



دانشگاه تهران

دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر



پروژه نهایی آزمایشگاه آنتن

گروه روز چهارشنبه:

محمدجواد فخمی

محمدعرفان جباری

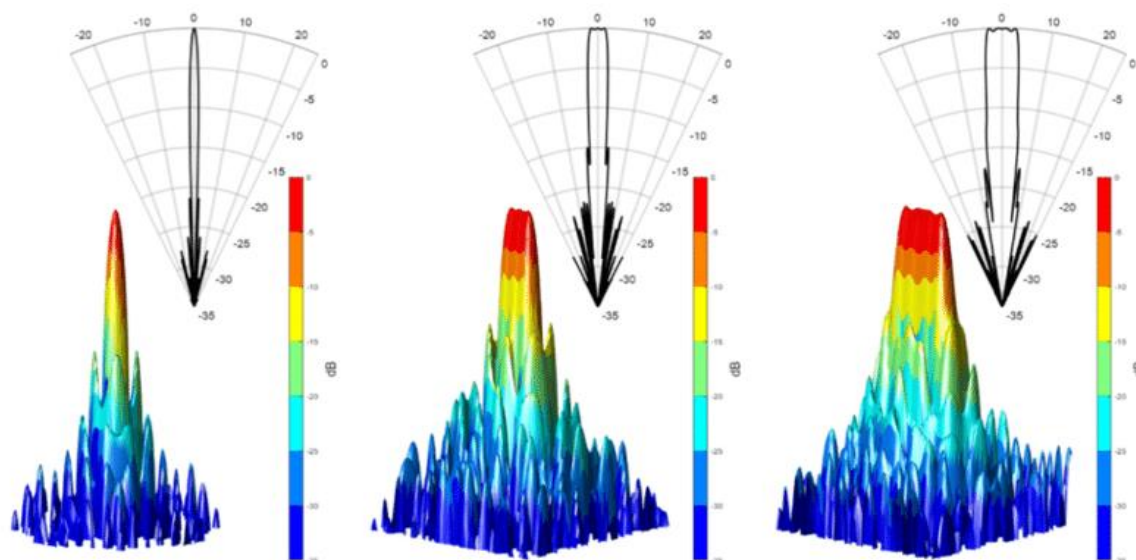
اشکان جعفری

علی وطن دوست

تحت نظارت دکتر سهیل یاسینی

1 - بخش اول : توضیحات کلی و مراحل طراحی

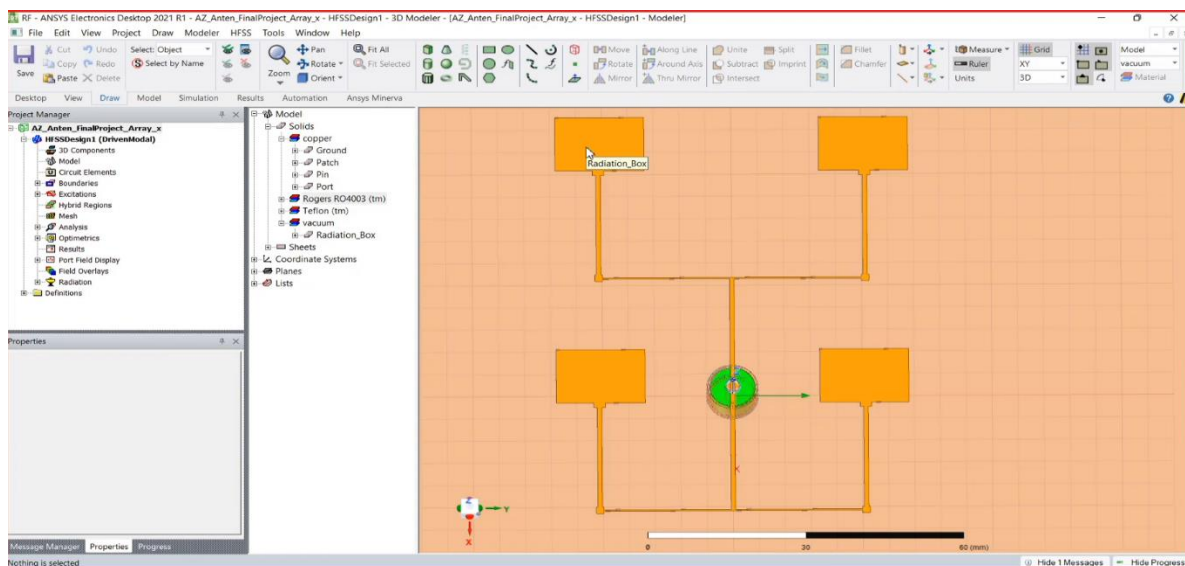
در این پروژه قصد ساخت یک آنتن pencil beam را داریم. این آنتن به این اسم خوانده می شود چون الگوی آن مطابق شکل زیر شبیه نوک مداد است.



شکل ۱ : الگوی آنتن های Pencil Beam

برای طراحی این آرایه ی چهارتایی ماکرو استریم، ابتدا یک تک Patch را طراحی می کنیم. بعد از طراحی این تک Patch آن را به صورت صفحه ای تغذیه کردیم تا امپدانس آن را اندازه گیری کنیم.

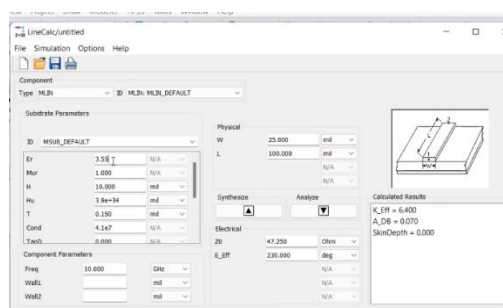
سپس با استفاده از دستورات move، mirror و copy طراحی را کامل کردیم تا به یک آنتن micro strip array patch چهارتایی مطابق شکل ۲ برسیم.



شکل ۲: طراحی آرایه

در طراحی این مورد بسیار مهم است که هیچ بازتابی در مسیر ما وجود نداشته باشد، چون این بازتاب موجب می شود، یک موج برگشتی ایجاد شود و با ایجاد امواج ایستا پترن نهایی آنتن ما را خراب کند و اگر این میزان عدم تطبیق بالا باشد کلاً با پترن متفاوتی رو به رو می شویم.

برای پیدا کردن امپدانس خطوط ماکرو استریپ فقط به عرض آن احتیاج داریم و این مقدار را با کمک ابزار linecalc در ADS محاسبه کردیم.

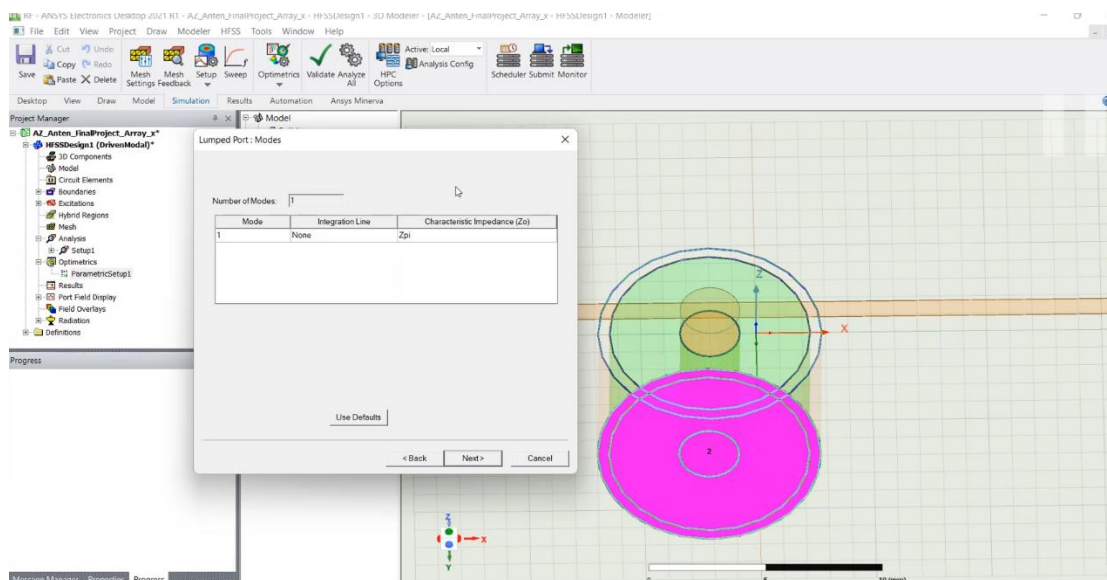


شکل ۳: استفاده از نرم افزار ADS برای یافتن عرض Track

پارامترهایی که در طراحی آنتن برای ما بسیار مهم هستند، S_{11} است در ابتدا (که درواقع ملاکی برای تطبیق امپدانس های کل مسیر است) و سپس پترن آنتن که آن ها را به مقدار بهینه رساندیم.

در آخر هم مطابق شکل زیر سیستم را تحریک کرده و شرایط مرزی و **setup** را برای آن تعیین می کنیم. برای تحریک باید جهت امواج الکتریکی را نیز تعیین کنیم.

برای شرایط مرزی هم یک جعبه جاذب دور ساختار طراحی می کنیم تا فضایی شبیه به بی نهایت برای آنتن تداعی کنیم.



شکل ۴: نحوه ی شبیه سازی تغذیه آنتن

2 - بخش دوم : توضیحات تکمیلی تطبیق امپدانسی ساختار

طراحی اولیه و تطبیق امپدانسی

در اولین قدم ما می‌خواهیم که یک آرایه 4 تایی از مایکرواستریپ‌های مستطیلی طراحی کنیم. به این منظور ما در قدم اول بایستی طراحی کلی سیستم را در ذهن می‌داشتیم و سپس جزئیات هر بخش را محاسبه و طراحی می‌کردیم. در قدم اول با توجه به نیازمندی‌هایی که در پروژه داشتیم می‌خواستیم که انتن ما در حوالی 5.8 گیگاهرتز تشعشع داشته باشد. به این ترتیب با استفاده از ابزارهای آنلاین داده‌های اولیه خود را مانند فرکانس تشعشع، جنس زیرلایه و ... به ابزار آنلاین، ابعاد حدودی تک آنتن مایکرواستریپ را بدست آوردیم. سپس با استفاده از نرم افزار Hfss اقدام به طراحی این مایکرو استریپ کردیم.



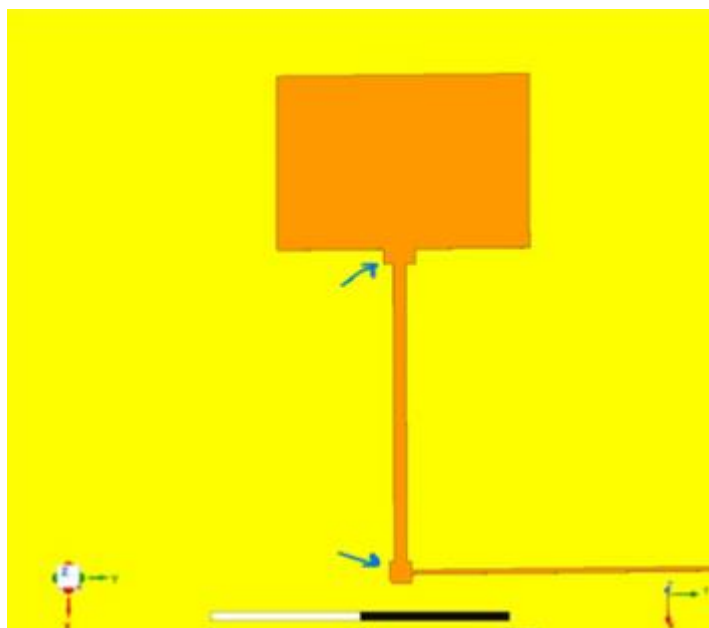
در ادامه با شبیه سازی این مایکرواستریپ در نرم‌افزار HFSS بررسی کردیم که آیا نیازمندی‌های اولیه ما مانند تشعشع در حدود 5.8 گیگاهرتز و بهره مد نظر ما را دارد یا نه. سپس با تغییر اندک اندک ابعاد این مایکرواستریپ سعی کردیم که فرکانس تشعشع و بهره مد نظر را داشته باشیم.

پس از طراحی و تایید مشخصات این پچ، مشخص می‌شود که این پچ چه امپدانسی دارد. امپدانس پچ ما 66 است.

حال ما برای تغذیه آرایه آنتنی خود از یک کابل Coaxial استفاده کرده ایم که این کابل امپدانس 50 اهم دارد. حال با توجه به این موضوع که در صورت یکسان نبودن امپدانس مشاهده شده توسط امواج الکترومغناطیس و بازتاب این امواج از سطح تغییر امپدانس و ایجاد امواج ایستا در خط انتقال و در نتیجه تلف شدید توان آنتن ما باید حتما سعی داشته باشیم که با استفاده از خطوط انتقال مناسب امپدانس ورودی آنتن که کابل کوکس هست را به پچ های مان که همان محل تشعشع امواج هست را یکسان کنیم. یعنی با استفاده از خطوط انتقال امپدانس مشاهده شده از کابل کوکس به سمت آنتن برابر همان 50 اهم که امپدانس خود کابل است، باشد.

حال به طراحی خودمان باز می‌گردیم. ما اگر یکی از شاخه های آرایه 4 تاییمان را طراحی کنیم از آنجایی که آنتن ما باید تقارن داشته باشد 3 شاخه دیگر هم مانند همان هست و با استفاده از دستور های Mirror و Move می‌توانیم 3 شاخه دیگر را ایجاد و در جای خود قرار می‌دهیم.

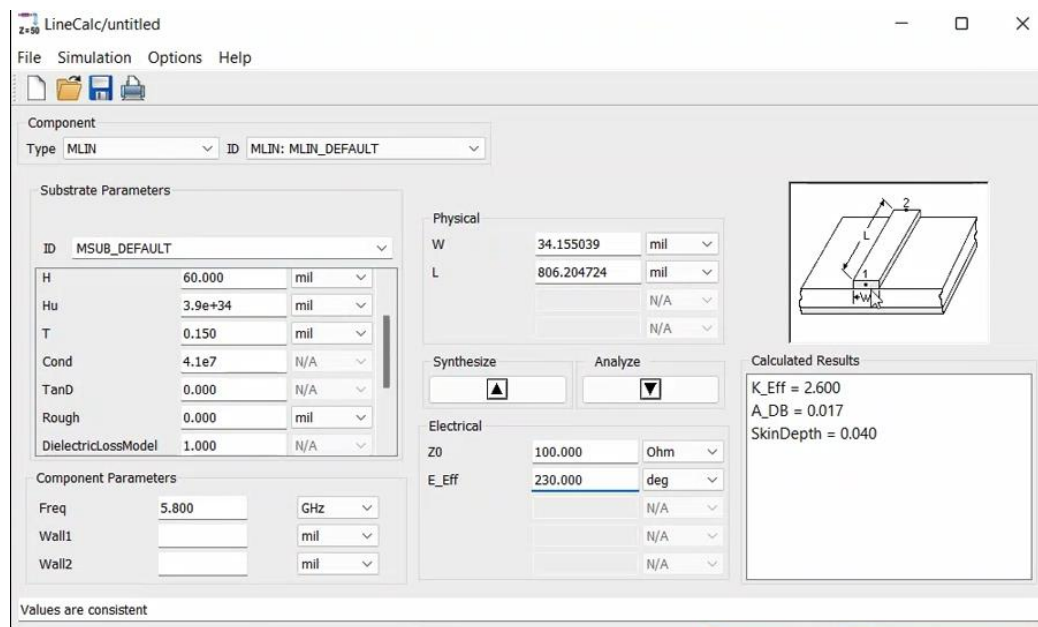
طراحی تک شاخه ما به صورت زیر است:



شکل ۵: طراحی پچ تکی تطبیق شده

همانطور که مشاهده می‌کنید، در این مرحله ما از دو مرحله قطعه تطبیق امپدانس استفاده کرده ایم که در شکل ۵ مشخص هستند.

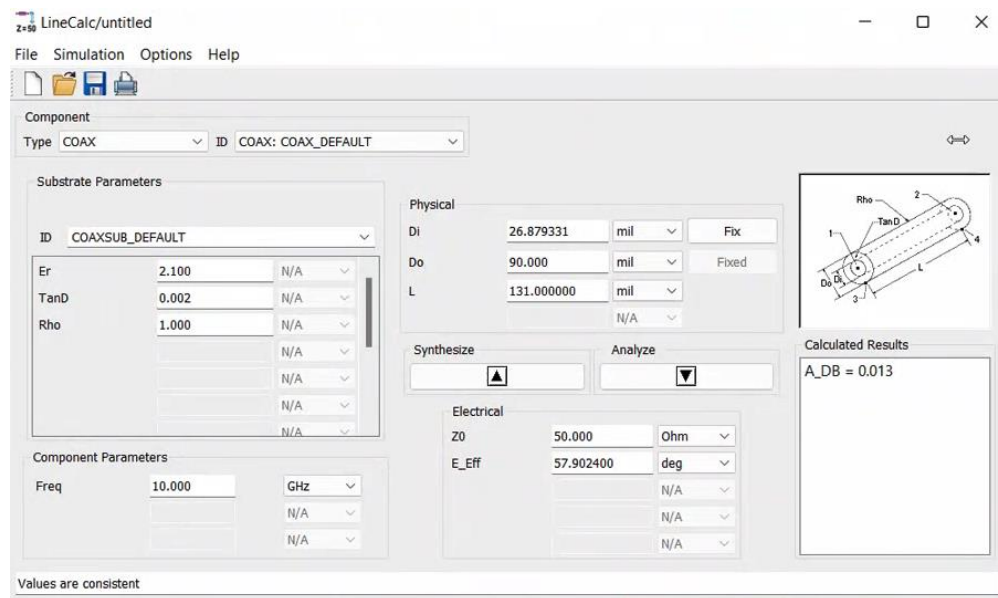
به این ترتیب ما سعی کردیم که با تطبیق‌های مختلف در تمام طول خط انتقال موج امپدانس 50 اهم را در مقابل خود مشاهده کند. پس در مرحله بعد باید بیایم و امپدانس خط‌های انتقالمان را مشخص کنیم. می‌دانیم که امپدانس خط مایکرواستریپ فقط به عرض خط ربط دارد و طول خط تاثیر خیلی کمی رو امپدانس مشاهده شده توسط منبع دارد. ما برای محاسبه امپدانس خطوط مورد استفاده مان از نرم افزار LineCalc استفاده کردیم. در این نرم افزار با وارد کردن مشخصات خط مان که Rogers 4355 است در بخش مشخصات سیم و قراردادن ارتفاع سیم که 60 میل است و مشخص کردن فرکانس تشعشعیمان که 5.8 گیگاهرتز است به صورت زیر اقدام به سنتز خط انتقال مورد نظرمان می‌کنیم.



شکل ۶: مشخص کردن پارامترهای سنتز در ADS

برای سنتز کردن، باید به نرم‌افزار بگوییم که ما می‌خواهیم خط انتقالمان چه امپدانس داشته باشد. مثلاً در اینجا ما می‌خواستیم که امپدانس خط انتقال ما 100 اهم باشد و با سنتز کردن، پهنای خط انتقالمان محاسبه می‌شود که در اینجا 34.15 میل است.

به طریق مشابه برای طراحی ورودی کابل کواکسیال هم عرض و ضخامت هادی درونی و بیرونی را محاسبه می‌کنیم. که در شکل ۷ مشاهده می‌کنید:



شکل ۷: سنتز کابل تغذیه ی کواکسیال

ما در طراحیمان از دو کابل 100 اهم به ورودی کابل کواکس متصل هستند و 4 کابل 100 اهم از طریق یک امپدانس مچینگ به 4 پچ میکرواستریپمان متصل می‌شوند. به این ترتیب طراحی اولیه آرایه 4 المانی را به صورت زیر طراحی کردیم.



همانطور که بالا تر گفتیم، امپدانس ورودی کوکاسیال 50 اهم، امپدانس خطوط انتقال عمودی هر کدام 100 اهم و امپدانس خطوط انتقال افقی هر کدام 141 اهم هستند. و در محل اتصال خطوط انتقال 100 اهم به پیچ مایکرواستریپمان از یک ترانسفورمر ربع موج استفاده کرده ایم تا امپدانس بین پیچ و خط انتقال 100 اهم می باشد. مشخصات این ترانسفورمر ربع موج هم به این صورت محاسبه می شود که ما می خواهیم یک خط انتقال 100 اهم را با پیچی که 66 اهم امپدانس دارد میچ کنیم، پس امپدانس ترانسفورمر ربع موج ما برابر ریشه دوم (رادیكال) حاصل ضرب دو امپدانس 100 و 66 اهم است:

$$Z_{transformer} = \sqrt{Z_{patch}Z_{line}}$$

در ادامه برای میچ کردن امپدانس بین خطوط انتقال 100 اهم و 141 اهم هم با استفاده از ترانسفورماتور ربع موج و با استفاده از فرمول بالا، امپدانس را میچ میکنیم.

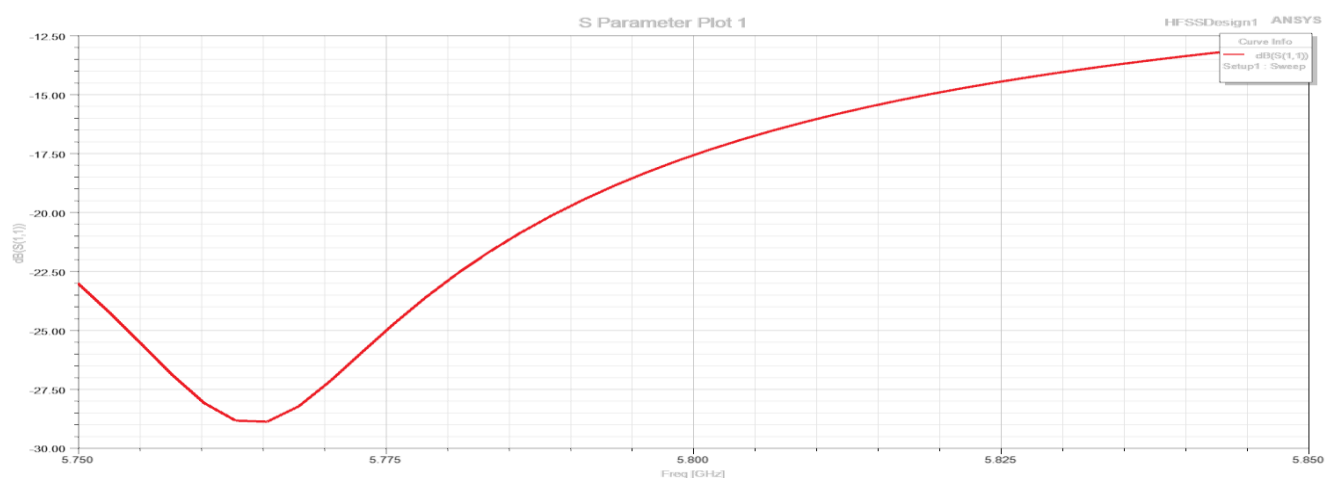
نکته ی بسیار مهم : در ادامه باید با شبیه سازی مدارمان و مشاهده ویژگی های مدار اقدام به بهینه کردن طول و اندازه امپدانس های مدار بکنیم تا خروجی مد نظرمان را بدست آوریم که در بخش های بعد به آن ها می پردازیم. در واقع تمامی مقادیر تئوری محاسبه شده تنها حکم یک نقطه ی شروع بهینه را برای ما خواهد داشت و در نهایت ، با طراحی آنتن میبینیم که بیشتر این مقادیر ، دستخوش تغییراتی می شوند.

3- شبیه سازی و نتایج نهایی

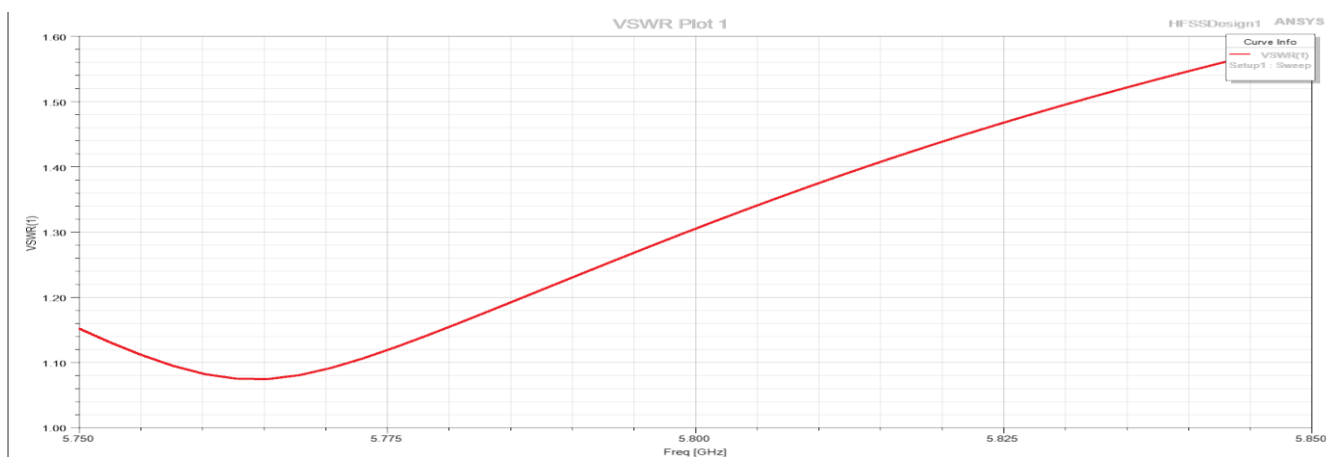
در نهایت ، پس از ساخت و طراحی این ساختار در نرم افزار Hfss ، لازم است که شبیه سازی به طور کامل انجام شود و با توجه به نتایج اولیه نیز ، با استفاده از ابزار های Parametric Sweep و Optimizer ، نتایج دلخواه کسب شود. به صورت کلی ، اولین نکته ای که در شبیه سازی و اپتیمایز کردن ساختار باید در نظر داشته باشیم ، پارامتر S11 ساختار می باشد. اگر کل آنتن از نقطه ی تغذیه تا پیچ را به صورت یک خط انتقال در نظر بگیریم ، این پارامتر به ما درک درستی از Load در مسیر حرکت امواج را می دهد. در نتیجه با اپتیمایز کردن این پارامتر به صورت کلی ، دیگر احتیاجی به VSWR و یا Z-Parameters نخواهد بود. چراکه به طور مثال

زمانی که RL برابر با ۱۰ دسیبل باشد ، دقیقاً معادل با این است که VSWR برابر با ۲ باشد. در نتیجه کافیتست که پارامتر S_{11} را برای مقادیر زیر ۱۰ دسیبل ، ایتیمایز کنیم.

در نهایت پهنای باند فرکانسی شبیه سازی را به اندازه ی ۱۰۰ مگاهرتز در نظر میگیریم (چرا که پهنای باند ۵۰ مگاهرتز برای ما مورد نیاز است). در نتیجه فرکانس مرکزی ۵.۸ گیگاهرتز خواهد بود و پهنای باند از ۵.۷۵ تا ۵.۸۵ در نظر گرفته می شود. پس از انجام شبیه سازی اولیه و همچنین استفاده از Parametric Sweep و Optimizer در نهایت خواهیم داشت :



شکل ۸ : نتایج پارامتر S_{11}



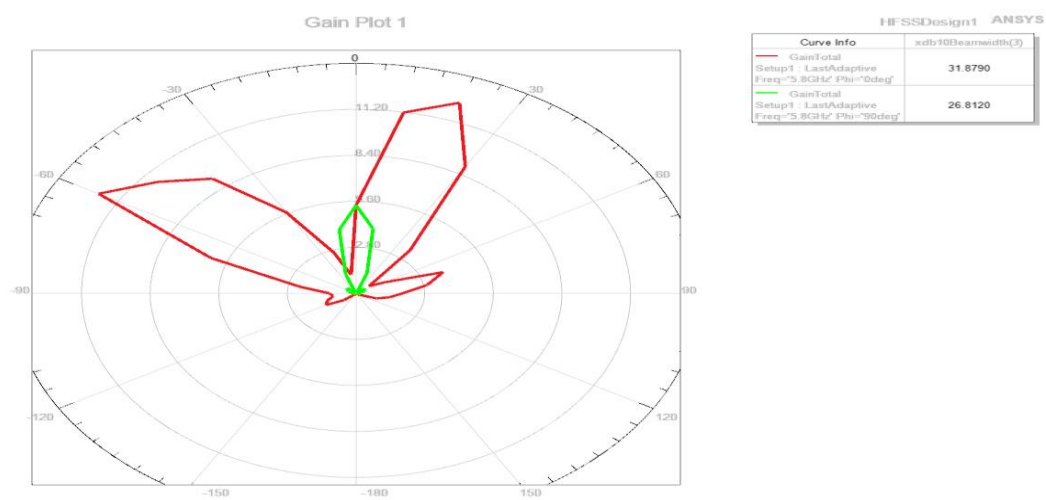
شکل ۹ : پارامتر VSWR ایتیمایز شده

همانطور که دیده می شود مقدار S_{11} در این بازه از منفی ۱۲.۵ تا منفی ۱۷ تغییر می کند و متناظرا ، مقدار $VSWR$ حدود ۱.۳ در فرکانس مرکزی گزارش می شود که به طور قابل توجهی از ۲ کمتر است. درواقع وجود S_{11} قابل ملاحظه ، باعث ایجاد Reflection قوی ، در ساختار شده و پترن موج ایستا در قطعه ی ما تولید خواهد شد. درنتیجه ، میزان $VSWR$ کاملا متناظر با S_{11} تغییر خواهد کرد که در اینجا ، هردو به صورت همزمان ، ایتیمایز شده اند. در نهایت پارامتر دیگری که بسیار برای ما حائز اهمیت است ، $Gain$ ساختار می باشد. که به صورت زیر گزارش می شود :

	Freq [GHz]	dB(PeakGain) Setup1 : LastAdaptive L100_UP='22.4776mm' L141='24.91mm'
1	5.800000	10.914030

که مقدار آن در این پارامتر های شبیه سازی و درفرکانس مرکزی ، حدود ۱۱ دسیبل شده است که مجددا خواسته ی ما را برآورده کرده است.

مورد دیگری که برای ما مساله است ، مقدار $HPBW$ می باشد که میخواهیم آنرا از ۴۰ درجه کوچکتر نگه داریم. برای این پروژه چند شبیه سازی مختلف انجام شده است . یکی از این شبیه سازی ها به صورت زیر می باشد :

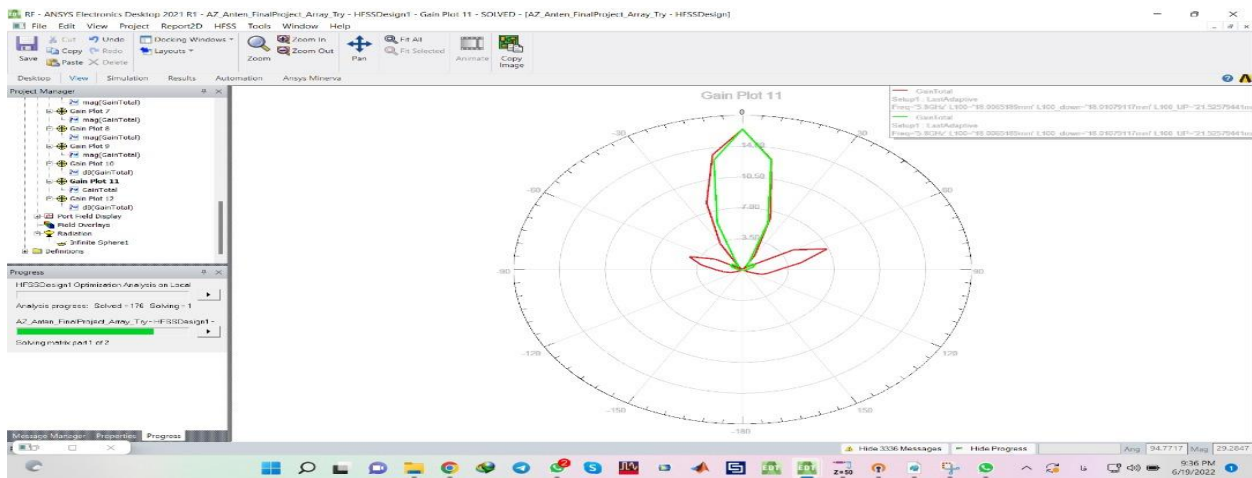


شکل ۱۰ : شبیه سازی اول

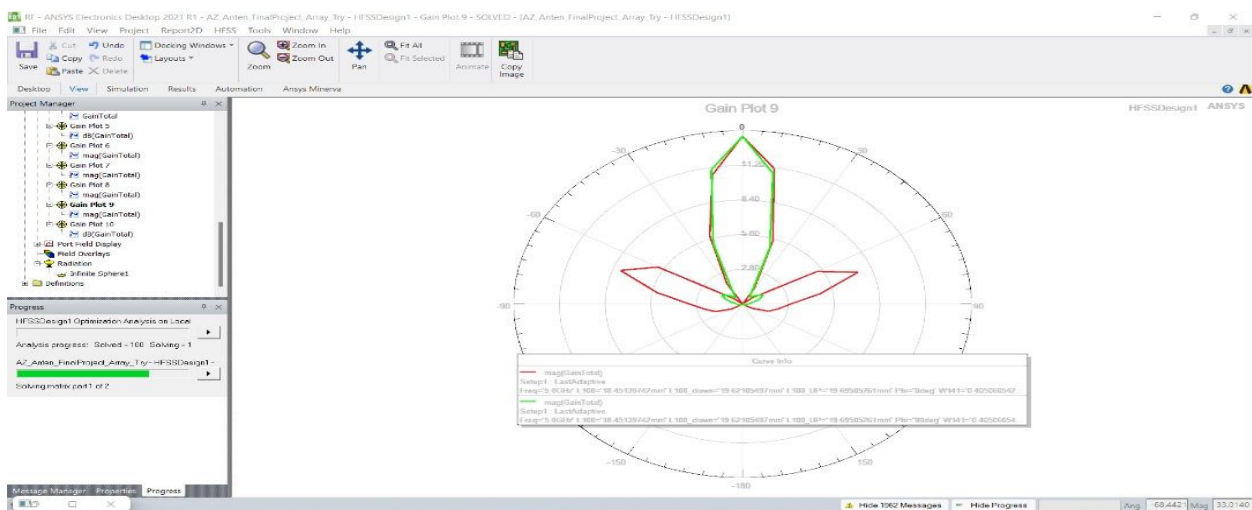
همانطور که دیده می شود ، پترن آنتن در این شبیه سازی چرخیده است و همچنین از حالت متقارن خارج شده است.

البته که میزان HPBW همانطور که در شکل دیده می شود ، حدود ۳۲ درجه گزارش می شود.

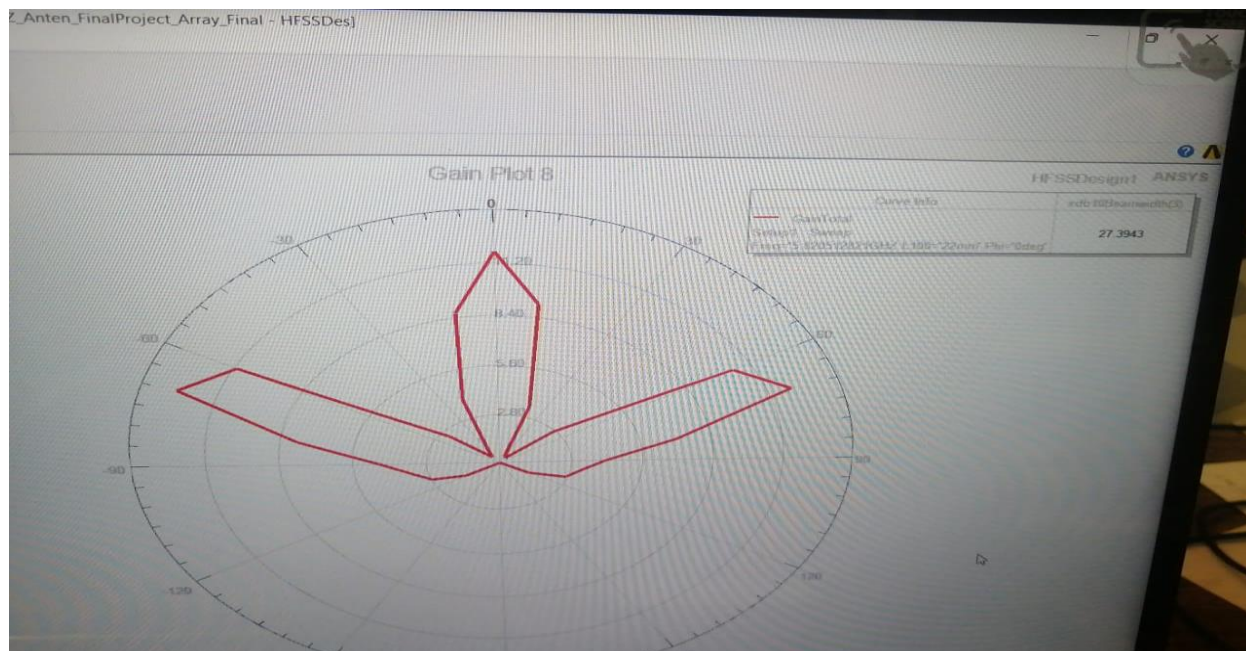
از آنجاییکه احتمال می رود که تقارن آنتن برای ما بعدا دچار مشکل کند ، سعی می کنیم با تغییر مقادیر و پارامتر های آنتن ، این مشکل را حل کنیم . شبیه سازی های بعدی به صورت زیر گزارش می شوند :



شکل ۱۱ : شبیه سازی دوم



شکل ۱۲ : شبیه سازی سوم



شکل ۱۳ : شبیه سازی چهارم

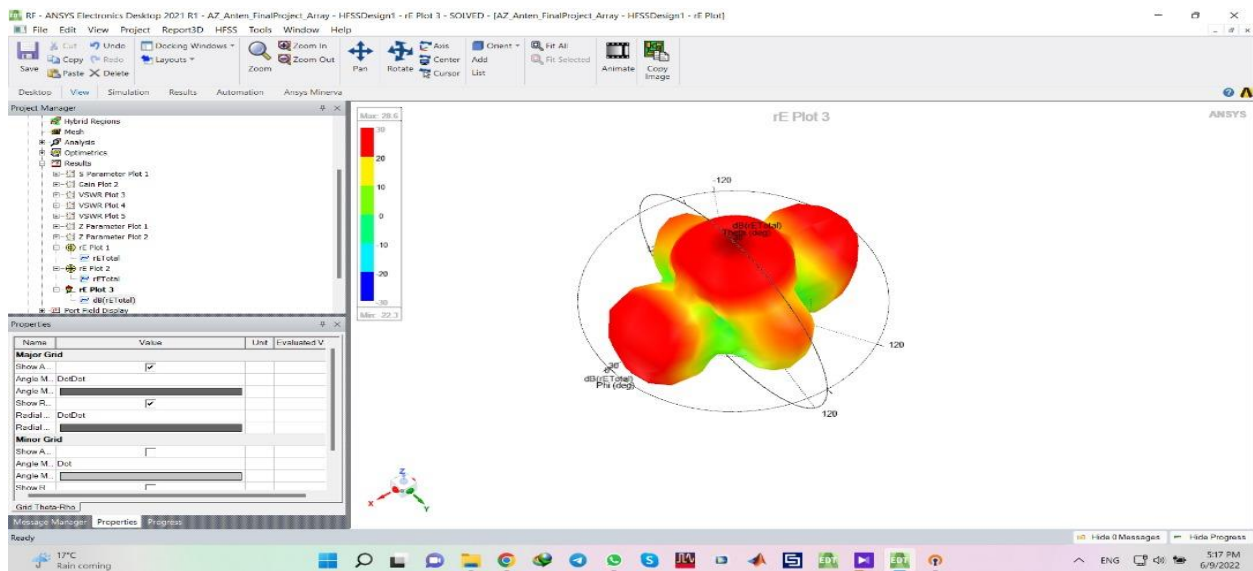
همانطور که در این چهار شبیه سازی دیده می شود ، باید Trade-off مناسبی بین تقارن پترن آنتن و بهره آن برقرار شود. در سه شبیه سازی بالا ، مقدار HPBW به ترتیب مقادیر حدودی ۳۲ و ۳۲ و ۲۷ دسیبل را دارند که برای ما کاملاً مناسب به نظر می رسند. اما باید بین گین کوچکتر و SLL بزرگتر ، یکی انتخاب شود و شبیه سازی انجام شود. (باتوجه به تعداد شبیه سازی های انجام شده ، می توان نسبتاً با قطعیت اعلام کرد که هر دوی این پارامتر ها با یکدیگر ، اپتیمایز نمی شوند. البته این اتفاق تنها در ساختار مذکور افتاده است و به صورت کلی این چنین نیست. درواقع برای رسیدن به SLL مناسب ، احتیاج داریم که تقارن ساختار را به هم بزنییم، که در نتیجه الگوی آنتن دچار چرخش می شود و از حالت متقارن خارج می گردد.)

به صورت کلی نتایج دریافت شده را در جدول زیر خلاصه می کنیم :

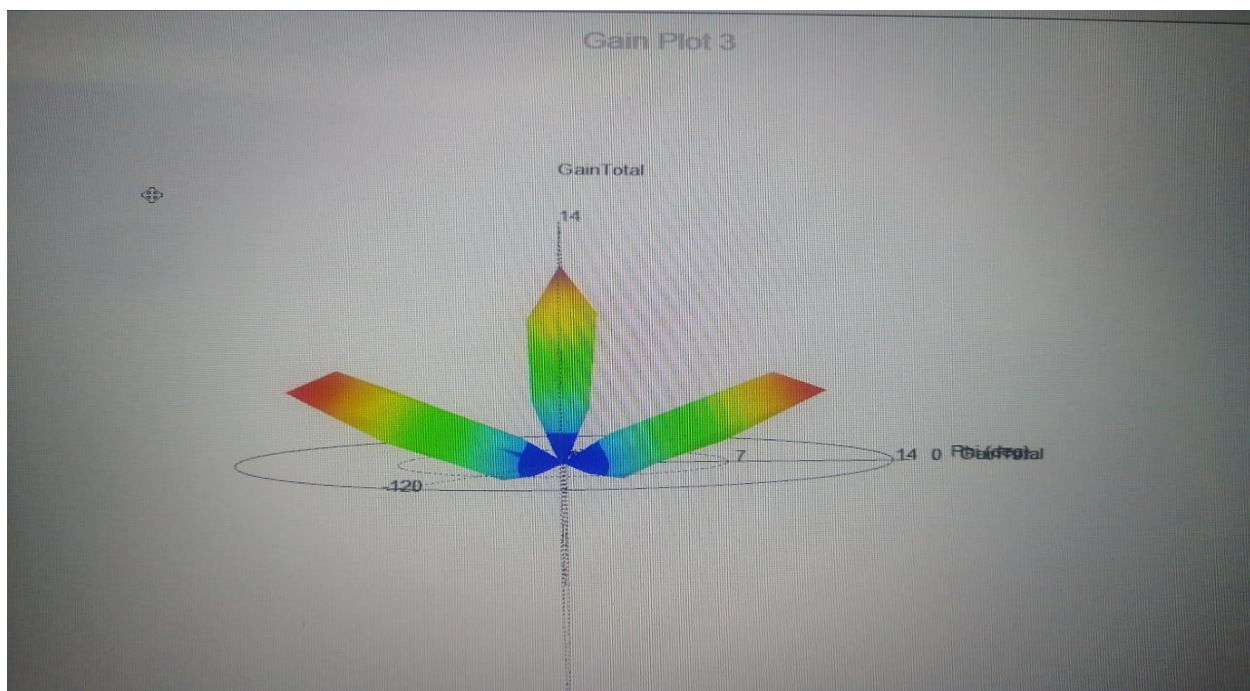
Parameter	Optimized Value
Gain	10.91 at center frequency
Frequency Band	More than 100Mhz
HPBW	32 degrees (Max)
Return Loss	Much bigger than 10db
VSWR	Much less than 2

در نتیجه : ساختار طراحی شده ، تقریباً در تمامی پارامترها ، نتیجه ی بسیار بهتری به نسبت آنچه در صورت پروژه خواسته شده بود ، به ما داده است و طراحی ما تکمیل شده است.

در نهایت برای فهم بهتر ساختار ، توزیع میدان های تشعشعی را در نرم افزار Hfss مشاهده می کنیم ، که کاملاً منطبق بر الگوی آنتن است . (توزیع های رسم شده در اشکال ۱۴ و ۱۵ مربوط به شبیه سازی چهارم ، مطابق با شکل ۱۳ می باشد).



شکل ۱۴: توزیع میدان الکتریکی



شکل ۱۵: شکل سه بعدی بهره ی آنتن