

## RWG

\*

( // // // )

RWG

"RWG

پارامترهایی نظیر امپدانس متقابل، ضریب انعکاس و پارامترهای پراکندگی [S] استفاده می‌شود. در این مقاله یک روش جدید با استفاده از مدل دایپل برای المان‌های لبه RWG<sup>1</sup>، برای محاسبه امپدانس متقابل ارائه شده است.

اثرات تزویج عبارتند از:

- افزایش SLL<sup>2</sup>: سطح گلبرگ کناری افزایش می‌یابد.
- گردش ناخواسته پرتو اصلی: جهت ماکزیمم پرتو اصلی تغییر می‌کند. معمولاً این تغییر بستگی به محور آرایه دارد.
- می‌نیم‌های افزایش یافته یا جابجا شده؛ باید احتیاط کرد که مینیمم‌ها از حد نصاب مورد نیاز مسئله بالاتر نیایند.
- گلبرگ‌های اضافی<sup>3</sup>: این گلبرگ‌ها در اثر افزایش فاصله بین المان‌های آرایه پدید می‌آیند و سطحی برابر گلبرگ اصلی (جهت اصلی) دارند. لیکن اگر فاصله از نصف طول موج بیشتر نشود، معمولاً این گلبرگ‌ها ایجاد نمی‌شوند.
- عدم تطبیق امپدانس: به دلیل وجود القاء

تزویج یا القاء متقابل اثر الکترومغناطیسی است که هر جزء جریان روی جسم دیگر می‌گذارد. به عنوان مثال اگر یک سیم حامل جریانی هر چند اندک باشد، میدان‌های الکتریکی و مغناطیسی دور خود ایجاد می‌کند و روی هر جسم هادی که در نزدیکی آن باشد اثر می‌گذارد. این اثر به شکل بار القایی ساکن یا جریان الکتریکی القاء شده قابل اندازه‌گیری و نمایش است. طبیعی است که جریان القائی نیز به نوبه خود روی سیم اولیه اثر القائی دارد. البته این اثرات تا بی نهایت ادامه دارند لیکن در طراحی و مهندسی تنها اثرات مرتبه‌های نخستین که قابل ملاحظه تر هستند، در نظر گرفته می‌شود. در مسائل عادی این اثر آنقدر کم است که نیازی به محاسبه اثر جریان القائی روی سیم اولیه نیست. ولی این بدان معنا نیست که اثر اولیه نیز قابل صرف‌نظر کردن است. در آرایه‌های آنتن این پدیده به شدت تاثیر گذار است و سبب تغییر مشخصات آرایه می‌شود. تزویج متقابل بر پلاریزاسیون تداخلی بین سیگنال‌های دریافتی تاثیر می‌گذارد. این اثر به ویژه وقتی که فاصله بین المان‌ها کم می‌شود محسوس تر است. برای محاسبه یا اندازه‌گیری کوپلینگ متقابل بین المان‌های آرایه، معمولاً از

متقابل بین المان‌های آرایه، نه تنها دامنه جریان موجود روی هر المان تغییر می‌کند، بلکه شکل موج جریان نیز دستخوش تغییراتی می‌شود. این تغییرات موجب تغییر امپدانس ورودی دیده شده از سر هر المان از مقدار امپدانس تطبیق می‌گردد.

• (Scan Blindness) : در آرایه‌های فازی که به منظور گردش پرتو و اسکن کردن فضا ساخته شده‌اند ممکن است کوپلینگ باعث کور شدن برخی زوایا شود. یعنی پترن آرایه، با هر فاز دهی دلخواهی به المان‌ها، در آن زاویه دارای می‌نیم است که به اصطلاح به آن نقطه کور می‌گویند. در حقیقت تزویج متقابل سبب می‌شود امپدانس ورودی آرایه حین Scan تغییر کند و ضریب انعکاس تغذیه افزایش یابد. بدین ترتیب آرایه سیگنال را بطور کامل به درون شبکه تغذیه برگشت می‌دهد و در نتیجه سبب Scan Blindness می‌شود.

روش‌های مختلفی برای محاسبه اثر تزویج متقابل بر پارامترها و مشخصات تشعشعی آرایه‌های آنتن ارائه شده است که از میان آن‌ها می‌توان به مدل تحریک آزاد، روش پترن المان ایزوله و روش پترن المان فعال اشاره نمود [۱]. انواع مختلف روش پترن المان فعال در [۲] ارائه شده است. اثر تزویج متقابل برای یک آرایه محدود از پچ‌های مستطیلی شکاف دار کوپل شده در [۳] محاسبه شده است. اساس تحلیل در این بررسی استفاده از اصل هم‌ارزی و قضیه هم‌پاسخی است. در این روش شکاف‌های کوپل شده با چگالی‌های جریان مغناطیسی معادل جایگزین می‌گردند. به منظور اجتناب از مدلسازی توزیع جریان غیر یکنواخت روی خطوط تغذیه، ضرائب انعکاس ولتاژ روی خطوط تغذیه با استفاده از قضیه هم‌پاسخی، برای بیان ناپیوستگی شکاف‌ها به خطوط تغذیه محاسبه می‌شوند. معادلات انتگرالی برای چگالی‌های سطحی مجهول روی پچ‌ها و با اعمال شرایط مرزی بدست می‌آیند و با استفاده از روش ممان حوزه طیف حل می‌شوند. یک الگوریتم اتو کالیبراسیون برای جبران تزویج متقابل در آرایه‌های خطی و یکنواخت در [۴] ارائه شده است. این الگوریتم بطور همزمان ماتریس مجهول تزویج متقابل و DOA (Direction of Arrival) سیگنال‌های ورودی را محاسبه می‌کند. نتایج شبیه‌سازی ثابت می‌کند که خواص استاتیکی خوب الگوریتم‌های کلاسیک

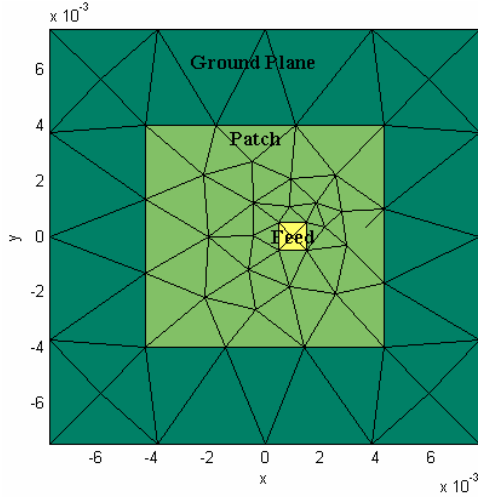
محاسبه DOA با رزولوشن بسیار بالا، می‌تواند به رغم حضور تزویج متقابل بازمایی شود. تئوری موجک و کاربرد آن در روش ممان، روش نوینی را در حل مسائل تزویج متقابل ارائه نمود [۵]. در این روش میدان‌های مجهول به صورت یک مجموع دوگانه از فرم‌های شیفت یافته و منبسط شده یک تابع پایه که موجک مادر نامیده می‌شود، بیان می‌گردند. پایه موجک می‌تواند با توزیع توابع محلی نزدیک ناپیوستگی‌ها به طور مناسب با انواع مقیاس‌های طولی متناظر با scatterer منطبق شود. در بخش اول این مقاله حل ممان معاله انتگرالی میدان الکتریکی مبتنی بر المان‌های لبه RWG برای تحلیل آنتن پچ میکرواستریپ مستطیلی، بیان و توزیع جریان سطحی روی سطح آنتن محاسبه می‌گردد. سپس با تقریب مدل دایبل بی نهایت کوچک برای المان‌های لبه، میدان الکتریکی تشعشعی پچ در هر نقطه از فضا محاسبه می‌شود. بخش دوم این مقاله به ارائه یک روش محاسبه پترن که در اینجا روش "پترن المان فعال مبتنی بر المان‌های لبه RWG" نامیده می‌شود و نیز نحوه محاسبه امپدانس متقابل بین المان‌های یک آرایه با در نظر گرفتن اثر تزویج متقابل و استخراج معادلات مربوط اختصاص داده شده است. در بخش سوم نتایج شبیه‌سازی (تلف برگشتی، امپدانس ورودی، نمودار تشعشعی) اعمال روش فوق به یک آرایه آنتن مسطح  $2 \times 2$  با استفاده از نرم افزار MATLAB و برای عملکرد در باند فرکانسی X نشان داده می‌شود. به منظور اطمینان از صحت روش ارائه شده، نتایج حاصل با نتایج شبیه‌سازی توسط نرم افزار FEKO مقایسه شده‌اند. همچنین به منظور تأیید نتایج شبیه‌سازی، نتایج ساخت یک نمونه ساخته و تست شده آرایه فوق در بخش چهارم ارائه می‌گردد. مقایسه نتایج ساخت و شبیه‌سازی نشان می‌دهد که روش ارائه شده در این مقاله برای محاسبه اثر تزویج متقابل از دقت مناسبی برخوردار است.

## RWG

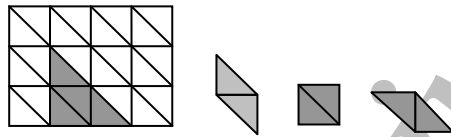
در این روش ابتدا سطح آنتن مورد نظر مطابق شکل (۱) به تعداد زیادی مثلث دلخواه تقسیم می‌شود. هر زوج مثلث دارای یک لبه مشترک تشکیل یک المان لبه RWG می‌دهند [۶]. در شکل (۲) سه المان لبه که

$$E(\mathbf{r}) = \sum_{m=1}^M E_m \left( \mathbf{r} - \frac{l}{2} (\mathbf{r}_m^{c+} - \mathbf{r}_m^{c-}) \right) \quad (3)$$

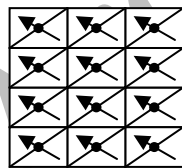
جائیکه  $r_m^{c+}$  و  $r_m^{c-}$  به ترتیب فاصله مراکز مثلث های تشکیل دهنده المان لبه تا مبدا مختصات می باشند.



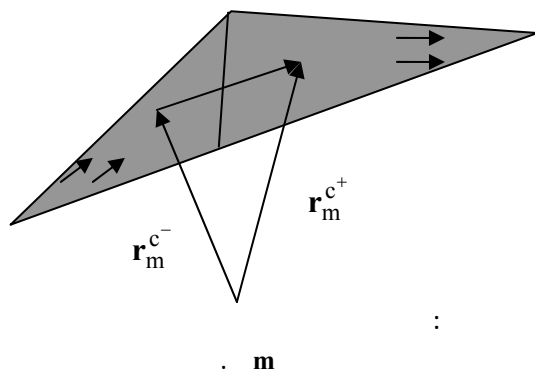
MATLAB Antenna toolbox, Sergey N. Makarov and Leo C. Kampel, update Feb. 2006.



( [1] )



RWG



در یک مثلث مشترکند، نشان داده شده است. برای یک ساختار معین تعداد المان های لبه از تعداد مثلث ها بیشتر است [۷]. با استفاده از یک مجموعه از توابع پایه خاص از نوع subdomain روی هر زوج مثلث مجاور (المان لبه) و حل معادله انتگرالی میدان الکتریکی [۲] معادله مومنت زیر حاصل می شود:

$$ZI = V \quad (1)$$

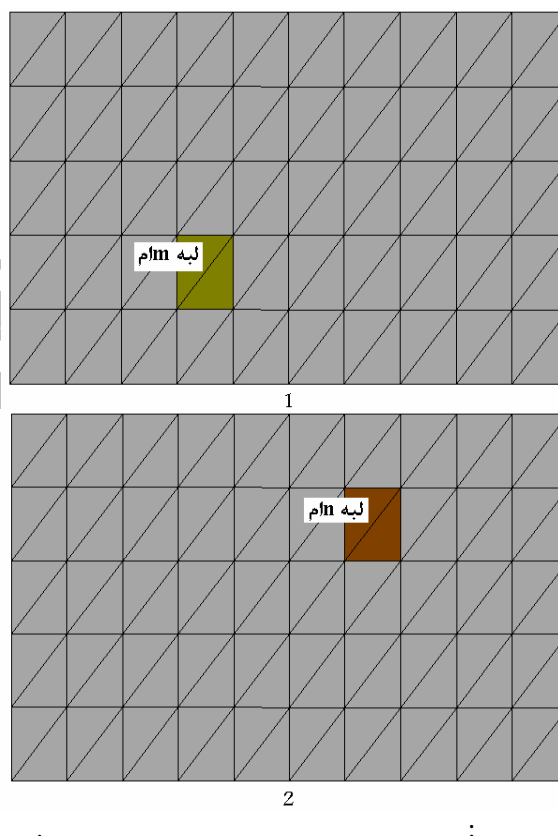
جائیکه  $Z = [Z_{mn}]$  یک ماتریس  $N \times N$  است و  $V = [V_m]$  و  $I = [I_m]$  به ترتیب بردارهای ستونی با طول  $N$  هستند. با حل معادله فوق می توان چگالی جریان سطحی آنتن را محاسبه نمود. به محض اینکه جریان های سطحی روی آنتن مشخص شدند، میدان الکتریکی تشعشع شده در فضای آزاد را می توان با استفاده از روش های مختلفی محاسبه نمود. امپدانس متقابل بین دو آنتن را می توان با استفاده از مدل دایپل [۸] برای المان های لبه RWG محاسبه نمود. در مدل دایپل توزیع جریان سطحی برای هر المان لبه RWG شامل دو مثلث، مطابق شکل (۳) با یک دایپل بی نهایت کوچک جایگزین می شود [۷]. عبارت میدان تشعشع شده توسط این دایپل های کوچک به طور تحلیلی در [۹] محاسبه شده است. میدان تشعشعی کل با استفاده از مجموع سهم این دایپل های کوچک حاصل می شود برای پیدا کردن گشتاور دایپل معادل، شکل (۴) را در نظر بگیرید. گشتاور دایپل  $m$  که حاصل ضرب جریان موثر دایپل در طول موثر دایپل است [۱۰]، با انتگرال گیری از جریان سطحی متناظر با المان  $m$  روی سطح المان بدست می آید:

$$I_m = \int_{T_m^+ + T_m^-} f_m(\mathbf{r}_m) ds = \int_{T_m^+ + T_m^-} I_m f_m(\mathbf{r}) ds = I_m I_m \quad (2)$$

در اینجا  $f_m(\mathbf{r})$  تابع پایه RWG متناظر با المان  $m$  و  $l_m$  طول موثر دایپل است. ضرایب جریان سطحی  $I_m$  از حل رابطه (۱) معلوم می شوند. نحوه محاسبه انتگرال رابطه (۲) در [۲] ارائه شده است. محدودیت عملی مدل دایپل اندازه المان لبه RWG است. اگر فاصله مشاهده هم ارز طول دایپل (طول المان لبه) باشد، در این صورت مدل دایپل از دقت کافی برخوردار نیست. میدان الکتریکی کل در نقطه  $\mathbf{r}$  با گرفتن مجموع روی تمام المان های لبه بدست می آید:

## RWG

در روش پترن المان فعال، پترن آرایه با تحریک تنها المان  $n$ م آرایه، به گونه‌ای که همه المان های دیگر به امپدانس بار  $Z_L$  ختم شده باشند، محاسبه می‌شود. پترن المان فعال ناشی از تشعشع مستقیم المان  $n$ م (مساله تشعشع) و میدان های تشعشع شده از دیگر المان ها (مساله پراکندگی) است، که توان خود را از طریق کوپلینگ فضایی المان  $n$ م بدست می‌آورند.



پترن کل آرایه از جمع آثار روی تمام عناصر آرایه حاصل می‌شود. در این صورت همه اثرات تزویج در پترن المان فعال که به هندسه آرایه و مشخصات المان بستگی دارد، در نظر گرفته می‌شود. شکل (۵) دو پچ مستطیلی مش بندی شده را که با فاصله کمتر از نصف طول موج از یکدیگر واقع شده اند نشان فرض می‌شود که پچ ۱ با ولتاژ متناظر تحریک شده و پچ ۲ به بار مناسب ختم شده است. طبق مدل دایپل ارائه شده در بخش ۱ می‌توان هر المان لبه را به صورت یک دایپل بسیار کوچک در نظر گرفت. توزیع جریان برای این دایپل ثابت فرض می‌شود. جریان این دایپل های بسیار کوچک از حل معادله ممان

(رابطه (۱)) حاصل می‌شود. لذا تزویج متقابل بین دو پچ را می‌توان جمع آثار تزویج متقابل بین تک تک دایپل های پچ ۱ با تک تک دایپل های پچ ۲ دانست. همانطور که پیشتر ذکر گردید، پترن المان فعال جمع آثار مساله تشعشع و مساله پراکندگی است. از این رو به کمک رابطه (۳) می‌توان پترن المان فعال را در هر نقطه از فضا محاسبه نمود:

$$E_p^a(\mathbf{r}) = E_p^r(\mathbf{r}_p) + \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq p}}^N E_j^s(\mathbf{r}_j) =$$

$$\sum_{m=1}^M E_{pm}(\mathbf{r}_p - \frac{1}{2}(\mathbf{r}_{pm}^+ - \mathbf{r}_{pm}^-)) +$$

$$\sum_{\substack{j=1 \\ j \neq p}}^N \sum_{m=1}^M E_{jm}(\mathbf{r}_j - \frac{1}{2}(\mathbf{r}_{jm}^+ - \mathbf{r}_{jm}^-))$$

(۴)

$j = 1, 2, 3, \dots, N$  مشخص کننده تعداد المان های آرایه و  $m = 1, 2, 3, \dots, M$  مشخص کننده تعداد دایپل ها (المان های لبه هر پچ) می‌باشد.  $E_p^r(\mathbf{r}_p)$  میدان تشعشع شده توسط المان  $p$ م آرایه است که توسط یک منبع ولتاژ تحریک می‌شود و  $E_j^s(\mathbf{r}_j)$  میدان تشعشع شده توسط المان  $j$ م آرایه است که به وسیله یک موج ورودی به آن تحریک می‌شود. پترن کل آرایه از جمع آثار پترن المان فعال تمام عناصر آرایه بدست می‌آید و با رابطه زیر بیان می‌شود:

$$E^t(\mathbf{r}) = \sum_{j=1}^N E_j^a =$$

$$\sum_{j=1}^N \sum_{m=1}^M E_{jm}(\mathbf{r}_j - \frac{1}{2}(\mathbf{r}_{jm}^+ + \mathbf{r}_{jm}^-)) +$$

$$(N-1) \sum_{j=1}^N \sum_{m=1}^M E_{jm}(\mathbf{r}_j - \frac{1}{2}(\mathbf{r}_{jm}^+ + \mathbf{r}_{jm}^-))$$

(۵)

در رابطه فوق فرض شده که تمام عناصر آرایه با ولتاژ های هم دامنه و هم فاز تحریک می‌شوند.

همانطور که پیشتر بیان گردید، آنتن ها وقتی در یک محیط آرایه قرار می‌گیرند به دلیل آنکه بخشی از توان تشعشع شده توسط المان های مجاور را دریافت می‌کنند به یکدیگر کوپل می‌شوند. این مساله موجب

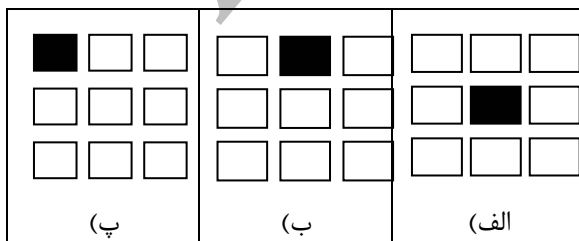
$$Z_{2l} = \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N Z_{mn} = -\frac{I}{I_n I_m^{-1/2}} \int \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N E_{mn}(\mathbf{r} - \frac{1}{2}(\mathbf{r}_m^{c^+} + \mathbf{r}_m^{c^-})) I_n dr \quad (8)$$

جائیکه  $E_{mn}(\mathbf{r})$  مولفه میدان الکتریکی تشعشع شده توسط دایبل بی نهایت کوچک  $m$  در محل دایبل بسیار کوچک  $n$  است و با رابطه (۴) داده شده است. ضرائب  $I_n$  توزیع جریان در امتداد دایبل ۲، از حل ممان معادله (۱) بدست می آیند. امپدانس متقابل بین المان لبه  $m$  ام آنتن ۱ و المان لبه  $n$  ام آنتن ۲، به صورت زیر بیان می شود:

$$Z_{2l} = \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N Z_{mn} = -\frac{|\mathbf{r}_m^{c^+} - \mathbf{r}_m^{c^-}|}{I_m} \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N E(\mathbf{r} - \frac{1}{2}(\mathbf{r}_m^{c^+} + \mathbf{r}_m^{c^-})) \quad (9)$$

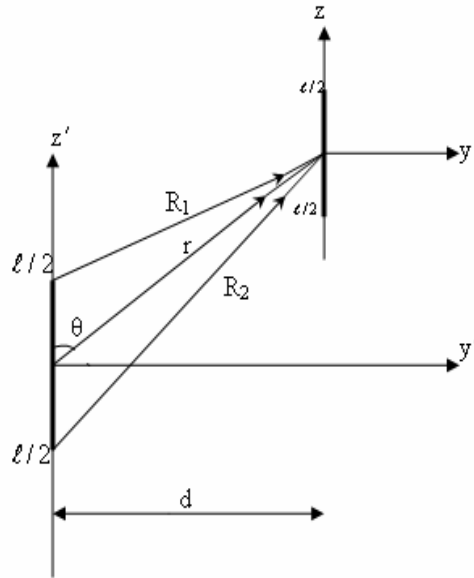
جائیکه  $\mathbf{r}_m^{c^+}$  و  $\mathbf{r}_m^{c^-}$  به ترتیب فاصله مرکز ثقل مثلث های تشکیل دهنده المان لبه تا مبدا مختصات می باشند. برای محاسبه امپدانس ورودی دیده شده توسط هر المان باید اثر امپدانس متقابل بین آن المان با تمام المان های دیگر را در نظر گرفت.

از آنجائیکه اثر المان های دورتر ضعیف است، لذا می توان با تقریب مناسبی تنها اثر المان های مجاور را در امپدانس متقابل در نظر گرفت. سه وضعیت مختلف توزیع مطابق شکل (۷) برای المان های آرایه اتفاق [ ] با در نظر گرفتن فرض های فوق و به کمک رابطه (۹) امپدانس ورودی هر المان آرایه با روابط مداری ساده قابل محاسبه است. امپدانس ورودی کل آرایه اتصال موازی امپدانس دیده شده از سر هر المان است.



:

می شود امپدانس ورودی دیده شده توسط هر المان به دلیل اثر تزویج متقابل تغییر کند. با انتخاب المان های با پهنای پرتو باریک تر می توان اثرات تزویج متقابل را کاهش داد. تزویج متقابل می تواند با ماتریس های امپدانس، ادمیتانس یا پراکندگی بیان شود [۵]. در این بخش نحوه محاسبه امپدانس متقابل با در نظر گرفتن اثر کوپلینگ توضیح داده شده است. شکل (۶) دو دایبل بسیار کوچک را در حالت کوپلینگ نشان می دهد.



ولتاژ مدار باز القاء شده در ترمینال های المان لبه  $m$  ام آنتن ۲ ناشی از تشعشع المان لبه  $n$  ام آنتن ۱ با رابطه زیر داده می شود [۸]:

$$V_{mn} = -\frac{I}{I_m^{-1/2}} \int E_{mn}(\mathbf{r}) I_n dr \quad (6)$$

جائیکه  $E_{mn}(\mathbf{r})$  با رابطه (۴) داده شده است. ضرائب  $I_n$  از حل رابطه (۱) بدست می آیند. عبارت امپدانس متقابل بین دو المان لبه  $m$  و  $n$  به صورت زیر بیان می شود:

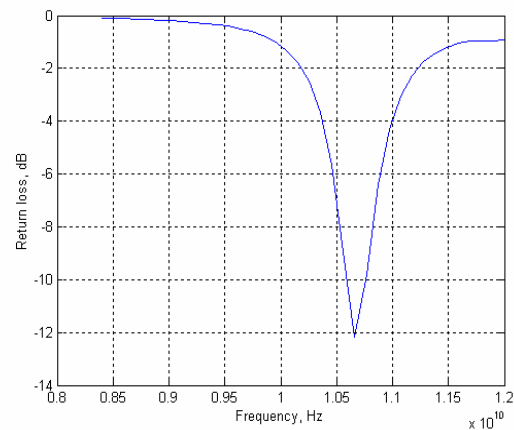
$$Z_{mn} = \frac{V_{mn}}{I_n} = -\frac{I}{I_n I_m^{-1/2}} \int E(\mathbf{r} - \frac{1}{2}(\mathbf{r}_m^{c^+} + \mathbf{r}_m^{c^-})) I_n dr \quad (7)$$

طبق قضیه جمع آثار، امپدانس متقابل بین دو آنتن ۱ و ۲ را می توان به صورت یک مجموع دوگانه از امپدانس های متقابل بین دایبل های بسیار کوچک بیان نمود:

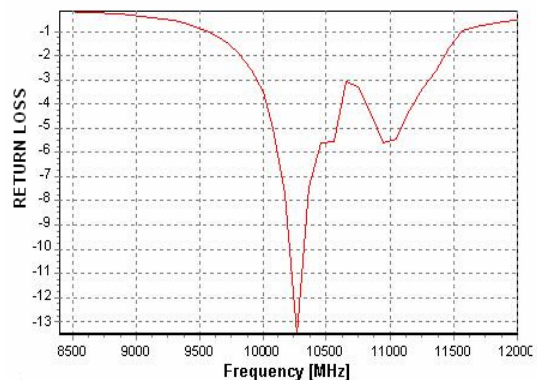
در این بخش ابتدا در زیر بخش اول یک آرایه

مسطح  $2 \times 2$  شامل پیچ های مستطیلی با استفاده از روش فوق و به کمک نرم افزار MATLAB بدون در نظر گرفتن اثر تزویج شبیه سازی گردیده و پارامتر های امپدانس ورودی، تلف برگشتی و پترن تشعشعی بدست آمده است. علاوه بر شبیه سازی توسط نرم افزار MATLAB، به منظور مقایسه نتایج، آرایه فوق با استفاده از نرم افزار FEKO نیز شبیه سازی شده است. این نتایج در زیر بخش دوم برای حالتی که در آن اثرات تزویج نیز در نظر گرفته شده استخراج شده اند. در زیر بخش سوم یک نمونه ساخته شده از آرایه فوق به صورت عملی تست شده و نتایج آن ارائه گردیده است.

در این بخش نتایج شبیه سازی بدون در نظر گرفتن اثر تزویج برای یک آرایه  $2 \times 2$  شامل پیچ های مستطیلی ارائه می شود. فرکانس کار برای آرایه فوق  $10 \text{ GHz}$  انتخاب شده است.



(الف)



(ب)

x  
: ( MATLAB ( . FEK

### • تلف برگشتی

در شکل (۸) نمودارهای تلف برگشتی برحسب فرکانس، که از شبیه سازی توسط نرم افزارهای FEKO و MATLAB برای آرایه موردنظر بدون در نظر گرفتن اثر تزویج بدست آمده اند، نشان داده شده است. ملاحظه می شود که مینیمم مقدار تلف برگشتی به ازای فرکانس رزونانس رخ می دهد. این مقادیر به ترتیب برای نمودارهای بدست آمده از شبیه سازی MATLAB و FEKO برابر  $-12 \text{ dB}$  و  $-14 \text{ dB}$  است. ملاحظه می شود که صرفنظر از اندکی جابجائی فرکانس، نتیجه حاصل از شبیه سازی MATLAB مبتنی بر روش مذکور، تقریباً با نتیجه بدست آمده توسط نرم افزار FEKO یکسان است.

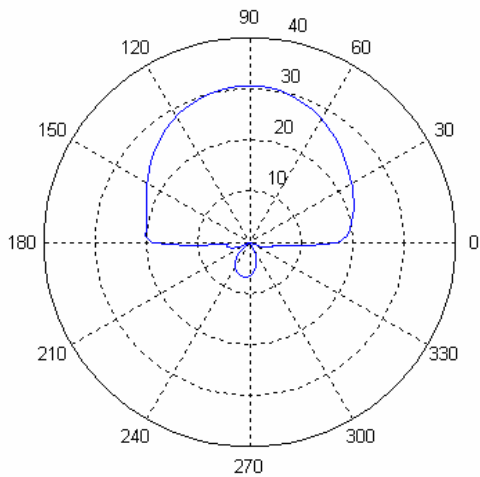
### • امپدانس ورودی

امپدانس ورودی این آرایه بدون در نظر گرفتن اثر تزویج در شکل (۹) نشان داده شده است. شکل (۹-الف) امپدانس ورودی بدست آمده از شبیه سازی به کمک نرم افزار MATLAB را نشان می دهد. ملاحظه می شود که به قیمت جابجائی فرکانسی ناشی از قرار گرفتن المان ها در محیط آرایه محدود، آرایه فوق همچنان برای کار در باند فرکانسی X مناسب است و تطبیق امپدانس به خوبی انجام شده است. در شکل (۹-ب) نتیجه حاصل از شبیه سازی به کمک نرم افزار FEKO نشان داده شده است. در این شکل، رزونانس آرایه در فرکانس  $10.13 \text{ GHz}$  رخ می دهد.

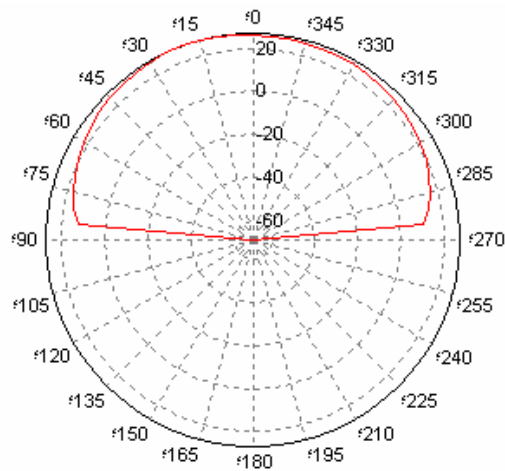
مقاومت ورودی در فرکانس رزونانس برابر  $80 \ \Omega$  است. با توجه به مقدار فوق برای مقاومت ورودی، مقدار VSWR جهت تطبیق با امپدانس مشخصه  $50 \ \Omega$  همچنان در محدوده قابل قبول کمتر از ۲ قرار دارد.

مقایسه نتایج فوق با نتایج حاصل از شبیه سازی توسط نرم افزار MATLAB، این حقیقت را بیان می دارد که اگرچه در نرم افزار FEKO جابجائی فرکانس رزونانس کمتر است، لیکن با استفاده از شبیه سازی به کمک نرم افزار MATLAB مبتنی بر روش مذکور، تطبیق امپدانس بهتری حاصل شده است.

در حقیقت بدون در نظر گرفتن اثر تزویج امپدانس ورودی کاهش می یابد. کاهش امپدانس ورودی نیز به نوبه خود سبب کاهش تلف برگشتی می شود.



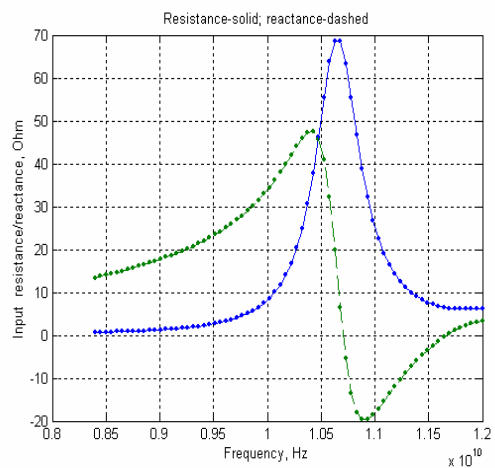
(الف)



(ب)

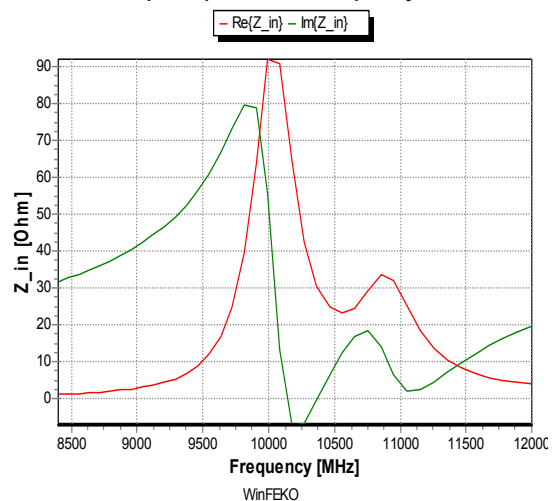
MATLAB

.FEKO



(الف)

Input Impedance vs Frequency



(ب)

MATLAB

.FEKO

در این زیر بخش نتایج شبیه سازی آرایه سطح  $2 \times 2$  شامل پیچ های مستطیلی با در نظر گرفتن اثر تزویج متقابل براساس مدل دایپل برای المان های لبه RWG ارائه شده است. از آنجائیکه روش استفاده شده در نرم افزار FEKO برای کاربر قابل تغییر نیست، لذا برای بررسی اثر تزویج با استفاده از این نرم افزار فاصله بین المان ها به اندازه کافی (بطوریکه اثر فاصله در محاسبه تزویج غالب نباشد) کاهش داده شده است.

#### • تلف برگشتی

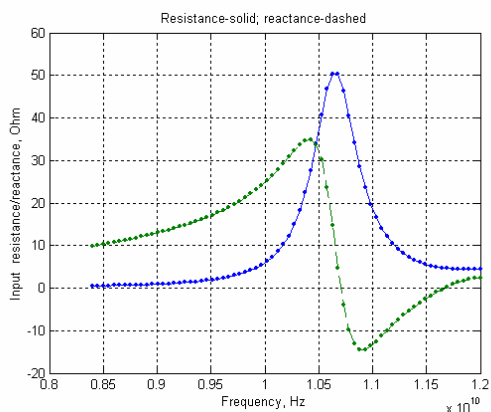
شکل (۱۱) نمودار تلف برگشتی بر حسب فرکانس، در حالتی که اثر تزویج در محاسبات در نظر گرفته شده

#### • پترن تشعشعی

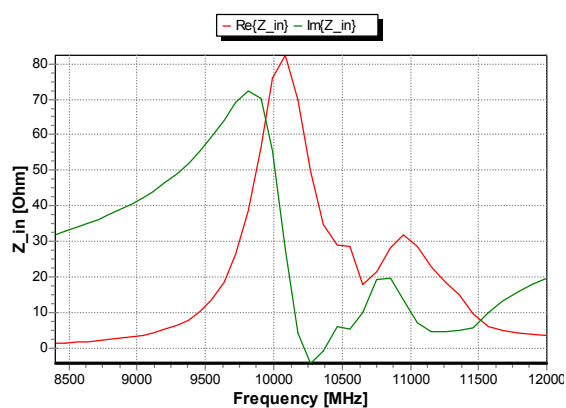
در شکل (۱۰-الف) نمودار سمت گرای برای آنتن مذکور با استفاده از نرم افزار MATLAB و برای نمایش بهتر با offset معادل 20dB ترسیم شده است. ماکسیمم مقدار سمت گرای برای آرایه فوق 11dB است. شکل (۱۰-ب) نتیجه حاصل از شبیه سازی FEKO را نشان می دهد. ملاحظه می گردد که ماکسیمم سمت گرای نیز در این حالت برابر 11dB است.

لذا می توان نتیجه گرفت که نتایج حاصل از شبیه سازی به کمک نرم افزارهای MATLAB و FEKO بسیار قابل مقایسه می باشند.

می شود.



(الف)



(ب)

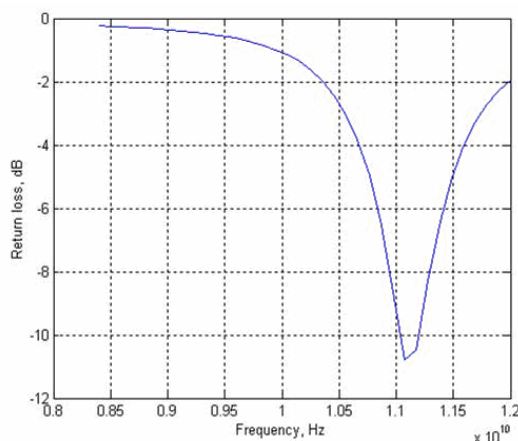
x  
(  
. FEKO ( MATLAB

### • پترن تشعشعی

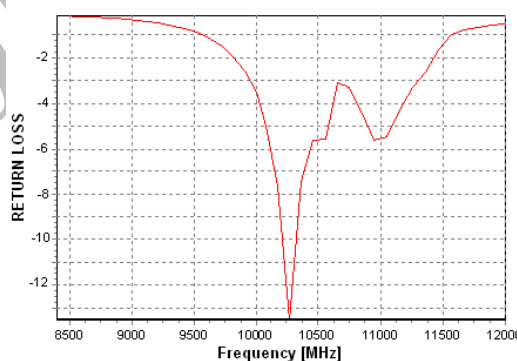
نمودار تشعشعی بدست آمده از شبیه سازی توسط نرم افزارهای MATLAB و FEKO در شکل (۱۳) نشان داده شده است. با مقایسه این نمودار با نمودار بدست آمده بدون در نظر گرفتن اثر تزویج، ملاحظه می شود که تزویج متقابل سبب افزایش سطح گلبیگ کناری و ایجاد گلبیگ های ناخواسته می گردد.

به منظور تعیین میران اعتبار نتایج شبیه سازی، در این بخش نتایج اندازه گیری مشخصات یک آرایه آنتن ۲x۲ نمونه شامل پیچ های مستطیلی برای عملکرد در باند فرکانسی X ارائه می شود. ابعاد هر پیچ مطابق با مقادیر بدست آمده در فصل دوم است. شکل (۱۴) پیکربندی

است، را نشان می دهد. در این نمودار که از شبیه سازی MATLAB بدست آمده مینیمم تلف برگشتی در فرکانس رزونانس رخ می دهد و مقدار آن برابر ۱۱dB- است. از مقایسه شکل های (۸) و (۱۱) روشن می شود که اثر تزویج سبب افزایش تلف برگشتی (تغییر شرایط تطبیق امپدانس) شده است.



(الف)



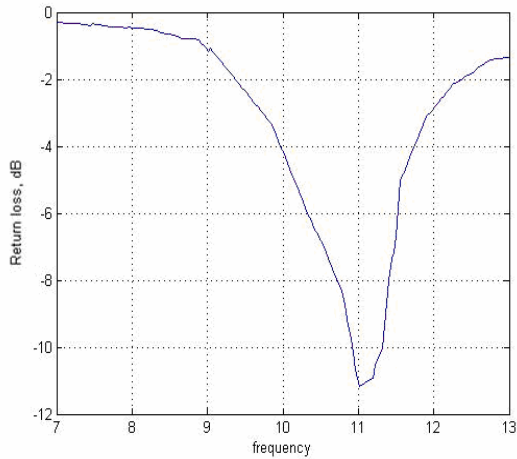
(ب)

x  
(  
. FEKO ( MATLAB

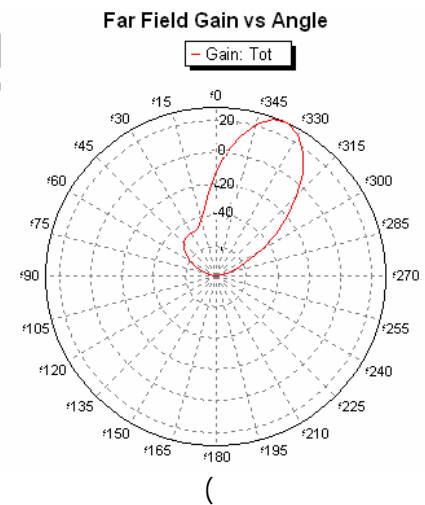
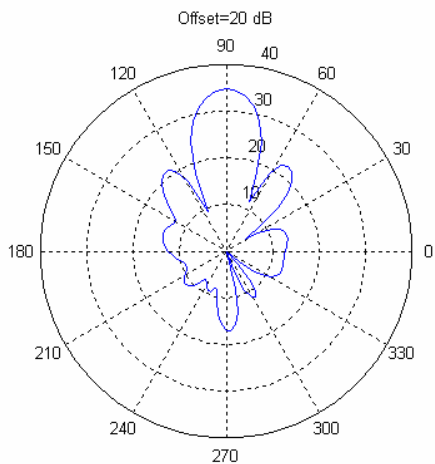
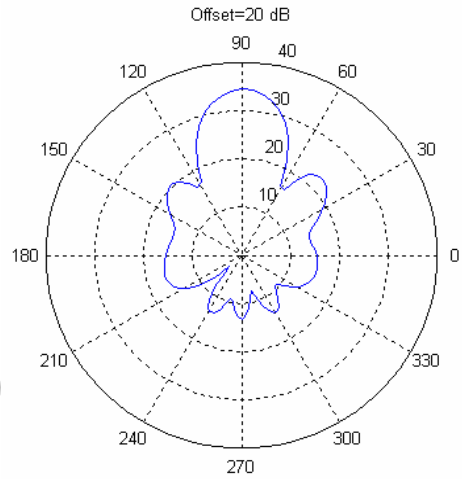
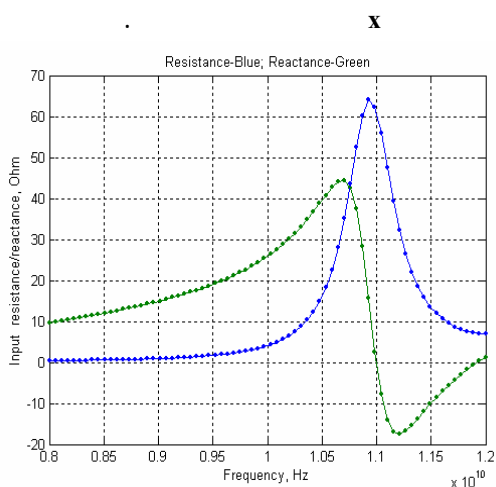
### • امپدانس ورودی

شکل (۱۲) امپدانس ورودی آرایه فوق را با در نظر گرفتن اثر تزویج متقابل بین المان ها بر اساس طرح تزویج ارائه شده در شکل (۷) نشان می دهد. در اینجا شبیه سازی تنها با استفاده از نرم افزار MATLAB انجام شده است. همانطور که از شکل مشاهده می شود، فرکانس رزونانس آرایه در ۱۱,۲GHz واقع شده است. با مقایسه این نمودار با نمودار شکل (۹) ملاحظه می شود که اثر تزویج بین المان ها سبب شیفت فرکانس رزونانس به مقدار بالاتر، افزایش پهنای باند و کاهش مقاومت اهمی





آرایه آنتن مذکور و شکل های (۱۵) تا (۱۷) به ترتیب نمودارهای تلف برگشتی، امپدانس ورودی و پترن تشعشعی اندازه گیری شده آرایه مذکور را نشان می دهند. همچنانکه در شکل (۱۵) ملاحظه می شود، تزویج متقابل سبب جابجائی فرکانس رزونانس به مقادیر بالاتر و افزایش تلف برگشتی شده است.



MATLAB  
. FEKO



یک آنتن پچ میکرواستریپ مستطیلی با استفاده از روش حل ممان معادله انتگرالی میدان الکتریکی بر اساس

ورودی و پترن تشعشعی برای آن در دو حالت با و بدون در نظر گرفتن اثر تزویج متقابل استخراج گردید. نتایج بدست آمده از نمودارها نشان داد که تزویج متقابل علاوه بر ایجاد گلبرگ‌های فرعی در نمودار تشعشعی و افزایش سطح گلبرگ کناری سبب افزایش عرض باند و نیز جابجائی فرکانس رزونانس به مقادیر بالاتر می‌گردد. به منظور تأیید نتایج شبیه‌سازی یک نمونه آرایه آنتن مذکور برای عملکرد در باند فرکانس X ساخته و تست گردید. تطابق نتایج شبیه‌سازی با نتایج اندازه‌گیری نشان داده که روش ارائه شده در این مقاله برای محاسبه تزویج متقابل از دقت مناسبی برخوردار است.

نویسندگان لازم می‌دانند از مرکز تحقیقات مخابرات ایران که از این مقاله حمایت مالی نموده است قدردانی نمایند.

توابع پایه RWG تحلیل و برای عملکرد در باند فرکانسی X طراحی و با استفاده از روش مذکور و توسط نرم افزار MATLAB شبیه‌سازی شد. به منظور اطمینان از صحت طراحی و روش تحلیل، نتایج حاصل از شبیه‌سازی توسط نرم افزار FEKO برای مقایسه ذکر گردید. پس از آن با مروری مختصر بر آرایه‌های میکرواستریپ، تزویج متقابل و اثرات آن بر پارامترهای مختلف آنتن به ویژه نمودار تشعشعی به تفصیل مورد بحث و بررسی قرار گرفت. یک روش محاسبه پترن که در این مقاله "روش پترن المان فعال مبتنی بر المان‌های لبه RWG" نامیده شد، بیان و روابط حاکم بر آن استخراج گردید. همچنین امپدانس متقابل به عنوان یک پارامتر مهم دیگر توصیف کننده رفتار تزویج متقابل، با استفاده از مدل المان‌های لبه RWG محاسبه شد. سپس با استفاده از روابط بدست آمده برای نمودار تشعشعی و امپدانس متقابل، یک آرایه آنتن 2x2 شامل پیچ‌های مستطیلی توسط نرم افزار MATLAB شبیه‌سازی و نتایج تلف‌برگشتی، امپدانس

- 1 - Stutzman, W. L. and Thiele, G. A. (1981). *Antenna Theory and Design*, John Wiley, New York.
- 2 - Kelley, D. F. and Stutzman, W. L. (1993). "Array antenna pattern modeling methods that include mutual coupling effects." *IEEE Trans. on Antennas and Propagation*, Vol. 41, No.12, PP.1625-1632.
- 3 - Pan, Sh.G. and Wolff, I. (1992). "Computation of mutual coupling between slot-coupled microstrip patches in a finite array." *IEEE Trans. on Antennas and Propagation*, Vol.40, No. 9, PP.1047-1053.
- 4 - Fabrizio Sellone, and Alberto Serra, (2007). "A novel online mutual coupling compensation algorithm for uniform and linear arrays." *IEEE Trans. on Signal Processing*, Vol. 55, No. 2, PP.560-573, No. 2.
- 5 - Steinberg, B. Z. and Leviatan, Y. (1993). "On the use of wavelet expansions in the method of moments." *IEEE Trans. on Antennas and Propagation*, Vol. 41, No. 5, PP.610-619.
- 6 - Rao, S. M., Wilton, D. R. and Glisson, A. W. (1982). "Electromagnetic scattering by surfaces of arbitrary shape." *IEEE Trans. on Antennas and Propagation*, Vol.30, PP.409-418.
- 7 - Sergey.N.Makarov, (2002). *Antenna and EM Modeling With Matlab*, John Wiley, Inc. New York.
- 8 - Balanis, C.A. (1970). *Antenna Theory: Analysis and Design*, 2<sup>nd</sup> ed, John Wiley, New York.
- 9 - James, J. R., Hall, P. S. and Wood, C. (1981). *Microstrip Antennas: Theory and Design*, Peter Peregrinus, London.
- 10 - Kraus, J. D. (1992). *Electromagnetics*, 4<sup>th</sup> ed, Mc Graw Hill, New York.
- 11 - Mailoux, R.J. (1994). *Phased Array Antenna Handbook*, Artech House, Boston, MA.