

کاهش اثرات امواج موبایل به کمک آنتن‌های آرایه‌ای و تفکیک یک نقطه داغ به چند نقطه داغ

وحید غفاری^۱ احد توکلی^۲ رشید میرزاوند بروجنی^۳ پریسا دهخدا^۴

۱- کارشناسی ارشد- دانشکده مهندسی برق- دانشگاه صنعتی امیرکبیر- تهران- ایران

yahidgh@aut.ac.ir

۲- استاد- دانشکده مهندسی کامپیوتر- دانشگاه صنعتی امیرکبیر - تهران- ایران

atavakoli@aut.ac.ir

۳- استادیار- دانشکده مهندسی کامپیوتر- دانشگاه صنعتی امیرکبیر - تهران- ایران

rmirzavand@aut.ac.ir

۴- استادیار- دانشکده مهندسی کامپیوتر- دانشگاه صنعتی امیرکبیر - تهران- ایران

pdekhoda@aut.ac.ir

چکیده: در این مقاله شیوه جدیدی برای کاهش نرخ جذب ویژه (SAR) در گوشی‌های موبایل آرایه می‌شود. برای این کار از ایده آنتن‌های آرایه‌ای استفاده شده است. این سبب می‌شود تا بتوان با بهره‌گیری از گین بیشتر در این نوع آنتن‌ها، اثر گوشی‌های موبایل (SAR) را به جای تمرکز در یک نقطه در چند نقطه متمرکز کرد؛ بدون اینکه SNR^2 پایین بیاید. برای داشتن آرایه در گوشی موبایل می‌بایست آنتن‌ها یکسان باشند و در یک سمت تشعشع کنند تا بتوان ضریب آرایه (AF^2) بهتری داشت. از طرف دیگر باید بتوان در حالت آرایه به همان SNR و پترن که در حالت تک آنتن بود، دست پیدا کرد. در نهایت به کمک این روش می‌توان اثرات امواج موبایل بر سر را تا 75% برای هر آنتن و تا 92% در حالت MIMO کاهش داد. همچنین نشان داده شده است که این روش نسبت به روش EBG⁵، نتایج بهتری دارد.

کلمات کلیدی: SAR، آنتن‌های آرایه‌ای، نقطه داغ

تاریخ ارسال مقاله: ۱۳۹۴/۰۶/۲۳

تاریخ پذیرش مشروط مقاله: ۱۳۹۵/۰۱/۲۹

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۵/۰۲/۱۹

نام نویسنده‌ی مسئول: دکتر رشید میرزاوند بروجنی

نشانی نویسنده‌ی مسئول: ایران - تهران - خیابان حافظ - پلاک ۴۲۴ - دانشگاه صنعتی امیرکبیر - دانشکده‌ی برق

که σ در آن ضریب گذردهی الکتریکی (S/m) و ρ چگالی بافت مدنظر (kg/m^3) است. طبق استاندارد FCC^{۱۱} نیز میزان SAR می‌تواند 1.6 W/kg در 1g در نظر گرفته شود. طبق این استاندارد برای تشعشع دو آنتن بصورت همزمان (در حالت MIMO) داریم:

$$SPLSR = (SAR1 + SAR2) / D \quad (2)$$

که SAR1 و SAR2 برحسب W/kg برای المان های ۲ و ۱ می‌باشند و طبق استاندارد D (برحسب cm) فاصله بین دو نقطه داغ می‌باشد. $SPLSR^{12}$ طبق استاندارد می‌بایست برای فاصله های کمتر از 5cm کمتر از 0.3 W/kg باشد. در حالت گسترده تر طبق این استاندارد داریم:

$$SPLSR = (SAR1 + SAR2)^{1.5} / D(\text{mm}) \leq 0.04 \quad (3)$$

پس اگر در مجموع دو نقطه داغ 1.6 W/kg بر سر وارد شود می‌بایست میزان فاصله آن دو نقطه طبق استاندارد بیشتر از 50mm باشد. لذا فاصله، نکته ای است که می‌بایست در آنتن های MIMO بطور جدی مورد توجه قرار گیرد و متعاقبا کاهش SPLSR برای نسل 4G مورد توجه قرار گیرد.

در این مقاله به بیان ایده تقسیم نقاط داغ به کمک آنتن‌های آرایه‌ای پرداخته خواهد شد تا بدین وسیله اثرات امواج موبایل بر سر و دست انسان کاهش یابد. برای این منظور در بخش دوم درباره تئوری بهره‌گیری از آنتن‌های آرایه‌ای برای کاهش SAR بحث خواهد شد. در بخش سوم مثالی شبیه سازی شده از تک آنتن دیپل و آرایه‌ای آن بحث می‌گردد و نتایج حاصل از SAR آنها بررسی خواهد شد. در بخش چهارم نیز حالت MIMO برای گوشی‌های موبایل نسل 4G مورد بررسی قرار خواهد گرفت و میزان بهبود اثرات امواج در سر برای آنها مشاهده می‌شود. در بخش پنجم نیز نتایج حاصل از مقایسه این روش با روش EBG مورد مطالعه قرار می‌گیرد. در پایان و بخش ششم نیز نتیجه گیری صورت گرفته و ویژگی‌های این روش، بیان می‌گردد.

۲- تئوری آنتن های آرایه ای و چند نقطه داغ

همان طور که از اسم تئوری نیز پیداست هدف تقسیم یک نقطه داغ به دو یا چند نقطه داغ است. در واقع اگر بتوان یک نقطه داغ را به شکل چند نقطه داغ با اندازه‌های کمتر (مثلا به دو نقطه با نصف SAR حالت تک نقطه) تبدیل کرد می‌توان اثرات امواج موبایل را بر سر کم کرد. حال اگر بتوان این توان ارسالی به سوی سر را بصورت میانگین در سر ارسال کرد که می‌توان به حالت ایده آل رسید؛ در واقع اگر تمامی توانی که می‌بایست توسط یک آنتن در یک نقطه تمرکز پیدا کند را بتوان به شکل میانگین در سطح بیشتری از سر تقسیم کرد می‌توان از آسیب‌های ناشی از امواج موبایل به شکل بیشتری کاست. در این مقاله نیز تنها بر روی تقسیم یک نقطه داغ به دو یا چند نقطه بحث خواهد

نسل جدید موبایل LTE امروزه رو به گسترش است. در واقع این نسل کمک می‌کند تا بدون استفاده از طیف فرکانسی بیشتر و یا توان بیشتر، بتوان ظرفیت کانال را افزایش داد [۱ و ۲]. این در حالی است که ضرر ناشی از گوشی‌های موبایل پیش از این به اثبات رسیده و در دهه اخیر رشد سرطانی به شدت افزایش پیدا کرده است [۳ و ۴ و ۵]. در سال‌های اخیر ایده‌های زیادی برای کاهش SAR بیان گشته است. در مقاله [۶] از تکنیک ESPAR^۶ استفاده کرده است و به کمک المان‌های پارازیتی و حرکت بیم آنتن توانسته است اثر SAR را کاهش دهد که البته این کاهش برای تمامی فرکانس های تشعشعی آنتن نیست. در مقاله [۷] نیز برای کاهش اثرات امواج الکترومغناطیسی در سر از نوع جدیدی از موجبرها برای تغذیه آنتن PIFA^۷ استفاده شده است که سبب شده SAR، 14-55% کاهش یابد که البته این کاهش نیز با بهره‌گیری از ساختاری پیچیده بدست آمده است. در مقاله [۸] نیز اثر دو المان آنتن دیپل آرایه‌ای بر روی ساختار EBG لحاظ شده است و نشان داده EBG می‌تواند به میزان 78% SAR را کاهش دهد که البته این روش نه تنها دارای پیچیدگی زیادی است، بلکه پهنای باند کمی را نیز پوشش می‌دهد. مقاله [۹] نیز با بهره‌گیری از آنتن PIFA توانسته به شکلی عملیاتی تر، از ساختار EBG برای کاهش SAR در باند PCB بهره بگیرد و آن را تا 31% کاهش دهد. مقاله [۱۰] بیان داشته است که استفاده از پیچ‌های دایروی بجای مربعی کمک می‌کند تا SAR کمتری در سر ایجاد گردد که البته ساخت آن نیز سخت تر می‌گردد. مقاله [۸] از کلاهک الکترونی EEG^۸ برای کاهش SAR در GSM900 بهره گرفته است که این روش نیز می‌تواند SAR را به میزان 14-18% کاهش دهد. در مقاله [۱۱]، نگارنده با بهره‌گیری از متامتریال سعی کرده است تا اثر SAR در سر را کم کند. در واقع در این روش از متامتریال در فاصله بین آنتن و سر استفاده شده است و کاهش اثرات در سر تا 14% گزارش شده است؛ هرچند ابعاد آنتن را بسیار بزرگ کرده است. در نهایت در مقاله [۱۲] سعی شده تا به کمک روش TASPS^۹ که در واقع میانگین پیک SAR دریافتی در زمان است، توان تشعشعی تنظیم گشته و بدین شکل SAR را به میزان حداکثر 32% کاهش دهد.

برای کاهش اثرات امواج موبایل استانداردهایی نیز وجود دارد. طبق این استانداردها، مقاله [۱۳] به بررسی اثر SAR در فرکانس‌ها و آنتن‌های مختلف پرداخته است و حالت‌های مختلف را با یکدیگر مقایسه کرده است. طبق استاندارد ICNIRP^{۱۱} محدودیت‌هایی برای سیستم‌های موبایل در نظر گرفته شده است که برای سر انسان 2 W/kg در 10g و برای کل بدن 0.08 W/kg می‌باشد. رابطه مورد نظر برای میزان جذب در بافت به شکل زیر نوشته می‌شود:

$$SAR = \frac{\sigma}{2\rho} E^2 \quad (1)$$

شد و بحث بر روی میانگین کردن توان ارسالی بر روی سر به آیندگان سپرده می‌شود.

در آنتن‌های آرایه‌ای می‌توان توان ارسالی را با گین بیشتر به شکل متمرکزتری ارسال کرد. در واقع طبق رابطه (۴) برای آنتن‌های آرایه‌ای، نه تنها توان ارسالی از طریق دو آنتن ارسال می‌شود، بلکه گین آنتن نیز در مجموع زیادتر می‌شود:

$$E_{Array} = E_{One-Ant} \times AF(\theta, \varphi) \quad (۴)$$

در رابطه (۴)، $AF(\theta, \varphi)$ ضریب آرایه است و $E_{One-Antenna}$ در واقع پترن هر آنتن در حالت تکی است. در اینجا نیز هدف، بهره مندی از همین ضریب آرایه برای افزایش گین آنتن موبایل خواهد بود. همانطور که از ضابطه بالا نیز پیداست اگر بتوان گین را به کمک ضریب آرایه، افزایش داد می‌توان از توان ارسالی توسط هر آنتن کاست. این درحالی است که در حالت آرایه، توانی که قرار بود توسط یک آنتن ارسال شود می‌تواند توسط دو آنتن ارسال شود. پس توان هر آنتن در حالت آرایه-ای نصف خواهد شد و حال اگر افزایش گین نیز مد نظر قرار داده شود، می‌توان این افزایش گین را از توان ارسالی کم کرد و باز هم به همان گیرندگی در آنتن دست یافت. سپس اگر بتوان به کمک N آرایه از آنتن‌ها ضریب آرایه N داشت یعنی بتوان گین را N برابر کرد طبق رابطه (۴)، می‌توان توان ارسالی توسط هر آنتن را N برابر کاهش داد بطوریکه تغییری در آنتن دهی گواشی نیز ایجاد نشود. یعنی علاوه بر اینکه توان ارسالی در N آنتن تقسیم می‌شود با کمک رابطه (۴) می‌توان، توان در هر آنتن را نیز N برابر کم کرد. پس در هر آنتن می‌توان نسبت به حالت تکی N^2 برابر کاهش توان داشت. از طرفی SAR را می‌توان به شکل کلی تر رابطه (۵) نوشت:

$$SAR = \frac{P(w)}{m(kg)} \quad (۵)$$

همانطور که مشاهده می‌شود با تقسیم توان در N آنتن می‌توان SAR هر آنتن را N برابر کاهش داد. پس اگر بتوان گین را برای N آنتن، N برابر کرد می‌توان SAR را در هر آنتن N برابر کاهش داد. پس نقاط داغ در سر به چند نقطه تقسیم شده‌اند و نسبت به حالت تک آنتن هر کدام N^2 برابر نقاط داغ ضعیف‌تری دارند. طبق استاندارد دانستیم که SAR تک آنتن نباید از 1.6 W/kg تجاوز کند. از طرفی طبق استاندارد SPLSR برای آنکه دو نقطه داغ مجموعاً دارای پیک SAR=1.6 W/kg باشند، می‌بایست دست کم 50 mm از هم فاصله داشته باشند؛ لذا اگر بتوان گین را برای دو آنتن آرایه‌ای دو برابر کرد به شرطی که فاصله نقاط آنها نیز از یکدیگر بیش از 50mm باشد می‌توان اثرات امواج موبایل را بر سر کاهش داد. حال طبق تئوری هرچه این نقاط از یکدیگر دورتر شوند می‌توان SPLSR بهتری نیز بدست آورد و یا اگر بتوان گین را در حالت دو آنتن آرایه‌ای بیش از دو برابر کرد می‌توان، توان ارسالی در هر آنتن را به همان نسبت کاهش داد. در

ادامه به کمک یک آنتن دیپل به بررسی راه کارهای عملی این تئوری پرداخته می‌شود و نتایج بدست آمده از آن نیز با یکدیگر مقایسه خواهند شد.

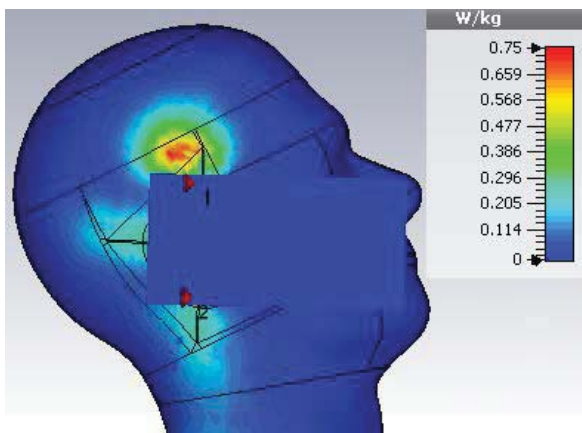
۳- طراحی آنتن دیپل تکی و آرایه‌ای

طبق تئوری هدف بدست آوردن گینی بیشتر از آن چیزی است که در حالت آنتن تکی بدست می‌آید. هرچند که طبق آنچه که بیان شد به کمک آنتن آرایه‌ای، SAR در دو نقطه تقسیم می‌شود. ولی با در نظر گرفتن افزایش گین نیز می‌توان، توان ارسالی هر آنتن را کاهش داد. برای این منظور یک آنتن دیپل در فرکانس 3.5GHz همانند مرجع [۵] و مطابق شکل (۱) در نظر گرفته شده‌است. طول دیپل 36mm شعاع آن 0.2mm، فاصله آن از لبه‌ها هر کدام 5mm و ابعاد صفحه زمین، 80mm عرض و 160mm طول در نظر گرفته شده‌است. نا گفته پیداست که این ابعاد بزرگ صفحه زمین برای ایجاد فاصله کافی بین نقاط داغ انجام گرفته‌است و فاصله گرفتن هرچه بیشتر آن، SPLSR بهتری را به ما خواهد داد. نتایج آرایه شده در ادامه با شبیه سازی در نرم افزار CST Studio 2013 بدست آمده است. جدول (۱) نتیجه بدست آمده از شبیه سازی را برای حالت تک آنتن دیپل نشان می‌دهد. نتایج در شرایط حضور و عدم حضور سر نیز بدست آمده‌اند. حالت آنتن‌های آرایه‌ای نیز در شکل (۲) قابل مشاهده است. لازم به ذکر است که فاصله در نظر گرفته برای حالت آرایه‌ای بین دو آنتن 70mm است و این ایزولاسیون مناسبی (30dB-) را بین دو آنتن فراهم کرده‌است. مشخصات مربوط به این حالت نیز در جدول (۲) قابل مشاهده است. در این جدول، همانند حالت تک آنتن، بررسی‌ها در حالت حضور و عدم حضور سر، انجام گشته‌است. برای بدست آوردن SAR نیز فاصله 10.5mm بین صفحه آنتن و سر در نظر گرفته شده- است و آنتن نیز در راستای گونه‌ها قرار گرفته است تا از استاندارد CTIA پیروی نماید [۱۳]. برای حالت دو آنتن نیز SAR هر یک از آنتن‌ها نوشته شده و طبق آنچه در بخش (۲) بیان شد SPLSR به کمک ضابطه (۳) بدست خواهد آمد.

با مقایسه جدول‌های (۱) و (۲) در حالت آنتن تکی و آرایه، مشاهده می‌شود که گین در حالت عدم در نظر گرفتن سر بیش از دو برابر شده‌است ($2.1386 = 10.8 / 5.05$). این یعنی نه تنها می‌توان، توان را تقسیم کرده و SPLSR را کم کرد، بلکه می‌توان مقدار SAR هر یک از آنتن‌ها را در حالت تکی نیز بیش از دو برابر کم کرد که این خود سبب کاهش بیشتر SPLSR نیز می‌شود. طبق جدول (۲)، در حالت حضور در کنار سر، آنتن‌ها افزایش گینی کمتر از حالت عدم حضور در کنار سر را خواهند داشت. نقاط داغ در این حالت به فاصله تقریبی 100mm از یکدیگر قرار می‌گیرند که در شکل (۳) قابل مشاهده است.

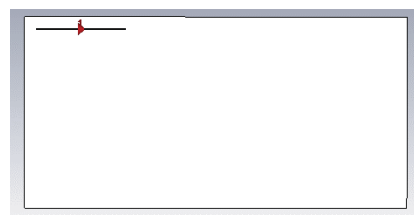
$$\text{SAR}_2=0.262 \quad \text{AF}=1.9265$$

$$\text{SAR}_{2\text{Array}} = \text{SAR}_2 / 2 * \text{AF} = 0.262 * 0.519 / 2 = 0.068$$

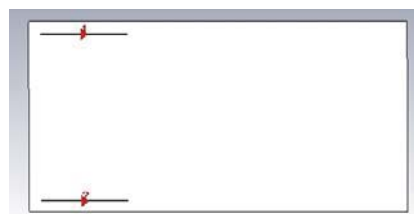


شکل (۳): تصویر دو نقطه داغ ناشی از دو آنتن دیپل آرایه‌ای

که این همان مقدار نوشته شده برای SPLSR در جدول (۲) است. مشاهده می‌گردد که این مقدار بسیار کمتر از استاندارد در نظر گرفته برای SPLSR یعنی 0.04 است. مطابق آنچه بیان شد AF در این روش بسیار اثر گذار است؛ لذا اثرات ابعاد آنتن در AF و در نهایت SPLSR در ادامه بحث خواهد شد. برای این کار ابعاد عرض آنتن از 40mm تا 80mm بررسی می‌شود. همچنین طول آنتن نیز از 120mm تا 160mm بررسی می‌شود. شکل (۴) اثرات تغییر عرض آنتن را بر گین هر آنتن و آرایه آنها نشان می‌دهد. همانطور که مشاهده می‌شود تغییرات گین با عرض آنتن سبب می‌شود که در ابعاد کمتر نتوان آرایه مناسب‌تری تشکیل داد. این بدان معنی است که نمی‌توان توان تشعشی هر آنتن را به میزان زیادی کم کرد. در ادامه و در شکل (۵)، SAR ناشی از هر آنتن قابل مشاهده است. همانطور که از این نمودار پیداست، SAR ناشی از هر آنتن در اثر افزایش عرض آنتن (فاصله بین دو آنتن آرایه)، کاهش می‌یابد. پس در مجموع SPLSR با شدت بیشتری کاهش می‌یابد؛ چرا که نه تنها AF با افزایش عرض آنتن، افزایش می‌یابد بلکه SAR هر آنتن نیز با افزایش عرض آنتن، کاهش می‌یابد. شکل (۶) که SPLSR ناشی از آرایه شدن را نشان می‌دهد به خوبی گواه این مسئله است. در ادامه تغییرات ناشی از طول نیز قابل مشاهده است. شکل (۷) اثر این تغییر طول را بر گین و در شکل (۸) اثر آن را بر SAR هر آنتن و در نهایت در شکل (۹) اثر تغییر طول را بر SPLSR نشان می‌دهند. تغییر طول برخلاف تغییر عرض اثر خطی بر SPLSR ندارد؛ چرا که نه تنها SAR آنتن‌ها تغییر چندانی ندارد بلکه AF نیز آنچنان تغییر نمی‌کند فلذا SPLSR به شکلی غیرخطی تغییر می‌کند و مشاهده می‌شود در زمانی که آنتن کمترین طول را دارد، SPLSR به کمترین میزان خود می‌رسد. پس نیازی به داشتن بیشترین طول نیست. برخلاف حالت عرضی آنتن‌ها که بیشترین عرض، SPLSR کمتری دارد.



شکل (۱): تک آنتن دیپل مقابل صفحه زمین



شکل (۲): آرایه ای از آنتن‌های دیپل

جدول (۱): مشخصات آنتن دیپل در حالت MIMO

	S11 (dB)	BW (%)	Efficiency	Gain (linear)	SAR (W/kg)
One Dipole (absence of head)	8.5	3	0.9956	5.05	-
One Dipole (with head)	8.45	3.1	0.9412	5.32	0.741

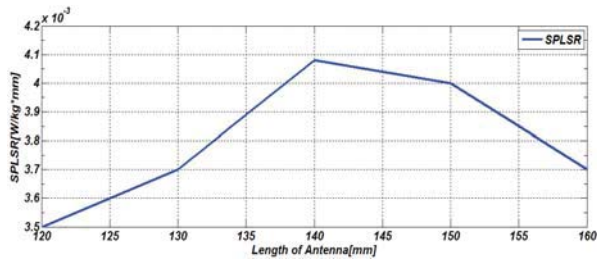
جدول (۲): مشخصات بدست آمده برای حالت آرایه‌ای دیپل

	Efficiency	Gain (linear)	SAR(W/kg) or SPLSR(W/kg*mm)
Dipole1 (absence of head)	0.9975	5.3	-
Dipole2 (absence of head)	0.9975	5.3	-
Array (absence of head)	0.9490	10.8	-
Dipole1 (with head)	0.9426	5.3	0.75 W/kg
Dipole2 (with head)	0.9558	5.31	0.262 W/kg
Array (with head)	0.9527	10.23	0.0013 W/kg*mm

طبق آنچه بیان شد چون گین کاملا دو برابر نشد، پس توان ارسالی در هر آنتن را نیز نمی‌توان کاملا نصف کرد. لذا برای هر آنتن داریم:

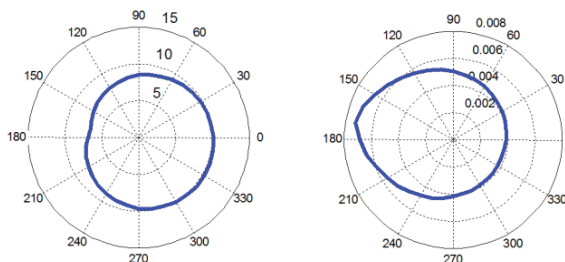
$$\text{SAR}_1=0.75 \quad \text{AF}=1.9265$$

$$\text{SAR}_{1\text{Array}} = \text{SAR}_1 / 2 * \text{AF} = 0.75 * 0.519 / 2 = 0.195$$

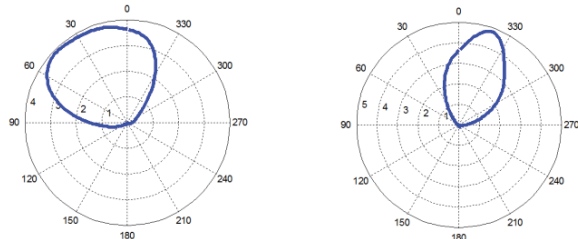


شکل(۹): اثر تغییر طول آنتن بر SPSLR

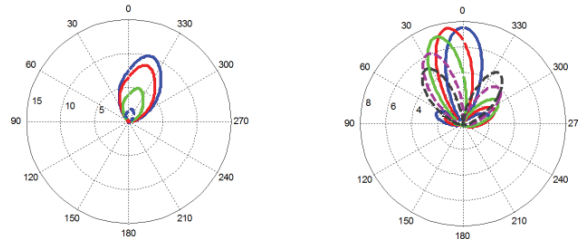
اثر تغییر فاز آرایه آنتن‌ها بر گین آنتن در شکل (۱۰ چپ) قابل مشاهده می‌باشد. همانطور که مشاهده می‌شود گین آرایه در فاز 30- درجه آنتن اول نسبت به آنتن دوم بهترین گین را دارد. شکل (۱۰- راست)، SPSLR را در فازهای مختلف نشان می‌دهد. همانطور که مشاهده می‌شود در فازی که بیشترین گین از آرایه بدست می‌آید می‌توان به بهترین SPSLR، طبق تئوری دست یافت. همچنین همانطور که از شکل (۱۰) پیداست تا تغییر فاز 60 درجه نسبت به آنتن اول تغییرات چندانی در SPSLR مشاهده نمی‌شود. می‌توان از این تغییر فاز در آنتن برای پوشش بخش‌های بیشتری بهره برد. در واقع یکی از مهمترین مسائل در آنتن‌های آرایه‌ای نحوه پوشش پترن آنها است.



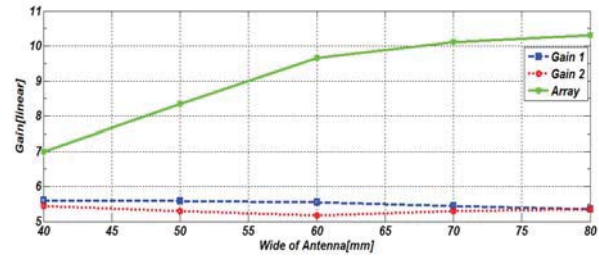
شکل(۱۰): تغییر فاز آرایه آنتن‌ها و اثر آن بر گین آرایه (چپ)، SPSLR (W/kg*mm) راست)



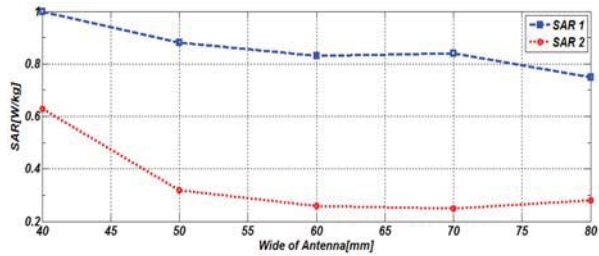
شکل(۱۱): گین آنتن دیپل تک‌پول (راست) و crosspol (چپ)



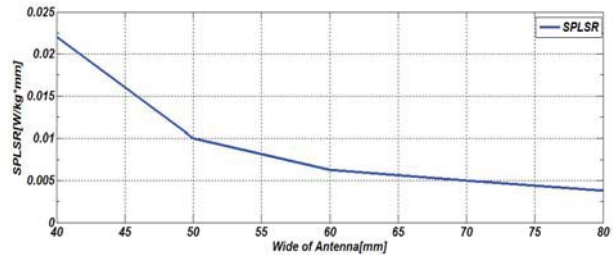
شکل(۱۲): گین آنتن دیپل آرایه‌ای با 5 شیف‌فاز (0,45,90,135,180) crosspol (راست) و copol (چپ)



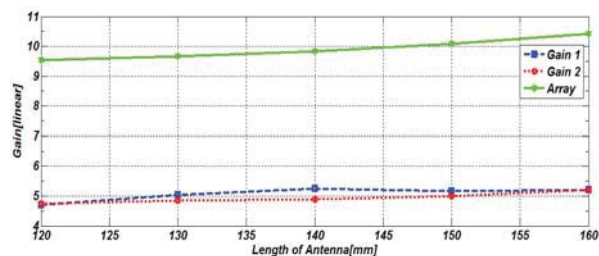
شکل(۴): تغییر گین آنتن در اثر تغییر فاصله بین دو آنتن



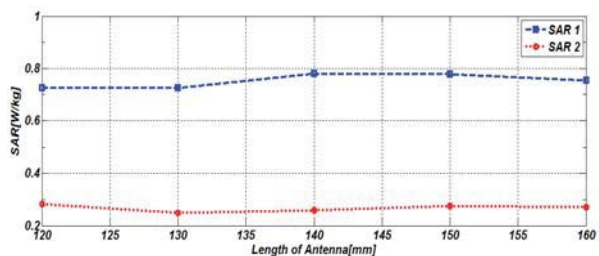
شکل(۵): تغییر عرض آنتن و اثر آن بر SAR آنتن‌ها



شکل(۶): اثر تغییر عرض آنتن بر SPSLR



شکل(۷): اثر طول آنتن بر گین آنتن‌ها



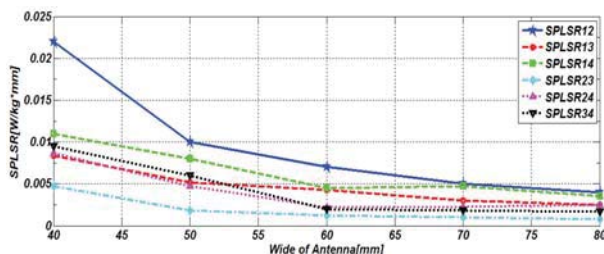
شکل(۸): اثر تغییر طول بر SAR هر آنتن

در واقع همانطور که مشاهده شد وجود سر سبب می شود AF کاهش داشته باشد و حتی کمتر از ۲ برابر گین را در مقایسه با حالت نبودن در کنار سر، به ما بدهد.

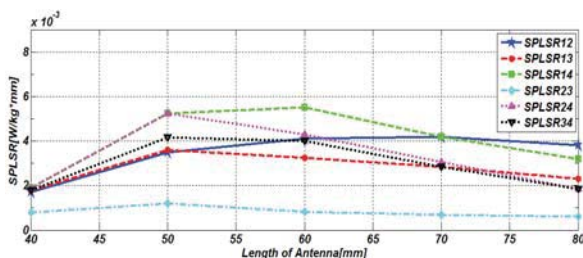
با مقایسه نتایج بدست آمده در حالت MIMO آنتن ها و حالت MIMO Array مطابق جدول های (۳) و (۴) مشاهده می شود که SAR برای هر آنتن ۷۵٪ کاهش را داشته است و SPLSR برای حالت مایمو آرایه ۹۲٪ کاهش را نسبت حالت MIMO داشته است. لازم به ذکر است که این مقایسه در بدترین حالت SPLSR برای آرایه ها در نظر گرفته شده که همان ۰.۰۰۳۹ می باشد. مقایسه SPLSR در طول و عرض های مختلف نیز همانند حالت آرایه تکی، در حالت MIMO نیز مورد بحث قرار گرفته است. شکل (۱۴) اثر تغییر SPLSR را در حالت عرض آنتن های مختلف از ۴۰mm تا ۸۰mm نشان می دهد. همانطور که مشاهده می شود SPLSR با افزایش فاصله بین دو آنتن کاهش می یابد که قابل پیش بینی بود. نکته دیگر نیز آنست که SPLSR بین آنتن ۱ و ۲ فاکتور ارزیابی قرار خواهد گرفت. چرا که معیار مقایسه بدترین SPLSR خواهد بود. شکل (۱۵) نیز اثر تغییر طول آنتن را از ۱۲۰mm تا ۱۶۰mm نشان می دهد. همانطور که از تصویر نیز پیداست SPLSR در طول های مختلف تغییرات شدیدی دارد و با توجه به طول SPLSR14 و SPLSR12 می بایست معیار مقایسه قرار گیرند.

جدول (۴): مشخصات آنتن دیپل در حالت MIMO آرایه ای

	Efficiency	Gain(linear)	SAR(W/kg) or SPLSR(W/kg*mm)
Dipole1	0.9413	5.28	0.758
Dipole2	0.9503	5.20	0.264
Array 1 & 2	0.9450	10.1	0.0014
Dipole3	0.9608	5.08	0.155
Dipole4	0.9458	5.21	0.547
Array 3 & 4	0.9535	10.1	0.0008



شکل (۱۴): تغییر عرض آنتن و اثر آن بر SPLSR های مختلف

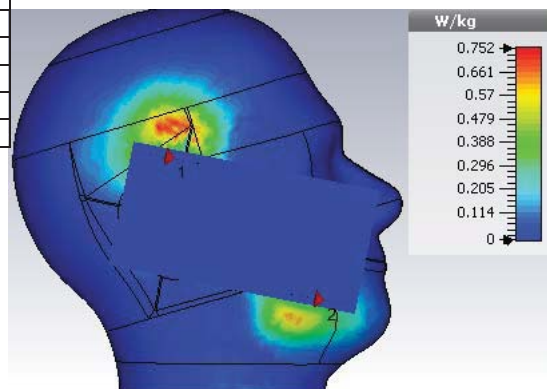


شکل (۱۵): تغییر طول آنتن و اثر آن بر SPLSR های مختلف

برای این منظور باید نحوه پوشش پترن در دو حالت دیپل تکی و آرایه ای با یکدیگر مقایسه شود. شکل (۱۱) پترن حالت دیپل تکی را در دو حالت φ برابر با ۰ و ۹۰ درجه نشان می دهد. در حالت آرایه ای، پترن قابل چرخاندن است که در اینصورت می توان ناحیه تحت پوشش را افزایش داد. همانطور که از شکل (۱۲) نیز پیداست، به کمک شیفت دهنده فاز دارای ۵ بیت که اختلاف فاز هر یک از یکدیگر ۴۵ درجه باشد، می توان پترن آنتن را چرخاند. با مقایسه پترن آنتن در حالت تکی (شکل ۱۱) و در حالت آرایه ای (شکل ۱۲) می توان گفت که تغییر در HPBW پیش نمی آید؛ چرا که هر دو دارای تقریباً ۹۰ درجه پوشش در $\varphi=0$ و $\varphi=90$ هستند. پس هرچند تغییر فاز سبب می شود اثرات گوشی بیشتر شود ولی می توان ناحیه بیشتری را تحت پوشش قرار داد هرچند که این افزایش اثرات نیز جزئی است. در قسمت ۵ با مقایسه اثرات این تئوری در حالت MIMO، بهبود حاصل شده از این روش، بهتر مشاهده می شود.

۴- آنتن های دیپل مایمو آرایه ای

در استاندارد LTE وجود حداقل دو آنتن به شکل MIMO در گوشی ضروری است. لذا نتایج حاصل از این شبیه سازی در ادامه آورده شده و با یکدیگر مقایسه شده است. آنتن ها در حالت MIMO مطابق شکل- (۱۳) خواهند بود. مشابه آنچه بیان شد حالت MIMO آرایه ای آنتن ها نیز مطابق قبل لحاظ می شود. نتایج بدست آمده از این حالت در جدول (۳) آمده است. به علت اهمیت گین و دیگر مشخصات آنتن در کنار سر این بار تنها اثرات در کنار سر مورد مطالعه قرار گرفته است.



شکل (۱۳): حالت MIMO آنتن دیپل در کنار سر

جدول (۳): مشخصات آنتن دیپل در حالت MIMO

	Efficiency	Gain(linear)	SAR(W/kg) or SPLSR(W/kg*mm)
Dipole1	0.9398	5.32	0.752
Dipole2	0.9499	5.26	0.579
MIMO	-	-	0.0102

۵- مقایسه با روش EBG

از نکات مثبت روش تقسیم نقاط داغ، می‌توان به کاهش بیشتر اثرات آن بر روی سر، نسبت به حالت EBG پرداخت. نتایج ناشی از شبیه سازی آنتن دیپل در کنار سر که در مقاله [۶] بدان اشاره شده است را برای این منظور در نظر گرفته‌ایم. در اینجا با بهره‌گیری از همان طراحی اما همانند شکل (۱) عمل می‌کنیم. نتایج ناشی از مقایسه دو روش در حالت تک آنتن را در جدول (۵) می‌بینیم. همانطور که پیداست روش تفکیک نقاط داغ می‌تواند بسیار کمک کند تا نه تنها توان کمتری ارسال کنیم بلکه اثرات گوشی را نیز کمتر کنیم. در حالیکه روش EBG علاوه بر خراب کردن طراحی ابتدایی ما چندان سبب کاهش اثرات نمی‌شود.

جدول (۵): مقایسه اثرات روش‌های مختلف بر SAR

	Efficiency	Gain (linear)	S-Para (dB)	SAR(W/kg)
One Dipole	0.9412	5.32	-8.5	0.741
One Dipole with EBG	0.9353	4.67	-13.7	0.663
Array Dipole	0.9412	10.34	-8.5	0.195(one antenna)

از دیگر نکات مثبت این روش نسبت به EBG، می‌توان به کاهش اثرات امواج موبایل بر روی سایر قسمت‌های بدن اشاره کرد. بطور مثال اگر گوشی را در حالت هندزفری مورد استفاده قرار می‌دهیم، باز هم به کمک این روش کاهش اثرات امواج موبایل را بر روی دست خواهیم داشت؛ چرا که سایر روش‌ها تنها بر کاهش اثرات ناشی از امواج موبایل در راستای سر تمرکز دارند در حالی که به کمک این روش نقاط داغ در هر دو جهت تقسیم شده و در نهایت کاهش اثرات امواج را چه در سر و چه در دست خواهیم داشت. از طرفی روش EBG دارای پیچیدگی‌هایی همچون طراحی سخت تر و باند مورد نیاز برای کاهش اثرات آنتن هستند. در واقع باید بتوان EBG طراحی کرد که اثرات امواج موبایل را در تمامی فرکانس‌ها در راستای سر کاهش دهد.

۶- نتیجه‌گیری

همانطور که دیدیم روش تقسیم نقاط داغ در سر می‌تواند اثرات بسیار مثبتی را بر کاهش اثرات امواج موبایل داشته باشد؛ البته با قبول این نکته که آنتن دهی گوشی تغییر کند. در واقع با استفاده از آرایه آنتن، گین زیاد و بیم باریک تر و در نتیجه آنتن دهی یا پوشش کاهش می‌یابد. البته همانطور که بیان شد با چرخش پترن می‌توان این مشکل را تا حدی رفع کرد. در این روش با تقسیم نقاط داغ در سر، توانستیم به کاهش 92% SPSLR در حالت MIMO برسیم. همچنین بیان شد این روش می‌تواند اثرات امواج را در حالات دیگر نیز کم کند. بطور مثال دست، مورد بحث قرار گرفت و بیان شد که همانند سر که نقاط

داغ در آن تقسیم می‌شدند؛ در هنگام گرفتن گوشی موبایل در دست نیز می‌توان اثرات امواج را کاهش داد چیزی که در سایر روش‌های کاهش اثرات امواج موبایل بر روی آن کمتر بحث شده است. بیان شد که از مشکلات این روش فاصله مجاز بیان شده از سوی FCC است. بطوریکه برای کاهش اثرات امواج در سر می‌بایست نقاط داغ از یکدیگر به اندازه 5cm و بیشتر فاصله داشته باشند تا بتوان از کاهش اثرات سخن به میان آورد. این خود سبب شد تا ما آنتنی بزرگتر داشته باشیم. لذا شاید تنها بتوان از این روش در گوشی‌های بزرگ و یا تبلت‌ها بهره برد. از طرفی از دیگر مشکلات این روش، AF بود و بیان شد که برای داشتن یک AF مناسب باید تلاش کرد. بهره‌گیری از آنتن‌هایی همچون PIFA، بهبود AF بخصوص در کنار سر و نحوه قرارگیری نقاط داغ بطوریکه بتوان کاهش اثرات امواج را در گوشی‌های کوچکتر بدست آورد، می‌تواند مسائلی باشند که آیندگان بر روی آنها کار کنند.

مراجع

- [1] Lizhong Zheng; Tse, D.N.C., "Diversity and multiplexing: a fundamental tradeoff in multiple-antenna channels," *Information Theory, IEEE Transactions on*, vol.49, no.5, pp.1073,1096, May 2003.
- [2] Zeraatkar Moghaddam J, Farrokhi H F, Neda N. Analyzing the effects of the transmitter and receiver antenna arrays separations on MIMO Channel capacity. *Journal of Iranian Association of Electrical and Electronics Engineers*. 2016; 13 (2), p 11-18.
- [۳] بهناز حاجیون، حامد الهی زاده، " اثر امواج الکترومغناطیس تلفن همراه بر بافت غده تیروئید در موش صحرایی تحت درمان با عصاره هیدرولکی سیر"، *مجله زیست شناسی جانوری تجربی*، دوره ۴، شماره ۱، صفحه ۱۱-۱۸، تابستان ۱۳۹۴.
- [4] Louei Monfared A, hamoon navard S, nooraii A. Effects of Mobile Phone Radiation on the Histological and Anatomical Parameters of Testis and Serum Levels of Testosterone in Mice. *sjimu*. 2016; 24 (2) :110-118g.
- [5] Kientega, T.; Conil, E.; Gati, A.; Hadjem, A.; Richalot, E.; Wong, M-F.; Picon, O.; Wiart, J., "Analysis of the distribution of specific absorption rate induced by five plane waves with a fast and new method in Visible Human," *General Assembly and Scientific Symposium, 2011 XXXth URSI*, vol., no., pp.1,4, 13-20 Aug. 2011.
- [6] Islam, M.R.; Ali, M., "Elevation Plane Beam Scanning of a Novel Parasitic Array Radiator Antenna for 1900 MHz Mobile Handheld Terminals," *Antennas and Propagation, IEEE Transactions on*, vol.58, no.10, pp.3344,3352, Oct. 2010.
- [7] Ta-Chun Pu; Jui-Hung Chen; Hung-Hsuan Lin; Chun-Yih Wu, "Novel SAR-reducing add-on cover for MIMO handheld device," *Antennas and Propagation Society International Symposium (APSURSI), 2012 IEEE*, vol., no., pp.1,2, 8-14 July 2012.
- [8] Kwok-Hung Chan; Ikeuchi, R.; Hirata, A., "Effects of Phase Difference in Dipole Phased-Array Antenna Above EBG Substrates on SAR," *Antennas and Wireless Propagation Letters, IEEE*, vol.12, no., pp.579 582, 2013.
- [9] Sang il Kwak; Dong-Uk Sim; Jong Hwa Kwon, "Design of Optimized Multilayer PIFA With the EBG Structure for SAR Reduction in Mobile Applications,"

- Electromagnetic Compatibility, IEEE Transactions on , vol.53, no.2, pp.325,331, May 2011.
- [10] Kaharpardeshi, K.T.; Ullah, S.U.; Zafar, S., "Influence of circular patched EBG substrate on SAR and far-field pattern of dipole phase-array antenna," Electrical, Electronics and Computer Science (SCECS), 2014 IEEE Students' Conference on , vol., no., pp.1,5, 1-2 March 2014.
- [11] Jiunn-Nan Hwang; Fu-Chiang Chen, "Reduction of the Peak SAR in the Human Head With Metamaterials," Antennas and Propagation, IEEE Transactions on , vol.54, no.12, pp.3763,3770, Dec. 2006.
- [12] Li, H.; Lau, B.K., "Efficient evaluation of specific absorption rate for MIMO terminals," Electronics Letters , vol.50, no.22, pp.1561,1562, 10 23 2014.
- [13] Kun Zhao; Shuai Zhang; Zhinong Ying; Bolin, T.; Sailing He, "SAR Study of Different MIMO Antenna Designs for LTE Application in Smart Mobile Handsets," Antennas and Propagation, IEEE Transactions on , vol.61, no.6, pp.3270,3279, June 2013.

¹ Specific Absorption Rate

² Signal to Noise Ratio

³ Array Factor

⁴ Multi Input Multi Output

⁵ Electromagnetic Band Gap

⁶ electrically steerable parasitic array radiator

⁷ Printed Inverted F-Antenna

⁸ electroencephalogram

⁹ time-averaged simultaneous peak SAR

¹⁰ International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection

¹¹ Federal Communications Commission

¹² SAR to Peak Location Separation Ratio

