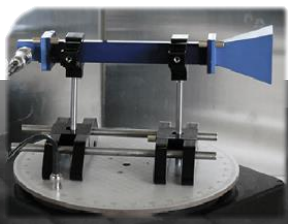


مجموعه آزمایشگاهی آنتن



نحوه کارکرد و نمونه‌ای از آزمایش‌ها

فهرست

مقدمه	۲
۱- نحوه کارکرد مجموعه آزمایشگاهی آنتن	۴
۱-۱- دستورالعمل‌های ایمنی	۴
۲-۱- فضای نصب مجموعه	۵
۳-۱- یک نمونه از چیدمان عملیاتی	۷
۲- نمونه‌ای از دستورالعمل آزمایش‌ها؛ آنتن هلیکال (Helical Antenna)	۱۱
۲-۱- مقدمه‌ای در خصوص آنتن‌های هلیکال	۱۱
۲-۲- قطعات مورد نیاز	۱۵
۳-۲- الگوی جهتی آنتن هلیکال با پلاریزاسیون یکسان آنتن‌های فرستنده و گیرنده	۱۶
۴-۲- تأثیر انعکاس روی الگوی تشعشعی آنتن هلیکال	۱۸
۵-۲- الگوی جهتی آنتن هلیکال با پلاریزاسیون مخالف آنتن‌های فرستنده و گیرنده	۲۱
۶-۲- تأثیر انعکاس روی الگوی جهتی آنتن هلیکال در آنتن‌های فرستنده و گیرنده دارای پلاریزاسیون مخالف	۲۲
۷-۲- تأثیر صفحه پلاریزور روی الگوی تشعشعی آنتن هلیکال	۲۳
۸-۲- اندازه‌گیری نوع پلاریزاسیون موج تشعشعی آنتن فرستنده در محل ماکزیمم گلبرگ اصلی الگوی جهتی	۲۵
۸-۲-۱- به دست آوردن خروج از مرکز بیضی پلاریزاسیون	۲۵
۸-۲-۲- به دست آوردن زاویه چرخش بیضی پلاریزاسیون	۲۶
۸-۲-۳- تعیین راستگرد یا چپگرد بودن پلاریزاسیون موج	۲۷

مقدمه

جهت دستیابی به اهداف آموزشی مجموعه آزمایشگاهی آنتن، آزمایش‌هایی به شرح زیر برای این مجموعه تدوین گردیده‌است:

• آنتن دایپل:

- 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 (1.5λ) در صفحه E؛
- بررسی الگوی تشعشعی آنتن دایپل ۲٫۵ طول موج (2.5λ) در صفحه E؛
- بررسی الگوی تشعشعی 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 تشعشعی آنتن دایپل نیم موج ($\lambda/2$) در صفحه H.

• آنتن یاگی-یودا:

- 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:

- 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:

- 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).

• آنتن هلیکال:

- 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:

- 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 4×1 ؛
- اندازه‌گیری الگوی تشعشعی آنتن میکرواستریپ آرایه خطی 2×2 .

در این نوشته به نحوه کارکرد این مجموعه و همچنین نمونه‌ای از آزمایش‌های تدوین یافته برای آن اشاره می‌گردد.

۱- نحوه کارکرد مجموعه آزمایشگاهی آنتن

در این بخش به توضیح در خصوص نحوه کارکرد مجموعه آزمایشگاهی آنتن پرداخته می‌شود. به‌عنوان مکمل این بخش و همچنین به‌عنوان نمونه‌ای از آزمایش‌های طراحی شده برای مجموعه آزمایشگاهی آنتن، دستورالعمل آزمایش آنتن هلیکال در بخش ۲ ارائه شده است.

۱-۱- دستورالعمل‌های ایمنی

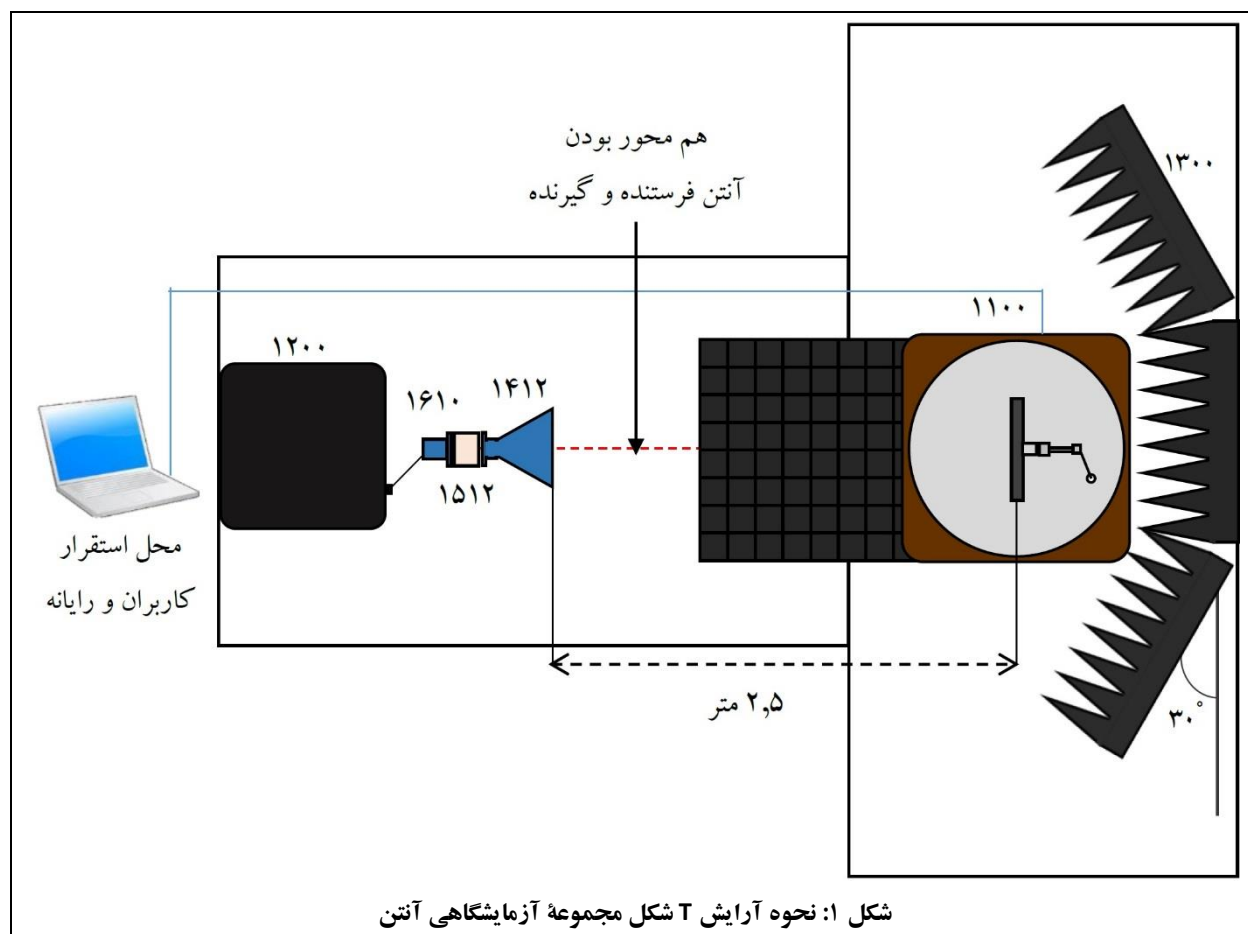
- جهت استفاده از مجموعه آزمایشگاهی آنتن، باید به نکات ایمنی زیر توجه نمود:
 - جهت استفاده از مجموعه آزمایشگاهی آنتن، باید به نکات ایمنی زیر توجه نمود:
- به دلیل توان پایین مولد سیگنال مایکروویو (حدود 150 mW)، خطری برای کاربر مجموعه وجود ندارد؛ با این حال جهت ایمنی بیشتر، توصیه می‌شود به نکات زیر توجه گردد:
 - به صورت مستقیم به دهانه تشعشع‌کننده آنتن نگاه نکنید. این مسئله شامل موجبرهای با انتهای باز و مبدل کواکسیال به موجبری نیز می‌شود.
 - در صورت نیاز به تغییر در چیدمان آزمایش، ابتدا اطمینان حاصل نمایید که مولد سیگنال مایکروویو خاموش باشد.
 - حین روشن بودن مولد سیگنال مایکروویو، از فضای اندازه‌گیری عبور ننمائید.
- 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.
- ادوات فعال مایکروویو (از جمله آشکارسازها و ورکتورها) به شدت نسبت به تخلیه الکترواستاتیکی حساس هستند. به همین جهت، به هنگام کار با آنها، از رخدادن تخلیه الکترواستاتیکی جلوگیری شود!
- 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 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 ۱۰ کیلوگرم می‌باشد، به هیچ وجه باری بیش از این مقدار روی پایه چرخان قرار نگیرد.

- به دلیل ظرافت فوم‌های جاذب امواج میکروویو:
 - 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 میکروویو، پس از جابه‌جایی فوم‌ها، دست‌های خود را به خوبی بشوید.
- جهت تغذیه دستگاه پایه چرخان و مولد سیگنال میکروویو، 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.

۱-۲- فضای نصب مجموعه

میزی که مجموعه آزمایشگاهی آنتن روی آن قرار می‌گیرد، تقریباً باید چهار متر طول داشته‌باشد. عرض میز باید به اندازه‌ای باشد که بتوان پایه چرخان و جاذب‌های امواج میکروویو را به راحتی 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 ۱، از آرایش T شکل برای میزها استفاده نمود. در این حالت، پایه چرخان به همراه مجموعه جاذب‌های امواج میکروویو، روی ناحیه بالایی T و مولد سیگنال میکروویو به همراه آنتن فرستنده، در قسمت پایین T قرار می‌گیرند. همچنین برای اینکه کاربران و رایانه کنترل‌کننده فرآیند آزمون در معرض حداقل تابش میکروویو باشند، بهتر است مطابق شکل ۱، پشت آنتن شیپوری 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 ۱ نیز مشاهده می‌شود، $r_0 \approx 2.5^m$ برای چیدمان مجموعه در نظر گرفته شده است.

چیدمان جاذب‌های امواج میکروویو که در شکل ۱ مشاهده می‌شود، تنها یک پیشنهاد اولیه 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 ۱، شرکت راژان پرتو پارس چهار عدد فوم جاذب امواج میکروویو را به شکل استاندارد به عنوان بخشی از مجموعه آزمایشگاهی آنتن عرضه می‌نماید. 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 میکروویو 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:

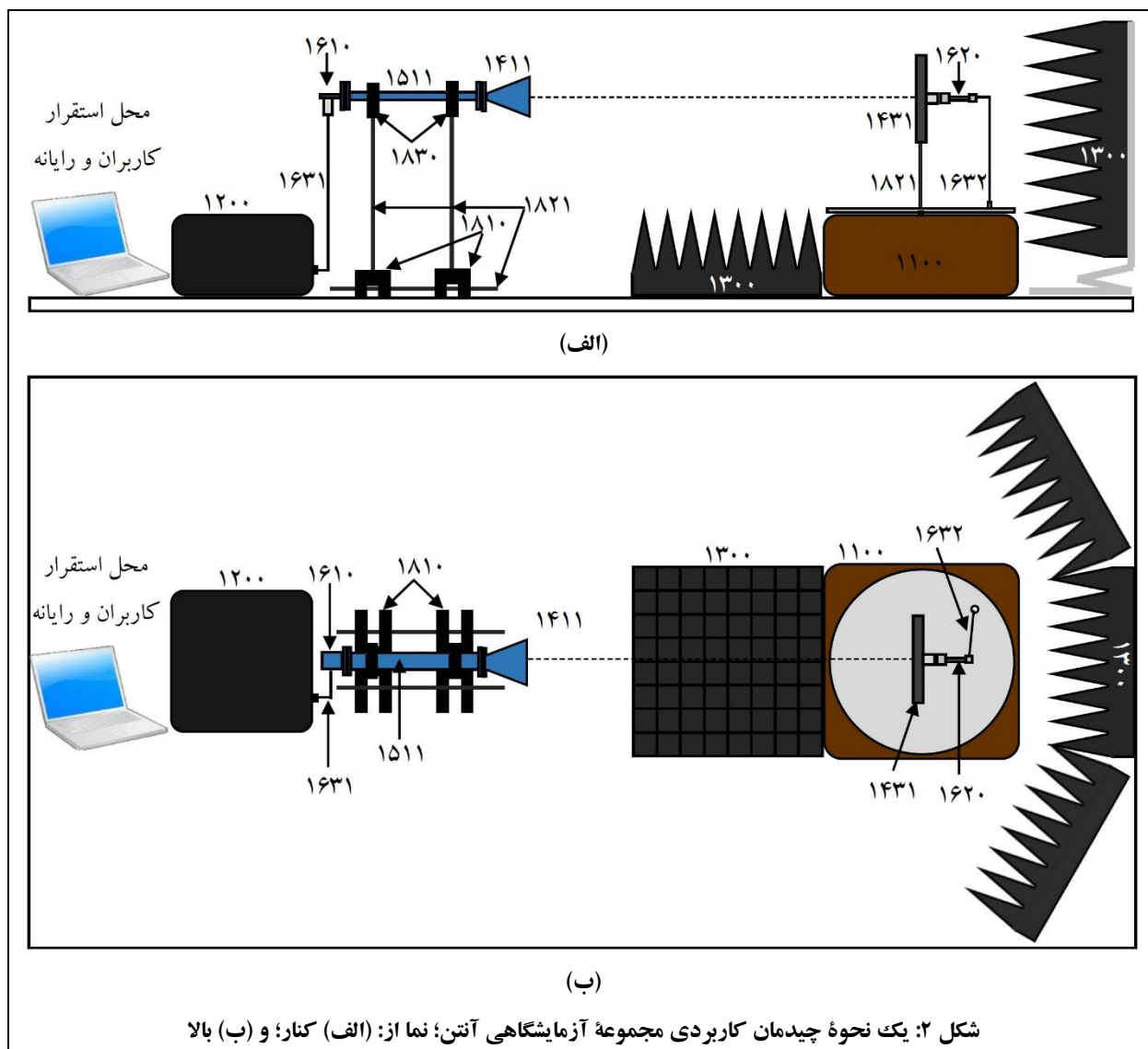
- فضای اطراف مجموعه باید تا حد امکان خالی از هر وسیله‌ای باشد. توصیه می‌شود حداقل در فاصله یک متری از مجموعه، وسیله اضافی قرار نداشته باشد.
- فضای اطراف مجموعه باید حداقل امکان عاری از نوسانات الکتریکی فرکانس بالا باشد، لذا ترجیح دارد اتاقی که مجموعه در آن نصب می‌گردد، در جوار آزمایشگاه‌های فشار قوی،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

۱-۳- 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 میکرواستریپ به عنوان آنتن تحت آزمون استفاده شده است.

پیش از ورود به جزئیات کارکردی مجموعه، مجدداً متذکر می‌گردد که جهت درک بهتر این چیدمان، آشنایی با کارکرد هر قطعه، نحوه قرار دادن قطعات در چیدمان و نیز تنظیمات نرم‌افزاری مورد نیاز جهت کارکرد مجموعه، لازم است ابتدا با مراجعه به فایل مشخصات فنی، اطلاعات قطعات مجموعه آزمایشگاهی آنتن و راهنمای نرم‌افزار CASSY Lab را مطالعه نمایید.

جهت اندازه‌گیری ویژگی‌های آنتن در چیدمان مورد نظر، مجموعه را مطابق شکل ۲ نصب نمایید.



در این چیدمان 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 کار 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، هر دو باید درون صفحه تقارن آنتن شیپوری فرستنده قرار گیرند.

- زاویه صفر میز گردان باید مطابق توضیحات ارائه شده در دستورالعمل آزمایش‌ها تنظیم شود.

همانطور که در شکل ۲ مشاهده می‌شود، قطعات مورد استفاده در چیدمان نمونه، مطابق جدول ۱ می‌باشند.

جدول ۱: فهرست قطعات مورد استفاده در چیدمان شکل ۲

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 ۲۰.۰mm	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
۱۲	کابل تغذیه	۱۶۳۵	۲
۱۳	پایه نگهدارنده	۱۸۱۰	۳
۱۴	میله‌های فلزی	۱۸۲۰	۱
۱۵	گیره نگهدارنده	۱۸۳۱	۲
۱۶	رایانه	-	۱

برای نصب قطعات به یکدیگر و رسیدن به چیدمان مورد نظر، لازم است از راهنمایی‌های فایل اطلاعات فنی مربوط به هر قطعه، استفاده نمود.

حال پایه چرخان و مولد سیگنال میکروویو را روشن نمائید. سپس با توجه به راهنمای نرم‌افزار CASSY Lab که در دستورالعمل آزمایش‌ها ارائه شده‌است، تنظیمات نرم‌افزاری را انجام دهید و از طریق نرم‌افزار CASSY Lab، فرمان آغاز اندازه‌گیری را صادر نمائید.

۲- نمونه‌ای از دستورالعمل آزمایش‌ها؛ آنتن هلیکال (Helical Antenna)

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.

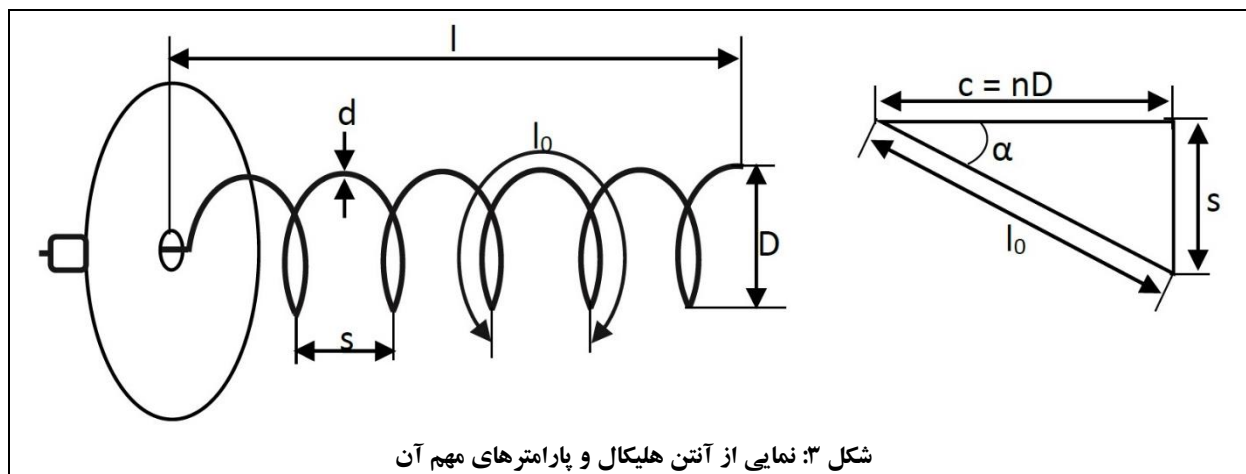
جهت دستیابی به این اهداف، آزمایش‌های زیر در این بخش تعریف گردیده‌اند:

- 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 جهتی آنتن هلیکال؛
- اندازه‌گیری نوع پلاریزاسیون موج تشعشعی آنتن فرستنده در محل ماکزیمم گلبرگ اصلی الگوی جهتی.

۲-۱- 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 شدن 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، به عنوان رفلکتور، قرار می‌گیرند و معمولاً توسط یک کانکتور کواکسیال تغذیه می‌شوند. شکل ۳، نمایی از آنتن هلیکال را نشان می‌دهد.



با توجه به شکل ۳، پارامترهایی مطابق جدول ۲، برای آنتن‌های هلیکال تعریف می‌شود.

جدول ۲: 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 $l_n = n \cdot \sqrt{(S^2 + C^2)}$ است.
C	محیط آنتن هلیکال

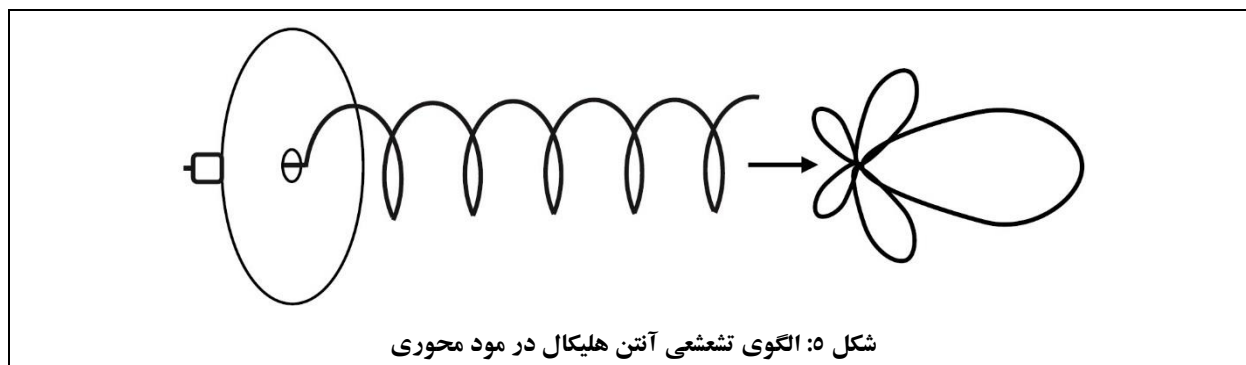
این آنتن‌ها در دو مود اصلی کار می‌کنند:

۱. مود نرمال: در مود نرمال (که به آن، هلیکال پهلوتاب^۱ 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 همه جهته است و گلبزرگ اصلی در جهت شعاع هلیکال است. الگوی تشعشی آنتن هلیکال در مود نرمال در شکل ۴ 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 در فضا مشخص نباشد (همچون ارتباط با سفینه‌ها و سامانه‌های نظامی) از آنتن با پلاریزاسیون دایروی استفاده می‌شود. لازم به ذکر است که در این حالت، بهره لینک به نصف کاهش می‌یابد. الگوی تشعشی آنتن هلیکال در مود محوری در شکل ۵ مشاهده می‌شود.

¹ Broadside



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 $\lambda/4$ 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 ۲ محاسبه می‌گردد.

$$Z_{in} \approx R_{in} \approx 140 \left(\frac{C}{\lambda} \right) [\Omega] \quad \text{رابطه ۲}$$

۲. HPBW: برای آنتن هلیکالی با شرایط بیان شده، مطابق رابطه ۳ محاسبه می‌گردد.

$$HPBW \approx \frac{52\lambda^{3/2}}{C\sqrt{NS}} [^\circ] \quad \text{رابطه ۳}$$

۳. زاویه پرتو بین دو صفر مجاور (BNBW)^۲: زاویه پرتو بین دو صفر مجاور، پرتو اصلی آنتن را گویند که برای آنتن هلیکالی با شرایط بیان شده، مطابق رابطه ۴ محاسبه می‌گردد.

$$BNBW \approx \frac{11\lambda^{3/2}}{C\sqrt{NS}} [^\circ] \quad \text{رابطه ۴}$$

راستآوری: برای آنتن هلیکالی با شرایط بیان شده، مطابق رابطه ۵ محاسبه می‌گردد.

$$D_0 \approx 15N \frac{C^2 S}{\lambda^3}, D_0[dB] = 10 \log(D_0) \quad \text{رابطه ۵}$$

۲-۲- قطعات مورد نیاز

قطعات مورد نیاز برای انجام آزمایش‌های مربوط به آنتن هلیکال، مطابق جدول ۳ می‌باشد.

جدول ۳: قطعات مورد نیاز آزمایش‌های مربوط به آنتن هلیکال

ردیف	نام قطعه	کد قطعه
۱	پایه چرخان	۱۱۰۰
۲	مولد سیگنال مایکروویو	۱۲۰۰
۳	جاذب‌های امواج مایکروویو	۱۳۰۰
۴	آنتن هلیکال	۱۴۲۱ راستگرد
۵		۱۴۲۲ چپگرد
۶	ترانسفورمر سه پیچ	۱۵۴۰
۷	آشکارساز کواکسیالی	۱۶۲۰
۸	کابل فرکانس بالا	۱۶۳۱
۹	کابل فرکانس پایین	۱۶۳۲
۱۰	کابل USB	۱۶۳۳

^۲ Between Null Beam Width (BNBW)

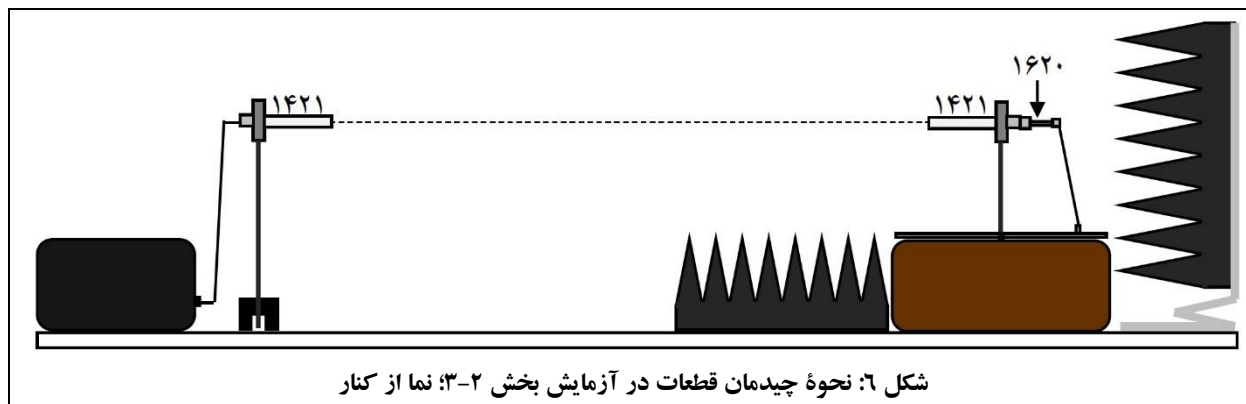
ردیف	نام قطعه	کد قطعه
۱۱	کابل تغذیه	۱۶۳۵
۱۲	صفحه پلارایزر	۱۷۱۰
۱۳	روزنه موج	بزرگ ۱۷۲۱
۱۴		صفحه اتصال کوتاه ۱۷۲۲
۱۵	پایه نگهدارنده	۱۸۱۰
۱۶	میله‌های فلزی	۱۸۲۱
۱۷	گیره نگهدارنده موجبر	۱۸۳۱
۱۸	گیره نگهدارنده پلارایزر	۱۸۳۲
۱۹	متر فلزی	۱۹۲۰
۲۰	پیچ و مهره	۱۹۳۰

۲-۳- 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.

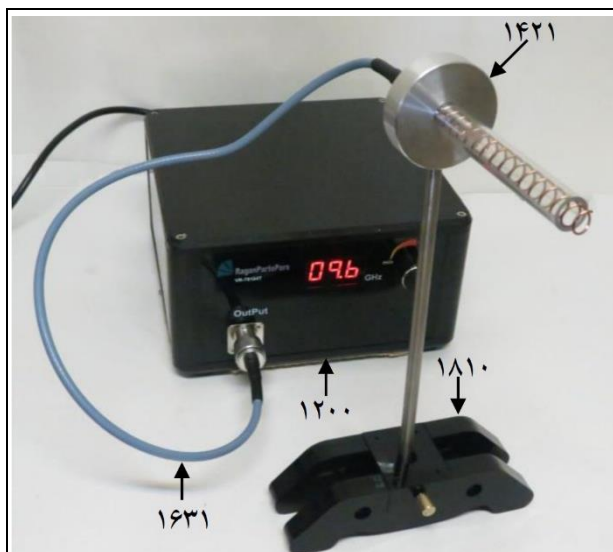
تنظیمات اولیه:

- نحوه چیدمان قطعات جهت انجام این آزمایش، مطابق شکل ۶ می‌باشد.

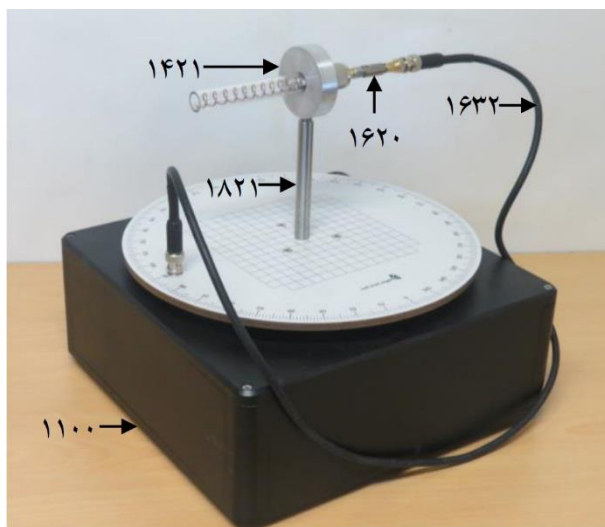


- توجه شود که در چیدمان شکل ۶، از دو آنتن هلیکال با پلاریزاسیون یکسان (راستگرد) استفاده شده‌است.

- آنتن فرستنده و آنتن تحت آزمون را مطابق شکل ۷ نصب نمایید:
 - مطابق شکل ۷ (الف)، آنتن تحت آزمون با استفاده از آشکارساز کواکسیالی و کابل فرکانس پایین، به پایه چرخان وصل شده است؛
 - مطابق شکل ۷ (ب)، آنتن فرستنده با استفاده از کابل فرکانس بالا، به شکل مستقیم به مولد سیگنال مایکروویو وصل شده است.



(ب)



(الف)

شکل ۷: نحوه نصب آنتن‌های: (الف) تحت آزمون؛ و (ب) فرستنده

- پس از برقراری اتصالات، آنتن گیرنده را در وضعیت پشت به فرستنده قرار دهید. توجه شود که نقطه ماکزیمم الگوی تشعشعی 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.

جهت انجام آزمایش:

۱. الگوی تشعشعی آنتن‌های هلیکال با پلاریزاسیون یکسان (نمودار a بر حسب θ در مختصات قطبی) را رسم نمایید. 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.

۲-۴- 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.

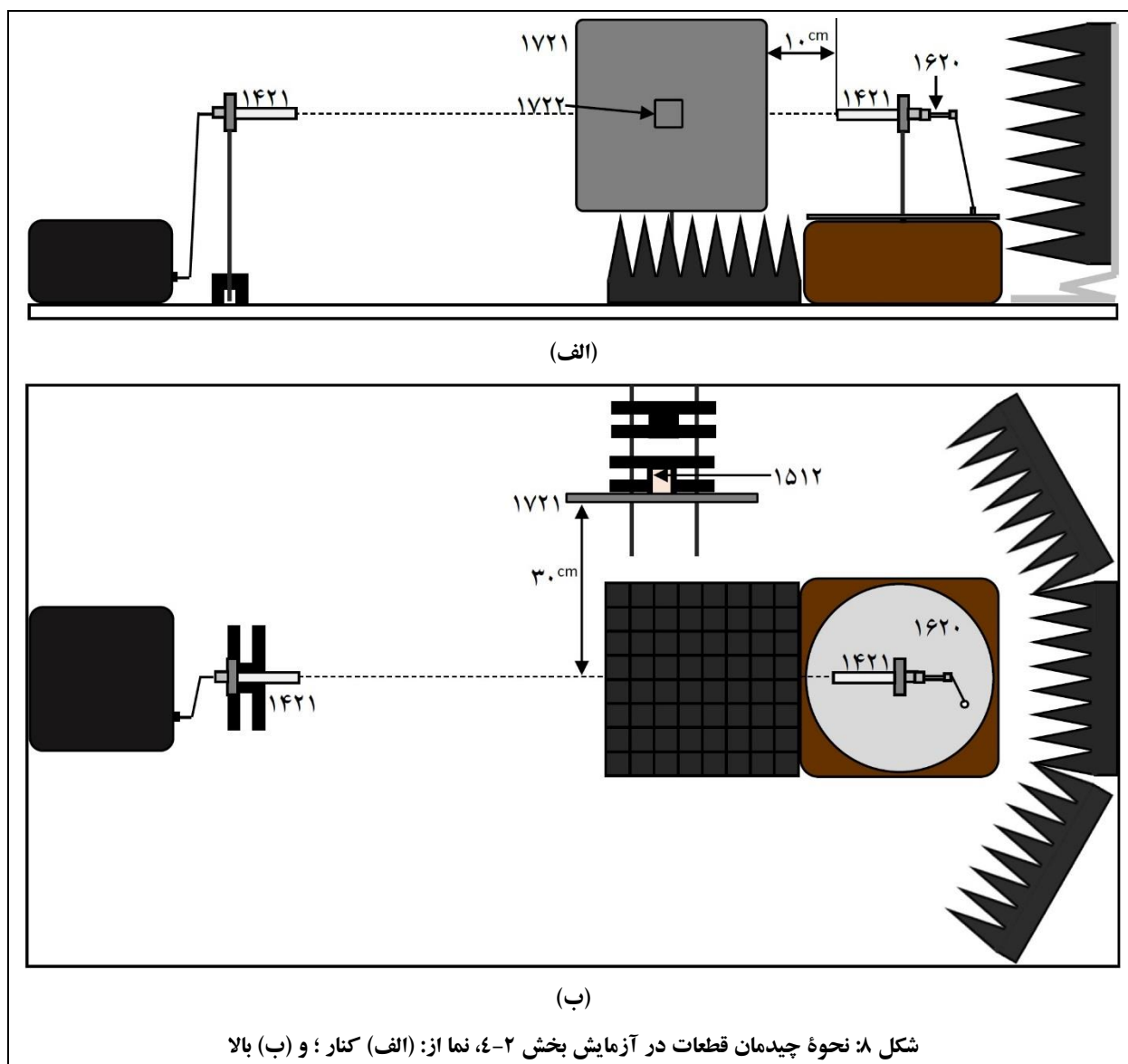
بنابراین اگر در حضور یک انعکاس دهنده از دو آنتن راستگرد به‌عنوان گیرنده و فرستنده استفاده شود، الگوی جهتی آنتن گیرنده تغییر نخواهد کرد؛ زیرا موج منعکس شده که پلاریزاسیونش تغییر کرده‌است، توسط آنتن گیرنده دریافت نمی‌شود.

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^۳ سیگنال شود.

تنظیمات اولیه:

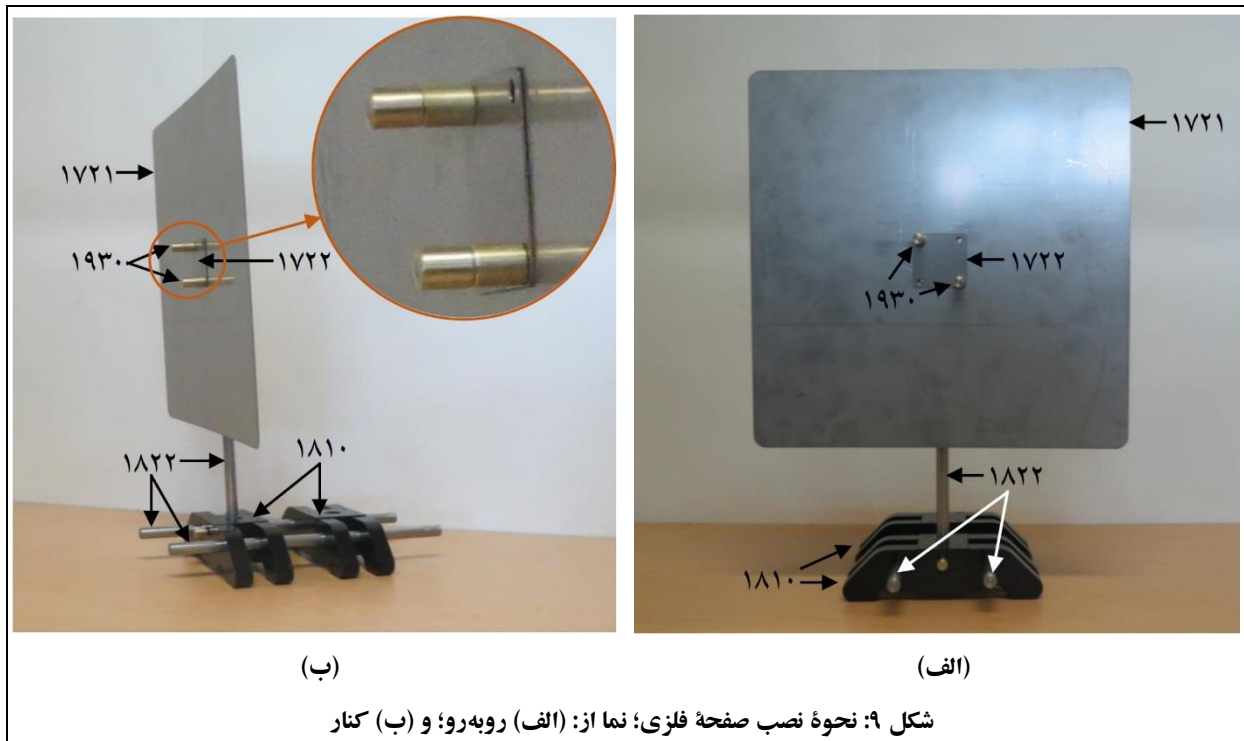
- نحوه چیدمان قطعات جهت انجام این آزمایش، مطابق شکل ۸ می‌باشد.

^۳ Fading



- توجه شود که در چیدمان شکل ۸ نیز همانند شکل ۶، از دو آنتن هلیکال با پلاریزاسیون یکسان (راستگرد) استفاده شده است.
- صفحه فلزی که در شکل ۸ مشاهده می‌شود، جهت انعکاس امواج آنتن فرستنده مورد استفاده قرار گرفته است. این صفحه فلزی، مطابق شکل ۹، از روزنه موج بزرگ و روزنه موج کوچک (صفحه اتصال کوتاه) تشکیل شده است که روی ترانسفورمر سه پیچ نصب شده‌اند. برای نصب روزنه‌های موج روی ترانسفورمر سه پیچ، دو مهره استفاده نمائید.

ترانسفورمر سه پیچ نیز روی یک میله فلزی و پایه نگهدارنده نصب شده‌است. جهت حفظ تعادل این مجموعه، لازم است مطابق شکل ۹، 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 گرفته‌است.



- مطابق شکل ۸، 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.

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

۳. با باز کردن فایل‌های Helix-RR و Helix-RRS به شکل هم‌زمان در نرم‌افزار CASSY Lab، الگوی‌های تشعشعی بخش‌های ۲-۳ و ۲-۴ را با هم نمایش داده و از آن پرینت بگیرید و در گزارش خود ارائه نمایید.
با توجه به توضیحات ارائه شده در ابتدای بخش ۲-۴، نباید تغییری در الگوها مشاهده شود.

۲-۵- 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)^۴، مطابق رابطه ۶ تعریف می‌شود.

$$PLF = 20 \log \left(\frac{E_R}{E_L} \right) = 10 \log \left(\frac{U_R}{U_L} \right) \quad \text{رابطه ۶}$$

در رابطه ۶:

- E_R : شدت میدان الکتریکی دریافت شده به وسیله آنتن دارای پلاریزاسیون راستگرد وقتی موج تشعشعی 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 تشعشعی 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 تشعشعی 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 تشعشعی 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.

^۴ Polarization Loss Factor (PLF)

تنظیمات اولیه:

- نحوه چیدمان قطعات جهت انجام این آزمایش، مطابق شکل ۹ می‌باشد؛ با این تفاوت که آنتن گیرنده باید با آنتن هلیکال با پلاریزاسیون چپگرد، جایگزین شود.

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، الگوی‌های تشعشی بخش‌های ۲-۳ و ۲-۵ 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.

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

همانطور که در بخش ۲-۴ 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 ۶ می‌باشد؛ با این تفاوت که آنتن گیرنده باید با آنتن هلیکال با پلاریزاسیون چپگرد، جایگزین شود.

جهت انجام آزمایش:

۱. الگوی تشعشی آنتن‌های هلیکال با پلاریزاسیون مخالف در حضور صفحه منعکس‌کننده (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، الگوی‌های تشعشی بخش‌های ۲-۵ و ۲-۶ 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.

۲-۷- تأثیر صفحه پلارایزر روی الگوی تشعشی آنتن هلیکال

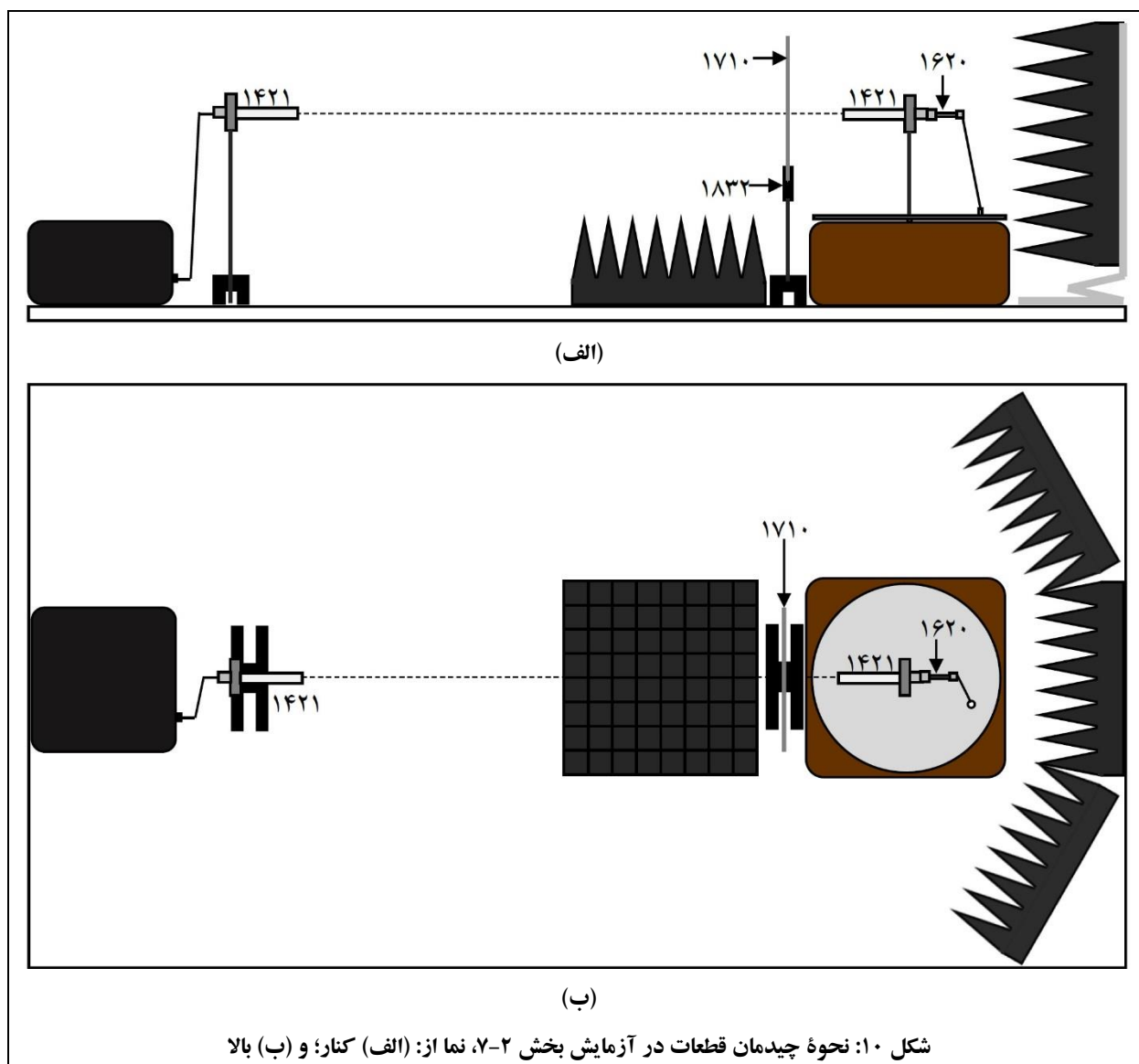
همانطور که در بخش‌های قبل بیان شد، گیرندگی آنتن با پلاریزاسیون چپگرد برای یک موج راستگرد بسیار کم است؛ اما اگر از یک صفحه پلارایزر بین آنتن‌های گیرنده و فرستنده استفاده شود، گیرندگی به میزان قابل توجهی افزایش می‌یابد. دلیل این مسئله این است که موج راستگردی که به وسیله آنتن فرستنده ایجاد می‌شود، به وسیله پلارایزر 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 پلارایزر، تغییری در میزان توان دریافتی آنتن گیرنده مشاهده می‌شود؟

تنظیمات اولیه:

۱. نحوه چیدمان قطعات جهت انجام این آزمایش، مطابق شکل ۱۰ می‌باشد.



۲. توجه شود که در چیدمان شکل ۱۰، آنتن فرستنده دارای پلاریزاسیون راستگرد و آنتن گیرنده دارای پلاریزاسیون چپگرد است.

جهت انجام آزمایش:

۱. الگوی تشعشی آنتن‌های هلیکال در حضور پلاریزور (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، الگوی‌های تشعشی بخش‌های ۲-۵ و ۲-۷ 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 را برای صفحه پلاریزور 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.

۲-۸- اندازه‌گیری 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)^۵ بیضی پلاریزاسیون بیضوی، در بخش ۲-۸-۱؛
- زاویه چرخش بیضی پلاریزاسیون، در بخش ۲-۸-۲؛
- راستگرد یا چپگرد بودن پلاریزاسیون موج، در بخش ۲-۸-۳.

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

خروج از مرکز بیضی پلاریزاسیون بیضوی، مطابق رابطه ۷ محاسبه می‌شود.

$$AR = \frac{E_R + E_L}{E_R - E_L} = \frac{\sqrt{U_R} + \sqrt{U_L}}{\sqrt{U_R} - \sqrt{U_L}} \quad \text{رابطه ۷}$$

توجه نمایید که رابطه ۶ تنها در صورتی صادق است که آنتن‌های گیرنده و فرستنده دارای بهره یکسان باشند.

^۵ Axial Ratio (AR)

جهت انجام آزمایش:

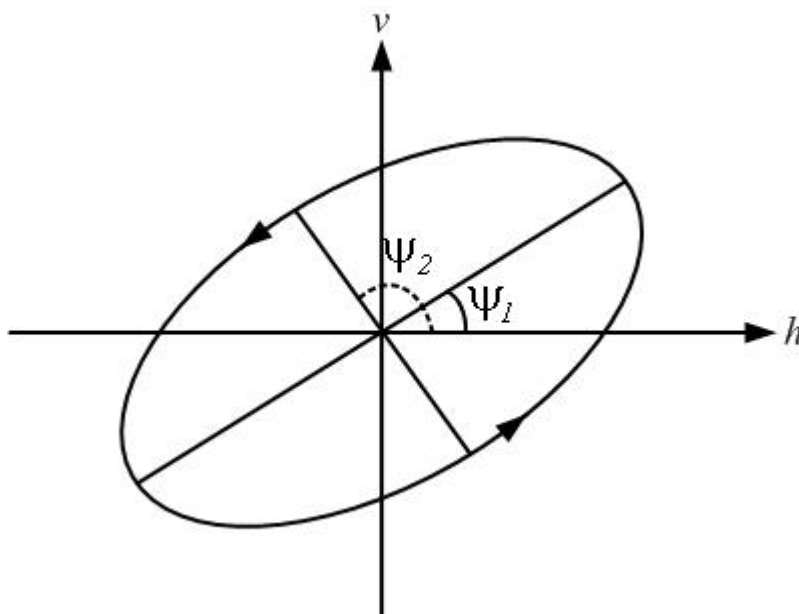
با فرض تشابه آنتن‌های فرستنده و گیرنده و با استفاده از رابطه ۷، میزان خروج از مرکز آنتن‌های هلیکال موجود در مجموعه آزمایشگاهی آنتن را اندازه‌گیری کنید و مقدار آنرا بر حسب dB در گزارش خود ارائه نمایید.

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

۲-۸-۲- 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 ۱۱ مشاهده می‌شود.



شکل ۱۱: 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 ۱۰ می‌باشد.
۲. صفحه پلارایزر را حول محورش دوران دهید تا توان رسیده به گیرنده حداکثر یا حداقل شود. چرخش صفحه پلارایزر بین 0° و 180° با گام‌های 10° باشد.
۳. با استفاده از زاویه مربوط به توان حداکثر و حداقل، زاویه چرخش بیضی پلاریزاسیون را به دست آورید.

۲-۸-۳- 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 دارای پلاریزاسیون خطی است.