Journal of Iranian Association of Electrical and Electronics Engineers
Vol. 23 No. 2, 2026
DOI: 10.66224/jiaeee.23.2.41

# Investigation of the Optical Properties of Monolayer Graphene in a Plasmonic Grating Absorber and Optimization of the Grating Dimensions

**Abdolkarim Afroozeh**[1]

[1] Associate Professor, University of Larestan Department of Electrical Engineering, Lar, Iran
afroozeh@lar.ac.ir

## Abstract:

In this research, the optical properties of monolayer graphene integrated with a periodic plasmonic grating were investigated to develop an efficient optical absorber operating in the near-infrared region. The proposed structure consists of gold nanoribbons placed above a monolayer graphene sheet, h-BN layers serving as a spacer and antireflection coating, and a 70-nm-thick silver substrate. The structure was numerically analyzed using COMSOL Multiphysics based on the finite-element method under TM-polarized plane-wave illumination. The gold nanoribbons enhance light–graphene interaction by exciting localized plasmonic resonances and concentrating the electromagnetic field near the graphene layer. To maximize absorption, the geometrical dimensions of the grating were optimized by varying the nanoribbon width and structural period. The results showed that changing these parameters enables the graphene absorption peak to be controlled over an approximate wavelength range of 1000–1700 nm. The optimized structure, with a nanoribbon width of 50 nm and a grating period of 100 nm, achieved 60% absorption at approximately 1650 nm, corresponding to nearly 26 times the intrinsic absorption of suspended monolayer graphene. Furthermore, the angular response was examined at incidence angles of 15°, 30°, 45°, 60°, 75°, and 90°. The absorption remained above 57% at many of the investigated angles, indicating low angular sensitivity and confirming the potential of the proposed structure for solar absorbers, infrared detectors, optical sensors, and energy-harvesting applications.

**Keywords:** Monolayer Graphene; Optical absorption; Gold Nanoribbon; Plasmonic Grating; Near-Infrared; Geometrical Optimization.

**Article Type**: Research

**Received: 18. 10. 2024**

**Revised: 16. 08. 2025**

**Accepted: 23. 12. 2025**

**Corresponding author:** Dr. Abdolkarim Afroozeh

**Corresponding author's address:** Faculty of Electrical Engineering, Higher Education Complex of Larestan, Lar, Iran

Copyright © 2026 The Authors. Published by Iranian Association of Electrical and Electronics Engineers.
This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International license (https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/). Non-commercial uses of the work are permitted, provided the original work is properly cited.

## 1. Motivation of the work

Graphene has attracted considerable attention in photonic and optoelectronic devices because of its high carrier mobility, environmental stability, tunable optical properties, and compatibility with nanostructures. Graphene-based absorbers can be employed in optical sensors, solar-energy harvesting systems, infrared detectors, and terahertz imaging devices. Nevertheless, suspended monolayer graphene, with a thickness of approximately 0.34 nm, absorbs only about 2.3% of incident light. This inherently weak absorption limits its direct application in efficient optical devices. Integrating graphene with metallic plasmonic structures provides an effective solution by concentrating the electromagnetic field near the graphene layer and strengthening light–graphene interaction. The objective of this research is to enhance monolayer-graphene absorption in the near-infrared region, control the absorption wavelength through geometrical optimization, and evaluate the angular sensitivity of the resulting absorber.

## 2. Contributions

A hybrid plasmonic absorber consisting of monolayer graphene, periodic gold nanoribbons, hexagonal boron nitride (h-BN) layers, and a silver substrate is proposed. Gold nanoribbons are placed above graphene to excite localized plasmonic resonances and guide incident light toward the graphene layer. An h-BN layer is used between graphene and the gold nanoribbons to reduce carrier degradation. Moreover, a 2-nm-thick h-BN antireflection layer is placed above the structure to suppress reflection and improve light coupling. The configuration is supported by a 70-nm-thick silver substrate. The main contribution is the optimization of the nanoribbon width and grating period to increase graphene absorption. The optimized structure achieves 60% absorption, approximately 26 times the intrinsic absorption of suspended monolayer graphene.

## 3. Procedures

The proposed absorber is simulated using COMSOL Multiphysics based on the finite-element method. Its optical response is evaluated over the wavelength range of 400–1800 nm. Because transverse-electric illumination generates only a weak plasmonic response, a transverse-magnetic (TM)-polarized plane wave is employed. The initial structure, with a grating period of 200 nm, is first examined under normal incidence at 0°. The gold nanoribbon width is then varied using values of 50, 75, 100, 125, and 150 nm. Subsequently, the grating period is investigated at 100, 150, 200, 250, and 300 nm. Absorption spectra and electromagnetic-field distributions are used to identify the optimum dimensions. Finally, the optimized structure is analyzed at incidence angles of 15°, 30°, 45°, 60°, 75°, and 90° to determine its angular stability.

## 4. Findings

For the initial configuration, the total absorption reaches approximately 35% at 1250 nm, while about 21% is absorbed by graphene. The electromagnetic-field distribution confirms the formation of a localized plasmonic resonance near the graphene–gold interface. Variation of the nanoribbon width shifts the graphene absorption peak over approximately 1000–1700 nm. At a nanoribbon width of 100 nm, graphene absorption is about 22%. Reducing the width to 50 nm increases absorption to approximately 46%, nearly 20 times that of suspended graphene. This enhancement results from stronger electromagnetic-field concentration between adjacent nanoribbons and graphene. Changing the grating period shows that the highest absorption occurs at 100 nm. Accordingly, the optimized structure has a nanoribbon width of 50 nm and a period of 100 nm, providing 60% graphene absorption at approximately 1650 nm. Angular analysis also shows that absorption remains above 57% for many investigated angles. Changes in incidence angle produce only minor variations in the absorption peak, demonstrating low angular sensitivity.

## 5. Conclusion

The results demonstrate that a gold nanoribbon grating can considerably enhance the near-infrared absorption of monolayer graphene. Optimizing the nanoribbon width and periodicity increases absorption from the intrinsic value of 2.3% to 60%. The resonance wavelength can also be controlled through geometrical variations. High absorption, wavelength controllability, and low angular sensitivity make the proposed structure suitable for solar absorbers, near-infrared and thermal detectors, optical sensors, energy-harvesting systems, and integrated photonic devices.

نشریه مهندسی برق و الکترونیک ایران

نشریه مهندسی برق و الکترونیک ایران، سال بیست و سوم، شماره دوم، تابستان ۱۴۰۵، صفحات ۴۱-۴۶

**DOI: 10.66224/jiaeee.23.2.41**

# الگوی بررسی خواص نوری گرافن در ساختار گریتینگ به عنوان جاذب نوری و بهینه سازی ابعاد گرافن تک لایه

**عبدالکریم افروزه** [۱]

۱- دانشیار- دانشکده مهندسی برق- مجتمع آموزش عالی لارستان - لار- ایران

afroozeh@lar.ac.ir

**چکیده: گرافن امروزه یکی از پرکاربردترین مواد در تولید دستگاه‌های نوری مانند سلول‌های فتوولتائیک، حسگرها و جاذب‌ها است. توانایی منحصر به فرد گرافن در تولید پلاسمون‌های سطحی عالی، پتانسیل منحصر به فردی را برای استفاده در مواد جاذب ایجاد می‌کند. جاذب‌های مبتنی بر گرافن برای استفاده از سنسورهای جاذب، جذب کننده‌های خورشیدی و جاذب تراهرتز بسیار کارآمد هستند. حسگرهای جاذب با استفاده از ویژگی‌های قابل تنظیم گرافن در حسگرهای زیستی برای تشخیص هموگلوبین، بیومولکول‌های ادرار و همچنین در کاربردهای پزشکی و شیمیایی قابل استفاده هستند. جاذب‌های خورشیدی برای استفاده در دستگاه‌های برداشت انرژی و تولید انرژی پاک مناسب هستند. استفاده از لایه گرافن در طراحی جاذب خورشیدی پاسخ جذب بسیار کارآمد و پهنای باند مناسبی را به همراه دارد. جاذب ترتز در دستگاه‌های سنجش و تصویربرداری قابل استفاده است. در این تحقیق، ما خواص نوری گرافن را در ساختار گریتینگ به عنوان جاذب نوری بررسی کردیم و ابعاد ساختار را برای دستیابی به جذب بیشتر گرافن تک لایه بهینه کردیم. روی گرافن تک لایه نانوروبان های طلا قرار می دهیم و برای جلوگیری از بازتاب و افزایش جذب نور توسط سازه یک لایه ضد انعکاس در بالای سازه قرار می‌دهیم. در ابتدا این ساختار تحت تابش موج صفحه TM با زاویه برخورد ۰ درجه بررسی می‌شود. در مرحله بعد با تغییر عرض نانوروبان‌ها و مدت زمان تکرار سازه، ابعاد گریتینگ را بهینه کردیم. ساختار پردازش شده جذب گرافن تک لایه را تا ۶۰ درصد افزایش داد. در مرحله بعد، رفتار پیک های جذب گرافن را در ناحیه مادون قرمز نزدیک با تغییر زاویه تابش نور با مقادیر ۱۵، ۳۰، ۴۵، ۶۰، ۷۵ و ۹۰ درجه بررسی کردیم. با تجزیه و تحلیل رفتار گرافن در این ناحیه، متوجه شدیم که با تغییر ابعاد نانوروبان‌های طلا، می‌توان طول موج پیک جذب را از ۱۰۰۰ تا ۱۶۰۰ نانومتر کنترل کرد. در مرحله بعد متوجه شدیم که پیک جذب سازه به زاویه تابش نور حساس نیست و با تغییر زاویه نور تابشی، تفاوت قابل توجهی در حداکثر جذب لایه گرافن وجود ندارد. این جاذب با راندمان بالا و حساسیت زاویه کم، توانایی زیادی در جذب تابش خورشید دارد و کاربردهای فراوانی در سلول های خورشیدی، ردیاب های مادون قرمز و حرارتی دارد.**

**کلمات کلیدی:** گرافن، جذب، طلا

**نوع مقاله:** پژوهشی

**دریافت:** ۱۴۰۲/۰۷/۱۸

**بازنگری:** ۱۴۰۴/۰۵/۲۵

**پذیرش:** ۱۴۰۴/۱۰/۰۲

**نام نویسنده‌ی مسئول:** دکتر عبدالکریم افروزه

**نشانی نویسنده‌ی مسئول:** ایران – لار – مجتمع آموزش عالی لارستان – دانشکده‌ی مهندسی برق

حق انتشار این مستند، متعلق به نویسندگان آن است. ۱۴۰۵ ©. ناشر این مقاله، انجمن مهندسین برق و الکترونیک ایران است.

این مقاله تحت گواهی زیر منتشرشده و هر نوع استفاده غیرتجاری از آن مشروط بر استناد صحیح به مقاله و با رعایت شرایط مندرج در آدرس زیر مجاز است.

Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International license
(https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)

## ۱- مقدمه

جذب کننده‌های کامل را می‌توان به سه گروه تقسیم کرد: تک باند [۱]، دو باند[۲] و چند باند [۳]. این جاذب‌ها بر اساس خواص و عملکردشان برای دو منظور قابل استفاده هستند: یکی جاذب باند باریک برای کاربردهای حسگر [۴] و دیگری جاذب پهن باند برای کاربردهای ذخیره‌سازی و قدرت [۵]. این جاذب‌ها محبوب‌تر هستند زیرا می‌توانند در اشعه ماوراء بنفش، مرئی، مادون قرمز نزدیک و مادون قرمز میانی و دور به جذب عالی دست یابند[۶-۸]. تابش خورشیدی که از سطح زمین قابل مشاهده است، مناطق مرئی و نزدیک به فروسرخ را می‌پوشاند. یکی از چالش‌های مهم در زمان‌های اخیر دسترسی به جاذب‌های باند پهن است و از این طریق می‌توانند تشعشعات خورشیدی بیشتری را در یک منطقه بزرگ جذب کنند. از آنجایی که جاذب‌های پهن باند بسیار نازک در ناحیه تراهرتز استفاده می‌شوند، نمی‌توانند تشعشعات این ناحیه را جذب کنند[۸].

امروزه جاذب‌های پلاسمونیک مثبت به طور گسترده در دامنه‌های مختلف طول موج از UV تا تراهرتز استفاده می‌شوند و حتی در حسگرها، تصویربرداری حرارتی، برداشت نور، فتوولتائیک و غیره استفاده می‌شوند[۹-۱۱]. در تولید چنین وسایلی، فلزات نجیب که همیشه پلاسمون‌ها را پشتیبانی می‌کنند، به دلیل بارهای زیاد مورد استفاده قرار می‌گیرند، اما پاسخ نوری آنها ضعیف است و نمی‌توانند الکتریسیته را بهبود بخشند. برای استفاده از تشعشعات مادون قرمز، می‌توان از پلاسمون‌های گرافنی استفاده کرد که در مقایسه با مواد پلاسمونیک سنتی مانند طلا، تلفات کم و قابلیت تنظیم بالایی دارند و محدوده طول موج وسیعی از مادون قرمز تا تراهرتز را پوشش می‌دهند[۱۲, ۱۳].

گرافن یک ماده نازک، تک لایه و دو بعدی است که بر پایه شبکه لانه زنبوری از کربن ساخته شده است [۱۵,۱۴]. گرافن یک متالوئید با تحرک بالا، پایداری محیطی و شکاف باند صفر است و دارای خواص مکانیکی، فوتونیک و اپتوالکترونیکی عالی است [۱۷,۱۶]. گرافن به دلیل ساختار تک لایه نازک اتمی با ضخامت ۰.۳۴ نانومتر، جذب بالایی دارد و به راحتی می‌توان آن را با مواد دیگر ترکیب کرد و امکان استفاده از آن را در نانوساختارها و ساختارهای فوتونیکی فراهم می‌کند. تک لایه گرافن یک لایه شفاف است و تنها ۲.۳ درصد از نور فرودی را جذب می‌کند، اما این میزان را می‌توان با ترکیب گرافن با ساختارهای پلاسمونیک افزایش داد[۱۸, ۱۹].

اخیراً از مواد مبتنی بر گرافن در زمینه‌های اپتیک و اپتوالکترونیک استفاده شده است. از سال ۲۰۰۸، نانومواد مبتنی بر گرافن از آشکارسازهای نوری، صفحات لمسی، ترانزیستورها، فتوولتائیک‌ها، سلول‌های خورشیدی و پیشرفت حسگرهای زیستی در ساخت ماشین مانند پشتیبانی کرده‌اند. آنها همچنین منجر به تولید جاذب‌های قابل اشباع برای لیزرهای فوق سریع و کاربردهای فوتوکاتالیستی شده‌اند. در مناطق مادون قرمز دور و مادون قرمز میانی، تشدید پلاسمون قوی در گرافن رخ می‌دهد که منجر به جذب قوی گرافن می‌شود. علاوه بر این، جذب گرافن در نواحی مرئی و مادون قرمز نزدیک (IR) اغلب با ترکیب ساختارهای تشدید فلزی و دی‌الکتریک‌ها افزایش می‌یابد[۱۶, ۲۰, ۲۱].

می‌توانیم جاذب‌های مبتنی بر گرافن را با توجه به کاربردشان در فرکانس‌های عملیاتی مختلف، به سه گروه، حسگرهای جاذب، جاذب‌های خورشیدی و جاذب‌های تراهرتز تقسیم کنیم[۲۲, ۲۳].

حسگرهای جاذب به طور گسترده‌ای برای شناسایی مولکول‌های زیستی استفاده می‌شوند و کاربردهای زیادی در زمینه‌های مختلف مانند پزشکی، محیط زیست و صنعت دارند. حسگرهای جاذب زیادی مانند نوری، الکتروشیمیایی و فیزیکی وجود دارد. حسگرهای جاذب نوری به دلیل نانومواد منحصر به فرد، فشرده، کم هزینه و آسان هستند. آنها را می‌توان به دو گروه تقسیم کرد: حسگرهای جاذب نوری تشخیص و حسگرهای جاذب تشخیص برچسب دار [۲۵,۲۴].

جاذب‌های خورشیدی به دلیل پاسخ تشدید وابسته به فرکانس در مناطق فرابنفش، مرئی و مادون قرمز محبوب هستند. جذب کننده‌های متاسطحی پایه اصلی طراحی جاذب پهن باند هستند. جاذب‌های خورشیدی باند پهن کارآمد را می‌توان با استفاده از ورقه‌های گرافن تک لایه متشکل از اتم‌های کربن در یک ساختار شبکه لانه زنبوری ساخت برای به دست آوردن پاسخ جذب بالا، جاذب باید از نظر نوری ضخیم اما از نظر فیزیکی نازک باشد [۲۷,۲۶].

جذب کننده‌های تراهرتز جذب کننده‌های قابل تنظیمی هستند که در محدوده فرکانس مادون قرمز دور تراهرتز طراحی شده‌اند. علاوه بر این، طیف تراهرتز مملو از کاربردهای بسیاری است که به یک جاذب خوب نیاز دارد که قادر به جذب انرژی موج باشد، از جمله ارتباطات بی سیم، اهداف امنیتی و برنامه‌های تصویربرداری [۲۸].

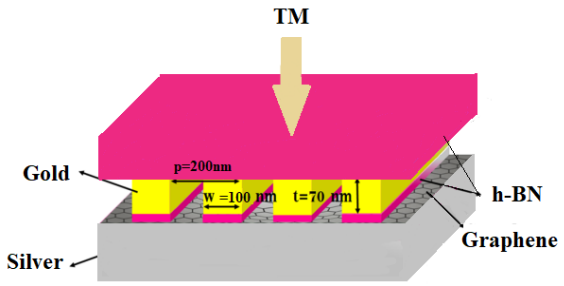
هدف از این تحقیق به دست آوردن یک جاذب کامل از گریتینگ پلاسمونیک با باند وسیع برای جذب در ناحیه مادون قرمز نزدیک است که تابش خورشید را به بهترین شکل جذب می‌کند. در اینجا، یک نانوساختار که از توری‌های طلای مربعی ساخته شده است که روی یک گرافن تک لایه قرار می‌گیرند تا تشدیدهای پلاسمون قوی در ناحیه مادون قرمز نزدیک ایجاد کند، نشان داده و شبیه‌سازی می‌شود. در فرآیند بهینه‌سازی تأثیر پارامترهای هندسی، عدم حساسیت جذب گرافن با زاویه تابش بررسی شد.

## ۲- ساختار

برای توسعه عملکرد نانوفوتونیکی دستگاه‌های اپتوالکترونیک، ترکیب گرافن با جاذب‌های پلاسمونیک کامل، پتانسیل زیادی مانند کنترل پلاسمون، مکان‌یابی پلاسمون، انتقال پلاسمون‌های سطحی و فرکانس تشدید را فراهم می‌کند.

گرافن دارای خواص ویژه‌ای مانند تصحیح سطح فرمی توسط ناخالصی‌های الکترواستاتیکی و شیمیایی، تحرک بالای حامل آن است که باعث تلفات کمتری به عنوان ماده پلاسمونیک می‌شود و همچنین مکان‌یابی نور زیاد پلاسمون گرافن با طول موج دو. بار کوچکتر از طول موج نور. گرافن همچنین می‌تواند فلزات نجیب را در مواد پلاسمونیکی که مکان‌یابی میدان نسبی کمی در IR دارند تکمیل کند و پلاسمون‌های مبتنی بر آن‌ها به دلیل غیر قابل تنظیم بودن عملی نیستند[۲۹, ۳۰].

به دلیل تفاوت بین پلاسمون فوتون و تکانه پلاسمون، پلاسمون‌های گرافنی نمی‌توانند مستقیماً توسط نور برانگیخته شوند. بنابراین، برای تقویت جفت گرافن-نور، گریتینگ پلاسمون‌های مبتنی بر فلزات نجیب، نانوساختارها را با گرافن جمع می‌کند تا پلاسمون‌های محلی را تحریک کند [۳۱]. برای جلوگیری از کاهش حامل، لایه‌های h-BN بین نانوروبان‌های گرافن و طلا قرار گرفتند. ما پارامترهای نوری H-BN را از مرجع [۳۱] استخراج کردیم. همه پیکربندی‌ها بر روی یک بستر نقره‌ای با ضخامت ۷۰ نانومتر، که فلزی با طولانی‌ترین زمان فروپاشی دامنه پالس است، قرار گرفتند. درنهایت یک لایه ضد انعکاس h-BN به ضخامت ۲ نانومتر بر روی نمونه قرار گرفت. این سیستم با دوره ۲۰۰ نانومتر p = تکرار می‌شود و از تابع زمان برای مرزها استفاده می‌شود (شکل ۱).




**شکل (۱): طراحی جاذب کامل پیشنهادی**

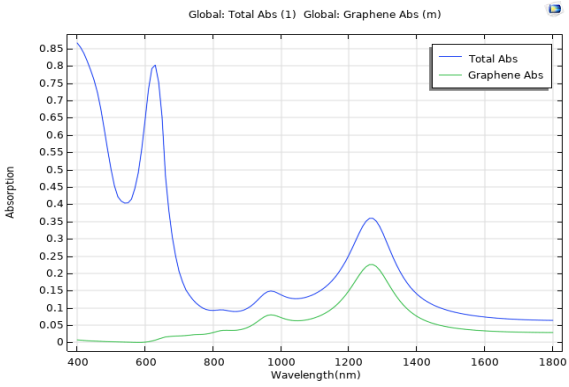
افزایش جذب گرافن به دلیل ایجاد شدت میدان الکترومغناطیسی در نزدیکی گرافن است. بنابراین، با استفاده از نانوروبان‌های طلا بر روی گرافن، می‌توان از پاسخ پلاسمونیک آنها برای هدایت نور به گرافن استفاده کرد. ما فرض می‌کنیم که تابش نور TE قطبی شده یک تشدید پلاسمون ضعیف ایجاد می‌کند، بنابراین مقدار کمی نور توسط گرافن جذب می‌شود. بنابراین، نور پلاریزه TM توسط زوایای تابشی مختلف (در ابتدا برای بهبود اندازه توری، زاویه نور تابشی ۰ درجه است) از بالای سیستم در ناحیه مادون قرمز نزدیک تابش می‌شود تا تشدید پلاسمون نور موضعی و جذب ایجاد کند. گرافن تک لایه افزایش خواهد یافت.

ما نقشه‌های جذب گرافن را برای نانوروبان‌ها با اندازه‌های مختلف به دست آوردیم. با استفاده از داده‌های گرافیکی، سیستم را بهینه می‌کنیم و اندازه بهینه گریتینگ‌ها را انتخاب می‌کنیم. سیستم پیشنهادی با نرم افزار (Comsol Multiphysics) که مبتنی بر روش اجزای محدود است شبیه‌سازی شده و خواص سیستم نوری و امواج صفحه الکترومغناطیسی مورد بررسی قرار گرفت.

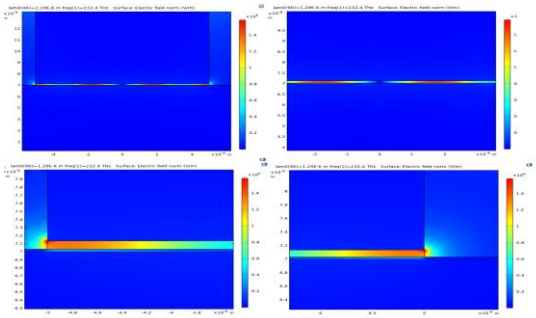
## ۳- بحث

در اینجا، به دست آوردن وسیع ترین پهنای باند جذب یک مشکل است. این مقاله بر افزایش جذب دستگاه‌های نوری و نوری به‌ویژه در مواد مبتنی بر گرافن، و کنترل طیف جذب در ناحیه نزدیک به فروسرخ و دستیابی به جاذب‌های باند پهن نوری مبتنی بر گرافن تمرکز دارد. نسبت به ضریب شکست و پارامترهای هندسی بسیار حساس هستند و از طرف دیگر از بسیاری جهات حساسیت زاویه‌ای کمتری دارند. بنابراین، تأثیر پارامترهای مختلف رنده طلا که باعث افزایش یا کاهش جذب و همچنین گسترش طیف جذب می‌شود، بررسی شده و ساختار تحت این پارامترها بهینه شده است.

قبل از شروع بهینه‌سازی، جذب اولین نمونه نشان داده شده در شکل ۱، در محدوده طول موج وسیعی از ۴۰۰ تا ۱۸۰۰ نانومتر مورد بررسی قرار گرفت. با مشاهده شکل ۲، کل جذب این نمونه در طول موج ۱۲۵۰ نانومتر ۳۵ درصد است که تقریباً ۲۱ درصد آن توسط لایه گرافن با پهنای باند باریک جذب می‌شود. شکل ۳ همچنین توزیع شدت تشدید مغناطیسی (TM) را در امتداد مختصات y نشان می‌دهد و به وضوح مکان ناحیه تشدید پلاسمون را در طول موج رزونانس نشان می‌دهد.

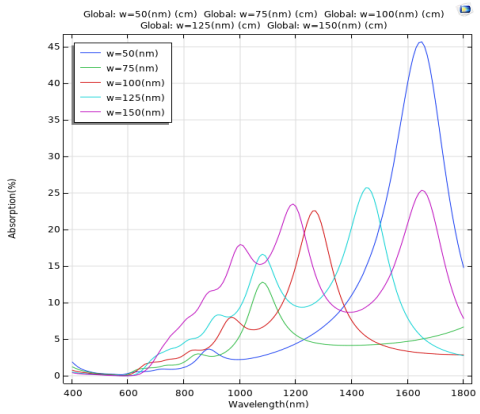



**شکل (۲): جذب گرافن و جذب کل تحت تابش موج قطبش TM در زاویه ۰ درجه بر حسب طول موج**



**شکل (۳): نمودار دو بعدی شدت هنجار میدان TM بر حسب مختصات y**

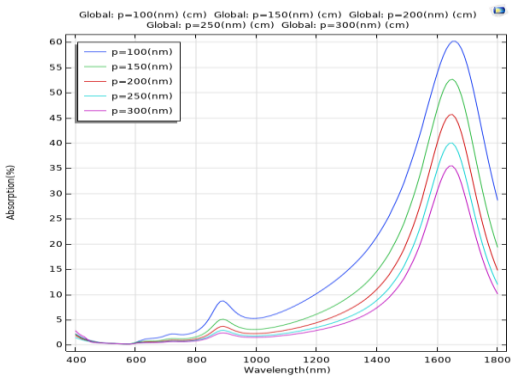
اکنون، با درک شکل‌گیری پلاسمون‌های سطحی و رزونانس آنها در سطح مشترک گرافن-طلا، ساختار با پارامترهای نانوروبان بهینه شده است. ابتدا اعداد ۵۰، ۷۵، ۱۲۵ و ۱۵۰ نانومتر با w = 100 نانومتر برای عرض نانوروبان ها جایگزین می‌شوند.




**شکل (۴): جذب گرافن بر حسب طول موج برای عرض های مختلف نانوروبان**

شکل ۴ نشان می‌دهد که برای نانوروبان‌های طلا با عرض‌های مختلف، جذب گرافن طول موج حدود ۱۰۰۰ تا ۱۷۰۰ نانومتر را پوشش می‌دهد، به عنوان مثال، w = 100 نانومتر، جذب ۲۲ درصد و سپس به ۴۶ درصد افزایش یافته است (۲۰ برابر بیشتر از جذب گرافن معلق). جذب بالای ۴۶ درصد در w = 50 نانومتر به دلیل افزایش شدت توزیع میدان بین نانوروبان‌های مجاور و گرافن است. از شکل می‌توان دریافت که از w = 100 نانومتر تا w = 150 نانومتر، جذب گرافن با کمی تغییر تقریباً ثابت است.

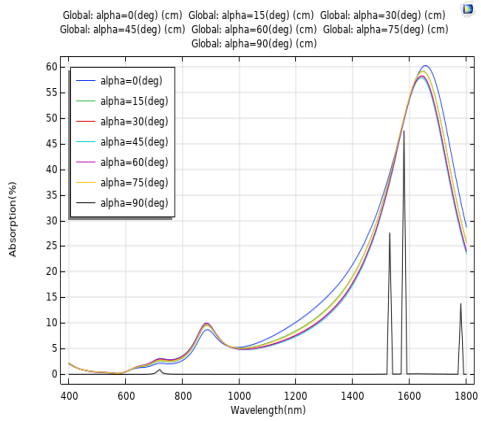
در ادامه، وابستگی جذب گرافن به دوره مورد بررسی قرار گرفت. اعداد ۱۰۰، ۱۵۰، ۲۵۰ و ۳۰۰ نانومتر با p = 200 نانومتر جایگزین می‌شوند. جذب تک لایه گرافن برای هر دوره در شکل ۵ نشان داده شده است.




**شکل (۵): جذب گرافن تک لایه برحسب طول موج برای تناوب‌های مختلف ساختار**

شکل ۵ میزان جذب گرافن را برحسب طول موج برای مقادیر مختلف پارامتر تناوب ساختار نشان می‌دهد. حداکثر میزان جذب گرافن مربوط به p=100 نانومتر است. در این حالت، جذب گرافن در طول موج ۱۶۵۰ نانومتر به ۶۰ درصد می رسد. بنابراین نتیجه می‌گیریم که در ساختار بهینه، عرض نانوروبان‌ها ۵۰ نانومتر است که یک ساختار توری با پریود ۱۰۰ نانومتر را تشکیل می‌دهد.

پس از آن، پارامتر زاویه بروز را تجزیه و تحلیل کردیم.




**شکل (۶): جذب گرافن تک لایه بر حسب طول موج برای زاویه های مختلف برخورد**

همانطور که در شکل ۶ نشان داده شده است، در بسیاری از زوایای برخورد مختلف، جذب گرافن بالاتر از ۵۷ درصد است. دیدیم که تغییر زاویه برخورد باعث تغییر جزئی در پیک جذب می‌شود. بنابراین، جذب گرافن به طیف وسیعی از زوایای برخورد غیرحساس است و رفتار تقریبا ثابتی از خود نشان می‌دهد. این ویژگی اصلی سیستم‌های جاذب است و کاربردهای عالی را تضمین می‌کند [۳۲, ۳۳].

## ۴- نتیجه‌گیری

امروزه گرافن به طور گسترده در دستگاه‌های اپتوالکترونیک، حسگرها و به‌ویژه جاذب‌های پلاسمونیک برای کمک به طراحی، ساخت و بهبود عملکرد این دستگاه‌ها استفاده می‌شود. جاذب های خورشیدی مبتنی بر فراسطح‌های گرافن به دلیل ویژگی‌های گرافن و قابلیت تنظیم‌پذیری آن بسیار محبوب هستند. حسگرهای جاذب مبتنی بر گرافن به دلیل حساسیت و محدوده تشخیص بهتر مولکول‌های زیستی مختلف، تقاضای زیادی دارند. حسگرهای جاذب نور مبتنی بر گرافن می‌توانند سلول‌های منفرد، خطوط سلولی و غیره را شناسایی کنند. لایه‌های شکاف گرافن قابلیت تنظیم بیشتر و بهبود تشخیص را در حسگرهای جذب نوری فراهم می‌کنند [۳۴]. فیبرهای نوری پوشیده شده با لایه‌های نازک گرافن می‌توانند به عنوان حسگرهای نوری برای تشخیص تغییرات کوچک در غلظت اندازه‌گیری شده آنالیت‌های آبی استفاده شوند. حسگرهای جاذب رزونانس پلاسمون سطحی (SPR) را می‌توان برای هیبریداسیون DNA استفاده کرد.

در این تحقیق، ما خواص نوری گرافن را تحت تأثیر پلاسمون‌های تولید شده در یک ساختار توری دو بعدی بررسی کردیم. برای این کار، گرافن تک لایه بر روی یک لایه گرافن طلا قرار می‌گیرد و یک لایه ضد انعکاس بر روی سازه اعمال می‌شود و ساختار تحت تاثیر پارامترهای هندسی گریتینگ بهینه شده است. ما از h-BN برای لایه

ضد انعکاس استفاده می‌کنیم. استفاده از این ساختار منجر به تشکیل پلاسمون قوی (SP) در ناحیه فروسرخ نزدیک (IR) و افزایش جذب گرافن تا ۶۰ درصد (۲۶ برابر بیشتر از گرافن خالص) می‌شود. علاوه بر این، استفاده از چنین ساختار توری به عنوان یک جاذب نانو نوری مبتنی بر فلزات نجیب و گرافن، این امکان را در کاربردهای حسگرهای جذبی، جاذب های خورشیدی و جاذب تراهرتز فراهم می‌کند. به طور خلاصه، با توجه به اهمیت و کاربرد گسترده گرافن در ساختارهای نوری، فوتونیک و اپتوالکترونیکی، نتایج این مطالعه علاوه بر افزایش درک برهمکنش گرافن- نور، می‌تواند دامنه استفاده از گرافن در جاذب‌ها به‌ویژه جاذب‌های خورشیدی را گسترش دهد.

به طور خلاصه، با توجه به اهمیت و کاربرد گسترده گرافن در ساختارهای نوری، فوتونیک و اپتوالکترونیکی، نتایج این مطالعه کاربردهای گرافن را گسترش داده و درک تعامل گرافن-نور را به‌ویژه در جاذب‌های نزدیک به فروسرخ بهبود می‌بخشد.

## مراجع


[1] A. Ghobadi, et al., Tuning the metal filling fraction in metal-insulator-metal ultra-broadband perfect absorbers to maximize the absorption bandwidth. Photonics Research, 2018. 6(3): p. 168-176.

[2] A. Afroozeh, The role of grating and electro-optical to adjustment of optical switches with voltage to graphene layer in increasing bandwidth. Journal of Iranian Association of Electrical and Electronics Engineers, 2021. 18(3).

[3] S.-X. Xia, et al., Multi-band perfect plasmonic absorptions using rectangular graphene gratings. Optics letters, 2017. 42(15): p. 3052-3055.

[4] Z. Yong, et al., Narrow band perfect absorber for maximum localized magnetic and electric field enhancement and sensing applications. Scientific reports, 2016. 6(1): p. 24063.

[5] L. Lei, et al., Ultra-broadband absorber from visible to near-infrared using plasmonic metamaterial. Optics express, 2018. 26(5): p. 5686-5693.

[6] J. Zhou, et al., Perfect ultraviolet absorption in graphene using the magnetic resonance of an all-dielectric nanostructure. Optics Express, 2018. 26(14): p. 18155-18163.

[7] Y. Chen, et al., Tunable near-infrared plasmonic perfect absorber based on phase-change materials. Photonics Research, 2015. 3(3): p. 54-57.

[8] X. Tian, et al., Wavelength-selective, tunable and switchable plasmonic perfect absorbers based on phase change materials Ge2Sb2Te5. Europhysics Letters, 2020. 128(6): p. 67001.

[9] D. Rodrigo, et al., Mid-infrared plasmonic biosensing with graphene. Science, 2015. 349(6244): p. 165-168.

[10] R. Hillenbrand, T. Taubner, and F. Keilmann, Phonon-enhanced light–matter interaction at the nanometre scale. Nature, 2002. 418(6894): p. 159-162.

[11] J. Dintinger, et al., Strong coupling between surface plasmon-polaritons and organic molecules in subwavelength hole arrays. Physical Review B—Condensed Matter and Materials Physics, 2005. 71(3): p. 035424.

[12] T. Low, and P. Avouris, Graphene plasmonics for terahertz to mid-infrared applications. ACS nano, 2014. 8(2): p. 1086-1101.

[13] F. Wang, et al., Gate-variable optical transitions in graphene. science, 2008. 320(5873): p. 206-209.

[14] K.J. Ooi, et al., Ultrafast, broadband, and configurable midinfrared all-optical switching in nonlinear graphene plasmonic waveguides. APL Photonics, 2016. 1(4).

[15] M. Ono, et al., Ultrafast and energy-efficient all-optical switching with graphene-loaded deep-subwavelength plasmonic waveguides. Nature Photonics, 2020. 14(1): p. 37-43.

[16] H. Chang, and H. Wu, Graphene-based nanomaterials: Synthesis, properties, and optical and optoelectronic applications. Advanced Functional Materials, 2013. 23(16): p. 1984-1997.

[17] J. Wang, et al., Optoelectronic and photoelectric properties and applications of graphene-based nanostructures. Materials Today Physics, 2020. 13: p. 100196.

[18] W. Li, et al., Ultrafast all-optical graphene modulator. Nano letters, 2014. 14(2): p. 955-959.

[19] C. Zhong, J. Li, and H. Lin, Graphene-based all-optical modulators. Frontiers of Optoelectronics, 2020. 13(2): p. 114-128.

[20] F. Bonaccorso, et al., Graphene photonics and optoelectronics. Nature photonics, 2010. 4(9): p. 611-622.

[21] C.C. Guo, et al., Experimental demonstration of total absorption over 99% in the near infrared for monolayer-graphene-based subwavelength structures. Advanced Optical Materials, 2016. 4(12): p. 1955-1960.

[22] H. Li, J. Niu, and G. Wang, Dual-band, polarization-insensitive metamaterial perfect absorber based on monolayer graphene in the mid-infrared range. Results in Physics, 2019. 13: p. 102313.

[23] C. Liang, et al., A broadband and polarization-independent metamaterial perfect absorber with monolayer Cr and Ti elliptical disks array. Results in Physics, 2019. 15: p. 102635.

[24] X. Shi, et al., A novel method for the rapid detection of microbes in blood using pleurocidin antimicrobial peptide functionalized piezoelectric sensor. Journal of microbiological methods, 2017. 133: p. 69-75.

[25] K.-A. Son, et al., High-speed graphene field effect transistors on microbial cellulose biomembrane. IEEE Transactions on Nanotechnology, 2017. 16(2): p. 239-244.

[26] H.A. Atwater, and A. Polman, Plasmonics for improved photovoltaic devices. Nature materials, 2010. 9(3): p. 205-213.

[27] A.N. Grigorenko, M. Polini, and K.S. Novoselov, Graphene plasmonics. Nature photonics, 2012. 6(11): p. 749-758.

[28] J. Darmo, et al., Imaging with a Terahertz quantum cascade laser. Optics express, 2004. 12(9): p. 1879-1884.

[29] S. Huang, et al., Graphene plasmonics: physics and potential applications. Nanophotonics, 2017. 6(6): p. 1191-1204.

[30] H. Li, et al., Plasmonic nanolasers enhanced by hybrid graphene–insulator–metal structures. Nano Letters, 2019. 19(8): p. 5017-5024.

[31] S.Thongrattanasiri, F.H. Koppens, and F.J. García de Abajo, Complete optical absorption in periodically patterned graphene. Physical review letters, 2012. 108(4): p. 047401.

[32] Y. Fan, et al., Monolayer-graphene-based broadband and wide-angle perfect absorption structures in the near infrared. Scientific reports, 2018. 8(1): p. 13709.
[33] A. Woessner, et al., Highly confined low-loss plasmons in graphene–boron nitride heterostructures. Nature materials, 2015. 14(4): p. 421-425.
[34] S.K. Patel, et al., Graphene-based highly sensitive refractive index biosensors using C-shaped metasurface. IEEE Sensors Journal, 2020. 20(12): p. 6359-6366.