

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

Zeidabadi R^{1*}, Arab-Ameri E², Naghdi N³, Bolouri B⁴

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 (n=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

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

رسول زیدآبادی^{*} ، الهه عرب عامری ، ناصر نقدی ، بهرام بلوری

خلاصه:

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

مواد و روش ها: برای انجام مطالعه تجربی حاضر، تعداد ۷۰ موش صحرایی بالغ در هفت گروه فعالیت بدنی بلند مدت و کوتاه مدت، کنترل، میدان الکترومغناطیسی، شَم، فعالیت بدنی بلند مدت-میدان الکترومغناطیسی و فعالیت بدنی کوتاه مدت-میدان الکترومغناطیسی تقسیم شدند. گروه فعالیت بدنی کوتاه مدت و بلند مدت به ترتیب یک هفته و یک ماه هر روز به مدت ۳۰ دقیقه روی ترمیم به دو بین پرداختند. گروه میدان الکترومغناطیسی نیز به مدت یک ماه هر روز سه ساعت در دستگاه شبیه ساز امواج تلفن همراه قرار گرفتند. گروه های ترکیبی فعالیت بدنی میدان الکترومغناطیسی، بعد از قرار گیری موش ها در دستگاه شبیه ساز امواج تلفن همراه، جهت انجام فعالیت بدنی روی ترمیم منتقل می شدند. در نهایت، شاخص های زمان حرکت، مسافت طی شده و سرعت حرکت اندازه گیری شد.

نتایج: میدان الکترومغناطیسی تلفن همراه موجب کاهش معنی دار فعالیت حرکتی موش ها نسبت به گروه شم گردید. فعالیت بدنی بلند مدت و کوتاه مدت به طور معنی داری فعالیت حرکتی موش های تمرین کرده را نسبت به گروه کنترل افزایش داد ($P \leq 0.05$). اما فعالیت حرکتی گروه های ترکیبی (تحت تابش و دارای فعالیت بدنی) اختلاف معنی داری با کاهش فعالیت حرکتی ناشی از میدان الکترو-

نتیجه گیری: نتایج نشان داد که استفاده از فعالیت بدنی نمی تواند به طور معنی داری از کاهش فعالیت حرکتی ناشی از میدان الکترو- مغناطیسی کم فرکانس تلفن همراه جلوگیری نماید.

واژگان کلیدی: تلفن های همراه، میدان الکترومغناطیسی، فعالیت حرکتی

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

مطالعات گسترده سازمان بهداشت جهانی (WHO) برای ارزیابی نقش این میدان های الکترومغناطیسی بر بدن انسان نشان دهنده اهمیت این موضوع در نظر سازمان های بین المللی می باشد. سازمان بهداشت جهانی از سال ۱۹۹۶ برنامه بلند مدتی را تحت عنوان پروژه بین المللی میدان های الکترومغناطیسی (EMF Project) با مشارکت کمیسیون بین المللی حفاظت در برابر تشعیش غیریونیزان International commission on non-ionizing radiation (ICNIRP protection) و بیش از ۴۵ مرکز ملی برای ارزیابی خطوات احتمالی ناشی از میدان های الکترومغناطیسی بر ابعاد مختلف سلامت انسان آغاز نموده اند. تحقیقات صورت گرفته در زمینه تاثیر میدان های الکترومغناطیسی بر سیستم گردش خون، سیستم ایمنی، تراکم استخوانی، DNA، سیستم عصبی، حافظه، و فعالیت حرکتی، نشان می دهد احتمال ایجاد سرطان، افسردگی و سقط جین خود به خودی و کاهش عملکرد حافظه در افرادی که در معرض این امواج قرار می گیرند، در حال افزایش است [۷-۲]. پس از وسائل الکتریکی از قبیل تلویزیون، رادیو، مشغوار، و خطوط انتقال برق در اطراف خود میدان های الکترومغناطیسی کم- فرکانس ایجاد می کنند. در این میان تلفن های همراه یکی از مهم-

مقدمه

پیشرفت تکنولوژی و کاربرد روزافزون وسائل الکترو- نیکی در زندگی بشر علی رغم ایجاد رفاه، خطرات بیولوژیکی زیادی را به همراه داشته و نگرانی های زیادی را در این خصوص ایجاد نموده است. طی قرن گذشته محیط اطراف ما به شدت تحت تاثیر میدان های الکترومغناطیسی فوق العاده کم فرکانس یا Extremely low frequency electromagnetic field (ELF_EMF; 0_300 Hz) گرفته است [۱]. امروزه اثرات بیولوژیک میدان های الکترومغناطیس به طور وسیعی مورد توجه مجتمع 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، انسیتو پاستور ایران

^۴ دانشیار، گروه فیزیک پزشکی، دانشکده پزشکی، دانشگاه علوم پزشکی ایران
*** نشان نویسنده مسئول:**

سبزوار، دانشگاه حکیم سبزواری، دانشکده علوم ورزشی

تلفن: ۰۵۱ ۴۴۰۱۲۶۰۷

پست الکترونیک: r.zeidabadi@hsu.ac.ir

تاریخ پذیرش نهایی: ۹۵/۹/۱

تاریخ دریافت: ۹۵/۳/۲۹

احتمالی میدان‌های الکترومغناطیسی کم‌فرکانس روی سایر اندام‌های حیاتی، رعایت جوانب احتیاط و اتخاذ شیوه‌های محافظتی را معقول و ضروری می‌سازد [۱۷]. در همین راستا، برخی تحقیقات اثر مداخلات دارویی نظری استفاده از ویتمین A، C، E و چای کومبوچا را در مقابل اثرات منفی میدان‌های الکترومغناطیسی مورد بررسی قرار داده‌اند [۱۸-۲۰]. 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 به‌طور کلی سبک زندگی فعال از جمله رویکردهایی است که به‌دلیل اثرات مثبت جسمانی و روان‌شناسی همواره مورد توجه پژوهش‌گران بوده است. اثرات مثبت غیرقابل انکار فعالیت بدنی بر شاخص‌های حرکتی و سلامتی در بسیاری از مطالعات به اثبات رسیده است [۲۱-۲۳]. 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 می‌دهد، احتمالاً مکانیسم‌های مشابهی در اثر میدان‌های الکترومغناطیسی (افزایش استرس اکسیداتیو در مغز [۲۶]، کاهش سلول‌های 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 آنزیوژن [۳۳]) تحت تاثیر قرار می‌گیرند از طرف دیگر، موجب شد تا در پژوهش حاضر تاثیر ورزش و فعالیت بدنی که همواره به عنوان یک شیوه غیردارویی موثر مدنظر محققین حوزه سلامت بوده و حتی بیشتر از مداخلات دارویی مورد تاکید قرار داشته، به عنوان 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

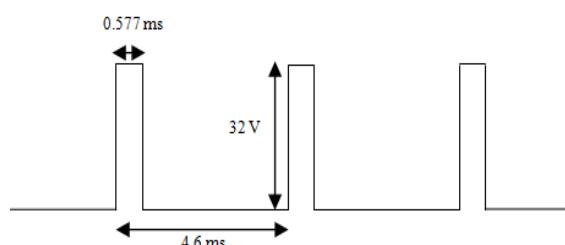
برای انجام پژوهش تجربی حاضر تعداد ۷۰ سر موش صحرایی نر بالغ نژاد ویستار با میانگین وزن ۲۰۰ ± ۲۰ گرم از انستیتو پاستور ایران تهیه گردید. موش‌های مورد آزمایش در هفت گروه ۱۰ تایی در قفس‌های فایبر‌گلاس (ابعاد: عرض ۳۱، طول ۴۷، ارتفاع ۲۱ سانتی متر) در حیوان‌خانه انستیتو پاستور در دمای محیطی ۲۲ ± ۲ درجه سانتی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

ترین منابع ایجاد کننده این میدان‌ها هستند که به‌دلیل کاربرد گسترده این وسیله، توجه بسیاری از مجتمع علمی و پژوهشی به اثرات بیولوژیک و روان‌شناسی 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 زندگه بهویژه بر فعالیت حرکتی و شناختی او جزء بحث برانگیز ترین موضوعات باقی مانده است [۸، ۳-۵]. 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 در Shin و همکاران نشان داده‌اند که قرارگیری در معرض میدان‌های الکترومغناطیسی 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؛ به‌طوری که 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 الکترومغناطیسی گزارش کرده‌اند [۹-۱۱]. 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 F1 و کاهش تحریک پذیری آنها می‌شود [۱۲]. در مطالعه‌ای دیگر میدان‌های الکترومغناطیسی کم‌فرکانس ۵۰ هرتز چه به صورت 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 به مدت 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 [۱۵، ۱۶]. بنابراین، با توجه به تحقیقات صورت گرفته در این زمینه و بازنگری‌های انجام شده در مورد خطرات

این گروه در طول دوره، یعنی به مدت یک ماه هر روز به مدت 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 جربانی از سیم پیچ عبور نمی کرد و موش ها هیچ امواجی دریافت نمی کردند؛ گروه فعالیت بدنی بلند مدت: این گروه به مدت یک ماه، روزانه ۳۰ دقیقه با پروتکلی که در بخش برنامه تمرینی توضیح داده شده است به دویden روی تردمیل پرداخت؛ گروه فعالیت بدنی کوتاه مدت: این گروه به مدت یک هفته، روزانه ۳۰ دقیقه با همان پروتکل دوید؛ گروه تحت تابش میدان الکترومغناطیسی همراه با فعالیت بدنی بلند مدت: این گروه علاوه بر اینکه در طول دوره، روزانه به مدت سه ساعت در معرض میدان الکترومغناطیسی قرار می گرفت، بعد از تابش گیری به مدت ۳۰ دقیقه روی تردمیل نیز می دوید؛ و گروه تحت تابش میدان الکترومغناطیسی همراه با فعالیت بدنی کوتاه مدت: این گروه نیز علاوه بر اینکه در طول دوره، روزانه به مدت سه ساعت در معرض میدان الکترومغناطیسی قرار می گرفت، پس از گذشت ۲۳ روز از شروع تابش گیری، یا به عبارت دیگر در یک هفته پایانی ماه، به مدت هفت روز و در هر روز ۳۰ دقیقه روی تردمیل دوید.



شکل شماره ۱- دستگاه شبیه ساز میدان الکترومغناطیسی کم فرکانس تلفن همراه و موقعیت قرار گیری حیوانات



شکل شماره ۲- مشخصات پالس اعمال شده توسط دستگاه

در صد، نگهداری شدند. کلیه آزمایشات بر اساس اصول کمیته اخلاقی انتیتو پاستور ایران و مطابق با مقررات نگهداری و استفاده از حیوانات آزمایشگاهی انجام شد. قبل از اجرای پروتکل، به منظور سازگاری و آشنایی با محیط آزمایشگاه حیوانات به مدت یک هفته در محل جدید نگهداری شده و پس از آن در گروه های مورد نظر تقسیم شدند. در این پژوهش از دستگاه تردمیل شش کاتاله مخصوص حیوانات با قابلیت تنظیم در سرعت های مختلف [۳۴]، دستگاه شبیه ساز امواج الکترومغناطیسی کم فرکانس تلفن همراه (این دستگاه در آزمایشگاه بیوالکترومغناطیسی گروه فیزیک پژوهشی دانشگاه علوم پزشکی ایران ساخته شد؛ شکل شماره ۱) و از دستگاه Open field جهت سنجش فعالیت حرکتی موش ها استفاده گردید. منبع اصلی تغذیه تجهیزات فراهم آورنده میدان الکترومغناطیسی برق شهری بود، اما به دلیل نیاز این پژوهش به میدان الکترومغناطیسی پالسی با بسامد ۲۱۷ هرتز و شدت میدان ۲۰۰ میکروتسلا (فرکانس به کار گرفته شده در سیستم تلفن های همراه)، از یک مبدل پالسی استفاده شد. پهنهای پالس به کار رفته ۰/۵۷۷ میلی ثانیه و دوره تناوب ۴/۶ میلی ثانیه بود که همان فرکانس ۲۱۷ هرتز می باشد. ولتاژ خروجی به گونه ای تنظیم شد که پس از اتصال مولد به کویل هلムولتز، شدت میدان ۲۰۰ میکروتسلا به دست آید. محاسبات نشان داد که ولتاژ لازم برای این منظور ۳۲ ولت می باشد. یکنواختی و اطمینان از صحبت میدان ایجاد شده به کمک نرم افزار Matlab شبیه سازی شد و نتیجه شبیه سازی با وضعیت موجود توافق داشت. میدان الکترو مغناطیسی و ویژگی های سیگنال قبل از انجام آزمایشات با استفاده از تسلامتر اندازه گیری و با اسیلوسکوپ مانیتور می شد (شکل شماره ۲). محل قرار دادن دستگاه شبیه ساز امواج تلفن همراه به گونه ای بود که غیر از دستگاه مذکور هیچ وسیله الکتریکی دیگری در اتاق وجود نداشت. همچنین، جهت کاهش نویز حاصل از وسائل الکتریکی اتاق های مجاور، میدان الکترومغناطیسی محیطی آزمایشگاه در نقاط مختلف به وسیله تسلامتر دیجیتال LEYBOLD مدل ۶۶۷۹۲۹ با دقت ۱ mT اندازه گیری شد و پس از تعیین دوزیمتری تابش زمینه در نقاط مختلف اتاق، مکان مناسب جهت قراردادن دستگاه تعیین گردید. صفحات نگهدارنده کویل ها و پایه های آنها از جنس چوب ساخته شدند و برای متصل کردن آنها به یکدیگر از چسب و بست پلاستیکی استفاده شد، به گونه ای که تداخلی در میدان به وجود نیاید. موش ها پس از یک هفته آشنایی با محیط آزمایشگاه، در هفت گروه به ترتیب زیر وارد شدند: گروه کنترل: این گروه بدون هرگونه مداخله ای در حیوان خانه نگهداری شد؛ گروه میدان الکترومغناطیسی کم فرکانس:

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 [۲۵]. دستگاه Open field بهمنظور تعیین سطوح فعالیت عمومی، فعالیت جایه‌جایی و عادات کاوشی موش‌های آزمایشگاهی مورد استفاده قرار می‌گیرد. این ابزار از یک محفظه چوبی با ابعاد $68 \times 68 \times 30$ سانتی‌متری تشکیل شده است. مراحل اجرای آزمون بدین صورت بود که پس از سازگاری موش‌ها با محیط، هر موش به مدت پنج دقیقه در داخل جعبه قرار می‌گرفت تا آزادانه حرکت کند. حرکات و رفتار موش از طریق نرم‌افزار Etho Vision و دوربینی که در بالای جعبه قرار داشت رديابی 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 ابتداء نرمال بودن آنها با آزمون کلموگروف-اسمیرنوف، همگنی واریانس‌ها با آزمون لوین و همبستگی کافی بین متغیرهای واiste با Bartlett's test of sphericity مورد بررسی قرار گرفت. بهمنظور تحلیل داده‌های به دست آمده از شاخص‌های فعالیت حرکتی شامل مسافت طی شده، مدت زمان حرکت و سرعت حرکت از تحلیل واریانس چندمتغیره (MANOVA) و آزمون تعقیبی توکی multivariate analysis of variance در سطح معنی‌داری $P \leq 0.05$ 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 الکترومغناطیسی تلفن همراه معنی‌دار است ($P=0.001$): بهطوری که قرارگیری در معرض تابش میدان الکترومغناطیسی کم فرکانس به کار رفته در تلفن همراه موجب کاهش فعالیت حرکتی موش‌های در معرض نسبت به گروه شم گردید.

در پایان میزان فعالیت حرکتی تمامی گروه‌ها در دستگاه Open field مورد بررسی قرار گرفت. بهمنظور شبیه سازی میدان الکترومغناطیسی کم فرکانس تلفن همراه، دو کویل (سیم پیچ‌ها) هلم هولتز به صورت 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 0.9 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 به گونه‌ای طراحی شد که کویل‌ها ثابت و بدون خم شدن باقی بمانند و تهويه 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 ($\Delta\theta=4/9^\circ C$)، بنابراین هیچ سیستم خنک کننده‌ای برای دستگاه مورد نیاز نبود. تغییرات دمایی کویل‌ها و نگهدارنده‌های حیوانات به موسیله 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 به مدت یک ماه، روزانه به مدت 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 هم‌چنین میزان تحمل حیوان در مطالعه مقدماتی انتخاب گردید. برنامه فعالیت بدنی (دویدن روی تردمیل) بدین صورت بود: ابتداء موش‌های مورد نظر یک روز پیش از شروع تمرین به مدت ۱۵ دقیقه با دستگاه تردمیل آشنا شده و روش دویدن روی تردمیل را یاد گرفتند. دویدن روی تردمیل شامل دو برنامه یک هفتاهی (برای گروه ورزش کوتاه مدت) و یک ماه (برای گروه ورزش بلندمدت) بود. برنامه دویدن روی تردمیل، روزانه به مدت 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 شبیه صفر درجه تعیین گردید. این پروتکل

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

گروههای مطالعه	مسافت طی شده (سانتی متر)	زمان حرکت (ثانیه)	سرعت حرکت (ثانیه/سانتی متر)
	$\bar{X} \pm SD$	$\bar{X} \pm SD$	$\bar{X} \pm SD$
تابش الکترومغناطیسی	۱۳۶۸/۶۱ \pm ۲۸۸/۴۷	۱۹۶/۶۵ \pm ۲۵/۲۹	۵/۳۹ \pm ۰/۵۸
شم (تابش کاذب)	۱۷۲۸/۲۰ \pm ۳۹۰/۰۰	۲۱۷/۳۲ \pm ۱۶/۵۸	۵/۷۶ \pm ۱/۳۱
فعالیت بدنی کوتاه مدت	۱۰۳۴/۸۰ \pm ۳۰۲/۵۴	۱۹۰/۴۸ \pm ۳۹/۷۵	۵/۱۲ \pm ۱/۰۱
فعالیت بدنی بلند مدت	۱۰۹۰/۶۵ \pm ۲۹۱/۹۵	۱۸۶/۶۳ \pm ۲۴/۷۹	۵/۲۷ \pm ۰/۹۸
تابش *فعالیت کوتاه مدت	۱۶۹۵/۸۲ \pm ۲۳۵/۵۷	۲۰۸/۶۱ \pm ۲۱/۸۰	۵/۹۲ \pm ۰/۹۲
تابش *فعالیت بلند مدت	۱۶۳۱/۴۲ \pm ۲۷۹/۷۸	۱۹۰/۸۳ \pm ۲۰/۹۷	۵/۵۹ \pm ۱/۱۹
کنترل	۷۵۹/۰۵ \pm ۲۳۹/۸۹	۱۰۲/۹۹ \pm ۳۸/۰۰	۲/۵۸ \pm ۰/۷۴

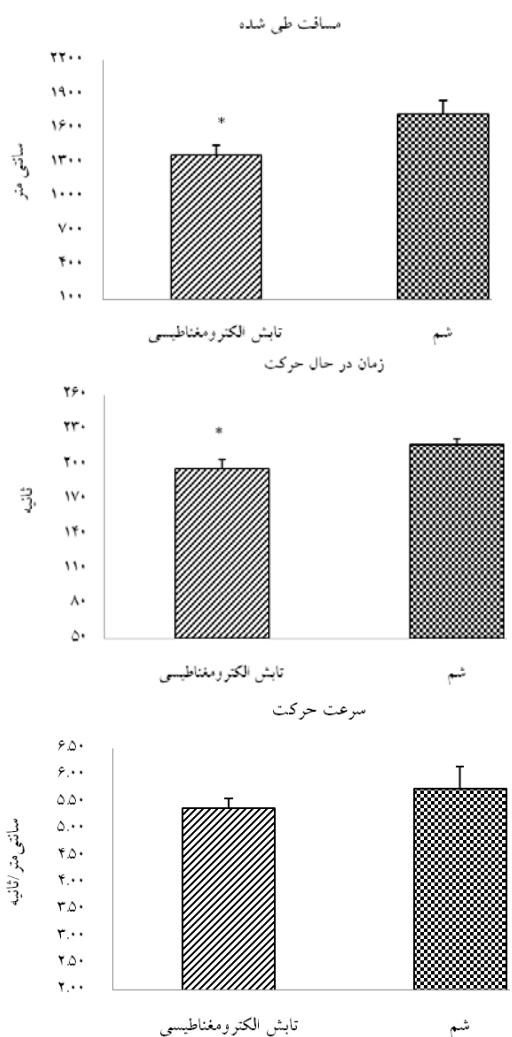
نتایج آزمون‌های تعقیبی نشان داد، میدان الکترومغناطیسی کم-فرکانس تلفن همراه بر شاخص‌های مسافت طی شده ($P=0/03$) و مدت زمان در حال حرکت تاثیر معنی دار داشته ($P=0/04$)، اما اثر آن بر شاخص سرعت حرکت معنی دار نبود ($P\geq0/05$)؛ به طوری‌که گروه تحت تابش امواج شبیه سازی شده تلفن همراه نسبت به گروه شم در هر 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:

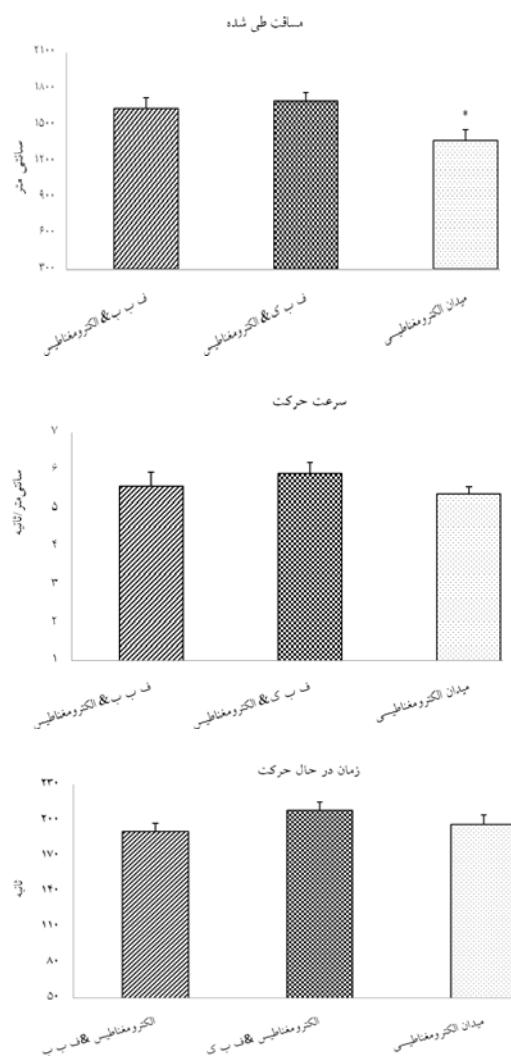
نتایج آزمون‌های آماری نشان داد که اثر فعالیت بدنی معنی داری است ($P=0/001$)؛ به طوری‌که فعالیت دویلن روی تردیمیل (کوتاه مدت و بلند مدت) موجب بهبود فعالیت حرکتی موش‌های تمرین کرده نسبت به گروه کنترل شد. نتایج آزمون‌های تعقیبی نشان داد که هر دو گروه فعالیت بدنی کوتاه مدت و بلند مدت نسبت به گروه کنترل در هر سه شاخص مسافت طی شده، مدت زمان در حال حرکت و سرعت حرکت به طور معنی داری عملکرد بالاتر و در نتیجه فعالیت حرکتی بالاتری داشتند ($P=0/001$). اما بین دو گروه فعالیت بدنی کوتاه مدت و بلند مدت در این سه شاخص تفاوت معنی داری وجود نداشت ($P\geq0/05$) (شکل شماره ۴).

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

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



شکل شماره ۳- مقایسه مسافت طی شده، زمان در حال حرکت و سرعت حرکت بین گروه تحت تابش الکترومغناطیسی و شم
(* بیان گر اختلاف در سطح $P\leq0/05$)



شکل شماره ۵- مقایسه مسافت طی شده، زمان در حال حرکت و سرعت حرکت بین گروههای ف ب ب & الکترومغناطیسی، ف ب ک & الکترومغناطیسی و میدان الکترومغناطیسی، ف ب ک (** بیان گر اختلاف معنی دار با گروه ف ب ک & الکترومغناطیسی در سطح $P \leq 0.05$).

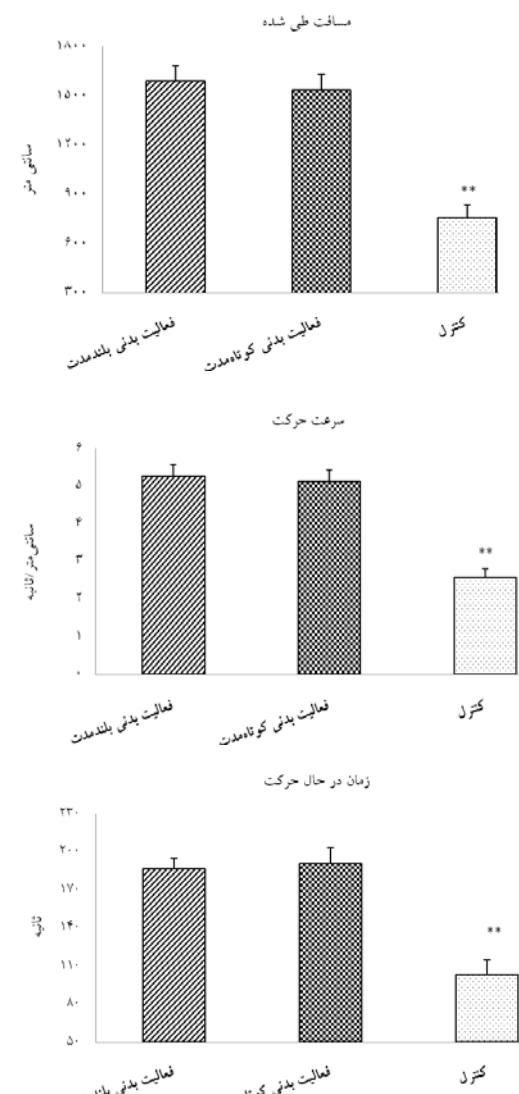
ف ب ب & الکترومغناطیسی: گروه فعالیت بدنی بلندمدت به همراه میدان الکترومغناطیسی

ف ب ک & الکترومغناطیسی: گروه فعالیت بدنی کوتاه مدت به همراه میدان الکترومغناطیسی

بحث

در پژوهش حاضر اثر میدان الکترومغناطیسی کم فرکانس به کار رفته در تلفن همراه بر فعالیت حرکتی موش صحراوی نر و نقش فعالیت بدنی کوتاه مدت و بلند مدت به عنوان 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 کم فرکانس موجب کاهش معنی دار مسافت طی شده و زمان در حال حرکت موش‌های این

مغناطیسی تفاوت معنی داری وجود ندارد ($P=0.06$). نتایج آزمون‌های تعقیبی نشان داد علی‌رغم اینکه در شاخص‌های مدت زمان در حال حرکت و سرعت حرکت گروه میدان الکترومغناطیسی-فعالیت بدنی کوتاه مدت و گروه میدان الکترومغناطیسی-فعالیت بدنی بلند مدت نسبت به گروه میدان الکترومغناطیسی کمی بهتر بودند، اما تفاوت معنی داری مشاهده نشد ($P \geq 0.05$) و فقط در شاخص مسافت طی شده بین گروه میدان الکترومغناطیسی-فعالیت بدنی کوتاه مدت و گروه میدان الکترومغناطیسی اختلاف معنی دار مشاهده شد ($P \leq 0.05$). در مجموع فعالیت بدنی نتوانست به طور کامل اثرات منفی میدان الکترومغناطیسی 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 (** بیان گر اختلاف گروه کنترل با هر دو گروه فعالیت بدنی در سطح $P \leq 0.01$).

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، متناظر می‌باشد [۳۹،۳۸،۳۶،۸،۴،۲]. بیان شده است که میدان‌های الکترومغناطیسی کم فرکانس از طریق فعال سازی گیرنده‌های دوپامین موجب افزایش فعالیت حرکتی موش‌های آزمایشگاهی می‌شود. به علاوه، ۷ و ۱۴ روز (یک ساعت در روز) مواجهه با میدان‌های الکترومغناطیسی کم فرکانس موجب افزایش سطوح دوپامین در استریاتوم موش‌ها می‌شود، در واقع این یافته نقش وابسته به دوز (زمان) گیرنده‌های دوپامینزیک را در تغییرات رفتاری ناشی از میدان‌های ELF نشان می‌دهد؛ به طوری‌که یک ساعت مواجهه در یک روز نتوانست تغییری در فعالیت حرکتی موش‌ها ایجاد نماید، اما تکرار آن به مدت ۷ و ۱۴ روز موجب افزایش فعالیت حرکتی موش‌ها گردید [۴،۳]. نتایج این مطالعات هم‌راستا با این فرضیه می‌باشد که میدان‌های الکترومغناطیسی کم فرکانس می‌تواند موج تغییر در سیستم دوپامینزیک شود [۲۸]؛ به طوری که قرار گرفتن مکرر در معرض میدان‌های ELF منجر به تحريك حرکتی طولانی مدت از طریق تحريك گیرنده D1 سیستم دوپامینزیک می‌شود. انتقال دهنده‌های عصبی مرکزی بهویژه نورون‌های دوپامینزیک نقش مهمی در تظاهرات رفتاری بازی می‌کنند. در مطالعات متعددی به تغییرات سیستم عصبی دوپامینزیک یا فعال سازی گیرنده‌های دوپامینزیک به عنوان یکی از اثرات اصلی میدان‌های الکترومغناطیسی اشاره شده است [۴۰-۴۲]. مطالعات دیگر به تاثیر این میدان‌ها بر غلظت داخل سلوالی یون کلسیم اشاره دارند [۴۴،۴۳]. FLU 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 قرار گیری در معرض میدان‌های الکترومغناطیسی خارجی حساس می‌باشد و به سرعت از طریق مکانیسم‌های جبرانی اقدام به حفظ شرایط هموستانز 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]. با این وجود و با دانش کنونی مکانیسم دقیق اثرگذاری میدان‌های الکترومغناطیسی بر موجودات زنده به طور کامل مشخص

گروه نسبت به گروه شم (تابش کاذب) در آزمون Open field می‌شود (شکل شماره ۳)؛ بدین معنی که قرار گرفتن در معرض میدان‌های الکترومغناطیسی کم فرکانس ۲۱۷ هرتز به کار رفته در تلفن همراه موجب کم تحرکی 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 به کار 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 (۲۰۱۴) در بررسی اثر میدان الکترومغناطیسی کم فرکانس 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 به مدت ۲۰ دقیقه موجب برخی ناراحتی‌ها و تغییرات رفتاری، از قبیل کم تحرکی و افزایش اضطراب موقعیتی موش‌ها می‌شود [۵]. در مطالعه‌ای دیگر اثر یک، سه و هفت روز (روزی شش ساعت) مواجهه با میدان الکترومغناطیسی کم فرکانس 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 بعد از این امواج افزایش شار یون کلسیم و به‌دلیل 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 محرك جدید کم شدت دانست که احتمالاً به‌دلیل کاهش فعالیت مجدد گیرنده‌های مرکزی دوپامین می‌باشد [۱۰]. هم‌چنین، Janać و همکاران (۲۰۱۲) تاثیر میدان‌های الکترومغناطیسی کم فرکانس را بر تغییرات رفتار حرکتی موش‌های با سینین 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

تنظیم انتقال دهنده دوپامین باعث بهبود عملکرد حرکتی در بیماران پارکینسونی و مدل‌های حیوانی این بیماری می‌شود [۲۱، ۲۴]؛ چراکه تحقیقات نشان داده‌اند فقدان یا فعالیت بدنی ناکافی موجب کاهش دوپامین در جسم مخطط شده و این امر موجب کاهش تحريك قشر حرکتی و بروز اختلالات حرکتی و علائم بیماری پارکینسون می‌شود [۵۲،۵۱]. بطوطر کلی مطالعات صورت گرفته نشان می‌دهد که استراتژی‌های محافظه عصبی مانند فعالیت بدنی، باعث کند شدن روند کاهش نورون‌های دوپامینزیک 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 تردیمیل و تمرین نکرده، در آزمون عملکرد حرکتی تفاوت معنی‌داری وجود ندارد، متناقض می‌باشد [۲۵، ۵۳]. بدنهای رسد تفاوت در نوع تمرین مورد استفاده به لحاظ شدت و مدت زمان فعالیت بدنی از جمله دلایل احتمالی تناقض در یافته‌های به دست آمده در تحقیقات مختلف می‌باشد. در نهایت نقش فعالیت بدنی به عنوان روشی جهت مقابله با اثرات منفی میدان الکترومغناطیسی کم‌فرکانس به کار 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 به کار 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 به طور کامل جلوگیری نماید (شکل شماره ۵). هرچند بررسی جداگانه متغیرهای وابسته در آزمون‌های تعمیی 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

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 به دلیل 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 پنجه Window effect" می‌تواند راه‌گشا باشد. این نظریه تا مدت‌ها در این حیطه پذیرفته نشده بود، ولی طی دو اخیر نظریه "پنجه بیولوژیک"، "پنجه دامنه"، "پنجه فرکانسی" و به میزان کمتری "پنجه زمانی" در تحقیقات به‌چشم می‌خورد. در تعدادی از مطالعات به وجود اثرات پنجه‌ای و پاسخ رزونانس-گونه در سیستم‌های بیولوژیک در دامنه و فرکانس مشخصی اشاره شده است [۴۶-۴۸]. این نظریه مطرح می‌کند طی تکامل در موجودات زنده مکانیزم‌های ایجاد شده تا بتوانند میدان‌های الکتریکی و مغناطیسی را درک کنند. مفهوم "پنجه" به درک مقادیر مجازی از این میدان‌ها به وسیله 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 به کار 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؛ به‌طوری که 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 [۲۲، ۲۳]. 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

[۳۱]. انتظار می‌رفت که شاهد نقش محافظتی فعالیت بدنی و ورزش در مقابل اثرات میدان الکترومغناطیسی باشیم که احتمالاً بهدلیل ساده بودن ورزش تردیل (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 میدان‌های الکترومغناطیسی کم فرکانس به کار رفته در تلفن همراه فعالیت حرکتی موش‌های در معرض تابش را به طور معنی‌داری کاهش می‌دهد. در مقابل فعالیت بدنی موجب افزایش فعالیت حرکتی موش‌های تمرین کرده شد، اما فعالیت بدنی انجام شده متعاقب پرتوگیری نتوانست به طور معنی‌دار اثرات منفی میدان‌های الکترومغناطیسی بر فعالیت حرکتی را تعدیل نماید. در مجموع به‌نظر می‌رسد که صرف انجام فعالیت بدنی ساده روی تردیل برای مقابله با اثرات مغرب میدان‌های الکترومغناطیسی کم فرکانس 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 به شماره ۴۵۰۴۰۰۱/۱/۶ می‌باشد. در پایان از همکاری صمیمانه بخش فیزیولوژی و فارماکولوژی انسستیتو 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-Aïssouni 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

همکاران (۲۰۰۴) هم راستا می‌باشد؛ آنان به بررسی اثر تمرینات پیشرفت‌ه تعادل و هماهنگی روی روتارود و تمرین ساده روی تردیل بر بهبود عملکرد حرکتی موش‌های دچار ایسکمی مغزی پرداختند. یافته‌های آنان نشان داد که برای بهبود عملکرد حرکتی در چنین شرایطی می‌باشد از تمرینات پیچیده‌تری (شامل تعادل و هماهنگی) نسبت به تمرینات ساده روی تردیل استفاده نمود [۲۵]. بدین ترتیب در تحقیق حاضر نیز می‌توان اظهار داشت که احتمالاً فعالیت بدنی روی تردیل فاقد ویژگی‌های لازم برای بهبود کاهش فعالیت حرکتی به وجود آمده در نتیجه امواج الکترومغناطیسی بوده است. از طرف دیگر از آنجا که پروتکل دوین روی تردیل باشد بالا موجب افزایش استرس در حیوان می‌شد [۳۵] و نیز با هدف کاربردی تر شدن موضوع پرداختن به ورزش، پروتکل فعالیت بدنی در پژوهش حاضر جزو پروتکل‌های باشد پایین انتخاب گردید. احتمالاً 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 الکترومغناطیسی 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 دوپامینergic 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 [۱۱، ۱۰، ۴، ۳]. 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]-

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

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, Andelković 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. *Aarak 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 in 4-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] Rağbetli MC, Aydinlioğlu A, Koyun N, Rağbetli C, Bektas S, Ozdemir 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

- 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.