



سنتز سبز و مشخصه یابی نانوکامپوزیت سه جزئی $Ag/AgCl/TiO_2$ با استفاده از گیاه آویشن شیرازی (*Zataria multiflora*)

سویل محمدی^۱، حامد اهری^{۱*}، شیما یوسفی^۱

۱- گروه صنایع غذایی و تکنولوژی، واحد علوم و تحقیقات دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.

چکیده

اطلاعات مقاله

تاریخ های مقاله :

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۱/۲۴

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۵/۲۱

کلمات کلیدی:

نانوکامپوزیت،

نانوذرات نقره،

تیتانیوم دی اکسید،

آویشن

شیمی سبز به دلیل مشارکت در سنتزهای غیرمعمول نانوذرات فلزی از عصاره های گیاهی، که دارای پتانسیل ضد میکروبی هستند، نقش مهمی دارد. بنابراین سنتز سبز نانوذرات از عصاره های گیاهی راهی مناسب جهت تولید نانو ذرات می باشد. بنابراین، هدف این پژوهش، سنتز سبز نانو کامپوزیت $Ag/AgCl/TiO_2$ با استفاده از عصاره آبی آویشن شیرازی، ارزیابی اندازه و مورفولوژی نانو ذرات تولید شده بود. به این منظور ابتدا به سنتز و مشخصه یابی نانوکامپوزیت سه جزئی $Ag/AgCl/TiO_2$ با استفاده از گیاه آویشن شیرازی به کمک تکنیک های دستگاه های $FTIR$ ، TEM ، XRD ، $UV-Vis$ پرداخته شد. سپس ویژگی ضد میکروبی نانوکامپوزیت ها بررسی شد. نتایج نشان داد که بیشترین قطر هاله عدم رشد در تمامی باکتری های مورد بررسی در نانو کامپوزیت حاوی ۵۰ درصد کلر و در نانو کامپوزیت حاوی ۵ درصد (Ag/TiO_2 mol) مشاهده می شود. قطر هاله عدم رشد با افزایش غلظت از ۰/۵ به ۳ درصد در فیلم حاوی نانو ذرات $TiO_2/Ag/AgCl$ در تمام میکروارگانیسم های مورد بررسی افزایش یافت. همچنین تصاویر TEM بارگذاری یکنواخت نانوذرات $Ag/AgCl$ را روی سطح TiO_2 نشان داد. به طور کلی نتایج به دست آمده بیانگر این حقیقت است که عصاره آویشن در کنار نانوکامپوزیت های نقره و تیتانیوم دی اکسید، پتانسیل بالایی در تولید نانوذرات با خلوص بالا و در اندازه های نانومتری و با ویژگی های ضد میکروبی و کاربرد در صنایع غذایی به عنوان پوشش و فیلم دارد.

DOI: 10.22034/FSCT.20.141.94

DOR:20.1001.1.20088787.1402.20.141.7.5

* مسئول مکاتبات:

dr.h.ahari@gmail.com,

ahari.iau@gmail.com

۱- مقدمه

نانوکامپوزیت‌ها تعریفی مشابه کامپوزیت‌ها دارند با این تفاوت که در آن‌ها حداقل یکی از سه بعد (طول، عرض یا ارتفاع) فیلر در محدوده نانومتری باشد. در اغلب مواقع نانوکامپوزیت‌ها فرم توده‌ای (بالک) دارند ولی موارد زیادی نیز یافت می‌شود که نانوکامپوزیت‌ها در فرم‌های نانو پوشش، لایه نازک و نانوالیاف مورد استفاده قرار می‌گیرند (۱). نانوکامپوزیت‌ها گروه ویژه‌ای از مواد هستند که با استفاده از ترکیب دو یا چند ذره نانومتری یا اجسامی با ابعاد نانومتری با استفاده از روش خاص تولید شده و دارای خواص فیزیکی ویژه‌ای می‌باشند (۲). علت اینکه این مواد نسبت به کامپوزیت‌های متداول خواص ویژه و مطلوبتری را از خود نشان می‌دهند این است که نیروهای بین سطح مشترک تقویت کننده و زمینه در یک نانو کامپوزیت به علت ابعاد نانومتری ذرات تقویت کننده، نسبت به اندازه این نیروها در یک کامپوزیت معمولی قویتر می‌باشند. برای ساخت نانوکامپوزیت‌های پلیمری از نانو ذرات می‌توان استفاده نمود (۳). از این میان نانوذرات نقره و دی اکسید تیتانیوم دارای خواص مهارکنندگی و ضد میکروبی و مقدارپایین سمیت شناخته شده از طرف صنعت مورد توجه قرار گرفته است (۴).

فلزات در ابعاد نانو خصوصیات ضد میکروبی از خود نشان می‌دهند و در میان نانو فلزات شناخته ترین آنها ذرات نقره هستند. اثرات ضد میکروبی ترکیبات نانو نقره در تحقیقات گسترده‌ای که از پیدایش تکنیک نانو تکنولوژی پدیدار شده به اثبات رسیده است (۱). کلرید نقره (AgCl) به عنوان یک منبع پایدار از یون‌های نقره منبع مناسبی به عنوان ترکیب ضد میکروبی می‌باشد. علاوه بر این، AgCl به شکل ذرات نانو می‌تواند برای باکتری‌ها سمی تر از کلرید نقره باشد، زیرا ذرات نانو در اندازه کوچک می‌توانند از غشای سلول عبور کنند و تجمع نانوذرات درون سلولی منجر به تخریب

سلول‌ها می‌گردد (۵).

به عنوان یک ماده ضدباکتریایی جدید، ذرات TiO_2 توجه فزاینده‌ای را به خاطر ویژگی‌های خوبی نظیر پایداری، دوام و ایمنی در سال‌های اخیر به خود جلب نموده‌اند. فعالیت ضدباکتریایی TiO_2 در اثر افزودن نقره به شدت افزایش می‌یابد. دی اکسید تیتانیوم قادر است که هر نوع باکتری‌های گرم مثبت و منفی را از بین ببرد (۶).

سنتز نانو ذرات از ترکیبات گیاهی می‌تواند روشی دیگر در کنار روش‌های شیمیایی و فیزیکی برای تولید نانو ذرات باشد. این روش حافظ محیط زیست و طبیعت، می‌باشد و تولید زیستی نانو ذرات، ریسک خطر پذیری برای انسان، هوا و در مجموع اکوسیستم را بسیار پایین می‌آورد (۷). استفاده از موجودات زنده مانند میکروارگانیسم‌ها از قبیل قارچ، باکتری، مخمر، اکتینومیسست و یا ماکروارگانیسم‌ها مثل گیاهان، جلبک‌ها و غیره (به عنوان واسطی در سنتز نانو ذرات از ترکیبات معدنی)، می‌تواند روشی دیگر در کنار روش‌های شیمیایی و فیزیکی برای تولید نانو ذرات باشد. در یک روش حافظ محیط زیست و طبیعت، تولید زیستی (سبز) نانو ذرات، ریسک خطر پذیری برای انسان، هوا و در مجموع اکوسیستم را بسیار پایین می‌آورد (۸). استفاده از گیاهان دارویی از دیر باز به علت داشتن برخی ترکیبات شیمیایی خاص، به طور ویژه‌ای در درمان انواع بیماری‌ها مورد توجه قرار گرفته است. نانوذرات فلزی کاربردهای گوناگونی در پزشکی، دارویی و کشاورزی دارند. فناوری نانو، همراه با شیمی سبز، از توانایی بالایی برای تولید محصولات جدید و ضروری برخوردار است که به سلامت انسان، محیط زیست و صنایع مفید است. شیمی سبز به دلیل مشارکت در سنتزهای غیرمعمول نانوذرات طلا و نقره از عصاره‌های گیاهی، که دارای پتانسیل ضد میکروبی هستند، نقش مهمی دارد. بنابراین سنتز سبز نانوذرات طلا و نقره از

علی رغم مطالعات مختلف در این زمینه تاکنون پژوهشی در زمینه کاربرد نانو کامپوزیت سه جزئی $Ag/AgCl/TiO_2$ با استفاده از عصاره آویشن شیرازی انجام نشده است. لذا هدف از این پژوهش، تولید نانوکامپوزیت سه جزئی $Ag/AgCl/TiO_2$ با استفاده از گیاه آویشن شیرازی و ارزیابی کاربرد آن در ساخت فیلم زیست تخریب پذیر بر پایه نشاسته ذرت ارزیابی اندازه و مورفولوژی و ویژگی های نانو ذرات می باشد.

۲- مواد و روش ها

۲-۱- مواد

گیاه آویشن شیرازی از پژوهشکده گیاهان دارویی جهاد دانشگاهی کرج تهیه گردید. نیترات نقره، تیتانیوم دی اکسید از مرک تهیه شد. گونه های باکتریایی از شرکت زیست کاوش ایرانیان (ایران) خریداری شد. سایر مواد آزمایشگاهی از برندها معتبر خریداری شدند.

۲-۲- تهیه عصاره آبی گیاه آویشن شیرازی

آویشن شیرازی تهیه شده با آب مقطر به خوبی شستشو داده شدند سپس در دمای اتاق قرار گرفته تا خشک گردد و سپس ۵۰ گرم از اندام هوایی گیاه آویشن شیرازی خشک شده پس از پودر شدن به ۱۰۰ میلی لیتر آب دو بار تقطیر شده در فلاسک ۲۰۰ میلی لیتر اضافه شده و به خوبی مخلوط شد. تهیه عصاره با استفاده از همزن گرمایش مغناطیسی در دمای ۸۰ درجه سلسیوس به مدت ۶۰ دقیقه انجام شد. عصاره به دست آمده در ۷۰۰۰ دور در دقیقه به مدت ۱۵ دقیقه سانتریفیوژ شده و فیلتر شد و پس از فیلتر شدن جهت استفاده در مرحله ی بعد در یخچال (دمای ۴ درجه سلسیوس) نگهداری شد (۱۲).

عصاره های گیاهی راهی مناسب جهت تولید نانو ذرات می باشد و نانو ذرات سبز تولید شده دارای خاصیت ضد میکروبی می باشد

آویشن شیرازی با نام علمی *Zataria multiflora* عضو خانواده *Lamiaceae*، یکی از شناخته شده ترین انواع گیاهان دارویی در طب سنتی می باشد. این گیاه علفی معطر و از تیره نعناعیان بوده و ساختار بوته ای دارد و دارای ساقه مستقیم و علفی یا چوبی و پرشاخه به ارتفاع ۱۰ تا ۳۰ سانتی متر و در بعضی موارد تا ۴۵ سانتیمتر است. ساقه های منشعب این گیاه پوشیده از کرک های سفید رنگ می باشد و از قرن شانزدهم به عنوان گیاه دارویی با ارزش مصرف شده است (۹). این گیاه حاوی اسانس روغنی، تانن ها، ساپونین ها، تیمول، کارواکول، هیدروکربن های مونوترپنی سیمن و ترپنین، لینالول، کلسیم، آهن، فسفر، منیزیم، پتاسیم، سدیم، روی، می باشد (۱۰). عصاره این گیاه دارای خاصیت ضد باکتریایی، ضد قارچی می باشد، به طور عمده ترکیبات فنولی مسئول خواص ضد باکتریایی عصاره ها و اسانس ها می باشند. از این ترکیبات در آویشن شیرازی می توان به کارواکول، تیمول و اوژنول، ترکیبات فنولی و فلاونوئیدی اشاره کرد. کارواکول از طریق ایجاد سوراخ در غشای سلولی باکتریهای گرم مثبت و تخریب غشاء خارجی باکتری های گرم منفی اثر ضد میکروبی خود را می گذارد (۱۰).

تاکنون مطالعات مختلفی بر روی سنتز سبز نانوکامپوزیت ها و کاربرد آن در صنایع غذایی انجام شده است. Wang و همکاران (۲۰۲۱) به بررسی فیلم نانوکامپوزیتی بر پایه ژلاتین با سلولز باکتریایی و نانو ذرات MgO و کاربرد آن در بسته بندی تخم مرغ پرداختند (۱۱). Castillo-Henríquez و همکاران (۲۰۲۰) به بررسی سنتز سبز نانوذرات طلا و نقره از عصاره های گیاهی و کاربرد آنها به عنوان عوامل ضد میکروبی پرداختند.

۳-۲- سنتز نانوذرات نقره توسط عصاره گیاه آویشن

در ابتدا محلول نمک نیترات نقره (AgNO_3) ۰/۱ مولار تهیه شد و ۴/۷ میلی لیتر از آن به ۸ میلی لیتر آب دوبار تقطیر شده اضافه شد. زمانی که دما به ۶۰ درجه سلسیوس رسید و ثابت ماند مقدار ۰/۵ میلی لیتر عصاره گیاه آویشن (نسبت حجمی عصاره به AgNO_3 ۱۰٪) قطره قطره اضافه شد. پس از آن، سیستم به مدت ۲ ساعت با مگنت مغناطیسی با سرعت ۳۰۰ rpm استیر شد. تغییر رنگ از زرد کم رنگ به قهوه ای مایل به قرمز نشان دهنده تشکیل نانو ذرات نقره می باشد. طیف جذبی با استفاده از اسپکتروفتومتر (هیتاچی، U-2900 در محدوده ۳۰۰-۶۰۰ nm) اندازه گیری شد چرا که جذب نقره در این محدوده رخ می دهد (۱۳)/

۴-۲- سنتز نانو ذرات Ag/TiO_2 با استفاده از عصاره گیاه آویشن

به طور کلی، ۰/۳۷۵ گرم نانوذرات TiO_2 به ۸ میلی لیتر آب دوبار تقطیر شده اضافه شد. پس از آنکه به خوبی با یکدیگر مخلوط شدند ۴/۷ میلی لیتر AgNO_3 ۰/۱ مولار به آن اضافه شد و به مدت ۱۰ دقیقه در دمای ۶۰ درجه سلسیوس هم زده شد. بعد از آن ۰/۵ میلی لیتر عصاره آویشن (نسبت حجمی عصاره به نقره ۱۰٪) به صورت قطره ای اضافه شد. رنگ محلول از سفید به قهوه ای تیره در طی فرایند گرمایش تغییر یافت. پس از آن، سیستم به مدت ۲ ساعت با مگنت مغناطیسی با سرعت ۳۰۰ rpm استیر شد. مواد جامد با سانتریفیوژ با دور ۱۰۰۰۰ در دقیقه به مدت ۱۰ دقیقه جمع آوری و سه بار با استفاده از آب و سه بار با استفاده از اتانول شسته شدند و به دنبال آن در دمای ۵۰ درجه سلسیوس در طول شب خشک شدند (۱۲).

۵-۲- سنتز نانو ذرات Ag/AgCl@TiO_2 با استفاده از

عصاره گیاه آویشن نسبت کلر ۵۰ درصد

به طور کلی، ۰/۷۵ گرم نانوذرات TiO_2 به ۱۵ میلی لیتر آب دو بار تقطیر شده اضافه شد. بعد از اینکه مخلوط به خوبی هم زده شد، ۹/۴ میلی لیتر AgNO_3 ۰/۱ مولار به آن اضافه شد (نسبت مولی AgNO_3 به تیتانیوم دی اکسید ۱۰٪) و به مدت ۱۰ دقیقه در دمای ۸۰ درجه سلسیوس هم زده شد. بعد از آن ۱ میلی لیتر عصاره گیاه آویشن شیرازی به صورت قطره ای اضافه شد (نسبت حجمی عصاره به AgNO_3 ۱۰٪). رنگ محلول از سفید به قهوه ای تیره در طی فرایند گرمایش به دلیل تحریک رزونانس پلاسمون سطح تغییر یافته است که نشان دهنده تشکیل نانوذرات نقره است. هنگامی که تغییر رنگ اولیه مشاهده شد، ۱ میلی لیتر از محلول NaCl ۰/۵ مولار طی ۳۰ دقیقه به مخلوط TiO_2 - Ag اضافه شد (نسبت مولی NaCl به AgNO_3 ۵۰٪). پس از آن، سیستم به مدت ۲ ساعت با مگنت مغناطیسی با سرعت ۳۰۰ rpm استیر شد. مواد جامد با سانتریفیوژ با دور ۱۰۰۰۰ دور در دقیقه به مدت ۱۰ دقیقه جمع آوری و سه بار با استفاده از آب و سه بار با استفاده از اتانول شسته شدند و به دنبال آن در دمای ۵۰ درجه سانتیگراد در طول شب خشک شدند (۱۴).

۶-۲- سنتز نانو ذرات Ag/AgCl@TiO_2 با استفاده از عصاره گیاه آویشن نسبت کلر ۱۰۰ درصد

به طور کلی، ۰/۷۵ گرم نانوذرات TiO_2 به ۱۵ میلی لیتر آب دو بار تقطیر شده اضافه شد. بعد از اینکه مخلوط به خوبی هم زده شد، ۹/۴ میلی لیتر AgNO_3 ۰/۱ مولار به آن اضافه شد (نسبت حجمی AgNO_3 به تیتانیوم دی اکسید ۱۰٪) و به مدت ۱۰ دقیقه در دمای ۸۰ درجه سانتیگراد هم زده شد. بعد از آن ۱ میلی لیتر عصاره گیاه آویشن شیرازی به صورت قطره ای اضافه شد (نسبت حجمی عصاره به AgNO_3 ۱۰٪). رنگ محلول از سفید به قهوه ای تیره در

گذاره با ولتاژ شتاب دهنده ۱۲۰ کیلوولت تصویر برداری شد (۱۲).

۲-۶-۳- طیف سنجی مادون قرمز (FTIR)

نمونه‌های به دست آمده در آن با دمای ۷۰ درجه سلسیوس به مدت ۵ ساعت خشک گردید و سپس طیف سنجی مادون قرمز با دستگاه FT-IR مورد بررسی قرار گرفت (۱۲).

۲-۷- بررسی خاصیت ضد باکتریایی نانو کامپوزیت سه

جزئی $\text{TiO}_2/\text{Ag}/\text{AgCl}$ به روش قطر هاله عدم رشد

هدف از انجام این مرحله این بود که آگاه باشیم که اضافه کردن جزء سوم به نانو کامپوزیت باعث افزایش اثر خواهد شد یا خیر که در مقایسه با نانو کامپوزیت دو جزئی جواب مثبت بود. بین درصد ۵۰ و ۱۰۰ کلر، درصد ۵۰ عملکرد بهتری داشت و ما را به این نتیجه رساند که زیاد شدن مقدار کلر از یک حد به بعد عملکرد را کاهش می‌دهد. در نتیجه نسبت کلر ۵۰ درصد انتخاب شد.

باکتری‌های مورد مطالعه در این تحقیق شامل *سالمونلا* سویه PTCC 1709، *شریشیا کلی* سویه ATCC 19118، و *قارچ پنیسیلیوم نوتاتوم* سویه PTCC 5074، *استافیلوکوکوس اورئوس* سویه ATCC 6538، *کلیبسلا پنومونیه* سویه ATCC 700603 بودند که به صورت لیوفیلیزه از مرکز زیست کاوش ایرانیان تهیه شدند. این باکتری‌ها، توسط روش‌های استاندارد احیا گردیدند. جهت تهیه سوسپانسیون میکروبی، چند کلنی از کشت تازه و ۲۴ ساعته باکتری به محیط کشت نوتریت آگار منتقل و کدورتی معادل با نیم مک فارلند (کدورت معادل $1/5 \times 10^8$ باکتری در هر میلی‌لیتر) تهیه شد و جذب نوری در طول موج ۶۳۰ نانومتر، خوانده شد. سپس، این سوسپانسیون به نسبت ۰/۰۱ رقیق شد تا کدورت $1/5 \times 10^6$ به دست آمد. در روش انتشار چاهک با استفاده از سوپ استریل، کشتی یکنواخت

طی فرآیند گرمایش به دلیل تحریک رزونانس پلاسمون سطح تغییر یافته است که نشان دهنده تشکیل نانوذرات نقره است. هنگامی که تغییر رنگ اولیه مشاهده شد، ۲ میلی لیتر از محلول NaCl ۰/۵ مولار طی ۳۰ دقیقه به مخلوط TiO_2-Ag اضافه شد (نسبت مولی NaCl به AgNO_3 ۱/۰۰). پس از آن، سیستم به مدت ۲ ساعت با مگنت مغناطیسی با سرعت ۳۰۰ rpm استیرر شد. مواد جامد با سانتریفیوژ با دور ۱۰۰۰۰ دور در دقیقه به مدت ۱۰ دقیقه جمع‌آوری و سه بار با استفاده از آب و سه بار با استفاده از اتانول شسته شدند و به دنبال آن در دمای ۵۰ درجه سانتیگراد در طول شب خشک شدند (۱۴).

۲-۵- بررسی تشکیل نانوذرات نقره با استفاده از عصاره

ی آبی گیاه آویشن شیرازی

تشکیل نانوذرات نقره با دو روش، روش اول تغییر رنگ و روش دوم طیف سنجی UV-Vis مورد بررسی قرار گرفت.

۲-۶- تست‌های شناسایی نانو ذرات

۲-۶-۱- طیف سنجی پراش پرتو ایکس (XRD)

در این پژوهش از طیف پراش اشعه ایکس به منظور استخراج صحت سنتز نانو ذرات نقره، دی اکسید تیتانیوم و کلرید نقره و پی بردن به نوع شبکه کریستالی و اندازه نانوذرات سنتز شده استفاده شد. نانوذرات سنتز شده با استفاده از دستگاه XRD، ولتاژ ۴۰ kv و جریان ۴۰ mA و جنس آند از مس مورد بررسی قرار گرفت (۱۵).

۲-۶-۲- میکروسکوپ الکترونی گذاره (TEM)

به منظور بررسی ریخت شناسی و تایید اندازه نانو ذرات، یک قطره از نمونه سوسپانسیونی ذرات بر روی گرید فیلم کربنی قرار داده شد و پس از خشک شدن آن در دمای آزمایشگاه با استفاده از دستگاه میکروسکوپ الکترونی



Figure 1: Left to right: Extract of *Zataria multiflora*, silver nitrate solution, the sample in the last stage after 2 hours

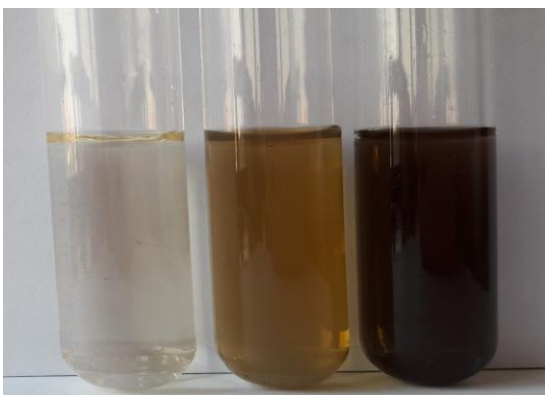


Figure 2: Left to right: control water, extract, Sample after 1 hour, the sample in the last stage after 3 hours

از سوسپانسیون با کدورت $10^6 \times 1/5$ در سطح پلیت‌ها داده شد (باکتری‌ها بر روی محیط نوترینت آگار و قارچ بر روی محیط SDA کشت داده شد). سپس چاهک‌هایی با فاصله $2/5$ سانتی‌متر از یکدیگر ایجاد و در هر یک از چاهک‌ها ۱۰۰ میلی‌گرم از نانوکامپوزیت سه‌جزئی $Ag/AgCl/TiO_2$ تزریق شد و آب مقطر به عنوان شاهد منفی استفاده گردید. پس از ۲۴ ساعت انکوباسیون در دمای 37°C درجه سلسیوس، قطر هاله عدم رشد نمونه‌های باکتریایی بر حسب سانتی‌متر اندازه‌گیری شد (۱۴).

۳- نتایج و بحث

۳-۱- نتایج تغییر رنگ نمونه‌ها در حضور نیتрат نقره

در اثر احیای یونهای نقره و تولید نانو ذرات، تغییر رنگ نمونه‌ها از زرد کم‌رنگ به قهوه‌ای یا خرمایی نشانه‌ای بر سنتز نانو ذرات نقره و اولین قدم در تشخیص انجام شدن فرایند بیوسنتز می‌باشد. شکل‌های ۱ تا ۳ تغییر رنگ عصاره نمونه را در مقایسه با شاهد نشان می‌دهند. مطالعات صورت گرفته توسط Leela و Parashar نشان دادند که تغییر رنگ عصاره به دلیل کاهش یونهای نقره در عصاره تیمار شده دلیلی برای تشکیل نانو ذرات نقره می‌باشد (۱۶). به خوبی معلوم است که نانو ذرات نقره به خاطر تحریک ارتعاشهای پلاسمون سطحی این نانو ذرات، در محلول آبی یک رنگ قهوه‌ای مایل به زرد نشان می‌دهند (۱۷).

۵۰۰ نانومتر جذب نور دارند و جا به جا شدن پیک‌ها و تغییر در شدت آنها و ایجاد تغییرات در رنگ‌های مشاهده شده، از جمله عواملی هستند که وابسته به اندازه نانو ذرات هستند. بنابراین ویژگی‌های نوری نانو ذرات کروی نقره به شدت وابسته به قطر نانو ذرات است. نانو ذرات کروی کوچک تر ابتدا نور را جذب و نقطه اوج آن نزدیک به ۴۰۰ نانومتر و بین ۴۰۰ تا ۵۰۰ نانومتر می‌باشد. نانو ذرات بزرگتر پراکندگی بیشتری نشان می‌دهند و پیک‌های وسیع‌تر داشته و به سمت طول موج بلندتر تغییر می‌یابد. نتایج آنالیز نانو ذرات نقره بیوسستز شده با دستگاه اسپکتروفتومتری UV-vis در زمانهای مختلف در شکل‌های ۱ تا ۳ نشان داده شده است. همچنین شکل ۴ نشان می‌دهد که مشخصه باند جذب تشدید پلاسمون سطحی در نزدیکی ۴۵۰ نانومتر برای نانو ذرات نقره رخ داده است. بررسی جذب UV در ناحیه ۶۰۰ تا ۳۰۰ nm و وجود یک اوج در نزدیکی ۴۵۰ nm که با گذشت زمان افزایش یافته است و پس از ۲ ساعت دیگر ثابت ماند نشانگر کاهش نیترات نقره به نانو ذرات نقره می‌باشد. که نشان دهنده اوج رزونانس پلاسمون سطح نانو ذرات نقره در نزدیکی ۴۵۰ نانومتر بود.



Figure 3: Thyme extract, control water and extract, sample after 1 hour, sample in the last stage after 3 hours

۲-۳- آنالیز نمونه‌ها با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتری

جذب UV-vis

تغییر رنگ نمونه‌ها به دلیل رزونانس پلاسمون سطحی نانو ذرات نقره می‌باشد که در محدوده طول موج مرئی و در نزدیکی ۴۰۰ نانومتر است. پس وجود پیک در این محدوده که با استفاده از دستگاه طیف سنج مرئی - فرابنفش قابلیت تشخیص آن وجود دارد قدم بعدی در اثبات ستتر زیستی نانو ذرات نقره می‌باشد و نشان دهنده تولید سوسپانسیون کلوئیدی^۱ نانو ذرات نقره می‌باشد. یکی از جالب‌ترین ویژگی‌های نانو ذرات فلزی خواص نوری آنها بوده، که متناسب با شکل و اندازه نانو ذرات تغییر می‌کند. در نانو ذرات فلزی تشدید پلاسمون سطحی^۲ مسئول خواص نوری منحصر به فرد آنهاست که تحت فاکتورهایی از قبیل اندازه نانو ذرات، شکل نانو ذرات، فاصله آنها از همدیگر و ضریب شکست محیط پیرامون تغییر می‌کند (۱۸). نانو ذرات نقره بین ۴۰۰ تا

^۱ - Hydrosol

^۲ - Surface Plasmon Resonance

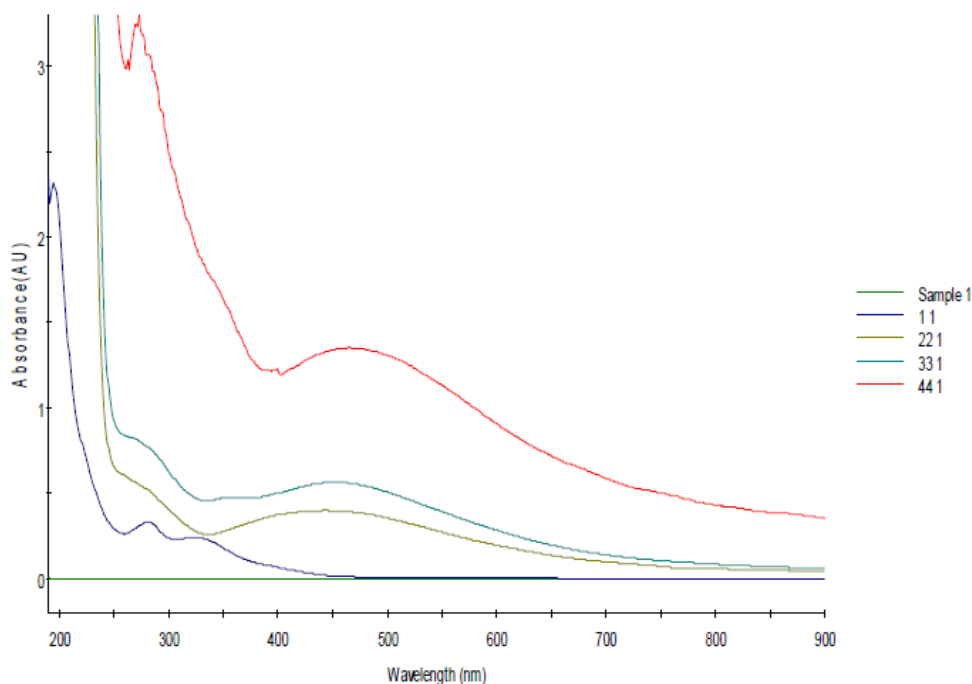


Figure 4: Ultraviolet absorption spectrum of silver nanoparticles synthesized using aqueous extract of *Zataria multiflora*

پیک بالاتری بوده است، در نتیجه این غلظت به عنوان غلظت ایتیمم معرفی شد (۲۰). در این مطالعه عصاره آویشن در فاکتور زمان با افزایش زمان و واکنش نیترات نقره با عصاره گیاه یونهای نقره بیشتری را به نانو ذره نقره تبدیل می کنند که نتایج جذب uv-vis هم می تواند گویای این مطلب باشد.

۳-۳ بررسی گروه های عاملی گیاه آویشن شیرازی

طیف های FT-IR مربوط به عصاره آبی گیاه آویشن در شکل ۵ نشان داده شده است. در ساختارهای شیمیایی ترکیبات موجود در عصاره آبی گیاه آویشن پیوندهای C-H، C-O، C=O و C=C موجود می باشد. ارتعاشات مختلف هر یک از این پیوندها منجر به ایجاد پیکی در طیف FT-IR مربوط به این ماده شده است که در جدول ۳ مشخص شده

مطالعات نشان می دهند که گیاهان قابلیت های مختلف برای پاسخ به نیترات نقره دارند (۱۹). اثر مطالعه غلظت های مختلف سه گیاه روی سنتز نانو ذرات نشان می دهد که برای گیاه مرزه بالاترین پیک مربوط به تیمار ۳ میلی مولار و برای گیاهان اسفرزه و کنجد به ترتیب ۱ و ۲ میلی مولار می باشد. این نتایج نشان می دهد که در گیاه مرزه با افزایش غلظت نیترات نقره افزایش پیک و در نتیجه سنتز بیشتر نانو ذرات نقره را شاهد هستیم. اما در دو گیاه دیگر لزوماً افزایش نیترات نقره باعث افزایش سنتز نانو ذرات نقره نشده است، همچنان که مطالعه Srivastava و همکارانش بر روی یک بریوفیت در سال ۲۰۱۱ نشان داد که از بین غلظت های ۰/۵، ۱، ۲، ۳ و ۵ میلی مولار از نیترات نقره، غلظت ۰/۵ میلی مولار برای سنتز نانو ذرات نقره بهتر بوده و دارای

مورد طیف سنجی عصاره آویشن این نتایج را تایید می کند
(۲۱, ۲۲).

است که هر پیک مربوط به کدامیک از پیوندهای شیمیایی
موجود در ساختار این ماده بوده است. مطالعات پیشین در

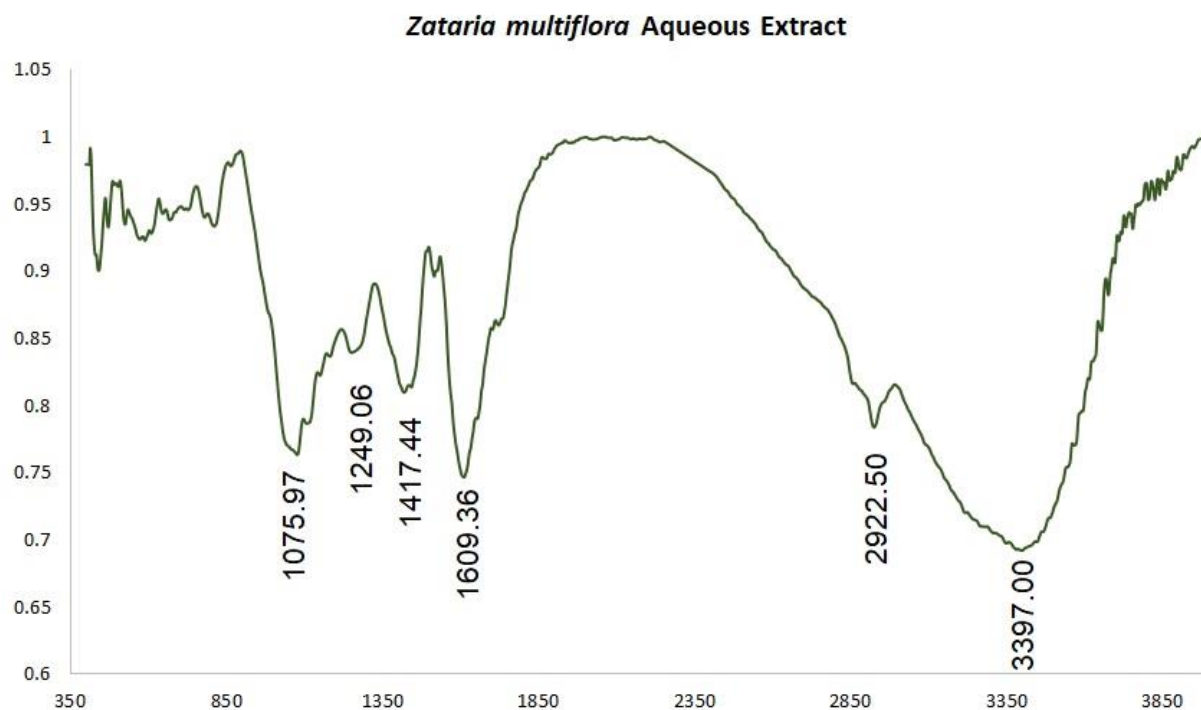


Figure 5: FT-IR spectra of Aqueous extract of *Zataria Multiflora*

Table 1: Bonds related to each peak in the FT-IR spectra

Wavelength (Cm ⁻¹)	Chemical bond
3397	Stretching vibration of O-H bond
2922	Asymmetric stretching vibration of C-H bond
1609	Bending vibration of O-H bond
1417	Bending vibration of C-H bond in CH ₂ groups
1249	Stretching vibration of C-OH bond
1075	Stretching vibration of C-O bond

زوایای براگ بین ۰ تا ۹ درجه اندازه گیری شد.

قله های فاز AgCl. نیز مشاهده می شود که در 2θ ۶۷/۵، ۵۷/۶، ۴۶/۳، ۳۲/۴ و ۲۷/۹ ظاهر شده اند. JCPDS no. (85-1355). و با C در شکل مشخص شده و به (۱۱۱)، (۲۰۰)، (۲۲۰)، (۲۲۲) نسبت داده شده اند. قله های اضافی در 2θ ۳۸/۸، ۵۶/۹، ۶۴/۴، ۷۷/۱ درجه در شکل که به صفحات (۱۱۱) و (۲۴۷)، (۲۲۰)، (۳۱۱) فاز مکعب نقره (JCPDS file no.: 65-2871) نسبت داده شده است، با A در شکل نشان داده شده است.

با توجه به شکل ۶، پیک های قوی مربوط به دیاکسید تیتانیوم و پیک های مربوط به نقره از شدت خیلی کمی برخوردار می باشند. عدم ظاهر شدن پیک جدید نشان دهنده این است که ساختار کریستالی نقره و دیاکسید تیتانیوم جدا از هم می باشند. با دقت در پیک های بدست آمده می توان مشاهده نمود که تفاوت چندانی در پیک های حاصل وجود نداشته چرا که غلظت نقره بکار رفته در ترکیب بسیار اندک بوده و پیک مشخصه نقره در طیف XRD ظاهر نشده است. این امر بیانگر این است که دوپانت در ساختار کریستالی دی اکسید تیتانیوم تغییر قابل توجهی ایجاد نکرده است ولی شدت طیف ها در مقایسه با دی اکسید تیتانیوم خالص افزایش قابل ملاحظه ای داشته است که نشان دهنده تشکیل نانوذرات ریزتر و منظم تر می باشد (۲۵).

۳-۴- تجزیه و تحلیل XRD نانو ذره های سنتز شده TiO_2/Ag توسط گیاه آویشن شیرازی

بر اساس نتایج به دست آمده، اندیس های میلر در سطوح ۱۱۱ و ۲۲۰ که به ترتیب در زاویه های 37° و 62° می باشند، مربوط به نانوذرات نقره موجود در گیاه آویشن شیرازی می باشند که وجود نانوکریستال های نقره را در آن ثابت می کند. این نتایج با پژوهش های (۲۳) و (۲۴) مطابقت دارد. اندیس های میلر در سطوح فوق الذکر بیانگر بیشترین فاز سنتز شده نانوذره نقره و تاییدی بر نتایج پژوهش حاضر است.

۳-۵- تجزیه و تحلیل XRD نانو ذره های سنتز شده $\text{Ag}/\text{AgCl}@\text{TiO}_2$ توسط گیاه آویشن شیرازی

XRD یکی از دستگاه های کارآمد در آنالیز نانومواد می باشد. با استفاده از نتایج آنالیز XRD و الگوهای خروجی از آن می توان به ماهیت کریستالی ذرات پی برد، اگرچه اندازه ذرات نیز با استفاده از این دستگاه قابل تخمین زدن می باشد. الگوی XRD نانوذرات نقره/اکسید تیتانیوم در شکل های نشان داده شده است. در این پژوهش به منظور مشخصه یابی از پراش پرتو X توسط دستگاه وابسته به خط طیفی Cu-Ka با طول موج ۰/۱۵۴ نانومتر استفاده شد.

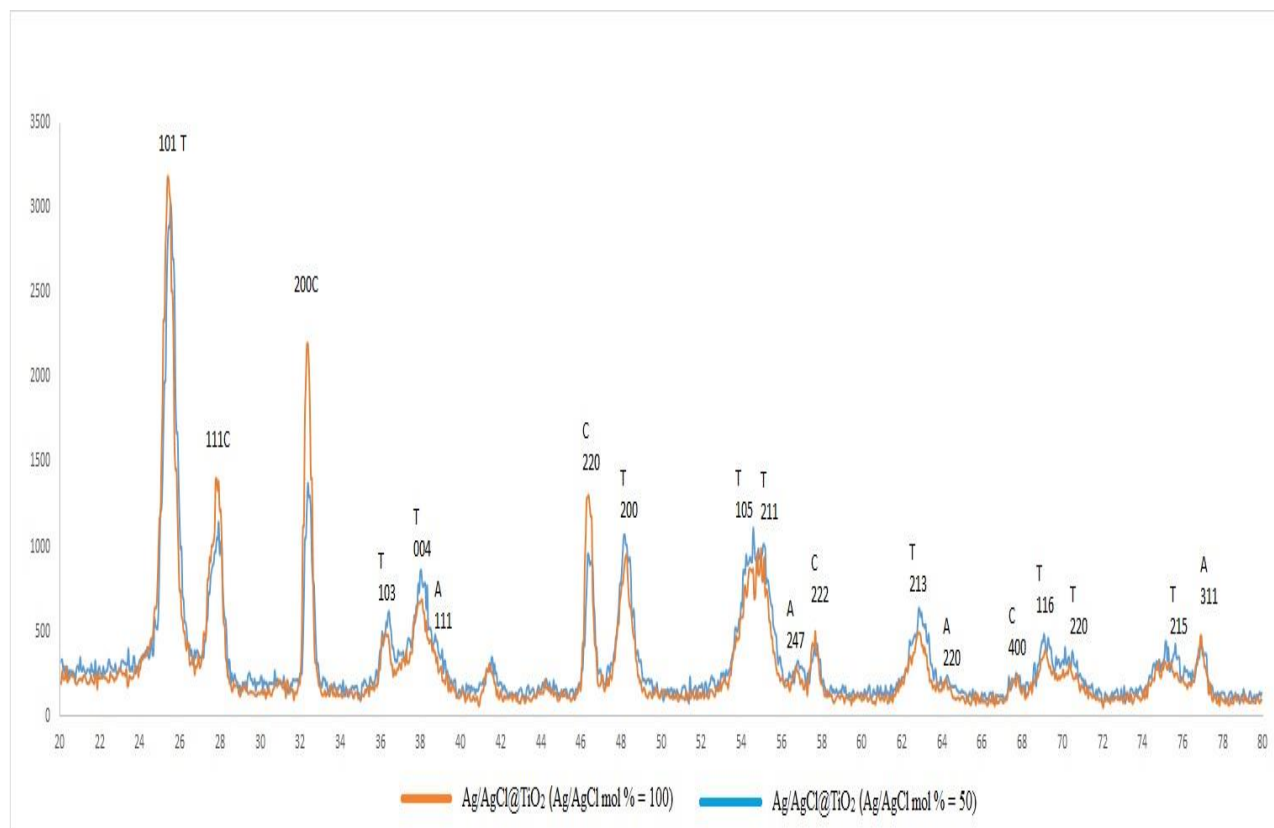


Figure 6- XRD spectrum of both Ag/AgCl@TiO₂ (Ag/AgCl mol% 100) and Ag/AgCl@TiO₂ (Ag/AgCl mol% 50) synthesized nanocomposites.

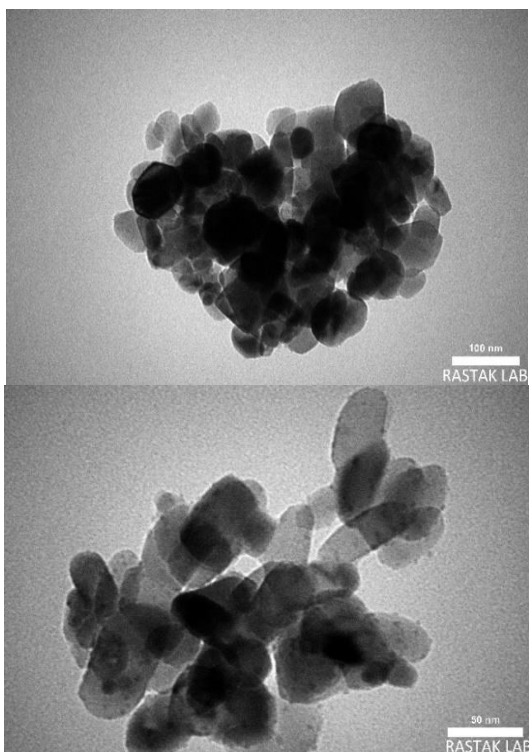
۴۴۶ = Ti or Ag) ارتباط داشته باشد (۲۶). باند جذب در ۴۴۶ به ارتعاش $\text{Ti-O} / \text{Ti-O-Ti}$ نسبت داده می شود. طیفهای ۳۳۷ و ۱۶۲۱ cm^{-1} به ترتیب OH سطح (Ti-OH TiO₂) و گروه هیدروکسیل را نشان می دهد. (۲۷). قاسمی و همکاران (۲۰۲۰) نیز با بررسی FTIR نانوکامپوزیت پلی پیرول/TiO₂-Ag، نتایج مشابهی را گزارش دادند (۴).

۷-۳- بررسی طیف FTIR TiO₂/Ag/AgCl

نوارهای مشخصه ای که به حضور Ag در نانوکامپوزیت ها نسبت داده می شود، به سختی قابل مشاهده هستند و اغلب در طیف های FT-IR شناسایی نمی شوند. با این حال، پیک های مشاهده شده در طول موج های $500\text{--}700\text{ cm}^{-1}$ می تواند با ارتعاشات کششی O-T-O یا T-O (که T



Figure 7- FT-IR spectrum of synthesized AgCl/TiO₂/Ag nanoparticles by *Zataria mltiflora*



۳-۸- بررسی مورفولوژی نانوکامپوزیت سنتز شده

Ag/AgCl@TiO₂

از میکروسکوپ الکترونی عبوری جهت مشاهده مستقیم ریز ساختارها، بررسی اندازه نانوذرات سنتز شده و نشان دادن تاثیر ماتریس در جلوگیری از تجمع نانوذرات استفاده شد. تصاویر حضور ذرات نانو در حدود ۳۰ نانومتر را نشان می دهد. در نهایت تصاویر TEM بارگذاری یکنواخت نانوذرات Ag/AgCl را روی سطح TiO₂ نشان داده است. با این حال تصاویر میکروسکوپ الکترونی نمونه های توده ای، تجمع آنها را نشان میدهد.

۳-۹- تاثیر ضد میکروبی فیلم سنتز شده با نسبت های مختلف نانو ذرات $\text{TiO}_2/\text{Ag}/\text{AgCl}$

نتایج بررسی قطر هاله عدم رشد فیلم سنتز شده با نسبت های مختلف نانو ذرات $\text{TiO}_2/\text{Ag}/\text{AgCl}$ در جدول ۲ نشان داده شده است، همانطور که مشاهده می شود قطر هاله عدم رشد با افزایش غلظت از ۰/۵ به ۳ درصد در فیلم حاوی نانو ذرات $\text{TiO}_2/\text{Ag}/\text{AgCl}$ در تمام میکروارگانیسم های مورد بررسی افزایش یافت. بر اساس جدول ۲ با افزایش کاربرد فیلم حاوی نانوکامپوزیت از ۰/۵ درصد تا ۳ درصد، قطر هاله عدم رشد به طور معناداری افزایش یافت که نشان دهنده اثر قابل توجه ضد میکروبی فیلم حاصل بود. جعفرزاده و همکاران (۲۰۲۱) نیز با استفاده از فیلم حاوی نانوکامپوزیت دی اکسید تیتانیوم و نقره خواص ضد میکروبی را در پنیر گزارش دادند (۲۸). همچنین Pirsā و همکاران (۲۰۲۰) در بررسی استفاده از فیلم حاوی نانوکامپوزیت $\text{TiO}_2\text{-Ag}$ در کره، گزارش دادند که با افزودن نانوذره تیتانیوم دی اکسید به فیلم قطر عدم هاله رشد افزایش یافته و خاصیت ضد میکروبی بالایی نشان داد (۲۹).

نتایج تعیین قطر هاله عدم رشد نانو کامپوزیت سه جزئی $\text{TiO}_2/\text{Ag}/\text{AgCl}$ سنتز شده با نسبت های مولی مختلف کلر به نیترات نقره نشان داد، بیشترین قطر هاله عدم رشد در تمامی باکتری های مورد بررسی در نانو کامپوزیت حاوی ۵۰ درصد کلر مشاهده شد و با افزایش میزان کلر به ۱۰۰ درصد قطر هاله عدم رشد در مقایسه با نانو کامپوزیت حاوی ۵۰ درصد کلر کاهش یافت. در بین باکتری های مورد بررسی بیشترین قطر هاله عدم رشد در پنیسیلیوم و کمترین در *سالمونلا* و *کلبسیلا* مشاهده شد.

نتایج بررسی قطر هاله عدم رشد نانو کامپوزیت سه جزئی

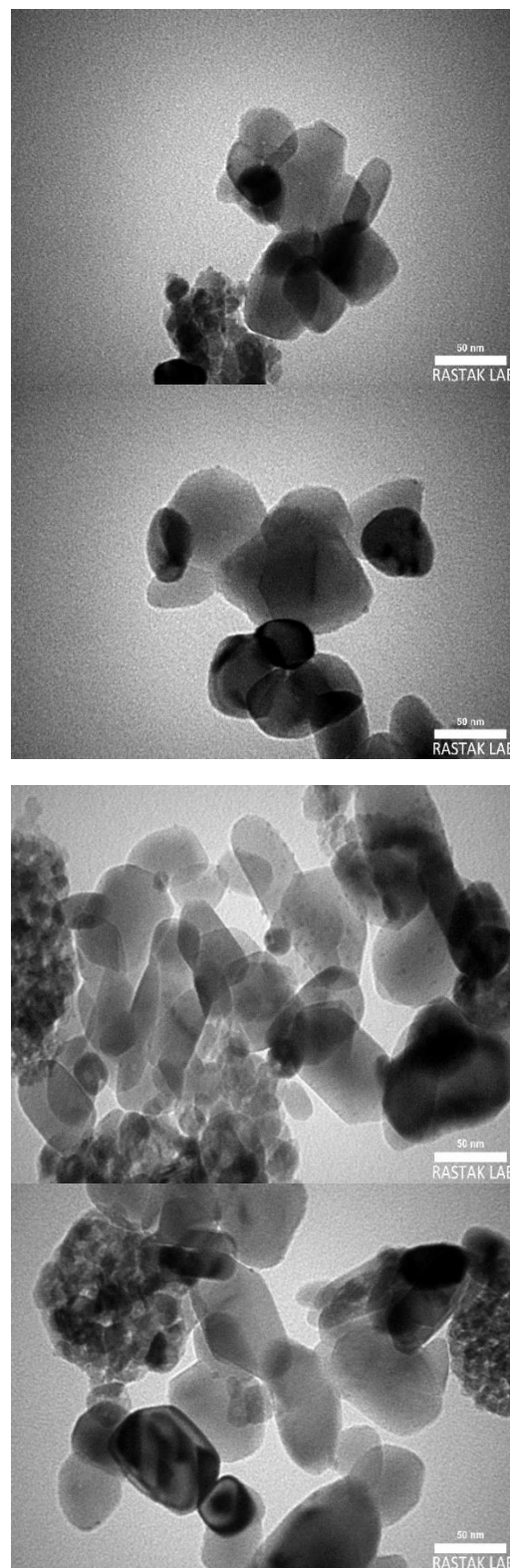


Figure 8- TEM images of $\text{Ag}/\text{AgCl}@ \text{TiO}_2$ nanoparticles.

هاله عدم رشد در مقایسه با نانو کامپوزیت حاوی ۵۰ درصد کلر کاهش یافت. در بین باکتری‌های مورد بررسی بیشترین قطر هاله عدم رشد در پنسیلیوم و کمترین در سالمونلا و کلبسیلا مشاهده شد.

TiO₂/Ag/AgCl سنتز شده با نسبت های مولی مختلف نیترات نقره به تیتانیوم در جدول ۳ نشان داده شده است، بیشترین قطر هاله عدم رشد در تمامی باکتری‌های مورد بررسی در نانو کامپوزیت حاوی ۵ درصد (Ag/TiO₂mol) مشاهده شد و با افزایش میزان نیترات به ۱۰۰ درصد قطر

Table 2. The results of investigating halo diameter without growth of three-component TiO₂/Ag/AgCl nanocomposite synthesized with different molar ratios of color to silver nitrate (Cl/AgNO₃mol%)

(Cl/AgNO ₃ mol%) nanocomposite	<i>Penicillium notatum</i>	<i>Klebsiella pneumoniae</i>	<i>Salmonella enterica</i>	<i>Staphylococcus aureus</i>	<i>E.coli</i> ATCC 19118
	PTCC 5074	ATCC 700603	ATCC 14028	ATCC 6538	
Control nanocomposite containing 0% Cl	9.67	1	1	2	1.67
Nanocomposite containing 100% Cl	10.67	1	1.33	2.33	1.33
Nanocomposite containing 50% Cl	12.33	1.67	1.67	3.33	2

Table 3. The results of investigating halo diameter without growth of three-component Ag/AgCl/TiO₂ nanocomposite synthesized with different molar ratios of silver nitrate to titanium

Three-component Ag/AgCl/TiO ₂ nanocomposite	<i>Penicillium notatum</i>	<i>Klebsiella pneumoniae</i>	<i>Salmonella enterica</i>	<i>Staphylococcus aureus</i>	<i>E.coli</i> ATCC 19118
	PTCC 5074	ATCC 700603	ATCC 14028	ATCC 6538	
Two-component nanocomposite containing 10% (Ag/TiO ₂ mol)	12.33	1.67	1.67	3.33	2
Two-component nanocomposite containing 15% (Ag/TiO ₂ mol)	12.67	1.67	2.33	4.33	2.33
Two-component nanocomposite containing 5 % (Ag/TiO ₂ mol)	12.67	2	2.33	4.67	2.67

- دلیل اول بر اساس مقایسه Ksp یا حاصل ضرب حلالیت نقره کلرید

به طور کلی در نمونه های سنتز شده دلیل داشتن اثر ضد میکروبی نسبت به سایر نانوکامپوزیت ها به دو علت زیر می باشد:

- دلیل دوم براساس حضور نانوذرات نیترات نقره در کنار

کلر

در بین باکتری‌های مورد بررسی بیشترین قطر هاله عدم رشد در پنسیلیوم و کمترین در *سالمونلا* و *کلبسیلا* مشاهده شد. به طور کلی باکتری‌های گرم مثبت نسبت به نمونه‌ها حساستر از باکتری‌های گرم منفی می‌باشند که این پدیده ممکن است بدلیل تحمل ذاتی گرم منفیها باشد. باکتری‌های گرم منفی یونهای فلزی را راحتتر اخراج میکنند. مطالعات مختلف نشان داده است که دیواره سلولی باکتری‌های گرم مثبت نسبت به باکتری‌های گرم منفی در مقابل بستاری از آنتی بیوتیکها، ترکیبات شیمیایی ضد میکروبی و حتی بستاری از داروهای گیاهی حساسیت زیادی دارند. مقاومت باکتری‌های گرم منفی احتمالا مربوط به لایه خارجی غشاء ستلولی آنها است که تقریبا نسبت به مواد و ترکیبات مختلف غیر قابل نفوذ هستند. عدم وجود این سد در باکتری‌های گرم مثبت موجب تماسهای مستقیم عوامل مختلف با بخش فسفولیپیدی غشاء سلولی میشود. این تماس موجب افزایش نفوذپذیری یونها و نشت مواد حیاتی داخل سلول شده و به این ترتیب منجر به مرگ سلول میشود (۳۲).

در مورد نانو کامپوزیت سه جزئی $\text{TiO}_2/\text{Ag}/\text{AgCl}$ سنتز شده با نسبت های مولی مختلف نیترات نقره به تیتانیوم، بیشترین قطر هاله عدم رشد در تمامی باکتری‌های مورد بررسی در نانو کامپوزیت حاوی ۵ درصد ($\text{Ag}/\text{TiO}_2\text{mol}$) مشاهده شد و با افزایش میزان نیترات به ۱۰۰ درصد قطر هاله عدم رشد در مقایسه با نانو کامپوزیت حاوی ۵۰ درصد کلر کاهش یافت. در بین باکتری‌های مورد بررسی بیشترین قطر هاله عدم رشد در پنسیلیوم و کمترین در *سالمونلا* و *کلبسیلا* مشاهده شد. افزایش اکسیدتیتانیوم نیز احتمالا منجر به افزایش اندازه ذرات و کاهش اثر میکروبی می شود.

۴- نتیجه گیری

در این پژوهش، نانوکامپوزیت سه جزئی نقره، دی اکسید تیتانیوم، کلرید نقره/نقره با استفاده از گیاه آویشن شیرازی تولید شد. ساختار نانوکامپوزیت سنتز شده به کمک

یکی از دلایل اصلی برای تعیین خاصیت ضدباکتریایی یک ماده فعل و انفعالات باکتری با یونهای مثبت آن ماده است. پس هرچه تولید یون نقره بیشتر باشد، خصلت آنتی باکتریایی ترکیب نیز بیشتر است. توضیح آنکه تحت شرایط فیزیولوژیکی، دیواره سلولی باکتری بدلیل گروههای عاملی کربوکسیلها و فسفاتو هیدروکسیلها بار منفی دارد. مکانیسم ضد باکتری یونهای Ag^+ شامل اتصال این یونها به گروههای عاملی پروتئینها و آنزیمها می باشد که موجب غیرفعالسازی و بازداری فرایندهای سلولی و غیرفعال شدن رشد باکتری میگردد. از طرفی اگر اندازه ذرات زیر ۰۱ نانومتر باشد، به راحتی میتواند وارد دیواره سلول باکتری شود و خاصیت ضدباکتری از خود نشان دهد. البته گزارشهایی هم وجود دارد که اشاره بر این دارند که نانوذرات فلزی چون نقره میتوانند در محلولهای آبی اکسید شده و در فرم اکسیدی خاصیت ضدباکتریایی از خود نشان دهند. بنابراین این نانوکامپوزیتها براساس K_{sp} و حضور نانوذرات نقره خاصیت ضدباکتریایی بالاتری از خود نشان میدهند. اما علت اینکه با افزایش کلر در نسبت کلر/نیترات نقره، تا ۱۰٪ خاصیت ضد میکروبی بیشتر می شود، می تواند به اندازه آن ها مربوط باشد. با افزایش میزان کلر اندازه ذرات بزرگتر شده و نفوذ آن به باکتری بیشتر شود (۳۰).

نانوذرات نقره به دلیل عملکرد چندگانه ی ضد میکروبی، یکی از موثرترین نانوذرات فلزی واجد خاصیت ضد میکروبی می باشند. نانوذرات نقره به دلیل اندازه کمی که دارند، سطح تماس بیشتری با فضای بیرونی داشته و تاثیر بیشتری بر غشای سلولها می گذارند. از جمله خصوصیات مهم ذرات نانونقره می توان به تاثیر بسیار زیاد و سریع، پایداری زیاد، سازگاری با محیط زیست، مقاومت در برابر حرارت، عدم ایجاد و افزایش مقاومت و سازگاری میکروارگانیسم اشاره نمود (۳۱).

بیشترین قطر هاله عدم رشد در نانو کامپوزیت حاوی ۵۰ درصد کلر و نانو کامپوزیت حاوی ۵ درصد (Ag/TiO₂mol) مشاهده شد

۵- منابع

[1] Muflikhun MA, Frommelt MC, Farman M, Chua AY, Santos GNC. Structures, mechanical properties and antibacterial activity of Ag/TiO₂ nanocomposite materials synthesized via HVPG technique for coating application. *Heliyon*. 2019;5(4):e01475.

[2] Chaudhry Q, Scotter M, Blackburn J, Ross B, Boxall A, Castle L, et al. Applications and implications of nanotechnologies for the food sector. *Food additives and contaminants*. 2008;25(3):241-58.

[3] Oliani WL, Komatsu LGH, Lincopan N, Rangari VK, Lugao AB, Parra DF, editors. Processing and antimicrobial efficacy of polypropylene/montmorillonite/silver nanocomposites as food packaging films. AIP conference proceedings; 2016: AIP Publishing LLC.

[4] Ghasemi S, Bari MR, Pirsas S, Amiri S. Use of bacterial cellulose film modified by polypyrrole/TiO₂-Ag nanocomposite for detecting and measuring the growth of pathogenic bacteria. *Carbohydrate polymers*. 2020;232:115801.

[5] Trinh ND, Nguyen TTB, Nguyen TH. Preparation and characterization of silver chloride nanoparticles as an antibacterial agent. *Advances in Natural Sciences: Nanoscience and Nanotechnology*. 2015;6(4):045011.

[6] Yang X, Fu H, Wang X, Yang J, Jiang X, Yu A. Synthesis of silver-titanium dioxide nanocomposites for antimicrobial applications. *Journal of nanoparticle research*. 2014;16(8):1-13.

[7] Castillo-Henríquez L, Alfaro-Aguilar K, Ugalde-Álvarez J, Vega-Fernández L, Montes de Oca-Vásquez G, Vega-Baudrit JR. Green synthesis of gold and silver nanoparticles from plant extracts and their possible applications as antimicrobial agents in the agricultural area. *Nanomaterials*. 2020;10(9):1763.

[8] Mondal P, Anweshan A, Purkait MK. Green synthesis and environmental application of iron-based nanomaterials and nanocomposite: a review. *Chemosphere*. 2020;259:127509.

[9] Khazdair MR, Ghorani V, Alavinezhad A, Boskabady MH. Pharmacological effects of *Zataria multiflora* Boiss L. and its constituents focus on their anti-inflammatory, antioxidant, and immunomodulatory effects. *Fundamental & clinical pharmacology*. 2018;32(1):26-50.

FTIR, TEM, XRD, UV-Vis دستگاههای بررسی شد. همچنین بررسی خاصیت ضد باکتریایی نانو کامپوزیت سه جزئی TiO₂/Ag/AgCl سنتز شده با نسبت های مولی مختلف کلر به نیترات نقره و نسبت های مولی مختلف نیترات نقره به تیتانیوم نشان داد که به ترتیب

[10] Mohiseni M, Sadeghian M, Nematdoost Haghi B, Bagheri D. Effects of dietary Shirazi thyme (*Zataria multiflora* Boiss) and vitamin E on growth and biochemical parameters in common carp (*Cyprinus carpio*). 2019.

[11] Wang Y, Luo W, Tu Y, Zhao Y. Gelatin-Based Nanocomposite Film with Bacterial Cellulose-MgO Nanoparticles and Its Application in Packaging of Preserved Eggs. *Coatings*. 2021;11(1):39.

[12] Ghasemi Z, Abdi V, Sourinejad I. Green fabrication of Ag/AgCl@ TiO₂ superior plasmonic nanocomposite: Biosynthesis, characterization and photocatalytic activity under sunlight. *Journal of Alloys and Compounds*. 2020;841:155593.

[13] Wintola OA, Afolayan AJ. The antibacterial, phytochemicals and antioxidants evaluation of the root extracts of *Hydnora africana* Thunb. used as antidiarrhetic in Eastern Cape Province, South Africa. *BMC complementary and alternative medicine*. 2015;15:1-12.

[14] Nguyen VT, Vu VT, Nguyen TH, Nguyen TA, Tran VK, Nguyen-Tri P. Antibacterial activity of TiO₂-and ZnO-decorated with silver nanoparticles. *Journal of Composites Science*. 2019;3(2):61.

[15] Yang X, Fu H, Wang X, Yang J, Jiang X, Yu A. Synthesis of silver-titanium dioxide nanocomposites for antimicrobial applications. *Journal of nanoparticle research*. 2014;16:1-13.

[16] Parashar V, Parashar R, Sharma B, Pandey AC. Parthenium leaf extract mediated synthesis of silver nanoparticles: a novel approach towards weed utilization. *Digest Journal of Nanomaterials & Biostructures (DJNB)*. 2009;4(1).

[17] Song JY, Kim BS. Rapid biological synthesis of silver nanoparticles using plant leaf extracts. *Bioprocess and biosystems engineering*. 2009;32(1):79-84.

[18] Mehata MS. Green route synthesis of silver nanoparticles using plants/ginger extracts with enhanced surface plasmon resonance and degradation of textile dye. *Materials Science and Engineering: B*. 2021;273:115418.

[19] Kumar S, Basumatary IB, Sudhani HP, Bajpai VK, Chen L, Shukla S, et al. Plant extract mediated silver nanoparticles and their applications as antimicrobials and in sustainable food packaging:

- A state-of-the-art review. Trends in Food Science & Technology. 2021;112:651-66.
- [20] Srivastava A, Kulkarni A, Harpale P, Zunjarrao R. Plant mediated synthesis of silver nanoparticles using a bryophyte: *Fissidens minutus* and its anti-microbial activity. International Journal of Engineering Science and Technology. 2011;3(12).
- [21] Hassan F, Ali E, Mostafa N, Mazrou R. Shelf-life extension of sweet basil leaves by edible coating with thyme volatile oil encapsulated chitosan nanoparticles. International Journal of Biological Macromolecules. 2021;177:517-25.
- [22] Liu Z, Wang H, Wang Y, Lin Q, Yao A, Cao F, et al. The influence of chitosan hydrogel on stem cell engraftment, survival and homing in the ischemic myocardial microenvironment. Biomaterials. 2012;33(11):3093-106.
- [23] Hamelian M, Varmira K, Veisi H. Green synthesis and characterizations of gold nanoparticles using Thyme and survey cytotoxic effect, antibacterial and antioxidant potential. Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology. 2018;184:71-9.
- [24] Abolghasemi R, Haghighi M, Solgi M, Mobinikhaledi A. Rapid synthesis of ZnO nanoparticles by waste thyme (*Thymus vulgaris* L.). International Journal of Environmental Science and Technology. 2019;16(11):6985-90.
- [25] Kanniah P, Radhamani J, Chelliah P, Muthusamy N, Joshua Jebasingh Sathiya Balasingh Thangapandi E, Reeta Thangapandi J, et al. Green synthesis of multifaceted silver nanoparticles using the flower extract of *Aerva lanata* and evaluation of its biological and environmental applications. ChemistrySelect. 2020;5(7):2322-31.
- [26] Demirci S, Dikici T, Yurddaskal M, Gultekin S, Toparli M, Celik E. Synthesis and characterization of Ag doped TiO₂ heterojunction films and their photocatalytic performances. Applied Surface Science. 20.60.1-390:591;16
- [27] Saravanakumar K, Chelliah R, Shanmugam S, Varukattu NB, Oh D-H, Kathiresan K, et al. Green synthesis and characterization of biologically active nanosilver from seed extract of *Gardenia jasminoides* Ellis. Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology. 2018;185:126-35.
- [28] Jafarzadeh S, Salehabadi A, Nafchi AM, Oladzadabbasabadi N, Jafari SM. Cheese packaging by edible coatings and biodegradable nanocomposites; improvement in shelf life, physicochemical and sensory properties. Trends in Food Science & Technology. 2021;116:218-31.
- [29] Pirsia S, Farshchi E, Roufegarinejad L. Antioxidant/antimicrobial film based on carboxymethyl cellulose/gelatin/TiO₂-Ag nanocomposite. Journal of Polymers and the Environment. 2020;28(12):3154-63.
- [30] Kumar DA, Palanichamy V, Roopan SM. Photocatalytic action of AgCl nanoparticles and its antibacterial activity. Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology. 2014;138:302-6.
- [31] Yin IX, Zhang J, Zhao IS, Mei ML, Li Q, Chu CH. The antibacterial mechanism of silver nanoparticles and its application in dentistry. International journal of nanomedicine. 2020;15:2555.
- [32] Kashyap M, Samadhiya K, Ghosh A, Anand V, Shirage PM, Bala K. Screening of microalgae for biosynthesis and optimization of Ag/AgCl nano hybrids having antibacterial effect. RSC advances. 2019;9(44):25583-91.

Journal of Food Science and Technology (Iran)

Homepage: www.fsct.modares.ir

Scientific Research

Green synthesis and characterization of three-component Ag/AgCl/TiO₂ nanocomposite using *Zataria multiflora* plant

Sevil mohammadi¹, Hamed Ahari^{1*}, Shima Yousefi¹

1- Department of Food Science and Technology, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.

ABSTRACT

ARTICLE INFO

Green chemistry plays an important role due to its involvement in unusual syntheses of metal nanoparticles from plant extracts, which have antimicrobial potential. Therefore, green synthesis of nanoparticles from plant extracts is a suitable way to produce nanoparticles. Therefore, the aim of this research was to synthesize Sabznano Ag / AgCl / TiO₂ composite using aqueous extract of Shirazi thyme, to evaluate the size and morphology of the produced nanoparticles. For this purpose, synthesis and characterization of ternary Ag / AgCl / TiO₂ nanocomposite using Shirazi thyme plant was done with the help of UV-Vis, XRD, TEM, FTIR techniques. Then the antimicrobial property of nanocomposites was investigated. The results showed that the maximum diameter of the halo of non-growth in all investigated bacteria is observed in the nanocomposite containing 50% chlorine and in the nanocomposite containing 5% (Ag / TiO₂mol). The diameter of the non-growth halo increased from 0.5% to 3% in the film containing TiO₂ / Ag / AgCl nanoparticles in all investigated microorganisms. Also, TEM images showed the uniform loading of Ag / AgCl nanoparticles on the TiO₂ surface. In general, the obtained results indicate the fact that thyme extract, along with silver and titanium dioxide nanocomposites, has a high potential in the production of nanoparticles with high purity and in nanometer sizes and with antimicrobial properties and application in the food industry as It has cover and film

Article History:

Received: 2023/2/13

Accepted: 2023/8/12

Keywords:

Nanocomposite,
Silver nanoparticles,
Titanium dioxide,
Thyme

DOI: 10.22034/FSC.T.20.141.94
 OR: 20.1001.1.20088787.1402.20.141.7.5

*Corresponding Author E-Mail:

dr.h.ahari@gmail.com,
ahari.iau@gmail.com