# طراحی،تحلیل و ساخت آنتن دو بانده برای یک ماهوارهLEO کوچک

شروین امیری[۱] الهام شریفی مقدم[۲]

۱- سازمان پژوهشهای علمی و صنعتی ایران، تهران، ایران
۲- مرکز تحقیقات مخابرات ایران، تهران، ایران

چکیده :Separated turnstile آنتني است که کاربردهاي فراواني در ماهواره هاي LEO کوچك دارد. در این مقاله به طراحي این آنتن بصورت دوبانده مي پردازیم، به نحوي که بتواند پرتو هاي تشعشعي مورد نظر را در دو باند UHF و VHF به طور همزمان ایجاد کند. پلاریزاسیون این آنتن در محور تقارن آنتن، دایروي و در سایر نقاط بیضوي است. داشتن پرتو تشعشعي زیني شکل در باند UHF به طوري که تواني یکنواخت در ناحیة پوشش ماهواره ایجاد کند و پرتو همه جهتي در باند VHF با هدف فراهم نمودن امکان کنترل و مانیتورینگ دائم ماهواره خصوصآ در شرایطي که آنتنها به سمت زمین نشانه روي نشده اند، از اهداف طراحي این آنتن است. بررسي تأثیر بدنة فلزي ماهواره در پرتوهاي تشعشعي مورد نظر از دیگر اهداف این مقاله میباشد. براي تحلیل این آنتن از روش ممان استفاده شده و بهینه سازي آنتن با تغییر پارامترهاي فیزیکي آن یعني طول، پهنا و زاویة نصب بر روي ماهواره و مقایسة نتایج آنالیز با مقادیر مطلوب انجام مي گیرد. در ادامة مقاله نتایج حاصل از ساخت مدل مهندسي آنتن به همراه بدنة ماهواره با نتایج حاصل از آنالیز آن مقایسه مي گردد تا صحت نتایج اثبات گردد.

**واژه های کلیدی :** آنتن **Separated Turnstile** – آنتن دو بانده - پلاریزاسیون دایروی – روش ممان – ماهواره **LEO** .

## Abstract :

This paper presents the structural design for huge systems using Divide & Conquer (D&C) method as a scientific method for optimum designing of complex systems. This method divides the main system into several simple subsystems. Submitted equations in three different cases prove that the optimum response (number of subsystems for minimum system.

**Key words:** Seperated Turnstile Antenna, Dual-band Antenna, Mement method, Low earth Orbit Sattelite



Journal of Iranian Association of Electrical and Electronics Engineers - Vol.3- No.2- Fall and Winter 2006
[ Downloaded from jiaeee.com on 2024-10-12 ]

## ۱- مقدمه

ماهواره های LEO[1] کوچک که اغلب در ارتفاع مداری زیر ۱۴۰۰ کیلومتر به دور زمین می چرخند، جهت انجام مأموریت هایی چون سنجش از دور، تبادل Email و پیام های کوتاه، جمع آوری و تبادل اطلاعات، هواشناسی، تحقیقات علمی و آزمایشی در فضا قرار می گیرند. این دسته از ماهواره ها عموماً در باند UHF و VHF کار کرده و به دلیل تخصیص پهنای باند کم با نرخ بیت پایینی تبادل اطلاعات می کنند. نزدیکی این ماهواره ها به زمین و فرکانس پایین آنها، باعث کاهش افت فضای آزاد شده و با توجه به محاسبات بودجهٔ لینک[2] نیاز به استفاده از آنتن های با گین بالا منتفی و امکان بهره برداری از آنتنهای با پرتوی پهنتر با هدف ایجاد پوشش مخابراتی بیشتر فراهم می گردد.

آنتن Separated Turnstile (ST) از جمله آنتن هایی است که به دلیل ویژگی های خاص خود از جمله دو بانده بودن و پلاریزاسیون دایروی میتواند در ماهواره های LEO کوچک بکار گرفته شود. این آنتن از چهار مونوپل تشکیل شده که به صورت متقارن در چهار طرف ماهواره نصب می شوند و با یکدیگر به صورت چرخشی اختلاف فاز $90^o$ دارند.[1]

در [2] نتایج آنالیز و طراحی یک آنتن Turnstile مماسی شرح داده است. این آنتن در واقع یک آنتنQuadrifilar Helix کوتاه شده است که پلاریزاسیون دایروی دارد و پرتو مناسبی را برای یک ماهواره ایجاد می کند.

در [3] آنتن دی پل متقاطعی که به صورت متقارن با چهار میله احاطه گشته، بررسی شده است. این آنتن برای رسیدن به پرتوی کروی با گین بالا بهینه گشته و برای بهینه سازی از الگوریتم ژنتیک استفاده شده است. در این مقاله برای بدست آوردن نتایج طراحی ها در هر مرحله از روش عددی ممان استفاده شده است و برای بیان قابلیت های الگوریتم ژنتیک نتایج عددی با نتایج حاصل از تست نمونه واقعی مقایسه شده است. آنتن دی پل متقاطع که چهار میله در اطراف آن قرار دارد، به عنوان المان تشعشعی یک آرایه نیز بکار می رود. آنتن دی پل متقاطع طراحی شده در این مقاله، از دی پل هایی با بازوهای خم شده به اندازه $45^o$ تشکیل شده است.

در [4] از شبکه Turnstile جدیدی برای تغذیه آنتن دی پل متقاطع استفاده شده است. این شبکه از بازوهای فازی کواکسیالی تشکیل شده و تغذیه آن از یکی از پورتهایی که به چهار مونوپل متصلند صورت می گیرد. این شبکه VSWR مناسبی دارد و پلاریزاسیون دایروی خوبی ایجاد می کند.

هدف اصلی مقاله حاضر بررسی روش طراحی آنتن ST دو بانده ای است که پرتوی زینی شکل برای تبادل اطلاعات مخابراتی در باند UHF داشته باشد و به طور همزمان پرتو تشعشعی همه جهته (نزدیک به کروی) برای تبادل اطلاعات کنترل و مانیتورینگ ماهواره در باند VHF ایجاد کند. مطالعهٔ اثر تغییر پارامترهای فیزیکی آنتن بر پرتو تشعشعی آن بخش بعدی مقاله است که می تواند راهنمایی برای طراحی های بعدی باشد.

مقایسه نتایج تست و اندازه گیری پرتو تشعشعی آنتن ساخته شده با نتایج حاصل از آنالیز برای تأیید صحت طراحی آنتن در بخش نهایی مقاله آورده شده است و شامل بررسی نتایج اندازه گیری مؤلفهٔ عمودی و افقی پرتوی تشعشعی آنتن و ارائه پارامترهایی همچون SWR آنتن در دو باند VHF و UHF و نیز Axial Ratio آنتن جهت بررسی پلاریزاسیون این آنتن میباشد.

## ۲- تعیین پرتو مناسب برای آنتن Separated Turnstile

در محاسبات بودجهٔ لینک ماهواره، افت فضای آزاد عاملی است که با تغییر فاصله ماهواره از ترمینال زمینی تغییر می کند. برای ایجاد بودجه توانی یکنواختی در تبادل اطلاعات مخابراتی در ناحیهٔ پوشش ماهواره، تغییر افت فضای آزاد باید به نحوی جبران شود. با توجه به فرمول بودجهٔ لینک در رابطهٔ (۱) تنها عوامل جبران کنندهٔ تغییر افت فضای آزاد، گین آنتن های زمینی و ماهواره هستند[7].

[1] Low Earth Orbit
[2] link budget



[ Downloaded from jiaeee.com on 2024-10-12 ]

$$\left(\frac{E_b}{N_0}\right)_{dB} = P_r - P_n + 10\log\frac{B}{R_b}$$
$$P_r = P_t - L_{ft} + G_t - L_s + G_r - L_{fr} \qquad (۱)$$
$$P_n = 10\log(KTB)$$
$$L_s = 20\log\left(\frac{4\pi d}{\lambda}\right)$$

$\left(\frac{E_b}{N_0}\right)$ نسبت توان سیگنال به نویز در هر بیت، $P_r$ توان سیگنال دریافتی در گیرنده بر حسب dBW، $P_n$ توان نویز در گیرنده بر حسب dBW، $L_s$ تلفات فضای آزاد، $R_b$ سرعت ارسال دیتا در کانال، $B$ پهنای باند کانال، $P_t$ توان فرستنده بر حسب dBW ، $L_{ft}$ , $L_{fr}$ تلفات خطوط تغذیه در فرستنده و گیرنده و $G_t$ و $Gr$ بهرهٔ آنتن های فرستنده و گیرنده و d فاصله فرستنده و گیرنده بر حسب کیلومتر میباشند.

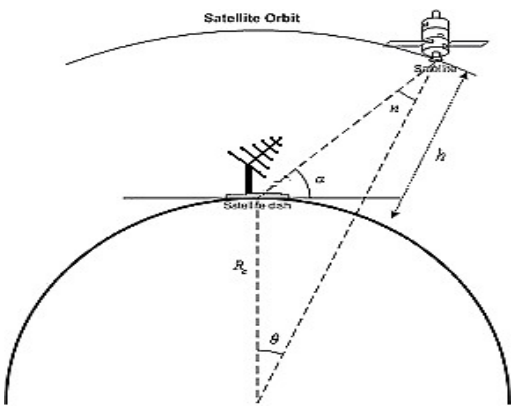
شکل (۱) پارامترهای هندسی مدار ماهواره را نشان می دهد. n زاویهٔ حضیض[3] ماهواره ، α زاویهٔ رؤیت[4] ماهواره توسط ترمینال زمینی نسبت به افق ، h ارتفاع مدار ماهواره و $R_e$ شعاع زمین (برابر ۶۳۷۸ کیلومتر) میباشند. زوایای حضیض و رؤیت ماهواره توسط رابطه هندسی زیر به یکدیگر مرتبط میباشند:

$$\sin(n) = \frac{R_e}{(R_e + h)}\cos(\alpha) \qquad (۲)$$

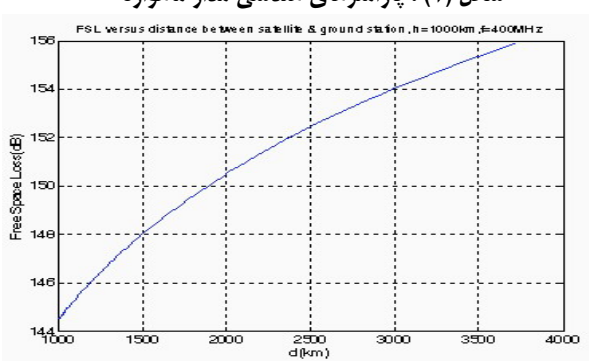
همچنین فاصله بین ماهواره و ترمینال زمینی را میتوان از رابطه زیر محاسبه نمود:

$$d = \sqrt{r^2 - R_e^{\,2}\cos^2\alpha} - R_e\sin\alpha \qquad (۳)$$

بعنوان نمونه روند تغییرات افت فضای آزاد با تغییر فاصلهٔ ماهواره و ایستگاه زمینی برای ماهواره ای در ارتفاع ۱۰۰۰ کیلومتر و در فرکانس مرکزی ۴۰۰ مگاهرتز در باند UHF به صورت نموداری در شکل (۲) آورده شده است. اگر حداقل زاویهٔ رؤیت ترمینال زمینی ۲۰ درجه در نظر گرفته شود، ماکزیمم زاویهٔ حضیض ماهواره با استفاده از رابطه (۲) برابر ۵۴ درجه و اختلاف افت فضای آزاد بین زوایای n=0° و n=54° با استفاده از روابط (۳) و (۱) برابر ۶/۵ dB خواهد شد. با فرض یکنواخت بودن پرتوی تشعشعی آنتن ترمینالهای زمینی، تمامی اختلاف افت فضای آزاد در نقاط مختلف ناحیهٔ پوشش باید توسط شکل دهی پرتوی آنتن ماهواره جبران گردد. در این حالت اختلاف گین آنتن ماهواره بین این دو زاویه باید در حدود ۶/۵ dB ($G_{\theta=54^\circ} - G_{\theta=0^\circ} \approx 6.5dB$) باشد. ادامه تحلیل در سایر زوایا بیانگر ضرورت طراحی آنتنی با پرتوی تشعشعی زینی شکل۵ برای ماهواره را نمایان میسازد.




**شکل (۱) : پارامترهای هندسی مدار ماهواره**




**شکل (۲) : افت فضای آزاد بر حسب فاصلهٔ ماهواره از ترمینال زمینی**

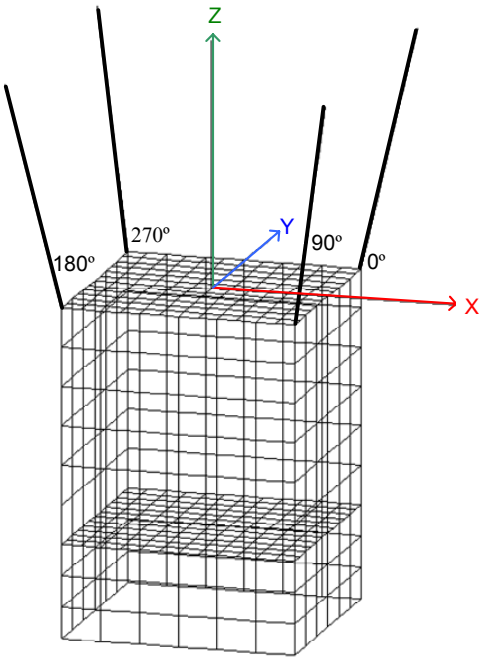
[3] Nadir Angle
[4] Elevation Angle
[5] saddle-shaped



Journal of Iranian Association of Electrical and Electronics Engineers - Vol.3- No.2- Fall and Winter 2006
[ Downloaded from jiaeee.com on 2024-10-12 ]

## ۳- طراحی آنتن separated turnstile برای یک ماهواره LEO

طراحی آنتن separated turnstile شامل تعیین پارامترهای فیزیکی آن به گونه ای است که پرتوهای تشعشعی مناسب در هر دو باند UHF و VHF را ایجاد کند. از سویی طراحی آنتن باید به نحوی باشد که امکان جمع شدن آن در حین پرتاب ماهواره فراهم شده و پس از جدا شدن ماهواره از موشک بطور خودکار باز شود. بنابراین آنتن باید به صورت نواری شکل و از جنس فلزی با قابلیت انعطاف زیاد ساخته شود. سایر پارامترهای فیزیکی آنتن شامل طول و پهنای مونوپل ها و زاویهٔ نصب آنهاست. طول و زاویهٔ نصب مونوپل ها در شکل (۳) نشان داده شده است. ابتدا آنتن برای ایجاد پرتو زینی شکل مناسب در باندUHF بهینه می شود و سپس در باند VHF آنالیز شده و پرتو آن بررسی می گردد.




(الف)

**شکل (۳) : آنتن ST روی بدنهٔ ماهواره**

براي آناليز عددي ساختار، المانهاي آنتن و بدنة مكعبي ماهواره كه از جنس هادي الكتريكي است به صورت سيمي مدل شده و مش بندي مي شوند و ساختار بروش ممان تحليل مي گردد. در شكل (۳) نحوه مش بندي آنتن و بدنه ماهواره نشان داده شده است. ابعاد هريک از قسمت ها در مش بندي كمتر از ۰/۱λ در نظر گرفته شده است. در اين مش بندي هر يک از منوپل ها به ۱۴ قسمت مساوي و يال هاي جانبي به ۱۸ قسمت مساوي و اضلاع سطوح بالايي و پاييني ماهواره هر يک به ۱۲ قسمت مساوي تقسيم شده اند. مدل مش بندي شده توسط نرم افزار NEC كه از روش ممان استفاده مي كند، تحليل مي گردد.

مراحل طراحي آنتن به صورت فلوچارت در شكل (٤) نشان داده شده است. با برقراري ارتباط بين دو نرم افزار MATLAB و NEC مي توان مراحل طراحي آنتن را پياده سازي نمود. در برنامه نوشته شده در نرم افزار MATLAB ابتدا پارامترهاي فيزيكي آنتن در يك ماتريس دو بعدي كه در يك بعد طول مونوپل و در بعد ديگر زاوية نصب آن بر روي بدنه ماهواره مي باشند، در محدودة مجاز و قابل پياده سازي تغيير ميكنند. سپس تك تك اعضاي اين ماتريس در برنامه فراخواني شده و تحليل ساختار بر اساس اين پارامترها توسط نرم افزار NEC انجام مي شود. نتايج تحليل توسط برنامة MATLAB فراخوانده شده و با نتايج مطلوب مقايسه مي گردد. تحليل و مقايسه تا رسيدن به نتايج بهينه ادامه مي يابد.

در اين آنتن، هدف از طراحي رسيدن به پترني با اختلاف گين $5.8 \le \Delta G \le 7.2$ در صفحة φ=0° است $(\Delta G = G_{\theta=54^\circ} - G_{\theta=0^\circ})$. محدوده ذكر شده براي اختلاف گين با توجه به تلرانس مجاز براي ΔG=6.5dB كه در بخش ۲ ذكر شد، بدست آمده است.

پس از بهينه سازي ابعاد فيزيكي L=65cm و β=85° براي آنتن بدست آمد.

ميدان هاي تشعشعي آنتن به دو مؤلفة عمودي و افقي تجزيه مي شوند. مقدار مؤثر ميدان از رابطة (٤) حاصل مي شود. مجموع گين نيز از روي مقدار مؤثر ميدان بدست مي آيد و شرط اختلاف گين دلخواه بين دو زاويه nadir ماكزيمم و مينيمم روي آن اعمال مي شود.



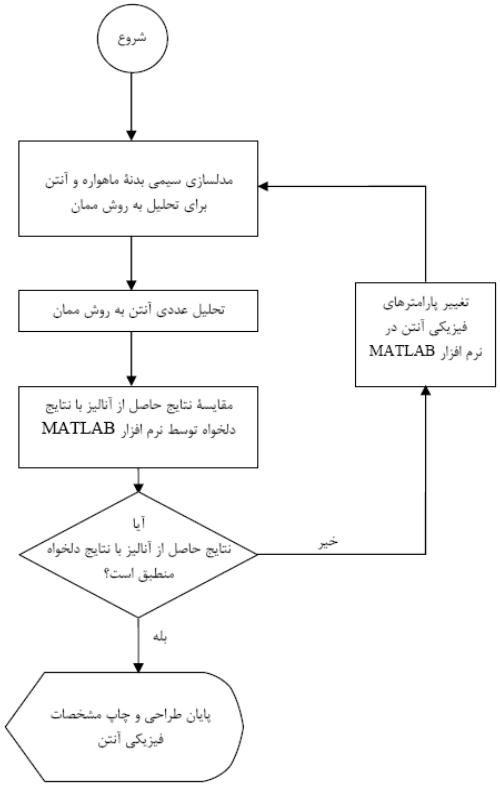
Journal of Iranian Association of Electrical and Electronics Engineers - Vol.3- No.2- Fall and Winter 2006

[ Downloaded from jiaeee.com on 2024-10-12 ]

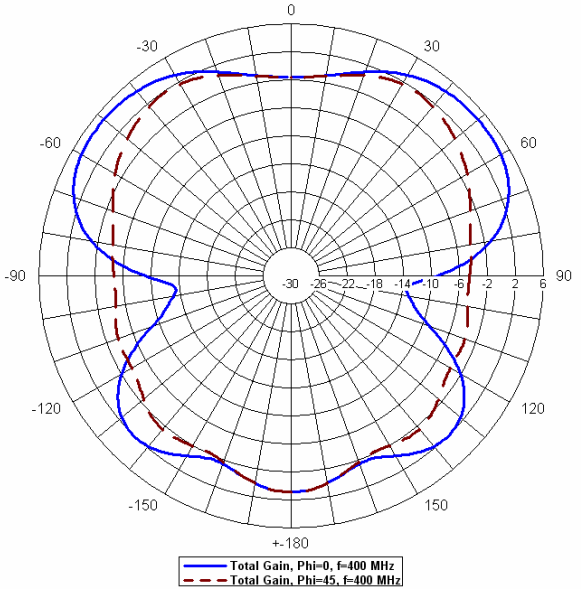
$$E = \sqrt{E_{1m}^2 + E_{2m}^2} = \sqrt{E_L^2 + E_R^2} \qquad (۴)$$

E مقدار مؤثر ميدان تشعشعي است ، $E_{1m}$ و $E_{2m}$ مؤلفه هاي افقي و عمودي و $E_L$ و $E_R$ به ترتيب مؤلفه هاي چپگرد و راستگرد پلاريزاسيون هستند.

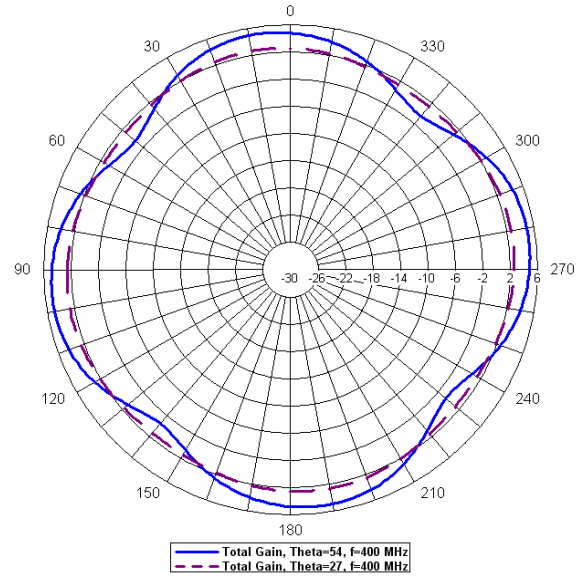
شكل (۵) مجموع گين بر حسب زاوية n را در صفحة φ=0° وφ=45° و در فركانس مركزي باند UHF براي آنتن طراحي شده نشان مي دهد. مطابق اين شكل اختلاف گين در صفحة φ=0° بين زاوية n=54° و n=0° برابر ٦/٣٨ dB و در محدودة مطلوب است و پرتو تشعشعي در نواحي تحت پوشش آنتن زيني شكل ميباشد




**شكل(۴) : فلوچارت مراحل طراحی آنتن**




**شكل (۵) : گين مجموع بر حسب زاويه n در صفحات φ=0° و φ=45°**



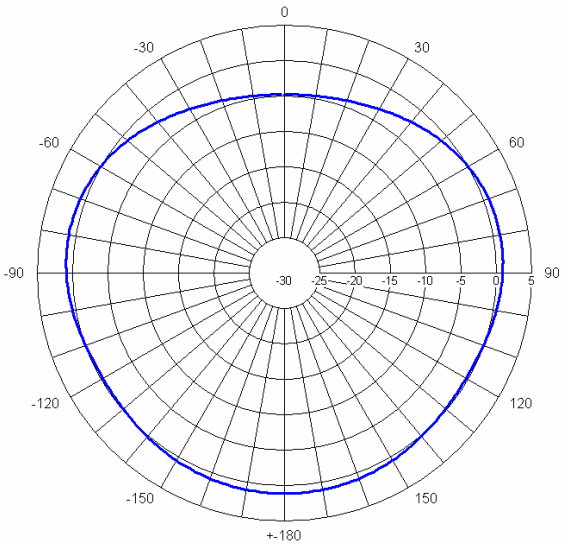

**شكل (۶) : گين مجموع برحسب زاويه φ در صفحات θ=27° و θ=54°**

شكل (۶) پرتوي تشعشعي آنتن طراحي شده بر حسب زاويه φ در صفحات θ ثابت را نشان مي دهد. پرتو تشعشعي بر حسب φ در صفحة θ=54° دايروي كامل نيست و در صفحات θ ثابت كوچكتر به دايره نزديك تر مي شوند. با توجه به چرخش ماهواره به دور محور خود و اين كه در مدت زمان پوشش يك ناحيه توسط ماهواره، زاوية φ در آن


[ Downloaded from jiaeee.com on 2024-10-12 ]

ناحيه تغيير خواهد نمود، در عمل نيازي به داشتن پرتو دايروي كامل بر حسب φ وجود ندارد.

نتيجة آناليز آنتن در باند VHF در شكل (۷) آورده شده است. اين پرتو تقريباً دايروي كه در صفحة φ=0° و بر حسب زاوية θ رسم شده است و مجموع گين آنتن در زواياي مختلف θ را نشان مي دهد، براي كاربردهاي كنترلي كه نياز به ارتباط با ماهواره در هر وضعيتي از ماهواره وجود دارد مناسب است.



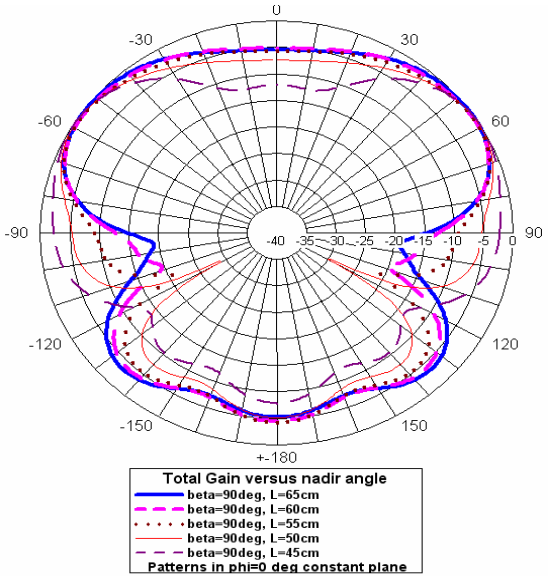

**شكل (۷) : گين آنتن با L=65cm و β=85° بر حسب زاويهٔ n در صفحه φ=0° در باند VHF**

## ۴- بررسی اثر پارامترهای فیزیکی آنتن روي پرتو تشعشعی آن

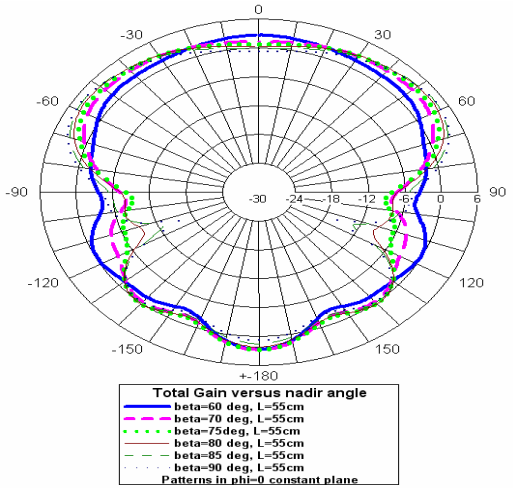
تغيير پارامترهاي فيزيكي آنتن از جمله طول و زاوية نصب آن روي پرتوي تشعشعي آنتن اثر مي گذارد. استخراج روند تغيير پرتو با تغيير اين پارامترها مي تواند راهگشاي طراحي اين نوع آنتن براي ماهواره هاي LEO كوچك در ارتفاعات ديگر باشد.

پرتو آنتن ها براي طول هاي مختلف مونوپل ها در فركانس مركزي باند UHF در شكل (۸) رسم شده است. نتايج تحليل نشان مي دهند كه افزايش طول مونوپل ها باعث تيز تر شدن پرتوي زيني شكل و افزايش اختلاف گين بين زاوية nadir ماكزيمم و مينيمم مي شود.

پرتو تشعشعي آنتن ها براي زواياي نصب مختلف مونوپل ها در فركانس مركزي باند UHF در شكل (۹) نشان داده شده است. كاهش زاوية نصب مونوپل ها يعني باز شدن آنها به سمت خارج ماهواره پرتو تشعشعي را هموارتر مي كند و اختلاف گين بين زاوية nadir ماكزيمم و مينيمم را كاهش مي دهد. همچنين با افزايش زاوية نصب، مكان گين ماكزيمم به زواياي nadir بزرگتر منتقل مي شود.




**شكل (۸) : پرتو گين آنتن هايی با طول های مختلف در فركانس مركزی باند UHF**

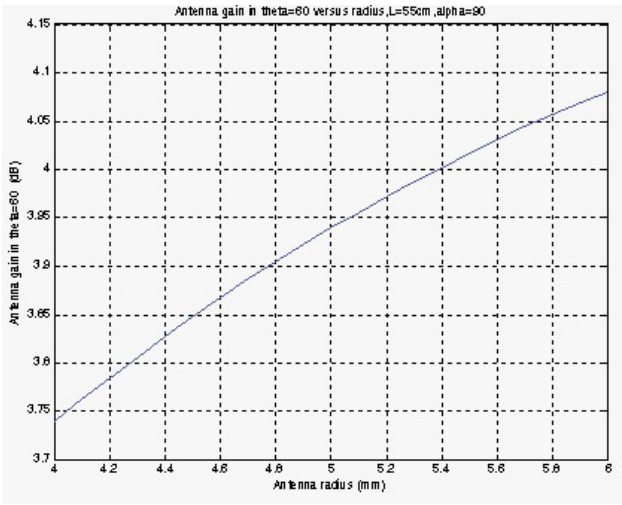



**شكل(۹) : پرتو گين آنتن هايی با زوايای نصب مختلف در فركانس مركزی باند UHF**



[ Downloaded from jiaeee.com on 2024-10-12 ]

شعاع معادل مونوپل ها عامل فيزيكي ديگري است كه ميتواند روي تشعشع آنتن اثر بگذارد. براي مونوپل نواري مي توان شعاع معادل را بدست آورد[6]. مطابق شكل (۱۰) با تغيير۲ سانتيمتري شعاع معادل آنتن، گين آن در زاويه nadir ماكزيمم، تغييراتي در حدود 0.3dB دارد كه بسيار ناچيز است، لكن تاثير مستقيمي بر امپدانس ورودي آنتن دارد.




**شكل(۱۰) : گين آنتن در زاويه $n = 60^{\circ}$ برحسب تغيير شعاع آن براى آنتنى با L=65cm و β=85°**

## ۵- مقايسهٔ نتايج حاصل از تست پرتو مدل مهندسى آنتن با نتايج حاصل از آناليز آن

براي اطمينان از صحت نتايج طراحي و آناليز آنتن، مدل مهندسي آنتن همراه با بدنة فلزي ماهواره ساخته شده و مورد آزمايش قرار گرفت. بدنة ماهواره و سطوح سلولهاي خورشيدي امتداد يافته از سطوح بدنة ماهواره با ورقه هاي آلومينيومي مدل شدند و براي ساخت مونوپل ها از استيل قابل انعطاف كه سطح مقطع نيمدايره اي دارد استفاده شد. عرض نوار با در نظر گرفتن مسائل ساخت ۱/۷ سانتيمتر و طول و زاوية نصب مونوپل ها با توجه به نتايج طراحي ٦٥ سانتيمتر و ۸٥ درجه در نظر گرفته شد.

يكسان بودن دامنة جريان در مونوپل ها در ايجاد پرتو تشعشعي مناسب نقش مهمي دارد. مقسم/ تركيب كنندة توان ويلكينسون مانع از انتقال و نشت توان از مونوپلي به مونوپل ديگر مي گردد و به همين جهت براي تغذية اين آنتن مناسب است[7] . ايزولاسيون بين پورت هاي خروجي مقسم توان ويلكينسون ساخته شده برابر 30dB بدست آمد.

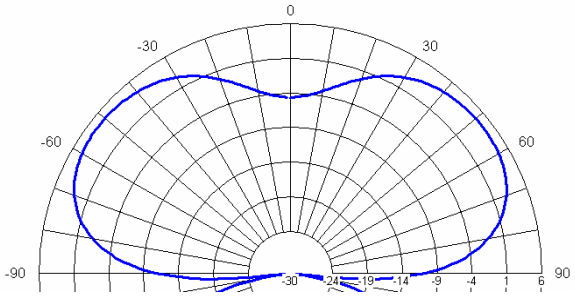
پرتو مؤلفه عمودي ميدان تشعشعي و مؤلفة افقي ميدان تشعشعي به صورت جداگانه تست و ثبت شد. براي اين منظور آزمايش هاي اوليه در اتاق بدون انعكاس و آزمايش هاي نهايي در فضاي آزاد انجام پذيرفت. براي اين كه محيط مناسبي براي تست آنتن ايجاد كنيم بايد انعكاسات محيطي كاهش داده شود. در تست هاي فضاي آزاد، بيشترين عاملي كه ايجاد خطا مي كند، انعكاسات از زمين است كه شيب دار نمودن زمين و قرار دادن آنتن هاي فرستنده و گيرنده در ارتفاع بالا به ميزان قابل ملاحظه اي از اين انعكاسات مي كاهد. شكل (۸-۱۱) محيط تست آنتن در فضاي آزاد را نشان مي دهد. فاصلة آنتن هاي فرستنده و گيرنده ۳۰۰ متر و زاوية شيب زمين ٥/٦ درجه است.

گين آنتن با استفاده از روش مقايسه اي محاسبه ميگردد. بدين ترتيب كه با ثابت نگاه داشتن كلية شرايط تست، آنتن استانداردي كه گين آن قبلاً اندازه گيري شده است را پشت آنتن تحت تست قرار داده و توان دريافتي آن را يادداشت مي كنيم و از روي نسبت توان دريافتي توسط آنتن ماهواره با اين توان، گين آنتن ماهواره در آن زاوية خاص را بدست مي آوريم. در اين باند فركانسي از آنتن لگپريوديك به عنوان استاندارد استفاده مي گردد. آنتن فرستنده نيز يك آنتن لگپريوديك است كه در محل آنتن گيرنده تواني يكنواخت دارد و پهناي باند آن، باندهاي فركانسي آنتن ماهواره را مي پوشاند.

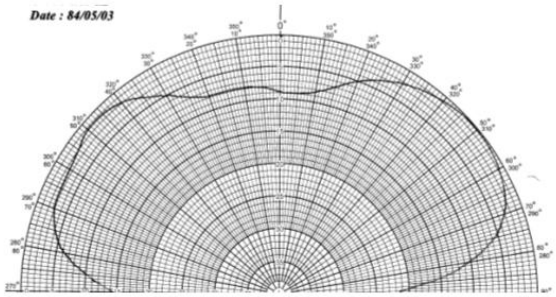

[ Downloaded from jiaeee.com on 2024-10-12 ]

شكل (۱۱-۱) مؤلفة افقي ميدان تشعشعي را كه از اندازه گيري در فضاي آزاد در فركانس مركزي باند UHF بدست آمده نشان مي دهد. با توجه به اين پرتو اختلاف گين بين زواياي nadir=54° و nadir=0° در حدود 9dB است كه نزديك به مقدار بدست آمده از آناليز آنتن است . پرتو تشعشعي مطلوب مولفة افقي آن در شكل (۱۱-۲) نشان داده شده است.

شكل هاي (۱۲-۱) و(۱۲-۲) به ترتيب نتايج حاصل از آناليز و تست مؤلفة عمودي ميدان تشعشعي را نشان مي دهند. اختلاف گين بين زواياي nadir=0° و nadir=54° در پرتو اندازه گيري شده در حدود 8dB است كه نزديك به مقدار حاصل از آناليز يعني 7.14dB است. شكل (۱۳) مدل مهندسي آنتن و بدنة ماهواره را كه روي پاية تست قرار گرفته است، نشان مي دهد.

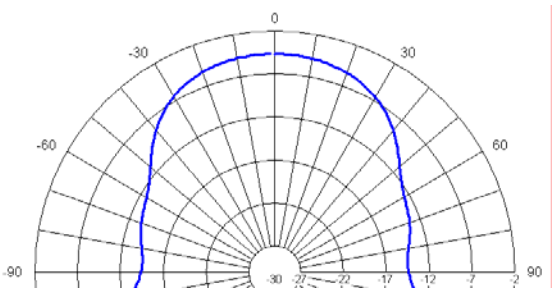



(۱)

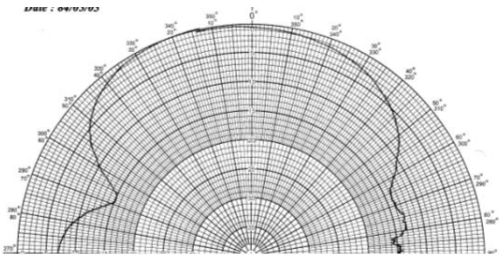



(۲)

**شكل (۱۱) : مؤلفة افقی پرتو تشعشعی در فركانس مركزی باند UHF**




(۱)



(۲)

**شكل(۱۲) : مؤلفة عمودی پرتو تشعشعی در فركانس مركزی باند UHF**

**شكل(۱۳)** : نمايي از آنتن ساخته شده روي مدل بدنة ماهواره



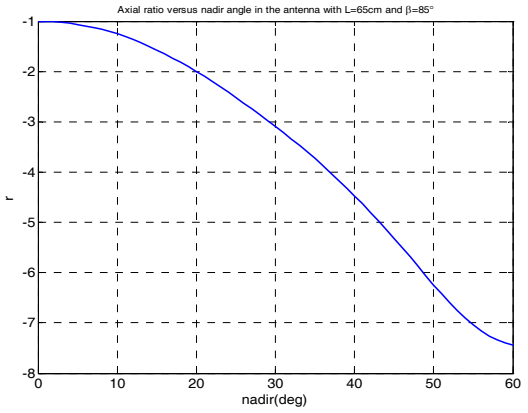

[ Downloaded from jiaeee.com on 2024-10-12 ]

## ۶- تحليل پلاريزاسيون آنتن Separated Turnstile

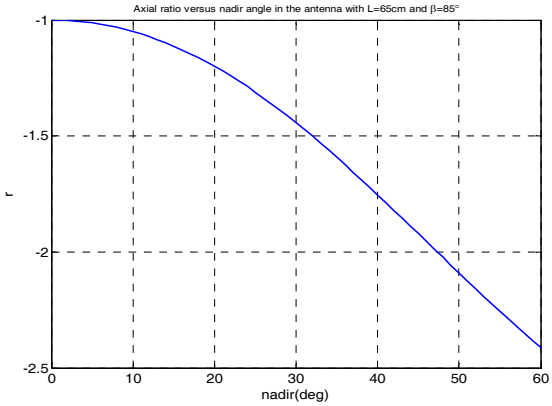
به دليل اثرات چرخش فاراده در هنگام عبور موج از لايه هاي اتمسفر و تغيير پلاريزاسيون موج، از آنتنهاي با پلاريزاسيون دايروي در ماهواره ها استفاده مي گردد، تا موج پس از تغيير پلاريزاسيون نيز قابل دريافت توسط آنتن ايستگاههاي زميني باشد.

آنتن طراحي شده براي ماهواره از چهار منوپل با اختلاف فاز °90 تشكيل شده است، كه درست در امتداد محور تقارن ماهواره پلاريزاسيوني دايروي ايجاد كرده و با انحراف از خط سمت الراس ماهواره پلاريزاسيون آن به بيضوي ميل مي كند. براي تغذية مونوپل ها واحد RFDU طراحي شد. اين واحد متشكل از سه مقسم توان ويلكينسيون است كه علاوه بر تغذيه مونوپلها، شيفت فازي لازم بين آنها جهت ايجاد پلاريزاسيون دايروي را تامين مينمايد. در ساخت اين مدار از خطوط انتقال كواكسيال با طولهاي λ، 3λ/4 ، λ/2، λ/4 استفاده شد.

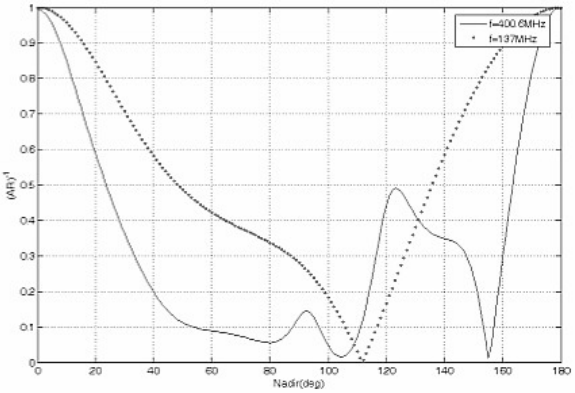
منحني هاي (١٤-١) و (١٤-٢) معكوس نسبت محوري (Axial Ratio) آنتن طراحي شده را برحسب زاويه nadir و در صفحة φ=0° در فركانسهاي UHF و VHF نشان مي دهد. با افزايش زاوية nadir بيضويت پلاريزاسيون افزايش مي يابد. با مقايسة نسبت محوري پلاريزاسيون در نمودارهاي فركانس 400MHz و 137MHz مي توان دريافت كه قدر مطلق r به طور كلي در فركانس 400MHz بيشتر است، يعني بيضويت آن بالاتر است. شكل (١٥) نتايج حاصل از اندازه گيري و رسم معكوس نسبت محوري آنتن در دو باند VHF و UHF را نشان ميدهد.




**شكل(۱۴-۱) : نسبت محوری بر حسب زاويه n در فركانس 400MHz**




**شكل (۱۴-۲): وری بر حسب زاويه n در فركانس 137MHz**




**شكل (۱۵) : نسبت محوری پلاريزاسيون اندازه گيری شده برای آنتن ST ساخته شده**

## ۷- اندازه گيری VSWR ورودی مدل مهندسی آنتن ماهواره در اتاق بدون انعكاس

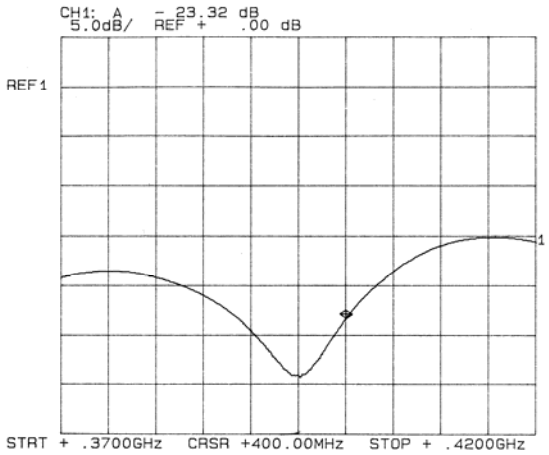
VSWR ورودي آنتن، پارامتري است كه ميزان تطبيق امپدانس و انعكاس توان در ورودي آنرا نشان مي



[ Downloaded from jiaeee.com on 2024-10-12 ]

دهد. براي اينكه انتقال توان مناسبي از بخش RFDU به آنتن داشته باشيم، بايد VSWR آنتن بين ۱ تا ۱/۵ باشد. نتايج تست مدار مقسم توان و شيفت دهنده فاز بكار برده شده در تغذيه مدل مهندسي آنتن ، نشان داد كه S11 اين مدار در باند UHF 27.78dB- است. امپدانس ورودي پورت هاي اين مدار برابر 50 اهم است و هر چه امپدانس ورودي مونوپل ها به اين عدد نزديك تر باشد، ميزان تطبيق مدار مقسم توان با آنتن بيشتر است و VSWR كمتري خواهيم داشت.

براي تست VSWR در پورت ورودي مدار تغذيه آنتن، از يك Network Analyzer بهمراه يك سيگنال ژنراتور استفاده مي كنيم. اين تست در اتاق ساكت مجهز به جاذبهاي الكترومغناطيس(Anechoic Chamber) انجام شد تا از تاثير وسايلي كه امكان القا شدن جريان روي آنتن و ايجاد امپدانس متقابل توسط آنها وجود دارد به دور باشد. شكل (۱٦) ضريب انعكاس اندازه گيري شده آنتن در باند UHF را نشان مي دهد.




**شكل (۱۶):s11 اندازه گيری شده در دهانه ورودی تغذيه آنتن برحسب فركانس**

## ۸- نتيجه گيری

آنتن ST كه از چهار مونوپل كه در چهار طرف ماهواره نصب مي شوند و به صورت چرخشي با يكديگر اختلاف فاز ۹۰ درجه دارند، تشكيل مي شود. اين آنتن مي تواند پرتوي زيني شكل در باند UHF و پرتوي تقريباً كروي در باند VHF ايجاد كند. تعيين پرتو آنتن با استفاده از پارامترهاي بودجة لينك و تغييرات افت فضاي آزاد بر حسب فاصله صورت گرفت. بهينه سازي آنتن براي ايجاد اختلاف گين مناسب بين زواياي nadir ماكزيمم و مينيمم در باند UHF صورت گرفت تا پرتو زيني شكل مناسب براي پوشش يكنواخت ايجاد گردد.. نتايج بهينه سازي، آنتني با مونوپل هايي به طول ٦٥ cm و زاوية نصب ۸۵ درجه است. آنتن طراحي شده در صفحات $\varphi=0^o$ و $\varphi=45^o$ در دو باند UHF و VHF با استفاده از روش ممان تحليل گشته و نتايج تحليل در اين مقاله آورده شده اند.

اثر پارامترهاي فيزيكي آنتن روي پرتو تشعشعي آن در باند UHF در اين مقاله بررسي شده است. نتايج نشان مي دهند كه كاهش زاوية نصب مونوپل ها پرتو تشعشعي زيني را هموارتر مي كند و افزايش طول مونوپل ها باعث تيزتر شدن پرتو زيني و افزايش اختلاف گين بين زواياي nadir ماكزيمم و مينيمم مي شود.

آنتن طراحي شده همراه با بدنة ماهواره و صفحات خورشيدي ساخته شده و در فضاي آزاد تست گرديد. نتايج تست پرتو تشعشعي در باند UHF در مقاله آورده شده است. مقايسة آنها با نتايج حاصل از آناليز، تأييد كنندة صحت اين نتايج است.

## مراجع

[1] A.W. Rudge, K. Milne, A. D. Olver and P. Knight, The Handbook of Antenna Design, 1983.

[2] W.S.Gregorwich, WDL Division, "A Tangential Turnstile Antenna For Spacecraft", IEEE International Symposium of Antenna and Prorogation, pp 207-209, vol. 12, Jan. 1974.

[3] Cheng-Nan Hu, Ching-Song Chuang and Der- Chorng Chou, "Design of the Cross-Dipole Antenna with Near-Hemispherical Coverage in Finite-Element Phased Array by Using Genetic Algoritms", IEEE International



[ Downloaded from jiaeee.com on 2024-10-12 ]

Conference on Phased Array Systems and Technology,2000.

[4] Robert K. Zimmerman, Jr., “Crossed Dipoles Fed with a Turnstile Network”, IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, Vol. 46, No.12, December 1998.

[5] Proakis, Digital Communications, Third edition McGraw-Hill, 2001.

[6] Robert S. Elliott, Antenna Theory and Design, Prentice-Hall, 1981.

[7] David M. Pozar, Microwave Engineering, Addison-Wesley Publishing Company,1990

[8] Y. T. Lo and S. W. Lee, Antenna Handbook, Vol 4, Van Nostrand Reinhold, 1993.



[ Downloaded from jiaeee.com on 2024-10-12 ]