

The effect of low-frequency electromagnetic fields on some biological activities of animals

Baharara J(Ph.D)^{1*}, Zahedifar Z(M.Sc)²

1- Department of Animal Developmental Biology, Islamic Azad University, Mashhad Branch, Iran

2- Department of Cell Animal Developmental Biology, Islamic Azad University, Mashhad Branch, Iran

Received: 13 May 2011, Accepted: 12 Jul 2011

Abstract

Background: In recent decades, with the increasing use of devices generating electromagnetic fields in modern industrial societies, the study of biological effect of these waves on the many organisms development has been considered by government and scientific organizations all over the world. Many people in all hours of their life are exposed to boarding electromagnetic fields of devices in their life and work places, with different intensities and frequencies. This presence of a significant relationship between the increase of some diseases and genetic aberrations and electromagnetic fields is one of the most important issues for researchers that has created many concerns regarding the adverse effects of electromagnetic fields. The findings of some studies indicate that this field does not have enough energy to damage biological molecules, while other researchers believe that electromagnetic fields by affecting cellular stress response and other protective mechanisms cause genetic cell damage. Some studies express that the electromagnetic field are safe alone, but they enhance the genotoxic function of physical and chemical environmental pollutants.

Keywords: Animals, Development, Electromagnetic fields, Genotoxic, Health

*Corresponding author:

Address: Deputy Research, Central Organization of Islamic Azad University, Mashhad Branch, Emamie 42, Ghasem Abad, Mashhad, Iran

Email: baharara@yahoo.com

اثر میدان‌های الکترومغناطیسی با فرکانس کم بر روی برخی از فعالیت‌های زیستی جانوران

جواد بهارآرا^{1*}، زهرا زاهدی فر²

1 - دانشیار، دکتری تخصصی بیولوژی تکوین جانوری، گروه زیست شناسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد مشهد، مشهد، ایران

2 - کارشناسی ارشد سلولی تکوینی جانوری، گروه زیست شناسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد مشهد، مشهد، ایران

تاریخ دریافت: 90/2/24 تاریخ پذیرش: 90/4/22

چکیده

زمینه و هدف: در دهه‌های اخیر، با توجه به کاربرد روز افزون وسایل مولد میدان‌های الکترومغناطیسی در جوامع مدرن صنعتی، مطالعه اثرات زیستی این امواج بر رشد و نمو موجودات زنده مورد توجه بسیاری از مجامع علمی و دولتی کشورهای مختلف جهان قرار گرفته است. بسیاری از افراد در تمامی ساعات شبانه‌روزی خود در معرض میدان‌های الکترومغناطیسی دستگاه‌های محل کار و زندگی خود با انواع متفاوتی از شدت‌ها و فرکانس‌ها قرار دارند. این که آیا رابطه معنی‌داری بین افزایش برخی از بیماری‌ها و آسیب‌های ژنتیکی با میدان‌های الکترومغناطیسی وجود دارد یا نه یکی از مباحث پر اهمیت و مورد توجه محققان محسوب می‌شود و نگرانی‌های زیادی در ارتباط با اثرات سوء احتمالی این امواج به وجود آورده است. نتایج برخی از مطالعات نشان می‌دهد که میدان‌های الکترومغناطیسی، انرژی کافی برای آسیب به مولکول‌های زیستی را ندارند در حالی که بسیاری دیگر از محققان معتقدند که تشعشعات این میدان‌ها با تاثیر بر پاسخ‌های استرس سلولی و مکانیسم‌های حفاظتی دیگر، سبب بروز آسیب‌های ژنتیکی می‌گردند. برخی از مطالعات نیز میدان‌های الکترومغناطیسی را به تنهایی ایمن می‌دانند اما تقویت عملکرد ژنوتوکسیک آلاینده‌های فیزیکی شیمیایی محیطی را به این میدان‌ها نسبت می‌دهند.

واژگان کلیدی: جانوران، رشد و نمو، میدان الکترومغناطیسی، ژنوتوکسیک، سلامت

*نویسنده مسئول: مشهد، قاسم آباد، امامیه 42، معاونت پژوهشی دانشگاه آزاد اسلامی

Email: baharara@yahoo.com

مقدمه

از اوایل قرن بیستم با افزایش روزافزون کاربرد وسایلی نظیر رادیو، تلویزیون، رادار، رایانه، ابزارهای تشخیصی پزشکی (نظیر عکس برداری مغناطیسی، سونوگرافی با لیزر) ایستگاه های پایه و خطوط فشار قوی، میزان تشعشعات الکترومغناطیس به خصوص تشعشعات با فرکانس کم در محیط پیرامون ما افزایش یافته است (1). میدان های الکتریکی ایجاد شده با ولتاژهای مختلف و میدان های مغناطیسی حاصل از آن را میدان الکترومغناطیسی گویند، این امواج در محیط با طول موج و فرکانس معین با سرعت نور منتشر می شوند که به تشعشعات الکترومغناطیسی معروف هستند. میزان جذب و نفوذ انرژی تشعشعات الکترومغناطیسی به فرکانس، نوع تشعشعات و نوع بافتی که آن را جذب می کند، بستگی دارد (2). بر اساس نوع تاثیری که تشعشعات الکترومغناطیسی بر موجودات زنده می گذارند، آنها را به دو گروه تقسیم بندی کرده اند. امواج یونیزان به طور مستقیم و غیر مستقیم اثرات بیولوژیکی داشته، سبب تخریب مولکول DNA و آسیب به مواد ژنتیکی می شوند و برای سلامتی انسان و موجودات زنده بسیار خطرناک هستند. تشعشعاتی با فرکانس بالا، طول موج کوتاه و قدرت نفوذپذیری زیاد نظیر اشعه گاما، اشعه X و اشعه های کیهانی از این جمله اند. گروه دوم شامل تابش های غیر یونیزان با فرکانس پایین، طول موج بلند و قدرت نفوذ کم است که ظاهراً انرژی کافی برای شکستن پیوندهای شیمیایی مولکول ها و اتم ها را ندارند (2). به نظر می رسد که بیشتر تشعشعات محیط اطراف ما از نوع تشعشعات الکترومغناطیسی با فرکانس کم و تشعشعات الکترومغناطیسی با فرکانس بسیار کم می باشد که در دامنه فرکانسی بین صفر هرتز تا 300 کیلو هرتز عمل می کنند و میزان آن به طور مرتب در زندگی صنعتی روزمره انسان، در حال افزایش است (3). گزارشات متعدد ضد و نقیضی درباره اثرات میدان های الکترومغناطیسی بر ماده ژنتیکی و فرایندهای زیستی موجودات زنده ارائه شده است. مطالعات اولیه درباره ارتباط بین تشعشعات الکترومغناطیسی و بیماری

های انسانی توسط ورتایمر و لیپر در سال 1979 انجام شد، آنها افزایش خطر ابتلا به لوسمی را در کودکانی که در مناطق مجاور با مقادیر فراوان منابع مولد امواج الکترومغناطیس زندگی می کردند، گزارش نمودند (4). به نظر می رسد که انرژی میدان های الکترومغناطیسی به طور فیزیکی و مستقیم، قادر به شکستن تک رشته و یا دو رشته DNA سلول های در معرض تشعشعات نمی باشد (5). مطالعات فراوانی نشان می دهند که میدان های الکترومغناطیسی با تغییر در عملکرد و یا مراحل عملکردی سلول ها، پاسخ های متنوعی را در موجودات زنده القاء می کنند که از آن جمله می توان به تاثیر بر روی تکثیر و تمایز سلولی، اختلال در چرخه سلولی، القاء مرگ برنامه ریزی شده، اختلال در ارتباطات بین سلولی، رونویسی دزوکسی ریبونوکلئیک اسید، بیان ژن، افزایش بروز تخریب DNA، تولید رادیکال های آزاد و تغییر در فعالیت های آنزیمی آنتی اکسیدانی اشاره نمود (6). شواهد معتبری مبنی بر این که امواج الکترومغناطیس سبب افزایش دمای بافت ها شوند، ارائه نشده است و بیشتر اثرات القایی تابش های الکترومغناطیس در تخریب DNA، ایجاد سرطان، جهش و آسیب های ژنوتوکسیکی به اثرات غیر گرمایی این امواج نسبت داده می شود (7). میزان تغییرات سلولی و مولکولی القایی تابش های این امواج به طول مدت تابش، میزان نفوذپذیری آن در بافت ها و تولید گرما بستگی دارد که این عوامل نیز خود به شدت و فرکانس امواج وابسته اند (8). پاسخ سلول نیز با توجه به ویژگی های امواج نظیر شکل موج (سینوسی یا مربعی)، میزان تغییرات، تاثیرات بیولوژیکی و نوع سلول هایی که در معرض تابش قرار می گیرند، متفاوت است (8). واحد اندازه گیری اصلی مقدار انرژی امواج الکترومغناطیسی سرعت جذب اختصاصی (Specific Absorption Rate-SAR) نام دارد که به معنای میزان انرژی جذب شده یا اندازه گرمای تولید شده در هر کیلوگرم بافت بدن است، بنابراین SAR بدن به عنوان یک محدودیت پایه اهمیت دارد (محدودیت های مربوط به قرار گرفتن در معرض تابش را محدودیت پایه گویند). این میزان

توسط هیات های استاندارد ایمنی 0/4 وات بر کیلوگرم برای تابش های کنترل شده و 0/8 وات بر کیلوگرم برای تابش های کنترل نشده توصیه شده است. در هر مورد متوسط زمان برای تعیین SAR تمام بدن 6 دقیقه است که معادل زمان تعادل حرارتی بدن می باشد (9). افزایش بیش از حد تشعشعات الکترومغناطیسی با فرکانس پایین، نگرانی های زیادی درباره اثرات احتمالی زیان بار این امواج بر سلامت موجودات زنده به ویژه انسان به وجود آورده است، به طوری که امروزه این موضوع یکی از بزرگ ترین دغدغه های محققین و مسئولان سلامت جوامع مختلف محسوب می شود. در این مقاله هدف ما مرور جدیدترین مقالات منتشر شده در مورد اثرات زیستی میدان های الکترومغناطیسی با فرکانس کم بر برخی از فعالیت های زیستی جانوران می باشد. نتایج مطالعات اپیدمیولوژیکی، مولکولی و بیوفیزیکی اثرات موثر و مضر تشعشعات میدان های الکترومغناطیسی بسیار ضد و نقیض به نظر می رسد ولی اکثر این مطالعات نشان می دهند که میدان های الکترومغناطیس حاصل از وسایل الکتریکی اثرات سوء چندانی بر سلامت جسمی موجودات زنده ندارد، اما وجود ارتباط بین تشعشعات میدان های الکترومغناطیسی و بروز سرطان در برخی از مطالعات اثبات شده است (8، 10).

اثرات ژنوتوکسیک میدان های الکترومغناطیسی با فرکانس پایین

تأثیر میدان های مغناطیسی با فرکانس بسیار کم بر ژنوم در موجودات آزمایشگاهی مختلفی بررسی شده و نتایج متفاوتی به دست آمده است. برخی از مطالعات افزایش آسیب های DNA را در شرایط ویژه گزارش کرده اند (11) اما برخی دیگر نیز این قبیل اثرات را تایید نکرده اند (12). اغلب مطالعات انجام شده بر روی لنفوسیت ها، مونوسیت ها و سلول های ماهیچه اسکلتی اثرات ژنوتوکسیک را نشان نمی دهند در حالی که برخی مطالعات دیگر بر روی فیبروبلاست ها، ملانوسیت ها و سلول های گرانولوزای موش های صحرایی اثرات قابل توجه میدان های الکترومغناطیسی با فرکانس های مختلف را نشان داده اند (13).

دیم با قرار دادن فیبروبلاست های انسانی به مدت 15 ساعت در معرض 50 هرتز میدان مغناطیسی متناوب 1 میلی تسلا (5) دقیقه روشن، 10 دقیقه خاموش) افزایش شکست رشته های DNA را مشاهده کرده است (14). نتایج برخی تحقیقات دیگر بیان گر آن است که میدان مغناطیسی با فرکانس بسیار کم باعث القای آسیب های کروموزومی در اریتروسیت های پلی کروماتیک مغز استخوان موش نر بالغ سی و افزایش فراوانی میکرونوکلئوس در خون نوزادان تازه متولد شده موش های مادری که در دوران بارداری تحت تابش میدان های الکترومغناطیسی با فرکانس کم قرار گرفته بودند، می شود (15، 16). بهار آرا نیز افزایش القای آسیب های کروموزومی و تشکیل میکرونوکلئوس در اریتروسیت های پلی کروماتیک مغز استخوان موش های نر بالغ سی را که به مدت 12 ساعت در طی 4 روز در میدان الکترومغناطیسی با فرکانس 50 هرتز و شدت 50 گوس قرار گرفته بودند، گزارش کرده است (17). هیوول با قرار دادن سلول های مغز استخوان موش های نر و ماده در میدان مغناطیسی 80 میکرو تسلا با فرکانس 50 هرتز مشاهده نمود که تکثیر و تمایز سلول های بنیادی مولد گرانولوسیت و ماکروفاژ در ماده ها کاهش می یابد اما در نرها تغییری ایجاد نمی شود (18). نتایج برخی از گزارشات نشان می دهد که میدان الکترومغناطیسی با فرکانس کم افزایش میزان فعالیت DNA، تقویت رونویسی RNA و افزایش تکثیر سلولی را القا می کند (19). در مطالعه دیگری با قرار دادن ژن های NOR-1 (Neuron-Derived Orphan Receptor 1) در میدان مغناطیسی 400 میلی تسلا به مدت 6 ساعت، تحریک ارتباطات سلولی و افزایش بیان ژن توسط میدان الکترومغناطیسی اندازه گیری شده است (20). تغییر در بیان mRNA نیز در بافت های مختلف بدن موش های صحرایی گزارش شده است (21). اما مطالعه بر روی mRNA گیرنده های استروژنی پیاز بویایی موش های صحرایی نر و ماده در معرض تشعشعات الکترومغناطیسی با فرکانس بسیار کم تغییری در بیان mRNA گیرنده های بویایی نشان نمی دهد (22).

تاثیر تشعشعات میدان های الکترومغناطیسی بر سرطان زایی

برخی از محققین معتقدند که تشعشعات الکترومغناطیسی با فرکانس کم همانند امواج یونیزان عمل کرده و با القا جهش سبب تخریب DNA و بروز سرطان می شوند (10). در برخی دیگر از مطالعات نیز از تشعشعات الکترومغناطیسی به عنوان عاملی برای گسترش بیشتر و پیشرفت سلول های سرطانی در جمعیت های سلولی یاد شده است (23). در حالی که در تجربه دیگری قرار دادن حیوانات آزمایشگاهی در معرض میدان های الکترومغناطیسی با فرکانس 60 هرتز به مدت طولانی منجر به ایجاد جهش و بروز سرطان نشده است (24). در مطالعات اردال و همکاران نیز احتمال وقوع جهش در ژن های در معرض تشعشعات الکترومغناطیسی با فرکانس بسیار کم بررسی شد اما هیچ گونه افزایش جهش در عوامل تنظیم کننده پیشرفت چرخه سلولی پستانداران و بروز سرطان مشاهده نشد (25). تجربیات هیوول نیز نشان می دهد که تشعشعات الکترومغناطیسی با فرکانس بسیار کم ژنوتوکسیک نبوده و نقشی در شروع بروز سرطان ندارند اما می توانند با تحریک تکثیر و تقسیم سلول ها سبب پیشرفت و رشد سلول های سرطانی شوند (18). آنتونوپولوس نیز با تحریک چرخه سلولی لنفوسیت های انسانی در معرض میدان مغناطیسی 5 میلی تسلا با فرکانس 50 هرتز، هیچ تخریب سیتوژنتیکی ناشی از بروز سرطان و یا پیشرفت سلول های سرطانی را مشاهده نکرده است در حالی که وی در آزمایش دیگری با فرکانس 50 هرتز میدان مغناطیسی 2 میلی تسلا تغییراتی را در تعداد سلول های لنفوسیت گزارش کرده است (26). راسک مارک نیز افزایش میزان تکثیر در سلول های در معرض میدان الکترومغناطیسی 80 میکرو تسلا با فرکانس 50 هرتز را گزارش کرده است (27) اما هیچ تغییری بر روی میزان تکثیر و تمایز در سلول های مغز استخوانی که به مدت یک تا سه روز در میدان الکترومغناطیسی 100 میکروتسلا با فرکانس 50 هرتز قرار گرفته بودند، دیده نشده است (28) در حالی که تغییرات قابل توجهی در رشد دودمان های

سلول های آدنوکارسینومای انسانی که به مدت 2 ساعت و 45 دقیقه در میدان الکترومغناطیسی 1/5 میلی تسلا با فرکانس 25 هرتز قرار گرفته بودند مشاهده شده است (29). چو با قرار دادن لنفوسیت های انسانی القا شده با کارسینوژن بنزوپیرین در میدان الکترومغناطیسی 0/8 میلی تسلا با فرکانس 60 هرتز برای مدت 24 ساعت، متوجه افزایش میزان تشکیل میکرونوکلئوس و تبادلات کروماتیدهای خواهری در محیط کشت شد در حالی که میدان الکترو مغناطیسی به تنهایی چنین تغییری در تعداد میکرونوکلئوس ها و تبادلات کروماتیدها ایجاد نکرده بود (30). چو هم چنین در مطالعه هم زمان میدان الکترو مغناطیسی 0/7 میلی تسلا با فرکانس 60 هرتز و تشعشعات یونیزان، افزایش فراوانی جهش های نقطه ای را در برخی از ژن ها گزارش کرده است (30). کین نیز نشان داد که میدان مغناطیسی با فرکانس کم هم زمان با تیمار با یک ماده پیش برنده سرطان مانند پروبول استر سبب تغییر شکل سلول ها در محیط کشت می شود (20).

اثرات میدان های الکترو مغناطیسی بر رشد و نمو جنین

بالانژاد افزایش اثر مهاري راپاماسین بر آنژیوژن در پرده کوریوآلانتوییک جنین جوجه های در معرض تشعشعات میدان های الکترومغناطیسی با شدت 400 گوس را گزارش کرده است (31). به عقیده وی میدان های الکتریکی پالسی و مستقیم با فرکانس کم می تواند سبب کاهش وزن جنین در مراحل اولیه رشد و نمو جنینی جوجه، کاهش تعداد و انشعابات عروقی گردد (31). در حالی که هوسکون با مطالعه بر روی موش های صحرایی نژاد ویستار باردار در معرض میدان الکترومغناطیسی با فرکانس کم تغییری در وزن بدن و تعداد جنین ها گزارش نکرده است (32) که البته وی عامل مدت زمان در معرض قرارگیری را عامل مهمی در تاثیر میدان الکترومغناطیسی بر جانوران مختلف عنوان کرده است (32). بهار آرا با قرار دادن تخم ها از روز دهم انکوباسیون در میدان الکترو مغناطیسی با فرکانس 50 هرتز و شدت های مختلف 100، 200 و 300 گوس متوجه شد که

که به مدت 4 روز (روزی 6 ساعت) در میدان الکترومغناطیسی با فرکانس 50 هرتز و شدت 15 گاوس قرار داشتند تاکید دارد (39). این در حالی است که پورلیس با مطالعه بر روی انواع مختلفی از جانوران مدل آزمایشگاهی نر و ماده در دامنه فرکانسی 20، 50 و 60 هرتز میدان های مغناطیسی بین 0/1 - 6/25 میلی تسلا هیچ گونه تغییر قابل توجهی در شکل اسپرم و تخمک، ایجاد مرگ سلولی در بیضه و تخمدان، اختلالات اسپرم زایی، تعداد اسپرم، وزن بیضه و تخمدان را گزارش نکرده است (40). اما زارع و همکاران با قرار دادن خوکچه های هندی در میدان های الکترومغناطیسی 0/013 و 0/207 میکروتسلا به مدت 2 و 4 ساعت در طی 5 روز، آتروفی لوله های منی ساز و بافت های بینایی و کاهش سلول های لایدیگ را در بیضه مشاهده نموده اند (41).

اثرات امواج الکترومغناطیسی بر حافظه

مطالعات گورو نشان می دهد که میدان الکترومغناطیس با فرکانس بسیار کم به مدت 300 دقیقه سبب افزایش قدرت درک و حافظه در رت های ماده می شود اما بر حافظه رت های نر چنین تاثیری ندارد، وی این افزایش حافظه را به تاثیر میدان الکترومغناطیسی بر هورمون های تخمدانی نسبت می دهد چرا که این هورمون ها در یادگیری و حافظه نیز نقش دارند (42). وی در سال 2010 اثرات میدان های الکترومغناطیسی با شدت بسیار کم را به تاثیر آنها بر روی مراحل مختلف عملکردی سلول ها نظیر آبشارهای مسیرهای پیام رسان سلولی، تمایز، مرگ برنامه ریزی شده، رشد و نمو، ترشحات اندوکرینی، حافظه و تخریب سلولی نسبت می دهد (22). افزایش نورون زایی و افزایش سیناپس ها در هیپوکامپ موش های C57BL/6 که به مدت 1 تا 7 ساعت در طی 7 روز در معرض میدان الکترومغناطیسی 1 میلی تسلا با فرکانس 50 هرتز قرار گرفته بودند نیز گزارش شده است (43). در بخش های مختلف مغز موش های صحرایی نر نژاد ویستار که در میدان الکترومغناطیسی 0/5 میلی تسلا با فرکانس 50 هرتز به مدت 7 روز قرار گرفتند، افزایش رادیکال های سوپر اکسیداز در

میدان الکترومغناطیسی با فرکانس کم و شدت 200 گوس دارای اثر مهاری بر آنژیوژنز در پرده کوریوآلانتوئیک جوجه است و تعداد و طول انشعابات عروقی را کاهش می دهد (33). وی در مطالعه دیگری با استفاده توام ویتامین A و میدان الکترومغناطیسی با فرکانس 50 هرتز و شدت 50 گوس، اثر تاخیری بر رشد ونمو جنین، کاهش وزن جنین، کاهش طول اندام حرکتی و تراکم سلول های غضروفی را گزارش کرده است (34). این در حالی است که در تجربه مطالعه هم زمان ویتامین A و میدان الکترومغناطیسی با فرکانس 50 هرتز و شدت 100 گوس، افزایش متوسط وزن جنین موش بلب سی، افزایش طول فرق سری - نشیمنگاهی و افزایش ضخامت اپی درم پوست جنین گزارش گردید (35). تاخیر در روند غضروف زایی در اندام های حرکتی موش های بلب سی که هم زمان با تزریق ویتامین A در روزهای 10 تا 12 بارداری، روزانه به مدت 4 ساعت در میدان های الکترومغناطیسی با فرکانس بسیار پایین 50 هرتز و شدت 100 گوس قرار داشتند نیز گزارش شده است (36). کاهش تعداد سلول های غضروفی، افزایش طول استخوان ساق و افزایش استخوان سازی در جنین جوجه هایی که در انکوباتور 56 درجه سانتی گراد به مدت 3 ساعت در دستگاه مولد میدان الکترومغناطیسی با فرکانس 50 هرتز و شدت 50 گوس قرار گرفته بودند نیز مشاهده شده است (37).

اثرات میدان الکترومغناطیسی بر غدد تناسلی و

باروری

برنابو تخریب آکروزوم و کاهش فرایندهای آکروزومی اسپرماتوزوا گرازهای وحشی در معرض تشعشعات الکترومغناطیسی با فرکانس 50 هرتز در میدان الکترومغناطیسی بیشتر از 0/5 میلی تسلا، پس از 12 ساعت در طی 6 روز را عنوان کرده است (38). به عقیده وی امواج الکترومغناطیسی با فرکانس بسیار کم سبب کاهش توانایی باروری، کاهش احتمال لقاح، تغییر شکل و عملکرد اسپرم می شود (38). برخی تجربیات نیز بر تغییر در ساختار غدد تناسلی، افزایش تعداد فولیکول های تخمدانی، تاثیر بر سیستم اندوکرینی و کاهش باروری در موش های بلب سی ماده

1، 6/2 میلی تسلا به مدت 2 ساعت در 7 روز نیز گزارش شده است (52). زارع و همکاران نیز با قرار دادن خوکچه های هندی در میدان های الکترومغناطیسی 0/013 و 0/207 میکروتسلا به مدت 2 و 4 ساعت در طی 5 روز افزایش تراکم گلیکوژن در کبد، آتروفی لوله های منی ساز، بافت های بینایی و کاهش سلول های لایدیگ در بیضه و نکروز سلولی، کاهش لوله های اداری و تورم سلول های اپی تلیالی کلیه را گزارش کرده اند (41).

مکانیسم تاثیر میدان های الکترومغناطیسی با فرکانس پایین بر سلول های زنده

اغلب لوازم الکتریکی در دامنه فرکانسی بین 50 تا 60 هرتز عمل می کنند و بیشتر مطالعات تاثیر امواج الکترومغناطیسی بر موجودات زنده در این دامنه فرکانسی انجام شده است. کالوت معتقد است که فیروپلاست های انسانی در معرض تشعشعات الکترومغناطیس با فرکانس بسیار کم دچار تخریب اکسیداتیو DNA می شوند (3). گراسی احتمال تاثیر تشعشعات الکترومغناطیس با فرکانس بسیار کم را به جای تخریب DNA، تاثیر بر ساختار آنزیم های غشا سلول و نفوذپذیری مولکول های کوچک معرفی می کند (53). در حالی که سیمکو معتقد است که ماکروفاژهای در معرض امواج الکترومغناطیس با فرکانس بسیار کم با آزاد سازی سیتوکاین و رادیکال های آزاد گونه اکسیژن فعال و گونه نیتروژن فعال سبب ناپایداری مولکول های زیستی شده و این مواد بر مسیرهای انتقال پیام درون سلولی و تنظیم بیان ژن های مخصوص پاسخ التهابی، رشد سلول، تمایز، تکثیر و پاسخ استرس سلولی تاثیر می گذارند (54). فالونه در مطالعه ای بر روی سلول های نوروبلاستوما SH-SY5Y انسانی در معرض تشعشعات الکترومغناطیس با فرکانس 50 هرتز، کاهش فعالیت های آنزیم های آنتی اکسیدانی سلولی و کاهش تحمل سلول ها نسبت به فرایندهای اکسیداتیو را عنوان کرده است (55). بینهی در گزارش دیگری بیان نمود که نانو ذرات مغناطیسی درون سلولی غلظت رادیکال های آزاد را افزایش می دهند و به طور غیر مستقیم سبب آسیب DNA و سلول های بنیادی

بخش های هیپوکامپ، مغز جلویی قشری و مرکزی، مخچه و ساقه مغز مشاهده شده است (44). بررسی اثرات کوتاه مدت و بلند مدت میدان های الکترومغناطیسی با فرکانس 25 هرتز بر روی کاهش قدرت درک فضایی و حافظه موش های در معرض تابش نیز با توجه به قدرت و مدت زمان تابش تایید شده است (45). اما در مطالعه دیگری افزایش قدرت درک فضایی و حافظه در موش های کوچک آزمایشگاهی که در میدان الکترومغناطیسی 4 میکروتسلا با فرکانس بسیار کم در مدت 20 دقیقه قرار گرفته بودند گزارش شده است (46).

اثرات امواج الکترومغناطیسی بر برخی از اندام ها

آکداغ با قرار دادن موش های صحرایی در معرض میدان الکترومغناطیسی توام 100 و 500 میکروتسلا به مدت دو ساعت در 10 ماه متوجه افزایش استرس اکسیداتیو و کاهش آنزیم های آنتی اکسیدانی در سلول های مغزی شد (47). آدی نیز حساسیت سلول های مغزی در برابر امواج الکترومغناطیسی را بیان کرده است، به عقیده وی این امواج سبب مهار سنتز نیتریک اکساید و برهم خوردن تنظیمات پیامبر ثانویه و تشکیل رادیکال های آزاد می شوند (48). ظاهرا میدان الکترومغناطیسی 0/1 تا 0/5 میلی تسلا با فرکانس 60 هرتز نیز افزایش شکست تک رشته و دو رشته DNA را در سلول های مغزی القا می کند (49). در مطالعه اثرات میدان الکترومغناطیسی بر بافت های قلبی و کبدی خوکچه های هندی در معرض میدان های 1 و 2 و 3 میلی تسلا با فرکانس 50 هرتز به مدت 4 و 8 ساعت در طی 5 روز نیز با توجه به شدت و مدت زمان تابش تغییراتی در میزان فعالیت مالون دی آلدید، نیتریک اکساید، گلو تاتیون، میلوپراکسیداز و تشکیل رادیکال های آزاد اندازه گیری شده است (50). کاهش پتانسیل آنتی اکسیدانی پلاسما و سلول های قلبی رت هایی که به مدت 60 دقیقه در طی دو هفته در میدان الکترومغناطیسی 7 میلی تسلا با فرکانس 40 هرتز بودند نیز مشاهده شده است (51). هم چنین افزایش آنزیم های آلانین آمینوترانسفراز، آسپاراتات آمینوترانسفراز و آلکالین فسفاتاز در کبد و افزایش بیلی روبین، آلبومین و پروتئین های سرم موش های در معرض میدان های الکترومغناطیس 0/04/1،

خون ساز در میدان الکترومغناطیسی 0/4 میکرو تسلا می گردد (56). یوشی کاوا تغییر در فعالیت آنزیم ها و پایداری و بقای بیشتر رادیکال های آزاد توسط میدان الکترومغناطیسی را موثر می داند، از نظر وی میدان الکترومغناطیسی با پایداری رادیکال های آزاد نیتریک اکساید درون سلولی سبب ایجاد تغییر در هدایت علائم سلولی می گردد (57). برخی نیز اثرات ژنوتوکسیکی تشعشعات میدان های مغناطیسی را به تشکیل اکسی رادیکال ها نسبت می دهند، همان طور که می دانیم گونه اکسیژن فعال یا ROS (Reactive Oxygen Species) برای فرایندهای سلولی مضر است و سبب پراکسیداسیون چربی اندامک های متصل به غشا و تخریب پروتئین های غشایی و در نهایت تخریب سلول می گردد (58). ROS هم چنین می تواند در بسیاری از مسیرهای آبخارهای سلولی و مراحل تنظیمی نظیر هموستازی کلسیم درون سلولی در مسیرهای انتقال علائم سلولی، تکثیر سلول و بیان انکوژن ها عمل کند (58). به نظر می رسد میدان های الکترومغناطیسی با افزایش میزان و انتشار رادیکال های آزاد احتمال آسیب های اکسیداتیو را افزایش می دهند (58). جلوگیری از رشد سلول های سرطانی پستان تیمار شده با غلظت 10^{-9} مول بر لیتر ملاتونین تایید شده است اما وقتی این سلول ها در میدان الکترومغناطیسی 1/2 میکرو تسلا با فرکانس کم قرار می گیرند، اثر بازدارندگی ملاتونین تضعیف می گردد. میاکوشی علت تضعیف عملکرد ملاتونین در میدان الکترومغناطیسی را به کاهش توانایی ملاتونین در تخریب رادیکال های آزاد نسبت می دهد (59). تحقیقات فراوانی، ارتباط احتمالی بین میدان های الکترومغناطیسی و گروه اکسیژنی فعال را تایید می کند که نتایج حاصل از این آزمایشات افزایش قابل توجهی در سطح پراکسید لیپید، مالون دی آلدئید پلاسما و کاهش شدید فعالیت های دیسموتاز پراکسید، کاتالاز، پراکسیداز گلو تاتیون و ردو کتاز گلو تاتیون در بافت های مغزی را نشان می دهد (60). امواج الکترو مغناطیسی با فرکانس کم بدون شک می توانند به درون سلول ها نفوذ کنند و با DNA و یا هر ترکیب

دیگری در سلول واکنش دهند (61). اما فردمن معتقد است که عوامل زیستی نظیر غشا سلول مانعی بر سر راه ورودی آنها محسوب می شوند. وی اثبات نمود که انتقال اطلاعات و مواد خارج سلولی با عبور از غشا پلاسمایی به هسته سلول صورت می گیرد (62). تشعشعات امواج الکترومغناطیس با تحریک NADH اکسیداز غشا پلاسمایی تشکیل گونه های اکسیژن فعال را افزایش می دهد و افزایش ROS با تحریک متالوپروتئینازهای ماتریکس سلولی، گیرنده های عامل رشد را فعال کرده و آبخاری از عوامل موثر در مسیر کینازهای تنظیم کننده علائم سلولی، ERK (Extra cellular signal regulated kinase) را به راه می اندازد که تنظیم کننده فعالیت رونویسی در پاسخ به تحریکات خارجی هستند (62). مسیرهای ERK سبب فعالیت پروتئین های Ras، Raf، پروتئین کینازهای فعال کننده میتوزن (MAPK) و در نهایت گسترش تومورهای سرطانی می گردند (63). هم چنین ROS با فعال کردن میزان استرس کیناز MAP (p 38 Kinase) مسیرهای ERK را برای فسفوریلاسیون پروتئین های شوک گرمایی تحریک کرده و مرگ برنامه ریزی شده را مهار می کند. مهار آپوپتوز سرطان زایی را به پیش می برد و سبب بقای سلول هایی با DNA تخریب شده می گردد (62). افزایش تولید ROS هم چنین می تواند بر تمایز سلول از طریق عمل بر روی MAP کیناز، پروتئین شوک حرارتی، اورنیتین دکربوکسیلاز و فسفو کیناز C هدف گیری کند. القاء Hsp70 توسط فرکانس بسیار پایین، هم چنین با عناصر خانواده فسفو کیناز فعال شده میتوزن آبخارهای پاسخ سلولی درگیر است که جزئی از سیستم های هدایت سیگنالی یوکاریوت ها محسوب می شوند. مسیرهای MAPK شامل آبخارهای مجزا آنزیم های تنظیم کننده هستند که فعالیت متوالی یکدیگر، بیان مجموعه خاصی از ژن ها در پاسخ به عوامل رشد، سیتوکاین ها، پیش سازهای توموری و دیگر محرک های مهم بیولوژیکی را کنترل می کنند. Hsp27 فسفریله شده (فعال) از طریق تشکیل کمپلکس با آپوپتوزوم (پروتئین Apaf-1، پرو کاسپاز 9، سیتوکروم C) مرگ برنامه ریزی شده را مهار می کند و از

فعالیت پروتئولیتیک پروکاسپاز 9 به شکل فعال کاسپاز 9 و کاسپاز 3 جلوگیری می کند (64). به نظر می رسد که افزایش رادیکال های آزاد در مراحل فیزیولوژیکی و سلولی متفاوت می تواند بر بیان ژن ها، آزاد سازی کلسیم از مخازن سلولی، رشد و مرگ سلولی تاثیر بگذارد (65). نتایج برخی تحقیقات نیز نشان می دهد که تشعشعات الکترومغناطیسی با فرکانس بسیار کم می تواند پاسخ استرس سلولی و مکانیسم حفاظتی آن را برای القا بیان ژن های پاسخ استرس (Hsp70) و تولید پروتئین های پاسخ استرس (Hsp70) افزایش دهد. بلنک معتقد است که توالی مخصوصی در DNA وجود دارد که قابل انتقال به پروموتور سایر ژن ها نیز می باشد و نسبت به تشعشعات الکترومغناطیسی با فرکانس بسیار کم حساس بوده و در برابر آن افزایش بیان ژن ها و سنتز پروتئین های ویژه ای را القا می کند (61). راورا بیان داشت که تشعشعات الکترومغناطیسی با فرکانس کم با تاثیر بر روی فعالیت آنزیم های غشایی نظیر سیتوکروم اکسیداز، سدیم پتاسیم ATP آز و آدنیلات کیناز عمل می کند و بر روی فعالیت آنزیم های درون سیتوپلاسمی تاثیری ندارد (66). مورللی نیز با به کارگیری میدان الکترومغناطیسی 2/5 میلی تسلا با فرکانس 75 هرتز به مدت 20 دقیقه متوجه کاهش 54 درصدی در فعالیت آنزیم آدنیلات کیناز در غشا سلول های استوانه ای شبکیه گاو شد، وی هم چنین تغییر در حرکات جنبشی مولکول های چربی غشا سلول، انتشار دسته ای پروتئین های سرتاسری غشاهای در معرض تابش را عنوان نمود (67). وی با مطالعه پروتئین های سرتاسری و سطحی غشای گلبول های قرمز گاو در معرض میدان الکترومغناطیسی، متوجه کاهش فعالیت برخی از پروتئین های غشایی شد در حالی که تغییری در فعالیت همین پروتئین ها در سیتوپلاسم سلول ایجاد نشده بود (67). گومز با قرار دادن دودمان های سلولی لوسمی وابسته به مغز استخوان HL-60 و ML-1 در میدان های الکترومغناطیسی با تشعشعات کم با فرکانس 50 هرتز عنوان کرد که تابش های میدان های الکترومغناطیسی سبب القا مرگ سلولی برنامه ریزی شده می گردند (68). سیمکو نیز افزایش القا

آپوپتوز را در سلول ها پس از قرارگیری در معرض تابش های 50 هرتز میدان مغناطیسی 1 میلی تسلا را مشاهده نمود (69). تجربیات دیگری نشان داده که سلول های سرطانی در معرض همزمان 0/4 تا 1 میکرو تسلا میدان الکترومغناطیسی با فرکانس 60 هرتز و دگرمازون دچار افزایش مرگ برنامه ریزی شده می شوند در حالی که قرارگیری در معرض فرکانس 50 هرتز میدان مغناطیسی 2 میلی تسلا، تاثیر اندکی بر چرخه های سلول های سرطانی بر جای می گذارد (70). به نظر می رسد علت اصلی تناقض بین نتایج آزمایشات مختلف مربوط به تفاوت شرایط مطالعه به ویژه تغییر فرکانس، شدت و نوع امواج، طول مدت پرتودهی، نوع حیوان مورد آزمایش، محتوی ژنتیکی نمونه تیمار شده و نوع میدان مولد امواج الکترومغناطیسی باشد. برخی از محققان نیز روش های مختلف تشریح جانداران و مدت زمان تاخیر بین مرگ آنها، برش مغز و یا سایر اقدام ها و نحوه آماده سازی اسلایدها را دلیل اصلی تفاوت بین پاسخ ها و نتایج آزمایشات مختلف می دانند (74-71).

نتیجه گیری

بر اساس نتایج بسیاری از مطالعات به نظر می رسد که میدان های الکترومغناطیسی با فرکانس کم تاثیری بر ساختار ژن و ژنوم ندارد، هم چنین هیچ یک از مطالعات آزمایشگاهی و اپیدمیولوژیکی از تاثیر سوء تشعشعات الکترومغناطیسی با فرکانس کم بر تولید مثل و رشد نمو انسان حمایت نمی کند و تاثیرات اندک احتمالی میدان های الکترومغناطیسی نتیجه آزمایشات متفاوت در شرایط خاص آزمایشگاهی بر روی گونه های مختلف مدل های آزمایشگاهی به دست آمده است و احتمال بروز ناهنجاری زایی در رشد و نمو اولیه جنین پستانداران بسیار ضعیف است. در هر حال به نظر می رسد که امواج الکترومغناطیسی با شدت کم ژنوتوکسیک نمی باشد اما ممکن است با تغییر در مراحل سلولی معینی به طور غیر مستقیم بر ساختار مولکول های زیستی تاثیر گذاشته و سبب بروز آسیب های ژنوتوکسیکی و سیتوتوکسیکی گردد.

Science of the Total Environment. 2010; 408(16): 3062-9.

4. Wertheimer N, Leeper E. Electrical wiring configurations and childhood cancer. American journal of epidemiology. 1979;109(3):273-84.

5. Reese J, Jostes R, Frazier M. Exposure of mammalian cells to 60-Hz magnetic or electric fields: Analysis for DNA single-strand breaks. Bioelectromagnetics. 1988;9(3):237-47.

6. Focke F, Schuermann D, Kuster N, Schär P. DNA fragmentation in human fibroblasts under extremely low frequency electromagnetic field exposure. Mutation Research/Fundamental and Molecular Mechanisms of Mutagenesis. 2010; 683(1-2):74-83.

7. Adair RK. Extremely low frequency electromagnetic fields do not interact directly with DNA. Bioelectromagnetics. 1998; 19(2): 136-7.

8. Franzellitti S, Valbonesi P, Ciancaglini N, Biondi C, Contin A, Bersani F, et al. Transient DNA damage induced by high-frequency electromagnetic fields (GSM 1.8 GHz) in the human trophoblast HTR-8/SVneo cell line evaluated with the alkaline comet assay. Mutation Research/Fundamental and Molecular Mechanisms of Mutagenesis. 2010;683(1-2):35-42.

9. Cardis E, Richardson L, Deltour I, Armstrong B, Feychting M, Johansen C, et al. The INTERPHONE study: design, epidemiological methods, and description of the study population. European Journal of Epidemiology. 2007; 22(9):647-64.

10. Rosenthal M, Obe G. Effects of 50-Hertz electromagnetic fields on proliferation and on chromosomal alterations in human peripheral lymphocytes untreated or pretreated with chemical mutagens. Mutation Research/Fundamental and Molecular Mechanisms of Mutagenesis. 1989;210(2):329-35.

11. Ivancsits S, Diem E, Pilger A, Rüdiger HW, Jahn O. Induction of DNA strand breaks by intermittent exposure to extremely-low-frequency electromagnetic fields in human diploid fibroblasts. Mutation Research/Genetic Toxicology and Environmental Mutagenesis. 2002; 519(1-2):1-13.

برخی از محققان نیز معتقدند که امواج الکترومغناطیس به تنهایی باعث ایجاد وقایع ژنتیکی نمی شوند بلکه عملکرد ژنوتوکسیک سایر عوامل فیزیکی و شیمیایی محیطی از قبیل کارسینوژن ها را افزایش می دهند. گرچه نظریات ضد و نقیض اثرات امواج الکترومغناطیس نمای مشخصی از سود و زیان آن را ارائه نمی کنند، اما به هر حال امواج الکترومغناطیس در تشخیص و درمان بسیاری از سرطان ها استفاده می شوند. مطالعات نشان می دهد که این امواج سبب القا کاهش رشد سلول ها و افزایش مرگ برنامه ریزی شده در سلول های سرطانی می شوند. با توجه به نظریات بسیار متفاوت گروه های مختلف تحقیقاتی و نظر به این که امروزه وسایل مولد میدان های الکترومغناطیسی جایگاه بسیار ارزنده ای در زندگی صنعتی رو به پیشرفت انسان ها (تفریحی، تشخیصی، رفاهی) دارند، و آسایش و آرامش زندگی امروزی بدون حضور این دستگاه ها امکان پذیر نمی باشد، به منظور حفاظت از سلامتی جسمی انسان ها، تغییر در استانداردهای جهانی میدان های الکترومغناطیسی، استفاده از وسایلی با میدان های ضعیف تر، حضور کمتر در معرض میدان های الکترومغناطیسی و رعایت بیشتر افراد به خصوص در مراحل بحرانی زندگی (نظیر دوران بارداری و کودکی)، عدم استفاده هم زمان از انواع دستگاه های مولد میدان های الکترومغناطیسی به همراه مصرف آنتی اکسیدان های نظیر ویتامین های A، C، E و جای سبز در رژیم غذایی روزمره افراد توصیه می شود.

منابع

1. Kundi M, Hardell L, Sage C, Sobel E. Electromagnetic fields and the precautionary principle. Environmental health perspectives. 2009; 117(11):A484-5.
2. Khurana VG, Teo C, Kundi M, Hardell L, Carlberg M. Cell phones and brain tumors: a review including the long-term epidemiologic data. Surgical neurology. 2009;72(3):205-14.
3. Calvente I, Fernandez M, Villalba J, Olea N, Nuñez M. Exposure to electromagnetic fields (non-ionizing radiation) and its relationship with childhood leukemia: a systematic review.

12. Scarfi MR, Sannino A, Perrotta A, Sarti M, Mesirca P, Bersani F. Evaluation of genotoxic effects in human fibroblasts after intermittent exposure to 50 Hz electromagnetic fields: a confirmatory study. *Radiation research*. 2005; 164(3): 270-6.
13. Ivancsits S, Pilger A, Diem E, Jahn O, Rüdiger HW. Cell type-specific genotoxic effects of intermittent extremely low-frequency electromagnetic fields. *Mutation Research/Genetic Toxicology and Environmental Mutagenesis*. 2005; 583(2): 184-8.
14. Ivancsits S, Diem E, Jahn O, Rüdiger HW. Intermittent extremely low frequency electromagnetic fields cause DNA damage in a dose-dependent way. *International archives of occupational and environmental health*. 2003; 76(6): 431-6.
15. Suzuki Y, Ikehata M, Nakamura K, Nishioka M, Asanuma K, Koana T, et al. Induction of micronuclei in mice exposed to static magnetic fields. *Mutagenesis*. 2001; 16(6): 499-501.
16. Tanzarella C. Clastogenicity and aneuploidy in newborn and adult mice exposed to 50 Hz magnetic fields. *Int J Radiat Biol*. 2006; 82(8):561-7.
17. Baharara J, Hadad F, Ashraf A, Khanderoo E. The effect of extremely low frequency electromagnetic field (50Hz) on induction of chromosomal damages on bone marrow erythrocytes of male Balb/C mouse. *Arak Medical University Journal*. 2008;11(2):19-26.[persian]
18. Van Den Heuvel R, Leppens H, Nemethova G, Verschaeve L. Haemopoietic cell proliferation in murine bone marrow cells exposed to extreme low frequency (ELF) electromagnetic fields. *Toxicology in vitro*. 2001; 15(4-5):351-5.
19. Rodríguez de la Fuente AO, Alcocer-González JM, Antonio Heredia-Rojas J, Balderas-Candanosa I, Rodríguez-Flores LE, Rodríguez-Padilla C, et al. Effect of 60 Hz electromagnetic fields on the activity of hsp70 promoter: An in vitro study. *Cell biology international*. 2009; 33(3):419-23.
20. Cain CD, Thomas DL, Adey WR. 60 Hz magnetic field acts as co-promoter in focus formation of C3H/10T1/2 cells. *Carcinogenesis*. 1993;14(5):955-60.
21. Shi Y, Bao X, Huo X, Shen Z, Song T. 50-Hz magnetic field (0.1-mT) alters c-fos mRNA expression of early post implantation mouse embryos and serum estradiol levels of gravid mice. *Birth Defects Research Part B: Developmental and Reproductive Toxicology*. 2005; 74(2):196-200.
22. Reyes-Guerrero G, Guzmán C, García DE, Camacho-Arroyo I, Vázquez-García M. Extremely low-frequency electromagnetic fields differentially regulate estrogen receptor-[alpha] and-[beta] expression in the rat olfactory bulb. *Neuroscience letters*. 2010; 471(2):109-13.
23. Löschner W, Mevissen M. Animal studies on the role of 50/60-Hertz magnetic fields in carcinogenesis. *Life sciences*. 1994; 54(21): 1531-43.
24. McCormick DL, Boorman GA, Findlay JC, Hailey JR, Johnson TR, Gauger JR, et al. Chronic toxicity/oncogenicity evaluation of 60 Hz (power frequency) magnetic fields in B6C3F1 mice. *Toxicologic pathology*. 1999; 27(3): 279-85.
25. Erdal N, Erdal ME, Gürgül S. Lack of Effect of Extremely Low Frequency Electromagnetic Fields on Cyclin-Dependent Kinase 4 Inhibitor Gene p18 INK4C in Electric Energy Workers. *Archives of medical research*. 2005; 36(2):120-3.
26. Antonopoulos A, Yang B, Stamm A, Heller WD, Obe G. Cytological effects of 50 Hz electromagnetic fields on human lymphocytes in vitro. *Mutation Research Letters*. 1995; 346(3): 151-7.
27. Kwee S, Raskmark P. Changes in cell proliferation due to environmental non-ionizing radiation 1. ELF electromagnetic fields. *Bioelectrochemistry and bioenergetics*. 1995; 36(2):109-14.
28. Landry PS, Sadasivan KK, Marino AA, Albright JA. Electromagnetic fields can affect osteogenesis by increasing the rate of differentiation. *Clinical orthopaedics and related research*. 1997; 338:262.
29. Ruiz GMJ, Pastor VJM, De La Pena L, Gil CL, Martínez MM. Growth modification of human colon adenocarcinoma cells exposed to a

- low-frequency electromagnetic field. *Journal of physiology and biochemistry*. 1999; 55(2):79-84.
30. Cho YH, Chung HW. The effect of extremely low frequency electromagnetic fields (ELF-EMF) on the frequency of micronuclei and sister chromatid exchange in human lymphocytes induced by benzo (a) pyrene. *Toxicology letters*. 2003; 143(1):37-44.
31. Balanejad S, Parivar K, Baharara J, Mohseni Kochesfahani H. Effect of Combined rapamycin and of low frequency electromagnetic field on angiogenesis. *Journal of Shahrekord University of Medical Science* 2010; 11(3):70-76.[persian]
32. Huuskonen H, Juutilainen J, Komulainen H. Effects of low-frequency magnetic fields on fetal development in rats. *Bioelectromagnetics*. 1993; 14(3):205-13.
33. Baharara J, Ashraf AL, Balanejad S, Mosavi S. Inhibitory effect of low frequency electromagnetic field on angiogenesis in the chick chorioallantoies. *Journal Of zahedan University Of Medical Science*. 2010; 12(2):8-12.[persian]
34. Baharara J, Sabori M. Effect of Combined application of vitamin A and low frequency electromagnetic field (50Hz) on limb bud development in chick embryos. *Journal Of zahedan University Of Medical Science*. 2010; 12(2):7-11.[persian]
35. Baharara J, Parivar K, Ashraf AL, Rostami R. Effect of Combined of vitamin A and low frequency electromagnetic field on fetal skin development of Balb/c mice. *Journal Of Arak University Of Medical Science*. 2009; 12(4):10-18.[persian]
36. Baharara J, Ashraf AL, Madadi M. Effect of Combined of vitamin A and low frequency electromagnetic field (50Hz) on limb bud development of Balb/c mice embryos. *Journal Of Shahrekord University Of Medical Science*. 2010; 12(2):7-14.[persian]
37. Baharara J, Sabori M. Effect of low frequency electromagnetic field on chondrogenesis and osteogenesis of embryonic chick limb bud. *Journal Of Semnan University Of Medical Science*. 2010; 12(1):66-72. [persian]
38. Bernabè N, Tettamanti E, Russo V, Martelli A, Turriani M, Mattoli M, et al. Extremely low frequency electromagnetic field exposure affects fertilization outcome in swine animal model. *Theriogenology*. 2010; 73(9):1293-305.
39. Baharara J, Parivar K, Oryan Sh. and Ashraf AR. Effects of low frequency electromagnetic fields on gonads and fertility of female Balb/c mouse. *Journal of Arak University of Medical Sciences*. 2006; 9(2):1-11.[persian]
40. Poursis AF. Reproductive and developmental effects of EMF in vertebrate animal models. *Pathophysiology*. 2009; 16(2): 179-89.
41. Zare S, Alivandi S, Ebadi A. Histological studies of the low frequency electromagnetic fields effect on liver, testes and kidney in guinea pig. *World Applied Sciences Journal*. 2007;2(5):509-11.
42. Reyes-Guerrero G, Vázquez-García M, Elias-Viñas D, Donatti-Albarrán OA, Guevara-Guzmán R. Effects of 17 β -estradiol and extremely low-frequency electromagnetic fields on social recognition memory in female rats: A possible interaction? *Brain research*. 2006; 1095(1): 131-8.
43. Cuccurazzu B, Leone L, Podda MV, Piacentini R, Riccardi E, Ripoli C, et al. Exposure to extremely low-frequency (50 Hz) electromagnetic fields enhances adult hippocampal neurogenesis in C57BL/6 mice. *Experimental neurology*. 2010; 226(1):173-82.
44. Jelenković A, Janać B, Pešić V, Jovanović D, Vasiljević I, Prolić Z. Effects of extremely low-frequency magnetic field in the brain of rats. *Brain research bulletin*. 2006;68(5):355-60.
45. Fu Y, Wang C, Wang J, Lei Y, Ma Y. Long-term exposure to extremely low-frequency magnetic fields impairs spatial recognition memory in mice. *Clinical and Experimental Pharmacology and Physiology*. 2008; 35(7):797-800.
46. Tehranipour M, Kafee M. Effects of Exposure to Extremely Low-Frequency Magnetic Field of 4 μ T Intensity on Spatial Memory and Learning in Mice. *Journal of Biological Sciences*. 2010;10(1):67-70.
47. Akdag MZ, Dasdag S, Ulukaya E, Uzunlar AK, Kurt MA, Taşkın A. Effects of extremely

- low-frequency magnetic field on caspase activities and oxidative stress values in rat brain. *Biological trace element research*. 2010;138(1):238-49.
48. Adey WR. Electromagnetic fields, the modulation of brain tissue functions—a possible paradigm shift in biology. *International encyclopedia of neuroscience*. 2003;3(1):1-21.
49. Lai H, Singh NP. Magnetic-field-induced DNA strand breaks in brain cells of the rat. *Environmental health perspectives*. 2004; 112(6): 687-94.
50. Canseven AG, Coskun S, Seyhan N. Effects of various extremely low frequency magnetic fields on the free radical processes, natural antioxidant system and respiratory burst system activities in the heart and liver tissues. *Indian journal of biochemistry & biophysics*. 2008; 45(5): 326-31.
51. Goraca A, Piechota A, Huk-Kolega H. Effect of alpha-Lipoic acid on LPS-induced oxidative stress in the heart. *Acta physiologica Polonica*. 2009; 60(1):61-8.
52. YEI-Ashry M, Ibrahim M, Ali E. The Influence of 50 Hz Magnetic Field on Liver enzymes. *Suez Canal Univ Med J* 2008; 11(1): 59 -64. Available from: <http://www.scumj.eg.net/pdf/vol11-n1-2008/10.pdf>.
53. Grassi C, D'Ascenzo M, Torsello A, Martinotti G, Wolf F, Cittadini A, et al. Effects of 50Hz electromagnetic fields on voltage-gated Ca²⁺ channels and their role in modulation of neuroendocrine cell proliferation and death. *Cell Calcium*. 2004; 35(4):307-15.
54. Simkó M. Induction of cell activation processes by low frequency electromagnetic fields. *TheScientificWorld Journal*. 2004; 4:4-22.
55. 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. *The International Journal of Biochemistry & Cell Biology*. 2007; 39(11):2093-106.
56. Binhi V. Do naturally occurring magnetic nanoparticles in the human body mediate increased risk of childhood leukaemia with EMF exposure? *International Journal of Radiation Biology*. 2008; 84(7):569-79.
57. Yoshikawa T, Tanigawa M, Tanigawa T, Imai A, Hongo H, Kondo M. Enhancement of nitric oxide generation by low frequency electromagnetic field. *Pathophysiology*. 2000; 7(2):131-5.
58. Regoli F, Gorbi S, Machella N, Tedesco S, Benedetti M, Bocchetti R, et al. Pro-oxidant effects of extremely low frequency electromagnetic fields in the land snail *Helix aspersa*. *Free Radical Biology and Medicine*. 2005; 39(12):1620-8.
59. Miyakoshi J. Biological responses to extremely low-frequency electromagnetic fields. *Journal of Dermatological Science Supplement*. 2006;2(1):S23-S30.
60. Sahar M, Awad S. Health risks of electromagnetic radiation from mobile phone on brain of rat. *Journal Of Applied Sciences Res*. 2008;4(12):1994 -2000.
61. Blank M, Goodman R. Electromagnetic fields stress living cells. *Pathophysiology*. 2009; 16(2-3):71-8.
62. Friedman J, Kraus S, Hauptman Y, Schiff Y, Seger R. Mechanism of short-term ERK activation by electromagnetic fields at mobile phone frequencies. *The Biochemical Journal*. 2007; 405(Pt 3):559-68.
63. Desai N, Sharma R, Makker K, Sabanegh E, Agarwal A. Physiologic and pathologic levels of reactive oxygen species in neat semen of infertile men. *Fertility and sterility*. 2009; 92(5): 1626-31.
64. Makker K, Varghese A, Desai NR, Mouradi R, Agarwal A. Cell phones: modern man's nemesis? *Reproductive Biomedicine Online*. 2009; 18(1): 148-57.
65. Dai Q, Shu XO, Li H, Yang G, Shrubsole MJ, Cai H, et al. Is green tea drinking associated with a later onset of breast cancer? *Annals of epidemiology*. 2010;20(1):74-81.
66. Ravera S, Repaci E, Morelli A, Pepe I, Botter R, Beruto D. Effects of extremely low frequency electromagnetic fields on the adenylate kinase activity of rod outer segment of bovine retina. *Bioelectromagnetics*. 2004; 25(7): 545-51.

67. Morelli A, Ravera S, Panfoli I, Pepe I. Effects of extremely low frequency electromagnetic fields on membrane-associated enzymes. *Archives of biochemistry and biophysics*. 2005;441(2):191-8.
68. Ruiz Gomez M, De la Pena L, Pastor J, Martinez Morillo M, Gil L. 25 Hz electromagnetic field exposure has no effect on cell cycle distribution and apoptosis in U-937 and HCA-2/1cch cells. *Bioelectrochemistry*. 2001; 53(1):137-40.
69. Simko M, Kriehuber R, Weiss D, Luben R. Effects of 50 Hz EMF exposure on micronucleus formation and apoptosis in transformed and nontransformed human cell lines. *Bioelectromagnetics*. 1998;19(2):85-91.
70. Ismael SJ, Callera F, Garcia AB, Baffa O, Falcão RP. Increased dexamethasone-induced apoptosis of thymocytes from mice exposed to long-term extremely low frequency magnetic fields. *Bioelectromagnetics*. 1998;19(2):131-5.
71. Phillips J, Singh N, Lai H. Electromagnetic fields and DNA damage. *Pathophysiology*. 2009; 16(2-3):79-88.
72. Beraldi R, Sciamanna I, Mangiacasale R, Lorenzini R, Spadafora C. Mouse early embryos obtained by natural breeding or in vitro fertilization display a differential sensitivity to extremely low-frequency electromagnetic fields. *Mutation Research/ Genetic Toxicology and Environmental Mutagenesis*. 2003; 538(1-2): 163-70.
73. Ruediger HW. Genotoxic effects of radiofrequency electromagnetic fields. *Pathophysiology*. 2009; 16(2-3):89-102.
74. Lai H. Evidence for genotoxic effects (RFR and ELF genotoxicity). Department of Bio engineering University of Washington USA. 2007; 6:1-43.