

اندازه گیری میدان های مغناطیسی کم فرکانس

## بررسی و اندازه گیری میدان های مغناطیسی کم فرکانس ناشی از دو نوع گوشی تلفن

### همراه GSM 900

مهری کاویانی مقدم<sup>۱</sup>، سید محمد فیروز آبادی<sup>۲</sup>، مهدی لک<sup>۳</sup>، مهیار جان احمدی<sup>۴</sup>

۱- دانشجوی دوره دکتری تخصصی فیزیک پزشکی، گروه فیزیک پزشکی، دانشکده علوم پزشکی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

۲- دانشیار مهندسی پزشکی، گروه فیزیک پزشکی، دانشکده علوم پزشکی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

۳- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی پزشکی (بیوالکترونیک)، دانشکده مهندسی پزشکی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران

۴- استاد فیزیولوژی، گروه فیزیولوژی و مرکز تحقیقات علوم و اعصاب، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی، تهران، ایران

تاریخ دریافت نسخه اصلاح شده: ۸۷/۱/۱۹ تاریخ پذیرش مقاله: ۸۷/۳/۲۲

### چکیده

**مقدمه:** استفاده از سیستم های ارتباطی موبایل در طی دهه گذشته رشد چشمگیری داشته است، با وجود مطالعات گسترده انجام شده در رابطه با تأثیرات امواج رادیویی، توجه کمتری به احتمال اثرات بیولوژیک میدان های مغناطیسی کم فرکانس ناشی از گوشی های موبایل شده است. هدف ما از این تحقیق طراحی تجهیزات و استفاده از روشی دقیق برای اندازه گیری میدان های مغناطیسی کم فرکانس در دو نوع گوشی موبایل GSM900 می باشد.

**مواد و روشها:** ابتدا یک کویل جستجوگر ساخته و ضریب کالیبراسیون آن اندازه گیری شد، سپس سیگنال خروجی ناشی از القاء میدان مغناطیسی گوشی های موبایل استخراج و با روش آنالیز فوریه سریع (FFT) دامنه و محتوای فرکانسی سیگنال ۲۱۷ هرتز در فواصل زمانی مختلف اندازه گیری و نهایتاً توزیع میدان مغناطیسی در سطح پشتی دو نوع گوشی تلفن همراه تعیین شد.

**نتایج:** محدوده شدت میدان مغناطیسی در فرکانس ۲۱۷ هرتز در سطح پشتی گوشی نوکیا ۳۳۱۰ حداقل ۵۰ و حداکثر ۱۶۰ میکروتسلا و در گوشی نوکیای ۸۳۱۰ حداقل ۱۴ و حداکثر ۳۰ میکروتسلا بود. با در نظر گرفتن اختلاف در دامنه سیگنال ۲۱۷ هرتز و هارمونیک های آن نه تنها توزیع شدت میدان مغناطیسی در سطح پشتی گوشی ها و در زمان های مختلف، متفاوت است بلکه این اختلاف به نوع گوشی نیز بستگی دارد.

**بحث و نتیجه گیری:** بر اساس نتایج بدست آمده توصیه می شود جهت بررسی اثرات بیولوژیک میدان های مغناطیسی کم فرکانس، گوش های موبایل و تعیین اثرات پنجره ای شدت میدان های مغناطیسی علاوه بر در نظر گرفتن ویژگی های سیگنال ۲۱۷ هرتز به توزیع شدت میدان مغناطیسی مشابه با شرایط واقعی نیز توجه شود. (مجله فیزیک پزشکی ایران، دوره ۵، شماره ۱، پیاپی (۱۹، ۱۸)، بهار و تابستان: ۸۷: ۵۳-۴۳)

واژگان کلیدی: میدان مغناطیسی، گوشی موبایل، GSM900

\*نویسنده مسؤل: سید محمد فیروز آبادی

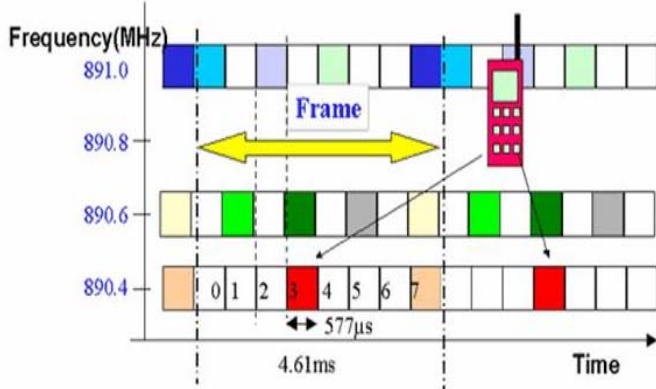
آدرس: گروه فیزیک پزشکی، دانشکده علوم پزشکی، دانشگاه تربیت

مدرس تهران  
pourmir@modares.ac.ir

تلفن: ۸۲۸۸۳۸۲ (۲۱) ۹۸ + دورنگار: ۸۸۰۰۶۵۴۴ (۲۱) ۹۸ +

اندازه گیری میدان های مغناطیسی کم فرکانس

هرتزی باشد. حداکثر ۸ تماس بطور همزمان منتقل می شود و توان متوسط گوشی ۱/۸ مقدار حداکثر آن (۲ وات) یعنی بین ۰/۲۵-۰/۱۲۵ وات است. عرض پالس هر سیگنال برابر ۰/۵۷۷ میلی ثانیه (فاصله زمانی دو پالس ۴/۶۱ میلی ثانیه است) و تعداد آن ۲۱۷ پالس در ثانیه است (شکل ۱) [۹].



شکل ۱- روش TDMA برای ایجاد ۸ شیار در یک فریم [۹]

همچنین استفاده از روش انتقال غیر پیوسته  $DTX^1$  و ساختارهای چند فریمی در سیگنال های دیجیتال GSM منجر به ایجاد فرکانس های میدانهای مغناطیسی با فرکانس بسیار پایین<sup>۷</sup> دیگری از جمله فرکانس ۸/۳۴ و ۲ هرتز می شود. این میدان های مغناطیسی عمدتاً ناشی از جریان الکتریکی منبع تغذیه گوشی یا همان باتری هستند. بدین ترتیب گوشی بوسیله ی میدان های مغناطیسی کم فرکانس احاطه می شود، این فرکانس های پائین نه تنها امواج حامل را پالس می کنند بلکه منجر به ایجاد میدان های مغناطیسی کم فرکانس از طریق پالس های جریان باتری می شوند. گوشی سیگنال ها را دریافت می کند و آن ها را به آنتن انتقال می دهد. هر فریم چند تایی شامل ۲۶ شیار زمانی است که

## ۱- مقدمه

با وجود تحقیقات گسترده انجام شده بر روی اثرات بیولوژیک میدان های الکترومغناطیس فرکانس های رادیویی سیستم های موبایل و ارائه ی توصیه های ایمنی برای تلفن های همراه و ایستگاه ها در مقابل اثرات گرمائی میکروویو، توجه کمتری به اثرات بیولوژیک میدان های مغناطیسی پالسی کم فرکانس<sup>۱</sup> ناشی از گوشی های موبایل GSM<sup>۲</sup> شده است [۷-۱].

بروز اثرات و مشکلات نورولوژیکی در بعضی از کاربران تلفن همراه و عدم قطعیت در مورد اثرات غیر گرمایی این میدان ها، توجه مجامع علمی را به اثرات بیولوژیک تشعشعات کم شدت و پالسی این سیستم های مخابراتی معطوف کرده است. بطوریکه در صورت وجود آسیب بر سلامتی افراد جامعه، توصیه های ایمنی موجود کافی نیستند [۸]. از آنجایی که هنوز دلایل قطعی برای اثبات و یا رد اثرات مضر تلفن های همراه وجود ندارد می باید احتیاط های لازم در کاربرد این سیستم ها در نظر گرفته شود به عنوان مثال در صورت استفاده از گوشی در ناحیه ای با سیگنال مناسب نظیر مسیر آنتن، مقدار توانی که گوشی برای ارسال و دریافت سیگنال استفاده می کند نسبت به ناحیه ای با آنتن دهی ضعیف مثلاً داخل آسانسور و یا تونل ها بسیار کمتر خواهد بود و متعاقباً مقدار تابش گیری کمتر خواهد شد.

انتقال در گوشی های دیجیتال در نوع GSM900 در باند فرکانسی ۹۰۰ مگا هرتز (۳ ۹۱۵-۸۹۰ و ۴ ۹۶۰-۹۳۵) صورت می گیرد و بیشترین مقدار توان گوشی ۲ وات است، در این سیستم ها از طرح تقسیم زمانی (TDMA<sup>۵</sup>) استفاده می شود، بدین ترتیب که شامل ۱۲۵ کانال و عرض هر کانال ۲۰۰ کیلو

- 1-Extremely Low Frequency Magnetic Fields(ELF)
- 2- Global System for Mobile Communications
- 3- Down link
- 4- Up link
- 5- Time Division Multiple Access

6- Discontinues Transmission Mode  
7- ELF

اندازه گیری میدان های مغناطیسی کم فرکانس

هدف ما در این مطالعه تعیین و اندازه گیری بزرگی میدان های مغناطیسی کم فرکانس، تعیین توزیع میدان مغناطیسی و بررسی طیف توان ناشی از دو مدل گوشی دیجیتالی GSM900 است، که در نهایت با توجه به اندازه گیری ودوزیمتری انجام شده بتوان تحقیقات و مطالعات بیولوژیکی مناسبی را پایه ریزی کرد.

## ۲- مواد و روشها

با در نظر گرفتن مهمترین نکات قید شده در زمینه اندازه گیری میدان مغناطیسی کم فرکانس گوشی های موبایل در تحقیقات اخیر [۲۰] و امکانات موجود، مجموعه آزمایشی مناسبی جهت اندازه گیری میدان مغناطیسی کم فرکانس ایجاد شده در این سیستم ها، طراحی و ساخته شد. ابعاد کوچک پروب اندازه گیری برای داشتن قدرت تفکیک مکانی  $10 \text{ mm} \leq$  و نزدیک بودن پروب به سطح گوشی و همچنین دقت کافی پروب برای اندازه گیری میدان های کم شدت از جمله نکات مهمی بود که در مطالعه حاضر در نظر گرفته شد.

### ۲-۱- گوشی های موبایل مورد استفاده

گوشی های مورد استفاده در این تحقیق عبارت بودند از:

- نوکیا مدل ۸۳۱۰

- نوکیا مدل ۳۳۱۰ (شکل ۲)



ب

الف

شکل ۲- گوشی نوکیا مدل (الف) ۸۳۱۰، (ب) ۳۳۱۰

۱۲۰ میلی ثانیه طول می کشد، هر شیار زمانی یک سیگنال پریودیک با پریود ۴/۶۱ میلی ثانیه است.

گر چه استانداردها تا حد امکان میزان انرژی خروجی از چنین وسایلی را محدود می کنند با این وجود گزارش های بسیاری در مورد اثرات ناشی از تلفن های همراه وجود دارد.

مطالعات بسیاری در رابطه با اثرات بیولوژیک امواج رادیویی سیستم های موبایل بر عملکرد سیستم عصبی انجام شده است تأثیر بر فعالیت الکتریکی نورون ها، متابولیسم، پاسخ ژنی، انتقال عصبی، نفوذپذیری سد مغزی خونی و فعالیت درک از جمله مواردی می باشند که می توان به آنها اشاره کرد [۱۰-۱۲].

گزارشات مختلف در رابطه با افزایش ریسک سرطان و یا سقط جنین در اثر تابش میدان های مغناطیسی کم فرکانس منجر به تقسیم بندی این میدان ها توسط آژانس بین المللی تحقیقات سرطان<sup>۱</sup> IARC در گروه عوامل کارسینوژن 2B شده است [۱۳-۱۵] و در این رابطه آنچه امروزه مورد توجه قرار گرفته است اثرات غیر گرمایی ناشی از تشعشعات کم شدت و پالسی سیستم های تلفن همراه می باشد که بدین ترتیب لزوم شناخت صحیح از ویژگی های فیزیکی جزء کم فرکانس این سیستم ها مطرح می شود [۸].

برخی از مطالعات بر روی اندازه گیری و استخراج ویژگی های فیزیکی میدان های مغناطیسی کم فرکانس ناشی از گوشی های موبایل انجام شده است ولی در هیچ یک از این تحقیقات تصویر کاملی از مشخصات میدان های مغناطیسی کم فرکانس از جمله طیف توان و توزیع میدان مغناطیسی نشان داده نشده است و در بعضی از این مطالعات فقط مقدار جریان باتری گزارش شده است [۱۶-۱۹].

## اندازه گیری میدان های مغناطیسی کم فرکانس

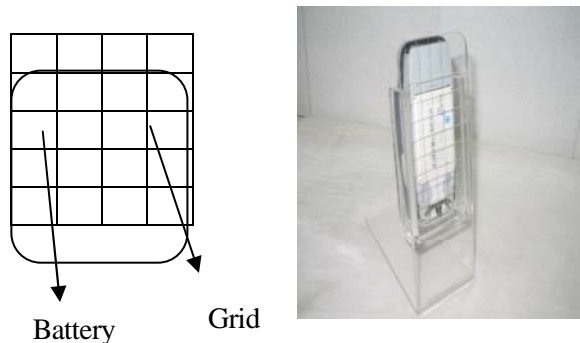
مونتاژ شده و سیم پیچ مدوری با ۸۵۰۰ دور سیم لاکمی مسی به قطر ۰/۷۵ میلی متر، قطر داخلی ۸ سانتی متر و قطر خارجی ۱۰ سانتی متر استفاده شد. با تغییر دامنه ی ولتاژ القائی بوسیله ی سیگنال ژنراتور و تقویت کننده، شدت میدان مغناطیسی ایجاد شده در سیم پیچ مولد میدان مغناطیسی قابل تغییر بود و کوئل جستجوگر در فاصله ثابتی از سیم پیچ مولد میدان مغناطیسی قرار می گرفت.

به منظور تعیین ضریب کالیبراسیون، در ساعات مشخصی از یک روز کاری و در ۵ روز هفته در طی ده مرحله آزمایش، دامنه ی ولتاژ القائی و چگالی فلوی میدان مغناطیسی اندازه گیری شد. برای سهولت در اندازه گیری و محاسبه، با تنظیم دامنه ی ولتاژ خروجی از سیگنال ژنراتور و ثابت نگه داشتن ولوم تنظیم دامنه ولتاژ خروجی تقویت کننده ی صوتی، شدت میدان مغناطیسی ایجاد شده در کوئل مولد میدان طوری تنظیم می شد که دامنه ی ولتاژ القائی در کوئل جستجوگر مقادیر صحیحی بر حسب میلی ولت باشند.

در کوئل جستجوگر که شامل، سیم مسی روکش دار (لاکمی) نازک به قطر ۰/۲ میلی متر و ۵۰۰ دور که توسط ماشین الکترومکانیکی پیچش به طور منظم حول هسته ی توخالی پلاستیکی به قطر داخلی ۳ میلی متر، قطر خارجی ۵ میلی متر و طول ۲ سانتی متر پیچیده شده بود، تحت تأثیر میدان مغناطیسی، ولتاژی در دو سر کوئل جستجوگر القاء می شد که بر روی صفحه ی اسیلوسکوپ آنالوگ (Topward 7046A) قابل نمایش بود.

برای اندازه گیری مقدار مؤثر چگالی فلوی میدان مغناطیسی از یک وسیله ی سنجش میدان مغناطیسی (TES Electrical TES1394, Electronic Corp.) با بازه ی اندازه گیری ۲ تا ۲۰۰ میکرو تسلا و پهنای باند ۲۰۰۰ - ۳۰ هرتز، با قابلیت اتصال به کامپیوتر و توانائی تفکیک میدان به مؤلفه های اصلی استفاده شد.

برای ثابت کردن گوشی موبایل جایگاهی از جنس پلکسی گلاس<sup>۱</sup> به گونه ای ساخته شد که سطح پشتی مجاور باتری گوشی به ابعاد ۱۰×۱۰ میلی متر برای اندازه گیری دقیق تر مدرج شد و با توجه به ابعاد باتری ها مجموعاً ۱۵ نقطه ی اندازه گیری لحاظ شد (شکل ۳).



شکل ۳- محل قرار گرفتن گوشی

تمامی مراحل اندازه گیری برای هر دو نوع گوشی با روشی مشابه انجام گرفته است.

## ۲-۲- اندازه گیری ضریب کالیبراسیون

برای تعیین بزرگی میدان مغناطیسی و توزیع میدان مغناطیسی در سطح پشتی گوشی، از کوئل جستجوگر<sup>۲</sup> استفاده شد. سپس ضریب کالیبراسیون که نسبت مقدار مؤثر چگالی شار میدان مغناطیسی (B) به مقدار مؤثر ولتاژ القائی (V<sub>ind</sub>)، ناشی از میدان مغناطیسی القاء شده در کوئل جستجوگر است، اندازه گیری شد. این پارامتر فاکتوری برای تبدیل میدان الکتریکی به میدان مغناطیسی می باشد.

به منظور ایجاد میدان مغناطیسی مشخص و قابل اندازه گیری، جهت کالیبراسیون کوئل جستجوگر، از سیگنال ژنراتور مدل FG-330 (Iwatsu Electronic, Japan)، تقویت کننده ی صوتی

1- Plexiglas  
2- Search Coil

تحلیل و پردازش سیگنال خروجی از تقویت کننده از طریق روش آنالیز فوریه ی سریع<sup>۱</sup> انجام می گرفت. سپس با تشکیل چگالی طیف توان<sup>۲</sup>، محتوای فرکانسی سیگنال و نیز دامنه ی ولتاژ القائی مؤثر<sup>۳</sup> مؤلفه های فرکانسی<sup>۴</sup> موجود در طیف برای هر یک از نقاط در پشت گوشی در فرکانس ۲۱۷ هرتز و هارمونیک های آن و در مقاطع زمانی مختلف اندازه گیری استخراج گردید.

این فرآیند از طریق نرم افزار پردازش سیگنال یک اسپلوسکوپ دیجیتال<sup>۵</sup> (TSM DSO Software) صورت گرفت، اسپلوسکوپ مورد استفاده یک اسکوپ دو کاناله ی نرم افزاری و یک تحلیلگر طیف<sup>۶</sup> است. این نرم افزار قابلیت محاسبه ی خودکار پارامترهای موج، اندازه گیری دستی و اتوماتیک دامنه، فرکانس و پرید، ذخیره و فراخوانی شکل موج ها با فرمت های مختلف را داشته و با داشتن خاصیت تفکیک نوری<sup>۷</sup> از کامپیوتر، موجب شده تا نسبت سیگنال به نویز<sup>۸</sup> برای سیگنال های نمایش داده شده افزایش یافته و ایمنی کاربر تا حد زیادی تأمین شود.

#### ۲-۴- ارزیابی توزیع میدان مغناطیسی

برای تعیین توزیع میدان مغناطیسی در سطح پشتی گوشی، پس از اسکن سطح پشتی باتری گوشی، دامنه ی ولتاژ القائی مؤثر در سه جهت محورهای مختصات در فرکانس ۲۱۷ هرتز و در ۱۵ نقطه در سطح پشتی گوشی، با استفاده از روش آنالیز فوریه سریع استخراج و سپس با اعمال ضریب کالیبراسیون بزرگی مقدار مؤثر چگالی شار میدان مغناطیسی محاسبه و طبق رابطه ی  $B_s = \sqrt{B_x^2 + B_y^2 + B_z^2}$  مقادیر برآیند ها محاسبه شد، بطوریکه

جهت ایجاد موقعیت یکسان برای دو سنسور اندازه گیری موجود (گوس متر و کویل جستجوگر) نسبت به مرکز کویل مولد میدان مغناطیسی، اقدام به ساخت مجموعه ای از جنس پلکسی گلاس نمودیم. ابتدا با باز کردن دستگاه گوس متر موقعیت سنسورهای آن مشخص شد، محل قرار گرفتن کویل جستجوگر و مرکز سنسورهای گوس متر نسبت به مرکز کویل مولد میدان به شکلی طراحی شد که از موقعیت مکانی یکسانی نسبت به مرکز کویل مولد میدان مغناطیسی برخوردار باشند. این مجموعه شامل محلی برای قرار گیری و ثابت نمودن کویل مولد میدان مغناطیسی بود، کویل جستجوگر و گوس متر بر روی سطح متحرکی از جنس پلکسی گلاس قرار می گرفتند (شکل ۴).



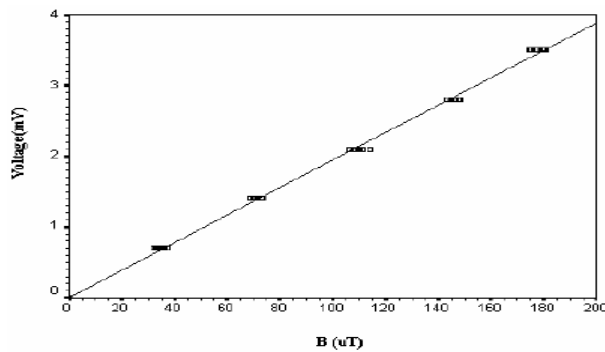
شکل ۴- محل قرار گرفتن کویل مولد میدان مغناطیسی، کویل جستجوگر و گوس متر

#### ۲-۳- پردازش سیگنال های ثبت شده

در زمان ثبت سیگنال سطح جلویی کویل جستجوگر در فاصله ی ۴ میلی متری از سطح باتری و در سه موقعیت X, Y, Z قرار می گرفت. اندازه گیری ها سه بار در روز در سه مقطع زمانی معین صبح، ظهر و عصر و در ۵ روز کاری انجام شد. از آنجا که سیگنال الکتریکی القائی ناشی از میدان مغناطیسی گوشی ضعیف بود، در مرحله ی اول پردازش، ابتدا سیگنال ها تقویت می شدند. به این منظور از یک طبقه ی تقویت کننده با بهره ی ۹۹/۴ استفاده کردیم.

- 1- FFT (Fast Fourier Transform)
- 2- PSD (Power Spectral Density)
- 3-RMS (Root Mean Square )
- 4- Harmonics
- 5- Digital Storage Oscilloscope
- 6- Spectrum Analyzer
- 7-Optical isolation
- 8- SNR (Signal to Noise Ratio)

اندازه گیری میدان های مغناطیسی کم فرکانس



شکل ۵- نمودار چگالی فلوی میدان مغناطیسی بر حسب ولتاژ القایی در فرکانس ۲۱۷ هرتز

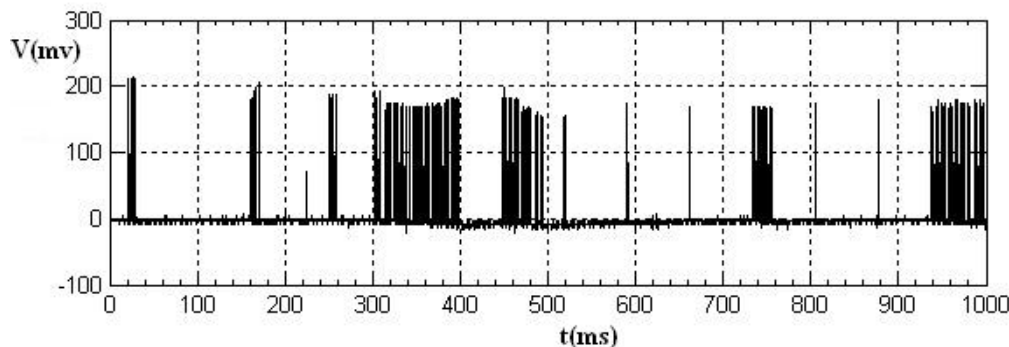
در نهایت ضریب کالیبراسیون به عنوان خارج قسمت مقدار مؤثر بردار  $B$  به مقدار مؤثر ولتاژ  $V_{ind}$ ، با دیمانسیون میکروتسلا بر میلی ولت ( $\mu T/mV$ ) بدست آمد.

با توجه به مقادیر استخراج شده، مقدار عددی ضریب کالیبراسیون (نسبت  $B/V$ ) در فرکانس ۲۱۷ هرتز با ضریب رگرسیون ۰/۹۹۶ برابر ( میکرو تسلا بر میلی ولت)  $\mu T/mV$  ۵۷/۵۶ بود.

### ۳-۲- استخراج دامنه ی ولتاژ القایی

سیگنال الکتریکی خروجی از تقویت کننده را به یک دستگاه اسیلسکوپ دیجیتال نرم افزاری که از طریق یک مبدل آنالوگ به دیجیتال (ADC) با محیط خارج ارتباط برقرار می کند، متصل می کردیم. این واحد نمایشگر حافظه دار، قابلیت تعیین دامنه و فرکانس و ذخیره ی سیگنال دریافتی را دارا می باشد.

در شکل ۶ قطاری از پالس های سیگنال القایی در کوئل جستجوگر، پس از تقویت سیگنال دیده می شود.



شکل ۶- قطاری از سیگنال های القایی تقویت شده در فرکانس ۲۱۷ هرتز گوشه های موبایل

$B_x$  شدت میدان مغناطیسی در امتداد محور افقی،  $B_y$  در امتداد محور عمودی و  $B_z$  در امتداد محور عرضی است. در نهایت مقادیر متوسط برای ۱۵ نقطه در سطح پشتی گوشی ها استخراج گردید. تعیین توزیع میدان مغناطیسی در نقاط مختلف پشت گوشی با استفاده از نرم افزار MATLAB (The Mathworks Inc., version 6.5) انجام شد.

### ۳- نتایج

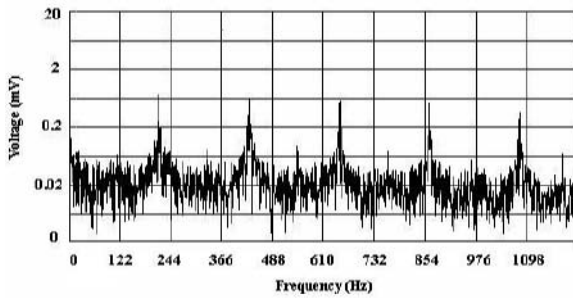
نتایج به دست آمده در سه قسمت خلاصه می شوند:

#### ۳-۱- تعیین ضریب کالیبراسیون

برای تعیین ضریب کالیبراسیون مقدار مؤثر ولتاژ القایی در کوئل جستجوگر و مقدار مؤثر چگالی شار میدان مغناطیسی در ۵ روز هفته و در ساعات مشخصی از یک روز کاری در طی ده مرحله آزمایش، اندازه گیری شد.

در شکل ۵ چگالی های فلوی میدان مغناطیسی در برابر ولتاژهای القایی متناظر نشان داده شده است.

اندازه گیری میدان های مغناطیسی کم فرکانس



شکل ۸- آنالیز فوری سیگنال در فرکانس ۲۱۷ هرتز در راستای محور X

در جدول های ۱ و ۲ مقادیر برآیند چگالی شار میدان مغناطیسی در فرکانس ۲۱۷ هرتز و هارمونیک های آن در زمان های مختلف برای گوشی نوکیا مدل ۸۳۱۰ آورده شده است.

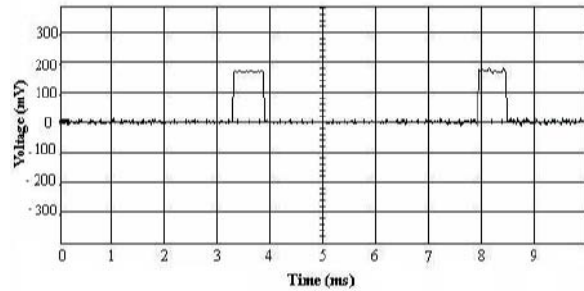
جدول ۱- برآیند چگالی شار میدان مغناطیسی در فرکانس ۲۱۷ هرتز در زمانهای مختلف برای گوشی نوکیا مدل ۸۳۱۰ (مقادیر ماکزیمم، متوسط و می نیمم شدت میدان مغناطیسی موثر بر اساس متوسط اندازه گیری در ۵ روز کاری و برای ۱۵ نقطه اندازه گیری می باشد)

میدان مغناطیسی (موثر، میکروتسلا)			
متوسط	مینیم	ماکزیمم	
۲۵/۹۳	۱۲/۸۱	۵۰/۶۱	صبح
۱۷/۳۹	۱۰/۰۷	۳۲/۳۳	ظهر
۲۲/۳۲	۹/۲۲	۴۱/۲۵	عصر

جدول ۲- برآیند چگالی شار میدان مغناطیسی در دو هارمونیک اول و دوم فرکانس ۲۱۷ هرتز در زمان های مختلف برای گوشی موبایل نوکیا ۸۳۱۰ (مقادیر ماکزیمم، متوسط و می نیمم شدت میدان مغناطیسی موثر بر اساس متوسط اندازه گیری در ۵ روز کاری و برای ۱۵ نقطه اندازه گیری می باشد)

میدان مغناطیسی (موثر، میکروتسلا)				
متوسط	می نیمم	ماکزیمم		
۷۵/۴۰	۱۳/۸۱	۱۴۷/۹۳	صبح	۴۳۳ هرتز
۴۲/۵۹	۷/۴۸	۸۸/۶۴	ظهر	
۴۴/۳۲	۱۲/۶۶	۱۱۴/۵۴	عصر	
۶۳/۳۲	۱۰/۹۴	۱۲۸/۹۳	صبح	۶۵۰ هرتز
۳۵/۱۱	۴/۰۳	۶۹/۶۵	ظهر	
۳۶/۸۴	۱۰/۳۶	۹۶/۷۰	عصر	

یک نمونه سیگنال ولتاژ القائی در شکل ۷ ملاحظه می شود، همان طور که انتظار می رفت عرض هر پالس ۰/۵۷۷ میلی ثانیه، پریود پالس ۴/۶۱ میلی ثانیه و فرکانس آن ۲۱۷ هرتز بود.



شکل ۷- سیگنال پالسی القائی تقویت شده در فرکانس ۲۱۷ هرتز ناشی از گوشی موبایل با توجه به تک جهت بودن پروب ساخته شده، اندازه گیری ها در سه جهت اصلی عمود برهم در هر نوبت و برای تمامی نقاط در پشت گوشی انجام می گرفت. سپس با کمک آنالیز فوری ولتاژ القائی موثر در فرکانس ۲۱۷ هرتز و هارمونیک های آن استخراج گردید. در شکل ۸ یک نمونه آنالیز فوری سیگنال در فرکانس ۲۱۷ هرتز در راستای محور X دیده می شود.

### اندازه گیری میدان های مغناطیسی کم فرکانس

جدول ۳- برآیند چگالی شار میدان مغناطیسی در فرکانس ۲۱۷ هرتز در زمان های مختلف برای گوشی نوکیا مدل ۳۳۱۰ (مقادیر ماکزیمم، متوسط و می نیمم شدت میدان مغناطیسی مؤثر بر اساس متوسط اندازه گیری در ۵ روز کاری و برای ۱۵ نقطه اندازه گیری می باشد)

میدان مغناطیسی (مؤثر، میکروتسلا)	ماکزیمم	می نیمم	متوسط
صبح	۱۰۹/۵۶	۲۸/۱۱	۶۶/۸۲
ظهر	۱۲۲/۷۱	۳۵/۴۱	۶۵/۹۸
عصر	۸۶/۲۷	۳۵/۵۰	۵۹/۴۷

همچنین مقادیر برآیند چگالی شار میدان مغناطیسی برای گوشی نوکیای مدل ۳۳۱۰ در فرکانس ۲۱۷ هرتز در جدول ۳ و در فرکانس ۴۳۳ و ۶۵۰ هرتز در جدول ۴ نشان داده شده است.

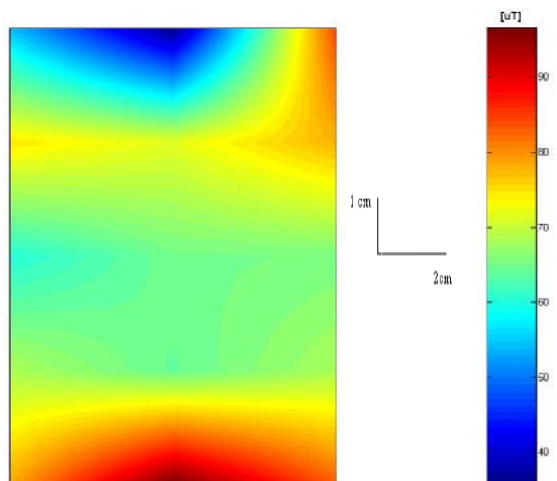
جدول ۴- برآیند چگالی شار میدان مغناطیسی در دو هارمونیک اول و دوم فرکانس ۲۱۷ هرتز در زمان های مختلف برای گوشی موبایل نوکیا ۳۳۱۰ (مقادیر ماکزیمم، متوسط و می نیمم شدت میدان مغناطیسی مؤثر بر اساس متوسط اندازه گیری در ۵ روز کاری و برای ۱۵ نقطه اندازه گیری می باشد)

میدان مغناطیسی (مؤثر، میکروتسلا)	ماکزیمم	می نیمم	متوسط
۴۳۳ هرتز	صبح	۷۱/۴۷	۱۶۸/۷۶
	ظهر	۴۴/۴۵	۹۵/۱۲
	عصر	۴۱/۶۰	۱۰۳/۶۱
۶۵۰ هرتز	صبح	۶۲/۶۴	۱۴۳/۹۲
	ظهر	۳۸/۴۵	۸۱/۷۶
	عصر	۳۸/۹۹	۸۸/۵۵

### ۳-۳- تعیین توزیع میدان مغناطیسی

با ضرب دامنه ی ولتاژهای القائی مؤثر در مقدار ضریب کالیبراسیون برای تمامی نقاط در پشت گوشی بزرگی میدان مغناطیسی بدست آمد.

توزیع میدان مغناطیسی برای گوشی های نوکیا ۳۳۱۰ و ۸۳۱۰ در نقاط مختلف پشت گوشی در شکل های ۹ و ۱۰ نشان داده شده است.

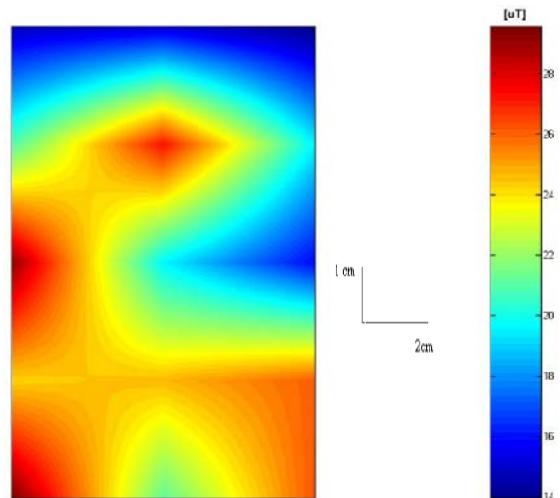


شکل ۹- توزیع میدان مغناطیسی در سطح پشتی گوشی موبایل نوکیا مدل 3310



در ابعاد (۰/۸×۳/۸×۵/۳) و باتری گوشی نوکیای ۸۳۱۰ از جنس (Li-ion) در ابعاد (۰/۵×۳/۴×۵/۳) با ولتاژ ۳/۷ ولت بود. شدت موثر میدان مغناطیسی در سطح پشت گوشی نوکیای ۸۳۱۰ بین ۱۴ تا ۳۰ میکروتسلا و در گوشی نوکیای ۳۳۱۰ بین ۵۰ تا ۱۶۰ میکروتسلا بود که علیرغم سادگی سیستم اندازه گیری در محدوده شدت های اندازه گیری شده در مطالعه قبلی که شدت میدان بین ۳۵ تا ۷۵ میکروتسلا گزارش شده بود، می باشد [۲۰]. در تحقیق انجام شده توسط Tour و همکاران از دو نوع سنسور اندازه گیری میدان مغناطیسی شامل پروب کوئل (ELT-400) و پروب هال (F.W BELL 7030) با توانایی اندازه گیری طیف توان، شکل موج میدان، بزرگی و توزیع میدان مغناطیسی استفاده شده است. علیرغم عدم دسترسی به سیستم های فوق الذکر مجموعه آزمایشی ساخته شده در این تحقیق از مزایای برخوردار بود که می توان به ابعاد کوچک آن و در نتیجه رزولوشن مناسب آن برای اسکن سطح باتری گوشی نام برد، همچنین فاصله سطح جلویی کوئل جستجو گر از سطح باتری ۴ میلی متر بود که مشکل کاهش شدت میدان با افزایش فاصله به حداقل ممکن می رسید همچنین تمامی اندازه گیری ها در سه راستای X,Y,Z انجام گرفته است. ولیکن با توجه به محدودیت های موجود تمامی اندازه گیری ها بطور دستی انجام شده است.

از آنجایی که ما قصد داشتیم به محدوده ای از شدت ها دسترسی داشته باشیم بنابراین در بخشی از کار اندازه گیری ها در فواصل زمانی مختلفی از روز (صبح، ظهر و عصر) اقدام به اندازه گیری نمودیم و تغییرات بارزی در طول روز مشاهده شد بطوریکه شدت ماکزیمم، می نیمم و متوسط میدان مغناطیسی در صبح از مقادیر اندازه گیری شده در ظهر و عصر بیشتر است، که نشان می دهد که توان کشیده شده از گوشی و در نتیجه جریانی که از باتری می گذرد به عوامل مختلفی می تواند بستگی داشته باشد، از جمله استفاده شبکه های ارتباطی



شکل ۱۰- توزیع میدان مغناطیسی در سطح پشتی گوشی موبایل نوکیا مدل ۸۳۱۰

نتایج حاصل از توزیع میدان مغناطیسی نشان می دهد که شدت میدان مغناطیسی در گوشی موبایل نوکیای ۸۳۱۰ حداقل ۱۴ و حداکثر ۳۰ میکرو تسلا و در گوشی نوکیای ۳۳۱۰ حداقل ۵۰ و حداکثر ۱۶۰ میکرو تسلا است.

#### ۴- بحث و نتیجه گیری

سیگنال استخراج شده ناشی از میدان مغناطیسی کم فرکانس گوشی های موبایل در هر دو نوع گوشی از ویژگی های یکسانی برخوردار بود و همانطور که انتظار می رفت عرض پالس ۰/۵۸ میلی ثانیه، پریود پالس ۴/۶۱ میلی ثانیه و فرکانس آن ۲۱۷ هرتز بود. ولیکن توزیع میدان مغناطیسی در فرکانس ۲۱۷ هرتز در دو مدل گوشی متفاوت بود از آنجایی که میدان مغناطیسی کم فرکانس در گوشی کاملاً ناشی از عبور جریان از باتری می باشد بنابراین انتظار می رفت با تغییر ساختار مدارات الکترونیکی در گوشی ها، میدان مغناطیسی ایجاد شده در آنها نیز تغییر کند. همچنین این اختلافات می توانست ناشی از نوع باتری ها باشد، باتری گوشی نوکیای ۳۳۱۰ از نوع (Ni-MH) با ولتاژ ۳/۶ ولت و

مربعی مواجه بودیم که دامنه آنها تغییر می کرد و به نظر می رسد مقدار توان گوشی بسته به مد ارتباط تلفنی تغییر خواهد کرد.

جهت بررسی دقیق تر هارمونیک های سیگنال ۲۱۷ هرتز استخراج شد. بطوریکه نتایج این اندازه گیری در گوشی نوکیای ۸۳۱۰ نشان می دهد که مقدار چگالی شار میدان مغناطیسی در هارمونیک اول و دوم به ترتیب ۹۲/۷۸ و ۸۴/۷۱ در صد فرکانس اصلی است.

پیشنهاد می شود جهت بررسی اثرات بیولوژیک میدان های مغناطیسی کم فرکانس ناشی از گوشی های موبایل و تعیین پارامترهای فیزیکی مؤثر در بروز این اثرات و بررسی اثرات پنجره ای شدت میدانهای مغناطیسی [۲۱]، علاوه بر در نظر گرفتن ویژگی های سیگنال ۲۱۷ هرتز (از جمله عرض، پریود و محتوای فرکانسی پالس) به توزیع شدت میدان مغناطیسی هم توجه شود.

#### ۵- تشکر و قدردانی

بدینوسیله نویسندگان مراتب تقدیر و تشکر خود را از صندوق حمایت از پژوهشگران کشور که حمایت مالی بخشی از این تحقیق را تامین نموده اند به جا می آوریم.

مختلف از مدهای ارتباطی متفاوت برای انتقال سیگنال و تغییر فاصله کاربرتا ایستگاه.

فاکتور دیگری که می تواند روی شرایط انتقال تأثیر بگذارد شرایط فیزیکی محلی است که کاربر در آن واقع است که گوشی می تواند قرار بگیرد. از آنجایی که در این تحقیق در تمامی اندازه گیری ها گوشی و سیستم اندازه گیری در موقعیت ثابتی بودند این عامل از تاثیر نسبی کمتری برخوردار بود. شرایط آب و هوایی (از جمله بارندگی، برف.....) نیز از جمله عوامل تاثیر گذار در این اندازه گیری می باشند بطوریکه در شرایط نا مناسب انتقال خوب صورت نگر فته و گوشی توان بیشتری را انتقال می دهد. البته تأکید می شود نتایج از محیط جامعه کشورایران بدست آمده که البته به عنوان عاملی تاثیر گذار در مقادیر اندازه گیری شده نسبت به کارهای انجام شده در کشورهای دیگر می باشد.

تغییرات دامنه ولتاژ القایی و به تبع آن میدان مغناطیسی ایجاد شده نه تنها به عوامل فوق الذکر بستگی داشت بلکه در تمامی مراحل یک تماس تلفنی (پیش زنگ، زنگ و مکالمه) با پالس های

#### منابع

1. Krewski D, Glickman BW, Habash RW, Habbick B, Lotz WG, Mandeville R, Prato FS, Salem T, Weaver DF. Recent advances in research on radiofrequency fields and health: 2001-2003. J Toxicol Environ Health B Crit Rev. 2007; 10(4):287-318.
2. Repacholi MH. Low-level exposure to radiofrequency electromagnetic fields: health effects and research needs. Bioelectromagnetics. 1998; 19(1):1-19.
3. Repacholi MH. Health risks from the use of mobile phones. Toxicol Lett. 2001; 120(1-3):323-31.
4. Christina MK, Mirka P, Christian H. Mobile Phone Exposure on Brain oscillatory activity during Cognitive Processing. Bioelectromagnetics. 2007; 28:296-308.
5. Riccardo R, Elaine F, Caterina C, Angela B, Margaret A, Defeyter, Dariush MS, Amit M. Does acute exposure to mobile phones affect human attention? Bioelectromagnetics. 2006; 27:215-220.
6. Azanza MJ, Del MA. Cell membrane biochemistry and neurobiological approach to biomagnetism. Prog. Neurobiol. 1994; 44: 517-601.

7. Cranfield C, Wieser HG, Madan J, Dobson JAL. Preliminary evaluation of nanoscale biogenic magnetite-based ferromagnetic transduction mechanisms for mobile phone bioeffects. *IEEE Transactions on nanobioscience*. 2003; 2(1): 40-43.
8. Hyland GJ. Physics and biology of mobile telephony. *The Lancet*. 2000; 6:1833- 36.
9. Wu Q. Multiple access and modulation in GSM. ENSCE- 129 spring, Extension School, Harvard University, 2004; 4-7.
10. Valentini E, Curcio G, Moroni F, Ferrara M. Neurophysiological Effects of Mobile Phone Electromagnetic Fields on Humans:A Comprehensive Review. *Bioelectromagnetics*. 2007; 28: 415-432.
11. Pakhomov AG, Doyle J, Stuck BE. Effects of high power microwave pulses on synaptic transmission and long term potentiation in hippocampus. *Bioelectromagnetics*. 2003; 24(3):174-181.
12. Lee GM, Neutra RR, Hristova L, Yost M, Hiatt RA.. A nested case-control study of residential and personal magnetic field measures and miscarriages. *Epidemiology* 2002;13(1):21–31.
13. Li KD, Oudouli R, Wi S, Janevic T, Golditch I, Bracken TD, Senior R, Rankin R, Iriye R. A population-based prospective cohort study of personal exposure to magnetic fields during pregnancy and the risk of spontaneous abortion. *Epidemiology*. 2002; 13:9–20.
14. Sage C, Johansson O, Sage A. Personal digital assistant (PDA) cell phone units produce elevated extremely-low frequency electromagnetic field emissions. *Bioelectromagnetics* 2007; 28: 386–392.
15. Wilen J, Sandstorm M, Hansson Mild K. Subjective symptoms among mobile phone users-A consequence of absorption of radiofrequency fields ? *Bioelectromagnetics*. 2003; 24(3):152-159.
16. Jokela K, Puranen L, Sihvonen A.P. Assessment of the magnetic field exposure due to the battery current of digital mobile phones. *Health Phys*. 2004; 86(1):56-66.
17. Ilvonen S, Sihvonen AP, Kähköinen K, Sarvas J. Numerical assessment of induced ELF currents in the human head due to the battery current of a digital mobile phone. *Bioelectromagnetics*. 2005; 26:648-656.
18. Linde T, Mild KH. Measurement of low frequency magnetic fields from digital cellular telephones. *Bioelectromagnetics*.1997;18:184-186.
19. Pedersen GF, Andersen JB. RF and ELF exposure from cellular phone handsets: TDMA and CDMA systems. *Radiat Prot Dosimet*. 1999; 83(1-2): 131-138.
20. Kuster N, Kastle R, Schmid T. Dosimetric evaluation of handheld mobile communications equipment with known precision. *IEICE Trans E80-A*. 1997; 5:1-8.
21. Marko SM. Myosin phosphorylation –A plausible tool for studying “Biological window”. 3rd International Workshop “Biological Effects of Electromagnetic Fields. 2004;Oct 4-8; Kos, Greece:1-9.