

کاهش RCS اجسام با استفاده از هادی مغناطیسی مصنوعی ترکیبی

علی آذربر^۱، مصطفی مشهدی^۲

۱ استادیار دانشکده کامپیوتر و فناوری اطلاعات، دانشگاه آزاد اسلامی واحد پرند، تهران، ایران

۲ دانشجوی دکتری مخابرات میدان، دانشگاه علم و صنعت ایران،

تاریخ دریافت: ۹۴/۱۱/۲۲ تاریخ پذیرش: ۹۵/۴/۱۴

چکیده

در این مقاله روش جدیدی برای کاهش سطح مقطع راداری اجسام (RCS) در یک محدوده فرکانسی وسیع با استفاده از سطوح هادی مغناطیسی مصنوعی (AMC) ترکیبی ارائه شده است. در این مقاله نشان داده شده است که استفاده از زیرلایه مغناطیسی می‌تواند پهنای باند انعکاسی هم فاز ساختار های AMC را به طور قابل توجهی افزایش دهد. اصول طراحی ساختار با RCS پایین در یک محدوده فرکانسی وسیع در این مقاله بر مبنای استفاده از دو ساختار AMC با ابعاد متفاوت است که در دو باند فرکانسی مختلف کار می‌کنند. اما ابعاد و فرکانس‌های کاری این دو ساختار AMC به گونه‌ای تنظیم شده‌اند که در یک محدوده وسیع فرکانسی اختلاف فاز انعکاسی این دو ساختار نزدیک به ۱۸۰ درجه باقی بماند و بنابراین انعکاس‌های آن‌ها یکدیگر را خنثی نموده و RCS ساختار کاهش یابد. نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهد که این روش می‌تواند تا ۱۳ dB، RCS یک ساختار فلزی را در یک پهنای باند ۹۳٪ کاهش دهد.

کلیدواژه

سطح مقطع راداری، هادی مغناطیسی مصنوعی، زیرلایه مغناطیسی، کاهش RCS.

مقدمه

انعکاس امواج در جهت تابشی است [۴]. در این روش معمولاً نیاز به یک مصالحه میان مشخصات کاهش RCS و ویژگی‌های عملیاتی ساختار وجود دارد. روش سوم برای کاهش RCS پوشش اجسام است [۵ و ۶]. در این روش مبنای کار ایجاد اختلاف فاز بین انعکاس‌های مختلف و خنثی کردن همدیگر است. صفحه سالیسبوری^۶ یکی از روش‌های پیاده‌سازی پوشش RAM است [۷]. این ساختار متشکل از یک صفحه مقاومتی تلفاتی است که در فاصله $\lambda/4$ از یک هادی کامل الکتریکی (PEC) قرار گرفته است. مشکل اساسی که صفحه سالیسبوری دارد ضخامت زیاد آن و وابستگی فرکانسی آن است. در [۸] نشان داده شده است که این ضخامت می‌تواند با قرار دادن صفحه تلفاتی بر روی یک سطح مغناطیسی کاهش پیدا نماید. در واقع در این حالت دیگر به فاصله $\lambda/4$ نیاز نخواهد بود. پیاده سازی سطوح مغناطیسی نیز توسط دکتر انقطاع در [۹] ارائه شده است. استفاده از سطوح هادی مغناطیسی مصنوعی (AMC)^۷ می‌تواند به طور قابل توجهی ضخامت صفحه سالیسبوری را کاهش دهد. در مقایسه با یک صفحه فلزی معمولی که به صورت یک سطح امپدانس پایین عمل

کاهش سطح مقطع راداری (RCS) یکی از موضوعات مورد توجه در فناوری‌های رادارگریزی و پنهان‌کاری^۱ است. هدف از کاهش RCS، کاهش دادن امواج الکترومغناطیسی پراکندگی است که در اثر برخورد امواج تابشی با اجسام مورد نظر از آن‌ها ساطع می‌شود. سه راهکار اساسی متفاوت برای کاهش RCS اجسام وجود دارد که عبارتند از: استفاده از مواد جاذب راداری^۳ (RAM)، شکل‌دهی^۴ و پوشش^۵ جسم.

مواد RAM [۲ و ۱] به طور بسیار گسترده در تجهیزات اندازه‌گیری آنتن و RCS مورد استفاده قرار می‌گیرد تا پژواک از دیوارها و کف اتاق را حذف نموده و انرژی الکترومغناطیسی آن‌ها را به گرما تبدیل نماید. عیب اصلی مواد جاذب راداری، وزن، هزینه و ابعاد آن‌ها است [۳]. رویکرد دیگر برای کاهش RCS، شکل‌دهی اجسام است. هدف از شکل‌دهی اجسام هدایت امواج الکترومغناطیسی بازگشتی از جسم در جهت‌های مورد نظر ما و جلوگیری از

- 1 Radar Cross Section
- 2 Stealth Technology
- 3 Radar Absorbing Material
- 4 Shaping
- 5 Coating

6 Salisbury Screen

7 Artificial Magnetic Conductor

طراحی سطوح AMC

سطوح AMC را می‌توان با یک مدار LC موازی مدل نمود [۲۰] که در آن پهنای باند انعکاسی هم-فاز متناسب با $\sqrt{L/C}$ است. بنابراین به منظور افزایش پهنای باند انعکاسی هم-فاز باید مقدار L را افزایش داد. برای افزایش L نیز باید از موادی مغناطیسی که دارای ضریب نفوذپذیری بیشتر از یک هستند استفاده نمود. با افزایش مقدار L علاوه بر این فرکانس کاری سطوح AMC کاهش پیدا می‌کند و بنابراین برای ثابت نگه‌داشتن فرکانس کاری باید ابعاد سطوح پچ را کوچک‌تر کرد که این کار باعث کوچک‌تر شدن ظرفیت خازنی می‌شود. در این کار، پهنای باند مفید سطوح AMC در محدوده‌های فرکانسی در نظر گرفته شده است که در آن حداکثر اندازه فاز ضریب انعکاسی برابر ۴۵ درجه باشد.

برای تایید این تئوری یک سلول واحد از ساختار AMC را مطابق شکل ۱ را در نظر بگیرید. سلول واحد AMC از یک پچ مربعی تشکیل شده است که بر روی یک زیرلایه مغناطیسی که طرف دیگر آن نیز با PEC پوشانده شده است، تشکیل شده است. با شبیه‌سازی این ساختار با استفاده از تحلیل فلوکه با شرایط مرزی متناوب در نرم افزار CST STUDIO SUITE می‌توان به اثر نفوذپذیری مغناطیسی ماده بر روی مشخصات انعکاسی و فرکانسی ساختار AMC دست یافت. در ساختار پیشنهادی ابعاد سلول واحد AMC به صورت $W = 7.3 \text{ mm}$ ، $L = 8 \text{ mm}$ ، $h = 1.6 \text{ mm}$ ، $\epsilon_r = 1$ ، انتخاب شده است و شبیه‌سازی برای مقادیر مختلف ضریب نفوذپذیری مغناطیسی انجام شده است. با تحریک کردن سطوح AMC تحت تابش عمودی به نتایج نشان داده شده در شکل ۲ برای فاز انعکاسی از آن برای مقادیر مختلف ضرایب نفوذپذیری می‌رسیم. برای درک بهتر شکل ۲ نتایج شبیه‌سازی برای مقادیر مختلف ضرایب نفوذپذیری به طور خلاصه در جدول ۱ آورده شده است. همان‌طور که در این جدول مشاهده می‌شود، با افزایش ضریب نفوذپذیری مغناطیسی پهنای باند ساختار افزایش یافته و علاوه بر آن فرکانس کاری نیز کاهش پیدا می‌کند.

همان‌طور که مشاهده می‌شود، با افزایش ضریب نفوذپذیری مغناطیسی، پهنای باند انعکاس هم-فاز سطوح AMC افزایش پیدا می‌کند. این ویژگی می‌تواند برای افزایش پهنای باند کاهش RCS ساختارهای شطرنجی شکل متشکل از AMC های ترکیبی مورد استفاده قرار بگیرد. بدین منظور ابتدا باید ابعاد دو ساختار AMC را به گونه‌ای طراحی و انتخاب کنیم که دو ساختار دارای فرکانس های کاری متفاوت بوده و اختلاف فاز انعکاسی بین این دو ساختار در یک محدوده فرکانسی بسیار وسیع در محدوده ۱۸۰ درجه باقی بماند.

نموده و دارای ضریب انعکاس ۱- است، سطوح AMC دارای امیدانس بسیار بالا و ضریب انعکاس ۱+ هستند که این بدین معنی است که می‌توانند مانند یک هادی مغناطیسی عمل نمایند.

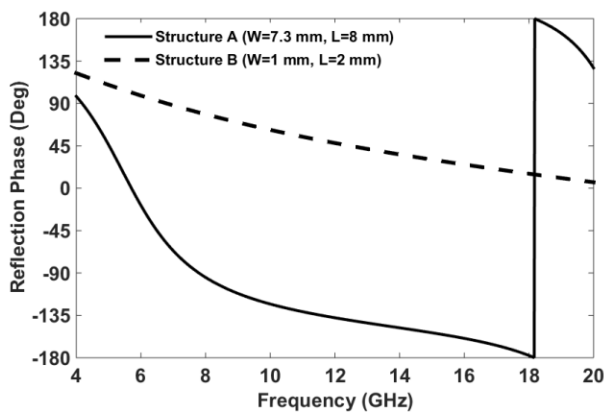
علاوه بر این سطوح AMC می‌تواند برای کنترل و هدایت امواج الکترومغناطیسی پراکنده شده از جسم همچون روش شکل‌دهی مورد استفاده قرار بگیرد. در این حالت امواج الکترومغناطیسی بازگشتی در راستایی غیر از راستای موج تابشی هدایت می‌شود تا توسط آنتن فرستنده قابل ردیابی نباشد. بدین منظور در [۱۲-۱۰] سطوح ترکیبی PEC و AMC که در یک ساختار شطرنجی شکل قرار می‌گیرند، پیشنهاد شده است. در این روش سطوح PEC و AMC دارای ضرایب انعکاس مخالف هم بوده و بنابراین اثر همدیگر را خنثی نموده و باعث کاهش RCS ساختار می‌شوند. مشکل اصلی این ساختار پهنای باند کمی است که در آن کاهش RCS ایجاد می‌شود که علت آن نیز پهنای باند کمی است که در آن AMC دارای ضریب انعکاس ۱+ است و به عبارتی دیگر پهنای باند کمی که در آن AMC همانند یک هادی مغناطیسی عمل می‌نماید. برای رفع این مشکل در [۱۸-۱۳] ساختارهای جدیدی پیشنهاد شده است که در آن قسمت‌های PEC شبکه شطرنجی شکل با سطوح AMC دیگری که دارای فرکانس کاری متفاوت با سطوح AMC اولیه هستند جایگزین شده است. با استفاده از این ساختارها حداکثر پهنای باند کاری ۶۰٪ گزارش شده است.

در این مقاله، ما برای افزایش پهنای باند کاهش RCS ساختارهای شطرنجی شکل، استفاده از زیرلایه مغناطیسی را ارائه می‌نماییم. در [۲۰] نشان داده شده است که استفاده از موادی با ضریب نفوذپذیری مغناطیسی^۸ بیشتر از یک می‌تواند پهنای باند انعکاس هم-فاز^۹ سطوح AMC را افزایش دهد. بنابراین، در این کار ما به بررسی و مطالعه ساختارهای شطرنجی شکل تشکیل شده از دو نوع AMC با زیرلایه مغناطیسی می‌پردازیم و نشان می‌دهیم که این سطوح می‌توانند کاهش RCS پهن‌بندی را در مقایسه با سطوح PEC ایجاد نمایند.

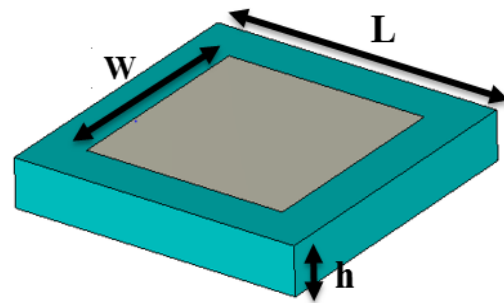
در بخش های بعدی، در ابتدا نشان می‌دهیم که استفاده از زیر لایه مغناطیسی (زیر لایه ای با ضریب نفوذپذیری مغناطیسی بیشتر از یک) منجر به افزایش پهنای باند انعکاس هم-فاز ساختار AMC می‌شود. سپس با بکارگیری این روش به طراحی دو ساختار AMC متفاوت می‌پردازیم که در آن اختلاف فاز انعکاسی بین دو AMC در یک پهنای باند وسیع فرکانسی نزدیک ۱۸۰ درجه باقی می‌ماند. سپس این دو ساختار AMC را در ساختار شطرنجی شکل بکار برده و نشان می‌دهیم که این ساختار قادر است در یک محدوده فرکانسی وسیع RCS را به طور قابل توجهی کاهش دهد.

باشد که AMC ساختار اول (Structure A) در حوالی ابتدای محدوده فرکانسی که کاهش RCS مورد نظر است طراحی شود و AMC ساختار دوم (Structure B) نیز در محدوده انتهایی باند طراحی شود. هر ساختار AMC باید ابتدا به صورت جداگانه شبیه سازی شود و فاز انعکاسی از آن تحت تابش عمود بدست آید. شبیه سازی انجام شده در این مرحله به صورت سلول واحد و با در نظر گرفتن شرط مرزی متناوب با استفاده از تئوری فلوکه انجام می شود. پس از طراحی اولیه دو ساختار AMC به صورت جداگانه و بدست آوردن فاز برگشتی از این دو ساختار اختلاف فاز انعکاسی بین این دو ساختار محاسبه می گردد. اکنون اگر اختلاف فاز بدست آمده در محدوده فرکانسی مورد نظر در حدود 180° درجه باشد به هدف خود رسیده ایم و در غیر این صورت باید ابعاد سلول های AMC را تغییر داد تا فرکانس کاری AMC تغییر نموده و اختلاف فاز حدود 180° درجه در باند فرکانسی مورد نظر اتفاق بیفتد.

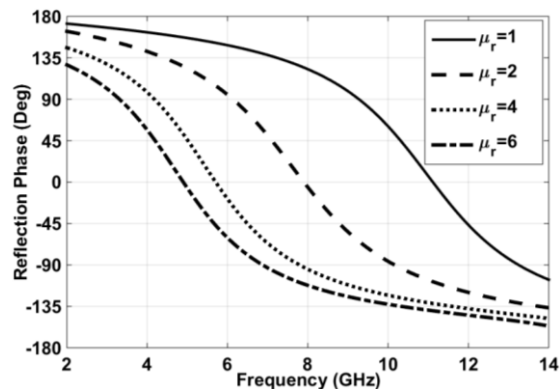
با انجام بهینه سازی مقادیر بدست آمده برای ساختار A برابر $L = 8 \text{ mm}$ و $W = 7.3 \text{ mm}$ و برای ساختار B برابر $L = 2 \text{ mm}$ و $W = 1 \text{ mm}$ خواهد بود. فاز انعکاسی دو ساختار AMC در تابش عمود در شکل ۳ نشان داده شده است و اختلاف فاز انعکاسی بین دو ساختار AMC نیز در شکل ۴ نشان داده شده است. اگر فرض کنیم که اختلاف فاز مورد قبول در محدوده زاویه های $20^\circ \pm 180^\circ$ درجه باشد، بنابراین انتظار خواهیم داشت که در ساختار شطرنجی شکل متشکل از این دو نوع AMC در محدوده های فرکانسی 7.2 GHz تا 18.6 GHz (پهنای باند 258%) یک کاهش RCS قابل توجه اتفاق بیفتد.



شکل ۳. تغییرات فاز انعکاسی بر حسب فرکانس برای دو ساختار AMC پیشنهاد شده.



شکل ۱. شماتیک یک سلول واحد از ساختار AMC پیشنهادی.



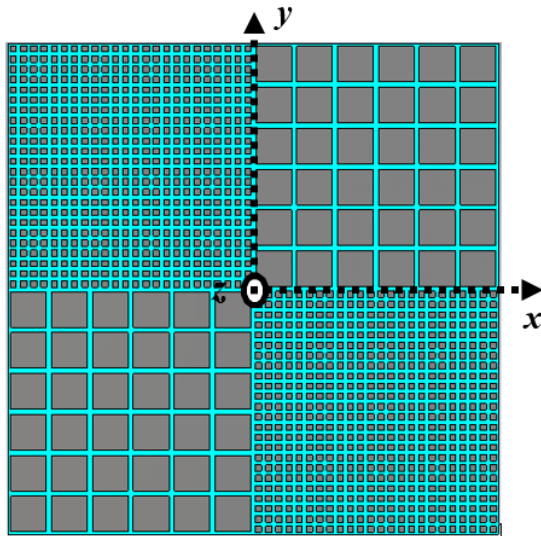
شکل ۲. فاز موج مسطح انعکاسی ساختار AMC برای مقادیر مختلف ضرایب نفوذپذیری مغناطیسی.

جدول ۱. مقایسه نتایج شبیه سازی برای مقادیر مختلف ضریب نفوذپذیری

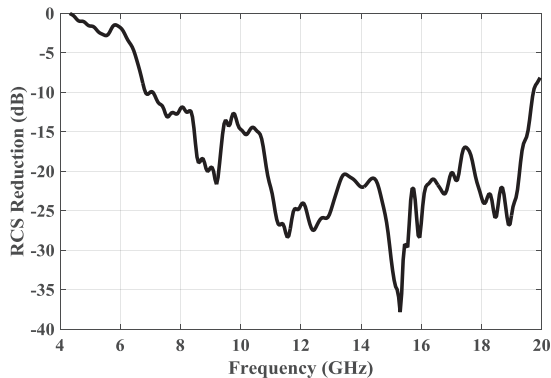
| ضریب نفوذپذیری مغناطیسی | پهنای باند انعکاسی هم-فاز (GHz) | فرکانس مرکزی (GHz) | درصد پهنای باند |
|-------------------------|---------------------------------|--------------------|-----------------|
| ۱ | ۱۰.۳ - ۱۱.۹۵ | ۱۱.۱ | ۱۴.۹% |
| ۲ | ۷.۱ - ۸.۸ | ۷.۹ | ۲۱.۵% |
| ۴ | ۵ - ۶.۵ | ۵.۷ | ۲۶.۵% |
| ۶ | ۴.۲ - ۵.۷ | ۴.۹ | ۳۰.۶% |

اکنون هدف خود را بر روی کاهش RCS ساختار در محدوده فرکانسی $8-20 \text{ GHz}$ قرار می دهیم (محدوده ای که اکثر سیستم های راداری در این بازه فرکانسی کار می کنند). برای سادگی طراحی و بهینه سازی نیز ضریب نفوذپذیری ماده مغناطیسی برابر $\mu_r = 4$ ، ضریب گذردهی الکتریکی لایه مغناطیسی برابر یک، و ضخامت زیرلایه مغناطیسی برابر 1.6 mm در نظر می گیریم.

به منظور کاهش RCS تک پایه^{۱۰} باید ابعاد ساختار دو نوع AMC را به گونه ای انتخاب و بهینه سازی نمایم که اختلاف فاز انعکاسی بین این دو ساختار در بازه فرکانسی فوق در محدوده 180° درجه باقی بماند. یک تقریب اولیه برای شروع بهینه سازی می تواند این

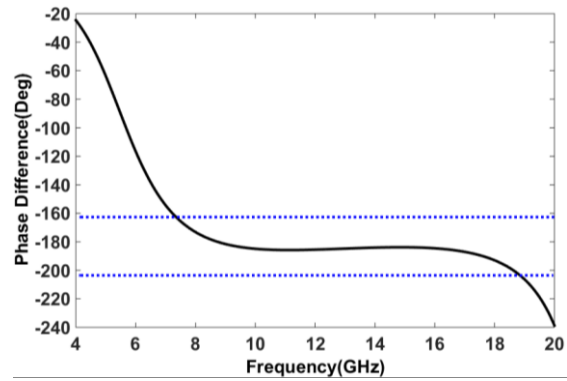


شکل ۵. ترکیب دو نوع ساختار AMC پیشنهاد شده در یک ساختار شطرنجی - شکل ۲×۲.



شکل ۶. کاهش RCS تک پایه ساختار شطرنجی شکل در مقایسه با یک صفحه PEC با همان ابعاد در تابش عمود بر حسب فرکانس.

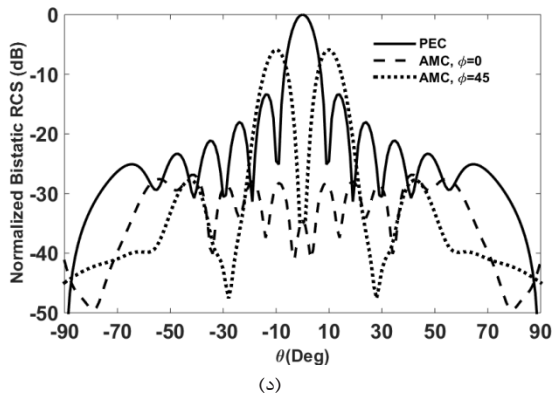
علاوه بر این تطابق بسیار خوبی در باند فرکانسی کاهش RCS بین نتایج پیش‌بینی شده از منحنی اختلاف فاز با نتایج شبیه‌سازی ساختار شطرنجی شکل وجود دارد. برش‌های صفر و ۴۵ درجه‌ای از RCS نرمالیزه دوپایه^{۱۱} ساختار شطرنجی شکل و همچنین یک صفحه PEC بر حسب θ در فرکانس‌های ۸، ۱۲، ۱۶ و ۱۹ گیگاهرتز در شکل ۷ برای تابش عمود رسم شده است. همان طور که از شکل ۷ مشاهده می‌شود در تمامی فرکانس‌های رسم شده، امواج پراکنده شده از ساختار شطرنجی شکل عمدتاً در جهاتی غیر از راستای موج تابشی (راستای موج تابشی عمود بر صفحه شطرنجی شکل در نظر گرفته شده است) منعکس می‌شود و میزان انعکاس امواج در راستای موج تابشی بسیار ناچیز خواهد بود. اما اگر صفحه PEC باشد، همان طور که مشاهده می‌شود میزان پراکندگی امواج عمدتاً در راستای موج تابشی خواهد بود.



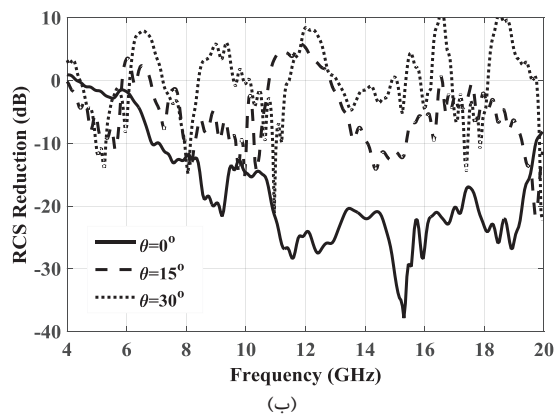
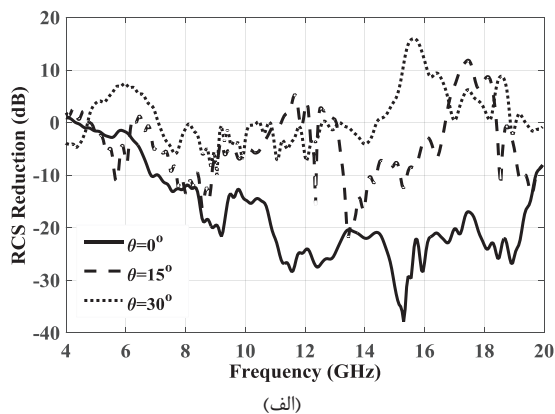
شکل ۴. اختلاف فاز انعکاسی بین دو ساختار AMC بر حسب فرکانس.

ساختار شطرنجی شکل

شبیه سازی یک سلول واحد با استفاده از تئوری فلوکه و با شرایط مرزی متناوب معادل با در نظر گرفتن یک ساختار مسطح بی نهایت متشکل از آن سلول است. به عبارتی دیگر، برای تحقق رفتار فازی ارائه شده توسط شبیه سازی سلول واحد، ساختاری متناوب و بی نهایت از این سلول ها را باید در کنار هم قرار داد، اما با توجه به محدودیت طولی ساختار می توان به تقریب تنها چند سلول از آن را در نظر گرفت. به عنوان نمونه، همان طور که در شکل ۵ مشاهده می شود به منظور تحقق AMC ساختار A یک ساختار متناوب 6×6 از سلول واحد در نظر گرفته شده است. ساختار AMC نوع B نیز با در نظر گرفتن یک آرایش 24×24 از سلول اولیه ساخته شده است. تعداد سلول ها در دو ساختار AMC به گونه ای در نظر گرفته شده است که دو ساختار دارای ابعاد یکسانی باشند. علت برابر گرفتن ابعاد دو ساختار AMC نیز آن است که اندازه میدان های بازگشتی از این دو AMC یکسان باشد تا بتواند با استفاده از اختلاف فاز 180° درجه ای بین این دو نوع ساختار، میدان مجموع را تا حد ممکن تضعیف نماید. به عبارتی دیگر اختلاف فاز 180° درجه بین دو ساختار AMC به تنهایی نمی تواند کاهش قابل توجهی در RCS ایجاد نماید و این کاهش هنگامی بیشینه خواهد شد که دو ساختار اندازه یکسانی داشته باشند تا اندازه میدان های بازگشتی از دو ساختار نیز یکسان باشد. یک ساختار شطرنجی شکل 2×2 ساخته شده از دو نوع AMC در شکل ۵ نشان داده شده است. این ساختار توسط نرم افزار CST STUDIO SUITE تحت تابش عمود شبیه‌سازی شده است که نتایج آن در شکل ۶ رسم شده است. همان طور که در شکل ۶ مشاهده می‌شود کاهش RCS تک پایه ساختار شطرنجی شکل در مقایسه با یک صفحه فلزی با همان ابعاد در محدوده فرکانسی ۷،۱ GHz تا ۱۹،۵ GHz بیش از ۱۳ dB خواهد بود که دارای پهنای باند ۹۳،۲٪ خواهد بود.



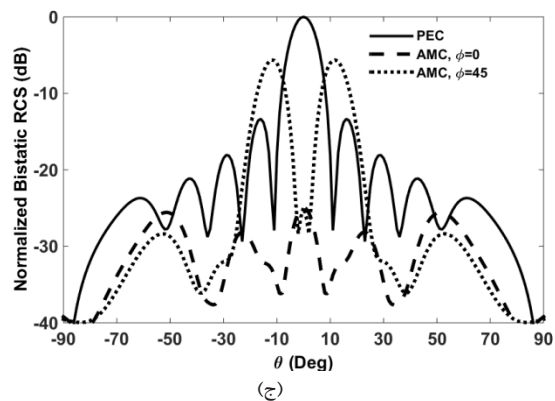
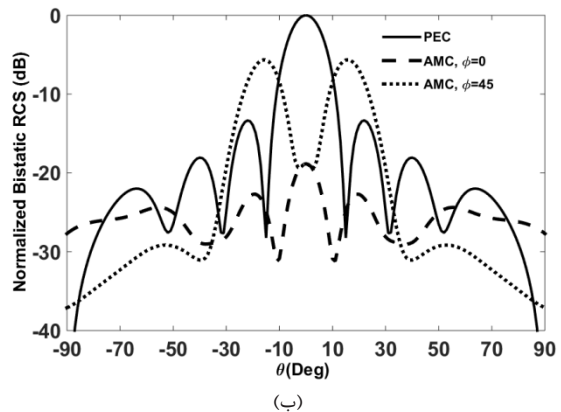
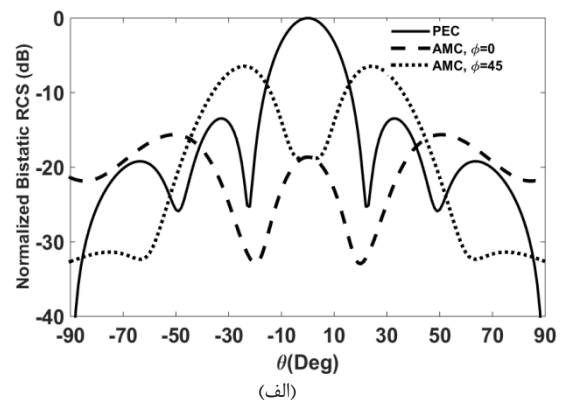
شکل ۷. RCS نرمالیزه دوپایه سطوح AMC ترکیبی و صفحه فلزی PEC در برخورد عمود و در فرکانس‌های مختلف (الف) ۸ GHz (ب) ۱۲ GHz (ج) ۱۶ GHz (د) ۱۹ GHz

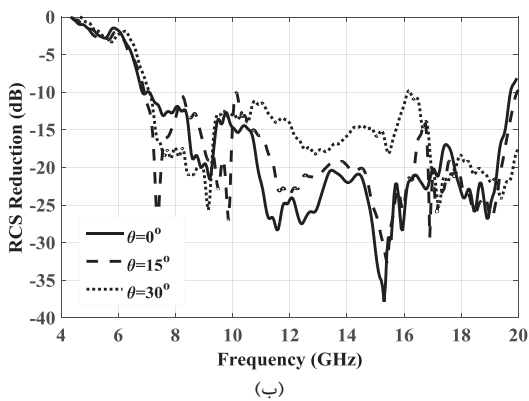
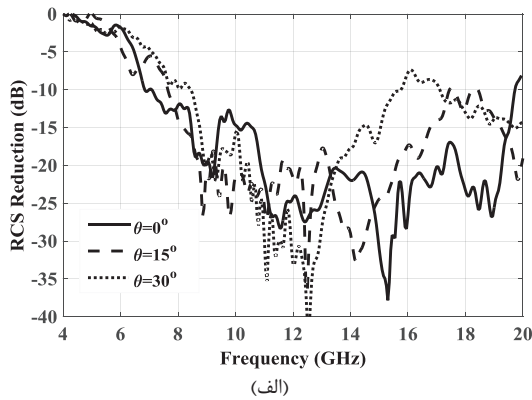


شکل ۸. کاهش RCS تک پایه ساختار شطرنجی شکل در مقایسه با یک صفحه PEC با همان ابعاد در زوایای تابش مختلف بر حسب فرکانس. (الف) پلاریزاسیون TE_y (ب) پلاریزاسیون TM_y .

علاوه بر این، همان طور که مشاهده می شود با تغییر تابش از عمود به مایل عملکرد ساختار خراب می شود و میزان کاهش RCS بشدت کم می شود که علت آن نیز بدلیل آن است که طراحی ها

اثر تغییر زاویه تابش در میزان کاهش RCS تک پایه در شکل ۸ برای زوایای تابشی صفر، ۱۵ و ۳۰ درجه نسبت به محور Z (محور عمود بر صفحه AMC) رسم شده است. در این حالت بردار انتشار امواج صفحه ای تابشی در صفحه X-Z در نظر گرفته شده است و در هر دو پلاریزاسیون TE_y و TM_y ، RCS تک پایه مقایسه شده است. همان طور که مشاهده می شود در حالت تابش عمود نمودار کاهش RCS تک پایه برای هر دو پلاریزاسیون یکسان است. اما رفتار آنها در تابش مایل برای دو پلاریزاسیون متفاوت است.





شکل ۹. کاهش RCS ساختار شطرنجی شکل در مقایسه با یک صفحه PEC در زوایه بازتاب آینه‌ای و در زوایای تابش مختلف (الف) پلاریزاسیون TE_y (ب) پلاریزاسیون TM_y .

نتیجه گیری

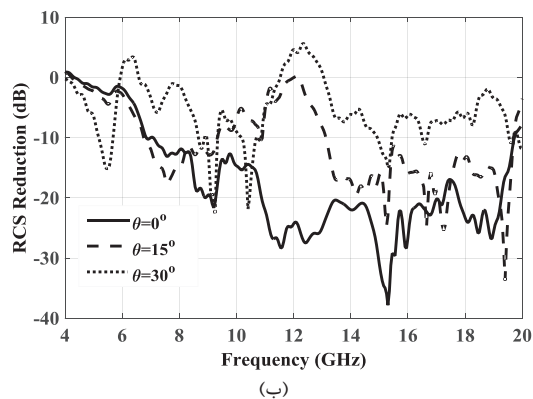
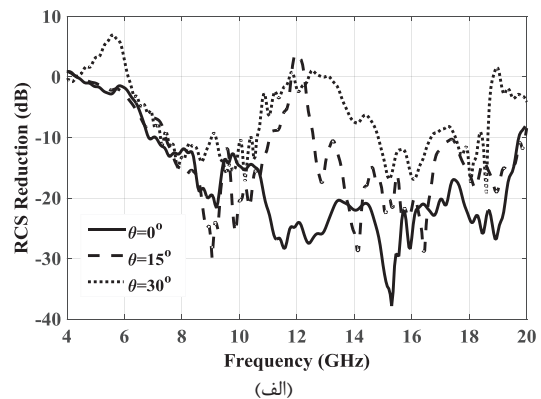
استفاده از زیرلایه مغناطیسی در سطوح AMC پهنای باند انعکاس هم‌فاز ساختارهای AMC را افزایش می‌دهد. این ویژگی می‌تواند در طراحی ساختارهای AMC شطرنجی شکل به منظور افزایش پهنای باند کاهش RCS مورد استفاده قرار بگیرد. در این مقاله به طراحی و شبیه‌سازی یک سطح مسطح متشکل از دو نوع ساختار AMC با زیر لایه مغناطیسی پرداخته شد. ابعاد دو ساختار AMC به گونه‌ای انتخاب شده‌اند که دارای فرکانس‌های کاری متفاوت بوده و اختلاف فاز ضرایب انعکاسی آن‌ها در یک بازه فرکانسی وسیع حدود 180° درجه باشد، به طوری که امواج انعکاسی یکدیگر را خنثی نمایند. نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهد که با ساختار پیشنهادی می‌توان به یک کاهش RCS تک پایه در حدود 13 dB در پهنای باند فرکانسی 93.2% برای برخورد عمود دست یافت.

مرجع‌ها

[1]A. Abdelaziz, "Improving the performance of an antenna array by using radar absorbing cover,"

برای تابش عمود انجام شده است و در تابش مایل اختلاف 180° درجه ای نمی‌تواند ایجاد شود.

میزان کاهش RCS دو پایه ساختار در حالت بازتاب در زاویه ارتفاع 90° درجه ($\theta = 0^\circ$) و بازتاب انعکاسی (یا آینه‌ای) در زوایای تابش مختلف در هر دو پلاریزاسیون و بر حسب فرکانس به ترتیب در شکل های ۹ و ۱۰ رسم شده است. همان طور که در شکل ۹ مشاهده می‌شود با افزایش زاویه تابش (θ) در هر دو پلاریزاسیون میزان کاهش RCS کمتر می‌شود. در زاویه بازتاب آینه ای نیز در هر دو پلاریزاسیون با افزایش زاویه تابش، میزان کاهش RCS دو پایه کمتر می‌شود. اما با این حال مشاهده می‌شود که ساختار می‌تواند تقریباً در یک باند وسیع فرکانسی 8 GHz تا 19 GHz RCS در زاویه بازتاب انعکاسی را تا بیش از 10 dB نسبت به صفحه PEC کاهش دهد. بنابراین به طور کلی از نتایج بدست آمده می‌توان به این نتیجه رسید که ساختار AMC ترکیبی پیشنهادی می‌تواند برای کاهش RCS تک پایه در برخورد عمود و RCS دوپایه در زاویه بازتاب انعکاسی مورد استفاده قرار گیرد.



شکل ۹. کاهش RCS ساختار شطرنجی شکل در مقایسه با یک صفحه PEC در زاویه ارتفاع 90° درجه و در زوایای تابش مختلف (الف) پلاریزاسیون TE_y (ب) پلاریزاسیون TM_y .

- [16] M.E. de Cos, Y. Alvarez, and F. Las-Heras, "RCS reduction using a combination of artificial magnetic conductors," Proceedings of the 5th European Conference on Antennas and Propagation, 1336-1340, 11-15 April 2011.
- [17] Y. Zhang, R. Mittra, B. Z. Wang, and N. T. Huang, "AMCs for ultrathin and broadband RAM design," Electronics Letters, vol. 45, No. 10, 484-485, 2009.
- [18] Y. Zhang, R. Mittra, and B. Z. Wang, "Novel design for low- RCS screens using a combination of Dual-AMC," Antennas and Propagation Society Intl. Symposium, APSURSI'09, 1-4, Jun. 1-5, 2009.
- [19] J. C. Iriarte, A. Tellechea, I. Maestrojuan, I. Liberal, A. Rebollo, I. Ederra and R. Gonzalo, "ChessBoard Structure Evolution for RCS Reduction," Proceedings of the 3rd International Conference on Metamaterials, Photonic Crystals and Plasmonics, META'12,.
- [20] L. Yousefi, B. Mohajer-Iravani, M. Ramahi, Omar, "Enhanced Bandwidth Artificial Magnetic Ground Plane for Low-Profile Antennas," Antennas and Wireless Propagation Letters, IEEE, vol.6, no., pp.289,292, 2007.
- Progress In Electromagnetics Research Letters, vol. 1, 129-138, 2008.
- [2] A. Hebeish, M. A. Elgamel, R. A. Abdelhady, and A. Abdelaziz, "Factors affecting the performance of the radar absorbant textile materials of different types and structures," Progress In Electromagnetics Research B, vol. 3, 219-226, 2008.
- [3] L. H. Hemming, "Electromagnetic Anechoic Chambers: A Fundamental Design and Specification Guide," IEEE Press, John Wiley Interscience, 2002.
- [4] E. F. Knott, J. F. Shaeffer, and M. T. Tuley, "Radar Cross Section," 2nd edition, 269-276, Artech House, 1993.
- [5] H. Oraizi, and A. Abdolali, "Combination of MLS, GA&CG for the reduction of RCS of multilayered cylindrical structures composed of dispersive metamaterials," Progress In Electromagnetics Research B, vol. 3, 227-253, 2008.
- [6] H.-Y. Chen, P. Zhou, L. Chen, and L. Deng, "Study on the properties of surface waves in coated ram layers and monostatic RCS performances of the coated slab," Progress In Electromagnetics Research M, vol. 11, 123-135, 2010.
- [7] W. W. Salisbury, "Absorbent Body for Electromagnetic Waves," U. S. Patent 2 599-944, Jun. 10, 1952.
- [8] R. L. Fante and M. T. McCormack, "Reflection properties of the Salisbury screen," IEEE Trans. Antennas Propag., vol. 36, no. 10, pp. 1443-1454, Oct. 1988.
- [9] N. Engheta, "Thin absorbing screens using metamaterial surfaces," in Proc. IEEE Antennas Propagation Societ Int. Symp., pp.392-395, 2002.
- [10] M. Paquay, J. C. Iriarte, I. Ederra, R. Gonzalo, and P. de Maagt, "Thin AMC structure for radar cross-section reduction," IEEE Transactions on Antennas and Propagation, vol. 55, No. 12, December 2007.
- [11] J. C. Iriarte, M. Paquay, I. Ederra, R. Gonzalo, and P. de Maagt, "RCS reduction in a chessboard-like structure using AMC cells," Proceedings EUCAP 2007, 1-4, Nov. 11-16, 2007.
- [12] S. Simms, and V. Fusco, "Chessboard reflector for RCS reduction," Electronic Letters., 44, (4), pp. 316-317, 2008.
- [13] J. C. Iriarte, I. Ederra, R. Gonzalo, and P. de Maagt, "Dual Band RCS Reduction Using Planar Technology by Combining AMC Structures," Proceedings EuCAP 2009.
- [14] J.C. Iriarte, J.L. Martinez de Falcon; I. Maestrojuan I. Liberal, A. Rebollo, I. Ederra, and R. Gonzalo, "Broadband RCS reduction using AMC technology," Proceedings of the 5th European Conference on Antennas and Propagation, 1322-1323, 11-15 April 2011.
- [15] M. E. de Cos, Y. Alvarez, and F. Las-Heras, "A novel approach for RCS reduction using a combination of artificial magnetic conductors," Progress In Electromagnetics Research, vol. 107, 147-159, 2010.

