پرتوسازی در آرایه‌های استوانه‌ای با چیدمان زیگزاگ با رویکرد تجزیه آرایه

سیدحمید یزدانی1، محمود پاداش2 ، امیرمسعود مشکسار3 و بیژن عباسی آرند4

1کارشناس ارشد دانشگاه یزد، seyedhamidyazdani@stu.yazd.ac.ir

2 کارشناس ارشد دانشگاه سیستان و بلوچستان ، mahmood.padash2013@gmail.com

3 کارشناس ارشد دانشگاه شیراز،

4 دانشیار دانشگاه تربیت مدرس abbasi@modares.ac.ir

چکيده - آرایه‌های استوانه‌ای از ساختارهای پر کاربرد در آنتن‌های آرایۀ فازی و از نوع آرایه‌های تطبیقی (Conformal arrays) می‌باشند. نحوۀ چیدمان حسگر‌ها، فاصلۀ میان این حسگر‌ها در هر حلقه یا هر ستون آنتن و پهنای 3 dB الگوی پرتو هر کدام از این حسگر‌ها پارامترهای اصلی تعیین کننده الگوی پرتو کل آرایه هستند. در چیدمان های زیگزاگ بر خلاف چیدمانهای معمول، در دو ستون مجاور حسگرها به صورت زیگزاگ چیده شده اند که این امر باعث نصف شدن تعداد حسگرها می گردد. در چیدمان زیگزاگ نمی‌توان مانند آرایه استوانه‌ای با چیدمان معمولی، تجزیه آرایه را به صورت حاصلضرب یک آرایه خطی در آرایه دایروی انجام داد. در این مقاله، روابط مرتبط با الگوی پرتوآرایه‌ استوانه‌ای با چیدمان زیگزاگی (lattice) با استفاده از حسگر‌های جهتی استخراج شده و با ارائه تجزیه آرایه برای حالت زیگزاگ ، شکل‌دهی پرتو برای این آرایه شبیه‌سازی و ارائه می‌گردد.

كليد واژه- شکل‌دهی پرتو، الگوی پرتو، آرایه استوانه‌ای زیگزاگ.

# مقدمه

آرایه‌های تطبیقی (Conformal arrays)، آرایه‌هایی هستند که حسگرهای آن بر روی سطوح غیرمسطح و غیرصفحه‌ای (مانند سطح فضاپیما) منطبق می‌شوند. این نوع آرایه‌ها در حال پیشرفت در سیستم‌های راداری و مخابراتی نسل آینده هستند [1]. این اتفاق به این دلیل است که اینگونه آرایه ها، مزایای زیادی از قبیل استتار و عدم تداخل بین عملکرد آیرودینامیکی (Aerodynamic performance) و عملکرد آنتن دارند. تحلیل آرایه‌های تطبیقی، یکی از زمینه‌های مورد علاقه محققین بوده و می‌باشد. تکنیک‌های تحلیل الگوی تشعشعی مورد استفاده در آرایه‌های خطی و صفحه‌ای به خوبی نمی‌توانند در آرایه‌های تطبیقی به کار گرفته شوند. برای مواجهه با این مشکل، تکنیک‌های مختلفی در مراجع مختلفی پیشنهاد شده است [5-3]. در مراجع مختلفی از جمله [4-1] به آرایه‌های استوانه‌ای با چیدمان متداول پرداخته شده که در بعضی از آن‌ها به موضوع الگوی تشعشعی این آرایه‌ها نیز اشاره شده است [4-3]. آرایه های استوانه ای قابلیت پوشش 360 درجه ای محیط پیرامون خود و همچنین عدم تغییر بیم در چرخش بیم را دارا می باشد. این گونه آرایه ها قابلیت نصب روی بدنه دستگاه ها و تطبیق روی ماشین ها را دارند [6]. به همین دلیل کاربرد وسیعی در سیستم های آرایه ای دارند. ابتدا روابط و تئوری مربوط به بدست آوردن الگوی تشعشعی آرایه استوانه‌ای زیگزاگی آورده می‌شود. در این مقاله، هدف اصلی تحلیل الگوی آرایه استوانه‌ای زیگزاگ به کمک تجزیه آرایه می‌باشد.

# آرایه استوانه‌ای معمولی و روابط آن

در [4] روشی مبتنی بر آرایه‌های خطی و دایروی برای بدست آوردن الگوی آرایه استوانه‌ای مطرح شده که در اینجا به شرح و بیان روابط آن می‌پردازیم. یک آرایه خطی با M حسگر دارای الگوی پرتو (beam pattern) برابر رابطۀ (1) زیر می‌باشد [4]:

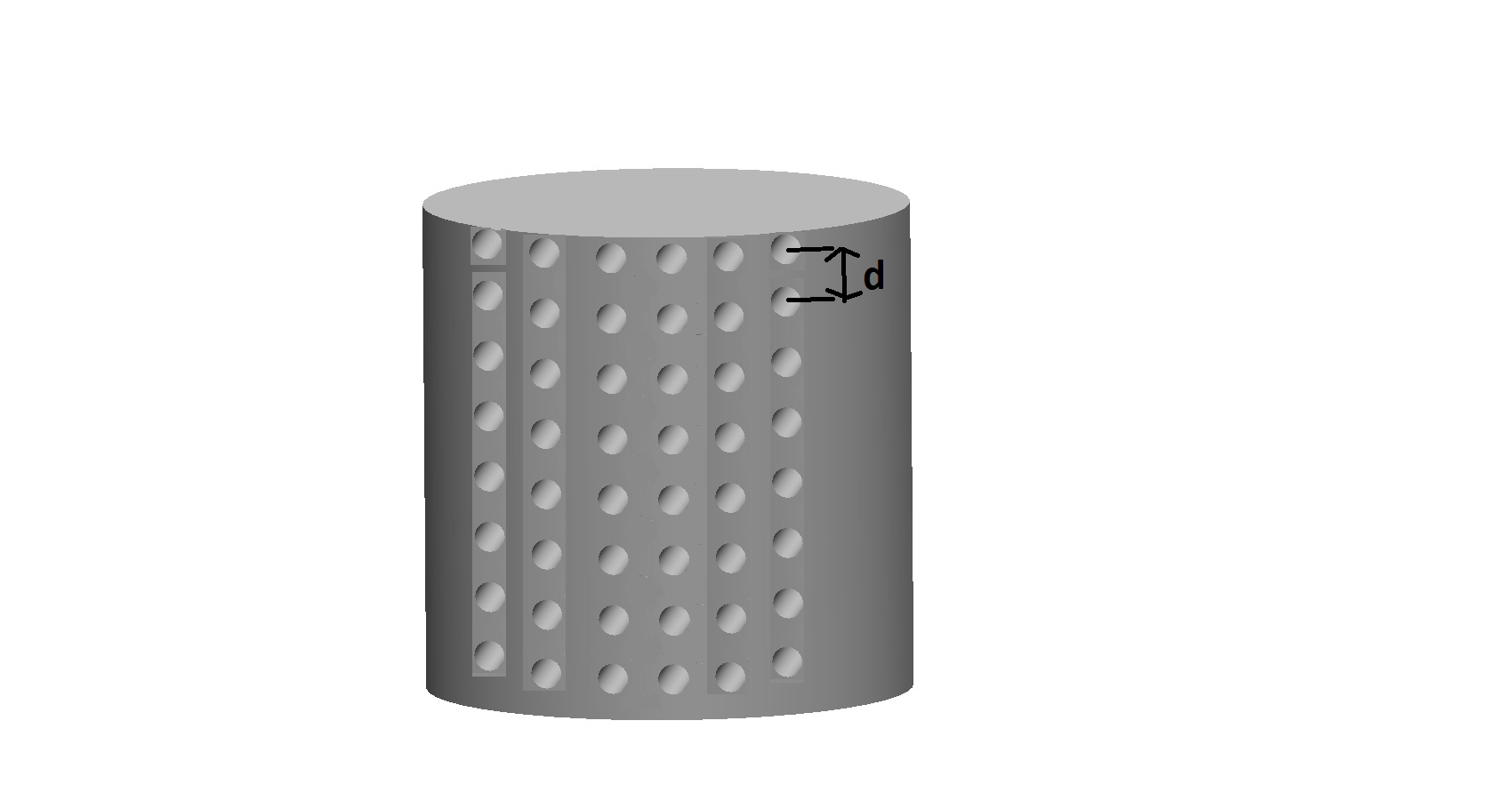
|  |  |
| --- | --- |
| (1) |  |

در این رابطه، ضرایب تحریک (Excitation coefficients) هر حسگر،  فاصله بین حسگرها تا مبدأ و  فاز تحریک هر حسگر است. همچنین یک آرایه دایروی با  حسگر، دارای الگوی پرتو برابر با فرمول زیر است؛

|  |  |
| --- | --- |
| (2) |  |

در این رابطه، 'r' شعاع،  ضرایب تحریک هر حسگر،  فاز تحریک هر حسگر و  زاویه بین محور و حسگر شماره  در صفحه  می‌باشد.

همانطور که در شکل 1 نشان داده شده‌ است، قرار دادن آرایه‌های دایروی به صورت متوالی و با فاصله یکسان به صوری عمودی و روی هم، منجر به ایجاد یک آرایه استوانه‌ای می‌شود که حسگر‌ها به صورت خطی در راستای عمود زیر هم قرار گرفته‌اند و در راستای افقی آرایه‌های دایروی تشکیل می‌دهند.



شکل 1- آرایه استوانه‌ای با چیدمان متداول

برای این آرایه، الگوی پرتو کلی، حاصلضرب الگوی پرتو خطی در الگوی پرتو دایروی می‌باشد[8]. الگوی پرتویک آرایه دایره‌ای در صفحه  در رابطه (2) و الگوی پرتویک خطی قرار گرفته روی محور  در رابطه (1) آورده شده­است. با در نظر گرفتن یک استوانه تشکیل شده از  آرایه دایروی یکسان، الگوی پرتویک آرایه استوانه‌ای با کمک روابط (1) و (2) به صورت رابطۀ (3) بدست می‌آید؛

|  |  |
| --- | --- |
| (3) |  |

در رابطه (3)، شرایط ناحیه میدان دور درنظر گرفته شده است و الگوی پرتوهر آرایه دایروی برابر با آرایه دایروی در صفحه  می‌باشد. با این وجود، توزیع عمودی حسگرها، یک اختلاف فاز بین آرایه‌های دایروی را باعث می‌شود که ناشی از اختلاف فاز بین حسگرهای آرایه خطی می‌باشد. بنابراین؛

|  |  |
| --- | --- |
| (4) |  |

در رابطۀ (4)، عبارت  از حسگر ام عمودی و عبارت  ضرایب تحریک حسگر ام آرایه دایروی می‌باشد. با جایگزین کردن رابطۀ (4) در رابطه (3) خواهیم داشت:

|  |  |
| --- | --- |
| (5) |  |

از رابطه (5)، مشخص است که الگوی پرتویک آرایه استوانه‌ی معادل با حاصلضرب الگوی پرتو مربوط به آرایه‌های خطی و دایروی است. بنابراین، سطح تحلیل الگوی مورد نظر ما، به دو شاخه تحلیل الگوی مجزا کاهش می‌یابد: تحلیل آرایه دایروی و تحلیل آرایه خطی عمودی.

حال می‌توان با توجه به روابط بدست آمده، الگوی تشعشعی کل آرایه استوانه با در نظر گرفتن الگوی هر حسگر بدست آورد. الگوی نهایی به صورت رابطه زیر که نتیجه روابط قبلی می‌باشد، تعریف شده است[1]:

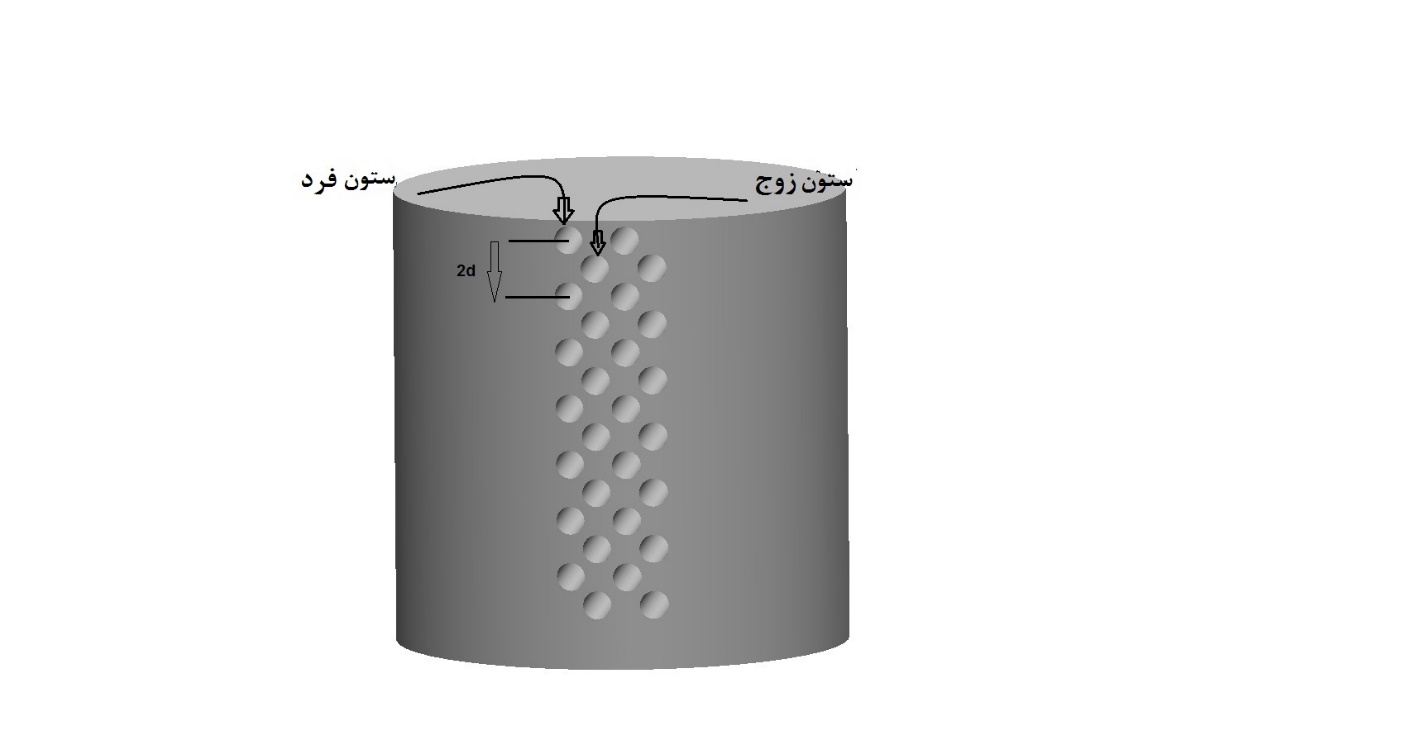
|  |  |
| --- | --- |
| (6) |  |

که در رابطه فوق  مقدار حقیقی تحریک هر حسگر،  فاز تحریک هر حسگر،  الگوی هر حسگر و  و مختصات زاویه و ارتفاع هر حسگر می‌باشد.

# استخراج روابط برای شکل‌دهی پرتو آرایۀ استوانه‌ای زیگزاگ و تجزیه آرایه

آرایه استوانه‌ای زیگزاگ مشابه آرایه استوانه‌ای متداول شامل تعدادی ستون و در هر ستون‌ نیز شامل تعدادی حسگر است. در این نوع آرایه به منظور تحلیل و شبیه‌سازی و همچنین پیاده‌سازی الگوریتم شکل‌دهی پرتو از ابتدا روابط مربوط به این آرایه را بدست می‌آوریم. شکل 2 شماتیکی از نحوۀ چیدمان آرایه‌های استوانه‌ای زیگزاگ را نشان می‌دهد.

‌ در مختصات دکارتی بردار یکه عمود بر جبهه موج (u) و بردار مکان هر سنسور (r) نسبت به مبدأ مختصات به صورت زیر می‌باشند؛



شکل 2-آرایه استوانه‌ای با چیدمان زیگزاگ

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| (7) |  |  |
| (8) |  |  |

که در روابط فوق، s نشان‌دهنده شماره ستون‌ و n نشان‌دهنده شماره سنسور در آن ستون‌ است. با در نظر گرفتن روابط فوق، الگوی پرتو آرایه به فرم زیر در می‌آید؛

|  |  |
| --- | --- |
| (9) |  |
|  | |

همانطور که از رابطه فوق مشخص است، به دلیل وابسته بودن عبارت به s و n نمی توان این معادله را مانند استوانه معمولی تجزیه کرد. این امر باعث می‌شود که برای چرخش الگوی پرتو در یک جهت خاص باید برای تمام حسگرها اختلاف فاز مجدد حساب گردد که باعث پیچیدگی می‌شود. اما رابطه را اگر برای ستون های زوج و فرد جداسازی کنیم و همچنین فرض کنیم که ضرایب تحریک حسگر را بتوان به صورت

|  |
| --- |
|  |

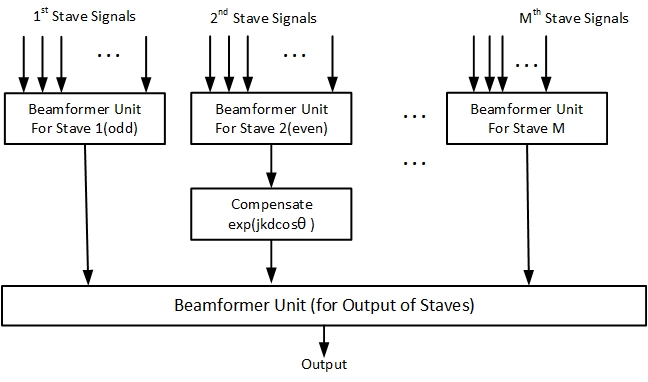
تجزیه کرد، با توجه به اینکه تنها به شماره ستون وابسته است، رابطه (9) به این صورت خواهد شد:

|  |  |
| --- | --- |
| (10) |  |
|  | |

و در ادامه خواهیم داشت:

|  |  |
| --- | --- |
| *(11)* |  |
|  | |
|  | |

با توجه به رابطه (11) نشان داده شد که با تفکیک ستون ها به ستون های زوج و فرد می توان آرایه استوانه زیگزاگ را تجزیه کرد. عبارت تفاوت بین دو آرایه خطی ستون ها می باشد. دو ستون زوج و فرد را می توان مانند هم جبران سازی فاز انجام داد و تفاوت بین دو ستون را نیز با یک اختلاف فاز جبران کرد. بدین منظور بلوک دیاگرام زیر نشان دهنده روند تفکیک آرایه زیگزاگ را نشان می دهد:



شکل 3 - بلوک دیاگرام تجزیه آرایه پیشنهادی برای چیدمان زیگزاگ

یکی از راه‌های پیاده‌سازی شکل‌دهنده پرتو جمع کردن سنسورهای یک ستون‌ و در نهایت جمع کردن خروجی ستون‌ها می‌باشد. با این کار پیچیدگی سیستم (نسبت به پردازش روی تمام المان‌ها به صورت یکجا) کاهش می‌یابد.

نکته مهم در این قسمت این است که ستون‌ها نیز به دو قسمت ستون‌ زوج و فرد تقسیم می‌شوند. ستون‌های فرد ستون‌هایی هستند که بالاترین حسگر در راستای عمود در این ستون‌ها قرار دارند.

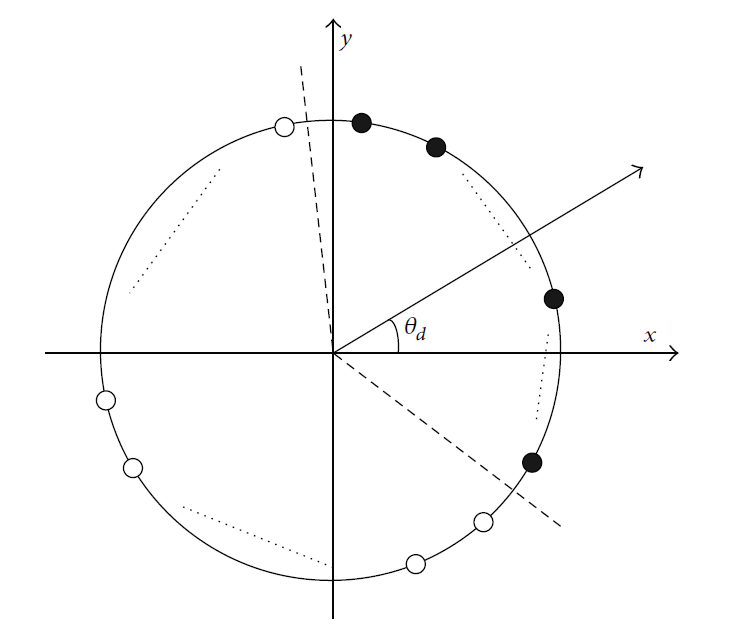
برای شبیه‌سازی از حسگرهایی که فرم بستۀ الگوی تشعشعی آنها در (14) آورده شده‌ است؛

|  |  |
| --- | --- |
| (14) |  |

که در روابط فوق،  شعاع حسگر،  عدد موج و  طول موج است.  نشان‌دهنده الگوی حسگر مي‌باشد.

# شبیه‌سازی

بمنظور شبیه‌سازی‌ها، آرایه دارای 54 ستون و هر ستون دارای 10 حسگر در نظر گرفته شده است و یک قطاع 120 درجه‌ای از کل آرایه فعال باشد. شكل‌دهي پرتو تنها در حسگر‌هايي اعمال مي‌شود كه در محدوده زاويه مشخصي حول زاويه ارسال و در این قطاع قرار دارند. اين موضوع در شكل 3 نمايش داده شده است. علاوه بر انتخاب زيرمجموعه‌اي از حسگرها، پنجره‌گذاری دامنه (مانند پنجره چبي‌شف) نيز در اين سناريو مورد بررسي قرار گرفته است به اين صورت كه روي حسگر‌هاي مؤثر در شكل‌دهي پرتو يك پنجره مناسب و دلخواه اعمال مي‌شود. در شبیه‌‌سازی‌ها از روش تآخیر و جمع (Delay and Sum Beamformer (DSB)) استفاده شده و تنها فازها جبران شده‌اند.



شکل 4-ستون‌های فعال در شكل‌دهي پرتو براي يك زاويه سمت مورد نظر

# نتایج شبیه‌سازی و ارزیابی

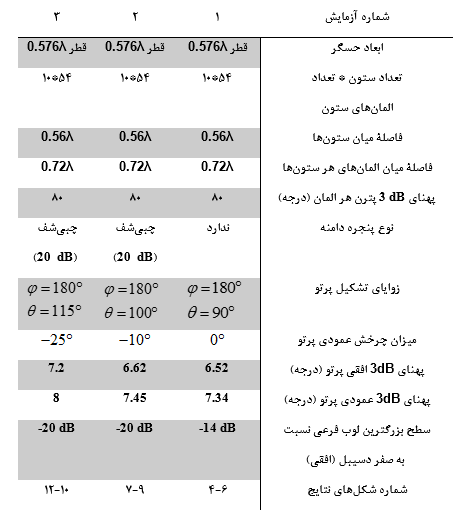
نتايج مربوط به شبيه‌سازي الگوي پرتو آرايه استوانه‌اي براي حالت‌هاي مختلفي در ادامه آورده شده است. سناريوهاي مورد استفاده نيز آورده شده اند. در جدول 1 λ بیانگر طول موج است. در جدول 1 مقایسه بین زمان مورد نیاز برای شبیه سازی پترن آرایه زیگزاگ بدون استفاده از تجزیه آرایه و با تجزیه آرایه پیشنهادی با هم مقایسه شده است. شبیه‌سازی‌ها در نرم‌افزار Matlab در یک سیستم با پردازنده intel cor i5-3470 انجام شده است.

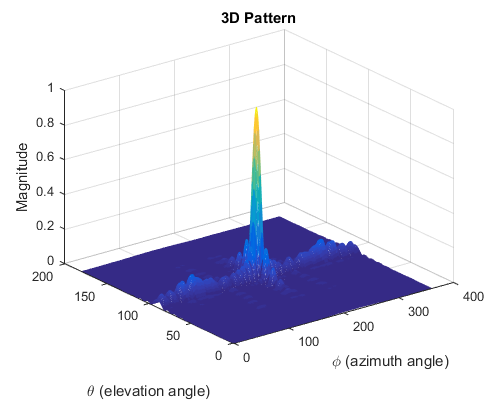
جدول 1- مقایسه سنتز با و بدون استفاده از تجزیه آرایه

|  |  |
| --- | --- |
| نوع سنتز پترن | زمان اجرای کد |
| بدون استفاده از تجزیه آرایه | 64/29 ثانیه |
| با تجزیه آرایه پیشنهادی | 3/1 ثانیه |

در ادامه نمونه ای از استفاده از تجزیه آرایه پیشنهادی آورده شده است.

جدول 2-سناریوهای شبیه‌سازی

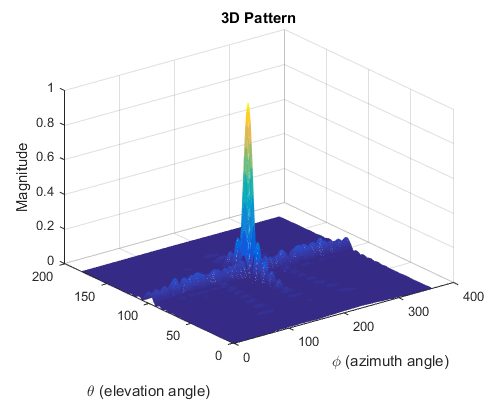




شکل 5- الگوی پرتو سه‌بعدی آرایۀ استوانه‌ای زیگزاگ آزمایش



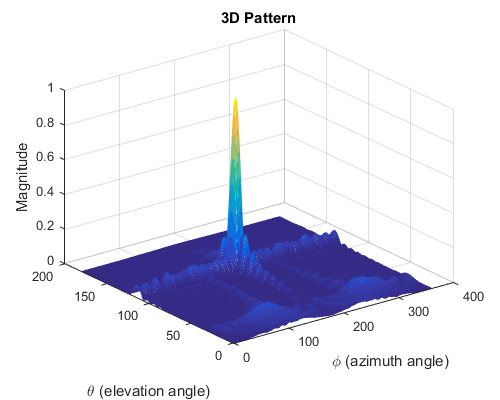
شکل 6- الگوی پرتو عمودی آرایۀ استوانه­ای زیگزاگ *آزمایش 2*



شکل 7- الگوی پرتو سه­بعدی آرایۀ استوانه­ای زیگزاگ *آزمایش 2*



شکل 8- الگوی پرتو عمودی آرایۀ استوانه­ای زیگزاگ *آزمایش 3*



شکل 9- الگوی پرتو سه­بعدی آرایۀ استوانه­ای زیگزاگ *آزمایش 3*

# نتیجه‌گیری

در این مقاله، روابط مرتبط با الگوی پرتوآرایه‌ استوانه‌ای با چیدمان زیگزاگی (lattice) با استفاده از حسگر‌های جهتی استخراج شده و شکل‌دهی پرتو برای این آرایه شبیه‌سازی و ارائه گردید. در این مقاله نشان داده شد که می‌توان پترن آرایه زیگزاگ را به دو قسمت شکل‌دهی پرتو در ستون‌ها و سپس در آرایه دایره‌ای نهایی تفکیک کرد. با تجزیه فوق پیاده‌سازی آرایه زیگزاگ نیز مشابه با آرایه استوانه‌ای ساده با تفاوت کوچکی نسبت به هم عملی شد.

# مراجع

1. Z. B. Lu, A. Zhang, and X. Y. Hou ,"Pattern synthesis of cylindrical conformal array by the modified particle swarm optimization algorithm", Progress In Electromagnetics Research, PIER 79, 415–426, 2008.
2. He, Q. Q., H. D. He, and H. Lan, "An effecient pattern synthesis method for cylindrical phased array antennas," Journal of Electromagnetic Waves and Applications, Vol. 23, No. 4, 473{482, 2009.
3. Vaskelainen, L. I., "Constrained least-squares optimization in conformal array antenna synthesis," IEEE Trans. Antennas Propagt., Vol. 55, 859-867, 2007
4. K. Y. Kabalan, E. Yaacouband A. El-Hajj ,"Synthesis of Cylindrical Antenna Arrays Using Simulated Annealing", SETIT 2007, 4th International Conference: Sciences of Electronic, Technologies of Information and Telecommunications, Mar. 25-29, 2007 – Tunisia
5. C. Liu, Z. Ding, and X. Liu," 2-D Pattern synthesis for cylindrical arrays", PIERS Proceedings, Suzhou, China, Sep.12-16, 2011
6. A. M. Meshksar, and M. Karimi," A beamforming method for cylindrical array based on the array decomposition approach", ICEE2012
7. C. A. Balanis, Antenna Theory and Design, 2nd edition, John Wiley & Sons, 1997
8. E. Yaacoub, K. Y. Kabalan, A. El-Hajj, and A. Chehab, “Cylindrical Antenna Arrays for WCDMA Downlink Capacity Enhancement”, IEEE ICC 2006
9. L. Josefsson, P. Persson, “Conformal array antenna theory and design”, IEEE Antennas and Propagation Society