

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

Mohammad Hassan Kalantar Neyestanaki¹,
Homa Soleimani²,
Sahar Ghaffari Khaligh³,
Parvindokht Bayat⁴

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)

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

محمد حسن کلانتر نیستانی¹

هما سلیمانی²

سحر غفاری خلیق³

پرویندخت بیات⁴

چکیده

سابقه و هدف: بررسی میدان‌های الکترومغناطیسی کم فرکانس (50 هرتز) بیانگر تاثیر آن‌ها بر فعالیت متابولیسمی بافت‌های مختلف می‌باشد. در دوران جنینی به دلیل 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 صحرایی 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 هایپر میا و التهاب بافت کبد این گروه در مقایسه با دو گروه دیگر مشاهده شد.

استنتاج: بر اساس یافته‌های 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.

واژه‌های 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 می‌گویند. امواج یا تشعشعات الکترومغناطیسی دارای طول موج، فرکانس و شدت متفاوتی بوده و با سرعت نور منتشر

E-mail: mohakani@yahoo.com

مؤلف مسئول: محمد حسن کلانتر نیستانی - اراک: دانشگاه علوم پزشکی اراک، دانشکده پزشکی

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. استادیار، 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

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 می‌باشد 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 می‌توانند در اندام‌ها و بافت‌های زنده موجودات نفوذ کرده و به‌طور بالقوه باعث تغییر ساختار و غشای سلولی شوند(2،3). 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 گلوکاتایون 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(6-8). 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(1،9). 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(10،11). 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 می‌کند بستگی دارد(12،13). 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(14،15). 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 می‌گذارند(12،16).

Falone در سال 2007 با مطالعه بر روی سلول‌های نوروبلاستوما ی 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 به دنبال رویارویی سلول‌ها با میدان یاد شده به وجود خواهد آمد(17).

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) همان‌طور که 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 کاملاً 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 و تفاوت در نحوه 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 (۱۹،۲۳). هم‌چنین نبود اطلاعات کافی در زمینه ضایعات بافتی کاملاً 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 صحرایی 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 صحرایی ماده و 5 سر موش صحرایی 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 فرکانس 50 هرتز و شدت میدان 1/5 میلی تسلا قرار گرفتند. محدوده سنی نوزادان 28

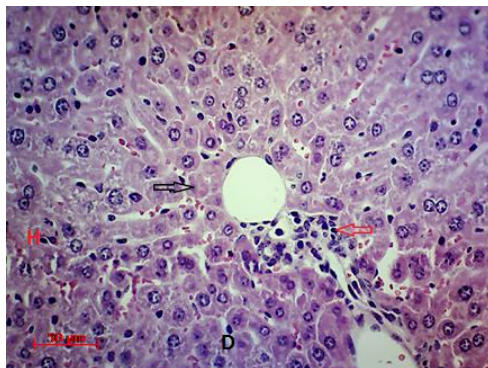
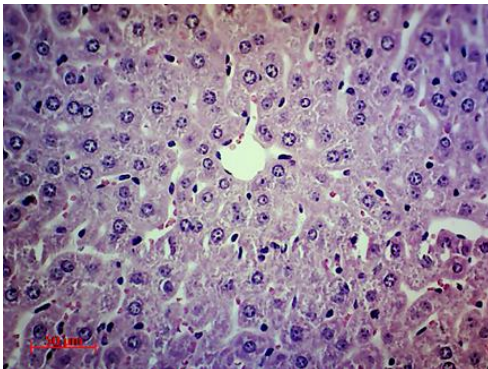
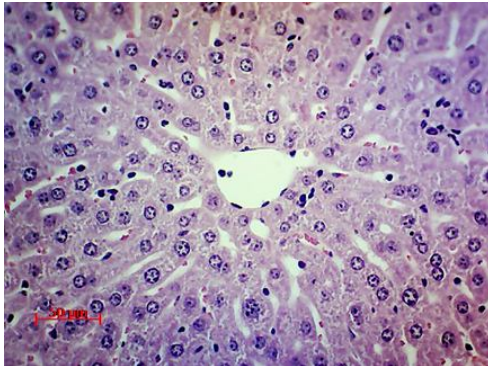
روز (4 هفته) و محدوده وزنی آن‌ها 79 ± 8 گرم بود. میدان الکترومغناطیسی توسط یک جریان سینوسی متناوب در یک سیم پیچ (سلونوئید) با 3488 دور ایجاد گردید. خطوط میدان الکترومغناطیسی در مرکز میدان تقریباً موازی با محور بود و سیم پیچ به صورت سری با منبع ولتاژ قابل تنظیم با فرکانس 50 هرتز (AutoTrans1Kw, V300) و یک آمپر متر (مولتی متر) بسته شد. میدان الکترومغناطیسی یکنواخت در فاصله حدود 16 سانتی متر طول در مرکز سلونوئید ایجاد گردید. شدت این میدان تقریباً ثابت و برای جریان 430 میلی آمپر و 23 ولت برابر با $1/5$ mT بود و با دستگاه تسلامتر (PHYWE Teslameter & Axial Hall probe) اندازه گیری 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 گروه بندی مادران تقسیم و پس از اتمام دوره شیرخوارگی (28 روز) نمونه گیری 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 (100 میلی گرم بر کیلو گرم) و زایلازین (10 میلی گرم بر کیلو گرم) 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 نمونه برداری انجام گرفت. سپس نمونه‌های اخذ شده

جهت انجام مراحل فرآیند و پردازش بافتی (26) شامل قالب گیری و برش بافتی و رنگ آمیزی هماتوکسیلین ائوزین و بررسی تغییرات هیستوپاتولوژی و درجه بندی عارضه‌های میکروسکوپی ایجاد شده احتمالی در بافت کبد به آزمایشگاه پاتولوژی ارسال شدند. پردازش نمونه‌های بافتی شامل کاهش آب بافتی به وسیله الکل، شفاف سازی با گزیلول و اشباع با پارافین ذوب شده بودند. سپس نمونه‌های بافتی درون پارافین قالب گیری شدند و با ضخامت 5 میکرون با میکروتوم برش داده شدند و بعد با روش هماتوکسیلین ائوزین رنگ آمیزی شدند. لازم به ذکر 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 جمع آوری تجزیه و تحلیل آماری شدند.

امتیازدهی ضایعات نمونه‌های بافت کبد براساس 4 ویژگی هایپریمی، 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 هایپریمی، التهاب، نکروز و دژنراسیون بافتی در هیچ کدام 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 معنی داری گروه‌ها با اطمینان 95 درصد و احتمال خطای آزمایش 5 درصد ($P < 0/05$) لحاظ گردید. کلیه تجزیه و تحلیل‌ها با نرم افزار SPSS نسخه 16 انجام گرفت.

یافته‌ها

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



تصویر شماره 1: مقایسه نمای میکروسکوپ نوری تغییرات هیستوپاتولوژیک بافت کبد در گروه‌های آزمایشی مختلف. A: گروه کنترل; B: گروه هاپریمی کبد; C: گروه EMF (پیکان مشکی نشان دهنده نکروز; پیکان قرمز نشان دهنده التهاب; حرف H نشان دهنده هاپیرامیا; حرف D نشان دهنده دژنراسیون). * بزرگنمایی 400X، رنگ آمیزی H&E.

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)

گروه	کنترل	شم	EMF	سطح معنی داری
هاپریمی کبد	11/50	11/50	21/00	0/007
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 گروه‌های مختلف بر اساس میانگین رتبه مقایسه شده اند.

* سطح معنی داری 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 ($P \leq 0/05$). اما با وجود افزایش ضایعات هاپریمی و التهاب در بافت کبد نوزادان، این افزایش معنی‌دار نبود. میزان هاپریمی 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 ($P \leq 0/05$). نمای میکروسکوپی تغییرات هیستوپاتولوژیک بافت کبد نیز در گروه‌های آزمایشی مختلف در تصویر شماره 1 نشان داده شده است.

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 تقریباً 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

عنوان شده است. هم چنین این یافته می تواند در جهت پیشگیری از ضایعات بافتی و تکمیل اطلاعات موجود مورد توجه پژوهشگران قرار گیرد، زیرا بیش تر امکانات و تجهیزات الکترونیکی مورد استفاده در محیط پیرامون جوامع انسانی امروزه شامل مواردی است که در این نوع میدان ها فعال بوده و مورد استفاده دایمی کاربران می باشند. ضایعات ایجاد شده به دنبال 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 معنی داری با دو گروه کنترل و شم نشان نداد. میزان هایپرمی در گروه EMF با رتبه 21 بیش ترین مقدار و در گروه های کنترل و شم (هر دو با رتبه 11/50) به طور قابل ملاحظه ای کم تر بود. هم چنین میزان التهاب در گروه EMF هم نسبت به دو گروه دیگر بیش تر 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 معنی دار بیش تر 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 می تواند 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 خو کچه هندی باعث ایجاد استرس اکسیداتیو و تغییرات هیستوپاتولوژیک می شود، به طوری که علاوه بر تغییرات در سطح آنزیم های کبدی، موجب دژنراسیون در پارانشیم کبد به ویژه در نواحی پاراسترال شده و نیز باعث واکوولیزه شدن میتوکندری و اتساع شبکه اندوپلاسمی و نکروز هپاتوسل ها می شود (28).

تغییرات ساختاری سلول های 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 به طور معنی دار نشان داد که مواجهه با میدان الکترومغناطیسی با فرکانس 50 هرتز و شدت 1/5 میلی تسلا در دوره پری ناتال موش های صحرایی باعث تغییرات هیستوپاتولوژیک قابل مشاهده در کبد نوزادان آن ها بعد از تولد می شود که از این جنبه با نتایج مطالعه یاد شده متفاوت است، زیرا فرکانس و شدت میدان در مطالعه حاضر به مراتب کم تر بوده و این مسئله گویای این مطلب مهم است که با فرکانس و شدت میدان کم تر نیز احتمال بروز این ضایعات وجود خواهد داشت. نکته مهم در این زمینه توجه به این مطلب است که اغلب وسایل الکتریکی با فرکانس های پایین بین 50 تا 60 هرتز کار می کنند ولی حتی مواجهه کودکان با این نوع میدان های الکترومغناطیسی کم فرکانس در طولانی مدت و یا با شدت بیش تر از 0/3 میکروتسلا احتمال ابتلا به لوکمی در آنان را افزایش می دهد (۱۶، ۲۹). در این ارتباط Falone در سال 2007 با مطالعه بر روی سلول های نوروبلاستوما ی انسانی در معرض تشعشعات الکترومغناطیسی با فرکانس 50 هرتز و شدت میدان یک میلی تسلا اعلام نمود، کاهش فعالیت آنزیم های آنتی اکسیدانی سلولی و کاهش تحمل سلول ها نسبت به فرآیندهای اکسیداتیو به دنبال رویارویی سلول ها با میدان یاد شده بوجود خواهد آمد (17).

در زمینه بررسی اثر میدان های مغناطیسی کم فرکانس در ایجاد ضایعات بافت کبد به ویژه در نوزادان موش صحرایی نتایجی یافت نشد، اما در تعدادی از گزارش ها به ضایعات بافت کبد در موش های صحرایی بالغ به دنبال مواجهه با میدان های الکترومغناطیسی اشاره شده است. در این ارتباط نتایج تحقیق Tumkaya و همکاران (2020) نشان داد که تغییر سطوح آنزیم های آنتی اکسیدانی کبد در گروه های در معرض میدان به طور معنی داری بیش تر از گروه شاهد بود. هم چنین سطوح

آنزیم‌های کبدی آلانین ترانس آمیناز و آسپاراتات آمینوترانسفراز در گروه‌های در معرض EMF نسبت به گروه شاهد بالاتر بود. علاوه بر آن سطح وضعیت آنتی اکسیدانی کل بافت کبد در گروه‌های یاد شده نسبت به گروه شاهد کاهش یافت. هم‌چنین تغییرات گسترده ساختار سلولی از جمله واکوئالسیون و انحطاط سلول‌های کبدی در ناحیه پورتال و سلول‌های احاطه‌کننده ناحیه سینوسی کاملاً مشهود بود. سلول‌های کبدی آسیب‌دیده دارای هسته‌های چند ضلعی شکل و سیتوپلاسم واکوئولی بودند که در رنگ آمیزی اتوزینوفیلیک 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، کاملاً 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 می‌باشد (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 توجهی در سطح پراکسید لیپید، مالون‌دی‌آلدئید 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

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 و خصوصیات فیزیولوژیکی موجودات و عوامل متعدد دیگر هستند. هم‌چنین محدودیت‌های خاص این تحقیق شامل تعداد نسبتاً 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.

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 (35،36). 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 پری‌ناتال در معرض میدان الکترومغناطیسی بودند نشان داد که بر خلاف باور رایج مبنی بر بی‌خطر بود امواج حاصل از میدان‌های مغناطیسی کم فرکانس، احتمال بروز صدمات 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

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.

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

- 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, Beudart 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, Pilkhwai 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.