Review Article

Polymerization
Quarterly, 2026
Volume 16, Number 1
Pages 3-12
ISSN: 2252-0449

The Effect of Nano-Metal Fillers in Ultraviolet-Visible Spectroscopy Studies of Polymer Nanocomposites

Milad Kazemnejadi* and Mohsen Esmaeilpour[2]

1. Chemistry Department, Faculty of Sciences, Golestan University, Gorgan, Iran

2. Chemistry and Process Engineering Department, Niroo Research Institute, Tehran, Postal Code 1468617151, Iran

Received: 4 August 2025, Accepted: 21 November 2025

Abstract

Ultraviolet-visible (UV-vis) spectroscopy plays a pivotal role in the characterization of polymer nanocomposites (PMCs), providing important analytical insights into their optical properties, molecular interactions, and structural integrity. This technique allows the detection of characteristic absorption bands associated with the polymer matrix and embedded nanoparticles, facilitating the identification of electronic transitions such as $\pi \rightarrow \pi^*$ and $n \rightarrow \pi^*$ and monitoring band gap energy changes. In PMCs containing metal or metal oxide nanoparticles, UV-vis spectroscopy is particularly valuable for observing surface plasmon resonance (SPR) phenomena that reflect the size, shape, and dispersion state of the particles in the polymer. In addition, UV-vis spectroscopy serves as a non-destructive method to assess nanoparticle-polymer interactions, stability over time, and the success of functionalization or coating processes. By correlating spectral features with compositional and morphological properties, UV-vis spectroscopy provides a rapid and reliable tool for optimizing PMC formulations in electronics, photonics, catalysis, and biomedical engineering. In this paper, the optical properties of various polymer nanocomposites are reviewed with examples.

Key Words

UV-vis spectroscopy, nanocomposite, nanofiller, characterization, surface plasmon resonance

(*) To whom correspondence should be addressed.
E-mail: m.kazemnejadi@gu.ac.ir

مقاله مروری

بسپارش
فصلنامه علمی
سال شانزدهم، شماره ۱،
صفحه ۱۲-۳، ۱۴۰۵
ISSN: 2252-0449

اثر پرکننده‌های نانوذرات فلزی در مطالعات طیف‌سنجی فرابنفش مرئی نانوکامپوزیت‌های پلیمری

میلاد کاظم‌نژادی[1*] و محسن اسماعیل‌پور[2]

۱- گرگان، دانشگاه گلستان، دانشکده علوم، گروه شیمی،

۲- تهران، پژوهشگاه نیرو، گروه پژوهشی شیمی و فرایند، کد پستی ۱۴۶۸۶۱۷۱۵۱

دریافت: ۱۴۰۴/۵/۱۳، پذیرش: ۱۴۰۴/۸/۳۰

چکیده

طیف‌سنجی فرابنفش مرئی (UV-vis) نقش محوری در توصیف نانوکامپوزیت‌های پلیمری (PMCs) ایفا می‌کند و درک تحلیلی مهمی دربارهٔ خواص نوری، برهم‌کنش‌های مولکولی و یکپارچگی ساختاری آن‌ها ارائه می‌دهد. این فن امکان تشخیص نوارهای جذب مشخصه مرتبط با ماتریس پلیمری و نانوذرات جاسازی‌شده را فراهم می‌کند و شناسایی گذارهای الکترونیکی مانند $\pi \rightarrow \pi^*$ و $n \rightarrow \pi^*$ را آسان می‌سازد. در PMCهای حاوی نانوذرات فلزی یا اکسید فلزی، طیف‌سنجی UV-vis به‌ویژه برای مشاهده پدیده‌های رزونانس پلاسمون سطحی (SPR) ارزشمند است که بازتاب‌کننده اندازه، شکل و حالت پراکندگی ذرات در پلیمر هستند. افزون‌براین، طیف‌سنجی فرابنفش مرئی به‌عنوان روشی غیرمخرب برای ارزیابی برهم‌کنش‌های نانوذرات-پلیمر، پایداری در طول زمان و موفقیت فرایندهای عامل‌دار کردن یا پوشش‌دهی عمل می‌کند. طیف‌سنجی UV-vis با مرتبط کردن ویژگی‌های طیفی با خواص ترکیبی و شکل‌شناسی، ابزار سریع و قابل‌اعتمادی را برای بهینه‌سازی فرمول‌بندی‌های PMC در کاربردهای الکترونیک، فوتونی، کاتالیز و مهندسی زیست‌پزشکی فراهم می‌کند. در این مطالعه، خواص نوری نانوکامپوزیت‌های پلیمری مختلف با ذکر مثال مرور می‌شوند.



میلاد کاظم‌نژادی



محسن اسماعیل‌پور

واژگان کلیدی

طیف‌سنجی UV-vis،
نانوکامپوزیت،
نانوپرکننده،
مشخصه‌یابی،
رزونانس پلاسمون سطحی

* مسئول مکاتبات، پیام‌نگار:
m.kazemnejadi@gu.ac.ir

مقدمه

کامپوزیت‌ها مواد چندفازی هستند که با ترکیب دو مادهٔ متفاوت با هدف بهبود خواص تهیه می‌شوند و دارای کاربردهای گسترده‌ای در زمینه‌های مختلف ازجمله بسته‌بندی تا کاربردهای زیست‌پزشکی هستند. کامپوزیت‌ها از ترکیب موادی با خواص شیمیایی متفاوت ساخته می‌شوند که به‌وسیله مرزهای مشخصی از هم جدا شده‌اند. برای تهیه یک کامپوزیت، حداقل دو فاز مورد نیاز است. یکی از این فازها ماتریس است که فاز پیوسته محسوب شده و دیگری به‌طور گسترده در آن پراکنده می‌شود [۱]. خواص کامپوزیت‌ها به خواص فازهای تشکیل‌دهنده بستگی دارد که می‌توان با تغییر نسبت ماده ماتریس به ماده پراکنده، آن‌ها را بهینه‌سازی کرد. نانوکامپوزیت‌ها، نوعی کامپوزیت هستند که در آن‌ها حداقل یکی از فازها دارای ابعادی در مقیاس نانومتر (۱ nm تا ۱۰۰ nm) است. خواص نانوکامپوزیت‌ها به ابعاد ماده ماتریس (می‌تواند در مقیاس نانو باشد)، میزان بارگذاری، اندازه، شکل، جهت‌گیری و درجه پراکندگی فاز دوم (می‌تواند در مقیاس نانو باشد) بستگی دارد. همچنین، برهم‌کنش ماتریس و فاز پراکنده نقش مهمی در تقویت خواص مطلوب نانوکامپوزیت‌ها ایفا می‌کند [۲].

نانوکامپوزیت‌ها براساس نوع ماده ماتریس به سه نوع اصلی نانوکامپوزیت‌های با ماتریس سرامیکی (CMCs)، ماتریس فلزی (MMCs) و ماتریس پلیمری (PMCs) تقسیم می‌شوند. در میان سه نوع نانوکامپوزیت، PMCها به‌دلیل وزن سبک و خاصیت شکل‌پذیری عالی برای کاربردهای صنعتی مناسب‌ترند [۲]. بااین‌حال، این نوع نانوکامپوزیت‌ها در مقایسه با CMCها و MMCها خواص گرمایی، مکانیکی، الکتریکی و فیزیکی ضعیف‌تری دارند. این خواص را می‌توان با تقویت ماتریس پلیمری با نانوپرکننده‌ها، به‌طور درخور توجهی بهبود بخشید [۳]. نانوپرکننده‌ها می‌توانند خواص ماتریس پلیمری را در صورت استفاده از روش‌های سنتز مناسب مانند پلیمرشدن درجا، میان‌لایه‌ای‌شدن مذاب، سنتز قالبی و فرایند سل-ژل به‌طور مؤثر تغییر دهند. برخی از نانوپرکننده‌های رایج در PMC شامل نانورس‌ها، نانواکسیدها، نانولوله‌های کربنی (CNTs)، گرافن و نانوذرات فلزی هستند. ماتریس‌های پلیمری تقویت‌شده با نانوپرکننده‌ها به‌دلیل خواص منحصربه‌فرد و اثرهم‌افزایی حاصل از برهم‌کنش ماتریس و نانوپرکننده، به‌طور گسترده مطالعه شده‌اند. این موضوع ماتریس را برای تهیه PMC با خواص تنظیم‌پذیر مانند خواص گرمایی، الکتریکی، مکانیکی و نوری فراهم کرده است [۱].

روش‌های مشخصه‌یابی

مشخصه‌یابی و بررسی PMC تهیه‌شده با استفاده از روش‌های مناسب برای توسعهٔ کاربردهای آن بسیار حیاتی است. انتخاب روش بستگی به خاصیت مطالعه‌شده و کاربرد نانوکامپوزیت دارد. طیف گسترده‌ای از روش‌ها مانند پراش پرتو ایکس (XRD)، میکروسکوپی الکترونی پویشی (SEM)، میکروسکوپی الکترونی عبوری (TEM) و انواع طیف‌سنجی‌های زیرقرمز تبدیل فوریه (FT-IR)، رامان، UV-vis، نورالکترونی پرتو ایکس (XPS) و رزونانس مغناطیسی هسته (NMR) و روش‌های گرمایی مانند تجزیه وزن‌سنجی گرمایی (TGA)، تجزیه گرمایی تفاضلی (DTA) و گرماسنجی پویشی تفاضلی (DSC) به‌طور معمول برای بررسی ساختار و خواص نانوکامپوزیت‌ها به‌کار می‌روند [۱،۲]. خواص ساختاری بهتر است با استفاده از روش‌های XPS، FTIR، NMR و XRD بررسی شوند. خواص گرمایی نیز با استفاده از DSC، TGA و DTA ارزیابی می‌شوند. شکل، اندازه و شکل‌شناسی نانوپرکننده‌ها در ماتریس پلیمری نیز با میکروسکوپی الکترونی پویشی نشر میدانی (FESEM) و میکروسکوپ الکترونی عبوری تفکیک‌بالا (HRTEM) مشخص می‌شود. طیف‌سنجی UV-vis ابزار قدرتمندی برای درک خواص نوری نانوکامپوزیت‌هاست، اما به‌تنهایی برای ارزیابی قابلیت کاربردی PMC کافی نیست و معمولاً همراه با سایر روش‌های شناسایی به‌کار گرفته می‌شود [۱].

خواص نوری PMC

PMCهای با خواص نوری تنظیم‌پذیر کاربردهای گسترده‌ای در دیودهای نورگسیل (LED)، سلول‌های خورشیدی، قطبنده‌ها، صافی‌های رنگی، دستگاه‌های ارتباط نوری و ذخیره‌سازی داده، حسگرهای نوری و نیز در حوزه زیست‌پزشکی دارند. برخی از خواص نوری مهم PMC که برای این کاربردها بررسی شده‌اند، عبارتند از:

۱- ضریب شکست: ضریب شکست ماتریس پلیمری را می‌توان با تنظیم کسر حجمی از نانوذرات اضافه‌شده کنترل کرد. ماتریس‌های پلیمری حاوی نانوپرکننده‌هایی مانند طلا (برای ماتریس با ضریب شکست کم) و PbS (برای ماتریس با ضریب شکست بسیار زیاد) در صافی‌ها، موجبرهای نوری، چسب‌های نوری و سلول‌های خورشیدی کاربرد دارند.

۲- جذب UV: نانوکامپوزیت‌های شفاف با قابلیت جذب پرتو فرابنفش که در رنگ‌ها، لاک‌ها و رنگ‌دانه‌ها استفاده می‌شوند، ازطریق ترکیب نانوذرات جاذب UV قوی مانند ZnO، TiO_2 و

ZrO_2 در ماتریس‌های پلیمری طراحی می‌شوند.

۳- شفافیت: با افزودن نانوذرات بسیارریز به ماتریس‌های پلیمری شفاف، می‌توان اثر پراکندگی نور را کاهش داد و شفافیت نوری را بهبود بخشید.

۴- نورتابی (luminescence): نانوکامپوزیت‌های پلیمری شب‌تاب را می‌توان با افزودن نقاط کوانتومی نیمه‌رسانا (QDs) مانند CdTe، CdSe و PbSe پوشش‌یافته با ZnS تهیه کرد که ویژگی‌های نشر نوری قوی دارند [۳].

نانوپرکننده‌ها در نانوکامپوزیت‌های پلیمری (PMC)

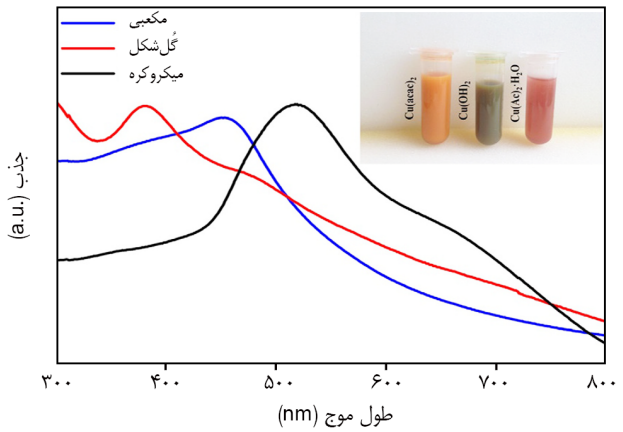
با وجود انواع مختلف نانوپرکننده‌ها، ترکیب نانوذرات معدنی با ماتریس پلیمری و تشکیل نانوکامپوزیت‌های پلیمری-معدنی ازنظر فناوری اهمیت زیادی دارند، چراکه کاربردهای بالقوه‌ای در دستگاه‌های اپتوالکترونیکی و مغناطیسی-نوری دارند. نانوپرکننده‌های معدنی پرکاربرد شامل فلزات و آلیاژهای فلزی (مانند طلا، نقره، مس، ژرمانیم، پلاتین، آهن، آلیاژ کبالت-پلاتین)، نیمه‌رساناها (مانند PbS و CdS)، اکسیدها (مانند ZnO و TiO_2) و مواد معدنی رسی (مانند مونت‌موریلونیت، ورمی‌کولیت و هکتوریت) هستند [۱]. این نانوپرکننده‌ها برای بهبود خواص نوری در انواع مختلف پلیمرها استفاده می‌شوند. در ادامه به بررسی کاربرد طیف‌سنجی UV-vis در بررسی خواص نوری نانوکامپوزیت‌های پلیمری تقویت‌شده با نانوذرات فلزی و نیمه‌رسانا پرداخته می‌شود.

نانوذرات فلزی به‌عنوان نانوپرکننده

الکترون‌های آزاد موجود در فلزات کوانتیده، پلاسمون نامیده می‌شوند. آن‌ها با نور برهم‌کنش می‌یابند و جذب رزونانس پلاسمون سطحی (SPR) را ایجاد می‌کنند. بسامد نوسان پلاسمون‌های سطحی برای فلزات نجیب مانند طلا، نقره، مس و برخی آلیاژها در ناحیه مرئی طیف قرار دارد که به ایجاد رنگ خاصی برای هر خوشه فلزی در مقیاس نانو منجر می‌شود. حالت‌های نوسانی پلاسمون‌های سطحی تا حد زیادی به شکل و تا حدی به اندازه نانوذرات فلزی بستگی دارد [۴]. نانوذرات کروی به‌صورت همسان‌گرد با نور برهم‌کنش دارند و درنتیجه پیک جذب SPR را در طیف UV-vis نشان می‌دهند. بااین‌حال، ذرات ناهمسان‌گرد (بیضوی و میله‌ای) دو پیک جذب را نشان می‌دهند:

۱- پیک عرضی که مستقل از نسبت ابعاد است و در ذرات کروی نیز یافت می‌شود.

۲- پیک طولی که در طول موج بالاتر ظاهر می‌شود و نوعی



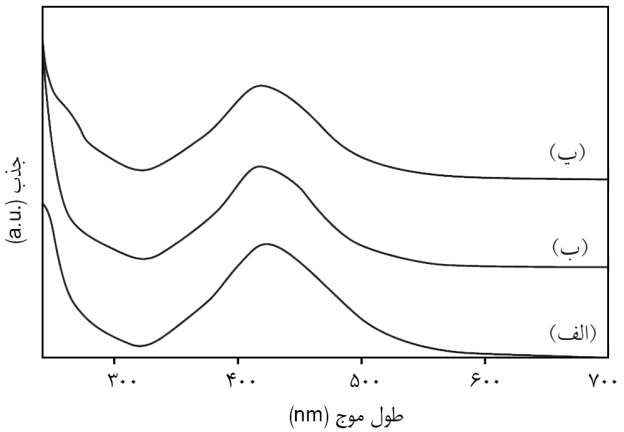
شکل ۱- پیک‌های جذب رزونانس پلاسمون سطحی (SPR) حاصل از نانوذرات مس با ساختارهای مکعبی، گُل-شکل و میکروکره [۲].

ویژگی از نسبت ابعاد ذره (سطح به حجم) است (شکل ۱) [۴-۲]. طول موج‌های جذب SPR عرضی و طولی برای فلزات Ag، Cu و Au در جدول ۱ درج شده است. وجود و/یا عدم وجود این پیک‌ها، موقعیت پیک، شدت پیک و پهنای آن اطلاعات بسیار باارزشی درباره نانوذرات فلزی به‌دست می‌دهد. هنگامی که این نانوذرات فلزی به‌عنوان نانوپرکننده در ماتریس‌های پلیمری استفاده می‌شوند، طیف‌سنجی UV-vis می‌تواند یکی از مهم‌ترین روش‌های شناسایی برای بررسی اندازه و توزیع نانوپرکننده در ماتریس، پایداری نانوکامپوزیت و برهم‌کنش ماتریس و نانوپرکننده باشد.

Zhu و Zhu [۵]، نانوکامپوزیت‌های پلی‌آکریل آمید-فلز (شامل پلاتین، نقره و مس) را با استفاده از گرمایش ریزموج تهیه کرد که در آن نانوذرات فلزی به‌طور یکنواخت در ماتریس پلیمری پراکنده شده‌اند. این PMC با تشکیل هم‌زمان نانوذرات فلزی و پلیمرشدن مونومر آکریل آمید (AM) در یک مرحله تهیه شده که به توزیع همگن نانوذرات فلزی در ماتریس پلی‌آکریل آمید منجر شد. اتیلن گلیکول (EG) به‌عنوان عامل کاهش و حلال استفاده شد، بنابراین نیازی به افزودن عامل کاهنده اضافی نبود. پایداری محلول کلوئیدی نانوکامپوزیت تهیه‌شده با استفاده از طیف‌سنجی UV-vis، ازطریق بررسی قلهٔ جذب SPR نانوذرات نقره بررسی شد. نانوذرات نقره

جدول ۱- ویژگی‌های SPR نانوذرات فلزات نجیب.

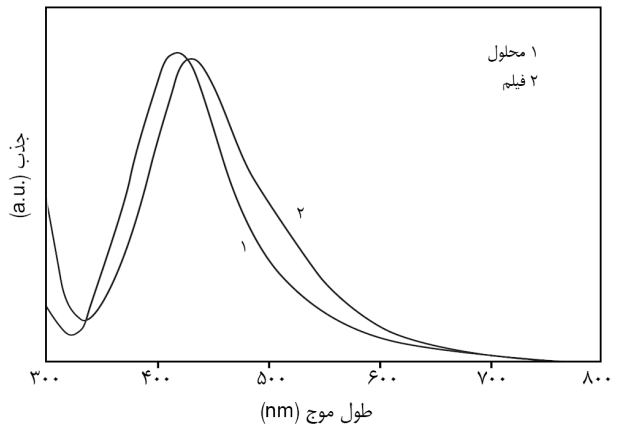
نانوذره فلزی	SPR λ_{max} (nm)		مرجع
	عرضی	طولی	
مس	۵۶۰	> ۷۰۰	۲
نقره	۴۲۰	> ۶۵۰	۳
طلا	۵۲۰	> ۷۰۰	۴



شکل ۲- طیف‌های جذبی UV-vis مربوط به: (الف) محلول کلوئیدی نانوکامپوزیت تهیه‌شده با گرمادهی ریزموجی محلول EG حاوی ۰/۰۱ M $AgNO_3$ و آکریل آمید ۳ M AM در دمای ۱۲۵ °C به‌مدت ۱۵ min، (ب) پس از ۸ ماه پیرسازی و (پ) محلول بازپراکنشی نانوکامپوزیت کلوئیدی EG [۵].

کروی معمولاً حداکثر جذب SPR را در بازهٔ حدود ۴۱۰ nm تا ۴۲۰ nm دارند. در این مطالعه، قلهٔ جذب نانوکامپوزیت در حدود ۴۲۳ nm مشاهده شد که وجود نانوذرات نقره در ماتریس پلیمری را تأیید می‌کند. همچنین، طیف جذب نمونهٔ تازه تهیه‌شده با نمونهٔ نگهداری‌شده به‌مدت ۸ ماه مقایسه شد. نوار جذب در حدود ۴۲۳ nm در هر دو نمونه بدون تغییر باقی ماند که نشانگر پایداری زیاد و عدم تجمع نانوذرات نقره در ماتریس پلیمری است (شکل ۲).

Khanna و همکاران [۶]، نانوذرات نقره را با استفاده از دو عامل کاهنده مختلف، شامل هیدرازین هیدرات (HH) و سدیم فرمالدهید سولفوکسالات (SFS) در ماتریس پلی‌وینیل الکل (PVA) به‌طور هم‌زمان در یک ظرف سنتز کردند. طیف‌سنجی UV-vis برای ارزیابی کیفیت نانوذرات تهیه‌شده با این دو عامل کاهنده به‌کار گرفته شد. قله‌های SPR برای نانوذرات نقره تهیه‌شده با هر دو عامل در حدود ۴۱۸ nm ظاهر شدند که نشانگر تشکیل نانوذرات نقره در ماتریس پلیمری است (شکل ۳). بااین‌حال، الگوی جذب نانوذرات نقره تهیه‌شده با SFS تیزتر بود که نمایانگر توزیع اندازه ذرات باریک‌تر است. درحالی‌که نمونه تهیه‌شده با HH، قلهٔ پهن‌تری را نشان داد که بیانگر توزیع اندازه ذرات ناهمگن‌تر است. افزون‌براین، پهنای قله در نیمهٔ بیشینه (PWHM) نیز به‌عنوان پارامتر مهمی در طیف‌سنجی UV-vis برای بررسی اندازه و توزیع نانوذرات در محیط و ماتریس استفاده شد. مقدار PWHM برای نانوذرات تهیه‌شده با HH حدود ۱۱۰ nm بود، درحالی‌که برای نمونهٔ تهیه‌شده با SFS تنها ۸۵ nm

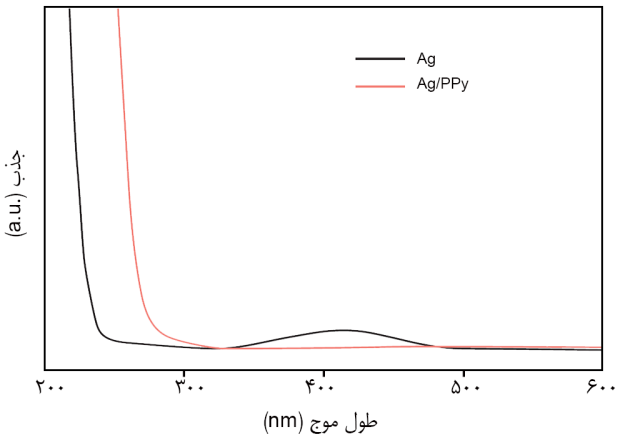


شکل ۳- طیف‌های جذبی UV-vis نانوکامپوزیت Ag/PVA تهیه‌شده با استفاده از هیدرازین هیدرات [۶].

گزارش شد. بنابراین تحلیل طیف UV-vis، وجود توزیع اندازه ذرات باریک‌تر در نانوکامپوزیت‌های تهیه‌شده با SFS را تأیید می‌کند. درنتیجه در میان دو مسیر کاهش، SFS نانوذرات نقره را با کیفیت بهتری در PVA نسبت به HH تولید می‌کند.

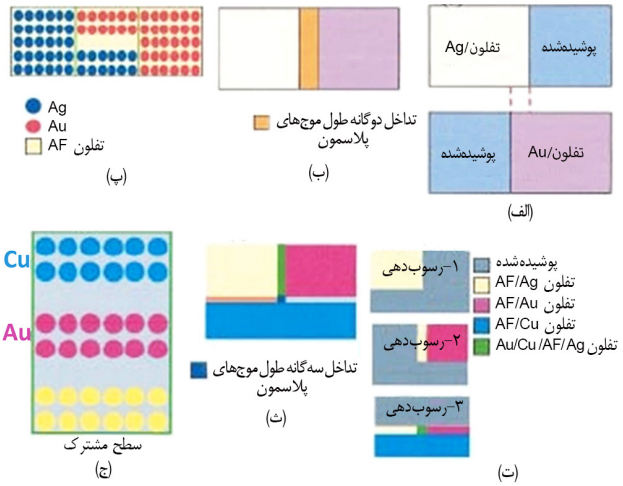
نانوکامپوزیت‌های پلیمری حاوی پلی‌پیرول (PPy)، PVA و کربوکسی‌متیل سلولوز (CMC) با نانوذرات نقره ازپیش سنتزشده با مخلوط کردن محلول کلوئیدی نانوذرات نقره با محلول آبی پلیمرهای مزبور تهیه شدند. طیف‌سنجی UV-vis برای بررسی برهم‌کنش نانوپرکننده (نانوذرات نقره) و سه ماتریس پلیمری مختلف ازطریق مشاهده قلهٔ SPR نانوذرات نقره در حالت خالص و ترکیب‌شده استفاده شد. قلهٔ SPR در محلول کلوئیدی خالص نانوذرات نقره در حدود ۴۱۷ nm بود [۷]. این قله در محلول حاوی پیرول ناپدید شد که ناشی از تشکیل پوشش تیره‌رنگ پلی‌پیرول روی نانوذرات نقره است (شکل ۴). فیلم‌های نانوکامپوزیتی PVA/Ag با ترکیب‌های مختلف نقره نیز رفتار جالبی را در طیف جذب SPR نشان دادند. این فیلم‌ها نوار جذب SPR وسیعی با قله‌ای در حدود ۴۲۰ nm را داشتند. این جابه‌جایی به طول موج بلندتر و پهن‌شدن نوار جذب در اثر ورود نانوذرات نقره به ماتریس PVA، به تجمع ذرات نقره یا تغییر در خواص دی‌الکتریک محیط نسبت داده می‌شود. الگوی جذب مشابهی نیز در نانوکامپوزیت‌های CMC/Ag مشاهده شد.

Biswas و همکاران [۸]، روش جدید و ساده‌ای برای هم‌رسوبی فاز بخار تفلون با نانوذرات مس، نقره و طلا در دماهای هدف زیاد همراه با فن روپوشانی (masking) انتخابی برای تولید ماده نوری چندجزئی با هفت صفحه فعال نوری UV-vis مختلف ناشی

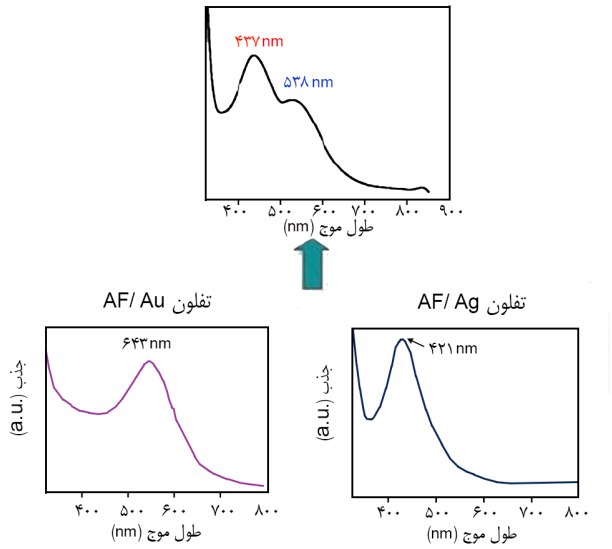


شکل ۴- طیف UV-vis محلول کلوئیدی نانوذرات نقره و نانوذرات Ag/Ppy [۷].

از فصل مشترک‌های تفلون (پلی‌تترافلوئورواتیلن) AF/Ag، تفلون AF/Au و تفلون AF/Cu معرفی کرده‌اند (شکل ۵). سامانه‌های تکامل‌یافته قابلیت نشان دادن پاسخ SPR چندگانه تنظیم‌پذیر را در طول موج‌های مختلف UV-vis دارند که از صفحه‌های فعال نوری مختلف چنین سامانه‌هایی ناشی می‌شود. تفلون AF به‌دلیل مقاومت زیاد دربرابر حمله شیمیایی و شفافیت عالی به‌عنوان ماتریس پلیمری انتخاب شده است. طیف UV-vis برای سامانه اپتیکی تفلون Ag/Au نشانگر پاسخ پلاسمون دوگانه بوده که از ۴۳۷ nm تا ۵۴۳ nm



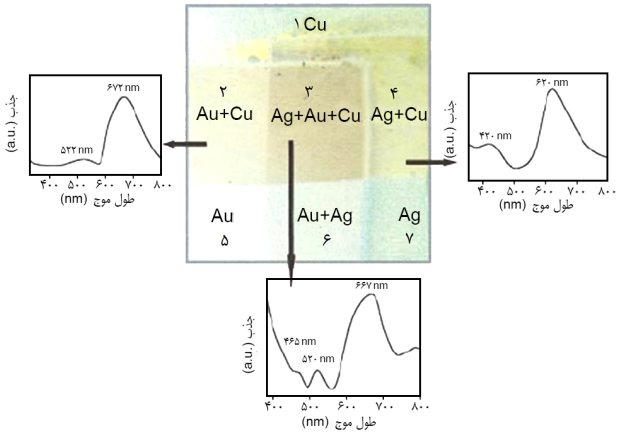
شکل ۵- (الف-پ) طرح‌واره‌هایی از فن روپوشانی برای تولید ساختار نانوکامپوزیت پلیمر-فلز با سطح مشترکی که محل اتصال دو نانوکامپوزیت مختلف را ایجاد می‌کند. (ت-ج) روپوشانی پیاپی برای تولید نوعی سامانه نوری با ۷ صفحه فعال نوری مختلف. نمایی از روش تولید محل اتصال سه نانوکامپوزیت مختلف با ساختار لایه‌ای نیز نشان داده شده است [۸].



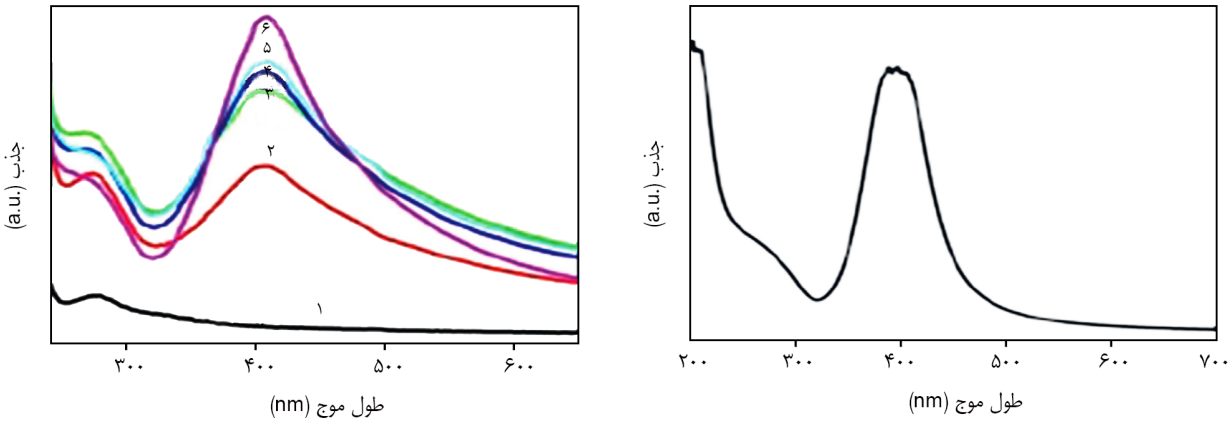
شکل ۶- رزونانس‌های پلاسمون ذره‌ای ناشی از صفحه‌های مختلف سامانه نوری نانوکامپوزیت‌های تفلون AF/Ag و تفلون AF/Au [۸].

تنظیم‌پذیر است (شکل ۶). حد کم این بازه ناشی از ویژگی‌های نانوذرات نقره و حد زیاد آن مربوط به نانوذرات طلاست. پاسخ مشابهی در طیف UV-vis سامانه‌های تفلون AF/Au و تفلون Ag/Cu نیز مشاهده شد (شکل ۷). زمانی که هر سه نوع نانوذره در ماتریس پلیمری قرار گرفتند، پاسخ نوری تنظیم‌پذیر در بازه ۴۶۵ nm تا ۴۷۲ nm به‌دست آمد. چنین مواد نانوکامپوزیتی پلیمری-فلزی با پاسخ نوری تنظیم‌پذیر، قابلیت استفاده در صافی‌های چندرنگ و حسگرهای گازی را دارند.

Saini و همکاران [۹] از طیف‌سنجی جذبی برای مطالعه خواص نوری نانوکامپوزیت Ag-PVA استفاده کردند. خواصی مانند ضریب جذب، ضریب شکست و ثابت دی‌الکتریک از داده‌های طیف‌سنجی



شکل ۷-سامانه تولیدشده شامل ساختارهای ترکیبی از سه نانوکامپوزیت مختلف تفلون AF/Ag، تفلون AF/Au و تفلون AF/Cu [۸].

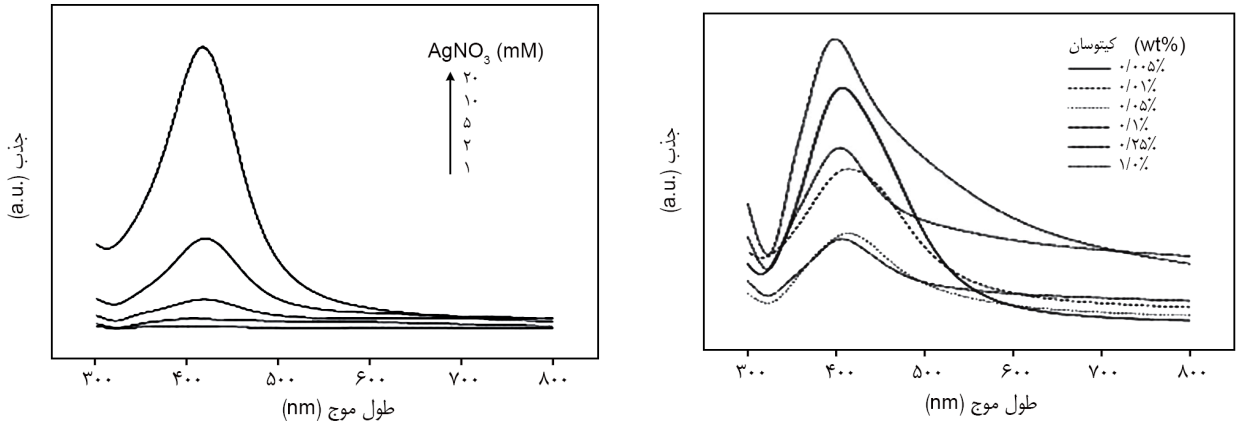


(الف) (ب)

شکل ۸- طیف جذب: (الف) نانوذرات Ag و (ب) فیلمهای (۱) PVA خالص و نانوکامپوزیت Ag/PVA حاوی (۲) ٪۰/۰۲، (۳) ٪۰/۰۴، (۴) ٪۰/۰۴۸، (۵) ٪۰/۰۵۶ و (۶) ٪۰/۰۶۲ وزنی نانوذرات نقره [۹].

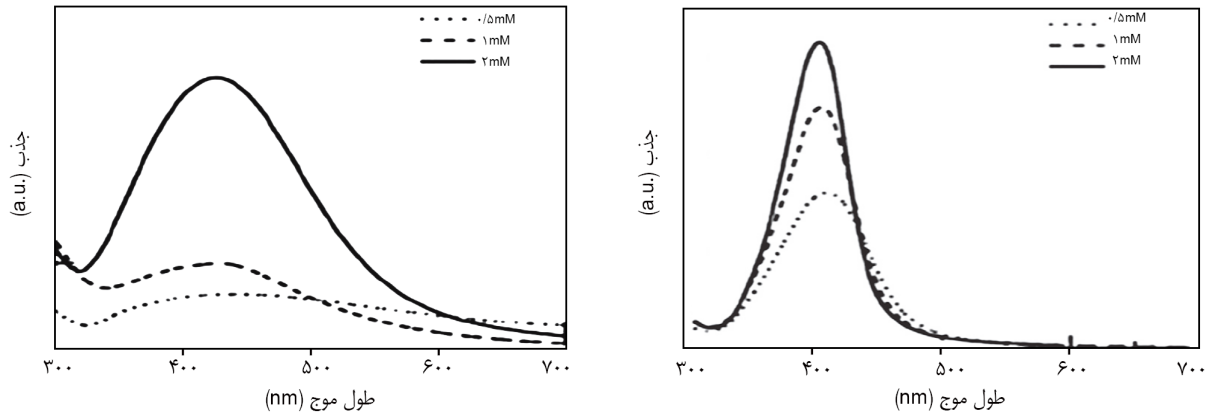
محاسبه شدند. نتایج نشان داد، با افزایش غلظت نانوذرات نقره، ضریب شکست PVA افزایش می‌یابد. شکل‌های ۸الف و ب، طیف جذب UV-vis محلول کلوئیدی نانوذرات نقره و فیلم‌های نانوکامپوزیت Ag-PVA با غلظت‌های مختلف نقره را نشان می‌دهند. قلهٔ SPR برای محلول کلوئیدی خالص در حدود nm ۳۹۵ بود که در فیلم‌های Ag-PVA به قلهٔ نسبتاً پهن‌تری در حدود nm ۴۰۵ انتقال یافت. این انتقال به قرمز (red shift) به افزایش اندازه ذرات و/یا توزیع اندازهٔ گسترده‌تر نانوذرات در ماتریس نسبت داده می‌شود. زیرا عرض نوار، شدت و موقعیت طول موج SPR به اندازه، شکل و محیط اطراف ذرات فلزی بستگی دارد. ماتریس‌های زیست‌پلیمری به‌دلیل داشتن خواص زیست‌سازگار و غیرسمی به‌طور گسترده برای تهیه نانوکامپوزیت‌های پایه‌فلزی استفاده می‌شوند. سلولوز [۱۰]، ژلاتین [۱۱]، نشاسته [۱۲] و کیتوسان [۱۳] ازجمله زیست‌پلیمرهایی هستند که با استفاده از نانوپرکننده‌های مناسب به زیست‌نانوکامپوزیت تبدیل می‌شوند. نانوکامپوزیت‌های با دارمونومر فلزی با پلی(استیرن سولفونات) [۱۴] و پلی‌آمیدوآمین (PAMAM) [۱۵] سنتز شده‌اند. چنین زیست‌نانوکامپوزیت‌هایی دامنه وسیعی را در ماتریس زیست‌پزشکی و اصلاح محیط‌زیست ارائه می‌دهند.

Huang و همکاران [۱۶]، نانوکامپوزیت‌های مختلف کیتوسان فلزی را با نانوذرات نقره Pt، Au، Ag و Pd در محلول‌های آبی سنتز کرده‌اند. غلظت بهینه نانوذرات کیتوسان و Ag در نانوکامپوزیت با تجزیه‌وتحلیل پیک SPR، نانوذرات Ag در ماتریس پلیمری در طیف‌های UV-vis تعیین می‌شود. همان‌طور که در شکل ۹ نشان



(الف) (ب)

شکل ۹- طیف‌های UV-vis نانوکامپوزیت‌های کیتوسان-Ag تهیه‌شده با غلظت‌های مختلف: (الف) کیتوسان و (ب) نمک نقره [۱۶].



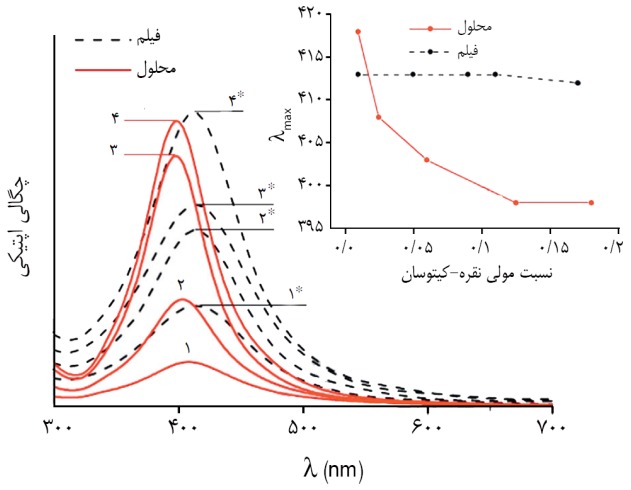
(ب) (الف)

شکل ۱۰- طیف‌های UV-vis محلول‌های نانوکامپوزیت گلیکوژن-نقره با مقادیر مختلف نقره در نمونه‌های تهیه‌شده با: (الف) ریزموج و (ب) معمولی [۱۷].

داده شده است، هنگامی که غلظت کیتوسان افزایش می‌یابد، شدت نوار جذب کاهش یافته و سپس با افزایش بیشتر غلظت کیتوسان، دوباره افزایش می‌یابد. هم‌زمان، مرکز نوار جذب با تغییر غلظت کیتوسان کمی جابه‌جا می‌شود. تمام این تغییرات در جذب UV-vis نشان می‌دهد، اندازه نانوذرات نقره تشکیل‌شده با غلظت کیتوسان تغییر کرده که به‌عنوان کنترل‌کننده هسته‌زایی و همچنین تثبیت‌کننده عمل می‌کند. با افزایش غلظت Ag^{+}، شدت پیک به‌دلیل تشکیل نانوذرات Ag بیشتر در ماتریس افزایش می‌یابد (شکل ۹ب). نوار جذب برای نانوذرات Ag حدود ۴۱۷ nm و برای نانوذرات Au حدود ۵۲۰ nm است. نانوذرات پلاتین و پالادیم هیچ جذب پلاسمونی در ناحیه UV-vis طیف نشان ندادند.

Bozanic و همکاران [۱۷] از زیست‌پلیمر گلیکوژن به‌دست‌آمده از کبد گاو به‌عنوان عامل تثبیت‌کننده برای رشد نانوذرات نقره استفاده کردند. نمونه‌هایی با مقادیر مختلف نقره با دو روش مختلف تهیه شدند که شامل گرم کردن سریع (با استفاده از تابش ریزموج) و آهسته (معمولی) مخلوط‌های واکنش است. در اینجا از طیف‌سنجی UV-vis برای ارزیابی کیفیت نانوذرات تشکیل‌شده با استفاده از زیست‌پلیمر با دو روش مختلف استفاده شده است. نمونه‌های تهیه‌شده با استفاده از تابش ریزموج، پیک‌های SPR باریک‌تری را نشان دادند (شکل ۱۰). این موضوع نمایانگر توزیع بهتر اندازه ذرات در این ساختار نسبت به نمونه‌های تشکیل‌شده با روش گرمایش آهسته است.

Mironenko و همکاران [۱۸] لایه‌های نازک زیست‌نانوکامپوزیت کیتوسان-نقره را با روش پوشش‌دهی چرخشی برای کاربرد به‌عنوان موجبرهای نوری مسطح ساختند. نانوذرات نقره با اندازه کمتر از ۱۰ nm به‌طور همگن در ماتریس کیتوسان ازطریق سنتز هم‌زمان در یک ظرف نانوذرات نقره در ماتریس پلیمری به‌وسیله سدیم بوروهیدرید توزیع شدند. همچنین، زیست‌نانوکامپوزیت به‌شکل لایه نازک ریخته‌گری شد. طیف‌سنجی UV-vis برای تأیید ماهیت کروی نانوذرات در لایه و محلول استفاده شد که به‌وسیله نوار جذب باریکی در ۴۱۳ nm در طیف‌ها نشان داده شده است (شکل ۱۱). ضریب شکست لایه با افزایش کسر حجمی نقره تا ٪۲/۵۵ از ۱/۵۳ به ۱/۶۹ افزایش یافت. فیلم‌های نانوکامپوزیتی تهیه‌شده دارای خواص موجبری تا کسر حجمی نقره ٪۱/۳ با ضریب شکست ۱/۵۸ بودند.



شکل ۱۱- طیف‌های UV-vis کامپوزیت‌های کیتوسان-نقره و وابستگی طول موج حداکثر جذب به نسبت جرمی نقره-کیتوسان (تصویر درونی). نسبت‌های جرمی نقره-کیتوسان در طیف‌ها: (۱) ۰/۲۵، (۲) ۰/۰۶، (۳) ۰/۱۲۵، (۴) ۰/۱۸، (*۱) ۰/۰۵، (*۲) ۰/۰۹، (*۳) ۰/۱۱ و (*۴) ۰/۱۷ [۱۸].

نتیجه‌گیری

UV-vis یکی از روش‌های مهم شناسایی ویژگی‌ها برای مطالعه ویژگی‌های نوری کامپوزیت‌های پایه‌پلیمری است. این روش به درک بهتر برهم‌کنش ماتریس و نانوپرکننده کمک کرده و نقش نانوپرکننده‌ها را در بهبود ویژگی‌های نانوکامپوزیت‌ها تحلیل می‌کند. UV-vis در کنار سایر روش‌های شناسایی ویژگی‌ها، ابزاری ضروری برای ارزیابی ویژگی‌های نوری مطلوب نانوپرکننده‌ها در ماتریس پلیمری است. برپایهٔ تحلیل ویژگی‌های جذبی کامپوزیت‌های پایه‌پلیمری، می‌توان با انتخاب دقیق نوع و ترکیب نانوپرکننده‌ها در ماتریس پلیمری به تنظیم دقیق ویژگی‌های نوری مدنظر دست یافت. این مطالعه اهمیت روش طیف‌سنجی UV-vis را در شناسایی ویژگی‌های نانوکامپوزیت‌های پلیمری حاوی برخی نانوپرکننده‌های پاسخگو به نور (مانند فلزات، نانوبلورهای نیمه‌رسانا و نانواکسیدها) آشکار می‌کند، روشی که به توسعه مواد کاربردی با کاربردهای مهم فناورانه می‌انجامد.

تشکر و قدردانی

بدین‌وسیله از کلیه حمایت‌های مادی و معنوی دانشگاه گلستان تقدیر و تشکر می‌شود.

مراجع

1. Ebrahimi F. and Dabbagh A., A Comprehensive Review on Modeling of Nanocomposite Materials and Structures, *J. Comput. Appl. Mech*., **50**, 197-209, 2019.
2. Chen L., Zhang Y., Zhu P. et al., Copper Salts Mediated Morphological Transformation of Cu_2O from Cubes to Hierarchical Flower-Like or Microspheres and Their Supercapacitors Performances, *Sci. Rep*., **5**, 9672, 2015.
3. Cao Z., Fu H., Kang L. et al., Rapid Room-Temperature Synthesis of Silver Nanoplates with Tunable In-Plane Surface Plasmon Resonance from Visible to Near-IR, *J. Mater. Chem.*, **18**, 2673-2678, 2008.
4. Saute B., Premasiri R., Ziegler L., and Narayanan R., Gold Nanorods as Surface Enhanced Raman Spectroscopy Substrates for Sensitive and Selective Detection of Ultra-Low Levels of Dithiocarbamate Pesticides, *Analyst*, **137**, 5082-5087, 2012.
5. Zhu J.F. and Zhu Y.J., Microwave-Assisted One-Step Synthesis of Polyacrylamide-Metal (M) Ag, Pt, Cu) Nanocomposites in Ethylene Glycol, *J. Phys. Chem. B*, **110**, 8593-8597, 2006.
6. Khanna P.K., Singh N., Charan S. et al., Synthesis and Characterization of Ag/PVA Nanocomposite by Chemical Reduction Method, *Mater. Chem. Phys*., **93**,117-121, 2005.
7. Chitte H.K., Bhat N.V., Karmakar N.S. et al., Synthesis and Characterization of Polymeric Composites Embedded with Silver Nanoparticles, *World J. Nano Sci. Eng.*, **2**, 19-24, 2012.
8. Biswas A., Aktas O.C., Schurmann U. et al., Tunable Multiple Plasmon Resonance Wavelengths Response from Multicomponent Polymer-Metal Nanocomposite Systems, *J. Appl. Phys. Lett*., **84**, 2655-2677, 2004.
9. Saini I., Rozra J., Chandak N., Aggarwal S., Sharma P.K., and Sharma A., Tailoring of Electrical, Optical and Structural Properties of PVA by Addition of Ag Nanoparticles, *Mater. Chem. Phys*., **139**, 802-810, 2013.
10. Petersson L. and Oksman K., Biopolymer Based Nanocomposites: Comparing Layered Silicates and Microcrystalline Cellulose as Nano Reinforcement, *Compos. Sci. Technol*., **66**, 2187-2196, 2006.
11. Kim H.W., Song J.H., and Kim H.E., Nanofiber Generation of Gelatin_Hydroxyapatite Biomimetics for Guided Tissue Regeneration, *Adv. Funct. Mater*., **15**, 1988-1994, 2005.
12. Zhao R., Torley P., and Halley P.J., Emerging Biodegradable Materials: Starch- and Protein-Based Bio-Nanocomposites, *J. Mater. Sci.*, **43**, 3058-3071, 2008.
13. Wang S.F., Shen L., Tong Y.J. et al., Biopolymer Chitosan/Montmorillonite Nanocomposites: Preparation and Characterization, *Polym. Degrad. Stabil*., **90**, 123-131, 2005
14. Balogh L.P., Redmond S.M., Balogh P., Tang H., Martin D.C., and Rand S.C., Self-Assembly and Optical Properties of Dendrimer Nanocomposite Multilayers, *Macromol. Biosci*., **7**, 1032-1046, 2007.
15. Vasile E., Serafim A., Petre D. et al., Direct Synthesis and Morphological Characterization of Gold-Dendrimer Nanocomposites Prepared Using PAMAM Succinamic Acid Dendrimers: Preliminary Study of the Calcification Potential, *Sci. World J.*, 103462, 2014.
16. Huang H., Yuan Q., and Yang X., Preparation and Characterization of Metal_Chitosan Nanocomposites, *Colloids Surf., B: Biointerfaces*, **39**, 31-37, 2004.
17. Bozanic D.K., Brankovic S.D., Bibica N., Luyt A.S., and Djoković V., Silver Nanoparticles Encapsulated in Glycogen Biopolymer: Morphology, Optical and Antimicrobial Properties, *Carbohydr. Polym.*, **83**, 883-890, 2011.

Ag Nanoparticles Thin Film Composites, *Chem. Eng. J.*, **15**, 457-463, 2014.

18. Mironenko A., Modin E., Sergeev A., Voznesenskiy S., and Bratskaya S., Fabrication and Optical Properties of Chitosan/