

## طراحی و ساخت یک آنتن جدید فرایهن باند برای مخابرات بدن محور

حسین منتظری<sup>۱</sup>، بیژن عباسی آرنده<sup>۲</sup>، سعید کمال زاده<sup>۳</sup>

<sup>۱</sup> کارشناسی ارشد برق مخابرات، دانشگاه تربیت مدرس

<sup>۲</sup> استادیار دانشکده برق و کامپیوتر، دانشگاه تربیت مدرس، abbasii@modares.ac.ir

<sup>۳</sup> کارشناسی ارشد برق مخابرات، دانشگاه تربیت مدرس

### چکیده

در این مقاله طراحی و ساخت یک آنتن کوچک و جدید فرایهن باند در مدار تطبیقی *on-body* از مخابرات بدن محور ارائه شده است که دارای دو باند حذف *WiMAX* و *WLAN* است. هدف از ایجاد باند حذف، کاهش تداخل سیستم مخابرات بدن محور با سیستم های این دو نوع فناوری می باشد. برای ایجاد باندهای حذف از روش نوین بارگذاری فراموادها استفاده شده است. فراموادهای مورد استفاده از نوع *EBG* است. در ضمن برای شبیه سازی نرخ جذب ویژه و آنتن از نرم افزار *CST* استفاده شده است. هم چنین تطابق خوبی بین خروجی شبیه سازی و نتایج اندازه گیری وجود دارد.

### کلیدواژه

آنتن های *on-body* آنتن های فرایهن باند، باندهای حذف، شبکه *WBAN*، نرخ جذب ویژه (*SAR*)

### مقدمه

یکی دیگر از ملزومات سیستم های فرایهن باند این است که باندهای فرکانسی بخصوصی در محدوده باند گذر *UWB* را حذف نماید. روش های معمول برای دستیابی به باند حذف بریدن یک یا چند اسلات روی پیچ تشعشعی، خط تغذیه و صفحه زمین آنتن و یا قرار دادن عناصر پارازیتی در کنار پیچ تشعشعی می باشد. تاکنون آنتن های فرایهن باند زیادی با یک یا دو یا سه باند حذف ارائه شده است که در اکثر آن ها [۸-۱۱] از روش بریدن یک یا چند اسلات با شکل های مختلف مثل *U,C,E,L* در پیچ تشعشعی یا صفحه زمین آنتن برای ایجاد باند حذف استفاده شده است. در مرجع [۱۲] از یک بازوی پارازیتی در کنار عنصر تشعشعی آنتن برای ایجاد باند حذف استفاده شده است. در بیشتر این موارد الگوی تشعشعی و رفتار حوزه زمان آنتن به خاطر اختلال در شکل عنصر تشعشعی، دست خوش تغییر می شود. یکی از روش های نوین بارگذاری *EBG* در نزدیکی خط تغذیه آنتن است. ساختارهای *EBG* در کاربردهای فراوان و گوناگونی مانند کم کردن اثر امواج سطحی، کاهش تزویج متقابل بین دو آنتن صفحه ای و حذف پاسخ های ناخواسته در فیلترها به کار می روند [۱۳]. اخیراً در مراجع [۱۴-۱۶] از *EBG* با ساختار قارچی شکل برای ایجاد باند حذف در باندهای فرکانسی *UWB* استفاده شده است. این روش نیز همان طور که پیش تر توضیح داده شد نواقص روش های معمولی را کاسته است. در برخی از این موارد، شکل *EBG* با ساختار قارچی شکل معمولی اصلاح شده است تا در فرکانس

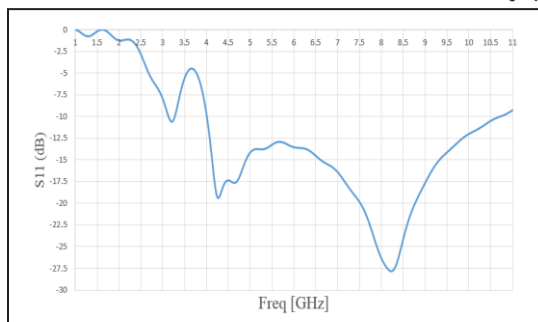
فناوری فرایهن باند (*UWB*) فناوری با قابلیت ایجاد لینک مخابراتی در بردهای کوتاه (۱۰ متر یا کمتر) و پهنای باند بالا (بیشتر از ۱ گیگاهرتز) است [۱-۳]. نسخه های مختلف از فناوری فرایهن باند وجود دارد اما در حال حاضر محبوب ترین نسخه دارای پهنای باند ۳٫۱ تا ۱۰٫۶ گیگاهرتز است. میانگین سطح تشعشعی طبق تعریف *FCC* برای تنظیمات مربوط به فناوری فرایهن باند در محیط های بسته، نشان داده است که این فناوری اساساً یک تکنولوژی با توان کم محسوب می شود [۴]. توان پایین برای مثال ۴۱ dBm/MHz در فرکانس ۴ GHz اجازه وجود هم زمان این فناوری با دیگر کاربران این گستره طیفی نوعی که دارای کف نویز بالاتر از این سطح هستند را می دهد. چند باند فرکانسی در گستره طیفی فرایهن باند وجود دارند که از قبل فناوری های با توان پایین دیگر در آن در حال کار هستند. یک مثال *WLAN* است [۵] (۵٫۱۵-۵٫۸۷۵ GHz). سابقاً آنتن های فرایهن باند زیادی با قابلیت باند حذف برای جلوگیری از تداخل های ناخواسته با دیگر فناوری ها ساخته شده است. برای مثال در مرجع [۶] یک مورد آنتن اسلات صفحه ای فرایهن باند با قابلیت باند حذف و در مرجع [۷] یک نمونه آنتن صفحه ای تک قطبی فرایهن باند با باند حذف در فرکانس ۵ GHz همراه با مطالعه پارامتری نتایج روی باند حذف ارائه شده است.

<sup>۱</sup> Ultra-wideband antenna (UWB)

<sup>۲</sup> Wireless Local Area Network

<sup>۳</sup> Electromagnetic Band Gap (EBG)

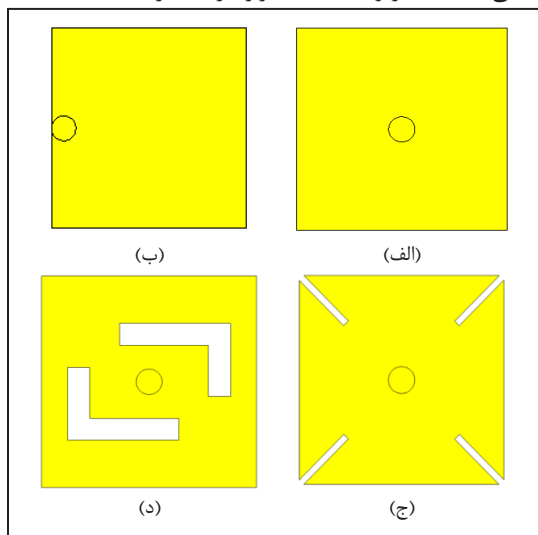
همان طور که در شکل ۲ نشان داده شده است میزان رد باند و باند عبور قبل از باند حذف ۳,۵GHz در این نمونه از آنتن با اسلات تنها زیاد مطلوب نیست و برای این امر از یک عنصر EBG برای تقویت کردن اثر حذف استفاده شده تا هم کنترل دقیق تری روی باند حذف داشته باشد و هم باند عبور آنتن را بهبود بخشد.



شکل ۲. نمودار افت بازگشتی آنتن با یک اسلات تنها.

### ساختار آنتن با یک عنصر EBG و اسلات

در این بخش، آنتن اولیه ارائه شده در بخش ۲ را با یک عنصر EBG برای دستیابی به باند حذف WLAN، بارگذاری می‌کنیم. برای این منظور ساختارهای مختلفی از EBG از نوع قارچی شکل جهت بارگذاری روی ساختار اولیه آنتن بخش ۲ مورد مطالعه قرار گرفت. در شکل ۳ تمامی EBGهای مورد مطالعه نشان داده شده است. البته این ساختارها پایه‌ای بوده و در برخی موارد بر فرض مثال Via به گوشه یا لبه EBG منتقل می‌شود که تا حدودی از تاثیر بیشتری در تزویج نسبت به حالتی که Via در وسط EBG قرار گرفته دارد.



شکل ۳. انواع مختلف EBG مورد استفاده جهت بارگذاری در نزدیک خط تغذیه آنتن برای ایجاد باند حذف (الف) EBG از نوع قارچی شکل معمولی (ب) EBG از نوع قارچی شکل با Via مستقر در گوشه (ج) EBG از نوع قارچی شکل با اسلات‌های اریب (د) EBG از نوع قارچی شکل با اسلات‌های L شکل.

مورد نظر تنظیم شود. در بخش ۴ نیز از EBG با شکل اصلاح شده جدیدی برای ایجاد باند حذف استفاده شد. در این بخش از EBG با اسلات‌های L شکل استفاده شده است.

### ساختار اولیه آنتن

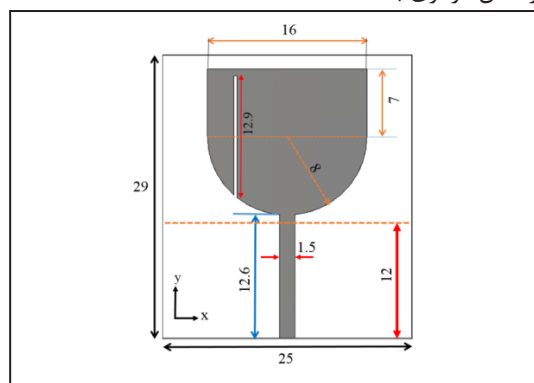
در این بخش ابتدا ساختار پایه‌ای آنتن شبیه سازی شده است. خروجی دارای گستره فرکانسی فرایه‌ن باند لازم است. سپس برای ایجاد اولین باند حذف برای WiMAX<sup>۴</sup> ساختار با یک اسلات به طول ربع موج شبیه سازی شده است. طول اسلات از رابطه (۱) و با استفاده از طول موج هدایت شده  $\lambda_g$  به دست آمده است:

$$\lambda_g = \frac{\lambda_0}{\sqrt{\epsilon_{eff}}}, \epsilon_{eff} = (\epsilon_r + 1)/2 \quad (1)$$

در حالی که  $\lambda_0$  طول موج در فضای آزاد بوده و از مرجع [۱۷] به دست آمده است.

ابعاد آنتن ارائه شده در شکل ۱ نشان داده شده است. آنتن طراحی شده بسیار کوچک بوده و دارای ابعاد  $8 \text{ mm} \times 29 \text{ mm}$  با  $29 \text{ mm} \times 25 \text{ mm}$  بوده و روی زیرلایه‌ای از جنس FR-4 با ضریب نسبی گذردهی الکتریکی ۴,۳ و تانژانت تلفات ۰,۰۲۵ قرار گرفته است. این آنتن شامل یک خط تغذیه میکرواستریپ ۵۰ اهم، یک پیچ تشعشعی با شکافی به طول ربع موج برای حذف باند فناوری WiMAX می‌باشد. شایان ذکر است که از لحاظ ابعاد این آنتن نسبت به تمام آنتن‌های ارائه شده در مراجع [۶-۱۶] و [۱۸-۱۹] برتری دارد.

اسلات به عرض ۰,۵ mm و در فاصله ۵,۴ mm از مرکز نیم دایره پیچ تشعشعی واقع شده است. طول اسلات برابر  $12,9 \text{ mm}$   $L_s =$  بوده که تقریباً برابر یک چهارم طول موج هدایت شده در فرکانس مرکزی باند WiMAX، ۳,۵ GHz است.

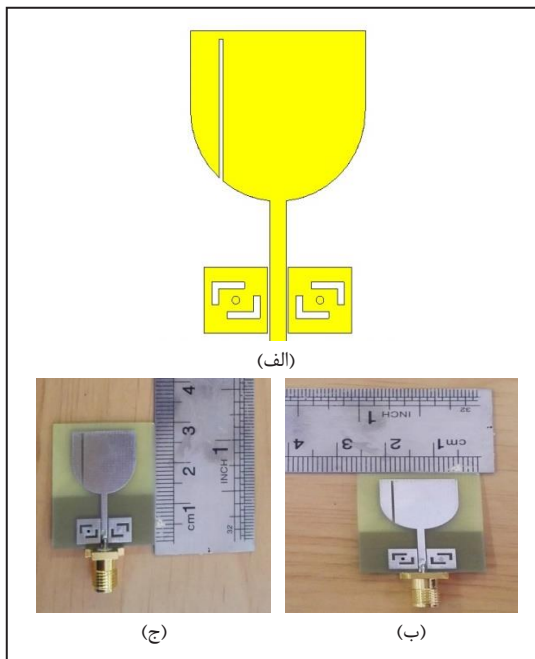


شکل ۱. ابعاد ساختار اولیه آنتن با یک اسلات برای حذف باند WiMAX.

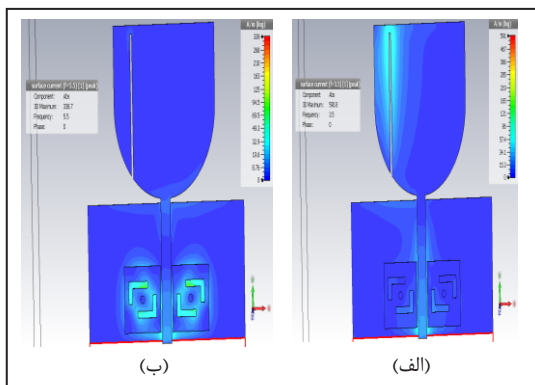
در شکل ۵ نمودار افت بازگشتی آنتن با یک EBG از نوع قارچی شکل و اسلات‌های L شکل با نمودار افت بازگشتی آنتن اولیه بخش ۲ مقایسه شده است. همان طور که مشاهده می‌شود آنتن با یک EBG دارای افت بهتری در بازه‌های ۳ تا ۳,۳GHz، ۴ تا ۵ GHz و ۶ تا ۱۰,۳ GHz می‌باشد. هم چنین به خاطر اثر تزویج EBG روی تغذیه آنتن باند حذف WiMAX نیز کمی بهبود پیدا کرده است.

### ساختار آنتن با دو عنصر EBG و اسلات

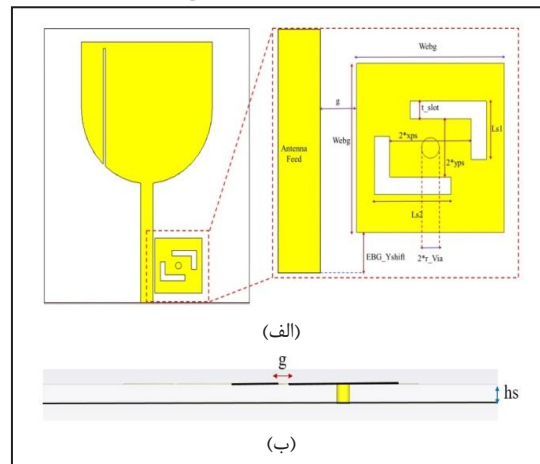
از آن جا که آنتن با یک عنصر EBG و اسلات دارای افت بازگشتی حدود 5dB- در فرکانس مرکزی باند حذف WLAN است، در این بخش سعی شد با قرار دادن یک کپی از EBG در سمت دیگر تغذیه آنتن افت بازگشتی بیشتری بدست آید. شکل ۶ ساختار آنتن با دو EBG و اسلات ساخته شده را نشان داده است.



شکل ۶. آنتن با دو EBG و اسلات (الف) نمای شبیه‌سازی (ب) نمونه ساخته شده نمای عرضی (ج) نمونه ساخته شده نمای طولی.



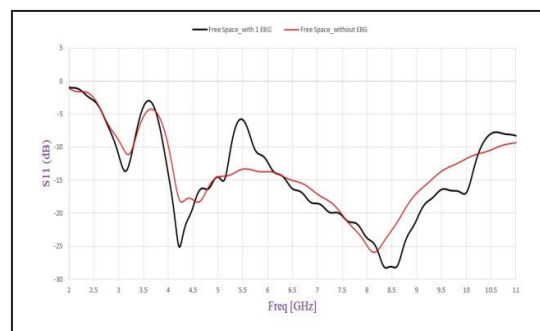
با توجه به نمودار افت بازگشتی و خصوصاً VSWR آنتن برای هر مورد، در نتیجه شکل ۳ (د) به عنوان بهترین گزینه انتخاب شد. در شکل ۴ نمایی از آنتن مورد نظر با یک EBG از نوع قارچی شکل و اسلات‌های L نشان داده شده است. مقادیر پارامترهای بهینه آنتن در جدول ۱ داده شده است. مطالعات روی عرض EBG صورت گرفته نشان می‌دهد که کنترل پذیری بالایی روی لبه‌های باند حذف داریم. در کل شکل EBG ارائه شده از قابلیت بالایی در کنترل باند حذف دارد که از این حیث نسبت به موارد [۱۴-۱۶] برتری دارد. در واقع مطالعات پارامتری روی متغیرهای ابعادی عنصر EBG صورت گرفت که کنترل پذیری و دقت بالای این عنصر در جابجایی فرکانس باند حذف به ازای تغییرات در هر پارامتر را تایید می‌کند.



شکل ۴. آنتن مورد نظر با یک EBG از نوع قارچی شکل و اسلات‌های L شکل (الف) نمای بالایی (ب) نمای جانبی.

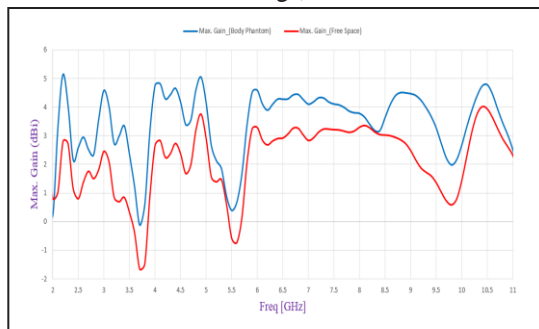
جدول ۱. مقادیر پارامترهای آنتن با یک EBG از نوع قارچی شکل و اسلات‌های L شکل (ابعاد بر حسب میلی‌متر).

EBG_Yshift=1 from bottom of feed	$g=0.2$	Webg= 5.8
$y_{ps}=1$	$x_{ps}=1.6$	$r_{Via}=0.35$
$Ls2=3$	$Ls1=2$	$t_{slot}=0.6$

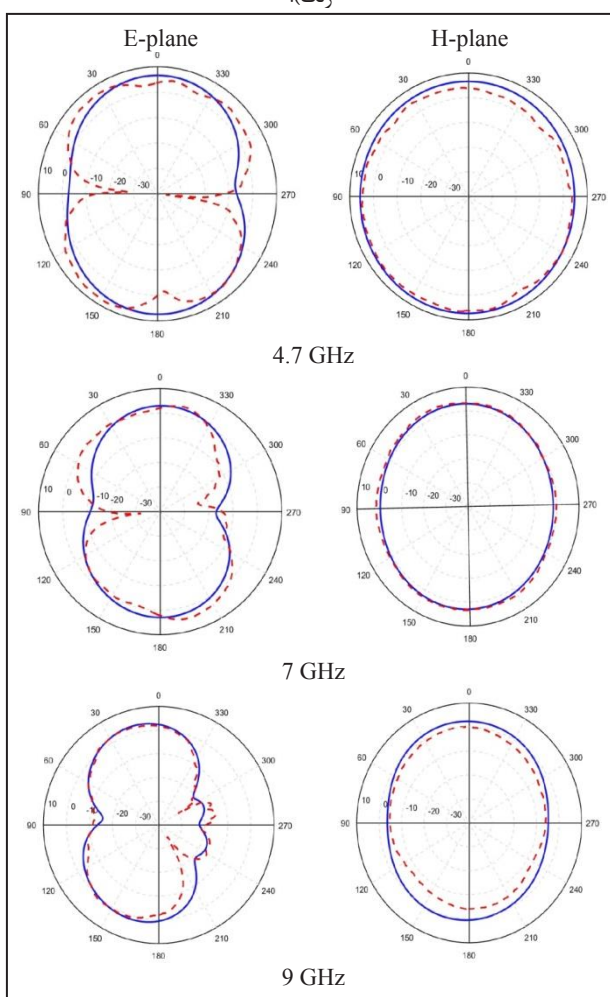


شکل ۵. نمودار مقایسه افت بازگشتی برای آنتن اولیه (خط قرمز رنگ) و آنتن با یک EBG از نوع قارچی شکل و اسلات‌های L شکل (خط مشکی رنگ).

شکل ۹. نمودار شبیه‌سازی (Sim) و اندازه‌گیری (Meas) شده افت بازگشتی آنتن با دو عنصر EBG و اسلات در دو حالت فضای آزاد (FS) و در حضور بدن (NB).



شکل ۱۰. بیشترین بهره محاسبه شده آنتن با دو عنصر EBG و اسلات در دو حالت فضای آزاد (خطوط آبی پررنگ) و در حضور مدل بدن (خطوط آبی رنگ).



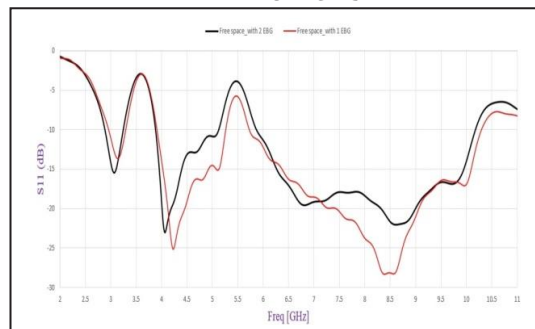
شکل ۱۱. الگوی تشعشعی آنتن با دو EBG و اسلات در فضای آزاد برای دو حالت شبیه‌سازی (خطوط آبی پررنگ) و اندازه‌گیری (خطوط قرمز خط چین).

بیشترین بهره محاسبه شده آنتن با دو عنصر EBG و اسلات در دو حالت فضای آزاد و در حضور مدل بدن در شکل ۱۰ نشان داده شده است. مطابق انتظار دو کاهش تیز در فرکانس‌های دو باند حذف مورد نظر قابلیت حذف سیگنال در این باندهای

شکل ۷. جریان سطحی آنتن با دو EBG و اسلات (الف) در فرکانس ۳,۵ گیگاهرتز (ب) در فرکانس ۵,۵ گیگاهرتز

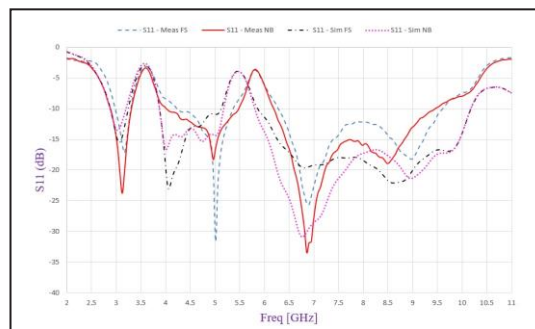
شکل ۷ جریان سطحی آنتن با دو EBG و اسلات را در دو فرکانس ۳,۵ گیگاهرتز و ۵,۵ گیگاهرتز نشان می‌دهد. همانطور که از شکل ۷ (الف) پیداست در فرکانس ۳,۵ گیگاهرتز علاوه بر اسلات که برای باند حذف WiMAX در نظر گرفته شده ترویج ناشی از دو EBG نیز در رد باند دخیل است. این موضوع یکی از دلایلی است که پیش‌تر برای اثر EBG در افزایش افت بازگشتی در باند حذف WiMAX عنوان شده بود. اما با توجه به شکل ۷ (ب) در فرکانس ۵,۵ گیگاهرتز تنها اثر دو EBG در رد باند WLAN مشاهده می‌شود. در واقع شکل ۷ گواهی بر این ادعاست که دو عنصر EBG نقش اساسی در باندهای حذف ایفا می‌کنند.

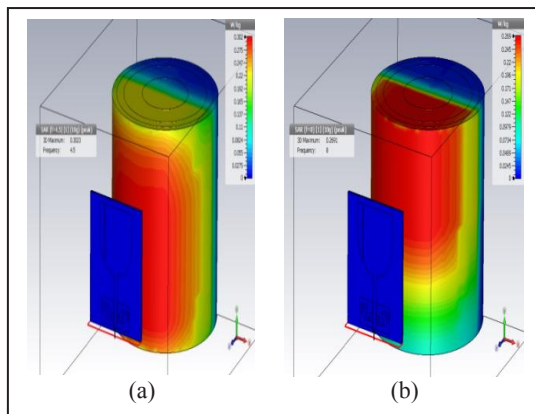
نمودار افت بازگشتی آنتن در شکل ۸ نشان داده شده است. همان‌طور که انتظار می‌رفت افت بازگشتی در فرکانس مرکزی باند حذف WLAN افزایش قابل ملاحظه‌ای داشته است.



شکل ۸. نمودار شبیه‌سازی شده افت بازگشتی آنتن با یک و دو EBG در فضای آزاد.

در شکل ۹ نمودار شبیه‌سازی و اندازه‌گیری شده افت بازگشتی آنتن با دو عنصر EBG و اسلات در دو حالت فضای آزاد و در حضور بدن نشان داده شده است. نتایج فضای آزاد و در کنار بدن از تطابق خوبی برخوردارند برای نتایج اندازه‌گیری و شبیه‌سازی تفاوت عمده در لبه‌های باند حذف WLAN می‌باشد که در نتایج اندازه‌گیری باند بالای WLAN کاملاً حذف می‌شود. البته این تفاوت تا حدودی ناشی از تلفات لحیم‌کاری در پورت ورودی آنتن می‌باشد.





شکل ۱۲. نتایج حاصل از شبیه‌سازی SAR برای آنتن با دو عنصر EBG و اسلات در دو فرکانس مختلف (a) در ۴,۵ GHz (b) در ۸ GHz

### نتیجه‌گیری

ابتدا مقدمه‌ای کوتاه در مورد ارجحیت سیستم‌های فرآپهن باند گفته شد. سپس انواع روش‌های ایجاد باند حذف به صورت اجمالی مورد بررسی واقع شد و در نهایت این نتیجه حاصل شد که روش ایجاد باند حذف با بارگذاری فراموادها بهتر از دیگر روش‌های معمول است زیرا اثرات کم تری روی الگوی تشعشعی و دیگر مشخصات آنتن‌ها می‌گذارد و علاوه بر این دارای اثرات مفیدی مانند حذف بهتر جریان‌های سطحی می‌باشند. روش‌های طراحی به تفکیک تشریح شدند و نیز مطالعات پارامتری روی ابعاد آنتن‌ها صورت گرفت. در نهایت یک مدل از آنتن‌های فرآپهن باند با بارگذاری عناصر EBG ساخته و مورد آزمایش واقع شد. نتایج شبیه‌سازی‌ها و اندازه‌گیری‌ها از تطابق خوبی برخوردار بودند. در نتیجه این آنتن برای کاربردهای مد on-body از مخابرات بدن محور مناسب تشخیص داده شد.

### مراجع

- [1] S. Stroh, "Wideband: multimedia unplugged," *Spectrum, IEEE*, vol. 40, pp. 23-27, 2003.
- [2] E. R. Green and S. Roy, "System architectures for high-rate ultra-wideband communication systems: A review of recent developments," Intel Labs, available [http://www.intel.com/technology/comms/uwb/download/w241\\_paper.pdf](http://www.intel.com/technology/comms/uwb/download/w241_paper.pdf), 2004.
- [3] S. Roy, J. R. Foerster, V. S. Somayazulu, and D. G. Leeper, "Ultrawideband radio design: The promise of high-speed, short-range wireless connectivity," *Proceedings of the IEEE*, vol. 92, pp. 295-311, 2004.
- [4] G. Breed, "A summary of FCC rules for ultra wideband communications," *High Frequency Electronics*, vol. 4, pp. 42-44, 2005.

فرکانسی آنتن را تایید می‌کند. بطور میانگین در کل بازه، بهره در حضور بدن در حدود ۱,۵ تا ۲ دسیبل افزایش داشته است که این مقدار ناشی از ایزوله کردن تشعشعات پشتی آنتن بواسطه حضور بدن است. در واقع یکی از اثرات بدن روی آنتن افزایش مقدار تشعشعات جلو به عقب آنتن است که بدن نقش یک عنصر بازتابنده را ایفا می‌کند. راندمان تشعشعی میانگین محاسبه شده آنتن با استفاده از نرم‌افزار CST 2013 برابر ۹۴,۶٪ بدست آمده است.

در شکل ۱۱ الگوی تشعشعی شبیه‌سازی و اندازه‌گیری شده فضای آزاد آنتن در صفحه E-plane یا (yz) و صفحه H-plane یا (xz) به ترتیب برای فرکانس‌های ۴,۷ GHz، ۷ GHz و ۹ GHz نشان داده شده است. آنتن در صفحه H-plane از الگوی تشعشعی همه جهته خوبی حتی در فرکانس‌های بالا برخوردار است و در صفحه E-plane دارای الگویی دو قطبی شکل است.

### نرخ جذب ویژه (SAR)

برای محاسبه SAR از مدل بدن چهار لایه‌ای استفاده می‌شود که اثر خمیدگی را به صورت استوانه‌های متحدالمرکزی با شعاع‌های متفاوت نمایش می‌دهد. این مدل برگرفته از [۱۸] می‌باشد. اما ابعاد این مدل به ترتیب برای لایه پوست برابر ۲ mm، برای لایه چربی ۳ mm، برای لایه ماهیچه ۸ mm و برای لایه استخوان ۱۰ mm می‌باشد و از [۱۹] گرفته شده است که ضخامت لایه‌های مدل مستطیلی در این جا به عنوان شعاع برای هر لایه در نظر گرفته شد. هنگامی که  $0.5 \text{ w(rms)}$  توان به پورت ورودی آنتن در فاصله ۲۰ mm از مدل بدن چهار لایه اعمال می‌شود، مقدار SAR به طور میانگین در یک بافت ۱۰g بر اساس استاندارد IEEE C95.3،  $0.3023 \text{ w/kg}$  می‌باشد. این مقادیر پایین تر از میانگین  $2 \text{ w/kg}$  بر اساس استاندارد های اروپایی می‌باشد. نتایج حاصل از شبیه‌سازی SAR برای آنتن با دو عنصر EBG و اسلات در شکل ۹ آورده شده است.

- Antennas and Propagation, IEEE Transactions on, vol. 57, pp. 3942-3950, 2009.
- [13] F. Yang and Y. Rahmat-Samii, "Microstrip antennas integrated with electromagnetic band-gap (EBG) structures: A low mutual coupling design for array applications," *Antennas and Propagation, IEEE Transactions on*, vol. 51, pp. 2936-2946, 2003.
- [14] L. Peng and C.-L. Ruan, "UWB band-notched monopole antenna design using electromagnetic-bandgap structures," *Microwave Theory and Techniques, IEEE Transactions on*, vol. 59, pp. 1074-1081, 2011.
- [15] M. Yazdi and N. Komjani, "Design of a band-notched UWB monopole antenna by means of an EBG structure," *Antennas and Wireless Propagation Letters, IEEE*, vol. 10, pp. 170-173, 2011.
- [16] T. Li, H.-Q. Zhai, G.-H. Li, and C.-H. Liang, "Design of compact UWB band-notched antenna by means of electromagnetic-bandgap structures," *Electronics letters*, vol. 48, pp. 608-609, 2012.
- [17] S. B. Cohn, "Slot line on a dielectric substrate," *Microwave Theory and Techniques, IEEE Transactions on*, vol. 17, pp. 768-778, 1969.
- [18] K. N. Ramli, "Small planar monopole UWB wearable antenna with low SAR," in *Region 10 Symposium, 2014 IEEE*, 2014, pp. 235-239.
- [19] M. L. Scarpello, D. Kurup, H. Rogier, D. Vande Ginste, F. Axisa, J. Vanfleteren, et al., "Design of an implantable slot dipole conformal flexible antenna for biomedical applications," *Antennas and Propagation, IEEE Transactions on*, vol. 59, pp. 3556-3564, 2011.
- [5] F. C. Commission, "Revision of Part 15 of the Commission's Rules Regarding Ultra-Wideband Transmission Systems," *First Report and Order*, FCC 02, V48, April, 2002.
- [6] Y. Kim and D.-H. Kwon, "Planar ultra wide band slot antenna with frequency band notch function," in *Antennas and Propagation Society International Symposium, 2004. IEEE*, 2004, pp. 1788-1791.
- [7] A. Kerkhoff and H. Ling, "A parametric study of band-notched UWB planar monopole antennas," in *Antennas and Propagation Society International Symposium, 2004. IEEE*, 2004, pp. 1768-1771.
- [8] J.-Y. Deng, Y.-Z. Yin, S.-G. Zhou, and Q.-Z. Liu, "Compact ultra-wideband antenna with tri-band notched characteristic," *Electronics Letters*, vol. 44, pp. 1231-1233, 2008.
- [9] N. Trang, D. Lee, and H. Park, "Compact printed CPW-fed monopole ultra-wideband antenna with triple subband notched characteristics," *Electronics letters*, vol. 46, p. 1, 2010.
- [10] Y. Li, W. Li, and W. Yu, "A Switchable UWB Slot Antenna using SIS-HSIR and SIS-SIR for Multi-Mode Wireless Communications Applications," *Applied Computational Electromagnetics Society Journal*, vol. 27, 2012.
- [11] M. Ojaroudi, S. Yazdanifard, N. Ojaroudi, and R. Sadeghzadeh, "Band-notched small square-ring antenna with a pair of T-shaped strips protruded inside the square ring for UWB applications," *Antennas and Wireless Propagation Letters, IEEE*, vol. 10, pp. 227-230, 2011.
- [12] K. S. Ryu and A. A. Kishk, "UWB antenna with single or dual band-notches for lower WLAN band and upper WLAN band,"