Arak Medical University Journal (AMUJ) *Review Article*
2012; 15(66): 80-93

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

مقاله مروری

مجله علمی پژوهشی دانشگاه علوم پزشکی اراک
سال 15، شماره 7 (شماره پیاپی 66)، آذر 1391، 93-80

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

جواد بهارآرا[1*]، زهرا زاهدی فر[2]

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 افزیش روزافزون کاربرد وسایلی نظیر رادیو، تلویزیون، رادار، رایانه، ابزارهای تشخیصی پزشکی (نظیر عکس‌برداری مغناطیسی، سونوگرافی با لیزر) ایستگاه‌های پایه و خطوط فشار قوی، میزان تشعشات الکترومغناطیس به خصوص تشعشات با فرکانس کم در محیط پیرامون ما افزایش یافته است(1). میدان‌های الکتریکی ایجاد شده با ولتاژهای مختلف و میدان‌های مغناطیسی حاصل از آن را میدان الکترومغناطیسی گویند، این امواج در محیط با طول موج و فرکانس معین با سرعت نور منتشر می‌شوند که به تشعشعات الکترومغناطیسی معروف هستند. میزان جذب و نفوذ انرژی تشعشعات الکترومغناطیسی به فرکانس، نوع تشعشات و نوع بافتی که آن را جذب می‌کند، بستگی دارد(2). بر اساس نوع تاثیری که تشعشعات الکترومغناطیسی بر موجودات زنده می‌گذارند، آنها را به دو گروه تقسیم‌بندی کرده‌اند. امواج یونیزان به طور مستقیم و غیر مستقیم اثرات بیولوژیکی داشته، سبب تخریب مولکول DNA و آسیب به مواد ژنتیکی می‌شوند و برای سلامتی انسان و موجودات زنده بسیار خطرناک هستند. تشعشاتی با فرکانس بالا، طول موج کوتاه و قدرت نفوذپذیری زیاد نظیر اشعه گاما، اشعه X و اشعه‌های کیهانی از این جمله‌اند.گروه دوم شامل تابش‌های غیر یونیزان با فرکانس پایین، طول موج بلند و قدرت نفوذ کم است که ظاهرا انرژی کافی برای شکستن پیوندهای شیمیایی مولکول‌ها و اتم‌ها را ندارند(2). به نظر می‌رسد که بیشتر تشعشات محیط اطراف ما از نوع تشعشعات الکترومغناطیسی با فرکانس کم و تشعشعات الکترومغناطیسی با فرکانس بسیار کم می‌باشد که در دامنه فرکانسی بین صفر هرتز تا 300 کیلو هرتز عمل می‌کنند و میزان آن به طور مرتب در زندگی صنعتی روزمره انسان، در حال افزایش است(3). گزارشات متعدد ضد و نقیضی درباره اثرات میدان‌های 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 می‌کردند، گزارش نمودند(4). به نظر می‌رسد که انرژی میدان‌های الکترومغناطیسی به طور فیزیکی و مستقیم، قادر به شکستن تک رشته و یا دو رشته DNA سلول‌های در معرض تشعشعات نمی‌باشد(5). مطالعات فراوانی نشان می‌دهند که میدان‌های الکترومغناطیسی با تغییر در عملکرد و یا مراحل عملکردی سلول‌ها، پاسخ‌های متنوعی را در موجودات زنده القاء می‌کنند که از آن جمله می‌توان به تاثیر بر روی تکثیر و تمایز سلولی، اختلال در چرخه سلولی، القا مرگ برنامه‌ریزی شده، اختلال در ارتباطات بین سلولی، رونویسی دزوکسی ریبونوکلئیک اسید، بیان ژن، افزایش بروز تخریب DNA ، تولید رادیکال‌های آزاد و تغییر در فعالیت‌های آنزیمی آنتی اکسیدانی اشاره نمود(6). شواهد معتبری مبنی بر این که امواج الکترومغناطیس سبب افزایش دمای بافت‌ها شوند، ارائه نشده است و بیشتر اثرات القایی تابش‌های الکترومغناطیس در تخریب DNA ، ایجاد سرطان، جهش و آسیب‌های ژنوتوکسیکی به اثرات غیر گرمایی این امواج نسبت داده می‌شود(7). میزان تغییرات سلولی و مولکولی القایی تابش‌های این امواج به طول مدت تابش، میزان نفوذپذیری آن در بافت‌ها و تولید گرما بستگی دارد که این عوامل نیز خود به شدت و فرکانس امواج وابسته‌اند(8). پاسخ سلول نیز با توجه به ویژگی‌های امواج نظیر شکل موج (سینوسی یا مربعی)، میزان تغییرات، تاثیرات بیولوژیکی و نوع سلول‌هایی که در معرض تابش قرار می‌گیرند، متفاوت است(8). واحد اندازه‌گیری 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 (محدودیت‌های مربوط به قرار گرفتن در معرض تابش را محدودیت پایه گویند). این میزان

توسط هیات‌های استاندارد ایمنی 0/4 وات بر کیلوگرم برای تابش‌های کنترل شده و 0/8 وات بر کیلوگرم برای تابش‌های کنترل نشده توصیه شده است. در هر مورد متوسط زمان برای تعیین SAR تمام بدن 6 دقیقه است که معادل زمان تعادل حرارتی بدن می‌باشد(9). افزایش بیش از حد تشعشعات الکترومغناطیسی با فرکانس پایین، نگرانی‌های 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 بزرگ‌ترین دغدغه‌های محققین و مسئولان سلامت جوامع مختلف محسوب می‌شود. در این مقاله هدف ما مرور جدیدترین مقالات منتشر شده در مورد اثرات زیستی میدان‌های الکترومغناطیسی با فرکانس کم بر برخی از فعالیت‌های زیستی جانوران می‌باشد. نتایج مطالعات اپیدمیولوژیکی، مولکولی و بیوفیزیکی اثرات موثر و مضر تشعشعات میدان‌های الکترومغناطیسی بسیار ضد و نقیض به نظر می‌رسد ولی اکثر این مطالعات نشان می‌دهند که میدان‌های الکترومغناطیس حاصل از وسایل الکتریکی اثرات سوء چندانی بر سلامت جسمی موجودات زنده ندارد، اما وجود ارتباط بین تشعشعات میدان‌های الکترومغناطیسی و بروز سرطان در برخی از مطالعات اثبات شده است(8، 10).

اثرات ژنوتوکسیک میدان‌های الکترومغناطیسی با فرکانس پایین

تاثیر میدان‌های مغناطیسی با فرکانس بسیار کم بر ژنوم در موجودات آزمایشگاهی مختلفی بررسی شده و نتایج متفاوتی به دست آمده است. برخی از مطالعات افزایش آسیب‌های DNA را در شرایط ویژه گزارش کرده‌اند(11) اما برخی دیگر نیز این قبیل اثرات را تایید نکرده‌اند(12). اغلب مطالعات انجام شده بر روی لنفوسیت‌ها، مونوسیت‌ها و سلول‌های ماهیچه اسکلتی اثرات ژنوتوکسیک را نشان نمی‌دهند در حالی که برخی مطالعات دیگر بر روی فیبروبلاست‌ها، ملانوسیت‌ها و سلول‌های گرانولوزای موش‌های صحرایی اثرات قابل توجه میدان‌های الکترومغناطیسی با فرکانس‌های مختلف را نشان داده‌اند(13). دیم با قرار دادن فیبروبلاست‌های انسانی به مدت 15 ساعت در معرض 50 هرتز میدان مغناطیسی متناوب 1 میلی تسلا (5 دقیقه روشن، 10 دقیقه خاموش) افزایش شکست رشته‌های DNA را مشاهده کرده است(14). نتایج برخی تحقیقات دیگر بیان‌گر آن است که میدان مغناطیسی با فرکانس بسیار کم باعث القای آسیب‌های کروموزومی در اریتروسیت‌های پلی کروماتیک مغز استخوان موش نر بالب سی و افزایش فراوانی میکرونوکلئوس در خون نوزادان تازه متولد شده موش‌های مادری که در دوران بارداری تحت تابش میدان‌های الکترومغناطیسی با فرکانس کم قرار گرفته بودند، می‌شود(15، 16). بهارآرا نیز افزایش القای آسیب‌های کروموزومی و تشکیل میکرونوکلئوس در اریتروسیت‌های پلی کروماتیک مغز استخوان موش‌های نر بالب سی را که به مدت 12 ساعت در طی 4 روز در میدان الکترومغناطیسی با فرکانس 50 هرتز وشدت 50 گوس قرار گرفته بودند، گزارش کرده است(17). هیوول با قرار دادن سلول‌های مغز استخوان موش‌های نر وماده در میدان مغناطیسی 80 میکرو تسلا با فرکانس 50 هرتز مشاهده نمود که تکثیر و تمایز سلول‌های بنیادی مولد گرانولوسیت و ماکروفاژ در ماده‌ها کاهش می‌یابد اما در نرها تغییری ایجاد نمی‌شود(18). نتایج برخی از گزارشات نشان می‌دهد که میدان الکترومغناطیسی با فرکانس کم افزایش میزان فعالیت DNA ، تقویت رونویسی RNA و افزایش تکثیر سلولی را القا می‌کند(19). در مطالعه دیگری با قرار دادن ژن‌های 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 اندازه‌گیری شده است(20). تغییر در بیان mRNA نیز در بافت‌های مختلف بدن موش‌های صحرایی گزارش شده است(21). اما مطالعه بر روی mRNA گیرنده‌های استروژنی پیاز بویایی موش‌های صحرایی نر و ماده در معرض تشعشعات الکترومغناطیسی با فرکانس بسیار کم تغییری در بیان mRNA گیرنده‌های بویایی نشان نمی‌دهد(22).

تاثیر تشعشات میدان‌های الکترومغناطیسی بر سرطان‌زایی

برخی از محققین معتقدند که تشعشات الکترومغناطیسی با فرکانس کم همانند امواج یونیزان عمل کرده و با القا جهش سبب تخریب DNA و بروز سرطان می‌شوند(10). در برخی دیگر از مطالعات نیز از تشعشات الکترومغناطیسی به عنوان عاملی برای گسترش بیشتر و پیشرفت سلول‌های سرطانی در جمعیت‌های سلولی یاد شده است(23). در حالی که در تجربه دیگری قرار دادن حیوانات آزمایشگاهی در معرض میدان‌های 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 ژن‌های در معرض تشعشات الکترومغناطیس با فرکانس بسیار کم بررسی شد اما هیچ‌گونه افزایش جهش در عوامل تنظیم کننده پیشرفت چرخه سلولی پستانداران و بروز سرطان مشاهده نشد(25). تجربیات هیوول نیز نشان می‌دهد که تشعشات الکترومغناطیس با فرکانس بسیار کم ژنوتوکسیک نبوده و نقشی در شروع بروز سرطان ندارند اما می‌توانند با تحریک تکثیر و تقسیم سلول‌ها سبب پیشرفت و رشد سلول‌های سرطانی شوند(18). آنتونوپولوس نیز با تحریک چرخه سلولی لنفوسیت‌های انسانی در معرض میدان مغناطیسی 5 میلی تسلا با فرکانس 50 هرتز، هیچ تخریب سیتوژنتیکی ناشی از بروز سرطان و یا پیشرفت سلول‌های 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 سلول‌های لنفوسیت گزارش کرده است(26). راسک مارک نیز افزایش میزان تکثیر در سلول‌های در معرض میدان الکترو مغناطیسی 80 میکرو تسلا با فرکانس 50 هرتز را گزارش کرده است(27) اما هیچ تغییری بر روی میزان تکثیر و تمایز در سلول‌های 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 دودمان‌های سلول‌های 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 لنفوسیت‌های 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 میکرونوکلئوس‌ها و تبادلات کروماتیدها ایجاد نکرده بود(30). چو هم‌چنین در مطالعه هم‌زمان میدان الکترو مغناطیسی 0/7 میلی تسلا با فرکانس 60 هرتز و تشعشات یونیزان، افزایش فراوانی جهش‌های نقطه‌ای را در برخی از ژن‌ها گزارش کرده است(30). کیین نیز نشان داد که میدان مغناطیسی با فرکانس کم هم‌زمان با تیمار با یک ماده پیش برنده سرطان مانند پروبول استر سبب تغییر شکل سلول‌ها در محیط کشت می‌شود(20).

اثرات میدان های الکترو مغناطیسی بر رشد و نمو جنین

بالانژاد افزایش اثر مهاری راپامایسین بر آنژیوژنز در پرده کوریوآلانتوئیک جنین جوجه‌های در معرض تشعشات میدان‌های الکترومغناطیسی با شدت 400 گوس را گزارش کرده است(31). به عقیده وی میدان‌های الکتریکی پالسی و مستقیم با فرکانس کم می‌تواند سبب کاهش وزن جنین در مراحل اولیه رشد و نمو جنینی جوجه، کاهش تعداد و انشعابات عروقی گردد(31). در حالی که هوسکونن با مطالعه بر روی موش‌های صحرایی نژاد ویستار باردار در معرض میدان الکترومغناطیسی با فرکانس کم تغییری در وزن بدن و تعداد جنین‌ها 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). بهارآرا با قرار دادن تخم‌ها از روز دهم انکوباسیون در میدان الکترو مغناطیسی با فرکانس 50 هرتز و شدت‌های مختلف 100، 200 و300 گوس متوجه شد که

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 می‌دهد(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 سلول‌های غضروفی را گزارش کرده است(34). این در حالی است که در تجربه مطالعه هم‌زمان ویتامین A و میدان الکترومغناطیسی با فرکانس 50 هرتز و شدت 100 گوس، افزایش متوسط وزن جنین موش بالب سی، افزایش طول فرق سری - نشیمنگاهی و افزایش ضخامت اپی درم پوست جنین گزارش گردید(35). تاخیر در روند غضروف زایی در اندام‌های حرکتی موش‌های بالب سی که هم‌زمان با تزریق ویتامین A در روزهای 10 تا 12 بارداری، روزانه به مدت 4 ساعت در میدان‌های الکترومغناطیسی با فرکانس بسیار پایین 50 هرتز و شدت 100 گوس قرارداشتند نیز گزارش شده است(36). کاهش تعداد سلول‌های غضروفی، افزایش طول استخوان ساق و افزایش استخوان سازی در جنین جوجه‌هایی 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 می‌شود(38). برخی تجربیات نیز بر تغییر در ساختار غدد تناسلی، افزایش تعداد فولیکول‌های تخمدانی، تاثیر بر سیستم اندوکرینی و کاهش باروری در موش‌های بالب سی ماده 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 میدان‌های مغناطیسی بین 6/25- 0/1 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 خوکچه‌های هندی در میدان‌های الکترومغناطیسی 0/013 و 0/207 میکروتسلا به مدت 2 و 4 ساعت در طی 5 روز، آتروفی لوله‌های منی ساز و بافت‌های بینابینی و کاهش سلول‌های لایدیگ را در بیضه مشاهده نموده‌اند(41).

اثرات امواج الکترومغناطیسی برحافظه

مطالعات گوررو نشان می‌دهد که میدان الکترومغناطیس با فرکانس بسیار کم به مدت 300 دقیقه سبب افزایش قدرت درک و حافظه در رت‌های ماده می‌شود اما بر حافظه رت‌های نر چنین تاثیری ندارد، وی این افزایش حافظه را به تاثیر میدان الکترومغناطیسی بر هورمون‌های تخمدانی نسبت می‌دهد چرا که این هورمون‌ها در یادگیری و حافظه نیز نقش دارند(42). وی در سال 2010 اثرات میدان‌های الکترومغناطیسی با شدت بسیار کم را به تاثیر آنها بر روی مراحل مختلف عملکردی سلول‌ها نظیر آبشارهای مسیرهای پیام رسان سلولی، تمایز، مرگ برنامه‌ریزی شده، رشد و نمو، ترشحات اندوکرینی، حافظه و تخریب سلولی نسبت می‌دهد(22). افزایش نورون زایی و افزایش سیناپس‌ها در هیپوکامپ موش‌های 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 بخش‌های مختلف مغز موش‌های صحرایی نر نژاد ویستار که در میدان الکترومغناطیسی 0/5 میلی تسلا با فرکانس 50 هرتز به مدت 7 روز قرار گرفتند، افزایش رادیکال‌های سوپر اکسیداز در

بخش‌های هیپوکامپ، مغز جلویی قشری و مرکزی، مخچه و ساقه مغز مشاهده شده است(44). بررسی اثرات کوتاه مدت و بلند مدت میدان‌های الکترومغناطیسی با فرکانس 25 هرتز بر روی کاهش قدرت درک فضایی و حافظه موش‌های 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 موش‌های 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 موش‌های صحرایی در معرض میدان الکترومغناطیسی توام 100 و500 میکرو تسلا به مدت دو ساعت در 10 ماه متوجه افزایش استرس اکسیداتیو و کاهش آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی در سلول‌های مغزی شد(47).آدی نیز حساسیت سلول‌های مغزی در برابر امواج الکترومغناطیسی را بیان کرده است، به عقیده وی این امواج سبب مهار سنتز نیتریک اکساید و بر هم خوردن تنظیمات پیامبر ثانویه و تشکیل رادیکال‌های آزاد می‌شوند(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 سلول‌های مغزی القا می‌کند(49). در مطالعه اثرات میدان الکترومغناطیسی بر بافت‌های قلبی و کبدی خوکچه‌های هندی در معرض میدان‌های 1 و 2 و 3 میلی تسلا با فرکانس 50 هرتز به مدت 4 و8 ساعت در طی 5 روز نیز با توجه به شدت و مدت زمان تابش تغییراتی در میزان فعالیت مالون دی آلدهید، نیتریک اکساید، گلوتاتیون، میلوپراکسیداز و تشکیل رادیکال‌های آزاد اندازه‌گیری شده است(50). کاهش پتانسیل آنتی‌اکسیدانی پلاسما و سلول‌های قلبی رت‌هایی 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). هم‌چنین افزایش آنزیم‌های آلانین آمینوترانسفراز، آسپارتات آمینوترانسفراز وآلکالین فسفاتاز در کبد و افزایش بیلی روبین، آلبومین و پروتئین‌های سرم موش‌های در معرض میدان‌های الکترومغناطیس 1/ ۴، ۰/۰، 1، 6/2 میلی تسلا به مدت 2 ساعت در 7 روز نیز گزارش شده است(52). زارع و همکاران نیز با قرار دادن خوکچه‌های هندی در میدان‌های الکترومغناطیسی 0/013 و 0/207 میکروتسلا به مدت 2 و 4 ساعت در طی 5 روز افزایش تراکم گلیکوژن در کبد، آتروفی لوله‌های منی ساز، بافت‌های بینابینی و کاهش سلول‌های لایدیگ در بیضه و نکروز سلولی، کاهش لوله‌های ادراری و تورم سلول‌های اپی تلیالی کلیه را گزارش کرده‌اند(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 می‌کنند و بیشتر مطالعات تاثیر امواج الکترومغناطیسی بر موجودات زنده در این دامنه فرکانسی انجام شده است. کالونت معتقد است که فیبروبلاست‌های انسانی در معرض تشعشعات الکترومغناطیس با فرکانس بسیار کم دچار تخریب اکسیداتیو DNA می‌شوند(3). گراسی احتمال تاثیر تشعشعات الکترومغناطیس با فرکانس بسیار کم را به جای تخریب DNA ، تاثیر بر ساختار آنزیم‌های غشا سلول و نفوذپذیری مولکول‌های کوچک معرفی می‌کند(53). در حالی که سیمکو معتقد است که ماکروفاژهای در معرض امواج الکترومغناطیس با فرکانس بسیار کم با آزاد سازی سیتوکاین 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 مخصوص پاسخ التهابی، رشد سلول، تمایز، تکثیر و پاسخ استرس سلولی تاثیر می‌گذارند(54). فالونه در مطالعه‌ای بر روی سلول‌های نوروبلاستومای SH-SY5Y انسانی در معرض تشعشعات الکترومغناطیس با فرکانس 50 هرتز، کاهش فعالیت‌های آنزیم‌های آنتی اکسیدانی سلولی و کاهش تحمل سلول‌ها نسبت به فرایندهای اکسیداتیو را عنوان کرده است(55). بینهی در گزارش دیگری بیان نمود که نانو ذرات مغناطیسی درون سلولی غلظت رادیکال‌های آزاد را افزایش می‌دهند و به طور غیر مستقیم سبب آسیب DNA و سلول‌های بنیادی

خون ساز در میدان الکترومغناطیسی 0/4 میکرو تسلا می‌گردد(56). یوشی کاوا تغییر در فعالیت آنزیم‌ها و پایداری و بقای بیشتر رادیکال‌های آزاد توسط میدان الکترومغناطیسی را موثر می‌داند، از نظر وی میدان الکترومغناطیسی با پایداری رادیکال‌های آزاد نیتریک اکساید درون سلولی سبب ایجاد تغییر در هدایت علائم سلولی می‌گردد(57). برخی نیز اثرات ژنوتوکسیکی تشعشعات میدان‌های مغناطیسی را به تشکیل اکسی رادیکال‌ها نسبت می‌دهند، همان طور که می‌دانیم گونه اکسیژن فعال یا ROS (Reactive Oxygen Species) برای فرایندهای سلولی مضر است و سبب پراکسیداسیون چربی اندامک‌های متصل به غشا و تخریب پروتئین‌های غشایی و در نهایت تخریب سلول می‌گردد(58). ROS هم‌چنین می‌تواند در بسیاری از مسیرهای آبشارهای سلولی و مراحل تنظیمی نظیر هموستازی کلسیم درون سلولی در مسیرهای انتقال علائم سلولی، تکثیر سلول و بیان انکوژن‌ها عمل کند(58). به نظر می‌رسد میدان‌های الکترومغناطیسی با افزایش میزان و انتشار رادیکال‌های آزاد احتمال آسیب‌های اکسیداتیو را افزایش می‌دهند(58). جلوگیری از رشد سلول‌های سرطانی پستان تیمار شده با غلظت 10^{-9} مول بر لیتر ملاتونین تایید شده است اما وقتی این سلول‌ها در میدان الکترومغناطیسی 1/2 میکرو تسلا با فرکانس کم قرار می‌گیرند، اثر بازدارندگی ملاتونین تضعیف می‌گردد. میاکوشی علت تضعیف عملکرد ملاتونین در میدان الکترومغناطیسی را به کاهش توانایی ملاتونین در تخریب رادیکال‌های آزاد نسبت می‌دهد(59). تحقیقات فراوانی، ارتباط احتمالی بین میدان‌های الکترومغناطیسی و گروه اکسیژنی فعال را تایید می‌کند که نتایج حاصل از این آزمایشات افزایش قابل توجهی در سطح پراکسید لیپید، مالون دی آلدهید پلاسما و کاهش شدید فعالیت‌های دیسموتاز پراکسید، کاتالاز، پراکسیداز گلوتاتیون و ردوکتاز گلوتاتیون در بافت‌های مغزی را نشان می‌دهد(60). امواج الکترو مغناطیسی با فرکانس کم بدون شک می‌توانند به درون سلول‌ها 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 می‌شوند. وی اثبات نمود که انتقال اطلاعات و مواد خارج سلولی با عبور از غشا پلاسمایی به هسته سلول صورت می‌گیرد(62). تشعشعات امواج الکترومغناطیس با تحریک NADH اکسیداز غشا پلاسمایی تشکیل گونه‌های اکسیژن فعال را افزایش می‌دهد و افزایش ROS با تحریک متالوپروتئینازهای ماتریکس سلولی، گیرنده‌های عامل رشد را فعال کرده و آبشاری از عوامل موثر در مسیر کینازهای تنظیم کننده علائم سلولی، ERK (Extra cellular signal regulated kinase) را به راه می‌اندازد که تنظیم کننده فعالیت رونویسی در پاسخ به تحریکات خارجی هستند(62). مسیرهای ERK سبب فعالیت پروتئین‌های Ras ،Raf، پروتئین کینازهای فعال کننده میتوژن (MAPK) و در نهایت گسترش تومورهای سرطانی می‌گردند(63). هم‌چنین ROS با فعال کردن میزان استرس کیناز MAP (p 38 Kinase) مسیرهای ERK را برای فسفوریلاسیون پروتئین‌های شوک گرمایی تحریک کرده و مرگ برنامه‌ریزی شده را مهار می‌کند. مهار آپوپتوز سرطان‌زایی را به پیش می‌برد و سبب بقای سلول‌هایی با DNA تخریب شده می‌گردد(62). افزایش تولید ROS هم‌چنین می‌تواند بر تمایز سلول از طریق عمل بر روی MAP کیناز، پروتئین شوک حرارتی، اورنیتین دکربوکسیلاز و فسفوکیناز C هدف‌گیری کند. القاء Hsp70 توسط فرکانس بسیار پایین، هم‌چنین با عناصر خانواده فسفوکیناز فعال شده میتوژن آبشارهای پاسخ سلولی درگیر است که جزئی از سیستم‌های هدایت سیگنالی یوکاریوت‌ها محسوب می‌شوند. مسیرهای MAPK شامل آبشارهای مجزا آنزیم‌های تنظیم کننده هستند که فعالیت متوالی یکدیگر، بیان مجموعه خاصی از ژن‌ها در پاسخ به عوامل رشد، سیتوکاین‌ها، پیش سازهای توموری و دیگر محرک‌های مهم بیولوژیکی را کنترل می‌کنند. Hsp27 فسفریله شده (فعال) از طریق تشکیل کمپلکس با آپوپتوزوم (پروتئین Apaf-1، پروکاسپاز9 ، سیتوکروم C) مرگ برنامه‌ریزی شده را مهار می‌کند و از

فعالیت پروتئولیتیک پروکاسپاز 9 به شکل فعال کاسپاز 9 و کاسپاز 3 جلوگیری می‌کند(64). به نظر می‌رسد که افزایش رادیکال‌های آزاد در مراحل فیزیولوژیکی و سلولی متفاوت می‌تواند بر بیان ژن‌ها، آزاد سازی کلسیم از مخازن سلولی، رشد و مرگ سلولی تاثیر بگذارد(65). نتایج برخی تحقیقات نیز نشان می‌دهد که تشعشعات الکترومغناطیس با فرکانس بسیار کم می‌تواند پاسخ استرس سلولی و مکانیسم حفاظتی آن را برای القا بیان ژن‌های پاسخ استرس (Hsp70) و تولید پروتئین‌های پاسخ استرس (Hsp70) افزایش دهد. بلنک معتقد است که توالی مخصوصی در DNA وجود دارد که قابل انتقال به پروموتر سایر ژن‌ها نیز می‌باشد و نسبت به تشعشعات الکترومغناطیس با فرکانس بسیار کم حساس بوده و در برابر آن افزایش بیان ژن‌ها و سنتز پروتئین‌های ویژه‌ای را القا می‌کند(61). راورا بیان داشت که تشعشعات الکترومغناطیس با فرکانس کم با تاثیر بر روی فعالیت آنزیم‌های غشایی نظیر سیتوکروم اکسیداز، سدیم پتاسیم ATP آز و آدنیلات کیناز عمل می‌کند و بر روی فعالیت آنزیم‌های 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 سلول‌های استوانه‌ای شبکیه گاو شد، وی هم‌چنین تغییر در حرکات جنبشی مولکول‌های چربی غشا سلول، انتشار دسته‌ای پروتئین‌های سرتاسری غشاهای در معرض تابش را عنوان نمود(67). وی با مطالعه پروتئین‌های سرتاسری و سطحی غشای گلبول‌های قرمز گاو در معرض میدان الکترومغناطیسی، متوجه کاهش فعالیت برخی از پروتئین‌های غشایی شد در حالی که تغییری در فعالیت همین پروتئین‌ها در سیتوپلاسم سلول ایجاد نشده بود(67). گومز با قرار دادن دودمان‌های سلولی لوسمی وابسته به مغز استخوان HL-60 و ML-1 در میدان‌های الکترو مغناطیسی با تشعشعات کم با فرکانس 50 هرتز عنوان کرد که تابش‌های میدان‌های الکترومغناطیسی سبب القا مرگ سلولی برنامه‌ریزی شده می‌گردند(68). سیمکو نیز افزایش القا آپوپتوز را در سلول‌ها پس از قرارگیری در معرض تابش‌های 50 هرتز میدان مغناطیسی 1 میلی تسلا را مشاهده نمود(69). تجربیات دیگری نشان داده که سلول‌های سرطانی در معرض همزمان 0/4 تا 1 میکرو تسلا میدان الکترومغناطیسی با فرکانس 60 هرتز و دگزامتازون دچار افزایش مرگ برنامه‌ریزی شده می‌شوند در حالی که قرارگیری در معرض فرکانس 50 هرتز میدان مغناطیسی 2 میلی تسلا، تاثیر اندکی بر چرخه‌های سلول‌های سرطانی بر جای می‌گذارد(70). به نظر می‌رسد 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 روش‌های مختلف تشریح جانداران و مدت زمان تاخیر بین مرگ آنها، برش مغز و یا سایر اندام‌ها و نحوه آماده سازی اسلایدها را دلیل اصلی تفاوت بین پاسخ‌ها و نتایج آزمایشات مختلف می‌دانند(74-71).

نتیجه گیری

بر اساس نتایج بسیاری از مطالعات به نظر می‌رسد که میدان‌های الکترومغناطیسی با فرکانس کم تاثیری بر ساختار ژن و ژنوم ندارد، هم‌چنین هیچ یک از مطالعات آزمایشگاهی و اپیدمیولوژیکی از تاثیر سوء تشعشعات الکترومغناطیسی با فرکانس کم بر تولید مثل و رشد ونمو انسان حمایت نمی‌کند و تاثیرات اندک احتمالی میدان‌های الکترومغناطیسی نتیجه آزمایشات متفاوت در شرایط خاص آزمایشگاهی بر روی گونه‌های مختلف مدل‌های آزمایشگاهی به دست آمده است و احتمال بروز نارهنجاری‌زایی در رشد و نمو اولیه جنین پستانداران بسیار ضعیف است. در هر حال به نظر می‌رسد که امواج الکترومغناطیسی با شدت کم ژنوتوکسیک نمی‌باشد اما ممکن است با تغییر در مراحل سلولی معینی به طور غیر مستقیم بر ساختار مولکول‌های زیستی تاثیر گذاشته و سبب بروز آسیب‌های ژنوتوکسیکی و سیتوتوکسیکی گردد.

برخی از محققان نیز معتقدند که امواج الکترومغناطیس به تنهایی باعث ایجاد وقایع ژنتیکی نمی‌شوند بلکه عملکرد ژنوتوکسیک سایر عوامل فیزیکی و شیمیایی محیطی از قبیل کارسینوژن‌ها را افزایش می‌دهند. گرچه نظریات ضد ونقیض اثرات امواج الکترومغناطیس نمای مشخصی از سود و زیان آن را ارائه نمی‌کند، اما به هر حال امواج الکترومغناطیس در تشخیص و درمان بسیاری از سرطان‌ها استفاده می‌شوند. مطالعات نشان می‌دهد که این امواج سبب القا کاهش رشد سلول‌ها و افزایش مرگ برنامه‌ریزی شده در سلول‌های سرطانی می‌شوند. با توجه به نظریات بسیار متفاوت گروه‌های مختلف تحقیقاتی و نظر به این که امروزه وسایل مولد میدان‌های الکترومغناطیسی جایگاه بسیار ارزنده‌ای در زندگی صنعتی رو به پیشرفت انسان‌ها (تفریحی، تشخیصی، رفاهی) دارند، وآسایش و آرامش زندگی امروزی بدون حضور این دستگاه‌ها امکان پذیر نمی‌باشد، به منظور حفاظت از سلامتی جسمی انسان‌ها، تغییر در استانداردهای جهانی میدان‌های الکترومغناطیسی، استفاده از وسایلی با میدان‌های ضعیف‌تر، حضور کمتر در معرض میدان‌های الکترومغناطیسی و رعایت بیشتر افراد به خصوص در مراحل بحرانی زندگی (نظیر دوران بارداری و کودکی)، عدم استفاده همزمان از انواع دستگاه‌های مولد میدان‌های الکترومغناطیسی به همراه مصرف آنتی‌اکسیدان‌هایی نظیر ویتامین‌های A، C، E و چای سبز در رژیم غذایی روزمره افراد توصیه می‌شود.

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. 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.

12. Scarfí 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. Löscher 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 Combinned rapamycine 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 chorioalantoies. Journal Of zahedan University Of Medical Science. 2010; 12(2):8-12.[persian]
34. Baharara J, Sabori M. Effect of Combinned 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 Combinned 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 Combinned 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. Bernabņ 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. Pourlis 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 b-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, Kafaee M. Effects of Exposure to Extremely Low-Frequency Magnetic Field of 4 mu 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. YEl-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 Ca 2^{+}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.