

## تأثیر میدان مغناطیسی ۲۱۷ هرتز گوشی تلفن همراه با شدت‌های مختلف بر آپویتوز سلول‌های سالم و سرطانی تحت درمان با داروی شیمی درمانی

مهسا منصوریان<sup>۱</sup>، سید محمد فیروزآبادی<sup>۲</sup>، زهیر محمدحسن<sup>۳</sup>، زینب شنکایی<sup>۴</sup>

۱. کارشناس ارشد فیزیک پزشکی، دانشگاه تربیت مدرس
۲. استاد فیزیک پزشکی، دانشگاه تربیت مدرس
۳. استاد ایمنی شناسی، دانشگاه تربیت مدرس
۴. دانشجوی دکتری فیزیک پزشکی، دانشگاه تربیت مدرس

### چکیده

**زمینه و هدف:** با توجه به رشد روزافزون وسایل الکترونیکی خانگی و تجاری در دنیای امروز، اثرات بیولوژیکی میدان‌های مغناطیسی ELF در دو سطح مولکولی - سلولی و حیوانی - انسانی مورد مطالعه قرار گرفته است. با توجه به دیدگاه درمانی این پژوهش در محور تأثیر میدان‌های کم فرکانس تلفن همراه، تأثیر تابش حاد این میدان بر روی شیمی‌درمانی بررسی می‌شود.

**مواد و روش کار:** در این مطالعه تجربی آزمایشگاهی بر اساس اندازه‌گیری شدت میدان‌های مغناطیسی ناشی از گوشی موبایل در تحقیق دیگری، چگالی‌های شار میدان مغناطیسی ۱۵۹/۴۴، ۹۳/۲۵ و ۱۲۰ میکروتسلا با فرکانس ۲۱۷ هرتز در سیستم مولد میدان مغناطیسی ایجاد، و میزان آپویتوز در سلول‌های سرطانی K562 و سلول‌های سالم لئوسیت در اثر تابش میدان با استفاده از روش فلوسایتومتری بررسی شد. این روش ارزیابی، برای سلول‌های تیمار شده با داروی بلنومایسین در پی تابش این میدان نیز انجام شد.

**یافته‌ها:** تابش میدان مغناطیسی ۲۱۷ هرتز، میزان درصد آپویتوز را به طور معنی‌داری ( $p < 0.05$ ) در سلول‌های سرطانی K562 و در دو شدت ۱۲۰ و ۱۵۹/۴۴ میکروتسلا نسبت به گروه کنترل افزایش می‌دهد ولیکن چنین اثری در سلول‌های لئوسیت مشاهده نمی‌شود. میزان درصد آپویتوز ناشی از داروی بلنومایسین متعاقب میدان مغناطیسی مذکور نسبت به گروه درمان با دارو بدون تابش میدان، تفاوت معنی‌داری را نشان نمی‌دهد. این عدم تفاوت معنی‌دار، بین گروه‌های دارو متعاقب تابش میدان و میدان به تنهایی و هم‌چنین بین گروه‌های تابش و گروه شیمی‌درمانی مشاهده می‌شود.

**نتیجه‌گیری:** بررسی نتایج این تحقیق نشان داد که میدان مغناطیسی ۲۱۷ هرتز گوشی موبایل می‌تواند آپویتوز را در سلول‌های سرطانی القا کند اما تأثیری بر روی سلول‌های سالم ندارد. بنابراین به منظور استفاده از تلفن همراه به عنوان یک عامل درمانی، نیاز است که تحقیقات در سطح حیوانی - انسانی هم انجام پذیرد. [ م ت ع پ ز، ( ) ]

**کلیدواژه‌ها:** میدان مغناطیسی درمانی، آپویتوز، بلنومایسین

### مقدمه

می‌شود جریان باطری گوشی برای مخازن‌های پشت سرهم کوتاه برقرار باشد و تغییرات جریان، میدان‌های مغناطیسی پالسی ELF را تولید کند که اثرات بیولوژیکی آن، به تازگی مورد توجه قرار گرفته است.<sup>۱-۱۱</sup>

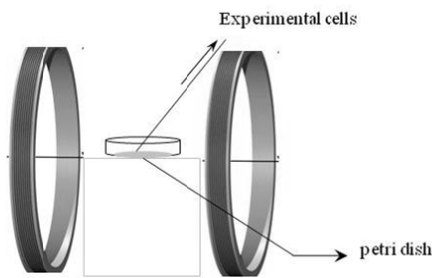
بررسی آثار میدان‌های مغناطیسی پالسی، نشان می‌دهد که این میدان‌ها می‌توانند در میزان بازده داروهای ضد سرطانی تغییراتی ایجاد کنند اما مکانیسم برهم‌کنش آن‌ها در ایجاد این تغییر مشخص نیست.<sup>۱۲</sup> این مطالعات، ارزیابی‌های گوناگونی از میزان جذب و اثر داروهای مختلف در اثر تابش میدان‌ها داشته‌اند. به عنوان نمونه، افزایش اثر داروی آدریامایسین توسط میدان‌های مغناطیسی پالسی در مطالعه Miyagi و همکارانش، از دسته این مطالعات است.<sup>۱۳</sup> اما متوقف شدن عمل بازدارندگی تاموکسیفن در سلول‌های تومور پستان (MCF-7) توسط میدان‌هایی با شدت ۱/۲ میکروتسلا و فرکانس ۶۰ هرتز نتیجه‌ای است که در مطالعه دیگری به دست آمده است.<sup>۱۴</sup>

از جمله داروهای ضد سرطانی که به شکل گسترده‌ای در شیمی‌درمانی مورد استفاده قرار می‌گیرد، داروی بلنومایسین است. این دارو به وسیله

میدان‌های مغناطیسی تولید شده به وسیله تلفن‌های موبایل و وسایل الکترونیکی آثاری را بر روی عملکردهای بیولوژیکی به دنبال دارند که علاقه بسیاری از دانشمندان را به مطالعه در این زمینه جلب کرده است.<sup>۱-۳</sup> یکی از این آثار که در درمان بیماری‌های بسیاری از جمله سرطان می‌تواند مفید واقع شود، مرگ سلول یا تسریع مرگ آن‌ها در هنگام شیمی‌درمانی توسط این میدان‌هاست.<sup>۴-۷</sup> در میان مکانیسم‌های موجود برای مرگ سلول، آپویتوز به عنوان روشی بسیار مناسب در روش‌های ضد سرطانی کاربرد دارد چرا که سلول‌های آپویتوز شده با عمل فاگوسیتوز بدون ایجاد فساد از محیط حذف می‌شوند.<sup>۸</sup> تحقیقات متعددی نشان می‌دهد که میدان‌های مغناطیسی در محدوده ELF، (Extremely low frequency)، می‌توانند موجب مرگ سلول‌ها در نتیجه القای آپویتوز شوند.<sup>۹</sup> یکی از این میدان‌های ELF، از تلفن‌های همراه گسیل می‌شود و به دلیل استفاده روزافزون کاربران از این وسیله، مورد توجه بسیاری از مطالعات قرار گرفته است. سیستم (Global Mobile) GSM System for در حال حاضر یکی از رایج‌ترین تکنولوژی‌های ارتباطات بی سیم است که استفاده از طرح تقسیم زمانی در آن موجب

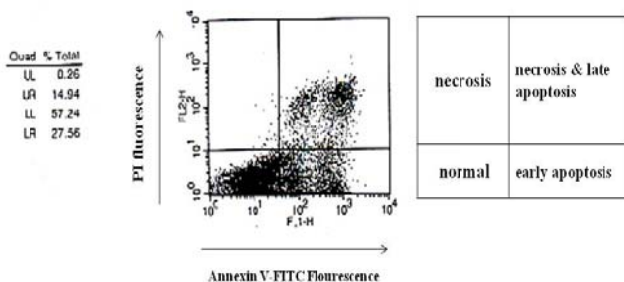
۲۱۷ پالس در ثانیه در نظر گرفته شد. چگالی شار مغناطیسی هم در فضای بین دو کویل با دستگاه سنجش میدان مغناطیسی (TES 1394) اندازه گیری شد. چگالی شار مغناطیسی در سه شدت ۱۵۹/۴۴، ۱۲۰ و ۹۳/۲۵ میکروتسلا، که کلیه این مقادیر با توجه به دوزیمتری رساله کاویانی ۱۶ که اندازه گیری محیطی میدان مغناطیسی گوشی GSM را انجام داده است، انتخاب شد. پس از آن سلول‌ها روی محور میانی در فضای بین دو کویل تحت تابش این شدت‌ها قرار گرفتند.

تابش و درمان سلول‌ها: ابتدا تعداد  $10^7 \times 1/5$  سلول در هر میلی لیتر، در پتری دیش های کوچک آزمایشگاهی (۳۵ میلیمتری) ریخته شد. سپس سلول‌ها در گروه‌هایی مجزا به مدت ۱۰ دقیقه (مطابق تصویر ۱)، به منظور بررسی اثر تابش بر روی میزان آپوپتوز، تحت تابش قرار گرفتند. اما در سایر گروه‌ها که تاثیر تابش میدان مغناطیسی در روش شیمی درمانی مورد ارزیابی قرار گرفت، سلول‌ها پس از تابش با میدان مغناطیسی به مدت ۱۰ دقیقه، توسط بلنومایسین با غلظت  $0.1 \mu\text{M}$ ، تیمار شدند. پس از آن تمامی گروه‌های سلولی با اضافه کردن محیط کشت، به مدت ۲۴ ساعت در انکوباتور مرطوب  $37^\circ\text{C}$  با ۵ درصد  $\text{CO}_2$  نگهداری شدند.



تصویر ۱- نمای شماتیکی از وضعیت قرار گیری سلول‌ها در میان کویل‌های مولد میدان مغناطیسی

سنجش میزان آپوپتوز: پس از ۲۴ ساعت انکوبیت کردن سلول‌ها، آن‌ها را سانتریفیوژ (۵ دقیقه در دور ۱۲۰۰) کرده و محیط روی آن‌ها دور ریخته شد. با اضافه کردن مقدار ۵۰۰ میکرولیتر Binding buffer و بعد از آن آنکسین و پرویدومیدید (هر یک به مقدار ۵ میکرولیتر) به مدت ۵ دقیقه، سلول‌ها در تاریکی قرار گرفتند و در نهایت با استفاده از دستگاه فلوسایتومتری (Bicton Dicknison; BD) شمارش و درصد آپوپتوز و نکروز آن‌ها توسط دستگاه تعیین شد (تصویر ۲).



تصویر ۲- نمونه‌ای از نمودار فلوسایتومتری و درصدهای آپوپتوز و نکروز

مکانیسم اندوستیوز با واسطه رسپتور، داخل سلول می‌شود.<sup>۱۵</sup> بنابراین بررسی تاثیر مثبت یا منفی تابش میدان‌های مغناطیسی ELF گوشی‌های GSM در ایجاد آپوپتوز سلول‌ها با استفاده از این دارو در درمان شیمی‌درمانی می‌تواند مورد مطالعه واقع شود. بنابراین، چون از یک طرف، بخشی از افرادی که در معرض پرتوهای موبایل قرار می‌گیرند، قشر بیماران سرطانی هستند و از طرفی دیگر، میدان‌های مغناطیسی با توجه به نکات فوق، بر روی مرگ سلول‌ها و هم چنین میزان مقاومت سلول‌های توموری نسبت به داروهای ضدسرطانی تاثیر گذارند، در این مطالعه برآیم، تاثیر میزان آپوپتوز سلول‌های سرطان خونی K562 (اریتروکیمیا) و سلول‌های سالم لنفوسیت خون محیطی انسان را در اثر تابش حاد میدان مغناطیسی ELF گوشی تلفن همراه و هم چنین میزان این نوع مرگ‌ومیر سلولی را در درمان با داروی ضدسرطانی بلنومایسین و در پی تابش حاد این میدان‌ها، مورد مطالعه و بررسی قرار دهیم تا بتوانیم دیدگاهی مناسب به منظور ارائه توصیه‌ای سودمند به این بیماران در جهت میزان استفاده از تلفن موبایل به عنوان یک عامل موثر در درمان آن‌ها ارائه دهیم.

### روش کار

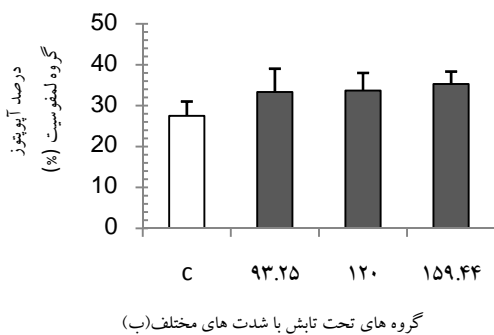
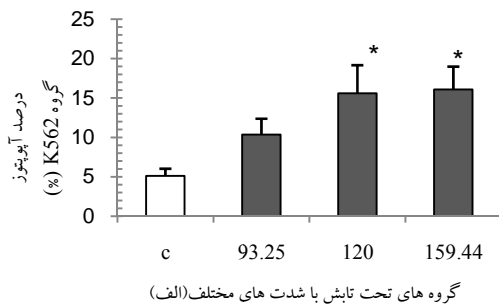
این مطالعه از نوع تجربی آزمایشگاهی است که بر روی رده سلول‌های سرطانی K562 و سلول‌های سالم لنفوسیت انجام گرفته است. سلول اریتروکیمیا K562: سلول‌های سوسپانسیونی K562 در محیط کشت حاوی RPMI 1640 و ۱۰ درصد سرم جنین گاو در فلاسک‌های فیلتردار کشت داده شد و در انکوباتور مرطوب  $37^\circ\text{C}$  با ۵ درصد  $\text{CO}_2$  نگهداری شدند. سلول‌ها هر دو روز یکبار پاساژ داده شدند و محیط آن‌ها با محیط تازه جایگزین شد.

استخراج و جداسازی لنفوسیت: برای استخراج لنفوسیت، ابتدا مقدار مورد نیاز خون توسط سرنگ هپارینه تهیه و پس از رقیق کردن آن توسط PBS (فسفات بافر سالین)، بر روی فایکول (نسبت خون به فایکول ۲:۱) ریخته شد. این کار به گونه‌ای انجام شد که خون با فایکول مخلوط نشود. پس از آن به مدت ۲۰ دقیقه سانتریفیوژ و لایه سفیدی که بین دو لایه زرد و قرمز قرار داشت، استخراج شد. لایه استخراج شده چندین مرتبه توسط PBS، به منظور حذف فایکول از محیط سلول شستشو داده شده و در نهایت سلول‌های لنفوسیت موجود در این لایه مورد آزمایش قرار گرفت.

سیگنال‌های مربعی ۲۱۷ هرتز، از سیستم میکروپروسسوری کنترل کننده شدت میدان و ثبات ولتاژ کویل جستجوگر، دریافت و به یک تقویت کننده صوتی ۲۰۰ وات با جریان خروجی ۵ آمپر تحویل داده شد. خروجی این تقویت کننده به کویل‌های دوتایی هلم هولتز برای ایجاد میدان مغناطیسی یکنواخت اعمال شد. این کویل‌ها شامل یک جفت کویل دایره‌ای بود که از سیم مسی روکشدار با قطر  $0.78$  میلی‌متر و ۲۸۷ دور ساخته شد. قطر هر سیم پیچ ۲۰ سانتی‌متر و فضای بین آن‌ها معادل شعاع کویل‌ها بود. شکل میدان با استفاده از نرم افزار Biolab (ساخت داخل مربوط به دستگاه) در هر بار آزمایش مورد بررسی قرار گرفت. در این میدان پالسی شکل، عرض هر پالس  $0.577$  میلی ثانیه (فاصله زمانی دو پالس  $4/61$  میلی ثانیه) و تعداد آن

## یافته‌ها

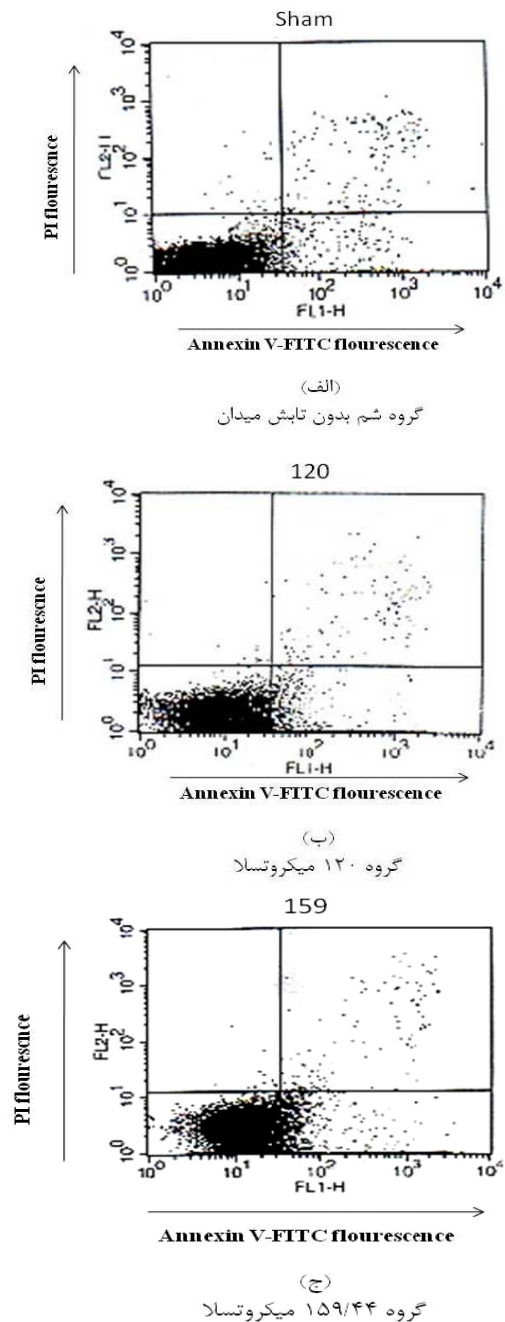
در ابتدای این مطالعه اثر تابش تنها بر روی میزان آپوپتوز سلول‌ها مورد بررسی قرار گرفت. این بررسی نشان داد که تابش حاد سلول‌های K562، توسط میدان مغناطیسی، درصد آپوپتوز معنی‌داری را در شدت‌های ۱۲۰ و ۱۵۹/۴۴ میکروتسلا نسبت به گروه کنترل ایجاد می‌نماید (تصویر ۳). درصد آپوپتوز در این رده سلولی در شدت ۱۲۰ میکروتسلا برابر  $20/54 \pm 3/5$  درصد و در شدت ۱۵۹/۴۴ مقداری برابر  $18/29 \pm 2/9$  درصد را دارا بوده و درصد آپوپتوز در گروه شش بدون تابش میدان مغناطیسی  $5/11 \pm 0/91$  درصد بود. این در حالی است که در شدت ۹۳/۲۵ میکروتسلا تفاوت معنی‌دار آماری میان درصد آپوپتوز نسبت به گروه شش مشاهده نشد. میزان درصد آپوپتوز سلول‌های لنفوسیت، تحت تابش میدان مغناطیسی، در هیچ یک از شدت‌ها بیانگر تفاوت معنی‌دار آماری نسبت به گروه کنترل نبود (نمودار ۱).



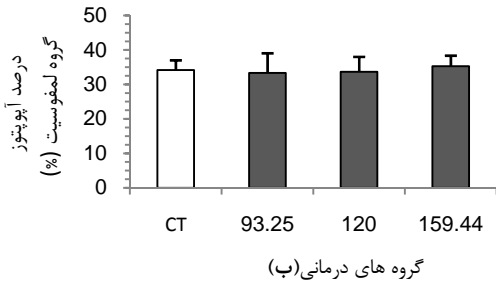
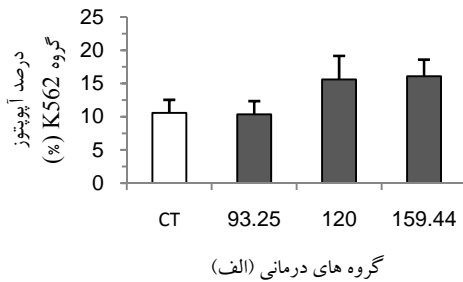
نمودار ۱: میزان درصد آپوپتوز ناشی از تابش میدان مغناطیسی (□) گروه شش بدون تابش میدان، (■) گروه تحت تابش میدان. (الف): درصد آپوپتوز در سلول‌های K562، (ب): درصد آپوپتوز در سلول‌های لنفوسیت فون ممیپی انسان (۰/۰۵) (\* $p <$

در ادامه این تحقیق، تاثیر تابش میدان مغناطیسی بر روی میزان آپوپتوز سلول‌ها در درمان با داروی بلئومایسین متعاقب تابش میدان، مورد بررسی قرار گرفت. یافته‌ها نشان می‌دهد که میزان مقاومت سلول‌های K562 در برابر کشندگی داروی بلئومایسین در هیچ یک از شدت‌های میدان مغناطیسی تغییر نمی‌کند. مشابه این نتیجه برای سلول‌های لنفوسیتی که پس از تابش میدان مغناطیسی با داروی بلئومایسین درمان شدند به دست آمد (نمودار ۲). در میان گروه‌های دارو درمانی متعاقب تابش میدان، اگرچه با افزایش شدت میدان

همه آزمایش‌ها حداقل سه بار در روزهای متفاوت تکرار شدند و نتایج به دست آمده در آزمایش‌های مختلف به صورت میانگین  $\pm$  انحراف استاندارد بیان شده است. آنالیز آماری با استفاده از آزمون  $t$  مستقل و با نرم‌افزار SPSS-16 انجام شد. نرمال بودن داده‌ها با استفاده از آزمون تشخیصی کولموگروف-اسمیرنوف مورد ارزیابی قرار گرفت و نشان داده شد که داده‌ها همگی در گروه‌های مختلف دارای توزیع نرمال بودند.  $p < 0/05$  به عنوان سطح معنی‌دار بودن آزمون‌ها در نظر گرفته شد.



تصویر ۳: آنالیز فلوسایتومتری برای سه گروه (الف): میدان شش بدون تابش میدان، (ب) گروه ۱۲۰ میکروتسلا، (ج): گروه ۱۵۹/۴۴ میکروتسلا



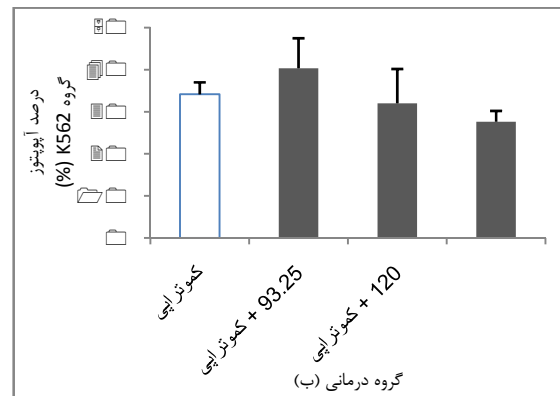
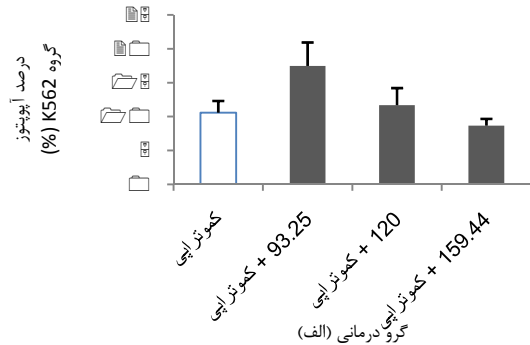
نمودار ۳: میزان درصد آپوپتوز ناشی از تابش میدان مغناطیسی. (□) گروه شم بدون تابش میدان و با داروی شیمی درمانی، (■) گروه تمت تابش میدان مغناطیسی (الف)؛ درصد آپوپتوز در سلول های K562، (ب)؛ درصد آپوپتوز در سلول های لنفوسیت خون ممیطنی انسان ( $p < 0.05$ )\*

### بحث

نتایج بخش اول مطالعه حاضر نشان می دهد که تابش حاد میدان مغناطیسی ELF در فرکانس ۲۱۷ هرتز که مدوله کننده فرکانس رادیویی ۹۰۰ مگاهرتز در سیستم جهانی موبایل GSM بوده قادر است آپوپتوز را در سلول های سرطانی ایجاد کند اما بر روی سلول های سالم لنفوسیت بی تاثیر است. فرضیاتی که در رابطه با تاثیر میدان های ELF بر روی سلول مورد قبول واقع شده حاکی از آن است که این میدان ها در ابتدا وقایعی که بر روی غشای سلول رخ می دهد را تغییر می دهند و سپس با انتقال سیگنال های متوالی بر روی عملکردهای داخل سلول اثر می گذارند.<sup>۱۸</sup> مقاومتی که سلول های لنفوسیت در برابر کشندگی ناشی از تابش میدان های ELF نسبت به سلول های سرطانی نشان می دهند از جمله نتایجی است که در تحقیقات دیگر هم به چشم می خورد. برای مثال بررسی میزان اختلاف مرگ در سلول های سرطانی و سالم در مطالعه ای که به بررسی اثر تابش میدان مغناطیسی با فرکانس ۵۰ هرتز پرداخته، نشان دهنده میزان آپوپتوز بیشتر سلول های سرطانی در برابر زنده ماندن بیشتر سلول های لنفوسیت است.<sup>۶</sup> یافته دیگری که این نتیجه را تایید می کند، پرتو دهی سلول های سرطانی HL-60 و سلول های سالم لنفوسیت توسط میدان مغناطیسی با فرکانس ۵۰ هرتز و شدت ۴۵ میلی تسلا است که نشان داد این تابش به مدت ۳/۵ ساعت موجب قطعه قطعه شدن DNA در سلول های HL-60 می شود<sup>۷</sup> در حالی که چنین اثری برای سلول های لنفوسیت وجود ندارد. بنابراین نتیجه این بخش از مطالعه در توافق با نتایجی است که در سایر مطالعات به دست آمده است.

مقاومت سلول های توموری در برابر عوامل آنتی-تئوپلاستیک به عنوان مانعی در شیمی درمانی سلول های سرطانی محسوب می شود. مکانیسم اصلی در مقاومت نسبت به داروی شیمی درمانی، پدیده مقاومت چندگانه دارویی

مغناطیسی، درصد آپوپتوز کاهش پیدا کرد اما این کاهش برای هر شدت، نسبت به دیگر شدت های تابش، از نظر آماری معنی دار نبود.



نمودار ۴: میزان درصد آپوپتوز ناشی از تابش میدان مغناطیسی. (□) گروه شم بدون تابش میدان و با داروی شیمی درمانی، (■) گروه تمت تابش میدان و درمان کموتراپی (CT). (الف)؛ درصد آپوپتوز در سلول های K562، (ب)؛ درصد آپوپتوز در سلول های لنفوسیت خون ممیطنی انسان ( $p < 0.05$ )\*

مقایسه بین گروه های تابش میدان مغناطیسی به تنهایی و تابش میدان و داروی متعاقب آن هم در تمامی شدت ها، در هیچ یک از دو رده سلولی، تفاوت معنی داری نداشت. در مقایسه گروه های سلولی K562 و گروه سلول های سالم لنفوسیت، گروه کنترل و در نتیجه سایر گروه های این رده سلولی، نسبت به گروه های سلول های سرطانی دچار آپوپتوز بیشتری شدند که این تفاوت، ناشی از حساس بودن بیشتر سلول های لنفوسیت به تغییرات دما، رطوبت و سایر عوامل فیزیکی دیگری است که شرایط آزمایش ناچاراً به این عوامل وابسته بوده و سلول های لنفوسیت را تحت تاثیر قرار داده است.

نتیجه مقایسه گروه شیمی درمانی با گروه های تحت تابش میدان مغناطیسی نشان می دهد که اگر چه میزان آپوپتوز و در نتیجه قدرت کشندگی شدت های تابش ۱۲۰ و ۱۵۹/۴۴ میکروتسلا مقدار بیشتری دارد اما این تفاوت بین گروه های تابش تنها و گروه شیمی درمانی با دوز کم دارو، معنی دار نبود و به ویژه در سلول های لنفوسیت میزان آپوپتوز در همه این گروه ها تقریباً به یک اندازه بود (نمودار ۳).

گردید. هم‌چنین از شدت‌ها و فرکانس‌های متفاوتی از میدان‌های مغناطیسی پالسی استفاده کرده‌اند. نوع سلول و نوع دارو نیز به گونه‌ای متفاوت انتخاب شده‌است. این تفاوت‌ها می‌تواند بیانگر این نکته باشد که فاکتورهایی چون نوع دارو، نوع رده سلولی، نوع و زمان تابش دهی توسط میدان و نیز شدت و فرکانس میدان قادر خواهد بود که در نوع اثری که میدان‌های مغناطیسی پالسی بر میزان سمیت داروهای ضدسرطانی دارند تاثیر گذار باشد. البته این مطالعه تنها میدان مغناطیسی ELF که مدوله کننده امواج RF تلفن همراه هستند را در نظر گرفته است و شاید برای بررسی نقش اثر امواج تلفن همراه به طور کامل، استفاده از امواج RF ای که با میدان‌های مغناطیسی ELF مدوله شده‌اند بتوان به نتایج کامل‌تری دست یافت.

به طور کلی نتایج این مطالعه نشان داد که میدان‌های مغناطیسی ELF ناشی از تلفن موبایل می‌توانند موجب مرگ سلول‌های سرطانی شوند اما اثری بر روی سلول سالم لئوسیت ندارند. هم‌چنین این میدان‌ها، تغییری را در میزان سمیت داروی بلئومایسین در سلول‌های سرطانی و سالم ایجاد نمی‌کنند. بنابراین با توجه به این که این تحقیق در محیط *in-vitro* انجام شده و نتایج، در سطح سلولی به دست آمده است، به منظور ارائه توصیه‌ای مناسب به بیماران سرطانی در جهت استفاده بیشتر از تلفن موبایل به عنوان یک عامل درمانی، نیاز است که تحقیقات در سطح حیوانی و انسانی هم انجام پذیرد. هم‌چنین انجام این آزمایش در سایر شدت‌ها و انواع دیگر سلول‌ها و نیز استفاده از زمان‌های تابش دهی بیشتر در تحقیقات دیگر پیشنهاد می‌شود.

### سپاسگزاری

نویسندگان این مقاله بر خود لازم می‌دانند که از دانشگاه تربیت مدرس به دلیل حمایت‌های مالی تحقیق فوق که حاصل کار پایان نامه با کد پ ز ۲۸۰۱۳۰۳ می‌باشد، مراتب تقدیر و تشکر را اعلام نمایند.

### References

- Mahrou N, Pologea-Moraru R, Moiescu MG, et al. In vitro increase of the fluid-phase endocytosis induced by pulsed radiofrequency electromagnetic fields: Importance of the electric field component. *Biochim Biophys Acta* 2005; 1668(1): 126-137.
- Adey WR. Biological effects of electromagnetic fields. *Cell Biochem* 1993; 51(4): 410-6.
- Levallois P, Gauvin D, Gingras S. Comparison between personal exposure to 60 Hz magnetic fields and stationary home measurements for people living near and away from a 735 kV power line. *Bioelectromagnetics* 1999; 20(6): 331-337.
- Omote Y. An experimental attempt to potentiate therapeutic effects of combined use of pulsing magnetic fields and antitumor agents. *Jpn Surg Soc* 1988; 89(8): 1155-1166.
- Liang Y, Hannan C, Chang B and Schoenlein P. Enhanced potency of daunorubicin against multidrug resistant subline KB-ChR-8-5-11 by a pulsed magnetic field. *Anticancer Res* 1997; 17(3C): 2083-2088.
- Radeva M, Berg H. Differences in lethality between cancer cells and human lymphocytes caused by LF-electromagnetic fields. *Bioelectromagnetics* 2004; 25(7): 503-507.
- Tadashi H, Kazuhiro N, Kasahara T, et al. Induction of apoptosis in human leukemic cells by magnetic fields. *Jpn J Physiol* 1997; 47(3): 307-310.
- Matsuki N, Ishikawa T, Imai-Yand Yamaguchi T. Low voltage pulses can induce apoptosis. *Cancer Letters* 2008; 269(1): 93-100.
- Xinchen Z, Husheng Z, Congyi Z, et al. Extremely low frequency (ELF) pulsed-gradient magnetic fields inhibit malignant tumour growth at different biological levels. *Cell Biol Int* 2002; 26(7) 599-603.
- Hamblin D, Wood A. Effects of mobile phone emissions on human brain activity and sleep variabl. *Int J Radiat Biol* 2002; 78(8): 659-69.
- Ivonen S, Sihvonen A, Karkkainen K and Sarvas J. in the human head due to the battery current of a digital mobile phone. *Bioelectromagnetics* 2005; 26(8): 648-656.
- Ruiz-Gomez M, Dela Pena L, Prieto-Barcia M, et al. Influence of 1 and 25 Hz, 1.5 mT magnetic fields on antitumor drug potency in a human adenocarcinoma cell line. *Bioelectromagnetics* 2002; 23(8): 578-85.
- Miyagi N, Sato K, Rong Y, et al. Effects of PEMF on a murine osteosarcoma cell line: drug-resistant (P-

- glycoprotein-positive) and non-resistant cells. *Bioelectromagnetics* 2000; 21(2): 112-121
14. Harland J, Liburdy R. Environmental magnetic fields inhibit the antiproliferative action of tamoxifen and melatonin in a human breast cancer cell line. *Bioelectromagnetics* 1997; 18(8): 555-562.
  15. Prone G, Mahroun N, Orłowski S, et al. Internalization of the bleomycin molecules responsible for bleomycin toxicity: A receptor-mediated endocytosis mechanism. *Biochem Pharmacol* 1999; 57(1): 45-56.
  16. Kaviani-Moghadam M. [Effect of ELF magnetic fields with 50 and 217 Hz frequency in the range of environmental intensities on the neuronal electrical activities of *Helix aspersa*] Persian. Tehran: Tarbiat Modares University; 2008.
  17. Todorovical V, Sersal G, Flisar K and Camazar M. Enhanced cytotoxicity of bleomycin and cisplatin after electroporation in murine colorectal carcinoma cells. *Radiol oncol* 2009; 43(4): 267-273.
  18. Liburdy P. Cellular studies and interaction mechanisms of extremely lowfrequency fields. *Radio Science* 1995; 30(1): 179-203.
  19. Omote Y, Hosokawa M, Komastsumoto M, et al. Treatment of experimental tumors with a combination of a pulsing magnetic field and anti-tumor drug. *Jpn J Cancer Res* 1990; 81(9): 956-961.
  20. Hannan J, Liang Y, Allison J and Searle J. In vitro cytotoxicity against human cancer cell lines during pulsed magnetic field exposure. *Anticancer Res* 1994; 14(4A): 1517- 1520.
  21. Laque-Ruperez E, Ruiz-Gomez M, de la Pena L, et al. Methotrexate cytotoxicity on MCF-7 breast cancer cells is not altered by exposure to 25 Hz, 1.5 mT magnetic field and iron (III) chloride hexahydrate. *Bioelectrochemistry* 2003; 60(2): 81-86.

## *Effect of magnetic fields from mobile phones with 217 Hz frequency and different intensities on apoptosis percent of cancer and healthy cells treated by chemotherapy*

Mahsa Mansourian,<sup>1</sup> Seved Mohammad Firoozabadi,<sup>2</sup> Zuhair Mohammad Hassan,<sup>3</sup> Zeynab shankayi<sup>4</sup>

**Background and objective:** Due to increasing domestic and commercial equipments, the biological effects of ELF (Extremely Low Frequency) fields are studied in both molecular-cellular and animal-human levels. Considering therapeutic aspect of this study about ELF fields of GSM mobile phone effects, the influence of the acute exposure of the magnetic field on chemotherapy is investigated.

**Materials and method:** According to measurement of the ELF fields in another study, the flux density of magnetic field with 217 Hz frequency at 159.44, 120 and 93.25  $\mu$ T was produced using magnetic field generator. Percentage of apoptosis was evaluated in both K562 cell line and lymphocyte cells subjected to field by flow cytometry. This evaluation method was performed for the cells treated by bleomycin after field exposure.

**Results:** Magnetic fields exposure with 217 Hz frequency, significantly ( $p < 0.05$ ) increases apoptosis in K562 cell line at two intensity 159.44 and 120  $\mu$ T in compared with control group but it had no effect on lymphocyte. The difference of apoptosis between groups treated by the drug after mentioned field exposure and groups treated by the drug without exposure is not significant. No significant difference is observed between groups treated by drug after exposure and they exposed alone. For treatment group with chemotherapy agent in comparison with field exposure alone, no significant difference was showed.

**Conclusion:** Our results showed that magnetic fields of GSM mobile with 217 Hz frequency can induce apoptosis in cancer cells but has no effect on healthy cells. We suggested more studies in animal-human level in order to use of mobile phone as a therapeutic approach.

**Keywords:** Magnetic field therapy, apoptosis, bleomycin

1. MSc of Medical Physics, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran.
2. Professor of Medical Physics, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran.
3. Professor of Immunology, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran.
4. PhD student of Medical Physics, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran