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
vahidgh@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
pdehkhoda@aut.ac.ir

چکیده: در این مقاله شیوه جدیدی برای کاهش نرخ جذب ویژه (SAR[۱]) در گوشی‌های موبایل ارایه می شود. برای این کار از ایده آنتن‌های آرایه‌ای استفاده شده‌است. این سبب می‌شود تا بتوان با بهره گیری 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[۲] پایین بیاید. برای داشتن آرایه در گوشی موبایل می‌بایست آنتن ها یکسان باشند و در یک سمت تشعشع کنند تا بتوان ضریب آرایه (AF[۳]) 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[۴] کاهش داد. همچنین نشان داده شده است که این روش نسبت به روش EBG[۵]، نتایج بهتری دارد.

کلمات کلیدی: SAR، آنتن های آرایه ای، 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

[Downloaded from jiaeee.com on 2026-10-30]
[DOR: 20.1001.1.26765810.1396.14.2.5.8]
Journal of Iranian Association of Electrical and Electronics Engineers Vol14 No.2 Summer 2017

۱- مقدمه

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 [۱و ۲]. این در حالی است که ضرر ناشی از گوشی‌های موبایل پیش از این به اثبات رسیده و در دهه اخیر رشد سرطان به شدت افزایش پیدا کرده‌است [۳و ۴و ۵]. در سال‌های اخیر ایده‌های زیادی برای کاهش SAR بیان گشته‌است. در مقاله [۶] از تکنیک ESPAR[۶] استفاده کرده‌است و به کمک المان‌های پارازیتی و حرکت بیم آنتن توانسته‌است 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 شده‌است 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 شده‌است 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 می دهد. 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 داشته‌است که استفاده از پچ‌های دایروی بجای مربعی کمک می‌کند تا SAR کمتری در سر ایجاد گردد که البته ساخت آن نیز سخت تر می‌گردد. مقاله [۸] از کلاهک الکترودی EEG[۸] برای کاهش SAR در GSM900 بهره گرفته‌است که این روش نیز می‌تواند SAR را به میزان 14-18% کاهش دهد. در مقاله [۱۱]، نگارنده با بهره گیری از متامتریال سعی کرده‌است تا اثر SAR در سر را کم کند. در واقع در این روش از متامتریال در فاصله بین آنتن و سر استفاده شده‌است و کاهش اثرات در سر تا 14% گزارش شده است؛ هرچند ابعاد آنتن را بسیار بزرگ کرده‌است. در نهایت در مقاله [۱۲] سعی شده تا به کمک روش TASPS[۹] که درواقع 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 پرداخته‌است و حالت‌های مختلف را با یکدیگر مقایسه کرده‌است. طبق استاندارد ICNRIP[۱۰] محدودیت‌هایی برای سیستم‌های موبایل در نظر گرفته شده‌است 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:

$$SAR = \frac{\sigma}{2\rho} E^2 \qquad (۱)$$

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 گرفته‌شود. طبق این استاندارد برای تشعشع دو آنتن بصورت همزمان (در حالت MIMO) داریم:

$$SPLSR = (SAR1 + SAR2)/D \qquad (۲)$$

که SAR1 و SAR2 برحسب W/kg برای المان های ۱و۲ می‌باشند وطبق استاندارد D (برحسب cm) فاصله بین دو نقطه داغ می‌باشد. SPLSR[۱۲] طبق استاندارد می‌بایست برای فاصله های کمتر از 5cm کمتر از 0.3w/kg باشد. در حالت گسترده‌تر طبق این استاندارد داریم:

$$SPLSR = (SAR1 + SAR2)^{1.5} / D(mm) \le 0.04 \qquad (۳)$$

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 ای‌است که می‌بایست در آنتن های MIMO بطور جدی مورد توجه قرار گیرد و متعاقبا کاهش SPLSR برای نسل 4G مورد توجه قرارگیرد.

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 خواهدشد. در بخش چهارم نیز حالت MIMO برای گوشی‌های موبایل نسل 4G مورد بررسی قرار خواهدگرفت 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

همان‌طور 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؛ درواقع 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

[Downloaded from jiaeee.com on 2026-10-30]
[DOR: 20.1001.1.26765810.1396.14.2.5.8]

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

در آنتن‌های آرایه‌ای می‌توان توان ارسـالی را بـا گـین بیشـتر بـه شکل متمرکزتری ارسال کرد. در واقع طبق رابطه (۴) برای آنـتن‌هـای آرایه‌ای، نه تنها توان ارسالی از طریق دو آنتن ارسـال مـی‌شـود، بلکـه گین آنتن نیز در مجموع زیادتر می‌شود:

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

در رابطه (۴)، $AF(\theta,\varphi)$ ضریب آرایه است و $E_{oneAntenna}$ در واقـع پترن هر آنتن در حالت تکی است. در اینجا نیز هـدف، بهـره منـدی از همین ضریب آرایه برای افزایش گین آنتن موبایل خواهدبود. همـانطور که از ضابطه بالا نیز پیداست اگر بتوان گین را به کمک ضـریب آرایـه، افزایش داد می‌توان از توان ارسالی توسط هر آنتن کاست. این درحـالی است که در حالت آرایه، توانی که قرار بود توسط یک آنتن ارسال شـود 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 بـه همـان گیرندگی در آنتن دست یافت. سپس اگر بتـوان بـه کمـک N آرایـه از آنتن‌ها ضریب آرایه N داشت یعنی بتوان گـین را N برابـر کـرد طبـق رابطه (۴)، می‌توان توان ارسالی توسط هر آنتن را N برابـر کـاهش داد بطوریکه تغییری در آنتن دهی گوشی نیز ایجاد نشود. یعنی عـلاوه بـر اینکه توان ارسالی در N آنتن تفسیم می‌شود با کمک رابطـه (۴) مـی-توان، توان در هر آنتن را نیز N برابر کم کرد. پس در هر آنتن‌می تـوان نسبت به حالت تکی N^2 برابر کاهش توان داشت.

از طرفی SAR را می‌توان به شکل کلی تر رابطه (۵) نوشت:

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

همانطور که مشاهده می‌شود با تقسیم توان در N آنتن می‌تـوان SAR هر آنتن را N برابر کاهش داد. پس اگر بتوان گین را برای N آنـتن، N برابر کرد می‌توان SAR را در هر آنتن N برابر کاهش داد. پـس نقـاط داغ در سر به چند نقطه تقسیم شده‌اند و نسبت به حالت تک آنتن هـر کدام N^2 برابر نقاط داغ ضعیف‌تری دارند. طبق استاندارد دانستیم که SAR تـک آنـتن نبایـد از 1.6 W/kg تجـاوز کنـد. از طرفـی طبـق اسـتاندارد SPLSR بـرای آنکـه دو نقطـه داغ مجموعـا دارای پیـک SAR=1.6 W/kg باشند، می-بایست دست کم 50 mm از هم فاصله داشته باشند؛ لذا اگر بتوان گین را برای دو آنتن آرایه‌ای دو برابـر کـرد به شرطی که فاصله نقاط آنها نیز از یکدیگر بیش از 50mm باشد می-توان اثرات امواج موبایل را بر سر کاهش داد. حال طبق تئـوری هرچـه این نقاط از یکدیگر دورتر شوند می‌توان SPLSR بهتـری نیـز بدسـت آورد و یا اگر بتوان گین را در حالت دو آنتن آرایه‌ای بـیش از دو برابـر 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 تئـوری پرداخته می‌شود و نتایج بدسـت آمـده از آن نیـز بـا یکـدیگر مقایسـه خواهند شد.

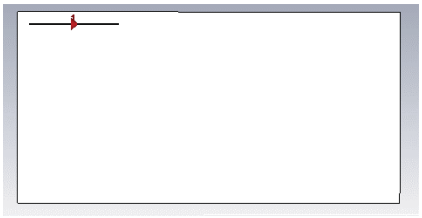
۳- طراحی آنتن دیپل تکی و آرایه‌ای

طبق تئوری هدف بدست آوردن گینی بیشتر از آن چیزی است کـه در حالت آنتن تکی بدست می‌آید. هرچند که طبق آنچه که بیان شد بـه کمک آنتن آرایه‌ای، SAR در دو نقطه تقسیم می‌شود. ولی بـا در نظـر گرفتن افزایش گین نیز می‌توان، توان ارسالی هـر آنـتن را کـاهش داد. برای این منظور یک آنتن دیپل در فرکـانس 3.5GHz هماننـد مرجـع [۵] و مطابق شکل (۱) در نظر گرفته شده‌است. طـول دیپـل 36mm، شعاع آن 0.2mm، فاصله آن از لبه‌هـا هرکـدام 5mm و ابعـاد صـفحه زمین، 80mm عرض و 160mm طول در نظر گرفته شده‌است. نا گفته پیداست که این ابعاد بزرگ صفحه زمین برای ایجاد فاصله کـافی بـین نقاط داغ انجام گرفته‌است و فاصله گرفتن هرچـه بیشـتر آن، SPLSR بهتری را به ما خواهد داد. نتایج ارایه شده در ادامه با شـبیه سـازی در نرم افزار CST Studio 2013 بدست آمـده اسـت. جـدول (۱) نتیجـه بدست آمده از شبیه سازی را برای حالت تک آنتن دیپل نشان می‌دهد. نتایج در شرایط حضور وعدم حضور سـر نیـز بدسـت آمـده‌انـد. حالـت آنتن‌های آرایه‌ای نیز در شکل (۲) قابـل مشـاهده اسـت. لازم بـه ذکـر است که فاصله در نظر گرفته برای حالت آرایه‌ای بین دو آنتن 70mm است و این ایزولاسـیون مناسـبی (30dB-) را بـین دو آنـتن فـراهم کرده‌است. مشخصات مربوط بـه ایـن حالـت نیـز در جـدول (۲) قابـل مشاهده‌است. در این جدول، همانند حالـت تـک آنـتن، بررسـی‌هـا در حالت حضور و عدم حضور سر، انجام گشته‌اسـت. بـرای بدسـت آوردن SAR نیز فاصله 10.5mm بین صفحه آنتن و سر در نظر گرفته شده-است و آنتن نیز در راستای گونه‌ها قـرار گرفتـه اسـت تـا از اسـتاندارد CTIA پیروی نماید[۱۳]. برای حالت دو آنـتن نیـز SAR هـر یـک از آنتن‌ها نوشته شده و طبق آنچه در بخش (۲) بیـان شـد SPLSR بـه کمک ضابطه (۳) بدست خواهد آمد.

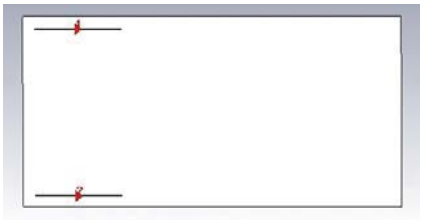
با مقایسه جدول‌های (۱) و (۲) در حالت آنتن تکی و آرایه، مشاهده می‌شود که گین در حالت عدم در نظـر گـرفتن سـر بـیش از دو برابـر شده‌است (10.8 / 5.05 = 2.1386). این یعنی نه تنها می‌توان، توان را تقسیم کرده و SPLSR را کـم کـرد، بلکـه مـی‌تـوان مقـدار SAR هریک از آنتن‌ها را در حالت تکی نیز بیش از دو برابر کم کرد کـه ایـن خود سبب کاهش بیشتر SPLSR نیز می‌شـود. طبـق جـدول (۲)، در حالت حضور در کنار سر، آنتن‌ها افزایش گینـی کمتـر از حالـت عـدم حضور در کنار سر را خواهند داشت. نقاط داغ در این حالت بـه فاصـله تقریبی 100mm از یکـدیگر قـرار مـی‌گیرنـد کـه در شـکل (۳) قابـل مشاهده‌است.

[Downloaded from jiaeee.com on 2026-10-30]

[DOR: 20.1001.1.26765810.1396.14.2.5.8]
Journal of Iranian Association of Electrical and Electronics Engineers Vol14 No.2 Summer 2017



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

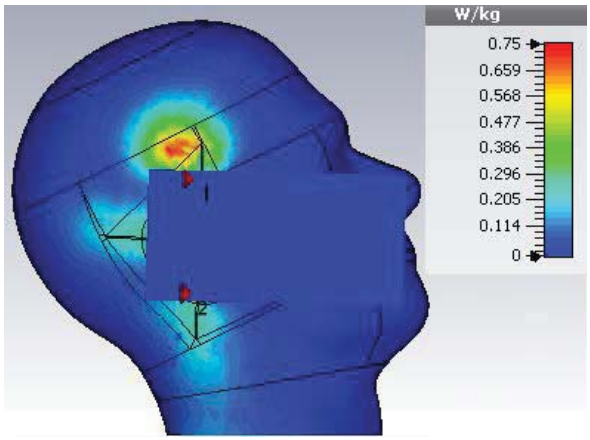
طبق آنچه بیان شد چون گین کاملا دو برابر نشد، پس توان ارسالی در هر آنتن را نیز نمی‌توان کاملا نصف کرد. لذا برای هر آنتن داریم:

SAR1=0.75 AF=1.9265

$SAR1_{Array}$ = SAR1 / 2*AF = 0.75 * 0.519 / 2 = 0.195

SAR2=0.262 AF=1.9265

$SAR2_{Array}$ = SAR2 / 2*AF = 0.262 * 0.519 / 2 = 0.068

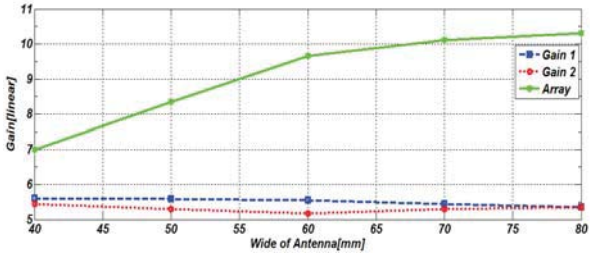


شکل(۳): تصویر دو نقطه داغ ناشی از دو آنتن دیپل آرایه‌ای

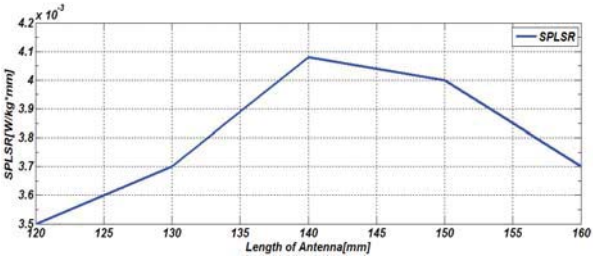
که این همان مقدار نوشته شده برای SPLSR در جدول(۲) است. مشاهده می‌گردد که این مقدار بسیار کمتر از استاندارد در نظر گرفته برای SPLSR یعنی 0.04 است. مطابق آنچه بیان شد AF در این روش بسیار اثر گذار است؛ لذا اثرات ابعاد آنتن در AF و در نهایت SPLSR در ادامه بحث خواهد شد. برای این کار ابعاد عرض آنتن از 40mm 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 تشعشعی هر آنتن را به میزان زیادی کم کرد. در ادامه و در شکل(۵)، SAR ناشی از هر آنتن قابل مشاهده‌است. 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) اثراین 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 آنتن ها 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.

[Downloaded from jiaeee.com on 2026-10-30]

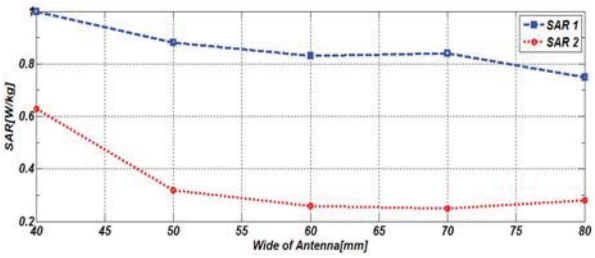
[DOR: 20.1001.1.26765810.1396.14.2.5.8]



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

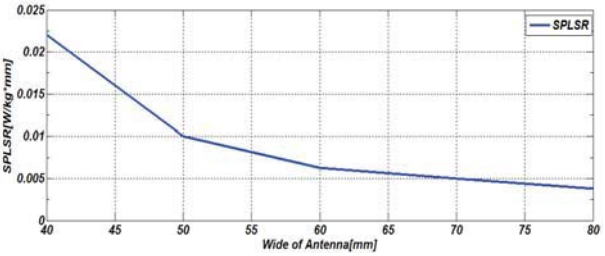


شکل(۹): اثر تغییر طول آنتن بر SPLSR

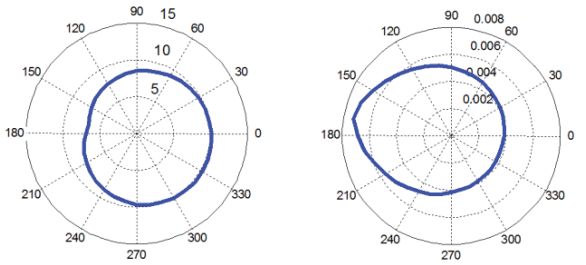


شکل(۵): تغییر عرض آنتن و اثر آن بر SAR آنتن‌ها

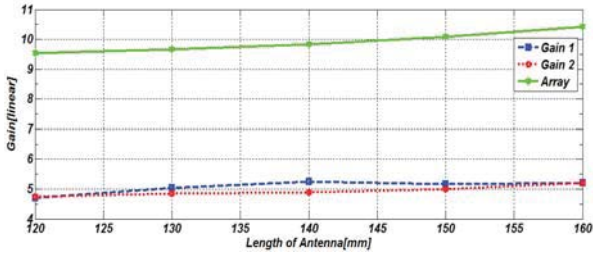
اثر تغییر فاز آرایه آنتن‌ها بر گین آنتن در شکل (۱۰ چپ) قابل مشاهده می‌باشد. همانطور که مشاهده می‌شود گین آرایه در فاز 30- درجه آنتن اول نسبت به آنتن دوم بهترین گین را دارد. شکل (۱۰- راست)، SPLSR را در فازهای مختلف نشان می‌دهد. همانطور که مشاهده می‌شود در فازی که بیشترین گین از آرایه بدست می‌آید می‌توان به بهترین SPLSR، طبق تئوری دست یافت. همچنین همانطور که از شکل (۱۰) پیداست تا تغییر فاز ۶۰ درجه نسبت به آنتن اول تغییرات چندانی در SPLSR 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.



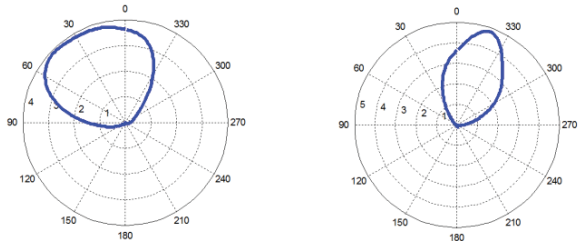
شکل(۶): اثر تغییر عرض آنتن بر SPLSR



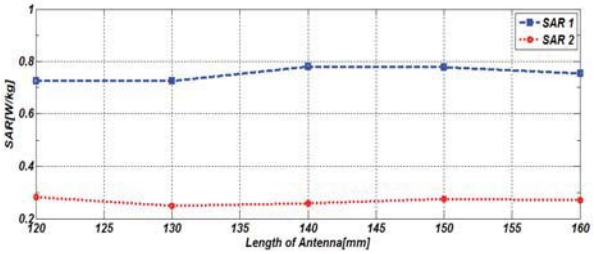
شکل(۱۰): تغییر فاز آرایه آنتن ها و اثر آن بر گین آرایه(چپ)،SPLSR(W/kg*mmراست)



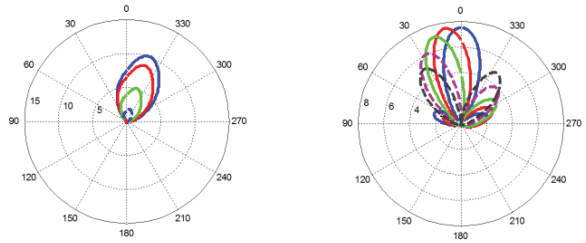
شکل(۷): اثر طول آنتن بر گین آنتن‌ها



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



شکل(۸): اثر تغییر طول بر SAR هر آنتن



شکل(۱۲): گین آنتن دیپل آرایه‌ای با ۵ شیفت فاز (0,45,90,135,180) crosspol (راست) و copol (چپ)

[Downloaded from jiaeee.com on 2026-10-30]

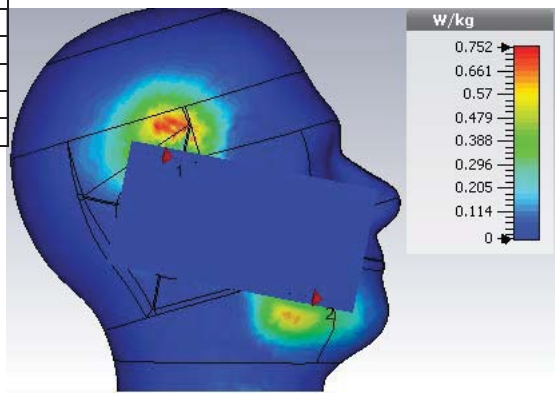
[DOR: 20.1001.1.26765810.1396.14.2.5.8]

برای این منظور باید نحوه پوشش پترن در دو حالت دیپل تکی و آرایه‌ای با یکدیگر مقایسه شود. شکل (۱۱) پترن حالت دیپل تکی را در دو حالت φ برابر با ۰ و ۹۰ درجه نشان می‌دهد. در حالت آرایه‌ای، پترن قابل چرخاندن است که در اینصورت می‌توان 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، می‌توان پترن آنتن را چرخاند. با مقایسه پترن آنتن در حالت تکی (شکل۱۱) و در حالت آرایه‌ای (شکل۱۲) می‌توان گفت که تغییری در HPBW پیش نمی‌آید؛ چرا که هر دو دارای تقریبا ۹۰ درجه پوشش در φ=90 و φ=0 هستند. پس هرچند تغییر فاز سبب می‌شود اثرات گوشی بیشتر شود ولی می‌توان ناحیه بیشتری را تحت پوشش قرار داد هرچند که این افزایش اثرات نیز جزیی است.

در قسمت ۵ با مقایسه اثرات این تئوری در حالت MIMO ، بهبود حاصل شده از این روش، بهتر مشاهده می‌شود.

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 شده‌است. آنتن‌ها در حالت MIMO مطابق شکل-(۱۳) خواهند بود. مشابه آنچه بیان شد حالت MIMO آرایه‌ای آنتن‌ها نیز مطابق قبل لحاظ می‌شود. نتایج بدست آمده از این حالت در جدول(۳) آمده‌است. به علت اهمیت گین و دیگر مشخصات آنتن در کنار سر این بار تنها اثرات در کنار سر مورد مطالعه قرار گرفته‌است.



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

جدول(۳): مشخصات آنتن دیپل در حالت MIMO

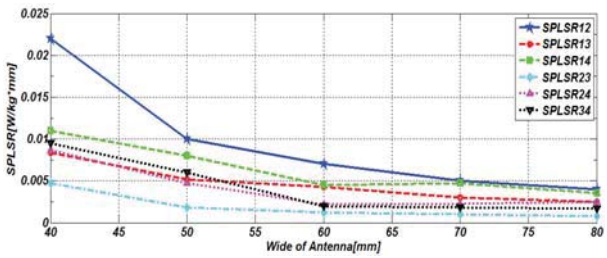
	Efficiency	Gain(linear)	SAR(W/kg) or SPLSR(W/kg*mm)
Dipole1	0.9398	5.32	0.752
Dipole2	0.9499	5.26	0.579
MIMO	-	-	0.0102

در واقع همانطور که مشاهده‌شد وجود سر سبب می‌شود AF کاهش داشته‌باشد و حتی کمتر از ۲ برابر گین را در مقایسه با حالت نبودن در کنار سر، به ما بدهد.

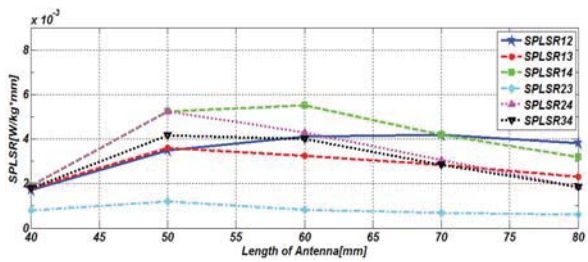
با مقایسه نتایج بدست آمده در حالت MIMO آنتن‌ها و حالت MIMO Array مطابق جدول‌های (۳) و (۴) مشاهده می‌شود که SAR برای هر آنتن 75% کاهش را داشته‌است وSPLSR برای حالت مایمو آرایه 92% کاهش را نسبت حالت MIMO داشته‌است. لازم به ذکر است که این مقایسه در بدترین حالت SPLSR برای آرایه‌ها در نظر گرفته شده که همان 0.0039 می‌باشد. مقایسه SPLSR در طول و عرض های مختلف نیز همانند حالت آرایه تکی، در حالت MIMO نیز مورد بحث قرار گرفته‌است. شکل(۱۴) اثر تغییر SPLSR را در حالت عرض آنتن‌های مختلف از 40mm تا 80mm نشان می‌دهد. همانطور که مشاهده می‌شود SPLSR با افزایش فاصله بین دو آنتن کاهش می‌یابد 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 120mm تا 160mm نشان می‌دهد. همانطور که از تصویر نیز پیداست SPLSR در طول های مختلف تغییرات شدیدی دارد و با توجه به طول SPLSR14 و SPLSR12 می‌بایست 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

[Downloaded from jiaeee.com on 2026-10-30]

[DOR: 20.1001.1.26765810.1396.14.2.5.8]

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 شده‌است را برای این منظور در نظر گرفته‌ایم. در اینجا با بهره گیری 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 نمی شود.

جدول(۵): مقایسه اثرات روش های 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 حالی‌که 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 پیچیدگی هایی 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 می یابد. البته همانطور که بیان شد با چرخش پترن می توان این مشکل را تا حدی رفع کرد. در این روش با تقسیم نقاط داغ در سر، توانستیم به کاهش SPLSR 92% 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 داشته‌باشیم. 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. بهره گیری 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، می‌توانند 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 هیدروالکلی 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,"

[Downloaded from jiaeee.com on 2026-10-30]

[DOR: 20.1001.1.26765810.1396.14.2.5.8]

Journal of Iranian Association of Electrical and Electronics Engineers Vol14 No.2 Summer 2017

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 (SCEECS), 2014 IEEE Students' Conference on , vol., no., pp.1,5, 1-2 March 2014.
[11] Jiunn-Nan Hwang; Fu-Chiarng 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

[Downloaded from jiaeee.com on 2026-10-30]
[DOR: 20.1001.1.26765810.1396.14.2.5.8]