

## اثرات امواج ساطع شده از تلفن های همراه بر فاکتور های زیستی

جواد بهار آرا<sup>۱\*</sup>، زهرا زاهدی فر<sup>۲</sup>

۱- گروه زیست شناسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه آزاد اسلامی واحد مشهد، ایران  
۲- دانش آموخته کارشناسی ارشد سلولی تکوینی جانوری، گروه زیست شناسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه آزاد اسلامی واحد مشهد، ایران  
\* پست الکترونیک نویسنده مسئول: Baharara@yahoo.com

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۰/۳/۲۴

تاریخ دریافت: ۱۳۹۰/۲/۱۳

### چکیده

با توجه به گسترش روز افزون استفاده از دستگاه های تلفن همراه در جهان، نگرانی های زیادی در مورد اثرات احتمالی تشعشعات ساطع شده از آنها بر سلامت موجودات زنده ایجاد شده است. براساس نتایج بسیاری از مطالعات، تشعشعات مایکروویو تلفن های همراه، اثرات سوء متفاوتی نظیر آسیب های کروموزومی، شکست های تک رشته ای و دو رشته ای DNA، افزایش جهش و خطر ابتلا به انواع سرطان را در جانوران ایجاد کند. با این حال برخی از محققان معتقدند که امواج تلفن های همراه به تنهایی باعث ایجاد آسیب های ژنتیکی نمی شوند بلکه این امواج عملکرد ژنوتوکسیکی سایر عوامل فیزیکی، شیمیایی آلاینده های محیطی را افزایش می دهند. در این مقاله، اثرات زیستی امواج ساطع شده از تلفن های همراه بر روی انسان و انواع مختلفی از جانوران از قبیل موش، رت و خوکچه هندی مورد بررسی قرار گرفته است.

**واژگان کلیدی:** آسیب های ژنوتوکسیک، سلامتی، تلفن همراه، مایکروویو

## مقدمه

تلفن‌های همراه، امروزه یکی از متداول‌ترین وسایل ساطع‌کننده امواج الکترومغناطیس هستند که به آسانی در دسترس تقریباً نیمی از مردم جهان در رده‌های مختلف سنی قرار دارند. گسترش شبکه‌های تلفن همراه و تنوع خدمات ارائه شده توسط سرویس‌دهندگان این شبکه‌ها نظیر سرویس‌های پیام کوتاه، ارسال آسان تصاویر، فیلم‌ها و پرداخت‌های الکترونی ساده و سریع، موجب افزایش استقبال عموم مردم به استفاده هر چه بیشتر از این وسیله شده است، به حدی که تلفن همراه دیگر نه یک وسیله تجملی بلکه یکی از ابزارهای لازم و ضروری زندگی روزمره مردم محسوب می‌شود (۱). تلفن‌های همراه اغلب دارای تشعشعات الکترومغناطیسی (Electromagnetic Radiation) هستند و به نظر می‌رسد که این دستگاه‌ها به دلیل غیر یونیزان بودن امواج شان ایمن باشند (۲ و ۳). فناوری تلفن همراه شامل مجموعه‌ای از ایستگاه‌های مخابراتی، آنتن‌های مراکز و دستگاه‌های تلفن همراه است (۴). استفاده روزافزون از این وسیله مولد امواج الکترومغناطیس به حدی است که بسیاری از افراد از سن ۳ سالگی تا پایان عمر به طور مداوم در معرض تشعشعات آن قرار می‌گیرند (۵). تکنولوژی تلفن همراه بر اساس تابش‌های الکترومغناطیسی در دامنه فرکانسی مایکروویو (۳۰۰ مگا هرتز تا ۳۰۰ گیگا هرتز) عمل می‌کند. شبکه‌های تلفن همراه اولین بار در سال ۱۹۸۱ میلادی در سوئد (سیستم تلفنی موبایل نوردیک) راه اندازی شدند که این سیستم‌ها آنالوگ، لامپی و غیر هوشمند با فرکانس ۴۵۰ مگا هرتز بودند (نسل اول). مهمترین استاندارد نسل دوم، سیستم جهانی ارتباطات تلفن همراه نامیده می‌شود (Global System Mobile Communication) که در سال ۱۹۹۱ میلادی شروع به کار کردند و بازه فرکانسی ۱۸۰۰-۹۰۰ مگا هرتز داشتند. ظاهراً تلفن‌های نسل دوم، بین ۱-۲ وات قدرت داشتند اما حداکثر قدرت سایر فناوری‌های تلفن دیجیتال کمتر از ۱ وات است (۴). این در حالی است که استانداردهای نسل سوم، دامنه فرکانسی ۲۲۰۰-۲۱۰۰ مگا هرتز می‌باشد و در سیستم ارتباطی تلفن همراه (Universal Mobile Telecommunication System) بکار برده می‌شوند و به عنوان پیشرفته‌ترین تکنولوژی دیجیتال محسوب می‌گردد (۵). نیروی خروجی سیستم نسل سوم برای تلفن‌های همراه کوچک بطور میانگین ۰/۲۵ میلی وات و برای تلفن‌های بزرگتر حدود ۱۲ میلی وات است (۵). مطالعات زیادی درباره امواج ساطع شده

از تلفن همراه و اثرات سوء احتمالی آن بر سلامتی افراد جوامع مختلف انجام شده است. اگرچه بسیاری از شرکت‌های سازنده دستگاه‌های تلفن همراه عقیده دارند که این وسیله هیچ گونه خطری برای سلامتی انسان‌ها ندارد، اما نتایج بسیاری از تحقیقات بیانگر اثرات سوء امواج تلفن‌های همراه بر سلامت موجودات زنده است (۶). نیرویی که بوسیله یک تلفن همراه فعال تولید می‌شود مطابق با میزان تداخل آن با سیگنال‌های محیطی متفاوت است. این نیرو بسته به اینکه کاربر تلفن همراه، در یک وسیله نقلیه در حال حرکت است یا در یک ساختمان، در یک آسانسور قرار دارد یا در منطقه ایستگاه‌های مخابراتی، در یک وسیله نقلیه در حال حرکت از یک منطقه جغرافیایی به منطقه دیگر می‌باشد یا در منطقه‌ای با تداخل زیاد سیگنال‌ها، متفاوت است (۷). در مناطق روستایی نیروی خروجی تلفن همراه بسیار بیشتر است، زیرا مناطق دور افتاده برای برقراری ارتباطات بهتر نیاز به ایستگاه‌های بیشتری دارند و تلفن‌ها با حداکثر قدرت و نیروی خروجی خود برای آنتن دهی بهتر کار می‌کنند (۸). هرچند فرکانس و نوسانات استاندارد تابش‌ها در نواحی مختلف جهان متفاوت است، اما امروزه بیشتر از استانداردهای نسل دوم و نسل سوم استفاده می‌شود (۴). واحد اندازه گیری اصلی مقدار انرژی امواج رادیویی، سرعت جذب اختصاصی (Specific Absorption Rate) 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 ۰/۴ وات بر کیلو گرم برای تابش‌های کنترل شده و ۰/۸ وات بر کیلو گرم برای تابش‌های کنترل نشده توصیه شده است. در هر مورد متوسط زمان برای تعیین SAR تمام بدن ۶ دقیقه است که معادل زمان تعادل حرارتی بدن می‌باشد (۹). مطالعات انجام شده در نواحی نزدیک آنتن‌های تلفن همراه نشان می‌دهد که بیشترین تاثیرات این آنتن‌ها بر روی سلول‌ها و بافت‌های موجودات زنده، ناشی از اثرات غیر گرمایی (Non Thermal Effect) آن‌ها است. نیرو و شدت تشعشعات الکترومغناطیسی با توجه به فاصله منابع مولد از محل کاربر متفاوت است (۹). در اکثر کشورهای اروپایی و آمریکایی حداکثر تشعشعات تلفن‌های همراه ۱/۶ و ۲ وات بر کیلو گرم وزن بدن است و تابش‌های امواج تلفن همراه در این SAR اثرات گرمایی ایجاد نمی‌کنند، بنابراین زیان‌های مایکروویو تلفن همراه

**اثرات ژنوتوکسیک امواج ساطع شده از تلفن‌های همراه:**  
 بر اساس بسیاری از مطالعات، امواج ساطع شده از تلفن‌های همراه فراوانی تعداد میکرونوکلتوس‌ها را افزایش می‌دهد در حالیکه تجربیات دیگری نیز وجود دارند که هیچ گونه تغییری در میکرونوکلتوس‌ها را گزارش نکرده‌اند (۱۴). رودیگر (۱۲) در مطالعه لنفوسیت‌های خون انسان در دو دسته افراد سیگاری الکلی و غیر سیگاری غیر الکلی که از تلفن همراه استفاده می‌کردند افزایش قابل ملاحظه تعداد میکرونوکلتوس‌ها در گروه سیگاری الکلی در معرض تابش‌های تلفن همراه گزارش نمود. بر اساس مطالعات تیس و همکارانش (۱۵) افزایش فراوانی میکرونوکلتوس‌ها در لنفوسیت‌های خونی انسان که به مدت ۲۴ ساعت در معرض ۸۳۵ مگا هرتز امواج با  $SAR = 10$  وات بر کیلو گرم قرار داشتند، مشاهده شده است. اما اسکارفی (۱۶) با قرار دادن لنفوسیت‌های انسانی در معرض سیگنال‌های ۹۰۰ مگا هرتز با SAR های ۰.۱ و ۵ وات بر کیلو گرم در مدت ۲۴ ساعت، اثرات سیتوتوکسیکی و آسیب‌های کروموزومی را گزارش نکرده است. در حالیکه تروسیک (۱۷) با مطالعه فراوانی تعداد میکرونوکلتوس‌ها در خون محیطی رت‌های در معرض مایکروویو با فرکانس ۲۴۵۰ مگا هرتز به مدت ۷ روز، روزی ۲ ساعت پرداخته و افزایش تعداد میکرونوکلتوس‌ها را گزارش کرده است. مطالعه لنفوسیت‌های خون محیطی افرادی که از تلفن همراه با فرکانس ۹۰۰-۱۸۰۰ مگا هرتز استفاده می‌کنند، نشان می‌دهد که تعداد میکرونوکلتوس‌های اریتروسیت‌های خونی افزایش معنی‌دار داشته است (۱۸). مارتلی (۱۹) نیز با قراردادن محیط کشت‌های گلبول‌های سفید خون انسان در معرض ۹۰۰ مگا هرتز با SAR های ۰.۲ و ۱/۶ وات بر کیلو گرم و همچنین تلفن همراه ۱۸۰۰ مگا هرتز با قدرت ۵، ۱۰ و ۲۰۰ میلی وات در مدت زمان ۶۰، ۱۲۰ و ۱۸۰ دقیقه، افزایش القا تشکیل میکرونوکلتوس‌ها را تایید کرده است، که با تجربیات دمسیا (۲۰) مطابقت دارد. وی در آزمایشی بر روی رت‌های ویستاری که به مدت ۲ ساعت در روز در طی ۳۰ روز متوالی در معرض امواج تلفن همراه ۹۱۰ مگا هرتز قرار گرفته بودند، افزایش سه برابری تعداد میکرونوکلتوس‌ها در اریتروسیت‌های پلی کروماتیک را عنوان کرده است. بهارآرا (۲۱) افزایش تعداد میکرونوکلتوس‌ها در اریتروسیت‌های خون محیطی نوزادان موش کوچک آزمایشگاهی که مادران‌شان در طول دوران بارداری، روزانه ۸ ساعت در معرض امواج تلفن همراه ۹۴۰ مگا هرتز بوده‌اند را گزارش کرده است. وی همچنین در آزمایش دیگری، با قرار دادن

به اثرات غیر گرمایی آن مربوط می‌شود (۱۰). شواهد معتبری مبنی بر اینکه تشعشعات الکترومغناطیس سبب افزایش دمایی بافت‌ها شوند، ارائه نشده است و بیشتر اثرات القایی تابش‌های الکترومغناطیس در تخریب DNA و ایجاد سرطان به اثرات غیر گرمایی این امواج نسبت داده شده است (۱۱). افزایش استفاده از تلفن همراه و سایر فناوری‌های تلفن‌های بی سیم در زندگی روزمره انسان توجه جوامع علمی و دولتی را به اثرات احتمالی القایی تشعشعات مایکروویو تلفن همراه جلب کرده است (۴). از این رو کمیسیون بین‌المللی محافظت در برابر تشعشعات امواج غیر-یونیزان (International Council of Non-Ionizing Radiation Protection) به منظور حفاظت شهروندان در برابر این امواج محدودیت‌هایی را در نظر گرفته است (۵). در این مقاله هدف ما بررسی اثرات تشعشعات مایکروویو تلفن‌های همراه بر روی برخی از فاکتورهای زیستی می‌باشد. یافته‌های اخیر درباره اثرات موثر و مضر امواج الکترومغناطیس تلفن‌های همراه بسیار ضد و نقیض به نظر می‌رسد ولی اکثریت این مطالعات نشان می‌دهند که میدان‌های الکترومغناطیس این وسایل ارتباط جمعی، اثرات سوء چندانی بر سلامت روانی و جسمی موجودات زنده ندارد. تغییرات سلولی و مولکولی القایی تابش‌های این امواج به طول مدت تابش، میزان نفوذ پذیری آن در بافت‌ها و تولید گرما بستگی دارد که این عوامل نیز خود به شدت و فرکانس امواج وابسته‌اند (۱۱). 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 (۱۱). در بسیاری از اهداف زیستی در معرض تابش امواج تلفن‌های همراه، حالت‌هایی از تخریب DNA و یا اختلال در ترمیم DNA گزارش شده است که بر روی عملکرد و تکثیر سلول‌ها از طریق جهش و یا سرطان تاثیر می‌گذارند (۷). نتایج آزمایشات بر روی موجودات زنده مختلف نشان می‌دهد که عملکردهای ژنوتوکسیکی از طریق تاثیر بر روی کروموزوم‌ها، قطعه قطعه شدن DNA و جهش در ژن‌ها اعمال می‌شود (۱۲). اثرات فرکانس‌های رادیویی تلفن‌های همراه بر روی سیستم‌های زیستی در همه سطوح از یک موجود زنده تا یک مولکول منفرد زیستی بررسی شده است (شکل ۲ و ۴) و بیشترین مطالعات در زمینه اثرات احتمالی این امواج در ایجاد آسیب‌های کروموزومی، تبادلات کروماتیدهای خواهری، تشکیل میکرونوکلتوس و سرطان بوده است (۱۳).

داده شدند، اما هیچ تغییری در ساختارهای مذکور مشاهده نشد (۲۸). نتایج حاصل از تحقیقات فرانزیلیتی (۱۱)، مبنی بر قرار گیری سلول‌های تروفوبلاستی انسان در معرض تابش‌های ۱۸۰۰ مگا هرتز امواج سینوسی ( $SAR = 2$ ) وات بر کیلو گرم و GSM ۲۱۷ هرتز) تلفن همراه به مدت یک ساعت، سبب افزایش میزان تخریب DNA نمی‌شود اما استفاده از انواع متفاوتی از سیگنال‌های تلفن همراه، افزایش طول مدت تابش به ۴، ۱۶ و ۲۴ ساعت، و قرار دهی در معرض تابش‌های ۱۸۰۰ مگا هرتز به طور متوالی ۵ دقیقه در میدان و ۱۰ دقیقه خارج از میدان سبب افزایش قابل توجهی در تخریب ماده وراثتی این سلول‌ها می‌شود. مطالعات بهارآرا (۲۹) نیز نشان داده است که مایکروویو ۹۴۰ مگا هرتز تلفن همراه، ساختار اووسیت‌ها را تغییر می‌دهد و از میزان باروری موش ماده نژاد بلب سی می‌کاهد. در مطالعه دیگری بر روی رت‌هایی که به مدت ۳۰ دقیقه در روز در طی ۵ روز هفته و برای ۴ هفته متوالی در معرض تابش‌های ۹۰۰ مگا هرتز تلفن همراه قرار داشتند، تغییر محسوسی در اسپرماتوزن و اپی تلیوم زاینده مشاهده نشد، اما کاهش معنی‌داری در میزان LH (Luteinizing Hormone) و FSH (Folicle stimulating Hormone) خون دیده شد (۳۰). در حالیکه اروگول (۳۱) نشان داد که امواج تلفن همراه، تحرک اسپرم انسانی را تحت تاثیر قرار داده و در طولانی مدت سبب تغییرات ساختاری و رفتاری سلول‌های زاینده می‌شود. در مطالعه دیگری کاهش سرعت حرکت اسپرم و کاهش تراکم اسپرم در مایع منی که به مدت ۵ دقیقه در معرض تابش‌های تلفن همراه ۹۰۰ مگا هرتز با قدرت ۲ وات در فاصله ۱۰ سانتی‌متری قرار داشتند، اندازه‌گیری شد (۳۱). مطالعات در سال ۲۰۰۷ نیز نشان داده است که امواج تلفن همراه، سبب افزایش درصد اسپرم‌های غیر طبیعی، کاهش توانایی حرکت اسپرم و ناباروری در مردان می‌شود (۳۲). گروه دیگری از محققین در سال ۲۰۰۸ اثبات کردند که امواج ساطع شده از تلفن همراه نمی‌تواند مرگ برنامه‌ریزی شده را در مراحل اسپرماتوزن القا کند (۳۳). آنها در رت‌هایی که به مدت ۲ ساعت در روز در طی ۷ روز به مدت ۱۰ ماه در معرض امواج تلفن همراه ۹۰۰ مگا هرتز قرار داده شده بودند، هیچ گونه افزایشی در میزان آپوپتوز اسپرماتوزن سلول‌های بیضه و فعالیت کاسپاز ۳ مشاهده نکردند (۳۳). مطالعات نشان می‌دهد که پروتئین‌های شوک گرمایی با ایجاد استرس در فیبرهای اندوتلیالی و تغییر در ترشح FGF (Fibroblast Growth Factor) ها باعث افزایش نفوذ پذیری

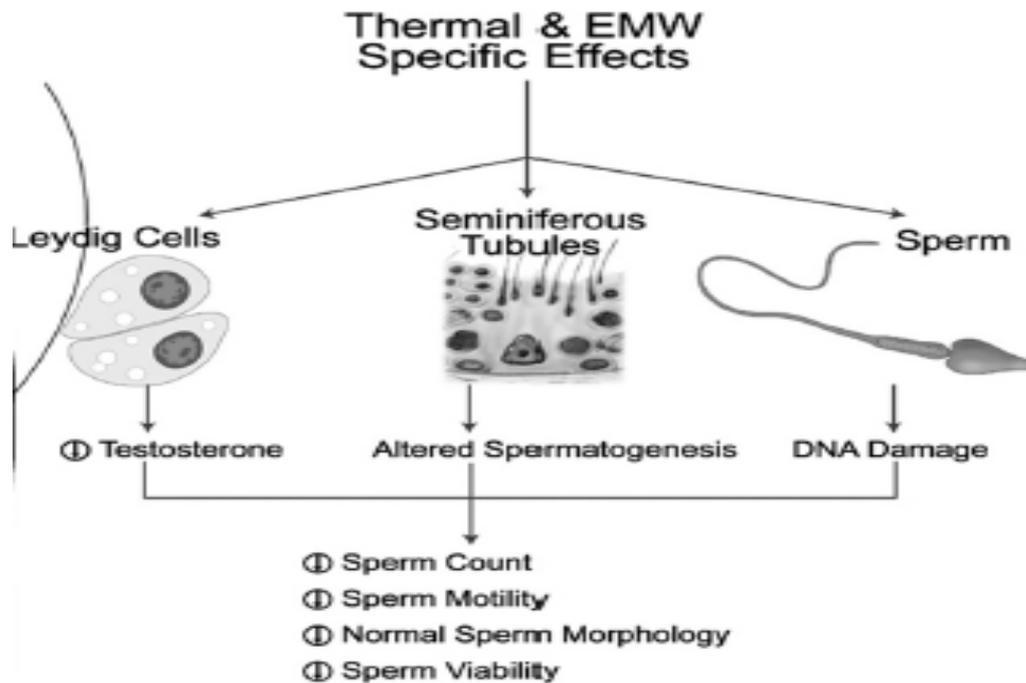
موش‌های باردار بلب سی از روز ۱۴ بارداری به مدت ۴ روز، روزی ۶ ساعت در معرض امواج تلفن‌های همراه ۹۴۰ مگا هرتز، افزایش تعداد میکرونوکلتوس‌ها در اریتروسیت‌های خون محیطی نوزادان ۲ روزه و مادران آنها را گزارش کرده است اما افزایش تعداد میکرونوکلتوس‌ها در جنین‌های ۱۸/۵ روزه و مادران آنها مشاهده نشده است (۲۲). دسای (۲۳) با بررسی سلول‌های میکرونوکلتوس‌دار عنوان کرده است که قرار گیری لکوسیت‌ها و لنفوسیت‌ها در رادیو فرکانسی با  $SAR = 5 - 10$  وات بر کیلو گرم به مدت ۲۴ ساعت، آسیب‌های کروموزومی را القا می‌کند اما تابش ۳ ساعت با  $SAR = 5 - 10$  وات بر کیلو گرم موجب افزایش آسیب کروموزومی نمی‌شود. تحقیقات نشان می‌دهند که تغییراتی در بیان ژن‌های سلول‌های اندوتلیالی انسان، پس از تابش ۹۰۰ مگا هرتز تلفن همراه ایجاد می‌شود اما پس از قرار گیری در معرض تشعشعات ۱۸۰۰ مگا هرتز تغییری مشاهده نمی‌شود (۲۳). مطالعات فیلیپس (۲۴) نیز تاثیر سوء سیگنال‌های GSM تلفن‌های همراه بر روی تشکیلات کروموزومی و شکسته شدن رشته‌های DNA در لنفوسیت‌های خون محیطی را نشان داده است. سلول‌های فیبروبلاستی انسان و گرانولوزای موش صحرایی که در برابر سیگنال‌های تلفن همراه ۱۸۰۰ مگا هرتز با  $SAR$  برابر ۱/۲ و ۲ وات بر کیلوگرم که برای مدت ۴، ۱۶ و ۲۴ ساعت، به صورت ۵ دقیقه روشن و ۱۰ دقیقه خاموش و یا تلفن همراه به طور مداوم روشن قرار داشتند، القا شکسته شدن یک رشته‌ای و یا دو رشته‌ای DNA تایید شده است. به نظر می‌رسد که استفاده منقطع به علت ایجاد استرس اثر تخریبی بیشتری ایجاد می‌کند (۲۵). نیلوند (۲۶) با مطالعه بر روی دودمان‌های سلول‌های اپیتلیالی انسان‌های مختلفی که همگی به مدت یک ساعت در روز در معرض امواج ۹۰۰ مگا هرتز تلفن همراه در محدوده  $SAR = 2/8$  وات بر کیلو گرم قرار گرفته بودند، درجات متفاوتی از تغییرات بیان ژنی و یا پروتئینی را مشاهده کرده است.

#### اثرات مایکروویو تلفن همراه بر عدد تناسلی و باروری: بر

اساس مطالعات دسدگ (۲۷)، مایکروویو تلفن همراه تاثیر خاصی بر بیضه رت‌های در معرض تشعشعات تلفن همراه، بر جای نمی‌گذارد. وی به بررسی اثرات مایکروویو تلفن همراه بر تعداد اسپرم، ساختار مورفولوژیکی و هیستولوژیکی بیضه موش‌های رت نیز پرداخته است. موش‌ها در دوره زمانی ۳ روزه، هر روز به مدت ۲۰ دقیقه در معرض ۲۵۰ میلی وات امواج تلفن همراه قرار

ماده جانوران مختلف، به آسیب‌های ناشی از افزایش دما در کیسه بیضه، ایجاد استرس اکسیداتیو، تخریب DNA و القا مرگ برنامه‌ریزی شده اشاره کرده است. در شکل ۱ برخی از مسیرهای احتمالی مکانیسم تخریب اسپرم توسط امواج الکترومغناطیس تلفن همراه براساس یافته‌های اولیه مذکور نشان داده شده است (۳۵).

سد خونی بیضه‌ای و نازایی می‌شوند (۲۴). دسای و همکارانش (۳۴) تخریب قابل ملاحظه ژن‌های میتوکندری و هسته اسپرم‌های مجاری اپیدیدیم موش‌هایی که به مدت ۱۲ ساعت در روز در طی ۷ روز در معرض امواج ۹۰۰ مگا هرتز تلفن همراه قرار داشتند را گزارش کرده‌اند. آگاروال (۳۵) نیز با مطالعه تاثیر طولانی مدت تلفن همراه بر دستگاه تولیدمثلی جنس‌های نر و



شکل ۱: مسیرهای احتمالی مکانیسم آسیب اسپرم توسط امواج تلفن همراه (۳۵)

اتونومیک قلبی می‌شوند و احتمال کاردیوواسکولار افزایش می‌یابد. اما بهارآرا و همکارانش (۳۷) با قرار دادن موش‌های بальب سی باردار از روز هشتم رشد و نمو جنینی به مدت ۴ روز و ۱۰ روز (روزی ۴ ساعت) در معرض امواج ۹۴۰ مگا هرتز تلفن‌های همراه، تغییر معنی‌داری در بافت‌های اصلی خون‌ساز از قبیل طحال، کبد، کیسه زرده و مغز استخوان جنین‌های موش مشاهده نکردند. در حالیکه در مطالعه دیگری که وی بر روی موش‌های بальب سی نا بالغ نر در معرض مایکروویو ۹۴۰ مگا هرتز تلفن همراه به مدت ۱۵ روز (روزی ۳۰ دقیقه) انجام داد، تاثیر منفی امواج ساطع شده از تلفن‌های همراه بر اجتماعات سلولی تک هسته‌ای، تعداد سلول‌های کوپفر کبدی، تعداد لنفوسیت‌های پالپ سفید، مگا کاربوسیت‌های طحال و کلیه سلول‌های مغز استخوان گزارش شده است (۳۸).

**اثرات مایکروویو تلفن‌های همراه بر مغز:** مغز در میان اندام‌های مختلف بدن، بیشتر از سایر اندام‌ها مورد بررسی اثرات

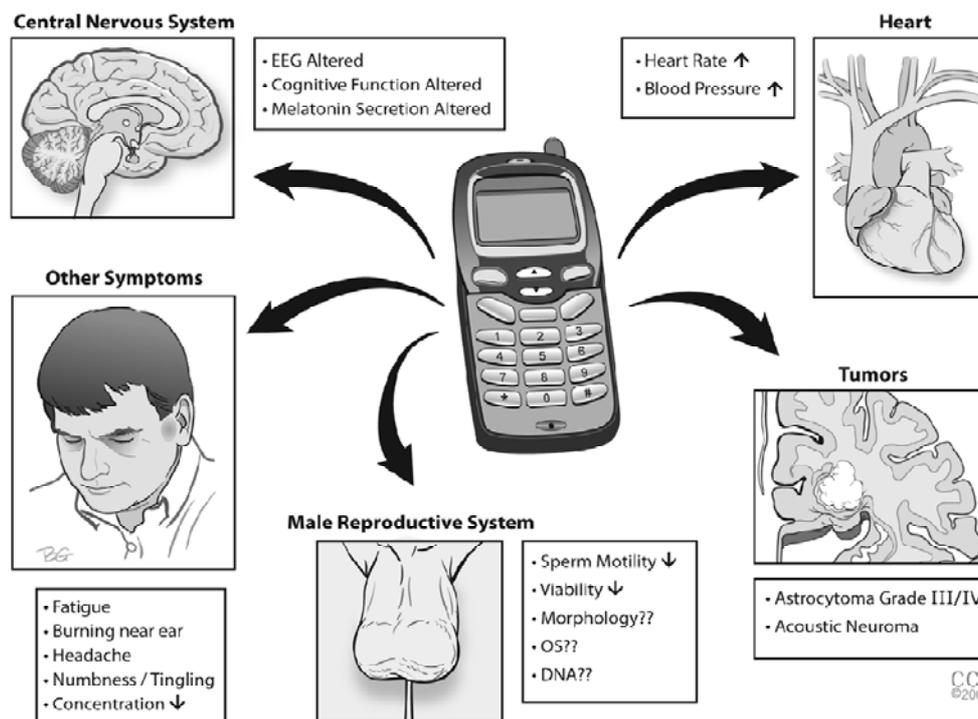
**اثرات مایکروویو تلفن‌های همراه بر قلب، کبد، طحال، کلیه:** در سال ۲۰۰۷ گروهی از محققین اثرات هیستوپاتولوژیکی امواج تلفن‌های همراه را در موش بالغ سوئیدی بررسی کردند. موش‌ها به مدت ۱ ساعت در روز در طی ۱۰ روز پی‌پی در پی در مجاورت تلفن همراه فعال قرار داده شدند، اما هیچ گونه آسیبی در بررسی بافت‌های کبد، کلیه و طحال مشاهده نشد (۲۶). در حالیکه در آزمایش دیگری که بر روی ۲۸ خوکچه هندی نر و ۲۸ خوکچه هندی ماده که برای ۲۳ ساعت و ۴۰ دقیقه در معرض تلفن همراه غیرفعال و سپس به مدت ۲۰ دقیقه در معرض امواج تلفن همراه فعال ۹۱۰ مگا هرتز با  $SAR=0.95$  وات بر کیلو گرم به مدت ۳۰ روز قرار گرفته بودند انجام شد، تغییراتی در میزان آهن، منگنز، مس و نسبت مس به روی در کبد و تغییر مقدار منگنز در بیضه مشاهده شد (۳۰). مطالعات کلیک آلپ (۳۶) نیز نشان داد که خوک‌های گینه‌ای در معرض امواج تلفن همراه ۹۰۰ مگا هرتز، دچار پراکنندگی تنظیمات

معرض امواج تلفن‌های همراه با  $SAR = 2.00$  میلی وات بر کیلوگرم قرار داشتند، کاهش توانایی یادگیری و حافظه فضایی را گزارش نموده‌اند. نیتی و همکارانش (۴۴) تاثیر امواج تلفن‌های همراه بر مغز انسان را در اثر مکانیسم‌هایی از قبیل تغییر در درک وظایف، تغییرات سطح نوروترانسمیترها (کاهش فعالیت کولینرژیک)، تغییر در بیان ژن‌ها در مخچه، قشر مخ، هیپوکامپ و فعالیت‌های الکتریکی عنوان کرده‌اند. نارایانا (۴۵) نیز کاهش سه برابری شناسایی و تشخیص هدف و آسیب به تشکیلات حافظه در موش‌های صحرایی نر نژاد ویستار در معرض  $50$  بار تماس بدون پاسخ (Missed call) با نوع زنگ لرزشی (Vibration) در روز به مدت  $4$  هفته از یک تلفن همراه  $900-1800$  مگا هرتز را گزارش کرده است. بهارآرا (۴۶) نیز با مطالعه بر نوزادان موش‌های بلب سی که از ابتدای تولد به مدت  $20$  روز، روزی  $3$  ساعت در معرض امواج  $940$  مگا هرتز تلفن‌های همراه بودند، تغییرات توانایی یادگیری، خطای حافظه فضایی و افزایش فعالیت حافظه کاری را گزارش نموده است. اشلوفر (۴۷) در مطالعه‌ای اثر امواج تلفن همراه را بر روی دانش آموزانی که به مدت دو هفته همزمان با رانندگی از تلفن همراه استفاده می‌کردند، بررسی نموده و متوجه شد که استفاده از تلفن همراه تمرکز و سرعت عملکرد را در حین رانندگی کاهش داده و تعداد خطاهای رانندگی را افزایش می‌دهد. ایجاد آشفتگی، اختلال در خواب کاربران تلفن همراه و واکنش‌های زیستی ناشی از استرس، افسردگی و عصبانیت افراد در مجامع عمومی نیز از اثرات تلفن‌های همراه معرفی شده است (۴۷).

**تاثیر امواج ساطع شده از تلفن همراه بر سرطان‌زایی:** گروه اینترفون (متشکل از محققان بسیاری از کشورهای مختلف) اثر تابش‌های میکروویو تلفن همراه بر احتمال بروز سرطان‌های مغزی بخصوص گلیوما، آستروسیتوما، آکوستیک نوروما، مننژیوما و غدد پاراتیروئید را بررسی کرده‌اند. بر اساس این مطالعه در افرادی که به مدت  $10-5$  سال بطور مداوم از تلفن همراه استفاده کرده بودند، احتمال بروز سرطان یک و نیم برابر افزایش نشان می‌دهد (۱۰). این میزان با افزایش مدت زمان استفاده در حدود  $10$  سال (بیشتر از  $10$  سال) و یا بیشتر از  $2000$  ساعت افزایش می‌یابد و بر طبق آمارهای سازمان جهانی بهداشت بیشترین افزایش در مورد آستروسیتوما نوع  $3$  و  $4$  نسبت به آستروسیتوما نوع  $1$  و  $2$  است (شکل ۲) (۳۹).

امواج تلفن‌های همراه قرار گرفته است. اثرات قرارگیری مغز در معرض امواج تلفن همراه بسته به نوع تلفن و آنتن آن متفاوت است اما این اثرات در لوب‌های گیجگاهی، ناحیه جزیره‌ای (Insular Region) مغز، سطح بالایی پوشش جمجمه، پوست فرق سر و غدد بنا گوش بسیار بیشتر است (۳۹). قسمتی از سر که تلفن در مجاورت آن نگه داشته می‌شود بیشتر از سایر نواحی تاثیر می‌پذیرد و این تاثیر در کودکان به علت نازکی پوست فرق سر و جمجمه بیشتر است، زیرا محتوی مایع مغزی آنها را افزایش داده و حجم مغز کاهش می‌یابد (۳۹). مطالعات در سال  $2009$  نشان می‌دهد که  $2$  ساعت تابش تلفن همراه  $915$  مگاهرتز با  $SAR$  غیر گرمایی  $0.12, 0.12$  و  $120$  میلی وات بر کیلوگرم میزان آلبومین در نوروها را پس از  $14$  روز تابش بالا برده و پس از  $28$  روز تابش سبب تخریب نوروها می‌شود و  $50$  روز پس از تابش افزایش نفوذپذیری سد خونی مغزی را سبب می‌شود (۹). آواد (۴۰) در طی مطالعه دیگری، رت‌ها را به مدت  $1$  ساعت در روز در طی یک هفته و دو هفته در معرض تابش‌های امواج  $900$  مگا هرتز تلفن همراه قرار داد و عوامل بیماری‌زایی و فاکتور استرس اکسیداتیو را در بافت‌های مغزی بررسی کرد. بر اساس این نتایج افزایش قابل ملاحظه‌ای در لیپید پراکسید پلاسما و مالون دی آلدید و کاهش دیسموتاز سوپر اکسید مغز، کاهش کاتالاز، ردوکتاز گلوکوتاتیون و فعالیت‌های پراکسیداز گلوکوتاتیون در بافت مغزی مشاهده شد. اما پالراج و همکارانش (۴۱) کاهش فعالیت آنزیم فسفو کیناز C در مغز موش‌های صحرایی در معرض مایکروویو  $2450$  مگا هرتز را گزارش کرده‌اند.

**اثرات مایکروویو تلفن‌های همراه بر حافظه:** در مطالعه‌ای که تمام بدن موش‌های صحرایی در معرض تابش  $900$  مگا هرتز تلفن همراه با  $SAR$  های  $3/5$  وات بر کیلوگرم به مدت  $45$  دقیقه در طی  $10$  روز قرار داده شده بود، هیچ تاثیر نامطلوبی در حافظه کاری و فعالیت‌های اکتشافی موش دیده نشد (۴۲). همچنین در مطالعه دیگری بر روی موش‌های نژاد BL/6J C57، که به مدت  $45$  دقیقه در روز در معرض امواج  $900$  مگا هرتز تلفن همراه با  $SAR = 0.05$  وات بر کیلوگرم قرار گرفته بودند نیز تغییری در روند حافظه موقت کاری و یادگیری فضایی مشاهده نشده است (۴۲). در حالیکه مقیمی و همکارانش (۴۳) با مطالعه بر روی هیپو کامپ و رفتارهای یادگیری در موش‌های بلب سی که به مدت  $4$  ساعت در روز در دوران بارداری در



شکل ۲: نمایی از اثر تشعشعات تلفن همراه بر دستگاه‌های مختلف بدن انسان (۶۰)

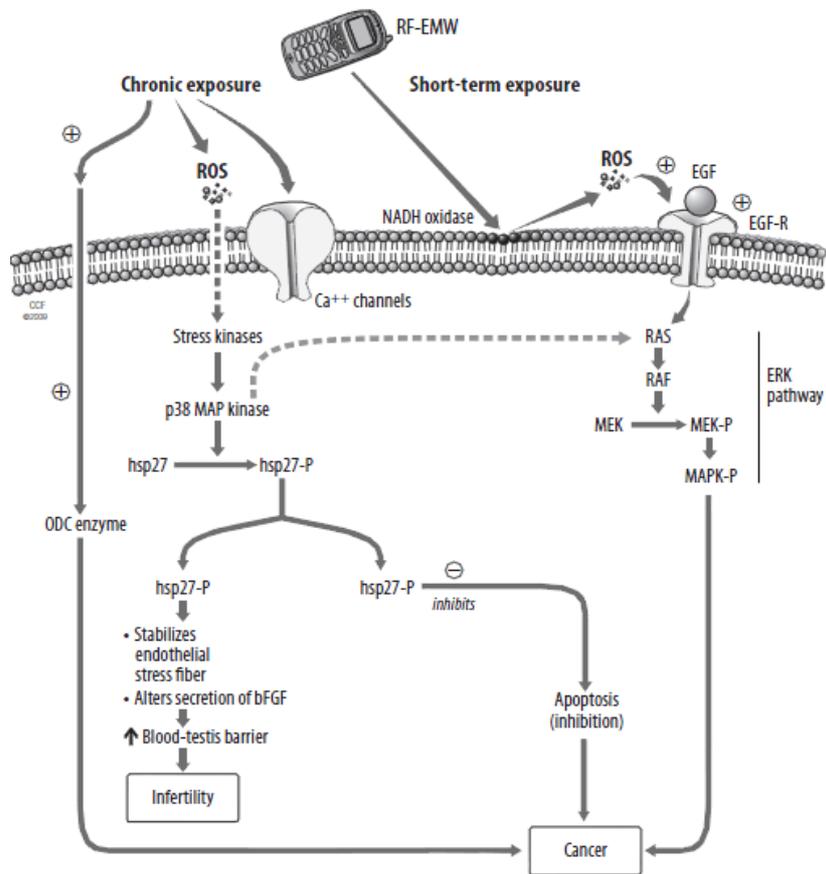
پاسخ‌های ایمنی مناسب، کنترل چرخه سلولی و ترمیم DNA نیز شرکت می‌کنند (۳۶). قرار گیری سلول‌های مغزی موش رت نژاد ویستار در معرض امواج الکترو مغناطیسی نشان می‌دهد که احتمال شکسته شدن DNA وجود دارد و همچنین تابش‌های رادیو فرکانس بین ۲۷ مگا هرتز تا ۲۴۵۰ مگا هرتز احتمال تکثیر سلولی و در نهایت تومورهای مغزی را افزایش می‌دهد (۴۹). به نظر می‌رسد که امواج رادیویی با تحریک ارنیتین دکرپوکسیلاز سبب پیشرفت سلول‌های سرطانی می‌شوند (۵۰). اما کاندی (۵۱) معتقد است که نمی‌توان افزایش تومورهای سرطانی در رت‌هایی که در یک تجربه آزمایشگاهی با  $SAR = 1/4$  وات بر کیلوگرم بکار برده شده‌اند را به نتایج آزمایش مشابه در انسان نسبت داد و همچنین ایجاد استرس اکسیداتیو بعد از تابش‌هایی با شدت کم *in vivo* در رت با مطالعات *in vitro* و در فیبروبلاست‌های انسانی و سلول‌های گلیو بلاستما حمایت نمی‌شود. اگرچه نتایج تعداد بسیار زیادی از مطالعات، اثرات زیان بار تشعشعات امواج رادیویی را گزارش کرده‌اند اما تئوری‌ها و نتایج آزمایشگاهی بسیاری نیز احتمال ایجاد آسیب‌های مستقیم در DNA را رد کرده‌اند. تغییرات اطلاعات ژنتیکی در سلول‌های پیکری اتفاق کلیدی برای مراحل سرطان‌زایی است و در کل هر عاملی با خاصیت ژنوتوکسیک می‌تواند یک فاکتور سرطان‌زا محسوب شود. برخی از محققان معتقدند که تشعشعات الکترومغناطیس به تنهایی وقایع ژنتیکی را ایجاد نمی‌کنند، بلکه عملکرد ژنوتوکسیک سایر عوامل فیزیکی

کمیسر ارتباطات فدرال (Federal communications commission) برای ناحیه سر، SAR قابل قبولی در حدود ۱/۶ وات بر کیلو گرم در نظر گرفته است. SAR در تلفن همراه به عوامل زیادی نظیر نوع آنتن، موقعیت آنتن، مورفولوژی سر، فاصله بین تلفن و سر و نیروی خروجی از تلفن (بسته به نوع و اندازه تلفن) بستگی دارد (۹). بر اساس مطالعات دیگری بر روی سرطان‌های غدد پاراتیروئید، استفاده طولانی مدت تلفن‌های همراه بزرگ و سنگین، احتمال ابتلا به سرطان‌های غدد پاراتیروئید یکطرفه (Insilateral) را افزایش می‌دهد. بنابراین، نوع تومور و موقعیت آن به مدت زمان استفاده از تلفن، مقدار نیروی خروجی آن، اندازه تلفن و تعداد ساعات استفاده در روز وابسته است (۳۹). روسو (۴۸) مهار گروه‌های فعال اکسیژنی و نیتروژنی بوسیله uv-A و uv-B را مسبب مهار سیستم ایمنی، جهش در ژن‌ها و شروع فرایندهای سرطان‌زایی معرفی کرده است. برخی نیز وقوع طبیعی تنوعات ژنتیکی متفاوت بین افراد را دلیل احتمالی ایجاد زمینه مناسب برای بروز سرطان‌های مغزی ناشی از مایکروویو تلفن همراه عنوان کرده‌اند (۳۹). کورانا و همکارانش (۳۹) نشان دادند که پلی‌مورفیسم در ترمیم ژن‌های DNA، احتمال ابتلا به لوسمی ناشی از فرکانس پایین تشعشعات الکترومغناطیس حاصل از خطوط فشار قوی با ولتاژ بالای ایستگاه‌های تلفن همراه را افزایش می‌دهد. به نظر می‌رسد که ژن‌های پلی‌مورفیک برای آماده سازی زمینه مناسب برای ابتلا به سرطان‌های مغزی، ایجاد

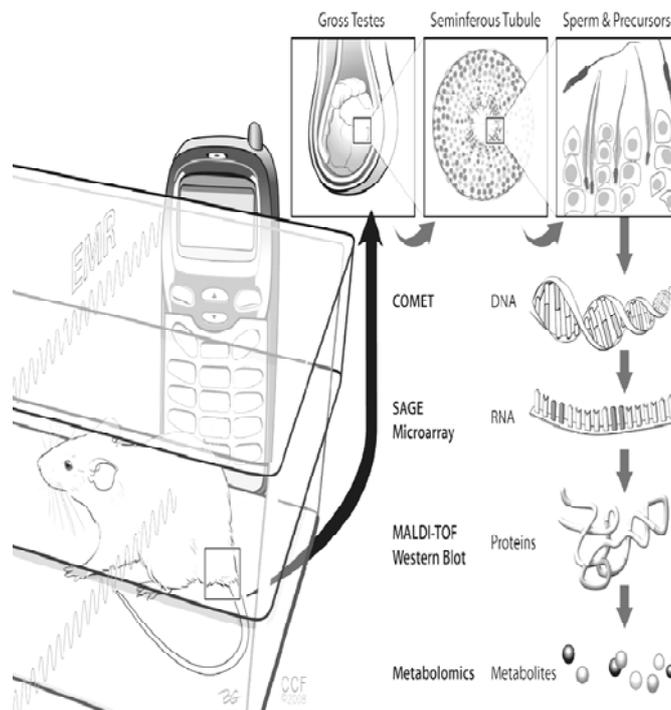
و شیمیایی محیطی را افزایش می‌دهند (۱۲). برخی نیز عقیده دارند که اثر همزمان موتاژن‌ها و کارسینوژن‌های محیطی با امواج می‌تواند بر روی مکانیسم‌های ترمیم DNA تاثیر گذاشته و سبب تشکیل رادیکال‌های آزاد و یا جلوگیری از تخریب آنها در موجود زنده گردد (۵۲). اولین مطالعات در مورد اثرات سیتوتوکسیکی ترکیبی از تشعشعات امواج رادیو فرکانس و عوامل موتاژن توسط سیارونیو و دانشجوینانش انجام شد. این آزمایشات بر روی دودمان‌های سلولی مختلفی نظیر CHO و L5178Y صورت گرفت و از روش‌های مختلف آسیب‌های کروموزومی نیز استفاده گردید (۵۳). این محققین متوجه شد که وقتی تابش‌های مایکروویو قبل و یا همزمان با در معرض قرار گیری موتاژن استفاده می‌شود فراوانی آسیب‌های ژنتیکی نسبت به زمانی که موتاژن‌ها به تنهایی استفاده شده‌اند، بیشتر شده است. زانگ (۵۴) با استفاده همزمان مایکروویو ۲۴۵۰ مگا هرتز تلفن همراه و میتومایسین C افزایش فراوانی میکرونوکلئوس‌ها را در لنفوسیت‌های خونی انسان مشاهده کرد. مس (۵۵) نیز با قرار دادن گلبول‌های سفید خون انسانی در مجاورت میتومایسین C و تشعشعات ۹۵۴ مگاهرتز امواج تلفن همراه با SAR= ۱/۵ وات بر کیلو گرم در مدت ۲ ساعت، افزایش فراوانی تبدالات کروماتیدهای خواهری را گزارش نموده است. اما مطالعات مارکانن (۵۶) از آزمایشات ترکیبی مایکروویو و موتاژن‌ها به نتایج مثبتی دست نیافته است. وی اشاره می‌کند که نتایج اکثر مطالعات بر روی اثرات ترکیبی از تابش‌های مایکروویو با مواد موتاژن و کارسینوژن عمدتاً منفی است و فقط در شرایط مخصوص آزمایشگاهی اتفاق می‌افتد.

**مکانیسم چگونگی تاثیر امواج ساطع شده از تلفن‌های همراه بر سیگنال‌های سلولی:** هرچند که مکانیسم عمل اثرات غیر گرمایی مایکروویو به طور کامل مشخص نیست، اما گروهی از محققین معتقدند که این امواج با تغییر در ساختار دوم و سوم پروتئین‌های سلول سبب ایجاد رادیکال‌های آزاد مخرب می‌شوند (۵۷). تحقیقات فراوانی ارتباط احتمالی بین تلفن همراه و گونه اکسیژن فعال (ROS: Reactive Oxygen Species) را تایید می‌کند که نتایج حاصل از این آزمایشات افزایش قابل توجهی در سطح پراکسید لیپید، مالون دی آلد هید پلاسما و کاهش شدید فعالیت‌های دیسموتاز پراکسید، کاتالاز، پراکسیداز گلوکوتایون و ردوکتاز گلوکوتایون در بافت‌های مغزی را نشان می‌دهد (۴۰). به نظر می‌رسد که تشعشعات امواج الکترومغناطیس با تحریک NADH اکسیداز غشا پلاسمایی، تشکیل گونه‌های اکسیژن فعال را افزایش می‌دهد، افزایش ROS

ماتلوپروتئین‌های ماتریکس را فعال می‌کند که سبب تحریک گیرنده‌های فاکتور رشد اپی درمی و آبشاری از عوامل موثر در مسیر کینازهای تنظیم کننده علائم سلولی (Extra cellular signal regulated kinase) می‌گردد. آنگاه مسیره‌های ERK سبب فعالیت پروتئین‌های Raf، Ras، پروتئین کینازهای فعال کننده میتوزن (MAPK) و در نهایت گسترش تومورهای سرطانی می‌گردند (۵۸). بنابراین ROS با فعال کردن میزان استرس کیناز (p ۳۸ MAP Kinase) مسیره‌های ERK را برای فسفوریلاسیون پروتئین‌های شوک گرمایی تحریک کرده و مرگ برنامه ریزی شده را مهار می‌کند. مهار آپوپتوز سرطان‌زایی را به پیش می‌برد و سبب بقای سلول‌هایی با DNA تخریب شده می‌گردد (شکل ۳) (۵۹). برخی نیز معتقدند که تشعشعات تلفن همراه بطور مستقیم و یا با تاثیر بر غشا سبب تحریک بیان آنزیم ارنیتین دکربوکسیلاز و در نهایت بروز سرطان می‌شوند (۲۳). تغییرات در سطوح کلسیم داخل سلولی و فعالیت آنزیم‌های ارنیتین دکربوکسیلاز و فسفوکیناز C نیز بهم وابسته هستند. بنابراین، افزایش تولید ROS می‌تواند بر تمایز سلول از طریق عمل بر روی MAP کیناز، پروتئین شوک حرارتی (Heat shock proteins)، ارنیتین دکربوکسیلاز و فسفوکیناز C هدف گیری کند. القاء Hsp70 توسط فرکانس بسیار پایین، همچنین با عناصر خانواده فسفوکیناز فعال شده میتوزن (MAPK) آبشارهای پاسخ سلولی درگیر است که جزء سیستم‌های هدایت سیگنالی یوکاریوتها شناخته شده‌اند. مسیره‌های 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، پروکاسپاز ۹ و سیتوکروم C) مرگ برنامه ریزی شده را مهار می‌کند و از فعالیت پروتئولیتیک پروکاسپاز ۹ به شکل فعال کاسپاز ۹ و کاسپاز ۳ جلوگیری می‌نماید (۶۰). با استفاده از روش‌های مختلف اندازه گیری مولکولی می‌توان هر گونه تغییر در پاسخ سلول‌های در معرض تشعشعات تلفن همراه را کنترل کرد و به بررسی آسیب‌ها در سطح ژنوم و پروتئوم پرداخت (شکل ۴) (۶۰).



شکل ۳: شمای اهداف سلولی مختلف امواج تلفن همراه (۲۳)



شکل ۴: با استفاده از روش های مختلف اندازه گیری مولکولی می توان هر گونه تغییر در پاسخ سلول های در معرض تشعشعات تلفن همراه را کنترل کرد و آسیب ها در سطح ژنوم و پروتئوم را بررسی نمود (۶۰).

پروتئین‌ها و تولید پروتئین‌های شوک گرمایی عنوان کرده است. در حالیکه رونگ دینگ (۶۵) فسفوریلاسیون پروتئین‌های شوک گرمایی و نه تولید این پروتئین‌ها را در دودمان‌های سلولی سرطان گلیومای انسانی علت آسیب ناشی از امواج تلفن‌های همراه معرفی کرده است. فیلیپس و همکارانش نیز مکانیسم اصلی اثرات تشعشعات امواج تلفن‌های همراه را از طریق تاثیر بر میتوکندری، مسیرهای آپوپتوزی، پروتئین‌های شوک گرمایی، متابولیسم رادیکال‌های آزاد، تکثیر و تمایز سلولی، تخریب DNA و تخریب غشا پلاسمایی عنوان نموده‌اند (۲۴). تخریب یک رشته و یا دو رشته DNA، تغییرات در رو نویسی ژن‌ها، تغییرات در تاخوردگی پروتئین (Protein folding)، تخریب کروموزوم‌ها، اثر بر سیستم ایمنی و نابودی سلول‌های آن نیز از جمله اثرات احتمالی مایکروویو تلفن همراه معرفی شده است (۱۰). 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 جانوران 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 (۱۵).

### نتیجه گیری

بر اساس نتایج حاصل از تحقیقات گروه بیویانیتیتو در سال ۲۰۰۹، تشعشعات الکترومغناطیس حاصل از خطوط فشار قوی، تلفن‌های همراه، ایستگاه‌های مخابراتی و بسیاری از منابع متضاد کننده تشعشعات الکترومغناطیس در زندگی روزانه انسان‌ها قابل قبول، مجاز و در حد استانداردهای کمیسیون ارتباطات فدرال (FCC) است و خطری برای سلامتی ندارد. با این وجود وقتی انسان‌ها برای صدها و هزاران بار و گاهی به طور دائم در معرض تابش‌های الکترومغناطیسی قرار می‌گیرند، میزان جذب تابش‌ها از حد استاندارد فراتر رفته و اثرات سوء خود را بروز می‌دهند (۴۰). همچنین مطالعات نشان می‌دهد که سلول‌هایی با فعالیت‌های آنتی اکسیدانتی بالاتر، آسیب پذیری کمتری در برابر تشعشعات الکترومغناطیس نشان می‌دهند. در بسیاری از موارد تولید رادیکال‌های آزاد توسط امواج الکترومغناطیس را دلیلی برای بروز انواع مختلفی از سرطان‌ها بیان می‌کنند (۶۶)، در حالیکه تولید رادیکال‌های آزاد به عوامل

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 نیز تاثیر بگذارد (۶۱). همچنین تشعشعات تلفن‌های همراه با تولید رادیکال‌های آزاد سبب کاهش فعالیت آنزیم‌های آنتی اکسیدانی (کاتالاز، سوپر اکسید دیسموتاز و پر اکسیداز گلووتاتیون) و در نهایت کاهش ظرفیت آنتی اکسیدانی سلول‌ها می‌شوند (۶۲). برخی از محققان نیز عقیده دارند که امواج تلفن همراه تولید سوپراکسیداز سلولی را از طریق تاثیر بر آنزیم های غشا پلاسمایی در مایع منی تحریک کرده و قابلیت زنده ماندن و تحرک اسپرم را کاهش می‌دهد (۲۳). فسفوکیناز C در بخش استوایی اسپرم غلظت بالایی دارد و در تحرک اسپرم نقش مهمی ایفا می‌کند، اما تشعشعات تلفن همراه با کاهش فعالیت این آنزیم تحرک اسپرم را کاهش می‌دهد (۲۳). دسای (۲۳) معتقد است که تشعشعات تلفن‌های همراه می‌تواند هومئوستازی کلسیم درون سلولی را با عمل بر روی کانال‌های کلسیمی غشاء پلاسمایی تغییر دهد و سبب افزایش اسپایک‌های کلسیم درون سلولی شود که این افزایش بر تکثیر و تمایز سلول از طریق تغییر در فعالیت آنزیم‌های ارنیتین دکربوکسیلاز و فسفوکیناز C اثر می‌گذارد (شکل ۳). مطالعات مختلفی نیز تقاطع DNA-protein، DNA و افزایش آپوپتوزیس در رت‌های در معرض امواج تلفن همراه نشان می‌دهند (۶۳). نیلوند (۲۶) نوع پاسخ متفاوت سلول‌ها به تابش تلفن همراه را وابسته به ژنوم و پروتئوم می‌داند، وی معتقد است که به همین دلیل انواعی از سلول‌های متفاوت از گونه‌های مختلف می‌توانند پاسخ‌های متنوعی به تشعشعات تلفن همراه بدهند و یا حساسیت‌های متفاوتی نسبت به تابش‌های الکترومغناطیس از خود نشان دهند که این خود می‌تواند پاسخ مناسبی برای علت کسب نتایج متفاوت در آزمایشگاه‌های مختلف باشد. در مورد چگونگی تاثیر امواج الکترومغناطیسی بر سیستم‌های زیستی پیشنهادات متعددی ارائه شده است که از جمله می‌توان به نظرات ماشوویچ (۶۴) در مورد اثر امواج الکترومغناطیس بر ایجاد آنیوپلوئیدی و جهش اشاره کرد. قرارگیری لنفوسیت‌های انسانی در میدان‌های ۸۳۰ مگا هرتز سبب کاهش یا افزایش تعداد کروموزوم‌ها (آنوپلوئیدی) می‌شود که این جهش و بی ثباتی ژنی در افزایش خطر سرطان موثر است (۶۳). همچنین کورانا (۳۹) علت ایجاد آسیب‌های ژنتیکی و اپی ژنتیکی تلفن‌های همراه را ایجاد رادیکال‌های آزاد، تغییرات رونویسی ژن‌ها، تغییر در تاخوردگی

5. Calvente I, Fernandez MF, Villalba J, Olea N, et al. Exposure to electromagnetic fields (non-ionizing radiation) and its relationship with childhood leukemia: A systematic review. *Science of the Total Environment*. 2010; 408(16): 3062–3069.
6. Hardell L, Carlberg M, Hansson Mild K. Epidemiological evidence for an association between use of wireless phones and tumor diseases. *Pathophysiology*. 2009; 16(2-3): 113–122.
7. Heikkinen P, Kosma VM, Huuskonen T, Hyysalo H, et al. Effects of mobile phone radiation on x-Ray induced tumorigenesis in mice. *Radiat Res*. 2001; 156(45): 775-785.
8. Griffiths DJ. Introduction to electrodynamics. Benjammin coummings. 1999; 3(1): 47-49.
9. Cardis E, Richardson L, Deltour I. The Interphone study: design, epidemiological methods, and description of the study population. *Eur J Epidemiol*. 2007; 22(9): 647-664.
10. Ying Han Y, Kano H, Davis D, Niranjan A, et al. Cell phone use and acoustic neuroma: the need for standardized questionnaires and access to industry data. *Surgical Neurology*. 2009; 72(3): 216–222.
11. Franzellitti S, Valbonesi P, Ciancaglini N, Biondi C, 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. *Mutat Res*. 2010; 683(1-2): 35–42.
12. Ruediger HW. Genotoxic effects of radiofrequency electromagnetic fields. *Pathophy*. 2009; 16 (2-3): 89-102.
13. Hintzsche H, Stopper H. Micronucleus frequency in buccal mucosa cells of mobile phone users. *Toxicology Letters*. 2010; 193(1): 124–130.
14. Verschaeve L, Juutilainen J, Lagroye J, Miyakoshi J, et al. In vitro and in vivo genotoxicity of radiofrequency fields. *Mutat Res*. 2010; 705(3): 252–268.
15. Tice RR, Hook GG, Donner M, McRee DI, et al. Genotoxicity of radiofrequency signals. Investigation of DNA damage and micronuclei induction in cultured human blood cells. *Bioelectromagnetics*. 2002; 23(1): 113–126.
16. Scarfi MR, Fresegna AM, Villani R, Pinto R, et al. Exposure to radiofrequency radiation (900 MHz, GSM signal) does not affect micronucleus frequency and cell proliferation in human peripheral blood lymphocytes: an interlaboratory study. *Radiat Res*. 2006; 165(1): 655–663.
17. Trosic J, Buslijeta L. Erythropoietic dynamic equilibrium in rats maintained after microwave irradiation. *Experimental and Toxicologic pathology*. 2006; 57(3): 247-251.

دیگری نظیر عادات غذایی، وابستگی به مواد مخدر، سیگار، الکل، میزان مصرف غذا، زمان مصرف غذا، قرار گیری در شرایط متفاوت زندگی همراه با فشارهای روحی، عصبی و همچنین آلاینده‌های محیطی فیزیکی و شیمیایی طبیعی و مصنوعی نیز وابسته است (۶۷). در ضمن مطالعه در پستانداران بزرگی که به مدت بیش از ده سال تحت تاثیر تشعشعات تلفن همراه بوده‌اند نتایج قابل فهم و قابل قبولی نداشته است زیرا اکثر افراد مورد آزمایش تحت اثرات همزمان انواعی از منابع مولد تشعشعات الکترومغناطیس نظیر تلفن‌های همراه، تلفن‌های بی سیم، ایستگاه‌های مخابراتی، خطوط فشار قوی با ولتاژ بالا، سیستم‌های وای فای، وایرلس، آنتن‌های رادیو و تلویزیون و ... بوده‌اند. لذا نمی‌توان بروز سرطان را فقط به تابش‌های تلفن همراه نسبت داد. از آن جایی که نمی‌توان تلفن همراه را از زندگی انسان‌ها حذف نمود، به منظور حفاظت در برابر اثرات احتمالی تشعشعات آن، به کار گیری روش‌های حفاظتی از جمله کم کردن مدت زمان مکالمات تلفنی، استفاده از تلفن در مواقع ضروری، دور نگه داشتن تلفن از اندام‌های حیاتی، استفاده از پوشش‌های مخصوص ضد امواج برای تلفن‌های همراه و منع استفاده از تلفن‌های همراه در دوران بارداری و کودکی، حضور کمتر در محیط‌هایی با مقادیر بالای مایکروویو در مناطق ایستگاه‌های پایه و ممنوعیت استفاده از تلفن همراه به هنگام رانندگی به همراه مصرف آنتی اکسیدان‌هایی نظیر ویتامین‌های E، C، A و چای سبز در رژیم غذایی روزمره افراد توصیه می‌شود.

## منابع

1. Khadrawy KH, Ahmed N, Aboul ezz H, radwan N. Effect of electromagnetic radiation from mobile phone on the levels of cortical amino acid neurotransmitters in adult and young rats. *Romanian j Biophys*. 2009; 19(4): 295–305.
2. Khurana VG. Cell phone and DNA story overlooked studies. *Letter Science*. 2008; 322 (5906): 1325-1326.
3. Kundi M, Mild KJ, Hardell L. Mobile telephones and cancer: a review of epidemiological evidence. *J Toxicol Environ Health*. 2004; 7(5): 351-384.
4. Verschaeve L. Genetic damage in subjects exposed to radiofrequency radiation. *Mutat Res*. 2009; 681(2-3): 259–270.

18. Gursatey G. Genetic damage in mobile phone users: some preliminary findings. *Indian J Hum Genet.* 2005;11(1):99-104.
19. Zotti-Martelli L, Peccatori M, Maggini V, Ballardin M, et al. Individual responsiveness to induction of micronuclei in human lymphocytes after exposure in vitro to 1800-MHz microwave radiation. *Mutat Res.* 2005; 582(1-2): 42-52.
20. Demsia G, Vlastos D, Matthopoulos DP. Effect Of 910 MHz electromagnetic field on rat bone marrow. *The Scientific World Journal.* 2004; 4(2): 48-54.
21. Baharara J, Haddad F, Ashraf AL, Khanderu E. The effect of extremely low frequency electromagnetic field (50 Hz) on induction of chromosomal damages on bone marrow erythrocytes of male Balb/C mouse. *Journal Of Arak University Of Medical Sciences.* 2008; 11(2): 17-26.
22. Baharara J, Haddad F, Ashraf AL, Amir Ahmadi M. The genotoxic effects of mobile phone waves on induction of chromosomal damages in embryos of Balb/C mice. *Journal of Medical Science University Of Kermanshah.* 2011; 4(14): 295-303.
23. Desai NR, Kesari K, Agarwal A. Pathophysiology of cell phone radiation: oxidative stress and carcinogenesis with focus on male reproductive system. *Reproductive Biology and Endocrinology.* 2009; 114(10): 1477-1490.
24. Phillips GL, Singh NP, Laib H. Electromagnetic fields and DNA damage. *Pathophysiology.* 2009; 16(2-3): 79-88.
25. Diem E, Schwarz C, Adlkofer F, Jahn O, et al. Non-thermal DNA breakage by mobile-phone radiation (1800-MHz) in human fibroblasts and in transformed GFSH-R17 rat granulosa cells in vitro. *Mutat Res.* 2005; 583(2): 178-183.
26. Nylund R, Leszczynski D. Mobile phone radiation causes changes in gene and protein expression in human endothelial cell lines and the response seems to be genome- and proteome-dependent. *Proteomics.* 2006; 6(17): 4769-4780.
27. Dasdag S, Ketani MA, Akdag MZ, Ersay AR, et al. Whole-body microwave exposure emitted by cellular phones and testicular function of rats. *Toxicological Res.* 1999; 27(1): 219-223.
28. Dasdag S, Akdag MZ, Asken F, Yilmaz F, et al. Whole body exposure of rats to microwaves emitted from a cell phone does not affect the testes. *Bioelectromagnetics.* 2003; 24(3): 182-188.
29. Baharara J, Oryan SH, Ashraf AL. The effects of microwaves (940 MHz) on ovary and fertility of Balb/C mouse. *Science J Tarbiat moalem University.* 2008; 7(3-4): 931-940.
30. Ozguner M, Koya A, Cesur G, Ural M, et al. Biological and morphological effects on the reproductive organ of rats after exposure to electromagnetic field. *Saudi Med.* 2005; 26(3): 405-410.
31. Erogul O, Oztas E, Yildirim I, Kir T, et al. Effects of Electromagnetic Radiation from a Cellular Phone on Human Sperm Motility: An In Vitro Study. *Archives of Medical Research.* 2006; 37(1): 840 -843.
32. Wdowiak A, Wdowaik L, Wiktor H. Evaluation of the effect of using mobile phones on male fertility. *Ann Agric Environ Med.* 2007; 14(1): 169-172.
33. Dasdag s, Akdag MZ, Ulukaya E, Uzunlar K, et al. Mobile Phone Exposure Does Not Induce Apoptosis on Spermatogenesis in Rats. *Archives of Medical Research.* 2008; 39(1): 40 -44.
34. Agarwal A, Desai NR, Makker K, Varghese A, et al. Effects of radiofrequency electromagnetic waves (RF-EMW) from cellular phones on human ejaculated semen: an in vitro pilot study. *Fertil Steril.* 2008; 92(4): 1318-132.
35. Makker K, Agarwal A. Cell phones and male infertility: dissecting the Relationship. *Reproductive Bio Medicine Online.* 2007; 15(3): 266-270.
36. Kılıçalp D, Deger Y, Cinar A. Effects Of Green Tea On Electrocardiography Of Guinea Pigs Exposed To Electromagnetic Field Emitted By Mobile Phones. *Kafkas Univ Vet Fak Derg Research.* 2009;15 (6): 823-828.
37. Baharara J, Parivar K, Ashraf AL, Majidi B. Effect of Mobile Phone Microwaves (940 MHz) on hematopoietic system before birth. *Journal Of Shahrekord Medical Sciences university.* 2008; 10(1): 1-8.
38. Baharara J, Parivar K, Ashraf AL, Azizi M. Effect of Mobile Phone waves (940 MHz) on hematopoietic system of immature male Balb/C. *Feyz journal.* 2008; 13(2): 1-7.
39. Khurana VG, Teo C, Kundi M, Hardell L, et al. Cell phones and brain tumors: a review including the long-term epidemiologic data. *Surgical Neurology.* 2009; 72(1): 205-215.
40. 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.
41. Paulraj R, Behari J. Single strand DNA breaks in rat brain cells exposed to microwave radiation. *J Pineal Res.* 1997; 22(3): 152-162.
42. Ntzouni MP, Stamatakis A, Stylianopoulou F, Margaritis LH. Short-term memory in mice is affected by mobile phone radiation. *Pathophysiology.* 2010; 689(1): 1-7.
43. Moghimi A, Baharara J, Musavi S. Effect of Mobile Phone Microwaves on Fetal Period of

- BALB/ c Mice in Histological Characteristics of Hippocampus and Learning Behaviors. Iranian Journal of Basic Medical Sciences. 2009; 12( 3-4): 150-157.
44. Nittby H, Brun A, Jeberhardt J, Malmgrend L, et al. Increased blood-brain barrier permeability in mammalian brain 7 days after exposure to the radiation from a GSM-900 mobile phone. Pathophysiology. 2009; 16(1): 103-112.
45. Narayanan SN, Kumar RS, Potu BJ, Nayak S, et al. Spatial Memory Performance of Wistar Rats Exposed to Mobile Phone. 2009; 64(3): 231-234.
46. Baharara J, Moghimi A, Moosavi S. Effect of Mobile Phone Microwaves (940 MHz) on Balb/C mice learning and spatil memory. Journal of Armaghane Danesh. 2009; 14(2): 1-12.
47. Schlehofer M, Thompsonb S, Tingc S, Ostermannb S, et al. Psychological predictors of college students' cell phone use while driving. Accident Analysis and Prevention. 2010; 42(4): 1107-1112.
48. Russo A, Piovano M, Lombardo L, Garbarino J, et al. Lichen metabolites prevent UV light and nitric oxide-mediated plasmid DNA damage and induce apoptosis in human melanoma cells. Life Sciences. 2008; 83(13-14) : 468-474.
49. Behari J, Paulraj R. DNA strand breaks in rat brain cells exposed to low level microwave radiation. Bioline. 2005; 11(2): 99 -110.
50. Jankun J, Selman SH, Swiercz R, Skrzypczak Jankun E. Why drinking green tea could prevent cancer. Nature 1997; 387 (1): 561-562.
51. Kundi M, Hutter H.P. Mobile phone base stations: Effects on wellbeing and health. Pathophysiology. 2009; 16(2-3): 123-135.
52. Yao K, Wu W, Wang K, Ni S, et al. Electromagnetic noise inhibits radiofrequency radiation-induced DNA damage and reactive oxygen species increase in human lens epithelial cells. Mol Vis. 2008; 19(14): 964-969.
53. Ciaravino V, Meltz ML, Erwin D.N. Effects of radiofrequency radiation and simultaneous exposure with mitomycin C on the frequency of sister chromatid exchanges in Chinese hamster ovary cells. Environ Mutagen. 1987; 9(4): 393-399.
54. Zhang MB, He JL, Jin LF, Lu DQ. Study of low-intensity 2450-MHz microwave exposure enhancing the genotoxic effects of mitomycin C using micronucleus test and comet assay in vitro. Biomed Environ Sci. 2002; 15(4): 283-290.
55. Maes A, Collier M, Slaets D, Verschaeve L. 954 MHz microwaves enhance the mutagenic properties of mitomycin C. Environ Mol Mutagen. 1996; 28(1): 26-30.
56. Markkanen A. Effects of electromagnetic fields on cellular responses to agents causing oxidative stress and DNA damage. Kuopio Univ Environ Sci. 2009; 253(1): 1-59.
57. Repacoli MH . Health risks from the use of mobile phones. Toxicol let. 2001;120 (1):323-331.
58. Desai N, Sharma R, Makker K, Sabanegh E, et al. Physiologic and pathologic levels of reactive oxygen species in neat semen of infertile men. Radiat Res. 2008; 169(3): 319-329.
59. Seger R, Schiff Y, Hauptman Y, Kraus S, et al. Mechanism of short-term ERK activation by electromagnetic field at mobile phone frequencies. Biochem J .2007; 405(3): 559-568.
60. Makker K, Varghese A, Desai NR, Mouradi R, et al. Cell phones: modern man's nemesis? Reproductive Bio Medicine Online. 2009; 18( 1): 148-157.
61. Dai QI, Shu XO, Li H, Yang G, et al. Is Green Tea Drinking Associated With a Later Onset of Breast Cancer? AEP. 2010; 20(1): 74-81.
62. Ozgur E, Guler G, Seyhan N. Regenerative Effects of (-)-epigallocatechin-gallate Against Hepatic Oxidative Stress Resulted by Mobile Phone Exposure. Medical and Biomedical Engineering and Computing. 2007; 16 (7): 214-217.
63. Lai H, Singh NP. Magnetic-field-induced DNA strand breaks in brain cells of the rat. Environ Health Perspect. 2004; 112 (6): 687-694.
64. Mashevich M, Folkman D, Kesar A, Barbul A, et al. Exposure of human peripheral blood lymphocytes to electromagnetic field associated with cellular phones leads to chromosomal instability. Bioelectromagnetics. 2003; 24(1): 82-90.
65. Rong Ding G, Wu wang X, Li K, Qiu L.B, et al. Comparison of Hsps Expression after Radio-frequency Field Exposure in Three Human Glioma Cell Lines. Biomedical And Environmental Sciences. 2009; 22(2): 374-380.
66. Kumaran VS, Arulmathi K, Srividhya R, Kalaiselvi P .Repletion of antioxidant status by EGCG and retardation of oxidative damage induced macromolecular anomalies in aged rats. Experimental Gerontology. 2008; 43(3): 176-183.
67. Hutter HP, Moshammer H, Wallner P, Kundi M. Subjective symptoms, sleeping problems, and cognitive performance in subjects living near mobile phone base stations. Occup Environ Med. 2006; 63(5): 307-313.

## Effects of Cell Phones Radiation on Biological Factors

Baharara J <sup>1\*</sup>, Zahedifar Z <sup>2</sup>

1. Biology Department, Faculty of Sciences, Islamic Azad University, Mashhad Branch, Iran

2. M.Sc graduated student in Developmental Biology, Biology Department, Faculty of Sciences, Islamic Azad University, Mashhad Branch, Iran

\* Email corresponding author: Baharara@yahoo.com

Received: 3 May. 2011

Accepted: 14 Jun. 2011

---

### Abstract

Due to the wide spread utility of the cell phones in the world, grate concerns exist about the possible effects of its radiation on the well being of the living creatures. Based on the results of many studies, microwave radiation of mobile phones caused different derastic effects such as chromosome damage, single and double-stranded DNA breakage, increas the risk of mutation and variaty of cancers in the animals. Some researchers believe that the electromagnetic waves of mobile phones solely do not cause genetic damage, but it increases the genotoxic effect of other physical and chemical agents as well as environmental pollutants. In this paper, adversed effects of the radiation from mobile phones on human and different animals such as mice, rat and guinea pig have been investigated.

**Keywords:** Cell phone, Health, Genotoxic damages, Microwave