Original Article

Assessing total antioxidant and malondialdehyde capacity in blood and brain of newborn rats following chronic exposure to 50 Hz and 900 MHz electromagnetic fields during the embryonic period

Amri J[1], Sadegh M[2*], Mohammadi B[2], Soliemani H[2], Farahani H[1]

1- Department of Biochemistry and Genetics, Faculty of Medicine, Arak University of Medical Sciences, Arak, I. R. Iran.
2- Department of Physiology and Medical Physics, Faculty of Medicine, Arak University of Medical Sciences, Arak, I. R. Iran.

Received November 8, 2015; Accepted March 16, 2016

Abstract:

Background: In current study the consequence of chronic exposure of male and female rats to mobile-phone irradiation (900 MHz) and electromagnetic field (50 Hz) during the embryonic period on plasma and brain tissue total antioxidant capacity (TAC) and malondialdehyde (MDA) level were investigated.
Material and Methods: After fertilization, female rats (n=9) were randomly divided into three groups: Control, Mobile phone -exposure and Exposure to 50 Hz electromagnetic field using a solenoid (LF). In LF group, female rats were placed daily inside a solenoid (50 Hz and 1.5 mT) for 30 minutes until giving birth. In Mobile-phone group, female rats were kept in their home cage while mobile-phone was placed in standby mode under the cage and turned on to calling mode 30 minutes each day until giving birth. After parturition and milk feeding, female and male pups were divided into 6 separated groups to measure TAC and MDA taken from plasma and brain.
Results: In Control group the values of TAC and MDA for plasma and brain tissue showed no significant differences between the male and females rats. In addition, plasma TAC for Mobile-phone and LF groups showed no difference compared to Control. No significant difference was seen for plasma and brain MDA between the Mobile-phone and LF groups.
Conclusion: Our results revealed that chronic exposure to electromagnetic field during the embryonic period have no significant effect on brain and plasma TAC and MDA level.

Keywords: Electromagnetic field, Malondialdehyde, Mobile-phone irradiation, Total antioxidant capacity

* **Corresponding Author.**
Email: m.sadegh@arakmu.ac.ir
Tel: 0098 86 341 73502
Fax: 0098 86 341 73521

Conflict of Interests: ***No***

Feyz, Journal of Kashan University of Medical Sciences, April, 2016; Vol. 20, No 1, Pages 33-40

Please cite this article as: Amri J, Sadegh M, Mohammadi B, Soliemani H, Farahani H. Assessing total antioxidant and malondialdehyde capacity in blood and brain of newborn rats following chronic exposure to 50 Hz and 900 MHz electromagnetic fields during the embryonic period. ***Feyz*** 2016; 20(1): 33-40.

[Downloaded from feyz.kaums.ac.ir on 2026-11-13]

بررسی ظرفیت آنتی‌اکسیدانی تام و مالون‌دی‌آلدهید در پلاسما و مغز موش‌های صحرایی نوزاد در پی مجاورت مزمن با میدان‌های الکترومغناطیس ۵۰ و ۹۰۰ مگاهرتز طی دوره جنینی

جمال امری [۱]، مهدی صادق [۲*]، بهروز محمدی [۳]، هما سلیمانی [۲]، حیدر فراهانی [۴]

خلاصه:

سابقه و هدف: در مطالعه حاضر اثر مواجهه مزمن طی دوران جنینی با امواج موبایل (۹۰۰ مگاهرتز) و امواج الکترومغناطیس ۵۰ هرتز بر ظرفیت آنتی‌اکسیدانی کل (TAC) و مالون‌دی‌آلدئید (MDA) پلاسما و بافت مغز موش‌های صحرائی نر و ماده بررسی شده است.

مواد و روش‌ها: پس از باروری، ۹ سر موش صحرائی ماده به‌صورت تصادفی در سه گروه کنترل، مواجهه با امواج موبایل (Mobile) و مواجهه با میدان ۵۰ هرتز (LF) قرار گرفتند. در گروه LF حیوانات روزانه و تا روز قبل از زایمان ۳۰ دقیقه درون یک سیم‌لوله (میدان ۵۰ هرتز با شدت ۱/۵ میلی‌تسلا) قرار گرفتند. در گروه Mobile موش‌های صحرائی ماده در قفسی نگهداری می‌شدند که در تمام مدت بارداری یک گوشی موبایل در حالت روشن و آماده به‌کار زیر قفس قرار داشت و روزانه ۳۰ دقیقه موبایل در وضعیت مکالمه قرار می‌گرفت. بعد از زایمان و پایان دوره شیرخواری فرزندان نر و ماده هر سه گروه در ۶ گروه آزمایشی برای نمونه‌گیری از خون و مغز و اندازه‌گیری MDA و TAC قرار گرفتند.

نتایج: مقادیر TAC و MDA پلاسما و مغز بین نرها و ماده‌های گروه کنترل تفاوت معنی‌داری را نشان نداد ($P>0/05$). هم‌چنین، TAC پلاسما گروه‌های Mobile و LF در مقایسه با گروه کنترل تفاوت معنی‌داری نداشت ($P>0/05$). MDA بافت پلاسما و مغز گروه‌های Mobile و LF نیز در مقایسه با گروه کنترل تفاوت معنی‌داری نشان نداد ($P>0/05$).

نتیجه‌گیری: نتایج ما نشان داد مواجهه مزمن طی دوره جنینی با این میدان‌های الکترومغناطیس پیامد معنی‌داری بر TAC و MDA پلاسما و مغز ندارد.

واژگان کلیدی: میدان الکترومغناطیس، مالون‌دی‌آلدئید، امواج موبایل، ظرفیت تام آنتی‌اکسیدان

دو ماه‌نامه علمی– پژوهشی فیض، دوره بیستم، شماره ۱، فروردین و اردیبهشت ۱۳۹۵، صفحات ۴۰-۳۴

مقدمه

با گسترش تکنولوژی‌های نو میزان در معرض قرارگیری انسان با امواج الکترومغناطیس افزایش چشمگیری یافته است. امواج الکترومغناطیس کم فرکانس (۶۰-۵۰ هرتز) امروزه توسط اکثر دستگاه‌هایی که با برق شهر کار می‌کنند و پیرامون انسان قرار دارند، تولید می‌شود.

[۱] دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه بیوشیمی و ژنتیک، دانشکده پزشکی، دانشگاه علوم پزشکی اراک

[۲] استادیار، گروه فیزیولوژی و فیزیک پزشکی، دانشکده پزشکی، دانشگاه علوم پزشکی اراک

[۳] دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه فیزیولوژی و فیزیک پزشکی، دانشکده پزشکی، دانشگاه علوم پزشکی اراک

[۴] استادیار، گروه بیوشیمی و ژنتیک، دانشکده پزشکی، دانشگاه علوم پزشکی اراک

***نشانی نویسنده مسئول:**

اراک، دانشگاه علوم پزشکی اراک، دانشکده پزشکی، گروه فیزیولوژی و فیزیک پزشکی، مرکزی، کد پستی: ۳۸۴۸۱۷۶۹۴۱

تلفن: (۳۵۱) ۳۴۱۷۳۵۰۲ ۰۸۶ **دورنویس:** ۳۴۱۷۳۵۲۱ ۰۸۶

پست الکترونیک: m.sadegh@arakmu.ac.ir

تاریخ دریافت: ۹۴/۸/۱۷ **تاریخ پذیرش نهایی:** ۹۴/۱۲/۲۶

از سوی دیگر، مواجهه با امواج موبایل (امواج الکترومغناطیس با فرکانس بالا؛ ۹۰۰ مگاهرتز) به‌صورت گسترده رو به افزایش است [۲،۱]. هرچند شدت میدان ایجاد شده توسط دستگاه‌های برقی بسیار کم است، بااین‌وجود بررسی‌ها حاوی داده‌هایی در مورد تاثیرگذاری این میدان‌ها بر میزان گلوتاتیون بافت مغز [۳]، سطح سیتوکاین‌های خون [۴] و پیامدهای ژنوتوکسیک [۵] آنها می‌باشد. در مورد پیامدهای امواج موبایل بر سیستم‌های زیستی نیز داده‌های ضد و نقیضی وجود دارد که تا حدود زیادی ناشی از تفاوت در سیستم‌ها، شاخص‌های زیستی مورد آزمایش، و مدت زمان و فاصله در معرض قرارگیری با امواج می‌باشد [۹-۶]. نورون‌های سیستم عصبی پتانسیل‌های الکتریکی کوچکی را به‌عنوان پیام‌های عصبی تولید و منتقل می‌کنند که به‌شدت قابلیت تاثیرپذیری از امواج الکترومغناطیس موجود در محیط را دارند و نتیجه آن می‌تواند تغییر در فعالیت طبیعی نورون‌ها و عملکردهای سیستم عصبی می‌باشد [۷]. امواج الکترومغناطیس در برخورد با اجزا سیستم‌های زیستی به گرما تبدیل می‌شوند. یکی از روش‌هایی که امواج الکترومغناطیسی ممکن است بر روی عملکرد طبیعی سیستم عصبی اثر بگذارد تولید رادیکال‌های آزاد است [۱۰]. برخی

[Downloaded from feyz.kaums.ac.ir on 2026-11-13]

گزارش‌های اخیر نشان می‌دهند که میدان‌های مغناطیسی باعث افزایش فعالیت رادیکال‌های آزاد درون سلول می‌شود [۱۱]. وجود رادیکال‌های آزاد باعث آسیب دیدن انواع ماکرومولکول‌های زیستی می‌شود؛ از جمله مهمترین آنها لیپیدها هستند که قسمت اعظمی از بافت مغز را تشکیل می‌دهند [۱۴-۱۲]. برخورد رادیکال‌های آزاد به لیپیدها باعث پر اکسیداسیون آنها می‌شود. پراکسیداسیون لیپیدهای حاوی اسیدهای چرب غیراشباع با تولید ترکیبات کربونیلی شروع می‌شود. مالون‌دی‌آلدئید یک ترکیب سه کربنه و دارای دو گروه کتونی است. این ترکیب در گروه ترکیبات ثانویه پراکسیداسیون لیپیدها قرار می‌گیرد و در مرحله نهایی پراکسیداسیون لیپیدها تشکیل می‌شود. این ترکیب یک بیومارکر مناسب برای مطالعه استرس اکسیداتیو است [۱۵،۱۳]. و اندازه گیری غلظت آن به‌طور گسترده‌ای برای تشخیص برخی بیماری‌ها در مراحل ابتدایی صورت می‌گیرد [۱۷،۱۶]. در سیستم‌های بیولوژیکی سلول‌ها، بافت‌ها و مایعات بدن برای مقابله با اثرات مخرب رادیکال‌های آزاد از سیستم‌های قوی آنتی‌اکسیدانی استفاده می‌شود. سیستم‌های آنتی‌اکسیدانی شامل آنزیم‌ها (گلوتاتیون احیا، سوپراکسید دسموتاز (SOD) و کاتالاز)، آنتی‌اکسیدان‌های با وزن ملکولی بالا (آلبومین، سرولوپلاسمین و ترانسفرین) و آنتی-اکسیدان‌های با وزن ملکولی پائین شامل دو دسته آنتی‌اکسیدان‌های محلول در چربی (توکوفرول، کاروتنوئید، کوئینین و برخی پلی-فنل‌ها) و آنتی‌اکسیدان‌های محلول در آب (اسکوربیک اسید، اسید اوریک و مینرال‌ها) می‌باشد. به مجموعه این سیستم‌های آنتی-اکسیدانی ظرفیت کل آنتی‌اکسیدانی گفته می‌شود [۱۹،۱۸]. علی-رغم گزارش‌های متناقض و زیادی که در خصوص اثرات فرکانس‌های الکترومغناطیس بر سیستم‌های زیستی وجود دارد، پیامدهای مواجهه با این میدان‌ها طی دوره جنینی روشن نشده است. در این مطالعه امکان تاثیرگذاری میدان‌های الکترومغناطیسی ۵۰ هرتز و هم‌چنین امواج موبایل (۹۰۰ مگاهرتز) بر ظرفیت کل آنتی‌اکسیدانی و لیپید پراکسیداسیون پلاسما و مغز موش‌های نر و ماده‌ای که طی دوران جنینی در مجاورت مزمن با این میدان‌ها بوده‌اند، بررسی شده است.

مواد و روش‌ها

از موش‌های صحرایی نژاد ویستار در این مطالعه استفاده شد. حیوانات در شرایط استاندارد ۱۲ ساعت تاریکی و ۱۲ ساعت روشنائی نگهداری شدند و دسترسی آزاد به آب و غذا داشتند. اصول اخلاقی کار با حیوانات آزمایشگاهی براساس پروتکل مصوب دانشگاه علوم پزشکی اراک و تحت نظارت کمیته اخلاق در پژوهش این دانشگاه انجام شد. در تمام مراحل آزمایش تلاش شد کمترین استرس و درد به حیوانات اعمال شود و با کمترین تعداد ممکن حیوان، مراحل آزمایش پیش برده شود. تعدا ۹ سر موش صحرائی ماده بالغ و ۴ سر موش صحرائی نر بالغ نژاد ویستار به‌صورت تصادفی انتخاب شده و به‌مدت ۷۲ ساعت برای جفت گیری در کنار هم نگهداری شدند. سپس، ۹ حیوان ماده به‌طور تصادفی به سه گروه سه تایی تقسیم شدند. یک گروه برای مواجهه مزمن در طول دوره بارداری (۳۰ دقیقه روزانه) با میدان‌های الکترومغناطیس ۵۰ هرتز با شدت ۱/۵ میلی‌تسلا، یک گروه برای مواجهه مزمن در تمام طول دوره بارداری با میدان‌های الکترو-مغناطیس ناشی از موبایل و یک گروه کنترل که در شرایط عادی نگهداری می‌شدند. بعد از زایمان، مادران و فرزندان از مجاورت میدان‌ها دور شدند و فرزندان تا ۴ هفته در کنار مادرشان قرار داشتند. در ابتدای هفته پنجم خون‌گیری از قلب در لوله‌های حاوی ETDA انجام شد و بلافاصله حیوان بیهوش شده و بعد از باز کردن جمجه، کل بافت دو نیمکره مغز استخراج شد (مخچه و ساقه مغز کنار گذاشته شد). نمونه‌های خون در دمای c ۴'-۰ و با دور ۵۰۰۰ (rpm) به‌مدت ۱۰ دقیقه سانتریفیوژ شده و پلاسما برای اندازه گیری‌های بعدی در ۸۰- نگهداری شد. نمونه‌های بافت مغز با هموژنیزه کننده دستی در یک میلی‌لیتر از بافر فسفات حاوی آنتی پروتئاز و pH= ۷/۶ هموژنیزه شدند و سپس در دمای c ۴'-۰ و با دور ۸۰۰۰ (rpm) به‌مدت ۱۰ دقیقه سانتریفیوژ شده و مایع رویی برای اندازه گیری‌های بعدی در ۸۰- نگهداری شد.

مواجهه مزمن با میدان‌های الکترومغناطیس ۵۰ هرتز با شدت ۱/۵ میلی تسلا

حیوانات ماده بعد از دوره جفت گیری و در تمام دوره بارداری، روزانه به‌مدت ۳۰ دقیقه در مرکز یک سیم‌لوله قرار می-گرفتند. سیم‌لوله به یک منبع تغذیه متصل بود. شدت میدان اندازه گیری شده با تسلامتر در محدوده‌ای که حیوان گذاشته می‌شد حدود ۱/۵ میلی‌تسلا بود. بعد از زایمان هیچ‌کدام از مادر و نوزادان در معرض میدان قرار نگرفتند.

مواجهه مزمن با میدان‌های الکترومغناطیس ناشی از موبایل

حیوانات ماده بعد از دوره جفت گیری و در تمام دوره بارداری به‌صورت مداوم در مجاورت یک دستگاه موبایل Nokia 105 (model: RM-908) که در وضعیت روشن بود قرار داشتند. به‌صورت خلاصه موبایل در بیرون و زیر کف قفسی با ابعاد (۴۰×۲۵ cm) قرار داده شد و حیوانات در درون قفس

[Downloaded from feyz.kaums.ac.ir on 2026-11-13]

آزادانه زندگی می‌کردند. موبایل هر روز به‌مدت ۳۰ دقیقه در روز در وضعیت مکالمه با یک موبایل دوم قرار می‌گرفت و باقی طول روز روشن و آماده به-کار بود. بلافاصله پس از زایمان موبایل از محل برداشته شده و مجاورت مادر و نوزادان با قفس خاتمه یافت.

اندازه گیری آنتی‌اکسیدان کل

اندازه گیری آنتی‌اکسیدان کل با استفاده از کیت TAC شرکت ZellBio آلمان (Zellbio GmbH, Deutschland) انجام گرفت. مطابق با دستور شرکت سازنده کیت، رقت‌های سریالی محلول استاندارد تهیه شده و برای رسم منحنی استاندارد استفاده شد. با استفاده از این منحنی و معادله آن میزان TAC نمونه‌های پلاسما محاسبه گردید. هر نمونه دو بار تهیه شده و در دستگاه الایزا ریدر در طول موج ۴۹۰ نانومتر خوانده شد. از میانگین دو بار به‌عنوان جذب نوری برای محاسبه استفاده شد.

اندازه گیری MDA

اندازه‌گیری MDA با استفاده از کیت شرکت ZellBio آلمان (Zellbio GmbH, Deutschland) انجام گرفت. مطابق با دستور شرکت سازنده کیت، رقت‌های سریالی محلول استاندارد تهیه شده و برای رسم منحنی استاندارد استفاده شد. با استفاده از این منحنی و معادله آن، میزان MDA نمونه‌های مغز و پلاسما محاسبه گردید. هر نمونه دو بار تهیه شده و در دستگاه الایزا ریدر در طول موج ۵۴۰ نانومتر خوانده شد. از میانگین دوبار به‌عنوان جذب نوری برای محاسبه استفاده شد.

تحلیل آماری

تحلیل آماری یافته‌های این بررسی توسط نرم‌افزار Graphpad صورت گرفت. برای بررسی نرمال بودن توزیع داده‌ها از آزمون D'Agostino-Pearson استفاده شد. آزمون Unpaired t-test برای مقایسه هر گروه آزمایشی با گروه کنترل خودش مورد استفاده قرار گرفت. $P<۰/۰۵$ به‌عنوان حداقل سطح معنی‌داری داده‌ها در نظر گرفته شد. تعداد نمونه‌ها در تمام گروه‌های آزمایشی ۶ بود و داده‌ها به‌صورت $\overline{X} \pm SD$ ارائه شده‌اند.

نتایج

نتایج بررسی TAC پلاسما

مواجهه مزمن با امواج موبایل طی دوران جنینی تغییر معنی‌داری در TAC پلاسما ماده‌ها و نرها در مقایسه با گروه کنترل ایجاد نکرد. مقدار TAC پلاسما در گروه ماده کنترل (n=۶، ۰/۱۲±۰/۰۳) و ماده در معرض امواج موبایل (n=۶، ۰/۲۶±۰/۰۷) بود (جدول شماره ۱، مقادیر TAC برحسب mg/ml می‌باشد). هم‌چنین، مقدار TAC پلاسما در گروه نر کنترل (n=۶، ۰/۲۲±۰/۱) و نر در معرض امواج موبایل (n=۶، ۰/۱۸±۰/۰۶) بود. مقایسه با آزمون Unpaired t-test تفاوت معنی‌داری را در هیچ‌کدام از دو مورد نشان نداد ($P>۰/۰۵$) (جدول شماره ۱).

جدول شماره ۱- مقادیر آنتی اکسیدان کل پلاسما (pTAC)، مالون‌دی‌آلدئید پلاسما (pMDA) و بافت مغز (bMDA) در گروه‌های نر و ماده مواجه شده با امواج موبایل (Mobile) طی دوره جنینی

	Female			Male		
	Control	Mobile	*P*	Control	Mobile	*P*
pTAC	۰/۱۲±۰/۰۳	۰/۲۶±۰/۰۷	*P*=۰/۱	۰/۲۲±۰/۰۲	۰/۱۸±۰/۰۶	*P*=۰/۷
pMDA	۰/۲۶±۰/۰۰	۰/۲۶±۰/۰۱	*P*=۰/۴	۰/۲۵±۰/۰۱	۰/۲۶±۰/۰۱	*P*=۰/۳
bMDA	۱۹/۸±۳/۳	۲۰/۱±۱/۵	*P*=۰/۹	۱۹/۶±۲/۹	۱۵/۴±۶/۷	*P*=۰/۵

تحلیل آماری با آزمون Unpaired t-test تفاوت معنی‌داری را در هیچ‌کدام از موارد نشان نداد ($P>۰/۰۵$). داده‌ها به‌صورت $\overline{X} \pm SD$ نشان داده شده است و n=۶ می‌باشد. مقادیر TAC برحسب mg/ml و MDA بر حسب nmol/ml می‌باشند.

قرارگرفتن مزمن در میدان الکترومغناطیس ۵۰ هرتز طی دوران جنینی تغییر معنی‌داری در TAC پلاسما ماده‌ها و نرها در مقایسه با گروه کنترل ایجاد نکرد. مقدار TAC پلاسما در گروه ماده کنترل (n=۶، ۰/۱۲±۰/۰۳) و ماده‌هایی که طی دوران جنینی به-طور مزمن در در میدان الکترومغناطیس ۵۰ هرتز قرار گرفته بودند (n=۶، ۰/۱۵±۰/۰۳) بود (جدول شماره ۲). هم‌چنین، مقدار TAC پلاسما در گروه نر کنترل (n=۶، ۰/۲۲±۰/۱) و نرهایی که طی دوران جنینی به‌طور مزمن در میدان الکترومغناطیس ۵۰ هرتز قرار گرفته بودند (n=۶، ۰/۳۱±۰/۰۸) بود (جدول شماره ۲). مقایسه با آزمون Unpaired t-test تفاوت معنی داری را در هیچ-کدام از دو مورد نشان نداد ($P>۰/۰۵$) (جدول شماره ۲).

[Downloaded from feyz.kaums.ac.ir on 2026-11-13]

جدول شماره ۲- مقادیر آنتی‌اکسیدان کل پلاسما (pTAC)، مالون‌دی‌آلدئید پلاسما (pMDA) و بافت مغز (bMDA) در گروه‌های نر و ماده مواجه شده با میدان‌های ۵۰ هرتز (LF) طی دوره جنینی

	Female			Male		
	Control	LF	*P*	Control	LF	*P*
pTAC	۰/۱۲±۰/۰۳	۰/۱۵±۰/۰۳	*P*=۰/۶	۰/۲۲±۰/۰۲	۰/۳۱±۰/۰۸	*P*= ۰/۵
pMDA	۰/۲۶±۰/۰۰	۰/۲۵±۰/۰۱	*P*= ۰/۵	۰/۲۵±۰/۰۱	۰/۲۷±۰/۰۰	*P*= ۰/۶
bMDA	۱۹/۶± ۳/۳	۲۶/۱±۵/۱	*P*= ۰/۳	۱۹/۶±۲/۹	۲۴/۸±۱۰/۹	*P*= ۰/۶

تحلیل آماری با آزمون Unpaired t-test تفاوت معنی‌داری را در هیچ‌کدام از موارد نشان نداد ($P>0/05$). داده‌ها به‌صورت $\overline{X} \pm SD$ نشان داده شده است و n=۶ می‌باشد. مقادیر TAC برحسب mg/ml و MDA بر حسب nmol/ml می‌باشند.

نتایج بررسی MDA پلاسما (pMDA)

مواجهه مزمن با امواج موبایل طی دوران جنینی تغییر معنی‌داری در MDA پلاسما ماده‌ها و نرها در مقایسه با گروه کنترل ایجاد نکرد. مقدار MDA پلاسما در گروه ماده کنترل (n=۶، ۰/۲۶±۰/۰۰) و ماده‌های در معرض امواج موبایل (n=۶، ۰/۲۶±۰/۰۱) بود (جدول شماره ۱، مقادیر MDA بر حسب nmol/ml می‌باشد). هم‌چنین، مقدار MDA پلاسما در نرهای گروه کنترل (n=۶، ۰/۲۵±۰/۰۱) و در نرهای در معرض امواج موبایل (n=۶، ۰/۲۶±۰/۰۱) بود. تحلیل آماری با آزمون Unpaired t-test تفاوت معنی‌داری را در هیچ‌کدام از دو مورد نشان نداد ($P>0/05$) (جدول شماره ۱). قرارگرفتن مزمن در معرض میدان الکترومغناطیس ۵۰ هرتز طی دوران جنینی تغییر معنی‌داری در MDA پلاسما ماده‌ها و نرها در مقایسه با گروه کنترل ایجاد نکرد. مقدار MDA پلاسما در گروه ماده کنترل (n=۶، ۰/۲۶±۰/۰۰) و ماده‌هایی که طی دوران جنینی به‌طور مزمن در میدان الکترومغناطیس ۵۰ هرتز قرار می‌گرفتند (n=۶، ۰/۲۶±۰/۰۱) بود (جدول شماره ۲). هم‌چنین، مقدار MDA پلاسما در گروه نر کنترل (n=۶، ۰/۲۵±۰/۰۱) و نرهایی که طی دوران جنینی به‌طور مزمن در میدان الکترومغناطیس ۵۰ هرتز قرار می‌گرفتند (n=۶، ۰/۲۷±۰/۰۰) بود (جدول شماره ۲). مقایسه با آزمون Unpaired t-test تفاوت معنی‌داری را در هیچ‌کدام از دو مورد نشان نداد ($P>0/05$) (جدول شماره ۲).

نتایج بررسی MDA بافت مغز (bMDA)

مواجهه مزمن با امواج موبایل طی دوران جنینی تغییر معنی‌داری در MDA بافت مغز ماده‌ها و نرها در مقایسه با گروه کنترل ایجاد نکرد. مقدار MDA بافت مغز در گروه ماده کنترل (n=۶، ۱۹/۸±۳/۲) و ماده‌های در معرض امواج موبایل (n=۶، ۲۰/۱±۱/۵) بود (جدول شماره ۱، مقادیر MDA بر حسب nmol/ml می‌باشد). هم‌چنین، مقدار MDA بافت مغز در نرهای گروه کنترل (n=۶، ۱۵/۴±۶/۷) و در نرهای در معرض امواج موبایل (n=۶، ۱۹/۶±۲/۹) بود (جدول شماره ۱). تحلیل آماری با آزمون Unpaired t-test تفاوت معنی‌داری را در هیچ‌کدام از دو مورد نشان نداد ($P>0/05$) (جدول شماره ۱). قرار گرفتن مزمن در میدان الکترومغناطیس ۵۰ هرتز طی دوران جنینی تغییر معنی‌داری در MDA بافت مغز ماده‌ها و نرها در مقایسه با گروه کنترل ایجاد نکرد. مقدار MDA بافت مغز در گروه ماده کنترل (n=۶، ۱۹/۶±۳/۳) و ماده‌هایی که طی دوران جنینی به‌طور مزمن در در میدان الکترومغناطیس ۵۰ هرتز قرار می‌گرفتند (n=۶، ۲۶/۱±۵/۱) بود (جدول شماره ۲). هم‌چنین، مقدار MDA بافت مغز در گروه نر کنترل (n=۶، ۲۴/۸±۱۰/۹) و نرهایی که طی دوران جنینی به‌طور مزمن در میدان الکترومغناطیس ۵۰ هرتز قرار می‌گرفتند (n=۶، ۱۹/۶±۲/۹) بود (جدول شماره ۲). مقایسه با آزمون Unpaired t-test تفاوت معنی‌داری را در هیچ‌کدام از دو مورد نشان نداد ($P>0/05$) (جدول شماره ۲).

نتایج بررسی سطح اولیه TAC پلاسما، MDA پلاسما و MDA مغز بین نرها و ماده های گروه کنترل

بررسی TAC پلاسما و MDA پلاسما و بافت مغز بین نرها و ماده‌های گروه کنترل تفاوت معنی‌داری را نشان نداد. مقدار TAC پلاسما در گروه نر کنترل (n=۶، ۰/۱۲±۰/۰۳) و در گروه ماده کنترل (n=۶، ۰/۲۲±۰/۰۲) بود. مقایسه TAC پلاسما بین حیوانات نر و ماده گروه کنترل با آزمون Unpaired t-test تفاوت معنی‌داری را بین دو گروه نشان نداد ($P>0/05$) (جدول ۳). مقدار MDA پلاسما در گروه نر کنترل (n=۶، ۰/۲۶±۰/۰۰) و در گروه ماده کنترل (n=۶، ۰/۲۵±۰/۰۱) بود که آزمون Unpaired t-test تفاوت معنی‌داری را بین دو گروه نشان نداد ($P>0/05$) (جدول شماره ۳). هم‌چنین مقدار MDA بافت مغز در گروه نر کنترل (n=۶، ۱۹/۶±۲/۹) و در گروه ماده کنترل (n=۶، ۱۹/۶±۳/۳) بود که آزمونUnpaired t-test تفاوت معنی‌داری را بین دو گروه نشان نداد ($P>0/05$) (جدول شماره ۳).

[Downloaded from feyz.kaums.ac.ir on 2026-11-13]

جدول شماره ۳- مقادیر آنتی‌اکسیدان کل پلاسما (pTAC)، مالون-دی‌آلدئید پلاسما (pMDA) و بافت مغز (bMDA) در گروه‌های نر و ماده کنترل

	Control		
	Female	Male	*P*
pTAC	۰/۱۲±۰/۰۳	۰/۲۲±۰/۰۲	$P=$ ۰/۲
pMDA	۰/۲۶±۰/۰۰	۰/۲۵±۰/۰۱	$P=$ ۰/۹
bMDA	۱۹/۶±۳/۳	۱۹/۶±۲/۹	$P=$ ۰/۶

تحلیل آماری با آزمون Unpaired t-test تفاوت معنی‌داری را در هیچ‌کدام از موارد نشان نداد ($P>$۰/۰۵). داده‌ها به‌صورت $\overline{X} \pm SD$ نشان داده شده است و n=۶ می‌باشد. مقادیر TAC برحسب mg/ml و MDA بر حسب nmol/ml می‌باشند.

بحث

نتایج بررسی ما نشان داد که مجاورت مزمن و روزانه طی دوران جنینی با دو گروه از فرکانس‌های الکترومغناطیس (۵۰ هرتز و ۹۰۰ مگاهرتز) تاثیر معنی‌داری بر دو شاخص مهم آنتی‌اکسیدانی بدن بعد از دوره شیرخواری ندارد. در مطالعه ما شاخص آنتی-اکسیدان کل پلاسما و شاخص پراکسیداسیون لیپیدی پلاسما و بافت مغز در موش‌های صحرائی نر و ماده که طی دوره جنینی به-صورت روزانه در معرض فرکانس امواج موبایل (۹۰۰ مگاهرتز) یا در معرض میدان الکترومغناطیس ۵۰ هرتز قرار داشتند، بررسی شد. امواج الکترومغناطیس حاوی انرژی می‌باشد. سطح انرژی این امواج متناسب با فرکانس و شدت آنها است [۱۳،۱۲]. به‌دلیل گسترش تکنولوژی‌های نو و مواجهه مزمن و روزانه انسان با امواج الکترومغناطیس فرکانس بالا نظیر موبایل و Wi-Fi و میدان‌های فرکانس پائین که پیرامون سیستم‌های برق خانگی ایجاد می‌شود، تحقیق در خصوص پیامدهای این مواجهه بر عملکردهای بدن مورد توجه قرار گرفته است. نتایج بررسی ما نشان داد موش‌های صحرائی نر و ماده‌ای که در تمام طول دوره جنینی روزانه ۳۰ دقیقه در سیم‌لوله تولید کننده میدان الکترومغناطیس ۵۰ هرتز قرار می‌گرفتند، نسبت به حیواناتی که در شرایط کنترل قرار داشتند، تغییر معنی‌داری در شاخص TAC پلاسما و هم‌چنین شاخص MDA پلاسما و مغز نداشتند. به‌عبارت دیگر، مواجهه مزمن جنین با این میدان تاثیری بر دو شاخص آنتی‌اکسیدانی اندازه‌گیری شده بعد از دوره شیرخواری نداشت. برخی مطالعات میدان‌های ۵۰ هرتز را به‌عنوان منبع ایجاد شرایط استرس اکسیداتیو در سیستم-های بیولوژیکی پیشنهاد کرده‌اند. در این بررسی‌ها گزارش شده است که میدان‌های ۵۰ هرتز سبب افزایش تولید رادیکال‌های آزاد در سلول می‌شوند [۳،۱۱،۲۰]. بااین‌حال، در گزارش دیگری که TAC و تغییرات ترکیبات اکسیداتیو را بر روی ۳۱۰ کارگر مشغول به‌کار در نزدیکی میدان‌های الکترومغناطیسی با فرکانس پایین (مانند ترانسفورماتورها و خطوط توزیع برق) بررسی کرده به این نتیجه رسیدند که این میدان‌ها الکترومغناطیسی روی TAC و ترکیبات اکسیداتیو پلاسما تاثیر معنی‌داری ندارند [۲۱]؛ هرچند در مطالعه ما مواجهه با میدان ۵۰ هرتز طی دوره جنینی بوده، اما عدم تغییر ظرفیت آنتی‌اکسیدانی کل در مطالعه ما و این مطالعه هم‌خوانی دارد. در دو مطالعه دیگر تاثیر میدان الکترومغناطیس با فرکانس پایین بر روی موش‌های صحرایی نژاد ویستار بررسی شد و نتایج نشان داد که تاثیر کوتاه مدت این میدان سبب افزایش گذرا و برگشت پذیر پراکسیداسیون لیپیدی و ظرفیت آنتی-اکسیدانی سرم می‌شود، درحالی‌که تاثیر بلند مدت این میدان باعث افزایش غیرقابل برگشت پراکسیداسیونی لیپیدی و ظرفیت آنتی-اکسیدانی سرم می‌شود [۱۷،۶]. تفاوت نتایج این بررسی‌ها و مطالعه ما می‌تواند ناشی از طول دوره مواجهه با میدان‌های فرکانس پائین و هم‌چنین استراتژی در روش بررسی باشد. با توجه به هدف مطالعه حاضر، مواجهه با میدان طی دوره جنینی بود و بررسی ظرفیت آنتی‌اکسیدانی در دوره بعد از شیرخواری انجام شد. در-حالی‌که در مطالعات اشاره شده [۱۷،۱۵] بررسی در زمان کوتاهی بعد از مواجهه با میدان صورت گرفته و مدت زمان قرارگیری در معرض میدان نیز چند ساعت تا چند روز می‌باشد. در بررسی پیامدهای امواج موبایل (الکترومغناطیس با فرکانس ۹۰۰ مگاهرتز) نیز نتایج ما نشان داد موش‌های صحرائی نر و ماده‌ای که در تمام طول دوره جنینی روزانه ۳۰ دقیقه در مواجهه با امواج موبایل در وضعیت مکالمه قرار می‌گرفتند، نسبت به حیواناتی که در شرایط کنترل قرار داشتند، تغییر معنی‌داری در شاخص TAC پلاسما و هم‌چنین شاخص MDA پلاسما و مغز نداشتند. به عبارت دیگر، مواجهه مزمن جنین با این امواج تاثیری بر دو شاخص آنتی-اکسیدانی اندازه گیری شده بعد از دوره شیرخواری نداشت. یافته-های یک مطالعه انجام شده [۲۲] بر روی ۲۴ سر موش صحرائی بالغ و ۲۴ سر موش صحرائی نابالغ نشان داد تحت تاثیر میدان مغناطیسی ۹۰۰ مگاهرتزی کاهش سطح فعالیت آنزیم‌های آنتی-اکسیدانی و گلوتاتیون در بافت‌های لنفاوی رخ می‌دهد. هم‌چنین، کاهش ظرفیت آنتی‌اکسیدانی پلاسما و در پی آن آسیب‌های اکسیداتیو به بافت مشاهده شد. در یک تحقیق دیگر [۲۳]، ۳۰ سر موش صحرائی روزانه ۶۰ دقیقه تحت تاثیر میدان الکترومغناطیسی ۹۰۰ مگاهرتز و به‌مدت ۶۰ روز قرار داشتند. نتایج آنها نشان داد که سطح مالون‌دی‌آلدئید و ظرفیت آنتی‌اکسیدانی تام در بافت‌های مغز، کلیه و کبد به مقدار قابل توجهی کاهش یافته و هم‌چنین فعالیت سرمی ترانس‌آلانین (ALT)، آسپارتات آمینوترانسفراز (AST)، اوره، کراتینین و کورتیکوسترون به مقدار قابل توجهی افزایش می‌یابد. بااین‌حال، برخی مطالعات دیگر از بی اثر بودن

[Downloaded from feyz.kaums.ac.ir on 2026-11-13]

امواج موبایل حتی به‌صورت مزمن بر سیستم‌های آنتی‌اکسیدانی بدن حکایت دارد [۲۵،۲۴،۶]. تفاوت در نتایج این مطالعات و هم-چنین مطالعه ما می‌تواند ناشی از پروتکل‌های متفاوتی باشد که طی آن مواجهه با میدان‌های الکترومغناطیس صورت گرفته است. به‌علاوه، همان‌طور که در بالا ذکر شده، در مطالعه حاضر پیامد مواجهه جنین با میدان‌های الکترومغناطیس بعد از اتمام دوره شیرخوارگی بررسی شده است که خود این فاصله زمانی بیم مواجهه و اندازه‌گیری می‌تواند در ایجاد نتایج متفاوت از مطالعات گذشته موثر باشد. با کنار هم قراردادن نتایج این بررسی‌ها به‌نظر می‌رسد طول مدت زمان در معرض قرارگیری با امواج موبایل در میزان پیامدهای حاصل از آن نقش مهمی دارد. ظاهرا بیشترین اثرات در مواجهه مزمن و دوره های در معرض قرار گرفتن طولانی مدت حاصل می‌شود و در مواجهه کوتاه مدت و گذرا پیامدها ناچیز یا ناپایدار هستند. هم‌چنین، زمان نمونه‌گیری بعد از مواجهه با این امواج در نتایج حاصل تاثیرگذار است و باید مورد توجه قرار گیرد. تعداد کم نمونه‌های هر گروه به‌دلیل کاهش زادآوری موش‌های صحرائی ماده در این مطالعه از مهم‌ترین عوامل محدود کننده بود که لازم است در مطالعات آتی مورد توجه قرار گیرد.

نتیجه گیری

یافته‌های این مطالعه نشان داد که مواجهه مزمن طی دوره جنینی با دو فرکانس از میدان‌های الکترومغناطیس رایج (امواج موبایل و میدان الکترومغناطیس ۵۰ هرتز) تاثیری چشم‌گیری بر شاخص آنتی‌اکسیدانی کل پلاسما (TAC) و شاخص پراکسید-اسیون لیپیدی (MDA) بافت مغز و پلاسما، بعد از دوره شیرخوارگی ندارد.

تشکر و قدردانی

این پژوهش مستخرج از طرح تحقیقاتی مصوب معاونت پژوهش دانشگاه علوم پزشکی اراک می‌باشد.

References:

[1] Joseph W, Vermeeren G, Verloock L, Heredia MM, Martens L. Characterization of personal RF electromagnetic field exposure and actual absorption for the general public. ***Health Phys*** 2008; 95(3): 317-30.

[2] Vermeeren G, Markakis I, Goeminne F, Samaras T, Martens L, Joseph W. Spatial and temporal RF electromagnetic field exposure of children and adults in indoor micro environments in Belgium and Greece. ***Prog Biophys Mol Biol*** 2013; 113(2): 254-63.

[3] Jelenkovic A, Janac B, Pesic V, Jovanovic MD, Vasiljevic I, Prolic Z. The effects of exposure to extremely low-frequency magnetic field and amphetamine on the reduced glutathione in the brain. ***Ann N Y Acad Sci*** 2005; 1048: 377-80.

[4] Jonai H, Villanueva MB, Yasuda A. Cytokine profile of human peripheral blood mononuclear cells exposed to 50 Hz EMF. ***Ind Health*** 1996; 34(4): 359-68.

[5] Scassellati Sforzolini G, Moretti M, Villarini M, Fatigoni C, Pasquini R. Evaluation of genotoxic and/or co-genotoxic effects in cells exposed in vitro to extremely-low frequency electromagnetic fields. ***Ann Ig*** 2004; 16(1-2): 321-40.

[6] Capri M, Scarcella E, Fumelli C, Bianchi E, Salvioli S, Mesirca P, et al. In vitro exposure of human lymphocytes to 900 MHz CW and GSM modulated radiofrequency: studies of proliferation , apoptosis and mitochondrial membrane potential. ***Radiat Res*** 2004; 162(2): 211-8.

[7] Mohler E, Frei P, Frohlich J, Braun-Fahrlander C, Roosli M. Exposure to radiofrequency electromagnetic fields and sleep quality: a prospective cohort study. ***PLoS One*** 2012; 7(5): e37455.

[8] Moquet J, Ainsbury E, Bouffler S, Lloyd D. Exposure to low level GSM 935 MHZ radiofrequency fields does not induce apoptosis in proliferating or differentiated murine neuroblastoma cells. ***Radiat Prot Dosimetry*** 2008; 131(3): 287-96.

[9] Rosado MM, Nasta F, Prisco MG, Lovisolo GA, Marino C, Pioli C. Effects of GSM-modulated 900 MHz radiofrequency electromagnetic fields on the hematopoietic potential of mouse bone marrow cells. ***Bioelectromagnetics*** 2014; 35(8): 559-67.

[10] Lai H, Singh NP .Magnetic-field-induced DNA strand breaks in brain cells of the rat. Environ ***Health Perspect*** 2004; 112(6): 687-94.

[11] Lupke M, Rollwitz J, Simko M. Cell activating capacity of 50 Hz magnetic fields to release reactive oxygen intermediates in human umbilical cord blood-derived monocytes and in Mono Mac 6 cells. ***Free Radic Res*** 2004; 38(9): 985-93.

[12] Coskun S, Balabanli B, Canseven A, Seyhan N. Effects of continuous and intermittent magnetic fields on oxidative parameters in vivo. ***Neurochem Res*** 2009; 34(2): 238-43.

[13] Ferreira AR, Bonatto F, de Bittencourt Pasquali MA, Polydoro M, Dal-Pizzol F, et al. Oxidative stress effects on the central nervous system of rats after acute exposure to ultra high frequency electromagnetic fields. ***Bioelectromagnetic*** 2006; 27(6): 487-93.

[14] Wu JQ, Kosten TR, Zhang XY. Free radicals, antioxidant defense systems, and schizophrenia.

[Downloaded from feyz.kaums.ac.ir on 2026-11-13]

Prog Neuropsychopharmacol Biol Psychiatry 2013; 46: 200-6.
[15] Kahya MC, Naziroglu M, Cig B. Selenium reduces mobile phone (900 MHz)-induced oxidative stress, mitochondrial function, and apoptosis in breast cancer cells. ***Biol Trace Elem Res*** 2014; 160(2): 285-93.
[16] Niki E. Biomarkers of lipid peroxidation in clinical material. ***Biochim Biophys Acta*** 2014; 1840(2): 809-17.
[17] Seifirad S, Farzampour S, Nourbakhsh M, Amoli MM, Razzaghy-Azar M, Larijani B. Effects of extremely low frequency electromagnetic fields on paraoxonase serum activity and lipid peroxidation metabolites in rat. ***J Diabetes Metab Disord*** 2014; 13(1): 85.
[18] Sies H. Strategies of antioxidant defense. ***Eur J Biochem*** 1993; 215(2): 213-9.
[19] Valko M, Rhodes CJ, Moncol J, Izakovic M, Mazur M. Free radicals, metals and antioxidants in oxidative stress-induced cancer. ***Chem Biol Interact*** 2006; 160(1): 1-40.
[20] Guler G, Turkozer Z, Ozgur E, Seyhan N. Antioxidants alleviate electric field-induced effects on lung tissue based on assays of heme oxygenase-1, protein carbonyl content, malondialdehyde, nitric oxide, and hydroxyproline. ***Sci Total Environ*** 2009; 407(4): 1326-32.
[21] Li L, Xiong DF, Liu JW, Li ZX, Zeng GC, Li HL. A cross-sectional study on oxidative stress in workers exposed to extremely low frequency electromagnetic fields. ***Int J Radiat Biol*** 2015; 91(5): 420-5.
[22] Aydin B, Akar A. Effects of a 900-MHz electromagnetic field on oxidative stress parameters in rat lymphoid organs, polymorphonuclear leukocytes and plasma. ***Arch Med Res*** 2011; 42(4): 261-7.
[23] 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): 279-84.
[24] Bilgici B, Akar A, Avci B, Tuncel OK. Effect of 900 MHz radiofrequency radiation on oxidative stress in rat brain and serum. ***Electromagn Biol Med*** 2013; 32(1): 20-9.
[25] Demirel S, Doganay S, Turkoz Y, Dogan Z, Turan B, Firat PG. Effects of third generation mobile phone-emitted electromagnetic radiation on oxidative stress parameters in eye tissue and blood of rats. ***Cutan Ocul Toxicol*** 2012; 31(2): 89-94.

[Downloaded from feyz.kaums.ac.ir on 2026-11-13]