و سرعت حرکت به‌طور معنی‌داری عملکرد بالاتر و در نتیجه فعالیت حرکتی بالاتری داشتند (P=۰/۰۰۱)، اما بین دو گروه فعالیت بدنی کوتاه مدت و بلند مدت در این سه شاخص تفاوت معنی‌داری وجود نداشت ($P\geq$۰/۰۵) (شکل شماره ۴).

بررسی اثر ترکیب فعالیت بدنی و میدان الکترومغناطیسی بر فعالیت حرکتی:

نتایج آزمون‌های آماری نشان داد که به‌طور کلی بین فعالیت حرکتی گروه‌های ترکیبی میدان الکترومغناطیسی همراه با فعالیت بدنی (کوتاه مدت و بلند مدت) و گروه میدان الکترو-

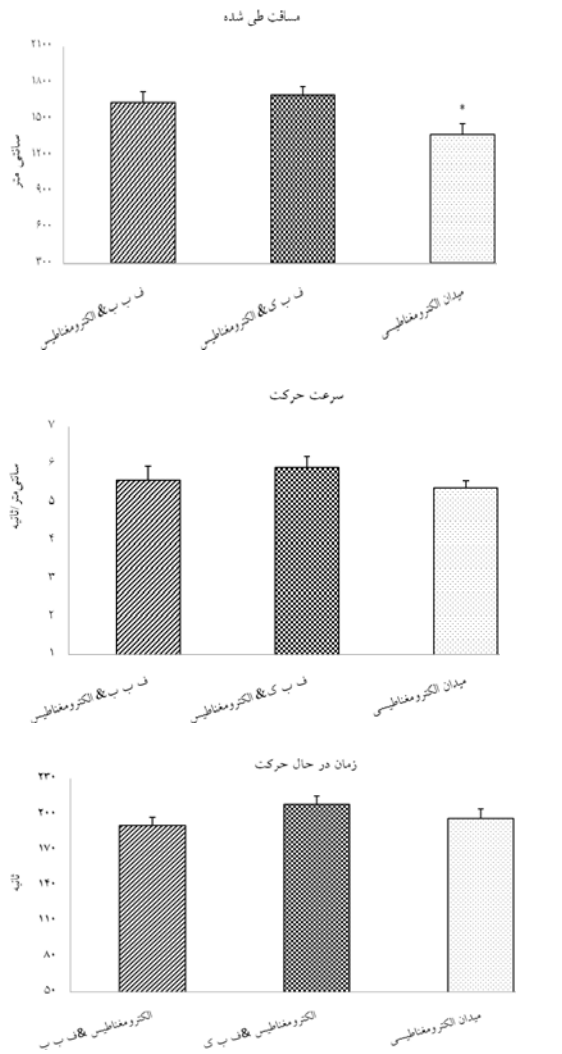
[Downloaded from feyz.kaums.ac.ir on 2026-10-11]

مغناطیسی تفاوت معنی‌داری وجود ندارد (P=۰/۰۶). نتایج آزمون‌های تعقیبی نشان داد علی‌رغم اینکه در شاخص‌های مدت زمان در حال حرکت و سرعت حرکت گروه میدان الکترو-مغناطیسی-فعالیت بدنی کوتاه مدت و گروه میدان الکترو-مغناطیسی-فعالیت بدنی بلند مدت نسبت به گروه میدان الکترو-مغناطیسی کمی بهتر بودند، اما تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد (P≥۰/۰۵) و فقط در شاخص مسافت طی شده بین گروه میدان الکترومغناطیسی-فعالیت بدنی کوتاه مدت و گروه میدان الکترو-مغناطیسی اختلاف معنی‌دار مشاهده شد (P≤۰/۰۵). در مجموع فعالیت بدنی نتوانست به‌طور کامل اثرات منفی میدان الکترو-مغناطیسی بر فعالیت حرکتی موش‌های تحت تابش را بهبود بخشد (شکل شماره ۵).



شکل شماره ۴- مقایسه مسافت طی شده، زمان در حال حرکت و سرعت حرکت بین گروه‌های فعالیت بدنی بلند مدت، کوتاه مدت و کنترل

(** بیان‌گر اختلاف گروه کنترل با هر دو گروه فعالیت بدنی در سطح P≤۰/۰۱)



شکل شماره ۵- مقایسه مسافت طی شده، زمان در حال حرکت و سرعت حرکت بین گروه‌های ف ب ب & الکترومغناطیس، ف ب ک & الکترومغناطیس و میدان الکترومغناطیس

(* بیان‌گر اختلاف معنی‌دار با گروه ف ب ک & الکترومغناطیس در سطح P≤۰/۰۵).

ف ب ب& الکترومغناطیس: گروه فعالیت بدنی بلندمدت به‌همراه میدان الکترومغناطیسی

ف ب ک& الکترومغناطیس: گروه فعالیت بدنی کوتاه مدت به‌همراه میدان الکترومغناطیسی

بحث

در پژوهش حاضر اثر میدان الکترومغناطیسی کم‌فرکانس به‌کار رفته در تلفن همراه بر فعالیت حرکتی موش صحرایی نر و نقش فعالیت بدنی کوتاه مدت و بلند مدت به‌عنوان شیوه‌ای محافظتی در مقابل اثرات این میدان‌ها مورد بررسی قرار گرفت. یافته‌های پژوهش حاضر نشان داد که ۳۰ روز (روزی سه ساعت) مواجهه با میدان الکترومغناطیسی کم‌فرکانس موجب کاهش معنی‌دار مسافت طی شده و زمان در حال حرکت موش‌های این

[Downloaded from feyz.kaums.ac.ir on 2026-10-11]

گروه نسبت به گروه شم (تابش کاذب) در آزمون Open field می‌شود (شکل شماره ۳)؛ بدین‌معنی که قرار گرفتن در معرض میدان‌های الکترومغناطیسی کم‌فرکانس ۲۱۷ هرتز به‌کار رفته در تلفن همراه موجب کم‌تحرکی یا کاهش فعالیت حرکتی موش‌های در معرض می‌گردد. شایان ذکر است که اندازه اثر (Effect size) ۰/۶۴ حاکی از آن است که تاثیر میدان الکترومغناطیسی کم-فرکانس به‌کار رفته در تلفن همراه بر فعالیت حرکتی موش‌ها قابل ملاحظه می‌باشد. این یافته با برخی تحقیقات انجام شده در این زمینه هم‌راستا می‌باشد [۳۷،۹-۱۱،۵]. Dimitrijević و همکاران (۲۰۱۴) در بررسی اثر میدان الکترومغناطیسی کم‌فرکانس ۵۰ هرتز بر فعالیت حرکتی حشرات به این نتیجه رسیدند که ۴۸ ساعت مواجهه با این میدان‌ها موجب کاهش فعالیت حرکتی آنها می‌گردد [۹]. در همین راستا یافته‌ها Balassa و همکاران نیز نشان داد که مواجهه با میدان الکترومغناطیسی ۵۰ هرتز به‌مدت ۲۰ دقیقه موجب برخی ناراحتی‌ها و تغییرات رفتاری، از قبیل کم‌تحرکی و افزایش اضطراب موقعیتی موش‌ها می‌شود [۵]. در مطالعه‌ای دیگر اثر یک، سه و هفت روز (روزی شش ساعت) مواجهه با میدان الکترو-مغناطیسی کم‌فرکانس بر فعالیت حرکتی و حرکات قالبی (Stereo-typic activities) موش‌ها مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که فعالیت حرکتی موش‌ها پس از یک روز مواجهه با این میدان‌ها افزایش معنی‌داری داشت، اما با قرار گرفتن بیشتر در معرض این امواج یعنی در روز سوم و هفتم فعالیت حرکتی موش‌ها به‌طور معنی‌داری کاهش یافت. آنها اظهار داشتند افزایش فعالیت حرکتی موش‌ها پس از یک روز مواجهه با میدان‌های الکترومغناطیسی ممکن است به‌علت افزایش شار یون کلسیم و به-دنبال آن تغییر غلظت دوپامین در شکاف سیناپسی باشد. اما در مورد کاهش فعالیت حرکتی در روزهای بعدی مواجهه با امواج اظهار داشتند که مکانیسم‌های زیربنایی برای این اتفاق مشخص نمی‌باشد و شاید بتوان این کاهش در فعالیت حرکتی را در نتیجه سازگاری حیوانات با محرک جدید کم‌شدت دانست که احتمالا به‌دلیل کاهش فعالیت مجدد گیرنده‌های مرکزی دوپامین می‌باشد [۱۰]. هم‌چنین، Janać و همکاران (۲۰۱۲) تاثیر میدان‌های الکترو-مغناطیسی کم‌فرکانس را بر تغییرات رفتار حرکتی موش‌های با سنین متفاوت مورد بررسی قرار دادند. یافته‌های آنان نشان داد در موش‌های سه ماهه مواجهه با این امواج موجب افزایش فعالیت حرکتی شده اما در موش‌های ۱۰ ماهه باعث کاهش فعالیت حرکتی می‌شود. آنها اظهار داشتند این تغییرات در رفتار حرکتی در نتیجه تفاوت‌های عملکردی وابسته به سن در ساختارهای مغزی کنترل کننده رفتار حرکتی می‌باشد [۱۱]. از طرف دیگر یافته‌های این بخش از پژوهش حاضر با برخی پژوهش‌های صورت گرفته در این زمینه که افزایش در فعالیت حرکتی و یا عدم تاثیر بر فعالیت حرکتی را در نتیجه مواجهه با میدان‌های الکترومغناطیسی گزارش کرده بودند، متناقض می‌باشد [۳۹،۳۸،۳۶،۸،۴،۳]. بیان شده است که میدان‌های الکترومغناطیسی کم‌فرکانس از طریق فعال سازی گیرنده‌های دوپامین موجب افزایش فعالیت حرکتی موش‌های آزمایشگاهی می‌شود. به‌علاوه، ۷ و ۱۴ روز (یک ساعت در روز) مواجهه با میدان‌های الکترومغناطیسی کم‌فرکانس موجب افزایش سطوح دوپامین در استریاتوم موش‌ها می‌شود، در واقع این یافته نقش وابسته به دوز (زمان) گیرنده‌های دوپامینرژیک را در تغییرات رفتاری ناشی از میدان‌های ELF نشان می‌دهد؛ به‌طوری-که یک ساعت مواجهه در یک روز نتوانست تغییری در فعالیت حرکتی موش‌ها ایجاد نماید، اما تکرار آن به‌مدت ۷ و ۱۴ روز موجب افزایش فعالیت حرکتی موش‌ها گردید [۴،۳]. نتایج این مطالعات هم‌راستا با این فرضیه می‌باشد که میدان‌های الکترو-مغناطیسی کم‌فرکانس می‌تواند موجب تغییر در سیستم دوپا-مینرژیک شود [۲۸]؛ به‌طوری‌که قرار گرفتن مکرر در معرض میدان‌های ELF منجر به تحریک حرکتی طولانی مدت از طریق تحریک گیرنده D1 سیستم دوپامینرژیک می‌شود. انتقال دهنده‌های عصبی مرکزی به‌ویژه نورون‌های دوپامینرژیک نقش مهمی در تظاهرات رفتاری بازی می‌کنند. در مطالعات متعددی به تغییرات سیستم عصبی دوپامینرژیک یا فعال سازی گیرنده‌های دوپامینرژیک به‌عنوان یکی از اثرات اصلی میدان‌های الکترومغناطیسی اشاره شده است [۴۲-۴۰]. مطالعات دیگر به تاثیر این میدان‌ها بر غلظت داخل سلولی یون کلسیم اشاره دارند [۴۴،۴۳]. Fu و همکاران نیز نشان دادند مواجهه کوتاه مدت (هفت روز) و طولانی مدت (۲۵ روز) با این میدان‌ها هیچ تغییری در فعالیت حرکتی موش‌ها ایجاد نکرده و آنها اظهار داشتند برای روشن شدن این موضوع به تحقیقات بیشتری به‌ویژه در سیستم عصبی غدد درون‌ریز و فعالیت‌های بیوالکتریکی سیستم عصبی به موازات تحقیقات رفتاری نیاز است [۸]. تحقیقات انجام شده در حوزه‌های انسانی نیز حاکی از آن است که بدن افراد بالغ و سالم نسبت به قرارگیری در معرض میدان‌های الکترومغناطیسی خارجی حساس می‌باشد و به‌سرعت از طریق مکانیسم‌های جبرانی اقدام به حفظ شرایط هموستاز در طی قرار گرفتن در معرض این امواج می‌نماید [۴۵،۳۸،۱۰]. این یافته‌ها نشان می‌دهد که میدان‌های الکترومغناطیسی می‌توانند جنبه‌هایی از رفتارهای زمان بندی شده انسان‌ها و حیوانات را تحت تاثیر قرار دهد [۳۷]. بااین‌وجود و با دانش کنونی مکانیسم دقیق اثرگذاری میدان‌های الکترومغناطیسی بر موجودات زنده به‌طور کامل مشخص

[Downloaded from feyz.kaums.ac.ir on 2026-10-11]

نبوده و اطلاعات محدودی در زمینه اثرات این میدان‌ها بر تغییرات رفتاری و تغییرات سیستم عصبی وجود دارد. گزارشات متناقض در زمینه اثرات بیولوژیکی میدان‌های الکترومغناطیسی کم‌فرکانس ممکن است به‌دلیل تفاوت در پارامترهایی از قبیل شدت، فرکانس، مدت زمان در معرض بودن و نوع میدان‌های الکترومغناطیسی باشد [۸،۳]. هم‌چنین، در توجیه این تناقضات توجه به نظریه "اثر پنجره یا Window effect" می‌تواند راه‌گشا باشد. این نظریه تا مدت‌ها در این حیطه پذیرفته نشده بود، ولی طی دو دهه اخیر نظریه "پنجره بیولوژیک"، "پنجره دامنه"، "پنجره فرکانسی" و به میزان کمتری "پنجره زمانی" در تحقیقات به‌چشم می‌خورد. در تعدادی از مطالعات به وجود اثرات پنجره‌ای و پاسخ رزونانس-گونه در سیستم‌های بیولوژیک در دامنه و فرکانس مشخصی اشاره شده است [۴۸-۴۶]. این نظریه مطرح می‌کند طی تکامل در موجودات زنده مکانیزم‌هایی ایجاد شده تا بتوانند میدان‌های الکتریکی و مغناطیسی را درک کنند. مفهوم "پنجره" به درک مقادیر مجزایی از این میدان‌ها به‌وسیله سیستم‌های بیولوژیک اشاره دارد که بسته به ساختار موجود زنده، می‌توانند مکانیسم‌ها و پاسخ‌ها متفاوتی در سطح غشا، سلول‌ها و بافت‌ها ایجاد کنند [۴۹]. در همین راستا، Canseven و همکاران اظهار داشتند شدت و مدت قرارگیری در معرض میدان الکترومغناطیسی از جمله عوامل موثر در شکل‌گیری رادیکال‌های آزاد و رفتار آنزیم‌های آنتی-اکسیدان می‌باشد؛ بدین ترتیب شاهد اثرات متفاوتی از برهمکنش میدان‌های الکترومغناطیسی با موجود زنده هستیم [۵۰]. هم‌چنین، یافته‌های پژوهش حاضر نشان داد که فعالیت بدنی کوتاه مدت (یک هفته) و بلندمدت (یک ماه) با شدت پایین بر فعالیت حرکتی موش‌ها تاثیر معنی‌دار دارد. فعالیت بدنی به‌کار گرفته شده در تحقیق حاضر با افزایش شاخص‌های فعالیت حرکتی (مدت زمان در حال حرکت، مسافت طی شده، و سرعت حرکت) تاثیر مثبتی را بر میزان فعالیت حرکتی موش‌های آزمایشگاهی نشان داد؛ به-طوری‌که گروه‌های فعالیت بدنی در هر سه شاخص نسبت به گروه کنترل عملکرد بهتر و در نتیجه فعالیت حرکتی بالاتری داشتند (شکل شماره ۴). این یافته با تحقیقات متعددی که نشان دهنده اثرات مثبت فعالیت بدنی بر بهبود فعالیت حرکتی و نیز با تحقیقاتی که نشان دهنده فواید فعالیت بدنی در جلوگیری از کاهش فعالیت حرکتی در موش‌ها است هم‌راستا می‌باشد [۲۳،۲۲]. مطالعات صورت گرفته نشان می‌دهند که فعالیت بدنی طولانی مدت موجب افزایش جریان خون و رگ‌زایی در قشر حرکتی و مخچه موش‌های صحرائی تمرین کرده می‌شود [۳۳]. هم‌چنین، فعالیت بدنی از طریق افزایش رهاسازی دوپامین در جسم مخطط و تنظیم انتقال‌دهنده دوپامین باعث بهبود عملکرد حرکتی در بیماران پارکینسونی و مدل‌های حیوانی این بیماری می‌شود [۲۴،۲۱]؛ چراکه تحقیقات نشان داده‌اند فقدان یا فعالیت بدنی ناکافی موجب کاهش دوپامین در جسم مخطط شده و این امر موجب کاهش تحریک قشر حرکتی و بروز اختلالات حرکتی و علائم بیماری پارکینسون می‌شود [۵۲،۵۱]. به‌طور کلی مطالعات صورت گرفته نشان می‌دهد که استراتژی‌های محافظ عصبی مانند فعالیت بدنی، باعث کند شدن روند کاهش نورون‌های دوپامینرژیک در عقده‌های قاعده‌ای و بهبود عملکرد نورون‌های باقیمانده می‌شود [۳۲]. اما یافته‌های پژوهش حاضر با برخی از پژوهش‌های انجام شده در این زمینه که بین گروه‌های تمرین کرده روی تردمیل و تمرین نکرده، در آزمون عملکرد حرکتی تفاوت معنی‌داری وجود ندارد، متناقض می‌باشد [۵۳،۲۵]. به‌نظر می‌رسد تفاوت در نوع تمرین مورد استفاده به لحاظ شدت و مدت زمان فعالیت بدنی از جمله دلایل احتمالی تناقض در یافته‌های به‌دست آمده در تحقیقات مختلف می‌باشد. در نهایت نقش فعالیت بدنی به‌عنوان روشی جهت مقابله با اثرات منفی میدان الکترومغناطیسی کم‌فرکانس به‌کار رفته در تلفن همراه بر فعالیت حرکتی موش‌های مورد مطالعه قرار گرفت. شایان ذکر است که در مطالعه قبلی محققین، اثربخشی همین روش (فعالیت بدنی با شدت پایین) در کاهش اثرات مخرب میدان الکترومغناطیسی کم‌فرکانس بر حافظه فضایی و یادگیری موش‌های آزمایشگاهی مورد تایید قرار گرفته بود [۳۴]. بر این اساس و بر اساس مبانی نظری مطرح شده در مقدمه انتظار می‌رفت که فعالیت بدنی مورد استفاده در پژوهش حاضر قابلیت جلوگیری از اثرات منفی میدان الکترومغناطیسی به‌کار رفته در تلفن همراه بر فعالیت حرکتی موش‌های در معرض را داشته باشد. اما یافته‌های پژوهش حاضر نشان داد که اگرچه گروه‌های ترکیبی یعنی گروه‌های تحت تابش و دارای فعالیت بدنی (کوتاه مدت و بلند مدت) تا حدودی فعالیت حرکتی بیشتری نسبت به گروه تحت تابش میدان الکترومغناطیسی داشتند، اما این تفاوت معنی‌دار نبود؛ بدین معنی که فعالیت بدنی نتوانست از اثرات منفی میدان الکترومغناطیسی کم‌فرکانس تلفن همراه بر کاهش فعالیت حرکتی موش‌ها به‌طور کامل جلوگیری نماید (شکل شماره ۵). هرچند بررسی جداگانه متغیرهای وابسته در آزمون‌های تعقیبی نشان داد که تنها در یکی از شاخص‌ها (مسافت طی شده) گروه‌های ترکیبی تحت تابش الکترومغناطیسی به همراه فعالیت بدنی بهتر از گروه تحت تابش میدان الکترومغناطیسی بودند که با توجه به اندازه اثر پایین مشاهده شده نمی‌توان با اطمینان در مورد اثربخشی نقش محافظتی فعالیت بدنی در این مورد اظهار نظر نمود. این یافته با تحقیق Ding و

[Downloaded from feyz.kaums.ac.ir on 2026-10-11]

همکاران (۲۰۰۴) هم‌راستا می‌باشد؛ آنان به بررسی اثر تمرینات پیشرفته تعادل و هماهنگی روی روتارود و تمرین ساده روی تردمیل بر بهبود عملکرد حرکتی موش‌های دچار ایسکمی مغزی پرداختند. یافته‌های آنان نشان داد که برای بهبود عملکرد حرکتی در چنین شرایطی می‌بایست از تمرینات پیچده‌تری (شامل تعادل و هماهنگی) نسبت به تمرینات ساده روی تردمیل استفاده نمود [۲۵]. بدین ترتیب در تحقیق حاضر نیز می‌توان اظهار داشت که احتمالا فعالیت بدنی روی تردمیل فاقد ویژگی‌های لازم برای بهبود کاهش فعالیت حرکتی به‌وجود آمده در نتیجه امواج الکترومغناطیسی بوده است. از طرف دیگر از آنجا که پروتکل دویدن روی تردمیل با شدت بالا موجب افزایش استرس در حیوان می‌شد [۳۵] و نیز با هدف کاربردی‌تر شدن موضوع پرداختن به ورزش، پروتکل فعالیت بدنی در پژوهش حاضر جزء پروتکل‌های با شدت پایین انتخاب گردید. احتمالا این شدت پایین و مدت زمان کوتاه فعالیت بدنی (۳۰ دقیقه در روز)، قابلیت حذف اثرات منفی میدان‌های الکترومغناطیسی بر فعالیت حرکتی موش‌های تحت تابش را نداشته است. آنچه که مشخص است این است که میدان‌های الکترو-مغناطیسی در شرایط مشخصی قابلیت اثرگذاری بر فعالیت‌های حرکتی موجود زنده را دارد، اما هنوز دانش کافی در زمینه مکانیسم‌های اثرگذار میدان‌های الکترومغناطیسی بر فعالیت حرکتی وجود ندارد. تنها فرضیاتی که در تحقیقات پیشین به آنها اشاره شده است، ایجاد تغییرات در سیستم دوپامینرژیک و شار یون کلسیم، کاهش سلول‌های عصبی و توقف موضعی متابولیسم گلوکز و عدم تامین انرژی لازم برای سیستم عصبی در نتیجه مواجهه با میدان‌های الکترومغناطیسی می‌باشد [۳،۴،۱۰،۱۱]. با توجه به اینکه تحقیقات قبلی نشان داده بودند که فعالیت بدنی از طریق افزایش رهاسازی دوپامین، افزایش جریان خون مغزی و شکل پذیری سیناپسی موجب بهبود فعالیت حرکتی می‌شود [۳۳-۳۱]، انتظار می‌رفت که شاهد نقش محافظتی فعالیت بدنی و ورزش در مقابل اثرات میدان الکترومغناطیسی باشیم که احتمالا به‌دلیل ساده بودن ورزش تردمیل (عدم نیاز به هماهنگی و تعادل)، شدت پایین فعالیت بدنی و یا مدت زمان ناکافی فعالیت بدنی مورد استفاده این امر میسر نشد.

نتیجه‌گیری

در مجموع یافته‌های پژوهش حاضر نشان داد که میدان-های الکترومغناطیسی کم‌فرکانس به‌کار رفته در تلفن همراه فعالیت حرکتی موش‌های در معرض تابش را به‌طور معنی‌داری کاهش می‌دهد. در مقابل فعالیت بدنی موجب افزایش فعالیت حرکتی موش‌های تمرین کرده شد، اما فعالیت بدنی انجام شده متعاقب پرتوگیری نتوانست به‌طور معنی‌دار اثرات منفی میدان‌های الکترو-مغناطیسی بر فعالیت حرکتی را تعدیل نماید. در مجموع به‌نظر می‌رسد که صرف انجام فعالیت‌بدنی ساده روی تردمیل برای مقابله با اثرات مخرب میدان‌های الکترومغناطیسی کم‌فرکانس کافی نبوده و تمرینات با شدت بالاتر و پیچیده‌تری (مانند تمرینات انجام شده روی دستگاه روتارود که نیازمند مولفه‌های تعادل و هماهنگی است) که بار شناختی بیشتری را بر سیستم عصبی اعمال می‌نماید، مورد نیاز است.

تشکر و قدردانی

این مقاله مستخرج طرح تحقیقاتی مصوب در معاونت پژوهشی دانشگاه تهران به‌شماره ۴۵۰۴۰۰۱/۱/۶ می‌باشد. در پایان از همکاری صمیمانه بخش فیزیولوژی و فارماکولوژی انستیتو پاستور ایران و گروه فیزیک پزشکی دانشگاه علوم پزشکی ایران در اجرای این پژوهش تقدیر و تشکر می‌شود.

References:

[1] Levallois P, Gauvin D, Gingras S, St-Laurent J. Comparison between personal exposure to 60 Hz magnetic fields and stationary home measurements for people living near and away from a 735 kV power line. ***Bioelectromagnetics*** 1999; 20(6): 331-7.

[2] Maaroufi K, Had-Aissouni L, Melon C, Sakly M, Abdelmelek H, Poucet B, et al. Effects of prolonged iron overload and low frequency electromagnetic exposure on spatial learning and memory in the young rat. ***Neurobiol Learn Mem*** 2009; 92(3): 345-55.

[3] Shin EJ, Jeong JH, Kim HJ, Jang CG, Yamada K, Nabeshima T, et al. Exposure to extremely low frequency magnetic fields enhances locomotor activity via activation of dopamine D1-like receptors in mice. ***J Pharmacol Sci*** 2007; 105(4): 367-71.

[4] Shin EJ, Nguyen XK, Nguyen TT, Pham DT, Kim HC. Exposure to extremely low frequency magnetic fields induces fos-related antigen-immunoreactivity via activation of dopaminergic d1 receptor. ***Exp Neurobiol*** 2011; 20(3): 130-6.

[5] Balassa T, Szemerszky R, Bárdos G. Effect of short-term 50 Hz electromagnetic field exposure on the behavior of rats. ***Acta Physiol Hung*** 2009; 96(4): 437-48.

[6] Nittby H, Grafström G, Eberhardt JL, Malmgren L, Brun A, Persson BR, et al. Radiofrequency and

[Downloaded from feyz.kaums.ac.ir on 2026-10-11]

Extremely Low-Frequency Electromagnetic Field Effects on the Blood-Brain Barrier. ***Electromag Biol Med*** 2008; 27(2): 103-26.
[7] Kunt H, Şentürk İ, Gönül Y, Korkmaz M, Ahsen A, Hazman Ö, et al. Effects of electromagnetic radiation exposure on bone mineral density, thyroid, and oxidative stress index in electrical workers. ***OncoTargets Ther*** 2016; 9: 745-54.
[8] Fu Y, Wang C, Wang J, Lei Y, Ma Y. Long-term exposure to extremely low- frequency magnetic fields impairs spatial recognition memory in mice. ***Clin Exp Pharmacol Physiol*** 2008; 35(7): 797-800.
[9] Dimitrijević D, Savić T, Anđelković M, Prolić Z, Janać B. Extremely low frequency magnetic field (50 Hz, 0.5 mT) modifies fitness components and locomotor activity of Drosophila subobscura. ***Int J Radiat Biol*** 2014; 90(5): 337-43.
[10] Janać B, Pesić V, Jelenković A, Vorobyov V, Prolić Z. Different effects of chronic exposure to ELF magnetic field on spontaneous and amphetamine-induced locomotor and stereotypic activities in rats. ***Brain Res Bull*** 2005; 67(6): 498-503.
[11] Janać B, Selaković V, Rauš S, Radenović L, Zrnić M, Prolić Z. Temporal patterns of extremely low frequency magnetic field-induced motor behavior changes in Mongolian gerbils of different age. ***Int J Radiat Biol*** 2012; 88(4): 359-66.
[12] Allah Veisi F, Boloori B, Shooshtarizadeh T. Investigating the Effects of Pulsed 217Hz Magnetic Field on the Growth and Development of a Transplanted Fibrosarcoma Tumor in Balb/c Mice. ***Razi J Med Sci*** 2010; 16(69): 7-16. [in Persian]
[13] Crasson M, Legros JJ, Scarpa P, Legros W. 50 Hz magnetic field exposure influence on human performance and psychophysiological parameters: Two double–blind experimental studies. ***Bioelectromagnetics*** 1999; 20(8): 474-86.
[14] He LH, Shi HM, Liu TT, Xu YC, Ye KP, Wang S. Effects of extremely low frequency magnetic field on anxiety level and spatial memory of adult rats. ***Chin Med J (Engl)*** 2011; 124(20): 3362–6.
[15] Jelenković A, Janać B, Pešić V, Jovanović DM, Vasiljević I, Prolić Z. Effects of extremely low-frequency magnetic field in the brain of rats. ***Brain Res Bull*** 2006; 68(5): 355-60.
[16] Liu X, Zhao L, Yu D, Ma S, Liu X. Effects of extremely low frequency electromagnetic field on the health of workers in automotive industry. ***Electromagnetic Biol Med*** 2013; 32(4): 551-9.
[17] Buzdugan MI, Simion E. Extremely low frequency magnetic fields and health risks. ***J Electrical Electron Eng*** 2009; 1(2): 13-6.
[18] Guney M, Ozguner F, Oral B, Karahan N, Mungan T. 900 MHz radiofrequency-induced histopathologic changes and oxidative stress in rat endometrium: protection by vitamins E and C. ***Toxicol Ind Health*** 2007; 23(7): 411-20.
[19] Gharib OA. Role of kombucha tea in the control of EMF 950 MHz induced injury in rat heart and lung organs. ***Asian J Pharm Biol Res*** 2011; 1(3): 281-88.
[20] Baharara J, Parivar K, Ashraf A, Rostami R. The synergetic effects of low frequency electromagnetic fields and vitamin A on the development of skin in Balb/C mice. ***Arak Univ Med Sci J*** 2010; 12(4): 10-8. [in Persian]
[21] Fisher BE, Wu AD, Salem GJ, Song J, Lin CH, Yip J, et al. The effect of exercise training in improving motor performance and corticomotor excitability in people with early Parkinson's disease. ***Arch Phys Med Rehabil*** 2008; 89(7): 1221-9.
[22] Iivonen KS, SääKslahti AK, MehtäLä A, Villberg JJ, Tammelin TH, Kulmala JS, et al. Relationship between fundamental motor skills and physical activity in4- year –old preschool children. ***Percept Motor Skills*** 2013; 117(2): 627-46.
[23] Smith MA, Witte MA. The effects of exercise on cocaine self-administration, food-maintained responding, and locomotor activity in female rats: importance of the temporal relationship between physical activity and initial drug exposure. ***Exp Clin Psychopharmacol*** 2012; 20(6): 437-46 .
[24] Petzinger GM, Walsh JP, Akopian G, Hogg E, Abernathy A, Arevalo P, et al. Effects of treadmill exercise on dopaminergic transmission in the 1-methyl-4-phenyl-1, 2, 3, 6-tetrahydropyridine-lesioned mouse model of basal ganglia injury. ***J Neuroscience*** 2007; 27(20): 5291-300.
[25] Ding Y, Li J, Lai Q, Rafols J, Luan X, Clark J, et al. Motor balance and coordination training enhances functional outcome in rat with transient middle cerebral artery occlusion. ***Neuroscience*** 2004; 123(3): 667-74.
[26] Chen YB, Li J, Liu JY, Zeng LH, Wan Y, Li YR, et al. Effect of Electromagnetic Pulses (EMP) on associative learning in mice and a preliminary study of mechanism. ***Int J Radiat Biol*** 2011; 87(12): 1147-54.
[27] Rağbetlı MC, Aydinlioğlu A, Koyun N, Rağbetlı C, Bektas Ş, Ozdemır S. The effect of mobile phone on the number of Purkinje cells: a stereological study. ***Int J Radiat Biol*** 2010; 86(7): 548-54.
[28] Sieroń A, Labus Ł, Nowak P, Cieślar G, Brus H, Durczok A, et al. Alternating extremely low frequency magnetic field increases turnover of dopamine and serotonin in rat frontal cortex. ***Bioelectromagnetics*** 2004; 25(6): 426-30.
[29] Kwon MS, Vorobyev V, Kännälä S, Laine M, Rinne JO, Toivonen T, et al. GSM mobile phone radiation suppresses brain glucose metabolism. ***J Cereb Blood Flow Metab*** 2011; 31(12): 2293-301.
[30] Radak Z, Marton O, Nagy E, Koltai E, Goto S. The complex role of physical exercise and reactive

[Downloaded from feyz.kaums.ac.ir on 2026-10-11]

oxygen species on brain. ***J Sport Health Sci*** 2013; 2(2): 87-93.
[31] Molteni R, Ying Z, Gómez-Pinilla F. Differential effects of acute and chronic exercise on plasticity-related genes in the rat hippocampus revealed by microarray. ***Eur J Neuroscience*** 2002; 16(6): 1107-16.
[32] Berchtold N, Chinn G, Chou M, Kesslak J, Cotman C. Exercise primes a molecular memory for brain-derived neurotrophic factor protein induction in the rat hippocampus. ***Neuroscience*** 2005; 133(3): 853-61.
[33] Swain RA, Harris AB, Wiener EC, Dutka MV, Morris HD, Theien BE, et al. Prolonged exercise induces angiogenesis and increases cerebral blood volume in primary motor cortex of the rat. ***Neuroscience*** 2003; 117(4): 1037-46.
[34] Zeidabadi R, Amery EA, Naghdi N, Bolouri B. The Effect of Exercise and Extremely Low Frequency Electromagnetic Field of Mobile Phone on Spatial Learning and Memory in Rats [Dissertation]. Tehran. University of Tehran. 2013.
[35] Kim SH, Kim HB, Jang MH, Lim BV, Kim YJ, Kim YP, et al. Treadmill exercise increases cell proliferation without altering of apoptosis in dentate gyrus of Sprague-Dawley rats. ***Life Sci*** 2002; 71(11): 1331-40.
[36] Odacı E, İkinci A, Yıldırım M, Kaya H, Akça M, Hancı H, et al. The effects of 900 megahertz electromagnetic field applied in the prenatal period on spinal cord morphology and motor behavior in female rat pups. ***NeuroQuantol*** 2013; 11(4).
[37] Persinger M, Ludwig H, Ossenkopp K. Psychophysiological effects of extremely low frequency electromagnetic fields: a Review Monograph Supplement 3-V36. ***Perceptual Motor Skills*** 1973; 36(3 Suppl): 1131-59.
[38] Davis HP, Mizumori SJ, Allen H, Rosenzweig MR, Bennett EL, Tenforde TS. Behavioral studies with mice exposed to DC and 60-Hz magnetic fields. ***Bioelectromagnetics*** 1984; 5(2): 147-64.
[39] Richardson NE, McCleave JD, Albert EH. Effect of extremely low frequency electric and magnetic fields on locomotor activity rhythms of Atlantic salmon (Salmo salar) and American eels (Anguilla rostrata). ***Environ Pollution*** 1976; 10(1): 65-76.
[40] Wassermann EM, Lisanby SH. Therapeutic application of repetitive transcranial magnetic stimulation: a review. ***Clin Neurophysiol*** 2001; 112(8): 1367-77.
[41] Weber M, Eisen AA. Magnetic stimulation of the central and peripheral nervous systems. ***Muscle Nerve*** 2002; 25(2): 160-75.
[42] Kanno M, Chuma T, Mano Y. Monitoring an electroencephalogram for the safe application of therapeutic repetitive transcranial magnetic stimulation. ***J Neurol Neurosurg Psychiatry*** 2001; 71(4): 559-60.
[43] Barbier E, Veyret B, Dufy B. Stimulation of Ca2+ influx in rat pituitary cells under exposure to a 50 Hz magnetic field. ***Bioelectromagnetics*** 1996; 17(4): 303-11.
[44] Huang C, Ye H, Xu J, Liu J, Qu A. Effects of extremely low frequency weak magnetic fields on the intracellular free calcium concentration in PC-12 tumor cells. ***Sheng Wu Yi Xue Gong Cheng Xue Za Zhi*** 2000; 17(1): 63-5, 94.
[45] Trzeciak HI, Grzesik J, Bortel M, Kuśka R, Duda D, Michnik J, et al. Behavioral effects of long-term exposure to magnetic fields in rats. ***Bioelectromagnetics*** 1993; 14(4): 287-97.
[46] Kaviani MM, Firoozabadi SM, Janahmadi M. Reduction of F1 neuronal excitability by exposure to 217 Hz magnetic fields from GSM 900 mobile phone. ***Yakhteh Med J*** 2009; 11(2): 176-83. [in Persian]
[47] Blanchard JP, Blackman CF. Clarification and application of an ion parametric resonance model for magnetic field interactions with biological systems. ***Bioelectromagnetics*** 1994; 15(3): 217-38.
[48] Lednev VV. Possible mechanism for the influence of weak magnetic fields on biological systems. ***Bioelectromagnetics*** 1991; 12(2): 71-5.
[49] Markov M. "Biological Windows": A Tribute to W. Ross Adey. ***Environmentalist*** 2005; 25(2-4): 67-74.
[50] Canseven AG, Coskun S, Seyhan N. Effects of various extremely low frequency magnetic fields on the free radical processes, natural antioxidant system and respiratory burst system activities in the heart and liver tissues. ***Indian J Biochem Biophys*** 2008; 45(5): 326.
[51] Churchill JD, Galvez R, Colcombe S, Swain RA, Kramer AF, Greenough WT. Exercise, experience and the aging brain. ***Neurobiol Aging*** 2002; 23(5): 941-55.
[52] Rowe J, Stephan KE, Friston K, Frackowiak R, Lees A, Passingham R. Attention to action in Parkinson's disease. ***Brain*** 2002; 125(Pt 2): 276-89.
[53] Burghardt PR, Fulk LJ, Hand GA, Wilson MA. The effects of chronic treadmill and wheel running on behavior in rats. ***Brain Res*** 2004; 1019(1-2): 84-96.

[Downloaded from feyz.kaums.ac.ir on 2026-10-11]