

# شبیه سازی و بهینه سازی نانوانتن ها با همبندی چند ضلعی برای سلول های خورشیدی

مهسا علی جباری<sup>۱</sup> | ساغر جارچی<sup>۱</sup> | حمیده خصوصی ثانی<sup>۱</sup> | مسعود عدالتی پور<sup>۲</sup>

۱. گروه برق، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه بین المللی امام خمینی (ع)، قزوین  
۲. دانشکده مهندسی برق، دانشگاه شریف، تهران

## چکیده

نانوانتن های اپتیکی برای جمع آوری انرژی خورشیدی مورد استفاده قرار می گیرند. در این کاربرد توانایی نانوانتن ها در جمع آوری انرژی خورشیدی بسیار مورد اهمیت است. در این مقاله نانوانتن ها با همبندی دو قطبی پایونی، چند ضلعی و دایروی برای جمع آوری انرژی در محدوده فرکانس تراهرتز مورد بررسی قرار می گیرد و ابعاد آن ها به منظور انتخاب بهترین آنتن در جمع آوری بیشتر انرژی خورشیدی بهینه سازی می شود. برای شبیه سازی آنتن ها از نرم افزار HFSS که بر اساس روش المان محدود است، استفاده شده است. همه ی آنتن ها از جنس طلا انتخاب شده اند که بر روی زیر لایه با  $\epsilon_r = 2.09$  قرار گرفته اند. مشخصات دی الکتریک طلا که در شبیه سازی مورد نیاز است توسط مدل درود محاسبه می شوند.

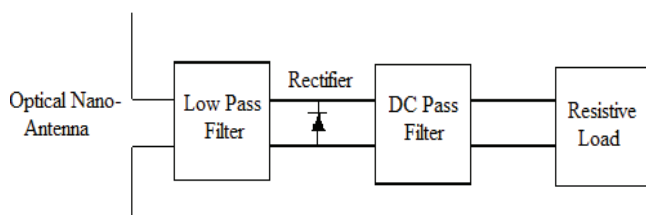
هدف اصلی این مقاله، بهینه کردن ابعاد آنتن های معرفی شده است و تعیین آنتنی که بیشتر از آنتن های دیگر قادر به جمع آوری انرژی خورشید باشد. سرانجام نشان داده خواهد شد که افزایش اضلاع همبندی و در نتیجه نرم شدن شکل هندسی آن آنتن، در مورد بهره و پهنای باند تاثیر منفی خواهد داشت و باعث کاهش مقدار انرژی جمع آوری شده می شود.

واژگان کلیدی: نانوانتن، سلول خورشیدی.

## ۱ مقدمه

سلول های خورشیدی برای جمع آوری انرژی خورشیدی و تبدیل آن به الکتریسیته مورد استفاده قرار می گیرند. با استفاده از نانوانتن های نوری می توان سلول های خورشیدی با کارایی بالا و همچنین هزینه اندک طراحی کرد و ساخت. حدود ۸۵ درصد انرژی خورشیدی در طول موج های ۰.۴ تا ۱.۶ میکرومتر قرار دارد و با طراحی نانوانتن در این محدوده فرکانسی می توان مقدار قابل توجهی از انرژی خورشیدی را جذب کرد و مورد استفاده قرار داد. به منظور دستیابی به بهترین کارایی در جذب انرژی خورشید، طراحی ساختار نانوانتن با بهره بالا یکی از چالش های است که در این زمینه وجود دارد [۱].

ایده ی جمع آوری انرژی خورشیدی توسط نانوانتن ها بر این اساس است که وقتی موج الکترومغناطیسی به نانوانتن ها می تابد جریانی متغیر با زمان روی سطح آنتن ایجاد می شود بنابراین ولتاژی در نقطه ی تغذیه ی آن تولید خواهد شد [۲] که به منظور بدست آوردن توان DC باید در نقطه ی تغذیه آنتن یکسوساز مناسب نصب شود که به مجموعه ی ایجاد شده رکتنا می گویند در ضمن، فرکانس جریان ایجاد شده یا ولتاژ بدست آمده مطابق فرکانس موج تابشی است.

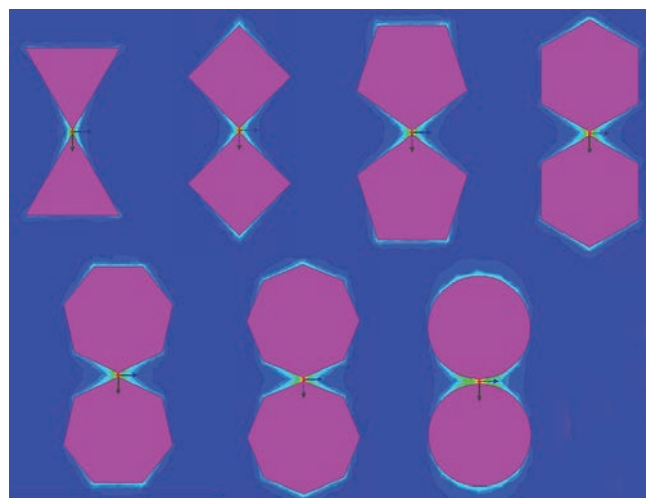


شکل ۱ | بلوک دیاگرام سیستم رکتانا دارای بار مقاومتی

1. Rectenna

این ساختارها این است که می‌توان با استفاده از ترکیب-کردن تعدادی از این آنتن‌ها به صورت آرایه و تاثیر این المان‌ها بر یکدیگر می‌توان به شدت میدان الکتریکی بالایی دست یافت و همچنین یک یکسوکنده به خروجی ساختار برای تولید یک ولتاژ یکنواخت متصل می‌گردد.

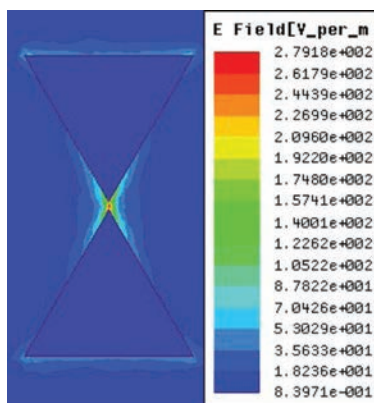
توزیع میدان الکتریکی روی سطح آنتن با همبندی چندضلعی و با تعداد ضلع‌های مختلف در شکل ۲ رسم شده است. همان طوری که در این شکل نشان داده شده است، با توجه به امیدانس پایین‌تر در محل گپ بیشترین مقدار شدت میدان الکتریکی در این قسمت قابل حصول است.



شکل ۲ | ساختار نانوآنتن‌ها

### ۳ نتایج و بحث

در شکل ۳ میدان الکتریکی برای یک نانوآنتن پایبونی با ابعاد ۶۵۰ نانومتر و زاویه راس ۶۰ درجه و فاصله گپ ۵۰ نانومتر نشان داده شده است.



شکل ۳ | توزیع میدان الکتریکی آنتن پایبونی در فرکانس تشدید

به طور کلی رکتنا یک روش مناسب برای جمع‌آوری انرژی خورشیدی در فرکانس‌های مختلف برای تولید الکتریسیته می‌باشد. همان‌گونه که در شکل ۱ نشان داده شده است یک رکتنا که در باند میکروویو کار می‌کند شامل آنتن مایکروویوی، فیلتر پایین‌گذر، دیود یکسوکنده و یک فیلتر جریان مستقیم است [۳،۴]. روش‌ها و طراحی‌های زیادی برای جمع‌آوری انرژی خورشیدی توسط نانوآنتن‌های اولیه توسط بایلی در سال ۱۹۷۲ انجام شده است [۵-۹].

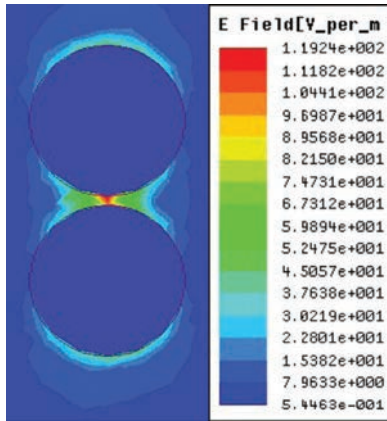
### ۲ مدلسازی

در این مقاله با استفاده از روش المان محدود آنتن‌های دارای همبندی<sup>۲</sup> دوقطبی پایبونی<sup>۳</sup>، چندضلعی و دایروی برای جمع‌آوری انرژی در محدوده‌ی ترارترز به منظور بهینه‌سازی ابعاد آنها شبیه‌سازی می‌شوند. از نرم افزار HFSS که بر اساس روش المان محدود می‌باشد برای شبیه‌سازی نانوآنتن‌های طلا که روی زیرلایه با ضریب گذردهی الکتریکی ۲،۰۹ قراردارند استفاده می‌شود [۱۰]. مشخصات دی الکتریک طلا که در شبیه‌سازی مورد نیاز است، توسط مدل درود و با توجه به معادله (۱)، از منحنی‌های بدست آمده از نتایج آزمایشگاهی محاسبه می‌شوند.

$$\varepsilon(\omega) = \varepsilon_{\infty} - \frac{\omega_p^2}{\omega^2 - i\omega\omega_T} \quad (1)$$

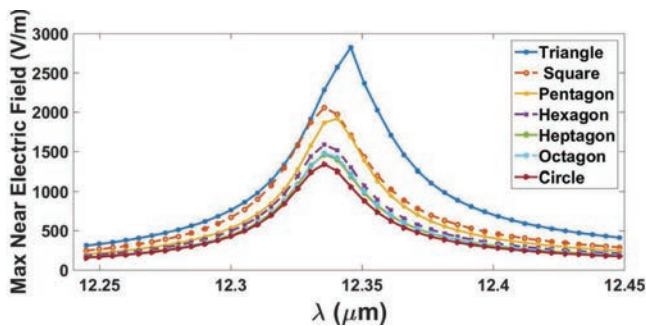
که در این رابطه  $\varepsilon_{\infty}$  و  $\omega_p$  و  $\omega_T$  به ترتیب نشان‌دهنده تاثیر الکترون‌های آزاد در ثابت دی الکتریک، فرکانس پلاسما و فرکانس برخورد الکترون‌ها است. همان‌گونه که در رابطه ۱ نشان داده شده است این پارامترهای دی الکتریک تابع فرکانس هستند و با توجه به مراجع می‌توان به جای استفاده از  $\varepsilon$  به عنوان تابعی از فرکانس با دقت خوبی از مقدار  $\varepsilon_{\infty}$  در نزدیک فرکانس رزونانس استفاده نمود. این فرض تا زمانی که قسمت موهومی  $\varepsilon$  در نظر گرفته شود برقرار است. در این مقاله این ساختارها در حالتی که تابش موج سطحی در زاویه عمود بر آنتن و با پلاریزاسیون در جهت محور آنتن می‌باشد با کمک نرم افزار HFSS شبیه‌سازی شده است و بهبود نانوآنتن‌های ارائه شده با مقایسه اندازه میدان الکتریکی در مرکز محل تغذیه آن‌ها نشان داده شده است.

از مزایای ساختارهای دارای همبندی چندضلعی این است که به طراح امکان می‌دهد تا برای افزایش میدان الکتریکی در محل تغذیه آنتن از تغییر دادن پارامترهای آنتن نظیر اندازه‌ی گپ، زاویه راس و ابعاد اضلاع آنتن استفاده کند. مزیت دیگر



**شکل ۶** توزیع میدان الکتریکی آنتن با هم‌بندی پنج ضلعی در فرکانس تشدید

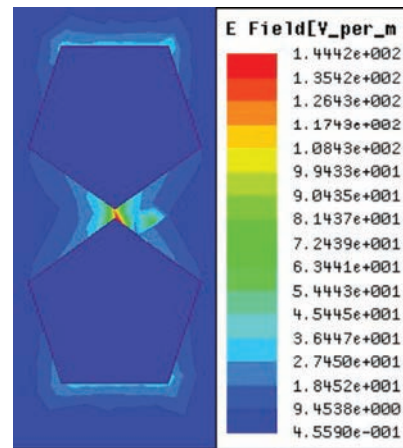
دامنه میدان الکتریکی بر حسب طول موج برای نانواتن‌های مذکور در شکل ۷ نشان داده شده است. نتایج نشان می‌دهند که با افزایش تعداد اضلاع در سطح ثابت دامنه میدان الکتریکی کاهش می‌یابد.



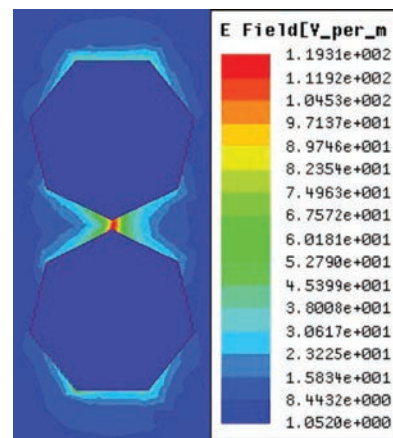
**شکل ۷** تغییرات میدان الکتریکی بر حسب طول موج برای نانواتن‌های طراحی شده

تا اینجا برای آنتن پاپیونی بعد بهینه در نظر گرفته شد و ابعاد سایر چندضلعی‌ها طوری تنظیم شدند که مساحت ثابت بماند و از آنجا که تمامی چندضلعی‌ها منتظم هستند، متغیر مسئله، فاصله‌ی مرکز تا یک راس می‌باشد. میدان ماکزیمم جمع‌آوری شده برای آنتن‌های مختلف در جدول ۱ آورده شده است.

هم‌چنین توزیع میدان الکتریکی برای ۵ و ۷ وجهی به ترتیب در شکل ۴ و ۵ نشان داده شده است. در واقع در این شبیه‌سازی تاثیر افزایش تعداد اضلاع با ثابت نگه داشتن سطح چند وجهی ملاحظه می‌شود. همان‌طور که از مقایسه شکل‌های ۴ و ۵ مشخص است با افزایش تعداد اضلاع شدت میدان الکتریکی در محل گپ کاهش یافته است و به عبارتی توزیع میدان الکتریکی دارای یکنواختی بیشتری در اطراف هم‌بندی چندضلعی می‌شود. با افزایش تعداد اضلاع در حالت حدی به حالت دایره‌ای می‌رسیم که طبیعتاً کاهش شدت میدان الکتریکی را در پی خواهد داشت. و بنابراین در این حالت، شدت میدان الکتریکی کوچکتری را در مقایسه با حالات قبل خواهیم داشت. در این حالت تنها درجه آزادی شعاع دایره خواهد بود. در شکل ۶ توزیع میدان الکتریکی نشان داده شده است.



**شکل ۴** توزیع میدان الکتریکی آنتن با هم‌بندی پنج ضلعی در فرکانس تشدید



**شکل ۵** توزیع میدان الکتریکی آنتن با هم‌بندی هفت ضلعی در فرکانس تشدید

**جدول ۱** میدان الکتریکی ماکزیمم برای آنتن‌های مختلف دارای مساحت هم‌بندی برابر در فرکانس تشدید.

n	$a_r(\mu\text{m})$	Area( $\mu\text{m}^2$ )	$E_{\text{max}}(\text{V/m})$
۳	۰.۶۵۰۰	۰.۵۴۸۸	۲۸۲۴.۱۹۶۶
۴	۰.۵۲۳۹	۰.۵۴۸۸	۲۰۵۶.۱۰۰۰
۵	۰.۴۸۰۵	۰.۵۴۸۸	۱۹۱۹.۶۰۰۰
۶	۰.۴۵۹۶	۰.۵۴۸۸	۱۵۸۶.۳۰۰۰
۷	۰.۴۴۷۹	۰.۵۴۸۸	۱۴۷۶.۲۰۰۰
۸	۰.۴۴۰۵	۰.۵۴۸۸	۱۴۶۶.۶۰۰۰
$\infty$	۰.۴۱۸۰	۰.۵۴۸۸	۱۳۳۹.۳۰۰۰

**جدول ۲** میدان الکتریکی ماکزیمم برای آنتن‌های مختلف دارای بعد بهینه در فرکانس تشدید.

n	$a_r(\mu\text{m})$	Area( $\mu\text{m}^2$ )	$E_{\text{max}}(\text{V/m})$
۳	۰.۶۵	۰.۵۴۸۸	۲۸۲۴.۱۹۶۶
۴	۰.۵۵	۰.۶۰۵۰	۲۷۴۳.۲۲۶۵
۵	۰.۵۷	۰.۷۷۲۵	۲۰۹۹.۸۹۴۷
۶	۰.۴۷	۰.۵۷۳۹	۱۶۶۱.۶۴۳۳
۷	۰.۴۷	۰.۶۰۴۵	۱۶۴۶.۰۷۰۸
۸	۰.۴۸	۰.۶۵۱۷	۱۵۳۰.۵۳۹۶
$\infty$	۰.۴۶	۰.۶۶۴۸	۱۴۳۳.۳۴۰۷

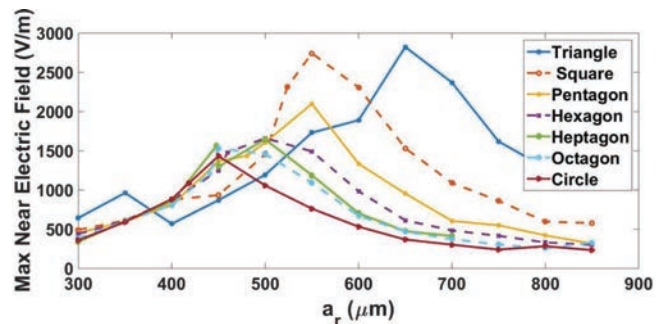
#### ۴ نتیجه‌گیری

در این مقاله، آنتن‌هایی که هندسه‌ی پچ آن‌ها به صورت دو قطبی که هر قطب آن به صورت چندضلعی منتظم می‌باشد به عنوان سلول خورشیدی بررسی شده‌است و بین انواع آن‌ها مقایسه صورت گرفته‌است.

این مقایسه در دو حالت انجام شد: حالت اول مساحت پچ‌ها یکسان در نظر گرفته شده و حالت دوم ابعاد بهینه‌ی چندضلعی‌ها در نظر گرفته شده و در دو حالت نیز نتایج یکسانی گرفته شد. بدیهی است که با افزایش گوشه‌ها، نقاطی که جریان را منعکس می‌کنند بیشتر شده و مقداری از جریان به منبع برمی‌گردد و این باعث کاهش تشعشع از آنتن می‌شود و بنابراین بهره آنتن کم می‌شود. از طرف دیگر با توجه به نتایج بدست آمده از شبیه‌سازی و مشاهده‌ی توزیع میدان روی پچ، مشاهده می‌شود که در نقاط گوشه‌ای و نوک تیز، میدان بیشتری جمع می‌شود بنابراین هر چه تعداد رئوس بیشتر باشد، میزان پخش میدان در اطراف پچ زیاد شده و بنابراین میدان جمع شده در محل گپ، کاهش می‌یابد.

در ضمن با تغییر شکل هندسی پچ، توزیع جریان روی آن عوض شده و انعکاس از گوشه باعث می‌شود در تمام راستاها جریان داشته باشیم و بنابراین بر هم‌کنش این جریان‌ها در نقطه‌ی تشعشع، باعث تغییر در پهنای باند می‌شود که این امر می‌تواند تاثیر مثبت یا منفی داشته باشد.

در مرحله‌ی بعد آنتن‌ها در فرکانس رزونانس بهینه می‌شوند. در شکل زیر نمودار میدان الکتریکی برحسب فاصله‌ی مرکز تا راس (ar) برای تمام آنتن‌ها در فرکانس ۲۴.۳ ترا هرتر رسم شده و ابعاد بهینه برای هر شکل محاسبه شده‌است. از روی نمودار ملاحظه می‌شود که در این ابعاد نیز بهینه‌ترین شکل، آنتن پایبونی می‌باشد.



**شکل ۸** تغییرات میدان الکتریکی بر حسب ابعاد (پارامتر ar) برای نانوآنتن‌های طراحی شده در فرکانس رزونانس

در جدول ۲ ابعاد بهینه‌ی آنتن‌ها و میدان‌های الکتریکی نشان داده شده است.

## مراجع

- [1] M. V Shuba, G. Y. Slepyan, S. A. Maksimenko, C. Thomsen, and A. Lakhtakia, "Theory of multiwall carbon nanotubes as waveguides and antennas in the infrared and the visible regimes," *Phys. Rev. B*, vol. 79, no. 15, pp. 155403, 2009.
- [2] M. Bozzetti, G. De Candia, M. Gallo, O. Losito, L. Mescia, and F. Prudeniano, "Analysis and design of a solar rectenna," in *Industrial Electronics (ISIE), 2010 IEEE International Symposium on*, 2010, pp. 2001–2004.
- [3] J.-Y. Park, S.-M. Han, and T. Itoh, "A rectenna design with harmonic-rejecting circular-sector antenna," *Antennas Wirel. Propag. Lett. IEEE*, vol. 3, no. 1, pp. 52–54, 2004.
- [4] J. Heikkinen and M. Kivikoski, "A novel dual-frequency circularly polarized rectenna," *Antennas Wirel. Propag. Lett. IEEE*, vol. 2, no. 1, pp. 330–333, 2003.
- [5] D. K. Kotter, S. D. Novack, W. D. Slafer, and P. J. Pinhero, "Theory and manufacturing processes of solar nanoantenna electromagnetic collectors," *J. Sol. Energy Eng.*, vol. 132, no. 1, pp. 11014, 2010.
- [6] D. K. Kotter, S. D. Novack, W. D. Slafer, and P. Pinhero, "Solar nantenna electromagnetic collectors," in *ASME 2008 2nd International Conference on Energy Sustainability collocated with the Heat Transfer, Fluids Engineering, and 3rd Energy Nanotechnology Conferences*, 2008, pp. 409–415.
- [7] P. Bharadwaj, B. Deutsch, and L. Novotny, "Optical antennas," *Adv. Opt. Photonics*, vol. 1, no. 3, pp. 438–483, 2009.
- [8] W. Yu-Ming, L. Le-Wei, and L. Bo, "Geometric effects in designing bow-tie nanoantenna for optical resonance investigation," in *Electromagnetic Compatibility (APEMC), 2010 Asia-Pacific Symposium on*, 2010, pp. 1108–1111.
- [9] Y.-M. Wu, L.-W. Li, and B. Liu, "Gold bow-tie shaped aperture nanoantenna: Wide band near-field resonance and far-field radiation," *Magn. IEEE Trans.*, vol. 46, no. 6, pp. 1918–1921, 2010.
- [10] H. Ansoft, "user's Guide—High Frequency Structure Simulator," Ansoft Co, 2003.

در این حالت هدف، افزایش پهنای باند نبوده و مقایسه‌ای بین ساختارهای هندسی مختلف پیچ انجام شده است و نتایج نشان می‌دهد که با افزایش گوشه‌ها، پهنای باند، کاهش یافته است. طبق نتایج بدست آمده، آنتن پایبونی بیشترین شدت میدان را در فرکانس رزونانس دارد بنابراین افزایش اضلاع چندضلعی و در نتیجه نرم شدن شکل هندسی پیچ آنتن در مورد بهره و پهنای باند تاثیر منفی خواهد داشت پس بهینه‌ترین حالت آنتن پایبونی می باشد.



# Optimization and Simulation of Polygonal Nano-antennas for Solar Cell

M. Alijabbari<sup>1</sup> | S. Jarchi<sup>1\*</sup> | H. Khosousi sani<sup>1</sup> | M. Edalatipour<sup>2</sup>

1.Electrical Engineering Department, Imam Khomeini International University (IKIU), Qazvin, Iran

2.Electrical Engineering Department, Sharif University of Technology (SUT), Tehran, Iran

## Abstract

Optical nano-antennas have been proposed as an alternative option for solar energy harvesting. In this work the power conversion efficiency of optical antennas have been proposed as an alternative option for solar energy harvesting. In this paper, an investigation is presented into bowtie, polygonal and circle antennas for THz energy detection, with the aim of optimizing their geometrical parameters. HFSS Multiphysics based on the Finite Element Method (FEM) is used to simulate the golden nano-antennas, which are placed on a silica glass substrate with  $\epsilon_r = 2.09$ . The dielectric properties of gold is obtained by fitting the experimental data into the Drude model. A performance comparison among these designs is presented in order to find the optimum solution for this application. The main goal of this study is to design and optimize nano-antennas for maximum solar radiation energy conversion. It is shown that increasing the edges of the patch consequently tapering of the patch, decreases the value of the converted electric field.

## Keywords

Nano-antenna, Solarcell.