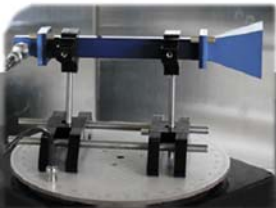


مجموعه آزمایشگاهی آنتن



دستورالعمل آزمایشها

فهرست مطالب

| | |
|---|----|
| مقدمه | ۷ |
| فهرست اختصارات و معادل‌های فارسی مورد استفاده در متن | ۱۱ |
| ۱- مجموعه آزمایشگاهی آنتن | ۱۵ |
| ۱-۱- معرفی مجموعه آزمایشگاهی آنتن | ۱۵ |
| ۱-۱-۱- مقدمه‌ای در خصوص آنتن‌ها | ۱۵ |
| ۱-۱-۲- طراحی و کارکرد مجموعه آزمایشگاهی آنتن | ۱۷ |
| ۱-۱-۳- تجهیزات و مدل‌های مجموعه آزمایشگاهی آنتن | ۲۲ |
| ۲- نحوه کارکرد مجموعه آزمایشگاهی آنتن | ۲۶ |
| ۲-۱- دستورالعمل‌های ایمنی | ۲۶ |
| ۲-۲- فضای نصب مجموعه | ۲۷ |
| ۲-۳- یک نمونه از چیدمان عملیاتی | ۲۹ |
| ۲- دستورالعمل آزمایش‌ها | ۳۳ |
| ۲-۱- آنتن دایپل | ۳۶ |
| ۲-۱-۱- مقدمه‌ای در خصوص آنتن‌های دایپل | ۳۶ |
| ۲-۱-۲- قطعات مورد نیاز | ۴۰ |
| ۲-۱-۳- الگوی تشعشعی آنتن دایپل نیم موج در صفحه E | ۴۱ |
| ۲-۱-۴- الگوی تشعشعی آنتن دایپل تمام موج در صفحه E | ۴۵ |
| ۲-۱-۵- الگوی تشعشعی آنتن دایپل ۱,۵ طول موج در صفحه E | ۴۶ |
| ۲-۱-۶- الگوی تشعشعی آنتن دایپل ۲,۵ طول موج در صفحه E | ۴۸ |
| ۲-۱-۷- الگوی تشعشعی آنتن دایپل ۴,۵ طول موج در صفحه E | ۴۹ |
| ۲-۱-۸- تضعیف پلاریزاسیون متقاطع به وسیله آنتن دو قطبی نیم موج | ۵۰ |
| ۲-۱-۹- الگوی تشعشعی آنتن دایپل نیم موج در صفحه H | ۵۱ |
| ۲-۲- آنتن یاگی-یودا | ۵۳ |

- ۱-۲-۲-۱- مقدمه‌ای در خصوص آنتن یاگی-یودا..... ۵۳
- ۲-۲-۲-۲- قطعات مورد نیاز..... ۵۷
- ۳-۲-۲- الگوی تشعشعی آنتن دایپل در صفحه E..... ۵۷
- ۴-۲-۲- الگوی تشعشعی آنتن دایپل با نگهدارنده مخصوص در صفحه E..... ۵۷
- ۵-۲-۲- الگوی تشعشعی آنتن یاگی-یودا با یک رفلکتور و بدون دایرکتور (دو عنصر) در صفحه E..... ۵۹
- ۶-۲-۲- الگوی تشعشعی آنتن یاگی-یودا با یک دایرکتور و بدون رفلکتور (دو عنصر) در صفحه E..... ۶۰
- ۷-۲-۲- الگوی تشعشعی آنتن یاگی-یودا با سه عنصر (R-DIP-D) در صفحه E..... ۶۱
- ۸-۲-۲- الگوی تشعشعی آنتن یاگی-یودا با شش عنصر (R-DIP-4D) در صفحه E..... ۶۲
- ۹-۲-۲- الگوی تشعشعی آنتن یاگی-یودا در صفحه H..... ۶۴
- ۳-۲- آنتن‌های روزنه‌ای ۶۵
- ۱-۳-۲- مقدمه‌ای در خصوص آنتن‌های روزنه‌ای..... ۶۵
- ۲-۳-۲- قطعات مورد نیاز..... ۷۰
- ۳-۳-۲- الگوی تشعشعی آنتن شیپوری بزرگ در صفحه E..... ۷۰
- ۴-۳-۲- ضریب تلف پلاریزاسیون آنتن شیپوری بزرگ..... ۷۳
- ۵-۳-۲- بررسی اثر صفحه پلاریزر..... ۷۴
- ۶-۳-۲- الگوی تشعشعی آنتن شیپوری بزرگ در صفحه H..... ۷۶
- ۷-۳-۲- الگوی تشعشعی آنتن شیپوری کوچک در صفحه H..... ۷۷
- ۸-۳-۲- الگوی تشعشعی آنتن شیپوری کوچک در صفحه E..... ۷۸
- ۹-۳-۲- بررسی الگوی تشعشعی آنتن موجبری با انتهای باز..... ۷۹
- ۴-۲- آنتن‌های آرایه‌ای ۸۲
- ۱-۴-۲- مقدمه‌ای در خصوص آنتن‌های آرایه‌ای..... ۸۲
- ۲-۴-۲- آرایه‌های خطی..... ۸۳
- ۳-۴-۲- آرایه‌های آنتنی صفحه‌ای..... ۹۲
- ۴-۴-۲- قطعات مورد نیاز..... ۹۴
- ۵-۴-۲- اندازه‌گیری الگوی تشعشعی صفحه H آرایه آنتن‌های شکافی..... ۹۴
- ۶-۴-۲- اندازه‌گیری الگوی تشعشعی صفحه E آرایه آنتن‌های شکافی..... ۹۶
- ۷-۴-۲- بررسی رفتار گلبرگ اضافی..... ۹۸

- ۹۹-۴-۸- بررسی رفتار اسکن الگوی تشعشعی آرایه آنتنی با تغییر فرکانس.....
- ۱۰۰-۴-۹- بررسی آنتن مایکرواستریپ.....
- ۱۰۲-۵-۲- آنتن هلیکال.....
- ۱۰۲-۵-۱- مقدمه‌ای در خصوص آنتن‌های هلیکال.....
- ۱۰۶-۵-۲- قطعات مورد نیاز.....
- ۱۰۶-۵-۳- الگوی جهتی آنتن هلیکال با پلاریزاسیون یکسان آنتن‌های فرستنده و گیرنده.....
- ۱۰۶-۵-۴- تأثیر انعکاس روی الگوی تشعشعی آنتن هلیکال.....
- ۱۰۸-۵-۲- الگوی جهتی آنتن هلیکال با پلاریزاسیون مخالف آنتن‌های فرستنده و گیرنده.....
- ۱۱۱-۵-۲- تأثیر انعکاس روی الگوی جهتی آنتن هلیکال در آنتن‌های فرستنده و گیرنده دارای پلاریزاسیون مخالف.....
- ۱۱۳-۵-۲- تأثیر صفحه پلاریزر روی الگوی تشعشعی آنتن هلیکال.....
- ۱۱۴-۵-۲- تعیین نوع پلاریزاسیون موج تشعشعی آنتن فرستنده در محل ماکزیمم گلببرگ اصلی الگوی جهتی.....
- ۱۱۷-۶-۲- آنتن‌های مایکرواستریپ.....
- ۱۱۷-۶-۱- مقدمه‌ای در خصوص آنتن‌های مایکرواستریپ.....
- ۱۲۹-۶-۲- نحوه طراحی آنتن‌های مایکرواستریپ.....
- ۱۳۴-۶-۲- نمونه‌ای از طراحی آنتن‌های مایکرواستریپ.....
- ۱۴۲-۶-۲- وسایل لازم جهت انجام آزمایش.....
- ۱۴۲-۶-۵- اندازه‌گیری الگوی تشعشعی آنتن مایکرواستریپ تک.....
- ۱۴۳-۶-۲- بررسی اثر تغییر زیرلایه روی آنتن مایکرواستریپ تک.....
- ۱۴۵-۶-۲- اندازه‌گیری الگوی تشعشعی آنتن مایکرواستریپ دو طبقه.....
- ۱۴۶-۶-۸- اندازه‌گیری الگوی تشعشعی آنتن مایکرواستریپ با تزویج روزنه‌ای.....
- ۱۴۶-۶-۹- اندازه‌گیری الگوی تشعشعی آنتن مایکرواستریپ تک با پلاریزاسیون دایروی - روش ۱.....
- ۱۴۸-۶-۱۰- اندازه‌گیری الگوی تشعشعی آنتن مایکرواستریپ تک با پلاریزاسیون دایروی - روش ۲.....
- ۱۵۱-۶-۱۱- اندازه‌گیری الگوی تشعشعی آنتن مایکرواستریپ آرایه 4×1

- ۱۵۳ ۲-۶-۱۲- اندازه گیری الگوی تشعشی آنتن مایکرواستریپ آرایه ۲×۲ ۱۵۳
- پیوست ۱- اطلاعات قطعات مجموعه آزمایشگاهی آنتن** ۱۵۵
- پ ۱-۱- پایه چرخان (کد قطعه: ۱۱۰۰) ۱۵۷
- پ ۱-۲- مولد سیگنال مایکروویو (کد قطعه: ۱۲۰۰) ۱۶۳
- پ ۱-۳- جاذب امواج مایکروویو (کد قطعه: ۱۳۰۰) ۱۶۶
- پ ۱-۴- آنتن‌های مجموعه ۱۶۹
- پ ۱-۴-۱- آنتن‌های شیبوری (کد قطعه: ۱۴۱۱ و ۱۴۱۲) ۱۶۹
- پ ۱-۴-۲- آنتن‌های هلیکال (کد قطعه: ۱۴۲۱ و ۱۴۲۲) ۱۷۱
- پ ۱-۴-۳- آنتن‌های مایکرواستریپ (کد قطعه: ۱۴۳۱ تا ۱۴۳۹) ۱۷۴
- پ ۱-۴-۴- آنتن شکافی (کد قطعه: ۱۴۴۰) ۱۷۷
- پ ۱-۴-۵- مجموعه آنتن‌های سیمی (کد قطعه: ۱۴۵۰) ۱۸۰
- پ ۱-۵- موجبرهای مجموعه ۱۸۷
- پ ۱-۵-۱- موجبر 200mm (کد قطعه: ۱۵۱۱) ۱۸۷
- پ ۱-۵-۲- بار تطبیق موجبری (کد قطعه: ۱۵۲۰) ۱۸۹
- پ ۱-۵-۳- ترانسفورمر سه پیچ (کد قطعه: ۱۵۳۰) ۱۹۱
- پ ۱-۶- مبدل‌ها و کابل‌های مجموعه ۱۹۳
- پ ۱-۶-۱- مبدل کواکسیال به موجبری (کد قطعه: ۱۶۱۰) ۱۹۳
- پ ۱-۶-۲- آشکارساز کواکسیالی (کد قطعه: ۱۶۲۰) ۱۹۵
- پ ۱-۶-۳- کابل فرکانس بالا (کد قطعه: ۱۶۳۱) ۱۹۷
- پ ۱-۶-۴- کابل فرکانس پایین (کد قطعه: ۱۶۳۲) ۱۹۸
- پ ۱-۶-۵- کابل USB (کد قطعه: ۱۶۳۳) ۱۹۹
- پ ۱-۶-۶- کابل تغذیه (کد قطعه: ۱۶۳۴) ۱۹۹
- پ ۱-۷- صفحه پلاریزر و روزنه‌های موج ۲۰۰
- پ ۱-۷-۱- صفحه پلاریزر (کد قطعه: ۱۷۱۰) ۲۰۰
- پ ۱-۷-۲- روزنه‌های موج (کد قطعه: ۱۷۲۱ و ۱۷۲۲) ۲۰۱
- پ ۱-۸- پایه‌ها و نگهدارنده‌های مجموعه ۲۰۳
- پ ۱-۸-۱- پایه نگهدارنده (کد قطعه: ۱۸۱۰) ۲۰۳
- پ ۱-۸-۲- میله‌های فلزی (کد قطعه: ۱۸۲۱ تا ۱۸۲۳) ۲۰۵
- پ ۱-۸-۳- گیره نگهدارنده موجبر (کد قطعه: ۱۸۳۰) ۲۰۷

- پ ۱-۹- سایر تجهیزات مجموعه..... ۲۰۸
- پ ۱-۹-۱- فویل مسی چسب‌دار (کد قطعه: ۱۹۱۰)..... ۲۰۸
- پ ۱-۹-۲- متر فلزی (کد قطعه: ۱۹۲۰)..... ۲۰۹
- پ ۱-۹-۳- پیچ و مهره (کد قطعه: ۱۹۳۰)..... ۲۰۹
- پ ۱-۹-۴- کیف مجموعه (کد قطعه: ۱۹۴۰)..... ۲۰۹
- پیوست ۲- راهنمای کار با نرم‌افزار CASSY Lab**..... ۲۱۵
- پ ۱-۲- نحوه نصب و راه‌اندازی نرم‌افزار CASSY Lab..... ۲۱۵
- پ ۲-۲- نحوه نصب درایور سخت‌افزار ارتباطی پایه چرخان با رایانه..... ۲۱۷
- پ ۲-۳- تنظیمات پایه چرخان در نرم‌افزار CASSY Lab..... ۲۱۹
- پ ۲-۴- معرفی منوهای اصلی نرم‌افزار CASSY Lab..... ۲۲۲
- پ ۲-۵- نحوه کار نرم‌افزار CASSY Lab جهت انجام آزمایش‌ها..... ۲۲۳
- پیوست ۳- شرایط ضمانت و خدمات پس از فروش مجموعه آزمایشگاهی آنتن**..... ۲۲۸
- پیوست ۴- معرفی شرکت راژان پرتو پارس**..... ۲۲۹
- پیوست ۵- معرفی نرم‌افزارهای کمکی در طراحی و آشنایی با نحوه عملکرد آنتن**..... ۲۳۱
- پ ۱-۵- نرم‌افزار HFSS..... ۲۳۱
- پ ۲-۵- نرم‌افزار Antenna Design Kit (ADK)..... ۲۳۲
- پ ۳-۵- نرم‌افزار PCAAD..... ۲۳۴
- پ ۴-۵- نرم‌افزار TXLine..... ۲۳۵
- پیوست ۶- منابع علمی مرتبط با طراحی و تست آنتن**..... ۲۳۷

توجه

جهت جلوگیری از هرگونه صدمه و آسیب احتمالی به کاربر و دستگاه، لازم است پیش از هرگونه استفاده از مجموعه آزمایشگاهی آنتن، با مطالعه دقیق این کتابچه، اطلاعات کافی در خصوص موارد ایمنی و نحوه نصب و کاربرد دستگاه، کسب گردد.

مقدمه

مجموعه آزمایشگاهی آنتن که به وسیله شرکت راژان پرتو پارس طراحی و تولید گردیده است، در حوزه آموزشی، جهت تجهیز آزمایشگاه آنتن و میکروویو دانشگاه‌ها و در حوزه پژوهشی، جهت اندازه‌گیری متغیرهای طراحی و تست عملی و ارزیابی آنتن‌ها و مولدهای سیگنال میکروویو مورد طراحی در پروژه‌های دانشگاهی و صنعتی، کاربرد دارد. همچنین به‌عنوان یک مشخصه متمایزکننده، در این مجموعه تلاش شده است اصول طراحی آنتن با استفاده از نرم‌افزارهای تخصصی این حوزه (شامل نرم‌افزارهای HFSS، ADK و PCAAD) آموزش داده شود. برای دستیابی به این هدف، آنتن‌های میکرواستریپ انتخاب گردیده‌اند.

این کتابچه با هدف ایجاد امکان استفاده اصولی و آسان از مجموعه آزمایشگاهی آنتن برای کاربران محترم آن طراحی گردیده است. برای این منظور ابتدا در بخش اول به معرفی مجموعه آزمایشگاهی آنتن و شرح در خصوص نحوه نصب و کارکرد آن پرداخته می‌شود که راهنمای کاربردی مناسبی برای کاربران محترم است.

سپس در بخش دوم به کاربرد آموزشی مجموعه آزمایشگاهی آنتن پرداخته می‌شود؛ به این ترتیب که دستورالعمل آزمایش‌هایی که برای این مجموعه طراحی گردیده‌اند، ارائه می‌شود. آزمایش‌های مورد اشاره در بخش دوم، عبارتند از:

- آنتن دایپل^۱:

- بررسی الگوی تشعشی آنتن دایپل نیم موج ($\lambda/2$) در صفحه E؛
- بررسی الگوی تشعشی آنتن دایپل تمام موج (λ) در صفحه E؛
- بررسی الگوی تشعشی آنتن دایپل ۱٫۵ طول موج (1.5λ) در صفحه E؛
- بررسی الگوی تشعشی آنتن دایپل ۲٫۵ طول موج (2.5λ) در صفحه E؛
- بررسی الگوی تشعشی آنتن دایپل ۴٫۵ طول موج (4.5λ) در صفحه E؛
- بررسی تضعیف پلاریزاسیون متعامد به وسیله آنتن دایپل نیم موج ($\lambda/2$)؛
- بررسی الگوی تشعشی آنتن دایپل نیم موج ($\lambda/2$) در صفحه H.

- آنتن یاگی-یودا^۲:

- بررسی الگوی تشعشی آنتن دایپل در صفحه E؛

^۱ Dipole Antenna

^۲ Yagi-Uda Antenna

- بررسی الگوی تشعشعی آنتن دایپل با نگهدارنده مخصوص در صفحه E؛
 - بررسی الگوی تشعشعی آنتن یاگی-یودا با یک رفلکتور و بدون دایرکتور (دو عنصر) در صفحه E؛
 - بررسی الگوی تشعشعی آنتن یاگی-یودا با یک دایرکتور و بدون رفلکتور (دو عنصر) در صفحه E؛
 - بررسی الگوی تشعشعی آنتن یاگی-یودا با سه عنصر (R-DIP-D) در صفحه E؛
 - بررسی الگوی تشعشعی آنتن یاگی-یودا با شش عنصر (R-DIP-4D) در صفحه E؛
 - بررسی الگوی تشعشعی آنتن یاگی-یودا در صفحه H.
- آنتن‌های روزنه‌ای^۳:
 - بررسی الگوی تشعشعی آنتن شیپوری^۴ بزرگ در صفحه E؛
 - بررسی ضریب تلف پلاریزاسیون آنتن شیپوری بزرگ؛
 - بررسی اثر صفحه پلاریزر؛
 - بررسی الگوی تشعشعی آنتن شیپوری بزرگ در صفحه H؛
 - بررسی الگوی تشعشعی آنتن شیپوری کوچک در صفحه H؛
 - بررسی الگوی تشعشعی آنتن شیپوری کوچک در صفحه E؛
 - بررسی الگوی تشعشعی آنتن موجبری با انتهای باز^۵ (در صفحات E و H).
 - آنتن‌های آرایه‌ای^۶:
 - اندازه‌گیری الگوی تشعشعی صفحه H آرایه آنتن‌های شکافی^۷ (آرایه خطی)؛
 - اندازه‌گیری الگوی تشعشعی صفحه E آرایه آنتن‌های شکافی (آرایه خطی)؛
 - بررسی رفتار گلبرگ اضافی^۸؛
 - بررسی رفتار اسکن الگوی تشعشعی آرایه آنتنی با تغییر فرکانس؛
 - بررسی آنتن مایکرواستریپ (آرایه صفحه‌ای).

^۳ Aperture Antenna

^۴ Horn Antenna

^۵ Open-End Waveguide Antenna

^۶ Array Antenna

^۷ Slot Antenna

^۸ Grating Lobe

- آنتن هلیکال^۹؛
 - اندازه‌گیری الگوی تشعشعی آنتن هلیکال با پلاریزاسیون یکسان آنتن‌های فرستنده و گیرنده؛
 - بررسی تأثیر انعکاس روی الگوی تشعشعی آنتن هلیکال؛
 - اندازه‌گیری الگوی تشعشعی آنتن هلیکال با پلاریزاسیون مخالف آنتن‌های فرستنده و گیرنده؛
 - تأثیر انعکاس روی الگوی جهتی آنتن هلیکال در آنتن‌های فرستنده و گیرنده دارای پلاریزاسیون مخالف؛
 - تأثیر صفحه پلاریزر روی الگوی تشعشعی آنتن هلیکال؛
 - تعیین نوع پلاریزاسیون موج تشعشعی آنتن فرستنده در محل ماکزیمم گلبرگ اصلی الگوی جهتی.
- آنتن‌های میکرواستریپ^{۱۰}؛
 - اندازه‌گیری الگوی تشعشعی آنتن میکرواستریپ تک؛
 - بررسی اثر تغییر زیرلایه روی آنتن میکرواستریپ تک؛
 - اندازه‌گیری الگوی تشعشعی آنتن میکرواستریپ دو طبقه؛
 - اندازه‌گیری الگوی تشعشعی آنتن میکرواستریپ با تزویج روزنه‌ای؛
 - اندازه‌گیری الگوی تشعشعی آنتن میکرواستریپ تک با پلاریزاسیون دایروی-روش ۱؛
 - اندازه‌گیری الگوی تشعشعی آنتن میکرواستریپ تک با پلاریزاسیون دایروی-روش ۲؛
 - اندازه‌گیری الگوی تشعشعی آنتن میکرواستریپ آرایه خطی ۴×۱؛
 - اندازه‌گیری الگوی تشعشعی آنتن میکرواستریپ آرایه خطی ۲×۲.

در انتها نیز پیوست‌هایی به ترتیب زیر ارائه شده است:

- اطلاعات قطعات مجموعه آزمایشگاهی آنتن؛
- راهنمای کار با نرم‌افزار CASSY Lab؛
- شرایط ضمانت و خدمات پس از فروش مجموعه آزمایشگاهی آنتن؛
- معرفی شرکت راژان پرتو پارس (طراح، تولیدکننده و عرضه‌کننده مجموعه آزمایشگاهی آنتن)؛
- معرفی نرم‌افزارهای کمکی در طراحی آنتن؛
- منابع علمی مرتبط با طراحی و تست آنتن (جهت مطالعه بیشتر).

^۹ Helical Antenna

^{۱۰} Microstrip Antenna

امید است این کتابچه، راهنمای مفیدی جهت استفاده از مجموعه آزمایشگاهی آنتن، برای شما کاربر محترم باشد. همچنین شرکت راژان پرتو پارس پذیرای پیشنهادات و انتقادات کاربران محترم جهت بهبود و توسعه این محصول می‌باشد.

اشاره می‌گردد، با توجه به اینکه تلاش گردیده در تدوین این کتابچه حداکثر امکان از معادل‌های فارسی و مخفف عبارات استفاده شود، پیش از ورود به بخش‌های اصلی گزارش، "فهرست اختصارات و معادل‌های فارسی مورد استفاده در متن" ارائه شده است.

فهرست اختصارات و معادل‌های فارسی مورد استفاده در متن

فهرست اختصارات و معادل‌های فارسی مورد استفاده در متن دستورالعمل آزمایش‌ها، به قرار زیر می‌باشد.

| عنوان انگلیسی | مخفف | ترجمه فارسی مورد استفاده |
|-------------------------------|--------|-----------------------------|
| 3-stub tuner | | تیونر سه استاب |
| Antenna Under Test | AUT | آنتن تحت آزمون |
| Antenna Efficiency | η | راندمان آنتن |
| Aperture coupled feed | | تزوید از طریق روزنه |
| Arbitrary reflections | | انعکاس‌های دلخواه |
| Array Antenna | | آنتن آرایه‌ای |
| Array Factor | | فاکتور آرایه |
| Axial Ratio | AR | نسبت محوری (خروج از مرکز) |
| Babinet's Principle | | اصل بابینه |
| Base Plate | | صفحه مینا |
| Beam Width | BW | عرض پرتو (پهنای باند) |
| Between Null Beam Width | BNBW | زاویه پرتو بین دو صفر مجاور |
| Broadside | | پهلوتاب |
| Characteristic Impedance | Z_0 | امپدانس مشخصه |
| Co-axial to Waveguide Adaptor | | مبدل کواکسیال به موجبری |
| Confomal | | همدیس با سطح |
| Co-Planar Waveguide | CPW | موجبر هم صفحه |
| Corporate Feeding | | تحریک مجتمع |
| Co-Polarized | | پلاریزاسیون یکسان |
| Cross Polarization | | پلاریزاسیون متعامد |
| Cross Polarized | | عمود بر هم |
| Cross Talk | | هم‌شنوایی |
| Detector | | آشکارساز |
| Detector Diode | | دیود آشکارساز |

| عنوان انگلیسی | مخفف | ترجمه فارسی مورد استفاده |
|--|-------------|-------------------------------------|
| Dipole Antenna | | آنتن دایپل (دو قطبی) |
| Directivity | D_0 | راستاوری |
| Effective Area | A_{eff} | سطح مؤثر تشعشعی |
| Element Factor | | المان منفرد تشعشع کننده |
| Embedded Systems | | سیستم‌های نهفته |
| E sectoral horn | | آنتن شیپوری دارای بازشدگی در صفحه E |
| Fading | | محو شونگی |
| Fan & Pencil Beam | | پرتو مدادی و بادبزی |
| Field Equivalence Principle | | اصل میدان معادل |
| Finite Element | | المان محدود |
| Flange | | فلنج |
| Flare Angle | | زاویه بازشدگی |
| Framework | | سفت‌افزار |
| Free Space Wavelength | λ_0 | طول موج فضای آزاد |
| Fringing Field | | میدان فرینجینگ |
| Front to Back Ratio | FBR | نسبت گلبرگ‌های جلو به عقب |
| Gain | G_0 | بهره آنتن |
| Global Positioning System | GPS | سیستم موقعیت‌یاب جهانی |
| Global System for Mobile communication | GSM | سیستم بین‌المللی مخابرات سیار |
| Grating Lobe | | گلبرگ اضافی |
| Half Power Beam Width | HPBW | زاویه پرتو نیم توان |
| Helical Antenna | | آنتن هلیکال (پیچ‌های) |
| Hertzian Dipole | | دایپل هرتزین |
| Horn Antenna | | آنتن شیپوری |
| H sectoral horn | | آنتن شیپوری دارای بازشدگی در صفحه H |
| Impedance Matching | | تطبیق امپدانس |
| Integral Equations | | معادلات انتگرالی |

| عنوان انگلیسی | مخفف | ترجمه فارسی مورد استفاده |
|--|--------------|--|
| Lock-in Amplifier | | تقویت کننده قفل شده |
| Moment method | | روش ممان |
| Monopole Antenna | | آنتن مونوپل (تک قطبی) |
| Null | | صفر |
| Open-End Waveguide Antenna | | آنتن موجبر با انتهای باز |
| Patch Antenna | | آنتن پیچ |
| Permittivity | ϵ_r | ضریب گذردهی الکتریکی |
| | ϵ_0 | ضریب گذردهی الکتریکی خلاء |
| Personal Computer Aided Antenna Design | PCAAD | |
| Planar Antenna | | آنتن‌های مسطح |
| Polarization Loss Factor | PLF | نسبت تلفات پلاریزاسیون |
| Proximity coupled feed | | تزوید مجاورتی |
| Pyramidal | | هرمی |
| Quality factor | | ضریب کیفیت |
| Radiation pattern | | الگوی تشعشی |
| Received Power | P_R | توان دریافت شده به وسیله آنتن گیرنده |
| Scanning Beam | | جاروب پرتو آنتن |
| Side Lobe Level | SLL | سطح گلبرگ جانبی |
| Single Pole-Double Throw | SPDT | |
| Slide Screw Transformer | | ترانسفورمر با پیچ لغزان |
| Slot Antenna | | آنتن شکافی |
| Slot Array | | آرایه شکافی |
| Spectrum Analyzer | | تحلیل گر طیف |
| Standing Wave | | موج ایستا |
| Substrate | | زیرلایه |
| Tilt angle | | زاویه کجی (در اینجا، زاویه با صفحه پلاریزر مورد نظر است) |

| عنوان انگلیسی | مخفف | ترجمه فارسی مورد استفاده |
|-------------------------------|-------------|--------------------------------------|
| Transmitted Power | P_T | توان ارسال شده به وسیله آنتن فرستنده |
| Varactor | | ورکتور |
| Voltage-Controlled Oscillator | VCO | نوسان‌ساز با کنترل ولتاژ |
| Voltage Standing Wave Ratio | VSWR | نسبت مقدار موج برگشتی |
| Waveguide | | موجبر |
| Waveguide wavelength | λ_g | طول موج درون موجبر |
| Yagi-Uda Antenna | | آنتن یاگی-یودا |
| | D_{max} | بزرگترین بعد شعاعی آنتن |
| | C | محیط آنتن هلیکال |

۱- مجموعه آزمایشگاهی آنتن

در این بخش به معرفی مجموعه آزمایشگاهی آنتن و ارائه توضیحات در خصوص نحوه کارکرد این مجموعه پرداخته می‌شود.

۱-۱- معرفی مجموعه آزمایشگاهی آنتن

در این بخش ابتدا مقدمه‌ای اجمالی در خصوص آنتن‌ها بیان می‌شود، سپس به معرفی مجموعه آزمایشگاهی آنتن، محصول شرکت راژان پرتو پارس، پرداخته می‌شود؛ برای این منظور ابتدا به مبحث طراحی و کارکرد این مجموعه اشاره می‌شود، سپس مدل‌ها و تجهیزات این مجموعه معرفی می‌شوند.

۱-۱-۱- مقدمه‌ای در خصوص آنتن‌ها

آنتن وسیله‌ای است که از آن جهت انتشار و دریافت امواج الکترومغناطیسی استفاده می‌شود. آنتن در یک سیستم مخابراتی نقش مبدل امواج هدایت شده به امواج انتشاری در فضای آزاد را دارد.

آنتن در نقش فرستندگی، وظیفه انتشار انرژی هدایت شده توسط خط انتقال در فضای آزاد و در نقش گیرندگی، وظیفه دریافت امواج انتشاری در فضای آزاد و انتقال آن به خطوط انتقال را دارد.

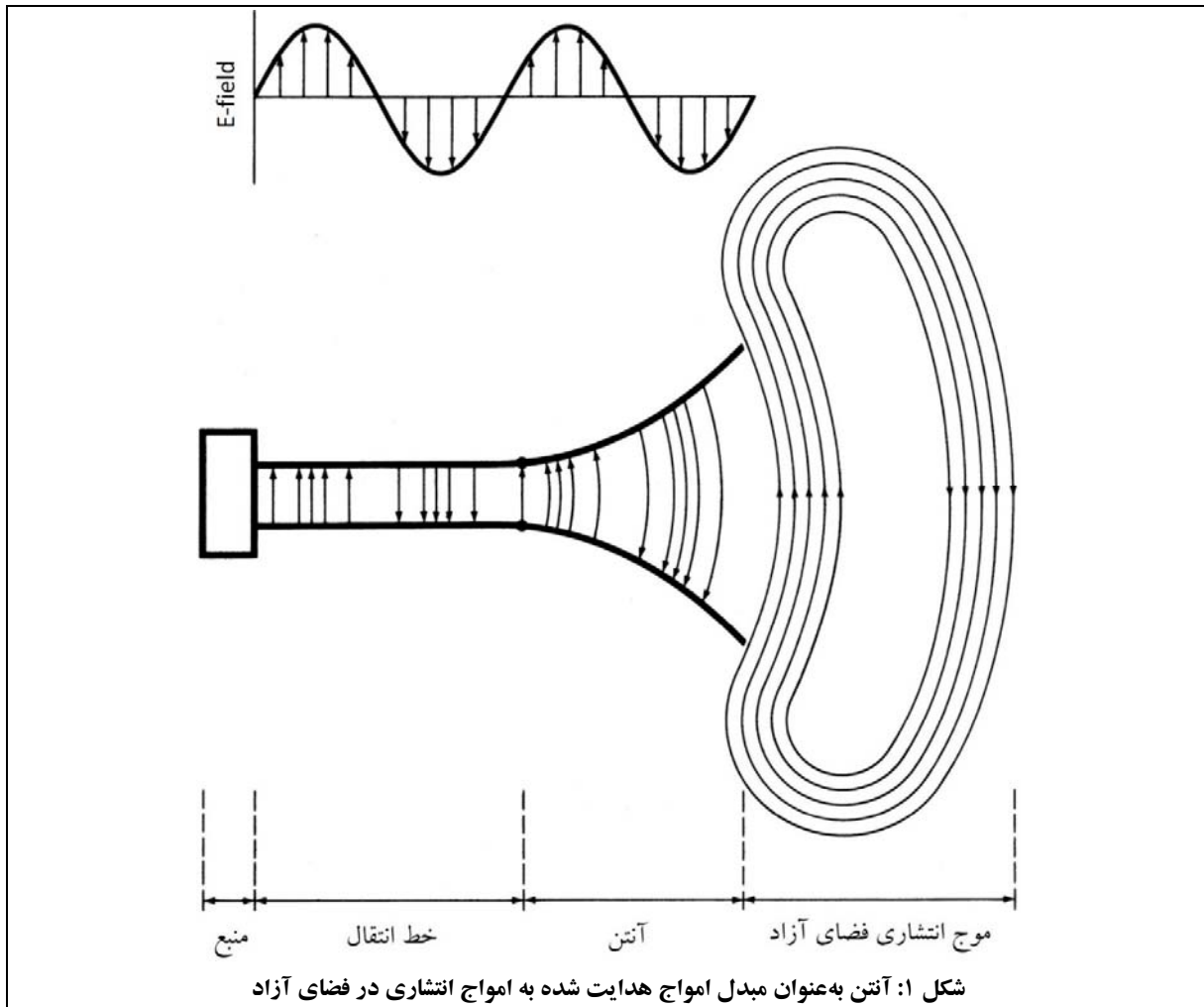
شکل ۱، نمایشی از آنتن در نقش مبدل امواج هدایت شده به امواج انتشاری در فضای آزاد را نشان می‌دهد.

دو پارامتر مهم در اندازه‌گیری‌های مربوط به آنتن، تطبیق امپدانس^{۱۱} و الگوی تشعشی^{۱۲} آنتن است؛ به این شکل که:

- برای اینکه آنتن بتواند حداکثر توان هدایت شده درون خط انتقال را در فضای آزاد انتشار دهد، باید با خط انتقال تطبیق داده شود.
- بسته به نوع کاربرد، آنتن‌ها باید رفتار (الگوی) تشعشی متناسب با آن کاربرد را داشته باشند. برای مثال، آنتن‌های جهت‌دار، دارای الگوی تشعشی جهتی هستند و انرژی الکترومغناطیسی را در سمت خاصی از فضا، بسته به شکل الگوی تشعشی خود، منتشر یا دریافت می‌کنند.

¹¹ Impedance Matching

¹² Radiation Pattern



علاوه بر این، آنتن‌ها بسته به کاربرد و طول موج کارشان، دارای شکل‌های مختلفی هستند. برای مثال آنتن‌ها می‌توانند به صورت سیمی، مثل آنتن‌های دایپل (دو قطبی)، مونوپل^{۱۳} (تک قطبی) و هلیکال (پیچ‌ای)، باشند. همچنین آنتن‌ها می‌توانند از نوع روزنه‌ای، مثل آنتن شیپوری و آنتن شکافی، باشند. آنتن‌های آرایه‌ای نیز از تعدادی اجزاء کوپل شده تشکیل شده‌اند. از مجموعه آنتن‌های دیگر نیز می‌توان به آنتن‌های رفلکتوری، آنتن‌های دی‌الکتریک و آنتن‌های مایکرواستریپ، اشاره نمود. در بخش‌های بعدی با برخی از انواع این آنتن‌ها آشنا می‌شوید.

¹³ Monopole Antenna

۱-۱-۲- طراحی و کارکرد مجموعه آزمایشگاهی آنتن

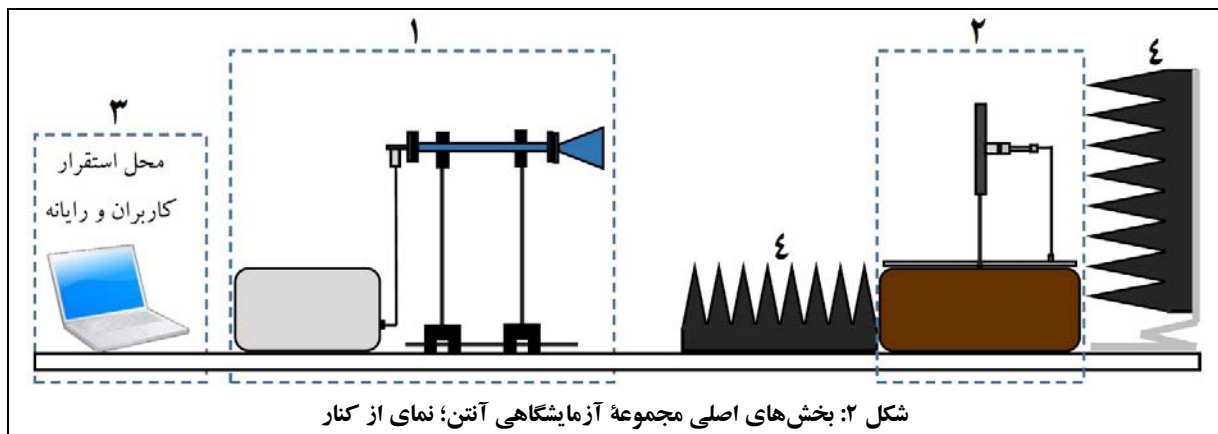
مجموعه آزمایشگاهی آنتن در حوزه آموزشی، جهت تجهیز آزمایشگاه آنتن و مایکروویو دانشگاه‌ها و در حوزه پژوهشی، جهت اندازه‌گیری متغیرهای طراحی و تست عملی و ارزیابی آنتن‌ها، مولدهای سیگنال مایکروویو، فیلترها و تقویت‌کننده‌های مورد طراحی در پروژه‌های دانشگاهی و صنعتی، کاربرد دارد.

همچنین به‌عنوان یک مشخصه متمایزکننده، در این مجموعه تلاش شده است اصول طراحی آنتن با استفاده از نرم‌افزارهای تخصصی این حوزه آموزش داده شود.

در مجموعه آزمایشگاهی آنتن، محصول شرکت راژان پرتو پارس، با توجه به انتخاب فرکانس 9.6GHz ، که معادل طول موج $\lambda_0 = 32\text{mm}$ در فضای آزاد است، می‌توان در فاصله‌ای حدود سه متر، اقدام به اندازه‌گیری پارامترهای میدان دور آنتن نمود.

بخش‌های اصلی مجموعه آزمایشگاهی آنتن در یک چیدمان کلی، در شکل ۲ مشاهده می‌شود؛ همانگونه که مشاهده می‌شود، این بخش‌ها به چهار زیر سامانه به شرح زیر، قابل تفکیک است:

۱. مجموعه فرستنده؛
۲. مجموعه گیرنده؛
۳. واسط کاربری و نرم‌افزار؛
۴. جاذب‌های امواج مایکروویو.



در ادامه این بخش به ترتیب در خصوص هر یک از این زیرسامانه‌ها توضیحاتی ارائه می‌شود.

۱-۲-۱-۱- مجموعه فرستنده

برای تست آنتن‌ها لازم است آنها را با یک سیگنال RF در باند فرکانسی مورد نظر، تغذیه نمود. برای این منظور در مجموعه آزمایشگاهی آنتن از یک مولد سیگنال میکروویو که یک نوسان‌ساز با کنترل ولتاژ (VCO)^{۱۴} در محدوده فرکانسی باند X و با فرکانس مرکزی ۹.۶GHz است، استفاده شده است. مجموعه فرستنده در شکل ۲ با شماره ۱ مشخص شده است. سیگنال خروجی VCO از درون یک سوئیچ SPDT^{۱۵} برای اعمال مدولاسیون دامنه عبور می‌کند. سیگنال مدوله شده پس از عبور از موجبر، وارد آنتن فرستنده می‌شود و توان میکروویو را به صورت جهت‌دار به سمت آنتن گیرنده ارسال می‌کند.

در خصوص مولد سیگنال میکروویو مجموعه اشاره می‌شود که:

- انجام مدولاسیون دامنه جهت کاهش سطح نویز دریافتی در محل آشکارساز صورت می‌گیرد. با استفاده از تکنیک‌هایی مثل تقویت‌کننده قفل‌شده^{۱۶} می‌توان سطح نویز در محل گیرنده را به شدت کاهش داد. علاوه بر این، سفت‌افزار^{۱۷} تهیه شده برای میکروکنترلر سیستم، تنها با دریافت پالس‌های ۱kHz می‌تواند عمل آشکارسازی سیگنال را انجام دهد.
- در طرح شامل SPDT لزومی به استفاده از ایزولاتور وجود ندارد زیرا در این طرح، شرایط تطبیق همواره برقرار است.

اطلاعات کامل تر مولد سیگنال میکروویو و نحوه کارکرد آن، در پیوست ۱ ارائه شده است.

۱-۲-۱-۱- مجموعه گیرنده

- این بخش که در پایه چرخان تعبیه شده است، عهده‌دار تشخیص و آشکارسازی میدان آنتن تحت آزمون بوده و در حکم قلب دستگاه می‌باشد. این بخش در شکل ۲ با شماره ۲ مشخص شده است و شامل چند زیر سامانه به شرح زیر می‌باشد:
- بخش آشکارساز: این بخش شامل آشکارساز، دم‌ولاتور و مدارهای تقویت‌کننده الکترونیکی آنالوگ می‌باشد. میدان فضایی آنتن به وسیله این زیر سیستم آشکار شده و مقدار عددی آن به صورت یک مقدار ولتاژ آنالوگ به زیر سامانه کنترل ارسال می‌شود.

^{۱۴} Voltage-Controlled Oscillator (VCO)

^{۱۵} Single Pole-Double Throw (SPDT)

^{۱۶} Lock-in Amplifier

^{۱۷} Framework

- سیستم کنترل حرکت: جهت آشکارسازی الگوی میدان آنتن، لازم است مقدار این میدان در کل 360° اندازه‌گیری شود. بدین منظور، بخش آشکارساز بر روی پایه‌ای متصل به یک موتور الکتریکی نصب شده‌است و با سرعت کنترل شده و یکنواخت حرکت نموده و کل 360° را جاروب می‌کند. سیستم کنترل حرکت عهده‌دار این مهم است که متشکل از موتور، اینکودر، مدار الکترونیکی درایو و یک کنترلر حلقه بسته، می‌باشد.
- کنترلر مرکزی: وظیفه کنترل کل سیستم و ارتباط با رایانه برعهده کنترلر مرکزی است. این بخش، خروجی بخش آشکارساز را دریافت و با اطلاعات مکانی خروجی از بخش کنترل حرکت، تلفیق نموده و به رایانه ارسال می‌کند.
- سیستم مکانیکی: این بخش شامل موتور، گیربکس، پولی‌ها، بلبرینگ‌ها و اتصالات مکانیکی دقیق بوده که سیستم را قادر می‌سازد حرکت دورانی با رزولوشن مکانی بالا داشته‌باشد.

اطلاعات کامل تر در مورد پایه چرخان و نحوه استفاده از آن، در پیوست ۱ ارائه شده‌است.

۱-۱-۲-۳- واسط کاربری و نرم‌افزار

- در مجموعه آزمایشگاهی آنتن، از نرم‌افزار CASSY Lab (نحوه کار با این نرم‌افزار در پیوست ۲ توضیح داده شده‌است) جهت کنترل رایانه‌ای مجموعه استفاده گردیده‌است. به این صورت که نرم‌افزار CASSY Lab روی یک رایانه شخصی یا لپ‌تاپ نصب شده و از طریق پورت USB یا RS232 با پایه چرخان تبادل اطلاعات می‌کند^{۱۸}. در این فرآیند:
۱. اطلاعات زاویه‌ای پایه چرخان و شدت سیگنال دریافت شده توسط آنتن تحت آزمون به رایانه ارسال می‌شود و پس از پردازش، اطلاعات اندازه‌گیری شده به شکل گرافیکی در نرم‌افزار CASSY Lab ارائه می‌شود؛
 ۲. کنترل کامل حرکات پایه چرخان (مواردی از جمله سرعت چرخش، جهت حرکت و محدوده زاویه‌ای جاروب شده) با استفاده از نرم‌افزار CASSY Lab به وسیله کاربر انجام می‌شود.

ارتباط با رایانه در شکل ۲ با شماره ۳ مشخص شده‌است.

^{۱۸} کابل USB در مجموعه آزمایشگاهی آنتن وجود دارد و کابل RS 232 نیز در صورت نیاز به وسیله کاربر قابل تأمین و استفاده است.

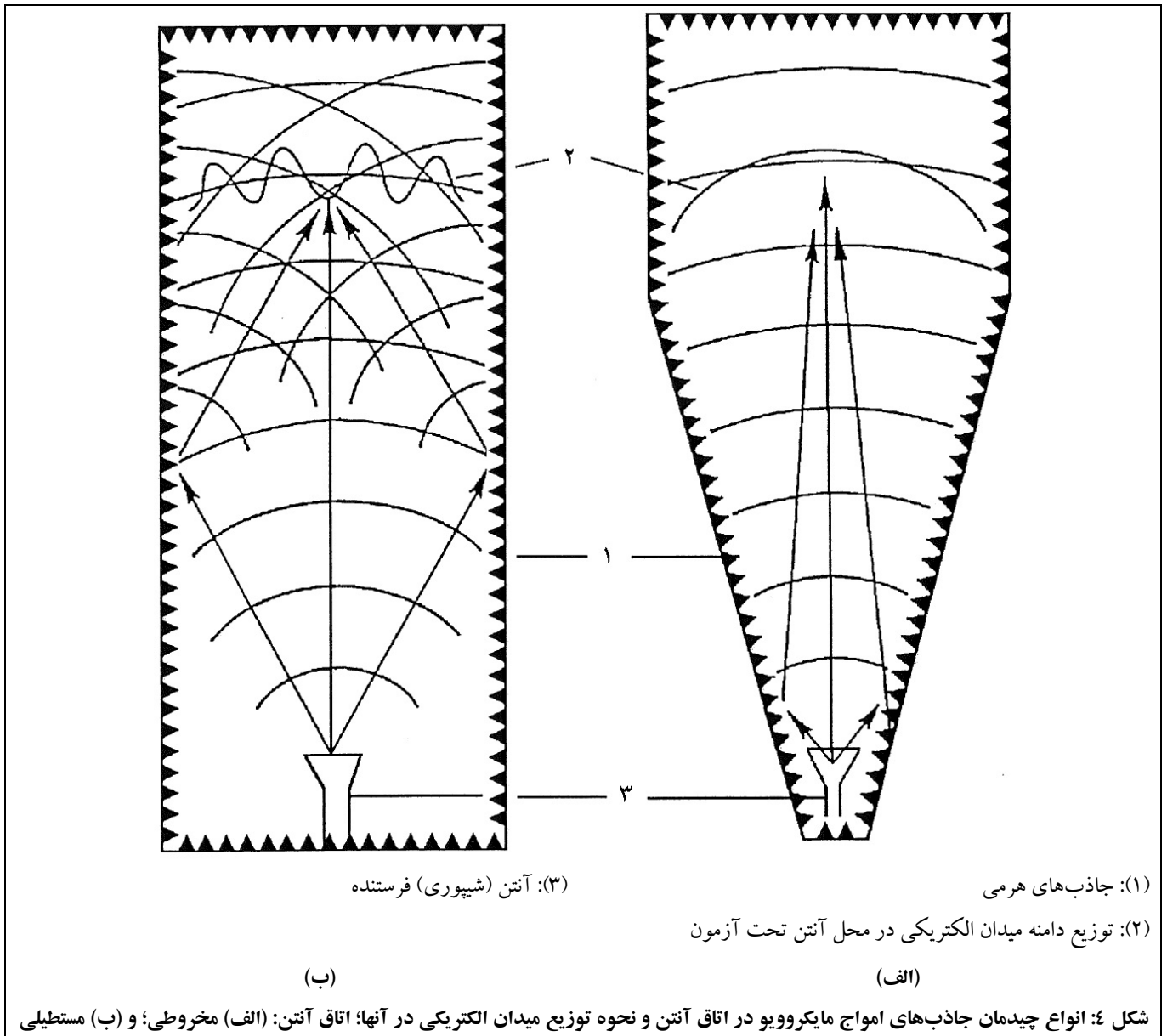
۱-۱-۲-۴- جذب‌های امواج مایکروویو

جهت رسم صحیح و دقیق الگوی آنتن، لازم است تنها میدان مستقیم آنتن آشکار شود و سایر امواج و بازتاب‌های محیطی که سبب تخریب رفتار الگوی تشعشعی آنتن می‌شوند، حذف گردند. به این منظور، در حالت ایده‌ال، باید آنتن را در فضای نامتناهی و بدون هرگونه هادی یا عایق تست کرد که در عمل مقدور نیست؛ اما می‌توان تا حد ممکن بازتابش سیگنال‌های مزاحم (که برای مثال از سطح دیوارهای آزمایشگاه یا میز تست رخ می‌دهند) را حذف نمود.

برای این منظور از صفحات جذب امواج مایکروویو (که در شکل ۲ با شماره ۴ مشخص شده‌اند) استفاده می‌شود (نمونه‌ای از این صفحات جذب در شکل ۳ مشاهده می‌شود). شکل هرمی این جذب‌ها برای برقراری تطبیق بین امپدانس فضای آزاد و امپدانس جذب‌های الکترومغناطیسی است. ضخیم شدن تدریجی جذب‌ها سبب می‌شود امواج فرکانس بالا به صورت تدریجی وارد محیط جذب امواج مایکروویو شوند و در نتیجه حداقل انعکاس موج از سطح جذب‌ها رخ دهد. همچنین جذب‌های هرمی دارای عرض باند زیادی هستند.



روش مناسب استفاده از این جذب‌ها، ساخت اتاق آنتن است. در اتاق‌های آنتن، با چیدمان مناسب جذب‌های امواج مایکروویو، اثرات انعکاس‌های مزاحم در محدوده اتاق به حداقل رسانده می‌شود. دو نمونه از آرایش‌های مرسوم اتاق آنتن، در شکل ۴ مشاهده می‌شود.



شکل ۴ (الف) یک اتاق آنتن مخروطی را نشان می‌دهد. این نوع آرایش جاذب‌های امواج مایکروویو سبب حداقل شدن اثر انعکاس‌های مزاحم از جداره‌های جانبی می‌شود. اگر آنتن فرستنده در محل مناسبی قرار گیرد، بازتابش‌های اندکی که از جاذب‌های کناری آن رخ می‌دهند اثر کمی در تخریب توزیع میدان الکتریکی در محل آنتن تحت آزمون خواهند داشت.

در چیدمان شکل ۴ (ب) یک اتاق آنتن مستطیلی مشاهده می‌شود. در این شکل بازتابش‌های مزاحم از دیواره‌های کناری و پشتی اتاق رخ می‌دهد و با انتخاب جاذب‌های مناسب می‌توان اثر این بازتابش‌های مزاحم را حداقل کرد. حضور انعکاس‌های مزاحم سبب ایجاد ریبیل در توزیع میدان الکتریکی در محل آنتن تحت آزمون می‌شود. توزیع میدان در این ناحیه تا حد ممکن باید به موج صفحه‌ای میل کند.

از آنجا که اتاق آنتن تجهیزاتی پر هزینه است، در مجموعه آزمایشگاهی آنتن شرکت راژان پرتو پارس، چهار جاذب امواج مایکروویو در نظر گرفته شده است که در آرایش صحیح (مورد اشاره در [بخش ۱-۲-۳](#))، می‌توانند انعکاس‌های مزاحم را به میزان خوبی کاهش دهند. با این تمهید، امکان دستیابی به نتایج تکرارپذیر در اندازه‌گیری پارامترهای آنتن در یک آزمایشگاه معمولی و بدون نیاز به اتاق آنتن، ایجاد گردیده است.

اطلاعات کامل‌تر در مورد جاذب‌های امواج مایکروویو و نحوه استفاده از آنها، در پیوست ۱ ارائه شده است.

۱-۱-۳- تجهیزات و مدل‌های مجموعه آزمایشگاهی آنتن

در این بخش، تجهیزات موجود در مجموعه آزمایشگاهی آنتن، مدل‌های این مجموعه و مجموعه آنتن‌های مایکرواستریپ (تجهیز اختیاری مجموعه)، معرفی می‌شوند.

۱-۳-۱-۱- تجهیزات

تجهیزات موجود در مجموعه آزمایشگاهی آنتن به قرار جدول ۱ می‌باشد.

جدول ۱: لیست قطعات مدل‌های مورد عرضه مجموعه آزمایشگاهی آنتن

| کد قطعه | نام قطعه | | ردیف |
|---------|----------------------------|---------------------------------|----------------------------|
| ۱۱۰۰ | Rotating Antenna Platform | | ۱ پایه چرخان |
| ۱۲۰۰ | Microwave Signal Generator | | ۲ مولد سیگنال مایکروویو |
| ۱۳۰۰ | Microwave Absorbers | | ۳ جاذب‌های امواج مایکروویو |
| ۱۴۱۱ | Horn Antenna | Large | ۴ آنتن شیپوری |
| ۱۴۱۲ | | Small | |
| ۱۴۲۱ | Helical Antenna | Right Handed Circular Polarized | ۶ آنتن هلیکال |
| ۱۴۲۲ | | Left Handed Circular Polarized | |
| | | راستگرد | ۷ |
| | | چپگرد | |

| ردیف | نام قطعه | | کد قطعه |
|------|--------------------------------------|------|---------|
| ۸ | آنتن مایکرواستریپ آرایه ۲×۲ | | ۱۴۳۸ |
| ۹ | آنتن شکافی | | ۱۴۴۰ |
| ۱۰ | مجموعه آنتن سیمی (دایپل و یاگی-یودا) | | ۱۴۵۰ |
| ۱۱ | موجبر ۲۰۰mm | | ۱۵۱۰ |
| ۱۲ | بار تطبیق موجبری | | ۱۵۲۰ |
| ۱۳ | ترانسفورمر سه پیچ | | ۱۵۳۰ |
| ۱۴ | مبدل کواکسیال به موجبری | | ۱۶۱۰ |
| ۱۵ | آشکارساز کواکسیالی | | ۱۶۲۰ |
| ۱۶ | کابل فرکانس بالا | | ۱۶۳۱ |
| ۱۷ | کابل فرکانس پایین | | ۱۶۳۲ |
| ۱۸ | کابل USB | | ۱۶۳۳ |
| ۱۹ | کابل تغذیه | | ۱۶۳۴ |
| ۲۰ | صفحه پلاریزور | | ۱۷۱۰ |
| ۲۱ | روزنه موج | بزرگ | ۱۷۲۱ |
| ۲۲ | | کوچک | ۱۷۲۲ |
| ۲۳ | پایه نگهدارنده | | ۱۸۱۰ |
| ۲۴ | میله فلزی در ابعاد مختلف | | ۱۸۲۱ |
| ۲۵ | میله فلزی اتصال کوتاه | | ۱۸۲۲ |
| ۲۶ | گیره نگهدارنده موجبر | | ۱۸۳۰ |
| ۲۷ | فویل مسی چسب‌دار | | ۱۹۱۰ |
| ۲۸ | متر فلزی | | ۱۹۲۰ |
| ۲۹ | پیچ و مهره | | ۱۹۳۰ |
| ۳۰ | کیف مجموعه | | ۱۹۴۰ |

اطلاعات کامل تر قطعات و نحوه استفاده از آنها، در پیوست ۱ ارائه شده است.

۱-۱-۳-۲- مدل‌ها

مجموعه آزمایشگاهی آنتن در دو مدل زیر عرضه می‌گردد:

- مدل ۱۰۱: این مدل دارای تمام تجهیزات و ادوات مورد نیاز برای کاربردهای آموزشی و پژوهشی مورد نظر برای یک گروه آزمایشگاهی است.
- مدل ۲۰۱: این مدل، با افزایش تعدادی از قطعات در مدل ۱۰۱، با این هدف طراحی شده‌است که امکان استفاده هم‌زمان دو گروه مجزا از مجموعه با هزینه‌ای کمتر از خریداری دو مجموعه کامل از مدل ۱۰۱، ایجاد شود.

لیست قطعات هر دو مدل ۱۰۱ و ۲۰۱، در جدول ۲ مشاهده می‌شود.

جدول ۲: لیست قطعات مدل‌های مورد عرضه مجموعه آزمایشگاهی آنتن

| ردیف | نام قطعه | تعداد قطعه در هر مدل | |
|------|--------------------------|----------------------|-----|
| | | ۲۰۱ | ۱۰۱ |
| ۱ | پایه چرخان | ۲ | ۱ |
| ۲ | مولد سیگنال مایکروویو | ۲ | ۱ |
| ۳ | جاذب‌های امواج مایکروویو | ۸ | ۴ |
| ۴ | آنتن شیپوری بزرگ | ۳ | ۲ |
| ۵ | آنتن شیپوری کوچک | ۱ | |
| ۶ | آنتن هلیکال | ۳ | |
| ۷ | آنتن مایکرواستریپ | ۱ | |
| ۸ | آنتن شکافی | ۱ | |
| ۹ | مجموعه آنتن‌های سیمی | ۱ | |
| ۱۰ | موجبر ۲۰۰mm | ۲ | |
| ۱۱ | بار تطبیق موجبری | ۱ | |
| ۱۲ | ترانسفورمر سه پیچ | ۱ | |
| ۱۳ | مبدل کواکسیال به موجبری | ۳ | ۲ |
| ۱۴ | آشکارساز کواکسیالی | ۲ | ۱ |
| ۱۵ | صفحه پلارایزر | ۱ | |
| ۱۶ | روزنه موج بزرگ | ۱ | |

| ردیف | نام قطعه | تعداد قطعه در هر مدل | |
|------|-------------------|----------------------|--------|
| | | ۱۰۱ | ۲۰۱ |
| ۱۷ | روزنه موج کوچک | ۱۲ | |
| ۱۸ | پایه نگهدارنده | ۶ | ۱۲ |
| ۱۹ | میله فلزی | ۱۲ | ۲۳ |
| ۲۰ | گیره نگهدارنده | ۴ | ۸ |
| ۲۱ | کابل فرکانس بالا | ۱ | ۲ |
| ۲۲ | کابل فرکانس پایین | ۲ | ۳ |
| ۲۳ | کابل USB | ۱ | ۲ |
| ۲۴ | کابل تغذیه | ۲ | ۴ |
| ۲۵ | فویل مسی چسب‌دار | ۲۰ برش | ۴۰ برش |
| ۲۶ | متر فلزی | ۱ | |
| ۲۷ | کیف مجموعه | ۱ | ۲ |

۱-۱-۳-۳- مجموعه آنتن‌های مایکرواستریپ

علاوه بر یک آنتن مایکرواستریپ آرایه ۲×۲ که به شکل استاندارد در مجموعه آزمایشگاهی آنتن قرار دارد، هشت آنتن مایکرواستریپ دیگر به شرح جدول ۳ به عنوان یک مجموعه تجهیز اختیاری به همراه مجموعه آزمایشگاهی آنتن، ارائه می‌شود.

جدول ۳: مجموعه آنتن‌های مایکرواستریپ؛ تجهیز اختیاری

| ردیف | آنتن مایکرواستریپ | کد قطعه |
|------|----------------------------------|---------|
| ۱ | تک | ۱۴۳۱ |
| ۲ | تک FR4 0.5 ^{mm} | ۱۴۳۲ |
| ۳ | تک FR4 0.8 ^{mm} | ۱۴۳۳ |
| ۴ | دو طبقه | ۱۴۳۴ |
| ۵ | تک با پلاریزاسیون دایروی (روش ۱) | ۱۴۳۵ |
| ۶ | تک با پلاریزاسیون دایروی (روش ۲) | ۱۴۳۶ |
| ۷ | آرایه ۴×۱ | ۱۴۳۷ |
| ۸ | با توزیع روزنه‌ای | ۱۴۳۹ |

اطلاعات کامل‌تر در خصوص این آنتن‌ها در پیوست ۱ و شرح آزمایش‌هایی که با تهیه این مجموعه تجهیز اختیاری قابل انجام است در بخش ۲-۶، ارائه شده است.

۱-۲-۱- نحوه کارکرد مجموعه آزمایشگاهی آنتن

در این بخش توضیحاتی در خصوص نحوه نصب و راه‌اندازی مجموعه آزمایشگاهی آنتن ارائه می‌گردد. به این منظور ابتدا به پیش‌نیازهای نصب اشاره می‌گردد که عبارتند از دستورالعمل‌های ایمنی و شرایط محیطی.

پیش از مطالعه این بخش، لازم است مطالب پیوست‌های ۱ و ۲، که اطلاعات مورد نیاز جهت کار با مجموعه آزمایشگاهی آنتن و نحوه اتصال قطعات مختلف آن به یکدیگر را شرح می‌دهند، مطالعه گردند.

۱-۲-۱- دستورالعمل‌های ایمنی

جهت استفاده از مجموعه آزمایشگاهی آنتن، باید به نکات ایمنی زیر توجه نمود:

- به دلیل توان پایین مولد سیگنال میکروویو (حدود 150 mW)، خطری برای کاربر مجموعه وجود ندارد؛ با این حال جهت ایمنی بیشتر، توصیه می‌شود به نکات زیر توجه گردد:
 - به صورت مستقیم به دهانه تشعشع‌کننده آنتن نگاه نکنید. این مسئله شامل موجبرهای^{۱۹} با انتهای باز و مبدل کوآکسیال به موجبری^{۲۰} نیز می‌شود.
 - در صورت نیاز به تغییر در چیدمان آزمایش، ابتدا مطمئن شوید مولد سیگنال میکروویو خاموش باشد.
 - حین روشن بودن مولد سیگنال میکروویو، از فضای اندازه‌گیری عبور ننمائید.
- مولد سیگنال میکروویو دارای محافظت‌های لازم در مقابل اتصال کوتاه می‌باشد با این حال از روشن و خاموش کردن آن بدون اینکه به آنتن فرستنده متصل باشد، خودداری فرمائید.
- ادوات فعال میکروویو (از جمله آشکارسازها^{۲۱} و ورکتورها^{۲۲}) به شدت نسبت به تخلیه الکترواستاتیکی حساس هستند. به همین جهت، به هنگام کار با آنها، از رخدادن تخلیه الکترواستاتیکی جلوگیری شود.

¹⁹ Waveguide

²⁰ Co-axial to Waveguide Adaptor

²¹ Detectors

²² Varactors

برای این کار لازم است قبل از اتصال کابل‌های بلند به این تجهیزات، آنها را تخلیه الکترواستاتیکی نمایید. این کار از طریق اتصال بدنه و مغزی کابل‌ها به زمین مجموعه صورت می‌گیرد.

- سطوح صاف فلنج‌ها^{۲۳} به شدت در کیفیت عملکرد تجهیزات مایکروویو تأثیرگذار هستند؛ لذا در کار کردن با آنها، احتیاط لازم را به کار برید.
- از چرخاندن محور پایه چرخان با دست خودداری فرمائید.
- حداکثر بار قابل تحمل پایه چرخان 10 kg می‌باشد، به هیچ وجه باری بیش از این مقدار روی پایه چرخان قرار ندهید.
- به دلیل ظرافت فوم‌های جاذب امواج مایکروویو:
 - جهت جابه‌جایی، آنها را با دو دست و از دو لبه کناری فوم گرفته و جابه‌جا نمائید.
 - به هیچ وجه فوم‌ها را روی رأس هرم‌ها قرار ندهید.
 - هیچ وسیله‌ای روی فوم‌ها قرار ندهید.
 - از وارد آمدن ضربه به فوم‌ها جلوگیری نمائید.
 - با توجه به استفاده از رزین‌های کربن در ساختار فوم‌های جاذب امواج مایکروویو، پس از جابه‌جایی فوم‌ها، دست‌های خود را به خوبی بشویید.
- جهت تغذیه دستگاه پایه چرخان و مولد سیگنال مایکروویو، از محافظ برق مناسب استفاده نمائید.
- به دلیل ظرافت گیره‌های نصب قطعات در کیف مجموعه آزمایشگاهی آنتن، هنگام برداشتن قطعات از داخل گیره‌ها و همچنین هنگام قراردادن قطعات در گیره‌ها، دقت لازم مبذول دارید.

۲-۲-۱- فضای نصب مجموعه

میزی که مجموعه آزمایشگاهی آنتن روی آن قرار می‌گیرد، تقریباً باید 3 m طول داشته‌باشد. عرض میز باید به اندازه‌ای باشد که بتوان پایه چرخان و جاذب‌های امواج مایکروویو را روی آن قرار داد و فضای کافی برای کار با آنها در اختیار داشت. در صورت وجود فضای خالی کافی در آزمایشگاه، بهتر است مطابق شکل ۵، از آرایش T شکل برای میزها استفاده نمود. در این حالت، پایه چرخان به همراه مجموعه جاذب‌های امواج مایکروویو، روی ناحیه بالایی T و مولد سیگنال مایکروویو به همراه آنتن فرستنده، در قسمت پایین T قرار می‌گیرند.

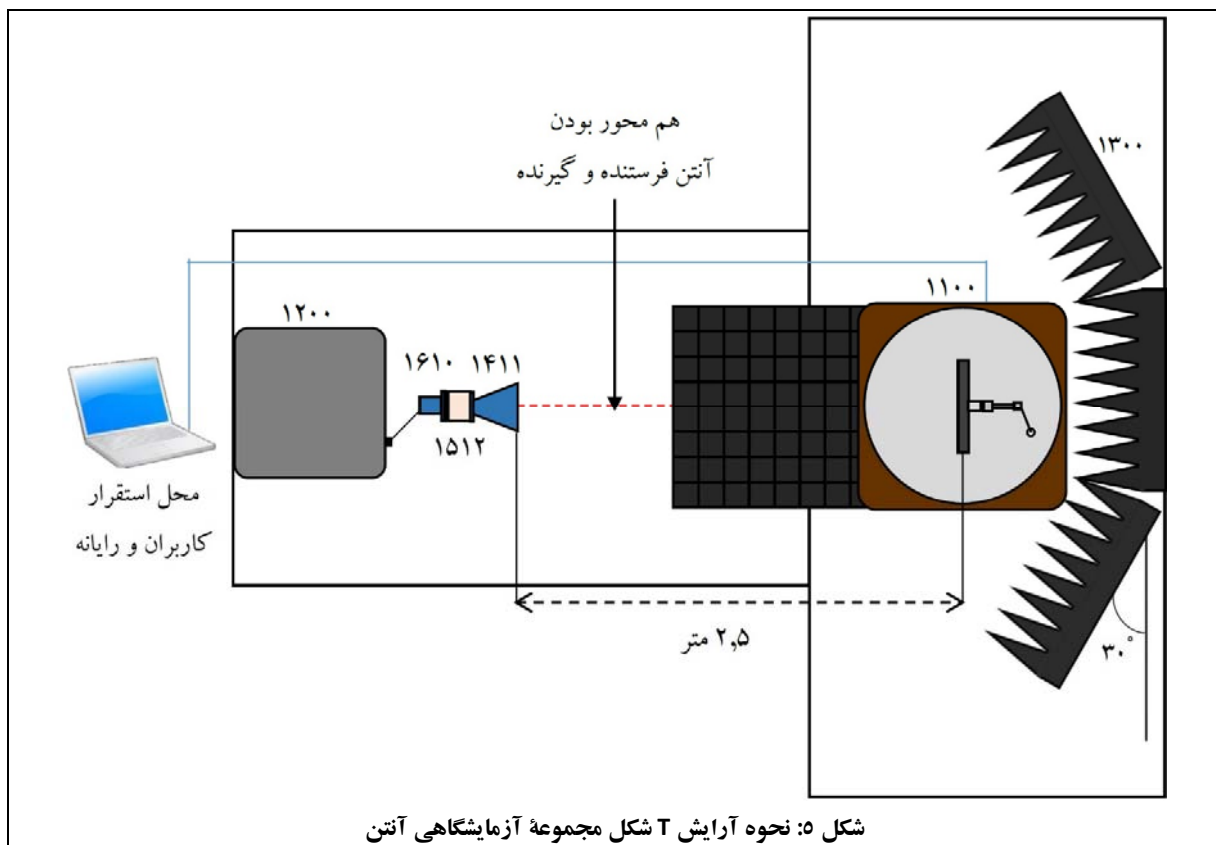
²³ Flanges

همچنین برای اینکه کاربران و رایانه کنترل‌کننده فرآیند آزمون در معرض حداقل تابش مایکروویو باشند، بهتر است مطابق شکل ۵، پشت آنتن فرستنده، جای گیرند.

در چیدمان مجموعه، فاصله میان آنتن فرستنده و آنتن تحت آزمون (r_0)، باید شرط میدان دور بودن آنتن تحت آزمون را برآورده کند. میزان r_0 برای برقراری شرط میدان دور، با استفاده از رابطه ۱ قابل محاسبه است.

$$r_0 \geq \frac{2D^2}{\lambda_0} \quad \text{رابطه ۱}$$

در رابطه ۱، D بزرگترین بعد تشعشی آنتن تحت آزمون و λ_0 طول موج فضای آزاد است. برای تمام آنتن‌های مورد استفاده در مجموعه آزمایشگاهی آنتن، فاصله $r_0 \approx 2.5^m$ این شرط را برآورده می‌کند. همانطور که در شکل ۵ نیز مشاهده می‌شود، $r_0 \approx 2.5^m$ برای چیدمان مجموعه در نظر گرفته شده است.



چیدمان جاذب‌های امواج مایکروویو که در شکل ۵ مشاهده می‌شود، یک پیشنهاد عمومی است و هر آزمایشگاه بسته به فضایی که به مجموعه آزمایشگاهی آنتن اختصاص می‌دهد، می‌تواند چیدمان مناسب خود را اجرا نماید.

جهت تطابق با چیدمان معرفی شده در شکل ۵، چهار عدد فوم جاذب امواج مایکروویو به شکل استاندارد به عنوان بخشی از مجموعه آزمایشگاهی آنتن عرضه می‌گردد. با این حال، کاربران محترم در صورت تشخیص نیاز و تمایل، می‌توانند با تماس با شرکت راژان پرتو پارس، نسبت به سفارش و تهیه تعداد بیشتری فوم جاذب امواج مایکروویو اقدام نمایند. در این وضعیت، کاربران قادر خواهند بود در شرایط خاص یا برای داشتن عملکرد بهتر، از فوم‌های جاذب بیشتری در چیدمان خود استفاده نمایند.

علاوه بر این موارد، در خصوص فضای اطراف مجموعه نیز توصیه می‌شود:

- فضای اطراف مجموعه باید تا حد امکان خالی از هر وسیله‌ای باشد. توصیه می‌شود حداقل در فاصله یک متری از مجموعه، وسیله اضافه‌ای قرار نداشته باشد.
- فضای اطراف مجموعه باید حداقل مکان‌سازی از نوسانات الکتریکی فرکانس بالا باشد، لذا ترجیح دارد اتاقی که مجموعه در آن نصب می‌گردد، در جوار آزمایشگاه‌های فشار قوی، موتور و الکترونیک صنعتی و همچنین تأسیسات مرکزی برق ساختمان، واقع نگردد.

۱-۲-۳- یک نمونه از چیدمان عملیاتی

در این بخش و پس از توضیح دستورالعمل‌های ایمنی و بیان ویژگی‌های محیط نصب مجموعه، یک چیدمان عملیاتی جهت آشنایی با نحوه کارکرد مجموعه آزمایشگاهی آنتن، شرح داده می‌شود.

در این چیدمان از یک آنتن شیپوری بزرگ به عنوان آنتن فرستنده و از یک آنتن مایکرواستریپ به عنوان آنتن تحت آزمون استفاده شده است.

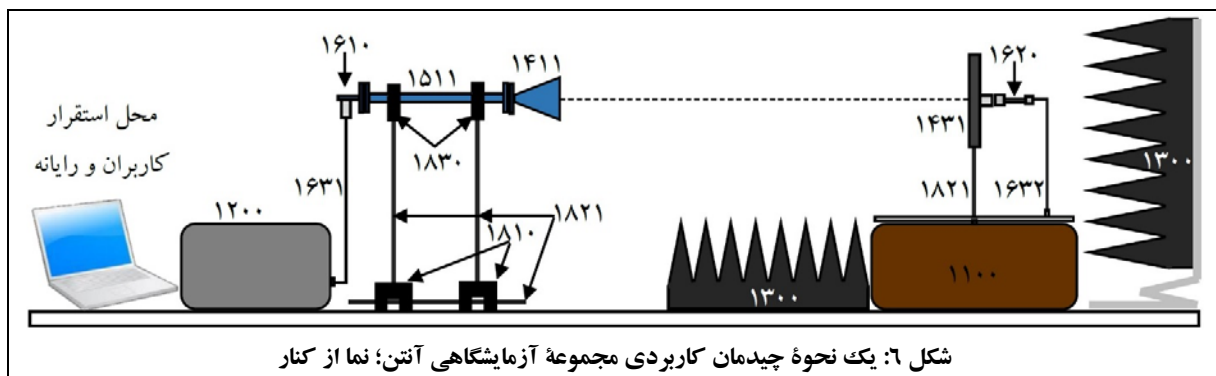
پیش از ورود به جزئیات کارکردی مجموعه، مجدداً متذکر می‌گردیم جهت درک بهتر این چیدمان، آشنایی با کارکرد قطعات، نحوه نصب آنها و نیز تنظیمات نرم‌افزاری مورد نیاز، لازم است ابتدا با مراجعه به پیوست‌های ۱ و ۲، اطلاعات قطعات مجموعه آزمایشگاهی آنتن و راهنمای نرم‌افزار CASSY Lab را مطالعه فرمائید.

در تمامی چیدمان‌ها توجه شود که:

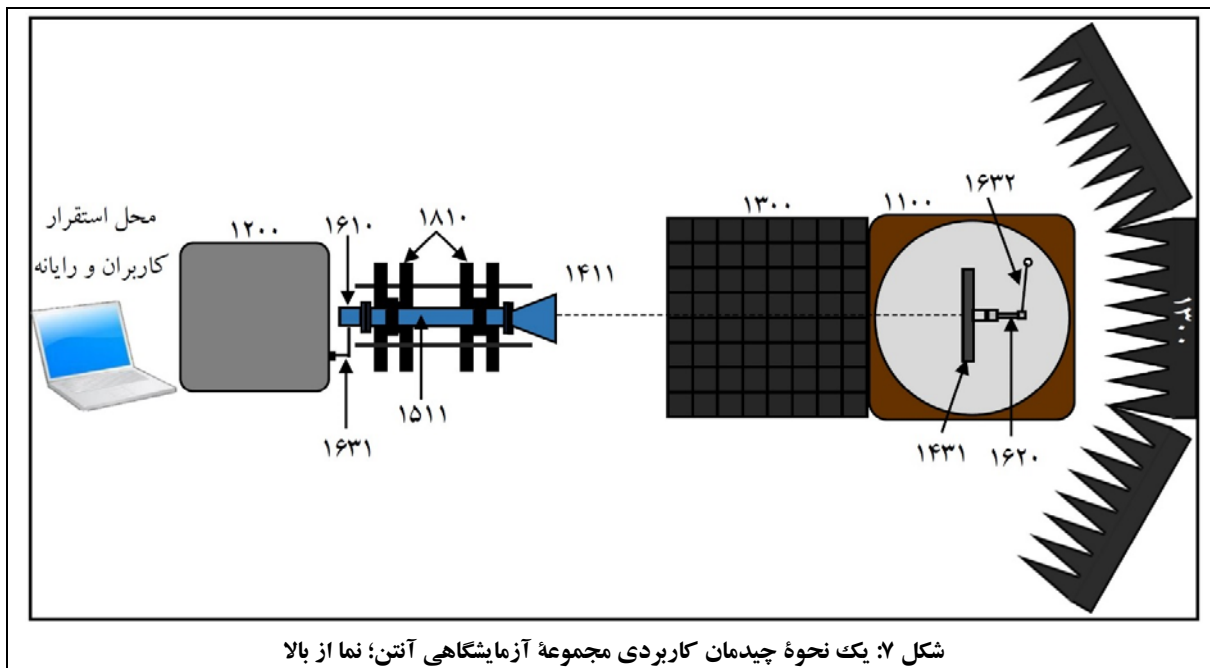
- آنتن فرستنده و گیرنده باید از نظر افقی، هم‌محور و موازی با سطح میز کار باشند.

- آنتن فرستنده و گیرنده باید از نظر عمودی (ارتفاع از سطح میز) نیز هم‌محور باشند و خط واصل بین آنها با سطح میز موازی باشد. برای رسیدن به این وضعیت، لازم است ارتفاع میله‌های فلزی روی پایه نگهدارنده در سمت آنتن فرستنده را تغییر داد.
- محور چرخش پایه چرخان و محور آنتن تحت آزمون، باید درون صفحه تقارن آنتن فرستنده قرار گیرند.
- زاویه صفر میز گردان باید مطابق توضیحات ارائه شده در بخش پ ۲-۵، تنظیم شود.

جهت اندازه‌گیری ویژگی‌های آنتن در چیدمان مورد نظر، مجموعه را مطابق شکل ۶، نصب نمایید.



جهت توضیح بیشتر، چیدمان همین مجموعه از نمای بالا در شکل ۷ مشاهده می‌شود.



همانطور که در شکل ۶ و شکل ۷ مشاهده می‌شود، قطعات مورد استفاده در چیدمان نمونه، مطابق جدول ۴ می‌باشند.

جدول ۴: فهرست قطعات مورد استفاده در چیدمان شکل ۶ و شکل ۷

| ردیف | قطعه | کد قطعه | تعداد در چیدمان |
|------|-------------------------|---------|-----------------|
| ۱ | پایه چرخان | ۱۱۰۰ | ۱ |
| ۲ | مولد سیگنال مایکروویو | ۱۲۰۰ | ۱ |
| ۳ | جاذب امواج مایکروویو | ۱۳۰۰ | ۴ |
| ۴ | آنتن شیپوری بزرگ | ۱۴۱۱ | ۱ |
| ۵ | آنتن مایکرواستریپ | ۱۴۳۱ | ۱ |
| ۶ | موجبر ۲۰. mm | ۱۵۱۱ | ۱ |
| ۷ | مبدل کواکسیال به موجبری | ۱۶۱۰ | ۱ |
| ۸ | آشکارساز کواکسیالی | ۱۶۲۰ | ۱ |
| ۹ | کابل فرکانس بالا | ۱۶۳۱ | ۱ |
| ۱۰ | کابل فرکانس پایین | ۱۶۳۲ | ۱ |
| ۱۱ | کابل USB | ۱۶۳۳ | ۱ |

| | | | |
|---|------|----------------------|----|
| ۲ | ۱۶۳۴ | کابل تغذیه | ۱۲ |
| ۲ | ۱۸۱۰ | پایه نگهدارنده | ۱۳ |
| ۵ | ۱۸۲۱ | میله فلزی | ۱۴ |
| ۲ | ۱۸۳۰ | گیره نگهدارنده موجبر | ۱۵ |
| ۱ | - | رایانه | ۱۶ |

جهت نصب قطعات به یکدیگر، لازم است از راهنمایی‌های بخش "روش کار" مربوط به هر قطعه در پیوست ۱ استفاده شود. حال پایه چرخان و مولد سیگنال مایکروویو را روشن نمائید. سپس با توجه به راهنمای نرم‌افزار CASSY Lab که در پیوست ۲ ارائه شده است، تنظیمات نرم‌افزاری را انجام دهید و از طریق نرم‌افزار CASSY Lab، دستور آغاز اندازه‌گیری را صادر نمائید.

۲- دستورالعمل آزمایش‌ها

در این بخش به کاربرد آموزشی مجموعه آزمایشگاهی آنتن پرداخته می‌شود؛ به این ترتیب که دستورالعمل آزمایش‌هایی که برای این مجموعه طراحی گردیده‌اند، ارائه می‌شود.

آزمایش‌های مورد اشاره در این بخش، عبارتند از:

- آنتن دایپل در بخش ۲-۱:

- بررسی الگوی تشعشعی آنتن دایپل نیم موج ($\lambda/2$) در صفحه E؛
- بررسی الگوی تشعشعی آنتن دایپل تمام موج (λ) در صفحه E؛
- بررسی الگوی تشعشعی آنتن دایپل ۱٫۵ طول موج ($1,5\lambda$) در صفحه E؛
- بررسی الگوی تشعشعی آنتن دایپل ۲٫۵ طول موج ($2,5\lambda$) در صفحه E؛
- بررسی الگوی تشعشعی آنتن دایپل ۴٫۵ طول موج ($4,5\lambda$) در صفحه E؛
- بررسی تضعیف پلاریزاسیون متعامد به وسیله آنتن دایپل نیم موج ($\lambda/2$)؛
- بررسی الگوی تشعشعی آنتن دایپل نیم موج ($\lambda/2$) در صفحه H.

- آنتن یاگی-یودا در بخش ۲-۲:

- بررسی الگوی تشعشعی آنتن دایپل در صفحه E؛
- بررسی الگوی تشعشعی آنتن دایپل با نگهدارنده مخصوص در صفحه E؛
- بررسی الگوی تشعشعی آنتن یاگی-یودا با یک رفلکتور و بدون دایرکتور (دو عنصر) در صفحه E؛
- بررسی الگوی تشعشعی آنتن یاگی-یودا با یک دایرکتور و بدون رفلکتور (دو عنصر) در صفحه E؛
- بررسی الگوی تشعشعی آنتن یاگی-یودا با سه عنصر (R-DIP-D) در صفحه E؛
- بررسی الگوی تشعشعی آنتن یاگی-یودا با شش عنصر (R-DIP-4D) در صفحه E؛
- بررسی الگوی تشعشعی آنتن یاگی-یودا در صفحه H.

- آنتن‌های روزنه‌ای در بخش ۲-۳:

- بررسی الگوی تشعشعی آنتن شیپوری بزرگ در صفحه E؛
- بررسی ضریب تلف پلاریزاسیون آنتن شیپوری بزرگ؛
- بررسی اثر صفحه پلاریزر؛
- بررسی الگوی تشعشعی آنتن شیپوری بزرگ در صفحه H؛
- بررسی الگوی تشعشعی آنتن شیپوری کوچک در صفحه H؛
- بررسی الگوی تشعشعی آنتن شیپوری کوچک در صفحه E؛

- بررسی الگوی تشعشعی آنتن موجبری با انتهای باز (در صفحات E و H)؛
 - آنتن‌های آرایه‌ای در بخش ۲-۴:
 - اندازه‌گیری الگوی تشعشعی صفحه H آرایه آنتن‌های شکافی (آرایه خطی)؛
 - اندازه‌گیری الگوی تشعشعی صفحه E آرایه آنتن‌های شکافی (آرایه خطی)؛
 - بررسی رفتار گلبرگ اضافی؛
 - بررسی رفتار اسکن الگوی تشعشعی آرایه آنتنی با تغییر فرکانس؛
 - بررسی آنتن مایکرواستریپ (آرایه صفحه‌ای)؛
 - آنتن هلیکال در بخش ۲-۵:
 - اندازه‌گیری الگوی تشعشعی آنتن هلیکال با پلاریزاسیون یکسان آنتن‌های فرستنده و گیرنده؛
 - بررسی تأثیر انعکاس روی الگوی تشعشعی آنتن هلیکال؛
 - اندازه‌گیری الگوی تشعشعی آنتن هلیکال با پلاریزاسیون مخالف آنتن‌های فرستنده و گیرنده؛
 - تأثیر انعکاس روی الگوی جهتی آنتن هلیکال در آنتن‌های فرستنده و گیرنده دارای پلاریزاسیون مخالف؛
 - تأثیر صفحه پلاریزر روی الگوی تشعشعی آنتن هلیکال؛
 - تعیین نوع پلاریزاسیون موج تشعشعی آنتن فرستنده در محل ماکزیمم گلبرگ اصلی الگوی جهتی.
 - آنتن‌های مایکرواستریپ در بخش ۲-۶:
 - اندازه‌گیری الگوی تشعشعی آنتن مایکرواستریپ تک؛
 - بررسی اثر تغییر زیرلایه روی آنتن مایکرواستریپ تک؛
 - اندازه‌گیری الگوی تشعشعی آنتن مایکرواستریپ دو طبقه؛
 - اندازه‌گیری الگوی تشعشعی آنتن مایکرواستریپ با تزویج روزنه‌ای؛
 - اندازه‌گیری الگوی تشعشعی آنتن مایکرواستریپ تک با پلاریزاسیون دایروی-روش ۱؛
 - اندازه‌گیری الگوی تشعشعی آنتن مایکرواستریپ تک با پلاریزاسیون دایروی-روش ۲؛
 - اندازه‌گیری الگوی تشعشعی آنتن مایکرواستریپ آرایه خطی 1×4 ؛
 - اندازه‌گیری الگوی تشعشعی آنتن مایکرواستریپ آرایه خطی 2×2 .
- در جدول ۵، قطعات عمومی که در اکثر آزمایش‌ها مورد استفاده هستند، مشخص شده‌اند. علاوه بر این قطعات، در ابتدای هر آزمایش، به سایر قطعاتی که در آن آزمایش مورد نیاز هستند، اشاره شده است.

جدول ۵: قطعات عمومی؛ مورد استفاده در اکثر آزمایش‌ها

| ردیف | نام قطعه | کد قطعه |
|------|-------------------------|---------|
| ۱ | پایه چرخان | ۱۱۰۰ |
| ۲ | مولد سیگنال میکروویو | ۱۲۰۰ |
| ۳ | جاذب‌های امواج میکروویو | ۱۳۰۰ |
| ۴ | آشکارساز کواکسیالی | ۱۶۲۰ |
| ۵ | کابل فرکانس بالا | ۱۶۳۱ |
| ۶ | کابل فرکانس پایین | ۱۶۳۲ |
| ۷ | کابل USB | ۱۶۳۳ |
| ۸ | کابل تغذیه | ۱۶۳۴ |
| ۹ | پایه نگهدارنده | ۱۸۱۰ |
| ۱۰ | میله فلزی | ۱۸۲۱ |
| ۱۱ | گیره نگهدارنده موجبر | ۱۸۳۰ |
| ۱۲ | متر فلزی | ۱۹۲۰ |
| ۱۳ | پیچ و مهره | ۱۹۳۰ |

۲-۱- آنتن دایپل

هدف از انجام این آزمایش، آشنایی با ساختار و عملکرد آنتن دایپل (یا دو قطبی) به عنوان ساده‌ترین آنتن خطی و همچنین بررسی اثر تغییر طول این آنتن بر عملکرد آن است.

جهت دستیابی به این اهداف، آزمایش‌های زیر در این بخش تعریف گردیده‌اند:

- بررسی الگوی تشعشعی آنتن دایپل نیم موج ($\lambda/2$) در صفحه E؛
- بررسی الگوی تشعشعی آنتن دایپل تمام موج (λ) در صفحه E؛
- بررسی الگوی تشعشعی آنتن دایپل ۱٫۵ طول موج ($1,5\lambda$) در صفحه E؛
- بررسی الگوی تشعشعی آنتن دایپل ۲٫۵ طول موج ($2,5\lambda$) در صفحه E؛
- بررسی الگوی تشعشعی آنتن دایپل ۴٫۵ طول موج ($4,5\lambda$) در صفحه E؛
- بررسی تضعیف پلاریزاسیون متعامد به وسیله آنتن دایپل نیم موج ($\lambda/2$)؛
- بررسی الگوی تشعشعی آنتن دایپل نیم موج ($\lambda/2$) در صفحه H.

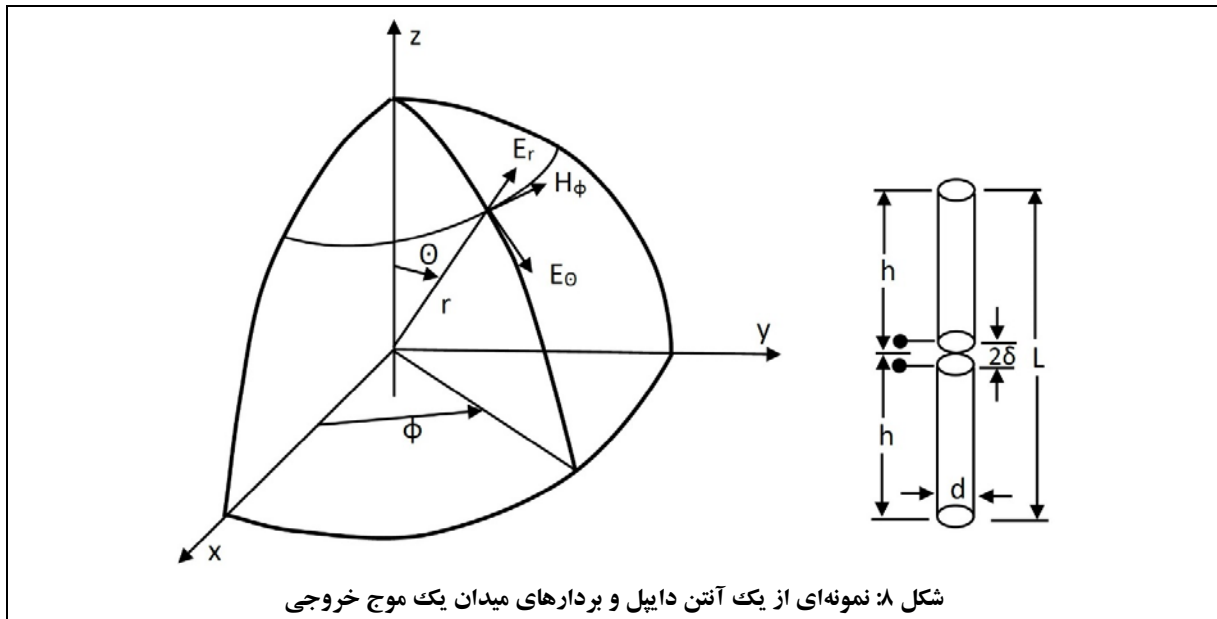
۲-۱-۱- مقدمه‌ای در خصوص آنتن‌های دایپل

آنتن دایپل یکی از قدیمی‌ترین، ارزان‌ترین و ساده‌ترین انواع آنتن‌های سیمی است که کاربردهای متنوعی دارد و در تمام باندهای فرکانسی، قابل استفاده می‌باشد.

در کاربردهای عملی، طول آنتن دایپل بین $\lambda/3$ و $5\lambda/4$ متغیر است و به ندرت از 2λ تجاوز می‌کند (زیرا در طول‌های بیش از 2λ ، گلبرگ‌های اضافی ظاهر می‌شوند).

همچنین متذکر می‌گردد از آنجا که آزمایش‌های مجموعه آزمایشگاهی آنتن در باند X و فرکانس $9,6\text{GHz}$ (معادل طول موج ۳۲ میلی‌متر) انجام می‌شود، آنتن با طول 2λ کوچک است و می‌توان آنرا بدون مشکل خاصی ساخت.

آنتن دایپل دارای دو قسمت میله‌ای صاف و مساوی است. فاصله این دو قسمت 2δ در نظر گرفته می‌شود که بی‌نهایت کوچک فرض می‌شود. یک نمونه آنتن دایپل (با فرض مرکز در مبدا مختصات) در شکل ۸ مشاهده می‌شود.



شکل ۸: نمونه‌ای از یک آنتن دایپل و بردارهای میدان یک موج خروجی

آنتن دایپل، امواج با پلاریزاسیون خطی تولید می‌کند که موازی با جهت خود آنتن هستند. معمولاً برای تحلیل آنتن دایپل از تحلیل دایپل هرتزین^{۲۴} استفاده می‌شود. در این تحلیل برای محاسبه توزیع جریان الکتریکی مؤثر روی سطح آنتن، از تقریب خط انتقالی استفاده می‌شود و می‌توان الگوی تشعشی آنتن را از روی انتگرال‌های تشعشی محاسبه نمود.

با صرف نظر از ملاحظات عملی و ساخت، برای محاسبه الگوی تشعشی آنتن دایپل می‌توان با فرض‌های زیر، به رابطه ۲ در

خصوص میدان الکتریکی آنتن دایپل رسید:

۱. ضخامت آنتن بسیار کم ($d \ll \lambda_0$) است.

اگر این فرض برقرار نباشد، آنتن دایپل از نوع Fat Dipole خواهد بود که الگوی تشعشی آن کمی متفاوت با حالت ایده‌آل خواهد بود.

۲. سیم‌های آنتن، هادی ایده‌آل هستند.

۳. جریان در طول آنتن به شکل سینوسی توزیع شده است.

$$\vec{J}(x' = 0, y' = 0, z') = \begin{cases} -\hat{z}I_0 \sin(k_0(z' - h)) & 0 \leq z' \leq h \\ \hat{z}I_0 \sin(k_0(z' + h)) & -h \leq z' \leq 0 \end{cases} \quad \text{رابطه ۲}$$

^{۲۴} Hertzian Dipole

سپس با استفاده از انتگرال‌های شعشی، رابطه ۳ به دست می‌آید.

$$\vec{A} = \int_{v'} \frac{\vec{J}(r') e^{-jk_0|r-r'|}}{4\pi|r-r'|} dv' \quad \text{رابطه ۳}$$

حال با استفاده از تقریب ناحیه دور، روابط ۴ و ۵ حاصل می‌شود.

$$\vec{A}_{ff} = -\mu_0 \frac{e^{-jk_0 r}}{4\pi r} \int_{v'} \vec{J}(r') e^{jk_0 \hat{r} \cdot r'} dv' \quad \text{رابطه ۴}$$

$$\vec{E}_{ff} = -j\omega(\vec{A}_{ff})_{tan} = -j\omega((\vec{A}_{ff} \cdot \hat{\theta}) \hat{\theta} + (\vec{A}_{ff} \cdot \hat{\phi}) \hat{\phi}) \quad \text{رابطه ۵}$$

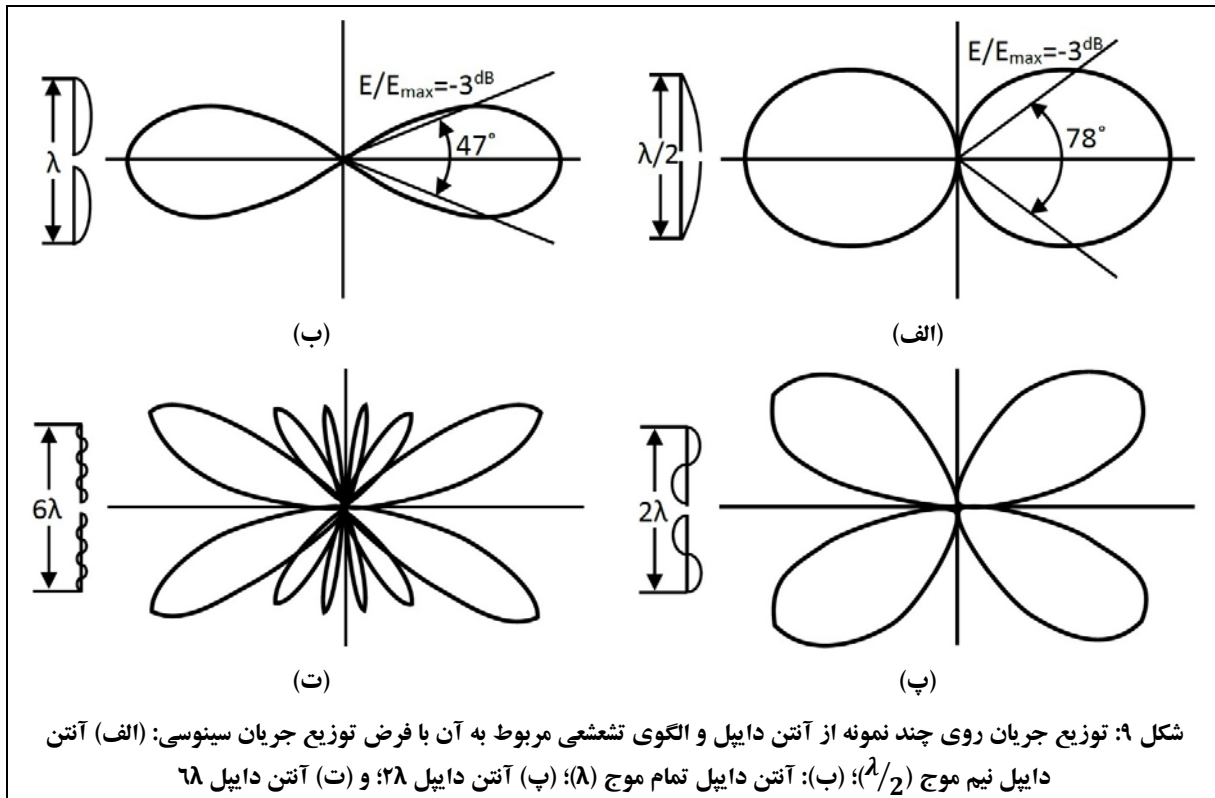
در نهایت با انجام محاسبات میدان ناحیه دور برای آنتنی که در راستای Z قرار گرفته‌است، میدان ناحیه دور آنتن دایپل مطابق رابطه ۶ به دست می‌آید.

$$\vec{E}_{ff} = -j\eta_0 \frac{I_0 e^{-jk_0 r}}{2\pi r} \left[\frac{\cos(k_0 h \cos(\theta)) - \cos(k_0 h)}{\sin(\theta)} \right] \hat{\theta} \quad \text{رابطه ۶}$$

در رابطه ۶، I_0 نشان‌دهنده حداکثر جریان آنتن، h نشان‌دهنده فاصله از آنتن و $k_0 = 2\pi/\lambda_0$ هستند.

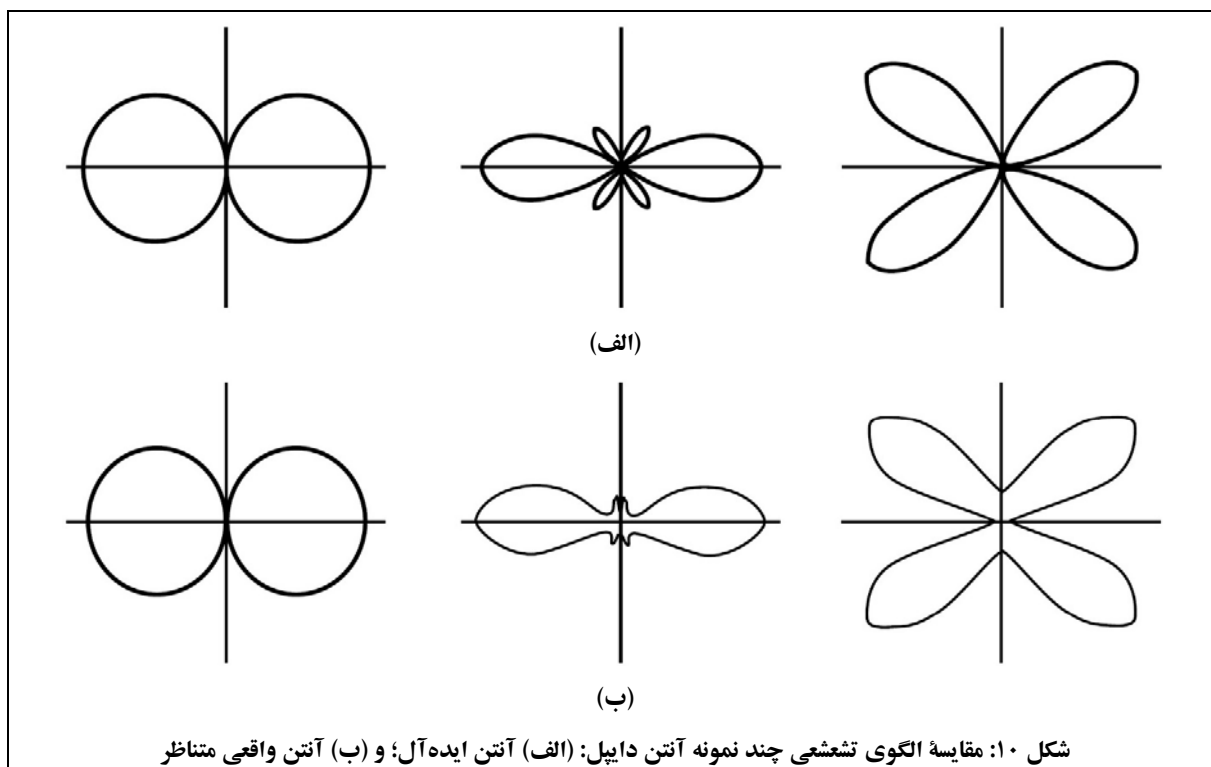
اگرچه این روابط مفید هستند و در بسیاری از مراجع بیان شده‌اند، با این حال فرض‌های در نظر گرفته‌شده، دقت محاسبات را کاهش می‌دهند.

در شکل ۹، چهار مدل مختلف آنتن دایپل با الگوهای شعشی آنها مشاهده می‌شود. این اشکال، مربوط به آنتن‌هایی با سیم‌های ایده‌آل (بسیار نازک) هستند. برای حالت واقعی، باید σ (رسانایی فلز) را محدود فرض کرد؛ هرچه σ بزرگتر در نظر گرفته‌شود، آنتن به حالت ایده‌آل نزدیک‌تر خواهد بود.



همانطور که بیان شد، تغییر در ضخامت سیم منجر به تغییر در توزیع جریان آنتن می‌شود، در نتیجه الگوی تشعشی تغییر می‌کند (تبدیل به نوع fat dipole می‌شود).

به‌عنوان نمونه، در شکل ۱۰، سه نمونه از الگوی تشعشی آنتن ایده‌آل (دارای سیم بی‌نهایت نازک) و آنتن واقعی، مشاهده می‌شود.



جهت محاسبه الگوی تشعشی آنتن دایپل، روش‌های مختلفی وجود دارد که بهترین آنها، محاسبه الگوی تشعشی آنتن دایپل به روش ممان^{۲۵} است.

۲-۱-۲- قطعات مورد نیاز

به غیر از قطعات عمومی مورد استفاده در تمام آزمایش‌ها (مورد اشاره در جدول ۵)، سایر قطعات مورد نیاز برای انجام آزمایش‌های بخش ۱-۲، مطابق جدول ۶ می‌باشد.

جدول ۶: قطعات مورد نیاز آزمایش‌های بخش ۱-۲

| ردیف | نام قطعه | کد قطعه |
|------|----------------------|---------|
| ۱ | مجموعه آنتن‌های سیمی | ۱۴۵۰ |

^{۲۵} Moment method

| | | |
|------|-------------------------|---|
| ۱۴۱۱ | آنتن شیپوری بزرگ | ۲ |
| ۱۵۱۱ | موجبر ۲۰۰mm | ۳ |
| ۱۶۱۰ | مبدل کوآکسیال به موجبری | ۴ |

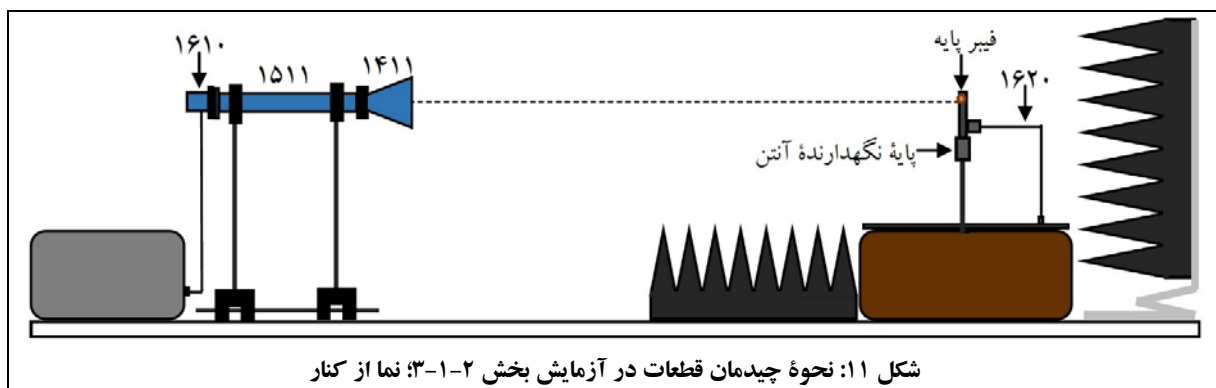
لازم است پیش از شروع انجام آزمایش‌های مربوط به آنتن دایپل، جهت درک نحوه ساخت آنتن‌های دایپل مورد استفاده در این آزمایش‌ها، بخش مربوط به مجموعه آنتن‌های سیمی در پیوست ۱ (پ ۱-۴-۵) مطالعه شود.

۲-۱-۳- الگوی تشعشی آنتن دایپل نیم موج در صفحه E

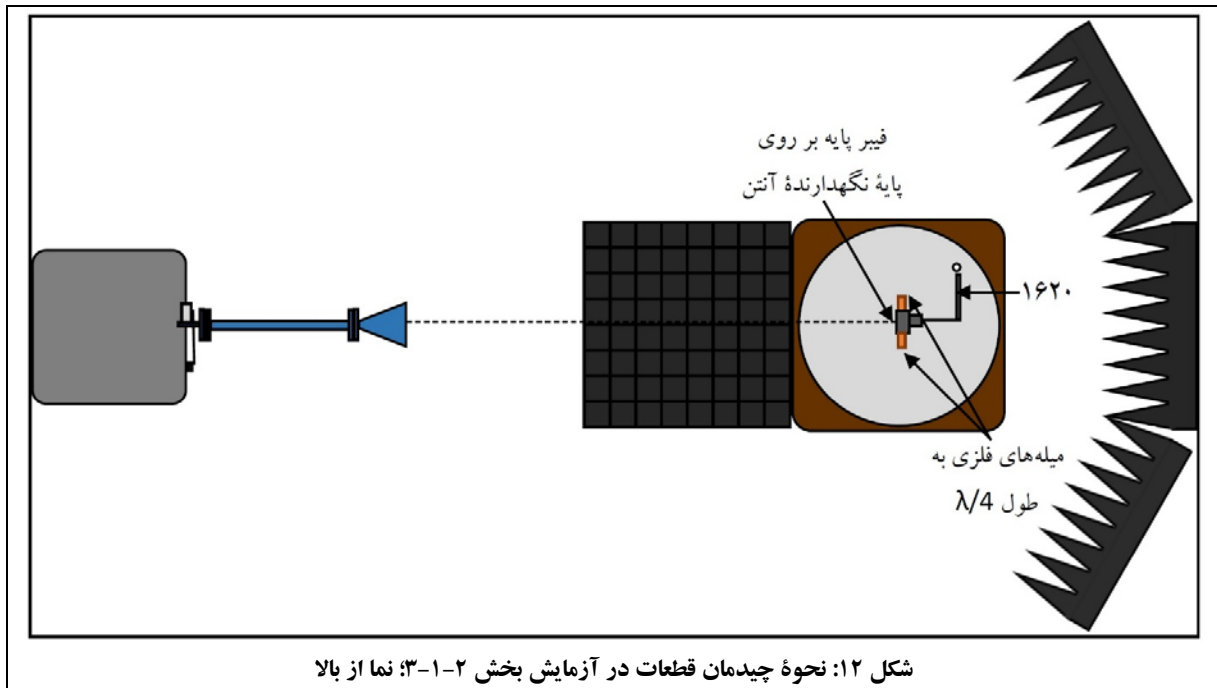
در این آزمایش به بررسی الگوی تشعشی آنتن دایپل نیم موج ($\lambda/2$) در صفحه E پرداخته می‌شود.

تنظیمات اولیه:

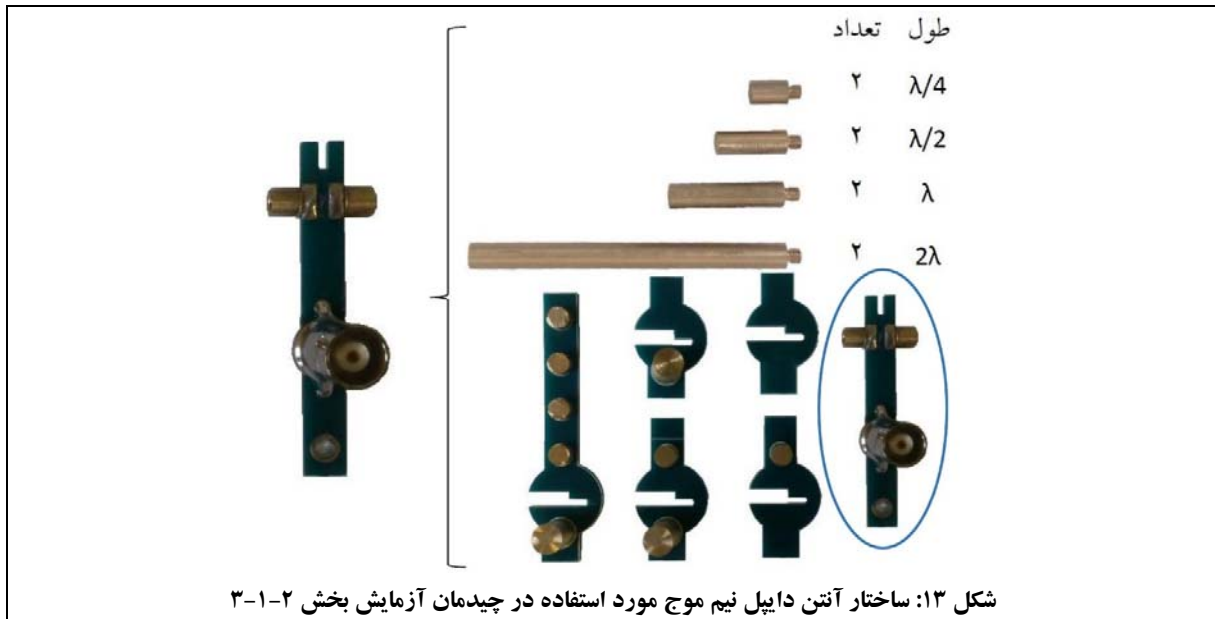
- نحوه چیدمان قطعات جهت انجام این آزمایش، مطابق شکل ۱۱ می‌باشد.



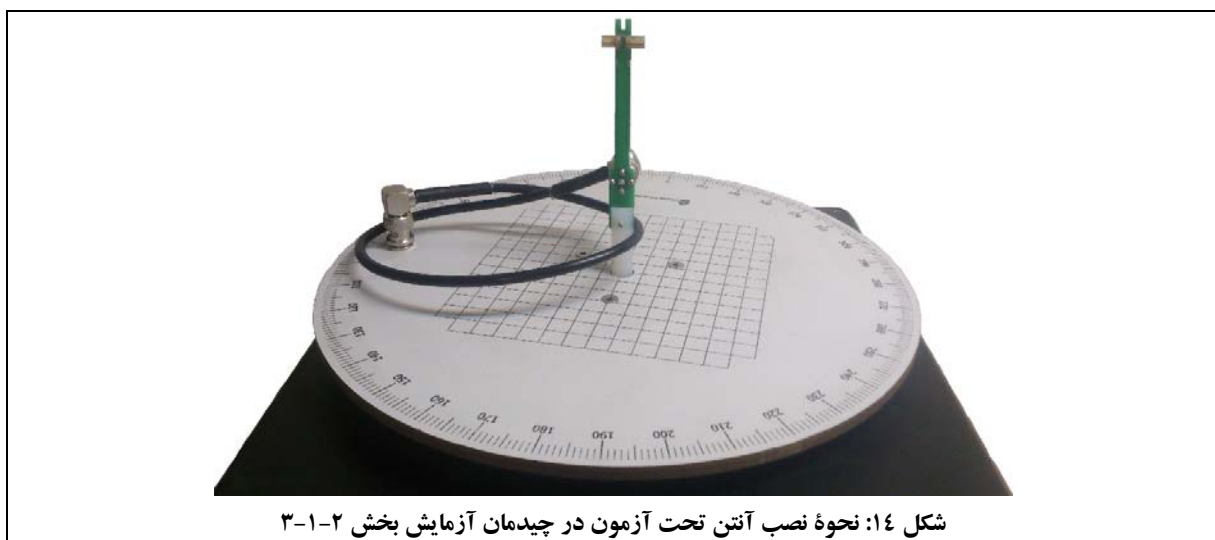
جهت توضیح بیشتر، چیدمان همین مجموعه از نمای بالا در شکل ۱۲ مشاهده می‌شود (در شکل ۱۲، جهت جلوگیری از پیچیدگی، پایه‌های نگهدارنده و متعلقات آنها در سمت آنتن شیپوری فرستنده، نمایش داده نشده‌اند).



- در چیدمان نمایش داده شده در شکل ۱۱ و شکل ۱۲:
 - از آنتن شیپوری بزرگ در حالت پلاریزاسیون افقی (در صفحه E) به عنوان فرستنده استفاده می‌شود.
 - جهت ایجاد آنتن دایپل نیم موج به عنوان گیرنده، مطابق شکل ۱۳ از فیبر پایه استفاده می‌گردد.
- با توجه به وجود دو میله فلزی به طول $\lambda/4$ به شکل پیش ساخته بر روی فیبر پایه، جهت ساخت آنتن دایپل نیم موج، نیاز به استفاده از سایر میله‌های فلزی وجود ندارد.



○ جهت نصب آنتن گیرنده روی پایه چرخان، مطابق شکل ۱۴: (۱) با توجه به وجود دیود گیرنده در طراحی آنتن سیمی، نیازی به استفاده از آشکارساز کواکسیالی نیست و باید با استفاده از کابل فرکانس پایین، سوکت BNC آنتن سیمی را به سوکت BNC پایه چرخان متصل نمود؛ و (۲) آنتن گیرنده را با استفاده از میله‌ای که فیبر پایه روی آن نصب شده است، در مرکز پایه چرخان نصب نمود.



- در هنگام نصب قطعات مربوط به آنتن گیرنده، دقت شود به نگهدارنده‌های آنتن، دیود آشکارساز و فیبر مدار چاپی، آسیبی نرسد.
- فرکانس مولد سیگنال مایکروویو را روی ۹,۶GHz تنظیم نمایید.

چند نکته کلی جهت لحاظ کردن در تمام آزمایش‌های تعریف شده برای مجموعه آزمایشگاهی آنتن:

- در نرم‌افزار CASSY Lab سه پارامتر A ، a و U قابل نمایش است. A نشان‌دهنده نسبت توان اندازه‌گیری شده به توان مرجع است. a نشان‌دهنده A بر حسب dB است. U نیز ولتاژ اندازه‌گیری شده در آشکارساز است. ارتباط این پارامترها با یکدیگر در رابطه ۷ مشاهده می‌شود.

$$A = \left(\frac{U}{U_{max}} \right)^{1/2} \quad \text{و} \quad a = 20 \log(A) \quad \text{رابطه ۷}$$

- در تمامی بخش‌های این دستورالعمل، پارامتر a مورد نظر است. به این ترتیب توصیه می‌شود جهت رسم و مقایسه الگوهای تشعشی و اندازه‌گیری پارامترهای مورد نظر در آزمایش‌ها، تنها از پارامتر a و نمودار آن بر حسب زاویه، استفاده گردد (مشابه روال این دستورالعمل و راهنمای استاد مجموعه آزمایشگاهی آنتن). با این حال در صورت صلاحدید کادر آموزشی، می‌توان رسم الگوی پارامترهای A و U را نیز در صورت آزمایش‌ها مورد نظر داشت.
- در نرم‌افزار CASSY Lab امکان رسم الگوی تشعشی در مختصات قطبی و کارترین وجود دارد. با توجه به آزمایش‌های طراحی شده، رسم الگوها در مختصات قطبی کفایت می‌کند با این حال در صورت صلاحدید کادر آموزشی، می‌توان رسم الگوی تشعشی در مختصات کارترین را نیز در صورت آزمایش‌ها مورد نظر داشت.
- اگر قصد انجام مقایسه بین داده‌های اندازه‌گیری شده در چند آزمایش مختلف را دارید، توجه نمائید که در بعضی از مشخصات چیدمان آزمایش (مانند فاصله بین آنتن فرستنده و گیرنده و تنظیمات پیچ‌های ترانسفورمر سه پیچ) تغییری ایجاد نشود. همچنین در این شرایط، داده‌های بدست آمده را نرمالیزه نکنید تا امکان مقایسه بین آنها وجود داشته‌باشد.

جهت انجام آزمایش:

۱. الگوی تشعشی صفحه E آنتن دایپل نیم موج ($\lambda/2$) (نمودار a بر حسب θ در مختصات قطبی) را رسم نمائید. فایل داده‌های حاصل از اندازه‌گیری را با عنوان DIPOLE-0.5E ذخیره نمایید.

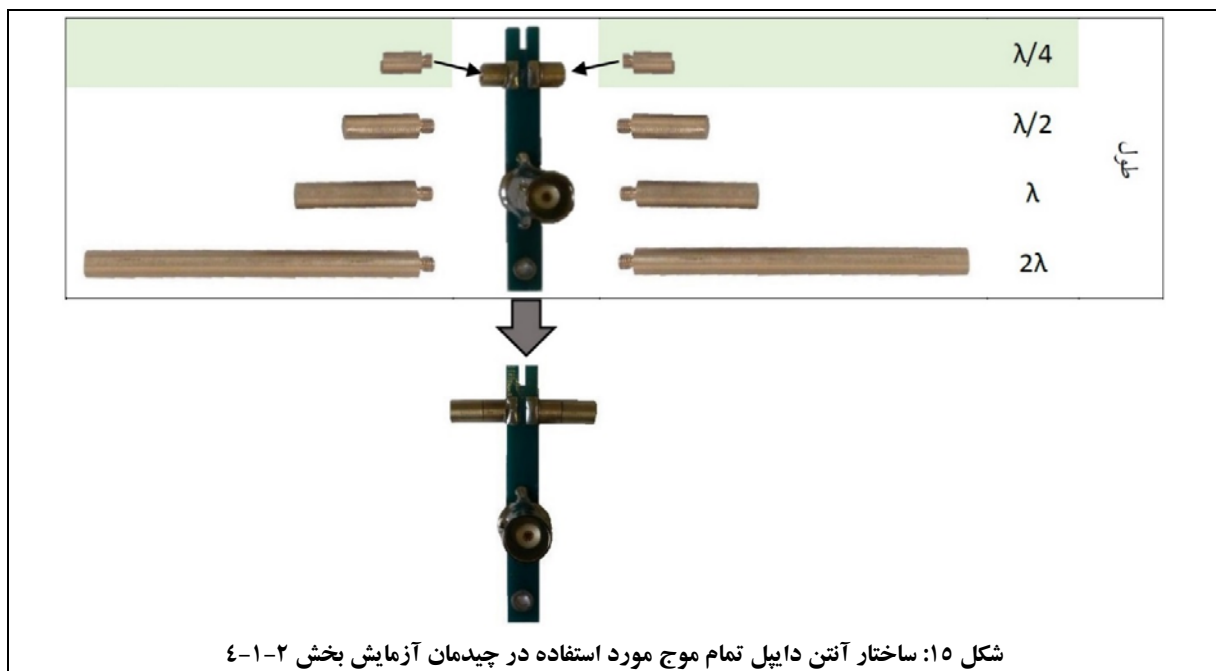
۲. از روی این نمودار، زاویه پرتو نیم‌توان (HPBW) را با کمک نشانگر صفحه بیابید و مقدار آنرا در گزارش خود یادداشت نمایید.

۲-۱-۴- الگوی تشعشی آنتن دایپل تمام موج در صفحه E

در این آزمایش به بررسی الگوی تشعشی آنتن دایپل تمام موج (λ) در صفحه E پرداخته می‌شود.

تنظیمات اولیه:

- نحوه چیدمان اولیه قطعات جهت انجام این آزمایش، مطابق شکل ۱۲ می‌باشد با این تفاوت که جهت ایجاد آنتن گیرنده، مطابق شکل ۱۵ از دو میله با طول $\lambda/4$ روی فیر پایه استفاده می‌گردد.



^{۲۶} Half Power Beam Width (HPBW): زاویه پرتویی که به ازای آن، دامنه گلبهگ اصلی آنتن به اندازه 3^{dB} (یا با ضریب ۰,۷۰۷ در مقیاس خطی) کاهش می‌یابد را زاویه پرتو نیم‌توان گویند. بر همین مبنا، این پارامتر را "پهنای بیم 3^{dB} گلبهگ اصلی" نیز می‌نامند.

- در هنگام نصب قطعات مربوط به آنتن گیرنده، دقت شود به نگهدارنده‌های آنتن، دیود آشکارساز و فیبر مدار چاپی، آسیبی نرسد.
- همچنین دقت شود همسویی بخش گیرنده با آنتن شیپوری فرستنده تغییر نکند و محور آنتن دایپل با خطوط مرجع مشخص شده در پایه چرخان، هم راستا باشد.
- فرکانس مولد سیگنال مایکروویو را روی 9.6GHz تنظیم نمایید.

جهت انجام آزمایش:

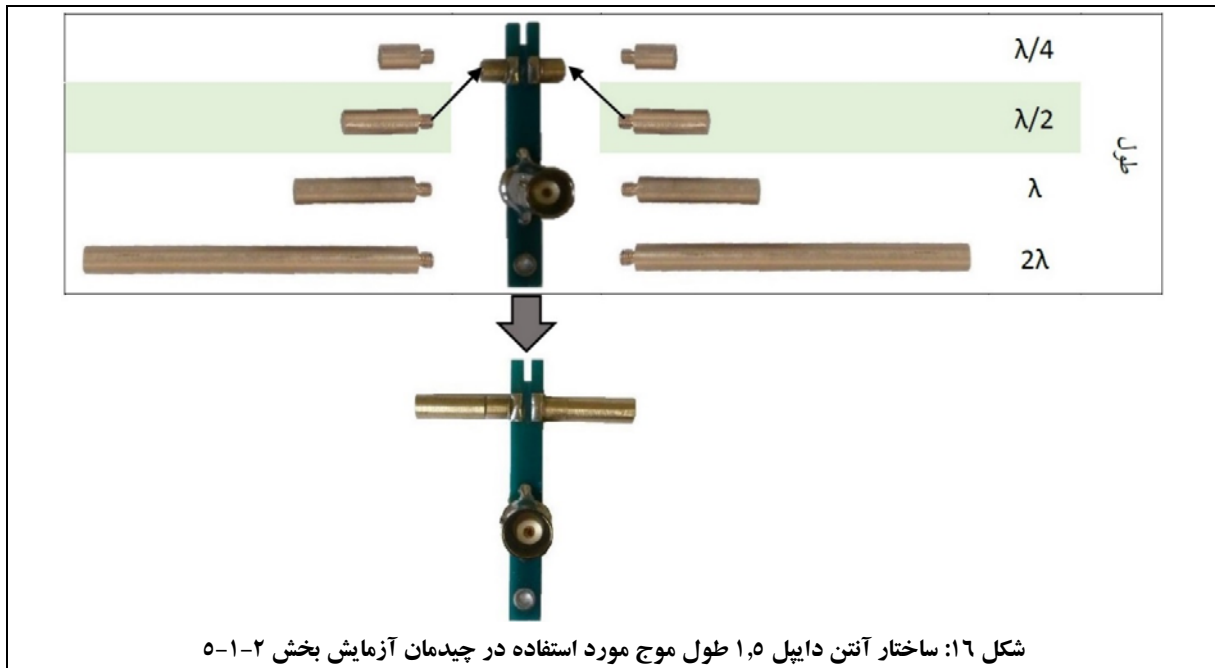
۱. الگوی تشعشی صفحه E آنتن دایپل تمام موج (λ) (نمودار a بر حسب θ در مختصات قطبی) را رسم نمایید. فایل داده‌های حاصل از اندازه‌گیری را با عنوان DIPOLE-1E ذخیره نمایید.
۲. از روی این نمودار، HPBW دو گلبرگ آنتن دایپل را بیابید و مقدار آنرا در گزارش خود یادداشت نمایید.

۲-۱-۵- الگوی تشعشی آنتن دایپل ۱,۵ طول موج در صفحه E

در این آزمایش به بررسی الگوی تشعشی آنتن دایپل ۱,۵ طول موج (1.5λ) در صفحه E پرداخته می‌شود.

تنظیمات اولیه:

- نحوه چیدمان اولیه قطعات جهت انجام این آزمایش، مطابق شکل ۱۲ می‌باشد با این تفاوت که جهت ایجاد آنتن گیرنده، مطابق شکل ۱۶ از دو میله با طول $\lambda/2$ استفاده می‌شود.



- در هنگام نصب قطعات مربوط به آنتن گیرنده، دقت شود به نگهدارنده‌های آنتن، دیود آشکارساز و فیبر مدار چاپی، آسیبی نرسد.
- همچنین دقت شود همسویی بخش گیرنده با آنتن شیپوری فرستنده تغییر نکند و محور آنتن دایپل با خطوط مرجع مشخص شده در پایه چرخان، هم راستا باشد.
- فرکانس مولد سیگنال مایکروویو را روی $9,6\text{GHz}$ تنظیم نمایید.

جهت انجام آزمایش:

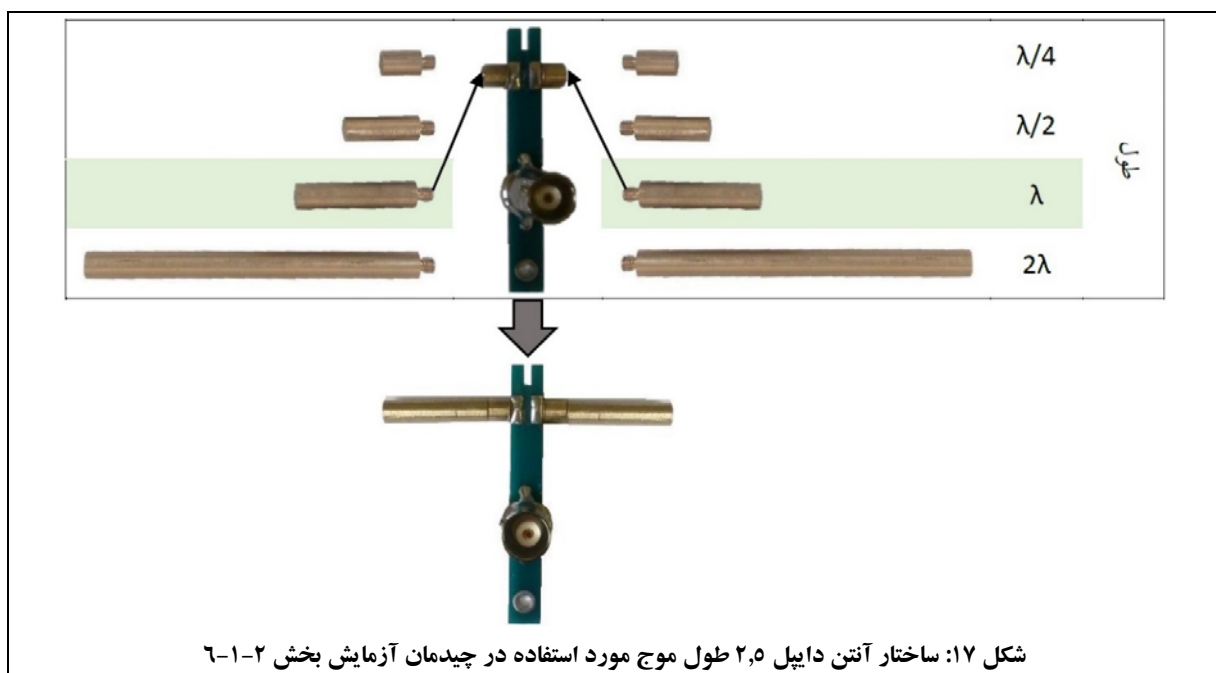
۱. الگوی تشعشی صفحه E آنتن دایپل تمام موج $(1,5\lambda)$ (نمودار a بر حسب θ در مختصات قطبی) را رسم نمایید. فایل داده‌های حاصل از اندازه‌گیری را با عنوان DIPOLE-1.5E ذخیره نمایید.
 ۲. با باز کردن فایل‌های DIPOLE-1E و DIPOLE-1.5E به شکل هم‌زمان در نرم‌افزار CASSY Lab، الگوهای تشعشی آنتن‌های دایپل تمام موج و $1,5$ طول موج را در صفحه E با هم نمایش داده و از آن پرینت بگیرید و در گزارش خود ارائه نمایید.
- این دو الگو را با هم مقایسه کرده و در مورد نتایج به دست آمده، بحث کنید.

۲-۱-۶- الگوی تشعشی آنتن دایپل ۲,۵ طول موج در صفحه E

در این آزمایش به بررسی الگوی تشعشی آنتن دایپل ۲,۵ طول موج (۲,۵λ) در صفحه E پرداخته می‌شود.

تنظیمات اولیه:

- نحوه چیدمان اولیه قطعات جهت انجام این آزمایش، مطابق شکل ۱۲ می‌باشد با این تفاوت که جهت ایجاد آنتن گیرنده، از دو میله با طول λ ، مطابق شکل ۱۷ استفاده می‌شود.



- در هنگام نصب قطعات مربوط به آنتن گیرنده، دقت شود به نگهدارنده‌های آنتن، دیود آشکارساز و فیبر مدار چاپی، آسیبی نرسد.
- همچنین دقت شود همسویی بخش گیرنده با آنتن شیپوری فرستنده تغییر نکند و محور آنتن دایپل با خطوط مرجع مشخص شده در پایه چرخان، هم راستا باشد.
- فرکانس مولد سیگنال مایکروویو را روی $9,6\text{GHz}$ تنظیم نمایید.

جهت انجام آزمایش:

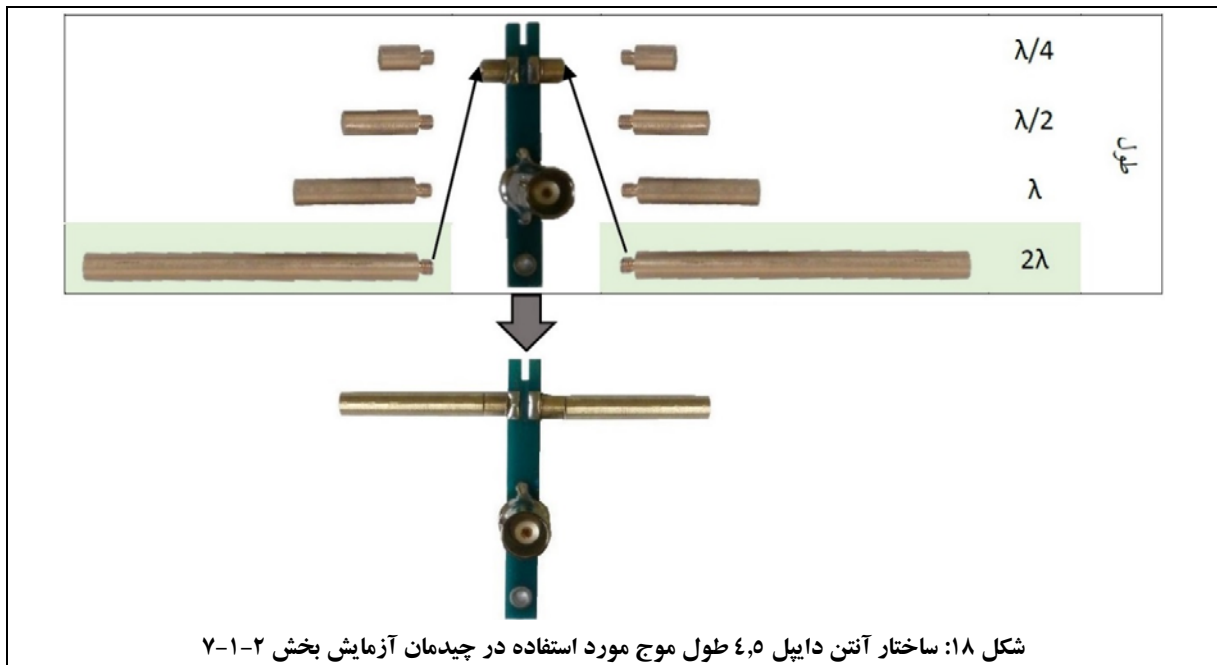
۱. الگوی تشعشی صفحه E آنتن دایپل ۲,۵ طول موج (۲,۵λ) (نمودار a بر حسب θ در مختصات قطبی) را رسم نمایید. فایل داده‌های حاصل از اندازه‌گیری را با عنوان DIPOLE-2.5E ذخیره نمایید.
 ۲. با باز کردن فایل‌های DIPOLE-1.5E و DIPOLE-2.5E به شکل هم‌زمان در نرم‌افزار CASSY Lab، الگوهای تشعشی آنتن‌های دایپل ۱,۵ و ۲,۵ طول موج را در صفحه E با هم نمایش داده و از آن پرینت بگیرید و در گزارش خود ارائه نمایید.
- این دو الگو را با هم مقایسه کرده و در مورد نتایج به دست آمده، بحث کنید.

۲-۱-۷- الگوی تشعشی آنتن دایپل ۴,۵ طول موج در صفحه E

در این آزمایش به بررسی الگوی تشعشی آنتن دایپل ۴,۵ طول موج (۴,۵λ) در صفحه E پرداخته می‌شود.

تنظیمات اولیه:

- نحوه چیدمان اولیه قطعات جهت انجام این آزمایش، مطابق شکل ۱۲ می‌باشد با این تفاوت که جهت ایجاد آنتن گیرنده، از دو میله با طول ۲λ، مطابق شکل ۱۸ استفاده می‌شود.



- در هنگام نصب قطعات مربوط به آنتن گیرنده، دقت شود به نگهدارنده‌های آنتن، دیود آشکارساز و فیبر مدار چاپی، آسیبی نرسد.
- همچنین دقت شود همسویی بخش گیرنده با آنتن شیپوری فرستنده تغییر نکند و محور آنتن دایپل با خطوط مرجع مشخص شده در پایه چرخان، هم راستا باشد.
- فرکانس مولد سیگنال مایکروویو را روی 9.6GHz تنظیم نمایید.

جهت انجام آزمایش:

الگوی تشعشی صفحه E آنتن دایپل 4.5 طول موج (4.5λ) (نمودار a بر حسب θ در مختصات قطبی) را رسم نمایید. فایل داده‌های حاصل از اندازه‌گیری را با عنوان DIPOLE-4.5E ذخیره نمایید.

۲-۱-۸- تضعیف پلاریزاسیون متعامد به وسیله آنتن دایپل نیم موج

منظور از تضعیف پلاریزاسیون متعامد^{۲۷}، نسبت سیگنال ورودی با پلاریزاسیون یکسان به سیگنال دریافتی با پلاریزاسیون متعامد می‌باشد. به عبارت دیگر، منظور نسبت بین مؤلفه‌های متعامد سیگنال دریافتی در محل آنتن دایپل است.

تنظیمات اولیه:

- نحوه چیدمان اولیه قطعات جهت انجام این آزمایش، مطابق شکل ۱۲ می‌باشد.
- فرکانس مولد سیگنال مایکروویو را روی 9.6GHz تنظیم نمایید.

جهت انجام آزمایش:

۱. آنتن گیرنده را منطبق بر خط 0° پایه چرخان قرار دهید. میزان a را در نرم‌افزار CASSY Lab خوانده و یادداشت کنید. توجه شود که در این حالت، حداکثر سیگنال ارسالی دریافت خواهد شد.
۲. آنتن فرستنده را (آنتن شیپوری به همراه موجبر متصل به آن) به اندازه 90° بچرخانید؛ برای این کار، لازم است گیره‌های نگهدارنده موجبرها نیز از ضلع بزرگ‌تر خود روی میله‌های نگهدارنده قرار گیرند. دقت کنید که مکان آنتن فرستنده نسبت به حالت قبل تغییری نکند.

^{۲۷} Cross Polarization

در این وضعیت، موج با پلاریزاسیون عمودی منتشر می‌شود. سیگنالی که اکنون به وسیله آنتن گیرنده دریافت می‌شود، بسیار کم است.

۳. میزان a را در نرم‌افزار CASSY Lab خوانده و یادداشت کنید.

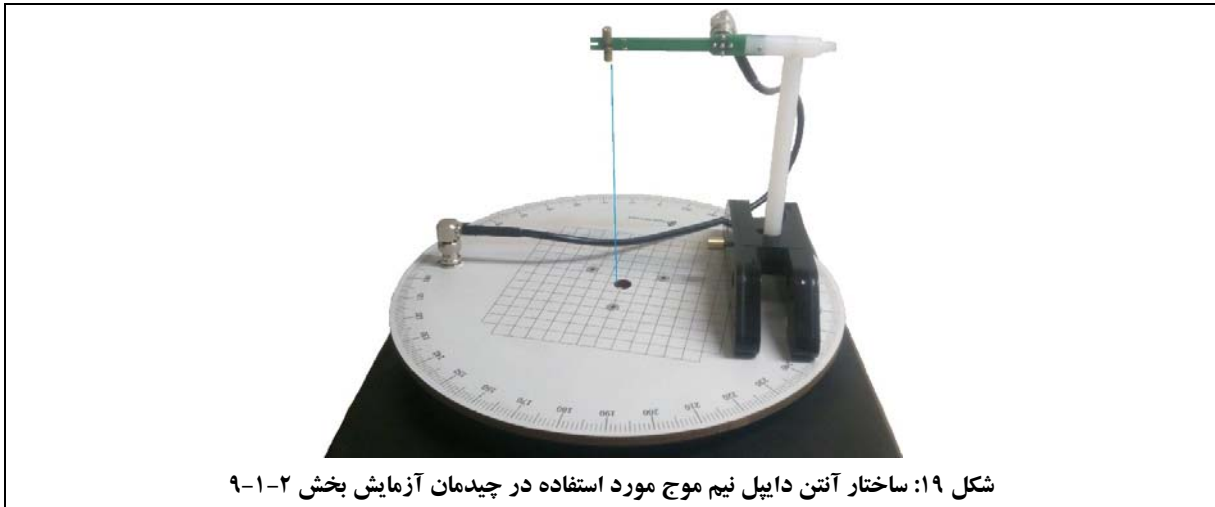
۴. با کم کردن میزان a در این دو وضعیت، میزان تضعیف پلاریزاسیون متعامد حساب می‌شود.

۲-۱-۹- الگوی تشعشی آنتن دایبل نیم موج در صفحه H

در این آزمایش به بررسی الگوی تشعشی آنتن دایبل نیم موج ($\lambda/2$) در صفحه H پرداخته می‌شود.

تنظیمات اولیه:

- چیدمان قطعات این آزمایش، مشابه چیدمان قطعات در شکل ۱۲ می‌باشد، با این تفاوت که:
 - به دلیل رسم الگوی آنتن در صفحه H، باید مجموعه فرستنده به همراه ادوات موجبری متصل به آن، 90° حول محور موجرها چرخانده شود؛ برای این کار، لازم است گیره‌های نگهدارنده موجرها نیز از ضلع دیگر خود روی میله‌های نگهدارنده قرار گیرند.
 - آنتن گیرنده، مشابه شکل ۱۳ متشکل از فیبر پایه است.
 - جهت نصب آنتن گیرنده، لازم است مطابق شکل ۱۹، فیبر پایه و میله‌ای که فیبر پایه روی آن نصب شده است روی میله دیگری که در مجموعه آنتن‌های سیمی قرار دارد، نصب شود و میله دوم با استفاده از یک پایه نگهدارنده روی پایه چرخان قرار گیرد.
 - همچنین توجه شود که پایه نگهدارنده به نحوی روی پایه چرخان قرار گیرد که میله‌های فلزی روی فیبر پایه، هم راستای مرکز پایه چرخان قرار گیرند.



شکل ۱۹: ساختار آنتن دایپل نیم موج مورد استفاده در چیدمان آزمایش بخش ۱-۲-۹

- توجه کنید در این حالت، هر دو آنتن فرستنده و گیرنده، دارای پلاریزاسیون عمودی بوده و در نتیجه همچنان دارای پلاریزاسیون یکسان هستند.
- در هنگام نصب قطعات مربوط به آنتن گیرنده، دقت شود به نگهدارنده‌های آنتن، دیود آشکارساز و فیبر مدار چاپی، آسیبی نرسد.
- همچنین دقت شود همسویی بخش گیرنده با آنتن شیپوری فرستنده تغییر نکند و محور آنتن دایپل با خطوط مرجع مشخص شده در پایه چرخان، هم راستا باشد.
- فرکانس مولد سیگنال مایکروویو را روی 9.6GHz تنظیم نمایید.

جهت انجام آزمایش:

۱. الگوی تشعشی صفحه H آنتن دایپل نیم موج $(\lambda/2)$ (نمودار a بر حسب θ در مختصات قطبی) را رسم نمایید. فایل داده‌های حاصل از اندازه‌گیری را با عنوان DIPOLE-0.5H ذخیره نمایید.
۲. از روی این نمودار، ریپل الگوی تشعشی آنتن^{۲۸} را با کمک نشانگر صفحه بیابید و مقدار آنرا در گزارش خود یادداشت نمایید.

^{۲۸} HPBW برای آنتن‌های همه جهته تعریف نمی‌شود. برای این آنتن‌ها تفاوت میزان حداکثر و حداقل بهره به‌عنوان ریپل الگوی تشعشی آنتن تعریف می‌گردد. اشاره می‌گردد که آنتن‌های دایپل موجود در مجموعه آزمایشگاهی آنتن در صفحه H همه جهته هستند.

۲-۲- آنتن یاگی-یودا

هدف از انجام این آزمایش، آشنایی با ساختار و عملکرد آنتن یاگی-یودا به‌عنوان نمونه‌ای از آرایه عناصر خطی و مشاهده تأثیر دایرکتورها و رفلکتورها روی الگوی تشعشی آن است.

جهت دستیابی به این اهداف، آزمایش‌های زیر در این بخش تعریف گردیده‌اند:

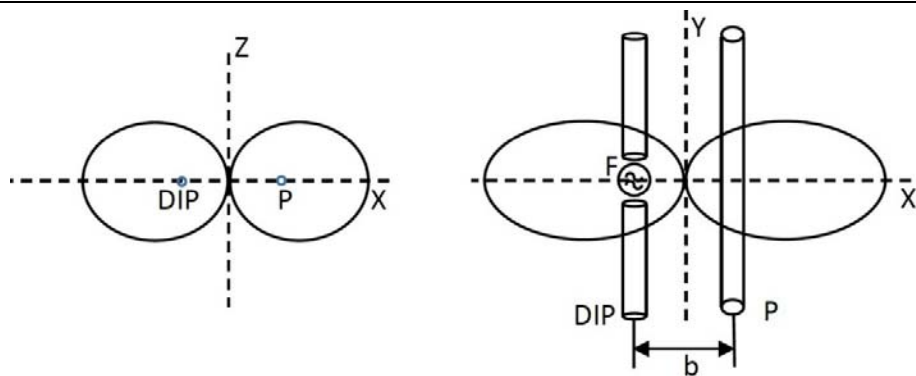
- بررسی الگوی تشعشی آنتن دایپل در صفحه E؛
- بررسی الگوی تشعشی آنتن دایپل با نگهدارنده مخصوص در صفحه E؛
- بررسی الگوی تشعشی آنتن یاگی-یودا با یک رفلکتور و بدون دایرکتور در صفحه E؛
- بررسی الگوی تشعشی آنتن یاگی-یودا با یک دایرکتور و بدون رفلکتور در صفحه E؛
- بررسی الگوی تشعشی آنتن یاگی-یودا با سه عنصر (R-DIP-D) در صفحه E؛
- بررسی الگوی تشعشی آنتن یاگی-یودا با شش عنصر (R-DIP-4D) در صفحه E؛
- بررسی الگوی تشعشی آنتن یاگی-یودا در صفحه H.

۲-۲-۱- مقدمه‌ای در خصوص آنتن یاگی-یودا

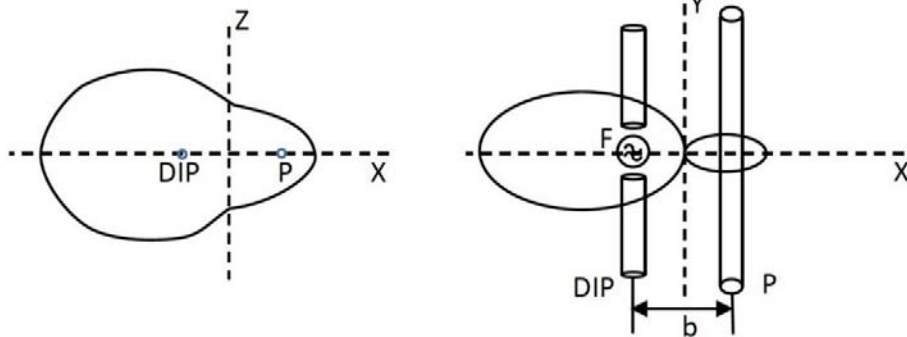
آنتن یاگی-یودا به علت کاربردش به‌عنوان دریافت‌کننده سیگنال‌های تلویزیون، به‌عنوان معروفترین آنتن در سراسر دنیا شناخته می‌شود. علت نام‌گذاری این آنتن نیز نام مخترعان آن، به نام‌های یاگی و یودا، است. این آنتن شامل آرایه‌ای خطی از آنتن‌های دایپل است که یکی از آنها به‌شکل مستقیم به‌وسیله خط انتقال تغذیه می‌شود و مابقی (شامل دایرکتور و رفلکتور) به‌عنوان عناصر تشعش‌کننده عمل می‌کنند که توزیع جریان روی آنها، ناشی از تزویج متقابل خواهد بود.

آنتن یاگی-یودا به‌عنوان یک آنتن چند المانی (چند عنصری) شناخته می‌شود و تنها یک عنصر فعال آن تغذیه می‌شود. سایر عناصر، تزویج‌شده رادیویی هستند؛ به این معنی که این عناصر تنها به‌وسیله موج تابیده شده از سوی عنصر تغذیه (عنصر دایپل) تحریک می‌شوند. بنابراین این عناصر به خط تغذیه و عنصر تطبیق نیاز ندارند؛ در غیر این صورت، تحقق این آنتن هزینه‌بر و دشوار می‌گردد.

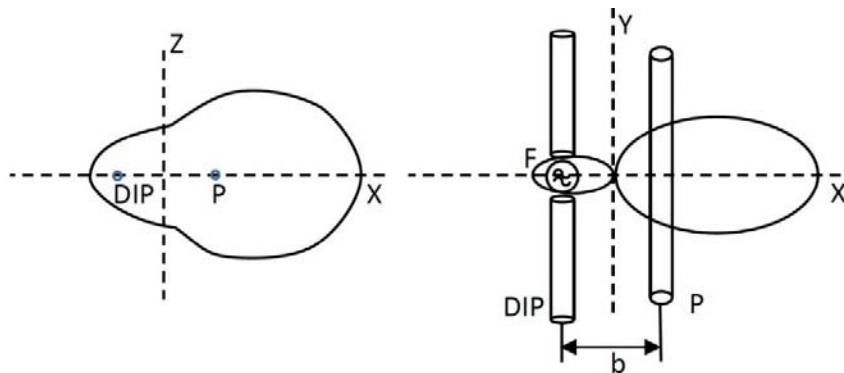
دایرکتورها و رفلکتورها علاوه بر اثرگذاری روی امپدانس ورودی، روی مشخصات تشعشی کل آنتن نیز اثر می‌گذارند. بنابراین هماهنگ‌گونه که در شکل ۲۰ مشاهده می‌شود، با تعیین طول و فاصله مناسب این عناصر، می‌توان الگوهای تشعشی مختلفی به دست آورد.



(الف)



(ب)



(پ)

F: المان تغذیه؛ DIP: عنصر فعال؛ و l_{DIP} : طول عنصر فعال ($l_{DIP} = \lambda$ به نحوی انتخاب شده‌است تا امیدانس حقیقی باشد)

P: عنصر غیرفعال؛ l_p : طول عنصر غیرفعال؛ و b : فاصله بین دو عنصر ($b = 0.04\lambda$)

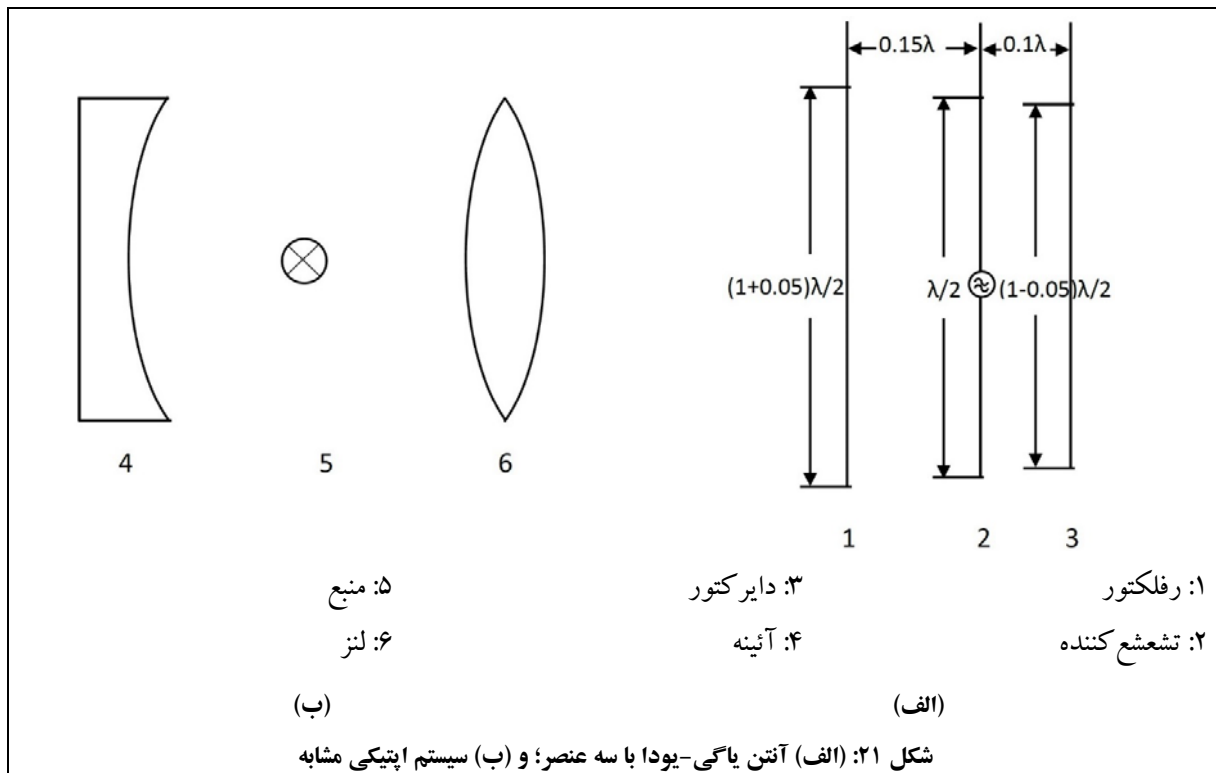
شکل ۲۰: الگوی تشعشی یک آنتن یاگی-بودا دارای دو المان در صفحات E و H (آنتن شامل المان تغذیه (F)، یک عنصر فعال (DIP) و یک عنصر غیرفعال (P)، می‌باشد): (الف) $l_{DIP} = l_p$ ؛ (ب) عنصر غیرفعال به عنوان رفلکتور و $l_p = (1 + 0.05)l_{DIP}$ ؛ و (پ) عنصر

غیرفعال به عنوان دایرکتور و $l_p = (1 - 0.05)l_{DIP}$

پشت عنصر دایپل، معمولاً عنصری دارای اندازه کمی بزرگتر از آن قرار می‌گیرد که توان تشعشع شده از دایپل را منعکس می‌کند. در مقابل، دایرکتورها نسبت به عنصر تغذیه، معمولاً عناصر کوچکتری هستند که توان تشعشع شده را در جهت گلبرگ اصلی، متمرکز می‌کنند (مشابه کاری که لنزها در اپتیک انجام می‌دهند).

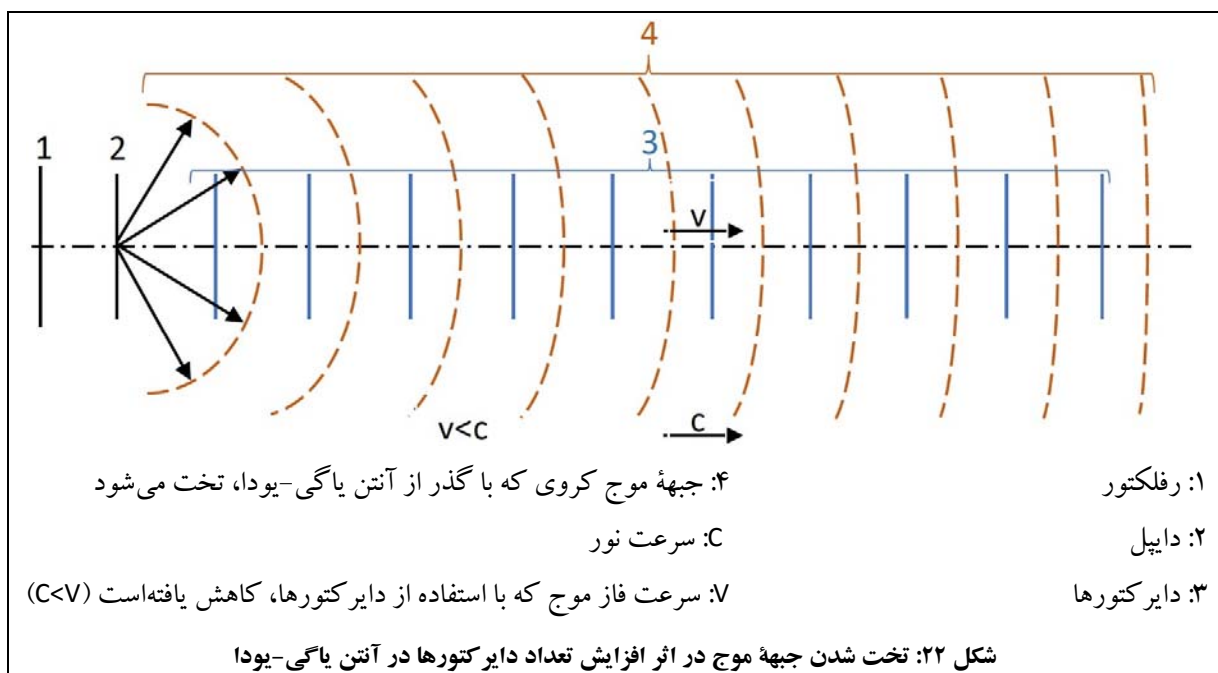
الگوی تشعشعی ساده‌ترین آنتن یاگی-یودا، در شکل ۲۰ نشان داده شده‌است. همانگونه که بیان شد، می‌توان این الگو را با ترکیب دو عنصر غیرفعال و تبدیل به آنتن یاگی-یودا با سه عنصر، بهبود داد.

الگوی تشعشعی آنتن یاگی-یودا با سه عنصر در شکل ۲۱ (الف) مشاهده می‌شود. جهت نمایش مشابهت کارکرد دایرکتورها در ساختار آنتن یاگی-یودا با کارکرد لنزها در اپتیک، که مورد اشاره قرار گرفت، در شکل ۲۱ (ب) سیستم اپتیکی متناظر این آنتن یاگی-یودا نمایش داده شده‌است.



در این وضعیت نیز، هنگامی که طول عناصر غیرفعال و فاصله آنها به صورت مناسب انتخاب شود، می‌توان شکل الگوی تشعشی را بهبود بخشید و آنرا بهینه کرد (به‌عنوان مثال، بهره آنتن و یا FBR را بیشینه کرد). اشاره می‌شود که با افزایش تعداد رفلکتورها و دایرکتورها، امکان عمل‌ها جهت بهینه‌سازی بیشتر می‌شود.

همانگونه که در شکل ۲۲ مشاهده می‌شود، افزایش تعداد دایرکتورها در آنتن یاگی-یودا منجر به تخت شدن جبهه موج در راستای گلبرگ اصلی می‌شود.



بطور کلی، آنتن یاگی-یودا جهت ارسال و دریافت سیگنال‌های دارای پلاریزاسیون خطی طراحی شده است و پلاریزاسیون آن موازی محور دایپل آنتن می‌باشد. خواص تشعشی آنتن هم مانند امپدانس ورودی آن، وابسته به توزیع جریان القایی روی تمام المان‌ها (حتی المان‌های غیرفعال) است.

پیش‌نیاز محاسبه امپدانس ورودی و الگوی تشعشی آنتن، دانستن توزیع کیفی جریان در طول سیم می‌باشد. با توجه به اینکه محاسبه توزیع جریان روی آنتن‌های چند عنصری یاگی-یودا، بسیار دشوار است، تا چندی قبل، نتایج محاسبات نادقیق بود و صرفاً توصیه‌ها و سفارش‌هایی جهت طراحی این آنتن‌ها وجود داشت و امپدانس ورودی و الگوی تشعشی آنتن با

آزمایش‌های عملی، بهینه می‌شود؛ البته امروزه با ظهور نرم‌افزارها و امکانات شبیه‌سازی جدید، این وضع تغییر یافته و امکان بررسی نظری این آنتن‌ها فراهم شده‌است.

۲-۲-۲- قطعات مورد نیاز

به غیر از قطعات عمومی مورد استفاده در اکثر آزمایش‌ها (مورد اشاره در جدول ۵)، سایر قطعات مورد نیاز برای انجام آزمایش‌های بخش ۲-۲، مطابق جدول ۷ می‌باشد.

جدول ۷: قطعات مورد نیاز آزمایش‌های بخش ۲-۲

| ردیف | نام قطعه | کد قطعه |
|------|-------------------------|---------|
| ۱ | مجموعه آنتن‌های سیمی | ۱۴۵۰ |
| ۲ | آنتن شیپوری بزرگ | ۱۴۱۱ |
| ۳ | موجبر ۲۰۰mm | ۱۵۱۱ |
| ۴ | مبدل کواکسیال به موجبری | ۱۶۱۰ |

لازم است پیش از شروع انجام آزمایش‌های مربوط به آنتن یاگی-یودا، جهت درک نحوه ساخت آنتن‌های دایپل و یاگی-یودای مورد استفاده در این آزمایش‌ها، بخش مربوط به مجموعه آنتن‌های سیمی در پیوست ۱ مطالعه شود.

۲-۲-۳- الگوی تشعشی آنتن دایپل نیم موج در صفحه E

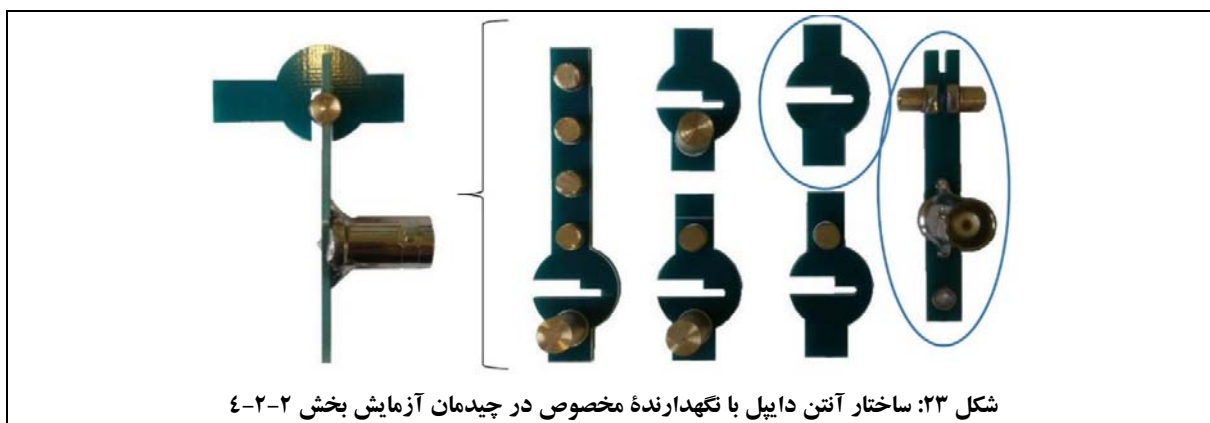
این آزمایش، مشابه آزمایش بخش ۲-۱-۳ می‌باشد که لازم است جهت مقایسه با حالتیکه از نگهدارنده مخصوص برای ایجاد آنتن دایپل استفاده شده‌است (مورد اشاره در بخش ۲-۲-۴)، اجرا شود. بنابراین در صورت وجود اطلاعات اندازه‌گیری‌های بخش ۲-۱-۳، نیازی به تکرار مجدد مراحل اجرایی اندازه‌گیری در این بخش نخواهد بود و تنها لازم است مقایسه‌های مورد نیاز در بخش ۲-۲-۴، انجام پذیرد.

۲-۲-۴- الگوی تشعشی آنتن دایپل با نگهدارنده مخصوص در صفحه E

در این آزمایش به بررسی الگوی تشعشی آنتن دایپل با نگهدارنده مخصوص در صفحه E پرداخته می‌شود.

تنظیمات اولیه:

- نحوه چیدمان اولیه قطعات جهت انجام این آزمایش، مطابق شکل ۱۲ می‌باشد با این تفاوت که جهت ایجاد آنتن گیرنده، مطابق شکل ۲۳ از فیبر نگهدارنده مخصوص دایپل نیز استفاده می‌شود. توجه شود که در ساختار آنتن گیرنده، نیاز به افزودن میله‌های فلزی وجود ندارد و میله‌های فلزی به طول $\lambda/4$ موجود روی فیبر پایه، برای ساخت آنتن نیم موج، کفایت می‌کند.



- در هنگام نصب قطعات مربوط به آنتن گیرنده، دقت شود به نگهدارنده‌های آنتن، دیود آشکارساز و فیبر مدار چاپی، آسیبی نرسد.
- همچنین دقت شود همسویی بخش گیرنده با آنتن شیپوری فرستنده تغییر نکند و محور آنتن دایپل با خطوط مرجع مشخص شده در پایه چرخان، هم راستا باشد.
- فرکانس مولد سیگنال مایکروویو را روی 9.6GHz تنظیم نمایید.

جهت انجام آزمایش:

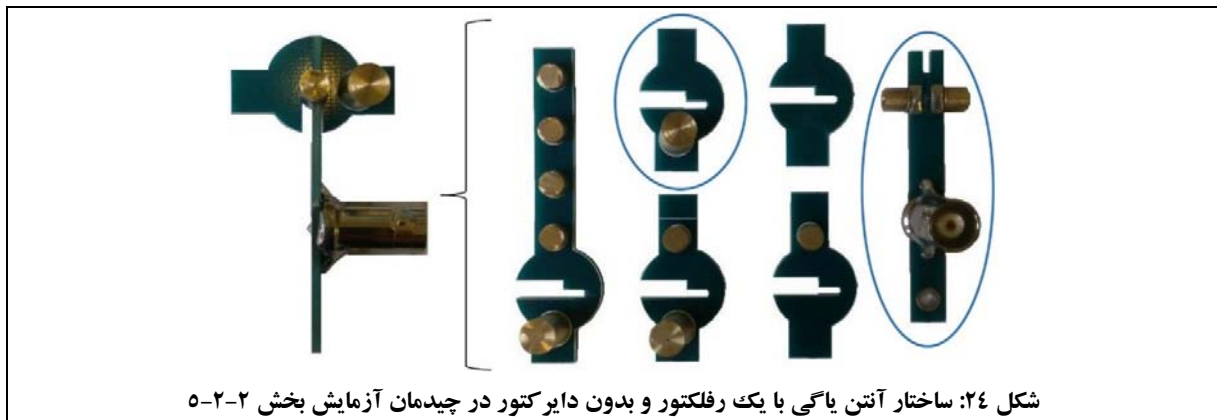
۱. الگوی تشعشی صفحه E آنتن دایپل با نگهدارنده مخصوص (نمودار a بر حسب θ در مختصات قطبی) را رسم نمایید. فایل داده‌های حاصل از اندازه‌گیری را با عنوان DIPOLE-HE ذخیره نمایید.
۲. با باز کردن فایل‌های DIPOLE-0.5E و DIPOLE-HE به شکل هم‌زمان در نرم‌افزار CASSY Lab، الگوهای تشعشی آنتن دایپل بدون نگهدارنده مخصوص و با نگهدارنده مخصوص را در یک نمودار قطبی رسم کنید و از آن پرینت بگیرید و در گزارش خود ارائه نمایید.

توضیح دهید آیا عنصر نگهدارنده، تأثیری در الگوی تشعشی داشته یا خیر؟

۲-۲-۵- الگوی تشعشی آنتن یاگی-یودا با یک رفلکتور و بدون دایرکتور (دو عنصر) در صفحه E
در این آزمایش به بررسی نقش رفلکتور در آنتن یاگی-یودا پرداخته می‌شود.

تنظیمات اولیه:

- نحوه چیدمان اولیه قطعات جهت انجام این آزمایش، مطابق شکل ۱۲ می‌باشد با این تفاوت که جهت ایجاد آنتن گیرنده، مطابق شکل ۲۴ از فیبر یاگی دو عنصری با رفلکتور، استفاده می‌شود. توجه شود که در ساختار آنتن گیرنده، نیاز به افزودن میله‌های فلزی وجود ندارد و میله‌های فلزی به طول $\lambda/4$ موجود روی فیبر پایه، برای ساخت آنتن نیم موج، کفایت می‌کند.



شکل ۲۴: ساختار آنتن یاگی با یک رفلکتور و بدون دایرکتور در چیدمان آزمایش بخش ۲-۲-۵

- در نقطه شروع، باید آنتن به گونه‌ای باشد که رفلکتور آنتن، پشت تغذیه قرار گیرد.
- در هنگام نصب قطعات مربوط به آنتن گیرنده، دقت شود به نگهدارنده‌های آنتن، دیود آشکارساز و فیبر مدار چاپی، آسیبی نرسد.
- همچنین دقت شود همسویی بخش گیرنده با آنتن شیپوری فرستنده تغییر نکند و محور آنتن گیرنده با خطوط مرجع مشخص شده در پایه چرخان، هم راستا باشد.
- فرکانس مولد سیگنال مایکروویو را روی 9.6GHz تنظیم نمایید.

جهت انجام آزمایش:

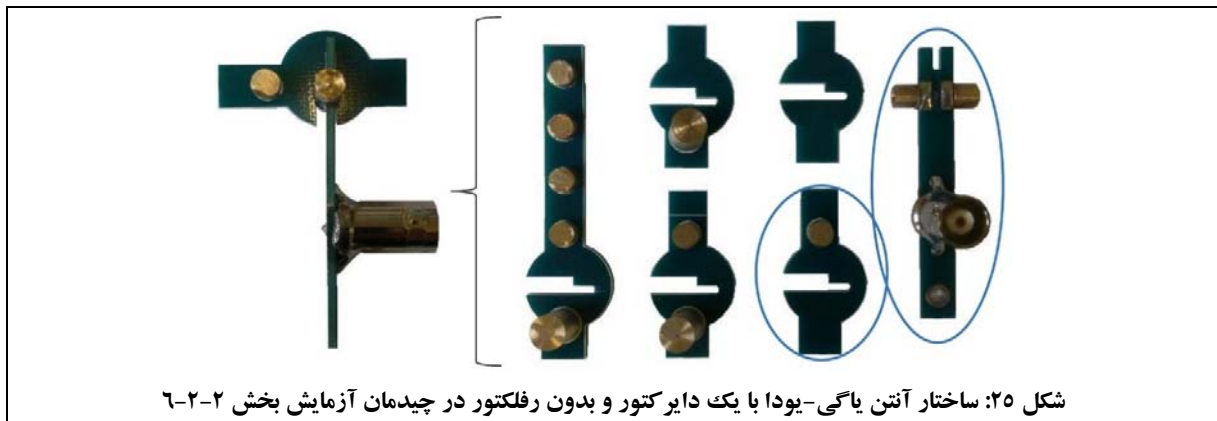
۱. الگوی تشعشی صفحه E آنتن یاگی-یودا با یک رفلکتور و بدون دایرکتور (نمودار a بر حسب θ در مختصات قطبی) را رسم نمایید.
۲. فایل داده‌های حاصل از اندازه‌گیری را با عنوان YAGI-R ذخیره نمایید.
۳. از روی این نمودار، HPBW و FBR آنتن را تعیین کنید و مقدار آنها را در گزارش خود یادداشت نمایید.
۴. با باز کردن فایل‌های DIPOLE-HE و YAGI-R به شکل هم‌زمان در نرم‌افزار CASSY Lab، الگوهای تشعشی را در یک نمودار قطبی رسم کنید و از آن پرینت بگیرید و در گزارش خود ارائه نمایید.
۴. در خصوص اثر رفلکتور در آنتن یاگی-یودا توضیح دهید؟

۲-۲-۶- الگوی تشعشی آنتن یاگی-یودا با یک دایرکتور و بدون رفلکتور (دو عنصر) در صفحه E

در این آزمایش به بررسی نقش دایرکتور در آنتن یاگی-یودا پرداخته می‌شود.

تنظیمات اولیه:

- نحوه چیدمان اولیه قطعات جهت انجام این آزمایش، مطابق شکل ۱۲ می‌باشد با این تفاوت که جهت ایجاد آنتن گیرنده، مطابق شکل ۲۵ از فیبر یاگی دو عنصری با دایرکتور، استفاده می‌شود. توجه شود که در ساختار آنتن گیرنده، نیاز به افزودن میله‌های فلزی وجود ندارد و میله‌های فلزی به طول $\lambda/4$ موجود روی فیبر پایه، برای ساخت آنتن نیم موج، کفایت می‌کند.



- در نقطه شروع، باید آنتن به گونه‌ای باشد که دایرکتور آنتن، جلوی تغذیه قرار گیرد.
- در هنگام نصب قطعات مربوط به آنتن گیرنده، دقت شود به نگهدارنده‌های آنتن، دیود آشکارساز و فیبر مدار چاپی، آسیبی نرسد.
- همچنین دقت شود همسویی بخش گیرنده با آنتن شیپوری فرستنده تغییر نکند و محور آنتن گیرنده با خطوط مرجع مشخص شده در پایه چرخان، هم راستا باشد.
- فرکانس مولد سیگنال مایکروویو را روی 9.6GHz تنظیم نمایید.

جهت انجام آزمایش:

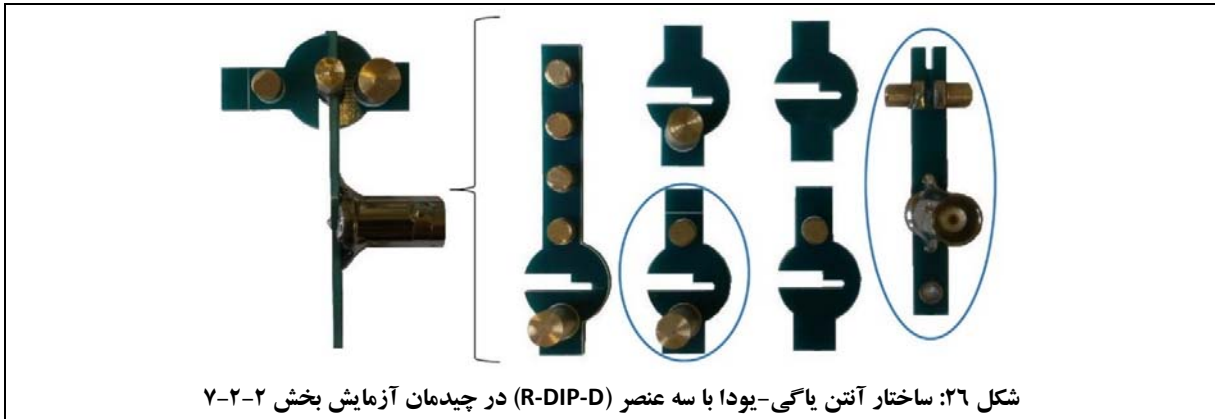
۱. الگوی تشعشی صفحه E آنتن یاگی-یودا با یک دایرکتور و بدون رفلکتور (نمودار a بر حسب θ در مختصات قطبی) را رسم نمایید.
فایل داده‌های حاصل از اندازه‌گیری را با عنوان YAGI-D ذخیره نمایید.
۲. از روی این نمودار، HPBW و FBR آنتن را تعیین کنید و مقدار آنها را در گزارش خود یادداشت نمایید.
۳. با باز کردن فایل‌های DIPOLE-HE و YAGI-D به شکل هم‌زمان در نرم‌افزار CASSY Lab، الگوهای تشعشی را در یک نمودار قطبی رسم کنید و از آن پرینت بگیرید و در گزارش خود ارائه نمایید.
۴. در خصوص اثر دایرکتور در آنتن یاگی-یودا توضیح دهید؟

۲-۲-۷- الگوی تشعشی آنتن یاگی-یودا با سه عنصر (R-DIP-D) در صفحه E

در این آزمایش به بررسی نقش حضور هم‌زمان رفلکتور و دایرکتور در آنتن یاگی-یودا پرداخته می‌شود.

تنظیمات اولیه:

- نحوه چیدمان اولیه قطعات جهت انجام این آزمایش، مطابق شکل ۱۲ می‌باشد با این تفاوت که جهت ایجاد آنتن گیرنده، مطابق شکل ۲۶ از فیبر یاگی سه عنصری، استفاده می‌شود.
توجه شود که در ساختار آنتن گیرنده، نیاز به افزودن میله‌های فلزی وجود ندارد و میله‌های فلزی به طول $\lambda/4$ موجود روی فیبر پایه، برای ساخت آنتن نیم موج، کفایت می‌کند.



- در نقطه شروع، باید آنتن به گونه‌ای باشد که دایرکتور، جلو و رفلکتور، پشت تغذیه قرار گیرد.
- در هنگام نصب قطعات مربوط به آنتن گیرنده، دقت شود به نگهدارنده‌های آنتن، دیود آشکارساز و فیبر مدار چاپی، آسیبی نرسد.
- همچنین دقت شود همسویی بخش گیرنده با آنتن شیپوری فرستنده تغییر نکند و محور آنتن گیرنده با خطوط مرجع مشخص شده در پایه چرخان، هم راستا باشد.
- فرکانس مولد سیگنال میکروویو را روی 9.6GHz تنظیم نمایید.

جهت انجام آزمایش:

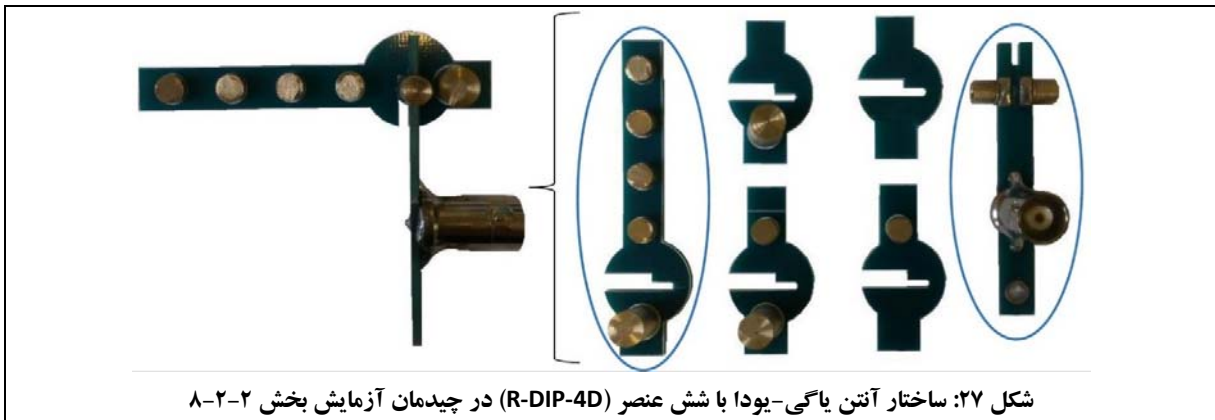
۱. الگوی تشعشی صفحه E آنتن یاگی-یودا با سه عنصر (نمودار a بر حسب θ در مختصات قطبی) را رسم نمایید. فایل داده‌های حاصل از اندازه‌گیری را با عنوان YAGI-3E ذخیره نمایید.
۲. از روی این نمودار، HPBW و FBR آنتن را تعیین کنید و مقدار آنها را در گزارش خود یادداشت نمایید.
۳. با باز کردن فایل‌های DIPOLE-HE و YAGI-3E به شکل هم‌زمان در نرم‌افزار CASSY Lab، الگوهای تشعشی را در یک نمودار قطبی رسم کنید و در خصوص تفاوت آنها توضیح دهید.

۲-۲-۸- الگوی تشعشی آنتن یاگی-یودا با شش عنصر (R-DIP-4D) در صفحه E

در این آزمایش به بررسی اثر افزایش تعداد عناصر آنتن یاگی-یودا پرداخته می‌شود.

تنظیمات اولیه:

- نحوه چیدمان اولیه قطعات جهت انجام این آزمایش، مطابق شکل ۱۲ می‌باشد با این تفاوت که جهت ایجاد آنتن گیرنده، مطابق شکل ۲۷ از فیبر یاگی شش عنصری، استفاده می‌شود. توجه شود که در ساختار آنتن گیرنده، نیاز به افزودن میله‌های فلزی وجود ندارد و میله‌های فلزی به طول $\lambda/4$ موجود روی فیبر پایه، برای ساخت آنتن نیم موج، کفایت می‌کند.



شکل ۲۷: ساختار آنتن یاگی-یودا با شش عنصر (R-DIP-4D) در چیدمان آزمایش بخش ۲-۲-۸

- در نقطه شروع، باید آنتن به گونه‌ای باشد که دایرکتور، جلو و رفلکتور، پشت تغذیه قرار گیرد.
- در هنگام نصب قطعات مربوط به آنتن گیرنده، دقت شود به نگهدارنده‌های آنتن، دیود آشکارساز و فیبر مدار چاپی، آسیبی نرسد.
- همچنین دقت شود همسویی بخش گیرنده با آنتن شیپوری فرستنده تغییر نکند و محور آنتن گیرنده با خطوط مرجع مشخص شده در پایه چرخان، هم راستا باشد.
- فرکانس مولد سیگنال مایکروویو را روی 9.6GHz تنظیم نمایید.

جهت انجام آزمایش:

۱. الگوی تشعشی صفحه E آنتن یاگی-یودا با شش عنصر (نمودار a بر حسب θ در مختصات قطبی) را رسم نمایید. فایل داده‌های حاصل از اندازه‌گیری را با عنوان YAGI-6E ذخیره نمایید.
۲. از روی این نمودار، HPBW و FBR آنتن را تعیین کنید و مقدار آنرا در گزارش خود یادداشت نمایید.

۳. با باز کردن فایل‌های DIPOLE-3E و YAGI-6E به شکل هم‌زمان در نرم‌افزار CASSY Lab، الگوهای تشعشی را در یک نمودار قطبی رسم کنید و در خصوص تفاوت آنها توضیح دهید.

۲-۲-۹- الگوی تشعشی آنتن یاگی-یودا در صفحه H

در این آزمایش به بررسی الگوی تشعشی آنتن یاگی-یودا با شش عنصر (R-DIP-4D) در صفحه H پرداخته می‌شود.

تنظیمات اولیه:

- چیدمان قطعات این آزمایش، مشابه چیدمان قطعات در شکل ۱۲ می‌باشد، با این تفاوت که:
 - به دلیل رسم الگوی آنتن در صفحه H، باید مجموعه فرستنده به همراه ادوات موجبری متصل به آن، 90° حول محور موجبرها چرخانده شود؛ برای این کار، لازم است گیره‌های نگهدارنده موجبرها نیز از ضلع بزرگ‌تر خود روی میله‌های نگهدارنده قرار گیرند.
 - آنتن گیرنده، مطابق شکل ۲۷ از فیبر یاگی شش عنصری به همراه فیبر پایه ساخته می‌شود.
 - جهت نصب آنتن گیرنده، لازم است مشابه شکل ۱۹ عمل شود با این تفاوت که مطابق شکل ۲۷ از فیبر یاگی شش عنصری به همراه فیبر پایه استفاده می‌شود.
- توجه کنید در این حالت، هر دو آنتن فرستنده و گیرنده، دارای پلاریزاسیون عمودی بوده و در نتیجه همچنان دارای پلاریزاسیون یکسان هستند.
- در هنگام نصب قطعات مربوط به آنتن گیرنده، دقت شود به نگهدارنده‌های آنتن، دیود آشکارساز و فیبر مدار چاپی، آسیبی نرسد.
- همچنین دقت شود همسویی بخش گیرنده با آنتن شیپوری فرستنده تغییر نکند و محور آنتن دایپل با خطوط مرجع مشخص شده در پایه چرخان، هم راستا باشد.
- فرکانس مولد سیگنال مایکروویو را روی 9.6GHz تنظیم نمایید.

جهت انجام آزمایش:

۱. الگوی تشعشی صفحه H آنتن یاگی-یودا با شش عنصر (نمودار a بر حسب θ در مختصات قطبی) را رسم نمایید. فایل داده‌های حاصل از اندازه‌گیری را با عنوان YAGI-6H ذخیره نمایید.
۲. از روی این نمودار، HPBW را با کمک نشانگر صفحه بیابید و مقدار آنرا در گزارش خود یادداشت نمایید.

۲-۳- آنتن‌های روزنه‌ای

هدف از انجام این آزمایش، آشنایی با آنتن روزنه‌ای است. به این منظور، در این بخش آنتن‌های شیپوری و آنتن موجبری با انتهای باز، مورد آزمون قرار می‌گیرند.

همچنین در این آزمایش:

- اثر قرار دادن صفحه مینا در انتهای موجبر با انتهای باز، در الگوی تشعشی آنتن مورد بررسی قرار می‌گیرد؛
- اثر پراکندگی امواج از لبه‌های صفحه مینا^{۲۹} بررسی می‌شود؛
- اثر قطرات باران در رفتار انتشار امواج و پدیده هم‌شنوایی^{۳۰} مورد بررسی قرار می‌گیرد.

جهت دستیابی به این اهداف، آزمایش‌های زیر در این بخش تعریف گردیده‌اند:

- بررسی الگوی تشعشی آنتن شیپوری بزرگ در صفحه E؛
- بررسی ضریب تلف پلاریزاسیون آنتن شیپوری بزرگ؛
- بررسی اثر صفحه پلاریزر؛
- بررسی الگوی تشعشی آنتن شیپوری بزرگ در صفحه H؛
- بررسی الگوی تشعشی آنتن شیپوری کوچک در صفحه H؛
- بررسی الگوی تشعشی آنتن شیپوری کوچک در صفحه E؛
- بررسی الگوی تشعشی آنتن موجبری با انتهای باز (در صفحات E و H).

۲-۳-۱- مقدمه‌ای در خصوص آنتن‌های روزنه‌ای

آنتن‌های روزنه‌ای شامل آنتن شیپوری، موجبر با انتهای باز، لنزها و رفلکتورها، هستند. مشابه هر آنتن دیگری، خواص تشعشی این نوع آنتن نیز با توزیع جریان روی آن مشخص می‌شود. اما از آنجایی که یافتن توزیع جریان به سادگی امکان‌پذیر نیست، نیازمند روش دیگری هستیم که بتوانیم خواص تشعشی آنتن را بیابیم. یکی از روش‌های موجود برای این کار، استفاده از اصل میدان معادل^{۳۱} است.

^{۲۹} Base Plate

^{۳۰} Cross Talk

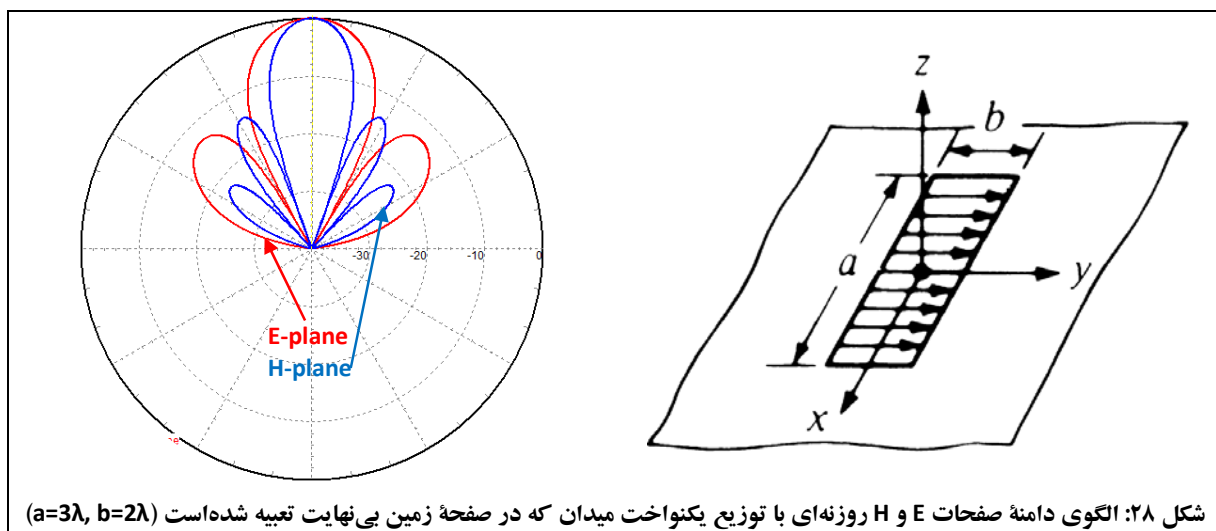
^{۳۱} Field Equivalence Principle

به کمک این اصل، چنانچه روزنه‌ای در یک صفحه رسانا به ابعاد بی‌نهایت قرار گرفته باشد (صفحه مینا) و توزیع میدان مماسی روی سطح روزنه نیز شناخته شده باشد، میدان تشعشی آنتن با استفاده از معادلات ماکسول و اعمال شرایط مرزی، به شکل دقیق و یکتا قابل محاسبه است. در حالت کلی، این امر کار آسانی نیست، به خصوص وقتی که صفحه مینا کوچک باشد و میدان‌های موجود در سطح روزنه هم فاز نباشند.

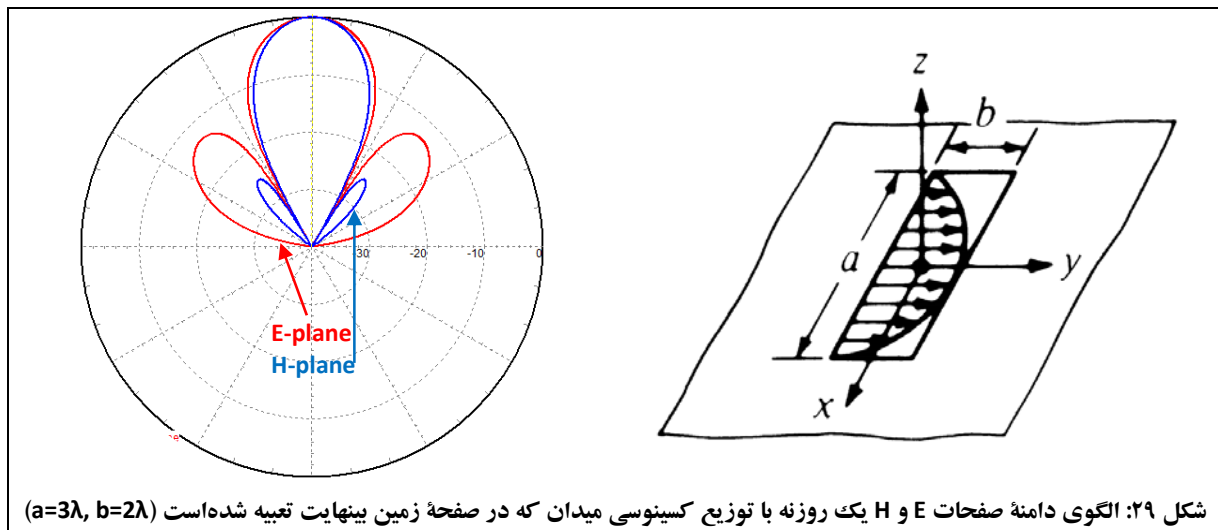
باید توجه کرد که به علت اینکه هادی‌های صفحه مینا دارای ضریب هدایت محدودی بوده و هادی کامل نیستند، از حالت ایده‌آل به مقدار زیادی فاصله دارند. همچنین تفرق از لبه‌های صفحه مینا بر الگوی تشعشی آنتن روزنه‌ای تأثیر می‌گذارد، این اثر هنگامی که ابعاد صفحه مینا در مقایسه با طول موج کوچک باشد، بیشتر می‌شود. به هر صورت با استفاده از این روش، الگوی تشعشی آنتن روزنه‌ای، به صورت تبدیل فوریه توزیع میدان الکتریکی روی سطح روزنه به دست می‌آید. شکل ۲۸ و شکل ۲۹، برای توضیح بیشتر در این خصوص ارائه شده‌اند.

در شکل ۲۸، الگوی تشعشی یک موجر با انتهای باز مشاهده می‌شود. در این شکل فرض شده است که توزیع میدان در دهانه روزنه، یکنواخت است. با فرض $a=3\lambda$ و $b=2\lambda$ ، الگوی تشعشی در دو صفحه E و H آنتن رسم شده است. همانطور که مشاهده می‌شود، صفحه E آنتن، مماس بر سطح yz و صفحه H آنتن، مماس بر سطح xz است.

به دلیل اینکه توزیع میدان دهانه موجر با انتهای باز در صفحه xz، دارای سطح بزرگتری نسبت به صفحه zy است، الگوی تشعشی H، پرتو باریکتری نسبت به الگوی E دارد. علت این موضوع، رفتار تبدیل فوریه‌ای الگوی تشعشی آنتن است؛ هر چه توزیع میدان در سطح تشعشی آنتن، پهن‌تر باشد، الگوی تشعشی در آن صفحه باریکتر است و بالعکس.



در شکل ۲۹، الگوی تشعشی موجبر با انتهای باز با توزیع غیریکنواخت میدان در دهانه موجبر مشاهده می‌شود. با فرض $a=3\lambda$ و $b=2\lambda$ ، الگوی تشعشی در دو صفحه E و H آنتن رسم شده است. در این شکل، توزیع میدان در صفحه ZV که معادل صفحه E است، مشابه شکل ۲۸، دارای توزیعی یکنواخت است؛ از این رو الگوی صفحه E در شکل ۲۸ و شکل ۲۹، یکسان است. در صفحه XZ که معادل صفحه H است، توزیع میدان به صورت کسینوسی در حال کم شدن است؛ به گونه‌ای که در محل $x=0$ ، بیشینه میدان وجود دارد و در دو انتهای دهانه موجبر ($x=\pm a/2$)، میدانی وجود ندارد. از مقایسه الگوی صفحه H شکل ۲۸ و شکل ۲۹، نتیجه می‌شود که باریک شدن توزیع میدان در صفحه XZ، سبب کاهش سطح گلبرگ‌های کناری الگوی تشعشی آنتن می‌شود. علت این موضوع نیز، رفتار تبدیل فوریه‌ای الگوی تشعشی آنتن است؛ باریک شدن توزیع میدان در دهانه تشعشی آنتن، همواره سبب کاهش سطح گلبرگ‌های جانبی خواهد شد.



مطابق شکل ۲۹، یکی از انواع آنتن‌های روزنه‌ای، موجبر با انتهای باز است که مود غالب موجبر (TE_{10}) را هدایت می‌کند. در موجبر با انتهای باز، خطوط میدان از طریق دهانه باز موجبر وارد فضای آزاد می‌شوند و در نتیجه توان تغذیه شده به موجبر، به بیرون تشعشع می‌کند.

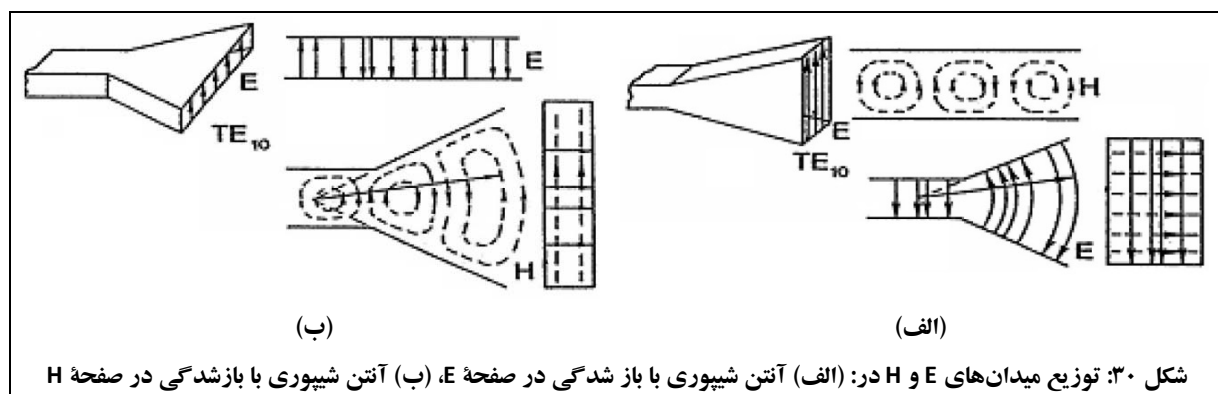
مشاهده می‌شود که میدان تشعشع شده، به صورت یک بیم مشخص، متمرکز نشده است؛ زیرا ابعاد انتهای باز، در مقایسه با طول موج، کوچک است. بنابراین تنها مقداری از توان به بیرون تشعشع می‌شود و بقیه توان در صفحه روزنه به درون موجبر

منعکس می‌شود. این نوع تطابق را می‌توان با استفاده از عناصر تطبیق‌دهنده مانند تیونر سه استاب^{۳۲} یا ترانسفورمر با پیچ لغزان^{۳۳}، کاهش داد (این موارد از اهداف آموزشی این آزمایش نیست و بیش از این به آنها پرداخته نمی‌شود).

آنتن موجبر با انتهای باز، دارای پرتو پهنی است؛ با قرار دادن قسمت شیپوری مانند در انتهای باز موجبر، می‌توان تا حدی این مشکل را برطرف نمود، عملکرد آنتن را بهبود بخشید و الگوی تشعشعی آنرا جهت‌دار کرد. به این ترتیب، آنتن‌های شیپوری ایجاد می‌شوند که نوع خاصی از آنتن‌های موجبری هستند.

در آنتن شیپوری، اگر زاویه بازشدگی روزنه^{۳۴}، خیلی بزرگ نباشد، مود تغذیه‌شده به موجبر، به مقدار زیادی به قسمت شیپوری انتقال داده می‌شود. همچنین اگر این زاویه کوچک باشد، مودهای مرتبه بالاتر به مقدار جزئی تحریک می‌شوند، در نتیجه باعث بهم‌ریختگی الگوی تشعشعی آنتن نمی‌شوند.

دو شکل بعد، جهت درک بهتر این مطلب ارائه شده‌اند. در شکل ۳۰، توزیع میدان الکتریکی و مغناطیسی موجبر مستطیلی که در مود غالب خود کار می‌کند و تنها دارای بازشدگی در صفحه E (موسوم به آنتن شیپوری E-sectoral^{۳۵}) یا بازشدگی در صفحه H (موسوم به آنتن شیپوری H-sectoral^{۳۶}) است، ارائه شده‌است.



³² 3-stub tuner

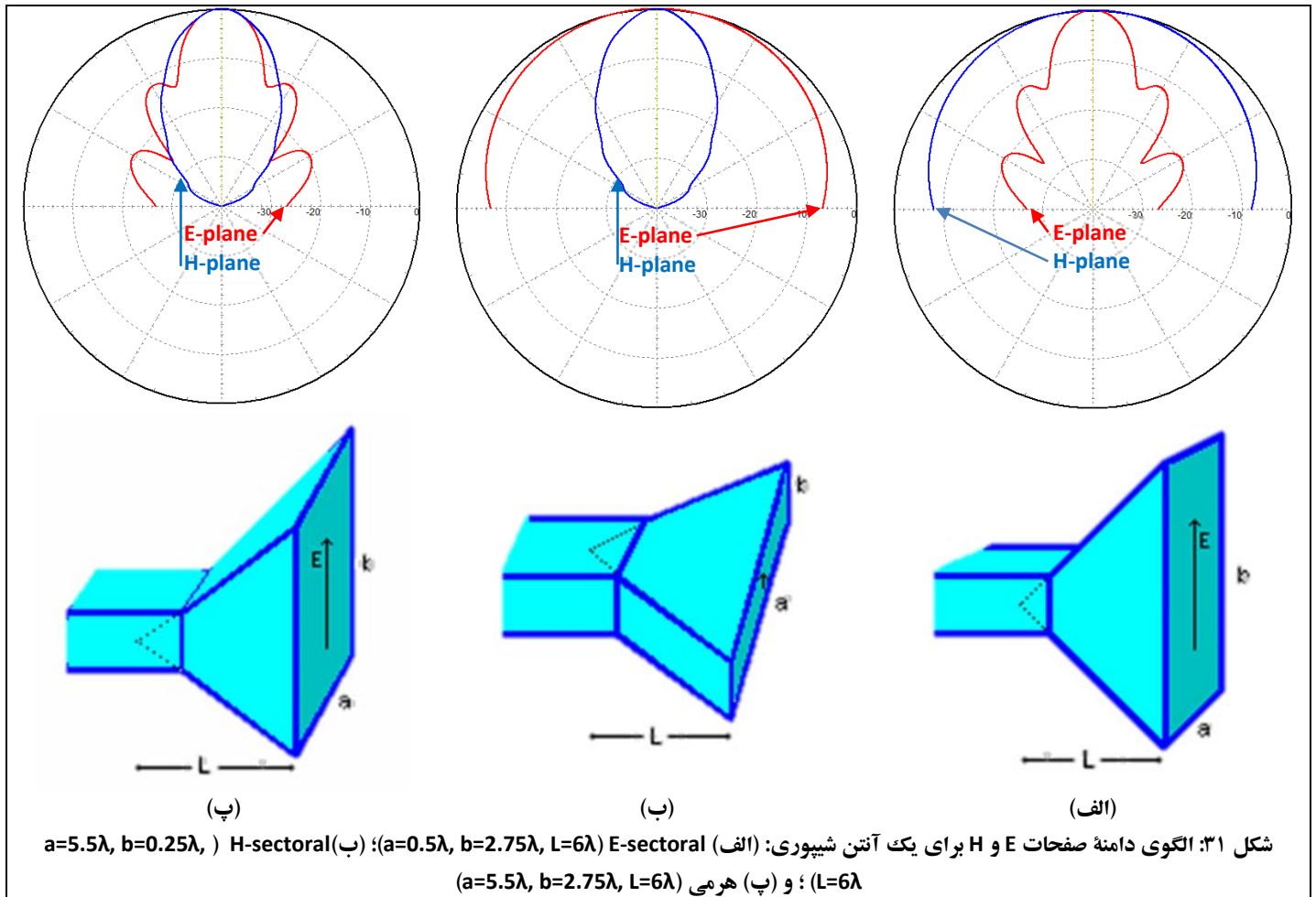
³³ Slide Screw Transformer

³⁴ Flare Angle

³⁵ E sectoral horn

³⁶ H sectoral horn

در شکل ۳۱ (الف)، الگوی تشعشی یک آنتن شیپوری با بازشدگی در صفحه E ارائه شده است. در شکل ۳۱ (ب)، الگوی تشعشی یک آنتن شیپوری با بازشدگی در صفحه H ارائه شده است. در شکل ۳۱ (پ) نیز الگوی تشعشی یک آنتن شیپوری با بازشدگی در هر دو صفحه E و H ارائه شده است که به آنتن شیپوری هرمی^{۳۷} موسوم است و ویژگی‌های هر دو آنتن شیپوری E-sectoral و H-sectoral را دارد.



الگوهای تشعشی ارائه شده در شکل ۳۱ با استفاده از نرم‌افزار PCAAD رسم شده‌اند.

³⁷ Pyramidal

تمرین کامپیوتری: با استفاده از اطلاعات ارائه شده در مورد ابعاد آنتن‌ها در شکل ۳۱، الگوی این آنتن‌ها را با استفاده از نرم‌افزار PCAAD رسم نمایید و در گزارش پایانی خود ارائه دهید.

۲-۳-۲- قطعات مورد نیاز

به غیر از قطعات عمومی مورد استفاده در تمام آزمایش‌ها (مورد اشاره در جدول ۵)، سایر قطعات مورد نیاز برای انجام آزمایش‌های بخش ۲-۳، مطابق جدول ۸ می‌باشد.

جدول ۸: قطعات مورد نیاز آزمایش‌های بخش ۲-۳

| ردیف | نام قطعه | کد قطعه |
|------|-------------------------|-----------|
| ۱ | آنتن شیپوری | بزرگ ۱۴۱۱ |
| ۲ | | کوچک ۱۴۱۲ |
| ۳ | موجبر ۲۰۰mm | ۱۵۱۱ |
| ۴ | ترانسفورمر سه پیچ | ۱۵۴۰ |
| ۵ | مبدل کواکسیال به موجبری | ۱۶۱۰ |
| ۶ | صفحه پلارایزر | ۱۷۱۰ |
| ۷ | روزنه موج بزرگ | ۱۷۲۱ |

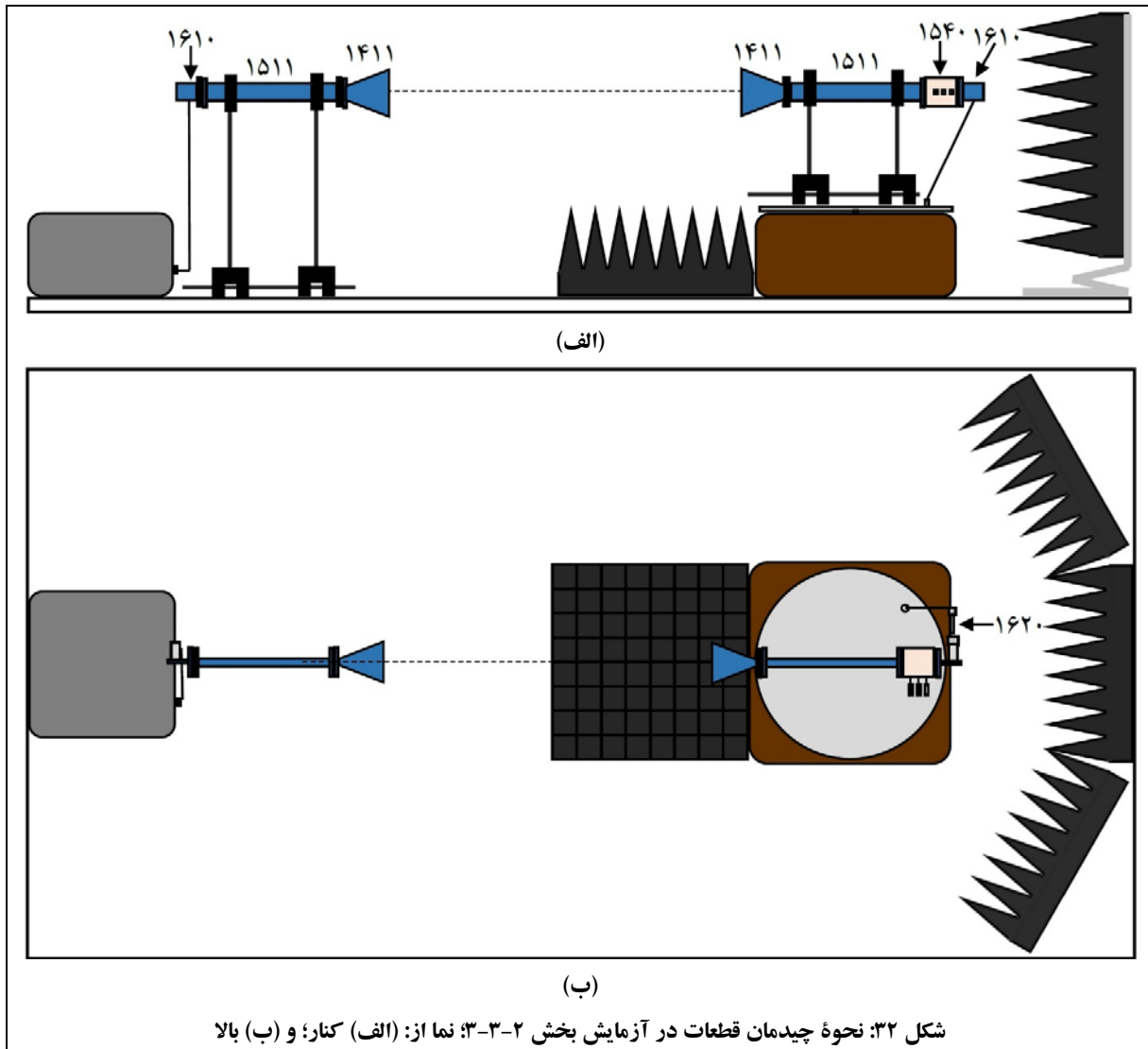
۲-۳-۳- الگوی تشعشی آنتن شیپوری بزرگ در صفحه E

در این آزمایش به بررسی الگوی تشعشی آنتن شیپوری بزرگ در صفحه E پرداخته می‌شود.

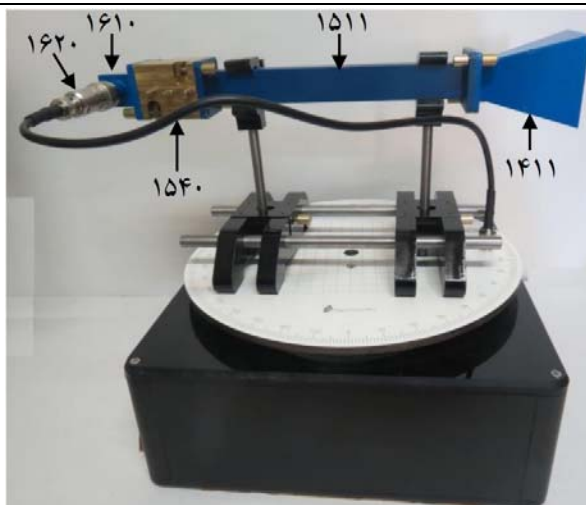
تنظیمات اولیه:

- نحوه چیدمان قطعات جهت انجام این آزمایش، مطابق شکل ۳۲ می‌باشد (در شکل ۳۲ (ب)، جهت جلوگیری از پیچیدگی، پایه‌های نگهدارنده و متعلقات آنها نمایش داده نشده‌اند).
 - همانطور که در شکل ۳۲ مشاهده می‌شود، در این آزمایش از یک آنتن شیپوری بزرگ به‌عنوان فرستنده و از یک آنتن شیپوری بزرگ دیگر به‌عنوان گیرنده استفاده می‌شود.
- متذکر می‌گردد که چیدمان شکل ۳۲، برای حالت پلاریزاسیون افقی است و الگوی تشعشی آنتن شیپوری در صفحه E را به دست می‌دهد. در صورتی که بخواهیم آزمایش را در حالت پلاریزاسیون عمودی انجام دهیم (مانند بخش‌های ۲-۳-۶ و ۲-۳-۷)، باید کل چیدمان آزمایش (مجموعه فرستنده و گیرنده به همراه ادوات موجبری متصل به آنها)،

۹۰° حول محور موجرها چرخانده شود؛ برای این کار، لازم است گیره‌های نگهدارنده موجرها نیز از ضلع بزرگ‌تر خود روی میله‌های نگهدارنده قرار گیرند.



- آنتن تحت آزمون را مطابق شکل ۳۳ نصب نمایید.



شکل ۳۳: نحوه نصب آنتن تحت آزمون جهت در آزمایش بخش ۲-۳-۳

- پس از برقراری اتصالات، آنتن گیرنده را در وضعیت پشت به فرستنده قرار دهید. توجه شود که نقطه ماکزیمم الگوی تشعشی آنتن، باید زاویه صفر درجه میز گردان را نشانه رفته باشد. این عمل باعث می‌شود که الگوی رسم شده روی نمایشگر، دارای یک گلبرگ اصلی در وسط باشد و این گلبرگ دو تکه نشود.
- با توجه به اینکه در صورت عدم تطبیق مناسب، توان دریافتی در گیرنده کم خواهد بود، جهت تطبیق آنتن گیرنده با آشکارساز، از ترانسفورمر سه پیچ استفاده می‌شود.
- برای تطبیق آنتن گیرنده با آشکارساز، خروجی مبدل کواکسیال به موجبری را به کانکتور BNC پایه چرخان متصل و دامنه سیگنال دریافتی را در صفحه نمایشگر نرم‌افزار CASSY Lab مشاهده نمایید.
- حال با چرخاندن پیچ‌های ترانسفورمر سه پیچ، سعی کنید که سیگنال دریافتی در صفحه نمایش را ماکزیمم نمایید. این سیگنال ماکزیمم، نشان‌دهنده بهترین حالت تطبیق آنتن گیرنده با آشکارساز است.
- توجه: قبل از اتصال ترانسفورمر سه پیچ، مطمئن شوید که پیچ‌ها به موجبر نچسبیده باشند. در ضمن، حین تنظیم ترانسفورمر سه پیچ، پیچ‌ها را بیش از حد نیچانید تا پیچ‌ها به موجبر نچسبند.
- پس از تنظیم مناسب ترانسفورمر سه پیچ، به مکان پیچ‌ها دقت کنید تا در قسمت‌های بعدی آزمایش، بتوانید مقدار پیچیدن آنها را بدون نگاه کردن داخل موجبر حدس بزنید (توجه داشته باشید که در صورت تغییر نکردن قطعات چیدمان، نیازی به تغییر در جای پیچ‌ها وجود ندارد).
- فرکانس مولد سیگنال مایکروویو را روی 9.6GHz تنظیم نمایید.

جهت انجام آزمایش:

۱. الگوی تشعشی صفحه E آنتن شیپوری بزرگ (نمودار a بر حسب θ در مختصات قطبی) را رسم نمایید. فایل داده‌های حاصل از اندازه‌گیری را با عنوان HORN-LE ذخیره نمایید.
۲. از روی این نمودار، HPBW و سطح گلبرگ جانبی (SLL)^{۳۸} را با کمک نشانگر صفحه بیابید و مقدار آنها را در گزارش خود یادداشت نمایید.

۲-۳-۴- ضریب تلف پلاریزاسیون آنتن شیپوری بزرگ

- تزوئج بین مودهای عمود بر هم ^{۳۹} آنتن، مشخص‌کننده ضریب تلف پلاریزاسیون است. در واقع، نسبت سیگنال دریافتی با پلاریزاسیون عمود بر هم به سیگنال دریافتی با پلاریزاسیون یکسان^{۴۰}، ضریب تلف پلاریزاسیون آنتن را مشخص می‌کند. با توجه به این توضیحات، برای انجام این آزمایش، آنتن گیرنده در موقعیت قبلی باقی می‌ماند ولی آنتن فرستنده به اندازه 90° ، چرخانده می‌شود (این کار را در گام سوم آزمایش، انجام دهید؛ زیرا در گام اول و دوم آزمایش، لازم است چیدمان بخش ۲-۳-۳ برقرار باشد).
- تنظیم ترانسفورمر سه پیچ مانند آزمایش بخش ۲-۳-۳ است، لذا نیازی به تنظیم مجدد آن نیست.

تنظیمات اولیه:

- نحوه چیدمان اولیه قطعات جهت انجام این آزمایش، مطابق شکل ۳۲ می‌باشد.
- فرکانس مولد سیگنال مایکروویو را روی 9.6GHz تنظیم نمایید.

جهت انجام آزمایش:

۱. آنتن گیرنده را طوری قرار دهید که دهانه آن درست در مقابل آنتن فرستنده قرار گیرد. در این حالت ماکزیمم گلبرگ اصلی آنتن‌های فرستنده و گیرنده در مقابل هم قرار دارد.
۲. عدد a که توسط نرم‌افزار CASSY Lab برای این حالت نشان داده می‌شود را یادداشت کنید.

³⁸ Side Lobe Level (SLL)

³⁹ Cross Polarized

⁴⁰ Co-Polarized

۳. مکان آنتن فرستنده (زاویه قرارگیری آنتن روی پایه چرخان) را به خاطر بسپارید تا پس از باز و بسته کردن آنتن، آنرا دوباره در همان زاویه قرار دهید. حال کل فرستنده و قسمت‌های متصل به آنرا به مقدار 90° حول محور طولی بچرخانید.
- در این وضعیت، سیگنال دریافتی در گیرنده، دارای مقدار کمی خواهد بود. در این حالت آنتن‌های فرستنده و گیرنده، دارای پلاریزاسیون عمود بر هم خواهند بود.
۴. عدد a که توسط نرم‌افزار CASSY Lab برای این حالت نشان داده می‌شود را یادداشت کنید.
- اختلاف مقادیر خوانده شده برای هر دو حالت با پلاریزاسیون‌های یکسان و عمود بر هم، نشان‌دهنده ضریب تلفات پلاریزاسیون آنتن بر حسب dB می‌باشد.
۵. در مورد نتایج به دست آمده بحث کنید.

۲-۳-۵- بررسی اثر صفحه پلاریزور

در این آزمایش، اثر قطرات باران در هم‌شنوایی بین دو کانال مخابراتی که هر دو از یک فرکانس کریر استفاده می‌کنند ولی دارای پلاریزاسیون‌های متفاوت (عمود بر هم) هستند، مورد بررسی قرار می‌گیرد.

قطرات باران، توان RF را جذب کرده و باعث ایجاد تلفات زیادی خواهند شد. قطرات باران، که به علت جریان هوا در زوایای مختلف به روی زمین می‌افتند، تأثیری مشابه با پلاریزور روی امواج مایکروویو دارند؛ به این شکل که زاویه چرخش پلاریزور، متناظر با زاویه قرار گرفتن قطرات باران در هنگام ریزش می‌باشد.

از نظر عملکردی، پلاریزور یکی از مؤلفه‌های خطی عمود بر هم پلاریزاسیون میدان را حذف می‌کند (منعکس کرده و مانع عبور آن به سمت گیرنده می‌شود). راستای این مؤلفه، موازی با سیم‌های پلاریزور است. به عبارت دیگر، شبکه پلاریزور، پلاریزاسیون موج برخوردی را می‌چرخاند تا میدان الکتریکی عمود بر خطوط شبکه پلاریزور باشد.

توجه داشته باشید که با توجه به کروی نبودن قطرات باران، این آزمایش با تقریب به شبیه‌سازی اثر قطرات باران می‌پردازد. همچنین میزان تلف با شدت بارش ارتباط دارد.

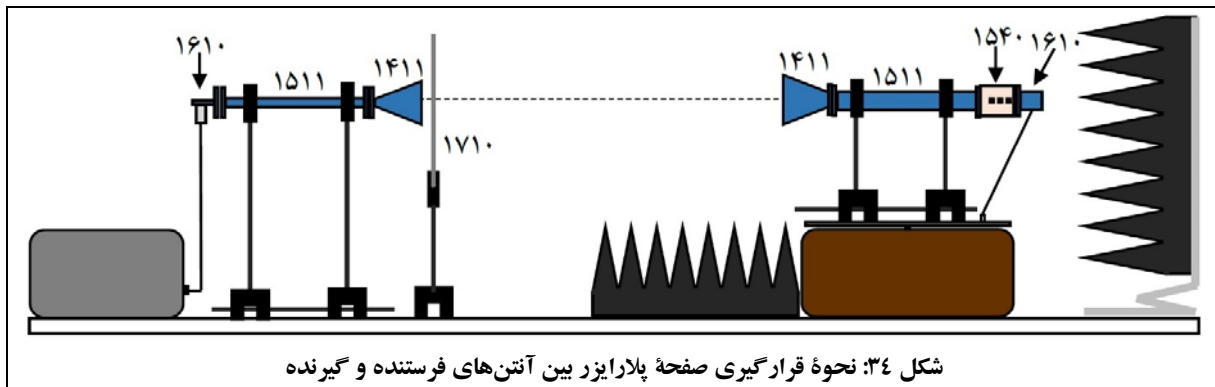
در این آزمایش نیز تنظیم ترانسفورمر سه پیچ مانند آزمایش بخش ۲-۳-۳ است، لذا نیازی به تنظیم مجدد آن نیست.

سوال: آیا تلفات توان با زاویه صفحه پلارایزر^{۴۱}، مرتبط است؟ رابطه‌ای که تلفات پلارایزر را توجیه می‌کند، محاسبه نمایید.

سوال: تمام مواردی که باعث تلفات توان با حضور پلارایزر می‌شوند را ذکر کنید. مقدار کل تلفات بر حسب dB را برای زوایای مختلف در نموداری رسم نمایید.

تنظیمات اولیه:

- دو آنتن شیپوری بزرگ که به صورت عمود بر هم نسبت به هم قرار گرفته‌اند به عنوان فرستنده و گیرنده عمل می‌نمایند. توجه نمائید که نحوه قرار گرفتن آنتن‌های فرستنده و گیرنده مانند آزمایش ۲-۳-۴ است و نیازی به تغییر چیدمان آزمایش نیست.
- صفحه پلارایزر را به صورت عمود بر محور اصلی مسیر اندازه‌گیری و درست در مقابل آنتن فرستنده قرار دهید. فاصله بین دهانه آنتن فرستنده و صفحه پلارایزر را در حد $3\lambda \sim 4\lambda$ تنظیم نمایید.
- نحوه چیدمان مجموعه فرستنده و گیرنده با حضور صفحه پلارایزر در شکل ۳۴ مشاهده می‌شود.



توجه: در این اندازه‌گیری، پایدار ماندن ساختار پلارایزر در دقت جواب‌ها بسیار تأثیرگذار است، از این رو به هنگام چرخاندن صفحه پلارایزر، دقت شود که پایه آن جابه‌جا نشود.

⁴¹ Tilt angle

جهت انجام آزمایش:

۱. تلفات لینک انتقال را با چرخش صفحه پلاریزور مشخص کنید. برای این کار، صفحه پلاریزور را از زاویه 0° تا 90° با گام‌های 10° بچرخانید و مقدار a نرمالیزه، که در آن a میزان تلفات پلاریزور است را برای هر زاویه α مشخص کنید. برای این کار از جدول ۹ استفاده نمایید.

جدول ۹: جدول محاسبه تلفات پلاریزاسیون

| α° | ۰ | ۱۰ | ۲۰ | ۳۰ | ۴۰ | ۵۰ | ۶۰ | ۷۰ | ۸۰ | ۹۰ |
|----------------|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| a | | | | | | | | | | |

۲. فرمولی که برای تلفات لینک انتقال با زاویه قرار گرفتن پلاریزور در سؤال‌های این بخش یافته‌اید را با نتایج عملی بدست آمده، مقایسه نمایید و در مورد نتایج به دست آمده بحث کنید.
توجه کنید که در این حالت، پلاریزاسیون آنتن‌های فرستنده و گیرنده به صورت عمود بر هم قرار دارد.
۳. فرمولی پیدا کنید که رابطه بین تلفات لینک انتقال با زاویه قرار گرفتن پلاریزور را در حالتیکه آنتن‌های فرستنده و گیرنده دارای پلاریزاسیون‌های یکسان هستند، نشان دهد.

۲-۳-۶- الگوی تشعشی آنتن شیپوری بزرگ در صفحه H

در این آزمایش به بررسی الگوی تشعشی آنتن شیپوری بزرگ در صفحه H پرداخته می‌شود.

تنظیمات اولیه:

- چیدمان قطعات این آزمایش، مشابه چیدمان قطعات در آزمایش ۲-۳-۳ (شکل ۳۲) می‌باشد، با این تفاوت که به دلیل رسم الگوی آنتن در صفحه H، باید کل چیدمان آزمایش (مجموعه فرستنده و گیرنده به همراه ادوات موجبری متصل به آنها)، 90° حول محور موجبرها چرخانده شود؛ برای این کار، لازم است گیره‌های نگهدارنده موجبرها نیز از ضلع بزرگ‌تر خود روی میله‌های نگهدارنده قرار گیرند.
- توجه کنید در این حالت، هر دو آنتن فرستنده و گیرنده، دارای پلاریزاسیون عمودی بوده و در نتیجه همچنان دارای پلاریزاسیون یکسان هستند.
- تنظیم ترانسفورمر سه پیچ مانند آزمایش بخش ۲-۳-۳ است، لذا نیازی به تنظیم مجدد آن نیست.

جهت انجام آزمایش:

۱. الگوی تشعشی صفحه H آنتن شیپوری بزرگ (نمودار a بر حسب θ در مختصات قطبی) را رسم نمایید. فایل داده‌های حاصل از اندازه‌گیری را با عنوان HORN-LH ذخیره کنید.
۲. از روی این نمودار، HPBW و SLL را با کمک نشانگر صفحه بیابید و مقدار آنها را در گزارش خود یادداشت نمایید.
۳. با باز کردن فایل‌های HORN-LE و HORN-LH به شکل هم‌زمان در نرم‌افزار CASSY Lab، الگوهای تشعشی آنتن شیپوری بزرگ را در دو صفحه E و H با هم نمایش داده و از آن پرینت بگیرید و در گزارش خود ارائه نمایید. این دو الگو را با هم مقایسه کرده و در مورد نتایج به دست آمده، بحث کنید.
۴. میزان SLL و HPBW در صفحه E و H آنتن شیپوری بزرگ را با هم مقایسه کنید و علت این اختلاف را توضیح دهید.

۲-۳-۷- الگوی تشعشی آنتن شیپوری کوچک در صفحه H

در این آزمایش به بررسی الگوی تشعشی آنتن شیپوری کوچک در صفحه H پرداخته می‌شود.

تنظیمات اولیه:

- چیدمان این آزمایش، مشابه چیدمان بخش ۲-۳-۶ می‌باشد با این تفاوت که آنتن گیرنده (که پیش از این یک آنتن شیپوری بزرگ بوده) با یک آنتن شیپوری کوچک جایگزین می‌شود.
- توجه شود که در این قسمت نیاز به تغییر در پلاریزاسیون مجموعه آنتن فرستنده و گیرنده وجود ندارد و آنتن‌ها دارای پلاریزاسیون عمودی با سطح میز کار خواهند بود.
- آنتن شیپوری کوچک را در محل آنتن تحت آزمون قرار داده، سپس آنتن را در محل زاویه صفر قرار دهید. در این حالت، گیرنده باید ماکزیمم توان را دریافت کند.
- در این قسمت به دلیل تغییر آنتن تحت آزمون، تطبیق بین گیرنده و آشکارساز، به هم خورده‌است و باید دوباره در حالتیکه آنتن‌های فرستنده و گیرنده در مقابل هم قرار دارند، پیچ‌های ترانسفورمر سه پیچ به گونه‌ای تنظیم شود که ماکزیمم سیگنال در صفحه نمایشگر نرم‌افزار CASSY Lab مشاهده شود.

جهت انجام آزمایش:

۱. الگوی تشعشی صفحه H آنتن شیپوری کوچک (نمودار a بر حسب θ در مختصات قطبی) را رسم نمایید. فایل داده‌های حاصل از اندازه‌گیری را با عنوان HORN-SH ذخیره کنید.
۲. از روی این نمودار، HPBW و SLL را با کمک نشانگر صفحه بیابید و مقدار آنها را در گزارش خود یادداشت نمایید.

۳. با باز کردن فایل‌های HORN-SH و HORN-LH به صورت هم‌زمان در نرم‌افزار CASSY Lab، الگوهای تشعشی آنتن‌های شیپوری کوچک و بزرگ را در صفحه H با هم نمایش داده و از آن پرینت بگیرید و در گزارش خود ارائه نمایید.

این دو الگو را با هم مقایسه کرده و در مورد نتایج به دست آمده بحث کنید.

۴. میزان SLL و HPBW را برای این دو آنتن در صفحه H با هم مقایسه کنید و علت این اختلاف را توضیح دهید.

توجه: در مورد آنتن شیپوری کوچک، ممکن است آنتن آنقدر دارای الگوی تشعشی پهنی باشد که نتوان برای آن SLL را تعیین نمود. در این موارد، تنها HPBW آنتن‌ها را با هم مقایسه نمایید.

۲-۳-۸- الگوی تشعشی آنتن شیپوری کوچک در صفحه E

در این آزمایش به بررسی الگوی تشعشی آنتن شیپوری کوچک در صفحه E پرداخته می‌شود.

تنظیمات اولیه:

- چیدمان قطعات این آزمایش نیز مشابه چیدمان قطعات در آزمایش ۲-۳-۷ می‌باشد، با این تفاوت که به دلیل رسم الگوی آنتن در صفحه E (پلاریزاسیون افقی)، باید کل چیدمان آزمایش (مجموعه فرستنده و گیرنده به همراه ادوات موجبری متصل به آنها) مجدداً 90° حول محور موجرها چرخانده شود و به وضعیت پلاریزاسیون افقی مشابه آزمایش ۲-۳-۳ برگردانده شود.
- توجه کنید در این حالت، هر دو آنتن فرستنده و گیرنده، دارای پلاریزاسیون افقی بوده و در نتیجه همچنان دارای پلاریزاسیون یکسان هستند.
- تنظیم ترانسفورمر سه پیچ مانند آزمایش بخش ۲-۳-۷ است، لذا نیازی به تنظیم مجدد آن نیست.
- توجه کنید هنگامیکه دهانه آنتن گیرنده درست در مقابل آنتن فرستنده قرار دارد، باید ماکزیمم توان در گیرنده دریافت شود.

جهت انجام آزمایش:

۱. الگوی تشعشی صفحه E آنتن شیپوری کوچک (نمودار a بر حسب θ در مختصات قطبی) را رسم نمایید. فایل داده‌های حاصل از اندازه‌گیری را با عنوان HORN-SE ذخیره کنید.
۲. از روی این نمودار، HPBW و SLL را با کمک نشانگر صفحه بیابید و مقدار آنها را در گزارش خود یادداشت نمایید.

۳. با باز کردن فایل‌های HORN-SE و HORN-SH به صورت هم‌زمان در نرم‌افزار CASSY Lab، الگوهای تشعشی آنتن شیپوری کوچک را در هر دو صفحه E و H با هم نمایش داده و از آن پرینت بگیرید و در گزارش خود ارائه نمایید. این دو الگو را با هم مقایسه کرده و در مورد نتایج به دست آمده بحث کنید.
۴. میزان SLL و HPBW در صفحه E و H آنتن شیپوری کوچک را با هم مقایسه کنید و علت این اختلاف را توضیح دهید.

توجه: همانطور که پیش از این بیان شد، در مورد آنتن شیپوری کوچک، ممکن است آنتن آنقدر دارای الگوی تشعشی پهنی باشد که نتوان برای آن SLL را تعیین نمود. در این موارد، تنها HPBW آنتن‌ها را با هم مقایسه نمایید.

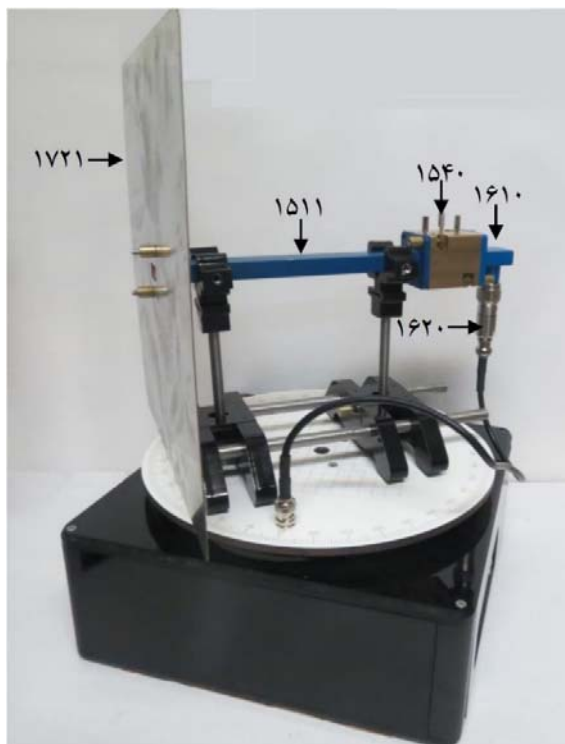
۲-۳-۹- بررسی الگوی تشعشی آنتن موجبری با انتهای باز

در این بخش، آنتن موجبر با دهانه باز، در دو حالت زیر مورد آزمون قرار می‌گیرد:

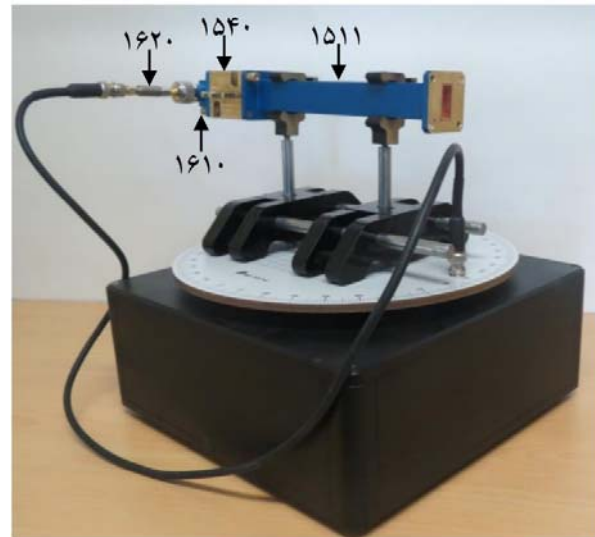
۱. موجبر با انتهای باز بدون صفحه زمین یا صفحه مبنا (روزنه موج بزرگ)؛
۲. موجبر با انتهای باز با صفحه زمین یا صفحه مبنا (روزنه موج بزرگ).

تنظیمات اولیه:

- در این قسمت، آنتن فرستنده به صورت قبل باقی مانده ولی آنتن شیپوری گیرنده، مطابق شکل ۳۵، با آنتن موجبر با انتهای باز جایگزین می‌شود.
- اندازه‌گیری در صفحه E، مشابه فعالیت‌های انجام یافته در قسمت‌های ۲-۳-۳ و ۲-۳-۸ است.
- همچنین اندازه‌گیری در صفحه H، مشابه فعالیت‌های انجام یافته در قسمت‌های ۲-۳-۶ و ۲-۳-۷ است.
- در ضمن، در حالتیکه می‌خواهید موجبر با انتهای باز به همراه صفحه زمین یا صفحه مبنا (روزنه موج بزرگ) را آزمایش کنید، مشابه شکل ۳۵ (ب) صفحه زمین را با استفاده از دو پیچ و مهره، به دهانه موجبر متصل نمایید.



(ب)



(الف)

شکل ۳۵: چیدمان بخش فرستنده: (الف) اندازه‌گیری در صفحه E بدون صفحه زمین؛ و (ب) اندازه‌گیری در صفحه H با صفحه زمین

جهت انجام آزمایش:

۱. مجموعه را با پلاریزاسیون افقی (جهت رسم الگو در صفحه E) نصب نمایید. برای این منظور، چیدمان را مشابه بخش ۲-۳-۸ نصب نمایید با این تفاوت که در سمت گیرنده، مطابق شکل ۳۵ (الف)، آنتن شیپوری را حذف نمایید تا آنتن موجبری با انتهای باز، به دست آید.
۲. مشابه بخش ۲-۳-۳، نسبت به تطبیق گیرنده و آشکارساز با تنظیم ترانسفورمر سه پیچ، اقدام نمایید.
۳. الگوی تشعشی صفحه E آنتن موجبری با انتهای باز (نمودار a بر حسب θ در مختصات قطبی) را رسم نمایید. فایل داده‌های حاصل از اندازه‌گیری را با عنوان OEW-OE ذخیره نمایید.
۴. مشابه بخش ۲-۳-۶ و ۲-۳-۸، مجموعه فرستنده و گیرنده را 90° حول محور موجرها بچرخانید تا پلاریزاسیون عمودی (جهت رسم الگو در صفحه H) حاصل شود. در این فرآیند دقت کنید که محل نصب و فاصله آنتن‌های فرستنده و گیرنده، تغییر نکند تا نیازی به تنظیم مجدد ترانسفورمر سه پیچ، وجود نداشته باشد.

۵. الگوی تشعشی صفحه H آنتن موجبری با انتهای باز (نمودار a بر حسب θ در مختصات قطبی) را رسم نمایید. فایل داده‌های حاصل از اندازه‌گیری را با عنوان OEW-OH ذخیره نمایید.
۶. حال با استفاده از دو پیچ و مهره، مطابق شکل ۳۵ (ب)، صفحه زمین را به انتهای موجبر نصب نمایید.
۷. با توجه به تغییر در مجموعه گیرنده، لازم است مشابه بخش اول، به تنظیم ترانسفورمر سه پیچ پرداخت.
۸. الگوی تشعشی صفحه H آنتن موجبری با انتهای باز با صفحه زمین (نمودار a بر حسب θ در مختصات قطبی) را رسم نمایید. فایل داده‌های حاصل از اندازه‌گیری را با عنوان OEW-SH ذخیره نمایید.
۹. مشابه گام چهارم (و در جهت معکوس)، مجموعه فرستنده و گیرنده را 90° حول محور موجبرها بچرخانید تا پلاریزاسیون افقی (جهت رسم الگو در صفحه E) حاصل شود. در این فرآیند نیز دقت کنید که محل نصب و فاصله آنتن‌های فرستنده و گیرنده، تغییر نکند تا نیازی به تنظیم مجدد ترانسفورمر سه پیچ، وجود نداشته باشد.
۱۰. الگوی تشعشی صفحه E آنتن موجبری با انتهای باز با صفحه زمین (نمودار a بر حسب θ در مختصات قطبی) را رسم نمایید. فایل داده‌های حاصل از اندازه‌گیری را با عنوان OEW-SE ذخیره نمایید.
۱۱. با باز کردن هم‌زمان فایل‌های مربوط به الگوی تشعشی صفحه E برای دو آنتن موجبر با دهانه باز با صفحه زمین (OEW-SE) و بدون حضور آن (OEW-OE) با استفاده از نرم‌افزار CASSY Lab، الگوهای تشعشی صفحه E را با هم مقایسه کنید.
۱۲. گام قبل را برای صفحه H نیز انجام دهید (مقایسه OEW-SH و OEW-OH).
۱۳. میزان SLL و HPBW در صفحه E آنتن‌های موجبر با دهانه باز با صفحه زمین و بدون حضور آنرا با هم مقایسه کنید و علت این اختلاف را با ذکر دلیل توجیه نمایید.
۱۴. این عمل را برای صفحه H نیز تکرار نمایید.

توجه: مشابه آنتن شیپوری کوچک، در مورد آنتن موجبر با دهانه باز با صفحه زمین و بدون حضور آن نیز ممکن است آنتن آنقدر دارای الگوی تشعشی پهنی باشد که نتوان برای آن SLL را تعیین نمود. در این موارد، تنها HPBW آنتن‌ها را با هم مقایسه نمایید.

۲-۴- آنتن‌های آرایه‌ای

هدف از انجام این آزمایش، آشنایی با آنتن آرایه‌ای است. به همین منظور، در این آزمایش، دانشجویان با طراحی و نحوه عملکرد آرایه‌های خطی و صفحه‌ای آشنا می‌شوند.

همچنین در این آزمایش:

- جاروب پرتو آنتن^{۴۲} در آنتن‌های آرایه‌ای مورد بررسی قرار می‌گیرد؛
- رخ دادن گلبرگ‌های اضافی بررسی می‌شود؛
- مطالبی در مورد پرتوهای خاص نظیر پرتو مدادی و بادبزی^{۴۳} ارائه خواهد شد.

جهت دستیابی به این اهداف، آزمایش‌های زیر در این بخش تعریف گردیده‌اند:

- اندازه‌گیری الگوی تشعشعی صفحه H آرایه آنتن‌های شکافی (آرایه خطی)؛
- اندازه‌گیری الگوی تشعشعی صفحه E آرایه آنتن‌های شکافی (آرایه خطی)؛
- بررسی رفتار گلبرگ اضافی؛
- بررسی رفتار اسکن الگوی تشعشعی آرایه آنتنی با تغییر فرکانس؛
- بررسی آنتن میکرواستریپ (آرایه صفحه‌ای).

۲-۴-۱- مقدمه‌ای در خصوص آنتن‌های آرایه‌ای

جهت ایجاد یک الگوی تشعشعی در یک جهت خاص (جهت‌دار)، می‌توان از چند آنتن با فاصله‌ها و تحریریک دامنه و فاز مناسب استفاده کرد. به چنین ساختاری با چندین عنصر تشعشع‌کننده، یک آرایه آنتنی گفته می‌شود.

یک آرایه آنتنی شامل چند آنتن کوچک، می‌تواند جهت دستیابی به سطح عملکرد مشابه با یک آنتن بزرگ مورد استفاده قرار گیرد. با این روش، مشکلات مکانیکی مرتبط با یک آنتن بزرگ، به مسائل الکتریکی تغذیه چند آنتن کوچک، تغییر می‌یابد.

با تغییر فاز جریان‌های تحریریک هر عنصر نیز می‌توان جهت الگوی تشعشعی را تغییر داد که به آرایه حاصل، آرایه فازی گفته می‌شود.

^{۴۲} Scanning Beam

^{۴۳} Fan & Pencil Beam

- آرایه‌ها انواع مختلفی دارند که اصلی‌ترین آنها، آرایه‌های خطی و سطحی هستند:
- در آرایه خطی، مراکز عناصر آرایه در طول یک خط مستقیم قرار دارند؛
 - در آرایه صفحه‌ای، مراکز عناصر آرایه روی یک صفحه قرار دارند.

الگوی تشعشی یک آرایه صفحه‌ای یا خطی با عناصر یکسان، به وسیله الگوی المان‌های منفرد تشعش کننده^{۴۴}، جهت‌گیری آنها، مکان آنها در فضا و اندازه و فاز جریان تغذیه‌کننده هر المان، تعیین می‌شود. البته این وضعیت برای آنتن‌هایی که عناصر در آنها چرخش داشته باشند، برقرار نخواهد بود.

همچنین الگوی کلی آرایه، از ضرب الگوی هر عنصر در فاکتور آرایه^{۴۵} بدست می‌آید (فاکتور آرایه، به الگوی تشعشی آرایه‌ای که هر عنصر آن، منبع نقطه‌ای ایزوتروپیک واقع در مکان المان‌های آن آرایه باشد، گفته می‌شود).

در ادامه، به ترتیب در بخش‌های ۲-۴-۲ و ۳-۴-۲، یک آرایه خطی از آنتن‌های شکافی روی دیواره یک موجبر مستطیلی و یک آرایه صفحه‌ای از آنتن‌های میکرواستریپ، مورد بررسی قرار می‌گیرد. سپس به آزمایش‌های در نظر گرفته شده در مورد آنتن‌های آرایه‌ای پرداخته می‌شود.

۲-۴-۲- آرایه‌های خطی

همانطور که بیان شد، آرایه‌های خطی، مجموعه‌ای از آنتن‌ها هستند که روی یک خط قرار گرفته‌اند. رایج‌ترین نوع آرایه‌های خطی، آرایه‌های شکافی^{۴۶} روی بدنه یک موجبر هستند. از مشخصات این نوع آرایه، می‌توان به الگوی بادبزی و گلبرگ‌های کناری ضعیف، اشاره نمود. در این نوع آرایه، محل، اندازه و همسایگی شکاف‌ها، تعیین‌کننده مشخصات تشعشی است. در ادامه به توضیح بیشتر در خصوص نحوه عملکرد این نوع آرایه، پرداخته می‌شود.

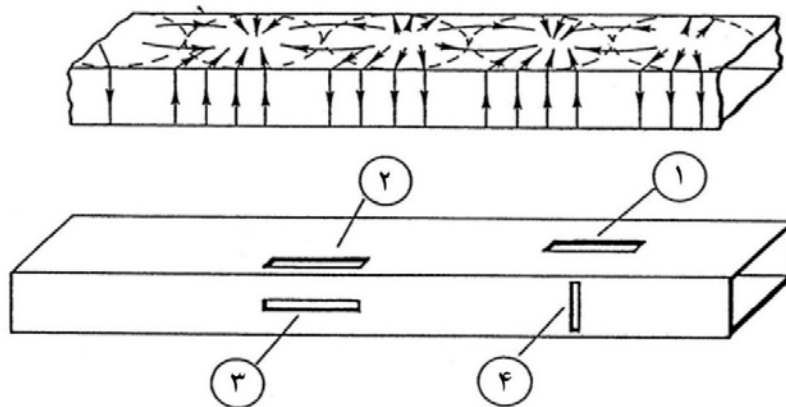
یک شکاف مناسب روی بدنه موجبر، به مثابه یک آنتن عمل می‌کند و تنها زمانی تشعش خواهد نمود که شکاف، خطوط جریان الکتریکی سطحی را قطع کند. لازم به ذکر است که شکاف‌هایی که با جهت جریان الکتریکی به صورت موازی قرار می‌گیرند، تشعش نمی‌کنند.

⁴⁴ Element Factor

⁴⁵ Array Factor

⁴⁶ Slot Array

بر این اساس، مطابق شکل ۳۶، که مود غالب TE_{10} در موجبر مستطیلی تحریک شده است، بیشترین تشعشع از شکاف‌های ۲ و ۳ خواهد بود و شکاف‌های ۱ و ۴، تشعشع نخواهند نمود.



- (۱): روزنه طولی متقارن در سمت پهن، بدون تشعشع
(۲): روزنه تشعشع کننده در سمت پهن
(۳): روزنه تشعشع کننده در سمت باریک
(۴): روزنه بدون تشعشع در سمت باریک

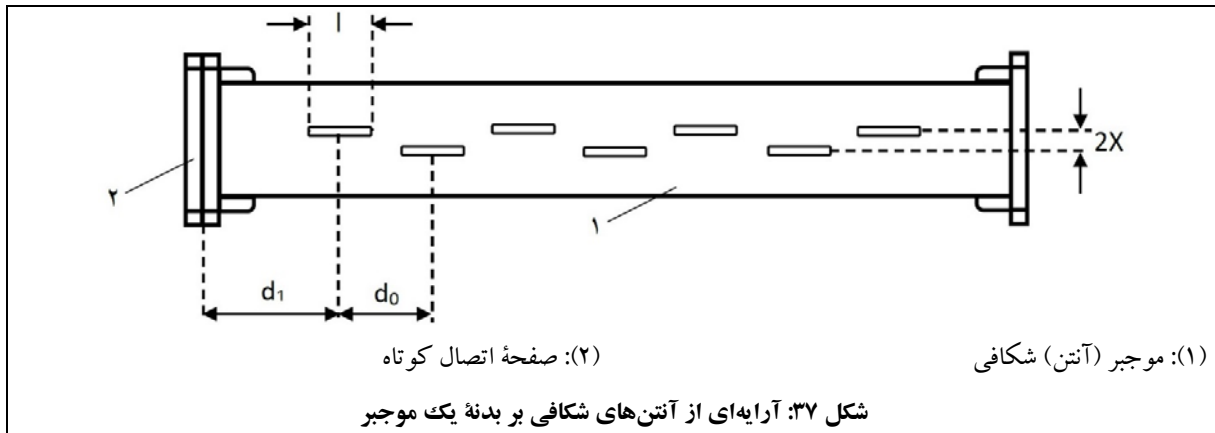
شکل ۳۶: موجبر مستطیلی با نمایش توزیع جریان الکتریکی مود غالب روی آن و دسته‌بندی شکاف‌های تشعشع کننده و شکاف‌های غیر تشعشی

در شکل ۳۷، آرایه‌ای از آنتن‌های شکافی بر بدنه یک موجبر مشاهده می‌شود. در این آرایه، شکاف‌ها به صورت متناوب و با فاصله x از محور تقارن موجبر، قرار گرفته‌اند و به صورت یک ادمیتانس عرضی عمل می‌کنند. همچنین با توجه به اصل بابینه^{۴۷}، هر شکاف مشابه یک آنتن دایپل نصف طول موج خواهد بود.

موجبر تحریک کننده آنتن‌های شکافی، از یک سمت تغذیه می‌شود و سمت دیگر آن می‌تواند اتصال کوتاه و یا تطبیق شده به بار تطبیق باشد (در شکل ۳۷، حالت موجبر ختم شده به صفحه اتصال کوتاه، ارائه شده است).

در مورد متغیرهای شکل ۳۷ اشاره می‌شود که فاصله شکاف‌ها برابر $d_0 = \lambda_g/2$ ، طول هر شکاف برابر $l = \lambda_0/2$ ، طول موج درون موجبر مستطیلی و λ_0 طول موج در فضای آزاد است.

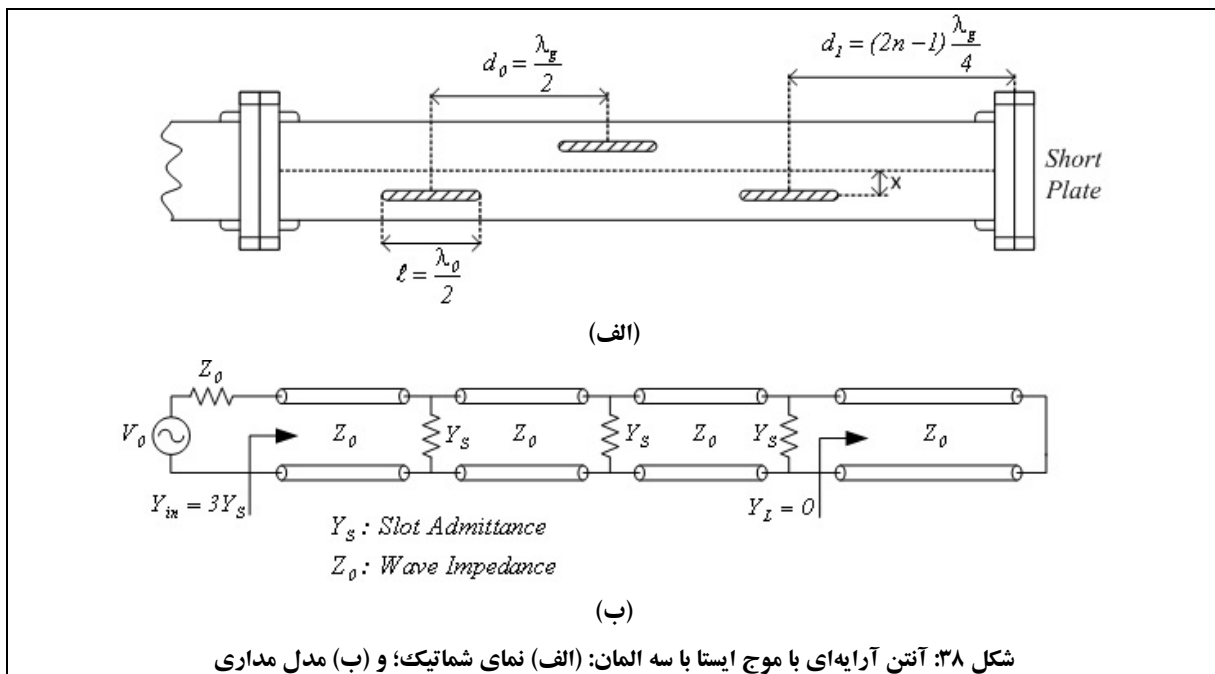
⁴⁷ Babinet's Principle



در قسمت‌های بعدی دو نوع آرایه آنتن‌های شکافی با تحریک موج ایستا و موج رونده مورد بررسی قرار گرفته‌است.

۲-۴-۲-۱- آنتن آرایه شکافی با موج ایستا

جهت درک بهتر عملکرد آرایه آنتن‌های شکافی، لازم است از مدل مداری آنها استفاده شود. به‌عنوان نمونه، آرایه‌ای با سه المان (سه آنتن شکافی بر بدنه موجبر) و مدار معادل آن، در شکل ۳۸ مشاهده می‌شود.



انتهای این موجبر با استفاده از صفحه فلزی، اتصال کوتاه شده است. طول و فاصله شکاف‌های تشعشع‌کننده بدنه موجبر در شکل ۳۸ (الف) و مدل مداری این آنتن در شکل ۳۸ (ب)، مشاهده می‌شود.

متغیرهای مورد اشاره در شکل ۳۸، عبارتند از:

- d_0 : فاصله بین شکاف‌های تشعشعی که برابر $\lambda_g/2$ است (λ_g طول موج درون موجبر مستطیلی است).
- d_1 : فاصله بین شکاف آخر با صفحه اتصال کوتاه که برابر $(\lambda_g/4)(2n-1)$ است (n ، برابر تعداد شکاف‌های روی موجبر است).
- l : طول هر شکاف که برابر $\lambda_0/2$ است (λ_0 طول موج در فضای آزاد است).
- Z_0 : امپدانس مشخصه خطوط انتقال، که در اینجا همان امپدانس موج درون موجبر است.
- Y_S : admittance تشعشعی هر شکاف، که در شرایط تشدید شکاف، عددی حقیقی خواهد بود.
- Y_L : admittance که از محل شکاف تشعشعی آخر به سمت صفحه اتصال کوتاه دیده می‌شود، که در اینجا صفر است.

با توجه به فاصله بین شکاف‌های تشعشعی (d_0) و اینکه admittance روی خط انتقال رفتاری متناوب با دوره تناوب $\lambda_g/2$ دارد، admittance دیده‌شده در ورودی این موجبر، برابر مجموع admittance تمامی المان‌های تشعشع‌کننده و مطابق رابطه ۸ خواهد بود.

$$Y_{in} = NY_S \quad \text{رابطه ۸}$$

در رابطه ۸، N برابر تعداد المان‌های تشعشعی بر روی بدنه موجبر مستطیلی است. برای مثال در آنتن مورد اشاره در شکل ۳۸، با توجه به وجود سه المان، خواهیم داشت: $Y_{in} = 3Y_S$.

با نرمالیزه کردن رابطه ۸، در حالت کلی برای امپدانس موجبر مستطیلی، رابطه ۹ برقرار خواهد بود.

$$y_{in} = Ny_S \quad \text{رابطه ۹}$$

در رابطه ۹، $y_{in} = Y_{in}Z_0$ و $y_S = Y_SZ_0$ است. با این تفاسیر، جهت برقراری تطبیق امپدانس بین موجبر تحریک‌کننده آرایه آنتنی و admittance ورودی، باید رابطه $y_{in} = Y_{in}Z_0 = l$ برقرار باشد؛ بنابراین، رابطه ۱۰ به دست می‌آید.

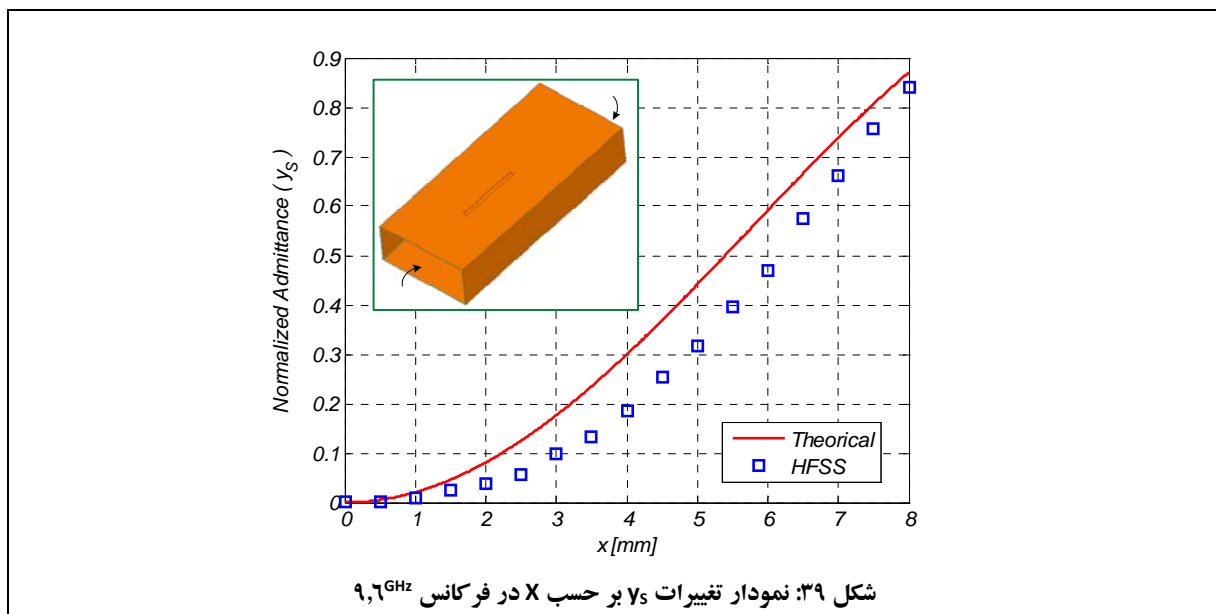
$$y_S = 1/N \quad \text{رابطه ۱۰}$$

با استفاده از روابط تحلیلی، رابطه ادمیتانس نرمالیزه هر آنتن شکافی ایزوله بر بدنه موجبر مستطیلی، مطابق رابطه ۱۱ خواهد بود.

$$y_s = 2.l \left(\frac{\lambda_g}{\lambda_0}\right) \left(\frac{a}{b}\right) \sin^2\left(\frac{\pi x}{a}\right) \cos^2\left(\frac{\pi \lambda_0}{2\lambda_g}\right) \quad \text{رابطه ۱۱}$$

در رابطه ۱۱، a ، طول ضلع بزرگ موجبر مستطیلی و b ، طول ضلع کوچک آن است. برای موجبر باند X ، a تقریباً برابر 22.86mm و b برابر 10.16mm خواهد بود.

جهت درک بهتر نقش X در رابطه ۱۱، در شکل ۳۹، نمودار تغییرات y_s بر حسب x ، رسم شده است. در این شکل، نتایج تحلیلی با نتایج شبیه‌سازی عددی با یکدیگر مقایسه شده‌اند که تطابق نسبتاً خوبی با یکدیگر دارند. این نتایج مربوط به فرکانس 9.6GHz می‌باشد.



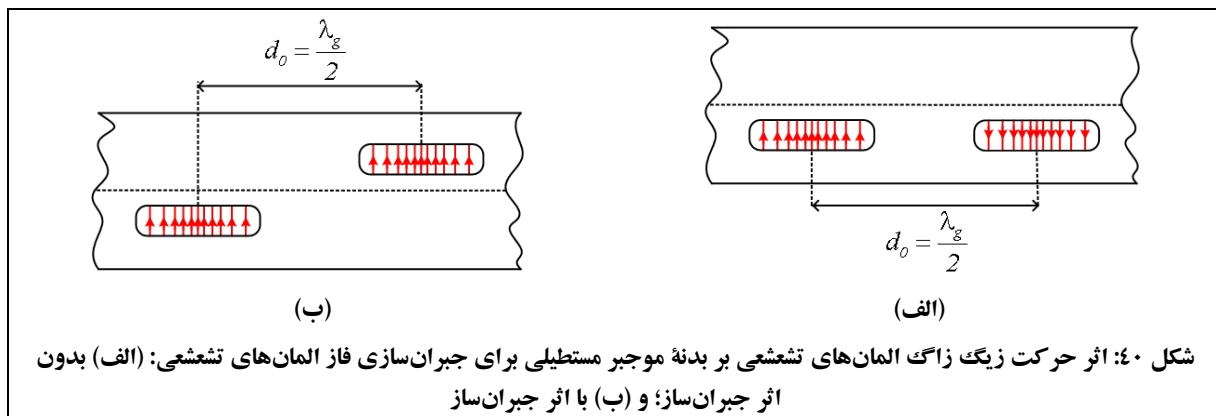
تمرین کامپیوتری: با استفاده از نرم‌افزار HFSS، ساختاری برای یک آرایه آنتنی با موج ایستا پیشنهاد دهید و نموداری مشابه شکل ۳۹ را برای یک موجبر مستطیلی باند X به ابعاد a برابر 22.86mm و b برابر 10.16mm در فرکانس 9.6GHz ، رسم کنید. این ساختار پیشنهادی به صورت خلاصه در شکل ۳۸ رسم شده است. فایل‌های شبیه‌سازی HFSS را به همراه گزارش خود تحویل دهید.

همانطور که در شکل ۳۷ و شکل ۳۸ مشاهده می‌شود، توزیع شکاف‌های تشعشی بر بدنه موجبر، به صورت زیگ‌زاگی است. علت این مسئله، جبران‌سازی فاز 180° بین المان‌های تشعشی است.

همانطور که اشاره گردید، فاصله المان‌های تشعشی بر بدنه موجبر برابر $d_0 = \lambda_g/2$ است. این فاصله سبب می‌شود که المان‌های تشعشی با یکدیگر اختلاف فاز 180° داشته باشند. با توجه به اینکه در صورت تشعش همزمان المان‌های با اختلاف فاز 180° در کنار یکدیگر، اثر آنها در بی‌نهایت به صورت ناهمساز با یکدیگر جمع خواهد شد و در نقطه مقابل آنتن، به جای گلبرگ اصلی، یک صفر^{۴۸} در الگوی تشعشی ظاهر می‌شود؛ جهت جبران‌سازی فاز، این المان‌ها به صورت زیگ‌زاگی قرار می‌گیرند. این حرکت زیگ‌زاگ، با توجه به نحوه توزیع جریان الکتریکی در بدنه موجبر، سبب ایجاد اختلاف فاز 180° دیگری خواهد شد که در کل، اثر آن سبب همساز شدن رفتار المان‌های تشعشی روی بدنه موجبر خواهد بود.

جهت درک بهتر این مسئله، در شکل ۴۰، اثر این حرکت زیگ‌زاگ برای دو موجبر مختلف نشان داده شده است:

- در شکل ۴۰ (الف)، المان‌های تشعشی دارای توزیع میدان الکتریکی ناهمساز با یکدیگر هستند؛
- در شکل ۴۰ (ب)، با جابه‌جایی محل المان تشعشی دوم نسبت به محور موجبر، این رفتار ناهمساز میدان‌های الکتریکی از بین رفته است.

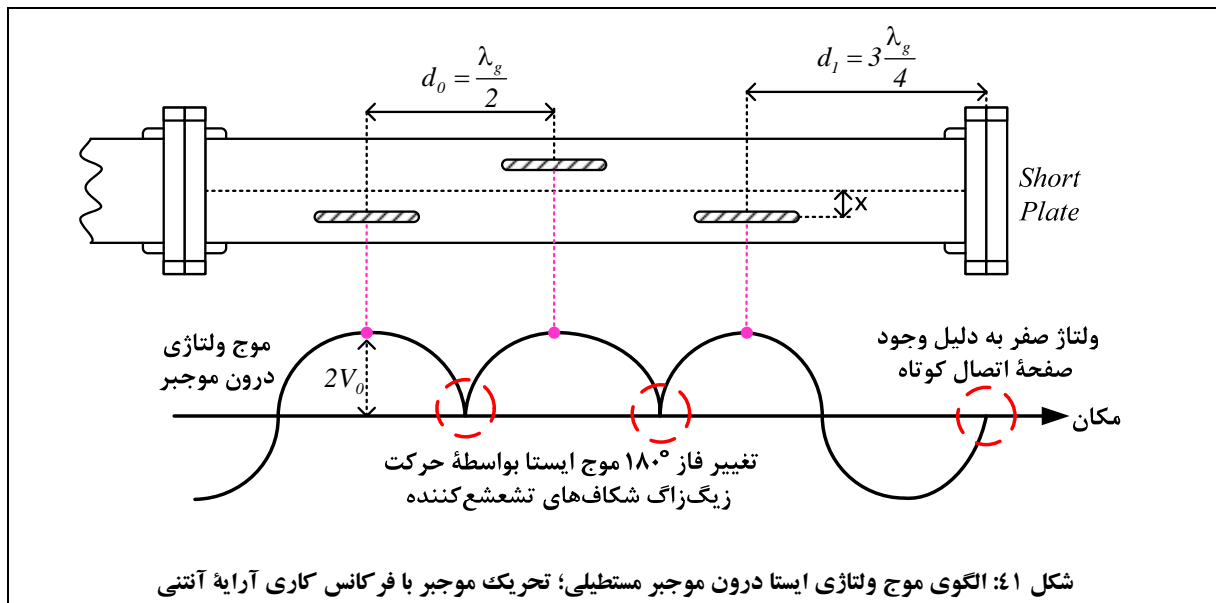


در شکل ۴۱، موج ایستای^{۴۹} درون موجبر مستطیلی با صفحه اتصال کوتاه، رسم شده است. در این شکل برای درک بهتر رفتار حرکت زیگ‌زاگ شکاف‌های تشعشی، یک تغییر فاز 180° به شکل گرافیکی در شکل موج ولتاژی ایجاد شده است. همانطور

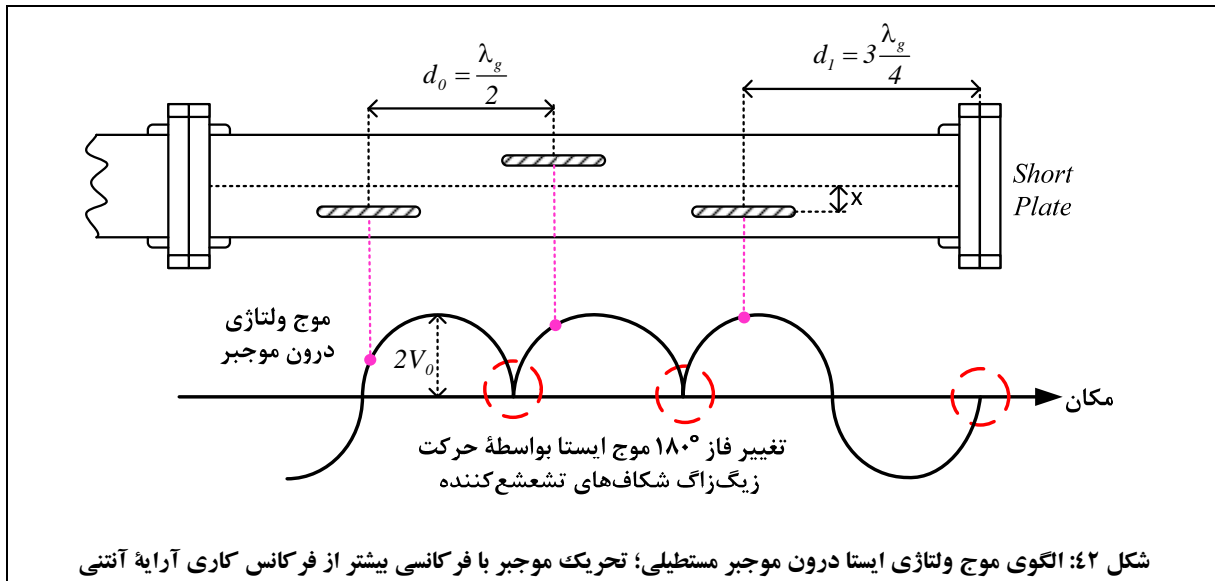
⁴⁸ Null

⁴⁹ Standing Wave

که مشاهده می‌شود، نقطهٔ ماکزیمم ولتاژ در محل شکاف‌ها قرار دارد و دامنهٔ آن برابر $2V_0$ است (V_0 ، دامنهٔ ولتاژ منبع تغذیه کنندهٔ موجبر مستطیلی است). در این وضعیت، آنتن در فرکانس کاری خود کار می‌کند و بهترین نتایج در الگوی تشعشی برای آن به دست می‌آید، زیرا تمامی المان‌های تشعشی، دارای دامنه و فاز یکسان هستند.



در صورتیکه فرکانس تحریک موجبر تغییر کند، نحوهٔ توزیع موج ولتاژی ایستا درون موجبر تغییر خواهد کرد و این مسئله سبب خواهد شد که دامنه و اختلاف فاز بین المان‌های تشعشی تغییر کند. این موضوع در شکل ۴۲ نمایش داده شده است که در آن، آرایهٔ آنتنی با فرکانسی بیشتر از فرکانس کاری‌اش تحریک شده است. هر چند اختلاف فاز بین المان‌های تشعشی متوالی، مقدار ثابتی است، ولی تغییر دامنهٔ نتیجه شده در هر المان، الگوی تشعشی آرایهٔ آنتنی را تخریب خواهد کرد (به توزیع دامنهٔ غیریکنواخت هر المان تشعشی در شکل ۴۲، توجه نمایید).



به‌عنوان نتیجه‌گیری این بخش می‌توان بیان کرد که آنتن آرایه خطی از شکاف‌های تشعشی بر بدنه موجبر، تا زمانیکه در نزدیکی فرکانس کاری‌اش تحریک شود، رفتار تشعشی مناسبی خواهد داشت ولی با فاصله گرفتن از فرکانس کاری آنتن، رفتار الگوی تشعشی آنتن تخریب خواهد شد. علت اصلی این امر نیز به تحریک المان‌های تشعشی با دامنه‌های غیر یکنواخت مربوط می‌شود.

همچنین اشاره می‌شود که آنتن‌های آرایه‌ای موج ایستا، به دلیل رفتارهای تشعشی که دارند، دارای عرض باند فرکانسی کمی هستند و این مسئله از مشکلات این گونه آنتن‌ها است.

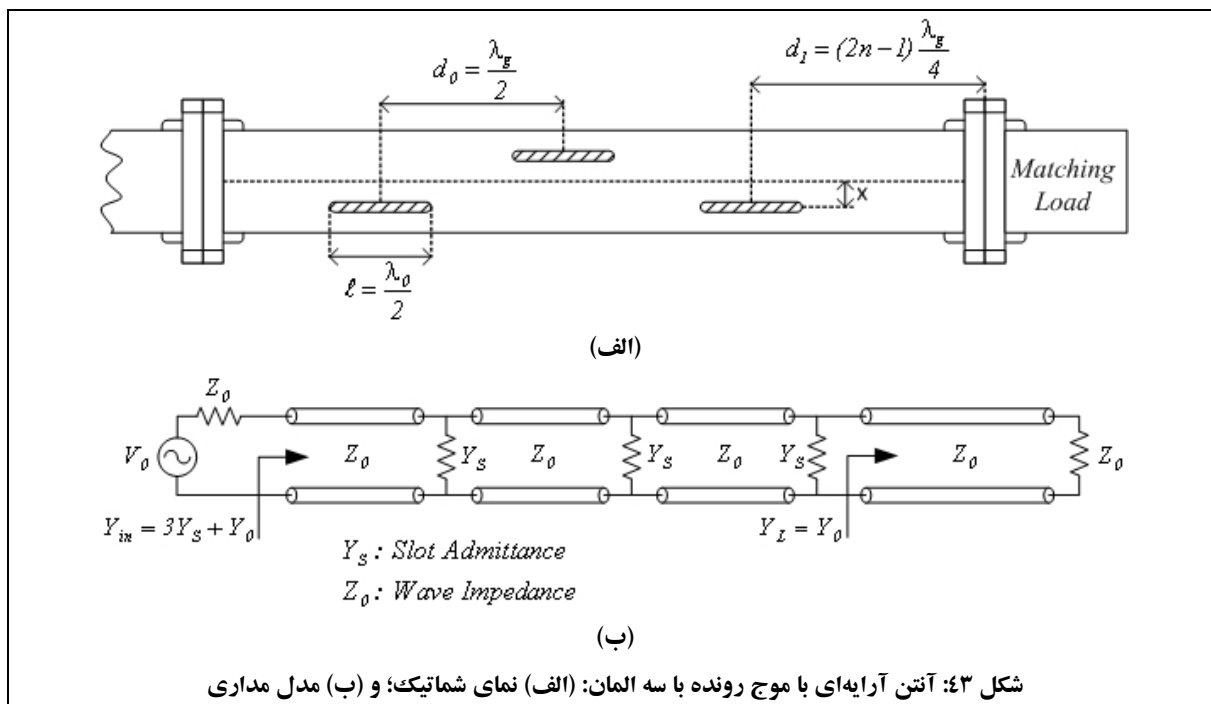
۲-۲-۴-۲- اصول طراحی آنتن آرایه شکافی با موج ایستا

برای طراحی یک آنتن آرایه شکافی با موج ایستا، پیشنهاد می‌شود گام‌های زیر طی شود:

۱. ابتدا فرکانس کار را انتخاب نمایید که با توجه به آن، مقادیر λ_0 و λ_g بدست می‌آید.
۲. با مشخص شدن λ_0 و λ_g مقادیر l و d_0 محاسبه می‌شود.
۳. تعداد شکاف‌های روی بدنه موجبر (N) بر اساس میزان راستاوری مطلوب آنتن و محدودیت‌های مکانیکی انتخاب می‌شود.
۴. با دانستن تعداد شکاف‌ها (N)، مقدار ادمیتانس نرمالیزه (Y_S) مشخص می‌شود.
۵. با توجه به مقدار ادمیتانس نرمالیزه (Y_S)، فاصله شکاف‌ها از محور موجبر (X) بر اساس شکل ۳۹ بدست می‌آید.

۲-۴-۲-۳- آنتن آرایه شکافی با موج رونده

در این بخش، آنتن‌های آرایه شکافی با تحریک موج رونده معرفی می‌شوند. شکل ۴۳، مدل مداری این آنتن را نشان می‌دهد.



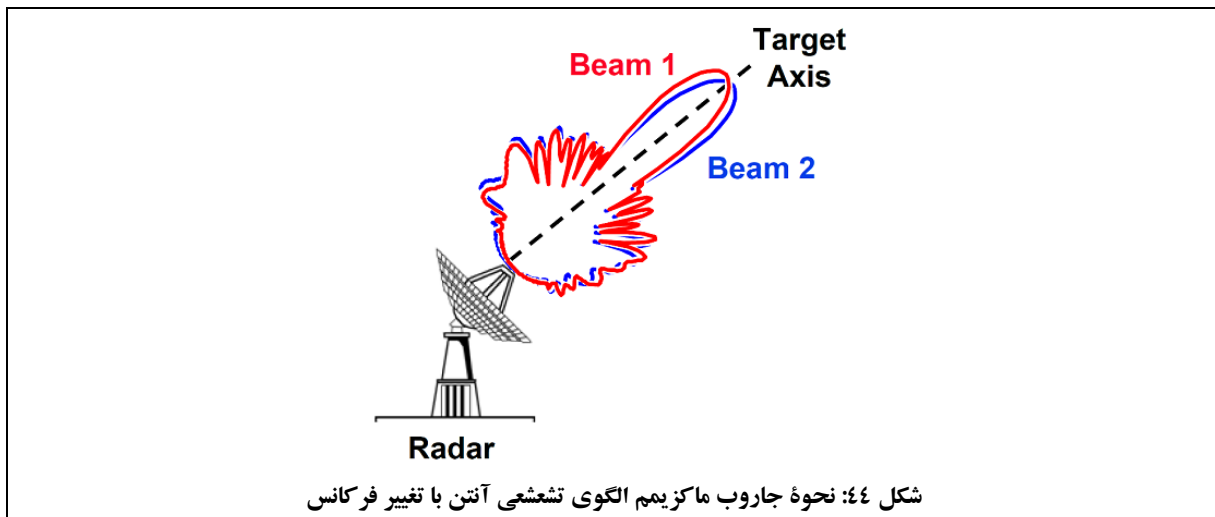
تفاوت عمده تحریک با موج رونده در مقایسه با تحریک موج ایستا، به دامنه سیگنال ولتاژ در محل هر شکاف تشعشی مربوط است. در حالت موج ایستا، همانطور که در شکل ۴۱ مشاهده می‌شود، دامنه ولتاژ در محل هر شکاف، برابر $2V_0$ است (V_0 ، ولتاژ منبع تحریک کننده آنتن است). در حالت موج رونده، این ولتاژ در محل تمامی شکاف‌ها برابر V_0 خواهد بود.

کاهش دامنه ولتاژ در محل المان تشعشی، سبب کاهش $20 \log(2V_0/V_0) = 6^{dB}$ در راستاوری آنتن خواهد شد.

تفاوت دیگر این دو مدل تحریک آنتن آرایه شکافی، در ادمیتانس ورودی آنتن است؛ در حالت موج رونده، میزان ادمیتانس ورودی آنتن برابر $Y_{in} = NY_s + Y_0$ است در حالیکه در حالت تحریک موج ایستا، این ادمیتانس برابر $Y_{in} = NY_s$ بود. این مسئله سبب می‌شود برای تطبیق آنتن‌های آرایه شکافی با موج رونده، تکنیک‌های تطبیق امپدانس مورد استفاده قرار گیرد. این کار می‌تواند با جابه‌جا کردن محل المان‌های تشعشی روی بدنه موجبر، صورت پذیرد.

حضور تعداد المان‌های تشعشی زیاد (N بزرگ) سبب می‌شود که اختلاف این دو ادمیتانس چندان زیاد نباشد و با همان محاسبات قبلی بتوان محل شکاف‌های تشعشی (X) را محاسبه نمود.

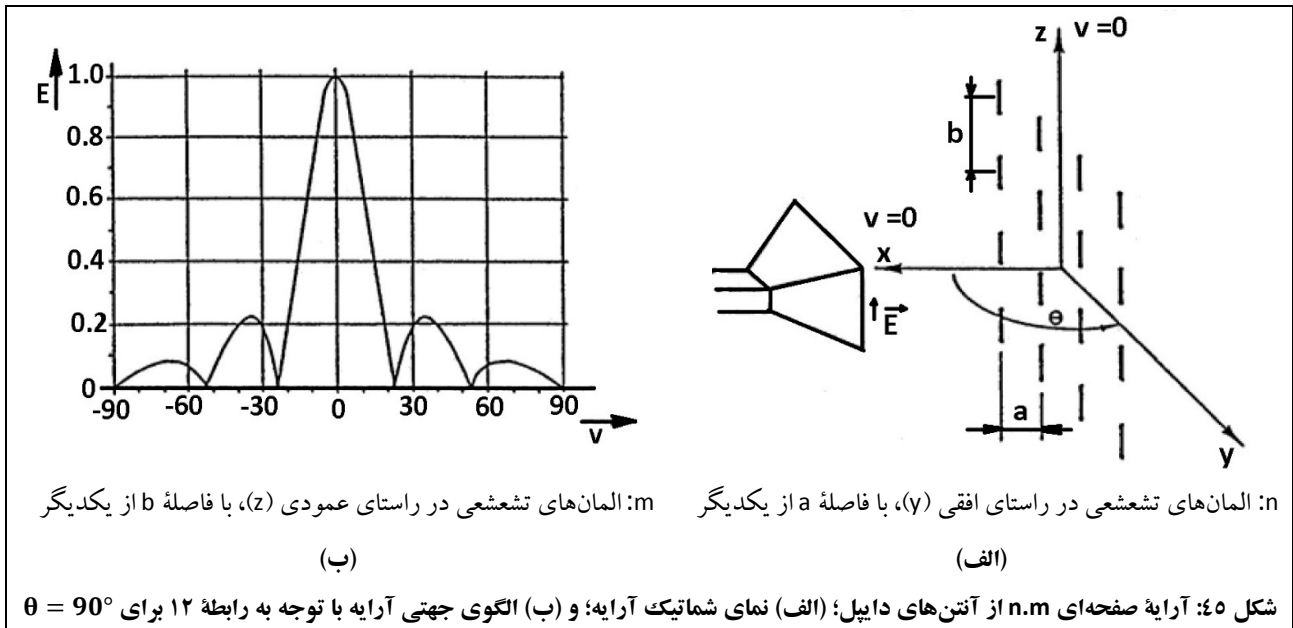
یکی از مهمترین مزایای آنتن آرایه شکافی با تحریک موج رونده، پهن باند بودن فرکانسی آن است. با توجه به اینکه با تغییر فرکانس، همچنان تمامی المان‌های تشعشی با دامنه ثابت تحریک می‌شوند و فقط اختلاف فاز ثابتی بین المان‌ها ایجاد می‌شود، الگوی تشعشی این نوع آنتن‌ها دچار به هم ریختگی نخواهد شد و ماکزیمم الگوی تشعشی دارای انحراف زاویه‌ای می‌شود. جابه‌جایی محل ماکزیمم الگوی تشعشی آنتن با تغییر فرکانس، به آنتن قدرت زیادی در ردگیری اجسام پرنده در فضا می‌دهد تا بدون حرکت مکانیکی و با سرعت زیاد بتواند موقعیت هدف را اعلام نماید. شکل ۴۴، نمونه‌ای از نحوه جاروب الگوی تشعشی آنتن با تغییر فرکانس را نشان می‌دهد. در شکل ۴۴، با تغییر فرکانس، ماکزیمم الگوی تشعشی آنتن از موقعیت Beam1 به موقعیت Beam2 حرکت کرده‌است.



۲-۴-۳- آرایه‌های آنتنی صفحه‌ای

همانطور که بیان شد، یک آرایه صفحه‌ای هنگامی به وجود می‌آید که آرایه‌های خطی در یک ساختار موازی قرار گیرند. در هنگام استفاده از آرایه آنتنی به جای یک آنتن، مشخصات پرتو تشعشی بهبود قابل ملاحظه‌ای می‌یابد، مانند آنتن یاگی-یودا که در آن، عناصر پارازیتی مشابه المان‌های یک آرایه، رفتار تشعشی آنتن دایپل را بهبود می‌بخشند. در آرایه‌ها، المان‌های تشعشی توسط شبکه تغذیه با هم ترکیب می‌شوند.

در شکل ۴۵ (الف)، یک آرایه صفحه‌ای از آنتن‌های دایپل مشاهده می‌شود.



الگوی تشعشی آرایه ارائه شده در شکل ۴۵ (الف)، با استفاده از اصل حاصلضرب پترن یک المان منفرد (در اینجا آنتن دایپل (D)) در فاکتور آرایه، مطابق شکل ۴۵ (ب) به دست می‌آید. معادله این الگوی تشعشی در رابطه ۱۲ ارائه شده است.

$$\left| \frac{A}{A_0} \right| = \underbrace{2|\sin \theta|}_D \underbrace{\left| \frac{\sin\left(\frac{m\pi b}{\lambda_0} \cos \theta\right)}{\sin\left(\frac{\pi b}{\lambda_0} \cos \theta\right)} \right|}_V \underbrace{\left| \frac{\sin\left(\frac{n\pi a}{\lambda_0} \sin \varphi \sin \theta\right)}{\sin\left(\frac{\pi a}{\lambda_0} \sin \varphi \sin \theta\right)} \right|}_H \underbrace{\left| \cos\left(\frac{\pi}{2} - \frac{2\pi h}{\lambda_0} \cos \varphi\right) \right|}_R \quad \text{رابطه ۱۲}$$

همانطور که در رابطه ۱۲ مشاهده می‌شود، به دلیل آرایش دو بعدی المان‌های تشعشی در کنار یکدیگر، باید از دو جمله برای فاکتور آرایه استفاده نمود که یکی مربوط به راستای افقی (H) و دیگری مربوط به راستای عمودی (V) است. این آرایه در کنار صفحه زمین در حال تشعشع است که اثر این تشعشع با جمله R، مشخص شده است.

تمرین: با فرض اینکه n آنتن دایپل در راستای افقی (y) به فاصله a، و m آنتن دایپل در راستای عمودی (z) به فاصله b از یکدیگر قرار گرفته‌اند و کل آرایه در ارتفاع h از سطح زمین واقع شده است، رابطه ۱۲ را به دست آورید. توجه نمایید که المان‌های تشعشی در اینجا آنتن‌های دایپل هستند.

توضیحات بیشتر در خصوص آرایه‌های آنتنی صفحه‌ای در بخش ۲-۶ ارائه شده است.

۲-۴-۴- قطعات مورد نیاز

به غیر از قطعات عمومی مورد استفاده در اکثر آزمایش‌ها (مورد اشاره در جدول ۵)، سایر قطعات مورد نیاز برای انجام آزمایش‌های بخش ۲-۴، مطابق جدول ۱۰ می‌باشد.

جدول ۱۰: قطعات مورد نیاز آزمایش‌های بخش ۲-۴

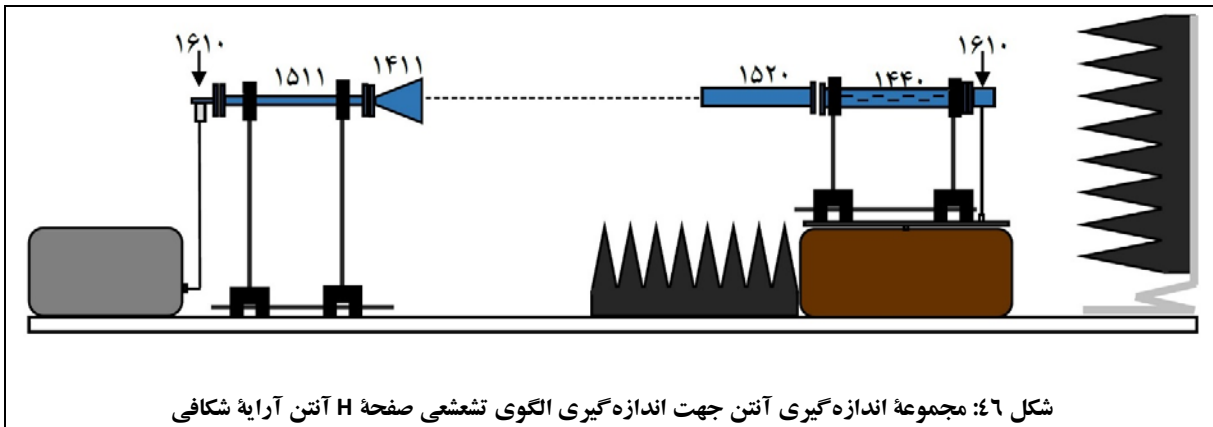
| ردیف | نام قطعه | کد قطعه |
|------|-----------------------------------|---------|
| ۱ | آنتن شیپوری بزرگ | ۱۴۱۱ |
| ۲ | آنتن مایکرواستریپ آرایه ۲×۲ | ۱۴۳۸ |
| ۳ | آنتن شکافی | ۱۴۴۰ |
| ۴ | موجبر ۲۰۰mm | ۱۵۱۱ |
| ۵ | بار تطبیق موجبری | ۱۵۲۰ |
| ۶ | مبدل کواکسیال به موجبری | ۱۶۱۰ |
| ۷ | روزنه موج کوچک (صفحه اتصال کوتاه) | ۱۷۲۲ |
| ۸ | میلۀ فلزی اتصال کوتاه | ۱۸۲۲ |
| ۹ | فویل مسی چسب‌دار | ۱۹۱۰ |

۲-۴-۵- اندازه‌گیری الگوی تشعشی صفحه H آرایه آنتن‌های شکافی

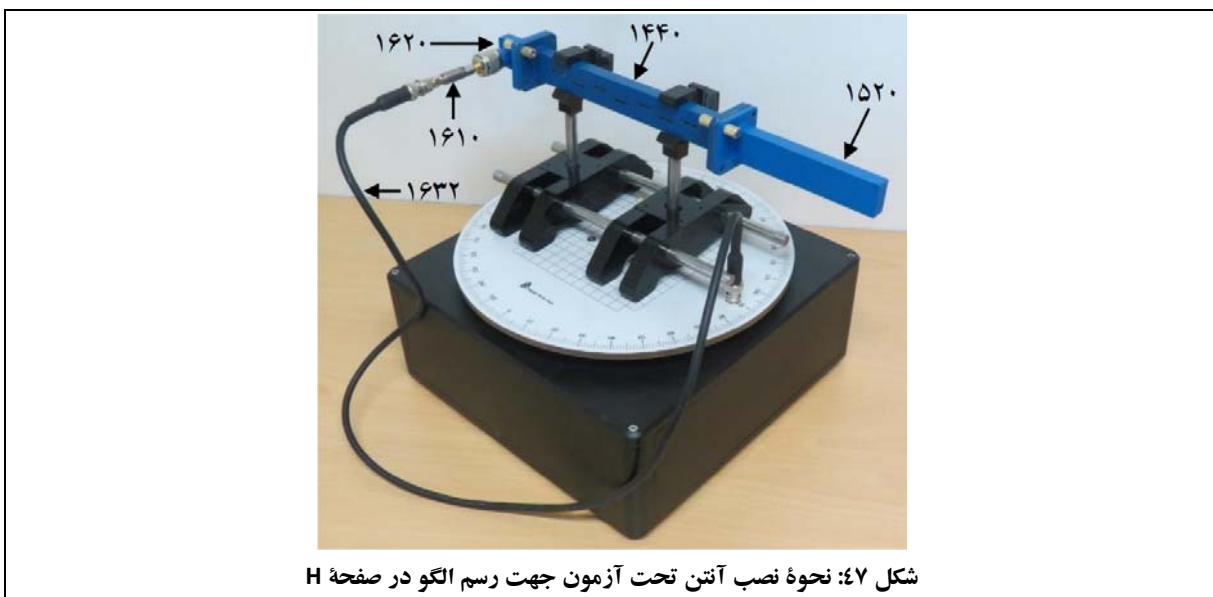
در این آزمایش به بررسی الگوی تشعشی آرایه آنتن‌های شکافی در صفحه H پرداخته می‌شود.

تنظیمات اولیه:

- نحوه چیدمان قطعات جهت انجام این آزمایش، مطابق شکل ۴۶ می‌باشد.
- همانطور که در شکل ۴۶ مشاهده می‌شود، در این آزمایش از یک آنتن شیپوری بزرگ به‌عنوان فرستنده و از یک آنتن شکافی به‌عنوان گیرنده استفاده می‌شود.
- همچنین متذکر می‌گردد که چیدمان شکل ۴۶، برای حالت پلاریزاسیون عمودی است و الگوی تشعشی آنتن شکافی در صفحه H را به دست می‌دهد.



- آنتن تحت آزمون را مطابق شکل ۴۷ نصب نمایید.



- فرکانس مولد سیگنال مایکروویو را روی 9.6GHz تنظیم نمایید.

جهت انجام آزمایش:

۱. بررسی کنید آیا فاصله بین آنتن منبع و آنتن تحت آزمون، شرط میدان دور را برآورده می‌کند؟
۲. الگوی تشعشی صفحه H آنتن آرایه شکافی (نمودار a بر حسب θ در مختصات قطبی) را رسم نمایید.

- فایل داده‌های حاصل از اندازه‌گیری را با عنوان Array-HN7 ذخیره نمایید.
۳. از روی این نمودار، HPBW، SLL و FBR را برای این الگوی تشعشی تعیین و مقدار آنها را در گزارش خود یادداشت نمایید.
۴. با استفاده از فویل مسی چسب‌دار، دو عدد از شکاف‌های آرایه خطی را به شکل متقارن از دو طرف آنتن پوشانید. در این حالت تعداد شکاف‌های تشعشع‌کننده برابر $N=5$ خواهد بود. گام‌های ۲ و ۳ را برای این حالت تکرار کنید. در این مورد، فایل اندازه‌گیری را تحت عنوان Array-HN5 ذخیره کنید.
۵. با استفاده از فویل مسی چسب‌دار دو عدد دیگر از شکاف‌های آرایه خطی را به شکل متقارن از دو طرف آنتن پوشانید. در این حالت تعداد شکاف‌های تشعشع‌کننده برابر $N=3$ خواهد بود. گام‌های ۲ و ۳ را برای این حالت تکرار کنید. در این مورد، فایل اندازه‌گیری را تحت عنوان Array-HN3 ذخیره کنید.
۶. اطلاعات بدست آمده برای $N=3,5,7$ را در جدول ۱۱ وارد نموده و با هم مقایسه کنید. نتیجه‌گیری خود از این مقایسه را در گزارش خود ارائه کنید.

جدول ۱۱: مقایسه رفتار آرایه آنتنی با تغییر تعداد المان‌های تشعشی

| Primary Radiator | HPBW [°] | | Side Lobe Level [dB] | FBR | |
|------------------|--------------------|----------------------|----------------------|---------------------------|----------------|
| | Vertical (E-Plane) | Horizontal (H-Plane) | | Absolute Value 1/A (180°) | [dB] -a (180°) |
| N=7 | - | | | | |
| N=5 | - | | | | |
| N=3 | - | | | | |

توجه: با تغییر تعداد المان‌های تشعشی در آرایه آنتن شکافی، تطبیق بین موجبر تحریک‌کننده و آنتن، دیگر برقرار نخواهد بود. از این رو اطلاعات به دست آمده برای مقایسه ماکزیمم دامنه گلبرگ اصلی آنتن‌های آرایه شکافی با N های مختلف، صحیح نخواهد بود و نتیجه درستی دربر نخواهد داشت.

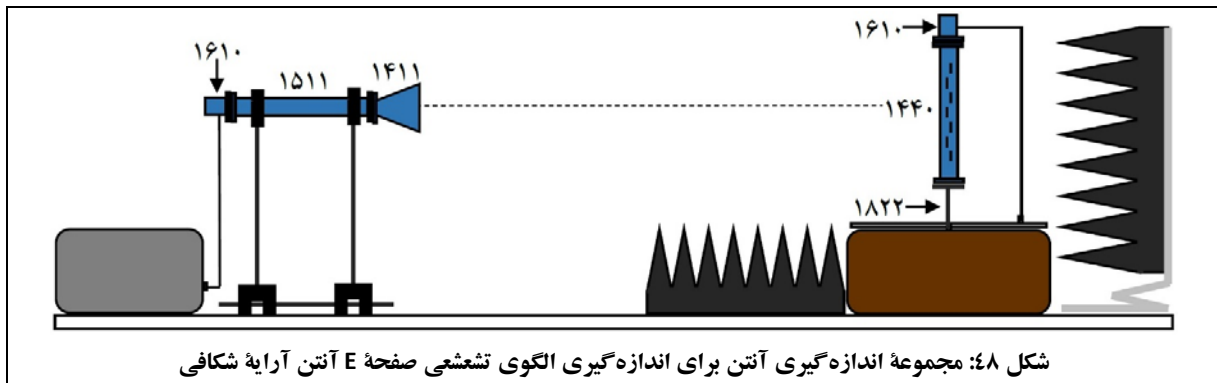
از آنجا که بحث تطبیق آنتن تأثیر قابل توجهی در رفتار سایر پارامترهای آنتن مثل HPBW، SLL و FBR، ندارد، این پارامترها در این بخش مورد بررسی قرار گرفته‌اند.

۲-۴-۶- اندازه‌گیری الگوی تشعشی صفحه E آرایه آنتن‌های شکافی

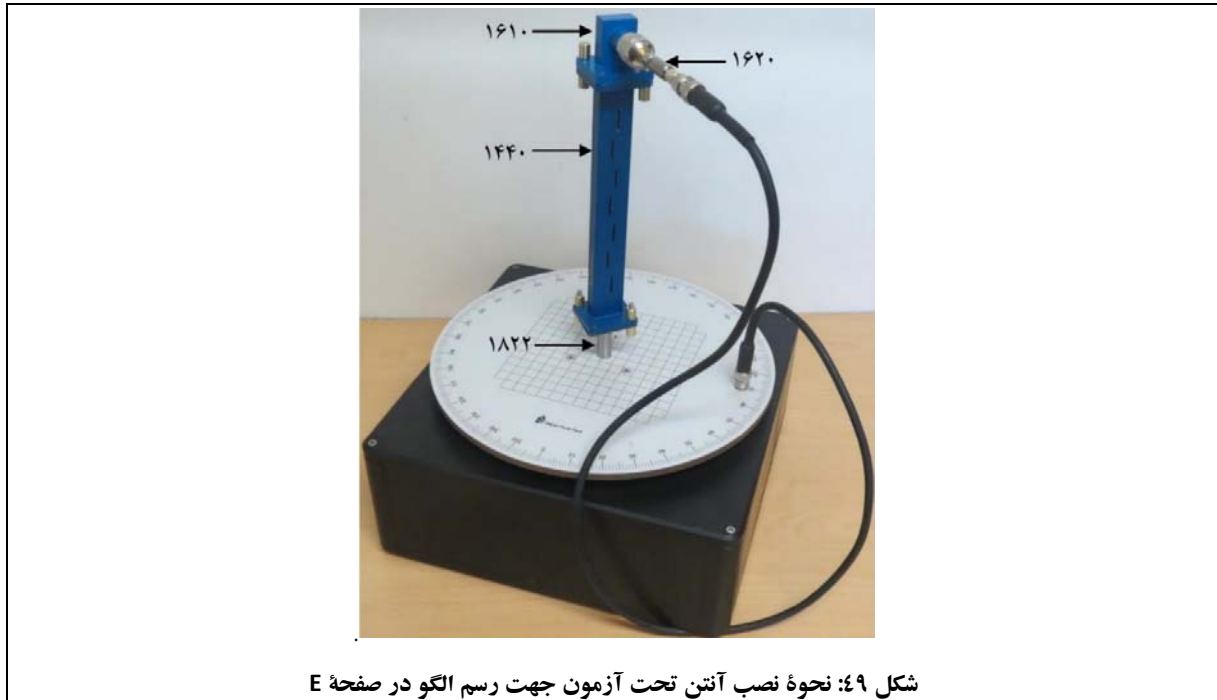
در این آزمایش به بررسی الگوی تشعشی آرایه آنتن‌های شکافی در صفحه E پرداخته می‌شود.

تنظیمات اولیه:

- مجموعه اندازه‌گیری آنتن را مطابق شکل ۴۸ آماده نمایید. در این شکل، آنتن آرایه خطی به صورت عمودی با سطح میزگردان قرار گرفته‌است. در این شکل، آنتن فرستنده دارای پلاریزاسیون افقی است و الگوی تشعشعی صفحه E آنتن آرایه شکافی، به دست می‌آید.



- آنتن تحت آزمون را مطابق شکل ۴۹ نصب نمایید.



- فرکانس مولد سیگنال مایکروویو را روی 9.6GHz تنظیم نمایید.

جهت انجام آزمایش:

۱. الگوی تشعشی صفحه E آنتن آرایه شکافی (نمودار a بر حسب θ در مختصات قطبی) را رسم نمایید. فایل داده‌های حاصل از اندازه‌گیری را با عنوان Array-EN7 ذخیره نمایید.
۲. از روی این نمودار، HPBW، SLL و FBR را برای این الگوی تشعشی تعیین و مقدار آنها را در گزارش خود یادداشت نمایید.
۳. با استفاده از فویل مسی چسب‌دار دو عدد از شکاف‌های آرایه خطی را به شکل متقارن از دو طرف آنتن بپوشانید. در این حالت تعداد شکاف‌های تشعشع‌کننده برابر $N=5$ خواهد بود. گام‌های ۲ و ۳ را برای این حالت تکرار کنید. در این مورد، فایل اندازه‌گیری را تحت عنوان Array-EN5 ذخیره کنید.
۴. با استفاده از فویل مسی چسب‌دار دو عدد دیگر از شکاف‌های آرایه خطی را به شکل متقارن از دو طرف آنتن بپوشانید. در این حالت تعداد شکاف‌های تشعشع‌کننده برابر $N=3$ خواهد بود. گام‌های ۲ و ۳ را برای این حالت تکرار کنید. در این مورد، فایل اندازه‌گیری را تحت عنوان Array-EN3 ذخیره کنید.
۵. اطلاعات بدست آمده برای $N=3,5,7$ را در جدول ۱۲ وارد نموده و با هم مقایسه کنید. نتیجه‌گیری خود از این مقایسه را در گزارش خود ارائه کنید.

جدول ۱۲: مقایسه رفتار آرایه آنتنی با تغییر تعداد المان‌های تشعشی

| Primary Radiator | HPBW [°] | | Side Lobe Level [dB] | FBR | |
|------------------|--------------------|----------------------|----------------------|----------------------------------|-----------------------|
| | Vertical (E-Plane) | Horizontal (H-Plane) | | Absolute Value $1/A (180^\circ)$ | [dB] $-a (180^\circ)$ |
| N=7 | | - | | | |
| N=5 | | - | | | |
| N=3 | | - | | | |

۲-۴-۷- بررسی رفتار گلبرگ اضافی

اگر فاصله المان‌های تشعشی در آرایه آنتن شکافی به صورت قابل ملاحظه‌ای بیشتر از $\lambda/2$ باشد، آرایه آنتنی به جای یک گلبرگ اصلی، دارای چندین گلبرگ اصلی خواهد بود که انرژی را در فضا انتشار می‌دهند. در این آزمایش با پوشاندن شکاف وسطی آرایه آنتن شکافی با فویل مسی چسب‌دار، می‌توانید رفتار گلبرگ‌های اضافی را مشاهده نمایید.

تمرین: مفهوم گلبرگ‌های اضافی چیست و چه زمانی در آرایه آنتنی رخ می‌دهد؟

تنظیمات اولیه:

- مجموعه اندازه‌گیری آنتن را مطابق شکل ۴۶ راه‌اندازی نمایید.
- در این حالت، آنتن آرایه شکافی موازی میزگردان قرار دارد و آنتن فرستنده دارای پلاریزاسیون عمودی است.

جهت انجام آزمایش:

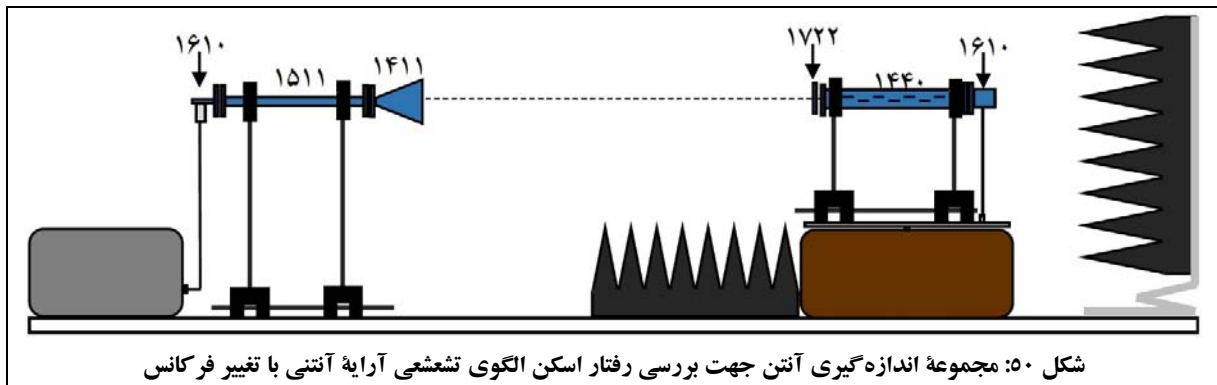
۱. شکاف وسطی آرایه آنتن شکافی را با فویل مسی چسب‌دار بپوشانید.
 ۲. الگوی تشعشی صفحه H این آنتن (نمودار a بر حسب θ در مختصات قطبی) را رسم نمایید.
- فایل داده‌های حاصل از اندازه‌گیری را با عنوان Array-HG ذخیره نمایید.

۲-۴-۸- بررسی رفتار اسکن الگوی تشعشی آرایه آنتنی با تغییر فرکانس

در این آزمایش به بررسی رفتار اسکن الگوی تشعشی آرایه آنتنی با تغییر فرکانس پرداخته می‌شود.

تنظیمات اولیه:

- مجموعه اندازه‌گیری آنتن را مطابق شکل ۵۰ راه‌اندازی نمایید. برای این کار لازم است بار تطبیق موجبری از انتهای آنتن شکافی جدا شده و به جای آن، با استفاده از دو پیچ و مهره، صفحه اتصال کوتاه را به انتهای آنتن شکافی ببندید.



جهت انجام آزمایش:

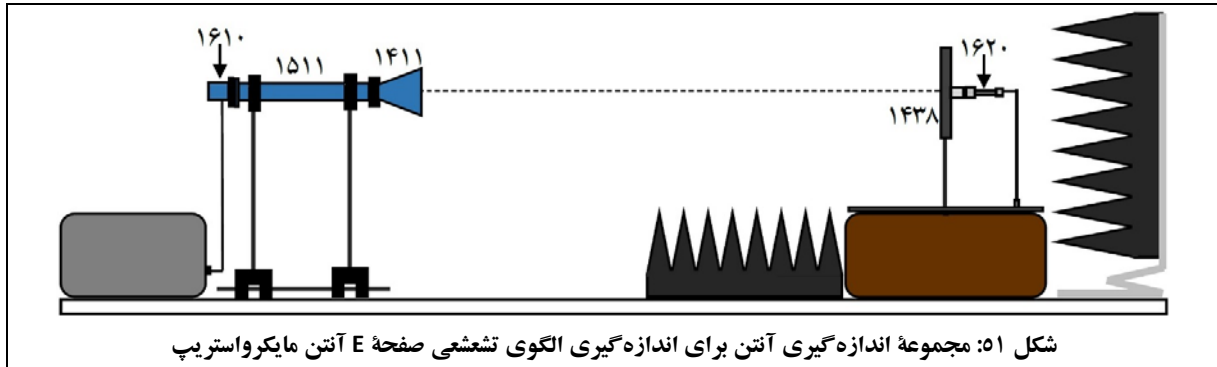
۱. در حالتیکه انتهای موجبر آرایه آنتنی با صفحه اتصال کوتاه بسته شده است، الگوی تشعشی صفحه H آنتن (نمودار a بر حسب θ در مختصات قطبی) را برای فرکانس 8.6GHz رسم نمایید. فایل داده‌های حاصل از اندازه‌گیری را با عنوان Array- HS8 ذخیره نمایید.
۲. گام اول را برای فرکانس 10.2GHz تکرار نمایید. فایل داده‌های حاصل از اندازه‌گیری را با عنوان Array- HS10 ذخیره نمایید.
۳. نتیجه‌ای که از رسم این الگوهای تشعشی در دو فرکانس مختلف بدست آورده‌اید را توضیح دهید. چرا در آنتن آرایه شکافی برای موجبر با انتهای اتصال کوتاه، با تغییر فرکانس، رفتار تشعشی آنتن به هم می‌ریزد؟
۴. اکنون صفحه اتصال کوتاه انتهای آنتن شکافی را با بار تطبیق موجبری جایگزین نمایید (چیدمان مطابق شکل ۴۶).
۵. الگوی تشعشی صفحه H آنتن (نمودار a بر حسب θ در مختصات قطبی) را برای سه فرکانس 8.6GHz ، 9.4GHz و 10.2GHz رسم نمایید. فایل داده‌های حاصل از اندازه‌گیری را به ترتیب با عنوان Array-HL8، Array-HL9 و Array-HL10، ذخیره نمایید.
۶. از مقایسه الگوهای تشعشی بدست آمده برای سه فرکانس ذکر شده، چه نتیجه‌ای می‌گیرید؟
۷. محل زاویه‌ای ماکزیمم گلبرگ اصلی آنتن را برای هر سه فرکانس یادداشت نمایید. نرخ تغییرات زاویه‌ای گلبرگ اصلی را بر حسب (deg/GHz) به دست آورید.

۲-۴-۹- بررسی آنتن میکرواستریپ

در این آزمایش به بررسی آنتن میکرواستریپ آرایه 2×2 و مقایسه آن با آرایه آنتن‌های شکافی پرداخته می‌شود. اشاره می‌گردد در بخش ۲-۶-۱۲ نیز از آنتن میکرواستریپ 2×2 استفاده خواهد شد؛ با این تفاوت که هدف آن بخش، بررسی آنتن‌های میکرواستریپ آرایه‌ای خواهد بود. توجه فرمائید با ذخیره اطلاعات اندازه‌گیری‌ها در این بخش، نیازی به تکرار مجدد مراحل اجرایی اندازه‌گیری در بخش ۲-۶-۱۲ نخواهد بود و تنها لازم است مقایسه‌های مورد نیاز با آنتن میکرواستریپ آرایه 4×1 انجام پذیرد.

تنظیمات اولیه:

- مجموعه اندازه‌گیری آنتن را مطابق شکل ۵۱ راه‌اندازی نمایید.
- در این وضعیت، آنتن شیپوری فرستنده و آنتن میکرواستریپ تحت آزمون، پلاریزاسیون افقی دارند و می‌توان الگوی تشعشی صفحه E آرایه آنتن میکرواستریپ را رسم نمود.



- فرکانس مولد سیگنال میکروویو را روی 9.6GHz تنظیم نمایید.

جهت انجام آزمایش:

۱. الگوی تشعشی صفحه E آنتن میکرواستریپ 2×2 (نمودار a بر حسب θ در مختصات قطبی) را رسم نمایید. فایل داده‌های حاصل از اندازه‌گیری را با عنوان Patch-A2E ذخیره نمایید.
۲. از روی این نمودار، HPBW، SLL و FBR را برای این الگوی تشعشی تعیین و مقدار آنها را در گزارش خود یادداشت نمایید.
۳. حال، مجموعه آنتن فرستنده و گیرنده را 90° بچرخانید. در این وضعیت، آنتن شیپوری فرستنده و آنتن میکرواستریپ تحت آزمون، پلاریزاسیون عمودی دارند و می‌توان الگوی تشعشی صفحه H آرایه آنتن میکرواستریپ را رسم نمود.
۴. الگوی تشعشی صفحه H آنتن میکرواستریپ 2×2 (نمودار a بر حسب θ در مختصات قطبی) را رسم نمایید. فایل داده‌های حاصل از اندازه‌گیری را با عنوان Patch-A2H ذخیره نمایید.
۵. از روی این نمودار، HPBW، SLL و FBR را برای این الگوی تشعشی تعیین و مقدار آنها را در گزارش خود یادداشت نمایید.
۶. نتایج بدست آمده از بندهای ۲ و ۵ را با یکدیگر مقایسه کنید. اختلاف بارز نتایج این قسمت برای آرایه صفحه‌ای با نتایج بدست آمده برای آرایه خطی را بیان کنید.

۲-۵- آنتن هلیکال

هدف از انجام این آزمایش، آشنایی با آنتن هلیکال (پیچ‌ای) است.

همچنین در این آزمایش:

- اطلاعاتی در مورد امواج با پلاریزاسیون دایروی و خصوصیات آنها ارائه می‌شود؛
- تأثیر انعکاس در یک لینک رادیویی که از آنتن‌های با پلاریزاسیون دایروی استفاده می‌نماید، بررسی خواهد شد.

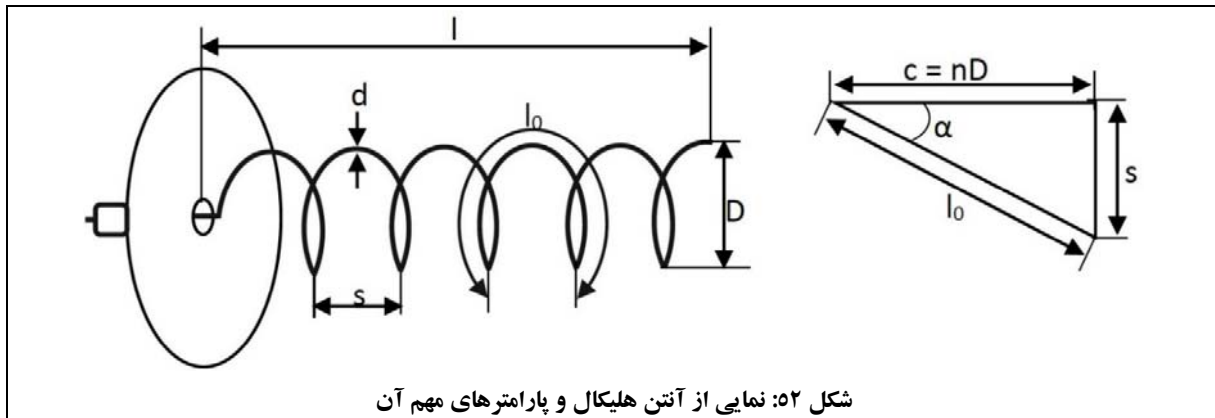
جهت دستیابی به این اهداف، آزمایش‌های زیر در این بخش تعریف گردیده‌اند:

- اندازه‌گیری الگوی تشعشعی آنتن هلیکال با پلاریزاسیون یکسان آنتن‌های فرستنده و گیرنده؛
- بررسی تأثیر انعکاس روی الگوی تشعشعی آنتن هلیکال؛
- اندازه‌گیری الگوی تشعشعی آنتن هلیکال با پلاریزاسیون مخالف آنتن‌های فرستنده و گیرنده؛
- تأثیر انعکاس روی الگوی جهتی آنتن هلیکال در آنتن‌های فرستنده و گیرنده دارای پلاریزاسیون مخالف؛
- تأثیر صفحه پلاریزر روی الگوی تشعشعی آنتن هلیکال؛
- تعیین نوع پلاریزاسیون موج تشعشعی آنتن فرستنده در محل ماکزیمم گلبرگ اصلی الگوی جهتی.

۲-۵-۱- مقدمه‌ای در خصوص آنتن‌های هلیکال

آنتن هلیکال، به واسطه هندسه ساده‌اش، پرکاربردترین آنتن دارای پلاریزاسیون دایروی برای مقاصد کمک آموزشی است. موج تشعشع‌شونده از یک آنتن هلیکال، دقیقاً همان جهت چرخش دوره‌ای آنتن را داراست. با تصور این موضوع به وضوح می‌توان دلیل دریافت یک موج تشعشع شده از یک آنتن هلیکال توسط آنتنی با جهت چرخش مشابه آنرا فهمید. اگر چه آزمایش‌های این بخش برای آنتن هلیکال طرح شده‌اند، ولی به راحتی قابل اجرا با سایر آنتن‌های با پلاریزاسیون دایروی هستند.

آنتن هلیکال از یک سیم که به صورت مارپیچ پیچیده شده‌است، تشکیل می‌شود. در بیشتر حالت‌ها این آنتن‌ها در بالای یک صفحه زمین، به‌عنوان رفلکتور، قرار می‌گیرند و معمولاً توسط یک کانکتور کواکسیال تغذیه می‌شوند. شکل ۵۲، نمایی از آنتن هلیکال را نشان می‌دهد.



با توجه به شکل ۵۲، پارامترهایی مطابق جدول ۱۳، برای آنتن‌های هلیکال تعریف می‌شود.

جدول ۱۳: پارامترهای آنتن هلیکال

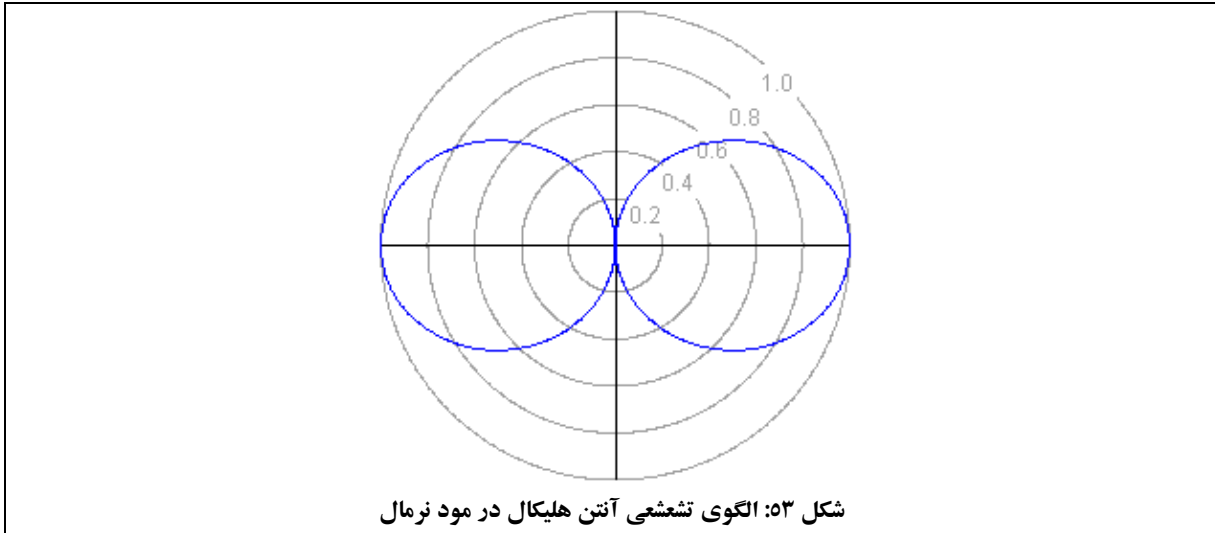
| پارامتر | تعریف |
|---------------------|---|
| n | تعداد دورهای آنتن هلیکال |
| D | قطر حلقه‌های آنتن هلیکال |
| S | گام هلیکال |
| $l = n \cdot S$ | طول کلی آنتن هلیکال |
| l_0 | طول هر دور آنتن هلیکال |
| $l_n = n \cdot l_0$ | طول کل دورهای آنتن هلیکال، که با توجه به روابط مثلث قائم‌الزاویه، برابر $I_n = n \cdot \sqrt{(S^2 + C^2)}$ است. |
| C | محیط آنتن هلیکال |

این آنتن‌ها در دو مود اصلی کار می‌کنند:

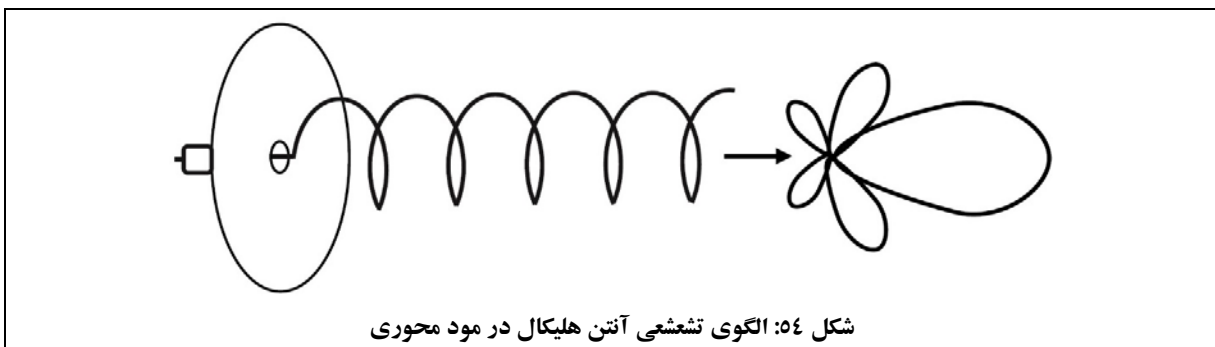
- مود نرمال: در مود نرمال (که به آن، هلیکال پهلوتاب^{۵۰} هم می‌گویند) شعاع هلیکال در مقایسه با طول موج، کوچک است؛ در نتیجه در این حالت آنتن مانند یک دایپل (بدون صفحه زمین) یا مونوپل (با صفحه زمین) عمل می‌کند و الگوی تشعشی آن، همچون آنتن‌های مونوپل و دایپل همه‌جهته است و گلبزرگ اصلی در جهت شعاع هلیکال است.

⁵⁰ Broadside

الگوی تشعشی آنتن هلیکال در مود نرمال در شکل ۵۳ مشاهده می‌شود.



۲. مود محوری: در حالت محوری، شعاع هلیکال در مقایسه با طول موج، قابل ملاحظه است و پرتو آنتن در جهت محور هلیکال قرار دارد و معمولاً دارای پلاریزاسیون دایروی است. هرگاه پلاریزاسیون آنتن فرستنده و گیرنده خطی بوده ولی عمودی یا افقی بودن آن مشخص نباشد (همچون ارتباط با سفینه‌ها و سامانه‌های نظامی) از آنتن با پلاریزاسیون دایروی استفاده می‌شود؛ از این رو آنتن‌های هلیکال اکثراً در مود محوری استفاده می‌شوند. لازم به ذکر است که در این حالت، بهره لینک به نصف کاهش می‌یابد. الگوی تشعشی آنتن هلیکال در مود محوری در شکل ۵۴ مشاهده می‌شود.



آنتن‌های هلیکال، به دلیل ابعاد بزرگ، معمولاً در فرکانس‌های مایکروویو به کار برده می‌شوند. برای این که آنتن هلیکال در مود محوری‌اش کار کند، نسبت محیط هلیکال به طول موج باید در بازه $3/4 < C/\lambda < 4/3$ قرار داشته باشد. بر این اساس، بهترین انتخاب برای محیط هلیکال، $C/\lambda = 1$ می‌باشد.

در مود محوری، گام هلیکال معمولاً $S = \lambda/4$ است و تعداد دورهای آن (n)، میزان راستاوری آنتن را مشخص می‌کند؛ به این شکل که هرچه تعداد دور آنتن بیشتر باشد، آنتن راستاوری بیشتری دارد.

همچنین قطر رفلکتور هلیکال، حداقل باید به اندازه $\lambda/2$ باشد.

اگر در آنتن هلیکال شرایط فوق برقرار و $n > 3$ باشد، آنگاه می‌توان با خطایی در مرتبه ۲۰٪، پارامترهای زیر را برای آنتن

هلیکال تعیین نمود:

۱. امپدانس ورودی: در حالت محوری، معمولاً بین 100Ω تا 200Ω می‌باشد. همچنین بخش مقاومتی امپدانس برای آنتن

هلیکالی با شرایط بیان شده، مطابق رابطه ۱۳ محاسبه می‌گردد.

$$Z_{in} \approx R_{in} \approx 140 \left(\frac{C}{\lambda} \right) [\Omega] \quad \text{رابطه ۱۳}$$

۲. HPBW: برای آنتن هلیکالی با شرایط بیان شده، مطابق رابطه ۱۴ محاسبه می‌گردد.

$$HPBW \approx \frac{52\lambda^{3/2}}{C\sqrt{NS}} [^\circ] \quad \text{رابطه ۱۴}$$

۳. زاویه پرتو بین دو صفر مجاور (BNBW)^{۵۱}: زاویه پرتو بین دو صفر مجاور، پرتو اصلی آنتن را گویند که برای آنتن

هلیکالی با شرایط بیان شده، مطابق رابطه ۱۵ محاسبه می‌گردد.

$$BNBW \approx \frac{11\lambda^{3/2}}{C\sqrt{NS}} [^\circ] \quad \text{رابطه ۱۵}$$

راستاوری: برای آنتن هلیکالی با شرایط بیان شده، مطابق رابطه ۱۶ محاسبه می‌گردد.

$$D_0 \approx 15N \frac{C^2 S}{\lambda^3}, D_0 [dB] = 10 \log(D_0) \quad \text{رابطه ۱۶}$$

⁵¹ Between Null Beam Width (BNBW)

۲-۵-۲- قطعات مورد نیاز

به غیر از قطعات عمومی مورد استفاده در اکثر آزمایش‌ها (مورد اشاره در جدول ۵)، سایر قطعات مورد نیاز برای انجام آزمایش‌های بخش ۲-۵، مطابق جدول ۱۴ می‌باشد.

جدول ۱۴: قطعات مورد نیاز آزمایش‌های بخش ۲-۵

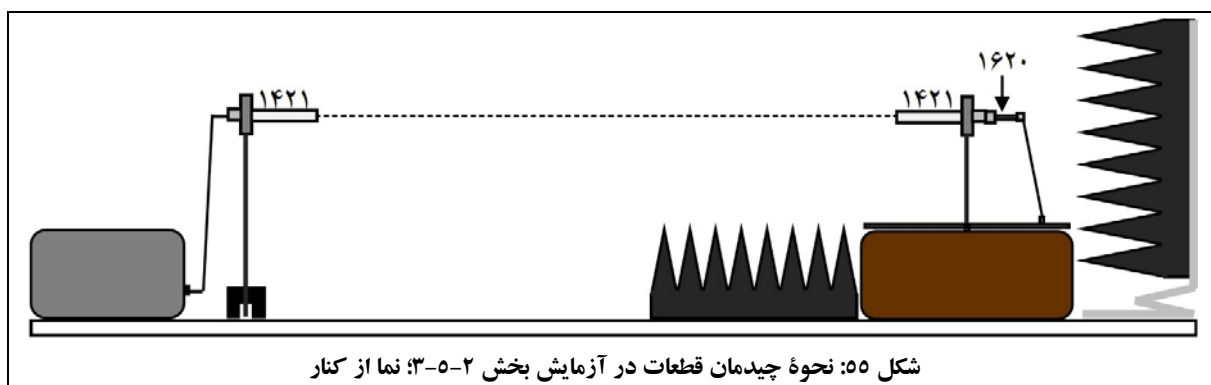
| ردیف | نام قطعه | کد قطعه |
|------|-----------------------------|---------|
| ۱ | آنتن راستگرد | ۱۴۲۱ |
| ۲ | هلیکال چپگرد | ۱۴۲۲ |
| ۳ | ترانسفورمر سه پیچ | ۱۵۳۰ |
| ۴ | صفحه پلارایزر | ۱۷۱۰ |
| ۵ | روزنه بزرگ | ۱۷۲۱ |
| ۶ | موج کوچک (صفحه اتصال کوتاه) | ۱۷۲۲ |
| ۷ | گیره نگهدارنده پلارایزر | ۱۸۳۲ |

۲-۵-۳- الگوی جهتی آنتن هلیکال با پلاریزاسیون یکسان آنتن‌های فرستنده و گیرنده

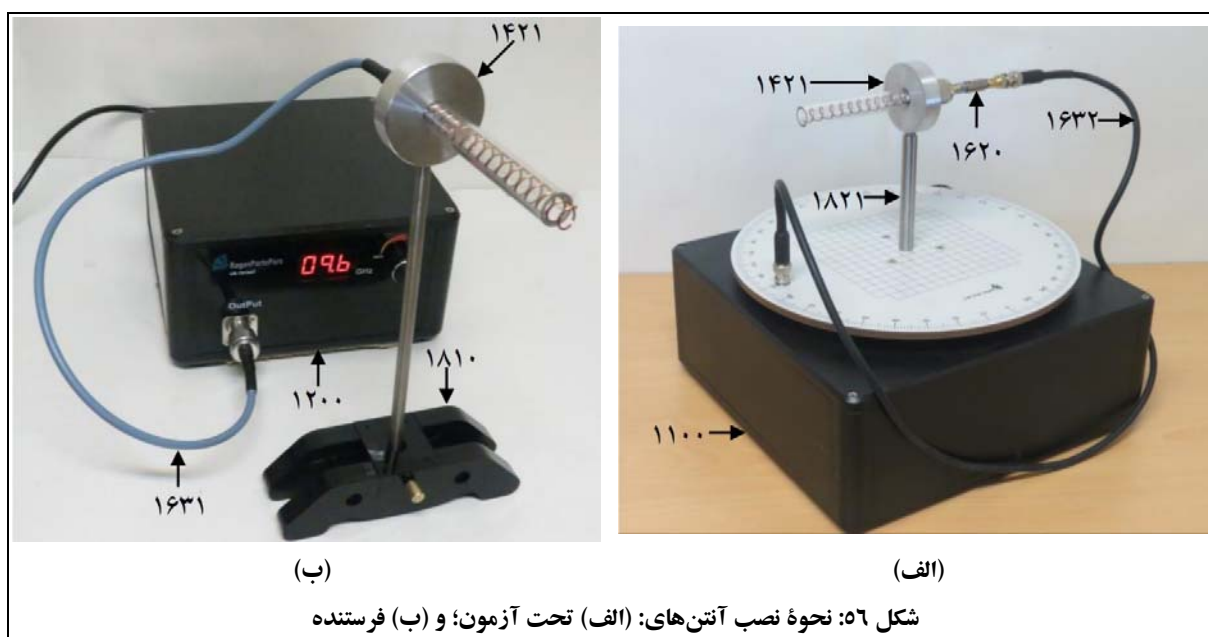
در این آزمایش به رسم الگوی جهتی آنتن هلیکال برای دو آنتن با پلاریزاسیون یکسان، پرداخته می‌شود.

تنظیمات اولیه:

- نحوه چیدمان قطعات جهت انجام این آزمایش، مطابق شکل ۵۵ می‌باشد.



- توجه شود که در چیدمان شکل ۵۵، از دو آنتن هلیکال با پلاریزاسیون یکسان (راستگرد) استفاده شده است.
- آنتن فرستنده و آنتن تحت آزمون را مطابق شکل ۵۶ نصب نمائید:
 - مطابق شکل ۵۶ (الف)، آنتن تحت آزمون با استفاده از آشکارساز کواکسیالی و کابل فرکانس پایین، به پایه چرخان وصل شده است؛
 - مطابق شکل ۵۶ (ب)، آنتن فرستنده با استفاده از کابل فرکانس بالا، به شکل مستقیم به مولد سیگنال مایکروویو وصل شده است.



- پس از برقراری اتصالات، آنتن گیرنده را در وضعیت پشت به فرستنده قرار دهید. توجه شود که نقطه ماکزیمم الگوی تشعشی آنتن، باید زاویه صفر درجه میز گردان را نشانه رفته باشد. این عمل باعث می‌شود که الگوی رسم شده روی نمایشگر، دارای یک گلبرگ اصلی در وسط باشد و این گلبرگ دو تکه نشود.
- فرکانس مولد سیگنال مایکروویو را روی 9.6GHz تنظیم نمایید.

جهت انجام آزمایش:

۱. الگوی تشعشی آنتن‌های هلیکال با پلاریزاسیون یکسان (نمودار a بر حسب θ در مختصات قطبی) را رسم نمائید. فایل داده‌های حاصل از اندازه‌گیری را با عنوان Helix-RR ذخیره نمایید.

۲. از روی این نمودار، HPBW گلبرگ اصلی آنتن را بیابید و مقدار آنرا در گزارش خود یادداشت نمایید.

۲-۵-۴- تأثیر انعکاس روی الگوی تشعشی آنتن هلیکال

یک آنتن راستگرد، موج چپگرد را دریافت نمی‌کند و بالعکس. از طرف دیگر، پلاریزاسیون یک موج راستگرد، پس از برخورد با یک صفحه هادی بسیار بزرگ، به موج چپگرد تبدیل می‌شود.

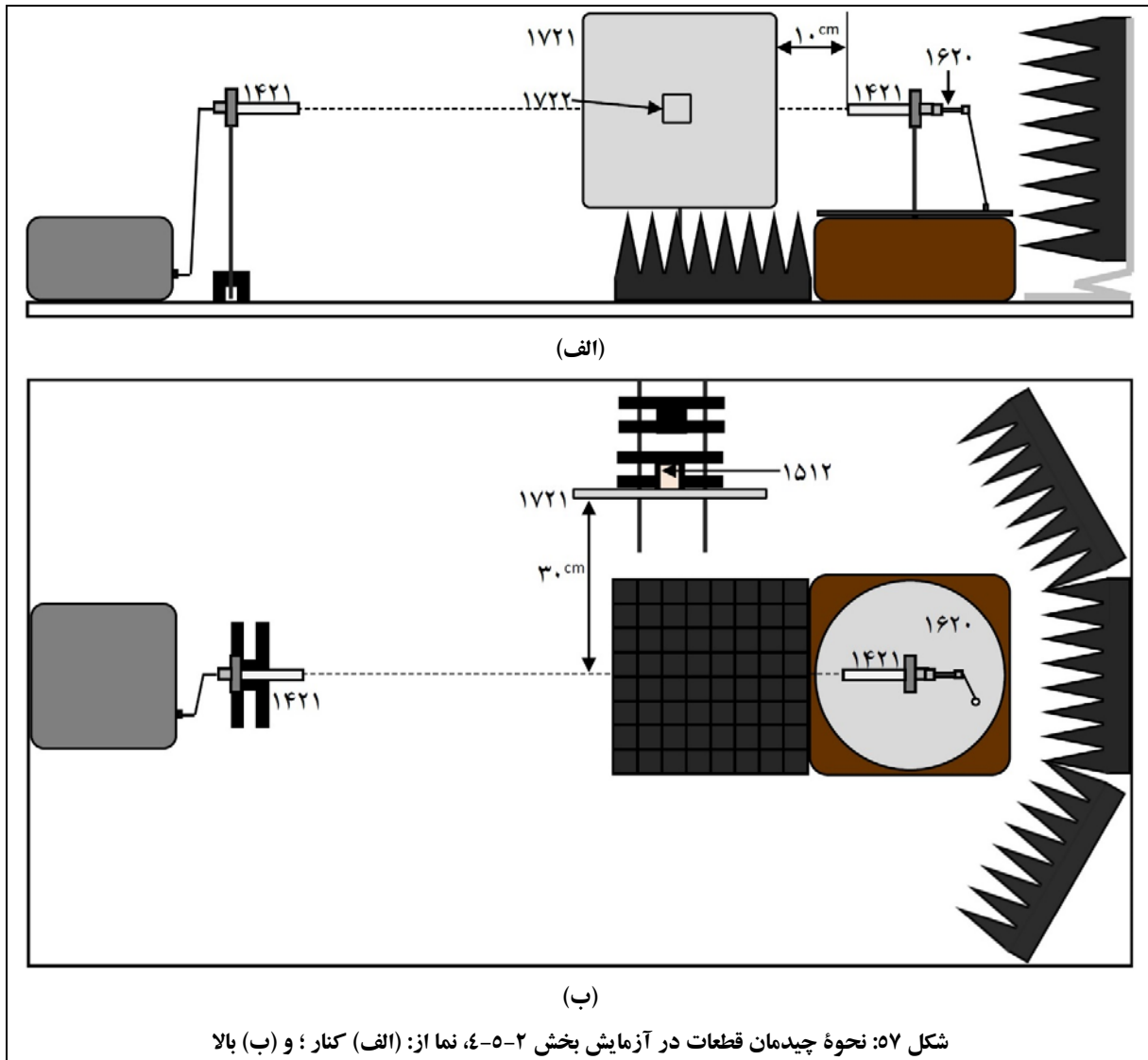
بنابراین اگر در حضور یک انعکاس دهنده از دو آنتن راستگرد به‌عنوان گیرنده و فرستنده استفاده شود، الگوی جهتی آنتن گیرنده تغییر نخواهد کرد؛ زیرا موج منعکس شده که پلاریزاسیونش تغییر کرده‌است، توسط آنتن گیرنده دریافت نمی‌شود.

در این بخش، به درستی این موضوع، که می‌تواند به‌عنوان مدل انعکاس از زمین در یک لینک رادیویی استفاده شود، پرداخته می‌شود. این ویژگی در لینک‌های مخابراتی اثر پدیده چند مسیرگی سیگنال را از بین می‌برد. این اثر می‌تواند در مواقعی منجر به تقلیل شدت سیگنال دریافتی در گیرنده یا محو شدگی^{۵۲} سیگنال شود.

تنظیمات اولیه:

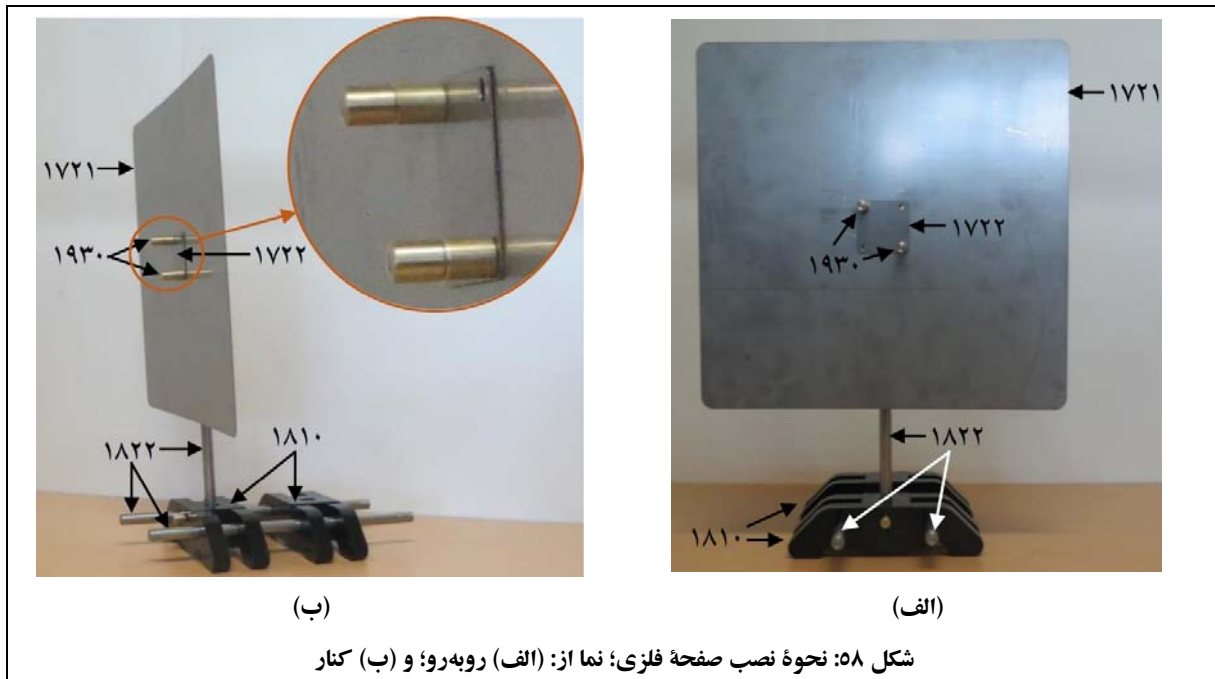
- نحوه چیدمان قطعات جهت انجام این آزمایش، مطابق شکل ۵۷ می‌باشد.
- توجه شود که در چیدمان شکل ۵۷ نیز همانند شکل ۵۵، از دو آنتن هلیکال با پلاریزاسیون راستگرد استفاده شده‌است.
- مطابق شکل ۵۷، صفحه فلزی را موازی با چیدمان آزمایش، به فاصله 10 cm از آنتن تحت آزمون و به فاصله 30 cm از محور آنتن‌ها قرار دهید.

^{۵۲} Fading



- صفحه فلزی که در شکل ۵۷ مشاهده می‌شود، جهت انعکاس امواج آنتن فرستنده مورد استفاده قرار گرفته‌است. این صفحه فلزی، مطابق شکل ۵۸، از روزنه موج بزرگ و روزنه موج کوچک (صفحه اتصال کوتاه) تشکیل شده‌است که روی ترانسفورمر سه پیچ نصب شده‌اند. برای نصب روزنه‌های موج روی ترانسفورمر سه پیچ، از دو پیچ استفاده نمائید به این شکل که پیچ‌ها را به شکل متقاطع (از دو سوراخ روی قطرها استفاده شود) از محل سوراخ‌های روی روزنه‌های موج عبور دهید و سپس در سوراخ‌های روی ترانسفورمر سه پیچ پیچانید.

ترانسفورمر سه پیچ نیز روی یک میله فلزی و پایه نگهدارنده نصب شده است. جهت حفظ تعادل این مجموعه، لازم است مطابق شکل ۵۸، از دو پایه نگهدارنده که با دو میله فلزی افقی به یکدیگر وصل شده‌اند، استفاده شود. توجه نمائید که ترانسفورمر سه پیچ در این آزمایش هیچ نقشی در انتقال امواج ندارد و تنها جهت نصب صفحه فلزی منعکس کننده، مورد استفاده قرار گرفته است.



- فرکانس مولد سیگنال مایکروویو را روی 9.6GHz تنظیم نمایید.

جهت انجام آزمایش:

۱. الگوی تشعشی آنتن‌های هلیکال با پلاریزاسیون یکسان در حضور صفحه منعکس کننده (نمودار a بر حسب θ در مختصات قطبی) را رسم نمائید.
فایل داده‌های حاصل از اندازه‌گیری را با عنوان Helix-RRS ذخیره نمایید.
۲. از روی این نمودار، HPBW گلبرگ اصلی آنتن را بیابید و مقدار آنرا در گزارش خود یادداشت نمایید.
۳. با باز کردن فایل‌های Helix-RRS و Helix-RRS به شکل هم‌زمان در نرم‌افزار CASSY Lab، الگوهای تشعشی بخش‌های ۲-۳-۵ و ۲-۴-۵ را با هم نمایش داده و از آن پرینت بگیرید و در گزارش خود ارائه نمایید.

۲-۵-۵- الگوی جهتی آنتن هلیکال با پلاریزاسیون مخالف آنتن‌های فرستنده و گیرنده

یک آنتن هلیکال ایده‌آل راستگرد، موج دایروی چپگرد را به هیچ وجه دریافت نمی‌کند. همچنین یک آنتن هلیکال ایده‌آل چپگرد نیز موج دایروی راستگرد را به هیچ وجه دریافت نمی‌کند. آنتن‌های هلیکال واقعی، عملی موجی با پلاریزاسیون بیضوی دارند. میزان جداسازی بین دو پلاریزاسیون راستگرد و چپگرد برای آنتن هلیکال نیز با پارامتری به نام ضریب تلف پلاریزاسیون (PLF)^{۵۳}، مطابق رابطه ۱۷ تعریف می‌شود.

$$PLF = 20 \log \left(\frac{E_R}{E_L} \right) = 10 \log \left(\frac{U_R}{U_L} \right) \quad \text{رابطه ۱۷}$$

در رابطه ۱۷:

- E_R : شدت میدان الکتریکی دریافت شده به وسیله آنتن دارای پلاریزاسیون راستگرد وقتی موج تشعشی به سمت آن دارای پلاریزاسیون راستگرد است (دو آنتن دارای پلاریزاسیون یکسان هستند).
- E_L : شدت میدان الکتریکی دریافت شده به وسیله آنتن دارای پلاریزاسیون راستگرد وقتی موج تشعشی به سمت آن دارای پلاریزاسیون چپگرد است (دو آنتن دارای پلاریزاسیون مخالف هستند).
- U_R : شدت توان دریافت شده به وسیله آنتن دارای پلاریزاسیون راستگرد وقتی موج تشعشی به سمت آن دارای پلاریزاسیون راستگرد است (دو آنتن دارای پلاریزاسیون یکسان هستند).
- U_L : شدت توان دریافت شده به وسیله آنتن دارای پلاریزاسیون راستگرد وقتی موج تشعشی به سمت آن دارای پلاریزاسیون چپگرد است (دو آنتن دارای پلاریزاسیون مخالف هستند).

در این آزمایش به رسم الگوی جهتی آنتن هلیکال برای دو آنتن با پلاریزاسیون مخالف، پرداخته می‌شود.

تنظیمات اولیه:

- نحوه چیدمان قطعات جهت انجام این آزمایش، مطابق شکل ۵۵ می‌باشد؛ با این تفاوت که آنتن گیرنده باید با آنتن هلیکال با پلاریزاسیون چپگرد، جایگزین شود.
- فرکانس مولد سیگنال مایکروویو را روی ۹,۶^{GHz} تنظیم نمایید.

^{۵۳} Polarization Loss Factor (PLF)

جهت انجام آزمایش:

۱. الگوی تشعشی آنتن‌های هلیکال با پلاریزاسیون مخالف (نمودار a بر حسب θ در مختصات قطبی) را رسم نمایید. فایل داده‌های حاصل از اندازه‌گیری را با عنوان Helix-RL ذخیره نمایید.
۲. با باز کردن فایل‌های Helix-RR و Helix-RL به شکل هم‌زمان در نرم‌افزار CASSY Lab، الگوهای تشعشی بخش‌های ۲-۵-۳ و ۲-۵-۵ را با هم نمایش داده و از آن پرینت بگیرید و در گزارش خود ارائه نمایید. نتایج به دست آمده از این مقایسه را با ذکر دلیل، توجیه نمایید.

۲-۵-۶- تأثیر انعکاس روی الگوی جهتی آنتن هلیکال در آنتن‌های فرستنده و گیرنده دارای**پلاریزاسیون مخالف**

همانطور که در بخش ۲-۵-۴ بیان شد، دو آنتن با پلاریزاسیون‌های متفاوت، موج یکدیگر را دریافت نمی‌کنند. همچنین آموختیم که انعکاس از صفحات فلزی، سبب تغییر پلاریزاسیون موج دایروی از راستگرد به چپگرد و بالعکس می‌شود. با توجه به این موارد، در این آزمایش تأثیر تغییر پلاریزاسیون موج دایروی به واسطه انعکاس از جداره فلزی روی الگوی جهتی یک آنتن چپگرد که تحت تابش موجی راستگرد قرار گرفته‌است، بررسی می‌شود. به این ترتیب که، انعکاس از صفحه فلزی، سبب افزایش دامنه سیگنال در زاویه‌ای است که آنتن چپگرد با صفحه فلزی دارد.

تنظیمات اولیه:

- نحوه چیدمان قطعات جهت انجام این آزمایش، مطابق شکل ۵۷ می‌باشد؛ با این تفاوت که آنتن گیرنده باید با آنتن هلیکال با پلاریزاسیون چپگرد، جایگزین شود.
- فرکانس مولد سیگنال مایکروویو را روی 9.6GHz تنظیم نمایید.

جهت انجام آزمایش:

۱. الگوی تشعشی آنتن‌های هلیکال با پلاریزاسیون مخالف در حضور صفحه منعکس کننده (نمودار a بر حسب θ در مختصات قطبی) را رسم نمایید. فایل داده‌های حاصل از اندازه‌گیری را با عنوان Helix-RLS ذخیره نمایید.
۲. با باز کردن فایل‌های Helix-RL و Helix-RLS به شکل هم‌زمان در نرم‌افزار CASSY Lab، الگوهای تشعشی بخش‌های ۲-۵-۵ و ۲-۵-۶ را با هم نمایش داده و از آن پرینت بگیرید و در گزارش خود ارائه نمایید. نتایج به دست آمده از این مقایسه را با ذکر دلیل، توجیه نمایید.

۲-۵-۷- تأثیر صفحه پلاریزر روی الگوی تشعشی آنتن هلیکال

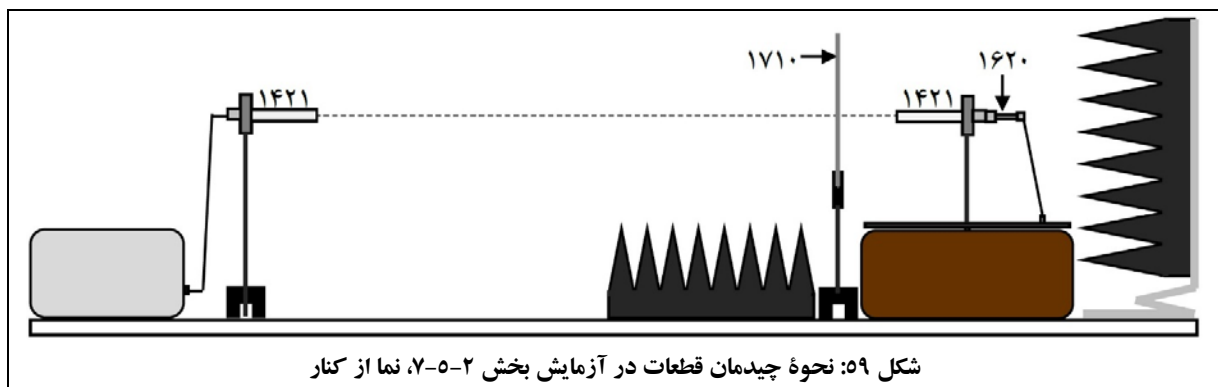
همانطور که در بخش‌های قبل بیان شد، گیرندگی آنتن با پلاریزاسیون چپگرد برای یک موج راستگرد بسیار کم است؛ اما اگر از یک صفحه پلاریزر بین آنتن‌های گیرنده و فرستنده استفاده شود، گیرندگی به میزان قابل توجهی افزایش می‌یابد. دلیل این مسئله این است که موج راستگردی که به وسیله آنتن فرستنده ایجاد می‌شود، به وسیله پلاریزر به موجی با پلاریزاسیون خطی تبدیل می‌شود. با توجه به اینکه این موج خطی، مجموعی از دو موج با پلاریزاسیون‌های دایروی راستگرد و چپگرد خواهد بود، بخش چپگرد آن به وسیله آنتن گیرنده‌ای که دارای پلاریزاسیون چپگرد است، دریافت خواهد شد.

سوال: چه مقدار تلف توان در این فرآیند قابل پیش‌بینی است؟ منابع مختلف این تلف را توضیح دهید.

سوال: آیا با تغییر زاویه خطوط صفحه پلاریزر، تغییری در میزان توان دریافتی آنتن گیرنده مشاهده می‌شود؟

تنظیمات اولیه:

- نحوه چیدمان قطعات جهت انجام این آزمایش، مطابق شکل ۵۹ می‌باشد.
- توجه شود که در چیدمان شکل ۵۹، آنتن فرستنده دارای پلاریزاسیون راستگرد و آنتن گیرنده دارای پلاریزاسیون چپگرد است.
- فرکانس مولد سیگنال مایکروویو را روی ۹,۶GHz تنظیم نمایید.



جهت انجام آزمایش:

۱. الگوی تشعشی آنتن‌های هلیکال در حضور پلاریزر (نمودار a بر حسب θ در مختصات قطبی) را رسم نمایید.

فایل داده‌های حاصل از اندازه‌گیری را با عنوان Helix-RLP ذخیره نمایید.

۲. از روی این نمودار، HPBW گلبرگ اصلی آنتن را بیابید و مقدار آنرا در گزارش خود یادداشت نمایید.
۳. با باز کردن فایل‌های Helix-RL و Helix-RLP به شکل هم‌زمان در نرم‌افزار CASSY Lab، الگوهای تشعشی بخش‌های ۲-۵-۲ و ۲-۵-۷ را با هم نمایش داده و از آن پرینت بگیرید و در گزارش خود ارائه نمایید. نتایج به دست آمده از این مقایسه را با ذکر دلیل، توجیه نمایید.
۴. محلی برای صفحه پلارایزر مشخص نمایید که در آن، گیرندگی آنتن ماکزیمم شود. این جهت نشان‌دهنده چه نکته‌ای در مورد پلاریزاسیون آنتن است؟
۵. حال یک آنتن راستگرد را جایگزین آنتن گیرنده کنید و گام‌های ۱ تا ۴ را برای این وضعیت تکرار نمایید. چه نتیجه‌ای حاصل می‌شود؟
در این وضعیت فایل داده‌های حاصل از اندازه‌گیری را با عنوان Helix-RRP ذخیره نمایید. همچنین جهت مقایسه مشابه گام چهارم، از دو فایل Helix-RR و Helix-RRP استفاده نمایید.

۲-۵-۸- تعیین نوع پلاریزاسیون موج تشعشی آنتن فرستنده در محل ماکزیمم گلبرگ اصلی الگوی جهتی

هدف این آزمایش، به دست آوردن پارامترهای پلاریزاسیون زیر است:

- خروج از مرکز (AR)^{۵۴} بیضی پلاریزاسیون بیضوی، در بخش ۲-۵-۸-۱؛
- زاویه چرخش بیضی پلاریزاسیون، در بخش ۲-۵-۸-۲؛
- راستگرد یا چپگرد بودن پلاریزاسیون موج، در بخش ۲-۵-۸-۳.

۲-۵-۸-۱- به دست آوردن خروج از مرکز بیضی پلاریزاسیون

خروج از مرکز بیضی پلاریزاسیون بیضوی، مطابق رابطه ۱۸ محاسبه می‌شود.

$$AR = \frac{E_R + E_L}{E_R - E_L} = \frac{\sqrt{U_R} + \sqrt{U_L}}{\sqrt{U_R} - \sqrt{U_L}} \quad \text{رابطه ۱۸}$$

مشابه رابطه ۱۷، پارامترهای رابطه ۱۸، عبارتند از:

^{۵۴} Axial Ratio (AR)

- E_R : شدت میدان الکتریکی دریافت شده به وسیله آنتن وقتی موج تشعشی به سمت آن دارای پلاریزاسیون راستگرد است (دو آنتن دارای پلاریزاسیون یکسان هستند).
- E_L : شدت میدان الکتریکی دریافت شده به وسیله آنتن وقتی موج تشعشی به سمت آن دارای پلاریزاسیون چپگرد است (دو آنتن دارای پلاریزاسیون مخالف هستند).
- U_R : شدت توان دریافت شده به وسیله آنتن وقتی موج تشعشی به سمت آن دارای پلاریزاسیون راستگرد است (دو آنتن دارای پلاریزاسیون یکسان هستند).
- U_L : شدت توان دریافت شده به وسیله آنتن وقتی موج تشعشی به سمت آن دارای پلاریزاسیون چپگرد است (دو آنتن دارای پلاریزاسیون مخالف هستند).

توجه نمائید که رابطه ۱۸ تنها در صورتی صادق است که آنتن‌های گیرنده و فرستنده دارای بهره یکسان باشند.

جهت انجام آزمایش:

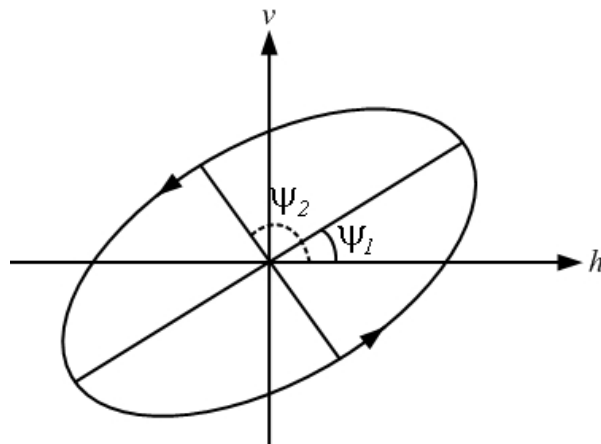
با فرض تشابه آنتن‌های فرستنده و گیرنده و با استفاده از رابطه ۱۸، میزان خروج از مرکز آنتن‌های هلیکال موجود در مجموعه آزمایشگاهی آنتن را اندازه‌گیری کنید و مقدار آنرا بر حسب dB در گزارش خود ارائه نمائید.

اشاره می‌گردد که عدد خروج از مرکز یک آنتن دایروی مناسب، باید کمتر از 3^{dB} باشد.

۲-۵-۸-۲- به دست آوردن زاویه چرخش بیضی پلاریزاسیون

به راحتی می‌توان با استفاده از یک صفحه پلاریزر، زاویه چرخش بیضی پلاریزاسیون را به دست آورد. به این شکل که در وضعیتی که یک صفحه پلاریزر بین آنتن‌های فرستنده و گیرنده با پلاریزاسیون بیضوی و عمود بر محور اتصال دو آنتن قرار داشته‌باشد، به ازای دو زاویه چرخش پلاریزر، توان رسیده به گیرنده ماکزیمم و مینیمم خواهد شد. این دو زاویه، نمایانگر زوایای دو قطر اصلی و فرعی بیضی پلاریزاسیون هستند.

این موضوع در شکل ۶۰ مشاهده می‌شود.



شکل ۶۰: زوایای قطر بزرگ و قطر کوچک بیضی پلاریزاسیون برای تعیین میزان انحراف از مرکز (AR) مربوط به این پلاریزاسیون

جهت انجام آزمایش:

۱. نحوه چیدمان قطعات جهت انجام این آزمایش، مطابق شکل ۵۹ می‌باشد.
۲. صفحه پلاریزر را حول محورش دوران دهید تا توان رسیده به گیرنده ماکزیمم یا مینیمم شود. چرخش صفحه پلاریزر بین 0° و 180° با گام‌های 10° باشد.
۳. با استفاده از زاویه مربوط به توان ماکزیمم و مینیمم، زاویه چرخش بیضی پلاریزاسیون را به دست آورید.

۲-۵-۸-۳- تعیین راستگرد یا چپگرد بودن پلاریزاسیون موج

با استفاده از خروجی فایل‌های Helix-RR و Helix-RL، راستگرد یا چپگرد بودن موج را به این ترتیب تعیین نمایید:

- $E_L > E_R$: موج تشعشی دارای پلاریزاسیون چپگرد است؛
- $E_L < E_R$: موج تشعشی دارای پلاریزاسیون راستگرد است؛
- $E_L = E_R$: موج تشعشی داری پلاریزاسیون خطی است.

۲-۶- آنتن‌های میکرواستریپ

هدف از انجام این آزمایش، آشنایی با آنتن میکرواستریپ و همچنین آموزش اصول طراحی این آنتن‌ها با استفاده از نرم‌افزارهای تخصصی این حوزه (شامل نرم‌افزارهای HFSS، ADK و PCAAD) است. همانطور که پیش از این نیز بیان شد، جهت آموزش اصول طراحی آنتن، آنتن‌های میکرواستریپ انتخاب گردیده‌اند، زیرا:

- (۱) آنتن‌های ساده‌ای هستند؛ (۲) امکانات ساخت آنها در دسترس است؛ و (۳) کاربردهای فراوانی دارند.

همچنین در این آزمایش:

- آنتن‌های میکرواستریپ با الگوی خطی و دایروی بررسی می‌شوند؛
- اثر زیرلایه در طراحی آنتن‌های میکرواستریپ بررسی می‌شود؛
- مطالبی در مورد پرتوهای خاص نظیر پرتو مدادی و بادبزی ارائه خواهد شد.

جهت دستیابی به این اهداف، آزمایش‌های زیر در این بخش تعریف گردیده‌اند:

- اندازه‌گیری الگوی تشعشعی آنتن میکرواستریپ تک؛
- بررسی اثر تغییر زیرلایه روی آنتن میکرواستریپ تک؛
- اندازه‌گیری الگوی تشعشعی آنتن میکرواستریپ دو طبقه؛
- اندازه‌گیری الگوی تشعشعی آنتن میکرواستریپ با تزویج روزنه‌ای؛
- اندازه‌گیری الگوی تشعشعی آنتن میکرواستریپ تک با پلاریزاسیون دایروی-روش ۱؛
- اندازه‌گیری الگوی تشعشعی آنتن میکرواستریپ تک با پلاریزاسیون دایروی-روش ۲؛
- اندازه‌گیری الگوی تشعشعی آنتن میکرواستریپ آرایه خطی ۱×۴؛
- اندازه‌گیری الگوی تشعشعی آنتن میکرواستریپ آرایه خطی ۲×۲.

۲-۶-۱- مقدمه‌ای در خصوص آنتن‌های میکرواستریپ

موضوع آنتن‌های میکرواستریپ (یا ریز نوار) اولین بار در سال ۱۹۵۳ مطرح و در دهه ۱۹۷۰ میلادی پیاده‌سازی گردید. طی زمان، مزایای این نوع آنتن‌ها، از جمله وزن کم، حجم کم و سادگی ساخت آنها به کمک تکنولوژی مدارهای چاپی، منجر به توسعه ساختارهای گوناگونی از این نوع آنتن‌ها برای کاربردهای گوناگون گردید. همچنین با توجه به افزایش نیازها در حوزه ارتباطات و خصوصاً در حوزه تلفن همراه، تقاضا برای آنتن‌های کوچکتر و کارآمدتر، منجر به پیشرفت و گسترش این نوع از آنتن‌ها شد.

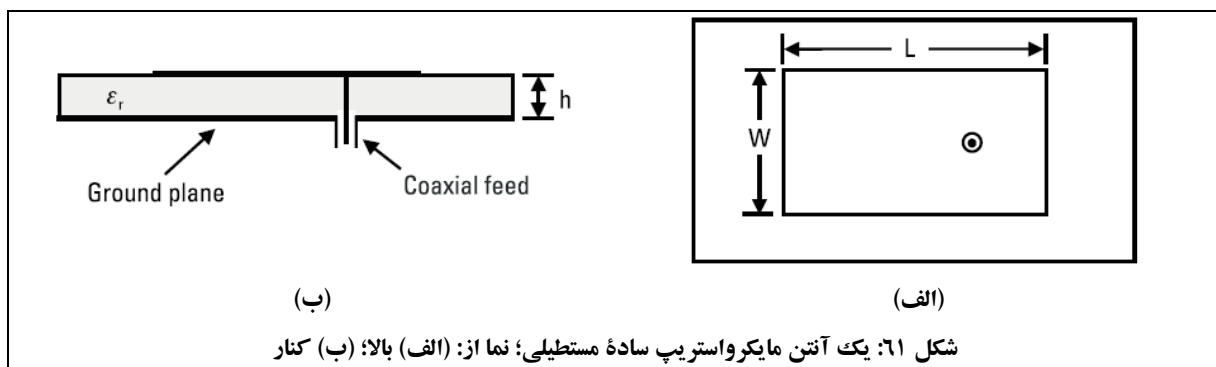
در ادامه این بخش به ترتیب به این موارد اشاره می‌شود: (۱) ساختار آنتن‌های مایکرواستریپ؛ (۲) روش‌های تحریک آنتن‌های مایکرواستریپ؛ (۳) ضریب کیفیت، عرض پرتو (یا پهنای باند)^{۵۵} و بهره آنتن‌های مایکرواستریپ؛ و (۴) مزایا، معایب و کارکردهای آنتن‌های مایکرواستریپ.

۲-۶-۱-۱- ساختار آنتن‌های مایکرواستریپ

آنتن مایکرواستریپ (یا ریز نوار یا آنتن پچ^{۵۶}) شامل یک ورقه بسیار نازک فلزی به‌عنوان قسمت تشعشع‌کننده است که روی یک زیرلایه دی‌الکتریک با ضخامت اندک، قرار گرفته‌است. سمت دیگر زیرلایه نیز یک صفحه زمین قرار دارد. به‌شکل معمول در ساختار آنتن‌های مایکرواستریپ:

- ضخامت تشعشع‌کننده (t) بسیار کمتر از طول موج (λ_0) است ($t \ll \lambda_0$)؛
- ضخامت دی‌الکتریک (h) نیز بسیار کمتر از طول موج (λ_0) است ($h \ll \lambda_0$ و $0.003\lambda_0 \leq h \leq 0.05\lambda_0$)؛
- ابعاد تشعشع‌کننده مستطیلی (L) نیز معمولاً به این ترتیب انتخاب می‌شود: $(\lambda_0/3 \leq L \leq \lambda_0/2)$.

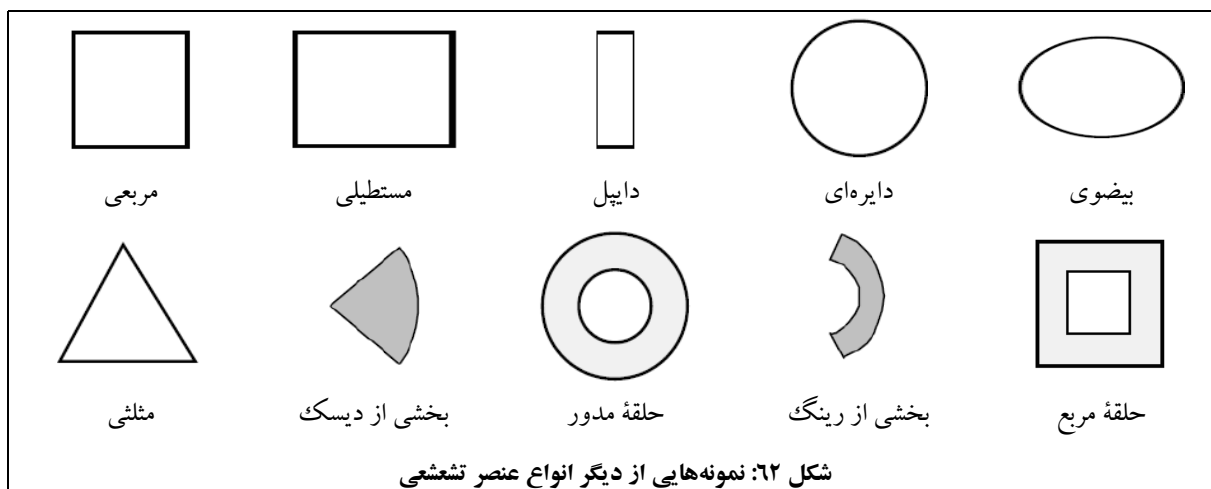
جهت درک بهتر این ساختار، یک آنتن مایکرواستریپ ساده مستطیلی از نمای بالا و کنار در شکل ۶۱ مشاهده می‌شود.



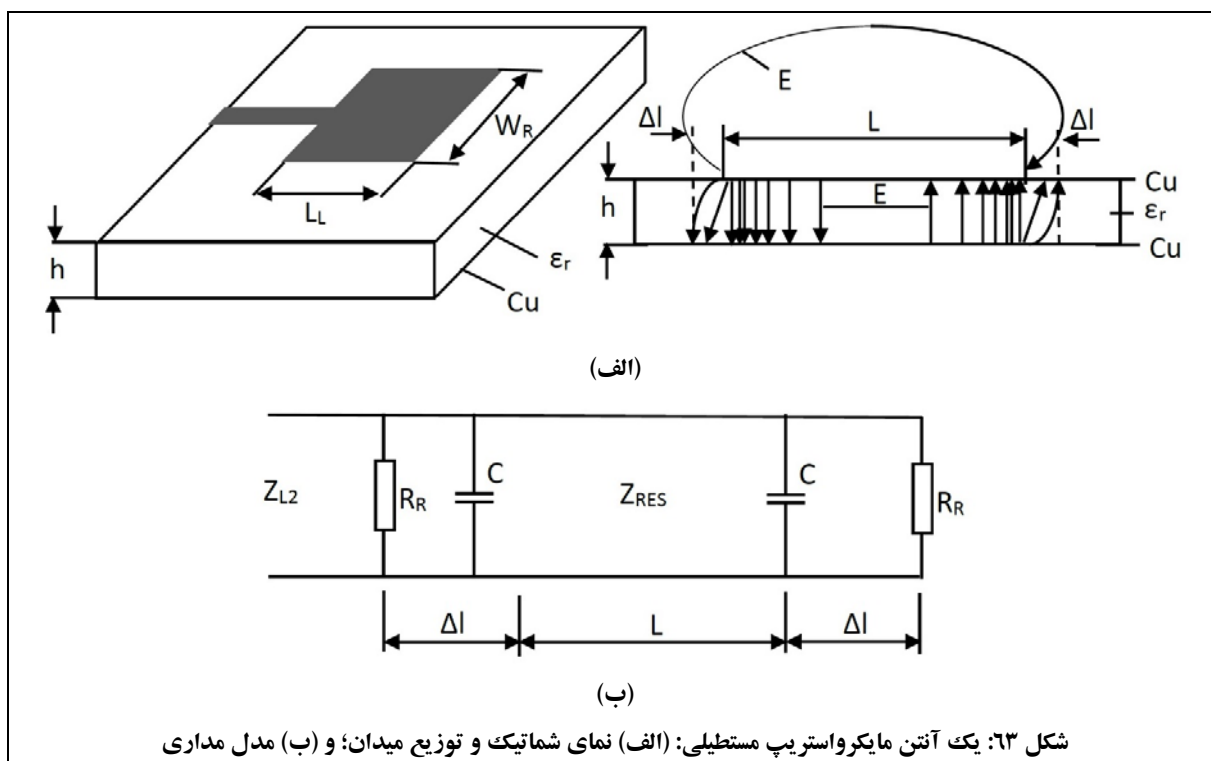
متداول‌ترین آنتن‌های مایکرواستریپ دارای عناصر تشعشعی مربعی، مستطیلی، دایره‌ای و دایروی هستند زیرا تحلیل و ساخت آنها آسان است. مطابق شکل ۶۲ انواع دیگر عنصر تشعشعی نیز وجود دارد که بسته به کارکرد مورد نظر، طراحی می‌شوند.

^{۵۵} Beam Width

^{۵۶} آنتن‌های مایکرواستریپ، اغلب آنتن پچ (Patch Antenna) نیز خوانده می‌شوند و این دو عنوان معادل هم می‌باشند.



در آنتن میکرواستریپ، لبه‌های جلویی و عقبی، نقش تشعشی را ایفا می‌کنند و لبه‌های کناری آنتن میکرواستریپ عملاً تشعشع نمی‌کنند. نمای شماتیک، میدان‌های تشعشی و مدل مداری این آنتن در شکل ۶۳ مشاهده می‌شود.



در شکل ۶۳، مقاومت‌های R_R ، رفتار تشعشی و خازن‌های C ، میدان‌های فرینجینگ^{۵۷} لبه‌های آنتن مایکرواستریپ را مدل‌سازی می‌کنند. در آنتن‌های مایکرواستریپ، صفحه E آنتن عمود بر سطح آنتن و همراستا با خط تغذیه آن است و صفحه H آنتن عمود بر سطح آنتن و صفحه E می‌باشد.

تشعش آنتن‌های مایکرواستریپ نیز به دلیل میدان‌های موجود بین صفحه زمین و صفحه تشعش کننده می‌باشد. در حالت TM10، مطابق رابطه ۱۹، طول صفحه تشعش کننده در آنتن مایکرواستریپ مستطیلی از نصف طول موج میدان داخل دی الکتریک کمتر است.

$$\lambda > L \qquad \lambda = \frac{\lambda_0}{\sqrt{\epsilon}} \qquad \text{رابطه ۱۹}$$

در رابطه ۱۹، ϵ مقدار مؤثر بوده و کمی از خود ضریب دی‌الکتریک بستر کوچکتر است، زیرا امواج تشعش شده از آنتن مایکرواستریپ محدود به بستر نبوده و در هوا نیز انتشار می‌یابند.

جهت افزایش امواج انتشاری از آنتن مایکرواستریپ که ناشی از امواج دریافتی از بستر آن هستند، می‌توان عرض سطح تشعش کننده را افزایش داد. همچنین می‌توان امواج موجود در بستر آنتن مایکرواستریپ را از طریق افزایش ضخامت بستر یا کاهش ضریب دی‌الکتریک آن بهبود بخشید.

بنابراین برخلاف مدارهای مجتمع میکروویو، در آنتن‌های مایکرواستریپ، عرض سطح تشعش کننده و ضخامت بستر زیاد بوده و در عوض ضریب دی‌الکتریک کمتر است. به این شکل که در اکثر کاربردها، ضخامت بستر بیشتر از ۰٫۱۵۹ سانتیمتر در نظر گرفته می‌شود.

مقایسه‌ای میان مدارهای مجتمع میکروویو و آنتن‌های مایکرواستریپ، در جدول ۱۵ مشاهده می‌شود.

جدول ۱۵: مقایسه مدارهای مجتمع میکروویو و آنتن‌های مایکرواستریپ

| | Microwave ICs | Microstrip Antennas |
|--------------------------------|--------------------------|--------------------------|
| h | $\leq 0.159^{\text{cm}}$ | $\geq 0.159^{\text{cm}}$ |
| ϵ_r | ≥ 9.8 | ≤ 9.8 |
| W | Small | Large |
| Radiation | Minimized | Maximized |

^{۵۷} Fringing Field

۲-۶-۱-۲- روش‌های تحریک آنتن‌های مایکرواستریپ

این نوع از آنتن‌ها می‌توانند به دو شکل مستقیم و غیرمستقیم تحریک شوند به این صورت که در روش مستقیم، تحریک به وسیله خط مایکرواستریپ و کابل هم‌محور و در روش غیرمستقیم، تحریک به صورت تزویج مجاورتی^{۵۸}، تزویج از طریق روزنه^{۵۹} و تغذیه موجبر هم صفحه، انجام می‌پذیرد.

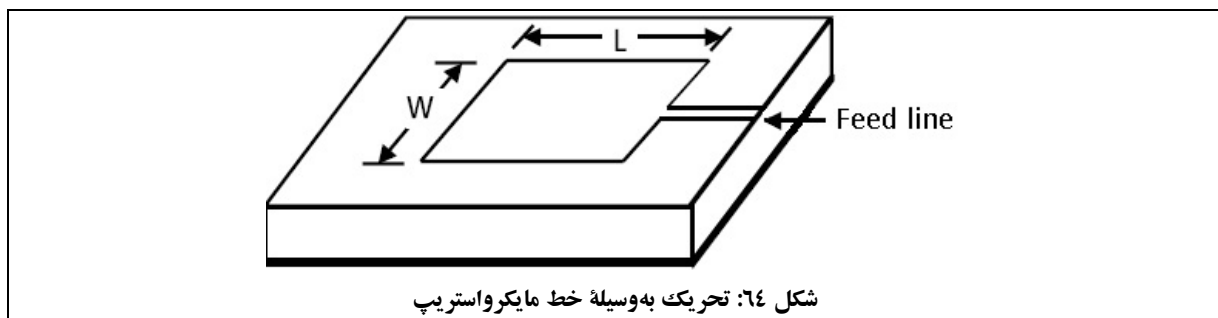
توجه شود که نحوه تغذیه روی امپدانس ورودی آنتن و سایر پارامترهای آن اثر جدی داشته و به‌طور کلی یکی از موارد مهم در طراحی آنتن می‌باشد.

پیش از ورود به بحث جزئی روش‌های تحریک آنتن‌های مایکرواستریپ، اشاره می‌شود از آنجا که ممکن است مشخصات تک المان تشعشع‌کننده، تمام پارامترهای مورد نظر طراحی را برآورده نکند، بطور معمول از آرایه عناصر مایکرواستریپ استفاده می‌گردد. در این وضعیت، جهت تغذیه آرایه‌ای از عناصر تشعشع‌کننده، معمولاً مقسم‌های توان با خط مایکرواستریپ طراحی می‌شوند که در آنها از تحریک به وسیله خط مایکرواستریپ یا خط هم‌محور، استفاده می‌شود.

در ادامه به توضیح بیشتر در خصوص هر یک از این روش‌های تحریک، پرداخته می‌شود.

۱- تحریک به وسیله خط مایکرواستریپ

روش تحریک به وسیله خط مایکرواستریپ (ریزنوار) که در شکل ۶۴ مشاهده می‌شود، ساده‌ترین روش تحریک آنتن‌های مایکرواستریپ است. در این روش جهت ایجاد تطبیق امپدانس، محل تغذیه به درون آنتن مایکرواستریپ انتقال پیدا کرده است (با کنترل طول میزان فرورفتگی خط به داخل المان تشعشعی، به راحتی می‌توان به تطبیق امپدانس مورد نظر دست یافت).



^{۵۸} Proximity Coupled Feed

^{۵۹} Aperture Coupled Feed

مزایای این روش تغذیه عبارتند از:

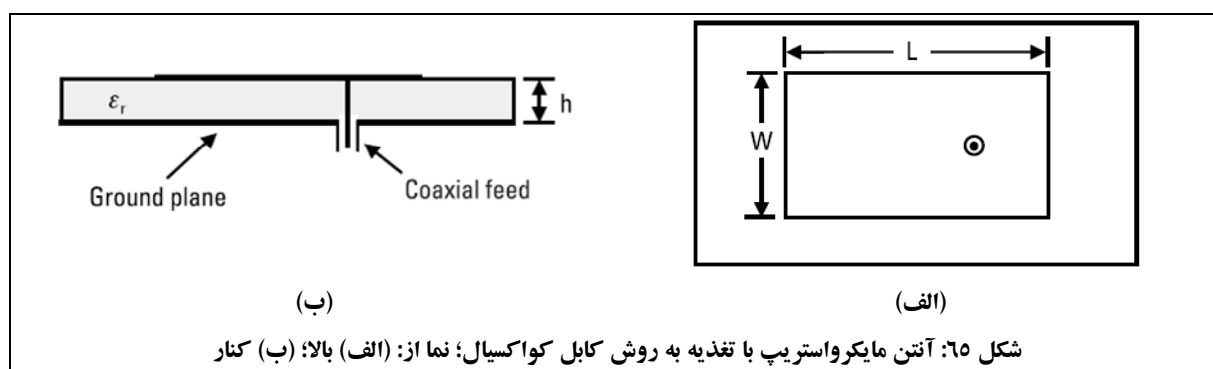
- سادگی ساخت؛
- سادگی مدل‌سازی و انجام تطبیق امپدانس مورد نظر.

معایب این روش تغذیه نیز عبارتند از:

- این ساختار به دلیل رزونانسی بودن، عرض پرتو فرکانسی کمی دارد. حداکثر عرض پرتو قبل حصول با یک آنتن میکرواستریپ ساده با این روش تغذیه، حداکثر ۵٪ است.
- تشعشع ناخواسته از محل اتصال خط میکرواستریپ به عنصر تشعشعی، سبب ایجاد مودهای ناخواسته می‌شود که تشعشعات نامطلوب در جهات مختلف ایجاد می‌کند.
- تشعشع ناخواسته از محل اتصال خط میکرواستریپ به عنصر تشعشعی به این دلیل رخ می‌دهد که موج انتشاری در زیرلایه با ساختار نامتقارن و ناپیوستگی مواجه می‌شود.
- تشعشعات ناخواسته از شبکه تغذیه، به خصوص از محل ناپیوستگی‌ها، علاوه بر کاهش بازده آنتن، موجب افزایش سطح گلبه‌های فرعی نیز می‌شود و عملاً سطح SLL قابل حصول را کاهش می‌دهد.

۲- تحریک به وسیله کابل هم‌محور

همانطور که در شکل ۶۵ مشاهده می‌شود، در این روش، کابل هم‌محور به صورت عمودی بر سطح زمین آنتن قرار داده شده و پوشش بیرونی (شیلد) کابل در محل صفحه زمین قطع شده و به صفحه زمین متصل می‌شود. مغزی کابل نیز از داخل زیرلایه دی الکتریک عبور کرده و به عنصر تشعشعی متصل می‌شود.



مزایای این روش تغذیه عبارتند از:

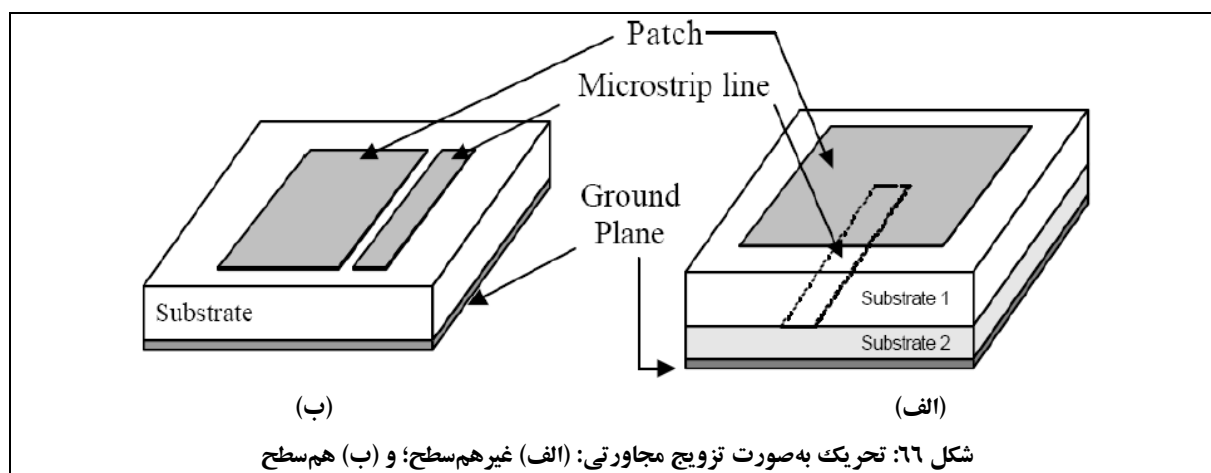
- سادگی مدل‌سازی عددی؛
- سادگی تطبیق امپدانس آنتن به امپدانس کابل هم محور با انتخاب محل تغذیه؛
- تلفات تشعشی کم.

معایب این روش تغذیه نیز عبارتند از:

- این ساختار عرض پرتو بهتری نسبت به روش تغذیه با خط میکرواستریپ دارد ولی به دلیل رزونانسی بودن، دارای عرض پرتو فرکانسی کمی خواهد بود (حداکثر عرض پرتو قبل حصول با این روش تغذیه، حداکثر ۷٪ خواهد بود).
- آرایه کردن عنصرهای تشعشع‌کننده با تغذیه هم‌محور، نیازمند شبکه تغذیه جداگانه‌ای است که پیچیدگی ساخت و اتصال شبکه به عنصرهای تشعشی را ایجاد می‌کند.

۳- تحریک به صورت تزویج مجاورتی

در این روش همانند روش اول از یک خط میکرواستریپ برای انتقال انرژی استفاده می‌شود، با این تفاوت که اتصال فیزیکی بین خط میکرواستریپ و عنصر تشعشی وجود ندارد و انرژی از طریق تزویج از خط میکرواستریپ به عنصر تشعشی منتقل می‌گردد. تزویج مجاورتی به دو صورت هم‌سطح و غیرهم‌سطح صورت می‌گیرد. همانطور که در شکل ۶۶ مشاهده می‌شود، در روش تزویج هم‌سطح، خط میکرواستریپ و عنصر تشعشی هر دو در یک صفحه و در روش تزویج غیرهم‌سطح، در دو صفحه متفاوت قرار دارند.



مزایای این روش تغذیه عبارتند از:

- این روش تغذیه آنتن‌های مایکرواستریپ دارای عرض پرتو فرکانسی نسبتاً بالایی است (حداکثر ۱۵٪). این ساختار می‌تواند عرض پرتو بهتری نسبت به دو روش تغذیه با خط مایکرواستریپ و کابل هم‌محور ایجاد کند.
- با تنظیم طول خط تغذیه می‌توان به راحتی تطبیق امپدانس خوبی بین عنصر تشعشی و خط مایکرواستریپ ایجاد نمود.

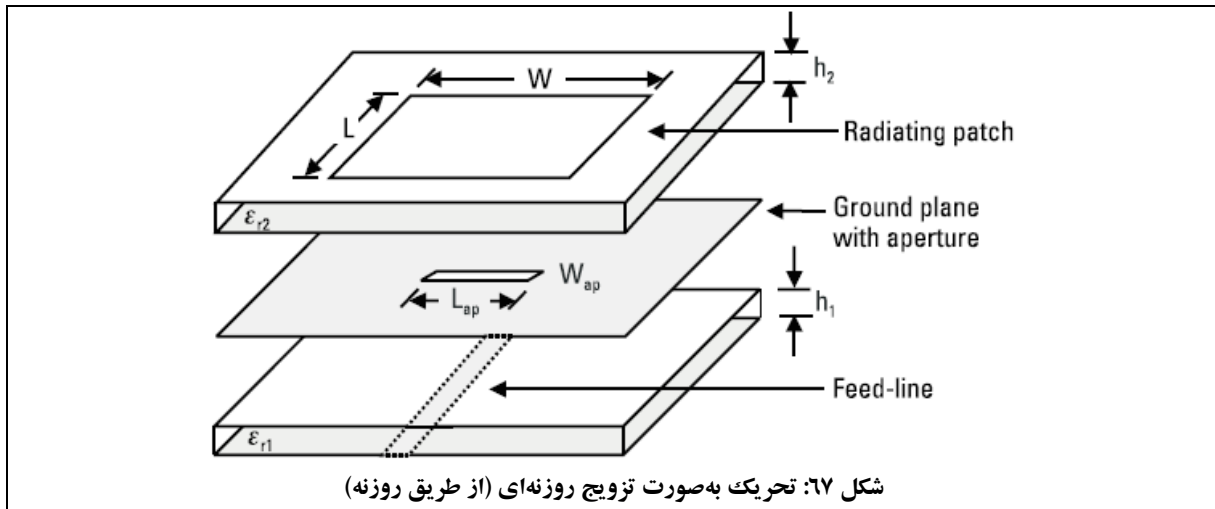
معایب این روش تغذیه نیز عبارتند از:

- ساختار نسبتاً پیچیده است زیرا چندین لایه با ضخامت‌های مختلف روی هم قرار می‌گیرند.
- همانند روش تغذیه با خط مایکرواستریپ، در این روش نیز تشعشات ناخواسته از شبکه تغذیه، به خصوص در محل ناپوستگی‌های شبکه تغذیه، علاوه بر کاهش بازده آنتن، موجب افزایش سطح گلبه‌های فرعی و عملاً کاهش SLL قابل حصول، می‌گردد.

۴- تحریک به صورت تزویج از طریق روزنه

همانطور که در شکل ۶۷ مشاهده می‌شود، در آنتن مایکرواستریپ با تزویج روزنه‌ای (از طریق روزنه)، خط تغذیه در زیر لایه دی‌الکتریک پایینی، از طریق یک روزنه کوچک در صفحه زمین لایه بالایی که المان تشعشی روی آن قرار دارد، انرژی را به آنتن تزویج می‌کند. در روش تغذیه با تزویج روزنه‌ای، همانند روش تزویج مجاورتی، انرژی بدون تماس فیزیکی از خط تغذیه به عنصر تشعشی انتقال داده می‌شود ولی برخلاف روش تزویج مجاورتی، خط تغذیه در مجاورت عنصر تشعشی قرار ندارد، بلکه به وسیله یک صفحه زمین از هم جدا می‌شوند. در روی این صفحه زمین، روزنه‌ای در نظر گرفته می‌شود تا بتوان تزویج انرژی را انجام داد.

شکاف معمولاً زیر سطح تشعش کننده و در وسط آن ایجاد می‌شود تا با توجه به متقارن بودن آن، سطح کراس پلار کاهش یابد. شکل، اندازه و موقعیت روزنه در مقدار تزویج بین سطح تشعش کننده و خط مایکرواستریپ اثرگذار است.



مزایای این روش تغذیه عبارتند از:

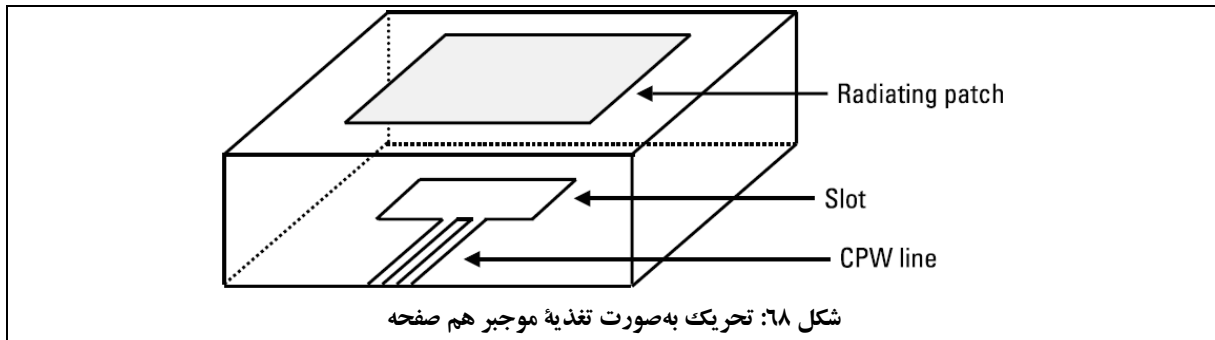
- این ساختار می‌تواند عرض پرتو بهتری نسبت به روش تغذیه با تزویج مجاورتی ایجاد کند. حداکثر عرض پرتو قابل حصول با این روش بدون افزایش تعداد لایه‌های دی‌الکتریک، حدود ۲۵٪ است و اگر بتوان تعداد لایه‌های دی‌الکتریک را افزایش داد، می‌توان به عرض پرتو حدود ۵۰٪ هم دست یافت.
- برخلاف سایر روش‌های تغذیه که مورد اشاره قرار گرفت، در روش تزویج روزنه‌ای، تشعشعات ناخواسته به‌طور کامل از شبکه تغذیه حذف می‌شود، زیرا یک صفحه زمین، خط تغذیه را از عنصر تشعشعی جدا می‌کند. بدین ترتیب، دستیابی به SLLهای بالاتر امکان‌پذیر می‌شود.
- با انتخاب مناسب محل روزنه (در وسط المان تشعشعی) می‌توان به خلوص پلاریزاسیون بالا دست یافت.

معایب این روش تغذیه نیز عبارتند از:

- ساختار آنتن حداقل از سه لایه مجزا تشکیل می‌شود و لزوم تنظیم لایه‌های مختلف روی هم، منجر به پیچیدگی ساخت و بالا رفتن هزینه‌ها، می‌گردد.

۵- تحریک به صورت تغذیه موجبر هم صفحه

همانطور که در شکل ۶۸ مشاهده می‌شود، در این روش، موجبر هم صفحه در صفحه زمین قرار دارد، خط به وسیله یک کابل هم محور تحریک می‌شود و در شکاف موجود پایان می‌یابد.



مزیت این روش تغذیه، پهن باند بودن در طیف فرکانسی است. عیب این روش تغذیه نیز، تشعشعات ناخواسته ناشی از شکاف می‌باشد که منجر به کاهش FBR می‌گردد؛ راه‌حل رفع این ایراد نیز کاهش ابعاد شکاف و تغییر شکل آن به صورت حلقه است.

۲-۶-۱-۳- ضریب کیفیت، عرض پرتو و بهره آنتن مایکرواستریپ

ضریب کیفیت، عرض پرتو و بهره، یک معیار شایستگی^{۶۰} برای آنتن‌های مایکرواستریپ هستند. این فاکتورها به یکدیگر وابسته هستند و نمی‌توان آنها را به شکل مستقل بهینه ساخت. بنابراین نیاز به مصالحه میان آنها جهت دستیابی به آنتنی با پارامترهای بهینه وجود دارد.

ضریب کیفیت (معکوس تلف)، معیاری در خصوص میزان تلفات آنتن است و با استفاده از رابطه ۲۰ تعریف می‌شود.

$$\frac{1}{Q_t} = \frac{1}{Q_{rad}} + \frac{1}{Q_c} + \frac{1}{Q_d} + \frac{1}{Q_{sw}} \quad \text{رابطه ۲۰}$$

در رابطه ۲۰:

- Q_t : تلفات کل؛
- Q_{rad} : تلفات ناشی از تشعشع (های ناخواسته)؛
- Q_c : تلفات ناشی از رسانایی الکتریکی؛
- Q_d : تلفات ناشی از عایق؛
- Q_{sw} : تلفات امواج سطحی.

^{۶۰} Figure of merit

برای زیرلایه‌های نازک، می‌توان از تلفات ناشی از انتشار امواج سطحی صرف‌نظر نمود. همچنین برای ساختارهای متداول تشعشع‌کننده، مانند مستطیلی و دایروی، ضریب کیفیت برای عوامل دیگر مطابق روابط ۲۱-۲۳، است.

$$Q_c = h\sqrt{\pi f \mu \sigma} \quad \text{رابطه ۲۱}$$

$$Q_d = \frac{1}{\tan \delta} \quad \text{رابطه ۲۲}$$

$$Q_{rad} = \frac{2\omega \epsilon_r}{h \frac{G_t}{l}} K \quad \text{رابطه ۲۳}$$

در روابط ۲۱-۲۳، σ ضریب رسانایی هادی‌ها (صفحه زمین و عنصر تشعشع‌کننده)، $\tan \delta$ تلفات ماده تشکیل‌دهنده زیرلایه و $\frac{G_t}{l}$ رسانایی کل در واحد طول برای یک روزنه تشعشع‌کننده، می‌باشد. همچنین می‌توان K را مطابق رابطه ۲۴ محاسبه نمود.

$$K = \frac{\iint_{\text{area}} |E|^2 dA}{\oint_{\text{per meter}} |E|^2 dl} \quad \text{رابطه ۲۴}$$

برای یک تشعشع‌کننده روزنه‌ای که در مود کاری غالب خود کار می‌کند، روابط ۲۵ و ۲۶ برقرار خواهد بود.

$$K = \frac{L}{4} \quad \text{رابطه ۲۵}$$

$$\frac{G_t}{l} = \frac{G_{rad}}{W} \quad \text{رابطه ۲۶}$$

همانطور که مشاهده می‌شود، ضریب کیفیت ناشی از تلفات تشعشعی، به صورت معکوس با ضخامت زیرلایه نسبت دارد، بنابراین برای زیرلایه‌های بسیار نازک، معمولاً فاکتور غالب می‌باشد.

عرض پرتو یک آنتن مایکرواستریپ به بازه فرکانسی اطلاق می‌شود که در آن بازه، ورودی آنتن به صورت تطبیق یافته (معمولاً ۵۰ اهم) باشد. مطابق رابطه ۲۷، عرض پرتو نسبی آنتن ($\frac{\Delta f}{f_0}$) متناسب با معکوس ضریب کیفیت کل آنتن می‌باشد.

$$\frac{\Delta f}{f_0} = \frac{1}{Q_t} \quad \text{رابطه ۲۷}$$

رابطه ۲۷ چندان کاربردی نیست، به همین جهت برای محاسبه عرض پرتو نسبی آنتن مطابق رابطه ۲۸ از نسبت مقدار موج برگشتی (VSWR)^{۶۱} استفاده می‌شود.

$$BW = \frac{VSWR - 1}{Q\sqrt{VSWR}} \quad \text{رابطه ۲۸}$$

اشاره می‌شود که VSWR نیز مطابق رابطه ۲۹، به کمک ضریب برگشت (Γ) در ورودی تعریف می‌گردد.

$$\Gamma = \frac{Z_{in} - Z_0}{Z_{in} + Z_0} \quad \text{رابطه ۲۹} \quad VSWR = \frac{1 + |\Gamma|}{1 - |\Gamma|}$$

۲-۶-۱-۴- مزایا، معایب و کارکردهای آنتن‌های میکرواستریپ

مزایای آنتن‌های میکرواستریپ به این شرح هستند:

۱. سبکی و حجم کم؛
۲. قابلیت انطباق روی مقاطع همدیس با سطح^{۶۲}؛
۳. سادگی ساخت و استفاده از تکنولوژی مدارهای چاپی که منجر به هزینه کمتر می‌شود؛
۴. قابلیت جمع آسان‌تر با سایر مدارهای مجتمع میکروویو؛
۵. قابلیت داشتن پلاریزاسیون‌های خطی و دایروی؛
۶. قابلیت ساخت فشرده برای ارتباطات سیار؛
۷. قابلیت کارکرد دو یا چند فرکانسی؛
۸. قابلیت تنظیم یا تغییر ویژگی‌ها با افزودن دیودهای متغیر با ولتاژ جهت تغییر فرکانس تشدید یا الگوی تشعشعی با پلاریزاسیون‌های مختلف.

در کنار این مزایا، این آنتن‌ها معایبی به شرح زیر نیز دارند:

۱. عرض پرتو کم؛
۲. گین پایین؛

^{۶۱} Voltage Standing Wave Ratio (VSWR)

^{۶۲} Conformal

۳. قابلیت تطبیق توانی کم؛
۴. مقدار خالص بودن پلاریزاسیون کم؛
۵. تشعشع از خطوط تغذیه آنتن (نشت توان)؛
۶. قابلیت ضعیف اسکن پرتو.

این آنتن‌ها، با توجه به مزایا و معایبی که برشمرده شد، دارای کاربردهای فراوانی هستند؛ از جمله این کاربردها عبارتند از:

- آنتن‌های ارتباطی و مسافت‌سنجی روی موشک‌ها که باید کوچک و همدیس با سطح باشند؛
- رادارهای ارتفاع‌سنج که آرایه‌ای از مایکرواستریپ دارند؛
- سایر کاربردهای مربوط به هوانوردی، از جمله مخابرات ماهواره‌ای و تلفنی؛
- آرایه‌های مایکرواستریپ به منظور سیستم‌های تصویربرداری ماهواره‌ای؛
- لینک‌های ارتباطی بین کشتی‌ها و سایر شناورها یا ماهواره‌ها؛
- کاربرد در سلاح‌های هوشمند به خاطر نازک بودن؛
- کاربرد در پیجرها، سیستم بین‌المللی مخابرات سیار (GSM)^{۶۳} و سیستم موقعیت‌یاب جهانی (GPS)^{۶۴}.

همچنین در بعضی کاربردها، با توجه به نیازهای خاص، ویژگی‌های ذاتی این آنتن‌ها که به‌عنوان عیب برشمرده شد، مورد نیاز خواهد بود. برای مثال در کاربرد ممانند سیستم‌های امنیتی دولتی، عرض پرتو کم مورد نیاز است.

۲-۶-۲- نحوه طراحی آنتن‌های مایکرواستریپ

در این بخش نحوه طراحی آنتن‌های مایکرواستریپ توضیح داده می‌شود.

به این منظور در ادامه به ترتیب به این موارد اشاره می‌شود: (۱) انتخاب عنصر تشعشعی مناسب و روابط تحلیلی برای طراحی عناصر تشعشع‌کننده؛ (۲) انتخاب زیرلایه^{۶۵}؛ و (۳) انتخاب شبکه تغذیه.

به‌عنوان نمونه و راهنمای این فرآیند، در بخش ۲-۶-۳، نحوه طراحی آنتن مایکرواستریپ تک موجود در مجموعه آزمایشگاهی آنتن توضیح داده شده‌است.

^{۶۳} Global System for Mobile communication (GSM)

^{۶۴} Global Positioning System (GPS)

^{۶۵} Substrate

به دانشجویان علاقه‌مند به حوزه طراحی آنتن توصیه می‌شود مراحل طراحی را به شخصه تکرار نمایند تا با نحوه کار نرم‌افزارهای طراحی و مشکلات احتمالی که حین طراحی رخ می‌دهد، آشنا شوند.

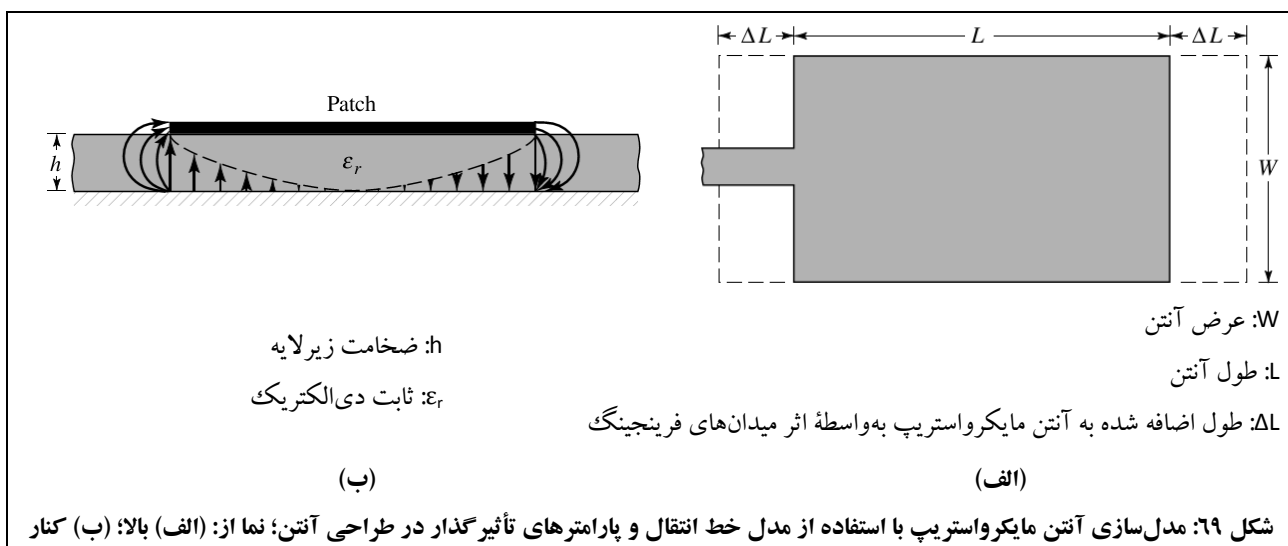
۲-۶-۱- انتخاب عنصر تشعشی مناسب و روابط تحلیلی برای طراحی عناصر تشعشع کننده مستطیلی

اولین گام در طراحی آنتن مایکرواستریپ، انتخاب عنصر تشعشی مناسب است که مشخصات فنی مورد نیاز را برآورده نماید. باند فرکانسی، عرض پرتو فرکانسی، شکل الگوی تشعشی مورد نظر و ابعاد طرح و پلاریزاسیون مورد نیاز، معیارهایی هستند که در انتخاب عنصر تشعشی اهمیت دارند. بر اساس پارامترهای ذکر شده، می‌توان نوع تغذیه آنتن را نیز انتخاب نمود.

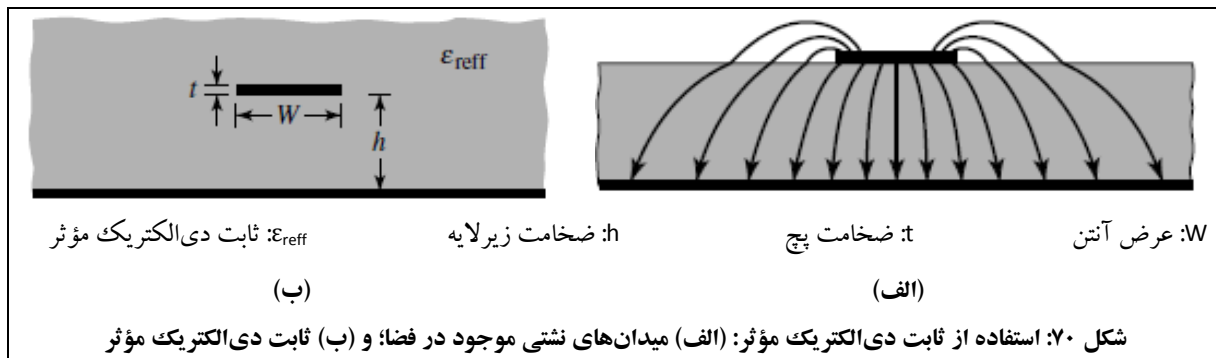
اشاره می‌شود که:

- ساختار کلی یک آنتن مایکرواستریپ و اشکال مختلف عنصر تشعشی در بخش ۲-۶-۱-۲ مورد اشاره قرار گرفت.
- با توجه به پلاریزاسیون خطی اکثر آنتن‌ها و در نظر داشتن سادگی در طراحی آنها، شکل مستطیلی (و یا مربعی) انتخاب بهینه‌ای در اکثر موارد خواهد بود.

مدل‌سازی‌های مختلفی برای طراحی و تحلیل آنتن مایکرواستریپ قابل انجام است. یکی از این مدل‌سازی‌ها با استفاده از آنالیز خط انتقال انجام می‌شود. پارامترهای مهم در این روش طراحی در شکل ۶۹ مشاهده می‌شوند.



با توجه به محدود بودن ابعاد پچ، میدان‌های نشتی در کناره‌های آن وجود خواهد داشت. مقدار میدان‌های نشتی، تابعی از ابعاد پچ و ارتفاع زیرلایه می‌باشد. در این وضعیت، خط مایکرواستریپ، خطی ناهمگن با دو عایق (معمولاً هوا و دی‌الکتریک) می‌باشد. مطابق شکل ۷۰ (الف)، اکثر خطوط میدان الکتریکی در زیرلایه قرار دارد ولی تعدادی از خطوط میدان در هوا بسته می‌شوند. در این وضعیت با افزایش نسبت $W/h \gg 1$ و نیز برای دی‌الکتریک‌های با ضریب عایقی بالا، خطوط میدان بیشتر در زیرلایه متمرکز خواهند شد. به این ترتیب مطابق شکل ۷۰، برای محاسبات از ثابت دی‌الکتریک مؤثر (ϵ_{reff}) استفاده می‌شود.



با این توضیحات، طراحی با روش آنالیز خط انتقال، به ترتیب زیر انجام می‌پذیرد:

۱. ثابت دی‌الکتریک مؤثر (ϵ_{reff}) با استفاده از رابطه ۳۰ محاسبه می‌گردد.

$$\epsilon_{\text{reff}} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left(1 + 12 \frac{h}{W}\right)^{-1/2} \quad \text{رابطه ۳۰}$$

۲. به واسطه اثرهای نشتی، از نظر الکتریکی طول مؤثر پچ (L_{eff}) به میزان ΔL (افزایش طول ناشی از میدان‌های فرینجینگ) در هر سمت، بیشتر از طول فیزیکی (L) آن خواهد بود. به این ترتیب طول مؤثر با استفاده از روابط ۳۱ و ۳۲ محاسبه می‌گردد.

$$\frac{\Delta L}{h} = 0.412 \frac{(\epsilon_{\text{reff}} + 0.3) \left(\frac{W}{h} + 0.264\right)}{(\epsilon_{\text{reff}} - 0.258) \left(\frac{W}{h} + 0.8\right)} \quad \text{رابطه ۳۱}$$

$$L_{\text{eff}} = L + 2\Delta L \quad \text{رابطه ۳۲}$$

۳. برای تحریک مود غالب، فرکانس تشدید آنتن مایکرواستریپ (که تابع طول فیزیکی آنتن نیز هست)، مطابق رابطه ۳۳ محاسبه می‌گردد.

$$f_r = \frac{v_0}{2L_{\text{eff}}\sqrt{\epsilon_{\text{reff}}}} \quad \text{رابطه ۳۳}$$

۴. طول واقعی عنصر تشعشی نیز با استفاده از رابطه ۳۴ محاسبه می‌گردد.

$$L = \frac{\lambda_0}{2\sqrt{\epsilon_{\text{reff}}}} - 2\Delta L \quad \text{رابطه ۳۴}$$

معمولاً جهت تشعشع مناسب، رابطه ۳۵ برقرار است.

$$L = \frac{\lambda}{2} - 2\Delta L \quad \text{رابطه ۳۵}$$

۵. برای اینکه المان تشعشی راندمان مناسبی داشته‌باشد، عرض پیچ (W) از رابطه ۳۶ محاسبه می‌شود.

$$W = \frac{1}{2f_r\sqrt{\mu_0\epsilon_0}}\sqrt{\frac{2}{\epsilon_r + 1}} = \frac{v_0}{2f_r}\sqrt{\frac{2}{\epsilon_r + 1}} \quad \text{رابطه ۳۶}$$

با این حال، بهترین پیشنهاد برای نقطه شروع طراحی، استفاده از پیچ مربعی (دایبل) با ابعاد کمتر از نصف طول موج می‌باشد.

۲-۶-۲-۲- انتخاب زیرلایه

هر آنتن مایکرواستریپ به یک دی‌الکتریک به عنوان زیرلایه نیازمند است. دی‌الکتریک‌های متنوعی در آنتن‌های مایکرواستریپ مورد استفاده قرار می‌گیرند که بسته به کاربردها، می‌توانند ضریب عایقی بین ۲٫۲ تا ۱۲ داشته‌باشند. جهت انتخاب دی‌الکتریک دارای ضریب عایقی مناسب، باید توجه داشت که:

- انتخاب دی‌الکتریک با ضریب عایقی بالا، منجر به کاهش ابعاد تشعشع‌کننده و تشعشع‌های ناخواسته، در عین افزایش تلفات و کاهش عرض پرتو و بازده، خواهد شد؛

- به این ترتیب جهت دستیابی به عملکرد بهتر، معمولاً از دی‌الکتریک‌های دارای ضریب عایقی پایین استفاده می‌شود که با هزینه افزایش ابعاد آنتن و تلفات تشعشی (ناشی از افزایش تشعشع آزادانه میدان‌های محصور در زیرلایه) بازده و عرض پرتو بهتری ایجاد می‌کنند.

کمپانی‌های زیادی در دنیا انواع زیرلایه‌ها را عرضه می‌کنند. در ایران معمولاً از زیرلایه‌های ساخت شرکت Rogers آمریکا، Taconic کره جنوبی و شرکت‌های چینی استفاده می‌گردد.

لازم به تذکر است که اطلاعات اکثر این زیرلایه‌ها در کتابخانه نرم‌افزار HFSS موجود است و در هنگام استفاده از این نرم‌افزار، کفایت که در طراحی از اطلاعات آن کتابخانه استفاده شود. جهت مقایسه، اطلاعات زیرلایه‌های مختلف برحسب دیتاشیت آنها و اطلاعات کتابخانه نرم‌افزار HFSS در جدول ۱۶ ارائه شده‌اند.

جدول ۱۶: مشخصات زیرلایه‌های مختلف و مقایسه برگه اطلاعات کارخانه با کتابخانه نرم‌افزار HFSS

| Substrate | Dielectric Constant | | Dielectric Loss Tangent | |
|----------------|---------------------|------|-------------------------|--------|
| | Datasheet | HFSS | Datasheet | HFSS |
| Rogers: RO5880 | 2.20 | 2.20 | 0.0009 | 0.0009 |
| Rogers: RO4003 | 3.55 | 3.55 | 0.0027 | 0.0027 |
| Taconic TLY | 2.20 | 2.20 | 0.0009 | 0.0009 |
| FR4 | 4.70 | 4.40 | 0.014 | 0.02 |

همانطور که مشاهده می‌شود، به جز زیرلایه FR4، مابقی زیرلایه‌ها با اطلاعات کارخانه همخوانی دارند. علت اختلاف در مورد زیرلایه FR4 به فرآیند ساخت آن مربوط می‌شود که هر کمپانی با روش خاص خود FR4 را تولید می‌کند و مشخصات ثابت دی‌الکتریک و تانژانت تلفات مخصوص خود را دارد. نرم‌افزار HFSS مشخصات یک نوع FR4 را استفاده می‌کند؛ بنابراین در صورتیکه از کمپانی مشخصی این ماده را خریداری کرده‌اید که مشخصات متفاوتی دارد، لازم است ماده FR4 جدیدی با مشخصات آن کارخانه در نرم‌افزار HFSS معرفی نمایید.

تمامی طراحی‌های ارائه شده در این بخش با زیرلایه RO4003 صورت گرفته است. علت این انتخاب، قیمت نسبتاً مناسب این ماده در مقایسه با RO5880 و Taconic TLY می‌باشد. در ضمن این زیرلایه استحکام مکانیکی بیشتری نسبت به دو زیرلایه RO5880 و Taconic TLY دارد.

لازم به تذکر است که تلفات این زیرلایه حدود سه برابر تلفات زیرلایه‌های RO5880 و Taconic TLY است و این مسئله در طراحی آنتن سبب کاهش گین آنتن خواهد شد.

همچنین اشاره می‌شود که زیرلایه FR4 به دلیل تلفات بسیار بالایی که دارد به هیچ عنوان انتخاب مناسبی برای طراحی نخواهد بود و تنها زمانی که بخواهید هزینه‌های ساخت خود را به حداقل برسانید باید از آن استفاده نمایید. توجه داشته باشید که هزینه این کاهش قیمت به بهای از دست دادن گین آنتن خواهد بود.

جهت درک این موضوع، در بخش ۲-۶-۶ آزمایشی برای مقایسه یک طراحی مشخص با دو زیرلایه FR4 و RO4003 در نظر گرفته شده است.

۲-۶-۳- انتخاب شبکه تغذیه

در تحریک آنتن‌های میکرواستریپ، انتخاب نحوه تغذیه از پارامترهای متعددی تأثیر می‌پذیرد که مهم‌ترین آنها عرض پرتو، بهره تک عنصر، سطح گلبه‌های کناری (عدم تشعشع از شبکه تغذیه) و سادگی تحریک را می‌توان نام برد.

به این منظور رجوع شود به روش‌های مختلف تغذیه عنصر مستطیلی که انتخاب مناسبی برای بسیاری از طراحی‌ها است.

معمولاً مهم‌ترین نکته در انتخاب شبکه تغذیه، رعایت تطبیق امپدانس در زمان تشدید عنصر تشعشعی است. سپس باید با استفاده از یک خط انتقال و تنظیم عرض آن، تطبیق امپدانس بین خط استاندارد ۵۰ اهم و امپدانس حقیقی ورودی آنتن برقرار نمود.

۲-۶-۳- نمونه‌ای از طراحی آنتن‌های میکرواستریپ

در این بخش به عنوان نمونه‌ای از طراحی آنتن‌های میکرواستریپ، به نحوه طراحی آنتن میکرواستریپ تک، به کمک نرم‌افزارهای HFSS، PCAAD و TXLine، با هدف ساخت و تست آنتن مورد نظر، شرح داده می‌شود.

مشخصات مورد نظر این آنتن در فرکانس $9/6^{GHz}$ ، مطابق جدول ۳۰ می‌باشد.

جدول ۱۷: مشخصات مورد نظر جهت طراحی آنتن میکرواستریپ تک

| | |
|------------------|---------------|
| عرض پرتو فرکانسی | بهبتر از ۰.۵٪ |
| VSWR | ۲:۱ |
| بهره | بهبتر از ۳dB |
| پلاریزاسیون | خطی (عمودی) |

نمای شماتیک آنتن مایکرواستریپ تک در شکل ۷۱ مشاهده می‌شود.



برای طراحی، ابتدا باید نوع زیرلایه انتخاب شود. زیرلایه انتخابی برای طراحی ارائه شده، RO4003 با ثابت دی‌الکتریک ۳٫۵۵ و تاژانت تلفات ۰٫۰۰۲۷ است. دلیل انتخاب این زیرلایه، تلفات کمتر در فرکانس‌های بالاتر است. همچنین ضخامت مس در زیرلایه‌های استاندارد، حدود $17\mu\text{m}$ است و در طراحی نیز از همین ضخامت برای مس روی زیرلایه استفاده شده است.

اشاره می‌گردد از آنجا که فرکانس آنتن‌های مجموعه آزمایشگاهی آنتن، 9.6GHz در نظر گرفته شده است، مطابق محاسبات زیر، منظور از عرض باند ۵٪ یعنی عرض باندی معادل 480MHz .

$$\frac{\Delta f}{f_0} = 5\% \rightarrow \Delta f = 480\text{ MHz}$$

توجه به این نکته مهم است که هنگام طراحی، لازم است حاشیه اطمینانی در نظر گرفته شود تا با دخیل شدن فاکتورهای ساخت، پارامترهای مورد نظر همچنان رعایت شوند. بنابراین، در این طراحی، عرض پرتو مورد نظر حدود ۶٪ ($\Delta f = 580\text{ MHz}$) در نظر گرفته می‌شود.

البته در هر فرآیند طراحی لازم است بررسی شود آیا می‌توان در فرکانس مورد نظر به عرض باند خواسته شده دست یافت یا خیر (نوعی امکان‌سنجی)؟

برای سادگی کار، المان تشعشع‌کننده، مربع در نظر گرفته می‌شود (هر چند این کار سبب کاهش بهره خواهد شد اما طراحی را ساده‌تر خواهد کرد). بنابراین مطابق توضیحات ارائه شده در بخش ۲-۶-۲، طول و عرض اولیه پچ در فرکانس مرکزی 9.6GHz مطابق محاسبات زیر، برابر 8mm محاسبه می‌گردد.

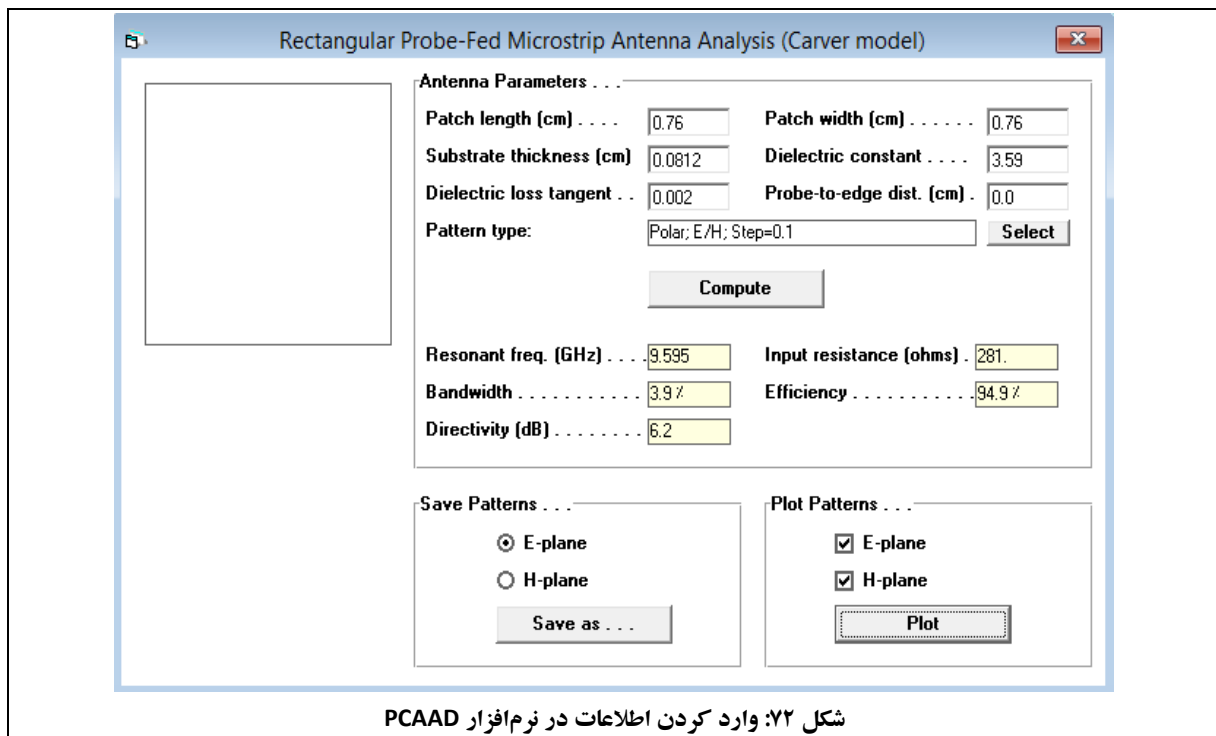
$$W = L = \frac{0.49\lambda_0}{\sqrt{\epsilon_r}} \quad \epsilon_r = 3.55, \tan \delta = 0.0027, \lambda_0 = 3 * \frac{10^8}{9.6 * 10^9} = 0.03125 \rightarrow \frac{\lambda_0}{\sqrt{\epsilon_r}} = 16.62 \text{ mm}$$

$$W = L = 8 \text{ mm}$$

توجه شود از آنجا که روش مورد استفاده دارای تقریب است، اثر تلفات و میدان‌های نشتی در نظر گرفته نشده است و از پچ نصف طول موج استفاده شده است، انتظار می‌رود ابعاد محاسبه شده، تنها یک نقطه شروع مناسب باشند.

جهت اطمینان از ابعاد، مطابق شکل ۷۲، از نرم‌افزار PCAAD استفاده می‌شود. این نرم‌افزار نیز حل عددی دقیقی ندارد اما

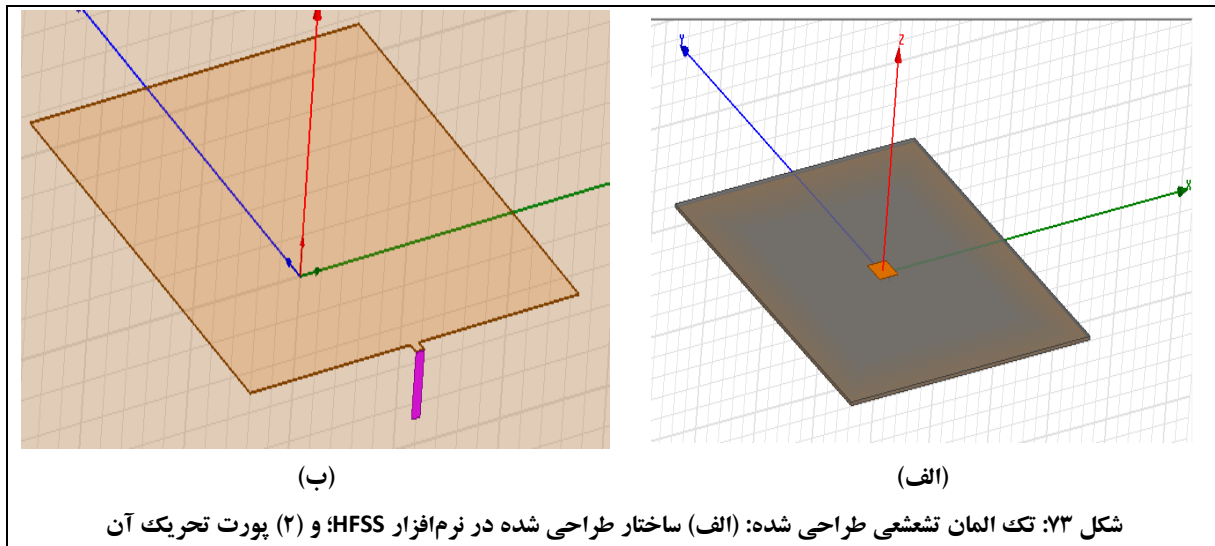
نقطه شروع اولیه را بهبود خواهد بخشید تا فرکانس رزونانس^{۶۶} با تکرار کمتر به دست آید.



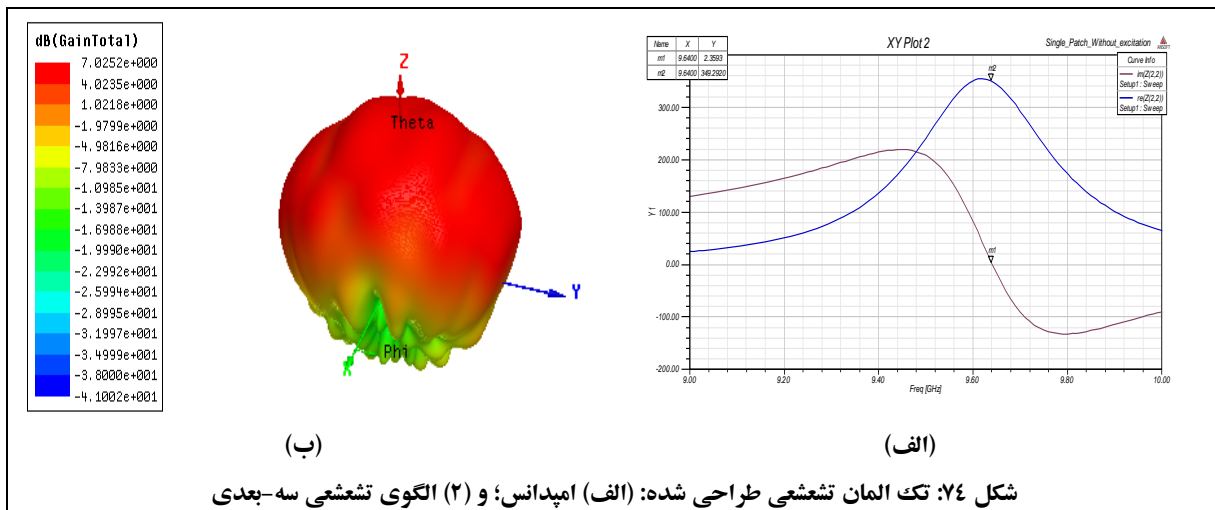
مطابق شکل ۷۲، برای طول و عرض برابر 7.6 mm ، فرکانس رزونانس برابر 9.6 GHz و امپدانس ورودی آنتن 281Ω به دست می‌آید. همچنین مقدار عرض پرتو برابر 3.9% ، بازده برابر 94.9% و دایرکتیویته برابر 6.2 dB به دست می‌آید.

^{۶۶} فرکانسی که در آن، قسمت موهومی امپدانس ورودی پچ صفر شود.

جهت تحریک پچ، ابتدا مطابق شکل ۷۳ از یک خط مایکرواستریپ کوچک استفاده می‌شود.



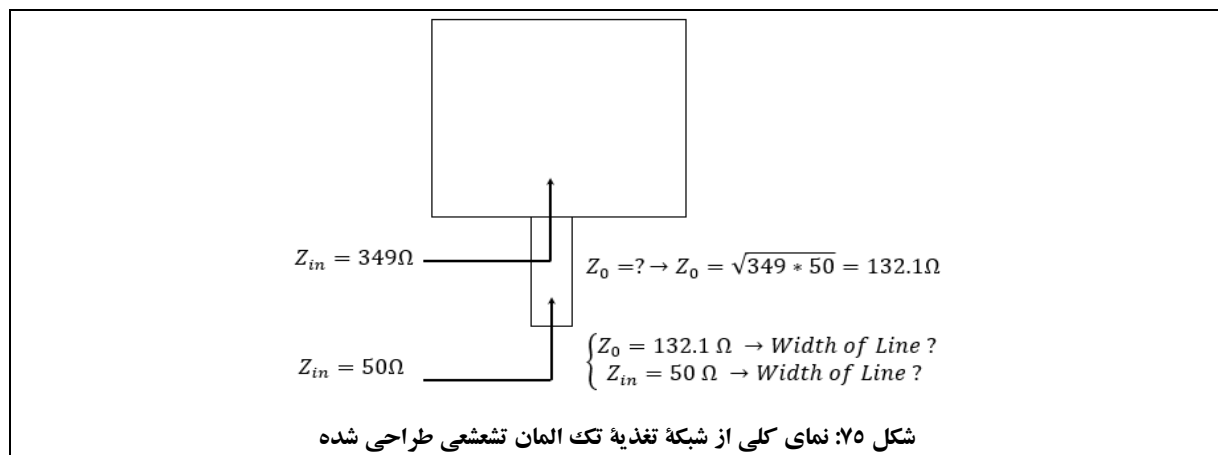
نکته مهمی که باید در نظر داشت، استفاده از تحریک lumped port در شبیه‌سازی می‌باشد. همچنین کل مجموعه باید در box radition قرار گیرد که شبیه‌ساز فضای آزاد است. شرایط مرزی این جعبه نیز باید radiation انتخاب شود. به این ترتیب و با کمی تغییر در ابعاد آنتن، امپدانس ورودی و الگوی تشعشی سه-بعدی، مطابق شکل ۷۴ به دست می‌آید.



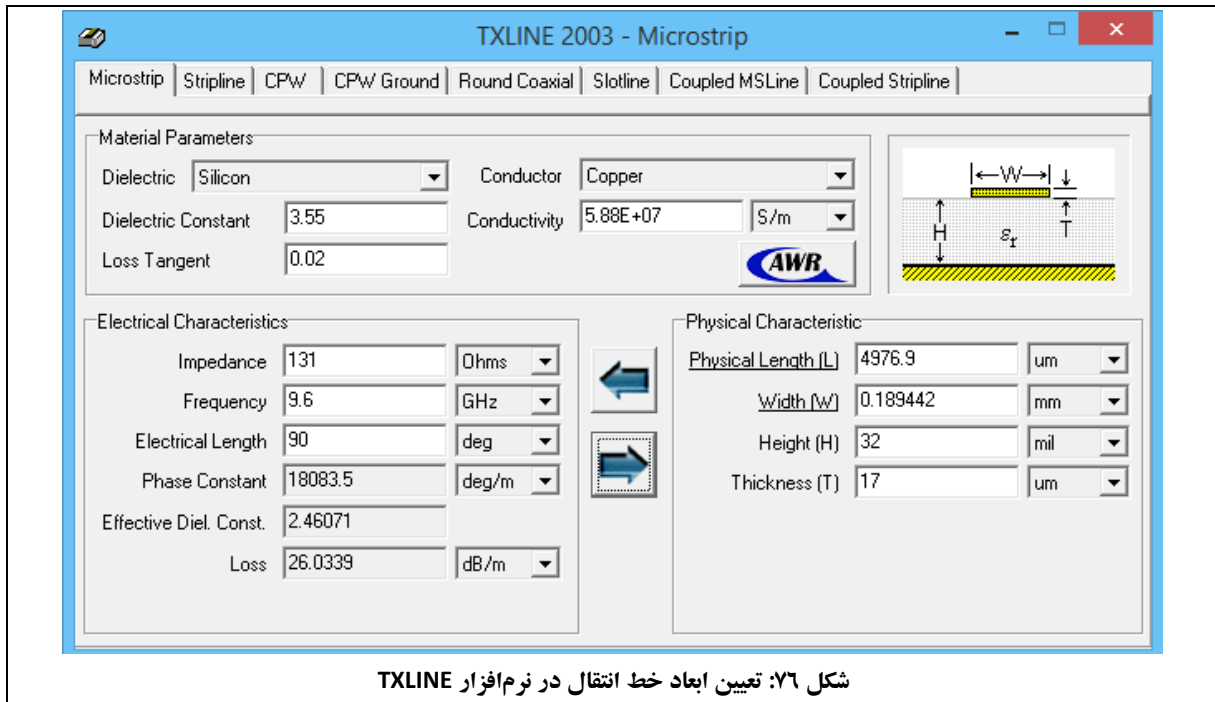
همانطور که در شکل ۷۴ مشاهده می‌شود، آنتن با ابعاد $7.6\text{mm} \times 7.6\text{mm}$ در فرکانس حدود 9.6GHz دارای بهره 7^{dB} و امپدانس ورودی پورت $Z_{in} = (349 + 0j)\Omega$ می‌باشد.

جهت طراحی شبکه تغذیه باید به این نکته توجه نمود که هدف، دستیابی به پورتهی با امپدانس ورودی 50Ω است تا خط کوکسیال تغذیه کننده بتواند به خوبی به آنتن تطبیق امپدانس شده و میزان انعکاس را کاهش دهد. در واقع، شبکه تغذیه مانند یک شبکه تطبیق عمل می‌کند که با توجه به پهنای هریک از خطوط میکرواستریپ مورد استفاده، یک مدار سلف و خازنی رزونانسی معادل بدست می‌آید که توانایی تبدیل امپدانس و در نهایت تطبیق آنرا دارد.

نکته مورد استفاده جهت طراحی شبکه تغذیه، استفاده از مبدل‌های ربع طول موج می‌باشد. به این ترتیب که، امپدانس دیده شده از ورودی یک خط انتقال به طول ربع موج برابر $Z_{in} = \frac{Z_0^2}{Z_L}$ می‌باشد؛ بنابراین لازم است مطابق شکل ۷۵ عرض خط میکرواستریپ مورد نظر را محاسبه نمود.



جهت یافتن عرض خط انتقال با طول الکتریکی 90° که برای تطبیق مناسب باشد، از نرم‌افزار TXLINE استفاده می‌شود. برای این منظور ابتدا مطابق شکل ۷۶، ویژگی‌های زیرلایه مورد نظر و ابعاد و تلفات وارد می‌شود.



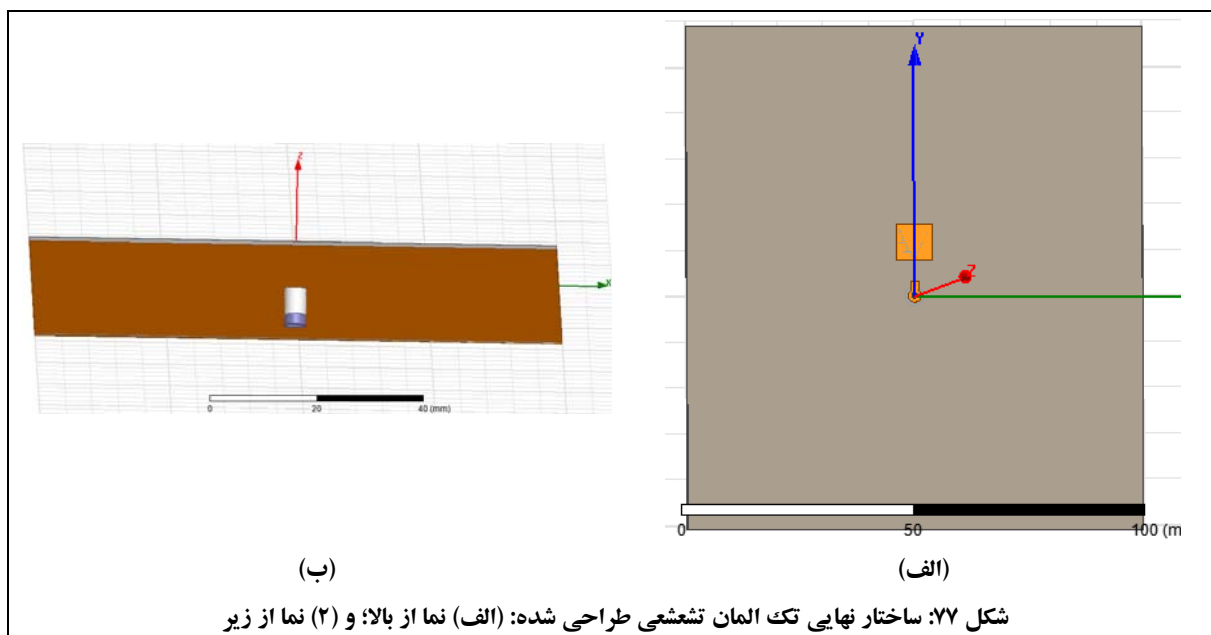
به این ترتیب، ابعاد خطوط انتقال 50Ω و 131Ω مطابق جدول ۱۸، محاسبه می‌گردد.

جدول ۱۸: ابعاد خطوط انتقال 50Ω و 131Ω

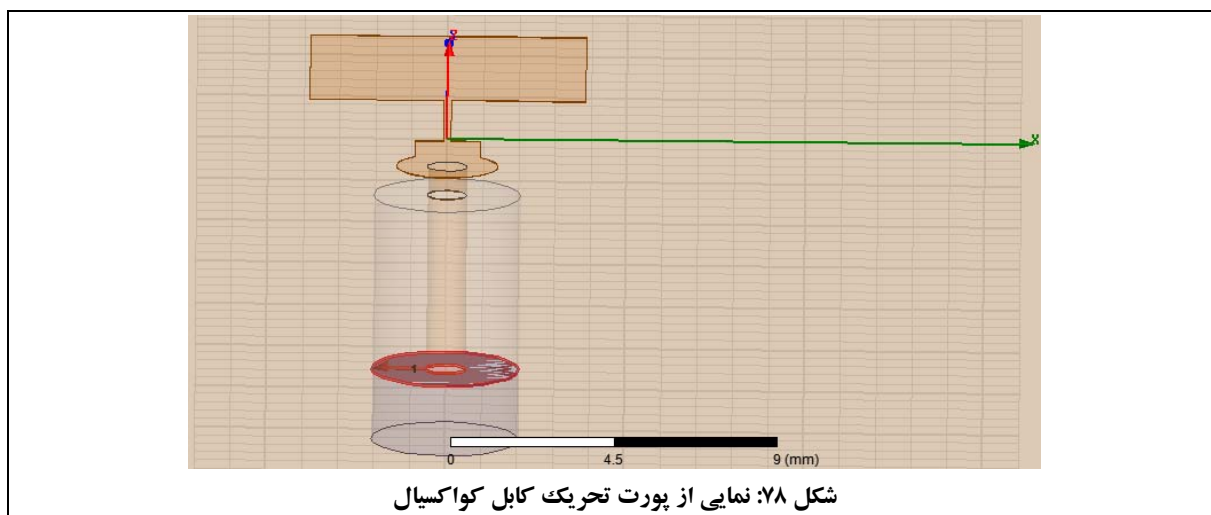
| ابعاد خط انتقال | 131Ω | 50Ω |
|--|-------------|---------------------------|
| طول برابر 5mm و عرض برابر 0.19mm | | |
| | | عرض برابر 1.82mm |

متذکر می‌گردد که طول خط انتقال 50Ω اهمیتی ندارد و می‌تواند هر مقداری باشد.

ساختار نهایی طراحی شده با قراردادن تغذیه کواکسیال و نیز قرار دادن یک دیسک جهت تطبیق بهتر در ورودی، در شکل ۷۷ مشاهده می‌شود.



توجه داشته باشید که برای شبیه‌سازی تحریک wave port در box radiation ابتدا باید صفحه‌ای انتخاب شود و تحریک waveport در آن در نظر گرفته شود. سپس یک استوانه pec باید روی تغذیه قرار گیرد تا بتوان شبیه‌سازی را در HFSS انجام داد. نمایی از تحریک به روشی که بیان شد در شکل ۷۸ مشاهده می‌شود.

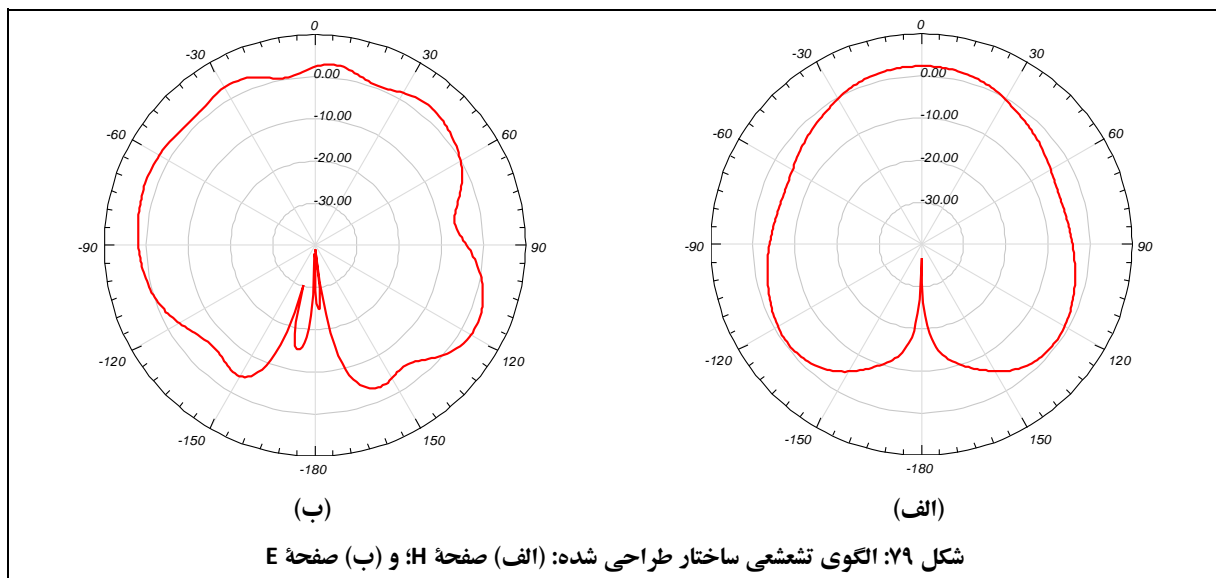


ویژگی‌های کابل کواکسیال نیز در جدول ۱۹ خلاصه شده‌است.

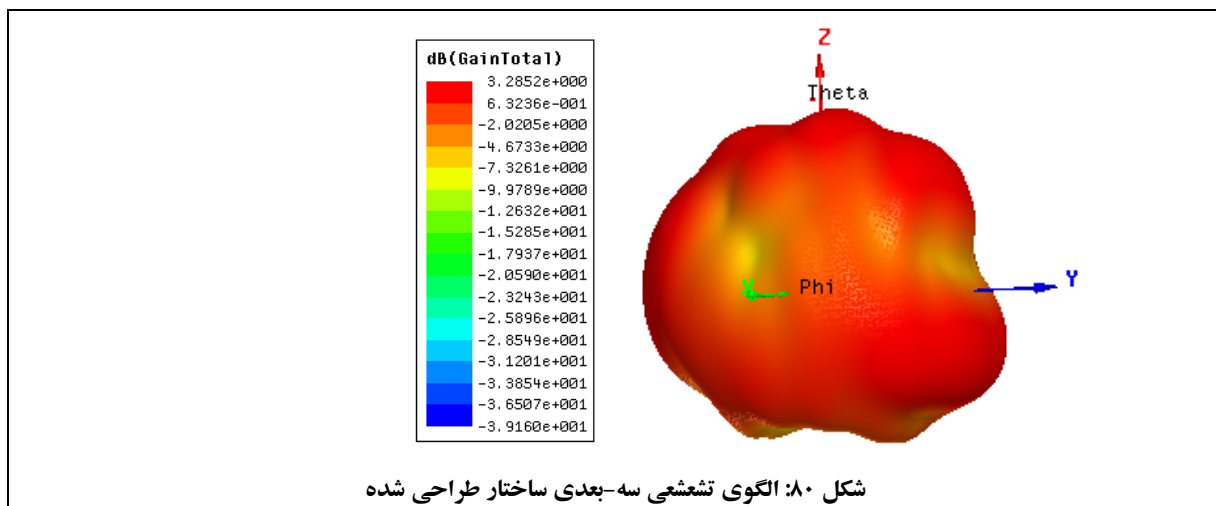
جدول ۱۹: ویژگی‌های کابل کوکسیال جهت استفاده در شبیه‌سازی پورت تحریک

| جنس عایق | قطر مغزی | قطر عایق |
|-------------------------|----------|----------|
| تفلون با ثابت عایقی ۲٫۱ | ۱٫۱mm | ۴٫۱mm |

نتایج شبیه‌سازی ساختار نهایی در شکل ۷۹ مشاهده می‌شود.



الگوی تشعشی سه-بعدی این آنتن نیز مطابق شکل ۸۰ می‌باشد.



۲-۶-۴- وسایل لازم جهت انجام آزمایش

به غیر از قطعات عمومی مورد استفاده در اکثر آزمایش‌ها (مورد اشاره در جدول ۵)، سایر قطعات مورد نیاز برای انجام آزمایش‌های بخش ۲-۶، مطابق جدول ۲۰ می‌باشد.

جدول ۲۰: قطعات مورد نیاز آزمایش‌های بخش ۲-۶

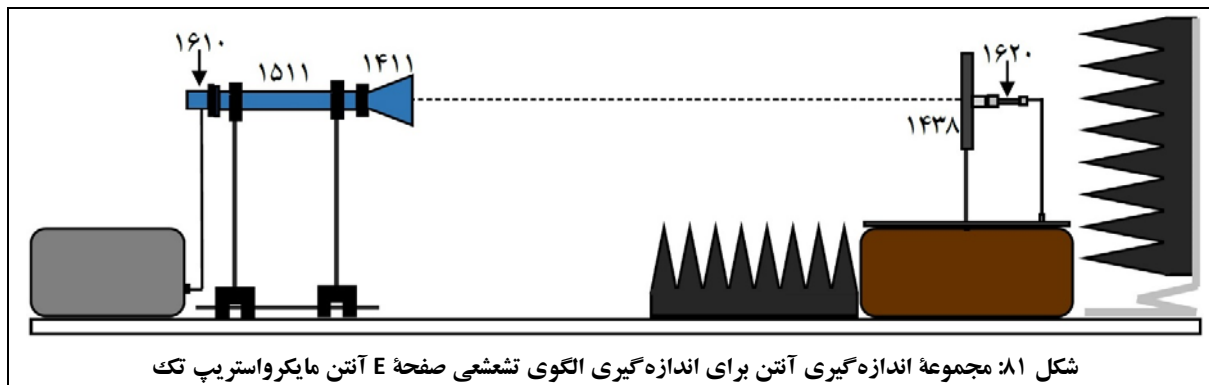
| ردیف | نام قطعه | کد قطعه |
|------|--|---------|
| ۱ | آنتن مایکرواستریپ تک | ۱۴۳۱ |
| ۲ | آنتن مایکرواستریپ تک FR4 ۰٫۵ ^{mm} | ۱۴۳۲ |
| ۳ | آنتن مایکرواستریپ تک FR4 ۰٫۸ ^{mm} | ۱۴۳۳ |
| ۴ | آنتن مایکرواستریپ دو طبقه | ۱۴۳۴ |
| ۵ | آنتن مایکرواستریپ تک با پلاریزاسیون دایروی-روش ۱ | ۱۴۳۵ |
| ۶ | آنتن مایکرواستریپ تک با پلاریزاسیون دایروی-روش ۲ | ۱۴۳۶ |
| ۷ | آنتن مایکرواستریپ آرایه خطی ۴×۱ | ۱۴۳۷ |
| ۸ | آنتن مایکرواستریپ آرایه ۲×۲ | ۱۴۳۸ |
| ۹ | آنتن مایکرواستریپ با تزویج روزنه‌ای | ۱۴۳۹ |

۲-۶-۵- اندازه‌گیری الگوی تشعشعی آنتن مایکرواستریپ تک

همانطور که اشاره گردید، آنتن‌های مایکرواستریپ، به دلیل ساختار مسطحی که دارند، از پرکاربردترین آنتن‌ها در تکنولوژی مدارهای مسطح هستند. ساده‌ترین این آنتن‌ها، آنتن مایکرواستریپ تک می‌باشد که آشنایی با آن، گام نخست مناسبی جهت طراحی آنتن‌های با الگوی تشعشعی مناسب در ساختارهای مدارهای مسطح است. هدف این آزمایش، آشنایی با شکل کلی الگوی تشعشعی این آنتن و همچنین میزان بهره این آنتن می‌باشد.

تنظیمات اولیه:

- مجموعه اندازه‌گیری آنتن را مطابق شکل ۸۱ راه‌اندازی نمایید.
- توجه شود که در چیدمان شکل ۸۱، آنتن شیپوری فرستنده و آنتن مایکرواستریپ تحت آزمون، پلاریزاسیون افقی دارند و می‌توان الگوی تشعشعی صفحه E آرایه آنتن مایکرواستریپ را رسم نمود.



- فرکانس مولد سیگنال میکروویو را روی 9.6GHz تنظیم نمایید.
- برای انجام این آزمایش، از آنتن میکرواستریپ تک با زیرلایه Rogers (کد قطعه ۱۴۳۱) استفاده نمایید.

جهت انجام آزمایش:

۱. الگوی تشعشی صفحه E آنتن میکرواستریپ تک (نمودار a بر حسب θ در مختصات قطبی) را رسم نمایید. فایل داده‌های حاصل از اندازه‌گیری را با عنوان Patch-SRE ذخیره نمایید.
۲. از روی این نمودار، HPBW، SLL و FBR را برای این الگوی تشعشی تعیین و مقدار آنها را در گزارش خود یادداشت نمایید.
۳. حال، مجموعه آنتن فرستنده و گیرنده را 90° بچرخانید. در این وضعیت، آنتن شیوری فرستنده و آنتن میکرواستریپ تحت آزمون، پلاریزاسیون عمودی دارند و می‌توان الگوی تشعشی صفحه H آرایه آنتن میکرواستریپ را رسم نمود.
۴. الگوی تشعشی صفحه H آنتن میکرواستریپ تک (نمودار a بر حسب θ در مختصات قطبی) را رسم نمایید. فایل داده‌های حاصل از اندازه‌گیری را با عنوان Patch-SRH ذخیره نمایید.
۵. از روی این نمودار، HPBW، SLL و FBR را برای این الگوی تشعشی تعیین و مقدار آنها را در گزارش خود یادداشت نمایید.
۶. نتایج بدست آمده از بندهای ۴ و ۷ را با یکدیگر مقایسه کنید.

۲-۶-۶- بررسی اثر تغییر زیرلایه روی آنتن میکرواستریپ تک

در این آزمایش به بررسی اثر زیرلایه در آنتن‌های میکرواستریپ پرداخته می‌شود.

تنظیمات اولیه:

- مجموعه اندازه‌گیری آنتن را جهت رسم الگو در صفحه H (90° چرخش نسبت به شکل ۸۱ و مطابق به آخرین وضعیت بخش ۲-۶-۵) راه‌اندازی نماید.
- آنتن میکرواستریپ تک FR4 0.5^{mm} (کد قطعه ۱۴۳۲) را جایگزین آنتن میکرواستریپ تک با زیرلایه Rogers (کد قطعه ۱۴۳۱) نماید.
- فرکانس مولد سیگنال میکروویو را روی 9.6^{GHz} تنظیم نماید.

جهت انجام آزمایش:

۱. الگوی تشعشی صفحه H آنتن میکرواستریپ تک FR4 0.5^{mm} (نمودار a بر حسب θ در مختصات قطبی) را رسم نمائید.
فایل داده‌های حاصل از اندازه‌گیری را با عنوان Patch-SF5H ذخیره نماید.
۲. از روی این نمودار، HPBW، SLL و FBR را برای این الگوی تشعشی تعیین و مقدار آنها را در گزارش خود یادداشت نماید.
۳. حال، مجموعه آنتن فرستنده و گیرنده را 90° بچرخانید.
در این وضعیت می‌توان الگوی تشعشی صفحه E آرایه آنتن میکرواستریپ را رسم نمود.
۴. الگوی تشعشی صفحه E آنتن میکرواستریپ تک FR4 0.5^{mm} (نمودار a بر حسب θ در مختصات قطبی) را رسم نمائید.
فایل داده‌های حاصل از اندازه‌گیری را با عنوان Patch-SF5E ذخیره نماید.
۵. از روی این نمودار، HPBW، SLL و FBR را برای این الگوی تشعشی تعیین و مقدار آنها را در گزارش خود یادداشت نماید.
۶. حال آنتن میکرواستریپ تک FR4 0.8^{mm} (کد قطعه ۱۴۳۳) را جایگزین آنتن میکرواستریپ تک FR4 0.5^{mm} (کد قطعه ۱۴۳۲) نماید.
۷. الگوی تشعشی صفحه E آنتن میکرواستریپ FR4 0.8^{mm} (نمودار a بر حسب θ در مختصات قطبی) را رسم نمائید.
فایل داده‌های حاصل از اندازه‌گیری را با عنوان Patch-SF8E ذخیره نماید.
۸. از روی این نمودار، HPBW، SLL و FBR را برای این الگوی تشعشی تعیین و مقدار آنها را در گزارش خود یادداشت نماید.
۹. حال، مجموعه آنتن فرستنده و گیرنده را 90° بچرخانید.

در این وضعیت می‌توان الگوی تشعشی صفحه H آرایه آنتن میکرواستریپ را رسم نمود.

۱۰. الگوی تشعشی صفحه H آنتن میکرواستریپ تک FR4 0.8mm (نمودار a بر حسب θ در مختصات قطبی) را رسم نمائید.

فایل داده‌های حاصل از اندازه‌گیری را با عنوان Patch-SF8H ذخیره نمایید.

۱۱. از روی این نمودار، HPBW، SLL و FBR را برای این الگوی تشعشی تعیین و مقدار آنها را در گزارش خود یادداشت نمایید.

۱۲. با باز کردن فایل‌های Patch-SRE، Patch-SF5E و Patch-SF8E به شکل هم‌زمان در نرم‌افزار CASSY Lab، الگوهای تشعشی سه آنتن میکرواستریپ تک با سه زیرلایه مختلف را با هم نمایش داده و از آن پرینت بگیرید و در گزارش خود ارائه نمایید.

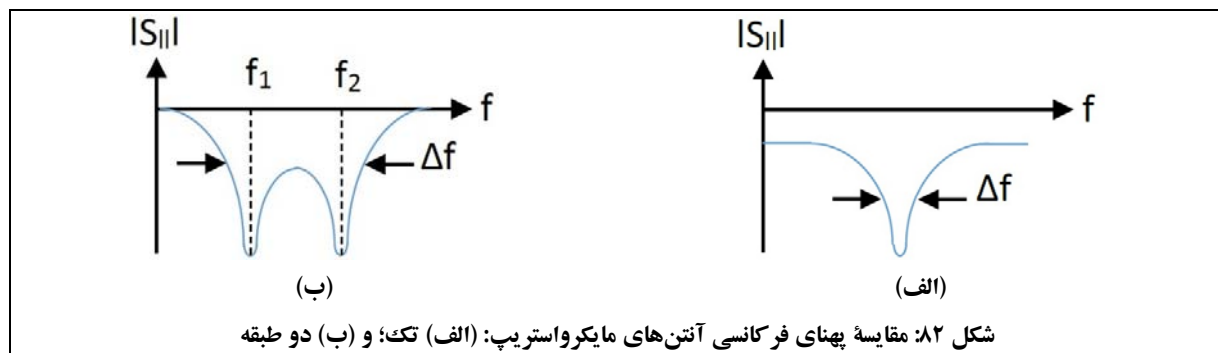
این کار را برای فایل‌های Patch-SRH، Patch-SF5H و Patch-SF8H نیز انجام دهید.

نتایج به دست آمده از این مقایسه را توضیح دهید.

۲-۶-۷- اندازه‌گیری الگوی تشعشی آنتن میکرواستریپ دو طبقه

همانطور که در شکل ۸۲ (الف) مشاهده می‌شود، آنتن‌های میکرواستریپ تک، دارای پهنای فرکانسی باریکی در مرتبه ۳٪ هستند که ناشی از رفتار رزونانسی آنها است.

با دو طبقه نمودن این آنتن‌ها، می‌توان به پهنای فرکانسی بیشتری، در مرتبه ۱۰٪، رسید. همانطور که در شکل ۸۲ (ب) مشاهده می‌شود، علت این امر، ترکیب دو فرکانس رزونانس در کنار یکدیگر است که سبب افزایش پهنای فرکانسی آنتن می‌شود. به این ترتیب که دو طبقه آنتن میکرواستریپ دارای فرکانس‌های رزونانس f_1 و f_2 هستند که بسیار نزدیک یکدیگر طراحی شده‌اند و ترکیب آنها سبب افزایش عرض پرتو فرکانسی می‌گردد.



تنظیمات اولیه:

- نحوه چیدمان قطعات جهت انجام این آزمایش، مطابق شکل ۸۱ می‌باشد؛ با این تفاوت که آنتن گیرنده باید با آنتن مایکرواستریپ دو طبقه، جایگزین شود.
- فرکانس مولد سیگنال مایکروویو را روی 9.6GHz تنظیم نمایید.

جهت انجام آزمایش:

۱. الگوی تشعشی صفحه E آنتن مایکرواستریپ دو طبقه (نمودار a بر حسب θ در مختصات قطبی) را رسم نمایید. فایل داده‌های حاصل از اندازه‌گیری را با عنوان Patch-DE ذخیره نمایید.
۲. از روی این نمودار، HPBW، SLL و FBR را برای این الگوی تشعشی تعیین و مقدار آنها را در گزارش خود یادداشت نمایید.
۳. حال، مجموعه آنتن فرستنده و گیرنده را 90° بچرخانید. در این وضعیت، آنتن شیپوری فرستنده و آنتن مایکرواستریپ تحت آزمون، پلاریزاسیون عمودی دارند و می‌توان الگوی تشعشی صفحه H آرایه آنتن مایکرواستریپ را رسم نمود.
۴. الگوی تشعشی صفحه H آنتن مایکرواستریپ دو طبقه (نمودار a بر حسب θ در مختصات قطبی) را رسم نمایید. فایل داده‌های حاصل از اندازه‌گیری را با عنوان Patch-DH ذخیره نمایید.
۵. از روی این نمودار، HPBW، SLL و FBR را برای این الگوی تشعشی تعیین و مقدار آنها را در گزارش خود یادداشت نمایید.
۶. نتایج بدست آمده از بندهای ۲ و ۵ را با یکدیگر مقایسه کنید.

۲-۶-۸- اندازه‌گیری الگوی تشعشی آنتن مایکرواستریپ با تزویج روزنه‌ای

در بخش قبل، دو طبقه کردن به‌عنوان یک راهکار افزایش پهنای فرکانسی آنتن مایکرواستریپ تک، پیشنهاد گردید. راهکار دیگر افزایش پهنای فرکانسی آنتن‌های مایکرواستریپ تک، استفاده از تزویج روزنه‌ای است که بالاترین پهنای فرکانسی این نوع آنتن‌ها از آن طریق به دست می‌آید.

در این روش آنتنی به دست می‌آید که حاصل تشعشع یک آنتن مایکرواستریپ تک در کنار یک آنتن شکافی است و به سادگی می‌توان عرض پرتو آن را تا ۱۵٪ افزایش داد.

البته میزان FBR این نوع آنتن از آنتن مایکرواستریپ دو طبقه کمتر است که دلیل آن، حضور شکاف در زیر آنتن مایکرواستریپ تک در وضعیت تزویج روزنه‌ای می‌باشد.

تنظیمات اولیه:

- نحوه چیدمان قطعات جهت انجام این آزمایش، مطابق شکل ۸۱ می‌باشد؛ با این تفاوت که آنتن گیرنده باید با آنتن مایکرواستریپ با تزویج روزنه‌ای، جایگزین شود.
- فرکانس مولد سیگنال مایکروویو را روی 9.6GHz تنظیم نمایید.

جهت انجام آزمایش:

۱. الگوی تشعشعی صفحه E آنتن مایکرواستریپ با تزویج روزنه‌ای (نمودار a بر حسب θ در مختصات قطبی) را رسم نمایید.
فایل داده‌های حاصل از اندازه‌گیری را با عنوان Patch-SCE ذخیره نمایید.
۲. از روی این نمودار، HPBW، SLL و FBR را برای این الگوی تشعشعی تعیین و مقدار آنها را در گزارش خود یادداشت نمایید.
۳. حال، مجموعه آنتن فرستنده و گیرنده را 90° بچرخانید.
در این وضعیت، آنتن شیپوری فرستنده و آنتن مایکرواستریپ تحت آزمون، پلاریزاسیون عمودی دارند و می‌توان الگوی تشعشعی صفحه H آرایه آنتن مایکرواستریپ را رسم نمود.
۴. الگوی تشعشعی صفحه H آنتن مایکرواستریپ با تزویج روزنه‌ای (نمودار a بر حسب θ در مختصات قطبی) را رسم نمایید.
فایل داده‌های حاصل از اندازه‌گیری را با عنوان Patch-SCH ذخیره نمایید.
۵. از روی این نمودار، HPBW، SLL و FBR را برای این الگوی تشعشعی تعیین و مقدار آنها را در گزارش خود یادداشت نمایید.
۶. با باز کردن فایل‌های Patch-SCE و Patch-SCH به شکل هم‌زمان در نرم‌افزار CASSY Lab، الگوهای تشعشعی صفحات E و H آنتن مایکرواستریپ دارای تزویج روزنه‌ای را با هم نمایش داده و از آن پرینت بگیرید و در گزارش خود ارائه نمایید.
نتایج به دست آمده از این مقایسه را توضیح دهید.
۷. با باز کردن فایل‌های Patch-SRH، Patch-DH و Patch-SSCH به شکل هم‌زمان در نرم‌افزار CASSY Lab، الگوهای تشعشعی سه آنتن مایکرواستریپ تک، دو طبقه و دارای تزویج روزنه‌ای را با هم نمایش داده و از آن پرینت بگیرید و در گزارش خود ارائه نمایید.
این کار را برای فایل‌های Patch-SRE، Patch-DE و Patch-SSCE نیز انجام دهید.

نتایج به دست آمده از این مقایسه را توضیح دهید.
۸. با تکمیل جدول ۲۱، ویژگی‌های سه آنتن میکرواستریپ تک، دو طبقه و دارای توزیع روزنه‌ای، را مقایسه نمایید.

جدول ۲۱: مقایسه مشخصات آنتن‌های میکرواستریپ خطی

| FBR | | SLL | | HPBW | | آنتن میکرواستریپ |
|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-------------------|
| صفحة H | صفحة E | صفحة H | صفحة E | صفحة H | صفحة E | |
| | | | | | | تک |
| | | | | | | دو طبقه |
| | | | | | | با توزیع روزنه‌ای |

۲-۶-۹- اندازه‌گیری الگوی تشعشی آنتن میکرواستریپ تک با پلاریزاسیون دایروی -

روش ۱

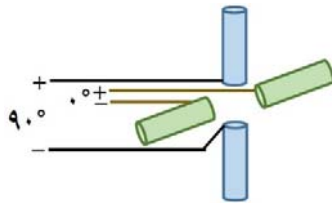
آنتن‌های GPS، از نوع آنتن‌های میکرواستریپ دارای پلاریزاسیون دایروی هستند. جهت آشنایی با این نوع آنتن‌ها، دو نوع از آنها در این بخش و بخش بعد معرفی و با یکدیگر مقایسه می‌شوند.

مطابق شکل ۸۳، هر المان میکرواستریپ مربعی دارای دو مود تشعشی است که با دو فلش مشخص شده‌اند. اگر این دو مود با اختلاف فاز 90° تحریک شوند، تولید پلاریزاسیون دایروی می‌کنند.



شکل ۸۳: دو مود تشعشی آنتن‌های میکرواستریپ مربعی

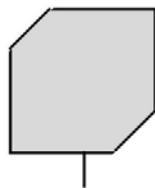
وضعیت مورد اشاره در شکل ۸۳، مشابه وضعیت تحریک هم‌زمان دو آنتن دایپل با اختلاف فاز 90° ، خواهد بود که در شکل ۸۴ مشاهده می‌شود.



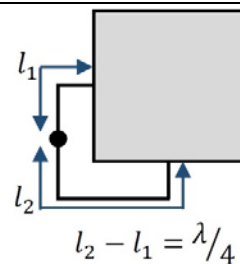
شکل ۸۴: ایجاد پلاریزاسیون دایروی با تحریک هم‌زمان دو آنتن دایپل

در این بخش و بخش بعد، جهت تحریک دو مود با اختلاف فاز 90° ، از دو روش زیر استفاده شده است:

- در روش ۱، مطابق شکل ۸۵ (الف)، با ایجاد طول خط $\lambda/4$ در تحریک هر دو مود، 90° اختلاف فاز ایجاد شده است.
- در روش ۲، مطابق شکل ۸۵ (ب)، با برش لبه‌های آنتن میکرواستریپ، مود دوم تحریک شده است. همچنین با انتخاب مناسب طول برش، اختلاف فاز 90° به دست آمده است.



(ب)

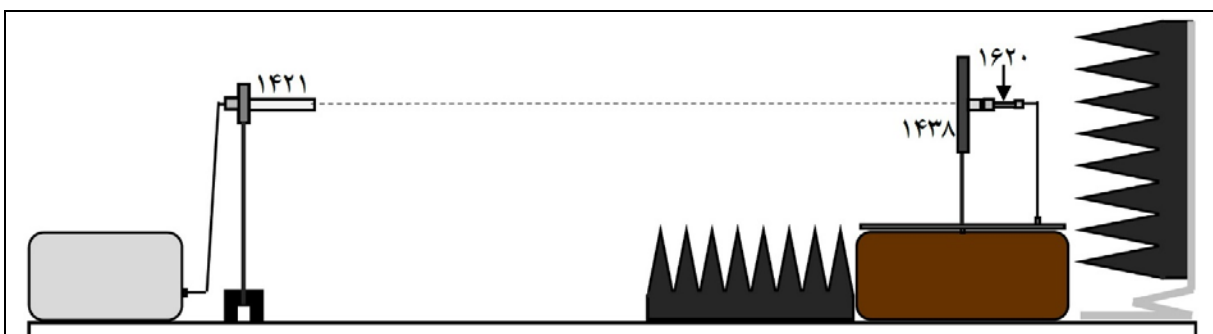


(الف)

شکل ۸۵: تحریک دو مود با اختلاف فاز 90° : (الف) روش ۱؛ و (ب) روش ۲

تنظیمات اولیه:

- مجموعه اندازه‌گیری آنتن را مطابق شکل ۸۶ راه‌اندازی نمایید.



شکل ۸۶: مجموعه اندازه‌گیری آنتن برای اندازه‌گیری الگوی تشعشعی صفحه E آنتن میکرواستریپ تک با پلاریزاسیون دایروی

- در چیدمان اولیه از آنتن هلیکال راستگرد استفاده نمائید.
- فرکانس مولد سیگنال مایکروویو را روی ۹,۶GHz تنظیم نمائید.

جهت انجام آزمایش:

۱. الگوی تشعشی آنتن مایکرواستریپ تک با پلاریزاسیون دایروی-روش ۱، در دریافت از آنتن هلیکال راستگرد (نمودار a بر حسب θ در مختصات قطبی) را رسم نمائید.
فایل داده‌های حاصل از اندازه‌گیری را با عنوان Patch-C1R ذخیره نمائید.
۲. از روی این نمودار، HPBW گلبرگ اصلی آنتن را بیابید و مقدار آنرا در گزارش خود یادداشت نمائید.
۳. حال آنتن فرستنده را با آنتن هلیکال چپگرد جایگزین نمائید.
۴. الگوی تشعشی آنتن مایکرواستریپ تک با پلاریزاسیون دایروی-روش ۱، در دریافت از آنتن هلیکال چپگرد (نمودار a بر حسب θ در مختصات قطبی) را رسم نمائید.
فایل داده‌های حاصل از اندازه‌گیری را با عنوان Patch-C1L ذخیره نمائید.
۵. از روی این نمودار، HPBW گلبرگ اصلی آنتن را بیابید و مقدار آنرا در گزارش خود یادداشت نمائید.
۶. با باز کردن فایل‌های Patch-C1R و Patch-C1L به شکل هم‌زمان در نرم‌افزار CASSY Lab، الگوهای تشعشی برای آنتن‌های فرستنده با پلاریزاسیون مختلف را با هم نمایش داده و از آن پرینت بگیرید و در گزارش خود ارائه نمائید.
نتایج به دست آمده از این مقایسه را توضیح دهید.
۷. مشابه آنتن‌های هلیکال، با استفاده از رابطه ۳۸، خروج از مرکز بیضی پلاریزاسیون بیضوی را محاسبه نمائید.

$$AR = \frac{E_R + E_L}{E_R - E_L} = \frac{\sqrt{U_R} + \sqrt{U_L}}{\sqrt{U_R} - \sqrt{U_L}} \quad \text{رابطه ۳۸}$$

پارامترهای رابطه ۳۸، عبارتند از:

- E_R : شدت میدان الکتریکی دریافت شده به وسیله آنتن وقتی موج تشعشی به سمت آن دارای پلاریزاسیون راستگرد است (دو آنتن دارای پلاریزاسیون یکسان هستند).
- E_L : شدت میدان الکتریکی دریافت شده به وسیله آنتن وقتی موج تشعشی به سمت آن دارای پلاریزاسیون چپگرد است (دو آنتن دارای پلاریزاسیون مخالف هستند).
- U_R : شدت توان دریافت شده به وسیله آنتن وقتی موج تشعشی به سمت آن دارای پلاریزاسیون راستگرد است (دو آنتن دارای پلاریزاسیون یکسان هستند).

- λ : شدت توان دریافت شده به وسیله آنتن وقتی موج تشعشی به سمت آن دارای پلاریزاسیون چپگرد است (دو آنتن دارای پلاریزاسیون مخالف هستند).

۲-۶-۱۰- اندازه‌گیری الگوی تشعشی آنتن میکرواستریپ تک با پلاریزاسیون دایروی-روش ۲

پیرو توضیحات ارائه شده در بخش قبل، در این بخش به بررسی آنتن میکرواستریپ تک با پلاریزاسیون دایروی-روش ۲ (ایجاد پلاریزاسیون دایروی با برش لبه‌های آنتن میکرواستریپ) و مقایسه آن با آنتن میکرواستریپ تک با پلاریزاسیون دایروی-روش ۱ (ایجاد پلاریزاسیون دایروی با ایجاد طول خط $\lambda/4$ در تحریک هر دو مود) پرداخته می‌شود.

تنظیمات اولیه:

- مجموعه اندازه‌گیری آنتن را مطابق شکل ۸۶ راه‌اندازی نمایید.
- در چیدمان اولیه از آنتن هلیکال راستگرد استفاده نمایید.
- در سمت گیرنده، آنتن میکرواستریپ با پلاریزاسیون دایروی-روش ۲ را جایگزین آنتن میکرواستریپ با پلاریزاسیون دایروی-روش ۱ نمایید.
- فرکانس مولد سیگنال میکروویو را روی 9.6GHz تنظیم نمایید.

جهت انجام آزمایش:

۱. الگوی تشعشی آنتن میکرواستریپ تک با پلاریزاسیون دایروی-روش ۲، در دریافت از آنتن هلیکال راستگرد (نمودار a بر حسب θ در مختصات قطبی) را رسم نمایید.
فایل داده‌های حاصل از اندازه‌گیری را با عنوان Patch-C2R ذخیره نمایید.
۲. از روی این نمودار، HPBW گلبرگ اصلی آنتن را بیابید و مقدار آنرا در گزارش خود یادداشت نمایید.
۳. حال آنتن فرستنده را با آنتن هلیکال چپگرد جایگزین نمایید.
۴. الگوی تشعشی آنتن میکرواستریپ تک با پلاریزاسیون دایروی-روش ۲، در دریافت از آنتن هلیکال چپگرد (نمودار a بر حسب θ در مختصات قطبی) را رسم نمایید.
فایل داده‌های حاصل از اندازه‌گیری را با عنوان Patch-C2L ذخیره نمایید.
۵. از روی این نمودار، HPBW گلبرگ اصلی آنتن را بیابید و مقدار آنرا در گزارش خود یادداشت نمایید.

۶. با باز کردن فایل‌های Patch-C2L و Patch-C2R به شکل هم‌زمان در نرم‌افزار CASSY Lab، الگوهای تشعشی برای آنتن‌های فرستنده با پلاریزاسیون مختلف را با هم نمایش داده و از آن پرینت بگیرید و در گزارش خود ارائه نمایید. نتایج به دست آمده از این مقایسه را با ذکر دلیل، توجیه نمایید.
۷. مشابه آنتن‌های هلیکال، با استفاده از رابطه ۳۸، خروج از مرکز بیضی پلاریزاسیون بیضوی را محاسبه نمایید.
۸. با باز کردن فایل‌های Patch-C1R و Patch-C2R به شکل هم‌زمان در نرم‌افزار CASSY Lab، الگوی تشعشی آنتن‌های گیرنده با دو روش مختلف طراحی را با هم نمایش داده و از آن پرینت بگیرید و در گزارش خود ارائه نمایید. نتایج به دست آمده از این مقایسه را توضیح دهید.

۲-۶-۱۱- اندازه‌گیری الگوی تشعشی آنتن میکرواستریپ 4×1

آرایه نمودن انواع آنتن‌ها همواره مورد توجه بوده است. در این بخش و بخش بعد به بررسی دو آنتن میکرواستریپ آرایه‌ای پرداخته می‌شود.

آنتن میکرواستریپ آرایه 4×1 ، دارای الگوی تشعشی بادبزی است یعنی در راستای چهار آنتن، دارای پرتو تشعشی باریکتری نسبت به راستای تک آنتن است. کاربرد این نوع آنتن‌ها معمولاً در سامانه‌های جهت‌یابی است. به‌عنوان نمونه، از آنتن دارای الگوی تشعشی بادبزی، برای جهت‌یابی اهداف روی سطح دریا، استفاده می‌گردد.

تنظیمات اولیه:

- مجموعه اندازه‌گیری آنتن را مطابق شکل ۸۱ راه‌اندازی نمایید.
- در سمت گیرنده از آنتن میکرواستریپ آرایه 4×1 استفاده نمایید.
- فرکانس مولد سیگنال میکروویو را روی 9.6GHz تنظیم نمایید.

جهت انجام آزمایش:

۱. الگوی تشعشی صفحه E آنتن میکرواستریپ آرایه 4×1 (نمودار a بر حسب θ در مختصات قطبی) را رسم نمایید. فایل داده‌های حاصل از اندازه‌گیری را با عنوان Patch-A4E ذخیره نمایید.
۲. از روی این نمودار، HPBW، SLL و FBR را برای این الگوی تشعشی تعیین و مقدار آنها را در گزارش خود یادداشت نمایید.
۳. حال، مجموعه آنتن فرستنده و گیرنده را 90° بچرخانید.

- در این وضعیت، آنتن شیپوری فرستنده و آنتن مایکرواستریپ تحت آزمون، پلاریزاسیون عمودی دارند و می‌توان الگوی تشعشی صفحه H آرایه آنتن مایکرواستریپ را رسم نمود.
۴. الگوی تشعشی صفحه H آنتن مایکرواستریپ آرایه 4×1 (نمودار a بر حسب θ در مختصات قطبی) را رسم نمایید. فایل داده‌های حاصل از اندازه‌گیری را با عنوان Patch-A4H ذخیره نمایید.
۵. از روی این نمودار، HPBW، SLL و FBR را برای این الگوی تشعشی تعیین و مقدار آنها را در گزارش خود یادداشت نمایید.
۶. با باز کردن فایل‌های Patch-A4E و Patch-A4H به شکل هم‌زمان در نرم‌افزار CASSY Lab، الگوهای تشعشی مورد نظر را با هم نمایش داده و از آن پرینت بگیرید و در گزارش خود ارائه نمایید. نتایج به دست آمده از این مقایسه را توضیح دهید.

۲-۶-۱۲- اندازه‌گیری الگوی تشعشی آنتن مایکرواستریپ آرایه 2×2

آنتن مایکرواستریپ آرایه 2×2 ، دارای الگوی تشعشی مدادی است زیرا تعداد المان‌های تشعشی آن در هر دو راستا، با هم برابر است و الگوی تشعشی آن در هر دو راستا باریک می‌شود. از این آنتن در سامانه‌های جهت‌یابی با کاربرد هوایی استفاده می‌شود.

پیش از ورود به مراحل اجرایی آزمایش اشاره می‌گردد در بخش ۲-۴-۹ نیز از آنتن مایکرواستریپ 2×2 استفاده گردید؛ با این تفاوت که هدف آن بخش، مقایسه با آنتن آرایه شکافی بود. بنابراین در صورت وجود اطلاعات اندازه‌گیری‌های بخش ۲-۴-۹، نیازی به تکرار مجدد مراحل اجرایی اندازه‌گیری در این بخش نخواهد بود و تنها لازم است مقایسه‌های مورد نیاز با آنتن مایکرواستریپ آرایه 4×1 انجام پذیرد.

تنظیمات اولیه:

- مجموعه اندازه‌گیری آنتن را مطابق شکل ۸۱ راه‌اندازی نمایید.
- در سمت گیرنده از آنتن مایکرواستریپ آرایه 2×2 استفاده نمایید.
- فرکانس مولد سیگنال مایکروویو را روی 9.6^{GHz} تنظیم نمایید.

جهت انجام آزمایش:

۱. الگوی تشعشی صفحه E آنتن مایکرواستریپ آرایه 2×2 (نمودار a بر حسب θ در مختصات قطبی) را رسم نمایید.

- فایل داده‌های حاصل از اندازه‌گیری را با عنوان Patch-A2E ذخیره نمایید.
۲. از روی این نمودار، HPBW، SLL و FBR را برای این الگوی تشعشی تعیین و مقدار آنها را در گزارش خود یادداشت نمایید.
۳. حال، مجموعه آنتن فرستنده و گیرنده را 90° بچرخانید.
- در این وضعیت، آنتن شیپوری فرستنده و آنتن مایکرواستریپ تحت آزمون، پلاریزاسیون عمودی دارند و می‌توان الگوی تشعشی صفحه H آرایه آنتن مایکرواستریپ را رسم نمود.
۴. الگوی تشعشی صفحه H آنتن مایکرواستریپ آرایه 2×2 (نمودار a بر حسب θ در مختصات قطبی) را رسم نمائید. فایل داده‌های حاصل از اندازه‌گیری را با عنوان Patch-A2H ذخیره نمایید.
۵. از روی این نمودار، HPBW، SLL و FBR را برای این الگوی تشعشی تعیین و مقدار آنها را در گزارش خود یادداشت نمایید.
۶. با باز کردن فایل‌های PA2E و PA2H به شکل هم‌زمان در نرم‌افزار CASSY Lab، الگوهای تشعشی مورد نظر را با هم نمایش داده و از آن پرینت بگیرید و در گزارش خود ارائه نمایید.
- نتایج به دست آمده از این مقایسه را توضیح دهید.
۷. با باز کردن فایل‌های Patch-A2E و Patch-A4E به شکل هم‌زمان در نرم‌افزار CASSY Lab، الگوهای تشعشی مورد نظر را با هم نمایش داده و از آن پرینت بگیرید و در گزارش خود ارائه نمایید.
- این کار را برای فایل‌های Patch-A2H و Patch-A4H نیز انجام دهید.
- نتایج به دست آمده از این مقایسه را توضیح دهید.

پیوست ۱- اطلاعات قطعات مجموعه آزمایشگاهی آنتن

در این بخش اطلاعات قطعات مجموعه آزمایشگاهی آنتن ارائه شده است که لازم است پیش از کار با مجموعه مورد مطالعه قرار گیرد تا آشنایی کافی با قطعات و نحوه استفاده از آنها ایجاد شود.

قطعات مورد اشاره در این بخش به ترتیب زیر (مبتنی بر کدهای قطعات)، سازماندهی شده‌اند:

- پایه چرخان در بخش پ ۱-۱.
- مولد سیگنال مایکروویو در بخش پ ۱-۲.
- جاذب امواج مایکروویو در بخش پ ۱-۳.
- آنتن‌های مجموعه در بخش پ ۱-۴، شامل:
 - آنتن‌های شیپوری؛
 - آنتن‌های هلیکال؛
 - آنتن‌های مایکرواستریپ؛
 - آنتن شکافی؛
 - مجموعه آنتن‌های سیمی.
- موجبرهای مجموعه در بخش پ ۱-۵، شامل:
 - موجبر 200mm ؛
 - بار تطبیق موجبری؛
 - ترانسفورمر سه پیچ.
- مبدل‌ها و کابل‌های مجموعه در بخش پ ۱-۶، شامل:
 - مبدل کواکسیال به موجبری؛
 - آشکارساز کواکسیالی؛
 - کابل فرکانس بالا؛
 - کابل فرکانس پایین؛
 - کابل USB؛
 - کابل تغذیه.
- صفحه پلارایزر و روزنه‌های موج در بخش پ ۱-۷، شامل:
 - صفحه پلارایزر؛

- روزنه‌های موج.
- پایه‌ها و نگهدارنده‌های مجموعه در بخش پ ۱-۸ شامل:
 - پایه نگهدارنده؛
 - میله‌های فلزی؛
 - گیره نگهدارنده موجبر.
- سایر تجهیزات مجموعه در بخش پ ۱-۹، شامل:
 - فویل مسی چسب‌دار؛
 - متر فلزی؛
 - پیچ و مهره؛
 - کیف مجموعه.

پ ۱-۱- پایه چرخان (کد قطعه: ۱۱۰۰)

پایه چرخان در شکل ۸۷ مشاهده می‌شود.



شکل ۸۷: پایه چرخان

اعداد شکل ۸۷ به ترتیب، به موارد زیر اشاره دارند:

- | | |
|-------------------------|------------------------------|
| ۱. صفحه مدرج چرخان؛ | ۵. واسط USB؛ |
| ۲. محل نصب میله فلزی؛ | ۶. تغذیه دستگاه؛ |
| ۳. سوکت BNC؛ | ۷. کلید خاموش/روشن؛ |
| ۴. واسط سریال (RS 232)؛ | ۸. چراغ ارسال و دریافت داده. |

۱- معرفی

پایه چرخان، عهده‌دار تشخیص و آشکارسازی میدان آنتن تحت آزمون بوده و در حکم قلب دستگاه می‌باشد. پایه چرخان شامل بخش‌های زیر است:

- بخش آشکارساز؛
- سیستم کنترل حرکت؛
- کنترلر مرکزی؛
- سیستم مکانیکی.

عملکرد پایه چرخان با استفاده از نرم‌افزار CASSY Lab امکان‌پذیر می‌گردد. بنابراین پیش از استفاده از پایه چرخان، لازم است این نرم‌افزار روی یک رایانه یا لپ‌تاپ نصب گردد. جهت آشنایی با نحوه کار این نرم‌افزار، لازم است پیوست ۲ مطالعه گردد. نحوه نصب درایور سخت‌افزار ارتباطی پایه چرخان با رایانه نیز در پیوست ۲ شرح داده شده‌است.

قطعات جانبی ارائه شده مربوط به پایه چرخان عبارتند از:

- کابل فرکانس پایین (کد قطعه: ۱۶۳۲)؛
- کابل تغذیه (کد قطعه: ۱۶۳۴).
- کابل USB (کد قطعه: ۱۶۳۳)؛

۲- مشخصات فنی

مشخصات فنی پایه چرخان، مطابق جدول ۲۲ می‌باشد.

جدول ۲۲: مشخصات فنی پایه چرخان

| | |
|--|----------------------|
| -30 to 10 ^{dBm} | سطح ورودی سیگنال RF |
| 360° | بازه کنترل |
| 0.5, 1, 2 ^{°/step} | دقت کنترل حرکت روتور |
| approx up to 6 ^{rpm} | سرعت دوران |
| 220 ^V /50 ^{Hz} | ولتاژ تغذیه |
| USB & RS 232 | واسط |
| 29 ^{cm} ×29 ^{cm} ×15 ^{cm} | ابعاد (W×L×H) |
| 28 ^{mm} | قطر صفحه چرخان |
| approx 2 ^{kg} | وزن |
| 10 ^{kg} | حداکثر بار قابل تحمل |

۳- روش کار

در این بخش ابتدا به کل قطعات مجموعه آزمایشگاهی آنتن که به شکل مستقیم به کارکرد پایه چرخان مربوط هستند، به شرح جدول ۲۳ اشاره می‌شود.

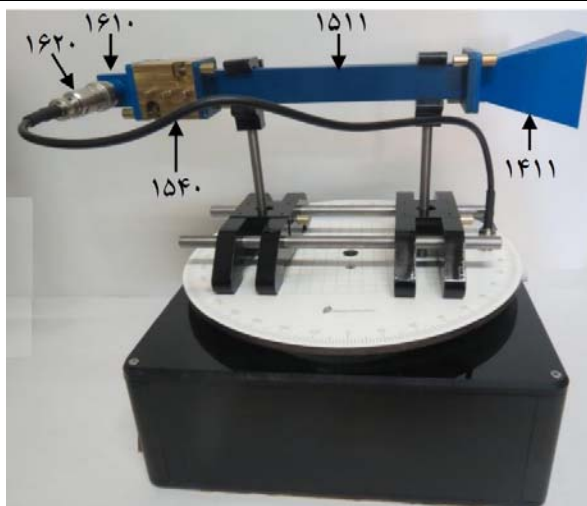
جدول ۲۳: قطعاتی از مجموعه که به شکل مستقیم به کارکرد پایه چرخان مربوط هستند

| ردیف | نام قطعه | کد قطعه |
|------|-------------------|---------|
| ۱ | کابل فرکانس پایین | ۱۶۳۲ |
| ۲ | کابل USB | ۱۶۳۳ |
| ۴ | کابل تغذیه | ۱۶۳۴ |

| ردیف | نام قطعه | کد قطعه |
|------|-----------------------|---------|
| ۵ | پایه نگهدارنده | ۱۸۱۰ |
| ۶ | میله‌های فلزی | ۱۸۲۱ |
| ۷ | میله فلزی اتصال کوتاه | ۱۸۲۲ |

نحوه اتصال قطعات مورد اشاره در جدول ۲۳ به پایه چرخان، به این شرح است:

- کابل تغذیه، جهت اتصال تغذیه پایه چرخان و کابل‌های USB و RS 232 جهت اتصال پایه چرخان به رایانه به کار می‌روند (اشاره می‌شود که با توجه به واسط‌های رایانه/لپ‌تاپ مورد استفاده، تنها باید از یکی از کابل‌های USB و RS 232 استفاده نمود. همچنین اشاره می‌شود کابل USB در مجموعه آزمایشگاهی آنتن وجود دارد و کابل RS 232 در صورت نیاز و تمایل کاربر، قابل تأمین و استفاده می‌باشد).
- کابل فرکانس پایین مطابق شکل ۸۸ جهت اتصال خروجی آشکارساز کواکسیالی (که خود متصل به خروجی یکی از انواع آنتن‌های قابل کاربرد در سمت گیرنده است) به پایه چرخان، به کار می‌رود.
- پایه نگهدارنده، میله‌های فلزی و گیره نگهدارنده موجبر برای قرار دادن موجرها و آنتن‌های شیپوری و شکافی روی پایه چرخان مطابق شکل ۸۸ به کار می‌روند.



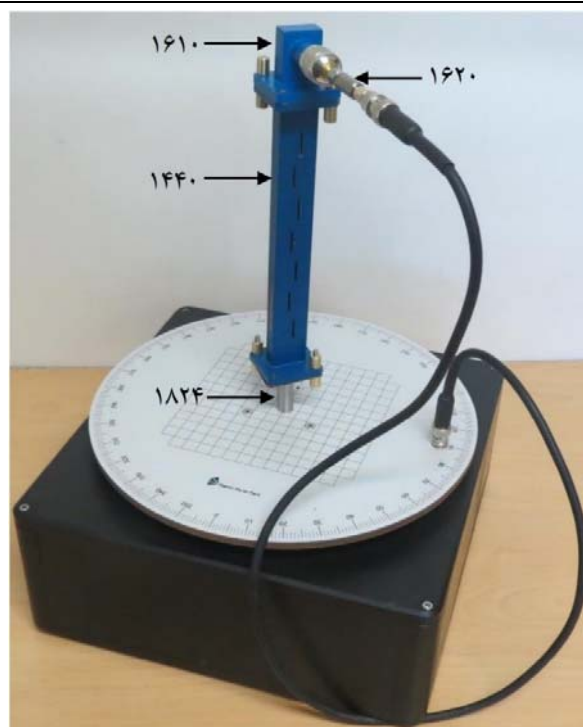
شکل ۸۸: قرار دادن آنتن شیپوری روی پایه چرخان با استفاده از پایه‌های مجموعه

- همانطور که در شکل ۸۹ مشاهده می‌شود، میله فلزی جهت نصب آنتن میکرواستریپ روی پایه چرخان به کار می‌رود. نصب آنتن هلیکال نیز به همین ترتیب انجام می‌شود.



شکل ۸۹: نصب آنتن میکرواستریپ روی پایه چرخان با استفاده از میله فلزی

- همانطور که در شکل ۹۰ مشاهده می‌شود، میله فلزی اتصال کوتاه، جهت نصب آنتن شکافی روی پایه چرخان به کار می‌رود.



شکل ۹۰: نصب آنتن شکافی روی پایه چرخان با استفاده از میله فلزی اتصال کوتاه

تنظیمات مختلف پایه چرخان از طریق نرم‌افزار CASSY Lab قابل اعمال هستند. متذکر می‌گردد لازم است در اولین اتصال پایه چرخان به رایانه، درایور سخت‌افزار ارتباطی پایه چرخان با رایانه نصب گردد تا امکان شناسایی پایه چرخان در نرم‌افزار CASSY Lab به وجود آید؛ این فرآیند و توضیحات کامل‌تر در خصوص نرم‌افزار CASSY Lab در پیوست ۲ ارائه شده است.

پس از شرح روش اتصال قطعات مختلف مجموعه به پایه چرخان، روش کار آن بیان می‌شود.

جهت کارکرد پایه چرخان، لازم است:

- کابل تغذیه دستگاه متصل گردد.
- توصیه می‌شود جهت تغذیه پایه چرخان، از محافظ برق مناسب استفاده شود.
- آنتن تحت آزمون روی پایه چرخان نصب گردد.
- خروجی آنتن تحت آزمون با استفاده از آشکارساز کواکسیالی و کابل فرکانس پایین، به سوکت ورودی BNC پایه چرخان متصل گردد.

توجه شود در صورت استفاده از آنتن شیپوری، آنتن شکافی و آنتن موجبری، لازم است از مبدل کواکسیال به موجبری، پیش از آشکارساز کواکسیالی استفاده گردد.

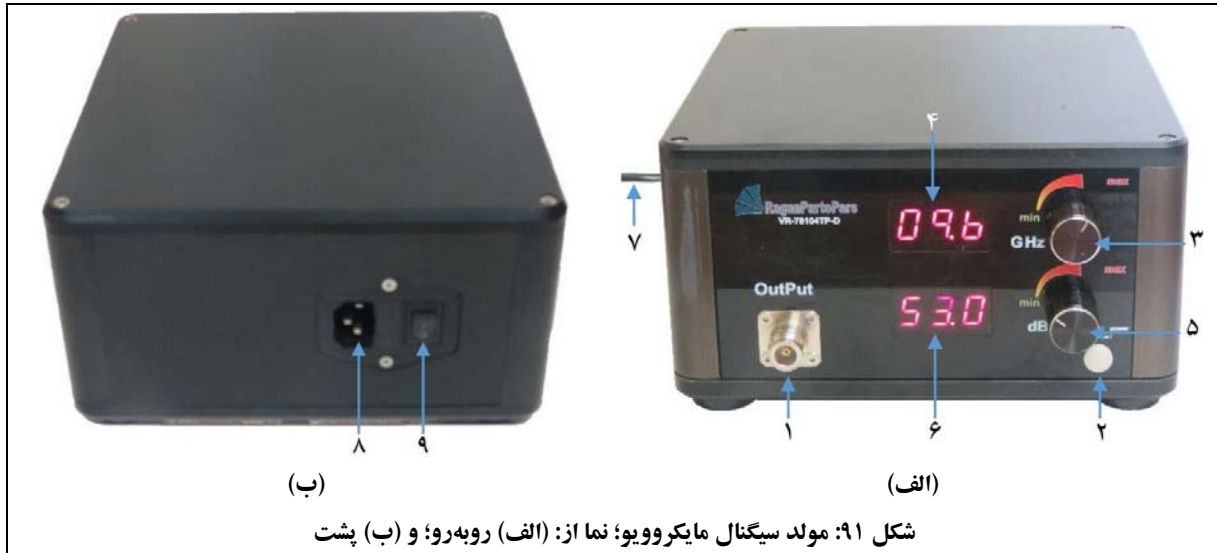
- پایه چرخان از طریق کابل USB (یا RS 232) به رایانه متصل گردد.
- با قرار دادن کلید روشن/خاموش پایه چرخان در وضعیت روشن، پایه چرخان روشن گردد.
- با استفاده از نرم‌افزار CASSY Lab، تنظیمات مورد نظر انجام گیرد.
- حال پایه چرخان آماده استفاده می‌باشد.
- توجه شود که چراغ ارسال داده زمانیکه پایه چرخان داده به رایانه ارسال می‌کند به رنگ قرمز و زمانیکه پایه چرخان از رایانه داده دریافت می‌کند به رنگ سبز، خواهد بود.

تذکر: در صورت قطع ارتباط پایه چرخان با رایانه حین کار، نرم‌افزار CASSY Lab داده‌ای از پایه چرخان دریافت نخواهد کرد. برای رفع این ایراد به این ترتیب عمل نمایید:

- پایه چرخان را خاموش کرده، کابل USB/RS232 را از رایانه جدا نمایید؛
- در نرم‌افزار CASSY Lab مطابق توضیحات ارائه شده در پیوست ۲، پنجره Settings را باز نمایید؛
- سپس در گزینه General، روی پورت مربوط به پایه چرخان، کلیک راست نموده و گزینه Delete را انتخاب نمایید؛
- کابل USB/RS232 را به رایانه وصل نمایید، سپس پایه چرخان را روشن نموده و در گزینه General، مجدداً در پورت مربوط به پایه چرخان، گزینه Rotating Antenna Platfrom (737 405) را انتخاب نمایید.

پ ۱-۲- مولد سیگنال میکروویو (کد قطعه: ۱۲۰۰)

مولد سیگنال میکروویو در شکل ۹۱ مشاهده می‌شود.



اعداد شکل ۹۱ به ترتیب، به موارد زیر اشاره دارند:

۱. سوکت N-Type؛
۲. کلید خاموش / روشن؛
۳. پیچ تنظیم فرکانس موج خروجی؛
۴. نمایشگر فرکانس موج خروجی؛
۵. پیچ تنظیم توان موج خروجی؛
۶. نمایشگر توان موج خروجی؛
۷. کابل تغذیه دستگاه؛
۸. محل نصب کابل تغذیه؛
۹. کلید اصلی تغذیه.

۱- معرفی

مولد سیگنال میکروویو مجموعه آزمایشگاهی آنتن، یک VCO در محدوده فرکانسی بانده X و با فرکانس مرکزی ۹.۶GHz است. مولد سیگنال میکروویو جهت تغذیه آنتن فرستنده مورد استفاده قرار می‌گیرد.

تنها قطعه جانبی ارائه شده مربوط به مولد سیگنال میکروویو، کابل فرکانس بالا (کد قطعه: ۱۶۳۱) است.

۲- مشخصات فنی

مشخصات فنی مولد سیگنال مایکروویو، مطابق جدول ۲۴ می‌باشد.

جدول ۲۴: مشخصات فنی مولد سیگنال مایکروویو

| | |
|---|------------------|
| 9.6 ^{GHz} (8.5 ^{GHz} to 10.2 ^{GHz}) | بازه فرکانس |
| 2 ^{mW} to 150 ^{mW} | توان |
| 50 ^Ω | امپدانس خروجی |
| Square-wave, approx. 1 ^{kHz} | فرکانس مدولاسیون |
| 220 ^V /50 ^{Hz} | ولتاژ تغذیه |
| 21 ^{cm} ×21 ^{cm} ×12 ^{cm} | ابعاد (W×L×H) |

۳- روش کار

همانطور که اشاره گردید، تنها قطعه جانبی ارائه شده مربوط به مولد سیگنال مایکروویو، کابل فرکانس بالا است که جهت اتصال به آنتن فرستنده (از طریق اتصال به مبدل کواکسیال به موجبری یا به شکل مستقیم) به کار می‌رود.

به عنوان نمونه، نحوه اتصال یک آنتن هلیکال با استفاده از کابل فرکانس بالا به مولد سیگنال مایکروویو، در شکل ۹۲

مشاهده می‌شود.



شکل ۹۲: نحوه اتصال آنتن هلیکال به مولد سیگنال مایکروویو با استفاده از کابل فرکانس بالا

فرکانس موج خروجی مولد سیگنال مایکروویو از ۸,۵^{GHz} تا ۱۰,۲^{GHz} قابل تنظیم است.

جهت کارکرد مولد سیگنال مایکروویو، لازم است:

- کابل تغذیه دستگاه به برق شهر وصل گردد.
- توصیه می‌شود جهت تغذیه مولد سیگنال مایکروویو، از محافظ برق مناسب استفاده شود.
- خروجی مولد سیگنال مایکروویو با استفاده از کابل فرکانس بالا که به سوکت N-Type روی دستگاه متصل می‌شود، به آنتن فرستنده یا مبدل کواکسیال به موجبری، وصل گردد.
- با قرار دادن کلید روشن/خاموش مولد سیگنال مایکروویو در وضعیت روشن، مولد سیگنال مایکروویو روشن گردد.
- با استفاده از پیچ‌های تنظیم فرکانس، موج مورد نظر ایجاد شود.
- حال مولد سیگنال مایکروویو آماده استفاده می‌باشد.
- مولد سیگنال مایکروویو دارای محافظت‌های لازم در مقابل اتصال کوتاه می‌باشد با این حال از روشن و خاموش کردن آن بدون اینکه به آنتن فرستنده متصل باشد، خودداری فرمائید.

پ ۱-۳- جذب امواج مایکروویو (کد قطعه: ۱۳۰۰)

توجه شود که جذب‌های امواج مایکروویو در مجموعه آزمایشگاهی آنتن، در دو نوع (بر اساس تفاوت در نحوه قرار گرفتن در چیدمان مجموعه) ارائه شده‌اند:

- عمودی: دارای پایه جهت نصب عمودی پشت پایه چرخان؛
- افقی: بدون پایه و جهت نصب افقی جلوی پایه چرخان.

جذب‌های امواج مایکروویو در شکل ۹۳ مشاهده می‌شوند.



۱- معرفی

جذب‌های امواج مایکروویو جهت کاهش بازتابش سیگنال‌های مزاحم مورد استفاده قرار می‌گیرند تا نتایج اندازه‌گیری تا حد امکان به حالت ایده‌آل، نزدیک باشد.

۲- مشخصات فنی

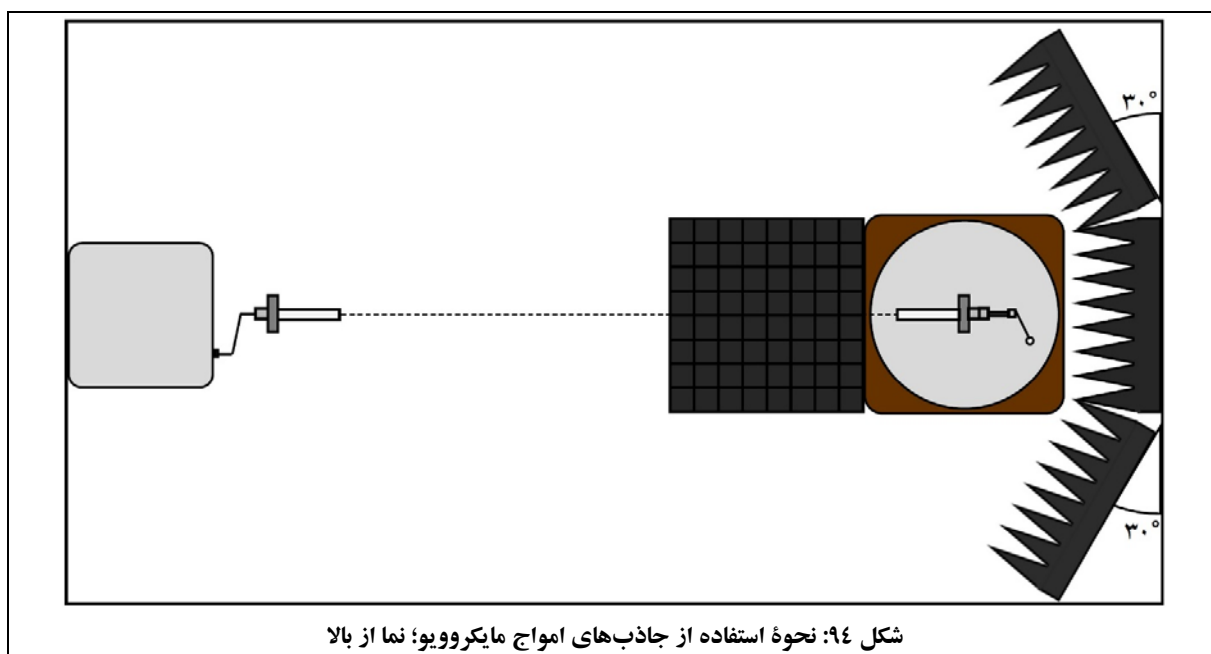
مشخصات فنی جذب‌های امواج مایکروویو، مطابق جدول ۲۵ می‌باشد.

جدول ۲۵: مشخصات فنی جاذب‌های امواج میکروویو

| | |
|------------------|-----------------------|
| 5.5cm×5.5cm×14cm | ابعاد هر هرم (W×L×H) |
| 7×7 | تعداد هرم در هر جاذب |
| 44cm×44cm×19cm | ابعاد هر جاذب (W×L×H) |

۳- روش کار

جاذب‌های امواج میکروویو در سمت مجموعه گیرنده مورد استفاده قرار می‌گیرند، به این ترتیب که مطابق شکل ۹۴، سه جاذب عمودی، پشت پایه چرخان و تک جاذب افقی، مقابل پایه چرخان قرار می‌گیرد.



در مورد نحوه چیدمان جاذب‌های امواج میکروویو توجه شود که:

- در خصوص جاذب‌های عمودی که پشت آنتن تحت آزمون قرار می‌گیرند:
 - یک عدد بازوی لولایی پشت پایه فلزی جاذب قرار دارد که در زمان نصب در چیدمان باید باز شود.
 - لازم است این جاذب‌ها تا حد ممکن به مجموعه پایه چرخان نزدیک باشند.
 - جاذب وسطی باید موازی با پایه چرخان و عمود بر آنتن فرستنده قرار گیرد.
 - دو جاذب کناری باید زاویه‌ای حدود 30° با جاذب وسطی داشته باشند.

- بهتر است جاذب افقی که روی سطح میز قرار می‌گیرد تا حد امکان نزدیک به پایه چرخان قرار داده شود.

به دلیل ظرافت فوم‌های جاذب امواج مایکروویو:

- جهت جابه‌جایی، آنها را با دو دست و از دو لبه کناری پایه فلزی گرفته و جابه‌جا نمائید.
- به هیچ وجه فوم‌ها را روی رأس هرم‌ها قرار ندهید.
- هیچ وسیله‌ای روی فوم‌ها قرار ندهید.
- از وارد آمدن ضربه به فوم‌ها جلوگیری نمائید.
- با توجه به استفاده از رزین‌های کربن در ساختار فوم‌های جاذب امواج مایکروویو، پس از جابه‌جایی فوم‌ها، دست‌های خود را به خوبی بشویید.

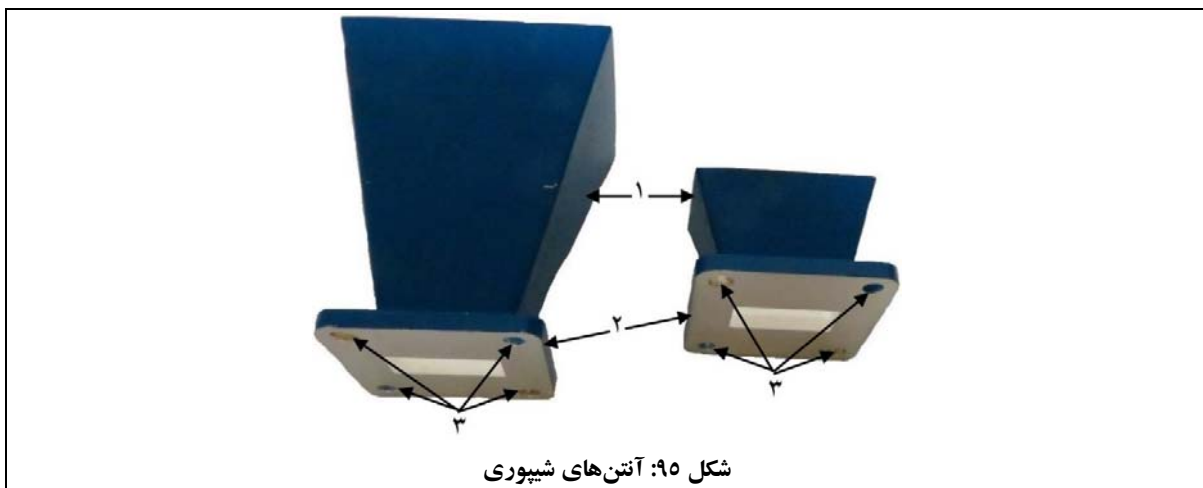
پ ۱-۴- آنتن‌های مجموعه

آنتن‌های موجود در مجموعه آزمایشگاهی آنتن عبارتند از:

- آنتن‌های شیپوری؛
- آنتن‌های هلیکال؛
- آنتن‌های میکرواستریپ؛
- آنتن شکافی؛
- مجموعه آنتن‌های سیمی.

پ ۱-۴-۱- آنتن‌های شیپوری (کد قطعه: ۱۴۱۱ و ۱۴۱۲)

مجموعه آزمایشگاهی آنتن دارای دو آنتن شیپوری بزرگ و یک آنتن شیپوری کوچک می‌باشد. نمایی از آنتن‌های شیپوری در شکل ۹۵ مشاهده می‌شود.



اعداد شکل ۹۵ به ترتیب، به موارد زیر اشاره دارند:

۱. تشعشعگر شیپوری؛
۲. فلنج؛
۳. جای پیچ M6.

۱- معرفی

آنتن شیپوری یک تشعشعگر روزنه‌ای است که مانند دیگر انواع آنتن‌ها، به‌عنوان مبدل در فرآیند تبدیل موج‌های الکترومغناطیسی خط انتقال به موج فضای آزاد و بالعکس، مورد استفاده قرار می‌گیرد. آنتن‌های شیپوری در مجموعه آزمایشگاهی آنتن اغلب به‌عنوان فرستنده برای اندازه‌گیری‌های بهره آنتن‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرند.

۲- مشخصات فنی

مشخصات فنی آنتن‌های شیپوری، مطابق جدول ۲۶ می‌باشد.

جدول ۲۶: مشخصات فنی آنتن‌های شیپوری

| ویژگی‌ها | آنتن شیپوری کوچک | آنتن شیپوری بزرگ |
|----------------|------------------|------------------|
| فرکانس کاری | 8.2-12.4GHz | 8.2-12.4GHz |
| بهره در 9.6GHz | 10dB | 15dB |
| VSWR | ≤2 | ≤1.5 |
| ابعاد (W×L×H) | 4cm×2.6cm×4cm | 6cm×5cm×7cm |
| جنس | مس/آلومینیوم | |
| نوع موجبر | WR90 | |

۳- روش کار

در این بخش ابتدا به کل قطعات مجموعه آزمایشگاهی آنتن که به‌شکل مستقیم به کارکرد آنتن‌های شیپوری مربوط هستند، به شرح جدول ۲۷ اشاره می‌شود.

جدول ۲۷: قطعاتی از مجموعه که به‌شکل مستقیم به کارکرد آنتن‌های شیپوری مربوط هستند

| ردیف | نام قطعه | کد قطعه |
|------|-------------------|---------|
| ۱ | موجبر ۲۰۰mm | ۱۵۱۱ |
| ۲ | ترانسفورمر سه پیچ | ۱۵۴۰ |
| ۳ | پیچ و مهره | ۱۹۳۰ |

در ادامه، نحوه اتصال قطعات مورد اشاره در جدول ۲۷ به آنتن‌های شیپوری مجموعه آزمایشگاهی آنتن، مورد اشاره قرار می‌گیرد:

- آنتن‌های شیپوری در هر دو سمت فرستنده و گیرنده با استفاده از موجبرهای مجموعه و ترانسفورمر سه پیچ، کاربرد دارند. جهت وصل نمودن آنتن به موجبر نیز از پیچ و مهره‌های موجود در مجموعه استفاده می‌شود.
 - در سمت فرستنده، آنتن شیپوری به موجبر وصل می‌شود. موجبر نیز به مبدل کواکسیال به موجبری وصل شده که از طریق کابل فرکانس بالا به سوکت N-Type مولد سیگنال مایکروویو وصل می‌شود.
 - در سمت گیرنده، آنتن شیپوری به موجبر وصل می‌شود. موجبر نیز به مبدل کواکسیال به موجبری وصل شده که خروجی آن از طریق آشکارساز کواکسیالی و کابل فرکانس پایین، به سوکت BNC پایه چرخان وصل می‌شود.
 - ترانسفورمر سه پیچ که جهت تطبیق امپدانس مورد استفاده قرار می‌گیرد با اتصال به موجبر به آنتن شیپوری وصل می‌گردد.
- به‌عنوان نمونه، در شکل ۹۶، اتصال آنتن شیپوری به ترانسفورمر سه پیچ با استفاده از موجبر 200mm مشاهده می‌شود.



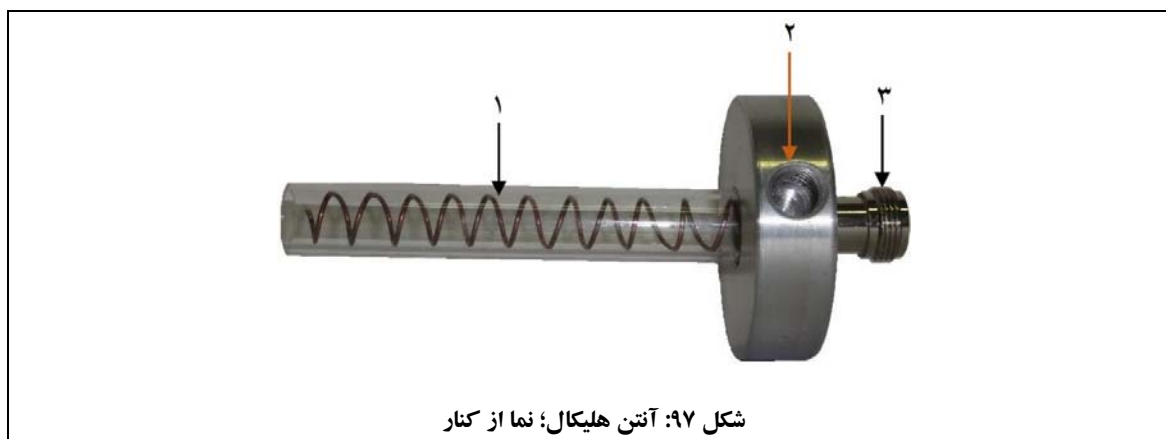
شکل ۹۶: اتصال آنتن شیپوری به ترانسفورمر سه پیچ

- آنتن شیپوری به‌شکل مستقل روی پایه‌ها نصب نمی‌شود بلکه با استفاده از موجبرهایی که به آن متصل شده‌اند روی پایه‌ها قرار می‌گیرد. به‌عنوان نمونه، در شکل ۹۶، نحوه نصب آنتن شیپوری روی پایه‌های نگهدارنده با استفاده از موجبر 200mm مشاهده می‌شود.

پ ۱-۴-۲- آنتن‌های هلیکال (کد قطعه: ۱۴۲۱ و ۱۴۲۲)

مجموعه آزمایشگاهی آنتن دارای دو آنتن هلیکال راستگرد و یک آنتن هلیکال چپگرد می‌باشد.

آنتن هلیکال در شکل ۹۷ مشاهده می‌شود.



شکل ۹۷: آنتن هلیکال؛ نما از کنار

اعداد شکل ۹۷ به ترتیب، به موارد زیر اشاره دارند:

۱. تشعشعگر آنتن؛
۲. محل نصب روی میله فلزی؛
۳. سوکت N-Type.

۱- معرفی

در بین تمامی آنتن‌های دارای پلاریزاسیون دایروی، آنتن هلیکال پر کاربردترین آنها برای مقاصد کمک آموزشی است که این مسئله ناشی از هندسه بسیار ساده آن است.

۲- مشخصات فنی

مشخصات فنی آنتن‌های هلیکال، مطابق جدول ۲۸ می‌باشد.

جدول ۲۸: مشخصات فنی آنتن‌های هلیکال

| ویژگی‌ها | آنتن هلیکال |
|---------------|--------------------|
| فرکانس کاری | 9.6GHz |
| ابعاد (W×L×H) | 5.3cm×12.3cm×5.3cm |
| نوع کاتکتور | N-Type |

۳- روش کار

در این بخش ابتدا به کل قطعات مجموعه آزمایشگاهی آنتن که به شکل مستقیم به کارکرد آنتن‌های هلیکال مربوط هستند، به شرح جدول ۲۹ اشاره می‌شود.

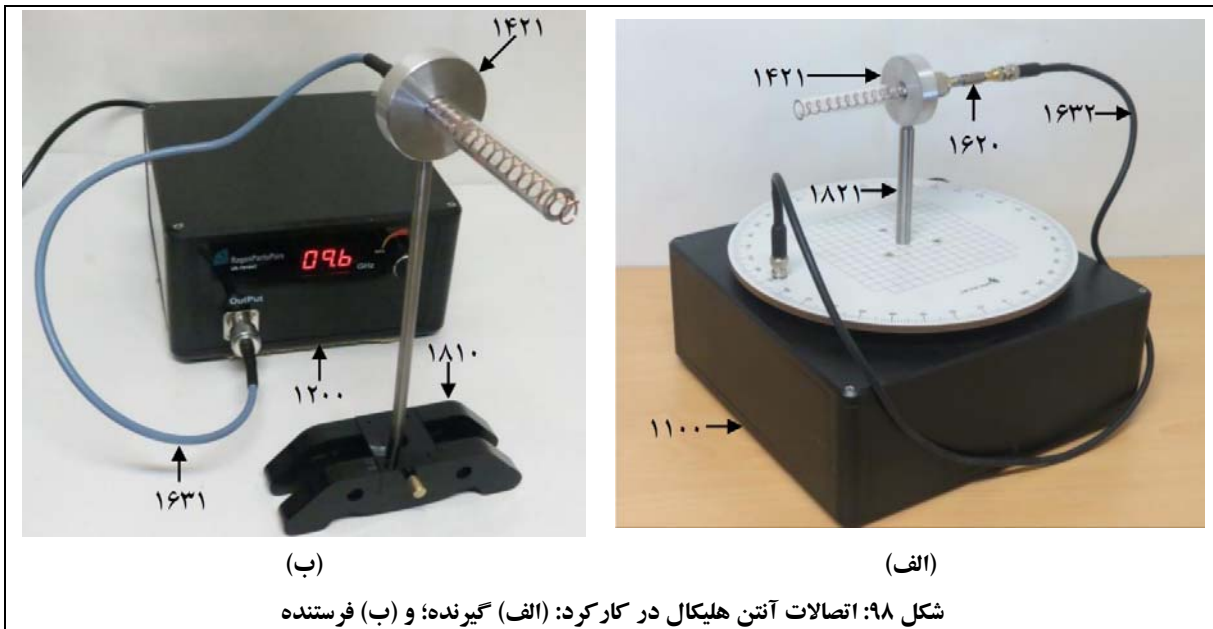
جدول ۲۹: قطعاتی از مجموعه که به شکل مستقیم به کارکرد آنتن‌های هلیکال مربوط هستند

| ردیف | نام قطعه | کد قطعه |
|------|--------------------|---------|
| ۱ | آشکارساز کواکسیالی | ۱۶۲۰ |
| ۲ | کابل فرکانس بالا | ۱۶۳۱ |
| ۳ | میله فلزی | ۱۸۲۱ |

در ادامه، نحوه اتصال قطعات مورد اشاره در جدول ۲۹ به آنتن‌های هلیکال مورد اشاره قرار می‌گیرد:

- آنتن‌های هلیکال در هر دو سمت فرستنده و گیرنده کاربرد دارند. در سمت گیرنده، مطابق شکل ۹۸ (الف)، آنتن هلیکال به آشکارساز کواکسیالی وصل می‌شود که از طریق کابل فرکانس پایین، به سوکت BNC پایه چرخان وصل می‌شود.

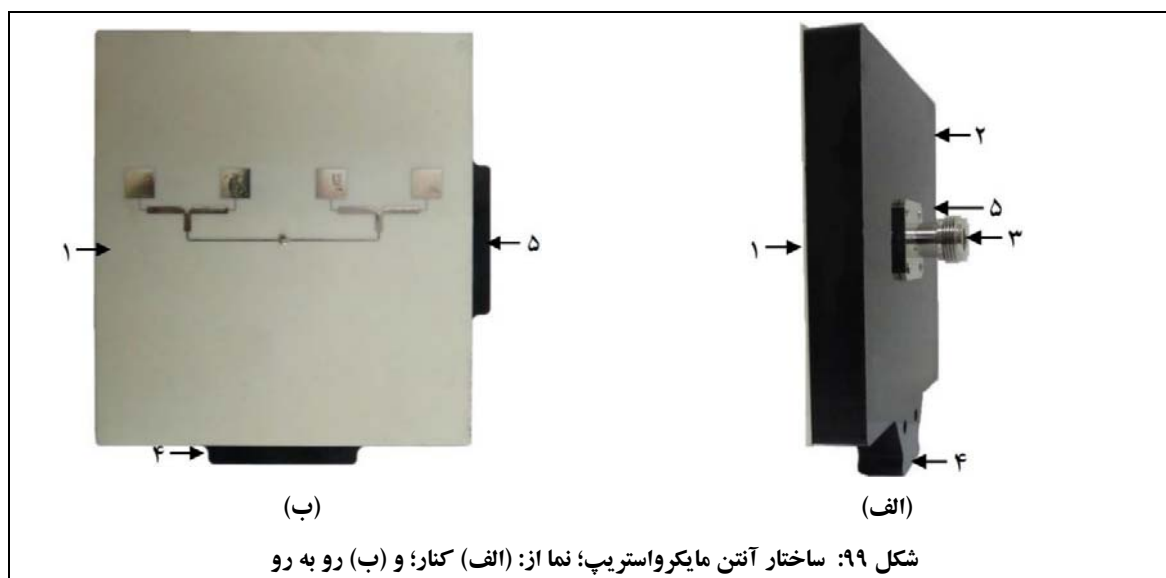
در سمت فرستنده، مطابق شکل ۹۸ (ب)، آنتن هلیکال با استفاده از کابل فرکانس بالا به سوکت N-Type مولد سیگنال مایکروویو وصل می‌گردد.



- همانطور که در شکل ۹۸ (الف) مشاهده می‌شود، جهت نصب آنتن هلیکال در کارکرد گیرنده، از یک میله فلزی 80^{mm} که سمت دیگرش در محل نصب میله فلزی روی پایه چرخان پیچانده می‌شود، استفاده می‌گردد.
- در کارکرد فرستنده نیز مطابق شکل ۹۸ (ب)، از یک میله فلزی 250^{mm} که روی یک پایه نگهدارنده نصب شده‌است، استفاده می‌شود.

پ ۱-۴-۳- آنتن‌های میکرواستریپ (کد قطعه: ۱۴۳۱ تا ۱۴۳۹)

ساختار آنتن میکرواستریپ در شکل ۹۹ مشاهده می‌شود.



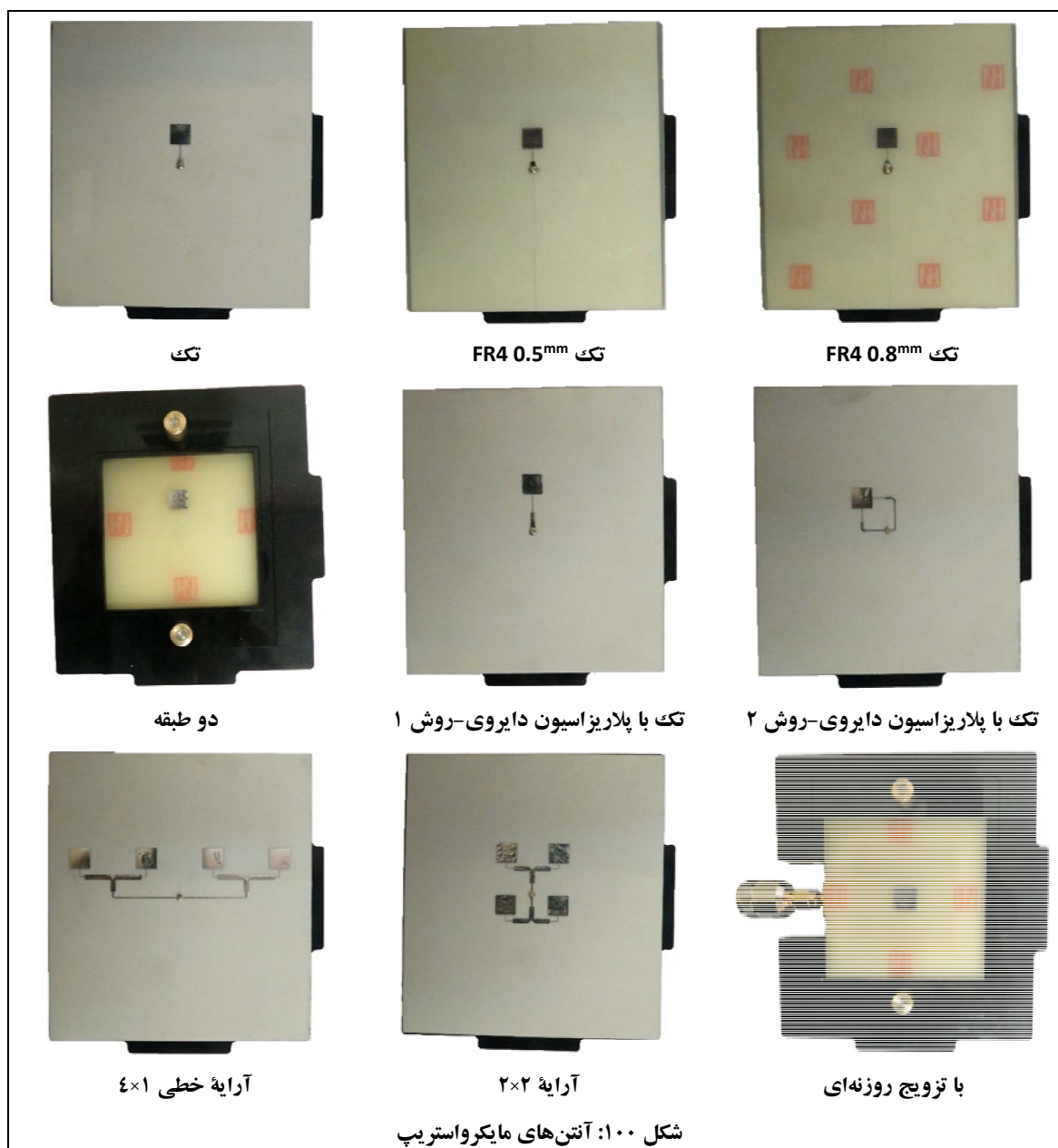
اعداد شکل ۹۹ به ترتیب، به موارد زیر اشاره دارند:

۱. صفحه آنتن؛
۲. صفحه پشتیبان آنتن؛
۳. سوکت N-Type؛
۴. محل نصب روی میله فلزی جهت رسم الگوی تشعشی در صفحه H؛
۵. محل نصب روی میله فلزی جهت رسم الگوی تشعشی در صفحه E.

همانطور که در شکل ۱۰۰ مشاهده می‌شود، مجموعه آزمایشگاهی آنتن دارای نه آنتن میکرواستریپ به شرح زیر می‌باشد:

- آنتن میکرواستریپ تک؛
- آنتن میکرواستریپ تک با پلاریزاسیون دایروی-روش ۲؛
- آنتن میکرواستریپ تک $FR4\ 0.5^{mm}$ ؛
- آنتن میکرواستریپ تک $FR4\ 0.8^{mm}$ ؛
- آنتن میکرواستریپ خطی 4×1 ؛
- آنتن میکرواستریپ آرایه 2×2 ؛

- آنتن مایکرواستریپ دو طبقه؛
- آنتن مایکرواستریپ تک با پلاریزاسیون دایروی-روش ۱؛



۱- معرفی

آنتن‌های میکرواستریپ به دلیل ویژگی‌هایی از جمله وزن کم، حجم کم و سادگی ساخت آنها به کمک تکنولوژی مدارهای چاپی، کاربردهای فراوانی دارند.

۲- مشخصات فنی

مشخصات فنی آنتن‌های میکرواستریپ، مطابق جدول ۳۰ می‌باشد.

جدول ۳۰: مشخصات فنی آنتن‌های میکرواستریپ

| ویژگی‌ها | | | | آنتن |
|---|-----------------------|-------------------------|--------------------|------------------------------|
| ابعاد صفحه (W×L×H) | نوع substrate | تغذیه | فرکانس کاری | |
| 10 ^{cm} ×3.3 ^{cm} ×13 ^{cm} | Rogers | N-Type, 50 ^Ω | 9.6 ^{GHz} | Single |
| | FR4 0.5 ^{mm} | | | Single FR4 0.5 ^{mm} |
| | FR4 0.8 ^{mm} | | | Single FR4 0.8 ^{mm} |
| | Rogers | Dual | | Single Circular |
| | | 2W Circular | | |
| | | 4×1 Array | | |
| | | 2×2 Array | | |
| | | Slot Coupled | | |

۳- روش کار

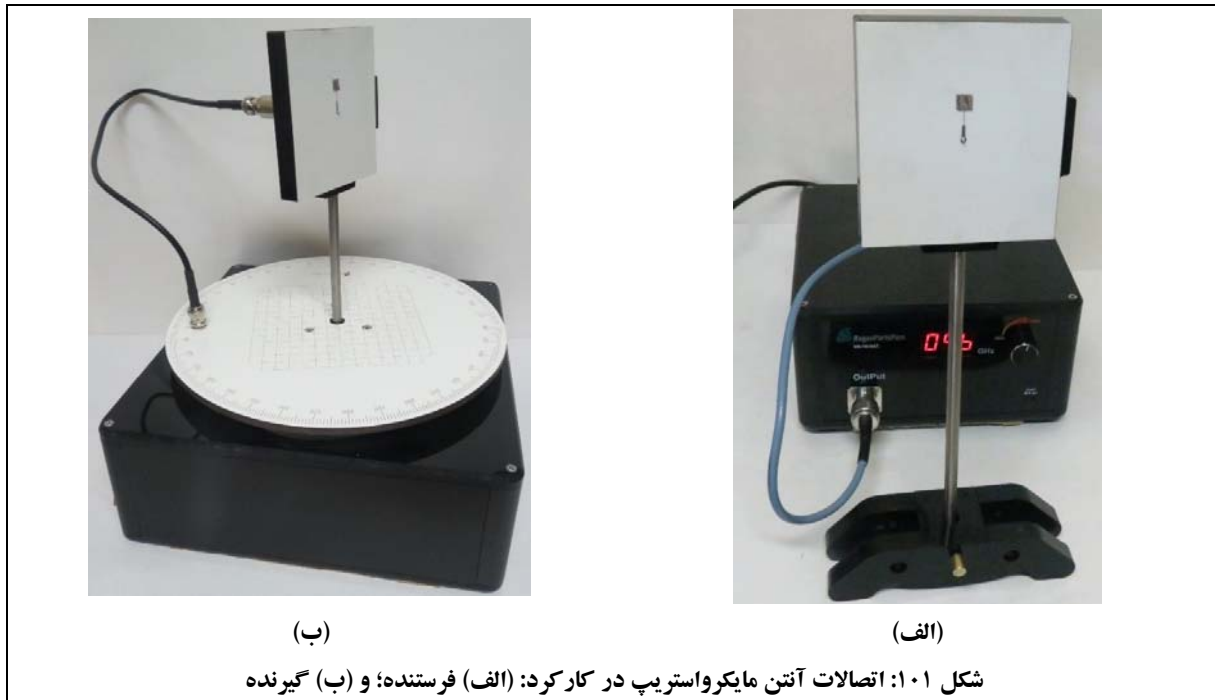
در این بخش ابتدا به کل قطعات مجموعه آزمایشگاهی آنتن که به شکل مستقیم به کارکرد آنتن‌های میکرواستریپ مربوط هستند، به شرح جدول ۳۱ اشاره می‌شود.

جدول ۳۱: قطعاتی از مجموعه که به شکل مستقیم به کارکرد آنتن‌های میکرواستریپ مربوط هستند

| ردیف | نام قطعه | کد قطعه |
|------|--------------------|---------|
| ۱ | آشکارساز کواکسیالی | ۱۶۲۰ |
| ۲ | کابل فرکانس بالا | ۱۶۳۱ |
| ۳ | میله فلزی | ۱۸۲۱ |

در ادامه، نحوه اتصال قطعات مورد اشاره در جدول ۳۱ به آنتن‌های میکرواستریپ مورد اشاره قرار می‌گیرد:

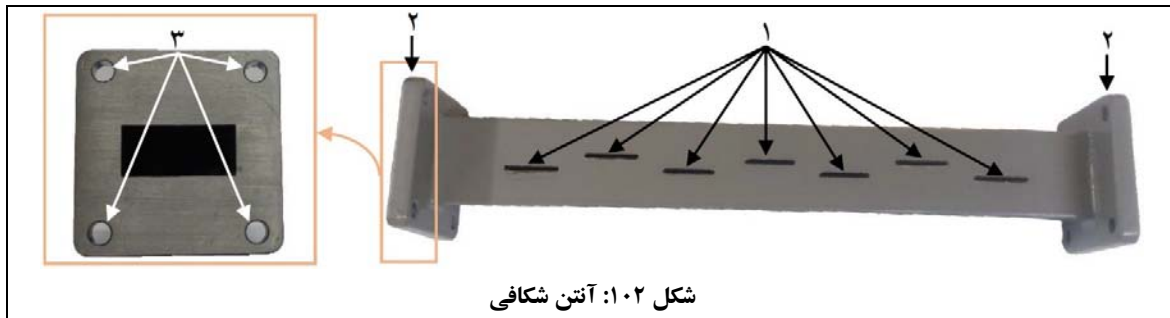
- آنتن‌های مایکرواستریپ در هر دو سمت فرستنده و گیرنده کاربرد دارند. در سمت فرستنده، مطابق شکل ۱۰۱ (الف)، آنتن مایکرواستریپ با استفاده کابل فرکانس بالا به سوکت N-Type مولد سیگنال مایکروویو وصل است. در سمت گیرنده، مطابق شکل ۱۰۱ (ب)، آنتن مایکرواستریپ به آشکارساز کواکسیالی وصل می‌شود که از طریق کابل فرکانس پایین، به سوکت BNC پایه چرخان وصل است.



- جهت نصب آنتن مایکرواستریپ در کارکرد فرستنده، مطابق شکل ۱۰۱ (الف) از یک میله فلزی 250mm که روی یک پایه نگهدارنده نصب شده است، استفاده می‌شود. در کارکرد گیرنده، مطابق شکل ۱۰۱ (ب)، از یک میله فلزی 80mm که سمت دیگرش در محل نصب میله فلزی روی پایه چرخان پیچیده می‌شود، استفاده می‌گردد.

پ ۱-۴-۴- آنتن شکافی (کد قطعه: ۱۴۴۰)

آنتن شکافی در شکل ۱۰۲ مشاهده می‌شود.



شکل ۱۰۲: آنتن شکافی

اعداد شکل ۱۰۲ به ترتیب، به موارد زیر اشاره دارند:

۱. شکاف‌ها؛
۲. فلنج؛
۳. جای پیچ M6.

۱- معرفی

آنتن شکافی، یک موجبر است که شکاف‌هایی در آن ایجاد شده‌اند که تشکیل تشعشع‌گرهای کوپل شده با یکدیگر را می‌دهند. بنابراین، یک آنتن شکافی را می‌توان مشابه یک آنتن خطی آرایه‌ای در نظر گرفت.

۲- مشخصات فنی

مشخصات فنی آنتن شکافی، مطابق جدول ۳۲ می‌باشد.

جدول ۳۲: مشخصات فنی آنتن شکافی

| | |
|---------------|------------------|
| فرکانس نوسان | 9.6GHz |
| تعداد شکاف‌ها | هفت عدد |
| نوع موجبر | WR90 |
| ابعاد (W×L×H) | 4.1cm×20cm×4.1cm |

۳- روش کار

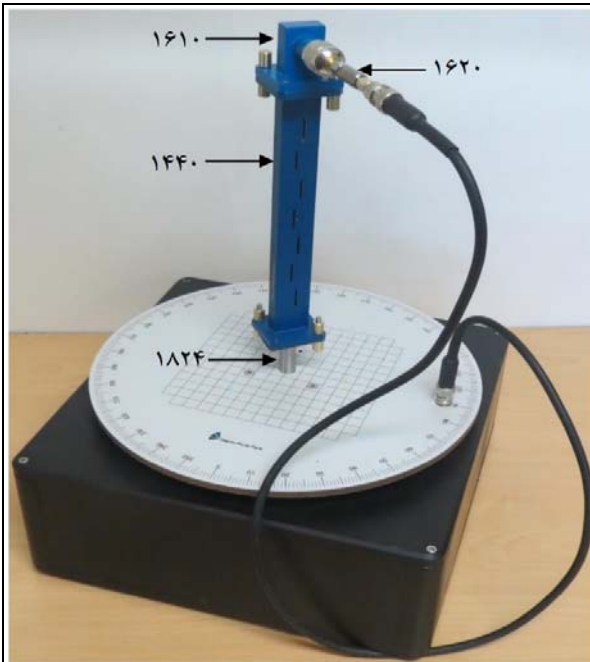
در این بخش ابتدا به کل قطعات مجموعه آزمایشگاهی آنتن که به شکل مستقیم به کارکرد آنتن شکافی مربوط هستند، به شرح جدول ۳۳ اشاره می‌شود.

جدول ۳۳: قطعاتی از مجموعه که به شکل مستقیم به کارکرد آنتن شکافی مربوط هستند

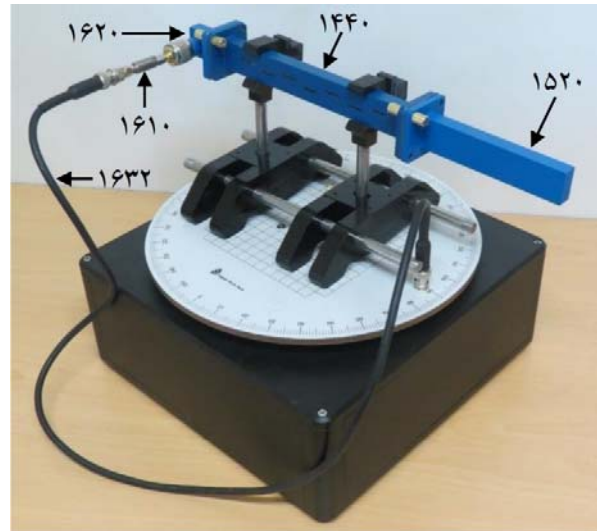
| ردیف | نام قطعه | کد قطعه |
|------|-------------------------|---------|
| ۱ | بار تطبیق موجبری | ۱۵۲۰ |
| ۲ | مبدل کواکسیال به موجبری | ۱۶۱۰ |
| ۳ | روزنه موج کوچک | ۱۷۲۲ |
| ۴ | میله فلزی | ۱۸۲۱ |
| ۵ | میله فلزی اتصال کوتاه | ۱۸۲۲ |
| ۶ | گیره نگهدارنده موجبر | ۱۸۳۰ |
| ۷ | فویل مسی چسب‌دار | ۱۹۱۰ |
| ۸ | پیچ و مهره | ۱۹۳۰ |

در ادامه، نحوه اتصال قطعات مورد اشاره در جدول ۳۳ به آنتن شکافی مورد اشاره قرار می‌گیرد:

- مبدل کواکسیال به موجبری جهت تبدیل موج دریافتی آنتن، مطابق شکل ۱۰۳ با استفاده از دو پیچ و مهره به آنتن شکافی متصل می‌شود. لازم است آشکارساز کواکسیالی نیز به مبدل کواکسیال به موجبری متصل شود و خروجی آن با استفاده از کابل فرکانس پایین به سوکت BNC پایه چرخان متصل گردد.
- جهت رسم الگوی آنتن شکافی، لازم است انتهای آنتن را اتصال کوتاه نمود. به همین منظور:
 - جهت رسم الگوی صفحه H مطابق شکل ۱۰۳ (الف)، از یک صفحه اتصال کوتاه (یکی از روزنه‌های موج کوچک که در مجموعه آزمایشگاهی آنتن قرار دارد) و بار تطبیق موجبری، استفاده می‌گردد.
 - همچنین جهت نصب آنتن روی پایه چرخان، مطابق شکل ۱۰۳ (الف)، از دو پایه نگهدارنده، دو میله فلزی 80^{mm} و دو گیره نگهدارنده موجبر، استفاده می‌گردد.
 - جهت رسم الگوی صفحه E مطابق شکل ۱۰۳ (ب)، از میله فلزی اتصال کوتاه، استفاده می‌گردد.
 - همچنین جهت نصب آنتن روی پایه چرخان، مطابق شکل ۱۰۳ (ب)، میله فلزی اتصال کوتاه در محل نصب میله فلزی روی پایه چرخان، قرار داده می‌شود.



(ب)



(الف)

شکل ۱۰۳: نحوه اتصال آنتن شکافی جهت رسم الگوی صفحات: (الف) H؛ و (ب) E

- از فویل مسی چسب‌دار، جهت پوشاندن شکاف‌های آنتن شکافی، استفاده می‌گردد. به‌عنوان نمونه، در شکل ۱۰۴، روزنه وسطی آنتن پوشانده شده‌است.



شکل ۱۰۴: پوشاندن شکاف (وسط) آنتن شکافی با فویل مسی چسب‌دار

پ ۱-۴-۵- مجموعه آنتن‌های سیمی (کد قطعه: ۱۴۵۰)

مجموعه آزمایشگاهی آنتن دارای آنتن‌های سیمی به شرح زیر می‌باشد:

- آنتن‌های دایپل:

- بدون نگهدارنده مخصوص و به ابعاد: $۸/۲$ ، ۸ ، $۱,۵۸$ ، $۲,۵۸$ و $۴,۵۸$ ؛
- با نگهدارنده مخصوص.
- آنتن‌های یاگی-یودا:
 - دارای یک رفلکتور و بدون دایرکتور؛
 - دارای یک دایرکتور و بدون رفلکتور؛
 - دارای سه عنصر (R-DIP-D)؛
 - دارای شش عنصر (R-DIP-4D).

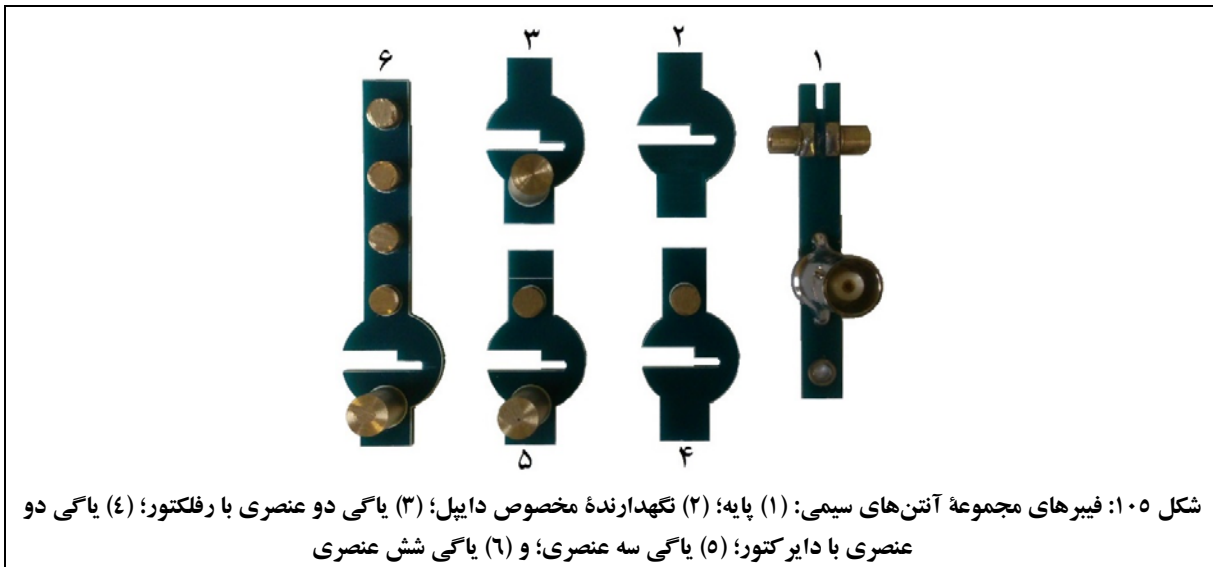
۱- معرفی

مجموعه آنتن‌های سیمی موجود در مجموعه آزمایشگاهی آنتن، به شکل ماژولار ارائه شده است. به این ترتیب که بر خلاف سایر آنتن‌های موجود در مجموعه آزمایشگاهی آنتن که به شکل کامل در مجموعه قرار دارند، در مجموعه آنتن‌های سیمی، چند ماژول پایه قرار دارد که با ترکیب مناسب آنها، انواع آنتن‌های دایپل و یاگی-یودای تعریف شده برای مجموعه آزمایشگاهی آنتن، قابل ساخت است.

ماژول‌های شکل دهنده آنتن‌های سیمی عبارتند از:

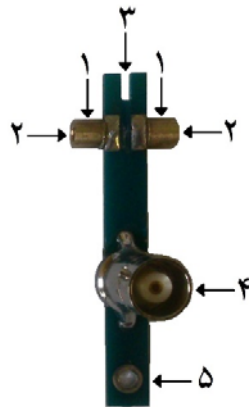
- فیبرهای شکل دهنده آنتن؛
- میله‌های فلزی در ابعاد مختلف؛
- میله‌های نگهدارنده آنتن.

مطابق شکل ۱۰۵، شش فیبر در مجموعه آنتن‌های سیمی قرار دارد.



فیبرهای موجود در شکل ۱۰۵ عبارتند از:

- فیبر پایه (شماره ۱ در شکل ۱۰۵) جهت ساخت تمام آنتن‌های سیمی تعریف شده برای مجموعه آزمایشگاهی آنتن، مورد استفاده قرار می‌گیرد. به این ترتیب که:
 - همانطور که در شکل ۱۰۵ (شماره ۱) مشاهده می‌شود، دو میله فلزی به طول $\lambda/4$ به شکل پیش ساخته روی فیبر پایه قرار دارد (شماره ۱ در شکل ۱۰۶) و این فیبر به تنهایی یک آنتن دایپل نیم موج ($\lambda/2$) است.
 - برای ساخت آنتن‌های دایپل در سایر ابعاد (λ ، 1.5λ ، 2.5λ و 4.5λ)، مطابق شکل ۱۰۶، میله‌های فلزی روی سوراخ موجود در سطح خارجی میله‌های $\lambda/4$ (شماره ۲ در شکل ۱۰۶)، که به شکل پیش ساخته روی فیبر پایه نصب شده‌اند، پیچانده می‌شوند.
 - در این وضعیت توجه شود که طول میله‌های $\lambda/4$ موجود روی فیبر پایه نیز بخشی از طول آنتن نهایی است.
 - برای ساخت سایر آنتن‌های سیمی، مطابق توضیحات بخش‌های بعد، لازم است یکی از پنج فیبر دیگر، در شیار مخصوص فیبر (شماره ۳ در شکل ۱۰۶) قرار داده شود.
- همچنین این فیبر دارای سوکت BNC (شماره ۴ در شکل ۱۰۶) جهت اتصال به سوکت BNC پایه چرخان با استفاده از کابل فرکانس پایین و محل نصب روی پایه نگهدارنده آنتن (شماره ۵ در شکل ۱۰۶) است.
- در پشت فیبر (سمتی که سوکت BNC قرار ندارد) و میان دو میله فلزی $\lambda/4$ موجود روی فیبر پایه، یک عدد دیود آشکارساز نصب شده است. به این ترتیب در زمان استفاده از آنتن‌های سیمی، نیاز به استفاده از آشکارساز کواکسیالی موجود در مجموعه آزمایشگاهی آنتن وجود ندارد.



۱: میله‌های به طول $\lambda/4$ (نصب شده به شکل پیش ساخته روی فیبر پایه)؛

۲: محل نصب میله‌های فلزی جهت ساخت سایر طول‌های آنتن دایپل؛

۳: شیار مخصوص نصب سایر فیبرها؛

۴: سوکت BNC؛

۵: محل نصب روی پایه نگهدارنده آنتن.

شکل ۱۰۶: فیبر پایه مجموعه آنتن‌های سیمی

- فیبر مخصوص نگهدارنده دایپل (شماره ۲ در شکل ۱۰۵) جهت ساخت آنتن دایپل با نگهدارنده مخصوص، مورد استفاده قرار می‌گیرد.
- فیبر یاگی دو عنصری با رفلکتور (شماره ۳ در شکل ۱۰۵) جهت ساخت آنتن یاگی-یودا دارای یک رفلکتور و بدون دایرکتور (دارای دو عنصر)، مورد استفاده قرار می‌گیرد.
توجه شود که رفلکتورها روی فیبر نصب شده‌اند.
- فیبر یاگی دو عنصری با دایرکتور (شماره ۴ در شکل ۱۰۵) جهت ساخت آنتن یاگی-یودا دارای یک دایرکتور و بدون رفلکتور (دارای دو عنصر)، مورد استفاده قرار می‌گیرد.
توجه شود که دایرکتورها روی فیبر نصب شده‌اند.
- فیبر یاگی سه عنصری (شماره ۵ در شکل ۱۰۵) جهت ساخت آنتن یاگی-یودا دارای سه عنصر (R-DIP-D)، مورد استفاده قرار می‌گیرد.
توجه شود که دایرکتورها و رفلکتورها روی فیبر نصب شده‌اند.
- فیبر یاگی شش عنصری (شماره ۶ در شکل ۱۰۵) جهت ساخت آنتن یاگی-یودا دارای شش عنصر (R-DIP-4D)، مورد استفاده قرار می‌گیرد.
توجه شود که دایرکتورها و رفلکتورها روی فیبر نصب شده‌اند.

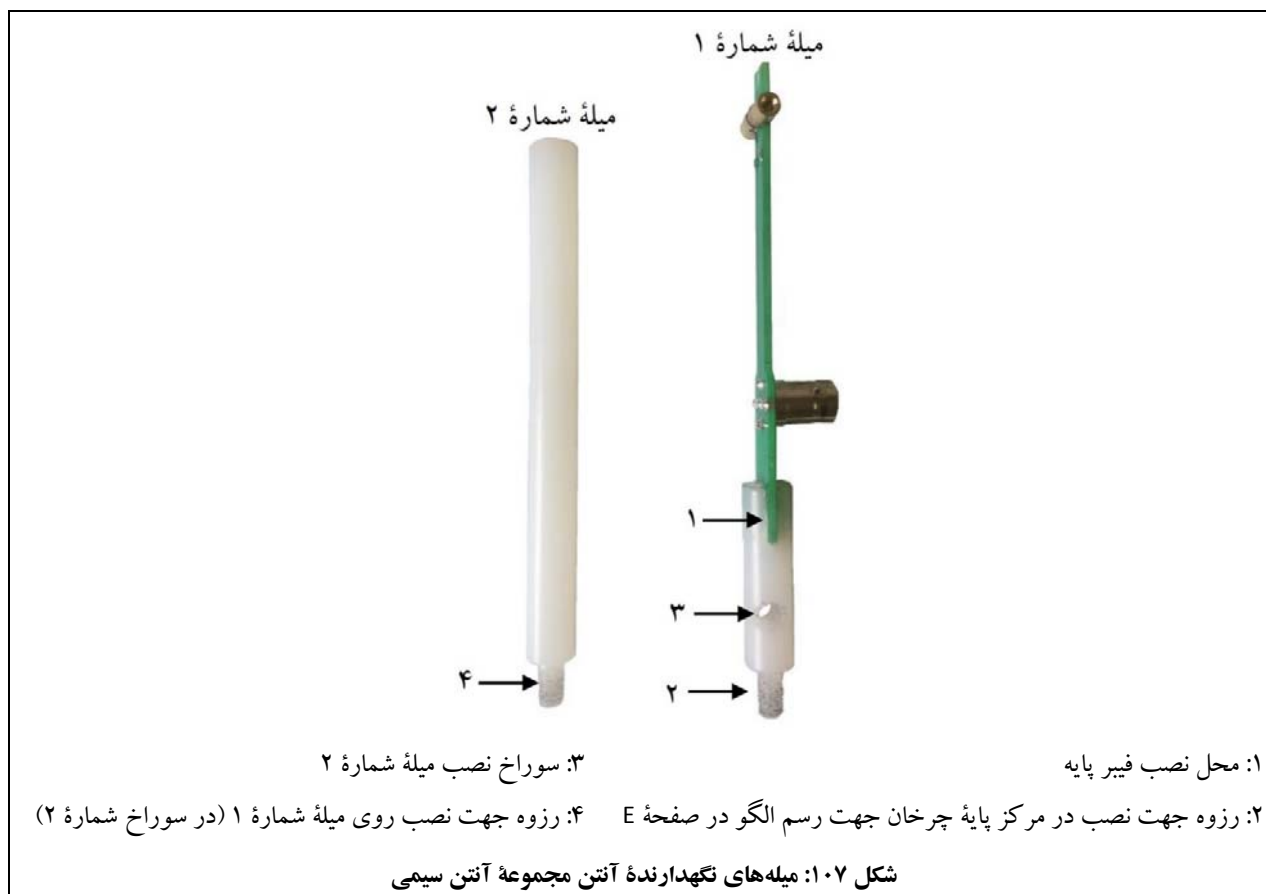
میله‌های فلزی موجود در مجموعه آنتن‌های سیمی، مطابق جدول ۳۴ می‌باشد.

جدول ۳۴: مشخصات میله‌های فلزی موجود در مجموعه آنتن‌های سیمی

| نمایی از میله | کاربرد | تعداد | طول | ردیف |
|---|--|-------|-------------|------|
|  | جهت ساخت آنتن نیم موج ($\lambda/2$) (به شکل پیش ساخته روی فیبر پایه نصب شده‌اند) | ۲ | $\lambda/4$ | ۱ |
|  | جهت ساخت آنتن تمام موج (λ) در ترکیب با ردیف ۱ | | $\lambda/4$ | ۲ |
|  | جهت ساخت آنتن ۱٫۵ طول موج ($1,5\lambda$) در ترکیب با ردیف ۱ | | $\lambda/2$ | ۳ |
|  | جهت ساخت آنتن ۲٫۵ طول موج ($2,5\lambda$) در ترکیب با ردیف ۱ | | λ | ۴ |
|  | جهت ساخت آنتن ۴٫۵ طول موج ($4,5\lambda$) در ترکیب با ردیف ۱ | | 2λ | ۵ |

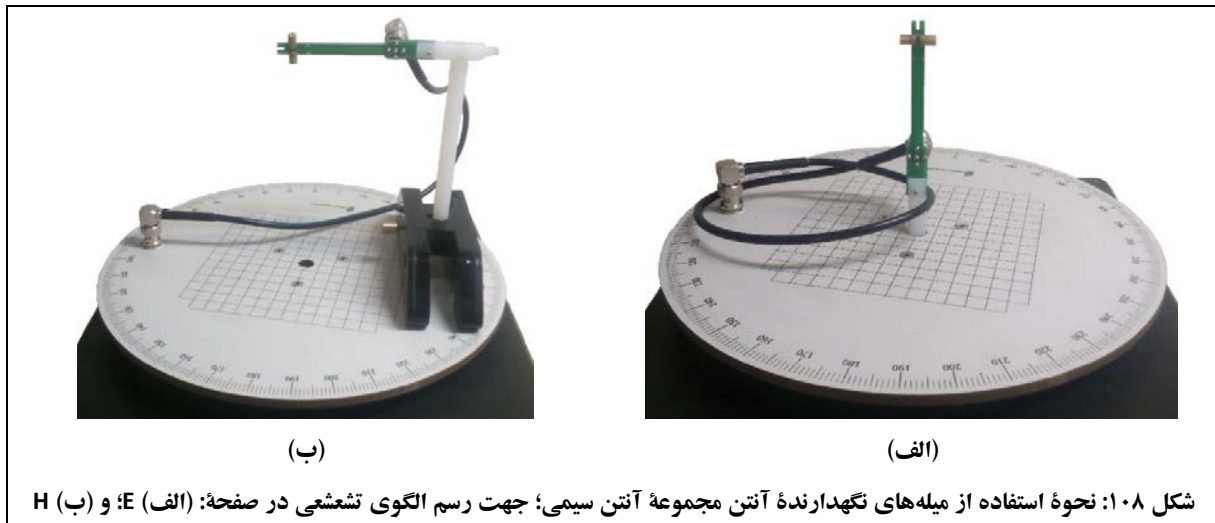
علاوه بر این، شش میله رفلکتور و دوازده میله دایرکتور نیز در مجموعه آنتن‌های سیمی قرار دارد که مطابق شکل ۱۰۵، به شکل پیش ساخته روی فیبرهای مجموعه آنتن‌های سیمی، نصب شده‌اند: فیبر یاگی دو عنصری با دایرکتور (دارای دو دایرکتور)، فیبر یاگی دو عنصری با رفلکتور (دارای دو رفلکتور)، فیبر یاگی سه عنصری (دارای دو دایرکتور و دو رفلکتور) و فیبر یاگی شش عنصری (دارای دو رفلکتور و هشت دایرکتور).

مطابق شکل ۱۰۷، دو میله از جنس پلی‌آمید، در مجموعه آنتن‌های سیمی قرار دارد. که برای نصب آنتن‌های سیمی در سمت گیرنده، به کار می‌روند.



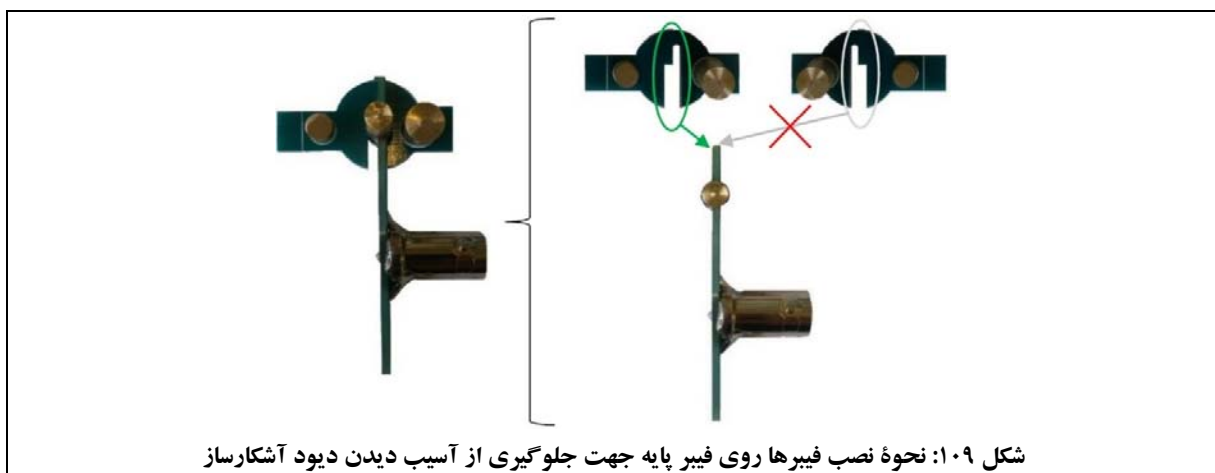
نحوه استفاده از این میله‌ها به این ترتیب است:

- جهت رسم الگوی تشعشی در صفحه E، مطابق شکل ۱۰۸ (الف)، میلۀ شماره ۱ در مرکز پایه چرخان نصب می‌شود.
- جهت رسم الگوی تشعشی در صفحه H، مطابق شکل ۱۰۸ (ب)، میلۀ شماره ۱ روی میلۀ شماره ۲ نصب می‌شود و میلۀ شماره ۲ با استفاده از یک پایه نگهدارنده روی پایه چرخان قرار می‌گیرد.



تذکر: هنگام نصب فیبرها و میله‌ها روی فیبر پایه، توجه شود که به نگهدارنده‌های آنتن، دیود آشکارساز و فیبر مدار چاپی، آسیبی نرسد.

در خصوص جلوگیری از آسیب دیدن دیود آشکارساز توجه شود که فیبرهای شکل دهنده آنتن، مطابق شکل ۱۰۹، دارای دو پهنای متفاوت شیار می‌باشند. در ضمن، همانطور که توضیح داده شد، دیود آشکارساز میان دو میله نصب شده روی فیبر پایه و در پشت فیبر پایه (سمت مخالف نصب سوکت BNC)، مونتاژ شده است. به این ترتیب، جهت قرار دادن فیبرها روی فیبر پایه، حتماً سمت پهن تر شیار به سمت پشت فیبر پایه باشد؛ در غیر این صورت احتمال آسیب دیدن دیود آشکارساز وجود دارد.



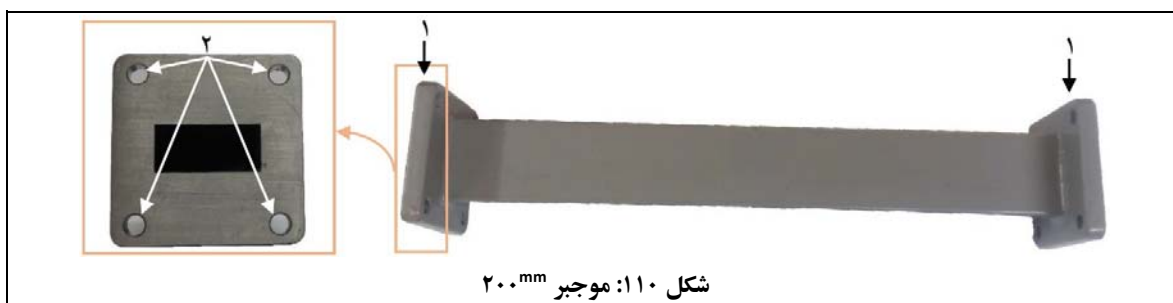
پ ۱-۵- موجبرهای مجموعه

موجبرهای موجود در مجموعه آزمایشگاهی آنتن عبارتند از:

- موجبر 200mm ؛
- بار تطبیق موجبری؛
- ترانسفورمر سه پیچ.

پ ۱-۵-۱- موجبر 200mm (کد قطعه: ۱۵۱۱)

موجبر 200mm در شکل ۱۱۰ مشاهده می‌شود.



شکل ۱۱۰: موجبر 200mm

اعداد شکل ۱۱۰ به ترتیب، به موارد زیر اشاره دارند:

۱. فلنج؛
۲. جای پیچ M6.

۱- معرفی

موجبرها جهت هدایت موج مورد استفاده قرار می‌گیرند.

۲- مشخصات فنی

مشخصات فنی موجبر 200mm ، مطابق جدول ۳۵ می‌باشد.

جدول ۳۵: مشخصات فنی موجبر 200mm

| | |
|---|---------------|
| WR90 | نوع |
| $3.6\text{cm} \times 20\text{cm} \times 3.6\text{cm}$ | ابعاد (W×L×H) |
| مس/آلومینیوم | جنس |

۳- روش کار

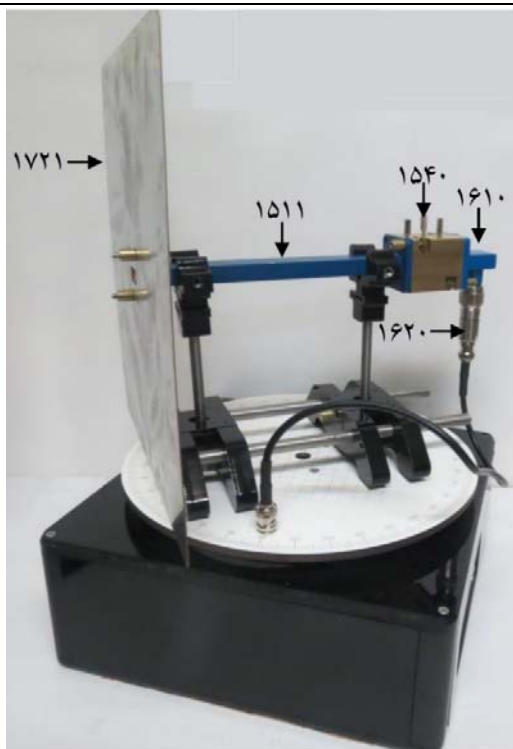
در این بخش ابتدا به کل قطعات مجموعه آزمایشگاهی آنتن که به شکل مستقیم به کارکرد موجبر 200mm مربوط هستند، به شرح جدول ۳۶ اشاره می‌شود.

جدول ۳۶: قطعاتی از مجموعه که به شکل مستقیم به کارکرد موجبر 200mm مربوط هستند

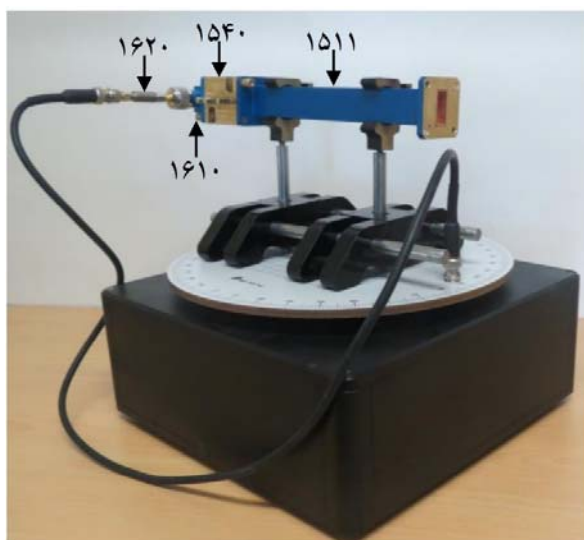
| ردیف | نام قطعه | کد قطعه |
|------|-------------------------|----------|
| ۱ | آنتن شیپوری | ۱۴۱۱ و ۲ |
| ۲ | ترانسفورمر سه پیچ | ۱۵۴۰ |
| ۳ | مبدل کواکسیال به موجبری | ۱۶۱۰ |
| ۴ | روزنه موج | ۱۷۲۱ و ۲ |
| ۵ | گیره نگهدارنده موجبر | ۱۸۳۰ |
| ۶ | پیچ و مهره | ۱۹۳۰ |

در ادامه، نحوه اتصال قطعات مورد اشاره در جدول ۳۶ به موجبر 200mm مورد اشاره قرار می‌گیرد:

- جهت وصل موجبر 200mm به آنتن شیپوری، مبدل کواکسیال به موجبری و روزنه‌های موج، از پیچ و مهره استفاده می‌شود.
- جهت وصل موجبر 200mm به ترانسفورمر سه پیچ، از رزوه‌های روی خود ترانسفورمر سه پیچ و پیچ‌های موجود در مجموعه، استفاده می‌شود.
- به‌عنوان نمونه، نحوه اتصال موجبر 200mm به آنتن شیپوری و ترانسفورمر سه پیچ در شکل ۱۱۱ مشاهده می‌شود.
- جهت نصب موجبر 200mm و دیگر قطعات متصل به آن روی سطح میز یا پایه چرخان، از گیره‌های نگهدارنده موجبر که با استفاده از میله‌های فلزی روی پایه‌های نگهدارنده نصب شده‌اند، استفاده می‌شود، به این شکل که:
 - جهت رسم الگوها در صفحه E مشابه شکل ۱۱۱ (الف)، عمل می‌شود.
 - جهت رسم الگوها در صفحه H مشابه شکل ۱۱۱ (ب)، عمل می‌شود.



(ب)

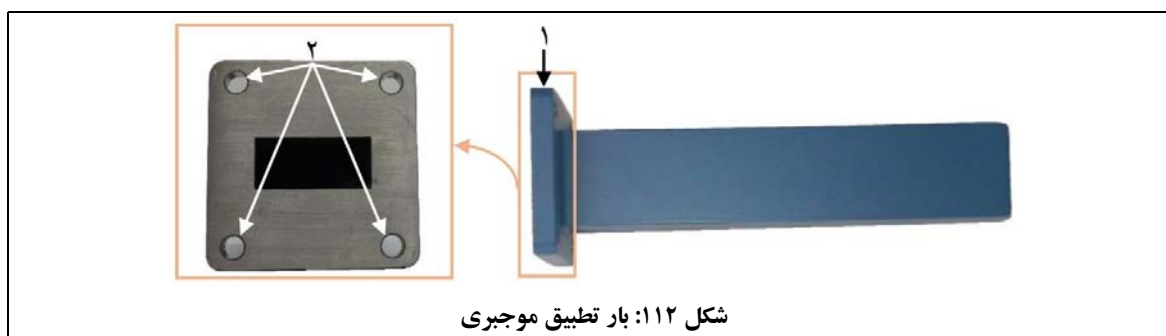


(الف)

شکل ۱۱۱: نحوه قرار گرفتن موجبر 200mm روی پایه‌های نگهدارنده، جهت اندازه‌گیری در صفحات: (الف) E؛ و (ب) H

پ ۱-۵-۲- بار تطبیق موجبری (کد قطعه: ۱۵۲۰)

بار تطبیق موجبری در شکل ۱۱۲ مشاهده می‌شود.



شکل ۱۱۲: بار تطبیق موجبری

اعداد شکل ۱۱۲ به ترتیب، به موارد زیر اشاره دارند:

۱. فلنج؛

۲. جای پیچ M6.

۱- معرفی

بار تطبیق موجبری جهت جذب امواج TE₁₀ در موجبر مستطیلی مورد استفاده قرار می‌گیرد. به این منظور، نیاز است که فاکتور انعکاس حداکثر امکان کوچک باشد (در حالت ایده‌آل: $r = 0$).

۲- مشخصات فنی

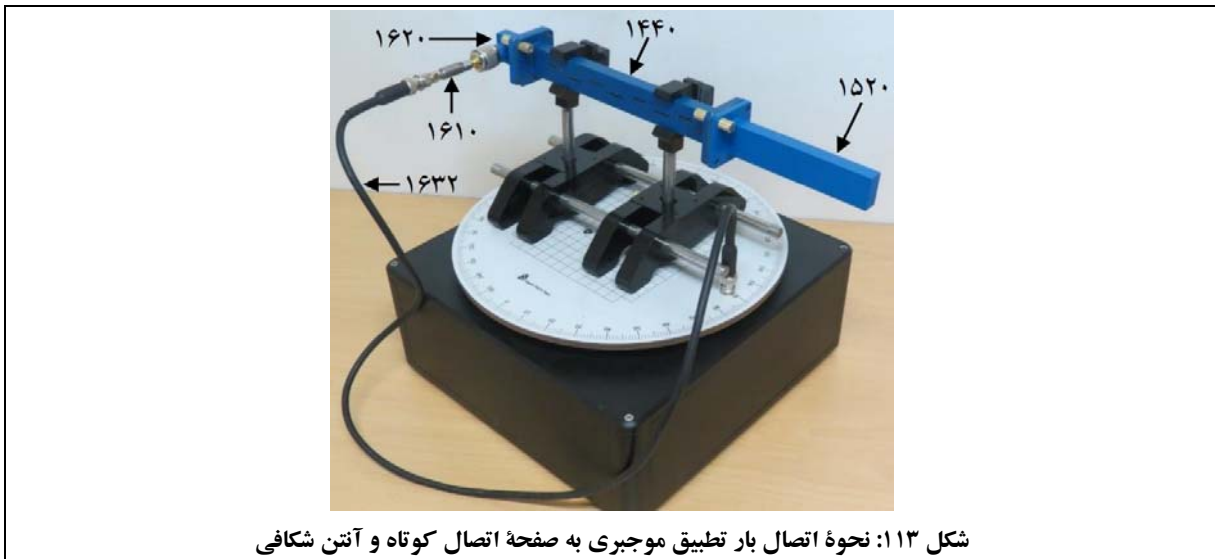
مشخصات فنی بار تطبیق موجبری، مطابق جدول ۳۷ می‌باشد.

جدول ۳۷: مشخصات فنی بار تطبیق موجبری

| | |
|--|---------------|
| WR90 | نوع موجبر |
| 3.6 ^{cm} ×12 ^{cm} ×3.6 ^{cm} | ابعاد (W×L×H) |
| مس/آلومینیوم | جنس |

۳- روش کار

نحوه اتصال بار تطبیق موجبری به سایر قطعات مجموعه آزمایشگاهی آنتن، مشابه مورد موجبر ۲۰۰^{mm} می‌باشد. به عنوان نمونه، نحوه اتصال بار تطبیق موجبری به صفحه اتصال کوتاه (یکی از روزه‌های موج کوچک موجود در مجموعه آزمایشگاهی آنتن) و آنتن شکافی، در شکل ۱۱۳ مشاهده می‌شود.

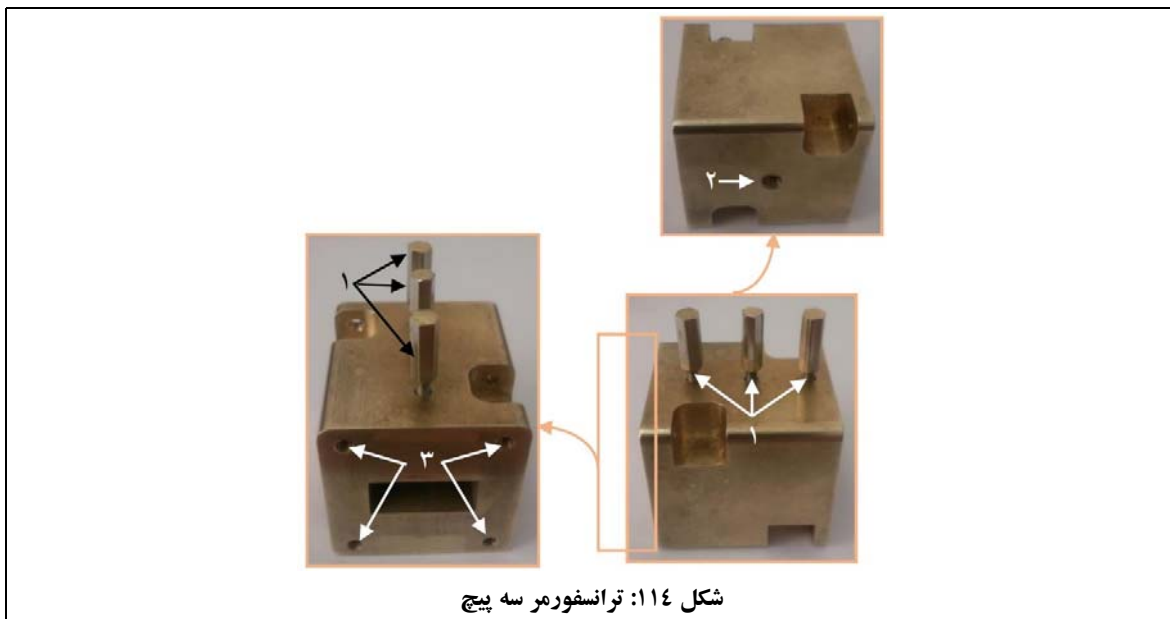


شکل ۱۱۳: نحوه اتصال بار تطبیق موجبری به صفحه اتصال کوتاه و آنتن شکافی

همانطور که در شکل ۱۱۳ مشاهده می‌شود، جهت نصب بار تطبیق موجبری و قطعات متصل به آن روی سطح میز یا پایه چرخان، نیازی به استفاده از پایه نگهدارنده، میله فلزی و گیره‌های نگهدارنده وجود ندارد و پایه برای نگهداشتن قطعه دیگری که بار تطبیق موجبری به آن وصل شده‌است، مورد استفاده قرار می‌گیرد.

پ ۱-۵-۳- ترانسفورمر سه پیچ (کد قطعه: ۱۵۳۰)

ترانسفورمر سه پیچ در شکل ۱۱۴ مشاهده می‌شود.



اعداد شکل ۱۱۴ به ترتیب، به موارد زیر اشاره دارند:

۱. پیچ‌ها؛
۲. محل نصب میله؛
۳. سوراخ رزوه‌دار M6 جهت اتصال به سایر قطعات با استفاده از پیچ‌های موجود در مجموعه.

۱- معرفی

ترانسفورمر سه پیچ جهت کاهش عدم تطبیق امپدانس مورد استفاده قرار می‌گیرد؛ برای مثال در زمان تطبیق آنتن‌های شیپوری با دیگر بارها. این قطعه همچنین جهت تولید انعکاس‌های دلخواه^{۶۷} دارای اهمیت است. تبدیل امپدانس با استفاده از پیچ‌های روی مبدل انجام می‌شود.

۲- مشخصات فنی

مشخصات فنی ترانسفورمر سه پیچ، مطابق جدول ۳۸ می‌باشد.

جدول ۳۸: مشخصات فنی ترانسفورمر سه پیچ

| | |
|---|-----------------------------|
| 8.2 – 12.4 ^{GHz} | بازه فرکانسی |
| WR90 | نوع موجبر |
| 3.6 ^{cm} ×4.5 ^{cm} ×3.6 ^{cm} | ابعاد (W×L×H) (بدون پیچ‌ها) |
| برنج | جنس |

۳- روش کار

اتصال ترانسفورمر سه پیچ به سایر قطعات مجموعه آزمایشگاهی آنتن، با استفاده از پیچ‌های موجود در مجموعه انجام می‌شود؛ به این ترتیب که دو پیچ به شکل ضربدری از سوراخ‌های قطعه دیگر رد شده و در سوراخ‌های روی ترانسفورمر سه پیچ که رزوه‌دار هستند، پیچانده می‌شوند. اشاره می‌شود که: (۱) برای این کار نیازی به استفاده از مهره‌های همراه پیچ‌ها وجود ندارد؛ و (۲) روی ترانسفورمر سه پیچ از سوراخ‌هایی استفاده شود که فضای پشت آنها خالی شده است. جهت نصب ترانسفورمر سه پیچ روی سطح میز یا پایه چرخان، می‌توان از یک پایه نگهدارنده و میله فلزی استفاده نمود اما با توجه به کاربرد این قطعه در اتصال به موجبر ۲۰۰^{mm}، نیازی به استفاده از میله فلزی و پایه نگهدارنده مستقل برای آن وجود ندارد و مجموعه متشکل از ترانسفورمر سه پیچ و موجبر ۲۰۰^{mm}، روی پایه‌های نگهدارنده موجبر نصب می‌شود.

^{۶۷} Arbitrary reflections

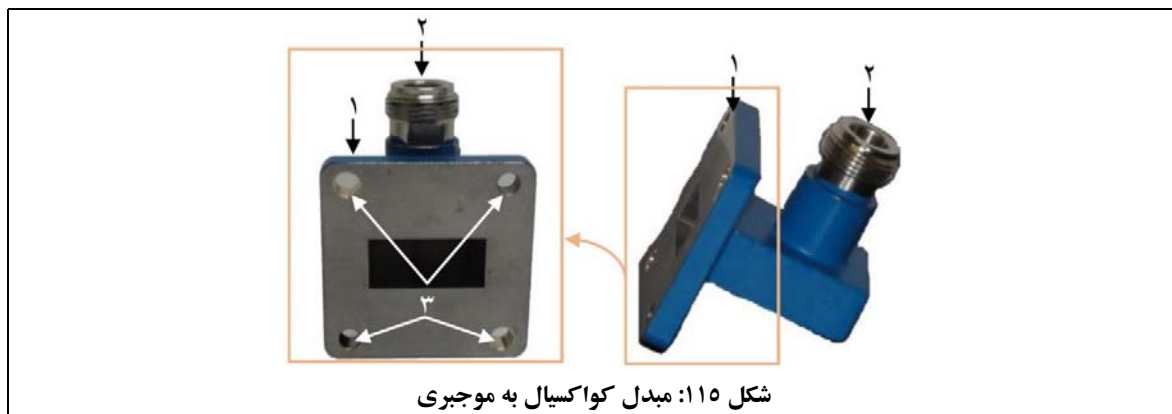
پ ۱-۶- مبدل‌ها و کابل‌های مجموعه

قطعات مورد اشاره در این بخش عبارتند از:

- مبدل کواکسیال به موجبری؛
- آشکارساز کواکسیالی؛
- کابل فرکانس بالا؛
- کابل فرکانس پایین؛
- کابل USB؛
- کابل تغذیه.

پ ۱-۶-۱- مبدل کواکسیال به موجبری (کد قطعه: ۱۶۱۰)

مبدل کواکسیال به موجبری در شکل ۱۱۵ مشاهده می‌شود.



شکل ۱۱۵: مبدل کواکسیال به موجبری

اعداد شکل ۱۱۵ به ترتیب، به موارد زیر اشاره دارند:

۱. فلنج؛
۲. سوکت N-Type؛
۳. جای پیچ M6.

۱- معرفی

مبدل کواکسیال به موجبری جهت تبدیل امواج از نوع موجبر به نوع کابل هم محور و بالعکس مورد استفاده قرار می‌گیرد.

۲- مشخصات فنی

مشخصات فنی مبدل کواکسیال به موجبری، مطابق جدول ۳۹ می‌باشد.

جدول ۳۹: مشخصات فنی مبدل کواکسیال به موجبری

| | |
|--------------------------------------|------------------|
| 8.2 – 12.4 ^{GHz} | بازه فرکانسی |
| WR90 | نوع موجبر |
| 1:1.25> | SWR |
| 3.6 ^{cm} ×3.6 ^{cm} | ابعاد فلنج (W×L) |

۳- روش کار

در این بخش ابتدا به کل قطعات مجموعه آزمایشگاهی آنتن که به شکل مستقیم به کارکرد مبدل کواکسیال به موجبری مربوط هستند، به شرح جدول ۴۰ اشاره می‌شود.

جدول ۴۰: قطعاتی از مجموعه که به شکل مستقیم به کارکرد مبدل کواکسیال به موجبری مربوط هستند

| ردیف | نام قطعه | کد قطعه |
|------|--------------------|----------|
| ۱ | آنتن شکافی | ۱۴۴۰ |
| ۲ | موجبر | ۱۵۱۱ و ۲ |
| ۳ | ترانسفورمر سه پیچ | ۱۵۴۰ |
| ۴ | آشکارساز کواکسیالی | ۱۶۲۰ |
| ۵ | کابل فرکانس بالا | ۱۶۳۱ |
| ۶ | پیچ و مهره | ۱۹۳۰ |

در ادامه، نحوه اتصال قطعات مورد اشاره در جدول ۴۰ به مبدل کواکسیال به موجبری مورد اشاره قرار می‌گیرد:

- جهت اتصال مبدل کواکسیال به موجبری به آنتن شکافی و موجبرها، از پیچ و مهره‌ها استفاده می‌شود. به‌عنوان نمونه، در شکل ۱۱۶ (الف)، نحوه اتصال مبدل کواکسیال به موجبری به آنتن شکافی نمایش داده شده است.
- جهت اتصال مبدل کواکسیال به موجبری به ترانسفورمر سه پیچ، مطابق شکل ۱۱۶ (ب)، از پیچ‌ها و سوراخ‌های رزوه‌دار ترانسفورمر سه پیچ استفاده می‌شود.



اعداد شکل ۱۱۷ به ترتیب، به موارد زیر اشاره دارند:

۱. سوکت فرکانس بالا N-Type؛
۲. سوکت فرکانس پایین BNC.

۱- معرفی

آشکارساز کواکسیالی جهت تبدیل موج دریافتی به سیگنال قابل پردازش در پایه چرخان مورد استفاده قرار می‌گیرد. اشاره می‌گردد در آزمایش‌های آنتن‌های دایپل و یاگی-یودا، به دلیل وجود دیود آشکارساز روی فیبر پایه، نیازی به استفاده از آشکارساز کواکسیالی نیست.

۲- مشخصات فنی

مشخصات فنی آشکارساز کواکسیالی، مطابق جدول ۴۱ می‌باشد.

جدول ۴۱: مشخصات فنی آشکارساز کواکسیالی

| | |
|---------------------------|--------------|
| 8.2 – 12.4 ^{GHz} | بازه فرکانسی |
| RF plug N series | ورودی |
| BNC socket | خروجی |
| 50 ^Ω | امپدانس |

۳- روش کار

همانطور که اشاره گردید، آشکارساز کواکسیالی جهت تبدیل موج دریافتی به سیگنال قابل پردازش در پایه چرخان مورد استفاده قرار می‌گیرد، به این شکل که:

- آشکارساز کواکسیالی به شکل مستقیم به آنتن‌های گیرنده‌ای که خروجی N-Type دارند (آنتن‌های هلیکال و مایکرواستریپ) وصل می‌شود و خروجی آن از طریق کابل فرکانس پایین به سوکت BNC پایه چرخان وصل می‌شود.

- در مورد آنتن‌های دیگر (آنتن‌های شیپوری و آنتن شکافی) و موجرها، از یک مبدل کواکسیال به موجبری استفاده می‌شود و آشکارساز کواکسیالی به سوکت N-Type مبدل کواکسیال به موجبری وصل می‌شود.

آشکارساز کواکسیالی، قابلیت نصب روی میله‌ها و گیره‌ها را ندارد و جهت کاربرد در چیدمان آزمایش، به سوکت N-Type آنتن‌ها یا مبدل کواکسیال به موجبری، وصل می‌شود.

پ ۱-۶-۳- کابل فرکانس بالا (کد قطعه: ۱۶۳۱)

کابل فرکانس بالا که دارای کانتکتور N-Type است، جهت اتصال مولد سیگنال میکروویو به آنتن‌های هلیکال و میکرواستریپ و مبدل کواکسیال به موجبری در سمت فرستنده، مورد استفاده قرار می‌گیرد.

۱- مشخصات فنی

مشخصات فنی کابل فرکانس بالا، مطابق جدول ۴۲ می‌باشد.

جدول ۴۲: مشخصات فنی کابل فرکانس بالا

| ورودی/خروجی | N-Type/N-Type plug |
|-------------|--------------------|
| امپدانس | 50 ^Ω |

۲- روش کار

همانگونه که بیان گردید، کابل فرکانس بالا جهت اتصال مولد سیگنال میکروویو به آنتن‌های هلیکال و میکرواستریپ و مبدل کواکسیال به موجبری در سمت فرستنده، مورد استفاده قرار می‌گیرد.
به‌عنوان نمونه، نحوه اتصال آنتن هلیکال به مولد سیگنال میکروویو با استفاده از کابل فرکانس بالا در شکل ۱۱۸ مشاهده می‌شود.



پ ۱-۶-۴- کابل فرکانس پایین (کد قطعه: ۱۶۳۲)

کابل فرکانس پایین که دارای کانکتور BNC است، جهت اتصال آنتن‌ها در سمت گیرنده به پایه چرخان، مورد استفاده قرار می‌گیرد. در این وضعیت خروجی آنتن یا مبدل کواکسیال به موجبری به آشکارساز کواکسیالی وصل می‌گردد و خروجی آشکارساز کواکسیالی با استفاده از کابل فرکانس پایین به پایه چرخان متصل می‌گردد. در خصوص آنتن‌های سیمی (شامل آنتن‌های دایپل و یاگی-یودا) با توجه به وجود دیود آشکارساز در فیبر آنتن، کابل فرکانس پایین به شکل مستقیم به خروجی آنتن وصل شده و آنرا به پایه چرخان متصل می‌کند.

در مجموعه آزمایشگاهی آنتن، دو کابل فرکانس پایین وجود دارد که کانکتورهای یکی صاف و کانکتورهای دیگری دارای زاویه ۹۰° با کابل هستند. در زمان نصب آنتن‌ها فراخور نحوه نصب، از کابلی استفاده نمائید که منجر به اختلال کمتر در سیگنال دریافتی گردد. توصیه می‌شود در آزمایش‌های آنتن‌های سیمی از کابل دوم و در سایر آزمایش‌ها از کابل اول استفاده شود.

۱- مشخصات فنی

مشخصات فنی کابل فرکانس پایین، مطابق جدول ۴۳ می‌باشد.

جدول ۴۳: مشخصات فنی کابل‌های

| | |
|-----------------|-------------|
| BNC/BNC plug | ورودی/خروجی |
| 50 ^Ω | امپدانس |

۲- روش کار

همانگونه که بیان گردید، کابل فرکانس پایین جهت اتصال آنتن‌های هلیکال و مایکرواستریپ و مبدل کواکسیال به موجبری در سمت گیرنده به پایه چرخان، مورد استفاده قرار می‌گیرد.

پ ۱-۶-۵- کابل USB (کد قطعه: ۱۶۳۳)

در مجموعه آزمایشگاهی آنتن، یک کابل USB وجود دارد که جهت برقراری ارتباط پایه چرخان با رایانه مورد استفاده قرار می‌گیرد.

همچنین اشاره می‌گردد، امکان استفاده از کابل RS 232 نیز در صورت تمایل و نیاز مشتری به عنوان جایگزین کابل USB وجود دارد؛ این کابل به شکل استاندارد در مجموعه آزمایشگاهی آنتن تعبیه نگردیده است.

پ ۱-۶-۶- کابل تغذیه (کد قطعه: ۱۶۳۴)

در مجموعه آزمایشگاهی آنتن، دو کابل تغذیه وجود دارد که جهت اتصال پایه چرخان و مولد سیگنال مایکروویو به برق شهر، مورد استفاده قرار می‌گیرد.

پ ۱-۷- صفحه پلارایزر و روزنه‌های موج

قطعات مورد اشاره در این بخش عبارتند از:

- صفحه پلارایزر؛
- روزنه‌های موج.

پ ۱-۷-۱- صفحه پلارایزر (کد قطعه: ۱۷۱۰)

صفحه پلارایزر (که در شکل ۱۱۹ مشاهده می‌شود) یکی از مؤلفه‌های خطی پلاریزاسیون میدان را حذف می‌کند. راستای این مؤلفه، موازی با سیم‌های پلارایزر است. به عبارت دیگر، صفحه پلارایزر، موج برخوردی موازی با سیم‌های خود را منعکس کرده و تنها موج با پلاریزاسیون عمودی از آن عبور می‌کند.

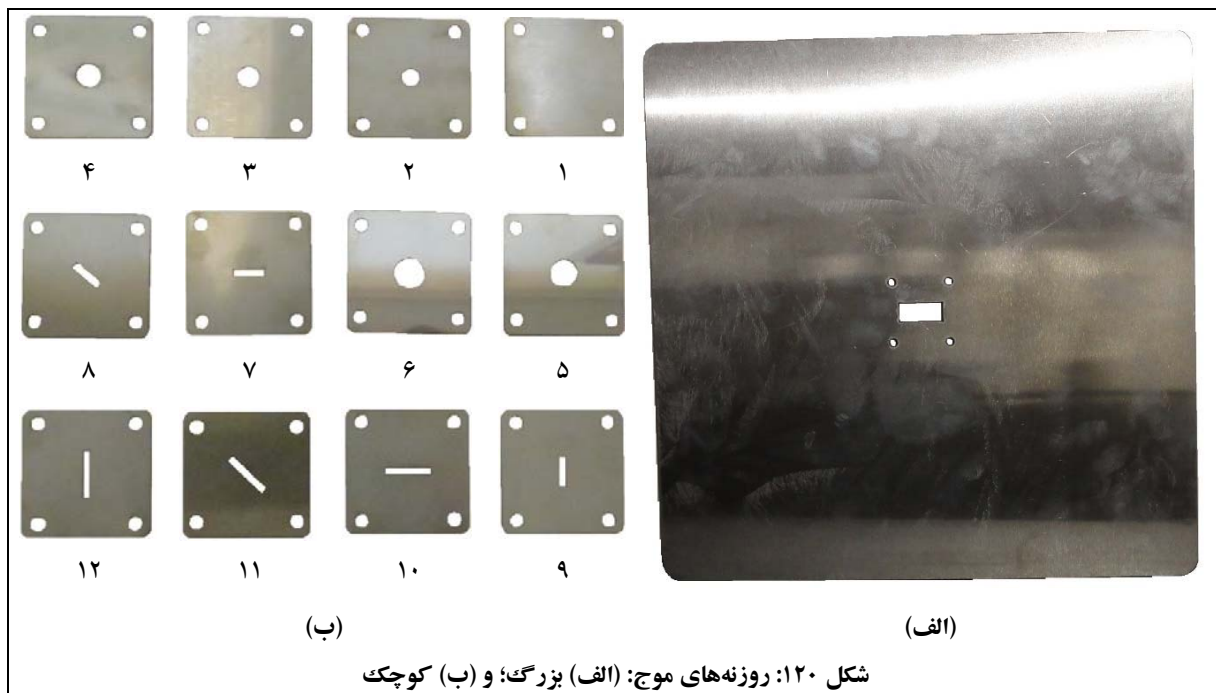


جهت نصب، صفحه پلارایزر روی میله فلزی رزوه‌دار پیچیده می‌شود.

پ ۱-۷-۲- روزنه‌های موج (کد قطعه: ۱۷۲۱ و ۱۷۲۲)

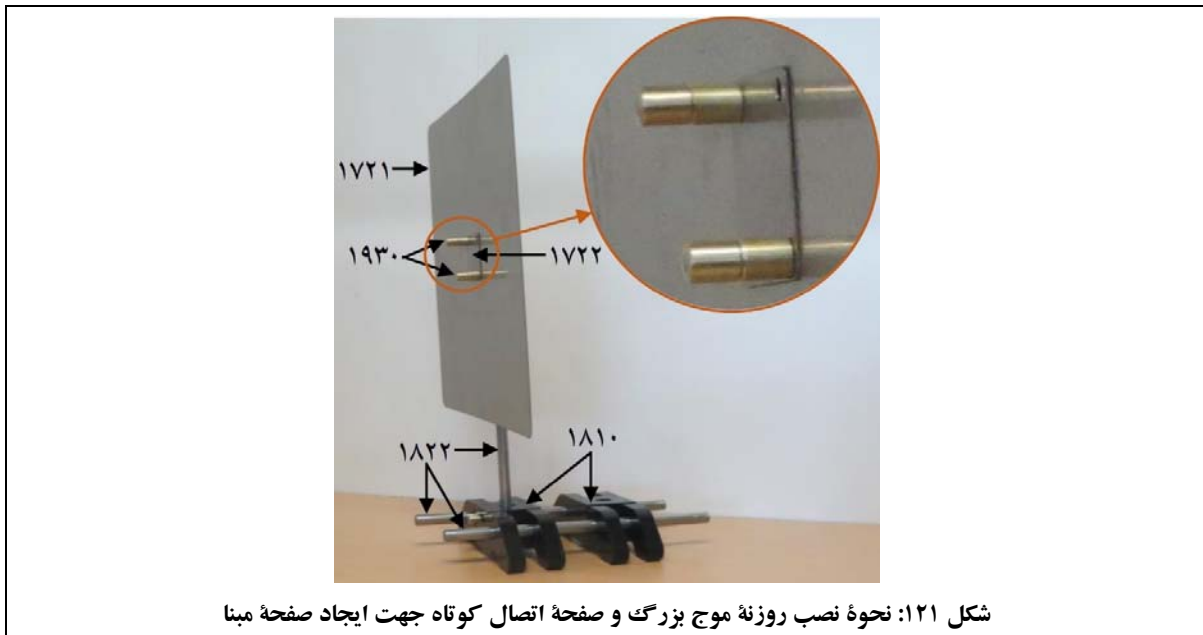
در مجموعه آزمایشگاهی آنتن، ۱۳ روزنه موج در دو سایز وجود دارد:

- یک روزنه موج بزرگ، که در شکل ۱۲۰ (الف) مشاهده می‌شود؛
- ۱۲ روزنه موج کوچک؛ که در شکل ۱۲۰ (ب) مشاهده می‌شوند و شامل موارد زیر هستند:
 ۱. صفحه اتصال کوتاه؛
 ۲. دیافراگم با روزنه به قطر 6mm ؛
 ۳. دیافراگم با روزنه به قطر 7mm ؛
 ۴. دیافراگم با روزنه به قطر 8mm ؛
 ۵. دیافراگم با روزنه به قطر 9mm ؛
 ۶. دیافراگم با روزنه به قطر 10mm ؛
 ۷. دیافراگم با شکاف به ابعاد $2 \times 10\text{mm}$ و زاویه 0° ؛
 ۸. دیافراگم با شکاف به ابعاد $2 \times 10\text{mm}$ و زاویه 45° ؛
 ۹. دیافراگم با شکاف به ابعاد $2 \times 10\text{mm}$ و زاویه 90° ؛
 ۱۰. دیافراگم با شکاف به ابعاد $2 \times 15\text{mm}$ و زاویه 0° ؛
 ۱۱. دیافراگم با شکاف به ابعاد $2 \times 15\text{mm}$ و زاویه 45° ؛
 ۱۲. دیافراگم با شکاف به ابعاد $2 \times 15\text{mm}$ و زاویه 90° ؛



اشاره می‌شود که روزنه‌های موج کوچک جهت بررسی طول موج و آزمایش‌های تطبیق امپدانس، مورد استفاده قرار می‌گیرند و به‌عنوان قطعاتی اضافه و جهت کاربردهای احتمالی تعریفی به‌وسیله کاربر، در مجموعه آزمایشگاهی آنتن قرار گرفته‌اند.

روزنه‌های موج با استفاده از پیچ و مهره، روی موجرها نصب می‌شوند. برای مثال در شکل ۱۲۱، نحوه نصب روزنه موج بزرگ و صفحه اتصال کوتاه جهت ایجاد صفحه مبنا مشاهده می‌شود. در این چیدمان روزنه‌های موج با استفاده از پیچ و مهره‌ها روی ترانسفورمر سه پیچ نصب شده‌اند و ترانسفورمر سه پیچ روی میله فلزی و پایه نگهدارنده قرار گرفته‌است.



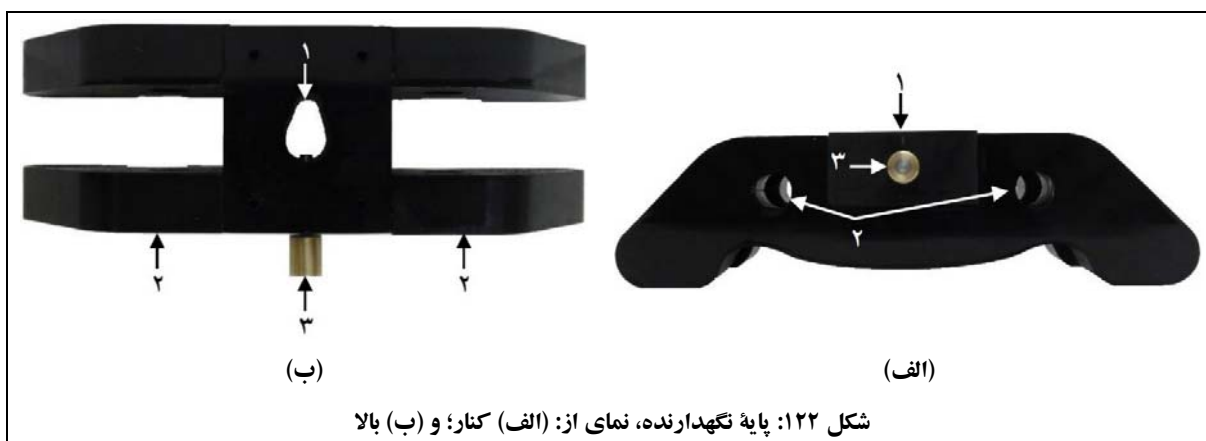
پ ۱-۸- پایه‌ها و نگهدارنده‌های مجموعه

قطعات مورد اشاره در این بخش عبارتند از:

- پایه نگهدارنده؛
- میله‌های فلزی؛
- گیره نگهدارنده موجبر.

پ ۱-۸-۱- پایه نگهدارنده (کد قطعه: ۱۸۱۰)

پایه نگهدارنده در شکل ۱۲۲ مشاهده می‌شود.



اعداد شکل ۱۲۲ به ترتیب، به موارد زیر اشاره دارند:

۱. محل قرار گرفتن میله فلزی عمودی؛
۲. محل قرار گرفتن میله‌های فلزی افقی؛
۳. پیچ تنظیم ارتفاع میله فلزی عمودی.

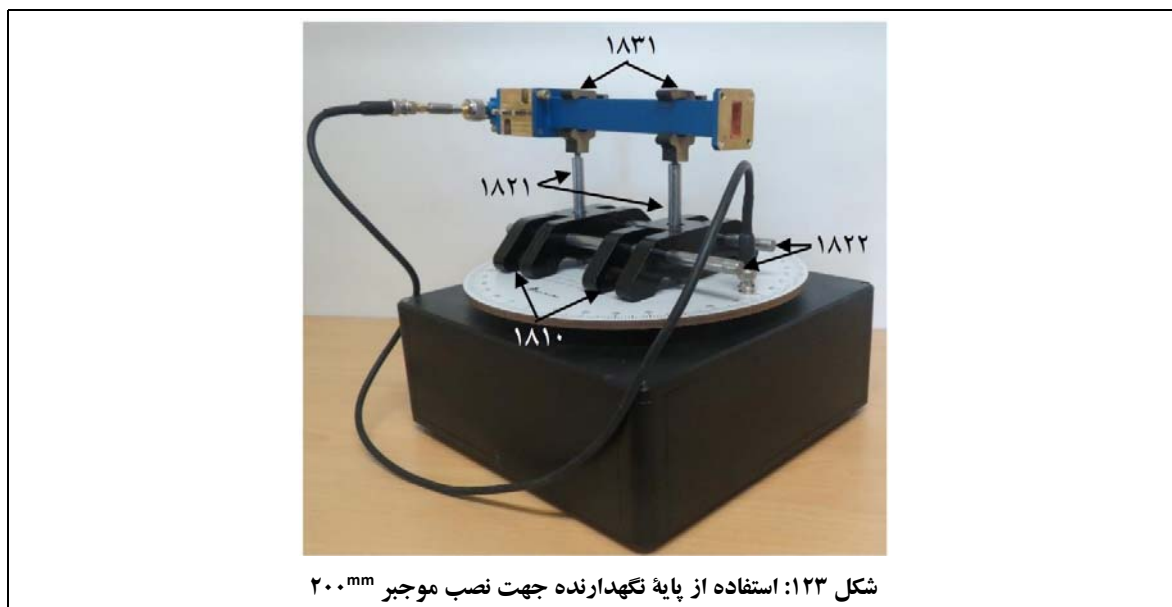
پایه‌های نگهدارنده، برای نگهداشتن موجرها و آنتن‌ها جهت قرار گرفتن روی میز یا پایه چرخان مورد استفاده قرار می‌گیرند؛ به این شکل که:

- ابتدا یک میله فلزی در محل قرار گرفتن میله فلزی عمودی قرار داده می‌شود، سپس:
 - جهت نصب موجبر 200mm و آنتن شکافی، گیره‌های نگهدارنده موجبر در سمت دیگر میله فلزی عمودی قرار داده می‌شوند. با توجه به وزن و طول این قطعات، جهت نصب آنها باید از دو یا سه پایه نگهدارنده استفاده شود؛
 - جهت نصب ترانسفورمر سه پیچ، خود قطعه در سمت دیگر میله فلزی عمودی قرار داده می‌شود؛

- جهت نصب آنتن‌های هلیکال و مایکرواستریپ، آنتن در سمت دیگر میله فلزی عمودی قرار داده می‌شود؛
- جهت نصب صفحه پلاریزر، گیره نگهدارنده پلاریزر در سمت دیگر میله فلزی عمودی قرار داده می‌شود؛
- در صورت استفاده از دو یا سه پایه نگهدارنده برای یک مجموعه (حالت نصب موجبر 200mm ، آنتن شکافی و آنتن‌های شیپوری)، جهت هم‌راستا نمودن پایه‌های نگهدارنده، دو میله فلزی از محل قرار گرفتن میله‌های فلزی افقی عبور داده می‌شوند؛
- پس از نصب مجموعه، با توجه به اینکه در تمام آزمایش‌ها لازم است مجموعه فرستنده و گیرنده درست روبه‌روی هم قرار گیرند، ابتدا پیچ تنظیم ارتفاع میله عمودی را کمی شل کرده و پس از تنظیم ارتفاع میله فلزی عمودی، آنرا سفت نمائید.

با توجه به روش کار پایه نگهدارنده، نحوه نصب قطعات مختلف مجموعه آزمایشگاهی آنتن روی پایه‌های نگهدارنده، به شرح زیر می‌باشد:

- جهت نصب موجبر 200mm و آنتن شکافی روی پایه‌های نگهدارنده، مطابق شکل ۱۲۳، از دو پایه نگهدارنده، دو میله فلزی عمودی، دو میله فلزی افقی و دو گیره نگهدارنده موجبر استفاده می‌شود.



- جهت نصب ترانسفورمر سه پیچ روی پایه‌های نگهدارنده، از یک پایه نگهدارنده و یک میله فلزی استفاده می‌شود.

- جهت نصب صفحه پلاریزر، مطابق شکل ۱۱۹، از یک پایه نگهدارنده، یک میله فلزی عمودی و گیره نگهدارنده پلاریزر استفاده می‌شود.
- جهت نصب آنتن‌های هلیکال روی پایه‌های نگهدارنده، مطابق شکل ۱۲۴، از یک پایه نگهدارنده و یک میله فلزی استفاده می‌شود.
نصب آنتن مایکرواستریپ نیز به همین شکل می‌باشد.

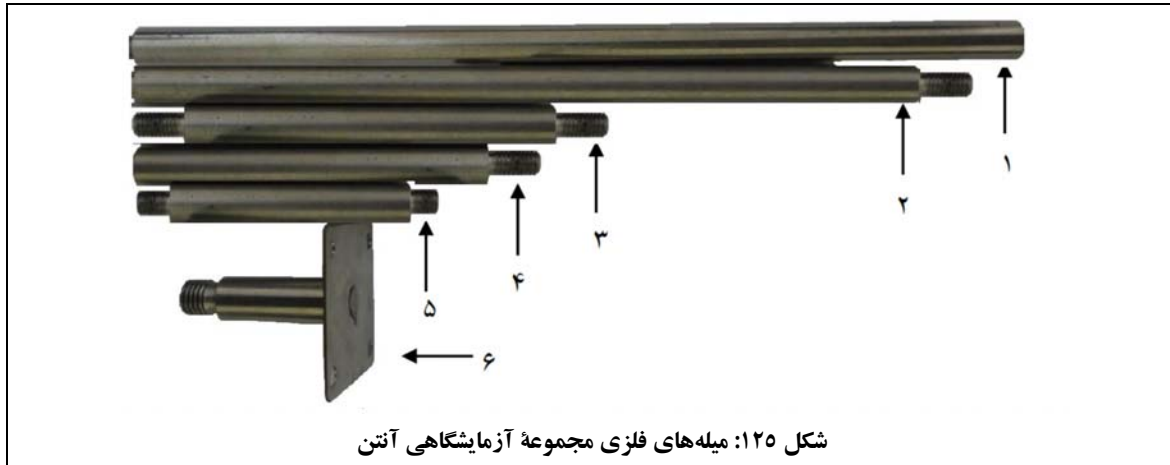


شکل ۱۲۴: استفاده از پایه نگهدارنده جهت نصب آنتن هلیکال

- سایر قطعات مجموعه آزمایشگاهی آنتن، که در این بخش مورد اشاره قرار نگرفتند، قابلیت نصب مستقل روی پایه‌های نگهدارنده را ندارند و باید با استفاده از پیچ و مهره یا اتصالات BNC و N-Type به دیگر قطعاتی که روی پایه‌ها نصب شده‌اند، متصل گردند.

پ ۱-۸-۲- میله‌های فلزی (کد قطعه: ۱۸۲۱ تا ۱۸۲۳)

با توجه به اینکه لازم است آنتن فرستنده و گیرنده از نظر عمودی و افقی، هم‌راستا باشند، مطابق شکل ۱۲۵، میله‌هایی با طول‌های مورد نیاز در مجموعه آزمایشگاهی آنتن قرار گرفته‌است.



اطلاعات میله‌های موجود در شکل ۱۲۵ به شرح جدول ۴۴ می‌باشد.

جدول ۴۴: اطلاعات میله‌های فلزی موجود در مجموعه آزمایشگاهی آنتن

| شماره در شکل ۱۲۵ | سایز (cm) | قطر (mm) | رزوه | تعداد | کارکرد |
|------------------|-----------|----------|--------|-------|---|
| ۱ | ۲۵ | ۱۰ | ندارد | ۴ | جهت هم‌راستا کردن پایه‌های نگهدارنده |
| ۲ | ۲۳٫۵ | ۸ | یک سمت | ۲ | جهت نصب آنتن شیوری و هلیکال در سمت فرستنده |
| ۳ | ۱۲٫۸ | ۸ | دو سمت | ۱ | جهت نصب آنتن هلیکال در سمت گیرنده |
| ۴ | ۱۱٫۵ | ۸ | یک سمت | ۳ | جهت نصب آنتن شیوری در سمت گیرنده و نصب صفحه پلارایزر |
| ۵ | ۸٫۲ | ۸ | دو سمت | ۱ | جهت نصب آنتن میکرواستریپ در سمت گیرنده |
| ۶ | ۴٫۸ | ۸ | یک سمت | ۱ | دارای صفحه اتصال کوتاه و جهت نصب آنتن شکافی در سمت گیرنده |

اطلاعات جدول ۴۴ مربوط به مدل ۱۰۱ است؛ در مدل ۲۰۱، به جز ردیف ۶ که تعداد آن تغییر نمی‌کند، تعداد میله‌های سایر ردیف‌ها، دو برابر می‌شوند.

همچنین اشاره می‌گردد یک میله از جنس پلی‌آمید (مشابه پلاستیک و به رنگ سفید) در مجموعه آزمایشگاهی آنتن قرار دارد که جهت نصب آنتن‌های میله‌ای برای رسم الگوی تشعشی در صفحه H مورد استفاده قرار می‌گیرد. توضیحات در خصوص این میله در بخش آنتن‌های میله‌ای (پ ۱-۴-۵) ارائه شده است.

پ ۱-۸-۳- گیره نگهدارنده موجبر (کد قطعه: ۱۸۳۰)

گیره نگهدارنده موجبر در شکل ۱۲۶ مشاهده می‌شود.



اعداد شکل ۱۲۶ به ترتیب، به موارد زیر اشاره دارند:

۱. محل قرار گرفتن موجبر؛
۲. محل قرار گرفتن میله فلزی جهت رسم الگو در صفحه E؛
۳. محل قرار گرفتن میله فلزی جهت رسم الگو در صفحه H.

گیره نگهدارنده موجبر جهت نصب موجبر 200mm و آنتن شکافی روی میله فلزی مورد استفاده قرار می‌گیرد.

پ ۱-۹- سایر تجهیزات مجموعه

قطعات مورد اشاره در این بخش عبارتند از:

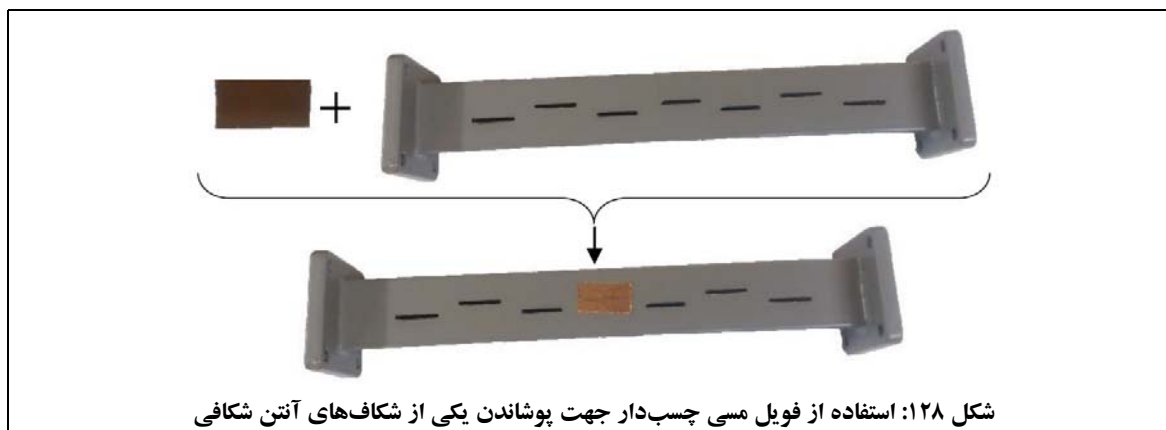
- فویل مسی چسب‌دار؛
- متر فلزی؛
- پیچ و مهره؛
- کیف مجموعه.

پ ۱-۹-۱- فویل مسی چسب‌دار (کد قطعه: ۱۹۱۰)

فویل مسی چسب‌دار جهت پوشاندن بخش‌هایی از آنتن‌ها برای بررسی اثر تغییر متغیرهای آنها مورد استفاده قرار می‌گیرد. این قطعه در شکل ۱۲۷ مشاهده می‌شود.



جهت استفاده از فویل مسی چسب‌دار، لازم است قطعه‌ای از آن متناسب با نیاز، بریده‌شود. برای مثال، مطابق شکل ۱۲۸، جهت پوشاندن شکاف‌های آنتن شکافی، یک برش 1×2 cm از فویل مسی چسب‌دار، کفایت می‌کند.



پ ۱-۹-۲- متر فلزی (کد قطعه: ۱۹۲۰)

متر فلزی جهت اندازه‌گیری فاصله فرستنده و گیرنده در آزمایش‌های مختلف در مجموعه قرار گرفته‌است.

پ ۱-۹-۳- پیچ و مهره (کد قطعه: ۱۹۳۰)

پیچ و مهره‌ها جهت متصل نمودن آنتن‌ها و موجبرهای مختلف در مجموعه‌های فرستنده و گیرنده در مجموعه آزمایشگاهی آنتن قرار گرفته‌است.

پیچ و مهره‌ها در شکل ۱۲۹ مشاهده می‌شود.



پ ۱-۹-۴- کیف مجموعه (کد قطعه: ۱۹۴۰)

کل قطعات مجموعه آزمایشگاهی آنتن داخل کیف مجموعه نصب شده‌اند تا قابلیت حمل مجموعه ایجاد شود و همچنین در فضای محدودی از آزمایشگاه، امکان نگهداری ایمن قطعات مجموعه ایجاد گردد.

قطعات مجموعه آزمایشگاهی آنتن به دو شکل در کیف مجموعه قرار گرفته‌اند:

۱. تعدادی از قطعات، مطابق شکل ۱۳۰، روی صفحه نصب شده در داخل درب کیف، نصب شده‌اند.



شکل ۱۳۰: نحوه قرار گرفتن قطعات روی صفحه داخل درب کیف

۲. دیگر قطعات مجموعه نیز مطابق شکل ۱۳۱، درون فوم محافظ در کف کیف قرار گرفته‌اند. همانطور که در شکل ۱۳۱ مشاهده می‌شود، تعدادی از قطعات زیر صفحه پلارایزر قرار گرفته‌اند. همچنین، روزنه موج بزرگ زیر پایه چرخان قرار گرفته‌است.

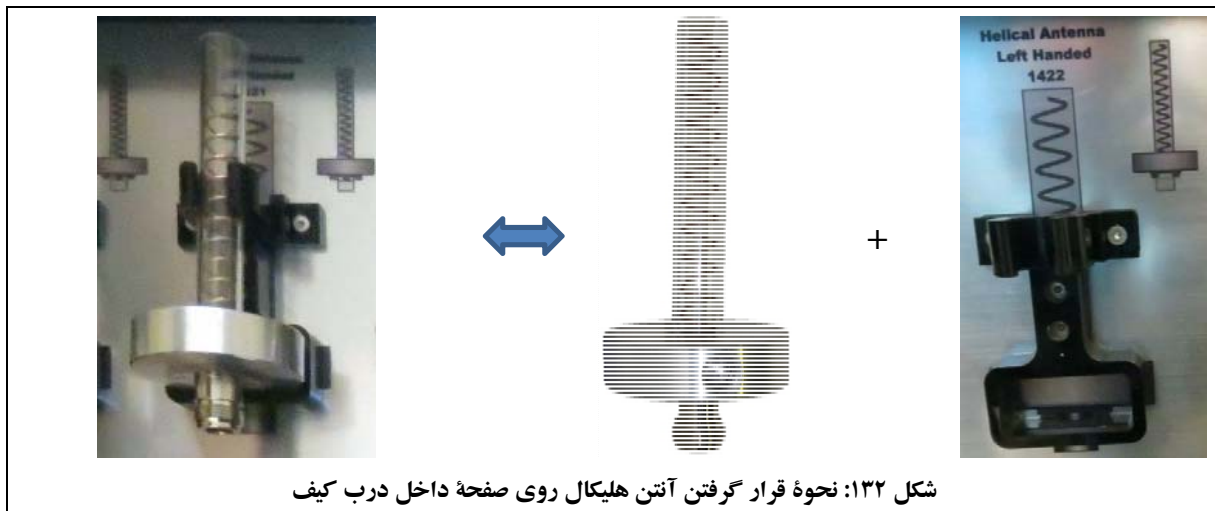


شکل ۱۳۱: نحوه قرار گرفتن قطعات در داخل فوم محافظ

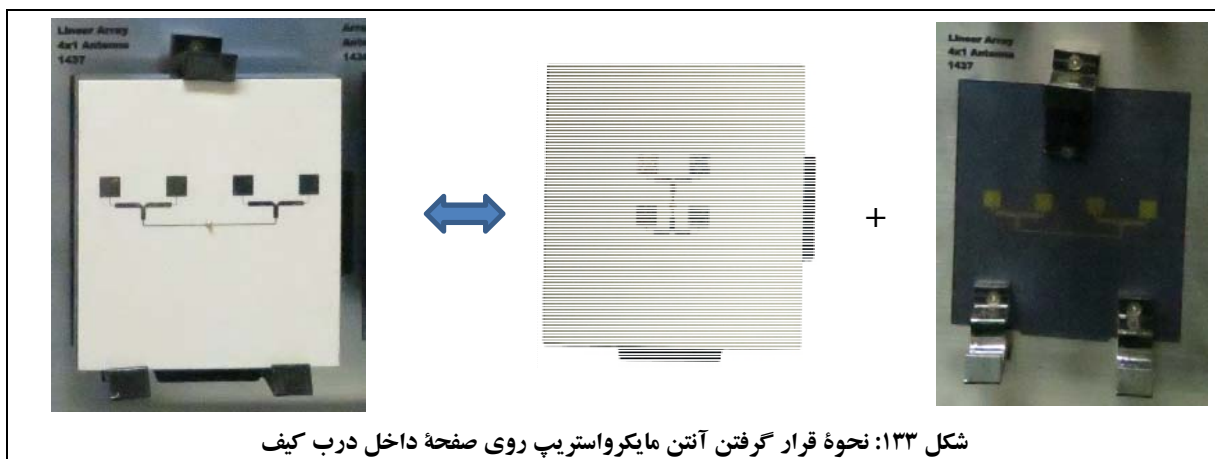
قرار دادن و برداشتن قطعات از داخل فوم‌های محافظ، به سادگی قابل انجام است با این حال به دلیل ظرافت گیره‌های نصب قطعات روی صفحه نصب شده در داخل درب کیف، هنگام برداشتن قطعات از داخل گیره‌ها و همچنین هنگام قرار دادن قطعات در گیره‌ها، لازم است مطابق توضیحاتی که در ادامه ارائه می‌شود، اقدام گردد:

- جهت قرار دادن آنتن هلیکال، ابتدا پایه فلزی را در داخل بخش پایینی گیره قرار دهید، سپس محافظ بخش تشعشعگر را به داخل بخش بالایی گیره فشار دهید.

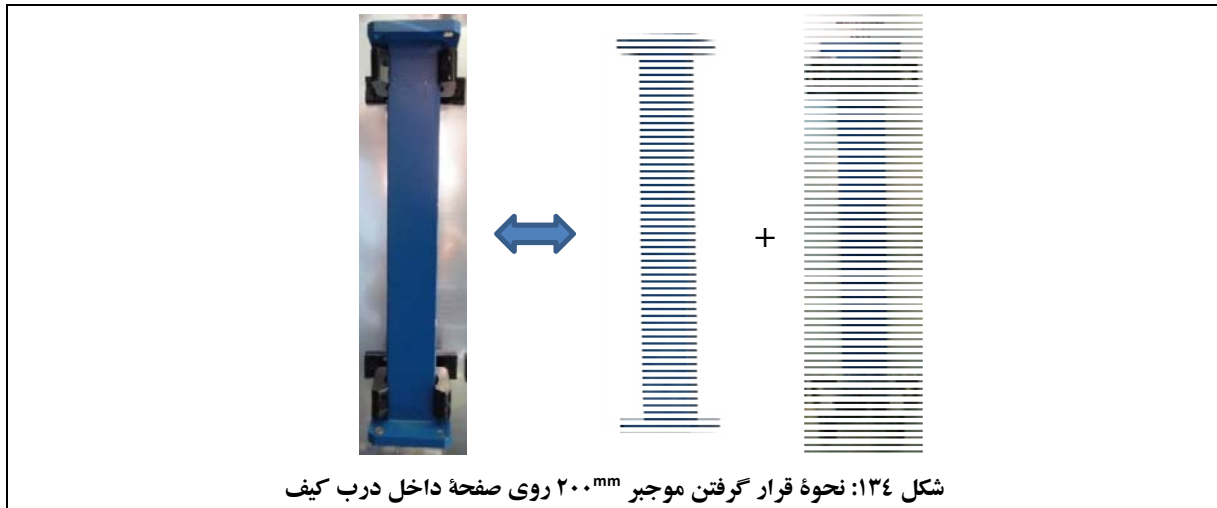
جهت برداشتن آنتن هلیکال از داخل گیره، ابتدا پایه فلزی را در دست گرفته و سپس محافظ بخش تشعشعگر را از بخش بالایی گیره خارج کنید.
نحوه قرار گرفتن آنتن هلیکال در داخل گیره در شکل ۱۳۲ مشاهده می‌شود.



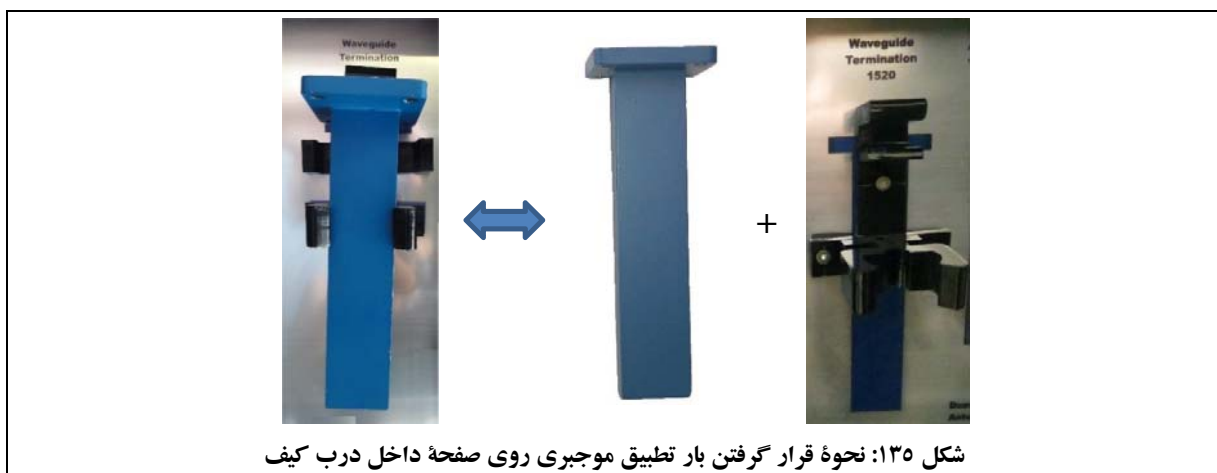
- جهت قرار دادن آنتن مایکرواستریپ، ابتدا بخش پایینی آنتن را در داخل گیره قرار دهید. سپس با یک انگشت، بخش بالایی را به میزان کمی به بالا فشار دهید تا آنتن در داخل گیره قرار گیرد.
جهت برداشتن آنتن مایکرواستریپ از داخل گیره نیز ابتدا بخش بالایی گیره را کمی به بالا فشار دهید و سپس آنتن را از داخل گیره خارج نمایید.
نحوه قرار گرفتن آنتن مایکرواستریپ در داخل گیره در شکل ۱۳۳ مشاهده می‌شود.



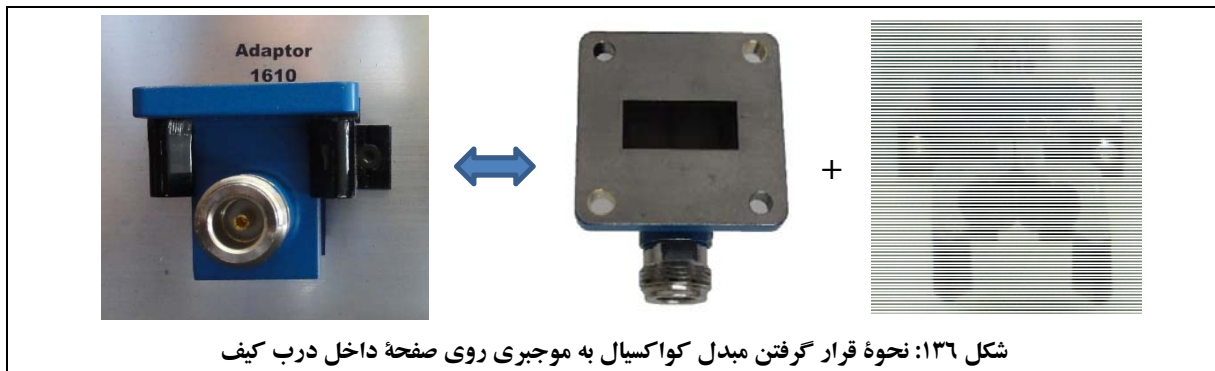
- جهت قرار دادن موجبرهای 200mm و آنتن شکافی، ابتدا قطعه را از ضلع کوچکتر داخل گیره نموده، سپس با 90° چرخش، آنرا در محل خود سفت نمائید.
جهت برداشتن قطعه نیز ابتدا باید آنرا 90° چرخاند تا از گیره آزاد شود و سپس قطعه را از گیره خارج نمود.
به‌عنوان نمونه، نحوه قرار گرفتن یک موجبر 200mm در داخل گیره در شکل ۱۳۴ مشاهده می‌شود.



- جهت قرار دادن بار تطبیق موجبری نیز همانند موجبر 200mm ابتدا باید قطعه را از ضلع کوچکتر داخل گیره نموده، سپس با 90° چرخش، آنرا در محل خود سفت نمود.
توجه نمائید که فلنج بار تطبیق موجبری نیز در داخل شکاف قسمت بالایی گیره قرار گیرد.
نحوه قرار گرفتن بار تطبیق موجبری در داخل گیره در شکل ۱۳۵ مشاهده می‌شود.



- جهت قرار دادن مبدل کواکسیال به موجبری نیز همانند موجبر 200mm ابتدا قطعه را از بخش موجبری داخل گیره نموده، سپس با 90° چرخش، آنرا در محل خود سفت نمائید. در این حالت توجه نمائید که فلنج مبدل کواکسیال به موجبری، بالای گیره قرار گرفته باشد. نحوه قرار گرفتن مبدل کواکسیال به موجبری در داخل گیره در شکل ۱۳۶ مشاهده می‌شود.



- جهت قرار دادن آشکارساز کواکسیالی در گیره بخش میانی آن را داخل گیره فشار دهید. جهت برداشتن آشکارساز کواکسیالی از داخل گیره، ابتدا کانکتور فرکانس بالا N-Type را در دست گرفته و سپس بخش میانی آشکارساز را از بخش سمت راست گیره خارج کنید. نحوه قرار گرفتن آشکارساز کواکسیالی در داخل گیره در شکل ۱۳۷ مشاهده می‌شود.



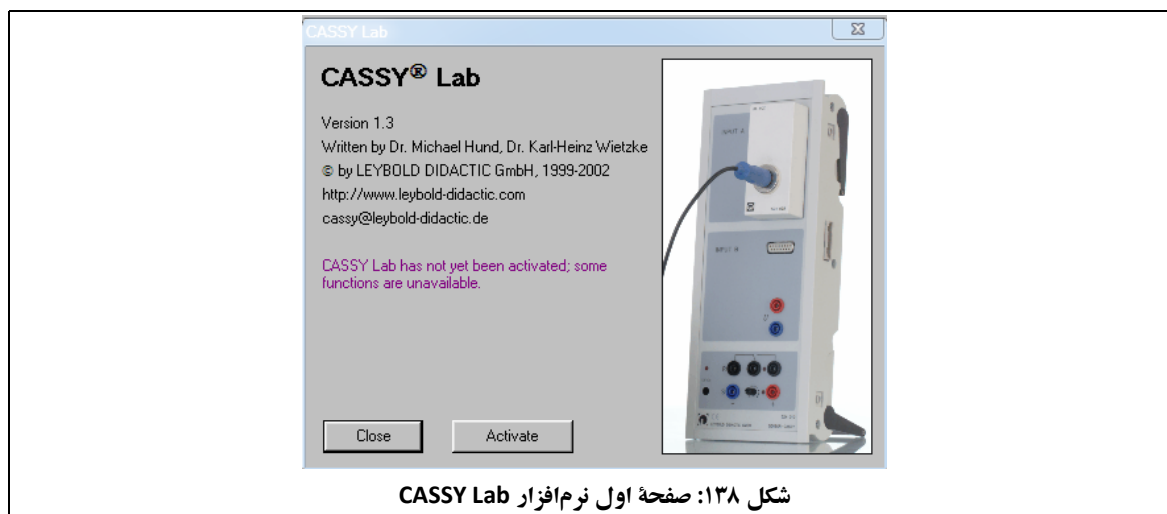
پیوست ۲- راهنمای کار با نرم‌افزار CASSY Lab

در این پیوست به نحوه کار نرم‌افزار CASSY Lab و کاربرد آن در استفاده از مجموعه آزمایشگاهی آنتن، اشاره می‌شود. برای این منظور، ابتدا به نحوه نصب و راه‌اندازی نرم‌افزار CASSY Lab اشاره می‌گردد. سپس نحوه نصب درایور سخت‌افزار ارتباطی پایه چرخان با رایانه شرح داده می‌شود. در ادامه، تنظیمات پایه چرخان در نرم‌افزار CASSY Lab توضیح داده می‌شود و منوهای اصلی نرم‌افزار CASSY Lab معرفی می‌شوند. در انتها نیز به نحوه کار با نرم‌افزار CASSY Lab در انجام آزمایش‌های مجموعه آزمایشگاهی آنتن و توصیه‌هایی جهت کاربرد درست، اشاره می‌شود.

پ ۱-۲- نحوه نصب و راه‌اندازی نرم‌افزار CASSY Lab

ابتدا لازم است نرم‌افزار CASSY Lab روی یک رایانه یا لپ‌تاپ نصب گردد. برای این کار، باید فایل SETUP.exe را که در DVD همراه مجموعه در آدرس CASSY_lab_Source/SETUP قرار دارد، اجرا و گام‌های نصب نرم‌افزار را طی نمود. پس از نصب نرم‌افزار CASSY Lab، با مراجعه به پوشه‌ای که برنامه در آن نصب شده است^{۶۸} یا با مراجعه به آیتم‌های مربوط به برنامه در منوی Start/All programs/CASSY Lab و با انتخاب فایل/گزینه CASSY Lab، برنامه را اجرا نمائید. با این کار، صفحه‌ای مطابق شکل ۱۳۸ باز می‌شود.

^{۶۸} در صورتیکه تغییری در پیش‌فرض‌های نصب برنامه ایجاد نشده‌باشد، آدرس این پوشه به این قرار خواهد بود: C:\Program Files\CASSYLab



با کلیک روی گزینه Close، اعلانی در خصوص به‌روز رسانی نرم‌افزار CASSY Lab نمایش داده می‌شود. روی گزینه OK کلیک کنید.

توجه: به هیچ وجه اقدام به به‌روز رسانی نرم‌افزار CASSY Lab ننمائید. در صورت تطابق نسخه‌های جدید این نرم‌افزار با سخت‌افزار مجموعه آزمایشگاهی آنتن، این مورد از طریق شرکت راژان پرتو پارس به اطلاع مشتریان مجموعه خواهد رسید.

پس از این مرحله، مطابق شکل ۱۳۹، پنجره Settings نمایش داده می‌شود.



در این مرحله، لازم است مشخص شود که پایه چرخان از طریق کابل‌های ارتباطی (USB/RS232) به کدام پورت رایانه/لپ‌تاپ وصل شده‌است.

برای این کار باید درایور سخت‌افزار ارتباطی پایه چرخان با رایانه را نصب نمود؛ توضیحات مربوط به این کار در بخش بعد (پ ۲-۲)، ارائه شده‌است.

متذکر می‌گردد مانند هر درایور سخت‌افزاری دیگر، نصب این درایور تنها در اولین نوبت استفاده مورد نیاز خواهد بود.

پ ۲-۲- نحوه نصب درایور سخت‌افزار ارتباطی پایه چرخان با رایانه

ابتدا از DVD همراه مجموعه، فایل UsbDriverTool-sfx را روی رایانه/لپ‌تاپ کپی نموده و Extract نمائید.

حال پایه چرخان را با استفاده از کابل USB موجود در مجموعه یا با استفاده از یک کابل RS232 به رایانه/لپ‌تاپ وصل نموده و آنرا روشن کنید.

در ادامه توضیحات با فرض استفاده از کابل USB ارائه شده‌است؛ در صورت استفاده از کابل RS232 نیز تفاوت چندانی ایجاد نخواهد شد.

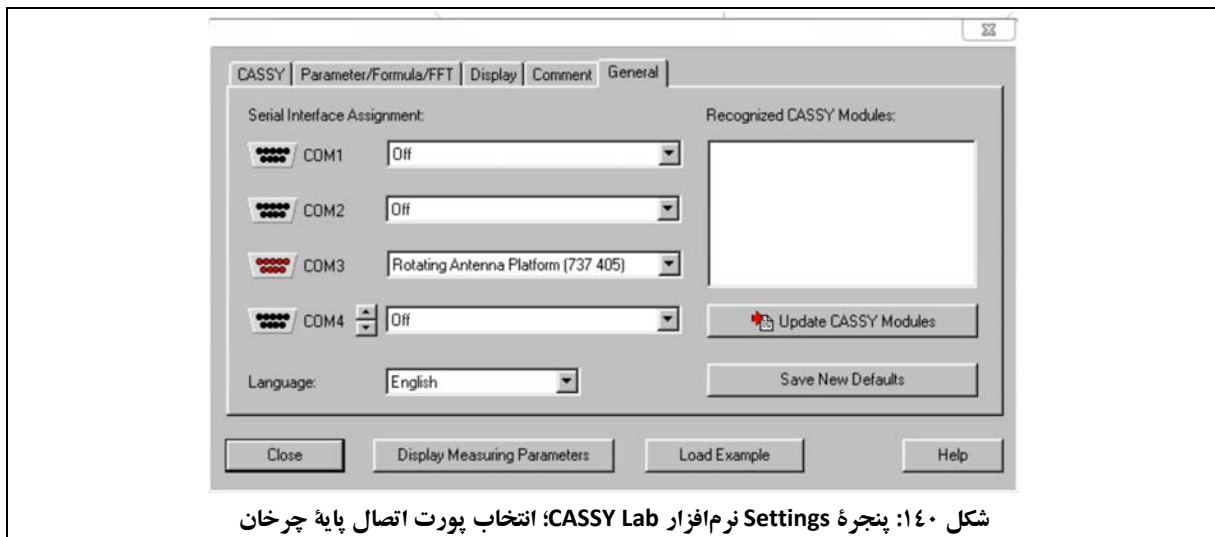
حال به منوی Device Manager در رایانه/لپ‌تاپ مراجعه کنید. از گزینه Other devices، مورد Serial <-> USB را با دوبار کلیک کردن، انتخاب نموده و در تب Driver، گزینه Update Driver را انتخاب نمائید. در صفحه باز شده، گزینه‌ای را که مربوط به نصب درایور با استفاده از فایلی است که در اختیار دارید، انتخاب نموده و آدرسی را که فایل UsbDriverTool-sfx را در آن Extract نموده‌اید، انتخاب کنید تا درایور نصب گردد.

در صورت اجرای صحیح این مراحل، سخت‌افزار ارتباطی در منوی Device Manager، گزینه (COM & LPT) Ports و با عنوان USB Serial Port (COMx) نصب خواهد گردید. توجه نمائید که X در ادامه COM یک شماره خواهد بود که نشانگر شماره پورتی است که در رایانه به ورودی USB مورد استفاده، اختصاص داده شده‌است و جهت شناساندن سخت‌افزار ارتباطی پایه چرخان به نرم‌افزار CASSY Lab لازم است این شماره را در نظر داشته‌باشید.

توجه داشته‌باشید که در استفاده‌های بعدی نیز باید کابل USB به همان پورت وصل گردد، در غیر این صورت باید به ترتیبی که اشاره شد، شماره پورت جدید مشخص شود و در نرم‌افزار مورد استفاده قرار گیرد.

حال نرم‌افزار CASSY Lab را اجرا نمائید و پس از طی کردن مراحل که در بخش پ ۲-۱ مورد اشاره قرار گرفت، به پنجره Settings رسیده و پورت مورد نظر را انتخاب نموده (همانطور که اشاره گردید، شماره پورت پس از نصب درایور سخت‌افزار

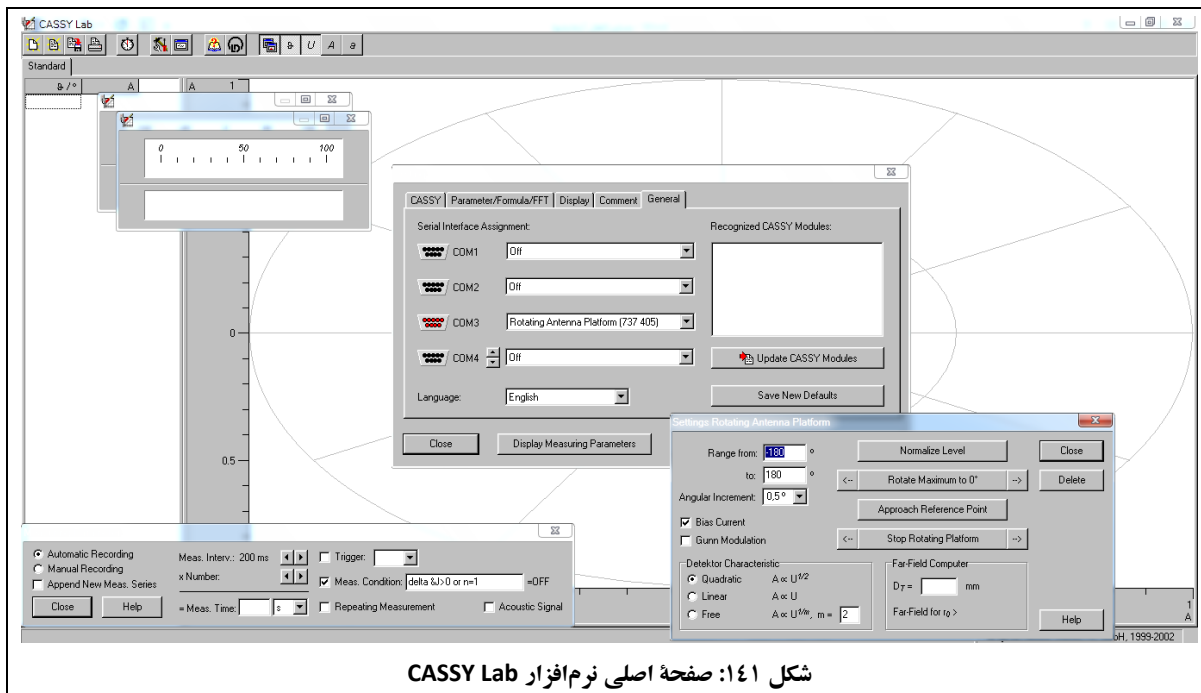
ارتباطی در منوی Device Manager قابل مشاهده است) و از منوی نرده‌بانی مربوط به پورت مورد نظر، گزینه Rotating Antenna Platform (737 405) را انتخاب نمایید.
برای مثال در شکل ۱۴۰، پایه چرخان به پورت COM3 وصل شده‌است.



تذکر مهم: اگر در زمان کار با مجموعه آزمایشگاهی آنتن، پایه چرخان داده دریافت نمی‌کرد (پنجره‌های نمایش داده در نرم‌افزار CASSY Lab عددی را نمایش نمی‌دادند)، به این ترتیب اقدام نمایید:

- پایه چرخان را خاموش کنید؛
- پورت USB را خارج کرده و مجدد به پایه چرخان وصل کنید؛
- در پنجره Settings که در شکل ۱۴۰ مشاهده می‌شود، روی نمای شماتیک پورت مربوط به پایه چرخان کلیک کرده، Delete را انتخاب نمایید؛
- سپس پایه چرخان را روشن نموده و مجدداً در پورت مورد نظر، گزینه Rotating Antenna Platform (737 405) را انتخاب نمایید.

پس از این مرحله، صفحه اصلی نرم‌افزار CASSY Lab مطابق شکل ۱۴۱ نمایش داده می‌شود.



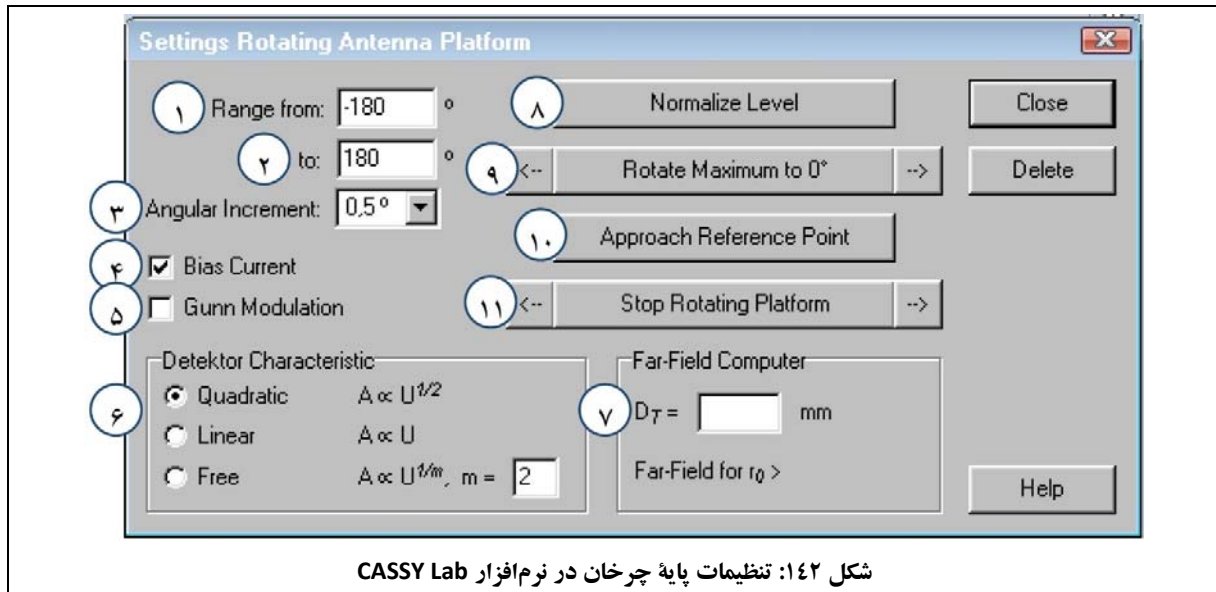
شکل ۱۴۱: صفحه اصلی نرم‌افزار CASSY Lab

در این مرحله می‌توان به تنظیمات مربوط به پایه چرخان از تب Settings Rotating Antenna Platform پرداخت که در بخش پ ۲-۳ توضیح داده می‌شوند.

پ ۲-۳- تنظیمات پایه چرخان در نرم‌افزار CASSY Lab

صفحه تنظیمات پایه چرخان در نرم‌افزار CASSY Lab، با انتخاب پورت مربوط به پایه چرخان در نرم‌افزار مطابق شکل ۱۴۲ نمایش داده می‌شود.

توجه داشته باشید که در تمام آزمایش‌های تعریف شده برای مجموعه آزمایشگاهی آنتن، نیازی به تغییر در این تنظیمات وجود ندارد و تنظیمات اولیه برای انجام آزمایش‌ها مناسب هستند.



شکل ۱۴۲: تنظیمات پایه چرخان در نرم‌افزار CASSY Lab

تنظیمات مورد اشاره در شکل ۱۴۲، شامل موارد زیر می‌باشد:

۱. Range from: زاویه شروع اندازه‌گیری برحسب درجه؛ برای مثال، -180° .
محل تعیین این متغیر در شکل ۱۴۲، با شماره ۱ مشخص شده است.
 ۲. Range to: زاویه هدف اندازه‌گیری برحسب درجه؛ برای مثال، 180° .
محل تعیین این متغیر در شکل ۱۴۲، با شماره ۲ مشخص شده است.
 ۳. Angular Increment: در این منوی یکی از بازه‌های دوران 0.5° ، 1° ، 2° برای رزولوشن زاویه‌ای قابل انتخاب است.
محل تعیین این متغیر در شکل ۱۴۲، با شماره ۳ مشخص شده است.
- توجه: تمام آزمایش‌های تعریف شده برای مجموعه آزمایشگاهی آنتن، انتخاب بازه زاویه‌ای 2° نیز مناسب است. انتخاب بازه زاویه‌ای کوچکتر، منجر به افزایش دقت اندازه‌گیری در مقابل افزایش زمان اندازه‌گیری می‌شود که مطابق صلاحدید کاربر، قابل انتخاب است.
۴. Bias Current: این مورد قابل خاموش/روشن کردن است. دیود آشکارساز مورد استفاده در آنتن‌های دایپل به یک جریان بایاس کم نیاز دارد که با این گزینه قابل تأمین است.
توجه: در مجموعه آزمایشگاهی آنتن، این جریان بایاس به شکل مستقل ایجاد می‌گردد و نیاز به تغییر این گزینه نیست.
محل تعیین این متغیر در شکل ۱۴۲، با شماره ۴ مشخص شده است.

۵. Gunn Modulation: این گزینه جهت ایجاد موج مربعی با مشخصات 1^{kHz} و V_{pp} برابر یک، برای Gunn Oscillator مورد استفاده قرار می‌گیرد.

توجه: از آنجا که مجموعه آزمایشگاهی آنتن از یک VCO به‌عنوان مولد سیگنال مایکروویو بهره می‌گیرد، در تمام آزمایش‌های این مجموعه، این گزینه نباید تیک داشته‌باشد.
محل تعیین این متغیر در شکل ۱۴۲، با شماره ۵ مشخص شده‌است.

۶. Detector Characteristics: بهترین آنتن‌ها نیز همواره باید به یک آشکارساز (برای مثال آشکارساز کواکسیالی با کد قطعه ۱۶۲۰ که در مجموعه آزمایشگاهی آنتن ارائه شده‌است) وصل گردند مگر اینکه به شکل داخلی، دارای دیود آشکارساز باشند (مانند وضعیتی که در خصوص آنتن‌های سیمی مجموعه آزمایشگاهی آنتن وجود دارد).
سیگنال اصلی آنتن (A) پیش از آشکارساز قابل اندازه‌گیری مستقیم نیست. تنها افت ولتاژی که به دلیل جریان آشکارساز در تقویت‌کننده اندازه‌گیر ایجاد می‌شود، قابل اندازه‌گیری است. به شکل کلی، A رابطه خطی (نسبی) با U ندارد. برای این رابطه، گزینه‌های زیر قابل انتخاب هستند:

- Quadratic: $A \propto U^{1/2}$ ؛ که تخمین خوبی برای ولتاژهای دریافتی کوچک ($U < 5^{mV}$) است.
- Linear: $A \propto U$ ؛ که تخمین خوبی برای ولتاژهای دریافتی بزرگ ($U > 5^{mV}$) است.
- Free: $A \propto U^{1/m}$ ؛ که لازم است مشخصات آشکارساز (m) در رابطه وارد شود (مثلاً پس از اندازه‌گیری با استفاده از یک Attenuator کالیبره).

مطابق توضیحاتی که در بخش پ ۲-۵ ارائه شده‌است، برای آزمایش‌های تعریف شده برای مجموعه آزمایشگاهی آنتن، گزینه Quadratic انتخاب مناسبی خواهد بود.

محل تعیین این متغیر در شکل ۱۴۲، با شماره ۶ مشخص شده‌است.

۷. Far-Field Computer: ورودی این گزینه، D_T (بزرگترین بعد جانی آنتن تحت آزمون بر حسب میلیمتر) است. به این شکل که با وارد کردن D_T ، نرم‌افزار مقدار فاصله لازم جهت برآورده شدن شرط میدان دور را با توجه به D_Q و $\lambda_0 = 32^{mm}$ و بر حسب رابطه ۳۹، محاسبه می‌کند.

$$r_0 \geq \frac{2(D_Q + D_T)^2}{\lambda_0} \quad \text{رابطه ۳۹}$$

توجه: برای آنتن‌های موجود در مجموعه آزمایشگاهی آنتن، $r_0 = 2.5^m$ ، شرط میدان دور را برآورده می‌کند.
محل تعیین این متغیر در شکل ۱۴۲، با شماره ۷ مشخص شده‌است.

۸. Normalize Level: نسبت $A = U/U_{max}$ را شکل می‌دهد که در حالت حداکثر برابر یک است. این فاکتور در وضعیت لگاریتمی حداکثر برابر 0 dB است.

محل تعیین این متغیر در شکل ۱۴۲، با شماره ۸ مشخص شده است.

۹. Rotate Maximum to 0° : ماکزیمم منحنی مورد اندازه‌گیری را در 0° قرار می‌دهد. منحنی مورد اندازه‌گیری می‌تواند با استفاده از دو کلید screenshot (دو علامت $<-->$ و $<-->$ در دو سمت گزینه) به شکل دستی چرخانده و جابه‌جا شود.

این امکان در حال حاضر برای مجموعه آزمایشگاهی آنتن فعال نیست.

محل تعیین این متغیر در شکل ۱۴۲، با شماره ۹ مشخص شده است.

۱۰. Approach Reference Point: اندازه‌گیری فعلی را دچار وقفه می‌کند و پایه چرخان را به محل اولیه اندازه‌گیری (0°) بازمی‌گرداند. این عمل جهت جلوگیری از خطا ضروری است و لازم است این گزینه حین استفاده از نرم‌افزار تغییری نکند.

محل تعیین این متغیر در شکل ۱۴۲، با شماره ۱۰ مشخص شده است.

۱۱. Stop Rotating Platform: حرکت پایه چرخان را متوقف می‌کند. به این ترتیب، اندازه‌گیری استاتیک (مثلاً برای اندازه‌گیری بهره آنتن) مقدور خواهد بود. در این وضعیت پایه چرخان به وسیله کلیدهای Screenshot (دو علامت $<-->$ و $<-->$ در دو سمت گزینه) گام به گام قابل کنترل است.

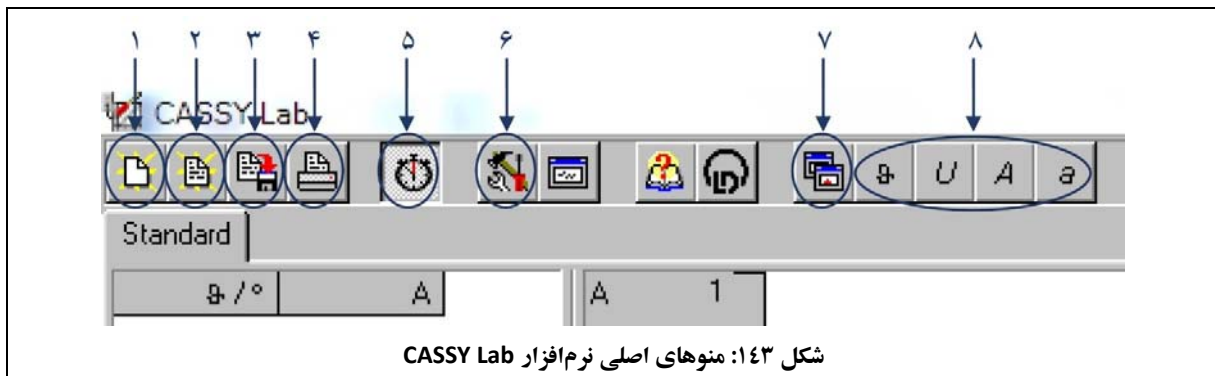
این امکان در حال حاضر برای مجموعه آزمایشگاهی آنتن فعال نیست.

محل تعیین این متغیر در شکل ۱۴۲، با شماره ۱۱ مشخص شده است.

توصیه می‌شود تنظیمات از حالت اولیه خارج نشوند مگر اینکه در آزمایشی بطور مشخص تنظیمات خاصی مورد اشاره قرار گرفته باشد.

پ ۲-۴- معرفی منوهای اصلی نرم‌افزار CASSY Lab

منوهای اصلی نرم‌افزار CASSY Lab در شکل ۱۴۳ مشاهده می‌شود.



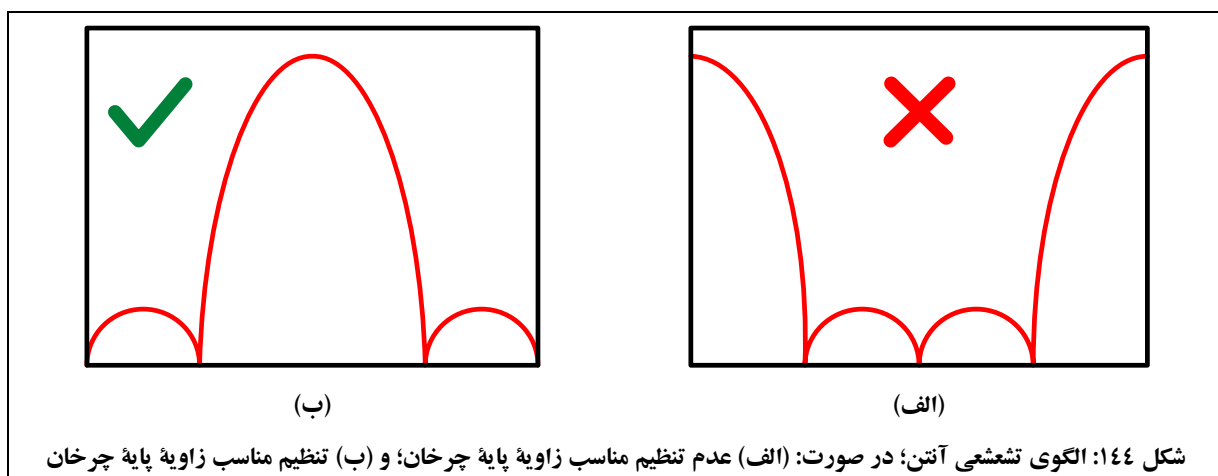
منوهای مورد اشاره در شکل ۱۴۳ به ترتیب عبارتند از:

۱. Delete Measurement or Settings: جهت پاک کردن داده‌های اندازه‌گیری قبلی یا تنظیمات فعلی. توجه نمائید که پس از انتخاب این گزینه، پنجره Settings نمایش داده خواهد شد و جهت آغاز اندازه‌گیری جدید، لازم است مجدداً از منوی نرده‌بانی مربوط به پورت مورد نظر، گزینه Rotating Antenna Platform (737 405) را انتخاب نمائید (حتی اگر در منوی نرده‌بانی گزینه Rotating Antenna Platform (737 405) وجود داشته‌باشد، جهت اندازه‌گیری جدید لازم است مجدداً روی آن کلیک نمود).
۲. Load Measurement: جهت بارگذاری نتایج اندازه‌گیری قبلی که پیش از این ذخیره شده‌باشد.
۳. Save Measurement As ...: جهت ذخیره‌سازی نتایج اندازه‌گیری فعلی.
۴. Print Diagram or Table: جهت چاپ داده‌ها (شکل یا جدول) با استفاده از پرینتر.
۵. Start/Stop Measurement: جهت صدور فرمان آغاز یا توقف اندازه‌گیری.
۶. Change Settings or Measurement Parameters: جهت نمایش پنجره تنظیمات.
۷. Toggle Display Instruments On/Off: جهت نمایش/حذف نمایشگرهای مختلف (پارامترهای قابل اندازه‌گیری در هر اندازه‌گیری).
۸. نمایشگرهای مختلف که در گزینه قبل قابل نمایش هستند.

پ ۲-۵- نحوه کار نرم‌افزار CASSY Lab جهت انجام آزمایش‌ها

در این بخش به نکاتی در خصوص نحوه کار نرم‌افزار CASSY Lab جهت انجام آزمایش‌ها، اشاره می‌شود.

نکته: در ابتدای هر اندازه‌گیری قبل از زدن دکمه آغاز اندازه‌گیری در نرم‌افزار CASSY Lab، بهتر است به صورت دستی جهت آنتن تحت آزمون را به گونه‌ای تنظیم کنید که ماکزیمم سیگنال دریافت شود. در اکثر آنتن‌ها نقطه ماکزیمم الگوی تشعشی همان زاویه صفر درجه است. در این وضعیت اگر الگوی تشعشی رسم شود، مشابه شکل ۱۴۴ (الف)، ماکزیمم الگوی تشعشی پیوسته نخواهد بود. جهت جلوگیری از این رخداد، پس از یافتن نقطه ماکزیمم دریافت سیگنال، آنتن را به اندازه 180° بچرخانید تا پشت آنتن تحت آزمون در مقابل آنتن فرستنده قرار گیرد. با این روش تنظیم، مشابه شکل ۱۴۴ (ب)، ماکزیمم الگوی تشعشی در صفحه نمایش CASSY Lab به صورت پیوسته نشان داده خواهد شد و دو تکه نخواهد بود.

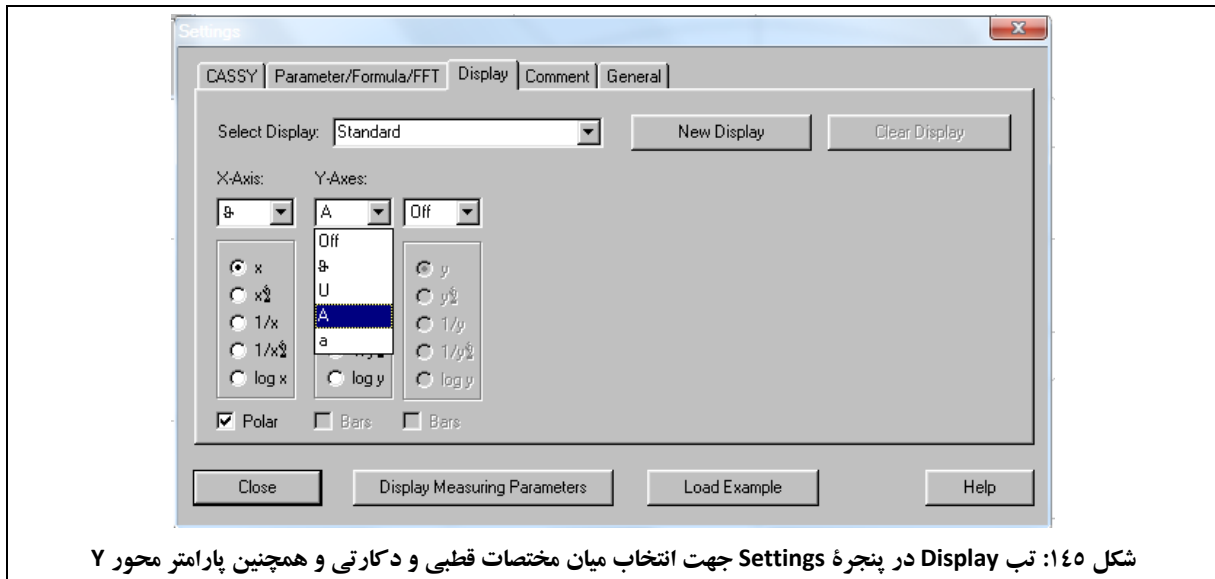


نکته: پایه چرخان پس از رسم کامل یک الگوی تشعشی، به صورت خودکار به نقطه اولیه اندازه‌گیری بر می‌گردد.

نکته: توجه شود که پس از هر اندازه‌گیری، فایل‌های مربوط به آن اندازه‌گیری در یک پوشه با نامی مشخص (مثلاً تاریخ آن روز و شماره گروه انجام‌دهنده آزمایش) ذخیره شود. در ضمن در صورت آزمایش‌ها، نام مشخصی جهت ذخیره کردن هر الگوی تشعشی پیشنهاد شده‌است که توصیه می‌شود جهت حفظ نظم کار، از همان نام‌ها استفاده گردد.

نکته: کاربر در رسم الگوهای تشعشی، حق انتخاب بین دستگاه مختصات دکارتی و کارترتی را دارد (در صورت آزمایش‌ها تنها الگوی کارترتی مورد خواست است).

جهت انتخاب مختصات دکارتی و کارترتی، باید در پنجره Settings به تب Display، که در شکل ۱۴۵ مشاهده می‌شود، مراجعه نمود. جهت انتخاب مختصات کارترتی باید گزینه polar تیک داشته‌باشد و جهت انتخاب مختصات دکارتی باید تیک گزینه polar را حذف نمود.



شکل ۱۴۵: تب Display در پنجره Settings جهت انتخاب میان مختصات قطبی و دکارتی و همچنین پارامتر محور Y

نکته: همانطور که در شکل ۱۴۵ تحت عنوان Y-Axes مشاهده می‌شود، برای رسم الگوی تشعشی آنتن امکان انتخاب سه پارامتر U، a و A، وجود دارد که در ادامه در خصوص آنها توضیحاتی ارائه می‌شود. الگوی تشعشی یک آنتن، رفتار سیگنال ولتاژ، جریان یا توان دریافتی آنتن تحت آزمون را بر حسب زاویه بیان می‌کند. در نرم‌افزار CASSY Lab، سیگنال ولتاژ دریافتی آنتن تحت آزمون با پارامتر A مشخص می‌شود. مطابق رابطه ۴۰، توان دریافتی آنتن تحت آزمون به صورت سهموی با سیگنال ولتاژ مرتبط است.

$$P_{RF} \propto A^2$$

رابطه ۴۰

برای اندازه‌گیری توان دریافتی آنتن تحت آزمون (و ترسیم الگوی تشعشی آنتن) یا باید از دستگاه تحلیل‌گر طیف^{۶۹} یا دیود آشکارساز^{۷۰} استفاده نمود؛ این کار در مجموعه آزمایشگاهی آنتن، با استفاده از دیودهای آشکارساز انجام می‌شود. نحوه کار دیودهای آشکارساز به این شکل است که پس از دریافت توان میکروویو در محل آنتن تحت آزمون، جریانی متناسب با توان دریافتی در دیود ایجاد می‌شود. سپس این جریان در مقاومت ورودی تقویت‌کننده بلوک گیرنده، به ولتاژ U تبدیل می‌شود. در حالت کلی، ولتاژ U مطابق رابطه ۴۱ با سیگنال دریافتی آنتن ارتباط دارد.

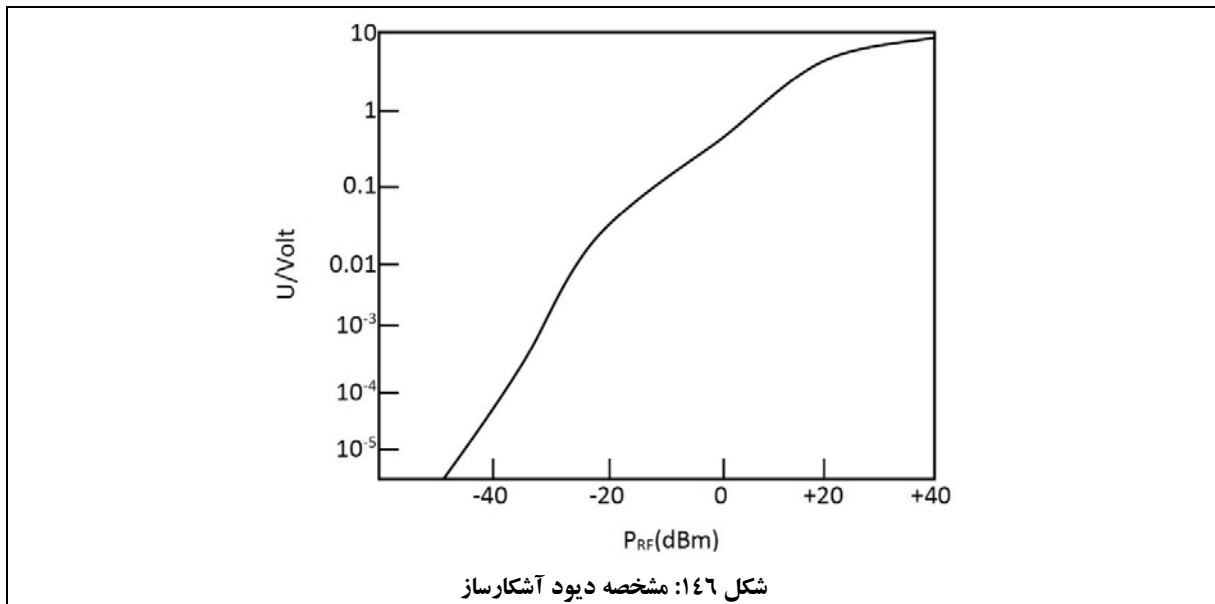
⁶⁹ Spectrum Analyzer

⁷⁰ Detector Diode

رابطه ۴۱

$$A \propto U^{1/m}$$

در رابطه ۴۱، m مشخصه دیود آشکارساز است که بسته به توان ورودی به دیود آشکارساز تغییر می‌کند. شکل ۱۴۶ مشخصه تغییرات U (بر حسب ولتاژ) را برای توان‌های مختلف P_{RF} در ورودی دیود آشکارساز (بر حسب dBm) نشان می‌دهد. در این شکل با تقریب چندجمله‌ای می‌توان برای توان‌های دریافتی در بازه $(-20 \text{ to } +20)^{dBm}$ از $m = 2$ در روابط استفاده نمود. همچنین بر اساس تجربه، در اندازه‌گیری الگوی تشعشعی آنتن در آزمایش‌های طراحی شده برای مجموعه آزمایشگاهی آنتن، توان مایکروویو که در محل ورودی دیود آشکارساز ظاهر می‌شود نیز با تقریب $m \approx 2$ سازگاری دارد. با این حال نرم‌افزار CASSY Lab امکان انتخاب m را برای کاربر قرار داده‌است. بنابراین اگر از دیود آشکارساز در سایر توان‌های ورودی استفاده شود، می‌توان مقدار m را متناسب با آن سطح توان ورودی انتخاب نمود.



در اکثر موارد از وضعیت نرمالیزه در اندازه‌گیری‌ها استفاده می‌شود. جهت این کار باید پس از انجام اندازه‌گیری، روی گزینه Normalize Level در پنجره Settings Rotating Antenna Platform کلیک نمود (در صورتیکه پنجره Settings Rotating Antenna Platform را در صفحه نمایشگر مشاهده نمی‌کنید، مجدداً از منوی نرده‌بانی مربوط به پورت مورد نظر در پنجره Settings، گزینه Rotating Antenna Platform (737 405) را انتخاب نمایید (حتی اگر در منوی نرده‌بانی گزینه Rotating Antenna Platform (737 405) وجود داشته‌باشد، جهت نمایش پنجره Settings لازم است مجدداً روی آن کلیک نمود)). تحت این شرایط، رابطه ۴۲ برقرار خواهد بود.

$$A = \left(\frac{U}{U_{\max}} \right)^{1/m} \quad \text{رابطه ۴۲}$$

در رابطه ۴۲، U_{\max} ، ماکزیمم سیگنال دریافتی آنتن تحت آزمون است که غالباً در زاویه صفر درجه رخ می‌دهد. با انتخاب الگوی تشعشی نرمالیزه در نرم‌افزار CASSY Lab، مقدار ماکزیمم الگو برابر یک خواهد بود.

علاوه بر این، می‌توان الگوی تشعشی را به جای پارامتر A با پارامتر a ، که همان توان نرمالیزه در محل آنتن تحت آزمون است، نیز رسم نمود. این پارامتر با رابطه ۴۳ تعریف می‌شود.

$$a = 20 \log(A) \quad \text{رابطه ۴۳}$$

در اکثر اندازه‌گیری‌ها، بهتر است الگوی تشعشی آنتن با پارامتر a گزارش شود تا بتوان جزئیات موجود در الگوی تشعشی آنتن را بر حسب واحد dB مشاهده نمود.

پیوست ۳- شرایط ضمانت و خدمات پس از فروش

شرکت راژان پرتو پارس، نسبت به ضمانت مجموعه آزمایشگاهی آنتن به مدت یک سال و همچنین ارائه خدمات پس از فروش این محصولات به مدت ده سال از تاریخ تحویل کالا، با شرایط زیر، متعهد می‌گردد.

تبصره ۱- خدمات ضمانت، شامل تعمیر دستگاه و ارائه خدمات رایگان جهت تعویض قطعات و دستمزد می‌باشد و تحویل کالای معیوب به محل شرکت راژان پرتو پارس، دریافت کالا پس از تعمیر و هرگونه صدمه احتمالی حین حمل، برعهده خریدار می‌باشد.

تبصره ۲- شرکت راژان پرتو پارس، پنج روز کاری پس از تحویل گرفتن کالای معیوب، نسبت به ارائه تخمین زمان تعمیر و هزینه احتمالی تعمیر، به خریدار اقدام خواهد نمود.

تبصره ۳- موارد زیر شامل ضمانت نمی‌باشند:

الف- صدمات ناشی از نوسانات برق، آتش‌سوزی، رعد و برق، حوادث طبیعی، استفاده غلط و یا بی‌توجهی به دستورالعمل‌های ذکر شده در دفترچه راهنمای کالا.

ب- کلیه صدمات فیزیکی، شامل ضربه، شکستگی، له‌شدگی و ریختن مایعات.

پ- قطعاتی که دارای هرگونه آسیب ظاهری نظیر سوختگی قطعات روی برد، تاب برداشتنگی و غیره باشند.

ت- کالا و قطعاتی که دستکاری شده‌اند یا به وسیله اشخاصی بجز نمایندگان شرکت راژان پرتو پارس تعمیر شده‌اند.

ث- هر نوع دستکاری و یا آسیب برچسب هولوگرام روی پایه چرخان و مولد سیگنال میکروویو.

تبصره ۴- تشخیص مشمول ضمانت بودن یا نبودن کالا، برعهده کارشناسان بخش خدمات شرکت راژان پرتو پارس می‌باشد.

تبصره ۵- شرکت راژان پرتو پارس بر اساس تشخیص کارشناسان خود، کالای تحت پوشش ضمانت را با استفاده از قطعات اصلی، تعمیر یا با نمونه سالم مشابه، تعویض خواهد کرد. درستی عملکرد قطعات تعمیر یا تعویض شده تا پایان ضمانت کالای اصلی ضمانت می‌گردد و تعمیر و تعویض، افزایشی در دوره ضمانت اولیه، ایجاد نخواهد نمود.

تبصره ۶- در صورت عدم مراجعه خریدار در تاریخی که شرکت راژان پرتو پارس برای تحویل کالا مقرر می‌کند، کالا به مدت ۲۰ روز کاری در انبار شرکت راژان پرتو پارس نگهداری شده و پس از آن تاریخ، به ازای هر روز، ۱۰۰ هزار ریال هزینه انبارداری به کالا تعلق می‌گیرد که می‌بایست توسط خریدار پرداخت گردد.

تبصره ۷- مدت زمان نگهداری کالا در محل شرکت راژان پرتو پارس حداکثر سه ماه پس از تاریخ تحویل مقرر شده می‌باشد و پس از آن، هیچ مسئولیتی در قبال کالا برعهده شرکت راژان پرتو پارس نخواهد بود.

پیوست ۴- معرفی شرکت راژان پرتو پارس

شرکت راژان پرتو پارس به وسیله تعدادی از دانش‌آموختگان دانشکده فنی دانشگاه تهران و دانشگاه صنعتی شریف در سال ۱۳۸۸ تأسیس و به عنوان شرکتی دانش بنیان، در پارک علم و فناوری دانشگاه تهران مستقر گردید. همچنین این شرکت براساس ارزیابی‌های معاونت علمی و فناوری ریاست جمهوری، از تاریخ ۹۴/۹/۱۵ دارای عنوان دانش بنیان می‌باشد. این شرکت در حوزه طراحی سیستم‌های الکترونیکی برای کاربردهای خاص که در اصطلاح "سیستم‌های نهفته"^{۱)} نامیده می‌شوند، فعالیت می‌کند. این حوزه از ماهیتی میان رشته‌ای برخوردار بوده و مرکب از تخصص‌های الکترونیک، کنترل، مخابرات، نرم‌افزار و سخت‌افزار و مهندسی سیستم، می‌باشد.

ارزش‌های این شرکت عبارتند از:

- **پیشگامی و ممتاز بودن**

در راژان پرتو پارس به بهترین شدن در حوزه فعالیت خود می‌اندیشیم. اگر کاری را می‌پذیریم باید آنرا به بهترین نحو ممکن به پایان ببریم. حس برتری و پیشگامی، روح جاری و حاکم بر فرهنگ ماست و اعتقاد داریم این تعالی و ممتاز بودن در همه امور شرکت از محصولات تا فرآیندها تا نیروی انسانی، باید مشهود باشد.

- **تعهد**

راژان پرتو پارس در قبال کارکنان شرکت، که ارزشمندترین دارایی آن می‌باشند، خود را متعهد می‌داند تا شرایط رشد فردی و حرفه‌ای آنان را فراهم آورد. به شکل متقابل، کارکنان در قبال رشد، توسعه و تعالی شرکت احساس مسئولیت می‌کنند. ما خود را در قبال قول‌ها و وعده‌هایمان، متعهد می‌دانیم. ما خود را در قبال کارکنان، مشتریان، همکاران و جامعه و در نهایت رشد و پیشرفت کشور، مسئول و پاسخگو می‌دانیم.

- **پایبندی به اصول اخلاق حرفه‌ای**

معتقدیم یکی از مهم‌ترین ارکان پیشرفت و تعالی، حاکمیت اخلاق است. از این رو بالاترین استانداردهای اخلاق حرفه‌ای را برای خود لازم‌الاجرا می‌دانیم. ما خود را در هر شرایطی پایبند به رعایت صداقت و درستی، امانت‌داری

^{۱)} Embedded Systems

و حفظ اطلاعات خصوصی مشتریان، اهتمام به رقابت سالم و سازنده و احترام عمیق به حقوق تمامی ذی‌نفعان، می‌دانیم.

• نوآوری دانش محور

باور داریم امروزه موتور اصلی پیشرفت و خلق ارزش، نه صرفاً مبتنی بر دانش و فناوری، که مبتنی بر ارائه راه‌حل‌های بدیع و محصولات نو بر بستر دانش و فناوری، می‌باشد. در راژان پرتو پارس، جستجوی راه‌حل‌های نوآورانه و در عین حال دانش محور، همواره مورد تشویق و استقبال است و ما خلاقیت و تحقق عملی آنرا تا رسیدن به نوآوری، یکی از ارزش‌های محوری خود می‌دانیم.

مهارت‌ها و توانمندی‌های موجود در این شرکت، عبارتند از:

- طراحی سیستماتیک مبتنی بر متدولوژی طراحی Platform-based جهت کاهش زمان طراحی و افزایش کیفیت سیستم نهایی؛
- طراحی سیستم‌های پر سرعت مبتنی بر پردازنده‌های چند هسته‌ای ۳۲ بیتی و پردازنده‌های سیگنال DSP؛
- تسلط بر پورت کردن سیستم عامل‌های بلادرنگ و ارائه BSP؛
- طراحی سیستم‌های سروو درایو با دقت بالا و پیاده‌سازی و سنجش عملکرد الگوریتم‌های کنترل حرکت؛
- خدمات طراحی PCB مدار چاپی برای مدارهای دیجیتال؛
- توانمندی در طراحی مدارهای الکترونیک قدرت در توان‌های پایین و میانی.

پیوست ۵- معرفی نرم‌افزارهای کمکی در طراحی و آشنایی با نحوه عملکرد آنتن

امروزه با گسترش استفاده از روش‌های عددی در الکترومغناطیس، طراحی آنتن به امری عادی تبدیل شده است. همچنین نرم‌افزارهای حرفه‌ای طراحی آنتن، به راحتی در اختیار بسیاری از طراحان آماتور آنتن قرار دارد. طراحی‌های صورت گرفته با استفاده از این نرم‌افزارها با نتایج نمونه‌های ساخته شده، سازگاری قابل قبولی دارند. با توجه به اینکه آموزش نحوه کار با این نرم‌افزارها از توان و حوصله این گزارش خارج است، در این پیوست به صورت خلاصه، تعدادی از نرم‌افزارهای مورد استفاده در تحلیل و شبیه‌سازی آنتن‌ها معرفی می‌شوند. برای یادگیری روش کار این نرم‌افزارها، می‌توان نسبت به نصب آنها و مطالعه فایل راهنمایشان اقدام نمود (فایل نصب و فایل آموزش این نرم‌افزارها در DVD همراه مجموعه، ارائه شده است).

پ ۵-۱- نرم‌افزار HFSS

این نرم‌افزار متعلق به شرکت Ansoft است. در ویرایش ۱۳ این نرم‌افزار، که به همراه این گزارش در اختیار کاربران محترم قرار گرفته است، قابلیت شبیه‌سازی بر پایه روش‌های عددی المان محدود^{۷۲} و معادلات انتگرالی^{۷۳} وجود دارد. انواع تحلیل‌های قابل انجام به وسیله این نرم‌افزار عبارتند از:

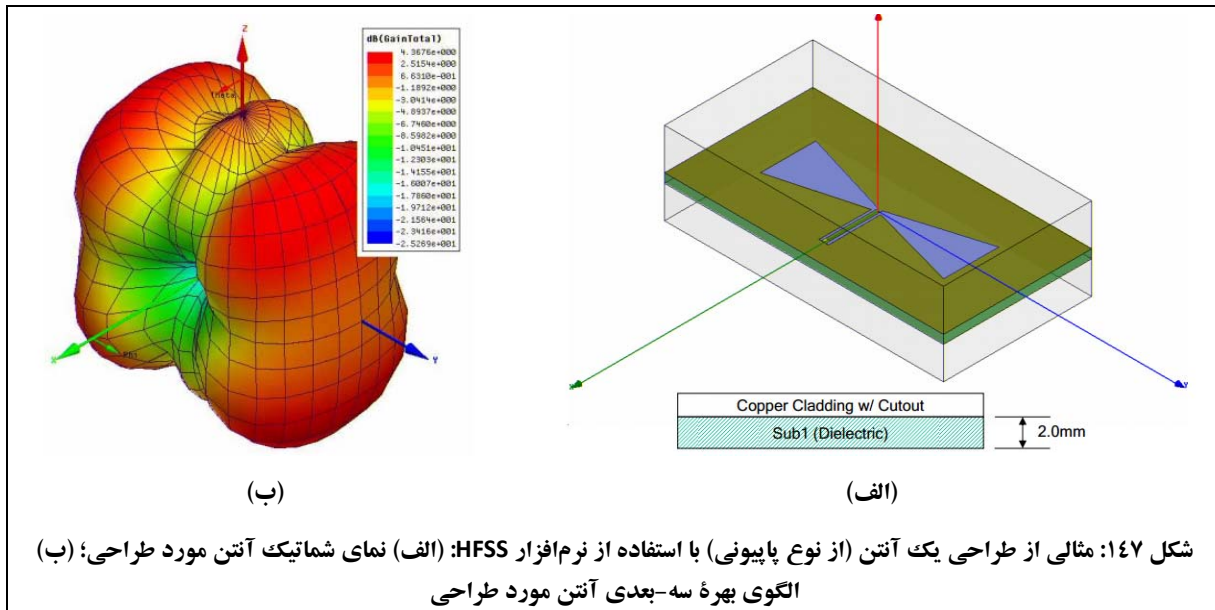
- Driven Modal;
- Driven Terminal;
- Eignmode;
- Transient.

متذکر می‌گردد که در کاربردهای طراحی و تحلیل آنتن، معمولاً از دو نوع تحلیل اول استفاده می‌شود.

طیف وسیعی از آنتن‌ها مانند آنتن‌های شکافی، رفلکتوری، لنز، مایکرواستریپ و سیمی، به وسیله HFSS قابل تحلیل هستند. برای نمونه در شکل ۱۴۷، نمایی از یک نمونه آنتن پایبونی و نمای سه-بعدی الگوی بهره آن در محیط HFSS مشاهده می‌شود.

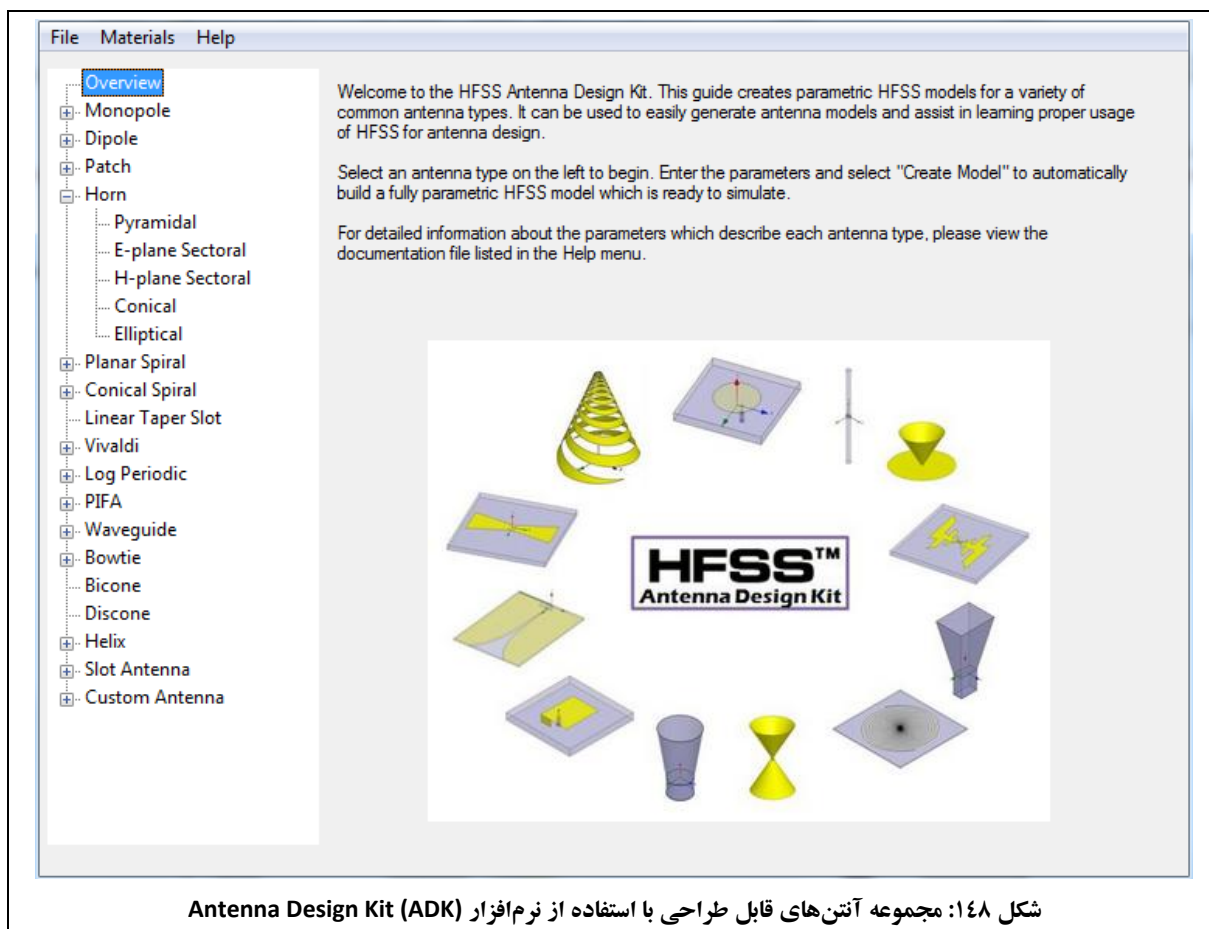
⁷² Finite Element

⁷³ Integral Equations



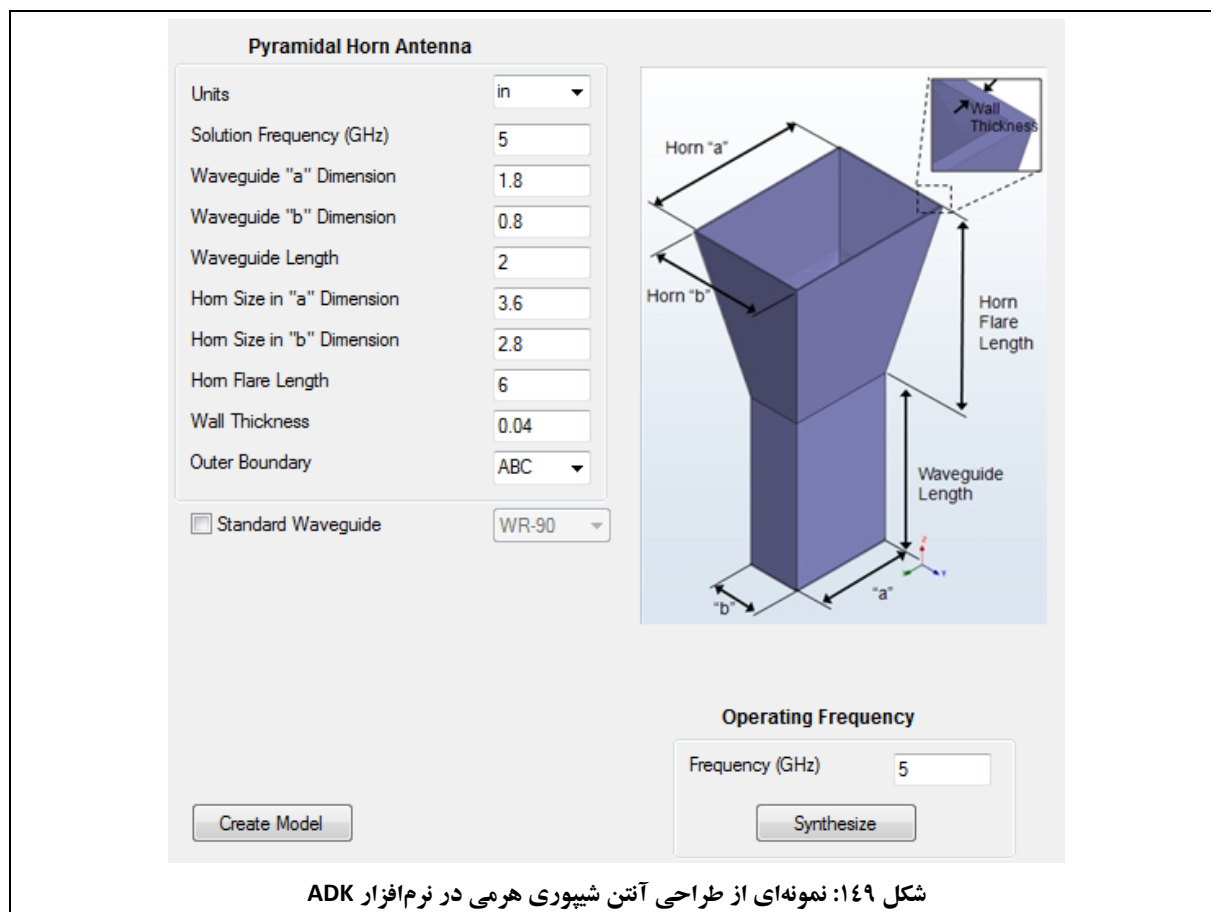
پ ۵-۲- نرم‌افزار (ADK) Antenna Design Kit

انتخاب اعداد مناسب برای ابعاد آنتن در فرکانس مربوطه که مشخصات الگوی تشعشعی و تطبیق امپدانس را برآورده کند، از خواسته‌های مطلوب هر طراح آنتن است. نرم‌افزار ADK متعلق به شرکت Ansoft این قابلیت را به طراح آنتن می‌دهد که با انتخاب فرکانس کاری، آنتنی با مشخصات مطلوب در آن فرکانس طراحی نماید. مهمترین ویژگی این نرم‌افزار، آماده‌سازی شکل گرافیکی آنتن در محیط HFSS فقط با وارد نمودن چند عدد در محیط این نرم‌افزار است. مجموعه آنتن‌هایی که توسط ADK قابل طراحی هستند در شکل ۱۴۸ مشاهده می‌شود.



شکل ۱۴۸: مجموعه آنتن‌های قابل طراحی با استفاده از نرم‌افزار Antenna Design Kit (ADK)

به‌عنوان یک نمونه در شکل ۱۴۹ یک آنتن شیپوری هرمی که با استفاده از نرم‌افزار ADK طراحی شده است مشاهده می‌شود. در این شکل تمامی پارامترهای مورد نیاز در طراحی نشان داده شده و تنها کافی است ابعاد مورد نظر در کادر سمت چپ وارد شود. متذکر می‌گردد که این پارامترها در ادامه کار طراحی در محیط HFSS قابل تغییر هستند.

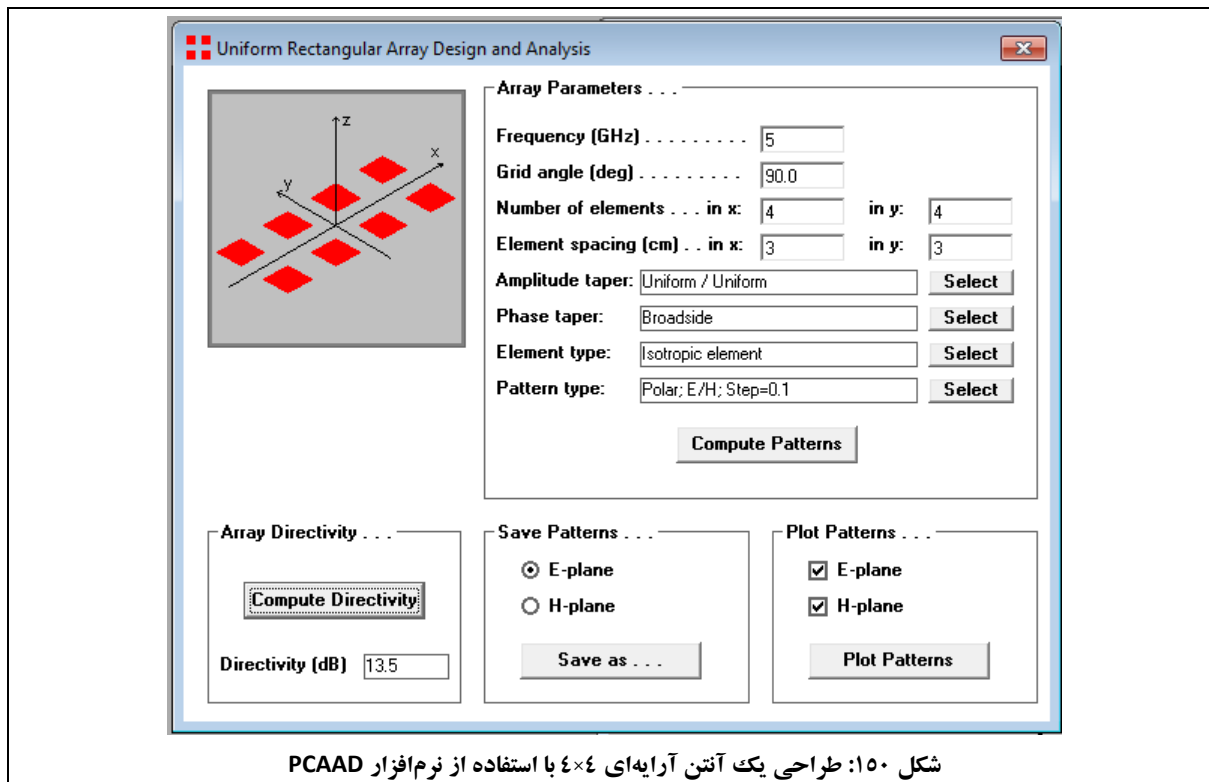


پ ۳-۵- نرم‌افزار PCAAD

یک طراح حرفه‌ای آنتن همواره برای دستیابی به ابعاد آنتن با مشخصات مطلوب از فرمول‌های تحلیلی استفاده می‌کند. این فرمول‌ها غالباً روابط پیچیده‌ای هستند و امکان خطا در نوشتن آنها وجود دارد. جهت تسهیل کار، این فرمول‌ها در قالب نرم‌افزاری با نام PCAAD^{۷۴} ارائه شده‌است. این نرم‌افزار طیف وسیعی از آنتن‌های سیمی، آرایه‌ای، روزنه‌ای و میکرواستریپ را پوشش می‌دهد.

نحوه طراحی یک آنتن آرایه‌ای ۴×۴ با استفاده از این نرم‌افزار، در شکل ۱۵۰ مشاهده می‌شود.

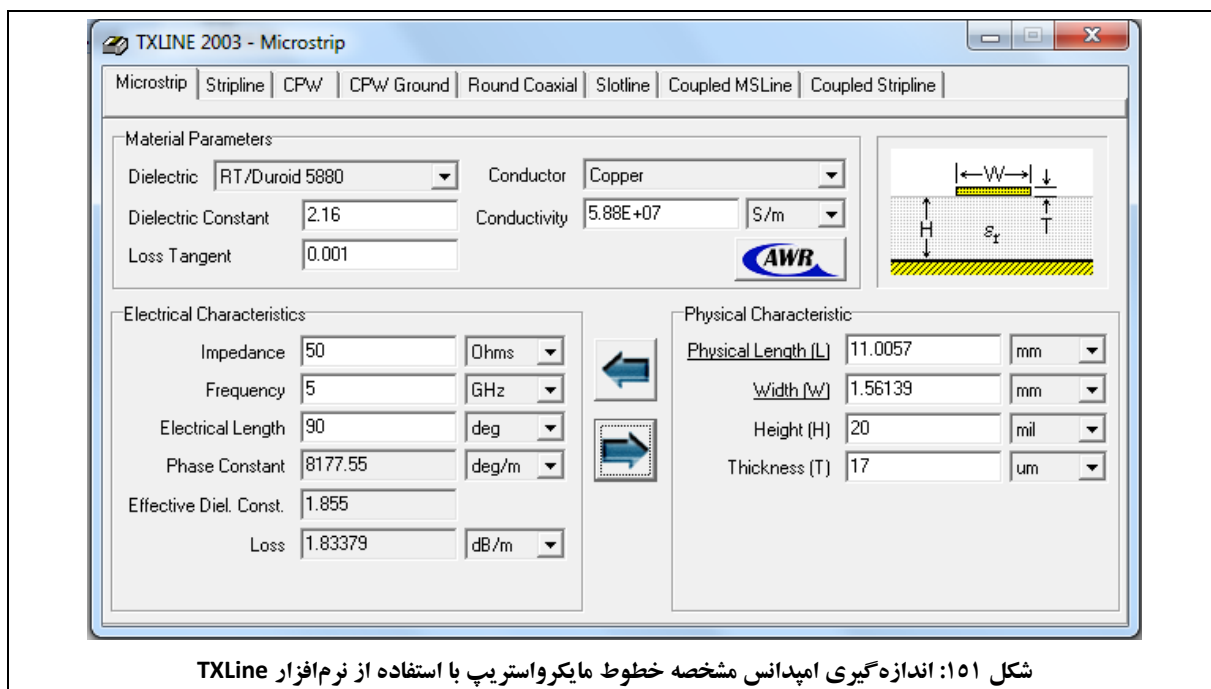
⁷⁴ Personal Computer Aided Antenna Design



پ ۵-۴- نرم‌افزار TXLine

نرم‌افزار TXLine توسط کمپانی AWR به بازار عرضه شده‌است. از این نرم‌افزار برای محاسبه امپدانس مشخصه انواع خطوط مسطح میکروویو استفاده می‌شود. انواع خطوط مسطح میکروویو مانند خطوط میکرواستریپ، استریپ لاین و موجبر هم صفحه (CPW)^{۷۵} که با استفاده از این نرم‌افزار قابل تحلیل هستند، در منوی افقی شکل ۱۵۱ مشاهده می‌شوند. علاوه بر این، در شکل ۱۵۱، نمونه‌ای از طراحی یک خط میکرواستریپ در فرکانس ۵GHz با امپدانس ۵۰Ω و طول الکتریکی ۹۰° برای زیرلایه RT/Duroid 5880 (که دارای ثابت دی‌الکتریک ۲٫۱۶ و تانژانت تلفات ۰٫۰۰۱ است)، مشاهده می‌شود. در این طراحی، ضخامت زیرلایه، ۲۰mm و ضخامت فلز روی آن، ۱۷μm در نظر گرفته شده‌است. بر این اساس، عرض این خط، ۱٫۵۶mm و طول آن، ۱۱mm محاسبه شده‌است.

⁷⁵ Co-Planar Waveguide (CPW)



پیوست ۶ - منابع علمی مرتبط با طراحی و تست آنتن

جهت مطالعات بیشتر در خصوص طراحی و تست آنتن، منابع علمی زیر معرفی می‌گردد:

- C. A. Balanis, "Antenna Theory Analysis and Design", 3rd ed., John Wiley & Sons Publication, 2005.
- IEEE Std 149, "IEEE Standard Test Procedures for Antennas", 1979.
- W. L. Stutzman, G. A. Thiele, "Antenna Theory and Design", 2nd ed., John Wiley & Sons Publication, 1998.
- R. S. Elliott, "Antenna Theory and Design", Revised ed., IEEE Press, 2003.
- J. D. Kraus, "Antennas", 2nd ed., McGraw Hill, 1997.
- D. M. Pozar, "Microwave Engineering", 3rd ed., John Wiley & Sons Publication, 2005.
- J.M. Kloza, K. Breidenbach, "MTS 7.6: Antenna Technology", Leybold Didactic GmbH, 2nd ed., 1993.