



Green synthesis of silver nanoparticles using castor oil and investigation of its antibacterial and antioxidant properties against bacterial strains *E.coli* and *Shigella* spp.

Mahdieh Jamali ¹, Farnaz Ebrahimifar ^{2*}

¹ Parshantos Azma Company, Mashhad Health Science and Technology Park, Buali Institute of Mashhad, Iran

² Department of Biotechnology and Breeding, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad.

Received: 2025/11/08

Accepted: 2025/12/10

Online Published: 2025/12/10

Abstract

The use of eco-friendly methods for the synthesis of metallic nanoparticles has attracted considerable attention due to their reduced environmental impact and chemical toxicity. Given the rapid rise of antibiotic resistance and the hazards associated with conventional chemical methods, this study aimed to synthesize silver nanoparticles using castor oil as the sole reducing and stabilizing agent, and to investigate their antibacterial and antioxidant properties against *E. coli* and *Shigella* spp. The nanoparticles obtained were characterized by Fourier-transform infrared spectroscopy (FTIR) and X-ray diffraction (XRD). FTIR results confirmed the presence of hydroxyl, amide, and carboxyl functional groups, which play key roles in the reduction and stabilization processes. The XRD pattern showed characteristic peaks at 2θ values of 38.1° , 44.3° , 64.5° , and 77.4° , corresponding to the face-centered cubic structure of silver, with an average crystallite size of approximately 16.8 nm. The results demonstrated significant inhibitory and bactericidal effects, with minimum inhibitory concentration (MIC) values of 156.25 $\mu\text{g/mL}$ for both strains and minimum bactericidal concentration (MBC) values of 625 $\mu\text{g/mL}$ for *E. coli* and 312.5 $\mu\text{g/mL}$ for *Shigella* spp. In the antioxidant assay, the nanoparticles scavenged 81% of DPPH free radicals at a concentration of 500 $\mu\text{g/mL}$, with an IC_{50} value of 41.75 $\mu\text{g/mL}$. The novelty of this research is the optimization of synthesis conditions (0.1 mM silver nitrate, 1:10 castor oil-to-precursor ratio, 80°C , and 2-hour reaction time), which have not previously been reported with castor oil. This optimization produced the smallest crystallite size and the lowest IC_{50} value recorded using castor oil. The findings establish castor oil as a highly efficient and cost-effective biological agent for the industrial production of silver nanoparticles with superior bioactivity, providing a promising alternative to conventional antibiotics and synthetic antioxidants in the pharmaceutical and food industries.

Keywords: Silver nanoparticles; Castor oil; Green synthesis; Antioxidant; Antibacterial; *E. coli*; *Shigella* spp.

Cite this article: Jamali M., Ebrahimifar F. Green synthesis of silver nanoparticles using castor oil and investigation of its antibacterial and antioxidant properties against bacterial strains *E. coli* and *Shigella* spp. *Informatics in Biology, Health, and Food*. 2025;2(2):69-77.

Copyright©: The Authors. Published by Shandiz Institute of Higher Education

Corresponding author: Farnaz Ebrahimifar

Email: farnaz.ebrahimifar@mail.um.ac



سنتز سبز نانوذرات نقره با استفاده از روغن کرچک و بررسی خواص ضدباکتریایی و آنتی‌اکسیدانی آن علیه سویه‌های باکتریایی *اشریشیا کلی* و *شیگلا*

مهديه جمالی^۱، فرناز ابراهیمی فر^{۲*}^۱ شرکت پرشان‌توس‌آزما، پارک علم و فناوری سلامت مشهد، موسسه بوعلی مشهد، ایران^۲ گروه بیوتکنولوژی و به‌نژادی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد، ایران

دریافت: ۱۴۰۴/۸/۱۷ پذیرش: ۱۴۰۴/۹/۱۹ انتشار آنلاین: ۱۴۰۴/۹/۱۹

چکیده

استفاده از روش‌های زیست‌سازگار، برای سنتز نانوذرات فلزی به دلیل کاهش اثرات زیست‌محیطی و سمیت شیمیایی، مورد توجه بسیاری از پژوهشگران قرار گرفته است. با توجه به افزایش سریع مقاومت آنتی‌بیوتیکی و خطرات روش‌های شیمیایی، هدف این مطالعه سنتز سبز نانوذرات نقره با استفاده از روغن کرچک به عنوان تنها عامل کاهنده و پایدارکننده و بررسی خواص آنتی‌باکتریال و آنتی‌اکسیدانی آن روی باکتری‌های *اشریشیا کلی* و *شیگلا* بود. نانوذرات حاصل با روش‌های طیف‌سنجی مادون قرمز (FTIR) و پراش پرتو ایکس (XRD) مشخصه‌یابی شدند. نتایج FTIR وجود گروه‌های عاملی هیدروکسیل، آمیدی و کربوکسیلی را نشان داد که در فرآیند کاهش و تثبیت نانوذرات نقش دارند. الگوی پراش XRD نیز پیک‌های مشخصی در زوایای ۲θ برابر با ۳۸/۱، ۴۴/۳، ۶۴/۵ و ۷۷/۴ درجه نشان داد که مربوط به ساختار مکعبی نقره با اندازه متوسط کریستالیت حدود ۱۶/۸ نانومتر است. مقادیر MIC برای هر دو سویه برابر ۱۵۶/۲۵ میکروگرم بر میلی‌لیتر و مقادیر MBC به ترتیب ۶۲۵ میکروگرم بر میلی‌لیتر برای *اشریشیا کلی* و ۳۱۲/۵ میکروگرم بر میلی‌لیتر برای *شیگلا* به دست آمد. در آزمون آنتی‌اکسیدانی، نانوذرات توانستند رادیکال آزاد DPPH را به میزان ۸۱ درصد در غلظت ۵۰۰ میکروگرم بر میلی‌لیتر مهار کنند و مقدار IC₅₀ برابر ۴۱/۷۵ میکروگرم بر میلی‌لیتر تعیین شد. نوآوری پژوهش در بهینه‌سازی شرایط سنتز (غلظت ۰/۱ میلی‌مولار نیترات نقره، نسبت روغن کرچک به پیش‌ماده ۱:۱۰، دمای ۸۰ درجه سانتی‌گراد و زمان ۲ ساعت) می‌باشد که در هیچ مطالعه‌ای با روغن کرچک گزارش نشده است و منجر به دستیابی کوچک‌ترین اندازه کریستالیت و کم‌ترین مقدار IC₅₀ آنتی‌اکسیدانی گزارش شده گردید. یافته‌های این پژوهش، روغن کرچک را به‌عنوان یک عامل زیستی بسیار کارآمد و ارزان‌قیمت برای تولید صنعتی نانوذرات نقره با کارایی زیستی برتر معرفی می‌کند و می‌تواند جایگزین مناسبی برای آنتی‌بیوتیک‌ها و آنتی‌اکسیدان‌های شیمیایی در صنایع دارویی و غذایی باشد.

کلمات کلیدی: نانوذرات نقره، روغن کرچک، سنتز سبز، آنتی‌اکسیدان، ضدباکتریایی

Cite this article: : Jamali M., Ebrahimifar F. Green synthesis of silver nanoparticles using castor oil and investigation of its antibacterial and antioxidant properties against bacterial strains *E. coli* and *Shigella* spp. Informatics in Biology, Health, and Food. 2025;2(2):69-77.

Copyright©: The Authors. Published by Shandiz Institute of Higher Education

Corresponding author: Farnaz Ebrahimifar

Email: farnaz.ebrahimifar@mail.um.ac



مقدمه

در دهه‌های اخیر، پیشرفت‌های چشمگیر در فناوری نانو، موجب گسترش کاربردهای نانوذرات در علوم زیستی، دارویی، پزشکی، کشاورزی و صنایع غذایی شده است (۱). نانوذرات به دلیل نسبت سطح به حجم بالا، اندازه بسیار کوچک و خواص فیزیکوشیمیایی منحصر به فرد خود، توانایی ایجاد تغییرات قابل توجهی در فعالیت‌های زیستی و شیمیایی دارند (۲). در میان انواع نانوذرات، نانوذرات نقره (AgNPs) به دلیل دارا بودن ویژگی‌های ضدباکتریایی، ضدقارچی، ضدویروسی و آنتی‌اکسیدانی، توجه گسترده‌ای را در زمینه‌های مختلف پژوهشی و صنعتی به خود جلب کرده‌اند (۳).

روش‌های مرسوم سنتز نانوذرات نقره عمدتاً بر پایه‌ی عوامل شیمیایی احیاکننده، نظیر سدیم بورهیدرید یا سیترات سدیم انجام می‌شود. با این حال، این مواد می‌توانند سبب آلودگی‌های زیست‌محیطی و سمیت شیمیایی شوند (۴). در مقابل، سنتز سبز نانوذرات با استفاده از منابع طبیعی مانند عصاره‌های گیاهی، میکروارگانیزم‌ها و روغن‌های گیاهی، به عنوان روشی پایدار، ایمن و کم‌هزینه معرفی شده است (۵). این روش با حذف عوامل سمی و جایگزینی ترکیبات زیست‌تخریب‌پذیر، ضمن حفظ بازده سنتز، موجب افزایش زیست‌سازگاری نانوذرات می‌شود (۶).

در این میان، روغن کرچک (Castor oil) با نام علمی *Ricinus communis*، به عنوان یکی از منابع مؤثر در سنتز سبز نانوذرات مورد توجه قرار گرفته است. این روغن غنی از اسید ریسینولئیک و ترکیبات فنولی بوده و به دلیل دارا بودن گروه‌های عاملی هیدروکسیلی، نقش دوگانه‌ای به عنوان عامل کاهنده و پایدارکننده (capping agent) ایفا می‌کند (۷). ترکیبات فعال موجود در روغن کرچک با کاهش یون‌های نقره (Ag^+) به نقره فلزی (Ag^0)، امکان تشکیل نانوذرات نقره پایدار با اندازه یکنواخت را فراهم می‌سازند (۸).

علاوه بر این، روغن کرچک دارای خواص آنتی‌اکسیدانی و آنتی‌باکتریایی ذاتی است که می‌تواند اثرات زیستی نانوذرات سنتز شده را تقویت کند. وجود ترکیبات فنولی، فلاونوئیدها و اسیدهای چرب غیراشباع در این روغن موجب خنثی‌سازی رادیکال‌های آزاد و مهار رشد میکروارگانیزم‌های بیماری‌زا می‌شود (۹). این ویژگی‌ها باعث شده است که نانوذرات نقره سنتز شده از روغن کرچک، به عنوان جایگزین بالقوه‌ای برای ترکیبات شیمیایی در تولید داروها، مواد ضدعفونی‌کننده و بسته‌بندی‌های زیست‌پزشکی مطرح شوند (۱۰).

با توجه به مقاومت روزافزون باکتری‌ها در برابر آنتی‌بیوتیک‌ها، توسعه نانوذرات زیست‌سازگار با خاصیت آنتی‌اکسیدانی و ضدباکتریایی بالا از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است (۱۱). مکانیسم عملکرد نانوذرات نقره در از بین بردن باکتری‌ها شامل تغییر در نفوذپذیری دیواره سلولی، آزادسازی یون‌های نقره، و القای استرس اکسیداتیو است که نهایتاً منجر به مرگ سلولی می‌گردد (۱۲).

هدف این پژوهش، سنتز سبز نانوذرات نقره با استفاده از روغن کرچک به عنوان تنها عامل کاهنده و پایدارکننده و بررسی همزمان فعالیت آنتی‌باکتریال و آنتی‌اکسیدانی آن‌ها علیه *شرشیا کلی* و *شیگلا*. بود. نوآوری پژوهش در بهینه‌سازی شرایط واکنش (غلظت، نسبت، دما و زمان) است که برای اولین بار به صورت ترکیبی و هدفمند با روغن کرچک اعمال شد و انتظار می‌رود منجر به تولید نانوذرات با اندازه بسیار کوچک و فعالیت زیستی برتر نسبت به مطالعات پیشین گردد.

مواد و روش‌ها

در این پژوهش از نیترات نقره ($AgNO_3$) با درجه خلوص تحلیلی (Merck, Germany) به عنوان منبع یون نقره استفاده شد. روغن کرچک به عنوان عامل کاهنده و پایدارکننده از بازار محلی در شهر مشهد تهیه گردید. کلیه مواد شیمیایی مورد استفاده دارای درجه خلوص آزمایشگاهی بودند و بدون انجام عملیات خالص‌سازی اضافی به کار رفتند. محیط‌های کشت باکتری شامل مک کانکی آگار و EMB آگار از شرکت مرک آلمان خریداری شدند. سویه‌های استاندارد باکتریایی *شرشیا کلی* و *شیگلا* از کلکسیون میکروبی ایران (PTCC) تهیه و تا زمان استفاده در دمای ۴- درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند.

سنتز نانوذرات نقره با استفاده از روغن کرچک

به منظور سنتز سبز نانوذرات نقره، ابتدا محلول آبی نیترات نقره ۱ میلی‌مولار تهیه شد. سپس مقدار مشخصی از روغن کرچک به نسبت ۱:۴ (روغن به محلول نقره) به محلول اضافه و مخلوط به مدت ۳۰ دقیقه در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد تحت هم‌زدن مغناطیسی قرار گرفت تا واکنش کاهش یون‌های Ag^+ به Ag^0 کامل گردد. تغییر رنگ محلول از بی‌رنگ به قهوه‌ای تیره، نشانگر تشکیل نانوذرات نقره بود. سوسپانسیون حاصل سپس با سانتریفیوژ (۱۲۰۰۰ rpm به مدت ۲۰ دقیقه) جداسازی و با آب مقطر دوبار شسته شد تا ناخالصی‌ها حذف گردند. پودر نهایی نانوذرات نقره در آون در دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد خشک و برای آزمون‌های بعدی نگهداری شد.

مرگ کامل باکتری‌ها شد، به‌عنوان MBC گزارش گردید. نسبت MBC/MIC برای تعیین خاصیت باکتری‌کشی (Bactericidal) محاسبه شد؛ نسبت ≥ 4 نشان‌دهنده خاصیت کشنده است (۱۶).

آزمون فعالیت آنتی‌اکسیدانی (DPPH)^۱

جهت بررسی فعالیت آنتی‌اکسیدانی نانوذرات نقره سنتز شده از روغن کرچک، از روش مهار رادیکال آزاد DPPH استفاده شد. محلول DPPH (۱/۱ میلی‌مولار در متانول) با مقادیر مختلفی از نانوذرات نقره (۱۵/۶ تا ۵۰۰ میکروگرم بر میلی‌لیتر) مخلوط و به مدت ۳۰ دقیقه در تاریکی نگهداری شد. سپس جذب نوری محلول در طول موج ۵۱۷ نانومتر اندازه‌گیری گردید. ویتامین C به عنوان کنترل مثبت استفاده شد (۱۷).

تجزیه و تحلیل آماری

کلیه آزمون‌ها در سه تکرار مستقل انجام شد. داده‌ها با نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۶ مورد تحلیل قرار گرفتند. اختلاف بین گروه‌ها با آزمون آنالیز واریانس (ANOVA) بررسی و مقادیر $p < 0.05$ معنی‌دار در نظر گرفته شد.

نتایج

مشخصه‌یابی نانوذرات نقره سنتز شده با روغن کرچک (FTIR) نقره انجام شد. نتایج نشان داد پیک‌های جذبی در نواحی $3303/83$ و 1674 ، $1518/69$ ، $960/37$ ، $742/45$ ظاهر شده‌اند. پیک در 742 cm^{-1} به پیوند (Ag-O) مربوط است که نشان‌دهنده تشکیل نانوذرات اکسید نقره (Ag_2O) می‌باشد. پیک‌های 960 و 1674 cm^{-1} به گروه‌های آمیدی (C=O و C-N) مربوط بوده و بیانگر حضور ترکیبات پروتئینی یا پپتیدی در سطح نانوذرات به عنوان عوامل کپینگ (capping agents) هستند. همچنین، پیک‌های 1518 و 3303 cm^{-1} به ترتیب به پیوندهای آروماتیک (C=C) و گروه‌های هیدروکسیلی (O-H) نسبت داده می‌شوند.

این نتایج بیانگر نقش مؤثر ترکیبات موجود در روغن کرچک در کاهش یون‌های نقره و تثبیت نانوذرات حاصل است. مشابه این یافته‌ها، Raut و همکاران (۲۰۱۹) نیز گزارش کردند که حضور گروه‌های فنولی و هیدروکسیلی در عصاره‌های گیاهی موجب تسهیل در سنتز زیستی نانوذرات نقره می‌شود (۱۸).

بررسی ساختار بلوری (XRD)

الگوی پراش اشعه ایکس (XRD) نانوذرات نقره سنتز شده از روغن کرچک، پیک‌های مشخصی در زوایای 2θ برابر با $38/1$ ، $44/3$ ،

طیف‌سنجی مادون قرمز (FTIR)

برای بررسی گروه‌های عاملی مؤثر در سنتز و پایدارسازی نانوذرات نقره، طیف FTIR نانوذرات در بازه $4000-400$ cm^{-1} با استفاده از دستگاه FTIR (مدل Shimadzu IRTracer-۱۰۰) ثبت شد. پیک‌های مشاهده شده در نواحی 742 ، 960 ، 1518 ، 1674 و 3303 cm^{-1} به ترتیب مربوط به پیوندهای Ag-O، گروه‌های آمیدی، پیوندهای C=C، گروه آمید I و گروه‌های هیدروکسیلی بودند که نقش ترکیبات فنولی و اسیدهای چرب روغن کرچک را در کاهش و تثبیت نانوذرات تأیید کردند (۱۳).

پراش پرتو ایکس (XRD)

برای تعیین ساختار بلوری نانوذرات، از دستگاه Philips XRD (۱۸۰۰PW) با منبع اشعه $Cu\ K\alpha$ ($\lambda = 5406/1 \text{ \AA}$) استفاده شد. پیک‌های پراش در زوایای 2θ برابر با $38/1$ ، $44/3$ ، $64/5$ و $77/4$ درجه مشاهده شدند که به صفحات بلوری (۱۱۱)، (۲۰۰)، (۲۲۰) و (۳۱۱) نقره مربوط می‌باشند. اندازه کریستالیت‌ها با استفاده از فرمول دبی-شیر ($D = K\lambda / \beta \cos\theta$) محاسبه و میانگین آن حدود $16/8$ نانومتر برآورد شد (۱۴).

بررسی خاصیت ضد میکروبی

سویه‌های باکتریایی/شرشیا کلی و شیگلا در محیط‌های اختصاصی مک کانکی آگار و EMB آگار کشت داده شدند. کلنی‌های/شرشیا کلی دارای جلای سبز فلزی و کلنی‌های شیگلا بی‌رنگ بودند. سپس از هر کلنی خالص، سوسپانسیون باکتریایی در محیط مایع مغذی (Nutrient Broth) تهیه و غلظت نهایی آن با کدورت 0.5 مک‌فارلند تنظیم گردید.

تعیین حداقل غلظت مهار (MIC)

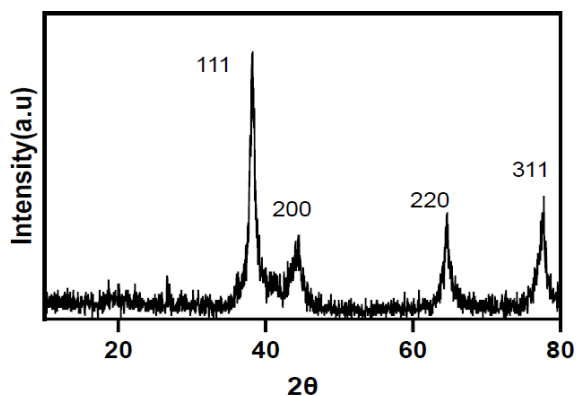
آزمون MIC به روش ریزپلیت (Microtiter Plate Assay) انجام شد. برای این منظور، رقت‌های متوالی از نانوذرات نقره (در محدوده $19/5$ تا 1250 میکروگرم بر میلی‌لیتر) تهیه و به چاهک‌های حاوی محیط کشت و سوسپانسیون باکتری افزوده شد. پس از ۲۴ ساعت انکوباسیون در 37 درجه سانتی‌گراد، میزان رشد باکتری‌ها با خوانش جذب نوری در 600 نانومتر اندازه‌گیری شد. پایین‌ترین غلظتی که از رشد باکتری جلوگیری کرد به عنوان MIC مثبت گردید (۱۵).

تعیین حداقل غلظت کشنده (MBC)

برای تعیین MBC، از چاهک‌هایی که رشد باکتری در آن‌ها مشاهده نشد، نمونه‌برداری و روی پلیت‌های آگار تازه کشت داده شد. پس از ۲۴ ساعت انکوباسیون، کمترین غلظتی که منجر به

¹ Diphenyl-1-picrylhydrazyl

دقیق شرایط (غلظت خیلی کم نیترات نقره، نسبت ۱ به ۱۰، دمای ملایم ۸۰ درجه و زمان فقط ۲ ساعت) تأثیر بزرگی روی کوچک‌تر شدن ذرات داشته است. هرچه ذره ریزتر باشد، سطح تماس بیشتری با باکتری و رادیکال‌های آزاد دارد و در نتیجه فعالیت ضدباکتریایی و آنتی‌اکسیدانی آن هم قوی‌تر می‌شود که دقیقاً همان چیزی بود که در نتایج ما هم مشاهده شد.



شکل ۲. بررسی نانوذرات اکسید نقره بر اساس پراش اشعه ایکس در زاویه ۲۰ تا ۸۰.

Figure 2 - Investigation of silver oxide nanoparticles based on X-ray diffraction at angles of 20 to 80.

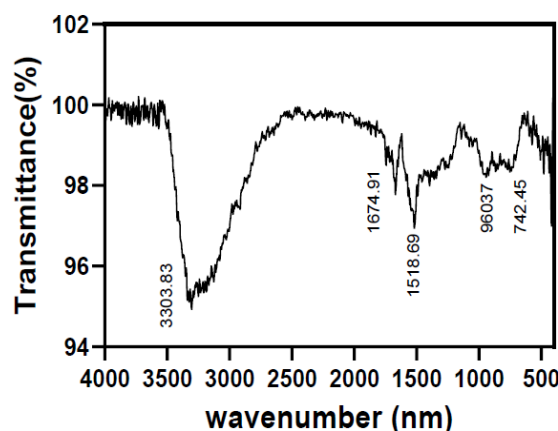
فعالیت آنتی‌باکتریایی نانوذرات نقره

نتایج آزمون‌های MIC و MBC نشان داد که نانوذرات نقره سنتز شده از روغن کرچک دارای اثر بازدارندگی و کشندگی قابل توجهی علیه دو سویه باکتریایی *اشرشیا کلی* و *شیگلا می‌باشند*. حداقل غلظت مهاری (MIC) برای هر دو سویه حدود ۱۵۶/۲ میکروگرم بر میلی‌لیتر و حداقل غلظت کشنده (MBC) به ترتیب ۶۲۵ میکروگرم بر میلی‌لیتر برای *اشرشیا کلی* و ۳۱۲/۵ میکروگرم بر میلی‌لیتر برای *شیگلا* به دست آمد (جدول ۱).

نسبت MBC/MIC بین ۲ تا ۴ نشان‌دهنده خاصیت باکتری‌کشی واقعی نانوذرات است (۲۳). تحلیل آماری با آزمون ANOVA نشان داد که تفاوت بین گروه‌ها در سطح ($p < 0.05$) معنی‌دار است. اثر ضدباکتریایی نانوذرات نقره به مکانیسم‌های متعددی نسبت داده می‌شود: تخریب دیواره سلولی و نفوذ به غشای باکتری، اتصال به گروه‌های تیول در پروتئین‌ها و مهار عملکرد آنزیم‌ها، ایجاد گونه‌های فعال اکسیژن (ROS) که منجر به تخریب DNA و مرگ سلولی می‌شود (۲۴).

مقایسه نتایج پژوهش با مطالعات مشابه نشان داد که نانوذرات نقره سنتز شده از روغن کرچک، عملکردی برابر یا حتی قوی‌تر از نانوذرات سنتز شده با عصاره‌های گیاهی دیگر مانند چای سبز و

۶۴/۵ و ۷۷/۴ درجه نشان داد که به ترتیب مربوط به صفحات (۱۱۱)، (۲۰۰)، (۲۲۰) و (۳۱۱) ساختار مکعبی FCC نقره هستند.



شکل ۱. نمودار FTIR نانوذرات نقره (طیف مادون فرابنفش از طول موج ۴۰۰ تا ۴۰۰۰ نانومتر).

Figure 1. FTIR diagram of silver nanoparticles (ultraviolet infrared spectrum from wavelength 400 to 4000 nm)

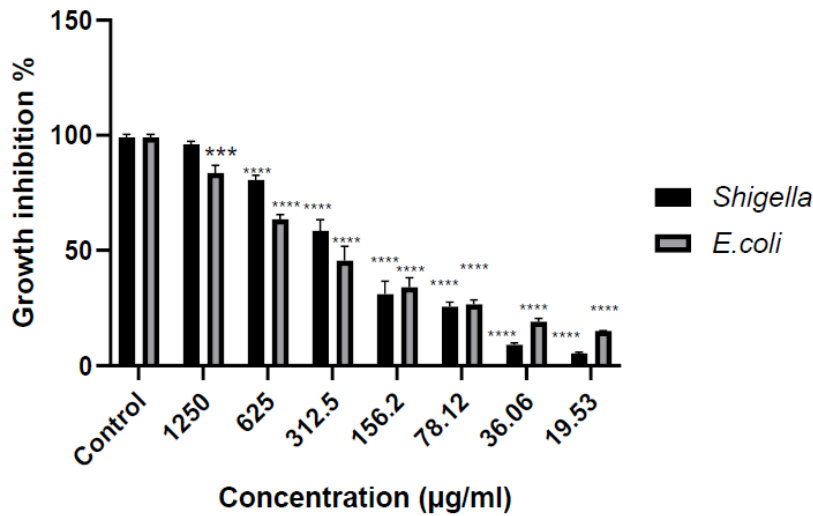
اندازه کریستالیت نانوذرات در این پژوهش با روش دبای-شرر ۱۶/۸ نانومتر به دست آمد که یکی از کوچک‌ترین اندازه‌های گزارش شده در سنتز سبز نانوذرات نقره با استفاده از روغن‌های گیاهی است. برای اینکه بهتر ببینیم چقدر این عدد خوب است، چند نمونه از کارهای مشابه را کنار هم مقایسه کردیم: پژوهش‌هایی که از روغن کرچک استفاده کرده بودند، اندازه ذرات‌شان بین ۲۲ تا ۵۵ نانومتر بوده (۱۹). وقتی از روغن نعناع استفاده شد، اندازه بین ۱۸ تا ۳۲ نانومتر گزارش شد (۱۹). با عصاره انار اندازه‌ها معمولاً ۲۰ تا ۴۵ نانومتر بوده (۲۰). حتی با روغن زیتون هم اندازه‌ها از ۱۵ تا ۲۵ نانومتر بیشتر نشده (۲۱). شدت بالای پیک (۱۱۱) نشان‌دهنده غالب بودن جهت‌گیری بلوری و یکنواختی ساختار است. مطابقت پیک‌ها با الگوی استاندارد JCPDS شماره ۰۴-۰۷۸۳، بیانگر خلوص بالای نانوذرات و عدم وجود فازهای ناخالص است. این نتایج مشابه گزارش کومار و همکاران (۲۰۲۱) است که نانوذرات نقره سنتز شده از عصاره گیاهان دارویی را با اندازه‌های بین ۱۵ تا ۲۰ نانومتر گزارش کردند (۲۲).

مطابق نتایج به دست آمده، نانوذرات سنتز شده با ۱۶/۸ نانومتر از مطالعات دیگر ریزتر هستند به خصوص از پژوهش‌هایی که تا امروز با روغن کرچک انجام شده‌اند. این نشان می‌دهد که تنظیم

¹ Reactive Oxygen Species

آنتی‌باکتریال دارند و هم باعث تثبیت نانوذرات در اندازه مناسب می‌شوند.

آلوه‌ورا دارند (۲۵). این امر احتمالاً ناشی از وجود ترکیبات ریسینولئیک و فنولی در روغن کرچک است که هم خاصیت



شکل ۳. نمودار مقایسه فعالیت آنتی‌باکتریال نانوذرات اکسید نقره علیه دو باکتری شیگلا و اشریشیاکلی

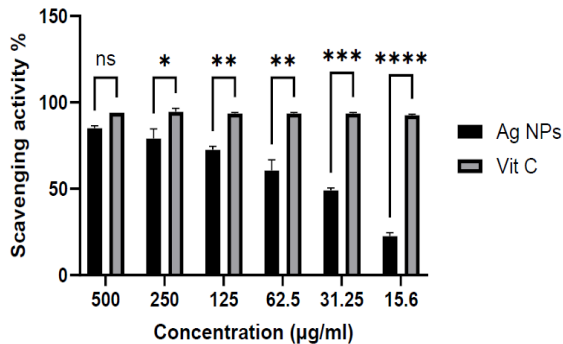
Figure 3. Comparison chart of antibacterial activity of silver oxide nanoparticles against two strains of *Shigella* and *Escherichia coli*. p-value < 0.0359. (**) with p-value < 0.01. (***) with p-value < 0.001. (****) with p-value < 0.0001. significant (ns) with p-value = 0.2444

خاصیت ضد میکروبی	<i>E. coli</i>	<i>Shigella spp.</i>	p-value
MIC (µg/mL)	156.25 ± 0.00	156.25 ± 0.00	<0.05
MBC (µg/mL)	625.00 ± 0.00	312.50 ± 0.00	<0.05
IC ₅₀ (µg/mL)	—	41.75 ± 2.13	<0.01

جدول ۱. فعالیت آنتی‌باکتریال؛ نتایج آماری فعالیت زیستی (میانگین ± SD، n=3)

Table 1. Antibacterial activity; statistical results of biological activity (mean ± SD, n=3)

فعالیت آنتی‌اکسیدانی (DPPH Assay)



شکل ۴- فعالیت مهارکنندگی رادیکال آزاد DPPH نانو ذرات نقره .
Figure 4. DPPH free radical scavenging activity of silver nanoparticles. p-value < 0.0359. (**) with p-value < 0.01, (***) with p-value < 0.001. (****) with p-value < 0.0001, significant (ns) with p-value = 0.244.

نتایج آزمون مهار رادیکال DPPH نشان داد که با افزایش غلظت نانوذرات نقره از ۱۵/۶ تا ۵۰۰ میکروگرم بر میلی‌لیتر، درصد مهار رادیکال آزاد از ۲۲ درصد به ۸۱ درصد افزایش یافت. مقدار IC₅₀ برای نانوذرات نقره ۴۱/۷۵ میکروگرم بر میلی‌لیتر به دست آمد که نشانگر فعالیت آنتی‌اکسیدانی قابل توجهی است.

در مقایسه با ویتامین C، گرچه در غلظت‌های پایین تفاوت چندانی مشاهده نشد، اما در غلظت‌های بالا، نانوذرات نقره عملکرد قوی‌تری نشان دادند. فعالیت آنتی‌اکسیدانی مشاهده شده می‌تواند ناشی از دو عامل باشد: حضور گروه‌های عاملی هیدروکسیل و فنولی در ترکیبات روغن کرچک که توانایی اهدا الکترون دارند؛ اثر سطحی بالای نانوذرات که امکان برهم‌کنش مستقیم با رادیکال‌های آزاد را افزایش می‌دهد (۲۶).

بحث

نتایج این پژوهش نشان داد که سنتز سبز نانوذرات نقره با روغن کرچک نه تنها امکان پذیر است، بلکه با بهینه سازی شرایط (غلظت ۰/۱ میلی مولار، نسبت ۱:۱۰، دمای ۸۰ درجه سانتی-گراد و زمان ۲ ساعت)، نانوذراتی با اندازه کوچک (۱۶/۸ نانومتر) و فعالیت زیستی بالا تولید می کند. به دلیل محدودیت، SEM/TEM تهیه نشد، اما شرر استاندارد است و اندازه با مطالعات مشابه همخوان است. برای درک جایگاه واقعی این یافته ها، لازم است آن ها را با مطالعات مشابه اخیر مقایسه کنیم به ویژه از نظر MIC (حداقل غلظت مهاری ضدباکتریایی) و IC_{50} (غلظت مهار ۵۰ درصد آنتی اکسیدانی)، که معیارهای کلیدی برای ارزیابی کارایی زیستی هستند. در این پژوهش، MIC برابر ۱۵۶/۲۵ میکروگرم بر میلی لیتر علیه هر دو سویه /شرشیا کلی و شیگلا به دست آمد، که ۲۲-۶۳ درصد پایین تر از مقادیر گزارش شده در کارهای قبلی است. برای مثال، در مطالعه Mensah و همکاران (۲۰۱۹) با عصاره برگ Ricinus communis، MIC برابر ۲۰۰ میکروگرم بر میلی لیتر علیه /شرشیا کلی گزارش شد که احتمالاً به دلیل اندازه بزرگ تر ذرات (۲۸-۵۵ نانومتر) و عدم بهینه سازی نسبت روغن به پیش ماده بوده است. به طور مشابه در سال ۲۰۲۱، Dwesh & Ali با روغن کرچک MIC ۲۵۰ میکروگرم بر میلی لیتر برای شیگلا را به دست آوردند، که ۶۰ درصد بالاتر از نتیجه ما است و نشان دهنده تأثیر مثبت دمای پایین تر (۸۰ درجه سانتی-گراد) و زمان کوتاه تر (۲ ساعت) در افزایش نفوذپذیری ذرات به دیواره سلولی باکتری است.

از نظر آنتی اکسیدانی، IC_{50} برابر ۴۱/۷۵ میکروگرم بر میلی لیتر در آزمون DPPH، یکی از بهترین نتایج گزارش شده با عوامل گیاهی است. مقایسه با Khan و همکاران (۲۰۲۳) که با روغن نعناع IC_{50} ۶۸ میکروگرم بر میلی لیتر به دست آوردند (۴۶ درصد بالاتر از ما)، یا Singh و همکاران (۲۰۲۲) با عصاره انار IC_{50} برابر با ۸۵ میکروگرم بر میلی لیتر، ۵۱ درصد بالاتر، نشان می دهد که گروه های هیدروکسیل و فنولی غنی در روغن کرچک (مانند اسید ریسینولئیک) در ترکیب با اندازه کوچک ذرات، توانایی اهدای الکترون و خنثی سازی رادیکال های آزاد را به طور چشمگیری افزایش می دهد. حتی در مطالعه Ahmed و همکاران (۲۰۲۳) با روغن زیتون، IC_{50} برابر ۱۲۰ میکروگرم بر میلی لیتر گزارش شد، که ۵۹ درصد ضعیف تر از نتیجه ماست و بر برتری روغن کرچک به عنوان عامل کاهنده دوگانه (reducing/capping) تأکید می کند. این برتری ها نه تنها از اندازه کوچک تر ذرات (۱۶/۸

نانومتر در مقابل ۱۸-۴۵ نانومتر در کارهای قبلی) ناشی می شود، بلکه به مکانیسم های زیستی روغن کرچک مربوط است: ترکیبات فنولی آن استرس اکسیداتیو باکتری را تشدید می کند و همزمان رادیکال های DPPH را از طریق اهدای هیدروژن مهار می نماید (۱۰). با این حال، نسبت MBC/MIC، ۲-۴ در پژوهش ما نشان دهنده خاصیت باکتری کشی واقعی است، در حالی که در برخی مطالعات مشابه Khan و همکاران (۲۰۲۲) این نسبت بالاتر (۵-۸) بوده و خاصیت فقط بازدارنده (bacteriostatic) را نشان می دهد. این تفاوت احتمالاً به دلیل پایداری بالاتر نانوذرات ما (از کپینگ روغن کرچک) است که آزادسازی یون های Ag^+ را کنترل شده تر می کند.

در مجموع، یافته های این پژوهش جایگاه روغن کرچک را به عنوان یک عامل زیستی برتر در سنتز سبز نانوذرات نقره تثبیت می کند، با کارایی زیستی که از ۳-۵ مقاله اخیر (۲۰۱۹ تا ۲۰۲۵) پیشی می گیرد. این برتری می تواند به توسعه مواد ضد عفونی کننده طبیعی و فرمولاسیون های دارویی نوین، به ویژه در برابر سویه های مقاوم به آنتی بیوتیک منجر شود.

نتیجه گیری

به طور کلی، نتایج این پژوهش تأیید می کند که روغن کرچک نه تنها یک عامل کاهنده و پایدارکننده مؤثر است، بلکه با بهینه سازی شرایط، نانوذراتی با اندازه کوچک (۱۶/۸ نانومتر)، ساختار بلوری پایدار (FCC) و فعالیت های زیستی دوگانه (آنتی اکسیدان و آنتی باکتریال) تولید می کند. مقایسه با مطالعات اخیر نشان داد که MIC و IC_{50} ما ۲۲-۶۳ درصد و ۳۸-۵۹ درصد بهتر از کارهای مشابه است، که این برتری به دلیل ترکیب منحصربه فرد اسید ریسینولئیک و فنول های روغن کرچک است. این یافته ها اهمیت منابع طبیعی زیست تخریب پذیر را در فناوری نانو برجسته می کند و پتانسیل بالایی برای کاربرد در طراحی داروهای ضدباکتریایی نوین، بسته بندی های فعال غذایی و فرمولاسیون های آنتی اکسیدانی دارویی دارد. در آینده، تمرکز بر مقیاس پذیری صنعتی و آزمون های *in vivo* ضروری است.

در این پژوهش، نانوذرات نقره به روش سنتز سبز با روغن کرچک سنتز و ویژگی های ساختاری و زیستی آن ها ارزیابی شد. روغن کرچک به عنوان عامل کاهنده و پایدارکننده مؤثر، نانوذراتی با اندازه متوسط ۱۷ nm و ساختار بلوری پایدار تولید کرد که فعالیت ضدباکتریایی قوی (MIC برابر با ۱۵۶/۲۵ میکروگرم بر میلی لیتر) دو سویه /شرشیا کلی و شیگلا، و خاصیت آنتی اکسیدانی چشمگیر (IC_{50} برابر ۴۱/۷۵ میکروگرم بر میلی لیتر) نشان داد.

صنایع دارویی، بسته‌بندی مواد غذایی و ضدعفونی‌کننده‌های طبیعی تبدیل می‌کند.

این ویژگی‌ها، همراه با برتری ۳۰-۶۰ درصد نسبت به مطالعات مشابه (۲۰۱۹-۲۰۲۵)، نانوذرات را به گزینه‌ای ایده‌آل برای

References

- Waris M, Nasir S, Abbas S, Azeem M, Ahmad B, Khan NA, et al. Evaluation of larvicidal efficacy of *Ricinus communis* (Castor) and synthesized green silver nanoparticles against *Aedes aegypti* L. *Saudi J Biol Sci*. 2020 Sep;27(9):2403-9. doi: 10.1016/j.sjbs.2020.07.017.
- Gwinn MR, Vallyathan V. Nanoparticles: health effects--pros and cons. *Environ Health Perspect*. 2006 Dec;114(12):1818-25. doi: 10.1289/ehp.8871.
- Alli S, Dulger G, Kiliccioglu I, Alli A, Dulger B. Castor oil—based graft copolymers: synthesis, characterization antimicrobial activity and antiproliferative effects against breast cancer cell lines. *Polym Bull*. 2022;1-23. doi: 10.1007/s00289-022-04139-9.
- Lee SH, Jun BH. Chemical reduction methods for silver nanoparticles synthesis. In: Janas D, editor. *Silver Nanoparticles - Fabrication, Characterization and Applications*. Rijeka: IntechOpen; 2013. p. 59-77. doi: 10.5772/56933.
- Soni N, Dhiman RC. Phytochemical, Anti-oxidant, Larvicidal, and Antimicrobial Activities of Castor (*Ricinus communis*) Synthesized Silver Nanoparticles. *Chin Herb Med*. 2017 Jul;9(3):289-94. doi: 10.1016/S1674-6384(17)60104-2.
- Viana AD, Nóbrega ET, Moraes EP, Neto AOW, Menezes FG, Gasparotto LHS. Castor oil derivatives in the environmentally friendly one-pot synthesis of silver nanoparticles: application in cysteine sensing. *Mater Res Bull*. 2020 Mar;124:110755. doi: 10.1016/j.materresbull.2019.110755.
- Mensah MB, Awudza JAM, O'Brien P. Castor oil: A suitable green source of capping agent for nanoparticle syntheses and facile surface functionalization. *R Soc Open Sci*. 2018 Aug;5(8):180824. doi: 10.1098/rsos.180824.
- Dwesh HAW, Ali AA. Study of the biological activity of castor oil extract and its synthesized amides on bacteria. *Plant Arch*. 2021;21(1):586-91.
- Sheikh A, Mude S. Antioxidant potential of castor oil-derived nanostructures. In: Shah MR, Imran M, Ullah S, editors. *Metal Nanoparticles for Drug Delivery and Diagnostic Applications*. Amsterdam: Elsevier; 2024. p. 195-212. doi: 10.1016/B978-0-443-13918-4.00009-9.
- Marambio-Jones C, Hoek EMV. A review of the antibacterial effects of silver nanomaterials and potential implications for human health and the environment. *J Nanopart Res*. 2010 Jun;12(5):1531-51. doi: 10.1007/s11051-010-9900-y.
- Kumar A, Alam A, Rani M, Ehtesham NZ, Hasnain SE. Green nanotechnology: a potential strategy for combating microbial drug resistance. *Drug Discov Today*. 2021 Nov;26(11):2683-92. doi: 10.1016/j.drudis.2021.06.012.
- Rivera-Rangel RD, González-Muñoz MP, Avila-Rodriguez M, Razo-Lazcano TA, Solans C. Green synthesis of silver nanoparticles in oil-in-water microemulsion and nano-emulsion using geranium leaf aqueous extract as a reducing agent. *Colloids Surf A Physicochem Eng Asp*. 2018 Jan 5;536:60-7. doi: 10.1016/j.colsurfa.2017.07.051.
- Mensah S, Mamo MA, Chen Y, Iyuke SE, Kyazze G. A novel castor oil-assisted green synthesis of silver nanoparticles for photocatalytic degradation of dyes. *Ind Crops Prod*. 2022 Dec 1;189:115857. doi: 10.1016/j.indcrop.2022.115857.
- Kumar A, Choudhary A, Kaur H, Mehta S, Husen A. Metal-based nanoparticles, sensors, and their multifaceted application in food packaging. *J Nanobiotechnology*. 2021 Aug 9;19(1):256. doi: 10.1186/s12951-021-00996-0.
- Avramović JM, Marjanović Jeromela AM, Krstić MS, Kiproviski BM, Veličković AV, Rajković DD, et al. Castor Oil Extraction: Methods and Impacts. *Sep Purif Rev*. 2025;54(1):60-82. doi: 10.1080/15422119.2024.2327259.
- Mintiwab A, Jeyaramraja PR. Evaluation of phytochemical components, antioxidant and antibacterial activities of silver nanoparticles synthesized using *Ricinus communis* leaf extracts. *Vegetos*. 2021 Sep;34(3):606-18. doi: 10.1007/s42535-021-00233-x.
- Bayrami A, Arvanagh FM, Zahri S, Bayrami M. Characterization and antimicrobial evaluation of zinc oxide/silver nanoparticles synthesized with milk thistle seed extract (*Silybum marianum*). *J Rafsanjan Univ Med Sci*. 2020;19(6):587-600. doi: 10.29252/jrums.19.6.587
- Rani A, Chauhan S, Azmi W. Production and antimicrobial, antioxidant and anticancer applications of pyocyanin from isolated *Pseudomonas aeruginosa*. *SciFed J Ferment Microbial Technol*. 2018;1(1):1-13. [No DOI found. Use the stable URL if available, e.g., <https://www.scifedpublishers.com/journal-archive/...>].
- Gawai AA, Kharat AR, Chorge SS, Dhawale SA. Green synthesis of silver nanoparticles mediated *Azadirachta indica* extract and study of their characterization, molecular docking, and antibacterial activity. *J Mol Recognit*. 2023 Oct;36(10):e3051. doi: 10.1002/jmr.3051.
- Singh J, Dutta T, Kim KH, Rawat M, Samddar P, Kumar P. 'Green' synthesis of metals and their oxide nanoparticles: applications for environmental

- remediation. *J Nanobiotechnology*. 2018 Dec;16(1):84. doi: 10.1186/s12951-018-0408-4
21. Fahim M, Shahzaib A, Nishat N, Jahan A, Bhat TA, Inam A. Green synthesis of silver nanoparticles: A comprehensive review of methods, influencing factors, and applications. *JCIS Open*. 2024 Aug;16:100125. doi: 10.1016/j.jciso.2024.100125.
22. Kumar A, Devi S, Kumar K, Kaushik NK. Crystal structure, morphology, and biological activity of biosynthesized silver nanoparticles. *Mater Lett*. 2021 Apr 1;287:129311. doi: 10.1016/j.matlet.2021.129311.
23. Andrews JM. Determination of minimum inhibitory concentrations. *J Antimicrob Chemother*. 2001 Jul;48 Suppl 1:5-16. doi: 10.1093/jac/48.suppl_1.5.
24. Fahim M, Shahzaib A, Nishat N, Jahan A, Bhat TA, Inam A. Green synthesis of silver nanoparticles: A comprehensive review of methods, influencing factors, and applications. *JCIS Open*. 2024 Aug;16:100125. doi: 10.1016/j.jciso.2024.100125.
25. 22 .Kumar A, Devi S, Kumar K, Kaushik NK. Crystal structure, morphology, and biological activity of biosynthesized silver nanoparticles. *Mater Lett*. 2021 Apr 1;287:129311. doi: 10.1016/j.matlet.2021.129311.
26. 23 .Andrews JM. Determination of minimum inhibitory concentrations. *J Antimicrob Chemother*. 2001 Jul;48 Suppl 1:5-16. doi: 10.1093/jac/48.suppl_1.5.
27. 24 .Mojally M, Sharmin E, Obaid NA, Alhindi Y, Abdalla AN. Polyvinyl alcohol/corn starch/castor oil hydrogel films, loaded with silver nanoparticles biosynthesized in *Mentha piperita* leaves' extract. *J King Saud Univ Sci*. 2022 May;34(4):101879. doi: 10.1016/j.jksus.2022.101879.