



# Design and Fabrication of Planar Sub-Array for Satellite Data Transmission Directive Conformal Array Antenna

Arian Zakiani<sup>1</sup>, Seyed Hassan Sedighy<sup>2\*</sup>, and Razieh Narimani<sup>3</sup>

1-MS.c, School of New Technologies, Iran University of Science and Technology, Tehran, Iran

2-Associate Professor, School of New Technologies, Iran University of Science and Technology, Tehran, Iran

3-Instructor, Satellite Research Institute, Iranian Space research Center, Tehran, Iran

\*Corresponding Author E-mail: [sedighy@iust.ac.ir](mailto:sedighy@iust.ac.ir)

## Abstract:

*Due to the limited communication time between Low Earth Orbit, LEO satellites and the ground station and large volume of satellite image data, it is necessary to establish a high transmission rate connection. Therefore, the use of a high-efficiency satellite antenna is inevitable. In order to use the limited viewing time of the satellite, it must be possible to communicate with the ground station at low angles and change the main beam direction of satellite antenna to the direction of the ground station. The proposed array is composed of 8 antenna elements with a compact microstrip feed network. Low profile structure, circular polarization, high gain and low cost specifications of this proposed antenna array, candidate it for conformal array antenna in satellite applications.*

**Keywords:** Array Antenna, Satellite, High Gain

## 1. Introduction

Considering the data transmission rates in imaging and remote sensing satellites, along with the difficulty of boosting satellite transmitter power or reducing data transmission rates, utilizing a high-gain antenna is the optimal solution for maintaining a stable communication link. Various types of antennas utilized in satellites for transmitting high-resolution images and establishing communication with ground stations include antennas equipped with electromechanical pointing structure [1], a combination of planar phased array antennas and electromechanical pointing structures [2], as well as phased array antennas with a conformal structure [3-4]. The conformal array antenna is one of the optimal choices for communication at low elevation angles without mechanically rotating the antenna.

## 2. Antenna Array Design

Given that small-gain omnidirectional antennas are typically employed in satellite communication systems, a gain of 15dBi is considered significant compared to others. Figure 1 indicates that the conical structure possesses the most effective area. Furthermore, to simplify the fabrication and assembly of the antenna with the feeding network, the conical structure is approximated by a polyhedral pyramidal structure.

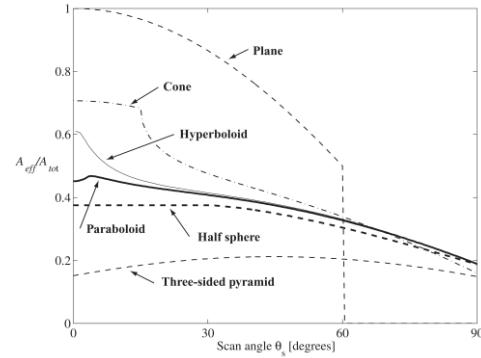


Figure 1. Different Conformal Array Effective Area

## 3. Array Antenna Design and Simulation

In order to simulate arrays in a full-wave simulator, an X-band patch antenna is designed. It should be noted that the simulation was done with CST software. The antenna's peak gain at the specific frequency of 8.45 GHz is 5.64dBi. Eight patch antennas are placed on each face of the polyhedral array structure. A well-known 8-way Wilkinson power divider is employed for distributing power to this array. The gain of the array is 14.3dBi, determined by its structure. Given that each individual element has a gain of 4.5dBi, raising the



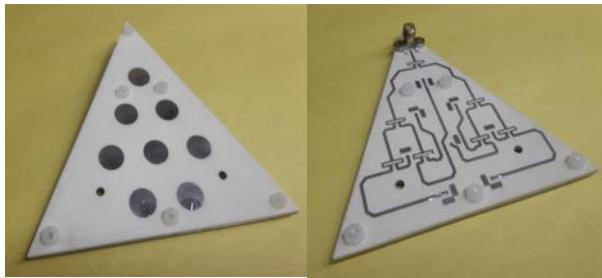
## COPYRIGHTS

© 2024 by the authors. Published by Aerospace Research Institute. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of [the Creative Commons Attribution 4.0 International \(CC BY 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

How to cite this article:

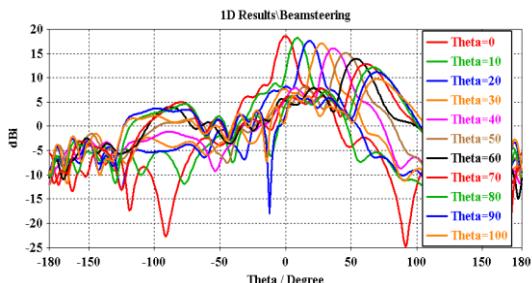
A Zakiani, S H Sedighy, R Narimani, " Design and Fabrication of Planar Sub-Array for Satellite Data Transmission Directive Conformal Array Antenna," *Journal of Space Science and Technology*, vol. 17, no. 1, pp. 73-79, 2024(in Persian).

number of elements by 8 results in an approximate increase of 9 dB in the gain of the array which shows a great match with principles of array theory. Figure 2 shows array antenna and it's feeding network.



**Figure 2. Array Antenna and Feeding Network**

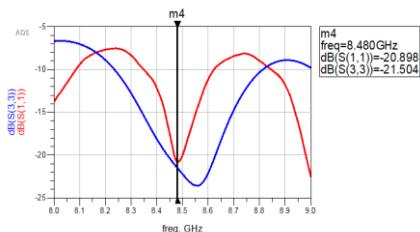
A polyhedral conformal array is constructed by assembling the planar sub-arrays. As seen in figure 3, this design achieves a maximum gain of 18.3 dBi. Furthermore, this figure displays the two-dimensional radiation pattern of the antenna at various rotation angles. Based on this figure, the antenna's gain is consistently above 15 dBi for elevation angles beyond 30 degrees. In order to generate circular polarization with the conformal array structure, planar arrays exhibit a phase difference relative to each other [5] [6].



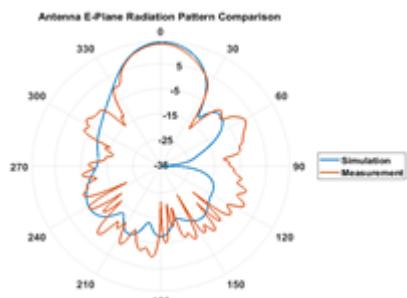
**Figure 3. Array 2D radiation pattern at  $\phi = 0$  and different elevation angles**

#### 4. Measurement Results vs. Simulation Results

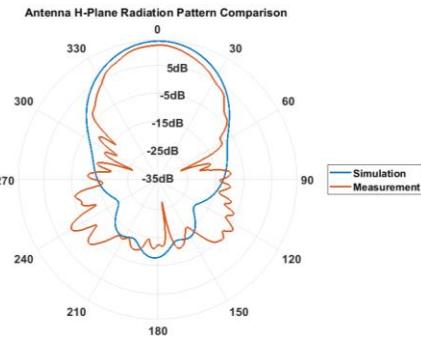
Based on Figure 4, the simulation and measurement results of the antenna reflection coefficient exhibit a considerable level of similarity.



**Figure 4. Comparison of measured and simulated reflection coefficient**



Arian Zakiani, Seyed Hassan Sedighy, Razieh Narimani



**Figure 5. Comparison of measured and simulated 2D radiation pattern**

However, Figure 5 indicates that the radiation pattern of the antenna in the simulation deviates slightly from the measurements. Additionally, the radiation pattern of the E-plane exhibits asymmetry. It is important to mention that, in order to simplify the construction process and reduce costs, the multi-layer board was not utilized. Instead, the individual boards were manufactured separately and stacked on top of one another. The discrepancy arises from the construction's level of quality and the inadequate accuracy in connecting and assembling the feeding network to the antenna, as well as the difficulty in producing an air gap between the antenna and the feeding network, which cannot be readily simulated. In addition, plastic screws are employed to stack the boards vertically. The antenna's gain at 8.45GHz is around 13.6dB.

#### 5. Conclusions

A high-gain circular polarization array antenna is specifically engineered for use in satellite systems. Achieving a harmonious combination of well-executed design and construction is also deemed satisfactory. The utilization of the triangular planar array allows for the acquisition of many conformal array configurations suitable for satellite applications.

#### 6. References

- [1] Y. R.-S. R. E. H. X.-X. Y. Steven Gao, "Advanced Antennas for Small Satellites," in Proceedings of the IEEE, 2018, doi: [10.1109/JPROC.2018.2804664](https://doi.org/10.1109/JPROC.2018.2804664).
- [2] P. I. J. T. Andrew Makovsky, "Mars science laboratory telecommunications system design," DESCANSO Design and Performance Summary Series, Pasadena, California, 2009.
- [3] C. K. V. S. K. V. V. S. B. Pavan Kumar, "Active Spherical Phased Array Design for Satellite Payload Data Transmission," IEEE Transactions on Antennas and Propagation, pp. 4783-4791, 2015, doi: [10.1109/TAP.2015.2479678](https://doi.org/10.1109/TAP.2015.2479678).
- [4] B. P. K. V. S. K. V. V. S. Chandrakanta Kumar, "Dual Circularly Polarized Spherical Phased-Array Antenna for Spacecraft Application," IEEE Transactions on Antennas and Propagation, pp. 598-605, 2013, doi: [10.1109/TAP.2012.2220328](https://doi.org/10.1109/TAP.2012.2220328).
- [5] J. Huang, "A Technique for an Array to Generate Circular Polarization with Linearly Polarized Element," IEEE Transactions on Antenna and Propagation, pp. 1113-1124, 1986, doi: [10.1109/TAP.1986.1143953](https://doi.org/10.1109/TAP.1986.1143953).
- [6] T. N. Y. S. Hisao Iwasaki, "Gain Improvement of Circularly Polarized Array Antenna Using Linearly Polarized Elements," IEEE Transactions on Antenna and Propagation, pp. 604-608, 1995, doi: [10.1109/8.387176](https://doi.org/10.1109/8.387176).



# طراحی و ساخت زیرآرایه صفحه‌ای برای آنتن آرایه‌ی همدیس جهت لینک ارسال داده‌ی ماهواره

آرین زکیانی<sup>۱</sup>, سیدحسن صدیقی<sup>۲\*</sup> و راضیه نریمانی<sup>۳</sup>

۱- دانشکده فناوری‌های نوین، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران

۳- پژوهشکده سامانه‌های ماهواره، پژوهشگاه فضایی ایران، تهران، ایران

\*ایمیل نویسنده مخاطب: [sedighy@iust.ac.ir](mailto:sedighy@iust.ac.ir)

در این مقاله طراحی و ساخت آنتن آرایه‌ای مسطح فشرده با بهره‌ی زیاد برای ارسال داده‌های ماهواره در باند X/آرایه شده است. با توجه به الزمات مأموریت ماهواره‌های تصویربرداری و نیاز به چرخش پرتوی آنتن در راستای دلخواه بدون استفاده از ساز و کار مکانیکی، آنتن آرایه‌ی همدیس یکی از بهترین گزینه‌ها به شمار می‌رود. براساس تحلیل‌های صورت گرفته در این پژوهش، ساختار چند وجهی عملکرد مناسبی داشته و آرایه‌ی همدیس به صورت ع وجهی طراحی شده است. زیرآرایه‌های صفحه‌ای طراحی شده مشتمل از ۸ المان پیچ دایروی، با بهره بالا و شبکه تغذیه مناسب است که قابلیت به کارگیری در این ساختارها را دارد. زیرآرایه‌ی صفحه‌ای مورد نظر پس از شبیه‌سازی، ساخته و نتایج مورد بررسی قرار گرفته است. براساس نتایج به دست آمده، طراحی انجام شده جهت رسیدن به آرایه همدیس براساس ابعاد در اختیار بر روی سازه‌ی ماهواره مناسب می‌باشد.

**واژه‌های کلیدی:** آنتن آرایه‌ای، ماهواره، بهره بالا

بهره‌ی آنتن در بسته شدن لینک ارتباطی ماهواره با ایستگاه زمینی نقش بر جسته‌ای را ایفا می‌کند. الزامات مأموریت از یک سو، و محدودیت جرم و حجم در ماهواره از سوی دیگر، استفاده از آنتن‌هایی با جرم کم، ابعاد کوچک، استحکام زیاد، مقاومت مناسب در شرایط محیطی فضا همراه با بهره‌ی بالا را هدف اصلی طراحان قرار داده است. با توجه به نیاز به نرخ بالای ارسال داده در ماهواره‌های تصویربرداری و چالش برانگیز بودن افزایش توان فرستنده‌ی ماهواره، استفاده از آنتن با بهره‌ی بالا یکی از بهترین گزینه‌ها برای بسته نگاه داشتن لینک ارتباطی می‌باشد.

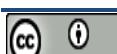
آنتن‌های مختلفی در ماهواره‌ها به منظور برقراری ارتباط با ایستگاه زمینی و ارسال تصاویر با وضوح بالا استفاده می‌شوند. از انواع آنتن‌هایی که در ماهواره‌ها به کار می‌روند می‌توان به آنتن‌های دارای

## علامه و اختصارات

K	Kelvin
W	Watt
Km	Kilo Meter
dBi	deciles relative to isotropic
GHz	Gigahertz
Mbps	Megabits per seconde

## مقدمه

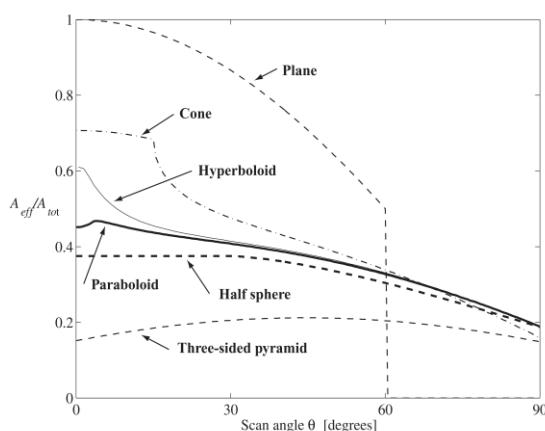
آنتن یکی از مهم‌ترین اجزای زیرسیستم مخابرات ماهواره بوده و ابعاد و جرم آن در طراحی ماهواره بسیار تأثیرگذار است. ساختار آنتن ماهواره باید در برابر فشار مقاوم بوده و شرایط محیطی فضا را تحمل کند. همچنین



جدول ۱- مشخصات لینک ارسال داده ماهواره ۲ [6] NigeriaSat\_2

۷۰۰ Km	ارتفاع مداری ماهواره	۱
۸/۴۵ GHz	فرکانس	۲
۲۱۰ Mbps	نرخ ارسال داده	۳
$10^{-5}$	احتمال خطای بیت	۴
۶ W	توان ارسالی	۵
۱۵ dBi	بهره‌ی آنتن ماهواره	۶
دایروی	پلاریزاسیون آنتن ماهواره	۷
۲۹۰ K	دما نویز آنتن ماهواره	۸
۷/۲ m	قطر آنتن ایستگاه زمینی	۹

شکل(۲) سطح مقطع مؤثر اشکال مختلف آرایه‌ی همدیس نسبت به تغییرات جهت پرتو آرایه را نشان می‌دهد [6]. اشکال بررسی شده از لحاظ تغییرات شیب و میزان خمیدگی با هم تفاوت دارند. در این اشکال مصالحهای بین عملکرد آرایه و جهت چرخش پرتو آرایه وجود دارد. این شکل بیان کننده میزان پوشش در جهت‌های مختلف برای اشکال متفاوت با قاعده‌ی یکسان و با فرض  $h/R=1$  است. سطح مقطع مؤثر آرایه‌ی صفحه‌ای به عنوان یک معیار در آن رسم شده است. همان‌طور که دیده می‌شود، عملکرد آرایه به شکل آرایه وابسته است. هرم سه وجهی کمترین سطح مقطع مؤثر را نسبت به دیگر اشکال به ازای تمامی جهت‌های چرخش پرتو نشان می‌دهد. علاوه بر آن، آرایه‌ی صفحه‌ای عملکرد نامناسبی در جهت‌های مطلوب چرخش پرتو کوچک‌تر از  $60^\circ$  درجه دارد که با توجه به نیازمندی آنتن ماهواره مناسب می‌باشد.



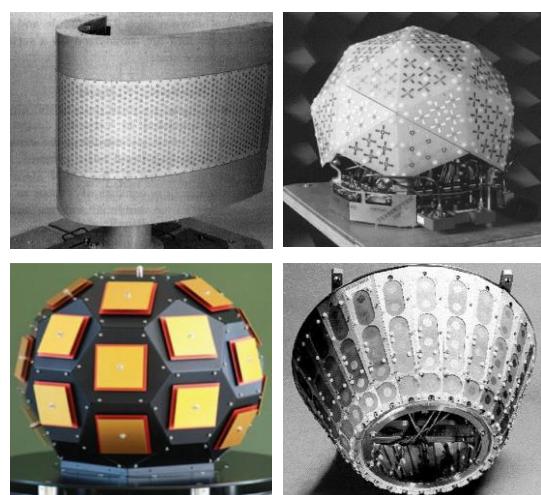
شکل ۲- سطح مقطع مؤثر اشکال مختلف آرایه‌ی همدیس [6]

با توجه به محدودیت فضا در ماهواره‌ها، حالتی که بیشترین سطح مقطع مؤثر و کمترین مساحت کل را داشته باشد، بهترین انتخاب به شمار می‌رود. بر اساس این شکل مخروط نتایج بهتری را نشان می‌دهد. یکی از مزایای مخروط، داشتن شیب ثابت در تمام سطح است که ساخت و پیاده‌سازی آرایه و تجمیع آن با شبکه‌ی تغذیه را ساده‌تر می‌کند. از سوی

ساز و کار مکانیکی برای نشانه‌روی، ترکیبی از آنتن‌های آرایه‌ی فازی مسطح و ساز و کار مکانیکی نشانه‌روی و همچنین آنتن‌های آرایه‌فازی با ساختار همدیس اشاره کرد [۵-۱].

با انتخاب آنتن‌های آرایه‌فازی به عنوان آنتن مورد استفاده در زیرسیستم مخابراتی ماهواره، ساز و کار مکانیکی نشانه‌روی آنتن حذف می‌شود. آنتن‌های آرایه‌ی فازی در ماهواره ناپایداری مکانیکی ایجاد نکرده و همچنین خطای نشانه‌روی بسیار کمتری از ساز و کارهای مکانیکی نشانه‌روی پرتو آنتن دارند.

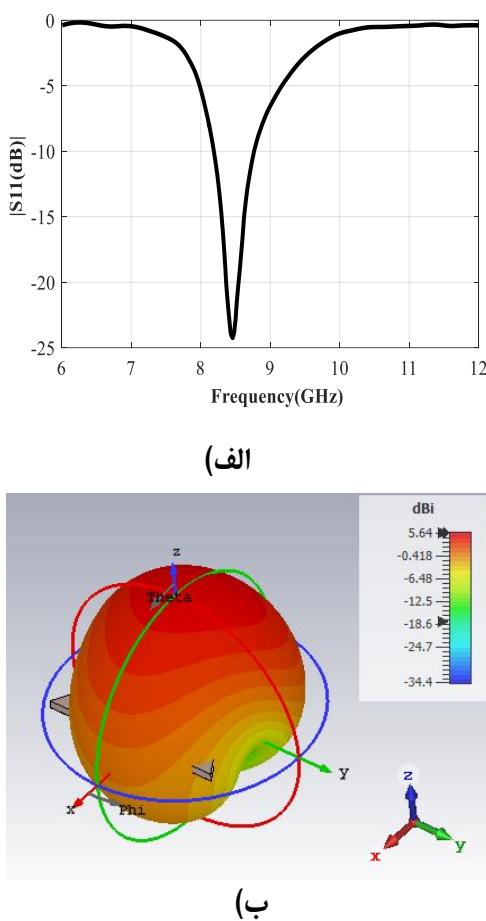
با توجه به نیاز برقراری ارتباط در زوایای فراز پایین و همچنین چرخش پرتو آنتن به صورت غیرمکانیکی، یکی از بهترین گزینه‌ها استفاده از آنتن آرایه‌ی همدیس است. [۶-۱۰]. از آنتن‌های آرایه‌ی همدیس در بدنه‌ی هوایپاماها، موشک‌ها و همچنین در ماهواره‌ها استفاده می‌شود. برای مثال در شکل(۱) انواع مختلفی از ساختار آنتن‌های آرایه‌ی همدیس را نشان می‌دهد.



شکل ۱- اشکال مختلف آنتن‌های آرایه‌ی همدیس [۵ و ۶]

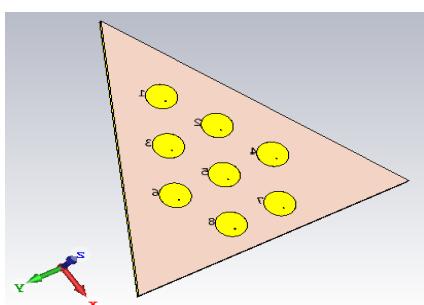
## طراحی آنتن آرایه

برای بررسی و تعریف مشخصات آنتن مورد نیاز در ماهواره‌های مشابه، در جدول (۱) مشخصات لینک ارسال داده ماهواره ۲ NigeriaSat\_2 در ارتفاع مداری ۷۰۰ کیلومتری به عنوان یک نمونه نشان داده شده است. فرکانس مرکزی لینک ارسال داده این ماهواره در باند X و با نرخ ارسال ۲۱۰ Mbps است. آنتن ماهواره دارای پلاریزاسیون دایروی و بهره‌ی ۱۵ dBi است. با توجه به این که به طور معمول از آنتن‌های همه‌جهته و با بهره‌ی کمتر در لینک ارتباطی ماهواره‌ها استفاده می‌شود، بهره‌ی ۱۵ dBi بیشتری نسبت به سایر آنتن‌های به کار رفته در ماهواره‌ها به شمار می‌آید. در این ماهواره از یک ساز و کار مکانیکی برای نشانه‌روی آنتن استفاده شده است که دارای ابعاد  $240 \times 196 \times 185$  میلی‌متر است.



شکل ۴- (الف) نمودار تلفات بازگشتی آتن تک المان ب) الگوی تشعشعی سه بعدی در فرکانس ۸/۵GHz

جهت افزایش بهره آتن، لازم است که در هر وجه از ساختار چند وجهی، تعداد المان‌های بیشتری به صورت آرایه قرار بگیرند. در همین راستا، ساختار آرایه‌ای با ۸ المان در شکل (۵) نشان داده شده است. با توجه به محدودیت ابعاد در ماهواره‌ها، فضای در اختیار آتن و شبکه‌ی تغذیه‌ی آن نیز محدود است، بنابراین امکان استفاده از تعداد المان‌های بیشتر وجود ندارد. شکل مثلثی چینش المان‌ها نیز امکان توسعه و ایجاد یک آتن چند وجهی را فراهم می‌کند.



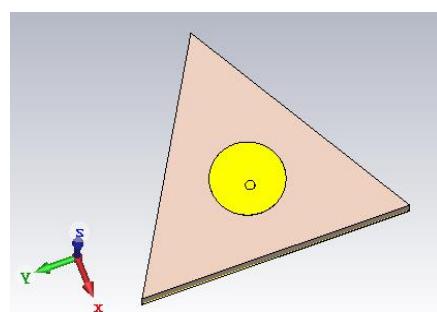
شکل ۵- ساختار آرایه صفحه‌ای با ۸ المان

دیگر استفاده از شکل مخروط به دلیل انحتای پیوسته سطح بیرونی، نیازمند طراحی و ساخت المان‌های آتنی با سطح همدیس می‌باشد. این موضوع و نیز ساخت شبکه تغذیه مناسب، محدودیت‌های زیادی در طراحی و ساخت آتن ایجاد می‌کند. به همین جهت، استفاده از شکل چند وجهی به جای مخروط راه حل مناسبی خواهد بود. در ساختار چند وجهی، صفحه‌های دربرگیرنده یک یا چند المان آتنی در کنار هم، شکل هندسی نزدیک به مخروط را به دست می‌دهند. تعداد وجوه ساختار هندسی آتن، به سطح مقطع در اختیار، ابعاد تک المان و زاویه مخروط مرتبط است. انتخاب این پارامترها در بهره آتن و محدوده جستجوی بیم آن نیز موثر می‌باشد که با استناد بر اساس الزامات فنی و ماموریتی ماهواره این پارامترها مورد تحلیل قرار گیرند.

در ادامه یک آتن آرایه‌ای سطح مثبت مثلثی برای به کارگیری در ساختارهای همدیس به عنوان یک زیرآرایه ارائه شده است. این زیرآرایه پیشنهادی با بهره Bi  $14/3$  قابلیت به کارگیری در یک ساختار همدیس را به خوبی به دست می‌دهد. سطح بودن این زیرلایه، فشرده‌گی، سادگی و هزینه ساخت کم آن را می‌توان به عنوان سایر قابلیت آن به شمار آورد.

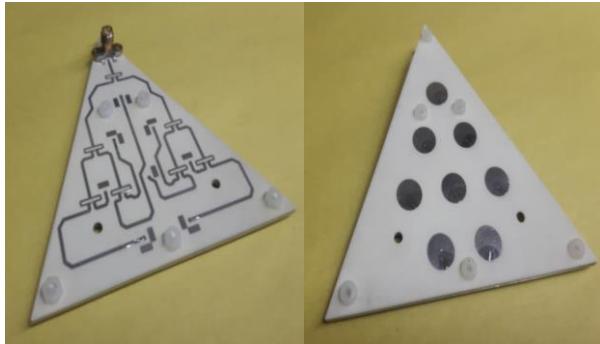
## طراحی و شبیه‌سازی آرایه

در این بخش، طراحی و شبیه‌سازی یک زیرآرایه صفحه‌ای برای استفاده در ساختار آتن آرایه‌ای مورد بحث در بخش قبل ارائه شده است. ابتدا به منظور شبیه‌سازی تمام موج آرایه‌ها یک آتن پچ در باند X طراحی می‌شود. همان‌طور که در شکل (۳) نشان داده شده است، زیرلایه‌ی آتن پچ بر روی زیرلایه مثلثی RO4003 با ارتفاع ۳۰ mil پیاده شده است. آتن توسط یک کابل هم محور به صورت عمودی تغذیه می‌شود. ضریب انعکاس این آتن و پتن تشعشعی سه بعدی آن در شکل (۳) آمده است. لازم به ذکر است که شبیه‌سازی در نرم‌افزار CST انجام شده است. با توجه به شکل (۴-الف)، فرکانس مرکزی این آتن ۸/۵ GHz است و پهنای باند ضریب انعکاس ۱۰-۱۰۰ MHz است. این آتن دارای حداکثر بهره‌ی Bi  $5/84$  dBi است و بهره‌ی آن در  $\theta = 0^\circ$  حدود  $5/4$  dBi است.



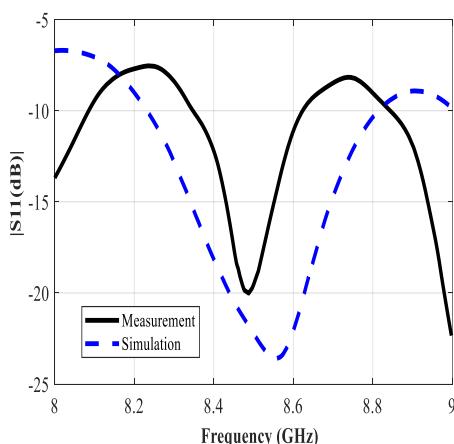
شکل ۳- آتن پچ طراحی شده در باند X با زیرلایه‌ی مثلثی شکل

شکل (۸) برد مدار چاپی ساخته شده‌ی شبکه‌ی تغذیه و آرایه‌ی طراحی شده را نشان می‌دهد. اتصال خطوط تغذیه به آنتن‌ها نیز به صورت عمودی انجام شده است. لازم به ذکر است که اگرچه پلاریزاسیون این زیرآرایه خطی است، اما برای رسیدن به پلاریزاسیون دایروی در ساختار نهایی آنتن همدیس، می‌توان از تغذیه ترتیبی استفاده نمود [۱۲, ۱۱].

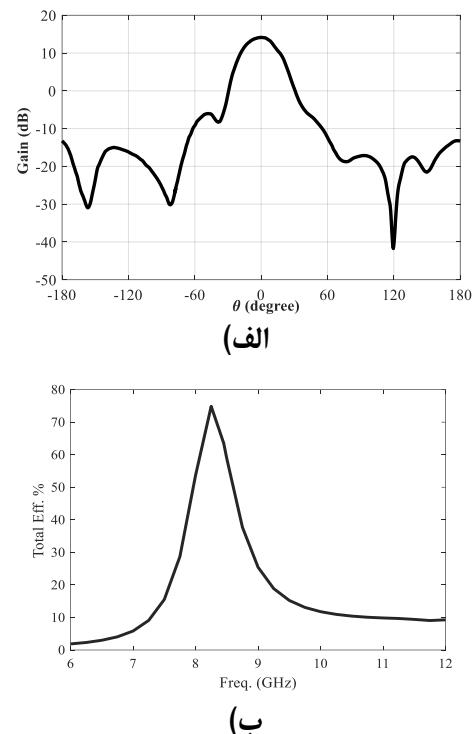


شکل ۸- ساختار آنتن آرایه‌ای و شبکه تغذیه متضاد

نتایج شبیه‌سازی و اندازه‌گیری ضربی انعکاس و رودی آنتن در شکل (۹) نشان داده شده است. همچنین نتایج شبیه‌سازی و اندازه‌گیری پترن تشعشعی زیرآرایه نیز در شکل (۱۰) نشان داده شده است. تفاوت مشاهده شده در نتایج شبیه‌سازی و اندازه‌گیری، مرتبط با ملاحظات و دقت‌های ساخت می‌باشد. لازم به ذکر است که برای سهولت ساخت و کاهش هزینه‌ها، از برد چندلایه استفاده نشده است و برد‌ها به صورت مجزا ساخته شده و روی هم قرار گرفته‌اند. در واقع این تفاوت به دلیل کیفیت ساخت و عدم دقت کافی برای اتصال و موئناتر شبکه تغذیه به المان‌های آنتنی و ایجاد فاصله‌ی هوایی بین آنتن و شبکه‌ی تغذیه است که در شبیه‌سازی به سادگی قابل اعمال نمی‌باشد. همچنین برای تنظیم برد‌ها بر روی هم، از پیچ‌های پلاستیکی استفاده شده است.

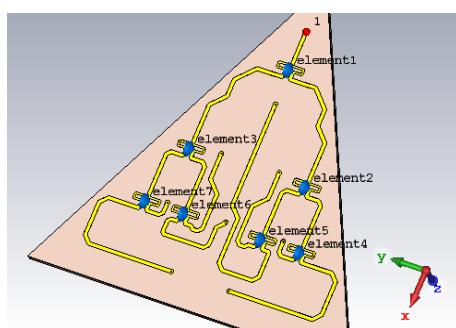


شکل ۹- مقایسه نتایج شبیه‌سازی و اندازه‌گیری آرایه



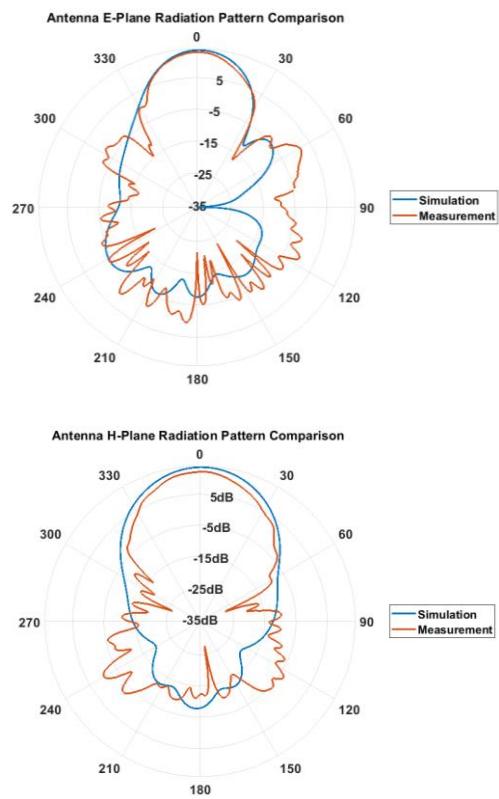
شکل ۶- (الف) بهره‌ی آرایه‌ی صفحه‌ای در  $\phi=0$  (ب) بازدهی آنتن

نمودار الکترونیکی تشعشعی و بازدهی آنتن در شکل (۶) نشان داده شده است. بهره‌ی زیر آرایه در فرکانس  $8.45 \text{ GHz}$  برابر با  $8.45 \text{ dBi}$  است. از آن جاکه بهره‌ی تک المان  $5/4 \text{ dBi}$  است با  $8$  برابر کردن تعداد المان‌ها بهره‌ی آرایه حدود  $9 \text{ dB}$  افزایش یافته است که با تصور آرایه‌ها همخوانی دارد. به منظور تغذیه‌ی این آرایه، از تقسیم‌کننده‌ی شناخته شده توان ویلکینسون  $8$  مسیره استفاده می‌شود. ابتدا یک تقسیم‌کننده‌ی توان ویلکینسون ساده طراحی شده و سپس با ترکیب چند تقسیم‌کننده، یک تقسیم‌کننده‌ی ویلکینسون  $8$  مسیره ایجاد می‌گردد. به منظور کاهش هزینه‌ی ساخت المان‌های آرایه‌ی صفحه‌ای به صورت یک نوشت و هم‌فار تحریک شده‌اند. همان‌طور که در شکل (۷) نشان داده شده است، برای کاهش سطح مقطع شبکه تغذیه و رساندن آن به محل قرارگیری المان‌های آنتنی، از خم کردن خطوط انتقال استفاده شده است.



شکل ۷- شبکه‌ی تغذیه‌ی آرایه‌ی صفحه‌ای

- 3, pp. 391-403, 2018, doi: [10.1109/JPROC.2018.2804664](https://doi.org/10.1109/JPROC.2018.2804664).
- [2] A. Makovsky, P. Ilott, and J. Taylor, "Mars science laboratory telecommunications system design," *DESCANSO Design and Performance Summary Series, Article*, vol. 14, pp. 32-35, 2009.
- [3] B. P. Kumar, C. Kumar, V. S. Kumar, and V. Srinivasan, "Active spherical phased array design for satellite payload data transmission," *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 63, no. 11, pp. 4783-4791, 2015, doi: [10.1109/TAP.2015.2479678](https://doi.org/10.1109/TAP.2015.2479678).
- [4] C. Kumar, B. P. Kumar, V. S. Kumar, and V. Srinivasan, "Dual circularly polarized spherical phased-array antenna for spacecraft application," *IEEE transactions on antennas and propagation*, vol. 61, no. 2, pp. 598-605, 2012, doi: [10.1109/TAP.2012.2220328](https://doi.org/10.1109/TAP.2012.2220328).
- [5] A. Cawthorne, M. Beard, A. Carrel, G. Richardson, and A. Lawal, "Launching 2009: The NigeriaSat-2 mission—High-performance Earth observation with a small satellite," 2008.
- [6] L. Josefsson and P. Persson, *Conformal array antenna theory and design*. John Wiley & Sons, 2006.
- [7] H. Xu, J. Cui, J. Duan, B. Zhang, and Y. Tian, "Versatile conical conformal array antenna based on implementation of independent and endfire radiation for UAV applications," *IEEE Access*, vol. 7, pp. 31207-31217, 2019, doi: [10.1109/ACCESS.2019.2903198](https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2903198).
- [8] G. Knittel, "Choosing the number of faces of a phased-array antenna for hemisphere scan coverage," *IEEE transactions on Antennas and Propagation*, vol. 13, no. 6, pp. 878-882, 1965, [10.1109/TAP.1965.1138580](https://doi.org/10.1109/TAP.1965.1138580).
- [9] A. da Silva Curiel, A. Carrel, A. Cawthorne, L. Gomes, M. Sweeting, and F. Chizea, "Commissioning of the NigeriaSat-2 high resolution imaging mission," 2012.
- [10] A. K. Aboul-Seoud, A.-D. S. Hafez, A. M. Hamed, and M. Abd-El-Latif, "A conformal conical phased array antenna for modern radars," in *2014 IEEE Aerospace Conference*, 2014, pp. 1-7: IEEE, doi: [10.1109/AERO.2014.6836483](https://doi.org/10.1109/AERO.2014.6836483).
- [11] J. Huang, "A technique for an array to generate circular polarization with linearly polarized elements," *IEEE Transactions on antennas and propagation*, vol. 34, no. 9, pp. 1113-1124, 1986, doi: [10.1109/TAP.1986.1143953](https://doi.org/10.1109/TAP.1986.1143953).
- [12] H. Iwasaki, T. Nakajima, and Y. Suzuki, "Gain improvement of circularly polarized array antenna using linearly polarized elements," *IEEE transactions on antennas and propagation*, vol. 43, no. 6, pp. 604-608, 1995, doi: [10.1109/8.387176](https://doi.org/10.1109/8.387176).



شکل ۱۰- مقایسه‌ی الگوی تشعشعی آرایه حاصل از شبیه‌سازی و اندازه‌گیری

این آتن برای فرکانس کاری ۸/۴۵ GHz طراحی شده است. با توجه به شکل ۶ پهنه‌ای باند تطبیق فرکانسی این آتن از ۸/۳۵ GHz تا ۸/۶ GHz مناسب می‌باشد. بهره‌ی تشعشعی این آتن در فرکانس ۸/۴۵ GHz نیز در حدود ۱۴/۳ dB می‌باشد.

## نتیجه‌گیری

در این مقاله یک زیرآرایه آتنی با بهره بالا برای به کارگیری در لینک ارسال داده تصویربرداری ماهواره طراحی شده است. زیرآرایه مثالی پیشنهادی که قابلیت به کارگیری در ساختار آتن همدیس را دارد، از دو بخش مجزای شبکه تغذیه و المان‌های تشعشع کننده تشکیل شده است. نتایج اندازه‌گیری و شبیه‌سازی نشان‌گر آن است که با زیرآرایه تعریف شده، بهره ۱۴/۳ dBi به دست می‌آید.

## تعارض منافع

هیچ‌گونه تعارض منافع توسط نویسنندگان بیان نشده است

## مراجع

- [1] S. Gao, Y. Rahmat-Samii, R. E. Hodges, and X.-X. Yang, "Advanced antennas for small satellites," *Proceedings of the IEEE*, vol. 106, no.