



مجله علوم و صنایع غذایی ایران

سایت مجله: www.fsct.modares.ac.ir

مقاله علمی-پژوهشی

سنتز سبز نانو ذرات نقره با استفاده از تفاله خشک گوجه‌فرنگی و بررسی ویژگی‌ها

نگین میری^۱، محمد علیزاده خالدآباد^{۲*}، آرش قیطران پور^۳، صابر امیری^۴

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، علوم و مهندسی صنایع غذایی، دانشگاه ارومیه، ارومیه

۲- استاد، علوم و مهندسی صنایع غذایی، دانشگاه ارومیه، ارومیه

۳- استادیار، علوم و مهندسی صنایع غذایی، دانشگاه ارومیه، ارومیه

۴- استادیار، علوم و مهندسی صنایع غذایی، دانشگاه ارومیه، ارومیه

اطلاعات مقاله

چکیده

تاریخ‌های مقاله :

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۵/۲۰

تاریخ داوری: ۱۴۰۵/۰۲/۰۳

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۵/۰۳/۳۰

کلمات کلیدی:

شیمی سبز،

نانو ذرات نقره،

عصاره گیاهی،

ضایعات کشاورزی صنعتی

DOI: 10.48311/fsct.2026.84084.0

* مسئول مکاتبات:

malizadeh@outlook.com

در این تحقیق، برای سنتز نانو ذرات نقره (AgNPs) از عصاره آبی تفاله خشک گوجه‌فرنگی به عنوان عامل کاهنده استفاده شد. با افزودن نمک نیترات نقره با غلظت‌های مختلف (۵، ۱۵ و ۲۵) میلی‌مولار به عصاره، واکنش در شرایط دمایی مختلف (۴۰، ۶۵ و ۹۰) درجه سانتی‌گراد و زمان‌های متفاوت (۵، ۴۰ و ۷۵) دقیقه و pH (۷، ۹ و ۱۱) انجام شد. تغییر رنگ محلول از نارنجی به قهوه‌ای تیره، نشان دهنده شروع فرآیند ساخت نانو ذرات نقره بود. بهینه سنتز نانو ذره در شرایط دمای ۶۵ درجه سانتی‌گراد، غلظت نیترات نقره ۲۵ میلی‌مولار، مقدار تفاله خشک ۵٪ وزنی-حجمی، زمان ۷۵ دقیقه و pH ۱۱ رخ داد. مشخصات نانو ذرات نقره تولید شده با استفاده از روش‌های طیف‌سنجی UV-Vis، پراش پرتو ایکس، طیف‌سنجی فروسرخ و میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) بررسی شدند. نتایج طیف‌سنجی UV-Vis نشان داد که پیک جذب نانو ذرات نقره در طول موج ۴۲۰ نانومتر واقع شده است. الگوی پراش پرتو ایکس تشکیل ساختار بلوری نانو ذرات نقره را تأیید کرد. همچنین، تجزیه و تحلیل تصاویر SEM نشان داد که نانو ذرات تولید شده اغلب به شکل کروی هستند و اندازه‌ی آن‌ها کمتر از ۵۰ نانومتر است. به علاوه، خواص ضد باکتری نانو ذرات در برابر باکتری‌های *استافیلوکوکوس اورئوس* و *شرشیاکلی* با استفاده از روش چاهک ارزیابی شد که نشان داد که این نانو ذرات توانایی بازدارندگی خوبی را در برابر فعالیت این باکتری‌ها دارند. روش سبز سنتز پیشنهادی دارای مزایای زیست محیطی بوده و قابلیت استفاده در مقیاس بزرگ برای تولید نانو ذرات نقره را دارد.

۱- مقدمه

طبق تحقیقات، سالانه بیش از ۲۳۰۰۰ نفر در اروپا بر اثر عفونت‌های مهاجم (سیستمیک) ناشی از باکتری‌هایی نظیر استافیلوکوکوس اورئوس (*Staphylococcus aureus*) و اشریشیا کلی (*Escherichia coli*) جان خود را از دست می‌دهند [2]. این آمار نگران‌کننده، دانشمندان را بر آن داشته تا به طور مداوم به دنبال راه‌ها و مواد جدیدی برای مبارزه با میکروارگانیسم‌های بیماری‌زا باشند. در این میان، ظهور و گسترش مقاومت‌های میکروبی، ضرورت دستیابی به جایگزین‌های مؤثر و ایمن برای آنتی‌بیوتیک‌های رایج را دوچندان کرده است.

انقلاب در فناوری نانو، نقطه عطف مهمی را در این مسیر رقم زده است. نانوتکنولوژی که ایده آن اولین بار توسط فاینمن در سال ۱۹۵۹ مطرح شد [5]، شامل ساخت، دستکاری و تصویربرداری از ساختارهایی در ابعاد ۱ تا ۱۰۰ نانومتر است. کاربرد و بازار جهانی نانوذرات در سال‌های اخیر رشد چشمگیری داشته و انتظار می‌رود تا سال ۲۰۲۴ به ۱۲۵/۷ میلیارد دلار برسد [6]. این فناوری نسبتاً جوان، با دستکاری مواد در سطح اتمی یا مولکولی، خواص جدیدی را پدید می‌آورد که در مواد حجیم دیده نمی‌شود و در بخش‌های گوناگونی از جمله صنایع غذایی کاربرد گسترده‌ای یافته است؛ از تولیدات کشاورزی (کودها و تشخیص پاتوژن‌ها) گرفته تا فرآوری مواد غذایی (بسته‌بندی هوشمند و بهبود کیفیت).

در میان انواع مختلف نانو مواد، نانوذرات فلزی و اکسیدی، مصارف بالایی دارند و ترکیبات بزرگی از نانوذرات تولید شده را تشکیل می‌دهند. نانوذرات دارای خواص فیزیک و شیمیایی جدیدی هستند که در ابعاد نانو بر سیستم‌های بیولوژیکی تأثیر می‌گذارند. خواص ضدباکتریایی و ضدقارچی نانوذرات مس، نقره، تیتانیوم و روی در کاهش رشد میکروارگانیسم‌های مختلف ثابت شده است [41]. در حوزه مقابله با میکروارگانیسم‌ها، استفاده از نانوذرات فلزی و اکسید فلزی نظیر نقره، طلا، مس، اکسید روی و

اکسید تیتانیوم، توجه بسیاری از محققان را به خود جلب کرده است. فعالیت ضدباکتریایی بالای این نانوذرات، عمدتاً به دلیل نسبت سطح به حجم زیاد آنهاست. این ویژگی منحصربه‌فرد، امکان اتصال تعداد بالایی لیگاند به سطح نانوذره و در نتیجه برهمکنش مؤثر با گیرنده‌های سطح باکتری را فراهم می‌کند. نانوذرات از طریق مکانیسم‌هایی مانند مسدود کردن منبع غذایی باکتری یا ایجاد اختلال در غشای سلولی، اثر باکتریواستاتیک یا باکتری‌کشی خود را اعمال می‌کنند. همچنین، پوشش‌دهی نانوذرات می‌تواند زیست‌سازگاری و خاصیت ضدباکتریایی آنها را به طور قابل توجهی افزایش دهد [7]. در این میان، نانوذرات نقره (Ag-NPs) به دلیل سمیت قوی علیه طیف وسیعی از میکروارگانیسم‌ها و در عین حال سمیت سیستمیک پایین برای انسان، به یکی از پرکاربردترین گزینه‌ها تبدیل شده‌اند. به همین دلیل، در دهه‌های اخیر، نانوذرات نقره به عنوان افزودنی‌های غذایی یا مواد در تماس با غذا، عمدتاً به دلیل خواص ضد میکروبی خود، مورد توجه صنایع قرار گرفته‌اند. کاربردهای جدید این نانوذرات در صنایع غذایی، به عنوان جایگزینی برای نگهدارنده‌های شیمیایی سنتی مانند دی‌اکسید گوگرد (SO_2) که خطرات بالقوه‌ای برای سلامت انسان دارند، پیشنهاد شده است.

اگرچه روش‌های شیمیایی و فیزیکی متعددی برای سنتز نانوذرات نقره وجود دارد، اما این روش‌ها اغلب نیازمند شرایط عملیاتی سخت (دما و فشار بالا)، استفاده از مواد شیمیایی خطرناک و افزودن عوامل تثبیت‌کننده خارجی هستند. در مقابل، سنتز سبز با استفاده از موجودات زنده مانند باکتری‌ها، قارچ‌ها و گیاهان، به دلیل سازگاری با محیط زیست، مقرون‌به‌صرفه بودن و عدم نیاز به مواد سمی، به عنوان یک رویکرد پایدار و جایگزین مطرح شده است. سنتز نانوذرات با واسطه گیاهی که خود به روش‌های درون‌سلولی، برون‌سلولی (با استفاده از عصاره) و یا با استفاده از ترکیبات گیاهی خالص انجام می‌شود، به دلیل تنوع زیستی بالا و وجود متابولیت‌های ثانویه مؤثر در احیا و پایدارسازی نانوذرات، بسیار مورد توجه قرار گرفته است.

امکان استفاده از تفاله خشک گوجه‌فرنگی به عنوان یک عامل کاهنده و پایدارکننده سبز در سنتز نانوذرات نقره است. این رویکرد ضمن معرفی یک روش پایدار و مقرون‌به‌صرفه برای تولید نانوذرات، گامی در جهت ارزش‌گذاری مجدد پسماندهای صنایع غذایی محسوب می‌شود. نانوذرات سنتز شده از این روش، از نظر فعالیت ضد میکروبی به ویژه علیه میکروب‌های عامل فساد مواد غذایی مورد بررسی قرار خواهند گرفت تا پتانسیل کاربرد آنها در افزایش ماندگاری و ایمنی مواد غذایی ارزیابی شود.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱ مواد مورد استفاده

ضایعات فرآوری (تفاله خشک گوجه‌فرنگی) مخلوطی از پوست و دانه از شرکت کشت و صنعت روژین تاک کرمانشاه، آب دیونیزه، نیتрат نقره، سود

۲-۲ آماده سازی عصاره آبی تفاله خشک گوجه‌فرنگی

ضایعات فرآوری (تفاله خشک گوجه‌فرنگی) مخلوطی از پوست و دانه از کارخانه رب روژین کرمانشاه، با رطوبت زیر ۱۰٪ تهیه و جمع آوری شد و این تفاله‌ها با استفاده از آون (مدل Haraeus- T5050 EK، آلمان) در دمای ۳۰ درجه سانتی‌گراد و پس از یک فرآیند ۱۲ ساعته خشک شدند و داخل کیسه‌های پلاستیکی زیپ کیپ قرار داده شدند تا از تغییرات نامطلوب در خواص فیزیکی و شیمیایی و عملکردی جلوگیری شود [۹]. مشابه روش فیگوایردو و همکاران (۲۰۲۳) با اندکی تغییر، عصاره آبی با مخلوط کردن مقدار بهینه تفاله خشک گوجه‌فرنگی و ۱۰۰ میلی‌لیتر آب دیونیزه با هم زدن مداوم روی همزن مغناطیسی (مدل Stuart-SA7، آلمان) تهیه شد. مخلوط به مدت ۱۵ دقیقه تا ۶۰ درجه سانتی‌گراد حرارت داده شد و سپس به منظور استخراج کامل عصاره، مخلوط به مدت ۲۰ دقیقه دیگر درون حمام اولتراسوند (مدل ROHS، کره جنوبی) با دمای ۴۰ درجه و فرکانس ۴۰ کیلوهرتز قرار گرفت و سپس مخلوط حاصله به مدت ۱۰ دقیقه در دور ۴۰۰۰ rpm

پسماندهای کشاورزی و صنایع غذایی، منبعی غنی و در دسترس از این ترکیبات زیست‌فعال هستند که ارزش‌گذاری مجدد آنها، هم از نظر زیست‌محیطی و هم از نظر اقتصادی حائز اهمیت است. گوجه‌فرنگی (*Lycopersicon esculentum*) یکی از پر مصرف‌ترین میوه‌ها در جهان است که هم به صورت تازه و هم فرآوری‌شده (مانند رب) استفاده می‌شود. در فرآیند تولید رب، پوست و دانه‌های گوجه‌فرنگی که حدود یک‌سوم وزن میوه را تشکیل می‌دهند، به عنوان ضایعات دور ریخته می‌شوند. این در حالی است که پوست گوجه‌فرنگی سرشار از فلاونوئیدها و ترکیبات فنولی بوده و دانه‌های آن (که ۵۰ تا ۵۵ درصد ضایعات را شامل می‌شوند) حاوی مقادیر قابل توجهی اسیدهای آمینه ضروری هستند. وجود این ترکیبات، تفاله گوجه‌فرنگی را به گزینه‌ای ایده‌آل برای استفاده در فرآورده‌های سنتز سبز تبدیل می‌کند.

مطالعات پیشین نیز کارایی پسماندهای گیاهی را در سنتز نانوذرات نقره تأیید کرده‌اند. بالچونایتینه و همکاران (۲۰۲۲) با استفاده از عصاره‌های فرعی گوجه‌فرنگی، نانوذرات نقره را سنتز کرده و فعالیت ضد میکروبی قوی آنها را علیه طیف وسیعی از باکتری‌های گرم‌مثبت و گرم‌منفی و قارچ‌ها گزارش دادند. در پژوهشی دیگر، الحاربی و همکاران (۲۰۲۲) نشان دادند که عصاره میوه *Dovyalis caffra* می‌تواند جایگزینی پایدار و کم‌انرژی برای روش‌های شیمیایی سنتی در سنتز نانوذرات نقره باشد. همچنین، زورو و همکاران (۲۰۱۹) با استفاده از عصاره پسماندهای آوونه و توت‌فرنگی، نانوذرات نقره‌ای با خاصیت آنتی‌اکسیدانی و ضد میکروبی بالا تولید کردند. سوتو و همکاران (۲۰۱۹) نیز در بررسی خود بر روی پوست میوه‌های مختلف، به این نتیجه رسیدند که این ضایعات می‌توانند منبعی مؤثر برای تولید نانوذرات نقره با فعالیت ضد میکروبی قابل توجه علیه میکروب‌های بیماری‌زای مواد غذایی باشند.

با توجه به پتانسیل بالای پسماندهای گوجه‌فرنگی و یافته‌های تحقیقات مشل‌به، هدف از این مطالعه، بررسی

۴-۲ سنتز سبز نانو ذرات نقره با استفاده از عصاره تفاله

خشک گوجه‌فرنگی

نانو ذرات نقره مطابق روش ونکودوت و همکاران (۲۰۲۲)، با اندکی تغییر، تهیه شدند. نیترات نقره به عنوان محلول معرف و محلول عصاره به عنوان عامل تثبیت کننده و کاهنده استفاده شد. بهینه‌سازی‌ها برای ارزیابی تشکیل نانو ذرات نقره، غلظت‌های متفاوت نیترات نقره (۵، ۱۵ یا ۲۵ میلی‌مولار) و تفاله خشک گوجه‌فرنگی (۴، ۸ یا ۱۲ گرم در صد میلی‌لیتر آب دیونیزه (درصد وزنی/حجمی))، pH ها (۷، ۹ یا ۱۱) انجام شد (از سود ۵ نرمال برای تنظیم pH استفاده شد). زمان گرمخانه‌گذاری (بین ۰ تا ۹۰ دقیقه) و دما (بین ۴۰ تا ۹۰ درجه سانتی‌گراد) بود. تغییر رنگ (زرد تا قهوه‌ای تیره) نشانه تشکیل نانو ذرات نقره در نظر گرفته شد [۱].

سانتریفیوژ (مدل Hettich-D 78532، آلمان) شد و مایع رویی برداشته شد و از طریق کاغذ صافی واتمن (شماره ۱) فیلتر شد [۱۰ و ۴۲].

۲- طرح آزمایشی و آنالیز آماری سنتز سبز نانو ذره نقره

در این مطالعه از طرح I-optimal برای بررسی برآورد اثر پنج فاکتور فرآوری (دمای سنتز بین ۴۰ تا ۹۰ درجه سانتی‌گراد)، pH سنتز (بین ۷ تا ۱۱)، زمان سنتز (بین ۵ تا ۷۵ دقیقه)، غلظت تفاله گوجه (بین ۴ تا ۱۲٪ وزنی/حجمی)، غلظت AgNO_3 (بین ۵ تا ۲۵ میلی‌مولار) استفاده شد. پس از اجرای آزمون و آنالیز داده‌ها با روش حداقل مربعات، مدل‌های چند جمله‌ای فیت شدند. برای تحلیل داده‌ها از نرم‌افزار دیزاین اکسپرت ورژن ۱۳ استفاده شد. برای بررسی اثر فاکتورها و مدل‌ها از توزیع فیشر در سطح $\alpha = 0.05$ استفاده شد. برای بهینه‌سازی از روش گرافیکی یا تابع مطلوبیت استفاده گردید.

Table 1: The matrix of experimental design for silver nano-particle synthesize

Run	%Tofale(v/w)	$\text{AgNO}_3(\text{mM})$	Temperature(C)	pH	Time(min)	Response
1	15	15	40	7	75	0.452
2	15	25	40	11	40	0.08
3	15	5	40	9	5	0.233
4	10	25	40	7	5	0.409
5	10	5	40	7	5	0.078
6	10	5	40	11	75	0.625
7	5	25	90	9	5	0.71
8	5	15	90	7	75	0.671
9	5	5	90	11	75	0.52
10	5	5	65	11	5	0.469
11	5	5	65	7	75	0.039
12	5	25	65	11	75	30
13	10	15	65	9	40	0.82
14	10	15	65	9	40	0.526
15	10	25	65	7	75	0.895
16	15	25	90	9	75	1.22
17	15	5	90	7	5	0.09
18	15	15	90	11	5	1.017
19	5	25	40	7	40	0.452
20	5	15	40	11	5	1.073
21	5	25	40	9	75	0.95
22	15	15	65	11	75	1.65
23	15	5	65	7	75	0.12
24	15	25	65	7	5	0.43



Figure (1) Color change of aqueous extract of dried tomato pomace after adding silver nitrate (a) colorless silver nitrate solution (b) Aqueous extract of dry tomato pomace (orange color) (c) Formation of silver nitrate colloidal dispersion and aqueous extract whose dark color indicates the formation of silver nanoparticles after pH adjustment

۲-۵-۲) پراش اشعه ایکس نانو ذرات نقره (XRD)

الگوی XRD یا پراش اشعه ایکس (X-ray Diffraction) نمونه‌های نانو ذرات با استفاده از دستگاه پراش سنج پرتو ایکس (مدل زایس، آلمان) ثبت شد. تابش مورد استفاده دارای مشخصات ۴۰ کیلوولت و ۴۰ میلی‌آمپر با طول موج ۱/۵۴۰۶ آنگستروم ($\text{CuK}\alpha$) بود. داده‌ها در محدوده زاویه‌ای ۱۰ تا ۸۰ درجه (2θ) با گام ۰/۰۲ درجه جمع‌آوری شدند [۴۰]. مقیاس در تصویر ۲۵۰ نانومتر بود و از بزرگ‌نمایی تصویر ۶۵۰ هزار برابر استفاده شد، همچنین ولتاژ شتاب‌دهنده استفاده‌شده برای تصویربرداری ۱۰ کیلوولت بود. الگوی پراش به‌دست‌آمده (مطابق شکل ۶) جهت شناسایی ساختار کریستالی و تعیین مکان‌های اوج، با داده‌های استاندارد مقایسه شد. نتایج حاکی از تطابق مناسب مکان‌های اوج با الگوهای مشخصه ساختار نانو ذرات نقره است.

۲-۵-۳) تصویربرداری میکروسکوپ الکترونی روبشی

نانو ذرات نقره (SEM)

مورفولوژی نانو ذرات نقره سنتز شده به روش سبز با استفاده از میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) (مدل VEGA3، آلمان) بررسی شد. نمونه‌ها به‌صورت پودری بر روی صفحه مسی پوشش‌دهی شده با لایه نازک طلا (برای هدایت الکتریکی بهتر) قرار داده شدند. تصاویر میکروسکوپی در ولتاژ شتاب‌دهنده و در بزرگ‌نمایی‌های مختلف ثبت شدند تا مورفولوژی، اندازه ذرات و توزیع آنها

کیفیت نمونه‌های نانو ذرات نقره سنتز شده، با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر (مدل BC1600/B، آمریکا) مورد بررسی قرار گرفت. نمونه‌ها با آب دیونیزه رقیق شدند. شدت و موقعیت پیک نمودار طیف سنج مرئی-فرابنفش در محدوده ۳۰۰-۶۵۰ نانومتر با استفاده از یک سل کوارتز یک سانتی‌متری در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد ثبت شد. طیف‌سنجی UV-Vis یک تکنیک ارزشمند برای توصیف نانو ذرات نقره سنتز شده است [۶]. از نتایج بهینه‌سازی‌های طرح برای تعریف بهینه پارامترها برای شکل‌گیری نانو ذرات نقره استفاده شد.

۲-۵-۵) آزمون‌های دستگاهی نانو ذرات نقره

۲-۵-۱) طیف سنجی مادون قرمز نانو ذرات نقره (FT-IR)

طیف‌سنجی مادون قرمز (FT-IR) برای بررسی گروه‌های عاملی موجود در نانو ذرات نقره سنتز شده به روش سبز انجام شد. داده‌ها با استفاده از دستگاه طیف‌سنج FT-IR ثبت شد. نانو ذرات نقره در محدوده 400 cm^{-1} تا 4000 cm^{-1} با رزولوشن 4 cm^{-1} اسکن شدند. طیف‌های به‌دست‌آمده برای شناسایی گروه‌های عاملی موجود در تفاله گوجه‌فرنگی (به‌عنوان عامل احیا و پایدارکننده) و تأیید تشکیل نانو ذرات نقره تحلیل شدند. نتایج طیف‌سنجی با داده‌های استاندارد مقایسه شد تا حضور گروه‌های عاملی مربوط به ترکیبات زیستی تأیید شود [۴۰].

مورد تحلیل قرار گیرد. نتایج به دست آمده برای تعیین اندازه و شکل نانو ذرات و همچنین تأثیر شرایط سنتز سبز بر ویژگی‌های ساختاری آنها مورد بررسی و تحلیل قرار گرفت. تصاویر SEM با توجه به ویژگی‌های نانو ذرات نقره سنتز شده، برای تأیید فرآیند تولید و ارزیابی یکنواختی ساختار ذرات استفاده شدند [۴۰].

۲-۵-۴) سنجش فعالیت ضد باکتریایی نانو ذرات نقره

اثر ضد باکتری نانو ذرات نقره سنتز شده در مقابل یک گونه باکتری گرم منفی (اشرشیاکلی) (*Escherichia coli*) و یک گونه باکتری گرم مثبت (استافیلوکوکوس اورئوس) (*Staphylococcus aureus*) با استفاده از روش انتشار چاهک بررسی شد [۴۰]. برای انجام تست عدم تشکیل هاله رشد (Zone of Inhibition) در ارزیابی اثر ضدباکتریایی نانوذرات نقره باید از سویه‌های استاندارد مرجع (Reference Strains) استفاده شود. از سویه *Escherichia coli* ATCC 25922 و *Staphylococcus aureus* ATCC 25923 مناسب برای بررسی عدم تشکیل هاله رشد استفاده شد.

۳- نتایج و بحث

۳-۱) بررسی اثر متغیرهای مستقل بر سنتز سبز نانو ذرات نقره

این بخش تأثیر پارامترهای مختلف مانند دما، pH، زمان گرمخانه گذاری، نور، عصاره و غلظت $AgNO_3$ را بررسی می‌کند [۷].

تأثیر متقابل درصد تفاله خشک گوجه‌فرنگی و غلظت نیترات نقره بر میزان جذب (نمودار A): رابطه بین غلظت نیترات نقره و درصد تفاله بر مقدار جذب بررسی شده است. مقدار جذب از حدود صفر (رنگ آبی) تا ۰/۸ (رنگ سبز) تغییر می‌کند. نقاط با جذب بالاتر در نواحی با درصد تفاله بیشتر و غلظت نیترات نقره بالاتر مشاهده می‌شوند. با افزایش غلظت نیترات نقره تا حدود ۱۵ میلی‌مولار، مقدار جذب به تدریج افزایش می‌یابد و سپس در مقادیر بالاتر به حالت اشباع می‌رسد، به طوری که در غلظت‌های بالاتر از ۲۰

میلی‌مولار، تغییری در مقدار جذب دیده نمی‌شود. مشاهده می‌شود که درصد تفاله در جذب نانو ذرات نقره تأثیر دارد. به ویژه در محدوده‌های بالاتر از ۷ درصد (وزنی/حجمی) تفاله، مقدار جذب افزایش می‌یابد. با این حال، در مقادیر پایین‌تر از ۷ درصد (وزنی/حجمی)، مقدار جذب کمتر بوده و تغییرات آن نیز کمتر محسوس است. بالاترین جذب در این نمودار نزدیک به ۰/۸ است. همان‌طور که از نمودار مشخص است، هر دو پارامتر غلظت نیترات نقره و درصد تفاله تأثیر معنی‌داری بر مقدار جذب دارند. درصد بالاتر تفاله همراه با غلظت بیشتر نیترات نقره می‌تواند به تشکیل و افزایش نانو ذرات نقره و در نتیجه به افزایش مقدار جذب منجر شود.

تأثیر متقابل درصد تفاله خشک گوجه‌فرنگی و دما بر میزان جذب (نمودار B): نتایج نشان داد که در مقادیر کم تفاله (نزدیک به ۵ درصد وزنی/حجمی)، مقدار جذب در دمای ۴۰ درجه بالاتر از دمای ۹۰ درجه است. با افزایش درصد تفاله، جذب در دمای ۴۰ درجه کاهش می‌یابد و در دمای ۹۰ درجه افزایش می‌یابد. به نظر می‌رسد در حدود ۱۰ درصد وزنی/حجمی، جذب برای هر دو دما نزدیک به یک مقدار قرار می‌گیرد و به یکدیگر می‌رسند. در دمای ۹۰ درجه (نمودار قرمز)، با افزایش درصد تفاله، روند جذب افزایشی است. در مقابل، در دمای ۴۰ درجه (نمودار سیاه)، جذب با افزایش درصد تفاله کاهش می‌یابد. این نشان‌دهنده تأثیر دما در ترکیب با درصد تفاله است که رفتار متفاوتی را برای جذب نشان می‌دهد. در دمای بالاتر، افزایش تفاله به دلیل وجود ترکیبات مؤثر بیشتر، باعث افزایش جذب نانو ذرات نقره می‌شود. این در حالی است که در دمای پایین‌تر، احتمالاً تجمع ذرات و کاهش راندمان جذب باعث کاهش جذب می‌شود. به طور خلاصه، افزایش یا کاهش عدد جذب تحت تأثیر تغییرات دما و غلظت تفاله به دلیل اثرات مختلفی از جمله تغییرات در نرخ رشد نانو ذرات، اندازه و شکل نانو ذرات، و ترکیبات زیست فعال موجود در تفاله است.

تأثیر متقابل غلظت نیترات نقره و دما بر میزان جذب (نمودار C): در مقادیر کم نیترات نقره (نزدیک به ۵ میلی مولار)، مقدار جذب نزدیک به صفر است و تفاوت قابل توجهی بین دمای ۴۰ و ۹۰ درجه مشاهده نمی شود؛ با افزایش غلظت نیترات نقره تا حدود ۱۵ میلی مولار، مقدار جذب افزایش می یابد و در این نقطه، دمای ۹۰ درجه جذب بالاتری نسبت به ۴۰ درجه دارد. در مقادیر بالاتر از ۱۵ میلی مولار، هر دو منحنی به حداکثر جذب خود رسیده و سپس با افزایش بیشتر غلظت نیترات نقره، مقدار جذب کاهش می یابد. این کاهش در دمای ۹۰ درجه نسبت به ۴۰ درجه کمی بیشتر است. شیب منحنی ها نشان می دهد که در دمای ۹۰ درجه، جذب ابتدا با سرعت بیشتری افزایش یافته و سپس کاهش یافته است، در حالی که در دمای ۴۰ درجه، تغییرات جذب تدریجی تر و کمتر است. نتیجه می گیریم که غلظت نیترات نقره تأثیر معنی داری بر مقدار جذب دارد و این تأثیر با تغییر دما متفاوت است. تأثیر معنی دار غلظت نیترات نقره و دما بر جذب نانو ذرات نقره به دلایل زیر است: به طور کلی، افزایش غلظت $AgNO_3$ تا یک حد مشخص باعث افزایش جذب به دلیل تشکیل بیشتر نانو ذرات می شود، اما در غلظت های بالاتر، به دلیل اشباع و تجمع ذرات، جذب کاهش می یابد. دمای بالاتر باعث افزایش سرعت تشکیل نانو ذرات و تجمع می شود که در غلظت های پایین به افزایش جذب و در غلظت های بالا به کاهش جذب منجر می شود.

تأثیر متقابل دما و زمان بر میزان جذب (نمودار D): در دمای ۴۰ درجه و زمان ۵ دقیقه، مقدار جذب به حدود ۱ رسیده است. با افزایش دما تا حدود ۷۵ درجه، هر دو منحنی (سیاه و قرمز) به نقطه اوج خود می رسند. پس از آن، با افزایش بیشتر دما تا ۹۰ درجه، جذب در هر دو زمان شروع به کاهش می کند. در زمان ۷۵ دقیقه (نمودار قرمز)، مقدار جذب نانو ذرات در تمامی دماها بالاتر از زمان ۵ دقیقه (نمودار سیاه) است. همچنین، جذب در زمان ۷۵ دقیقه با افزایش دما تا ۷۵ درجه به صورت پیوسته افزایش یافته و پس از آن اندکی کاهش یافته است. در مقابل، در

زمان ۵ دقیقه، تغییرات جذب یکنواخت تر و تدریجی تر بوده و با افزایش دما، جذب کاهش می یابد. نتیجه می گیریم زمان و دما هر دو بر مقدار جذب تأثیر دارند. افزایش زمان باعث افزایش جذب می شود که ناشی از فراهم شدن زمان بیشتر برای تشکیل و تجمع نانو ذرات است. با این حال، در دماهای بالا، جذب کاهش می یابد که به دلیل تخریب یا تجمع بیش از حد ذرات و در نتیجه کاهش راندمان جذب است.

تأثیر متقابل pH و زمان بر میزان جذب (نمودار E): در زمان کوتاه ۵ دقیقه، مشاهده شد که با افزایش سطح pH از ۷ به ۱۱، میزان جذب افزایش اندکی پیدا کرده است. این افزایش جزئی نشان دهنده این است که در زمان کم، تغییرات pH تأثیر کمتری بر روی سرعت تشکیل و اندازه نانو ذرات دارد و جذب به شکل ثابت تری افزایش می یابد. در زمان طولانی تر ۷۵ دقیقه، افزایش pH تأثیر چشمگیری بر روی جذب دارد. همان طور که مشاهده می شود، با افزایش pH از ۷ به ۱۱، میزان جذب به صورت قابل توجهی افزایش می یابد. این افزایش به دلیل ایجاد محیط قلیایی و پایدارتر است که به رشد و تشکیل بیشتر نانو ذرات کمک می کند، زیرا pH بالاتر در زمان طولانی تر باعث کاهش سرعت تجمع ذرات و افزایش پراکندگی می شود. به طور کلی، در زمان طولانی تر (۷۵ دقیقه)، اثر pH بر روی جذب بیشتر است و شکل نشان می دهد که شیب خط قرمز (زمان ۷۵ دقیقه) نسبت به خط سیاه (زمان ۵ دقیقه) بیشتر است. این موضوع نشان می دهد که در زمان های طولانی تر، افزایش pH به طور مؤثرتری باعث افزایش میزان جذب می شود. همچنین زمان و pH هر دو تأثیر قابل توجهی بر میزان جذب دارند. با افزایش زمان، تأثیر pH بر جذب بیشتر شده و در pH های بالاتر، افزایش قابل توجهی در جذب مشاهده می شود. این نتایج نشان داد که برای دستیابی به حداکثر جذب، محیط قلیایی تر (pH بالاتر) و زمان واکنش طولانی تر مناسب تر هستند، چرا که در این شرایط، نانو ذرات بیشتری تشکیل و پایدار می شوند و تجمع کمتری دارند.

پایه اجازه می‌دهد تا گروه‌های OH بیشتری در واکنش کاهش مشارکت داشته باشند و بازده کاهش را بهبود بخشد [۲۷].

زمان گرمخانه گذاری نیز یک پارامتر ضروری برای افزایش عملکرد، پایداری و اندازه نانو ذرات نقره سنتز شده در نظر گرفته می‌شود. هنگامی که از عصاره آنانا اسکوموسوس (آناناس) برای سنتز نانو ذرات نقره استفاده شد، تغییر رنگ سریع در ۲ دقیقه پس از گرمخانه گذاری مشاهده شد [۲۸]. غلظت AgNO_3 آبی در محلول به سرعت کاهش یافت و در عرض ۲ دقیقه نانو ذرات تولید کرد. قبل از اینکه رنگ کمی تغییر کند، واکنش تا ۵ دقیقه از سر گرفته شد. نانو ذرات کروی با اندازه متوسط ۱۲ نانومتر بودند. عصاره برگ *Ocimum Sanctum (Tulsi)* در مطالعه دیگری [۲۹] برای تولید نانو ذرات نقره پایدار با اندازه تقریباً ۱۷ نانومتر استفاده شد. بازده نانو ذرات نانو ذرات بیوسنتز شده پس از ۱۵ دقیقه گرمخانه گذاری شروع به افزایش کرد و تا چند ساعت بعد افزایش یافت. شدت جذب با افزایش زمان گرمخانه گذاری به دلیل افزایش مقدار نانو ذرات نقره تولید شده افزایش یافت. نانو ذرات نقره نیز با استفاده از عصاره *L. Origanum vulgare* تولید شده‌اند و بازده نانو ذرات با افزایش زمان واکنش تا ۳ ساعت افزایش می‌یابد [۳۰]. شدت رنگ مخلوط واکنش به طور پیوسته از زرد به قهوه‌ای تغییر می‌کند که نشان دهنده تشکیل نانو ذرات نقره است [۶].

افزایش غلظت عصاره گیاه در مخلوط واکنش می‌تواند شدت جذب را افزایش دهد [۳۱]. هنگام استفاده از غلظت‌های بالای عصاره، مولکول‌های زیستی به‌عنوان عوامل کاهنده عمل می‌کنند و سطوح نانو ذرات را می‌پوشانند و از تجمع آن‌ها و افزایش پایداری آن‌ها جلوگیری می‌کنند [۳۲]. غلظت AgNO_3 تأثیر قابل توجهی بر سنتز سبز AgNO_3 دارد. افزایش غلظت AgNO_3 باعث افزایش جذب می‌شود و غلظت یک میلی‌مولار برای نانو ذرات بهینه در نظر گرفته می‌شود [۱۴]. علاوه بر این،

دما یکی از مهم‌ترین پارامترهایی است که بر اندازه و مورفولوژی نانو ذرات نقره بیوسنتز شده تأثیر می‌گذارد. مطالعات متعددی تأیید کرده‌اند که با افزایش دمای واکنش، ابعاد نانو ذرات نقره کاهش می‌یابد و در نتیجه مورفولوژی آن‌ها تغییر می‌کند [۱۲-۱۷]. نویسندگان از عصاره برگ زیتون برای تولید نانو ذرات نقره استفاده کردند. آن‌ها دریافتند که افزایش دمای واکنش می‌تواند منجر به کاهش سریع یون‌های Ag^+ و متعاقب آن هسته شدن هسته‌های نقره و تشکیل نانو ذرات کروی و کوچک شود. علاوه بر این، مطالعه دیگری [۱۵] نشان داد که دمای واکنش کمتر منجر به نانو ذرات بزرگ‌تر می‌شود، در حالی که دماهای بالا نانو ذرات کوچک تولید می‌کنند. علاوه بر این، مشخص شد که عصاره برگ *Vitex agnus-castus* می‌تواند منجر به کاهش سریع یون Ag^+ حتی در دمای پایین ۴۰ درجه سانتی‌گراد شود. در مقابل، تولید کارآمد نانو ذرات نقره در مطالعه دیگری مشاهده شد که دما بین ۶۰ تا ۸۰ درجه سانتی‌گراد بود [۱۸]؛ بنابراین، در سنتز نانو ذرات، به خوبی ثابت شده است که دماهای بالا باعث رشد هسته می‌شود، در حالی که دمای پایین باعث رشد می‌شود [۶].

یک مطالعه قبلی [۱۹] استراتژی کنترل شکل، اندازه و پایداری نانو ذرات نقره را با تغییر مقدار pH در طول سنتز آن‌ها بررسی کرد. pH ۷ بهترین برای اطمینان از کاهش Ag^+ به Ag^0 در طول تولید AgNPs بود و بیشترین فراوانی نانو ذرات سنتز شده در pH ۷-۹ به دست آمد. چندین مطالعه نشان داده‌اند که با افزایش pH، میزان تولید نقره نانو ذرات افزایش می‌یابد [۲۰-۲۴]. علاوه بر این، نانو ذرات نقره در مقادیر pH بالاتر تقریباً کروی بودند و تنظیم pH در ۸ به طور قابل توجهی سرعت واکنش را افزایش داد [۲۵]. علاوه بر این، سایر نویسندگان [۲۶] ادعا کردند که استفاده از یک pH قلیایی در طول سنتز نانو ذرات نقره دارای مزایای زیادی از جمله بازده پایدار و بالای نانو ذرات، سرعت رشد سریع و بهبود فرآیند کاهش است. گروه‌های OH در عصاره‌های گیاهی نقش مهمی در کاهش و تثبیت گروه‌های عاملی در طول تشکیل نانو ذرات دارند. یک pH

افزایش غلظت AgNO_3 می‌تواند اندازه نانو ذرات را افزایش دهد [۳۳].

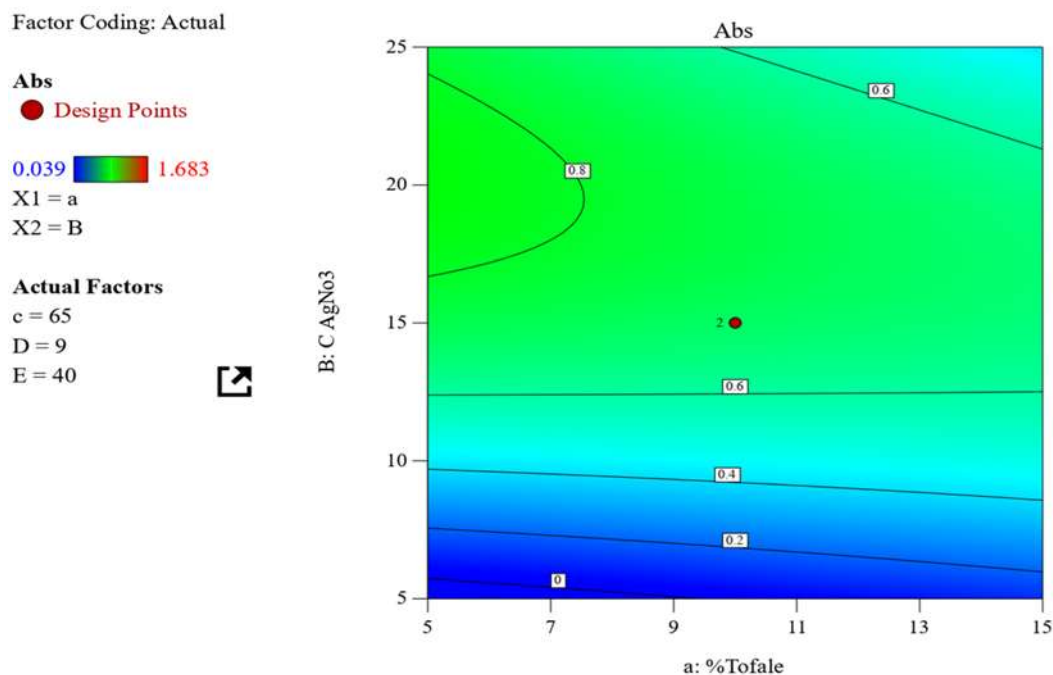


Figure (A) Contour plot of mutual influence of dry tomato pomace percentage and silver nitrate concentration on absorption rate

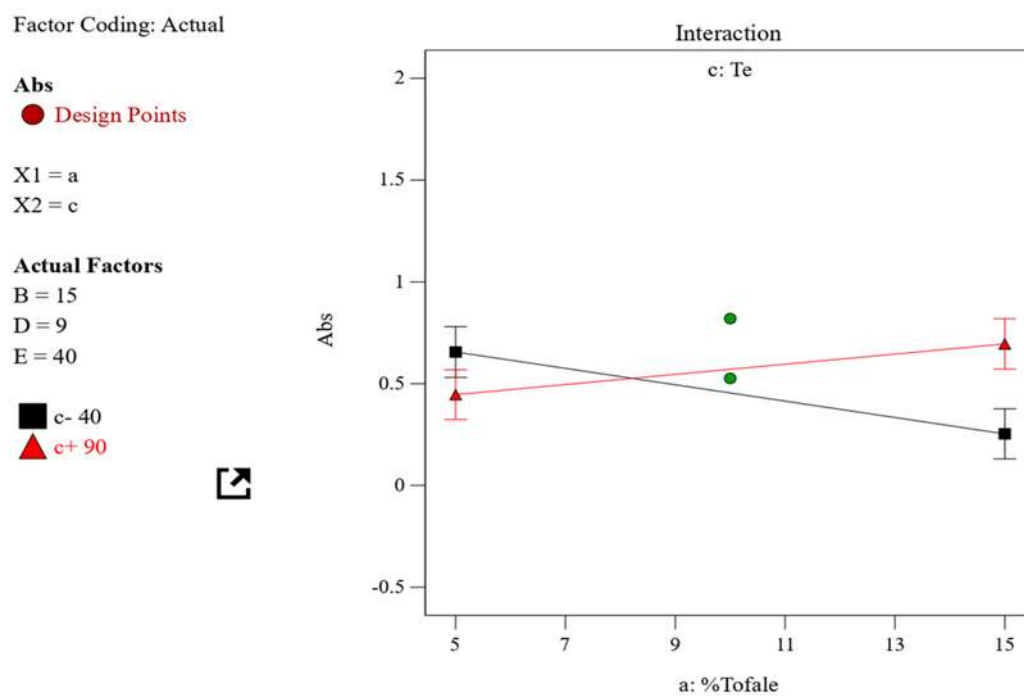


Figure (B) diagram of mutual effect of percentage of dry tomato pomace and temperature on absorption rate

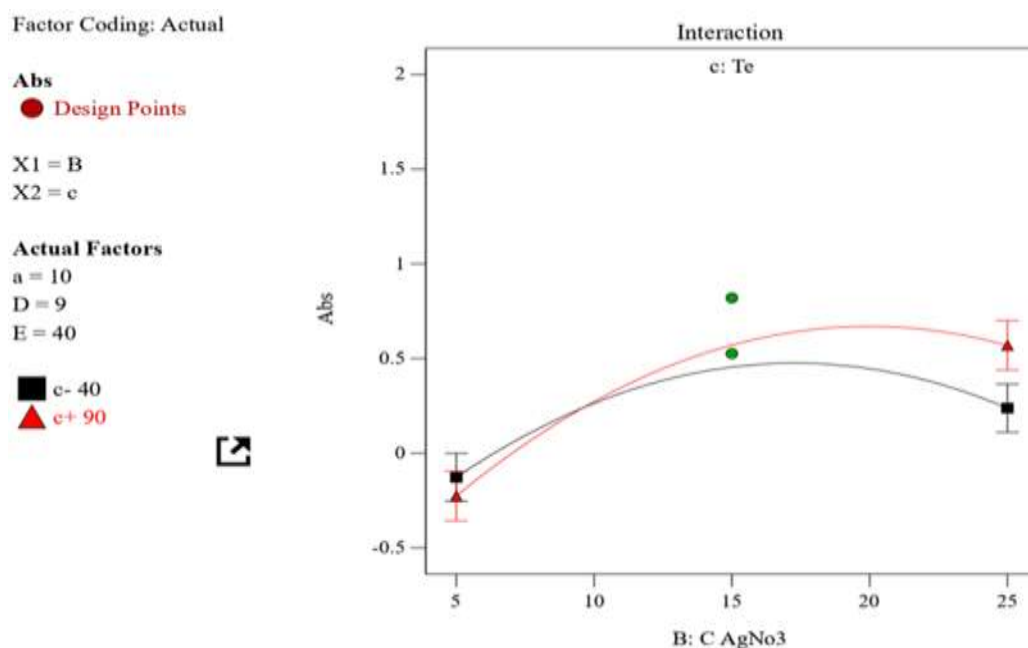


Figure (C) diagram of interaction effect of silver nitrate concentration and temperature on absorption rate

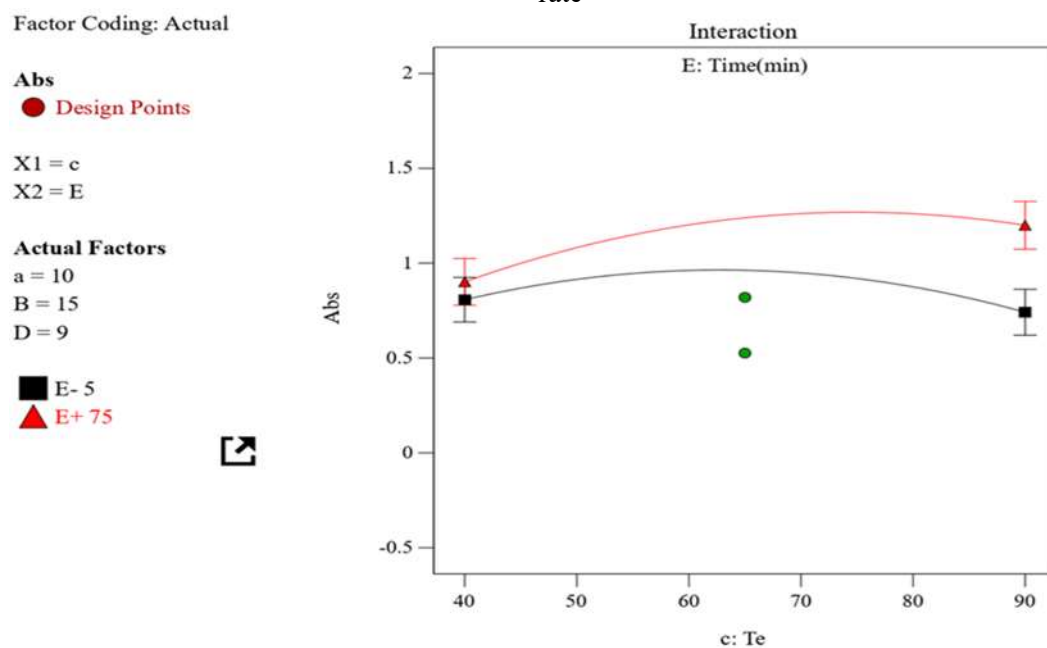


Figure (D) diagram of mutual effect of temperature and time on absorption rate

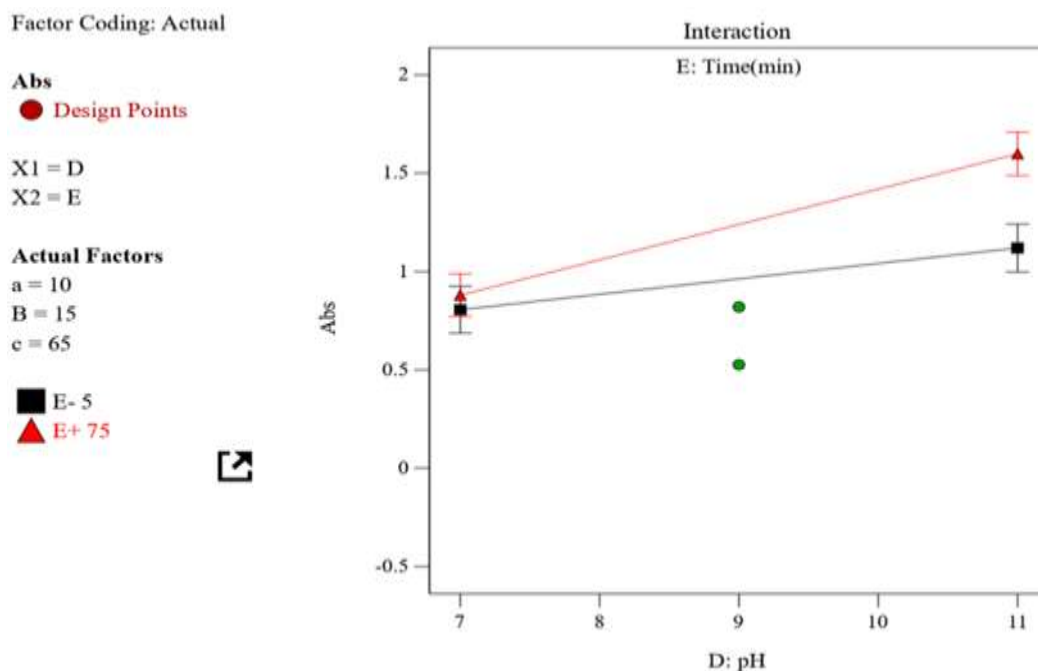


Figure (E) graph of mutual effect of pH and time on absorption rate

همان طور که در شکل (۳) مشاهده می‌شود، نمونه‌های نانو ذرات نقره سنتز شده با استفاده از دستگاه UV-Vis مورد بررسی قرار گرفتند و مشخص شد که پیک جذب نمودار در محدوده ۴۵۰-۴۸۰ نانومتر (به طور دقیق در ۴۲۰ نانومتر) رخ داد که نشان‌دهنده تشکیل نانو ذرات نقره کروی است [۱۰ و ۶]. بنابراین، طیف‌سنجی UV-Vis یک تکنیک ارزشمند برای توصیف نانو ذرات نقره سنتز شده است [۶]. از نتایج بهینه‌سازی‌های طرح برای تعریف بهینه پارامترها برای شکل‌گیری نانو ذرات نقره استفاده شد [۱۰ و ۴۲]. ترکیب عصاره گوجه‌فرنگی با نیترات نقره به رنگ قهوه‌ای تیره منجر شد که در شکل ۱ نشان داده شد. تغییرات رنگ ترکیب واکنش در کاهش یون Ag^+ به Ag^0 بود [۸]. (۲۰۲۰-۲). از نتایج بهینه‌سازی‌های طرح برای تعریف بهینه پارامترها برای شکل‌گیری نانو ذرات نقره استفاده شد [۱۰ و ۴۲]. Run 12 با عدد جذب $1/683$ ، چون در منطقه بهینه بود، آن را به عنوان بهینه سنتز نانو ذره نقره انتخاب کردیم. بهینه سنتز نانو ذره در شرایط دمای ۶۵ درجه سانتی‌گراد، غلظت نیترات نقره ۲۵ میلی‌مولار، مقدار تفلون خشک ۵٪ وزنی-حجمی، زمان ۷۵ دقیقه و pH 11 رخ داد.

۳-۲ خصوصیات نانو ذرات نقره سنتز شده

روش‌های خاص باید ابتدا تشکیل AgNPs را تأیید کنند تا بتوان از آنها برای کاربرد مورد نظر خود استفاده کرد. اساسی‌ترین روش برای نظارت بر تولید نانو ذرات نقره با مشاهده بصری تغییر رنگ محلول از زرد به قهوه‌ای است. یک اسپکتروفتومتر می‌تواند فرآیند ردیابی را بیشتر تأیید کند و پیک‌های نانو ذرات را در ناحیه مرئی طیف UV-Vis در طول موج بین ۴۰۰ تا ۴۵۰ نانومتر شناسایی کند [۳۴ و ۴۲]. تکنیک‌های دیگر، از جمله SEM، می‌تواند برای بررسی اندازه، مورفولوژی، پراکندگی و ترکیب نانو ذرات مورد استفاده قرار گیرند. یکی دیگر از تکنیک‌های مهم برای ارزیابی تولید نانو ذرات، آنالیز XRD است. علاوه بر این، طیف‌سنجی FTIR می‌تواند به ردیابی بیو مولکول‌هایی که بر شکل‌گیری و پایداری نانو ذرات تأثیر می‌گذارند کمک کند [۱۰ و ۴۲].

۳-۲-۱ طیف‌سنجی مرئی نانو ذرات (UV-Vis)

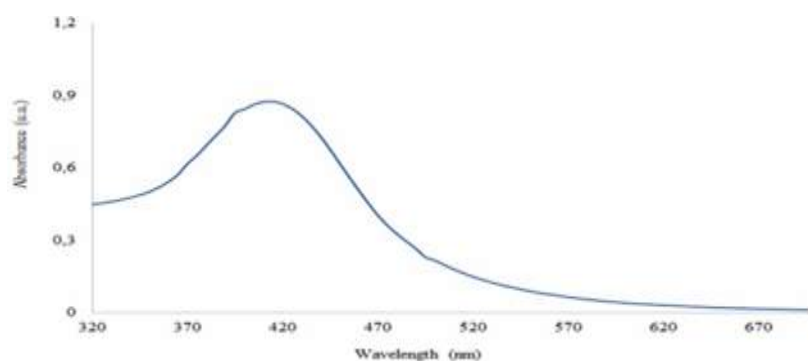


Figure (2) visible-ultraviolet spectroscopy of silver nanoparticles synthesized under the best parameters in a concentration of 25 mM silver nitrate, a concentration of 5% dry tomato pomace, pH=6, at 65°C for 75 minutes) a characteristic peak around showed 420 nm, which can be attributed to the presence of spherical silver nanoparticles. The optimization results were used to define the best parameters for the formation of nanoparticles [10].

می‌شود (حدود ۱/۶) و خارج از این ناحیه، مقدار جذب کمتر است. برای دستیابی به جذب ۱/۶، درصد تفاله باید بین حدود ۸ تا ۱۳ (درصد وزنی/حجمی) و غلظت نیترات نقره بین ۱۵ تا ۲۵ میلی‌مولار باشد. این مقدارها نشان‌دهنده شرایط بهینه برای حداکثر جذب هستند. درصد تفاله بین ۸ تا ۱۳ درصد وزنی/حجمی و غلظت نیترات نقره بین ۱۵ تا ۲۵ میلی‌مولار شرایط مطلوب برای افزایش جذب نانو ذرات نقره را فراهم کرد.

بررسی تأثیر ترکیبی دو عامل غلظت نیترات نقره و درصد تفاله بر مقدار جذب است: ناحیه زرد رنگ نشان‌دهنده محدوده‌ای است که در آن مقدار جذب تقریباً به ۱/۶ نزدیک می‌شود. این منطقه بیانگر ترکیبی از شرایط بهینه برای دستیابی به بیشینه جذب در مقادیر معینی از درصد تفاله و غلظت نیترات نقره است. در مقادیر مشخصی از درصد تفاله و غلظت نیترات نقره، مقدار جذب حداکثر

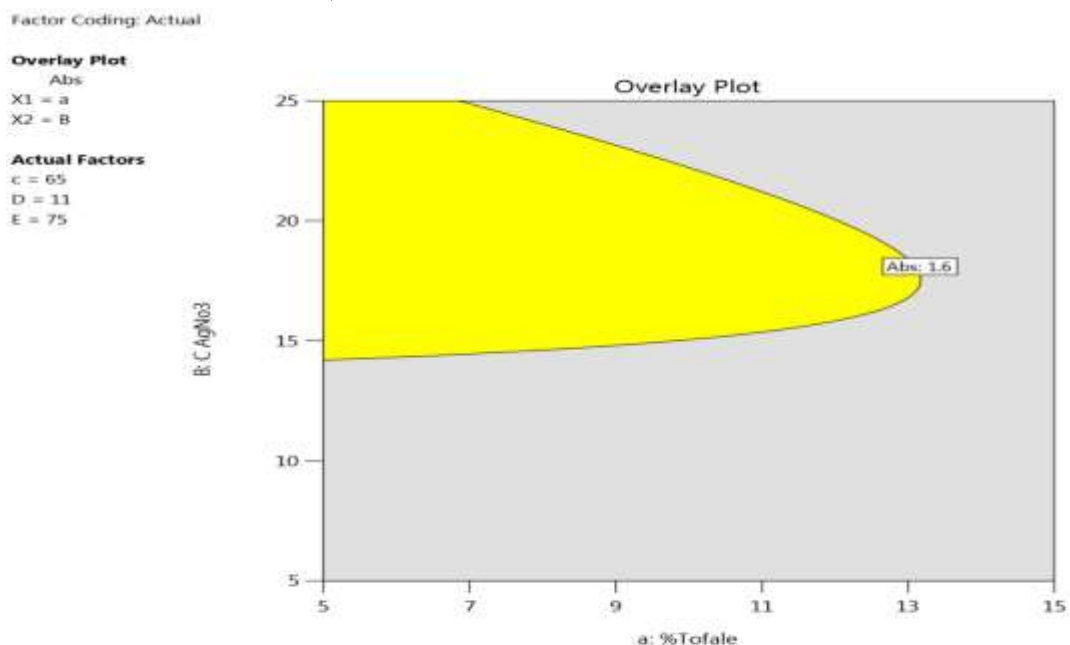


Figure (3) Diagram of optimization of conditions and parameters of silver nano particle synthesis تجزیه و تحلیل FTIR می‌تواند به شناسایی مولکول‌های

زیستی مسئول کاهش یون‌های Ag^+ و تثبیت نانو ذرات

(۳-۲-۲) طیف مادون قرمز نانو ذرات (FT-IR)

جذبی 3629 cm^{-1} و 3421 cm^{-1} به ترتیب به گروه‌های هیدروکسیل (O-H) و آمین (N-H) مرتبط هستند که معمولاً در این نواحی جذب می‌شوند. یک پیک کوچک در 2927 cm^{-1} : نشان‌دهنده کشش C-H در گروه‌های آلکانی است. پیک در $1716/1718\text{ cm}^{-1}$ این پیک به گروه‌های کربونیل (C=O) در آلدئیدها، کتون‌ها و اسیدهای کربوکسیلیک نسبت داده می‌شود. پیک در 1617 cm^{-1} به گروه‌های کربونیل (C=O) در آمیدها یا کشش C=C در ترکیبات آروماتیک مرتبط است. پیک در 1508 cm^{-1} و 1457 cm^{-1} به ارتعاشات خمشی C-H در گروه‌های متیل و متیلن مربوط هستند. پیک در 1384 cm^{-1} ، به خم شدن C-H (bending) در گروه‌های متیل مرتبط است. پیک در 1079 cm^{-1} به گروه‌های اتر (C-O-C) یا الکل‌های اولیه و ثانویه (C-O) مربوط است. پیک در 626 cm^{-1} به ارتعاشات خمشی خارج از صفحه (out-of-plane bending) در ترکیبات آروماتیک مربوط باشد. گروه‌های عاملی شناسایی شده نشان می‌دهند که تفاله گوجه‌فرنگی می‌تواند حاوی ترکیبات آلی مختلفی باشد که در تثبیت نانو ذرات نقره نقش دارند. به خصوص حضور گروه‌های هیدروکسیل، کربونیل و آمین می‌تواند نشان‌دهنده تعاملات قوی با نانو ذرات نقره باشد که منجر به تشکیل و پایداری آنها می‌شود.

نقره سنتز شده کمک کند [۳۲]. این تحلیل کیفی مبتنی بر استفاده از اسکن نور مادون قرمز برای مشاهده پیوندهای شیمیایی نمونه‌ها است. طیف‌سنجی FTIR می‌تواند برای تعیین گروه‌های عاملی مسئول سنتز نانو ذرات نقره استفاده شود. در تجزیه و تحلیل طیف‌سنجی FTIR، شکل پروفایل طیف جذبی پیک‌های مختلفی را نشان می‌دهد که نشان دهنده غلظت بالای انواع خاصی از پیوندهای شیمیایی است و گروه‌های عاملی مختلف مانند آلکان‌ها، کتون‌ها و آمین‌ها، تابش مادون قرمز با طول موج‌های مختلف را جذب می‌کنند، بنابراین اجازه می‌دهد تا شناسایی مولکول‌های زیستی [۳۵]. مقایسه بین طیف FTIR یک عصاره گیاه و نانو ذرات نقره بیوسنتز شده می‌تواند گروه‌های عاملی را که در پوشش سطحی و تثبیت مؤثر نانو ذرات تولید شده دخیل هستند، آشکار کند [۳۶]. بنابراین، طیف‌سنجی FTIR یک تکنیک ارزشمند و اقتصادی برای تعیین نقش مولکول‌های بیولوژیکی در سنتز و تثبیت نانو ذرات نقره سنتز شده سبز است. [۳۷ و ۳۸]. طیف FTIR را نشان داد که عصاره‌های گیاهی و نانو ذرات نقره بیوسنتز شده را که حاوی برخی مولکول‌های زیستی هستند نشان می‌دهد (شکل ۵) [۶]. برای تحلیل طیف FT-IR مطابق گراف پایین، ابتدا پیک‌های اصلی شناسایی و گروه‌های عاملی متناظر با پیک‌ها معرفی می‌گردد. دو پیک در طول موج

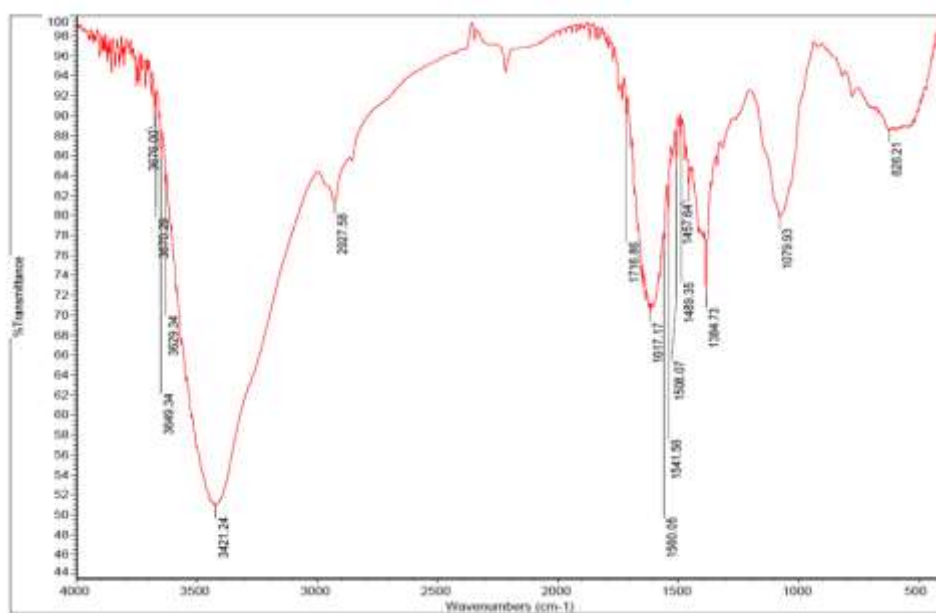


Figure (4) Fourier transform infrared spectrum (FT-IR) of synthesized silver nanoparticles [6].

نانو ذرات نقره مقایسه کرد: در نمودار چند پیک برجسته دیده می‌شود که به ساختار کریستالی نقره مربوط می‌شوند. این پیک‌ها در مقادیر ۲۰ حدود 38° ، 44° ، 64° و 77° قرار دارند. مقایسه با استاندارد نقره: نانو ذرات نقره دارای پیک‌های اصلی در موقعیت‌های 38° ، 44° ، 64° و 77° هستند که به صفحات کریستالی (۱۱۱)، (۲۰۰)، (۲۲۰)، و (۳۱۱) مربوط می‌شوند. تحلیل نمودار: پیک در 38° ، به صفحه (۱۱۱) نقره مربوط می‌شود و وجود آن نشان‌دهنده حضور نانو ذرات نقره است. پیک در 44° ، به صفحه (۲۰۰) نقره مربوط می‌شود و نشان‌دهنده ساختار کریستالی نقره است. پیک در 64° ، به صفحه (۲۲۰) نقره مربوط می‌شود و حضور آن نیز نشان‌دهنده نانو ذرات نقره است. پیک در 77° به صفحه (۳۱۱) نقره مربوط می‌شود. نتیجه می‌گیریم پیک‌های اصلی مشاهده شده در نمودار به خوبی با پیک‌های استاندارد نانو ذرات نقره تطابق دارند. بنابراین، این نمودار نشان می‌دهد که موفق به تولید نانو ذرات نقره با استفاده از تفاله گوجه‌فرنگی شده‌ایم. در این تحلیل، پیک‌های اصلی نانو ذرات نقره تشخیص داده شده‌اند و حضور آنها در نمونه تأیید می‌کند که نانو ذرات نقره با ساختار کریستالی صحیح تولید شده‌اند.

۳-۲-۳) پراش اشعه ایکس نانو ذرات (XRD)

XRD یک تکنیک شناسایی قدرتمند برای آنالیزهای کمی و کیفی نانو ذرات است. آنالیزهای XRD برای تأیید تشکیل نانو ذرات و تعیین ساختار کریستالی آنها استفاده می‌شود. علاوه بر این، از این تکنیک برای محاسبه اندازه نانو ذرات کریستالی و اندازه‌گیری درجه بلورینگی استفاده شده است. تجزیه و تحلیل مواد با استفاده از این تکنیک به الگوهای پراش بستگی دارد زیرا هر ماده دارای یک پرتو پراش منحصر به فرد است. اصل کار XRD قانون براگ است که به تعیین بازتاب براگ نانو ذرات کمک می‌کند. الگوهای XRD پیک‌های قابل توجهی مانند صفحات کریستالوگرافی (۱۱۱)، (۲۰۰)، (۲۲۰)، (۳۱۱)، (۳۳۱) و (۲۲۲) را نشان می‌دهند که مخصوص نانو ذرات نقره هستند. پیک‌های پراش (۱۱۱)، (۲۰۰) و (۲۲۰) نشان دهنده نقره مکعبی رو به مرکز است، در حالی که وضوح این پیک‌ها نشان دهنده تشکیل ذرات در اندازه نانو است. الگوی XRD نانو ذرات نقره سنتز شده از عصاره آبی تفاله خشک گوجه‌فرنگی در شکل (۶) مشاهده می‌شود [۶]. برای تحلیل نمودار XRD باید پیک‌های مشخصی را شناسایی و با پیک‌های استاندارد

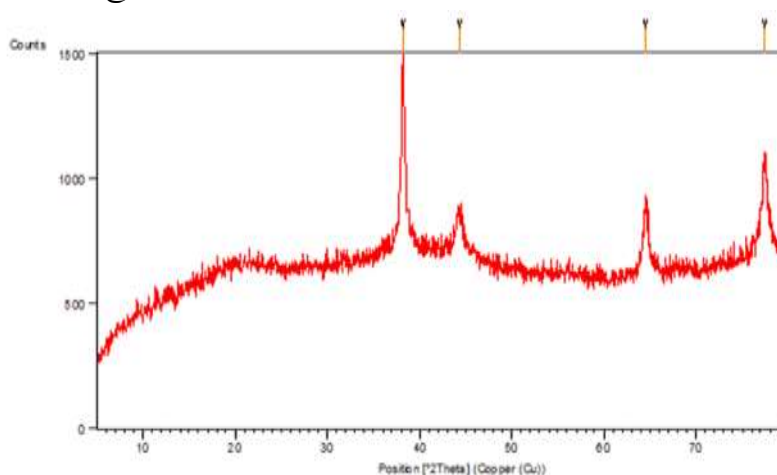


Figure (5) X-ray diffraction pattern of synthesized silver nanoparticles [6].

در میان سایر تکنیک‌های میکروسکوپ الکترونی، SEM می‌تواند مورفولوژی سطح نانو ذرات مانند شکل، اندازه و توزیع اندازه آنها را تعیین کند. این ابزار میکروسکوپی مزیت قابل توجهی را ارائه می‌دهد زیرا می‌توان آن را با قرار

۳-۲-۴) تصویربرداری میکروسکوپ الکترونی روبشی

نانو ذرات (SEM)

متغیر است و شکل نانو ذرات کرومی می‌باشد. خان و همکاران. (۲۰۲۲) نقره نانو ذرات سنتز شده از *Acer pentapomicum* را با استفاده از SEM مورد بررسی قرار دادند و مطالعه آنها نشان داد که اندازه متوسط نانو ذرات نقره بین ۱۹ تا ۲۵ نانومتر و شکل آنها کرومی بود. قبان و همکاران (۲۰۲۲) دریافتند که نانو ذرات نقره تولید شده از *Astragalus spinosus* به شکل کرومی بوده و با استفاده از SEM از ۳۰ تا ۴۰ نانومتر اندازه دارند. مطالعه دیگری بر روی نانو ذرات نقره سنتز شده سبز از *Areca catechu* همچنین نشان داد که شکل نانو ذرات با استفاده از SEM کرومی است [۶].

دادن نمونه‌ها به طور مستقیم بر روی یک سطح سیاه انجام داد تا از پراکندگی پرتو تابشی نامطلوب جلوگیری شود. اگرچه SEM نمی‌تواند ساختار داخلی نمونه‌ها را مشاهده کند، اما می‌تواند اطلاعات مفیدی در مورد خلوص و تجمع ذرات ارائه دهد. نانو ذرات نقره معمولاً کرومی، مکعبی، مثلثی، بیضی، سنگریزه مانند و دایره‌ای شکل هستند و به صورت ذرات منفرد یا تجمع یافته ظاهر می‌شوند. تغییرات شکل ممکن است ناشی از تغییرات در پارامترهای سنتز مانند pH، دما و غلظت گیاه باشد. بیشتر ذرات دارای اندازه‌های بین ۲۰ تا ۳۰ نانومتر هستند [۶]. مطابق شکل (۷) مشاهده می‌شود اندازه نانو ذرات سنتز شده توسط عصاره آبی تفاله خشک گوجه‌فرنگی، بین ۱۸ تا ۲۹ نانومتر

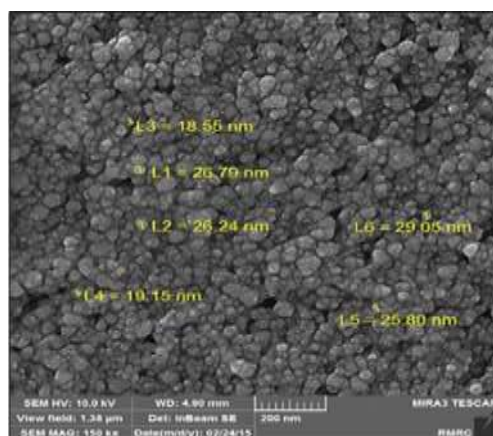


Figure (6) Scanning electron microscope image of silver nanoparticles

ضایعات تفاله خشک گوجه‌فرنگی برای سنتز نانو ذرات نقره یک روش سبز و کارآمد است که می‌تواند به کاهش هزینه‌ها و اثرات زیست محیطی کمک کند. نانو ذرات دارای خواص ضد باکتریایی طیف وسیعی در برابر هر دو سویه باکتری‌های گرم منفی و گرم مثبت هستند. دلیل اصلی اینکه نانو ذرات جایگزین آنتی‌بیوتیک‌ها هستند، توانایی آنها در مهار میکروارگانیسم‌های چند مقاوم در برخی موارد است. نانو ذرات دارای سطح وسیعی هستند که برهمکنش با میکروارگانیسم‌ها را افزایش می‌دهد و در نتیجه فعالیت ضد میکروبی قوی ایجاد می‌کند. به طور کلی، خواص شیمیایی، فیزیکی، مکانیکی و ضد میکروبی نانو ذرات به پیش ساز انتخابی آنها بستگی دارد. میکروارگانیسم‌های نانو ذراتی به روش‌های مختلفی عمل می‌کنند و مکانیسم عمل

۳-۲-۵) سنجش فعالیت ضد باکتریایی نانو ذرات

با توجه به نتیجه‌ها، هاله عدم رشد مناسب این نانوذره‌ها به ترتیب برابر با ۱۳/۸ میلی‌متر برای نانو ذره با غلظت ۵۰۰ ppm و ۱۵/۳ میلی‌متر برای نانو ذره با غلظت ۲۵۰ ppm برای باکتری *E.coli* اندازه‌گیری شد. مناطق بازدارندگی به ترتیب ۱۷/۲۵ میلی‌متر برای نانو ذره با غلظت ۲۵۰ ppm و ۱۹/۵ میلی‌متر برای نانو ذره با غلظت ۵۰۰ ppm برای باکتری *S.aureus* اندازه‌گیری شد. نانو ذرات نقره سنتز شده از عصاره‌ها فعالیت‌های ضد باکتریایی قابل توجهی را نشان می‌دهند و می‌توان گفت که این مواد شیمیایی گیاهی ممکن است به عنوان AgNPs عوامل کاهنده و یا پوشاننده عمل کنند، در کاهش یون‌های نقره نقش دارند [۳۹]. استفاده از

کاربردهای ضد میکروبی علیه پاتوژن‌های موجود در غذا و همچنین آنتی‌اکسیدان‌ها برای حفظ کیفیت غذا، مزیت بزرگی است. در طول دهه‌های گذشته، نانو ذرات نقره به‌عنوان افزودنی‌های غذایی و یا مواد در تماس با غذا در محصولات مصرفی، عمدتاً به دلیل خواص ضد میکروبی آن‌ها تعریف شده‌اند؛ بنابراین، نانو ذرات نقره به دلیل جستجوی جایگزین‌های ضد میکروبی جدید که می‌توانند جایگزین یا مکمل عمل نگهدارنده‌های شیمیایی مواد غذایی شوند، به یک تجدید، افزایش و علاقه دست یافته‌اند. در این زمینه، کاربردهای جدید و اخیر نانو ذرات نقره در حوزه صنایع غذایی معرفی شده است. به طور خاص، نانو ذرات نقره به عنوان یک جایگزین جدید برای جایگزینی یا تکمیل خواص ضد عفونی‌کننده SO_2 به دلیل خطرات بالقوه سولفیت‌ها برای سلامت انسان پیشنهاد شده است [3]. $Ag-NPs$ ترکیبات فلزی با خاصیت ضد میکروبی هستند که اخیراً در بسته‌بندی مواد غذایی استفاده می‌شوند. مزایای $Ag-NPs$ در مقایسه با قارچ‌کش‌های شیمیایی که در حال حاضر مورد استفاده قرار می‌گیرند عبارتند از: نانو ذرات نقره می‌توانند در انواع حلال‌ها (شامل آب، ایزوپروپانول و اتانول) حل شوند تا سوسپانسیون‌های مناسب تولید کنند. آن‌ها در غلظت‌های پایین‌تر در برابر قارچ‌ها اثربخشی بالایی دارند و زمانی که با استفاده از ترکیبات غیر سمی سنتز می‌شوند، می‌توان آن‌ها را مواد غیر سمی در نظر گرفت و در مقایسه با قارچ‌کش‌های سرطان‌زا ایمن‌تر هستند [8]. نانو ذرات سنتز شده سبز خود را با گروه بزرگی از فیتوکمیکال‌های آلی احاطه کرده‌اند که به کمپلکس‌سازی مبتنی بر لیگاند با گیرنده‌های مختلف مانند پروتئین‌ها، لیپیدها، فسفولیپیدها، اسید لیپوتیکوئیک در سطح میکروبی کمک می‌کند. این کمپلکس شدن نانو ذرات با باکتری‌ها از تشکیل بیوفیلم و رشد آن‌ها جلوگیری می‌کند. گیاهان به عنوان یکی از مفیدترین منابع برای سنتز سبز نانو ذرات در نظر گرفته می‌شوند زیرا میزبان طیف وسیعی از متابولیت‌ها هستند که هم به عنوان عامل کاهش دهنده و هم عامل تثبیت‌کننده عمل می‌کنند [7]. بیشترین استفاده از

آن‌ها به منشأ نانوذره بستگی دارد. نانو ذرات دارای اثرات ضد باکتریایی (مانع تکثیر DNA، عملکرد آنزیم‌ها و...)، ضد ویروسی (مسدود اتصال ویروس‌ها به دیواره سلولی)، ضد قارچی (تجزیه غشای سلولی) و سایر اثرات هستند. شواهد اخیر در زمینه نانوتکنولوژی نشان داد که پارامترهای مورفولوژیکی نانو ذرات (به عنوان مثال، اندازه و شکل) را می‌توان با تغییر غلظت ترکیبات فعال زیستی و شرایط واکنش (مانند دما و pH) تعدیل کرد [2].

یکی از فراوان‌ترین گروه‌های مواد با فعالیت ضد میکروبی مناسب برای اصلاح پلیمر، ترکیبات معدنی و نانو ذرات فلزی است. این گروه از فلزات (Cu, Au, Ag و غیره)، اکسیدهای فلزی (TiO_2 , ZnO و غیره)، اکسیدهای غیرفلزی (SiO_2) تشکیل شده است. در بیشتر موارد، اندازه نانو مواد ضد میکروبی از ۱ تا ۱۰۰ نانومتر متغیر است. آن‌ها می‌توانند منشأ آلی یا معدنی داشته باشند، اما مواد معدنی بیشتر مورد استفاده قرار می‌گیرند. نانو ذرات بیشترین استفاده را دارند زیرا دارای خواص ضد باکتریایی طیف وسیعی در برابر هر دو سویه باکتری‌های گرم منفی و گرم مثبت هستند. دلیل اصلی اینکه نانو ذرات جایگزین آنتی‌بیوتیک‌ها هستند، توانایی آن‌ها در مهار میکروارگانیسم‌های چند مقاوم در برخی موارد است. نانو ذرات دارای سطح وسیعی هستند که برهمکنش با میکروارگانیسم‌ها را افزایش می‌دهد و در نتیجه فعالیت ضد میکروبی قوی ایجاد می‌کند. نانو ذرات با اندازه کوچک‌تر و نسبت سطح به وزن بیشتر در شکستن بیوفیلم کارآمدتر هستند. شکل ذرات همچنین تأثیر قابل توجهی بر راندمان تخریب بیوفیلم‌ها دارد (به عنوان مثال، ذرات میله‌ای شکل بسیار کارآمدتر از اشکال کروی هستند) [2]. در میان نانو ذرات، نانو ذرات نقره ($Ag-NPs$) بیشترین مطالعه را دارند زیرا نشان داده‌اند که در برابر میکروارگانیسم‌های مختلف مؤثر بوده و برای انسان بی‌خطر هستند. از آنجایی که نقره مدت‌هاست سمیت قوی برای طیف وسیعی از میکروارگانیسم‌ها نشان می‌دهد، با سمیت سیستمیک کم برای انسان، استفاده از ترکیبات مبتنی بر نقره برای

منظوره عمل می‌کند: ۱- از تجمع نانو ذرات جلوگیری می‌کند ۲- سمیت را کاهش می‌دهد و ۳- عملکرد ضد میکروبی را بهبود می‌بخشد [11]. نانو ذرات نقره دارای خواص ضد ویروسی، ضد باکتریایی و ضد قارچی هستند. یکی از کاربردهای Ag-NPs به دلیل اثر یون Ag^+ در نانو ابزارهای ضد باکتریایی استفاده می‌شود. Ag-NPs را می‌توان برای کاهش سمیت و بهبود زمان ماند بیولوژیکی آن‌ها بارگذاری/ پوشش داد [6].

مولکول‌های زیستی از عصاره‌های گیاهی سرچشمه می‌گیرد. عصاره بیولوژیکی استخراج شده از منابع مختلف به صورت خارجی به نمک‌های فلزی اضافه می‌شوند تا نانو ذرات را تشکیل دهند. برای سنتز AgNPs، عصاره بیولوژیکی در محل نمک‌های نقره (Ag^+) را به نقره فلزی (Ag^0) کاهش می‌دهد. در فرآیند سنتز نانو ذرات به روش سبز، مولکول‌های بیولوژیکی نه تنها نمک‌های فلزی را کاهش می‌دهند، بلکه نانو ذرات تشکیل‌شده را نیز می‌پوشانند یا به‌عنوان عامل کاهنده و پوشاننده درجا عمل می‌کنند. این پوشش سودمند است زیرا به عنوان روشی چند



Figure (7) Antibacterial activity of silver nanoparticles produced in two different concentrations 1 and 2 (concentration 250 ppm) and 3 and 4 (concentration 500 ppm)

ذرات نقره بیوسنتز شده تأثیر می‌گذارد. مطالعات متعددی تأیید کرده‌اند که با افزایش دمای واکنش، ابعاد نانو ذرات نقره کاهش می‌یابد و در نتیجه مورفولوژی آنها تغییر می‌کند. افزایش دمای واکنش می‌تواند منجر به کاهش سریع یون‌های Ag^+ و متعاقب آن هسته شدن هسته‌های نقره و تشکیل نانو ذرات کروی و کوچک شود. دمای واکنش کمتر منجر به نانو ذرات بزرگ‌تر می‌شود، در حالی که دماهای بالا نانو ذرات کوچک تولید می‌کنند. تولید کارآمد نانو ذرات نقره در دما بین ۶۰ تا ۸۰ درجه سانتی‌گراد بود. بنابراین، در سنتز نانو ذرات، به خوبی ثابت شده است که دماهای بالا باعث رشد هسته می‌شود، در حالی که دمای پایین باعث رشد می‌شود. تغییر مقدار pH در طول سنتز استراتژی برای کنترل شکل، اندازه و پایداری نانو ذرات

۴- نتیجه گیری

در مجموع، ماهیت کریستالی نانو ذرات نقره با موفقیت کامل از یک روش سازگار با محیط زیست، آسان، سریع و راحت تر با استفاده عصاره تفاله خشک گوجه‌فرنگی تهیه شد. نتایج SEM نانو ذرات نقره با شکل کروی را نشان داد با این حال، اشعه ماوراءبنفش در برابر کاهش یون‌های Ag^+ به Ag^0 پیک واکنش سطحی در ۴۲۰ نانومتر است. همچنین نتایج نشان داد که نانو ذرات نقره تولید شده دارای ابعاد نانومتری و مورفولوژی کروی هستند. همچنین، این نانو ذرات خصوصیات ضد باکتریایی قوی‌ای در برابر باکتری‌های گرم مثبت و گرم منفی نشان دادند. دما یکی از مهم‌ترین پارامترهایی است که بر اندازه و مورفولوژی نانو

مخلوط واکنش می‌تواند شدت جذب را افزایش دهد. هنگام استفاده از غلظت‌های بالای عصاره، مولکول‌های زیستی به‌عنوان عوامل کاهنده عمل می‌کنند و سطوح نانو ذرات را می‌پوشانند و از تجمع آن‌ها و افزایش پایداری آن‌ها جلوگیری می‌کنند. غلظت AgNO_3 تأثیر قابل توجهی بر سنتز سبز AgNO_3 دارد. افزایش غلظت AgNO_3 باعث افزایش جذب می‌شود و غلظت یک میلی‌مولار برای نانو ذرات بهینه در نظر گرفته می‌شود. علاوه بر این، افزایش غلظت AgNO_3 می‌تواند اندازه نانو ذرات را افزایش دهد.

رضایت نامه کتبی

رضایت نامه کتبی و آگاهانه از تمامی شرکت‌کنندگان در مطالعه اخذ شد.

تعارض منافع

نویسندگان اعلام می‌کنند که هیچ گونه تعارض منافع ندارند.

بیانیه دسترسی‌ها

داده‌های پژوهش در صورت درخواست از سوی نویسنده مسئول به اشتراک گذاشته می‌شوند.

مشارکت نویسندگان

همه نویسندگان در این انجام پروژه مشارکت داشته‌اند.

۵-منابع

- [1] Agarwal, H., Menon, S., Kumar, S. V., & Rajeshkumar, S. (2018). Mechanistic study on antibacterial action of zinc oxide nanoparticles synthesized using green route. *Chemico-biological interactions*, 286, 60-70.
- [2] Dikshit, P. K., Kumar, J., Das, A. K., Sadhu, S., Sharma, S., Singh, S. & Kim, B. S. (2021). Green synthesis of metallic nanoparticles: Applications and limitations. *Catalysts*, 11(8), 902.
- [3] Aksoylu Özbek, Z., Çelik, K., Günç Ergönül, P., & Hepçimen, A. Z. (2020). A promising food waste for food fortification: Characterization of dried tomato

نقره است. pH 7 بهترین برای اطمینان از کاهش Ag^+ به Ag^0 در طول تولید AgNPs بود و بیشترین فراوانی نانو ذرات سنتز شده در pH 7-9 به دست آمد. با افزایش pH، میزان تولید نقره نانو ذرات افزایش می‌یابد. علاوه بر این، نانو ذرات نقره در مقادیر pH بالاتر تقریباً کروی بودند و تنظیم pH در ۸ به طور قابل توجهی سرعت واکنش را افزایش داد. استفاده از یک pH قلیایی در طول سنتز نانو ذرات نقره دارای مزایای زیادی از جمله بازده پایدار و بالای نانو ذرات، سرعت رشد سریع و بهبود فرآیند کاهش است. گروه‌های OH در عصاره‌های گیاهی نقش مهمی در کاهش و تثبیت گروه‌های عاملی در طول تشکیل نانو ذرات دارند. یک pH پایه اجازه می‌دهد تا گروه‌های OH بیشتری در واکنش کاهش مشارکت داشته باشند و بازده کاهش را بهبود بخشد. زمان گرمخانه گذاری نیز یک پارامتر ضروری برای افزایش عملکرد، پایداری و اندازه نانو ذرات نقره سنتز شده در نظر گرفته می‌شود. غلظت AgNO_3 آبی در محلول به سرعت کاهش یافت و در عرض ۲ دقیقه نانو ذرات تولید کرد. قبل از اینکه رنگ کمی تغییر کند، واکنش تا ۵ دقیقه از سر گرفته شد. نانو ذرات کروی با اندازه متوسط ۱۲ نانومتر بودند. بازده نانو ذرات نانو ذرات بیوسنتز شده پس از ۱۵ دقیقه گرمخانه گذاری شروع به افزایش کرد و تا چند ساعت بعد افزایش یافت. شدت جذب با افزایش زمان گرمخانه گذاری به دلیل افزایش مقدار نانو ذرات نقره تولید شده افزایش یافت. شدت رنگ مخلوط واکنش به طور پیوسته از زرد به قهوه‌ای تغییر می‌کند که نشان دهنده تشکیل نانو ذرات نقره است. افزایش غلظت عصاره گیاه در pomace and its cold pressed oil. *Journal of Food Chemistry and Nanotechnology*, 6(01), 2020-078.
- [4] Machado, S., Grosso, J. P., Nouws, H. P. A., Albergaria, J. T., & Delerue-Matos, C. (2014). Utilization of food industry wastes for the production of zero-valent iron nanoparticles. *Science of the Total Environment*, 496, 233-240.
- [5] Balčiūnaitienė, A., Viškelis, J., Urbonavičienė, D., & Viškelis, P. (2022). Tomatoes By-products Extracts Mediated Green Synthesis of Silver Nanoparticles and Their Application as Antimicrobial Agent. In *Tato-From Cultivation to Processing Technology*. IntechOpen.

- [6] Alharbi, N. S., Alsubhi, N. S., & Felimban, A. I. (2022). Green synthesis of silver nanoparticles using medicinal plants: Characterization and application. *Journal of Radiation Research and Applied Sciences*, 15(3), 109-124.
- [7] Zuorro, A., Iannone, A., Natali, S., & Lavecchia, R. (2019). Green synthesis of silver nanoparticles using bilberry and red currant waste extracts. *Processes*, 7(4), 193.
- [8] Soto, K. M., Quezada-Cervantes, C. T., Hernández-Iturriaga, M., Luna-Bárceñas, G., Vazquez-Duhalt, R., & Mendoza, S. (2019). Fruit peels waste for the green synthesis of silver nanoparticles with antimicrobial activity against foodborne pathogens. *Lwt*, 103, 293-300.
- [9] Vasyliov, G., Vorobyova, V., Skiba, M., & Khrokalo, L. (2020). Green synthesis of silver nanoparticles using waste products (apricot and black currant pomace) aqueous extracts and their characterization. *Advances in Materials Science and Engineering*, 2020, 1-11.
- [10] Figueiredo, C. C. M., da Costa Gomes, A., Zibordi, L. C., Granero, F. O., Ximenes, V. F., Pavan, N. M., ... & da Silva, R. M. G. (2023). Biosynthesis of silver nanoparticles of *Tribulus terrestris* food supplement and evaluated antioxidant activity and collagenase, elastase and tyrosinase enzyme inhibition: In vitro and in silico approaches. *Food and Bioproducts Processing*, 138, 150-161.
- [11] Vankudoth, S., Dharavath, S., Veera, S., Maduru, N., Chada, R., Chirumamilla, P., ... & Taduri, S. (2022). Green synthesis, characterization, photoluminescence and biological studies of silver nanoparticles from the leaf extract of *Muntingia calabura*. *Biochemical and Biophysical Research Communications*, 630, 143-150.
- [12] Asimuddin, M., Shaik, M. R., Adil, S. F., Siddiqui, M. R. H., Alwarthan, A., Jamil, K., & Khan, M. (2020). *Azadirachta indica* based biosynthesis of silver nanoparticles and evaluation of their antibacterial and cytotoxic effects. *Journal of King Saud University-Science*, 32(1), 648-656.
- [13] Ibrahim, H. M. (2015). Green synthesis and characterization of silver nanoparticles using banana peel extract and their antimicrobial activity against representative microorganisms. *Journal of radiation research and applied sciences*, 8(3), 265-275.
- [14] Khalil, M. M., Ismail, E. H., El-Baghdady, K. Z., & Mohamed, D. (2014). Green synthesis of silver nanoparticles using olive leaf extract and its antibacterial activity. *Arabian Journal of chemistry*, 7(6), 1131-1139.
- [15] Kredy, H. M. (2018). The effect of pH, temperature on the green synthesis and biochemical activities of silver nanoparticles from *Lawsonia inermis* extract. *Journal of Pharmaceutical Sciences and Research*, 10(8), 2022-2026.
- [16] Alafandi, L., Nasaruddin, R. R., Engliman, S., & Mastuli, M. S. (2021). Green synthesis of silver nanoparticles using coffee extract for catalysis. *Malaysian NANO-An International Journal*, 1(2), 13-25.
- [17] Verma, A., & Mehata, M. S. (2016). Controllable synthesis of silver nanoparticles using Neem leaves and their antimicrobial activity. *Journal of radiation Research and applied sciences*, 9(1), 109-115.
- [18] Stavinskaya, O., Laguta, I., Fesenko, T., & Krumova, M. (2019). Effect of temperature on green synthesis of silver nanoparticles using *Vitex agnus-castus* extract. *Chemistry Journal of Moldova*, 14(2), 117-121.
- [19] Birla, S. S., Gaikwad, S. C., Gade, A. K., & Rai, M. K. (2013). Rapid synthesis of silver nanoparticles from *Fusarium oxysporum* by optimizing physicochemical conditions. *The Scientific World Journal*, 2013(1), 796018.
- [20] Heydari, R., & Rashidipour, M. (2015). Green synthesis of silver nanoparticles using extract of oak fruit hull (Jaft): synthesis and in vitro cytotoxic effect on MCF-7 cells. *International journal of breast cancer*, 2015(1), 846743.
- [21] Nahar, K., Rahaman, M., Khan, G. M. A., Islam, M., & Al-Reza, S. M. (2021). Green synthesis of silver nanoparticles from *Citrus sinensis* peel extract and its antibacterial potential. *Asian Journal of Green Chemistry*, 5(1), 135-150.
- [22] Riaz, M., Mutreja, V., Sareen, S., Ahmad, B., Faheem, M., Zahid, N., ... & Park, J. (2021). Exceptional antibacterial and cytotoxic potency of monodisperse greener AgNPs prepared under optimized pH and temperature. *Scientific Reports*, 11(1), 2866.
- [23] Zivyar, N., Bagherzade, G., Moudi, M., & Manzari Tavakoli, M. (2021). Evaluation of the green synthesis, characterization and antibacterial activity of silver nanoparticles from corm extract of *Crocus sativus* var. *Hausknechtii*. *Journal of Horticulture and Postharvest Research*, 4(Special Issue-Recent Advances in Saffron), 19-32.
- [24] Bergal, A., Matar, G. H., & Andaç, M. (2022). Olive and green tea leaf extracts mediated green synthesis of silver nanoparticles (AgNPs): comparison investigation on characterizations and antibacterial activity. *BioNanoScience*, 12(2), 307-321.
- [25] He, Y., Wei, F., Ma, Z., Zhang, H., Yang, Q., Yao, B., ... & Zhang, Q. (2017). Green synthesis of silver nanoparticles using seed extract of *Alpinia katsumadai*, and their antioxidant, cytotoxicity, and antibacterial activities. *RSC advances*, 7(63), 39842-39851.
- [26] Joshi, S. J., Geetha, S. J., Al-Mamari, S., & Al-Azkawi, A. (2018). Green synthesis of silver nanoparticles using pomegranate peel extracts and its application in photocatalytic degradation of methylene blue. *Jundishapur Journal of Natural Pharmaceutical Products*, 13(3).

- [27] Singh, M., Sinha, I., & Mandal, R. K. (2009). Role of pH in the green synthesis of silver nanoparticles. *Materials Letters*, 63(3-4), 425-427.
- [28] Ahmad, N., & Sharma, S. (2012). Green synthesis of silver nanoparticles using extracts of *Ananas comosus*.
- [29] Jain, S., & Mehata, M. S. (2017). Medicinal plant leaf extract and pure flavonoid mediated green synthesis of silver nanoparticles and their enhanced antibacterial property. *Scientific reports*, 7(1), 15867.
- [30] Shaik, M. R., Khan, M., Kuniyil, M., Al-Warthan, A., Alkhathlan, H. Z., Siddiqui, M. R. H., ... & Adil, S. F. (2018). Plant-extract-assisted green synthesis of silver nanoparticles using *Origanum vulgare* L. extract and their microbicidal activities. *Sustainability*, 10(4), 913.
- [31] Ahmed, S., Ahmad, M., Swami, B. L., & Ikram, S. (2016). Green synthesis of silver nanoparticles using *Azadirachta indica* aqueous leaf extract. *Journal of radiation research and applied sciences*, 9(1), 1-7.
- [32] Anandalakshmi, K., Venugobal, J., & Ramasamy, V. J. A. N. (2016). Characterization of silver nanoparticles by green synthesis method using *Pedaliu murex* leaf extract and their antibacterial activity. *Applied nanoscience*, 6, 399-408.
- [33] Bar, H., Bhui, D. K., Sahoo, G. P., Sarkar, P., De, S. P., & Misra, A. (2009). Green synthesis of silver nanoparticles using latex of *Jatropha curcas*. *Colloids and surfaces A: Physicochemical and engineering aspects*, 339(1-3), 134-139.
- [34] Balashanmugam, P., Santhosh, S., Giyaullah, H., Balakumaran, M. D., & Kalaichelvan, P. T. (2013). Mycosynthesis, characterization and antibacterial activity of silver nanoparticles from *Microporus xanthopus*: a macro mushroom. *Int. J. Innov. Res. Sci. Eng. Technol*, 2(11), 6262-6270.
- [35] Palithya, S., Gaddam, S. A., Kotakadi, V. S., Penchalaneni, J., Golla, N., Krishna, S. B. N., & Naidu, C. V. (2022). Green synthesis of silver nanoparticles using flower extracts of *Aerva lanata* and their biomedical applications. *Particulate Science and Technology*, 40(1), 84-96.
- [36] Akintelu, S. A., Bo, Y., & Folorunso, A. S. (2020). A review on synthesis, optimization, mechanism, characterization, and antibacterial application of silver nanoparticles synthesized from plants. *Journal of Chemistry*, 2020(1), 3189043.
- [37] Mehata, M. S. (2021). 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*, 273, 115418.
- [38] Mehata, M. S. (2021). Green synthesis of silver nanoparticles using *Kalanchoe pinnata* leaves (life plant) and their antibacterial and photocatalytic activities. *Chemical Physics Letters*, 778, 138760.
- [39] AlMasoud, N., Alhaik, H., Almutairi, M., Houjak, A., Hazazi, K., Alhayek, F., ... & Awad, M. A. (2021). Green nanotechnology synthesized silver nanoparticles: Characterization and testing its antibacterial activity. *Green Processing and Synthesis*, 10(1), 518-528.
- [40] Lafta, M. Z., Al-Samarrai, R. R. H., & Bouaziz, M. (2025). Green synthesis of silver and gold nanoparticles using quercetin extracted from *Arctium lappa* by HPLC, Characterization and Estimation of antioxidant activity. *Results in Chemistry*, 102028.
- [41] Pirs, S. (2016). Fast determination of water content of some organic solvents by smart sensor based on PPy-Ag nanoco. *Nanoscience & Nanotechnology-Asia*, 6(2), 119-127.



Scientific Research

Green synthesis of silver nanoparticles using dried tomato pomace and investigating its properties

Nagin Miri ¹, Mohammad Alizadeh khaledabad^{2*}, Arash Ghaitaranpour ³, Saber Amiri ⁴

1– Master's student, Food Science and Technology, Urmia University, Urmia, Iran

2–Professor, Food Science and Technology, Urmia University, Urmia, Iran

3–Assistant Professor, Food Science and Technology, Urmia University, Urmia, Iran

4–Assistant Professor, Food Science and Technology, Urmia University, Urmia, Iran

ARTICLE INFO

ABSTRACT

Article History:

Received: 2025/08/11

Review: 2026/04/23

Accepted: 2026/06/20

Keywords:

Green chemistry,

Silver nanoparticles,

Plant extract,

Industrial agricultural waste

DOI: 10.48311/fsct.2026.84084.0

*Corresponding Author E-

malizadeh@outlook.com

In this research, aqueous extract of dry tomato pomace was used as a reducing agent to make silver nanoparticles. By adding silver nitrate salt with a concentration of 25 mM to the extract, the reaction was carried out at a temperature of 65 °C and pH=11, and the color change of the solution from orange to dark brown indicated the beginning of the process of making silver nanoparticles. The characteristics of produced silver nanoparticles were investigated using UV-Vis spectroscopy, X-ray diffraction, infrared spectroscopy and scanning electron microscopy (FESEM). The results of UV-Vis spectroscopy showed that the plasmon absorption peak of silver nanoparticles is located at a wavelength of 420 nm. The X-ray diffraction pattern confirmed the formation of the crystalline structure of silver nanoparticles. Also, the analysis of FESEM images showed that the produced nanoparticles are often spherical and their size is less than 50 nm. In addition, the antibacterial properties of nanoparticles against *Staphylococcus aureus* and *Escherichia coli* bacteria were evaluated using the well method, which showed that these nanoparticles have a good inhibitory ability against the activity of these bacteria. The proposed green synthesis method has environmental advantages and can be used on a large scale to produce silver nanoparticles.