



Original Article

Impact of Nano-structuring on the Optical Properties of Chitosan Particles

Amir Mahdi Golzadeh Nia¹, Salman Mohajer Mazandarani^{1*}, Marziye Azadfalah²

¹Bio Photonic Lab, Department of Physics, University of KHU, Karaj, Iran

²Electrical QC Specialist of Tavanir, Tehran, Iran

Received: 2025-06-03

Revised: 2025-08-05

Accepted: 2025-10-13

Abstract: Due to its unique optical and biological properties, chitosan nanoparticles have attracted significant attention across various scientific fields. In this study, chitosan nanoparticles were synthesized to investigate their optical characteristics. Following synthesis, the particles were characterized using SEM and FTIR Spectroscopy techniques to examine their morphological structure and chemical functional groups. Additionally, the optical absorption of the chitosan nanoparticles was measured at wavelengths of 532 and 633 nm using a standard optical setup to evaluate the effect of particle size on their light absorption properties. The results indicated that reducing the particle size significantly enhances optical absorption in the visible region, making chitosan nanoparticles a promising candidate for diverse applications such as optoelectronics and protective materials against harmful radiation.

Keywords: Chitosan nano and micro particles, Optical properties, Optical absorption

*Corresponding Author. Email: mohajer@khu.ac.ir


How to Cite This Article:

Golzadeh Nia, A M, Mohajer Mazandarani, S, Azadfalah, M. Impact of Nano-structuring on the Optical Properties of Chitosan Particles. *Nanomeghyas*. 2025; 12(3): 267-277. DOI: [10.22034/ns.2025.2062544.1390](https://doi.org/10.22034/ns.2025.2062544.1390)





تأثیر نانو ساختار شدن بر ویژگی‌های اپتیکی ذرات کیتوسان

امیرمهدی گل زاده نیا^۱، سلمان مهاجر مازندرانی^۱، مرضیه آزاد فلاح^۲ 

^۱ آزمایشگاه بیوفوتونیک دانشکده فیزیک دانشگاه خوارزمی، کرج، ایران
^۲ بازرسی کنترل و کیفیت تجهیزات برق شرکت توانیر، تهران، ایران

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۷/۲۱

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۰۵/۱۴

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۳/۱۳

چکیده: نانوکیتوسان به دلیل خواص نوری و زیستی منحصربه‌فرد، توجه زیادی را در حوزه‌های مختلف علمی به خود جلب کرده است. در این پژوهش، نانوذرات کیتوسان با هدف بررسی ویژگی‌های اپتیکی آنها سنتز شدند. پس از فرآیند سنتز، ذرات با استفاده از طیف سنجی جذبی SEM و FTIR به‌منظور بررسی ساختار مورفولوژی و گروه‌های عاملی شیمیایی مشخصه‌یابی گردیدند. علاوه بر این، میزان جذب نوری نانوکیتوسان در طول موج‌های ۵۳۲ و ۶۳۳ نانومتر در یک چیدمان اپتیکی استاندارد اندازه‌گیری شد تا تأثیر اندازه ذرات بر خواص جذب نوری مورد ارزیابی قرار گیرد. نتایج حاصل نشان داد که کاهش اندازه ذرات به‌طور قابل توجهی موجب افزایش جذب نوری در ناحیه مرئی می‌شود؛ این ویژگی نانوکیتوسان را به گزینه‌ای مناسب برای کاربردهای متنوعی همچون اپتوالکترونیک و مواد حفاظتی در برابر پرتوهای مضر تبدیل کرده است.

واژگان کلیدی: میکرو و نانو ذرات کیتوسان، جذب خطی مواد، خواص اپتیکی، جذب نوری.

* نویسنده مسئول. ایمیل: mohajer@khu.ac.ir

نحوه استناد به این مقاله:

گل زاده نیا، امیرمهدی، مهاجر مازندرانی، سلمان، آزاد فلاح، مرضیه. تأثیر نانو ساختار شدن بر ویژگی‌های اپتیکی ذرات کیتوسان. *نانومقیاس*، ۲۰۲۵، ۱۲(۳)، ۲۶۷-۲۶۷.

DOI: [10.22034/ns.2025.2062544.1390](https://doi.org/10.22034/ns.2025.2062544.1390)



۱- مقدمه

علاوه بر این، اصلاح شیمیایی این بیوپلیمرها موجب بهبود حلالیت آنها در محیط‌های آبی شده است که این موضوع به نوبه خود باعث افزایش فعالیت‌های بیولوژیکی و گسترده‌تر شدن کاربرد کیتین و کیتوسان گردیده است. هنگامی که این ماده به فاز نانو تبدیل می‌شود، سطح وسیعی از منسوج را با مقادیر اندک آن می‌توان پوشش داد. هدف از تولید نانو کیتوسان، افزایش نسبت سطح به حجم و بهبود کارایی این بیوپلیمر در کاربردهای مختلف می‌باشد [۱].

تحقیقات نوین بر روی کیتوسان شامل توسعه نانو کیتوسان، اصلاح شیمیایی به منظور بهبود حلالیت و ترکیب آن با سایر پلیمرهای زیستی برای تولید مواد کامپوزیتی با خواص پیشرفته است. این پیشرفت‌ها می‌توانند زمینه‌های کاربردی کیتوسان را در آینده گسترش دهند. علاوه بر این، کیتوسان دارای خواصی همچون ضدتعیق، ضد الکتريسيته ساکن، آنتی‌باکتریال و ضد ویروس است که در سال‌های اخیر توجه ویژه‌ای را به خود جلب کرده است. بررسی‌های انجام شده و آزمایش‌های مختلف در زمینه‌های اپتیکی و پرتویی، ویژگی‌ها و کاربردهای امیدوارکننده کیتوسان را نشان داده‌اند [۲].

از جمله پژوهش‌های مهم می‌توان به بررسی خواص اپتیکی، الکتريکی و ترکیب کیتوسان با نانوذرات نقره به روش بلان‌دینگ اشاره کرد که داده‌های ارزشمندی در این حوزه ارائه داده است [۳]. همچنین، تهیه فیلم‌های نانو کامپوزیتی پلی‌وینیل الکل/کیتوسان/نانوذرات نقره (PVA/Cs/Ag) با روش ساده تک‌مرحله‌ای سنتز شده و اثر تابش گاما بر ویژگی‌های دی‌الکتريک، پراکندگی و نوری آن‌ها مورد مطالعه قرار گرفته است. نتایج، تشکیل موفق نانوذرات نقره در بستر را با پدیدار شدن جذب پلاسمون سطحی در طول موج ۴۲۰ نانومتر تأیید کرده است. با افزایش دوز تابش، گاف انرژی غیرمستقیم از ۲.۱۱ به ۲.۰۱ الکترون‌ولت و گاف انرژی

کیتین و کیتوسان (کیتوزان) به عنوان آمینو پلی‌ساکاریدهای طبیعی با ساختاری بی‌نظیر و ویژگی‌های چندمنظوره، به طور گسترده در پزشکی و صنعت کاربرد دارند. از مهم‌ترین ویژگی‌های کیتین و کیتوسان می‌توان به سازگاری زیستی بالا، زیست‌تخریب‌پذیری قابل قبول و سمیت پایین اشاره کرد. همچنین، این پلیمرها خواص آنتی‌باکتریال و ضد حساسیت قابل توجهی دارند. علاوه بر این، ویژگی‌های بیولوژیکی نظیر چسبندگی زیستی، فعالیت ضد سرطان و ضد میکروب، کاهش التهاب و درد، خاصیت آنتی‌اکسیدانی، قابلیت انعقاد خون و کاهش کلسترول، آن‌ها را از دیگر پلیمرهای زیستی متمایز کرده است.

کیتوسان به دلیل ماهیت پلی‌کاتیونی خود، می‌تواند به عنوان عامل لخته‌کننده عمل کند و همچنین به عنوان عامل کیلیت‌کننده، یون‌های فلزات سنگین را به دام بیندازد. کیتین از منابع مختلفی به دست می‌آید و تاکنون بیش از ۳۰۰ منبع متنوع از بی‌مهرگان دریایی، قارچ‌ها، باکتری‌ها، گیاهان، جلبک‌ها، نرم‌تنان، دیاتومه‌ها، مخمرها، حشرات و غیره مورد مطالعه و تحقیق قرار گرفته است. همچنین بیش از ۳۰۰ نوع مشتق از آن در صنایع داروسازی، آرایشی، زیست‌فناوری، کشاورزی، غذایی، شیمیایی و سایر حوزه‌ها کاربرد یافته است.

امروزه با پیشرفت فناوری نانو، نقش کیتوسان در صنایع مختلف بیش از پیش اهمیت یافته و نمی‌توان آن را نادیده گرفت. کیتوسان یکی از پلیمرهای زیست‌سازگار است که علاوه بر قابلیت تجزیه بیولوژیکی، دارای سمیت بسیار پایین می‌باشد. کیتین و کیتوسان به عنوان آمینوپلی‌ساکاریدهای طبیعی، به دلیل ساختار بی‌نظیر و خصوصیات چندبعدی خود، توجه گسترده‌ای را در صنایع مختلف به ویژه نساجی، پزشکی، مهندسی بافت، ترمیم زخم، رهایش دارو، پانسمان زخم، غشاهای تصفیه پساب و صنایع آرایشی-بهداشتی جلب کرده‌اند.

مستقیم از ۲۶ به ۲۵ الکترون ولت کاهش یافته است. انرژی نوسانگر و انرژی پراکندگی نیز تغییر کرده و رسانایی نوری ابتدا با افزایش دوز تابش افزایش و در دوز ۱۵ کیلوگری به دلیل فرایند تخریب، کاهش یافته است. این ویژگی‌های نوری، فیلم‌های PVA/Cs/Ag را برای کاربرد در دستگاه‌های اپتوالکترونیک انعطاف‌پذیر امیدوارکننده می‌سازد [۴].

در یکی از مطالعات انجام‌شده، پارچه پنبه‌ای سفیدشده با استفاده از عصاره آلوئه‌ورا و کیتوسان از طریق روش pad-dry-cure اصلاح گردید و خواص آنتی‌باکتریال، فیزیکی، حرارتی، نوری و زیست‌محیطی آن مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج نشان داد که کاربرد هم‌زمان این دو ماده با غلظت 2g/L باعث کاهش بیش از ۸۱٪ رشد باکتری Staphylococcus aureus شد و عملکرد بهتری نسبت به استفاده‌ی مجزای هر ترکیب داشت. بهبود در استحکام کششی، شاخص سفیدی، ضخامت، مقاومت در برابر چروک و اشعه فرابنفش از دیگر یافته‌ها بود، در حالی که ویژگی‌های مرتبط با راحتی (از جمله نفوذپذیری هوا و بخار آب) تغییر محسوسی نداشت. همچنین، آزمون‌های زیست‌تخریب‌پذیری و زیست‌سازگاری، پایداری زیستی این نمونه‌ها را تأیید کردند [۵].

امروزه نانوذرات به دلیل ویژگی‌های منحصر به فرد فیزیکی و شیمیایی، در حوزه‌های متنوعی همچون پزشکی، محیط‌زیست و صنایع شیمیایی با کاربردهای نوینی همراه شده‌اند [۶]. همچنین ساخت نانوکامپوزیت کیتوسان PVA/ZnO با روش ریخته‌گری محلول صورت گرفته که به عنوان یک نیمه‌رسانای نوع n، دارای قابلیت ذخیره انرژی بوده است. این نانوکامپوزیت ظرفیت ذخیره انرژی قابل توجهی ارائه داده که آن را برای کاربرد در دستگاه‌های الکترونیکی و ذخیره انرژی مناسب می‌سازد. این مطالعه امکان طراحی مواد چندکاره مبتنی بر پلیمرهای زیست‌سازگار با ویژگی‌های الکتریکی و ذخیره انرژی هم‌زمان را

نشان می‌دهد [۷].

نتایج مطالعات همچنین نشان داده است که میکروحباب‌های کیتوسان PEG-بارگذاری شده با نانوذرات Fe_2O_3 ، به عنوان راهکاری نوین، زیست‌سازگار و کارآمد برای حفاظت در برابر اشعه‌های یونیزان کاربرد دارند. این مواد با ویژگی‌هایی مانند جذب بالای پرتو، وزن سبک، تجزیه‌پذیری زیستی، هزینه تولید پایین و ایمنی بالا، قابلیت استفاده در حوزه‌های صنعتی، پزشکی و فضایی را فراهم می‌کنند. علاوه بر این، این ترکیبات به عنوان جایگزینی مؤثر و بدون آثار زیست‌محیطی منفی برای مواد متداول مانند سرب، پتانسیل کاهش خطرات ناشی از پرتوهای یونیزان را دارا هستند. بررسی‌های آینده در جهت ارزیابی دقیق‌تر اثرات زیست‌محیطی و بهینه‌سازی ترکیبات می‌تواند به توسعه و بهره‌برداری گسترده‌تر این مواد در مقیاس صنعتی کمک کند [۸].

در این پژوهش، از کیتوسان استخراج‌شده از پوسته میگوی Fenneropenaeus indicus به عنوان یک جاذب طبیعی و زیست‌سازگار برای حذف رنگ متیلن بلو از محلول‌های آبی استفاده شد. متیلن بلو یک رنگ کاتیونی پایدار است که در صنایع مختلف کاربرد دارد و حضور آن در فاضلاب‌ها می‌تواند مشکلات زیست‌محیطی ایجاد کند. فرآیند جذب در شرایط ناپیوسته با دوزهای مختلف کیتوسان و زمان‌های تماس متفاوت انجام گرفت و نتایج نشان داد که در شرایط بهینه (دوز ۴ گرم و زمان تماس ۴ ساعت) حدود ۹۳.۲۳٪ از رنگ حذف گردید. طیف‌سنجی مادون قرمز (FTIR) حضور گروه‌های عاملی فعال مانند NH_2 - و OH - را در ساختار کیتوسان تأیید کرد که در جذب رنگ نقش کلیدی داشتند. این مطالعه نشان می‌دهد که استفاده از ضایعات پوسته میگو نه تنها روشی مؤثر و اقتصادی برای حذف آلاینده‌های رنگی از فاضلاب صنعتی است، بلکه می‌تواند به کاهش بار زیست‌محیطی پسماندهای دریایی نیز کمک کند [۹].

۲- مواد و روش ها

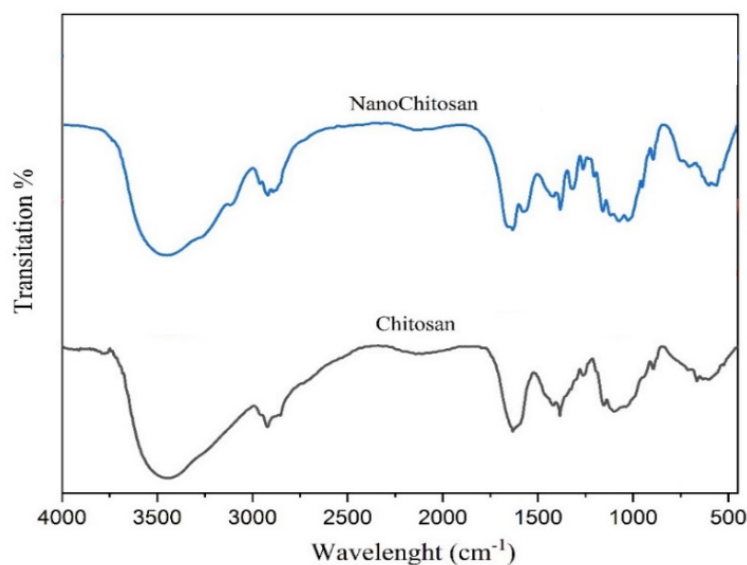
۲-۲- سنتز نانوذرات کیتوسان

برای سنتز نانوذرات کیتوسان، ابتدا یک گرم از پودر کیتوسان در ۱۰۰ میلی لیتر محلول اسید استیک ۱٪ حل شد. فرآیند حل شدن تحت هم‌زدن مغناطیسی با سرعت ۸۰۰ دور بر دقیقه و در صورت نیاز با افزایش دمای ملایم (۴۰ تا ۶۰ درجه سانتی‌گراد) تا زمان حل کامل ادامه یافت. سپس pH محلول کیتوسان با افزودن تدریجی محلول سدیم هیدروکسید ۱ مولار تا رسیدن به بازه‌ی ۴/۶ تا ۴/۸ تنظیم شد. در ادامه، محلول تری‌پلی فسفات^۱ (TPP) با غلظت ۰/۲۵ میلی گرم بر میلی لیتر تهیه و به صورت قطره‌قطره و به نسبت حجمی ۱ به ۳ (یعنی یک قسمت TPP به سه قسمت کیتوسان) به محلول کیتوسان افزوده شد. این فرآیند در دمای محیط و تحت هم‌زدن با سرعت ۸۰۰ دور بر دقیقه به مدت ۴۵ دقیقه ادامه یافت. با اضافه شدن TPP، نانوذرات کیتوسان به تدریج تشکیل شده و محلول به حالت کدر درآمد [۱۰]. نکته قابل توجه این است که هرچه سرعت اضافه شدن محلول TPP کمتر و سرعت هم‌زدن بیشتر باشد ذرات ریز تری به ما می‌دهند [۱۱].

۲-۱- استخراج کیتوسان

در این پژوهش، کیتوسان از پوسته میگو استخراج و سپس نانوذرات کیتوسان به روش ژل شدن یونی سنتز شد. ابتدا پوسته‌های میگو پس از شستشو و خشک کردن، آسیاب و خرد شدند. در مرحله‌ی حذف مواد معدنی، پوسته‌های خرد شده در محلول اسید کلریدریک رقیق غوطه‌ور شده و پس از مدت زمان مشخص، چندین بار با آب مقطر شسته شدند تا pH محلول به حالت خنثی برسد. سپس برای حذف پروتئین‌های باقی مانده، نمونه‌ها با محلول سدیم هیدروکسید (۱ مولار) تیمار شده و مجدداً تا pH خنثی شستشو داده شدند. در مرحله‌ی بعد، برای تبدیل کیتین به کیتوسان، عملیات استیل‌زدایی با استفاده از سدیم هیدروکسید غلیظ (۵۰٪) در دمای بالا (۹۰ تا ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد) تحت هم‌زدن مداوم انجام شد. محصول نهایی پس از شستشوی کامل و خشک کردن در آون، کیتوسان خالص بود. سپس کیتوسان تهیه شده توسط آسیاب گلوله‌ای پودر شد و به سایز میکرو درآمد.

1. Tripolyphosphate



شکل (۱): طیف سنجی FTIR کیتوسان و نانوکیتوسان

۱۶۵۵ نیز برای کیتوسان و نانوکیتوسان مشاهده می شود مربوط به ارتعاش خمشی NH_2 است که برای نمونه نانوکیتوسان شدت این پیوند افزایش یافته است که نشان دهنده درصد استیل زدایی بالاست.

۳-۲- آنالیز FESEM

تصاویر FESEM مربوط به نمونه نانوکیتوسان در بزرگنمایی ۲۰۰ هزار برابر قابل مشاهده است که تایید کننده تشکیل ذرات کروی کیتوسان با ابعاد نانومتری در محدوده ۲۰ تا ۵۰ نانومتر است.

برای تحلیل آماری اندازه ذرات چیتوسان، از تصویر SEM با وضوح بالا استفاده شد و پردازش تصویری آن بر اساس روش‌هایی مشابه مقالات مرتبط انجام گرفت. پردازش تصویر در محیط نرم‌افزار MATLAB صورت گرفت؛ به گونه‌ای که ابتدا آستانه‌گذاری تطبیقی و سپس فیلترگذاری مورفولوژیکی جهت تفکیک ذرات از زمینه اعمال شد. قطر معادل ذرات در این نمونه در بازه‌ای بین حدود ۲۰ تا بیش از ۱۰۰ نانومتر قرار داشت. میانگین قطر معادل نیز برابر با ۴۱/۹ نانومتر محاسبه گردید.

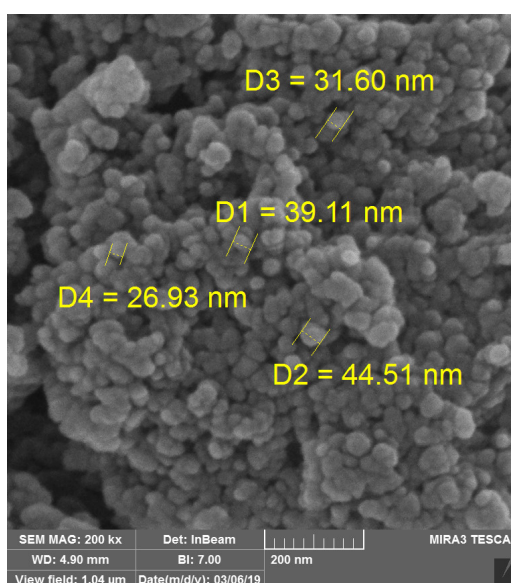
برای بررسی خواص اپتیکی نمونه‌ها در ناحیه مرئی، محلول‌های کیتوسان در اندازه‌های میکرو

برای جداسازی نانوذرات، محلول در دستگاه سانتریفیوژ با دور ۱۰۰۰۰ به مدت ۱۵ دقیقه قرار داده شد. رسوب حاصل چندین مرتبه با آب مقطر شستشو شد تا یون‌های اضافی و ناخالصی‌ها حذف شوند. در نهایت، مقدار معینی از نانوذرات خشک شده در محلول اسید استیک ۱٪ حل شده و با آب مقطر به حجم مشخص رسانده شد تا سوسپانسیون نهایی حاوی نانوذرات کیتوسان تهیه گردد.

۳- بررسی نتایج

۳-۱- طیف سنجی FTIR

طیف سنجی FTIR مربوط به نمونه‌های کیتوسان و نانوکیتوسان در شکل ۱ مشاهده می‌شود. در طیف جذبی نمونه مربوط به کیتوسان و نانوکیتوسان پیک های پهن در محدوده 3422 cm^{-1} به ارتعاش کششی پیوند آب و گروه های هیدروکسیل و گروه های آمینی نسبت داده می‌شود. همچنین دو پیوند در محدوده 2920 cm^{-1} و 2859 cm^{-1} مربوط به ارتعاش نامتقارن CH_3 و CH_2 در هر دو کیتوسان و نانوکیتوسان هستند. پیوند مشاهده شده در محدوده 2221 cm^{-1} به پیوند C-N گروه C-NH_2 مرتبط است. همچنین پیوند در cm^{-1}



شکل (۲): آنالیز FESEM نانوکیتوسان

۵۰ میلی وات) و لیزر سبز پیوسته Nd-Yag با طول موج ۵۳۲ نانومتر (توان اسمی ۱۰۰ میلی وات) بودند. چیدمان آزمایش شامل لیزر، قطبنده جهت تنظیم زاویه قطبش نور، و پاورمتر برای ثبت توان نور قبل و بعد از عبور از نمونه بود.

با استفاده از قانون بیر-لامبرت می‌توان ضریب جذب خطی نانوکیتوسان را از رابطه‌های زیر محاسبه کرد:

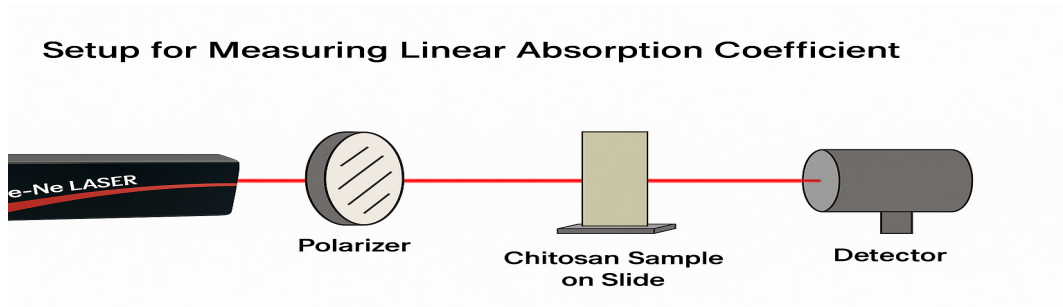
$$I = I_0 e^{-\alpha L} \quad (1)$$

$$\alpha = -\frac{\ln(m)}{L} \quad (2)$$

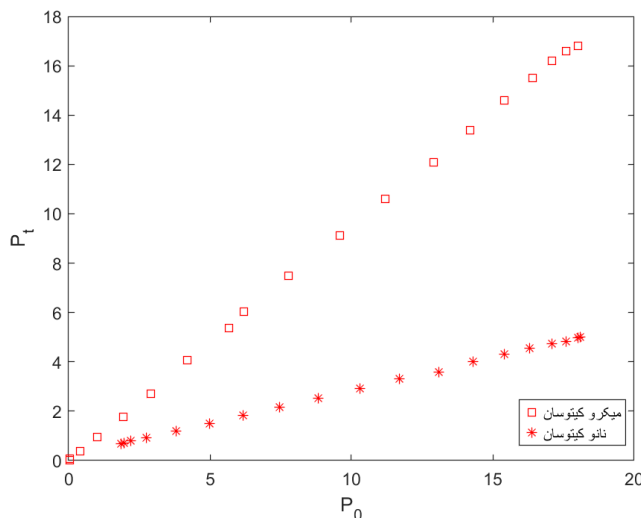
و نانو و با غلظت‌های مختلف، به حجم مشخصی بر روی لام شیشه‌ای ریخته شدند. تلاش شد تا محلول‌ها به صورت یکنواخت روی سطح لام پخش شوند. با استفاده از حجم محلول و ابعاد سطح لام، ضخامت تقریبی لایه ایجاد شده برآورد گردید.

۳-۳- بررسی ضرایب جذب خطی

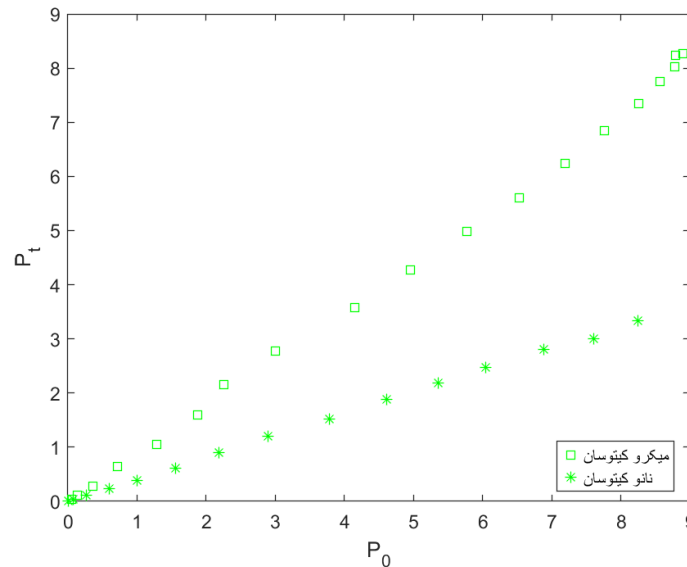
جهت بررسی تغییرات توان نوری لیزر در زوایای مختلف قطبش، نمونه‌ها در یک چیدمان نوری قرار داده شدند. در این آزمون، توان اولیه و توان عبوری از نمونه با استفاده از دستگاه پاورمتر اندازه‌گیری شد. منابع نوری مورد استفاده شامل لیزر هلیوم-نئون قرمز پیوسته با طول موج ۶۳۳ نانومتر (توان اسمی



شکل (۳): چیدمان مورد استفاده در مقدار ضریب جذب خطی به کمک لیزر قرمز، قطبشگر، نمونه کیتوسان و پاور متر در چیدمان اصلی از دو قطبشگر یکی به منظور قطبیده کردن نور و دیگری به منظور امکان تغییر قطبش نور استفاده شد.



شکل (۴): نمودار توان عبوری برحسب توان اولیه نانو و میکرو ذره کیتوسان در ناحیه قرمز.



شکل (۵): نمودار توان عبوری برحسب توان اولیه نانو و میکرو ذره کیتوسان در ناحیه سبز.

جدول ۱. ضرایب جذب خطی میکرو و نانو ذره کیتوسان و شیب نمودار داده‌ها.

	میکرو ذره ۶۳۳ (nm)	میکرو ذره ۵۳۲ (nm)	نانو ذره ۶۳۳ (nm)	نانو ذره ۵۳۲ (nm)
شیب خط (m)	۰/۹۴۲	۰/۹۰۷	۰/۲۶۵	۰/۴۰۵
$\alpha [cm]^{-1}$	۰/۰۵۰/±۵۹	۰/۰۵۰/±۹۷	۰/۱۲۶/±۶	۱۸/±۱ -/۱

نوری نانوکیتوسان، طیف‌سنجی UV-Vis (فرابنفش-مرئی) است (اندازه‌گیری‌های جذب نوری با استفاده از دستگاه طیف‌سنج UV-Vis مدل Specord 210 Plus ساخت شرکت Analytik Jena، کشور آلمان انجام شد. این روش تحلیلی، میزان جذب یا عبور نور توسط نمونه را در محدوده طول موج‌های فرابنفش و مرئی اندازه‌گیری می‌کند. برای انجام این آزمون، محلول نانوکیتوسان طبق روش ذکر شده در بخش‌های قبل تهیه شد. نتایج حاصل از طیف‌سنجی فرابنفش-مرئی نانوکیتوسان در شکل ۶ ارائه شده است.

در این آزمون، از محلول یک درصد اسید استیک به‌عنوان بلانک جهت حذف جذب زمینه استفاده شد. نتایج حاصل از طیف‌سنجی UV-Vis نشان داد که محلول نانوکیتوسان دارای یک پیک جذب در طول موج ۲۵۰ نانومتر است، در حالی که محلول میکروکیتوسان در طول موج ۲۲۸ نانومتر پیک جذب نشان می‌دهد. این اختلاف در موقعیت پیک‌ها، بیانگر تغییرات ایجاد شده در ساختار ماده بر اثر

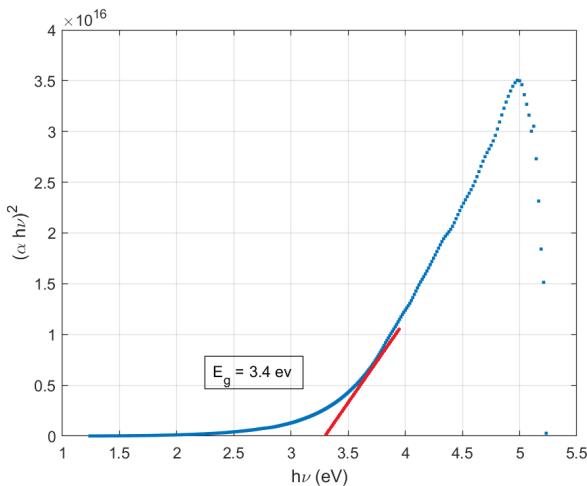
که در آن ضخامت لایه m شیب نمودار توان عبوری برحسب توان اولیه می‌باشد. شیب نمودار از طریق برازش داده‌های دریافتی از تست‌های جذبی محاسبه شده، در جدول ۱ قابل مشاهده است. نمودارهای مربوطه نیز در شکل ۳ و ۴ ارائه شده است.

نتایج حاصل نشان می‌دهد که نانوساختار شدن ذرات کیتوسان تأثیر قابل توجهی بر میزان جذب خطی آن دارد. این ویژگی می‌تواند نانوکیتوسان را به گزینه‌ای مناسب برای کاربردهای مرتبط با جذب نور، مانند فیلترهای نوری، حسگرها و سامانه‌های اپتوالکترونیکی تبدیل کند.

بررسی میزان جذب در یک محدوده خاص نمی‌توانست به خوبی این تأثیر گذاری نشان دهد به همین دلیل بررسی میزان جذب در تمامی طول موج یا نور سفید در دستور کار قرار گرفت.

۳-۴- طیف‌سنجی جذبی UV-Vis

از جمله آزمون‌های تکمیلی برای بررسی رفتار

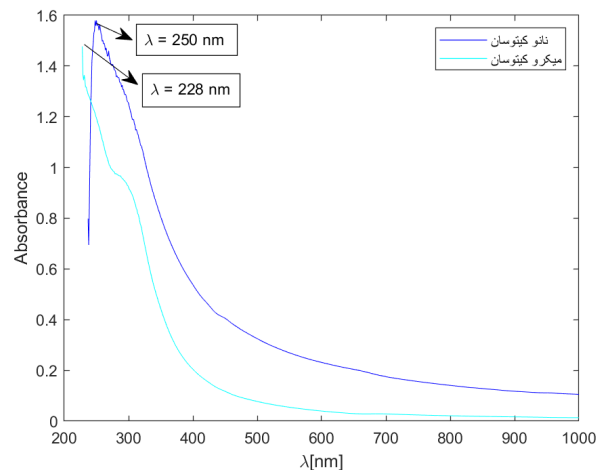


شکل (۷): نمودار Tauc برای نمونه کیتوسان به منظور تعیین گاف انرژی اپتیکی.

انرژی تخمین زده شد. مقدار به دست آمده برابر با ۳/۴ (eV) است که با مقادیر گزارش شده در مقالات ۳/۳ تا ۴ (eV) برای کیتوسان خالص همخوانی دارد [۱۲]. [این مقدار نشان دهنده ماهیت نیمه رسانایی کیتوسان و حساسیت آن به ساختار میکروسکوپی، میزان بلورینگی و نواقص شبکه‌ای است.

۴- نتیجه گیری

نتایج حاصل از آزمون‌های اپتیکی افزایش ۴۵ برابری ضریب جذب در طول موج ۶۳۳ نانومتر و ۱۹ برابری در طول موج ۵۳۲ نانومتر را در اثر نانو کردن کیتوسان نشان داد. کیتوسان در مقیاس نانو، در ناحیه مرئی طیف دارای جذب خطی مناسبی است که آن را به گزینه‌ای مطلوب برای کاربردهای نوری تبدیل می‌کند. همچنین، نتایج آزمون UV-Vis قابلیت استفاده از نانو کیتوسان را در محصولات آرایشی-بهداشتی ضد UV، شیشه‌های خودرو، و عینک‌های محافظ تأیید می‌کند. علاوه بر این، با توجه به میزان جذب در ناحیه فرابنفش، این ماده پتانسیل استفاده در تولید پوشاک محافظ در برابر اشعه UV را نیز دارد. یکی از عوامل مؤثر در تفاوت میزان جذب ثبت شده میان دو آزمون انجام شده، اختلاف در محدوده طول موجی مورد استفاده آن هاست؛ به طوری که در



شکل (۶): طیف سنجی جذبی مرئی-فرابنفش محلول نانو و میکرو ذره کیتوسان تغییرات پیک جذبی نشان دهنده تاثیرات نانو ساختار شدن کیتوسان است.

نانو شدن است و می‌تواند ناشی از شکل‌گیری ساختارهای نانوذره‌ای یا فعال شدن گروه‌های عاملی خاص در این محدوده باشد.

۳-۵- تحلیل گاف انرژی اپتیکی کیتوسان با روش طیف‌سنجی UV-Vis

گاف انرژی اپتیکی نمونه کیتوسان با استفاده از روش نمودار Tauc محاسبه شد (شکل شماره ۷) و مقدار آن برابر با ۳/۴ الکترون‌ولت به دست آمد. این مقدار کمتر از مقادیر معمول گزارش شده برای چیتوسان خالص حدود ۴/۰ (eV) است، که می‌تواند ناشی از ساختار آمورف، نازکی نمونه، یا نواقص و ناخالصی‌های جزئی در نمونه باشد. این کاهش احتمالی در گاف انرژی ممکن است ویژگی‌های نیمه‌رسانایی ماده را تحت تأثیر قرار داده و کاربرد آن را در حوزه‌های اپتوالکترونیک و فوتوکاتالیست تقویت کند.

محور افقی انرژی فوتون (hv) بر حسب الکترون‌ولت و محور عمودی مربع حاصل ضرب αhv یعنی $(\alpha hv)^2$ را نشان می‌دهد. ضریب جذب α از داده‌های طیف‌سنجی UV-Vis و رابطه $\alpha = 2.303A/d$ (محاسبه شده است)؛ جذب، ضخامت لایه (مقدار گاف انرژی با یافتن محل تقاطع خط مماس شده با محور انرژی با محور

- and chitosan Properties and applications. Chitin and Chitosan: Properties and Applications, 1-510. <https://doi.org/10.1002/9781119450467>
- [2] Algethami, N., Rajeh, A., Ragab, H.M. et al. Characterization, optical, and electrical properties of chitosan/polyacrylamide blend doped silver nanoparticles. *J Mater Sci: Mater Electron* 33, 10645-10656 (2022). <https://doi.org/10.1007/s10854-022-08048-5>
- [3] Vasile, C.; Pamfil, D.; Zaharescu, T.; Dumitriu, R.-P.; Pricope, G.M.; Răpă, M.; Vasilievici, G. Effect of Gamma Irradiation on the PLA-Based Blends and Biocomposites Containing Rosemary Ethanolic Extract and Chitosan. *Polymers* 2022, 14, 1398. <https://doi.org/10.3390/polym14071398>
- [4] Abdel Maksoud, M.I.A., Awed, A.S., Sokary, R. et al. Effect of gamma irradiation on the free-standing polyvinyl alcohol/chitosan/Ag nanocomposite films: insights on the structure, optical, and dispersion properties. *Appl. Phys. A* 127, 619 (2021). <https://doi.org/10.1007/s00339-021-04776-3>
- [5] Mondal, M.I.H., Saha, J. Antimicrobial, UV Resistant and Thermal Comfort Properties of Chitosan and Aloe vera-Modified Cotton Woven Fabric. *J Polym Environ* 27, 405-420 (2019). <https://doi.org/10.1007/s10924-018-1354-9>
- [6] Changaei, Y., Mohajer Mazandarani, S., & Gharbavi, M. (2024). Investigation of the optical properties of IM-Ag@TEOS nanostructure as an arsenic adsorbent. *Nanomaqyas (Nanoscales)*, 11(4), 73-79. (In Persian) [7] MikioFukuhara, TomonoriYokotsuka, Shunsuke Kayamori, Akira Isogai, Toshiyuki Hashida; n-type semiconductor with energy storage made from chitosan. *AIP Advances* 1 March 2024; 14 (3): 035103. <https://doi.org/10.1063/5.0188917>
- [8] Elotaiby, M., Elzayat, A. M., Awad, W. M., Abdelaziz, M., Abdelrazek, E. M. (2024). Physical studies of chitosan/PEG loaded Fe2O3 nanoparticles microbeads as a based biodegradable material for radiation shielding. *Physics Open*, 19(March), <https://doi.org/10.1016/j.physo.2024.100209>
- [9] Darul Raiyaan, G., Mohamed Khalith, S., Asrar Sheriff, M., Arunachalam, K. D. (2021). Bio-adsorption of methylene blue dye using chitosan-extracted from Fenneropenaeus indicus shrimp shell waste. *Journal of Aquaculture Marine Biology*, Volume 10(Issue 4), 146-150. <https://doi.org/10.15406/JAMB.2021.10.00316>
- [10] Ashvini Herimatha, Shivanand K Mutta, Anirbandeep Bose, Anudeep Balla, Clarithromycin Loaded Chitosan Nanoparticles: Development and Characterization, *Current Applied Polymer Science*; Volume 4, Issue 1, Year 2021. <https://doi.org/10.217>

یک آزمون، اندازه‌گیری جذب در طول موج مشخصی مانند قرمز یا سبز صورت گرفته، در حالی که در روش دیگر، کل طیف نور سفید مورد بررسی قرار گرفته است. این تفاوت می‌تواند به‌طور مستقیم بر مقدار جذب گزارش شده تأثیر بگذارد. با توجه به کاربردهای گسترده کیتوسان در حوزه‌های گوناگون از جمله صنایع دارویی، پزشکی و محیط‌زیست، بررسی خواص این پلیمر در مقیاس‌های مختلف، به‌ویژه در ابعاد نانو، از اهمیت بالایی برخوردار است. نانو ساختار سازی کیتوسان موجب تغییرات بارزی در ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و نوری آن می‌شود که این تغییرات در راستای بهینه‌سازی عملکرد و توسعه کاربردهای نوین آن اهمیت بسزایی دارد. در همین راستا، پژوهش حاضر با بهره‌گیری از روش‌های نوین سنتز نانو ساختارها و به‌کارگیری لیزرهای پیوسته در نواحی طیفی مختلف، خواص اپتیکی کیتوسان را از منظر قطبش نوری مورد ارزیابی قرار داده است. محاسبه ضرایب جذب خطی و مقایسه آن‌ها در دو مقیاس نانو و میکرو، زمینه‌ای برای تحلیل دقیق‌تر رفتار نوری این پلیمر فراهم نموده و نوآوری اصلی تحقیق را شکل می‌دهد.

تشکر و قدردانی

با کمال افتخار و احترام، مراتب سپاس و قدردانی از جناب آقای دکتر خلخالی به‌پاس در اختیار قرار دادن آزمایشگاه ماده چگال، ابراز می‌گردد.

تعارض منافع

نویسندگان این مقاله بدین‌وسیله اعلام می‌دارند که در ارتباط با انجام، تحلیل، نگارش و انتشار این پژوهش، هیچ‌گونه تعارض منافع مالی، شخصی، علمی یا سازمانی وجود ندارد.

منابع

- [1] van den Broek, L. A. M., Boeriu, C. G. (2019). Chitin

- [12] Fauzi, N. I. M., Fen, Y. W., Omar, N. A. S., Saleviter, S., Daniyal, W. M. E. M. M., Hashim, H. S., & Nasrullah, M. (2020). Nanostructured Chitosan/Maghemite Composites Thin Film for Potential Optical Detection of Mercury Ion by Surface Plasmon Resonance Investigation. *Polymers*, 12(7), 1497. <https://doi.org/10.3390/polym12071497>
- [11] Bangun H, Tandiono S, Arianto A. Preparation and evaluation of chitosan-tripolyphosphate nanoparticles suspension as an antibacterial agent. *J App Pharm Sci*, 2018; 8(12): 147156 <https://doi.org/10.7324/JAPS.2018.81217>