

P-ISSN: 2008-4560 E-ISSN: 2423-4516

#### **Original Research Paper**

#### Journal of Space Science and Technology

Vol. 17, No. 1, pp. 71-77, 2024 https://doi.org/10.22034/jsst.2024.1461 Journal Homepage: https://jsst.ias.ir



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

Arian Zakiani<sup>1</sup>, Seyyed Hasan Sedighy<sup>2\*</sup><sup>(2)</sup>and Razie Narimani<sup>3</sup><sup>(2)</sup>

1. M. Sc., 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

#### **ARTICLE INFO**

#### Article History:

Received 17 September 2023 Revised 23 September 2023 Accepted 01 October 2023 Available Online 01 October 2023

#### Keywords:

Array Antenna Satellite High Gain Low Profile Microstrip

#### ABSTRACT

High-gain antennas are crucial for ensuring stable communication in imaging and remote sensing satellites due to their ability to support high data transmission rates while compensating for the limitations associated with increasing transmitter power or reducing transmission rates. Various antenna types, including electromechanical pointing structures, planar phased array antennas, and conformal phased array antennas, are employed for high-resolution image transmission and communication with ground stations. In satellite communication systems, small-gain omnidirectional antennas typically exhibit a significant gain of 15 dBi. Among these, the conical structure maximizes effective area, while the polyhedral pyramidal structure is also highly effective. An X-band patch antenna was designed and subjected to full-wave simulation using CST software to enhance performance. The designed antenna achieved a peak gain of 5.64 dBi at 8.45 GHz. The antenna array configuration includes eight patch antennas mounted on each face of a polyhedral array, with power distributed via an 8-way Wilkinson power divider. The resulting array achieved a gain of 14.3 dBi, by array theory principles. The construction of a polyhedral conformal array yielded a maximum gain of 18.3 dBi, with consistent gains exceeding 15 dBi for elevation angles beyond 30°. A high-gain circularly polarized array antenna was specifically engineered for satellite system applications, ensuring a robust and effective design and construction. A triangular planar array facilitates the development of various conformal array configurations, making it well-suited for satellite applications.

\*Corresponding Author's E-mail: <a href="mailto:sedighy@iust.ac.ir">sedighy@iust.ac.ir</a>

#### 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. 71-77, 2024, (in Persian), <u>https://doi.org/10.22034/jsst.2024.1461</u>.



© 2024 by the authors. Published by Aerospace Research Institute. This article is an open access article open access article of the Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0).



علوم و فناوری فضایی

۲۷–۲۱، دوره ۱۷، شماره ۱، صفحه ۲۱–۲۷ https://doi.org/10.22034/jsst.2024.1461 Journal Homepage: <u>https://jsst.ias.ir</u>

مقاله پژوهشی

# طراحی و ساخت زیرآرایه صفحهای برای آنتن آرایه همدیس جهتی لینگ ارسال داده ماهواره

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

۱- کارشناسی ارشد، دانشکده فناوریهای نوین، دانشگاه علم وصنعت ایران، تهران، ایران

۲- دانشیار، دانشکده فناوریهای نوین، دانشگاه علم وصنعت ایران، تهران، ایران

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

چکیدہ
در این مقاله طراحی و ساخت آنتن آرایهای مسطح فشرده با بهره زیاد برای ارسال دادههای ماهواره
در باند X ارائه 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 آرایه همدیس یکی از بهترین گزینهها بهشمار میرود. براساس تحلیلهای صورت گرفته در این پژوهش، ساختار چند وجهی عملکرد مناسبی داشته و آرایه همدیس بهصورت ۶ وجهی طراحی شده است. زیرآرایههای
صفحهای طراحی شده متشکل از ۸ المان پچ دایروی، با بهره بالا و شبکه تغذیه مناسب است که قابلیت به کارگیری در این ساختارها را دارد. زیرآرایه صفحهای مورد نظر پس از شبیهسازی، ساخته و نتایج مورد بررسی قرار گرفته است. براساس نتایج بهدست آمده، طراحی انجام شده جهت رسیدن به آرایه همدیس براساس ابعاد در اختیار بر روی سازه ماهواره مناسب میباشد.

\*پست الكترونيكى نويسنده مسئول: sedighy@iust.ac.ir

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. 71-77, 2024, (in Persian), <u>https://doi.org/10.22034/jsst.2024.1461</u>.



© 2024 by the authors. Published by Aerospace Research Institute. This article is an open access article open access article distributed under the terms and conditions of The Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0).

# Archive of SID.ir

شاپای چاپی: ۴۵۶۰-۲۰۰۸ شاپای الکترونیکی: ۴۵۱۶-۲۴۲۳

طراحی و ساخت زیرآرایه صفحه ای برای آنتن آرایه همدیس جهتی در لینک ارسال...

علوم و فناوری فضایی / ۲۷ سال ۱۴۰۳، دورهٔ ۱۷ شمارهٔ ۱

علائم و اختصارات

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

#### مقدمه

آن تن 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 بهره آنتن در بسته شدن لینک ارتباطی ماهواره با ایستگاه زمینی نقش برجستهای را ایفا می کند. 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 بهره 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 فرستنده ماهواره، استفاده از آنتن با بهره بالا یکی از بهترین گزینهها برای بسته نگاه داشتن لینک ارتباطی می باشد.

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

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

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





Figure 1- Different types of conformal array antenna [5,6]

#### طراحي أنتن أرايه

برای بررسی و تعریف مشخصات آنتن مورد نیاز در ماهوارههای مشابه، در جدول (۱) مشخصات لینک ارسال داده ماهواره 2\_NigeriaSat در ارتفاع مداری ۷۰۰ کیلومتری بهعنوان یک نمونه نشان داده شده است. فرکانس مرکزی لینک ارسال داده این ماهواره در باند x و با نرخ ارسال ۱۵طbs است. آنتن ماهواره دارای پلاریزاسیون دایروی و بهره idbb است. با توجه به این که بهطور معمول از آنتنهای همهجهته و با بهره کمتر در لینک ارتباطی ماهوارهها استفاده میشود، بهره idbb بهره زیادی نسبت به سایر آنتنهای به کار رفته در ماهوارهها به شمار میآید. در این ماهواره از یک ساز و کار مکانیکی برای نشانه روی آنتن استفاده شده است که دارای ابعاد ۱۸۵۲×۱۹۶×۲۴۰۰ میلیمتر است.

جدول 1 - مشخصات لینک ارسال داده ماهواره NigeriaSat\_2 [6]

 Table 1- Specification of transmission link of NigeriaSat\_2

 satellite

٧٠٠Km	ارتفاع مداري ماهواره	١
٨/۴۵GHz	فركانس	٢
۲۱۰ Mbps	نرخ ارسال داده	٣
۱۵	احتمال خطای بیت	۴
۶W	توان ارسالی	۵
۱۵ dBi	بهره أنتن ماهواره	۶
دايروى	پلاريزاسيون أنتن ماهواره	۷
79. K	دمای نویز آنتن ماهواره	٨
۷/۲ m	قطر آنتن ایستگاه زمینی	٩

#### علوم و فناوری فضایی ۷۴ / سال ۱۴۰۳، دورهٔ ۱۷، شمارهٔ ۱

آرین زکیانی، سیدحسن صدیقی و راضیه نریمانی

شکل(۲) سطح مقطع مؤثر اشکال مختلف آرایه 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 مصالحه ای بین عملکرد آرایه و جهت چرخش پرتو آرایه وجود دارد. این شکل بیان کننده میزان پوشش در جهتهای مختلف برای اشکال متفاوت با قاعده یکسان و با فرض 1=h/R

به عنوان یک معیار در آن رسم شده است. همان طور که دیده می شود، عملکرد آرایه به شکل آرایه وابسته است. هرم سه وجهی کم ترین سطح مقطع مؤثر را نسبت به دیگر اشکال به ازای تمامی جهتهای چرخش پرتو نشان می دهد. علاوه بر آن، آرایه صفحه ای عملکرد نامناسبی در جهتهای مطلوب چرخش پرتو کوچک تر از ۶۰ درجه دارد که با توجه به نیازمندی آنتن ماهواره مناسب می باشد.



شكل ٢- سطح مقطع مؤثر اشكال مختلف آرايه همديس [6]

Figure 2- Effective area for different conformal array shapes [6]

می باشد که بایستی براساس الزامات فنی و ماموریتی ماهواره این پارامترها مورد تحلیل قرار گیرند.

در ادامه یک آنتن آرایهای مسطح مثلثی برای بهکارگیری در ساختارهای همدیس بهعنوان یک زیرآرایه ارائه شده است. این زیرآرایه پیشنهادی با بهره ۱۴/۳ dBi قابلیت بهکارگیری در یک ساختار همدیس را بهخوبی بهدست میدهد. مسطح بودن این زیرلایه، فشردگی، سادگی و هزینه ساخت کم آن را میتوان بهعنوان سایر قابلیت آن به شمار آورد.

### طراحی و شبیهسازی آرایه

در این بخش، طراحی و شبیه سازی یک زیر آرایه صفحه ای برای استفاده در ساختار آنتن آرایه ای مورد بحث در بخش قبل ارائه شده است. ابتدا به منظور شبیه سازی تمام موج آرایه ها یک آنتن پچ در باند X طراحی می شود. همان طور که در شکل (۳) نشان داده شده است، زیر لایه آنتن پچ بر روی زیر لایه مثلثی RO4003 با ارتفاع mil پیاده شده است. آنتن توسط یک کابل هم محور به صورت عمودی با توجه به محدودیت فضا در ماهوارهها، حالتی که بیش ترین سطح مقطع مؤثر و کم ترین مساحت کل را داشته باشد، بهترین انتخاب به شمار می رود. بر اساس این شکل مخروط نتایج بهتری را نشان می دهد. یکی از مزایای مخروط، داشتن شیب ثابت در تمام سطح است که ساخت و پیاده سازی آرایه و تجمیع آن با شبکه تغذیه را ساده تر می کند. از سوی دیگر استفاده از شکل مخروط به دلیل انحنای پیوسته سطح بیرونی، نیازمند طراحی و ساخت المان های آنتنی با سطح همدیس می باشد. این موضوع و نیز ساخت شبکه تغذیه متناسب، محدودیت های زیادی در طراحی و ساخت آنتن ایجاد می کند. به همین جهت، استفاده از شکل چند وجهی به جای مخروط راه حل مناسبی خواهد بود. در ساختار چند وجهی، مفحه های دربرگیرنده یک یا چند المان آنتنی در کنار هم، شکل هندسی نزدیک به مخروط را به دست می دهند. تعداد وجوه ساختار هندسی آنتن، به سطح مقطع در اختیار، ابعاد تک المان و زاویه مخروط مرتبط است. انتخاب این پارامترها در بهره آنتن و محدوده جستجوی بیم آن نیز موثر

علوم و فناوری فضایی / ۷۵ سال ۱۴۰۳ دورهٔ ۱۷ شمارهٔ ۱

طراحی و ساخت زیرآرایه صفحهای برای آنتن آرایه همدیس جهتی در لینک ارسال...

جهت افزایش بهره آنتن، 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 آنتن و شبکهی تغذیه آن نیز محدود است، بنابراین امکان استفاده از تعداد المانهای بیشتر وجود ندارد. شکل مثلثی چینش المانها نیز امکان توسعه و ایجاد یک آنتن چند وجهی را فراهم می کند.



**شکل ۵**- ساختار آرایه صفحهای با ۸ المان





**شکل ۶**– الف) بهره آرایه صفحهای در φ=0 ب) بازدهی آنتن

Figure 6- a) Plate array gain for  $\phi=0$ , b) Antenna efficiency

نمودار الگوی تشعشعی و بازدهی آنتن در شکل (۶) نشان داده شده است. بهره زیر آرایه در فرکانس ۸/۴۵ GHz برابر با ۱۴/۳ dBi است. از آنجاکه تغذیه می شود. ضریب انعکاس این آنتن و پترن تشعشعی سه بعدی آن در شکل (۳) آمده است. لازم به ذکر است که شبیه سازی در نرمافزار CST انجام شده است. با توجه به شکل(۴–الف)، فرکانس مرکزی این آنتن MA GHz است و پهنای باند ضریب انعکاس Bh ۱۰ – آنتن حدود ۶۰۰ HHz است. این آنتن دارای حداکثر بهره dBi ۵/۶۴ است و بهره آن در ۵۰ – 6 حدود ۵/۴ dBi است.



**شکل ۳**- انتن پچ طراحی شده در باند X با زیر لایه مثلثی شکل

Figure 3- Patch antenna designed in X-band with triangular sub-layers



**شبکل ۴**- الف) نمودار تلفات بازگشتی آنتن تک المان ب) الگوی تشعشی سهبعدی در فرکانس ۸/۵GHz

**Figure 4-** a) Return loss diagram of single element antenna, b) 3D radiation pattern in 8.5 GHz frequency.

علوم و فناوری فضایی ۷۶ / سال ۱۴۰۳، دورهٔ ۱۷ ، شمارهٔ ۱

بهره تک المان dBi ۵/۴ dBi است با ۸ برابر کردن تعداد المان ها بهره آرایه حدود dB ۹ افزایش یافته است که با تئوری آرایهها همخوانی دارد.

به منظور تغذیه این آرایه، از تقسیم کننده شناخته شده توان ویلکینسون ۸ مسیره استفاده می شود. ابتدا یک تقسیم کننده توان ویلکینسون ساده طراحی شده و سپس با ترکیب چند تقسیم کننده، یک تقسیم کننده ویلکینسون ۸ مسیره ایجاد می گردد. به منظور کاهش هزینه ساخت المان های آرایه صفحه ای به صورت یک نواخت و همفاز تحریک شده اند. همان طور که در شکل (۷) نشان داده شده است، برای کاهش سطح مقطع شبکه تغذیه و رساندن آن به محل قرار گیری المان های آنتنی، از خم کردن خطوط انتقال استفاده شده است.



**شکل ۷**– شبکه تغذیه آرایه صفحهای

Figure 7- Feeding network of the plate array

شکل (۸) برد مدار چاپی ساخته شده شبکه تغذیه و آرایه طراحی شده را نشان میدهد. اتصال خطوط تغذیه به آنتنها نیز بهصورت عمودی انجام شده است. لازم بهذکر 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, ۱۲].



**شکل ۸**– ساختار آنتن آرایهای و شبکه تغذیه متناظر

Figure 8- Array antenna structure and corresponding feeding network

نتایج شبیهسازی و اندازه گیری ضریب انعکاس ورودی آنتن در شکل(۹) نشان داده شده است. همچنین نتایج شبیهسازی و اندازه گیری پترن تشعشعی

آرین زکیانی، سیدحسن صدیقی و راضیه نریمانی

زیرآرایه نیز در شکل (۱۰) نشان داده شده است. تفاوت مشاهده شده در نتایج شبیه سازی و اندازه گیری، مرتبط با ملاحظات و دقت های ساخت می باشد. لازم به ذکر است که برای سهولت ساخت و کاهش هزینه ها، از برد چند لایه استفاده نشده است و بردها به صورت مجزا ساخته شده و روی هم قرار گرفته – اند. در واقع این تفاوت به دلیل کیفیت ساخت و عدم دقت کافی برای اتصال و مونتاژ شبکه تغذیه به المان های آنتنی و ایجاد فاصله هوایی بین آنتن و شبکه تغذیه است که در شبیه سازی به سادگی قابل اعمال نمی باشد. هم چنین برای تنظیم بردها بر روی هم، از پیچهای پلاستیکی استفاده شده است.



شکل ۹- مقایسه نتایج شبیهسازی و اندازه گیری آرایه





**شکل ۱۰** – مقایسه الگوی تشعشعی آرایه حاصل از شبیهسازی و اندازه گیری

Figure 10- Comparison of the radiation pattern obtained from simulation and measurement results

علوم و فناوری فضایی / **۷۷** سال ۱۴۰۳، دورهٔ ۱۷، شمارهٔ ۱

*IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 61, no. 2, pp. 598-605, 2012, 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," in 22nd Annual AIAA/USU Conference on Small Satellites, 2008.
- [6] L. Josefsson and P. Persson, *Conformal Array Antenna Theory and Design*, Hoboken, NJ: 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, <u>https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2903198</u>.
- [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, <u>https://doi.org/10.1109/TAP.1965.1138580</u>.
- [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," in 26th Annual AIAA/USU Conference on Small Satellites, 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, <u>https://doi.org/10.1109/AERO.2014.6836483</u>.
- [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, <u>https://doi.org/10.1109/TAP.1986.1143953</u>.
- [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, https://doi.org/10.1109/8.387176.

طراحی و ساخت زیرآرایه صفحه ای برای آنتن آرایه همدیس جهتی در لینک ارسال...

این آنتن برای فرکانس کاری A/۴۵ GHz طراحی شده است. با توجه به شکل ۶ پهنای باند تطبیق فرکانسی این آنتن از ۸/۳۵ GHz تا GHz ۸/۶ مناسب می باشد. بهره تشعشعی این آنتن در فرکانس ۸/۴۵ GHz نیز در حدود ط۲ ۱۴/۳ می باشد.

#### نتيجهگيري

در این مقاله یک زیرآرایه آنتنی با بهره بالا برای بهکارگیری در لینک ارسال داده تصویربرداری ماهواره طراحی شده است. زیرآرایه مثلثی پیشنهادی که قابلیت بهکارگیری در ساختار آنتن همدیس را دارد، از دو بخش مجزای شبکه تغذیه و المانهای تشعشعکننده تشکیل شده است. نتایج اندازهگیری و شبیهسازی نشان گر آن است که با زیر آرایه تعریف شده، بهره ۱۴/۳ dBi بهدست میآید.

#### تعارض منافع

هیچگونه تعارض منافع توسط نویسندگان بیان نشده است.

#### مراجع

- S. Gao, Y. Rahmat-Samii, R. E. Hodges, and X.-X. Yang, "Advanced antennas for small satellites," in *Proceedings* of the IEEE, vol. 106, no. 3, pp. 391-403, 2018, <u>https://doi.org/10.1109/JPROC.2018.2804664</u>.
- [2] A. Makovsky, P. Ilott, and J. Taylor, "Mars science laboratory telecommunications system design," *DESCANSO Design and Performance Summary Series*, California: NASA, Art. no. 14, 2009.
- [3] B. P. Kumar, C. Kumar, V. S. Kumar, and V. 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, https://doi.org/10.1109/TAP.2015.2479678.
- [4] C. Kumar, B. P. Kumar, V. S. Kumar, and V. V. Srinivasan, "Dual circularly polarized spherical phased-array antenna for spacecraft application,"