ORIGINAL ARTICLE

Effects of Low-Frequency Electromagnetic Fields on the Histopathology of Liver Tissues in Rat Offspring

Mohammad Hassan Kalantar Neyestanaki[1],
Homa Soleimani[2],
Sahar Ghaffari Khaligh[3],
Parvindokht Bayat[4]

[1] Medical Doctor, Faculty of Medicine, Arak University of Medical Sciences, Arak, Iran
[2] Assistant Professor, Department of Medical Physics, Faculty of Paramedicine, Arak University of Medical Sciences, Arak, Iran
[3] Assistant Professor, Department of Pathology, Faculty of Veterinary Medicine, Semnan University, Semnan, Iran
[4] Professor, Department of Medical Anatomy, Faculty of Medicine, Arak University of Medical Sciences, Arak, Iran

(Received June 12, 2023 ; Accepted August 21, 2023)

Abstract

Background and purpose: The investigation of low-frequency electromagnetic fields (EMF, 50Hz) reveals their destructive effect on metabolic activity of cells. Due to the sensitivity of the fetal period, which is associated with the differentiation, the probability of organ damage is high. So the purpose of this research was to investigate histopathological damages to liver of rat offspring.

Materials and methods: Fifteen female rats after mating and pregnancy diagnosis were used. Pregnant mice were divided into three groups: 1. EMF group of rats were exposed to waves for 0.5 hour daily during pregnancy; 2. the Sham group was placed inside the device under the same conditions of EMF group without radiation; and 3. control group. At the end of the pregnancy period (21 days), infants were divided into three groups according to their mother's grouping and at the end of the infancy period (28 days), tissue sampling of infant livers was done. Then the histopathological data of liver tissue were statistically analyzed.

Results: In the EMF group, newborn babies exhibited stable histopathological changes in their liver tissue, with necrotic and degenerative areas increasing by 42% and 2.5 times, respectively, compared to the control and Sham groups. These differences were statistically significant ($P \leq 0.05$). Also, a numerical increase in hyperemia lesions and liver tissue inflammation was observed in this group compared to the control and Sham groups.

Conclusion: Our results showed that the low-frequency EMF in the pregnancy period of mothers has a significant effect on tissue lesions of the liver of newborn rats.

Keywords: electromagnetic fields (EMF), histopathological damages, low-frequency waves, liver tissue, rat

J Mazandaran Univ Med Sci 2023; 33 (225): 73-83 (Persian).

Corresponding Author: Mohammad Hassan Kalantar Neyestanaki - Arak University of Medical Sciences, Arak, Iran. (E-mail: mohakani@yahoo.com)

[Downloaded from jmums.mazums.ac.ir on 2026-11-08]

پژوهشی

مجله دانشگاه علوم پزشکی مازندران
دوره سی و سوم شماره 225 مهر سال 1402 (84-73)

بررسی اثر میدان الکترومغناطیسی کم فرکانس بر ضایعات بافتی کبد در نوزادان موش صحرایی

محمد حسن کلانتر نیستانکی[1]
هما سلیمانی[2]
سحر غفاری خلیق[3]
پروین‌دخت بیات[4]

چکیده

سابقه و هدف: بررسی میدان‌های الکترومغناطیسی کم فرکانس (50 هرتز) بیانگر تاثیر آن‌ها بر فعالیت متابولیسمی بافت‌های مختلف می‌باشد. در دوران جنینی به‌دلیل گستردگی تغییرات سلولی - بافتی احتمال تاثیرپذیری بیش‌تر است. بنابراین هدف این مطالعه بررسی اثر این نوع میدان بر ضایعات بافتی کبد در نوزادان موش بود.

مواد و روش‌ها: در این مطالعه بنیادی -کاربردی از تعداد 15 موش صحرائی ماده بالغ نژاد ویستار بعد از جفت‌گیری و تشخیص بارداری استفاده شد. موش‌های باردار به 3 گروه تقسیم شدند. 1) گروه در معرض میدان: موش‌هایی که در دوره بارداری روزانه 0/5 ساعت در معرض امواج قرار گرفتند. 2) گروه شم : موش‌هایی که در داخل دستگاه در شرایط مشابه با گروه اول ولی بدون تابش میدان قرار گرفتند. 3) گروه کنترل. بعد از اتمام دوره بارداری (21 روز) و تولد نوزادان، آن‌ها نیز به 3 گروه مطابق گروه بندی مادران تقسیم شدند و پس از اتمام دوره شیرخوارگی (28 روز) نمونه‌گیری بافت کبد انجام شد. داده‌های ضایعات بافت کبد بعد از جمع‌آوری تجزیه و تحلیل آماری شدند.

یافته‌ها: نوزادان متولد شده از گروه در معرض میدان دارای تغییرات هیستوپاتولوژیک پایدار در بافت کبد بودند و نواحی نکروتیک و دژنراتیو به ترتیب تا 42 درصد و 2/5 برابر به‌طور معنی‌داری نسبت به گروه شاهد و گروه شم افزایش داشتند ($P\leq 0/05$). همچنین افزایش عددی در ضایعات هایپرمیا و التهاب بافت کبد این گروه در مقایسه با دو گروه دیگر مشاهده شد.

استنتاج: بر اساس یافته های مطالعه حاضر، میدان مغناطیسی کم فرکانس تأثیر معنی‌داری بر ضایعات بافتی کبد نوزادان موش صحرایی حاصل از مادران در معرض میدان دارد و این امر بر خلاف باور رایج مبنی بر بی‌خطر بودن این امواج می‌باشد و یک یافته جدید و با اهمیت است. با توجه به گسترش استفاده از تجهیزات حاوی این نوع امواج در جوامع انسانی و احتمال بروز صدمات ناشی از آن‌ها، انجام بررسی بیش‌تر و اتخاذ تصمیمات پیشگیرانه در این زمینه ضروری می‌باشد.

واژه های کلیدی: امواج کم فرکانس، بافت کبد، میدان الکترومغناطیسی (EMF)، ضایعات بافتی، موش صحرایی

مقدمه

امواج الکترومغناطیسی حاصل از میدان‌های الکتریکی با ولتاژهای مختلف را میدان الکترومغناطیسی می گویند. امواج یا تشعشعات الکترومغناطیسی دارای طول موج، فرکانس و شدت متفاوتی بوده و با سرعت نور منتشر

مولف مسئول: محمد حسن کلانتر نیستانکی - اراک: دانشگاه علوم پزشکی اراک، دانشکده پزشکی E-mail: mohakani@yahoo.com
1. دکتری حرفه‌ای پزشکی، دانشکده پزشکی، دانشگاه علوم پزشکی اراک، ایران
2. استادیار، گروه فیزیک پزشکی، دانشکده پیراپزشکی، دانشگاه علوم پزشکی اراک، ایران
3. استادیار، گروه پاتولوژی، دانشکده دامپزشکی، دانشگاه علوم پزشکی سمنان، ایران
4. استاد، گروه آناتومی، دانشکده پزشکی، دانشگاه علوم پزشکی اراک، ایران
تاریخ دریافت : 1402/1/21 تاریخ ارجاع جهت اصلاحات : 1402/2/10 تاریخ تصویب : 1402/5/22

[Downloaded from jmums.mazums.ac.ir on 2026-11-08]

می‌شوند. تولید امواج الکترومغناطیسی با هر فرکانس و طول موجی امکان‌پذیر است. انتشار این امواج در هر محیطی بدون محدودیت بوده و ماهیتی فرا زمینی دارند(1). با گسترش تکنولوژی، کاربرد وسایل الکتریکی و الکترومغناطیسی رو به افزایش می باشد و همین امر میزان مواجهه روزانه انسان با امواج الکترومغناطیسی را افزایش می‌دهد. میدان‌های الکترومغناطیسی کم فرکانس (Electromagnetic Fields: EMF) که با فرکانسی حدود 50 هرتز و با شدت میدانی حدود 1 تا 1/5 میلی تسلا طبقه‌بندی می‌شوند، در پیرامون اکثر دستگاه‌های الکتریکی ایجاد می‌شوند. میدان‌های الکترومغناطیسی می توانند در اندام‌ها و بافت‌های زنده موجودات نفوذ کرده و به‌طور بالقوه باعث تغییر ساختار و غشای سلولی شوند(3،2). هم‌چنین این میدان‌ها ممکن است فرآیند تولید رادیکال‌های آزاد در سلول و اندام‌های مختلف را تحت تاثیر قرار داده(4) و باعث تغییر در فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی از جمله سوپراکسید دیسموتاز(SOD)، کاتالاز(CAT) و گلوتاتیون پراکسیداز(GPX) گردند(5). گزارش‌های متفاوتی از تاثیر این امواج بر موجودات زنده وجود دارد که برخی از آن‌ها بیانگر تاثیرپذیری از این میدان‌ها می‌باشد(8–6). امواج الکترومغناطیس حاوی انرژی هستند و در برخورد مداوم با سلول اثرات گرمایی و غیرگرمایی ایجاد کرده و بنابراین بر میزان فعالیت متابولیسمی سلول‌ها اثر گذار می‌باشند. مرحله رشد جنینی دوران حساسی از چرخه حیات است که با فرآیند تکوین جنین، تمایز سلولی و سازماندهی سلولی -بافتی عمیق همراه است. در این دوران احتمال تأثیر پذیری از شرایط نامساعد محیطی بیش از مراحل دیگر رشد و تمایز جنینی است(9،1). قرار گرفتن در معرض میدان‌های الکترومغناطیسی کم فرکانس می‌تواند بر عملکرد و ساختارهای بافت موش‌های صحرایی نظیر کبد، کلیه ، طحال و مغز تأثیر بگذارد و نحوه تأثیر آن ممکن است به استرس اکسیداتیو ناشی از اثر امواج الکترومغناطیسی مربوط باشد. میدان‌های الکترومغناطیسی با تغییر در عملکرد و یا نوع فعالیت سلول‌ها، پاسخ‌های متنوعی را در موجودات زنده بوجود می‌آورند(11،10). نتایج تحقیقات در این زمینه حاکی از آن است که بسته به شدت میدان، میزان فرکانس و طول موج بکار رفته و هم‌چنین مدت مواجهه با این امواج، اثرهای مخرب آن بر بافت‌های مختلف بدن نیز متفاوت خواهد بود. هم‌چنین میزان جذب و نفوذ انرژی تشعشعات الکترومغناطیسی به میزان فرکانس، نوع تشعشعات و نوع بافتی که آن را جذب می کند بستگی دارد(13،12). این اثرها شامل تخریب سلول‌های خونی و تخریب پروتئین‌های شوک حرارتی، تأثیر بر گردش خون جفت، سد خونی - مغزی، فعالیت نورون‌های مغزی، سلول‌های کبدی و کلیوی، افزایش احتمال خطر ابتلا به تومورهای مغزی و تغییر الگوی خواب در انسان می‌باشند(11). ایجاد لرزش‌های الکترومغناطیسی در بافت‌ها، اختلال در متابولیسم سلولی و ایجاد تغییرات در عناصر و مواد خونی به عنوان عوامل اصلی اثرهای غیرگرمایی امواج الکترومغناطیسی در ایجاد اختلالات رشد و نمو جنین معرفی شده‌اند(15،14). هم‌چنین ماکروفاژهایی که در معرض میدان الکترومغناطیسی با فرکانس 50 هرتز هستند با آزادسازی سیتوکین و رادیکال‌های آزاد گونه اکسیژن فعال و گونه نیتروژن فعال سبب ناپایداری مولکول‌های زیستی شده و این مواد بر مسیرهای انتقال پیام درون سلولی و تنظیم بیان ژن‌های ویژه پاسخ التهابی، رشد سلولی، تمایز، تکثیر و پاسخ استرس سلولی تأثیر می گذارند(16،12).

Falone در سال 2007 با مطالعه بر روی سلول‌های نوروبلاستومای انسانی درمعرض تشعشعات الکترومغناطیسی با فرکانس 50 هرتز و شدت میدان یک میلی تسلا اعلام نمود، کاهش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی سلولی و کاهش تحمل سلول ها نسبت به فرآیندهای اکسیداتیو به دنبال رویارویی سلول‌ها با میدان یاد شده به وجود خواهد آمد(17).

[Downloaded from jmums.mazums.ac.ir on 2026-11-08]

Schuermann و Mevissen (2021) در یک بررسی جامع نتیجه گرفتند که فرکانس‌های رادیویی ناشی از EMF و میدان‌های مغناطیسی با فرکانس بسیار پایین (Extremely Low Frequency:ELF) همان‌طورکه توسط آژانس بین‌المللی تحقیقات سرطان به‌عنوان عوامل احتمالی سرطان‌زا برای انسان طبقه‌بندی شده‌اند (گروه B2)، در شرایط مواجهه مزمن می‌توانند به‌طور جدی عامل سرطان‌زا برای انسان و سایر موجودات محسوب گردند(18). نتایج تعدادی از پژوهش‌ها در تایید این مطلب است که تولید گونه‌های اکسیژن فعال که به‌طور بالقوه منجر به استرس اکسیداتیو سلولی یا سیستمیک می‌شوند، اغلب تحت تأثیر القایی ناشی از مواجهه حیوانات و سلول‌ها با امواج فوق می‌باشد(۸،۱۹،۲۰).

در زمینه بررسی ضایعات بافتی کبد در مواجهه با میدان‌های مغناطیسی کم فرکانس نتایج پژوهشی اندکی انتشار یافته ولی همین نتایج گویای این مطلب است که تغییرات معنی‌داری در سطح آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی و اختصاصی بافت کبد و همچنین ظرفیت آنتی‌اکسیدانی نهایی کبد در موش‌های در معرض میدان نسبت به گروه شاهد بوجود آمد. علاوه بر آن ضایعات بافتی گسترده شامل تغییر ساختار سلولی، واکوئله شدن سیتوپلاسم سلول، تغییرات غشای هسته و سلول و ایجاد هسته‌های نامتوازن در سلول‌های ناحیه پورتال و سلول‌های احاطه کننده ناحیه سینوسی کبد کاملا مشهود بود(21).

نتایج مطالعات موجود حاوی داده‌های ضد و نقیض در مورد اثرهای مختلف این میدان‌ها بر سیستم‌های زیستی است. این تناقض‌ها تا حدود زیادی ناشی از اختلاف در روش‌های مطالعه وتفاوت درنحوه اندازه‌گیری شاخص‌های زیستی مورد آزمایش و همچنین طول موج و شدت میدان مورد استفاده یا مدت زمان مواجهه و فاصله با امواج می‌باشد(11). در زمینه ارزیابی تأثیر مضر امواج الکترومغناطیسی بر بافت‌های مختلف موجودات زنده با وجود مطالعات متعدد، هنوز ابهامات زیادی وجود دارد و انجام پژوهش‌های بیش‌تری در این خصوص ضروری به نظر می‌رسد(22). با توجه به ویژگی‌های خاص DNA و درجه آسیب پذیری بیشتر سلول‌های در حال تکثیر و تمایز جنینی، به نظر می‌رسد احتمال اثرپذیری نوزادان مادران باردار از امواج الکترومغناطیسی در این دوران بیش‌تر باشد(۱،۹،۲۳). هم‌چنین نبود اطلاعات کافی در زمینه ضایعات بافتی کاملا محسوس است و تغییرات پاتولوژیک بافت کبد می‌تواند به عنوان شاخصی برای ارزیابی ضایعات بافتی حساس بعد از مواجهه مستمر با امواج الکترومغناطیسی کم فرکانس استفاده گردد. بنابراین اثر این نوع میدان در بروز ضایعات بافتی کبد در نوزادان موش صحرایی به عنوان هدف تحقیق در این مطالعه مورد بررسی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

این پژوهش پس از تایید توسط دانشکده پزشکی دانشگاه علوم پزشکی اراک و دریافت کد اخلاق (IR.ARAKMU.REC.1400.136) در محل پژوهشکده دانشگاه علوم پزشکی و در پاییز سال 1400 انجام شد.

در این مطالعه از موش‌های صحرائی ماده باردار بالغ نژاد ویستار جهت مواجهه با میدان الکترومغناطیسی استفاده شد. روش مطالعه بنیادی-کاربردی و از نوع مطالعات علوم پایه (Experimental) بود. با توجه به تعداد کل موش‌های مورد پرورش و براساس محاسبه آماری و استفاده از فرمول تخمین نمونه کوکران، تعداد 20 موش صحرایی بالغ و سالم انتخاب و در محیط ایزوله نگهداری شدند. سپس با رعایت نسبت آمیزش 1 به 3، تعداد 15 سر موش صحرائی ماده و 5 سر موش صحرائی نر جهت آمیزش 48 ساعت در مجاورت هم قرار گرفتند. پس از مشاهده پلاک بارداری، موش‌ها در گروه‌های آزمایشی توزیع شدند. در این مطالعه از نوزادانی استفاده شد که مادرانشان در طی دوره بارداری به صورت مزمن و روزانه نیم ساعت و 7 روز در هفته در معرض میدان الکترومغناطیس با فرکانس50 هرتز و شدت میدان 1/5 میلی تسلا قرار گرفتند. محدوده سنی نوزادان 28

[Downloaded from jmums.mazums.ac.ir on 2026-11-08]

روز (4 هفته) و محدوده وزنی آن‌ها 8±79 گرم بود. میدان الکترومغناطیسی توسط یک جریان سینوسی متناوب در یک سیم پیچ (سلونوئید) با 3488 دور ایجاد گردید. خطوط میدان الکترومغناطیسی در مرکز میدان تقریباً موازی با محور بود و سیم پیچ به صورت سری با منبع ولتاژ قابل تنظیم با فرکانس 50 هرتز (AutoTrans1Kw, V300) و یک آمپرمتر (مولتی‌متر) بسته شد. میدان الکترومغناطیسی یکنواخت در فاصله حدود 16 سانتی‌متر طول در مرکز سلونوئید ایجاد گردید. شدت این میدان تقریباً ثابت و برای جریان 430 میلی‌آمپر و 23 ولت برابر با 1/5 mTبود و با دستگاه تسلامتر (PHYWE Teslameter & Axial Hall probe) اندازه‌گیری شد. موش‌های باردار در نگهدارنده موش در مرکز دستگاه قرار گرفتند. در کل تعداد 15 موش صحرایی باردار و تعداد 45 نوزاد استفاده شدند. موش‌های باردار شامل 3 گروه به شرح ادامه بودند: 1) گروه در معرض میدان: موش‌هایی که در دوره بارداری روزانه 0/5 ساعت در معرض امواج قرار گرفتند. 2) گروه شم: موش‌هایی که در داخل دستگاه مولد میدان مغناطیسی در شرایط مشابه با گروه اول ولی بدون تابش میدان قرار گرفتند و 3) گروه کنترل: موش‌هایی که بدون هرگونه مداخله بطور آزاد قرار داشتند. بعد از اتمام دوره بارداری (21 روز) و تولد نوزادان، آن‌ها نیز به 3 گروه مطابق گروه‌بندی مادران تقسیم و پس از اتمام دوره شیرخوارگی (28 روز) نمونه‌گیری بافتی از کبد آن‌ها انجام شد. از هر گروه 15 نوزاد در نظر گرفته شد و از هر نوزاد سه لام از بافت کبد براساس روش استاندارد توصیه شده در مقالات تهیه شد(24). برای این منظور موش‌های نوزاد با استفاده از تزریق داخل صفاقی کتامین (100میلی گرم برکیلوگرم) و زایلازین (10 میلی گرم برکیلوگرم) بیهوش شدند(25). بعد از بیهوشی کامل در شرایط استریل با قیچی، بافت کبد جدا شد. تثبیت بافتی در فرمالین 10 درصد و تعویض فرمالین 24 ساعت بعد از نمونه‌برداری انجام گرفت. سپس نمونه‌های اخذ شده جهت انجام مراحل فرآیند و پردازش بافتی(26) شامل قالب‌گیری و برش بافتی و رنگ‌آمیزی هماتوکسیلین ائوزین و بررسی تغییرات هیستوپاتولوژی و درجه‌بندی عارضه‌های میکروسکوپیک ایجاد شده احتمالی در بافت کبد به آزمایشگاه پاتولوژی ارسال شدند. پردازش نمونه‌های بافتی شامل کاهش آب بافتی به‌وسیله الکل، شفاف‌سازی با گزیلول و اشباع با پارافین ذوب شده بودند. سپس نمونه‌های بافتی درون پارافین قالب‌گیری شدند و با ضخامت 5 میکرون با میکروتوم برش داده شدند و بعد با روش هماتوکسیلین ائوزین رنگ‌آمیزی شدند. لازم به‌ذکر است تمامی مراحل مطابق با دستورالعمل کمیته اخلاق دانشکده دامپزشکی در خصوص کار با حیوانات آزمایشگاهی انجام گردید. داده‌های مربوط به ضایعات بافت کبد بعد از جمع‌آوری تجزیه و تحلیل آماری شدند.

امتیازدهی ضایعات نمونه‌های بافت کبد براساس 4 ویژگی هایپرمی، التهاب، نکروز و دژنراسیون انجام شد. نحوه امتیازدهی در بافت کبد به این صورت بود که هر نمونه در زیر میکروسکوپ به 4 ربع تقسیم شد. امتیاز صفر به معنی مشاهده نشدن هایپرمی، التهاب، نکروز و دژنراسیون بافتی در هیچ‌کدام از ربع‌ها بود. امتیاز 1، 2، 3 و 4 نیز به ترتیب به معنی مشاهده شدن ضایعات فوق در 1، 2، 3 یا همه ربع‌ها در نمونه موردنظر بود(27). تجزیه و تحلیل داده‌های گروه‌های آزمایشی برای صفات مختلف توسط آزمون‌های آماری مقایسه میانگین چند جامعه مستقل (Non Parametric Statistical Tests) و با استفاده از آزمون کروسکال والیس انجام گردید. سطح معنی‌داری گروه‌ها با اطمینان 95 درصد و احتمال خطای آزمایش 5 درصد (P<0/05) لحاظ گردید. کلیه تجزیه و تحلیل ها با نرم‌افزار SPSS نسخه 16 انجام گرفت.

یافته‌ها

نتایج مربوط به تأثیر میدان الکترومغناطیسی کم فرکانس (50 هرتز با شدت 1/5 میلی تسلا) در ایجاد

[Downloaded from jmums.mazums.ac.ir on 2026-11-08]

ضایعات بافت کبد نوزادان موش صحرایی در گروه‌های آزمایشی مختلف در جدول شماره 1 نشان داده شده است.

جدول شماره 1: تأثیر میدان الکترومغناطیسی بر ضایعات بافت کبد نوزادان موش صحرایی (میانگین رتبه)

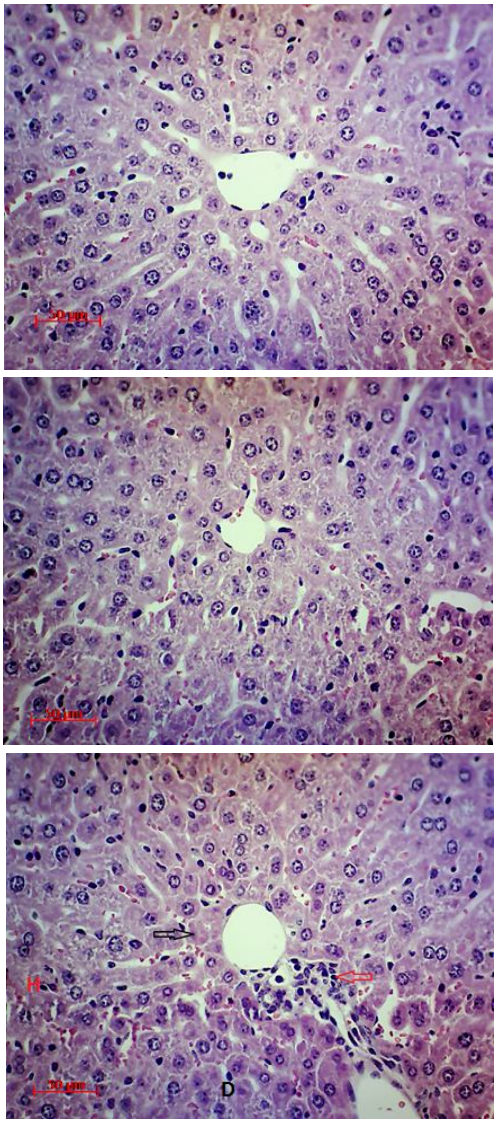
صفت/گروه	کنترل	شم	EMF	سطح معنی داری
هایپرمی کبد	11/50	11/50	21/00	0/307
التهاب کبد	13/50	13/50	19/30	0/513
نکروز کبد	15/50	14/80	21/00	0/053
دژنراسیون کبد	10/50	11/60	26/60	0/007

*صفات در گروه های مختلف بر اساس میانگین رتبه مقایسه شده اند.

* سطح معنی‌داری تفاوت میانگین‌ها با اطمینان 95 درصد (P<0/05) است.

*EMF: Electromagnetic Fields group

این نتایج نشان می‌دهد امواج الکترومغناطیسی باعث ایجاد ضایعات معنی‌دار نکروز و دژنراسیون در بافت کبد نوزادان موش صحرایی در گروه مواجهه شده با میدان (EMF)گردید (P≤0/05). اما با وجود افزایش ضایعات هایپرمی و التهاب در بافت کبد نوزادان، این افزایش معنی‌دار نبود. میزان هایپرمی در گروه EMF با امتیاز 21 بیش‌ترین و در گروه‌های شم و کنترل (هر دو با امتیاز 11/50) کم‌ترین مقدار بود. به‌طور مشابه میزان التهاب بافت کبد در گروه EMF با امتیاز 19/30 بیش‌ترین و در گروه‌های شم و کنترل (هر دو با امتیاز 13/50) کم‌ترین مقدار بود. میزان نکروز و دژنراسیون بافت کبد برای گروه EMF به‌طور مشابه در بین گروه‌ها بیش‌ترین مقدار و معنی‌دار بود (P≤0/05). نمای میکروسکوپی تغییرات هیستوپاتولوژیک بافت کبد نیز در گروه‌های آزمایشی مختلف در تصویر شماره1 نشان داده شده است.



تصویر شماره1: مقایسه نمای میکروسکوپ نوری تغییرات هیستوپاتولوژیک بافت کبد در گروه‌های آزمایشی مختلف. A : گروه کنترل; B: گروه شم ; C : گروهEMF (پیکان مشکی نشان دهنده نکروز; پیکان قرمز نشان دهنده التهاب; حرفH نشان دهنده هایپرامیا; حرفD نشان دهنده دژنراسیون). * بزرگنمایی 400X، رنگ آمیزی H&E .

بحث

نتایج مطالعه حاضر روی بافت کبد نوزادان موش صحرایی نشان داد که تابش میدان الکترومغناطیسی با فرکانس و شدت کم (فرکانس 50 هرتز و شدت میدان 1/5 میلی تسلا) باعث ایجاد ضایعات قابل توجه بافتی در اندام کبد بعد از تولد و در سن پایان شیرخوارگی می‌گردد.

این نتیجه به‌عنوان یافته جدید این تحقیق قابل ارایه می‌باشد. تا بحال در مورد میدان الکترومغناطیسی با ویژگی‌های یاد شده تقریبا هیچ گزارشی ارایه نگردیده و نتایج مشابه موجود نیز در مورد میدان‌هایی با فرکانس و شدت بالاتر و در مورد حیوانات آزمایشگاهی بالغ یا گونه‌های دیگری از حیوانات به جز موش صحرایی

[Downloaded from jmums.mazums.ac.ir on 2026-11-08]

عنوان شده است. هم‌چنین این یافته می‌تواند در جهت پیشگیری از ضایعات بافتی و تکمیل اطلاعات موجود مورد توجه پژوهشگران قرار گیرد، زیرا بیش‌تر امکانات و تجهیزات الکترونیکی مورد استفاده در محیط پیرامون جوامع انسانی امروزه شامل مواردی است که در این نوع میدان‌ها فعال بوده و مورد استفاده دایمی کاربران می‌باشند. ضایعات ایجاد شده به‌دنبال مواجهه مداوم با میدان الکترومغناطیسی کم فرکانس در این مطالعه شامل هایپرمی، التهاب، نکروز و دژنراسیون سلولی در بافت کبد بودند. افزایش ضایعات هایپرمی و التهابی بافت کبد نوزادان گروه در معرض تابش امواج الکترومغناطیسی (EMF) تفاوت معنی‌داری با دو گروه کنترل و شم نشان نداد. میزان هایپرمی در گروه EMF با رتبه 21 بیش‌ترین مقدار و در گروه‌های کنترل و شم (هردو با رتبه11/50) به‌طور قابل ملاحظه‌ای کم‌تر بود. هم‌چنین میزان التهاب درگروه EMF هم نسبت به دورگروه دیگر بیش‌تر بود (رتبه 19/30 در مقابل 13/50). اما ضایعات نکروز (رتبه 21 در مقابل 15/50 و 14/80) و دژنراسیون (رتبه 26/60 در مقابل 10/50 و 11/60) بافت کبد در این گروه با اختلاف معنی‌دار بیش‌تر از دو گروه کنترل و شم بود. به این ترتیب مشخص گردید که مواجهه با میدان الکترومغناطیسی حتی از نوع کم فرکانس و شدت پایین در دوران بارداری مادران می‌تواند باعث افزایش قابل توجه ضایعات مورد اشاره در بافت کبد نوزادان بعد از تولد بشود.

Türedi و همکاران (2015) در یک تحقیق با استفاده از فرکانس بالاتر نشان دادند، قرار گرفتن در معرض امواج الکترومغناطیسی با فرکانس 900 هرتز در دوره قبل از تولد نوزادان خوکچه هندی باعث ایجاد استرس اکسیداتیو و تغییرات هیستوپاتولوژیک می‌شود، به‌طوری که علاوه بر تغییرات در سطح آنزیم‌های کبدی، موجب دژنراسیون در پارانشیم کبد به ویژه در نواحی پاراسنترال شده و نیز باعث واکوئولیزه شدن میتوکندری و اتساع شبکه اندوپلاسمی و نکروز هپاتوسل‌ها می‌شود(28).

تغییرات ساختاری سلول‌های کبدی و ایجاد ضایعات دژنراسیون در پارانشیم کبد که در تحقیق یاد شده گزارش گردید با نتایج این تحقیق هماهنگی دارد. علاوه بر آن نتایج تحقیق حاضر به‌طور معنی‌دار نشان داد که مواجهه با میدان الکترومغناطیسی با فرکانس 50 هرتز و شدت 1/5 میلی تسلا در دوره پری ناتال موش‌های صحرایی باعث تغییرات هیستوپاتولوژیک قابل مشاهده در کبد نوزادان آن‌ها بعد از تولد می‌شود که از این جنبه با نتایج مطالعه یاد شده متفاوت است، زیرا فرکانس و شدت میدان در مطالعه حاضر به مراتب کم‌تر بوده و این مسئله گویای این مطلب مهم است که با فرکانس و شدت میدان کم‌تر نیز احتمال بروز این ضایعات وجود خواهد داشت. نکته مهم در این زمینه توجه به این مطلب است که اغلب وسایل الکتریکی با فرکانس‌های پایین بین 50 تا 60 هرتز کار می‌کنند ولی حتی مواجهه کودکان با این نوع میدان‌های الکترومغناطیسی کم فرکانس در طولانی مدت و یا با شدت بیش‌تر از 0/3 میکروتسلا احتمال ابتلا به لوکمی در آنان را افزایش می‌دهد(۱،۱۶،۲۹). در این ارتباط Falone در سال 2007 با مطالعه بر روی سلول‌های نوروبلاستومای انسانی در معرض تشعشعات الکترومغناطیسی با فرکانس 50 هرتز و شدت میدان یک میلی تسلا اعلام نمود، کاهش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی سلولی و کاهش تحمل سلول‌ها نسبت به فرآیندهای اکسیداتیو به‌دنبال رویارویی سلول‌ها با میدان یاد شده بوجود خواهد آمد(17).

در زمینه بررسی اثر میدان‌های مغناطیسی کم فرکانس در ایجاد ضایعات بافت کبد به ویژه در نوزادان موش صحرایی نتایجی یافت نشد، اما در تعدادی از گزارش‌ها به ضایعات بافت کبد در موش‌های صحرایی بالغ به‌دنبال مواجهه با میدان‌های الکترومغناطیسی اشاره شده است. در این ارتباط نتایج تحقیق Tumkaya و همکاران (2020) نشان داد که تغییر سطوح آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی کبد در گروه‌های در معرض میدان به‌طور معنی‌داری بیش‌تر از گروه شاهد بود. هم‌چنین سطوح

[Downloaded from jmums.mazums.ac.ir on 2026-11-08]

آنزیم‌های کبدی آلانین ترانس آمیناز و آسپارتات آمینوترانسفراز در گروه‌های در معرض EMF نسبت به گروه شاهد بالاتر بود. علاوه بر آن سطح وضعیت آنتی‌اکسیدانی کل بافت کبد در گروهای یاد شده نسبت به گروه شاهد کاهش یافت. هم‌چنین تغییرات گسترده ساختار سلولی از جمله واکوئلاسیون و انحطاط سلول‌های کبدی در ناحیه پورتال و سلول‌های احاطه‌کننده ناحیه سینوسی کاملا مشهود بود. سلول‌های کبدی آسیب‌دیده دارای هسته‌های چند ضلعی شکل و سیتوپلاسم واکوئولی بودند که در رنگ‌آمیزی ائوزینوفیلیک به‌طور واضح خودنمایی کرد. این تغییرات با از دست دادن یکپارچگی غشای سلولی و ایجاد فرورفتگی و هم‌چنین هسته‌های پیکنوتیک برجسته قابل تشخیص بود. این یافته‌ها با نتایج گزارش حاضر همخوانی دارد. در کل نتایج مطالعه یاد شده نشان داد که آسیب‌های کبدی ناشی از قرار گرفتن در معرض میدان‌های الکترومغناطیسی کم فرکانس ولی طولانی مدت، کاملا معنی‌دار و حتی تا سنین بالاتر پایدار می‌باشد(21).

نتایج حاصل از مطالعات مختلف بیانگر ارتباط بین میدان‌های الکترومغناطیسی و گروه اکسیژنی فعال و تأیید نقش آن‌ها در ایجاد تخریب سلولی و بافتی در اندام‌هایی نظیر کبد، کلیه و مغز می باشد(۱۶،۳۰،۳۱). در این زمینه نتایج برخی پژوهش‌ها تأیید می‌کند که اثر القایی ناشی از میدان‌های الکترومغناطیسی باعث تشدید تولید گونه‌های اکسیژن فعال می‌گردد که در نهایت منجر به ایجاد استرس اکسیداتیو سلولی یا سیستمیک شده، به ماده ژنتیکی و ساختار سلول صدمه وارد کرده و آثار زیانباری را برای سلول و اندام مربوطه ایجاد خواهد کرد(18). در همین راستا نتایج یک پژوهش نشان داد در بررسی سلولی مغز موش‌های قرار گرفته در معرض امواج با فرکانس 50 هرتز به مدت یک هفته و یک ساعت در روز، افزایش قابل توجّهی در سطح پراکسید لیپید، مالون‌دی‌آلدهید پلاسما و کاهش شدید فعالیت آنزیم‌های پراکسید دیسموتاز، کاتالاز، گلوتاتیون پراکسیداز و گلوتاتیون ردوکتاز بافت مغزی مشاهده شد. در واقع امواج الکترومغناطیسی با فرکانس پایین به عنوان عامل اصلی ایجاد تغییرات، پس از ورود به سلول و پیوند با DNA باعث بروز تغییر شکل و تخریب ژنتیکی و حتی بروز واکنش‌های استرسی می‌شوند(31).

در مطالعاتی که اثرهای میدان‌های الکترومغناطیسی کم فرکانس (50 هرتز) بر روی سیستم عصبی را بررسی کرده‌اند نیز گزارش‌هایی از اثر این میدان‌ها بر عملکرد سیستم عصبی گزارش شده است. در یک پژوهش قرار دادن موش‌ها در میدان 1 میلی تسلا با فرکانس 50 هرتز به مدت 2 ساعت در روز افزایش نکروز در هیپوکامپ را نشان داد. در بررسی دیگری افزایش تحریک‌پذیری نورون‌های هیپوکامپ در پی قرار دادن جنین و نوزاد موش‌ها در میدان‌های 3 و 5 میلی تسلا با فرکانس 50 هرتز گزارش شده است(32،33).

در همین ارتباط نتایج مطالعه حاضر تایید می‌کند که رگ‌های خونی در اثر تشعشعات ناشی از امواج الکترومغناطیسی شکننده شده و دچار نشتی شدند که باعث ایجاد ادم در اطراف سلول‌ها می‌شود (تصویر شماره 1) و این ضایعه علامت فاز حاد نکروز بافتی بوده و بیانگر این مطلب است که میزان نواحی دارای نکروز به‌طور معنی‌داری افزایش یافتند. در کل نواحی نکروتیک و دژنراتیو در بافت کبد موش‌های در معرض میدان به ترتیب تا 42 درصد و 2/5 برابر به‌طور معنی‌دار نسبت به گروه شاهد و گروه شم افزایش داشتند.

بنابراین نتایج به‌دست آمده در این مطالعه بیانگر تأثیر مضر امواج الکترومغناطیسی بر بافت کبد و در تایید نتایج گزارش شده مبنی بر ایجاد ضایعات سلولی (هایپرمی، التهاب، نکروز، دژنراسیون) در بافت‌های مختلف ناشی از در معرض قرار گرفتن با امواج الکترومغناطیسی با فرکانس کم می‌باشد. بیش‌تر پژوهش‌ها با امواج کم فرکانس و در دامنه‌ای کم‌تر از 300 کیلو هرتز انجام شده است(12)، بنابراین گستردگی مواجهه با این امواج دلیل مناسبی برای تحقیق بیش‌تر در زمینه آثار ناشی از

[Downloaded from jmums.mazums.ac.ir on 2026-11-08]

آن‌ها بر بافت‌های بدن و بررسی راه‌های مختلف مقابله با آن‌ها است. البته در نتایج گزارش شده در این ارتباط تناقضاتی وجود دارد که علت اصلی آن مربوط به تفاوت شرایط مطالعه از جمله تفاوت میزان فرکانس، شدت میدان و نوع امواج، طول مدت پرتودهی، نوع حیوان مورد استفاده، تفاوت ماده ژنتیکی نمونه مورد آزمایش و بالاخره نوع میدان مولد امواج الکترومغناطیسی می‌باشد(34). البته برخی گزارش‌ها دلایلی از جمله روش‌های مختلف تشریح حیوان و مدت زمان تأخیر بین مرگ و نحوه آماده‌سازی نمونه‌ها و اسلایدها را در ایجاد این تفاوت‌ها برشمرده‌اند(۳۵،۳۶). در مجموع نتایج مطالعه حاضر نشان داد که مواجهه موش‌های مادر باردار با امواج الکترومغناطیسی حتی با فرکانس کم باعث افزایش نواحی نکروتیک و دژنراتیو در کبد نوزادان موش در بعد از تولد و در سن پایان شیرخواری (28 روزگی) گردید.

افزایش ضایعات هیستوپاتولوژیک در بافت کبد نوزادانی که در دوره پری ناتال در معرض میدان الکترومغناطیسی بودند نشان داد که بر خلاف باور رایج مبنی بر بی‌خطر بود امواج حاصل از میدان‌های مغناطیسی کم فرکانس، احتمال بروزصدمات بافتی در دوران بارداری وجود دارد. این نتیجه یک یافته جدید و با اهمیت است، زیرا تأثیر مضر این نوع میدان‌ها به ویژه در دوران جنینی تا به حال کمتر مورد توجه بوده است. با توجه به گسترش استفاده از تجهیزات حاوی این نوع امواج در جوامع انسانی و احتمال بروز صدمات ناشی از آن‌ها، انجام بررسی بیش‌تر و اتخاذ تصمیمات پیشگیرانه در این زمینه ضروری می‌باشد.

محدودیت‌های تأثیرگذار بر این نوع مطالعات شامل تفاوت ویژگی میدان‌های مورد بررسی، طول موج، شدت و مدت مواجهه، کنش متقابل گونه‌های مختلف جانداران و آستانه قابل تحمل آن‌ها در مقابل این امواج، تأثیر شرایط محیطی وخصوصیات فیزیولوژیکی موجودات و عوامل متعدد دیگر هستند. هم‌چنین محدودیت‌های خاص این تحقیق شامل تعداد نسبتا کم حیوانات متولد شده و در نتیجه تعداد کم نمونه‌های بافت مورد مطالعه، دامنه محدود امواج بکار رفته و محدود بودن ویژگی‌های مورد بررسی بودند، که در تحقیقات آتی جهت حصول نتایج دقیق‌تر باید مد نظر قرار گیرند.

سپاسگزاری

بدینوسیله از همکاری معاونت محترم پژوهشی دانشگاه علوم پزشکی اراک بواسطه همکاری صمیمانه در تأمین امکانات مورد نیاز انجام این مطالعه قدردانی به‌عمل می‌آید. هم‌چنین از همکاری و مساعدت آقای دکتر امامی و مسئولین دانشکده دامپزشکی دانشگاه سمنان بواسطه تلاش وافر در تهیه و آماده‌سازی اسلاید نمونه‌های بافتی مورد استفاده در این تحقیق کمال قدردانی و سپاس به‌عمل می‌آید.

References

1. Feychting M, Ahlbom A, Kheifets L. EMF and health. Annu Rev Public Health 2005; 26(1): 165-189.
2. Safavi AS, Sendera A, Haghighipour N, Banas-Zabczyk A. The role of low-frequency electromagnetic fields on mesenchymal stem cells differentiation: a systematic review. Tissue Eng Regen Med 2022; 19(6): 1147-1160.
3. Oskouei K, Khodahemmati S, XiaoJin S, Rafiee S, Gao J, Wang M. Cell Biological Effects of Long-term Exposure to Electromagnetic Field of Simulated Mobile Phones. Earth Environ Sci 2022; 987: 012015.
4. Touitou Y, Djeridane Y, Lambrozo J, Camus F, Selmaoui B. Long-term (up to 20 years) effects of 50-Hz magnetic field exposure on immune system and hematological parameters in healthy men. Clin Biochem 2013; 46(1-2): 59-63.

[Downloaded from jmums.mazums.ac.ir on 2026-11-08]

5. Komaki A, Khalili A, Salehi I, Shahidi S, Sarihi A. Effects of exposure to an extremely low frequency electromagnetic field on hippocampal long-term potentiation in rat. Brain Res 2014; 1564: 1-8.
6. Mevissen M, Ward JM, Kopp-Schneider A, McNamee JP, Wood AW, Rivero TM, et al. Effects of radiofrequency electromagnetic fields (RF EMF) on cancer in laboratory animal studies. Environ Int 2022; 161: 107106.
7. Touitou Y, Selmaoui B, Lambrozo J. Assessment of cortisol secretory pattern in workers chronically exposed to ELF-EMF generated by high voltage transmission lines and substations. Environ Int 2022; 161: 107103.
8. Moslemi S, Ravandi MRG, Zare S, Nik HT. Measuring and assessing the effects of extremely low-frequency electromagnetic fields (ELF-EMF) on blood parameters and liver enzymes of personnel working in high voltage power stations in a petrochemical industry. Heliyon 2023; 9(4): e15414.
9. Ragy MM. Effect of exposure and withdrawal of 900-MHz-electromagnetic waves on brain, kidney and liver oxidative stress and some biochemical parameters in male rats. Electromagn Biol Med 2015; 34(4): 279-284.
10. Yong M, Hao L, Xiangyang W, Bingren G. Effects of extremely low frequency electromagnetic fields exposure on function and morphology of liver, kidney and spleen of SD rats. Journal of Jilin University Medicine Edition 2018; 44(6): 1120-1123.
11. Bortkiewicz A. A study on the biological effects of exposure mobile-phone frequency EMF. Med Pr 2001; 52(2): 101-106.
12. Gholipour Hamedani B, Goliaei B, Shariatpanahi SP, Nezamtaheri M. An overview of the biological effects of extremely low frequency electromagnetic fields combined with ionizing radiation. Prog Biophys Mol Biol 2022; 172: 50-59.
13. Selmaoui B, Lambrozo J, Sackett-Lundeen L, Haus E, Touitou Y. Acute exposure to 50-Hz magnetic fields increases interleukin-6 in young healthy men. J Clin Immunol 2011; 31(6): 1105-1111.
14. Lee HJ, Jin H, Ahn YH, Kim N, Pack JK, Choi HD, et al. Effects of intermediate frequency electromagnetic fields: A review of animal studies. Int J Radiat Biol 2023; 99(2): 166-182.
15. Kashani ZA, Pakzad R, Fakari FR, Haghparast MS, Abdi F, Kiani Z, et al. Electromagnetic fields exposure on fetal and childhood abnormalities: Systematic review and meta-analysis. Open Med 2023; 18(1): 20230697.
16. Chen Q, Lang L, Wu W, Xu G, Zhang X, Li T, et al. A meta-analysis on the relationship between exposure to ELF-EMFs and the risk of female breast cancer. PLoS One 2013; 8(7): e69272.
17. Falone S, Grossi MR, Cinque B, D'Angelo B, Tettamanti E, Cimini A, et al. Fifty hertz extremely low-frequency electromagnetic field causes changes in redox and differentiative status in neuroblastoma cells. Int J Biochem Cell Biol 2007; 39(11): 2093-2106.
18. Schuermann D, Mevissen M. Manmade electromagnetic fields and oxidative stress-biological effects and consequences for health. Int J Mol Sci 2021; 22(7): 3772.
19. Vafaei A, Raji AR, Maleki M, Zaeemi M, Ebrahimzadeh-Bideskan A. Ameliorative effects of crocin against electromagnetic field-induced oxidative stress and liver and kidney injuries in mice. Avicenna J Phytomed 2023; 13(2): 200-212.
20. Salameh M, Zeitoun-Ghandour S, Sabra L, Ismail L, Daher A, Bazzi A, et al. Effects of

[Downloaded from jmums.mazums.ac.ir on 2026-11-08]

continuous prenatal and postnatal global system for mobile communications electromagnetic waves (GSM-EMW) exposure on the oxidative stress biomarkers in female rat liver. Heliyon 2022; 8(12): E12367.

21. Tumkaya L, Yilmaz A, Akyildiz K, Mercantepe T, Yazici ZA, Yilmaz H. Prenatal effects of a 1,800-MHz electromagnetic field on rat livers. Cells Tissues Organs 2020; 207(3-4): 187-196.
22. EL Jarrah I, Rababa M. Impacts of smartphone radiation on pregnancy: A systematic review. Heliyon 2022; 8(2):e08915.
23. ou F, Ma C, Li YJ, Zhang M, Liu W. Effect of extremely low-frequency electromagnetic radiation on pregnancy outcome: A meta-analysis. Afr J Reprod Health 2023; 27(5): 95-104.
24. Cochran WG. Errors of measurement in statistics. Technometrics 1968; 10(4): 637-666.
25. Saha JK, Xia J, Grondin JM, Engle SK, Jakubowski JA. Acute hyperglycemia induced by ketamine/xylazine anesthesia in rats: mechanisms and implications for preclinical models. Exp Biol Med 2005; 230(10): 777-784.
26. Woods AE, Ellis RC. Laboratory histopathology: a complete reference. In: Laboratory histopathology: a complete reference 1994; 312.
27. Cadirci E, Halici Z, Odabasoglu F, Albayrak A, Karakus E, Unal D, et al. Sildenafil treatment attenuates lung and kidney injury due to overproduction of oxidant activity in a rat model of sepsis: a biochemical and histopathological study. Clin Exp Immunol 2011; 166(3): 374-384.
28. Türedi S, Hancı H, Topal Z, Ünal D, Mercantepe T, Bozkurt I, et al. The effects of prenatal exposure to a 900-MHz electromagnetic field on the 21-day-old male rat heart. Electromagn Biol Med 2015; 34(4): 390-397.
29. Brabant C, Geerinck A, Beaudart C, Tirelli E, Geuzaine C, Bruyère O. Exposure to magnetic fields and childhood leukemia: a systematic review and meta-analysis of case-control and cohort studies. Rev Environ Health 2023; 38(2): 229-253.
30. Peker EGG, Balabanli KB, Tomruk A, Kurşun AGC, Cevher ŞC. Evaluation of The Effects of ELF-EMF on Oxidative Parameters in Brain, Liver and Heart Tissues. Karadeniz Fen Bilim Derg 2019; 9(2): 264-274.
31. Guler G, Seyhan N, Aricioglu A. Effects of static and 50 Hz alternating electric fields on superoxide dismutase activity and TBARS levels in guinea pigs. Gen Physiol Biophys 2006; 25(2): 177-193.
32. Kuhad A, Pilkhwal S, Sharma S, Tirkey N, Chopra K. Effect of curcumin on inflammation and oxidative stress in cisplatin-induced experimental nephrotoxicity. J Agric Food Chem 2007; 55(25): 10150-10155.
33. Teimori F, Khaki AA, Rajabzadeh A, Roshangar L. The effects of 30 mT electromagnetic fields on hippocampus cells of rats. Surg Neurol Int 2016;7:70.
34. Rathore S, Mukim M, Sharma P, Devi S, Nagar JC, Khalid M. Curcumin: A review for health benefits. Int J Res Rev 2020; 7(1): 273-290.
35. Yin C, Luo X, Duan Y, Duan W, Zhang H, He Y, et al. Neuroprotective effects of lotus seedpod procyanidins on extremely low frequency electromagnetic field-induced neurotoxicity in primary cultured hippocampal neurons. Biomed Pharmacother 2016; 82: 628-639.
36. Hewlings SJ, Kalman DS. Curcumin: A review of its effects on human health. Foods 2017; 6(10): 92.

[Downloaded from jmums.mazums.ac.ir on 2026-11-08]