

## طراحی یک آنتن آرایه‌ای هوشمند با قابلیت تنظیم زاویه کجی دلخواه برای کار در شبکه‌های نسل سوم (WCDMA)

محمد رضا سلیمی<sup>۱</sup>، سید حسن صدیقی<sup>۲\*</sup>

۱- کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی برق، موسسه آموزش عالی پویش

۲- استادیار، دانشکده فناوری‌های نوین، دانشگاه علم و صنعت ایران

(تاریخ دریافت: ۹۴/۰۶/۰۶، تاریخ پذیرش: ۹۴/۰۹/۱۷)

**چکیده:** در این مقاله، طراحی یک آنتن آرایه‌ای هوشمند با زاویه کجی دلخواه و حذف اثر تداخل به منظور به کارگیری در شبکه نسل سوم تلفن همراه ارائه شده است. در سیستم‌های مخابرات سلولی نسل سوم با توجه به اهمیت کنترل تداخل، افزایش سطح توان دریافتی و ارسالی به کاربر اصلی جهت بهبود در کیفیت و سرعت انجام فرایند بهینه‌سازی شبکه سلولی، داشتن آنتنی که بتوان با یک روش هوشمند و برنامه‌پذیر زاویه تیلت آن را تغییر داد، بسیار مطلوب است. در طرح آنتن آرایه‌ای ارائه شده، از یک المان آنتن دوقطبی استفاده شده است که بهره آن با استفاده از یک بازتابنده افزایش یافته است. روش ارائه شده برای شکل دهی بیم دیجیتال، امکان ایجاد پترن تشعشی با زاویه کجی دلخواه و حذف اثر تداخل را به دست می‌دهد. نتایج ارائه شده برای ایجاد کجی در زوایای مختلف و حذف تداخل در زوایای دلخواه، نشان‌دهنده توانایی، انعطاف و مزیت آنتن پیشنهادی در مقایسه با آنتن‌های ارائه شده در مراجع می‌باشند.

### واژه‌های کلیدی: مخابرات سلولی، زاویه کجی، شکل‌دهی بیم دیجیتال

#### ۱- مقدمه

ممکن انجام گیرد. در شبکه‌های سلولی کنونی، پس از بررسی‌های لازم توسط تیم بهینه‌سازی و تحلیل شبکه و در راستای کنترل تداخل و ظرفیت، بهبود پوشش و کیفیت مکالمات، ارتقاء نرخ بیت انتقال دیتا، تغییر در زاویه کجی آنتن سلول مربوطه در دستور کار قرار می‌گیرد.

تغییر زاویه کجی عموماً به شیوه مکانیکی و از طریق تغییر کلی بدنه آنتن به زاویه‌ای خاص و یا از طریق الکتریکی انجام می‌گردد. در روش الکتریکی مجموعه اختلاف‌دهنده فازی در داخل آنتن قرار گرفته است که براساس فرمان بیرونی تنظیم شده و باعث چرخش پترن آنتن در راستای مدنظر می‌گردد. یکی از تفاوت‌های اصلی روش ایجاد کجی الکتریکی نسبت به کجی مکانیکی آن است که با افزایش زاویه کجی الکتریکی، شکل دایروی سلول تقریباً ثابت مانده و شعاع آن کمتر می‌شود، در حالی که با افزایش زاویه کجی مکانیکی، شکل دایروی سلول به بیضی تغییر کرده و کنترل شعاع سلولی در زوایای نیم‌توان (3dB) پرتو کمتر می‌باشد.

در واقع، تغییر زاویه کجی مکانیکی و یا الکتریکی، تغییر اندازه ناحیه پوششی سلول را به دنبال خواهد داشت [۱]. مهم‌ترین ایراد در

طی سه دهه اخیر، هم‌زمان با رشد چشمگیر تقاضا جهت سرویس‌های تلفن سیار، شبکه‌های سلولی نیز رشد سریعی داشته‌اند. در این میان، مسئله ایجاد پوشش مطلوب و نیز تامین ظرفیت لازم جهت سرویس‌های مورد تقاضای مشترکین و سرویس‌های جدید همچون سرویس داده و ویدئو که پهنای باند بیشتری را نیاز دارند، چالش اصلی شرکت‌های سرویس‌دهنده بوده است. شایان ذکر است شبکه نسل سوم 3G که با عنوان WCDMA هم شناخته می‌شود، در راستای ارائه بهترین سرویس شامل داده و صوت با حداکثر کیفیت و برای بیشترین تعداد کاربران راه‌اندازی شده است.

با توجه به اینکه تداخل فرکانسی مهم‌ترین شاخص در تعیین میزان و کیفیت سرویس‌دهی به کاربران شبکه نسل سوم می‌باشد، اهمیت کنترل و بهینه‌سازی پوششی آنتن‌ها بیشتر از نسل‌های قبل احساس می‌شود. لذا هدف بسیاری از پژوهش‌های انجام شده، ایجاد شرایطی است که این تغییرات در سریع‌ترین زمان و با کمترین هزینه

کجی وجود دارد، اما نتایج ارائه شده تنها برای زاویه کجی صفر درجه می باشد. به علاوه، امکان حذف اثر تداخلها در ساختار آنتن آرایه معرفی شده وجود ندارد.

در این مقاله، یک آنتن آرایه‌ای هوشمند با قابلیت ایجاد کجی در زاویه دلخواه و با حذف اثر تداخلها طراحی و شبیه‌سازی شده است. به این منظور، ابتدا المان آنتن به منظور استفاده در شبکه‌های سلولی نسل سوم طراحی و بهینه‌سازی شده است. ساختار آرایه آنتنی معرفی شده، متشکل از المان‌های دو قطبی بوده که الگوی تشعشعی آن با استفاده از یک بازتابنده بهبود یافته است. سپس روش شکل‌دهی بیم دیجیتالی به منظور ایجاد کجی در زاویه معین و حذف اثر تداخل سایر کاربرها در زوایای دلخواه ارائه شده است. در این روش، ضرایب وزن‌دهی مناسب استخراج شده که می‌توانند در بخش پردازنده به سیگنال‌های نمونه‌برداری شده از المان‌های آنتنی اعمال شوند. در انتها نیز به منظور تایید روش ارائه شده، آنتن با زاویه کجی‌های ۵، ۱۰، ۲۰ درجه و زوایای تداخل دلخواه طراحی و شبیه‌سازی شده است. همچنین الگوی آرایه در شبیه‌سازی تمام موج با وزن‌دهی‌های محاسبه شده رسم شده است. نتایج به دست آمده در شبیه‌سازی تمام موج، روش تحلیل ارائه شده را تایید می‌کند.

## ۲- ساختار و هندسه آنتن آرایه‌ای

ساختار آنتن آرایه‌ای پیشنهادی، در شکل (۱) نشان داده شده است. آنتن آرایه‌ای از ۷ المان تشعشعی که به صورت خطی و در راستای محور  $y$  چیده شده‌اند، تشکیل شده است. فاصله بین المان‌ها ۸ cm در نظر گرفته شده است که حدوداً معادل نصف طول موج در فرکانس طراحی یعنی ۲ GHz می‌باشد. در نتیجه، اثر تزویج متقابل بین المان‌های آنتنی قابل صرف‌نظر خواهد بود. ابعاد کلی آرایه نیز ۶۰×۴/۸×۶ cm می‌باشد. تک المان آنتنی طراحی شده نیز در شکل (۱) نشان داده شده است. این آنتن یک دو قطبی می‌باشد که بر روی یک برد FR۴ چاپ شده است. ابعاد المان آنتنی و آرایه در جدول (۱) آورده شده است.

جدول (۱). ابعاد تک المان آنتن

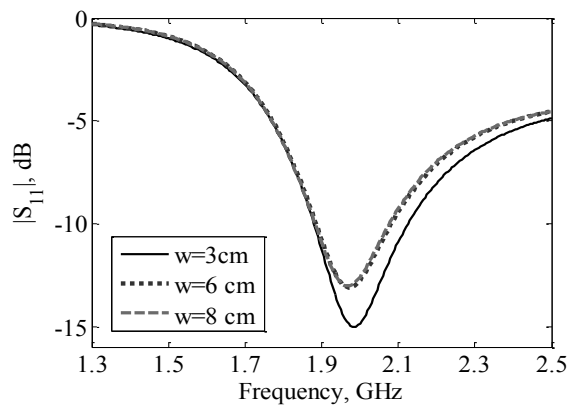
پارامتر	مقدار mm
L	۲۰۰
W	۶۰
l	۳۰
w	۵
h	۱۵

هر دو روش مکانیکی و الکتریکی ایجاد کجی، تغییر شکل کلی پترن می‌باشد، به طوری که نمی‌توان زاویه‌ای خاص را جهت تمرکز پترن آنتن نشانه گرفت و یا در زاویه‌ای خاص صفر یا همان نول ایجاد کرد. ایجاد نول در شبکه‌های نسل سوم بسیار حائز اهمیت می‌باشد، چرا که در نسل سوم شبکه تلفن همراه، هر کاربر برای کاربر دیگر تداخل محسوب می‌شود [۲].

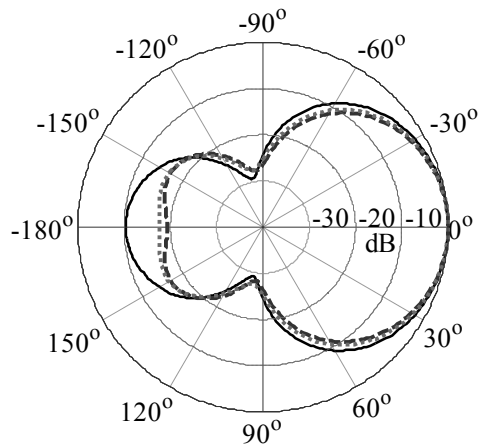
اثر کجی آنتن بر روی پارامترهای شبکه در مراجع [۳ و ۲] مورد بحث و بررسی قرار گرفته است. در مرجع [۴] اثر مدل تقریبی پترن سه‌بعدی آنتن در شبکه ۳ G-LTE تحلیل شده است. مراجع دیگری، طراحی آنتن با امکان تغییر کجی الکتریکی آنتن را مورد بررسی قرار داده‌اند. استفاده از تکنیک‌های هوشمند جهت شکل‌دهی پرتو، یکی از مؤثرترین راه‌کارها برای ایجاد کجی الکتریکی برای بهره‌برداری بهینه از تجهیزات شبکه مخابرات سلولی می‌باشد. در این روش، پرتو تشعشعی آنتن‌های آرایه‌ای تحت توان، زاویه و پهنای بیم مناسب، کاربران را هدفگیری و ردیابی می‌نمایند. با استفاده از این آنتن‌ها، توان شبکه در ناحیه‌هایی که تراکم مشترکین بیشتر است، متمرکز شده و در نواحی کم‌تراکم، اندک خواهد بود.

با حرکت مشترکین از محل‌های پرتراکم به سمت محل‌های کم‌تراکم، پرتوهای تشعشعی آرایه آنتنی متناسب با وضعیت جدید، تغییر جهت و زاویه داده و اندازه توان نیز تنظیم می‌گردد. در نتیجه، ظرفیت سرویس‌دهی شبکه می‌تواند تا حداکثر مقدار طراحی شده، افزایش یافته و کیفیت سرویس نیز به‌طور فوق‌العاده‌ای بهبود یابد. در مرجع [۵] از روش شکل‌دهی بیم دیجیتالی با استفاده از روش کمینه مربعات برای طراحی آنتن هوشمند در شبکه‌های سلولی استفاده شده است، اما در مورد طراحی المان‌های آنتن بحثی ارائه نگردیده است. در [۶] یک روش خودبهینه برای ایجاد کجی مناسب در آنتن ارائه شده است. در [۷] یک آنتن با پلاریزاسیون دایروی طراحی شده است و براساس طرح ارائه شده، یک آرایه آنتنی ۴ تایی با امکان تغییر زاویه کجی با فازدهی به المان‌های آنتنی طراحی شده است.

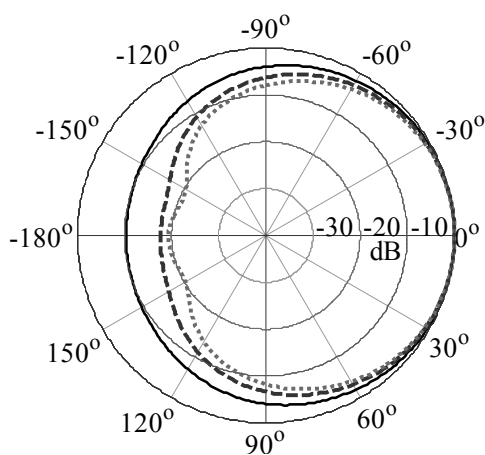
اما در ساختار آنتن ارائه شده، امکان تغییر زاویه کجی به صورت دلخواه وجود ندارد. در مرجع [۸] یک آنتن دو بعدی برای کار در باند Ku برای شکل‌دهی بیم در کاربردهای ۵ G ارائه شده است. امکان تغییر بیم اصلی آنتن در صفحه افقی، در مرجع [۹] مورد بررسی قرار گرفته است. در ساختار این آنتن شبه هوشمند، جهت بیم اصلی آن با تغییر فاز المان‌های آنتنی که بر روی محیط یک دایره توزیع شده‌اند، تغییر می‌کند. در [۱۰] یک آرایه آنتنی با المان‌های دو قطبی و شبیه‌سازی شده است. اگر چه در این ساختار امکان تغییر زاویه



الف

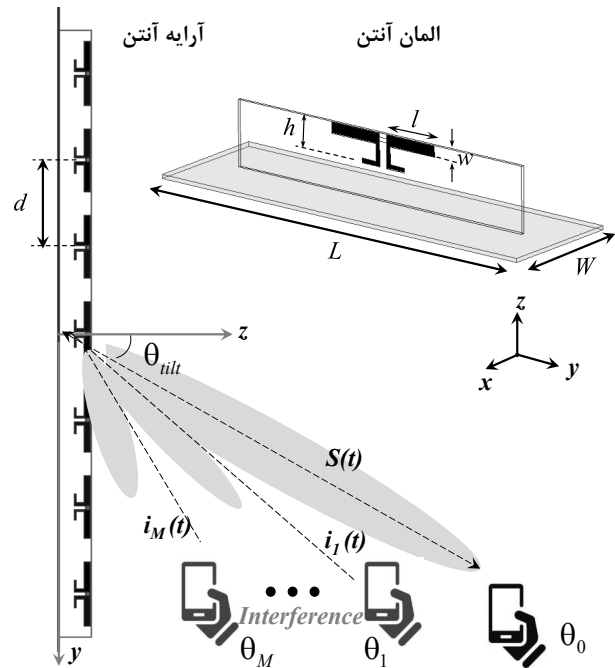


ب



ج

شکل (۲). الف) نمودار  $S_{11}$  آنتن تک المان (ب) پترن تشعشی آنتن به ازای عرض‌های مختلف بازتابنده در صفحه  $zy$  (ج) پترن تشعشی آنتن به ازای عرض‌های مختلف بازتابنده در صفحه  $zx$ .



شکل (۱). نمایی از آنتن تک المان و آرایه طراحی شده

به‌منظور افزایش بهره آنتن و کاهش لوب پشتی آن، از یک صفحه بازتابنده در پشت آنتن استفاده شده است. لازم به ذکر است که وجود این صفحه به‌منظور نصب آنتن بر روی دکل در کاربردهای عملی اجتناب‌ناپذیر می‌باشد.

به‌منظور انتخاب ابعاد بهینه بازتابنده، از نرم‌افزار تحلیل تمام‌موج HFSS استفاده شده است. نتایج این تحلیل در شکل (۲) نشان داده شده است.

همان‌طور که مشاهده می‌شود با افزایش ابعاد صفحه بازتابنده، سطح لوب پشتی آنتن کاهش یافته و بهره آنتن افزایش می‌یابد، اما تطبیق امپدانس ورودی آنتن تغییر چندانی نمی‌کند. بهره آنتن به‌ازای عرض ۳، ۶ و ۸ cm به ترتیب ۱۵/۶، ۳/۷ و ۹/۷ dB می‌باشد. به عبارت دیگر، با افزایش ابعاد این صفحه، بهره آنتن نیز افزایش پیدا می‌کند.

به منظور طراحی آنتن، عرض صفحه بازتابنده ۶ cm انتخاب می‌گردد. همچنین، همان‌طور که در شکل ملاحظه می‌شود، بازه فرکانسی کاری آنتن برای باند شبکه نسل سوم یعنی از ۱۷۰۰ تا ۲۲۰۰ مگاهرتز در نظر گرفته شده که در تمامی این باند نمودار  $S_{11}$  آنتن، مقادیر قابل قبولی ارائه می‌نماید.

## ۳- طراحی آنتن با زاویه کجی دلخواه

فرض کنید یک آرایه با  $N$  المان آنتنی داریم. در این صورت خروجی آرایه را می توان به صورت زیر نوشت:

$$Y(t) = w^H X(t) \quad (1)$$

که در این رابطه،  $X(t) = [x_1(t), x_2(t), \dots, x_N(t)]$  نشانگر بردار مختلط مشاهده هر آنتن آرایه بر حسب زمان می باشد. همچنین  $w = [w_1, w_2, \dots, w_N]$  نیز بردار وزن دهی المان های آرایه در نظر گرفته شده اند. لازم به ذکر است که در متن این مقاله، بالانویس  $(\cdot)^H$  به منظور نمایش هر میتین یک ماتریس استفاده شده است. همچنین مقادیر ماتریسی نیز با حروف توپر نشان داده شده اند. می توان مولفه های بردار سیگنال دریافتی در المان های آنتن را نیز به صورت زیر نوشت:

$$X(t) = a_0 s(t) + [a_1 \ a_2 \ \dots \ a_N] \cdot \begin{bmatrix} i_1(t) \\ i_2(t) \\ \vdots \\ i_M(t) \end{bmatrix} = X_S(t) + X_I(t) \quad (2)$$

که  $s(t)$  سیگنال مطلوب در راستای زاویه کجی دلخواه،  $i_i(t)$  سیگنال های نامطلوب تداخل که توسط سایر کاربران ایجاد می شوند، و  $a_i$  بردار راهنمای  $N$  درایه ای آرایه در راستای  $\theta_i$  است. در واقع در این رابطه، سیگنال مشاهده شده در هر المان، به تفکیک سیگنال مطلوب  $(X_S(t))$  و سیگنال تداخل  $(X_I(t))$  آمده است.

خروجی آرایه بر اساس رابطه (۱) را می توان به صورت زیر نوشت:

$$y(t) = W^H X = W^H X_S + W^H X_I \quad (3)$$

به منظور اطمینان از داشتن سیگنال بدون اعوجاج در خروجی، از روش کمینه واریانس استفاده می کنیم. در این روش، هدف آن است که نویز خروجی کمینه شود. به منظور اطمینان از داشتن خروجی مناسب در زاویه کجی مدنظر، بایستی رابطه زیر برقرار باشد:

$$W^H a_0 = 1 \quad (4)$$

در واقع، این رابطه بدان معناست که خروجی آرایه به ازای سیگنال مطلوب که در راستای  $\theta_0$  می باشد، بدون اغتشاش باشد. با اعمال این قید به معادله (۳) داریم:

$$y(t) = s(t) + w^H X_I(t) \quad (5)$$

اگر سیگنال های تداخلی میانگین صفر داشته باشند آنگاه میانگین سیگنال خروجی به صورت زیر خواهد بود:

$$E[y(t)] = s(t) \quad (6)$$

واریانس خروجی آرایه نیز به صورت زیر محاسبه می گردد:

$$\begin{aligned} \sigma^2 &= E[|y(t) - s(t)|^2] = E[|w^H X_I|^2] \\ &= w^H R_{uu} w \end{aligned} \quad (7)$$

که در این رابطه،  $R_{uu}$  ماتریس همبستگی بین سیگنال های نامطلوب دریافتی از هر المان آنتنی می باشد که با استفاده از رابطه (۲) به صورت زیر قابل محاسبه است:

$$R_{uu} = E[X_I(t) X_I^H(t)] = [a_1 \ a_2 \ \dots \ a_N] [a_1 \ a_2 \ \dots \ a_N]^H \quad (8)$$

توجه داشته باشید که سطح توان سیگنال های تداخل یکسان و یک در نظر گرفته شده است.

برای کاهش واریانس خروجی که معادل کاهش اثر تداخل های پیرامون آن خواهد بود، از روش ضرایب لاگرانژ استفاده می کنیم [۱۱ و ۱۲]. در روش لاگرانژ می توان تابع ارزش را به صورت زیر نوشت:

$$L(w, \lambda) = w^H R_{uu} w + \lambda (w^H a_0 - 1) \quad (9)$$

که در این رابطه،  $\lambda$  ضرایب لاگرانژ و  $L(w, \lambda)$  تابع ارزش می باشد. پاسخ این معادله را می توان به سادگی با مشتق گیری بر حسب  $w$  و  $\lambda$  محاسبه نمود. در نتیجه، ضرایب بهینه با استفاده از رابطه زیر محاسبه می گردند [۱۱ و ۱۲]:

$$w = \frac{R_{uu}^{-1} a_0}{a_0^H R_{uu}^{-1} a_0} \quad (10)$$

این ضرایب وزنی محاسبه شده در بخش پردازنده به سیگنال های نمونه برداری شده از المان های آنتنی اعمال شده و پترن مناسب با جمع این سیگنال های وزن دهی شده بر اساس رابطه (۳) به دست خواهد آمد.

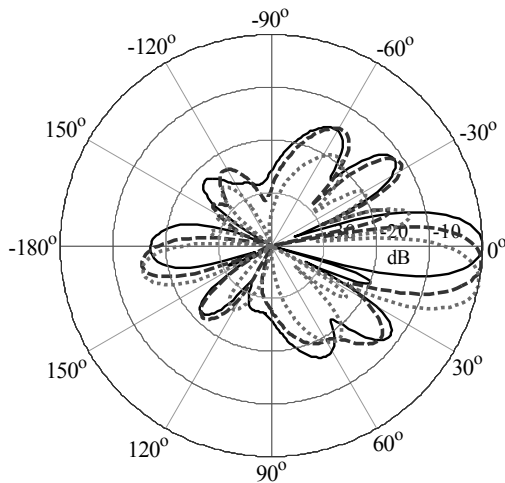
## ۴- شبیه سازی و تحلیل آنتن

به منظور ارزیابی توانایی روش ارائه شده در ایجاد زاویه کجی مناسب در راستای مدنظر قرارگیری کاربر و نیز حذف اثر سیگنال های تداخل در زوایای مفروض قرارگیری کاربران، الگوریتم ارائه شده شبیه سازی شده است. سیگنال های تداخل ناشی از سه کاربر در

زوایای ۲۵- و ۳۰ درجه فرض شده است.

در حالت‌های فوق و مندرج در جدول (۲)، در نرم‌افزار HFSS اعمال شده است.

نتایج در شکل (۴) ارائه شده است. همان‌طور که در شکل مشاهده می‌شود، پترن آنتن در زوایای ۳۰ و ۲۵- درجه دارای بهره بسیار کم می‌باشد و جهت کجی مدنظر را نیز داراست. به عبارت دیگر، می‌توان نتیجه گرفت که با توجه به کم بودن اثر تزویج متقابل بین المان‌ها، نتایج مشابهی با شکل (۳) به دست آمده است.



شکل (۴). پترن تشعشی آنتن در صفحه zy حاصل از تحلیل تمام موج HFSS به ازای زوایای کجی مختلف و با وجود تداخل‌های در زوایای ۲۵- و ۳۰ درجه

بهره آنتن، پهنای بیم آنتن و حداکثر سطح لوب فرعی آن در این سه زاویه کجی مختلف نیز در جدول (۳) ارائه شده است.

جدول (۳). مشخصات آنتن در سه حالت زاویه کجی مختلف

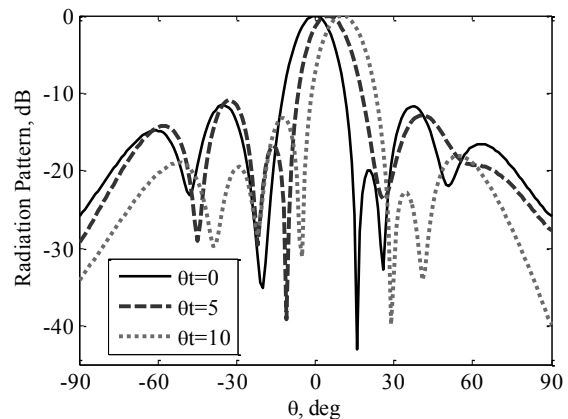
زاویه کجی	بهره	پهنای بیم ۳dB (درجه)	حداکثر سطح لوب فرعی (dB)
۰	۱۳٫۱	۱۴٫۴	-۱۱٫۵۴
درجه ۵	۱۲٫۹۶	۱۴٫۵۵	-۱۰٫۹۴
درجه ۱۰	۱۳٫۳۷	۱۴٫۳۴	-۱۳٫۱۸

همان‌طور که مشاهده می‌شود، بهره و پهنای بیم آنتن در زاویه کجی مختلف تقریباً تغییری نکرده است، در حالی که حداکثر سطح لوب فرعی آن تغییر یافته است. برای درک بهتر عملکرد تشعشی آنتن، الگوی سه‌بعدی آنتن‌ها که از نرم‌افزار HFSS استخراج شده

همچنین زاویه کجی مناسب یا زاویه قرارگیری کاربر در زوایای ۵، ۱۰ و ۲۰ درجه در نظر گرفته شده است. ضرایب مناسب وزن‌دهی المان‌ها براساس رابطه (۱۰) محاسبه شده که در جدول (۲) آمده است. نتایج شبیه‌سازی الگوی آنتن در شکل (۳) نشان داده شده است. همان‌طور که در شکل ملاحظه می‌شود، الگو در زوایای مدنظر کجی پیدا کرده است.

جدول (۲). ضرایب محاسبه شده در زوایای کجی مختلف

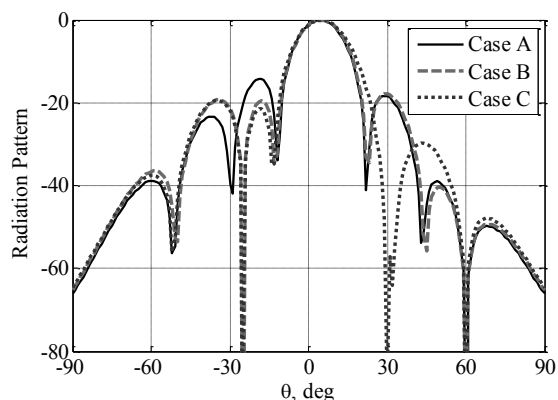
حالت	۰	۵ درجه	۱۰ درجه
$w_1$	$0.59 \angle -1^\circ$	$0.59 \angle -45^\circ$	$0.78 \angle -92^\circ$
$w_2$	$0.44 \angle -10^\circ$	$0.47 \angle -43^\circ$	$0.90 \angle -68^\circ$
$w_3$	$0.75 \angle -4^\circ$	$0.76 \angle -20^\circ$	$1 \angle -38^\circ$
$w_4$	$1 \angle 0^\circ$	$1 \angle 0^\circ$	$1 \angle 0^\circ$
$w_5$	$0.75 \angle 4^\circ$	$0.76 \angle 20^\circ$	$1 \angle 38^\circ$
$w_6$	$0.44 \angle 10^\circ$	$0.47 \angle 43^\circ$	$0.90 \angle 68^\circ$
$w_7$	$0.59 \angle 1^\circ$	$0.6 \angle 45^\circ$	$0.78 \angle 92^\circ$



شکل (۳). پترن تشعشی آنتن در صفحه zy به ازای زوایای کجی مختلف و با وجود تداخل‌های در زوایای ۲۵- و ۳۰ درجه. اثر تزویج متقابل آنتن‌های لحاظ نشده است.

همچنین در محل‌های تداخل (زوایای ۲۵- و ۳۰ درجه)، بهره آنتن صفر شده که باعث حذف اثر تداخل می‌گردد. این نتایج با فرض یکسان بودن پترن المان‌ها بدون اثر تزویج مشترک ارائه شده است. به منظور شبیه‌سازی کامل آنتن‌ها، ضرایب وزنی آنتن محاسبه شده

پهنای بیم ۳ dB و حداکثر سطح لوب فرعی آنتن در این سه حالت نیز در جدول (۵) ارائه شده است. همانطور که مشاهده می‌شود، پهنای بیم آنتن در هر سه حالت تقریباً یکسان است، اما حداکثر سطح لوب فرعی با افزایش زوایای تداخل، کاهش چشمگیری پیدا می‌کند.



شکل (۶). الگوی تشعشی آنتن در صفحه  $zy$  به ازای سه حالت ارائه‌شده در جدول (۲)

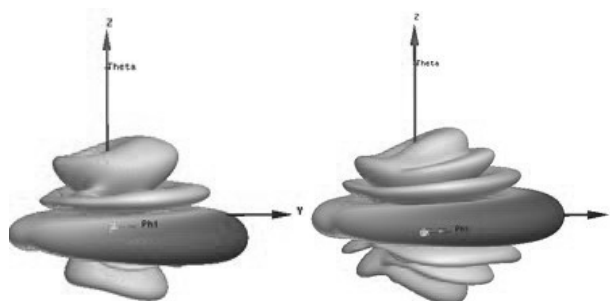
جدول (۵). سه حالت طراحی آنتن با زوایای تداخل متفاوت و زاویه تلبت ۱۰ درجه

حداکثر سطح لوب فرعی (dB)	بهره dB	پهنای بیم ۳dB (درجه)	زوایای تداخل (درجه)	حالت
-۱۴٫۲	۱۲٫۶۵	۵٫۵۰	۶۰	A
-۱۷٫۸۵	۱۲٫۶۸	۵٫۶۲	-۲۵ و ۶۰	B
-۱۹٫۴۵	۱۲٫۶۸	۵٫۱۱	۶۰ و -۲۵ و ۳۰	C

## ۵- نتیجه‌گیری

در این مقاله، فرآیندی بهینه در راستای تغییر زاویه کجی و حذف اثر نویزهای تداخل سایر کاربران در شبکه‌های نسل سوم مخابرات سلولی ارائه شد. الگوریتم و مدل ارائه شده، روشی منعطف و برنامه‌پذیر را با استفاده از روش شکل‌دهی بیم دیجیتال به این منظور ارائه می‌دهد. در طرح آنتن ارائه شده، ابتدا یک آنتن مناسب و بهینه برای آرایه معرفی شده است. نتایج شبیه‌سازی ارائه‌شده موید آن است که روش ارائه شده، قابلیت تنظیم کجی آنتن را به سادگی داراست. به‌علاوه، امکان حذف اثر نویزهای ناشی از تداخل‌ها را به سادگی فراهم می‌کند. این ویژگی‌ها با کنترل تداخل و افزایش توان

است در دو زاویه کجی ۰ و ۱۰ درجه در شکل (۵) نشان داده شده است.



شکل (۵). الگوی سه‌بعدی تشعشی آنتن به‌ازای زاویه کجی صفر و ۱۰

به‌منظور ارزیابی بیشتر روش ارائه‌شده در حذف تداخل در زوایای مختلف، سه حالت مختلف دیگر نیز شبیه‌سازی شده است. این سه حالت در جدول (۴) ارائه شده است.

جدول (۴). ضرایب محاسبه شده در سه حالت مختلف

حالت	A	B	C
$w_1$	$0.77 \angle -91^\circ$	$0.76 \angle -90^\circ$	$0.67 \angle -91^\circ$
$w_2$	$0.97 \angle -70^\circ$	$0.98 \angle -69^\circ$	$0.91 \angle -73^\circ$
$w_3$	$1 \angle -24^\circ$	$1 \angle -25^\circ$	$1 \angle -30^\circ$
$w_4$	$0.76 \angle 0^\circ$	$0.74 \angle 0^\circ$	$0.83 \angle 0^\circ$
$w_5$	$1 \angle 24^\circ$	$1 \angle 25^\circ$	$1 \angle 30^\circ$
$w_6$	$0.97 \angle 70^\circ$	$0.98 \angle 69^\circ$	$0.91 \angle 73^\circ$
$w_7$	$0.77 \angle 91^\circ$	$0.76 \angle 90^\circ$	$0.67 \angle 91^\circ$

زاویه کجی قرارگیری کاربر اصلی برای همه حالت‌ها به‌صورت یکسان و ۱۰ درجه فرض شده است. در حالت A، یک زاویه تداخل، در حالت B دو زاویه تداخل و در حالت C، سه زاویه تداخل لحاظ شده است. به‌منظور بررسی واضح‌تر عملکرد الگوریتم در این سه حالت، الگوی تشعشی آنتن برحسب dB در این سه حالت در شکل (۶) نشان داده شده است.

همان‌طور که مشاهده می‌شود، الگوریتم در زوایای تداخل مفروض، بهره بسیار کمی ایجاد کرده است که باعث حذف تقریباً کامل اثر تداخل خواهد شد. همچنین ضرایب محاسبه‌شده در این سه حالت نیز در جدول (۴) ارائه شده است.

- [6] R. Razavi, "Self-optimisation of antenna beam tilting in lte networks," Vehicular Technology Conference (VTC Spring), 2012 IEEE 75th. IEEE, 2012.
- [7] J. Rumold and M. Gottl, "Dual Polarized Adaptive Antenna Arrays for Mobile Communication Systems," ITG FACHBERICHT, pp. 319-322, 2003.
- [8] R. Wonil, et al, "Millimeter-wave beamforming as an enabling technology for 5G cellular communications: theoretical feasibility and prototype results," Communications Magazine, IEEE 52.2, pp. 106-113, 2014.
- [9] Y. Alfadhl, et al, "Design and Testing of a Compact Semi-Smart' Base Station Antenna in Cellular Networks," Antenna Technology: Small and Smart Antennas Metamaterials and Applications, 2007. IWAT'07. International Workshop on IEEE, 2007.
- [10] M. Wang, et al, "Design and simulation of dipole and cable-FED network of TD-SCDMA smart antenna," Communications and Mobile Computing, 2009. CMC'09. WRI International Conference on. vol. 1, IEEE, 2009.
- [11] C. A. Balanis, "Antenna theory: analysis and design," John Wiley & Sons, vol. 1, 2005.
- [12] B. G. Frank, "Smart antennas for wireless communications with MATLAB," McGraw-Hill, 2005.
- سیگنال، ظرفیت، سرعت و سایر پارامترهای شبکه در نسل سوم را به صورت چشمگیری ارتقا می‌دهد.
- ۶- مراجع**
- [1] I. Forkel, et al, "The effect of electrical and mechanical antenna down-tilting in UMTS networks," 3G Mobile Communication Technologies, 2002. Third International Conference on (Conf. Publ. no. 489), IET, 2002.
- [2] T. Isotalo, J. Niemelä, and J. Lempiäinen, "Electrical antenna downtilt in UMTS network," In Proceedings of European Wireless Conference, pp. 265-271, 2004. International Conference on 3G Mobile Communication Technologies, pp. 86 – 90, 2002.
- [3] C. Beckman and B. Lindmark, "The evolution of base station antennas for mobile communications," Electromagnetics in Advanced Applications, 2007. ICEAA 2007, International Conference on IEEE, 2007.
- [4] L. Thiele, et al, "Modeling of 3D field patterns of down-tilted antennas and their impact on cellular systems," International ITG Workshop on Smart Antennas (WSA 2009), 2009.
- [5] D. Susmita, "Smart antenna design for wireless communication using adaptive beam-forming approach," TENCON 2008-2008 IEEE Region 10 Conference IEEE, 2008.

## **Smart Antenna Design with Arbitrary Tilt for Wireless Communication**

**M. R Salimi, S. H. Sedighy\***

**School of New Technologies, Iran University of Science and Technology**

**(Receive: 2015/08/28, Accept: 2015/12/08)**

### **Abstract**

*In this paper, a smart antenna with arbitrary down tilt is proposed for 3G wireless communication. In the third communication generation, the antenna downtilt is a common method used to adjust the interference conditions especially in urban scenarios with high base station density. The proposed antenna is able to tilt the antenna pattern in the desired direction as well as null in the interference directions. In the design procedure, the antenna element is designed and optimized to achieve the desired properties for 3G networks. Then a proper algorithm is used to minimize the noise variance in the antenna output. Finally, some simulations are performed to verify the proposed method. In these simulations, the antennas down tilts are considered as 0, 5 and 10 degrees with arbitrary interference directions. Moreover, some antenna with different numbers of interferences are designed and simulated. These results verify the ability and capability of the proposed method.*

**Keywords:** Cellular Communication, tilt, null, smart antenna

---

\* Corresponding Author Email: sedighy@iust.ac.ir