بیست و ششمین کنفرانس اپتیک و
فوتونیک ایران و دوازدهمین کنفرانس
مهندسی و فناوری فوتونیک ایران،
دانشگاه خوارزمی،
تهران، ایران.
۱۶-۱۵ بهمن ۱۳۹۸

مطالعه پارامترهای موثر در برداشت انرژی خورشیدی نانو آنتن مارپیچی

حبیب خوش سیما[۱و۲]، محمد بمانی[۳]، مهدی ایرجی[۱و۲]

۱-پژوهشکده فیزیک کاربردی و ستاره شناسی، دانشگاه تبریز، تبریز ۲ -گروه فوتونیک و فناوری پلاسما، دانشکده فیزیک، دانشگاه تبریز، تبریز ۳- گروه مخابرات، دانشکده برق و کامپیوتر، دانشگاه تبریز، تبریز

khoshsima@tabrizu.ac.ir[1,2] , **bemani@tabrizu.ac.ir**[3] amahdiiraji71@gmail.com[1,2]

چکیده- سیستم های برداشت انرژی خورشیدی که شامل یک آنتن و یک یکسوساز است، رکتن نامیده می‌شوند. اساس برداشت انرژی خور شیدی دراین سیستم بر این پایه می با شد که هنگام تابش موج الکترومغناطیسی به نانوآنتن، یک جریان متغیر با زمان روی سطح آن ایجاد شده و در نتیجه اختلاف پتانسیلی در محل تغذیه نانوآنتن تولید می کند که با ا ستفاده از یک سو ساز منا سب درمحل تغذیه نانوآنتن، توان DC منا سب تولید می شود. بازده این سیستم به طراحی، هند سه، ابعاد و پارامترهای موثر در بازده نانوآنتن، جنس هادی و یکسو ساز منا سب به کار رفته در آن بستگی دارد. در این مقاله به طراحی و شبیه سازی نانو آنتن مارپیچی از جنس نقره برای مطالعه امپدانس ورودی بازده تابش و بازده قطبش نانو آنتن پرداخته شده است. محدوده‌ی طول موجی مورد مطالعه از ۳۰۰-۳۰۰۰ نانومترمی‌باشد. امپدانس وردی بجز در طول موج های پایین تر از ۵۰۰ نانومتر به دلیل ساختار هندسی رفتار نسبتا خطی دارد. برای این طرح خاص بازده تابش از ۷۰۰ تا ۲۶۰۰نانومتر مقدار بیش از ۸۰ درصد به د ست آمده ا ست. همچنین بازده قطبش نیز در بیشتر پهنای باند نزدیک به ۱۰۰ درصد است، که این نتایج باعث افزایش برداشت انرژی خورشیدی خاهد شد.

کلید واژه- « نانو آنتن ، رکتن ، برداشت انرژی خورشیدی ، بازده تابش ، بازده قطبش ، امپدانس ورودی»

Study of parameters affecting the solar energy harvesting in spiral nano-antennas

Habib Khoshsima[1,2], Mohamad bemani[3], Mahdi Iraji[1,2]

1- Research Institute for Applied Physics and Astronomy (RIAPA), University of Tabriz, Tabriz
2-Photonics & Plasma Technology department, Faculty of Physics, University of Tabriz, Tabriz
3-Communications department, faculty of Electrical and Computer engineering, University of Tabriz, Tabriz

Abstract- Solar energy harvesting systems including an antenna and a rectifier are called rectenna. solar energy harvesting in this system is based on generating a time varying current on the surface of antenna by the time of radiation of an electromagnetic wave to this type of nano-antenna, leading to producing a potential difference at the antenna feed site where using a suitable rectifier, an appropriate DC power gets produced. The efficiency of this system depends on the design, geometry, dimensions, and characteristics of the nano-antenna, conductor, and rectifier used in it. This paper deals with the design and simulation of a silver helical nano-antenna to study the input impedance, radiation efficiency and polarization efficiency of the nano-antenna. The studied wavelength range is from 300 to 300 nm. Input impedance, because of its geometrical structure, has relatively linear behavior in all wavelengths except the wavelengths below 500 nm. In this particular scheme, the obtained efficiency of radiation from 700 to 2600 nm is more than 80%. Polarization efficiency is almost 100 percent in most bandwidths which results in increase of solar energy harvesting.

Keywords: Nano-antenna, Rectenna, Solar energy harvesting, Radiation efficiency, Polarization efficiency, Input impedance

این مقاله درصورتی دارای اعتبار است که در سایت www.opsi.ir قابل دسترسی باشد.

[Downloaded from opsi.ir on 2026-02-05]

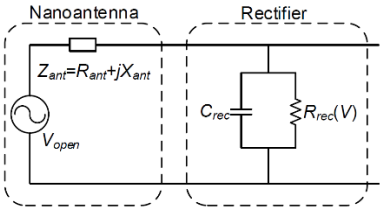
مقدمه

نانو آنتن‌ها همچون سلول های خورشیدی یکی از ابزار های فوتونیکی مناسب برای جمع آوری و تبدیل انرژی خورشیدی به انرژی الکتریکی است. انرژی خورشیدی که بزرگترین جریان انرژی وارد شده به زمین می‌باشد، در هر دو منطقه مرئی و مادون قرمز به زمین می‌رسد. بخشی از این انرژی، توسط گازهای اتمسفر جذب شده و دوباره در مناطق مادون قرمز میانی و مادون قرمز نزدیک به سطح زمین تابش می‌شود. سایر قسمت‌های این انرژی توسط سطوح یا زندگی آلی جذب و یا منعکس می‌شوند. چگالی انرژی تابش خورشیدی که به جو زمین می‌رسد حدود ۱۳۷۰ w/m^2 در طیف گسترده ای است. این طیف را می توان به سه گروه اصلی تقسیم کرد: اشعه ماوراء بنفش (λ < ۴۰۰ nm) که میزان آن کمتر از ۹٪ است؛ نور مرئی (۷۰۰ nm > λ > ۴۰۰nm) که میزان آن تقریبا ۳۹٪ است؛ و ۵۲٪ باقی مانده شامل مادون قرمز میباشد(IR).[۱] از زمان ایجاد اولین سلول فوتوولتائیک (PV) در اوایل دهه ۱۹۵۰، توسعه فتوولتائیک به سرعت در حال افزایش است. با این حال، این توسعه به دلیل بازده وری پایین، هنوز نمی‌تواند تقاضای بازار برای صفحات خورشیدی را پوشش دهد.. استفاده از آنتن های نوری برای کسب انرژی خورشیدی توجه زیادی به خود جلب کرده اند؛ زیرا آنها در راستای پیشرفت سریع در فناوری نانو و مواد نوری جایگزین عملی و کارآمد برای فن آوری های برداشت سنتی انرژی مانند صفحات خورشیدی هستند. [۲]. هدف از این مطالعه تعیین برخی پارامتر های مهم در کیفیت کارکرد نانوآنتن مارپیچی به عنوان یک عنصر فوتونیکی برای برداشت انرژی خورشیدی است.

تئوری رکتن

اگرچه نانوآنتن ها در فرکانس های مرئی کار می کنند، اما همچنان نظریه های کلاسیک الکترومغناطیسی را برآورده می کنند[۳]. باتوجه به تجزیه و تحلیل خواص نانوآنتن ها برداشت انرژی خورشیدی تحت تابش AM ۱,۵ از طول موج ۳۰۰ تا ۳۰۰۰ نانومتر مورد بررسی قرار می گیرد.

مدار معادل برای نانو آنتن هایی که با دیود یکسو کننده جفت شده اند در شکل (۱) نشان داده شده است. نانو آنتن را می توان به عنوان یک منبع ولتاژ که با امپدانس نانو آنتن‌ها سری شده مدل سازی کرد. [۴]



شکل(۱)مدار معادل سیستم رکتن

توان دریافت شده توسط یکسو کننده برابر است با:

$$P_{rec} = \frac{1}{2}|V_{open}|^2 \frac{R_{rec}}{|Z_{ant}+Z_{rec}|^2} \quad (۱)$$

Z_{ant} امپدانس نانو آنتن و Z_{rec} امپدانس یکسوکننده و هنگامی که مصرفی از مدار وجود ندارد V_{open} ولتاژ مدار باز در پایانه های آنتن است. همچنین R_{rec} قسمت حقیقی امپدانس یکسوکننده است.

طبق تئوری های آنتن، ولتاژ مدار باز را می توان به صورت زیر بیان کرد: [۵]

$$|V_{open}|=2\sqrt{\frac{R_{ant}A_{eff}\eta_{pol}}{Z_0}}|E_{in}| \quad (۲)$$

که در آن Z_0 امپدانس ذاتی فضای آزاد برابر ۳۷۷ اهم است. و $|E_{in}|$ دامنه میدان الکتریکی محل تغذیه آنتن و η_{pol} بازده قطبش نانو آنتن و A_{eff} منطقه موثر، همچنین بازده تابش η_{rad} که برابر است با: $\eta_{rad} = \frac{\lambda^2 D}{4\pi} A_{eff}$ (۳)

جهت گیری آنتن برابر D و λ طول موج فضای آزاد می باشد. فرم نهایی برای توان دریافت شده توسط یکسوساز می تواند به صورت $P_{rec} = \eta_{mat} A_{eff}\eta_{pol}\eta_{rad} S_{in}$ (۴) بیان شود. S_{in} (چگالی تصادفی انرژی) برابر است با :

$$S_{in}=\frac{|Ein|^2}{2Z_0} \quad (۵)$$

η_{mat} (بازده تطبیق امپدانس) و η_{pol} می تواند به شرح زیر بیان شود[۵-۶]:

$$\eta_{mat} = \frac{4R_{ant}R_{rec}}{|Z_{ant}+Z_{rec}|^2}$$

$$\eta_{pol} = |e_{inc} + e_{ant}|^2 \quad (۷)$$

این مقاله درصورتی دارای اعتبار است که در سایت www.opsi.ir قابل دسترسی باشد.

[Downloaded from opsi.ir on 2026-02-05]

که بردار واحد راستای میدان الکتریکی موج فرودی با e_{inc} و بردار واحد راستای میدان الکتریکی دریافت شده توسط آنتن e_{ant} را نشان می دهند.

برای دستیابی به یک مجموعه کار آمد برداشت انرژی خورشیدی، نانو آنتن مناسب باید دارای چند کارکتر باشد:

۱. پهنای باند وسیع طول موج برای استفاده از انرژی خورشیدی در بازه ی مرئی و مادون قرمز؛

۲. تطبیق امپدانس بین نانو آنتن و یکسو کننده برای کاهش اتلاف انعکاس؛

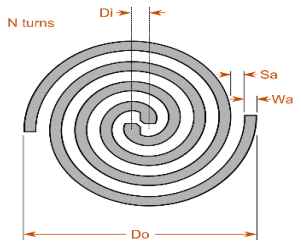
۳. یک منطقه موثر بزرگ برای نانو آنتن مورد نیاز است؛

۴. تابش خورشید به صورت قطبی شده باید توسط نانو آنتن پذیرفته شود.

شبیه سازی

در این کار به مطالعه یک نانو آنتن مارپیچ متقارن با دو گردش شبیه شکل(۲) پرداخته شده و پارامترهای آن در جدول شماره (۱) آورده شده است .

نانوآنتن در محور z ضخامت ۴۰ نانومتر دارد این نانو ساختار با فضای آزاد احاطه شده است. در حقیقت برای تولید واقع گرایانه نانو آنتن ها باید توسط یک زیر لایه پشتیبانی شوند که به علت اثر پلاسمونیک توانایی جهت گیری و تابش نانو آنتن را تحت تاثیر قرار می دهد. نانو آنتن از جنس نقره انتخاب شده است و در شبیه سازی از نرم افزار CST و روش محاسبه FIT استفاده می شود.این مطالعه شامل شبیه سازی های لازم برای بررسی اثرات امپدانس، تابش و قطبش این نانو آنتن انجام گرفته است.



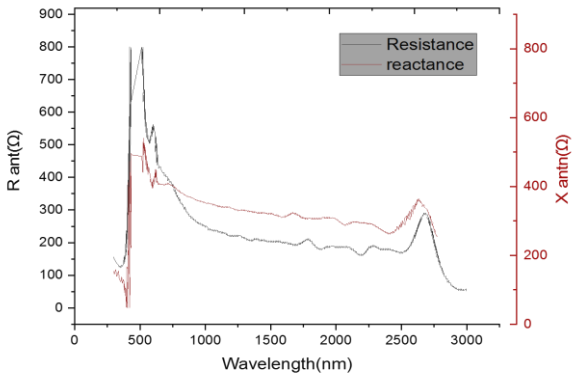
شکل (۲) ساختار نانو آنتن مارپیچی

جدول (۱) پارامترهای نانو آنتن

نانو آنتن مارپیچی	پارمترها
۱۰ نانومتر	W_a
۱۰ نانومتر	S_a
۵۰ نانومتر	D_i
۸۰۰ نانومتر	D_o

۱. امپدانس نانو آنتن: همانطور که در رابطه (۶) بحث شد، مشخصه امپدانس نانو آنتن می تواند تطبیق مناسب با یکسو کننده ها را در طول پهنای باند تعین کند.

امپدانس ورودی یک نانو آنتن نسبت ولتاژ اپتیکی اعمال شده در شکاف به جریان القایی جابه جایی اپتیکی است که در پایانه ها جریان دارد[۷].



شکل (۳) امپدانس نانو آنتن مارپیچ

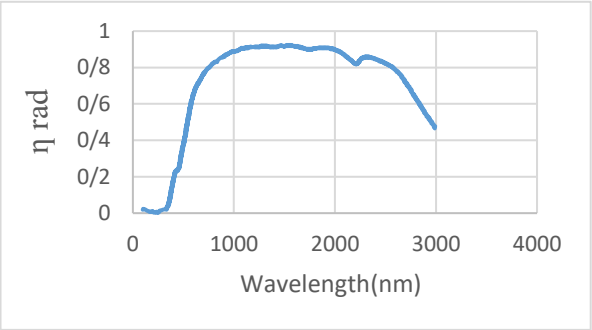
واضح است که آنتن مارپیچ رفتار امپدانس نسبتا خطی در تمام پهنای باند دارد؛ بجز در طول موج های پایین تر از ۵۰۰ نانومتر و بزرگ تر از ۳۰۰ نانومتر که دلیل آن کوتاه شدن ساختار مارپیچ است. در حالی که امپدانس نانو آنتن های دوقطبی به طوری چشمگیری در سراسر پهنای باند متغییر است[۷]. بنظر می رسد که امپدانس نانوآنتن مارپیچ نسبت به آنتن دوقطبی تاثیر کمتری از اثر پلاسمون می پذیرد. در واقع این تفاوت امپدانس بین این دو آنتن توسط ساختار های هندسی آنها تعیین می شود و بر اساس نظریه UWB آنتن‌های مارپیچی، خود محل موثر را با تغییرات محلی موثر توسط طول موج‌های مختلف جبران میکنند. بنابرین می توان امپدانس ثابت در طول یک باند گسترده ی موج را حفظ کند.

۲.تابش: همانطور که دررابطه (۴) نشان دادیم راندمان کل برداشت نه تنها به تطبیق بستگی امپدانس بین نانوآنتن و یکسو کننده دارد بلکه همچنین به بهروری تابش و منطقه موثر که با هدایت آنتن مرتبطت است بستگی دارد. بازده تابشی به عنوان نسبت بین کل توان تابشی و کل توان ورودی به درگاه تغذیه است. که عمدتا مربوط به اتلاف در

این مقاله درصورتی دارای اعتبار است که در سایت www.opsi.ir قابل دسترسی باشد.

[Downloaded from opsi.ir on 2026-02-05]

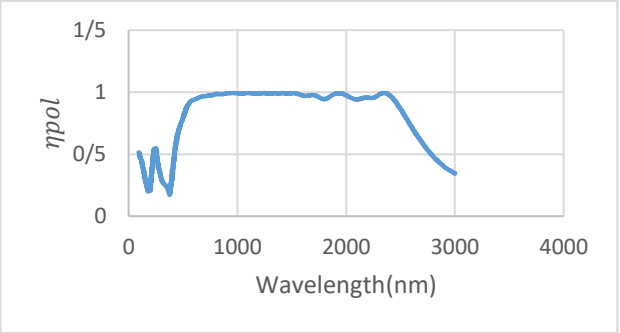
آنتن می‌باشد. با توجه به قضیه همبستگی (بازده دریافت برابر با بازده تابش است) ما آنتن را در حالت تابش در نظر می‌گیریم. شکل (۴) بازده محاسبه تابش نانو آنتن مارپیچی را نشان می دهد. که از محاسبه روابط (۳) به دست می‌آید.



شکل (۴) بازده تابش نانو آنتن مارپیچ

مشاهده می شود آنتن مارپیچ دارای راندمان بالای ۸۰ درصد در طول موج ۷۰۰ تا ۲۶۰۰ نانومتر است.

۳.قطبش: قطبش نانو آنتن یکی دیگر از عوامل مهم است که کاربرد آن در برداشت انرژی خورشیدی تاثیر می گذارد. از آنجا که تابش خورشید به طور تصادفی قطبی شده است؛ نانو آنتن ها با قطبش متفاوت، مقدار متفاوتی از انرژی دریافت شده از موج تابشی را برداشت می کنند. این تنوع را می توان با بازده وری قطبش با توجه به رابطه (۷) مورد ارزیابی قرار داد. نمودار (۵) بازده قطبش آنتن مارپیچ را نشان می‌دهد.



شکل (۵) بازده قطبش نانو آنتن مارپیچی تحت تابش موج قطبیده دایروی در راستای Z را نشان می دهد.

واضح است که کارایی قطبش نانو آنتن مارپیچی نزدیک به ۱۰۰ درصد از ۷۰۰ نانومتر تا ۲۵۰۰ نانومتر است که نشان می دهد. نانو آنتن مارپیچی دارای قطبش دایروی خوبی در این منطقه است.

نتیجه گیری

در ابن مقاله نانو آنتن مارپیچی رابرای افزایش برداشت انرژی خورشیدی شبیه سازی کردیم. نانوآنتن ارائه شده مزیت استفاده در طیف کامل، دریافت و تبدیل انرژی خورشیدی را به دلیل ویژگی خواص خطی امپدانس در اکثر پهنای باند ، بازده تابش بالای ۸۰ درصدی درطول موج ۷۰۰ تا ۲۶۰۰ نانومتری و بازده قطبش تقریبا ۱۰۰ درصدی در اکثر پهنای باند را دارد. با پیشرفت فناوری نانو، انتظار می رود رکتن نانو، در آینده به عنوان یک مفهوم جدید در برداشت انرژی خورشیدی، مورد استفاده قرار گیرد.

مرجع‌ها

[1] Zhu, Zixu, Saumil Joshi, Bradley Pelz, and Garret Moddel. "Overview of optical rectennas for solar energy harvesting." In Next Generation (Nano) Photonic and Cell Technologies for Solar Energy Conversion IV, vol. 8824, p. 88240O. International Society for Optics and Photonics, 2013.

[2] Biagioni, Paolo, Jer-Shing Huang, and Bert Hecht. "Nanoantennas for visible and infrared radiation." Reports on Progress in Physics 75, no. 2 (2012): 024402.

[3] Vandenbosch, Guy AE, and Zhongkun Ma. "Upper bounds for the solar energy harvesting efficiency of nano-antennas." Nano Energy 1, no. 3 (2012): 494-502.

[4] Moddel, Garret, and Sachit Grover, eds. Rectenna solar cells. Vol. 4. New York: Springer, 2013.

[5] Stutzman, Warren L., and Gary A. Thiele. Antenna theory and design. John Wiley & Sons, 2012.

[6] Ma, Zhongkun, and Guy AE Vandenbosch. "Optimal solar energy harvesting efficiency of nano-rectenna systems." Solar Energy 88 (2013): 163-174.

[7] Alu, Andrea, and Nader Engheta. "Input impedance, nanocircuit loading, and radiation tuning of optical nanoantennas." Physical review letters 101, no. 4 (2008): 043901.

این مقاله درصورتی دارای اعتبار است که در سایت www.opsi.ir قابل دسترسی باشد.

[Downloaded from opsi.ir on 2026-02-05]