

## مقدمات استخراج الگوی تشعشی میدان دور یک آنتن با مدلسازی اندازه‌گیری میدان نزدیک صفحه‌ای

سمیرا سعیدی سرابی<sup>۱</sup>، علی خالقی<sup>۲</sup>

۱ کارشناسی ارشد برق مخابرات، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، samira\_saeedi@ee.kntu.ac.ir

۲ استادیار دانشکده برق و کامپیوتر، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

تاریخ دریافت: ۹۴/۷/۲۲ تاریخ پذیرش: ۹۵/۵/۲۶

### چکیده

اندازه‌گیری الگوی تشعشی میدان دور آنتن یکی از مسائل مهم در ساخت آنتن است. هدف از این پژوهش یافتن الگوی میدان دور آنتن با استفاده از شبیه‌سازی میدان نزدیک صفحه‌ای است. بررسی معیارهای مؤثر در این روش استخراج پترن میدان دور از دیگر موارد مورد توجه است. فاصله پروب تا آنتن تحت آزمایش و فاصله بین نمونه‌ها و ابعاد صفحه‌ای اندازه‌گیری از جمله معیارهای مؤثری است که بررسی شده‌اند تا اندازه‌گیری در فضایی کوچکتر، در مدت زمانی کمتر و با محاسبات ریاضی ساده‌تر مدلسازی شود. برای رسیدن به این اهداف شبیه‌سازی الگوی تشعشی یک آنتن بوقی باند  $X$  با استفاده از نرم‌افزار تمام موج اجرا شده است. میدان نزدیک این آنتن با استفاده از سه نوع پروب موجبری انتها باز مستطیلی، مربعی و دایروی مورد ارزیابی قرار گرفته است. در ادامه تبدیل میدان استخراجی نزدیک به میدان دور با استفاده از کد نرم‌افزاری اجرا می‌شود و با نتایج شبیه‌سازی مقایسه می‌گردد. در نهایت به بررسی تاثیر الگوی پروب بر الگوی آنتن تست شده پرداخته شده است و با پیشنهاد روشی برای تصحیح الگوی پروب، الگوی آنتن در رنج زاویه‌ای بیشتری بر الگوی میدان دوری نرم‌افزار تمام موج تطبیق می‌شود.

### کلیدواژه

اندازه‌گیری میدان نزدیک صفحه‌ای، معیارهای اندازه‌گیری میدان نزدیک صفحه‌ای، تصحیح پروب، پروب موجبری.

### مقدمه

میدان نزدیک صفحه‌ای در مقایسه با روش‌های دیگر از نظر محاسبات پیچیدگی کمتری دارد، ارزان‌تر است، با سرعت بیشتری انجام می‌شود و برای آنتن‌های با پترن جهتی مانند هورن‌ها، رفلکتورها مناسب است. از این رو از محبوب‌ترین روش‌های اندازه‌گیری میدان نزدیک به شمار می‌رود.

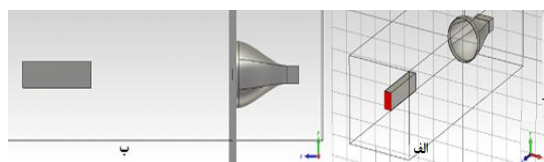
از نظر تئوری در اندازه‌گیری میدان نزدیک صفحه‌ای، برای بدست آوردن الگوی میدان دور از نمونه‌برداری میدان نزدیکی که به وسیله پروب انجام می‌شود، از اصل توزیع مودال<sup>۴</sup> [۱، ۳-۶] و یا از تئوری جریان‌های معادل هایگنس [۷] استفاده می‌شود. گام اول در اندازه‌گیری میدان نزدیک یافتن فاصله بین آنتن تحت آزمایش و پروب و گام دوم نمونه‌برداری کردن از میدان در فاصله‌ی مشخص شده از آنتن است [۵].

به منظور اینکه در اندازه‌گیری میدان نزدیک زمان کمتری صرف شود باید فاصله‌ی بین نمونه‌ها به گونه‌ای انتخاب شود که با تعداد نمونه‌های کمتر بتوان الگوی میدان دور AUT را تشخیص داد. در [۴] مقدار بیشینه‌ی فاصله‌ی بین نمونه‌ها با تکیه بر معادلات و فرض‌های اصل توزیع مودال محاسبه شده است. از طرفی در [۵]

اندازه‌گیری الگوی<sup>۱</sup> تشعشی میدان دور آنتن یکی از مسائل مهم و پرکاربرد و نیاز اساسی در صنایع مختلف کشور می‌باشد. اندازه‌گیری میدان نزدیک<sup>۲</sup> به صورت گسترده برای تشخیص الگوی تشعشی میدان دور استفاده می‌شود، این روش اندازه‌گیری الگوی آنتن را با روشی دقیق، کم هزینه و همچنین قابل اجرا برای آنتن‌های با ابعاد بزرگ در محیطی کنترل شده ممکن می‌سازد. در این تکنیک با اندازه‌گیری آنتن در میدان نزدیک و با بهره‌برداری از الگوریتم‌های تبدیل مناسب امکان تبدیل میدان نزدیک به میدان دور فراهم می‌شود. اندازه و فاز میدان الکتریکی مماسی که توسط آنتن تحت آزمایش<sup>۳</sup> (AUT) تشعشع می‌شود روی یک سطح مشخص در فواصل معین توسط آنتن پروب نمونه‌برداری می‌شود [۱]. در این روش پروب در ناحیه‌ی میدان نزدیک تشعشی AUT قرار می‌گیرد [۲]. اندازه‌گیری در این روش می‌تواند در فضای صفحه‌ای، استوانه‌ای و یا کروی صورت بگیرد. اندازه‌گیری

- 1 Pattern
- 2 Near-field
- 3 Antenna under test

4 Modal Expansion



شکل ۱. نمایی از شبیه‌سازی سیستم اندازه‌گیری میدان نزدیک صفحه‌ای (الف) نمای سه‌بعدی (ب) نمای کناری

سپس از بین این سه پروب، پروبی که به وسیله‌ی آن الگوی میدان دور بهتری بدست آمده به عنوان پروب مطلوب انتخاب شده و با آن معیارهای فاصله بین پروب و آنتن تحت آزمایش، فاصله‌ی بین نمونه‌ها و ابعاد صفحه‌ی اندازه‌گیری بررسی شده است. از طرفی الگوی پروب بر الگوی میدان دور آنتن تست مؤثر است با استفاده از معادلات حاکم بر پروب و آنتن تحت آزمایش، روشی برای تصحیح الگوی پروب‌های موجبری پیشنهاد شده و صحت آن با مدلسازی اندازه‌گیری میدان نزدیک بررسی شده است. لازم به ذکر است که در تمام مراحل از اصل توزیع مودال برای تبدیل نمونه‌های میدان نزدیک به مشخصات میدان دور استفاده شده است.

### بیان تئوری معیارهای اندازه‌گیری میدان نزدیک

در این بخش به بررسی دو معیار فاصله بین نمونه‌ها و فاصله‌ی پروب تا AUT با استفاده از روابط ریاضی اصل توزیع مودال پرداخته شده است. ابتدا به یافتن فاصله بین نمونه‌ها می‌پردازیم به طوری که محاسبات اندازه‌گیری میدان نزدیک برای یافتن الگوی میدان دور حداقل شود. اگر ابعاد پنجره‌ی اندازه‌گیری  $a \times b$  باشد و مؤلفه‌های میدان نزدیک  $E_{ya}(x', y', z') = 0$  و  $E_{xa}(x', y', z') = 0$  در فاصله‌ی  $z = z_0$  از AUT اندازه‌گیری شود طبق اصل توزیع مودال که در [۱] بیان شده تابع‌های طیفی موج صفحه‌ای و میدان‌های دور آنتن تحت آزمایش به کمک این توابع از روابط زیر بدست می‌آیند.

$$f_x(k_x, k_y) \approx \int_{-\frac{b}{2}}^{\frac{b}{2}} \int_{-\frac{a}{2}}^{\frac{a}{2}} E_{xa}(x', y', z' = 0) e^{j(k_x x' + k_y y')} dx' dy' \quad (۱)$$

$$f_y(k_x, k_y) \approx \int_{-\frac{b}{2}}^{\frac{b}{2}} \int_{-\frac{a}{2}}^{\frac{a}{2}} E_{ya}(x', y', z' = 0) e^{j(k_x x' + k_y y')} dx' dy' \quad (۲)$$

$$E_\theta(r, \theta, \varphi) \approx j \frac{ke^{-jkr}}{2\pi r} (f_x \cos\varphi + f_y \sin\varphi) \quad (۳)$$

$$E_\varphi(r, \theta, \varphi) \approx j \frac{ke^{-jkr}}{2\pi r} \cos\theta (-f_x \sin\varphi + f_y \cos\varphi) \quad (۴)$$

$$\vec{E}(r, \theta, \varphi) \approx j \frac{ke^{-jkr}}{2\pi r} f(k_x, k_y) \quad (۵)$$

بر اساس رابطه‌های (۱) و (۲) تابع‌های  $f_x(k_x, k_y)$  و  $f_y(k_x, k_y)$  تبدیل فوریه‌ی میدان‌های نزدیک AUT هستند. بر اساس آنچه در [۵] آمده داریم:

$$k_z = \begin{cases} (k_0^2 - k_x^2 - k_y^2)^{1/2}, & k_x^2 + k_y^2 < k_0^2 \\ -j(k_x^2 + k_y^2 - k_0^2)^{1/2}, & \text{در غیر این صورت} \end{cases} \quad (۶)$$

با توجه به رابطه‌ی (۶) موهومی بودن  $k_z$  به معنای این است که موج ناپایدار و محوشونده است و بیان‌کننده‌ی قدرت انفعالی میدان

این موضوع که پروب در چه فاصله‌ای از آنتن تحت آزمایش باید قرار گیرد بررسی شده است. لازم به ذکر است اینکه فاصله بین پروب و AUT چقدر باشد در مرجع‌های مختلف به صورت بازه‌ای بین  $3\lambda - 10\lambda$  [۷] یا  $2\lambda - 10\lambda$  [۱] بیان شده است و با توجه به ابعاد آنتن تحت آزمایش متفاوت است. ریچموند و تاپس در [۸] به اندازه‌گیری میدان نزدیک صفحه‌ای یک آنتن بوقی باند X پرداخته‌اند. در این مقاله الگوی بدست آمده از طریق اندازه‌گیری میدان نزدیک تا  $24^\circ$  درجه الگوی میدان دور را به درستی دنبال می‌کند. در [۹] اندازه‌گیری میدان نزدیک بررسی شده است که نتایج تنها تا  $15^\circ$  درجه با پترن میدان دور تطابق دارد. یا اینکه در [۶] الگوی میدان دور یک آنتن رادیولینک و یک آنتن بوقی با روش اندازه‌گیری میدان نزدیک و با استفاده از یک پروب موجبری بدست آمده است. از مقایسه پترن بدست آمده با روش اندازه‌گیری میدان نزدیک و میدان دور مشخص است که اندازه‌گیری میدان نزدیک برای آنتن بوقی تا  $50^\circ$  درجه پترن درستی بدست می‌دهد و برای آنتن رادیولینک تا  $20^\circ$  درجه. این مقاله به دنبال این است که با بررسی معیارهای مؤثر در اندازه‌گیری میدان نزدیک و همچنین با نوشتن کد متلب مناسب برای تبدیل میدان نزدیک به میدان دور پترن حاصل از شبیه‌سازی اندازه‌گیری میدان نزدیک آنتن بوقی در رنج زاویه‌ای بالاتری با پترن میدان دور تطابق داشته باشد.

همانطور که گفته شد در اندازه‌گیری میدان نزدیک صفحه‌ای، معیارهای مهمی باید رعایت شوند اول فاصله بین پروب و آنتن تحت آزمایش دوم فاصله‌ی بین نمونه‌ها و در نهایت ابعاد صفحه‌ی آزمایش. هدف از این پژوهش مدلسازی اندازه‌گیری میدان نزدیک صفحه‌ای به منظور یافتن الگوی تشعشی میدان دور یک آنتن، در فضای کمتر و در زمانی کمتر است. برای رسیدن به این هدف اندازه‌گیری میدان نزدیک صفحه‌ای یک آنتن بوقی باند X به وسیله‌ی برنامه حل تمام موج الکترومغناطیس CST MICROWAVE STUDIO شبیه‌سازی شده است. ابتدا با سه پروب موجبری انتها باز در باند X با اشکال هندسی متفاوت اندازه‌گیری میدان نزدیک مدلسازی شده است. با حرکت پروب روی سطح صفحه‌ای به موازات آنتن تحت آزمایش، کوپلاژ متقابل بین پروب و AUT ( $S_{21}$ ) با در نظر گرفتن AUT به عنوان آنتن فرستنده استخراج شده است. با استفاده از این داده‌ها و کد متلب که برای تبدیل میدان نزدیک به میدان دور نوشته‌ایم، مشخصات میدان دور آنتن تحت آزمایش محاسبه می‌شود. نمایی از شبیه‌سازی سیستم اندازه‌گیری را در شکل ۱ مشاهده می‌کنید.

تحت آزمایش و  $\sigma$  سطح مقطع راداری<sup>۵</sup> پروب است بنابراین می‌توان فاصله‌ی مناسب بین پروب و AUT را بدست آورد.

### پایه‌سازی اندازه‌گیری میدان نزدیک صفحه‌ای با هدف بررسی معیارها

در بخش قبل به بیان تئوری عوامل مؤثر در اندازه‌گیری میدان نزدیک پرداختیم در این بخش با پایه‌سازی اندازه‌گیری میدان نزدیک صفحه‌ای در باند X به بررسی عملی این عوامل می‌پردازیم. در این مرحله کویلاژ متقابل بین AUT و پروب را در نقاط مختلف روی سطح با استفاده از CST اندازه‌گیری کرده سپس به کمک کد تبدیل میدان نزدیک به الگوی میدان دور، مشخصات میدان دور AUT را بدست می‌آوریم. برای این منظور آنتن تحت آزمایش را یک آنتن بوقی دایروی باند X در نظر گرفته، با انتخاب چند پروب موجبری باند X، پروب بهتر را گزینش می‌کنیم. سپس معیار فاصله پروب و AUT و فاصله‌ی بین نمونه‌ها را به وسیله‌ی پروب بهتر بررسی می‌کنیم.

### مدلسازی اندازه‌گیری با سه پروب موجبری مختلف

الگو و شکل هندسی پروب بر روی الگوی میدان دور بدست آمده از اندازه‌گیری میدان نزدیک اثر می‌گذارد، برای بررسی این موضوع با سه پروب موجبری انتها باز (OEWG)<sup>۶</sup> مختلف اندازه‌گیری میدان نزدیک را پایه‌سازی کردیم. این سه پروب عبارت‌اند از: پروب موجبری مستطیلی، مربعی و دایروی. ابعاد این پروب‌ها را به گونه‌ای انتخاب کردیم که برای اندازه‌گیری در باند X مناسب باشند. فرکانس قطع هر سه پروب تقریباً با هم برابر است. در جدول ۱ مشخصات این پروب‌ها دسته‌بندی شده است.

جدول ۱. مشخصات پروب‌های OEWG با اشکال هندسی مختلف

نوع موجبر	ابعاد دهانه (اینچ)	طول (اینچ)	مساحت (اینچ مربع)	فرکانس قطع (GHz)
مستطیلی	۱.۰۷×۰.۵۸	۲.۸	۰.۶۲	۶.۴۵
مربعی	۰.۹۴×۰.۹۴	۳.۱	۰.۸۸	۷.۵
دایروی	با شعاع ۰.۵۶	۳.۱	۰.۹۸	۷.۲۷

مدلسازی اندازه‌گیری میدان نزدیک صفحه‌ای روی پنجره‌ای به ابعاد  $16\lambda \times 16\lambda$  در فاصله‌ی  $3\lambda$  از AUT انجام شده است، فاصله‌ی نمونه‌ها از یکدیگر  $0.3\lambda$  است ( $\lambda=1.1811$  inch). الگوی میدان دور صفحه‌ی E واقعی آنتن تحت آزمایش و الگوی میدان دور صفحه‌ی E بدست آمده از مدلسازی اندازه‌گیری میدان نزدیک به

نزدیک است. یکی از فرض‌های اساسی در بدست آوردن الگوی میدان دور از اندازه‌گیری میدان نزدیک صفحه‌ای این است که در خارج از صفحه‌ی اندازه‌گیری  $f(k_x, k_y) \approx 0$  است [۱] و یا به عبارتی  $k_z$  موهومی است، موهومی بودن  $k_z$  زمانی رخ می‌دهد که  $k_x^2 + k_y^2 \geq k_0^2$  اولین انتخابی که برای  $k_x$  و  $k_y$  داریم  $k_{x0} = k_{y0} = k_0$  است که  $k_{x0}$  و  $k_{y0}$  مقادیر بیشینه  $k_x$  و  $k_y$  هستند از طرفی برای فاصله بین نمونه‌ها در راستای x و y براساس [۱] داریم:

$$\Delta x = \frac{\pi}{k_{x0}} \quad (7)$$

$$\Delta y = \frac{\pi}{k_{y0}} \quad (8)$$

بنابراین  $\Delta y = \Delta x = \frac{\lambda}{2}$  خواهد بود و یا به عبارتی فاصله بین نمونه‌ها در راستای x و y باید کمتر از نصف طول موج باشد [۱]. حال به یافتن فاصله بین پروب و AUT می‌پردازیم. بررسی‌های دقیق نشان داده است که تابع‌های طیفی موج صفحه‌ای محوشونده برای آنتن‌های واقعی خیلی کوچک است بنابراین می‌توان عملاً در یک فاصله یک برابر طول موج یا بیشتر از صفحه‌ی S آن را نادیده گرفت. هرچه روزنه‌ی آنتن بزرگتر شود محوشوندگی تابع‌های طیفی موج صفحه‌ای کمتر می‌شود [۵]. بنابراین در عمل برای انتخاب مکان قرارگرفتن صفحه‌ی پویس باید به عوامل دیگری توجه نمود از جمله این عوامل عبارت‌اند از:

- ✓ حداقل کردن کوپلینگ بین AUT و پروب
  - ✓ اطمینان از اینکه میدان روی سطح  $S'$  به اندازه‌ی کافی فضای محدود و خوش‌رفتار باشد که آمادگی نمونه‌برداری واقعی و ظرفیت پردازش روی سیستم اندازه‌گیری را داشته باشد.
- معمولاً کاری که برای حداقل کردن کوپلینگ بین پروب و AUT انجام می‌دهند این است که فاصله بین این دو را بزرگ انتخاب می‌کنند بنابراین VSWR پروب، تأثیری روی AUT نخواهد داشت. از آنجایی که پروب‌ها بهره‌ی متوسطی بین 8dB-15dB دارند انتخاب معمولی که برای این فاصله وجود دارد  $6\lambda - 12\lambda$  است [۵]، اما این فاصله برای پایه‌سازی اندازه‌گیری میدان نزدیک زیاد است و تلاش می‌شود که اندازه‌گیری میدان نزدیک در فاصله‌ی کمتری انجام شود. می‌دانیم که معادله‌ی رادار در فاصله‌ی میدان دور معتبر است اما با تقریب خوبی در فاصله‌ی میدان نزدیک نیز می‌توان از آن استفاده کرد و داریم:

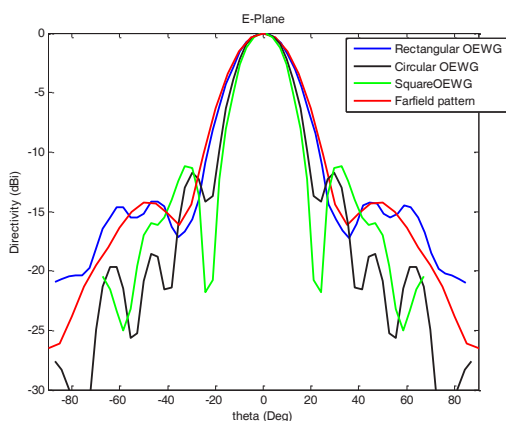
$$P_r = \frac{\lambda^2 P_t G_{AUT}^2 \sigma}{(4\pi)^3 Z^4} \quad (9)$$

در رابطه‌ی (۹) با فرض اینکه AUT فرستنده و پروب گیرنده باشد  $P_t$  و  $P_r$  قدرت گیرندگی و فرستندگی AUT و  $G_{AUT}$  بهره‌ی آنتن

بوقی دایروی، از فاصله  $\lambda$  تا  $5.7\lambda$  از آن است. بنابراین فاصله‌ی  $3\lambda$  تا  $5.7\lambda$  به عنوان ناحیه‌ای که برای این آنتن بوقی می‌توان اندازه‌گیری میدان نزدیک را مدلسازی کرد در نظر گرفته می‌شود. ابتدای بازه‌ی اندازه‌گیری تقریباً  $2.5\lambda$  برابر فاصله‌ی بدست آمده از رابطه‌ی (۹) در نظر گرفته شده است تا بتوان از بازتاب‌های چندگانه و کوپلاژ بین پروب و AUT چشم‌پوشی کرد.

برای بررسی تاثیر فاصله‌ی پروب و آنتن تحت آزمایش در اندازه‌گیری میدان نزدیک، ابتدا پروب را در فاصله‌ی  $3\lambda$  از آنتن تحت آزمایش قرار داده شبیه‌سازی انجام می‌دهیم، سپس فاصله‌ی پروب تا آنتن را به  $4\lambda$  تغییر داده شبیه‌سازی را تکرار می‌کنیم. لازم به ذکر است که در این مرحله پروب روی یک سطح مربعی با ابعاد  $16\lambda \times 16\lambda$  نمونه‌برداری می‌کند.

در شکل ۳ نتایج مربوط به تاثیر فاصله بین پروب و AUT را مشاهده می‌کنید. همانطور که مشخص است اندازه‌گیری در فاصله  $3\lambda$  با اندازه‌گیری در فاصله  $4\lambda$  تفاوت زیادی ندارد. در اغلب اندازه‌گیری‌های انجام شده فاصله بین پروب و AUT را حداکثر قرار می‌دهند تا با اطمینان از کوپلینگ بین پروب و AUT صرفنظر کنند [۵] بنابراین بیان، از آنجایی که تا فاصله  $5.7\lambda$  از روزنه‌ی آنتن بوقی دایروی موردنظر، ناحیه‌ی میدان نزدیک تشعشی است باید فاصله پروب تا AUT را حداکثر برابر با  $5.7\lambda$  در نظر گرفت، اما با این شبیه‌سازی این نتیجه بدست می‌آید که می‌توان از کوپلاژ بین پروب و آنتن در فاصله  $3\lambda$  هم چشم‌پوشی کرد و اندازه‌گیری را در فاصله نزدیکتری از آنتن اجرا نمود.

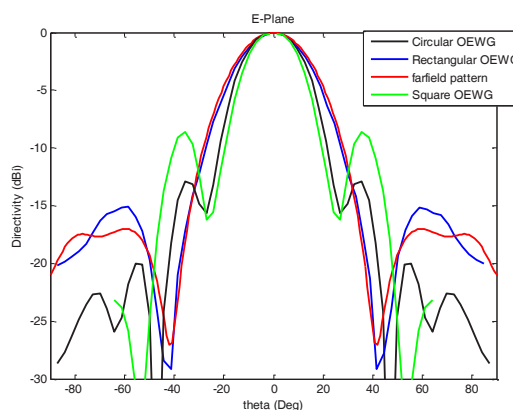


شکل ۳: مقایسه‌ی الگوی میدان دور بدست آمده از مدلسازی اندازه‌گیری با سه نوع پروب مختلف OEWG در فرکانس ۱۲GHz

### بررسی تاثیر فاصله بین نمونه‌ها

برای بررسی اینکه تغییر فاصله‌ی بین نمونه‌ها چه تاثیری روی اندازه‌گیری میدان نزدیک و تبدیل آن به الگوی میدان دور دارد فاصله‌ی بین نمونه‌ها را بین  $\lambda - 0.3\lambda$  تغییر داده شبیه‌سازی انجام شده است. با توجه به شکل ۴ فاصله بین نمونه‌ها تاثیر چشمگیری بر الگوی میدان دور AUT دارد تا آنجا که تاثیر آن از سایر

وسيله‌ی این سه پروب را در فرکانس 10GHz در شکل ۱ مشاهده می‌کنید.



شکل ۲: مقایسه‌ی الگوی میدان دور بدست آمده از مدلسازی اندازه‌گیری با سه نوع پروب مختلف OEWG در فرکانس ۱۰GHz

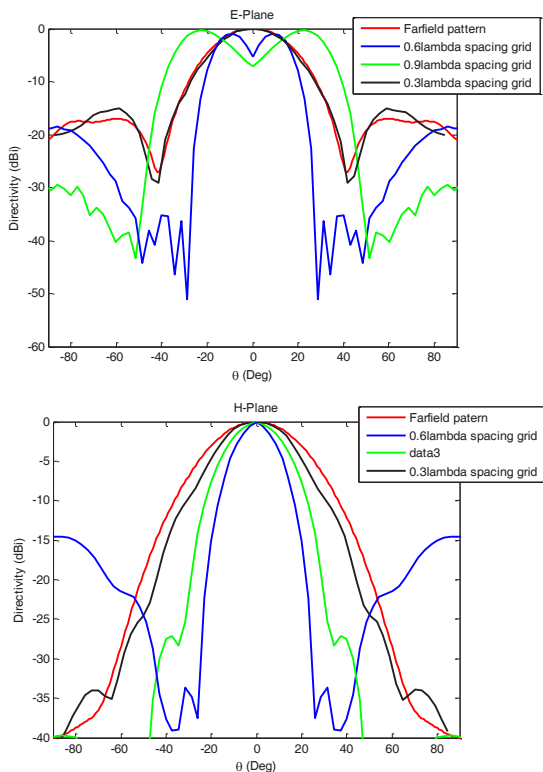
همانطور که در شکل ۱ و شکل ۲ مشخص است الگوی بدست آمده از اندازه‌گیری با پروب مستطیلی به الگوی میدان دور واقعی نزدیک‌تر است همانطور که در شکل ۳ مشخص است الگوی میدان دور بدست آمده در اثر اندازه‌گیری با پروب مربعی (الگوی سبز رنگ) و پروب دایروی (الگوی قهوه‌ای رنگ) حتی در لوب اصلی اختلاف فراوانی با الگوی میدان دور دارد. دو دلیل برای متفاوت بودن الگوهای بدست آمده از این سه پروب می‌توان بیان کرد. اول اینکه هرچه مساحت پروب کمتر باشد اندازه‌گیری انجام شده دقیق‌تر خواهد بود [۸]، با توجه به جدول ۱ در آزمایش انجام شده پروب مستطیلی کمترین مساحت را دارد، بنابراین نتیجه‌ی اندازه‌گیری با این پروب باید بهتر از دو پروب دیگر باشد. از طرفی دیگر الگوی پروب دایروی و مربعی در صفحه‌ی E دایرکتیو‌تر از پروب مستطیلی است هرچه الگوی پروب همه‌جهتی‌تر<sup>۷</sup> و با دایرکتیویتی کمتر باشد برای اندازه‌گیری مناسب‌تر است. با توجه به دو دلیل فوق در بخش‌های بعدی برای بررسی‌ها از پروب مستطیلی استفاده می‌کنیم.

### بررسی تغییر فاصله‌ی پروب و AUT

در اندازه‌گیری شبیه‌سازی شده  $G_{AUT} = 25.5$ ،  $RCS$  پروب  $4.7inch^2$  و طول موج  $1.1811inch$  است، قدرت فرستندگی و گیرندگی آنتن تحت آزمایش را برابر فرض کرده و با جاگذاری مقادیر بالا در رابطه‌ی (۹) فاصله پروب و آنتن تحت آزمایش  $1.2\lambda$  بدست می‌آید. از طرفی اندازه‌گیری میدان نزدیک در ناحیه‌ی میدان نزدیک تشعشی آنتن تحت آزمایش انجام می‌شود، این ناحیه از فاصله‌ی  $\lambda$  تا  $2D^2/\lambda$  از آنتن است. بزرگترین بعد آنتن تست  $2inch$  است بنابراین فاصله‌ی میدان نزدیک تشعشی آنتن

7Omni Directional

داده می‌شود، اندازه‌ی ابعاد صفحه‌ی که پروب روی آن نمونه‌برداری می‌کند را  $16\lambda \times 16\lambda$  قرار داده سپس ابعاد صفحه را به نصف کاهش داده و روی یک سطح مربعی به ابعاد  $8\lambda \times 8\lambda$  نمونه‌برداری مجدداً انجام می‌شود، فاصله بین نمونه‌ها برابر با  $0.3\lambda$  است. در شکل ۵ اندازه‌ی کوپلاژ بین پروب و AUT را برای دو صفحه با ابعاد مختلف می‌بینید.

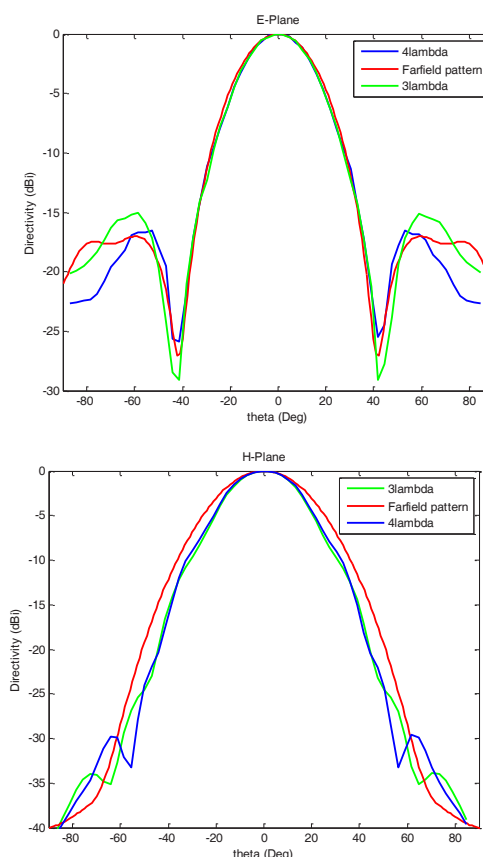


شکل ۵ بررسی تاثیر فاصله بین نمونه‌ها بر الگوی میدان دور صفحه‌های E و H آنتن تست در فرکانس 10GHz

همانطور که در شکل ۵-ب می‌بینید مقدار  $S_{21}$  در لبه‌های صفحه با ابعاد  $16\lambda \times 16\lambda$  حدوداً 45dB کمتر از مرکز صفحه است، اما در شکل ۵-الف مقدار  $S_{21}$  در لبه‌های صفحه با ابعاد  $8\lambda \times 8\lambda$  حدوداً 30dB کمتر از مرکز صفحه است. در شکل ۶ الگوی میدان دور بدست آمده از مدلسازی میدان نزدیک با شبیه‌سازی روی دو صفحه با ابعاد ذکر شده مشاهده می‌کنید.

با توجه به شکل ۶ کوچک کردن ابعاد صفحه‌ی اندازه‌گیری در صفحه‌ی E سبب شده است که الگوی بدست آمده از مدلسازی اندازه‌گیری میدان نزدیک در رنج زاویه‌ای کمتری الگوی میدان دور واقعی را دنبال کند. با نمونه‌برداری روی صفحه با ابعاد بزرگتر الگوی میدان دور بدست آمده از مدلسازی میدان نزدیک در رنج زاویه‌ای 60- تا 60 درجه بر الگوی میدان دور واقعی AUT منطبق است و در خارج از این رنج زاویه‌ای هم تغییرات الگو را دنبال می‌کند حال اینکه با نصف کردن ابعاد صفحه، رنج زاویه‌ای که الگوی مدلسازی شده بر الگوی میدان دور واقعی منطبق است، در

پارامترهایی که تاکنون بررسی شد بیشتر است، طبق آنچه بیان شد برای اینکه در خارج از صفحه‌ی اندازه‌گیری طیف موج صفحه‌ای صفر باشد باید فاصله بین نمونه‌ها کمتر از نصف طول موج شود، با توجه به شکل ۴ وقتی فاصله بین نمونه‌ها از  $\lambda/2$  بیشتر می‌شود اندازه‌گیری میدان نزدیک نامعتبر است و حتی روی گلبرگ اصلی هم پاسخ مناسبی بدست نمی‌آید. برای داشتن یک پاسخ مطلوب در اندازه‌گیری میدان نزدیک با توجه به شبیه‌سازی انجام شده و همچنین مطالب بیان شده باید فاصله بین نمونه‌ها کمتر از  $\lambda/2$  باشد.



شکل ۴ بررسی تغییر فاصله‌ی بین پروب و AUT بر الگوی میدان دور صفحه‌های E و H آنتن تحت آزمایش در فرکانس 10GHz

### بررسی تاثیر ابعاد صفحه‌ی اندازه‌گیری

در اندازه‌گیری میدان نزدیک صفحه‌ای پروب روی صفحه‌ای موازی با AUT تا آنجایی نمونه‌برداری می‌کند که مقدار  $S_{21}$  بین پروب و AUT در لبه‌های صفحه‌ی اندازه‌گیری 45dB پایین‌تر از مقدار بیشینه‌ی  $S_{21}$  باشد [۱ و ۶]، کاهش ابعاد صفحه‌ی اندازه‌گیری بدون آنکه در نتایج اندازه‌گیری اختلالی پیش آید به صرفه‌جویی در زمان کمک می‌کند. برای بررسی این موضوع که اندازه‌ی پنجره‌ی اندازه‌گیری چه تاثیری بر الگوی میدان دور و پارامترهای دیگر آنتن دارد پروب در فاصله‌ی  $3\lambda$  از آنتن تحت آزمایش قرار

صفحه‌ای E به -50 تا 50 درجه کاهش میابد. در صفحه‌ی H کوچک کردن ابعاد صفحه‌ی اندازه‌گیری تاثیر زیادی بر الگوی میدان دور نداشته است و آن هم به دلیل الگوی جهتی<sup>۸</sup> تر آنتن بوقی تحت آزمایش در صفحه‌ی H است.

$$E_{CoU} = [E_{Co} \times E_{PCo1} + E_C \times E_{PC1}] \quad (10)$$

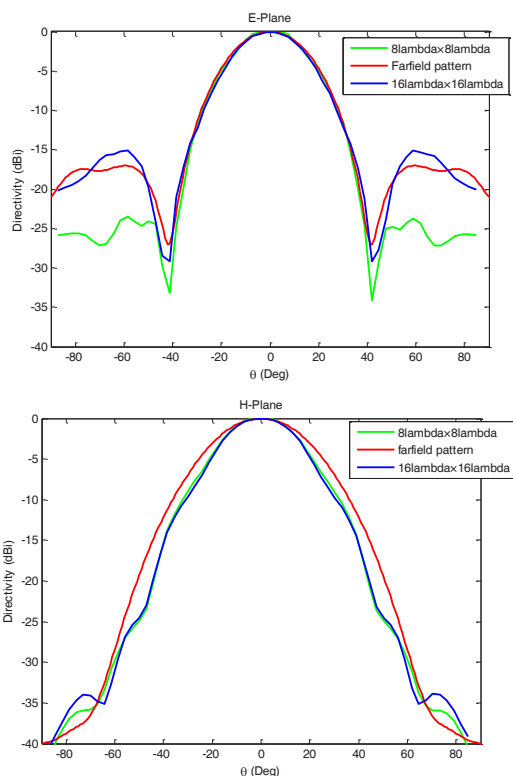
$$E_{CU} = [E_{Co} \times E_{PCo2} + E_C \times E_{PC2}] \quad (11)$$

برای ساده شدن روند اندازه‌گیری به جای استفاده از دو پروب می‌توان از یک پروب استفاده کرد و حول محور طولی‌اش چرخاند. با حل روابط (۱۰) و (۱۱) برحسب  $E_{Co}$  و  $E_C$  و با صرفنظر کردن از قطبش متعامد پروب داریم:

$$E_{Co} = E_{Cu} / E_{PCo1} \quad (12)$$

$$E_C = E_{Pu} / E_{PCo2} \quad (13)$$

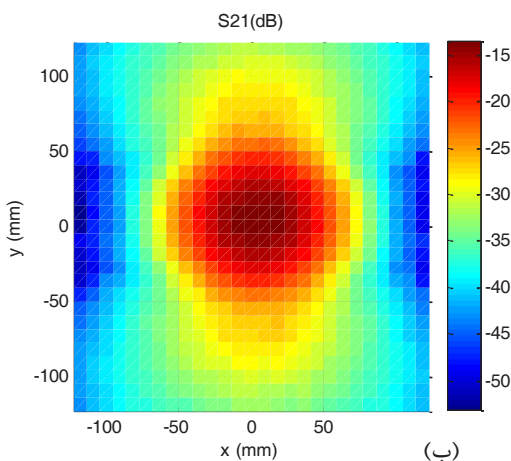
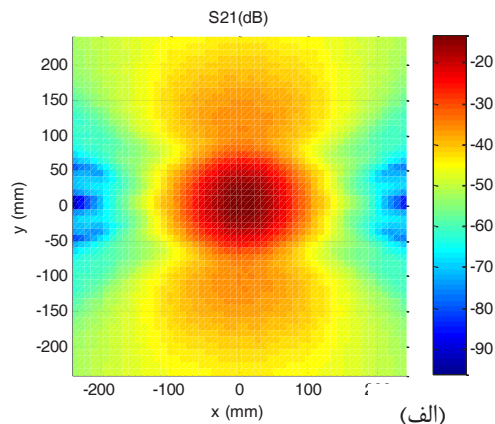
برای تحقیق صحت دو رابطه‌ی (۱۲) و (۱۳) اندازه‌گیری میدان نزدیک در باند X با همان AUT و پروب مستطیلی روی صفحه‌ای به ابعاد  $8\lambda \times 8\lambda$  در فاصله‌های  $3\lambda$  و  $4\lambda$  شبیه‌سازی شده است، فاصله بین نمونه‌ها  $0.3\lambda$  است.



شکل ۷. بررسی تاثیر ابعاد پنجره بر الگوی میدان دور صفحه‌های E و H آنتن تست در فرکانس 10GHz

همانطور که در شکل ۷ مشاهده می‌کنید با انجام تصحیح پروب در هر دو فاصله‌ی سه برابر طول موج و چهار برابر طول موج از AUT اختلاف الگوی میدان دور بدست آمده از مدلسازی اندازه‌گیری میدان نزدیک صفحه‌ای با الگوی میدان دور واقعی کمتر شده و پاسخ بهتری حاصل شده است، بنابراین با استفاده از روابط ۱۲ و ۱۳ الگوی غیرهمجهتی پروب موجبری مستطیلی اصلاح شده است. دلیل این امر که در این بخش از پژوهش اندازه‌گیری روی

صفحه‌ی E به -50 تا 50 درجه کاهش میابد. در صفحه‌ی H کوچک کردن ابعاد صفحه‌ی اندازه‌گیری تاثیر زیادی بر الگوی میدان دور نداشته است و آن هم به دلیل الگوی جهتی<sup>۸</sup> تر آنتن بوقی تحت آزمایش در صفحه‌ی H است.



شکل ۶ اندازه‌ی کوپلاژ بین پروب و AUT در نقاط مختلف روی صفحه (الف) ابعاد صفحه  $8\lambda \times 8\lambda$  (ب) ابعاد صفحه  $16\lambda \times 16\lambda$

### بررسی تصحیح الگوی پروب موجبری مستطیلی

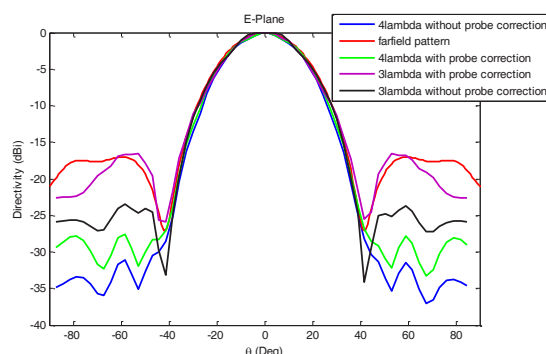
در اندازه‌گیری صفحه‌ای چون پروب در یک صفحه‌ی موازی روبروی AUT حرکت می‌کند، باعث می‌شود در گوشه‌ها پنجره دو آنتن دقیقاً روبروی هم قرار نگیرند. بنابراین برای داشتن یک اندازه‌گیری دقیق الگوی پروب باید همه‌جهتی باشد که در عمل چنین پروبی وجود ندارد. از اصول اندازه‌گیری میدان نزدیک این است که ابتدا با یک پروب نمونه‌برداری از میدان الکتریکی مماسی AUT انجام شود و سپس با پروبی که نسبت به پروب قبلی دارای قطبش متعامد است نمونه‌برداری تکرار شود، تا هر دو قطبش خالص و متعامد AUT را بتوان اندازه‌گیری کرد [۳]. اگر  $E_{Co}$  الگوی اصلی AUT،  $E_C$  الگوی قطبش متعامد AUT،  $E_{CoU}$  الگوی اصلی جبران نشده AUT،  $E_{CU}$  الگوی قطبش متعامد جبران نشده AUT،

AUT و انجام تصحیح پروب می‌توان الگوی میدان دور AUT را به نحو مطلوبی در رنج زاویه‌ای 50- تا 50 درجه بدست آورد.

### مرجع‌ها

- [1] C. A. Balanis, Antenna Theory, J. Wiley & Sons, New York, 1989.
- [2] E. B. Joy, W. M. Leach, Jr., G. P. Rodrigue, and D. T. Paris, "Applications of probe compensated near field measurements," IEEE Transactions on Antenna and Propagation, Vol. AP-26, PP. 379-389, May 1978
- [3] S. Gregson, J. Mc. Cormick, C. Parini, "Principles of Planar Near-Field Antenna Measurements," The Institution of Engineering and Technology, London, UK, 2007.
- [4] Edward B. Joy and Demetrius T. Paris, "Spatial Sampling and filtering in near-field measurements," IEEE Trans. on Antenna and Propagation, Vol. AP-20, No. 3, PP. 253-261, May 1972
- [5] Johnson J. H. Wang, "An examination of the theory and practices of planar near-field measurement," IEEE Trans. on Antenna and Propagation, Vol. 36, No. 6, PP. 746-753, June 1988
- [6] Y. Öztürk, F. Üstüner, "Design and Realization of a Planar Near Field Antenna Measurement System," General Assembly and Scientific Symposium, Istanbul, ON, August 2011.
- [7] Peter Petre, Tapan K. Sarkar, "Planar Near-Field to Far-Field Transformation Using an Array of Dipole Probes," IEEE Transactions on Antenna and Propagation, Vol. 42, NO. 4, PP. 534-537, Apr. 1994
- [8] J. H. Richmond and T. E. Tice, "Probes for Microwave Near-Field Measurements," IRE Trans. Microwave Theory Tech., Vol. MTT-3, PP. 32-34, Apr. 1995.

صفحه‌ای به ابعاد  $8\lambda \times 8\lambda$  شبیه‌سازی شده این است که علاوه بر تحقیق روابط تصحیح پروب، در این بخش این موضوع نیز بررسی شده است که اندازه‌گیری را روی صفحه‌ی کوچکتر و با تعداد نمونه‌های کمتر می‌توان انجام داد. تعداد نمونه‌ها روی صفحه به ابعاد  $8\lambda \times 8\lambda$  نصف تعداد نمونه‌ها روی صفحه به ابعاد  $16\lambda \times 16\lambda$  است، بنابراین با انجام تصحیح پروب با تعداد نمونه‌های نصف حالت‌های قبل می‌توان الگوی میدان دور مطلوبی را تخمین زد و زمان اندازه‌گیری را به نصف کاهش داد. از طرفی با کوچکتر بودن ابعاد صفحه‌ی اندازه‌گیری فضای موردنیاز برای اندازه‌گیری میدان دور کاهش می‌یابد.



شکل ۸. بررسی تاثیر الگوی پروب بر الگوی میدان دور AUT در صفحه‌ی E در فرکانس 10GHz

### نتیجه‌گیری

با شبیه‌سازی در CST و کد تبدیل اندازه‌گیری میدان نزدیک به الگوی میدان دور، اندازه‌گیری یک آنتن به روش میدان نزدیک صفحه‌ای پیاده‌سازی شد. به منظور یافتن هر چه بهتر الگوی میدان دور AUT از اندازه‌گیری میدان نزدیک، باید از پروبی که دارای روزه‌ای با مساحت کمتر و الگویی همه‌جهتی‌تر است استفاده شود، از آنجایی که پروب با الگوی همه‌جهتی وجود ندارد راه‌حلی برای تصحیح الگوی پروب موجبری انتها باز ارائه شده است. همچنین برای انجام یک اندازه‌گیری خوب باید فاصله بین نمونه‌ها کمتر از نصف طول موج باشد. فاصله پروب و AUT در این آزمایش با توجه به سطح مقطع راداری پروب، بهره‌ی آنتن و طول موج کاری باید حداقل  $1.2\lambda$  باشد از طرفی باید فاصله بین پروب و AUT را به نحوی انتخاب کرد که کوپلاژ متقابل بین آنها و همچنین بازتاب‌های چندگانه حداقل شود، با مدلسازی اندازه‌گیری میدان نزدیک این فاصله سه برابر طول موج بدست آمد. معیار انتخاب ابعاد صفحه‌ی اندازه‌گیری این است که  $S_{21}$  در لبه‌های صفحه‌ی اندازه‌گیری نسبت به بیشینه‌ی  $S_{21}$ ،  $45\text{dB}$  کمتر باشد، با این بیان و بدست آوردن کوپلاژ بین پروب و AUT ابعاد صفحه ابعاد صفحه برابر با  $8\lambda \times 8\lambda$  در فاصله‌ی سه برابر طول موج از