مجله ایمنی زیستی
دوره ۱۱، شماره ۲، تابستان ۱۳۹۷

نانوذرات نقره: بررسی روش‌های سنتز شیمیایی و زیستی و بررسی رفتار ضد باکتری آن‌ها

زینب فرخی[۱]، مجتبی کنویسی[۲]، علی آیتی[۲*]

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی شیمی، دانشکده مهندسی شیمی، دانشگاه صنعتی قوچان
۲- استادیار گروه مهندسی شیمی، دانشکده مهندسی شیمی، دانشگاه صنعتی قوچان

mkanvisi@gmail.com

چکیده

نانوذرات نقره به‌دلیل خواص شیمیایی و فیزیکی ویژه و نیز خاصیت ضدعفونی‌کنندگی، کاربردهای وسیعی در مصارف پزشکی، دارویی، درمان عفونت‌های باکتریایی، الکترونیکی، نوری و غیره ایفا می‌کنند. بنابراین سنتز این نانو ذرات دارای اهمیت زیادی می‌باشد. در این مقاله به پیشرفت‌های گذشته در سنتز، کاربردها و اثر ضدباکتریایی نانو ذرات نقره پرداخته شده است. با توجه به هزینه‌ی بالای سنتز شیمیایی نانوذرات نقره و هم‌چنین ایجاد ملاحظات جدی برای سلامت انسان و محیط زیست، بررسی بیوسنتز این نانوذرات، دارای اهمیت بسزایی است. پژوهش‌ها نشان می‌دهند که روش سبز سنتز نانوذرات، به‌دلیل وجود عوامل احیاء و پایدارکننده در عصاره گیاه و در مقایسه با این عوامل در روش‌های شیمیایی، به‌طور قابل‌ملاحظه‌ای از سمیت کمتری برخوردار است.

واژه‌های کلیدی: نانوذرات نقره، سنتز، روش شیمیایی، روش سبز، اثرهای ضد باکتری.

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2026-07-01]

[DOR: 20.1001.1.27170632.1397.11.2.4.2]

مقدمه

فناوری نانو شاخه‌ای از علم مواد با ویژگی‌های ساختاری بین اتم‌ها و مواد بالک با حداقل یک بعد در محدوده نانومتر (۱ تا ۱۰۰ نانومتر) ارائه می‌دهد که به‌عنوان یکی از فناوری‌های کلیدی آینده شناخته می‌شود [۱]. نانومواد در بسیاری از بخش‌های مختلف زندگی انسان، مورد استفاده قرارگرفته و می‌توانند راه‌حل‌هایی برای چالش‌های فناورانه و زیست‌محیطی فراهم نمایند [۲]. این مواد با توجه به اندازه ذراتشان، دارای خواص منحصر برفردی هستند که در زمینه‌های مختلف علوم مانند پزشکی، مهندسی و فناوری (ازجمله الکترونیک، سنجش زیست‌محیطی، طیف‌سنجی رامان از سطح باکتری، عامل ضدباکتریال، تحویل دارو و تصفیه آب) استفاده می‌شوند [۳]. کاربرد نانو مواد در پزشکی، به‌ویژه در تحویل دارو، در دهه گذشته افزایش یافته است. با این‌حال برخی نانو مواد اثرهای مضری دارند که مهم‌ترین آن‌ها مسمومیت انسان و حیوان‌ها است. به‌عنوان مثال، نانوذرات اکسید روی به‌عنوان یک اختلال در عملکرد کبدی و سمیت نانو نقره در جنین ماهی گورخر شناخته می‌شوند. به‌علاوه این سمیت می‌تواند به‌طور مستقیم بر سلامت انسان نیز آسیب برساند که بر روی تولیدمثل و تکامل جنین تاثیر منفی دارد. این عوامل باعث شده تا پژوهش‌ها در جهت توسعه روش‌های تولید نانو مواد بدون سمیت پیش برود. بنابراین، به‌منظور به حداقل رساندن استفاده از محصولات ناامن و حداکثر بهره‌وری از فرآیندهای شیمیایی، باید اصول اساسی شیمی سبز اتخاذ شود. بنابراین، هر مسیر مصنوعی یا فرآیند شیمیایی باید با استفاده از حلال‌های محیط‌زیست خوش‌خیم و مواد شیمیایی غیر سمی این اصول را برآورده کند [۲, ٤].

داروهای عصر جدید، نانوذرات پلیمرها، فلزات و یا سرامیک‌ها هستند که می‌توانند شرایطی مانند مبارزه با سرطان و مبارزه با عوامل بیماری‌زا انسان، مانند باکتری‌ها را ایجاد کنند [۵]. در میان نانوذرات فلزی مختلف، ازجمله طلا، پلاتین، نقره و پالادیم، نانوذرات نقره به دلیل افزایش طیف گسترده‌ی ضدباکتری خود، به‌عنوان شایع‌ترین عامل ضدباکتری با مدت اثر ضدعفونی‌کننده طولانی شناخته شده است و کاربردهای وسیعی در طب سنتی و مواد غذایی پیدا کرده است [۵, ٦]. نقره به‌عنوان یکی از فلزات نجیب با سازگاری بالاست و به‌عنوان یک آنتی‌بیوتیک طبیعی قوی، از زمان‌های قدیم به‌منظور بهبود زخم استفاده می‌شود [۱, ۷]. نانوذرات نقره توجه بسیاری از پژوهشگران را برای کاربردهای عالی آن در فوتونیک‌ها، میکروالکترونیک، لیتوگرافی به‌ویژه در

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2026-07-01]

[DOR: 20.1001.1.27170632.1397.11.2.4.2]

دستگاه‌های پزشکی ضد باکتری جلب کرده است [۸]. از طرفی این نانوذرات به طور نسبی ارزان قیمت دارای فعالیت بسیار زیاد در برابر طیف گسترده‌ای از میکروب‌ها و انگل‌ها هستند و نیز سمیت پایین‌تری برای سلول‌های انسان نسبت به سایر فلزات سنگین زیست‌کش دارند [۹]. چسبندگی نانوذرات نقره به سطح باکتری‌ها باعث تغییر خواص غشائی، تخریب مولکول‌های لیپوپلی‌ساکارید، جمع‌آوری در داخل غشاء با تشکیل چاله‌ها و تغییر نفوذپذیری غشاء و نفوذ در داخل سلول‌های باکتریایی می‌شود [۱۰].

به‌طور مرسوم نانو مواد با استفاده از روش‌های شیمیایی یا فیزیکی که شامل فرآیند سل، میسل، رسوب شیمیایی، روش هیدروترمال، پیرولیز و رسوب بخار شیمیایی است، سنتز می‌شوند [۱۱]. به‌طورکلی، نانوذرات فلزی را می‌توان با روش‌های فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی تهیه و پایدار کرد. رویکردهای شیمیایی مانند احیاء شیمیایی، تجزیه و تحلیل‌های الکتروشیمیایی و احیاء فتوشیمیایی به‌طور گسترده‌ای مورد استفاده قرار گرفته‌اند که می‌توانند ملاحظات زیادی را به همراه داشته باشند. سنتز سبز نانوذرات فلزی شامل سه مرحله اصلی ازجمله ۱- انتخاب محیط حلال، ۲- انتخاب عامل احیاءکننده زیست‌محیطی و ۳- انتخاب مواد غیرسمی برای پایداری نانوذرات نقره است که بر اساس دیدگاه‌های شیمی سبز می‌باشد [۱۲]. براساس این رویکردها، ما روند پردازش سنتز نانوذرات نقره شیمی سبز را همراه روش‌های شیمیایی به بررسی و مقایسه پرداختیم. درنهایت، فعالیت ضد میکروبی نانوذرات نقره به‌طور خلاصه موردبحث قرار می‌گیرد. بنابراین، بررسی حاضر باهدف شرح‌حال گذشته در سنتز، اصلاح و کاربردهای عملی نانو ذرات نقره ضد باکتری انجام شده است.

در تلاش‌های جهانی برای کاهش زباله‌های خطرناک تولیدشده، شیمی سبز و فرآیندهای شیمیایی به‌تدریج با پیشرفت‌های مدرن در علم و صنعت ادغام می‌شوند [۲]. روش‌های شیمیایی به‌دلیل ملاحظات زیاد، کمترین استفاده را دارند. به‌تازگی، بیوسنتز با کمک مواد بیولوژیکی جدید، غیرسمی، سازگار با محیط‌زیست و مناسب مانند قارچ‌ها، باکتری‌ها، بیومولکول‌ها و عصاره‌های گیاهی موردبررسی قرارگرفته است. تاکنون مطالعات زیادی درباره سنتز و کاربرد بیولوژیکی نانوذرات منتشرشده است. در سال ۲۰۰۷ نایر و لاورنسین مقاله‌ای منتشر کردند که به بررسی سنتز و کاربرد بیولوژیکی نانوذرات نقره درزمینه مقاومت میکروبی و بهبود زخم پرداختند. میرانیان و همکاران کاربرد نانوذرات ضد باکتری را بررسی کردند که در آن پیش‌بینی آینده نانوتکنولوژی در لوازم‌آرایشی را شرح دادند، درحالی‌که محمودی و همکاران نقش نانو ذرات

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2026-07-01]

[DOR: 20.1001.1.27170632.1397.11.2.4.2]

مختلف کـه فعالیـت‌هـای ضـد بـاکتری را نشـان می‌دهند، مورد بحث قراردادند [۱]. قوامی نـژاد و همکاران اولین سنتز جدید نانو الیاف الکتروریسی عامل‌دار شده با نانوذرات نقره را گزارش کردنـد. نتایج، خـواص ضـدباکتری و زیسـت سـازگاری خوب را نشان می‌دهد و نانو الیاف دیسپرس شده با نقره، دارای پتانسـیل بـالایی بـرای اسـتفاده در برنامه‌های کاربردی بهبود زخم هستند [۹].

رویکردهایی برای سنتز نانو ذرات نقره

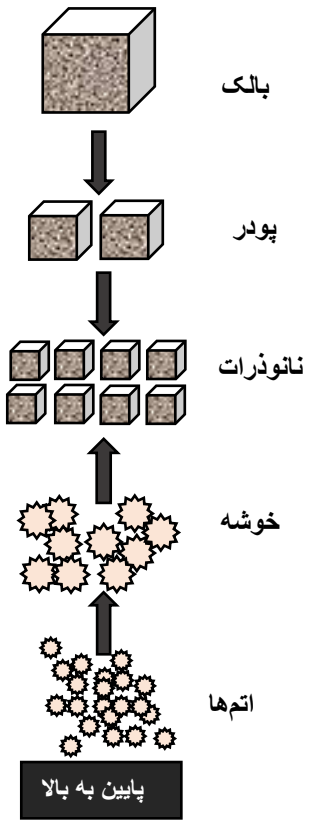
مطالعات نشان داده‌اند که اندازه، مورفولـوژی، پایداری و خواص (شیمیایی و فیزیکی) نانوذرات فلزی تاثرپذیر از شـرایط آزمایشـگاهی، سـینتیک تعامل یـون‌هـای فلـزی بـا عوامـل احیاءکننـده و فرآیندهای جذب سطحی عامل پایدار شـده نـانو ذرات فلزی می‌باشد. ازاین‌رو طراحی یـک روش سنتز برای کنترل این ویژگی‌هـا بـه زمینـه اصـلی موردعلاقه پژوهشـگران تبـدیل شـده اسـت [۲]. دیسپرس زیاد ذرات کوچک نقره (<۱۰ نـانومتر) مـی‌توانـد تمـاس نقـره/ بـاکتری‌هـا و بهـره‌وری باکتریایی را افزایش دهد. بنابراین، نانوذرات نقـره با انـدازه کوچـک و بـدون تجمـع بـین ذرات در بسیاری از کاربردها ترجیح داده می‌شـود [٦, ۱۳]. محلول‌های نـانو نقـره سـنتز شـده بسـیار پایـدار هستند و اثرهای ضدمیکروبی زیـادی نسـبت بـه سـایر محلـول‌هـای ضـدمیکروبی و ضـدعفونی، حذف باکتری‌های گرم مثبت و منفـی و همچنـین ویروس ایدز دارند [١٤].

فرآیندهای سنتز مختلفی برای تولید نانوذرات، پوشش، پراکندگی و یا کامپوزیـت‌هـای مختلـف استفاده می‌شود. سنتز ایـن نـانوذرات از دو روش اساسی «بالا بـه پـایین» و «پـایین بـه بـالا» انجـام می‌پذیرد (شکل ۱). اصطلاح بالا به پایین به سنتز نانوساختارها از بالک بـه‌وسـیله فرآینـد فیزیکـی اشـاره دارد. رویکـرد پـایین بـه بـالا بـه تشـکیل نـانوذرات از اتـم‌هـای تشـکیل دهنـده (توسـط فرآینـدهای شـیمیایی) اشـاره مـی‌کنـد [۱۵]. روش‌های فیزیکی این مزیت را دارد که می‌توانند مقادیر زیادی از نانو ذرات را تولیـد کننـد، امـا از عـدم توانـایی کنتـرل کامـل توزیـع انـدازه ذرات برخوردار هستند. از سوی دیگر، نشان داده شـده است که روش‌های سنتز شیمیایی کلوئیـدی قـادر بـه سـنتز نـانو ذرات یکنواخـت بـا انـدازه ذرات موردنظر است [١٦]. روش‌های متعـدد فیزیکـی و شیمیایی برای تولیـد و پایـداری نـانوذرات نقـره گزارش‌شده است که منجر به شکل‌ها، اندازه‌ها و خواص سطحی متفاوت محصولات می‌شوند [۱۱, ۱۷]. روش فیزیکی، اتمیزاسیون یـا فشـرده‌سـازی [۱۸] و بیشترین روش‌های شیمیایی ازجمله احیاء شیمیایی با استفاده از انواع عوامـل احیـاء دهنـده آلـی و غیـر آلـی ازجملـه هیـدروژن، سـیترات، آسـکوربات و بوروهیدریـد [۱۹]، احیـاء

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2026-07-01]

[DOR: 20.1001.1.27170632.1397.11.2.4.2]

فتوکاتالیستی [۲۰]، احیاء فیزیکوشیمیایی، تجزیه و تحلیل‌های الکتروشیمیایی و رادیو لیز، به‌طور گسترده‌ای برای سنتز نانو ذرات نقره‌ای استفاده می‌شود که در میان آن‌ها، احیاء شیمیایی یون‌های نقره در حضور یک عامل حفاظتی، به‌دلیل مزیت‌های استفاده از نانوذرات بدون تجمع، عملکرد بالا و هزینه آماده‌سازی کم، بیشترین کاربرد را داشته است. اگرچه از مضرات استفاده از عوامل احیاءکننده، ملاحظات عالی به سلامت انسان و محیط زیست است و از طرفی به‌طور معمول گران‌قیمت هستند [۱۱, ۱۳, ۱۹]. با توجه به پیشرفت سریع استفاده از نانو مواد در زمینه‌های مختلف، نیاز رو به رشد برای ایجاد روش‌های پاک، غیر سمی، ساده و سازگار با محیط‌زیست (شیمی سبز) برای سنتز و مونتاژ نانو ذرات وجود دارد که آن را به زمینه‌ای جذاب در تحقیق‌های علمی تبدیل کرده است [۱۱, ۲۱].



شکل ۱- نمایش سیستم بالا به پایین و پایین به بالا.

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2026-07-01]

[DOR: 20.1001.1.27170632.1397.11.2.4.2]

سنتز نانوذرات نقره

۱-۳- سنتز فیزیکی

در فرآینـدهای فیزیکـی، نـانوذرات فلـزی به‌طورکلی با تـراکم تبخیـر سـنتز مـی‌شـوند کـه می‌تواند با استفاده از یک کوره لولـه‌ای در فشـار اتمسفر انجام شود. تولید نانوذرات نقره با استفاده از کوره لوله‌ای دارای اشـکالات متعـددی اسـت، زیرا فضای زیادی را اشغال می‌کند و برای رسیدن به پایداری حرارتی به زمـان زیـادی نیـاز اسـت. نانوذرات نقره با لیزر مواد بالک فلزی در محلـول سنتز می‌شوند که یکی از مزیـت‌هـای اسـتفاده از لیزر با مقایسه از دیگر روش‌هـای معمـول بـرای تهیه کلوئیدهای فلزی، عدم وجود واکنش‌گرهـای فلـزی در محلـول اسـت، بنـابراین کلوئیـدهای خالص که برای بسیاری از کاربردها مفید هسـتند را می‌توان با استفاده از این روش تولید کرد [۱۱].

۲-۳-سنتز شیمیایی

۱-۲-۳- روش احیاء شیمیایی: روش احیـاء شیمیایی شامل کاهش نیتـرات نقـره توسـط یـک عامل احیاءدهنده اسـت کـه از یـک تثبیـت‌کننـده مناسـب بـرای محافظـت از رشـد ذرات نقـره از طریق تجمع استفاده می‌شود [۱۳]. احیاء مربوط به کاتیون فلزی، نشان‌دهنده یک واکنش ساده بـرای به دست آوردن نـانوذرات فلـزی اسـت. فرآینـد تشکیل نانوذرات نقره از محلول حاوی یون نقـره در شکل۲ نشان داده شده است. سـنتز نـانوذرات فلزی در حلال‌های آلی، مزیت‌هایی مانند عملکرد بالا و توزیع اندازه باریک دارد و هم‌چنین ممکـن است خود حلال به‌عنوان عامل احیاءی نـانوذرات نقـره عمـل کنـد. کـاهش یـون نقـره (Ag^+) در محلول‌های آبی، به‌طور معمول نقره کلوئیدی را با قطر ذرات چندین نانومتر تولید می‌کند. در مـورد نقـره، پتانسـیل تخریـب بـه‌طـور نسـبی بـزرگ الکتریکی مثبت $g^0Ag^+ \rightarrow$ در آب، اجازه اسـتفاده از چندین عامل احیاء دهنده مانند سدیم سیترات، سـدیم بوروهیدریـد، هیـدرازین، هیـدروکینون، آسکوربات و غیره دارد. به‌طور مثال، ون هینینـگ و زوکوسکی مکانیسـم زیـر را (معـادلات ۱ و ۲) برای سنتز نانو ذرات نقـره بـا اسـتفاده از سـدیم بوروهیدریـد، بـه‌عنـوان عامـل کاهنـده، پیشـنهاد داده‌اند [۲, ۲۲]:

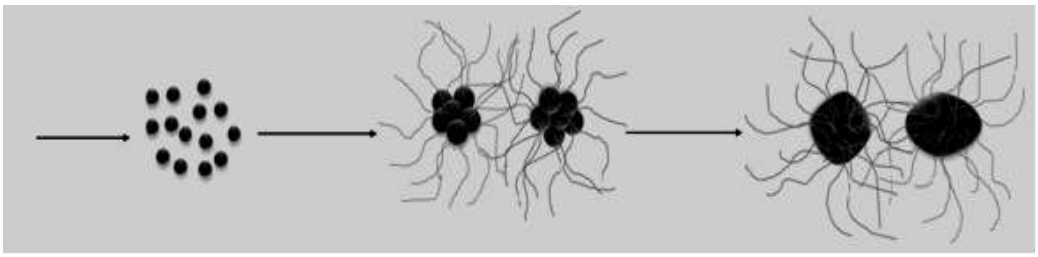
$$M^{n+} + nBH_4^- \rightarrow M^0 + nB(OH)_3 + n3.5H_2 \quad (۱)$$

$$AgNO_3 + NaBH_4 \rightarrow Ag + H_2 + B_2H_6 + NaNO_3 \quad (۲)$$

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2026-07-01]

[DOR: 20.1001.1.27170632.1397.11.2.4.2]

در شکل‌گیری نانوذرات نقره با استفاده از روش احیاء شیمیایی، اندازه ذرات و حالت تجمع نانو ذرات نقره به پارامترهای مختلفی مانند غلظت اولیه نمک فلزی (نیترات نقره) و نسبت‌های مولی آن، عامل احیاء و غلظت پایدارساز وابسته است. نتایج برخی پژوهش‌های انجام شده در سنتز نانو ذرات نقره بر اساس پارامترهای ذکرشده و هم‌چنین حلال‌های مختلف به همراه اندازه نانو ذرات حاصل در جدول ۱ آمده است. در سال ۲۰۱۲، لی و همکاران نشان دادند که مدت‌زمان و دمای واکنش، غلظت واکنشگرها و سورفکتانت‌ها و سایر مواد موجود در واکنش در اندازه نانو ذرات نقره و توزیع آن‌ها تاثیر بسزایی دارند [۲۳]. در سال ۲۰۰۹ سانگ و همکاران موفق به سنتز نانو ذرات نقره با احیاء نیترات نقره توسط سدیم بوروهیدرید در حضور پایدارکننده سدیم دودسیل سولفات شدند. طیف جذب UV-vis نشان داد که سدیم بوروهیدرید، علاوه‌بر نقش کاهندگی، به‌عنوان پایدارکننده نیز عمل می‌کند که از تجمع نانو ذرات نقره محافظت می‌کند. هم‌چنین تصاویر میکروسکوپ الکترونی عبوری (TEM) مشخص کرد که میزان تجمع ذرات بستگی به نسبت مولی مختلف نیترات نقره بر سدیم بوروهیدرید دارد [۱۳].



شکل ۲- روند تشکیل نانوذرات نقره به‌روش احیای شیمیایی.

جدول ۱- تولید نانو ذرات نقره با استفاده از عوامل احیاء و پایدارکننده‌های مختلف.

نمک فلزی	عامل احیاء	حلال	پایدارساز	اندازه ذرات	مرجع
نیترات نقره	گلوکز	آب	پلی وینیل پیرولیدون	۲۰-۸۰	[۲٤]
نیترات نقره	گلوکز	آب	سدیم هیدروکسید	۵۵ و ٤۵	[۱۰]
نیترات نقره	گلوکز	آب	پلی وینیل پیرولیدون	۵۰ و ۱۵	[۲۵]
نیترات نقره	گلوکز	پلی اتیلن گلیکول	پلی اتیلن گلیکول	۱۰-۲۵	[۲٦]
نیترات نقره	گلوکز و هیدرازین	آب		۱۰-۱۵	[۵]
نیترات نقره	تری اتانول آمین	آب	پلی وینیل پیرولیدون و پلی اتیلن گلیکول	٤۰-٤۳	[۲۷]
نیترات نقره	تری سدیم سیترات	آب	تری سدیم سیترات	۱۱-۳۱	[۱۵]
نیترات نقره	سدیم سیترات	آب	سدیم سیترات	۲۰-۸۰	[۲۹ ,۲۸]
نیترات نقره	سدیم سیترات	اتانول	پلی وینیل الکل	۱۸	[۳۰]

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2026-07-01]

[DOR: 20.1001.1.27170632.1397.11.2.4.2]

نیترات نقره	اتیلن گلیکول	اتیلن گلیکول		۴۰-۳۰	[۳۱]
نیترات نقره	دی متیل فرمامید	آب	پلی وینیل الکل	۲۵	[۳۲]
نیترات نقره	سدیم بوروهیدرات	آب	پلی وینیل پیرولیدون	۱۰۰-۱	[۳۳-۳۵]
نیترات نقره	سدیم بوروهیدرات	آب		۲۱-۳	[۳۶, ۳۷]
نیترات نقره	بوروهیدرات سدیم	آب	سدیم سیترات	۳۶ و ۱۸	[۱۷]
نیترات نقره	بوروهیدرات سدیم	آب	بوروهیدرات سدیم	۷۰-۵۰	[۳۸]
نیترات نقره	سدیم بورو هیدرات	آب	چیتوسان	۱۰	[۲۸]
نیترات نقره	بوروهیدرات سدیم	آب		۱۹ و ۱۰	[۳۹, ۴۰]
نیترات نقره	بوروهیدرات سدیم	آب	سدیم دودسیل سولفات	۴۰-۳۰	[۱۳]
نیترات نقره	سدیم بوروهیدرات	آب	پلی وینیل پیرولیدون	۱۳۶-۲۹	[۴۱]
نیترات نقره	احیاءی حرارتی	آب	پلی وینیل الکل	۲۴-۶	[۴۲]
نیترات نقره	هیدروژن	آب	سدیم دو دسیل سولفات	۲۰-۱۰	[۴۳]
نیترات نقره	هیدرازین هیدارات	آب	سدیم دودسیل سولفات	۶۰-۸	[۴۴-۴۶]
نیترات نقره	هیدروکسیل آمین هیدروکلرید	آب		۶۷ و ۲۳	[۴۷]
پرکلرات نقره	بوروهیدرات سدیم	آب	پلی وینیل پیرولیدون	۷-۵	[۴۸]

۲-۲-۳- روش الکتروشیمیایی: با توجه به این‌که مرحله اولیه برای آماده‌سازی نانو ذرات نقره، احیای یک الکترون از یون‌های موجود در Ag^+ است، برای تولید ذرات فلزی به‌نظر می‌رسد احیاء الکتروشیمیایی یک روش انتخابی مناسب باشد. به‌طور معمول استفاده از این روش‌ها در سنتز ذرات فلزی منجر به تولید نانوذرات کوچک با خلوص بالا می‌شوند که امکان کنترل دقیق اندازه ذرات با تنظیم چگالی یا پتانسیل کاربردی وجود دارد، اما روش‌های الکتروشیمی به‌عنوان وسیله‌ای برای تهیه تعداد زیادی نانو ذرات فلزی مورد استفاده نیست [۴۹]. سنتز نانو ذرات نقره با احیاء الکتروشیمیایی توسط رودریگز سانچز و همکاران ارائه شد که در آن یک ورق نقره به‌عنوان آند (الکترود شمارنده)، پلاتین یا ورق آلومینیوم به‌عنوان کاتد (الکترود کار) و نمک تترا متیل آمونیوم (برمید و یا استات) در استونیتریل به‌عنوان حلال غیرمستقیم مورد استفاده قرار گرفت [۲۲]. نتایج رتز و همکاران نشان داد که ذرات فلزی با اندازه انتخابی را می‌توان توسط روش الکتروشیمیایی با استفاده از نمک‌های تترا اتیل آمونیوم به‌عنوان پایدارکننده‌هایی برای خوشه‌های فلزی در محیط غیرآبی تهیه کرد. ویلی و همکاران [۵۰] و بارتلت و همکاران [۵۱]، شکل‌های دیگر رسوبات فلزی الکتروشیمیایی را گزارش کرده‌اند. با این‌حال، در محیط آبی یون‌های فلزی نجیب را می‌توان به‌آسانی بر روی کاتد پوشش داد. بنابراین وقتی نانو ذرات نجیب به روش الکتروشیمیایی در این مرحله تولید می‌شوند، مشکلات زیادی وجود دارد. بینگشنگ و همکاران روش الکتروشیمیایی ساده و راحت را برای تهیه تعداد زیاد نانو ذرات نقره با دیسپرس

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2026-07-01]

[DOR: 20.1001.1.27170632.1397.11.2.4.2]

خوب در فاز آبی تحت حفاظت پلی وینیل پیرولیدین گزارش کردند و نشان دادند که توزیع اندازه ذرات با افزودن سورفکتانت‌های آنیونی از غلظت مناسب به الکترولیت، بهبودیافته است [٤٩]. این روش الکتروشیمیایی امکان تهیه مقادیر نانوذرات فلزی با اندازه کنترل‌شده، به‌ویژه فلزات نجیب مانند طلا، پلاتین و نقره را فراهم می‌سازد. هم‌چنین پتیکا و همکاران برخی از جنبه‌های آماده‌سازی و مشخصه‌های آن را با روش الکتروشیمیایی و به‌ویژه اثر ضد میکروبی محلول نقره کلوئیدی ارائه دادند. پایدارکننده PVP، دیسپرس مناسب نانو ذرات را آسان می‌کند و باعث تراکم آن‌ها می‌شود. به‌طورکلی مکانیسم محافظت PVP در سنتز الکتروشیمیایی ذرات نقره براساس ویژگی‌های ساختاری آن پیشنهادشده است. روش‌های الکتروشیمیایی برای تولید اشکال مختلف نانوذرات نقره مانند نانومیله‌ها، نانو ساختارها و نانوسیم‌ها مفید هستند [٢٢, ٤٩, ٥٢].

٣-٢-٣- روش فتوکاتالیستی: نانوذرات نقره را می‌توان از روش فوتوکاتالیستی تحت تابش نور بر محلول حاوی نیترات نقره تولید نمود که در آن یون‌های نقره تحت تابش نور به کمک عامل احیاء، مانند سدیم بورو هیدرید، کاهش می‌یابند [٥٣]. بسیاری از پژوهشگران تلاش کرده‌اند با استفاده از مواد نانو کریستال یا ساخت میکرو ساختار متخلخل، سایت‌های فعال‌سازی سطوح قابل‌دستیابی را افزایش و درنتیجه عملکرد فوتوکاتالیستی را بهبود بخشند. چانگ و همکاران فیلم‌های نازک نانوکریستال Ag/TiO_2 را با استفاده از تجزیه و تحلیل پوشش چرخشی سل-ژل تهیه کردند. با ساخت فیلم TiO_2 متخلخل و اضافه کردن عنصر Ag، عملکرد فوتوکاتالیستی فیلم‌های نازک مبتنی‌بر TiO_2 به‌طور قابل‌توجهی بهبود یافت. هم‌چنین خواص فتوکاتالیستی این فیلم‌ها با تخریب متیلن آبی تحت اشعه UV مورد بررسی قرار گرفت [٥٤].

٤-٢-٣- روش سونوشیمی: روش‌های سونو شیمیایی شامل شکل‌گیری، رشد و فروپاشی میکرو حفره‌ها است. این روش برای تولید نانوذرات نقره استفاده شده است. موادی مانند سدیم بوروهیدرید به‌عنوان عامل کاهنده مواد خطرناک مورد استفاده قرار می‌گیرد. در مسیر سونو شیمیایی، نانوذرات نقره کلوئیدی می‌توانند توسط روش شیمیایی سبز با استفاده از نیترات نقره به‌عنوان پیش‌ماده نقره‌ای و ژلاتین به‌عنوان عامل احیاء و پایدارکننده تهیه شوند. مجید و همکاران سنتز سبز نانوذرات نقره را با استفاده از ژلاتین به‌عنوان یک پایدارکننده سبز و گلوکز به‌عنوان یک عامل کاهش‌دهنده گزارش کردند. اثر عوامل کاهنده و غلظت Ag^+، زمان اولتراسونیک و دامنه اولتراسونیک را بر اندازه ذرات مورد بررسی قرار دادند. اندازه نانوذرات نقره با دامنه

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2026-07-01]

[DOR: 20.1001.1.27170632.1397.11.2.4.2]

اولتراسونیک کاهش می‌یابد و با زمان اولتراسونیک افزایش می‌یابد [۵۵]. اولتراسونیک با شدت بالا در بسیاری از کاربردهای مهم ترکیبات آلی، مواد و شیمی آلی‌فلزی و فرآیندهای تولید صنعتی به کار گرفته شده است. سونوشیمی از شرایط گذرا بی‌نهایت ناشی از اولتراسونیک سرچشمه می‌گیرد که منجر به نقاط منحصر به‌فرد می‌شود. اولتراسونیک یک مکانیسم غیرمعمول برای تولید شیمی همراه با انرژی بالا با دمای بسیار بالا و فشار محلی و میزان سیستم گرمایشی و خنک‌کننده فوق‌العاده‌ای است که می‌تواند به دمای بالاتر از ۵۰۰۰ کلوین، فشار بیش از ۱۰۰۰ اتمسفر و میزان گرمایش و خنک‌کننده بیش از 10^{10} KS^{-1} برسد [۵۶, ۵۷].

۳-۳-سنتز سبز

۱-۳-۳- روش پلی‌ساکارید: در این روش نانوذرات نقره با استفاده از آب به‌عنوان یک حلال محیطی خوش‌خیم و پلی‌ساکارید به‌عنوان یک عامل سرپوش استفاده می‌شود، یا در برخی موارد پلی‌ساکاریدها به‌عنوان هر دو عامل احیاکننده و سرپوش دهنده عمل می‌کنند [۲]. گویلا و همکاران در روشی سازگار با محیط زیست، نانوذرات نقره‌ای با سایز ۱۵ نانومتر را با استفاده از گلوکز طبیعی سنتز کردند که اثرگذاری بسیار خوبی در برابر میکروب‌ها نشان دادند. ارزیابی اثرهای ضدمیکروبی نانوذرات نقره، پتانسیل آن‌ها را برای طیف گسترده‌ای از کاربردها تایید می‌کند. کپسوله کردن دارو در نانو امولسیون‌های حاوی نانوذرات نقره، اثرهای ضدباکتریایی خود را در حین افزایش اثربخشی ضد تومور حفظ می‌کند. هم‌چنین نانو امولسیون‌های چندمنظوره حاوی نانوذرات سبز و مولکول‌های دارویی، امکان استفاده از آن‌ها را برای درمان سلول‌های سرطانی باز می‌کند، درحالی‌که از عفونت توسط میکروب‌ها جلوگیری می‌کند [۱۸].

۲-۳-۳- روش تولوئن: در روش سنتز تولوئن، نانو ذرات نقره با سایز کنترل‌شده در یک فرآیند یک مرحله‌ای تولید می‌شوند. واکنش ابتدایی تولوئن شامل احیای $(NH3)_2^+(aq)$، واکنشگر تولوئن، همراه با آلدهید است (معادله ۳) [۲]:

$$Ag(NH_3)_2^+(aq) + RCHO(aq) \rightarrow Ag(s) + RCOOH(aq) \quad (۳)$$

روش تولوئن، اهمیت فوق‌العاده‌ای به‌عنوان یکی از روش‌های سنتز سبز دارد که نانوذرات نقره را با واکنش متداول تولوئن سنتز کرده و اثرهای ضد میکروبی خود را نسبت به میکروارگانیسم‌های بیماری‌زا نشان می‌دهد. ونگ و همکاران نانوذرات نقره را در یک محلول

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2026-07-01]

[DOR: 20.1001.1.27170632.1397.11.2.4.2]

حاوی پلی‌وینیل پیرولیدون سنتز کردند که در آن گلوکز باعث کاهش میزان نیترات نقره شد و منجر به تولید نانوذرات حدود ۲۰ تا ۸۰ نانومتر شد [۲٤]. هم‌چنین منتظر و همکاران یک روش جدید و ساده برای سنتز سبز نانوذرات نقره بر روی پارچه‌های پنبه‌ای ارائه کردند. اثر ضد باکتری علیه دو باکتری پاتوژن رایج، *استافیلوکوکوس اورئوس* و *اشریشیاکلی* و هم‌چنین دوام خواص ضدباکتری بر روی پارچه مورد ارزیابی قرار گرفته است که در آن پارچه پنبه‌ای، فعالیت ضد باکتری عالی همراه بادوام شستشوی عالی در برابر این دو باکتری نشان داده است [۱۸].

۳-۳-۳- روش پلی‌اکسومتالات (POM): POMها کلاسترهای غیر آلی فلزاکسید با ویژگی‌های منحصر بفرد مطابق با شیمی سبز هستند که پتانسیل استفاده در سنتز نانوذرات فلزی را دارا می‌باشند [۵۸]. این مواد، محلول در آب هستند و قادر به انجام گام‌به‌گام واکنش‌های بازسازی چند الکترونی، بدون ایجاد اختلال در ساختار آن‌ها می‌باشند. POMها را می‌توان در مجموعه‌های مختلف از جمله، از طریق فتوشیمیایی، رادیولیز، الکترولیتی و با احیای واکنش‌گرها کاهش داد. به‌عنوان مثال، آیتی و همکاران با استفاده از پلی‌اکسومتالات‌ها با ساختارهای مختلف موفق به سنتز نانوذرات نقره با قابلیت کنترل اندازه شدند که در آن‌ها POM هر دو نقش کاهندگی و نیز عامل پایدارکننده را ایفا کرده است [۵۹, ٦۰]. نانو ذرات نقره با شکل و اندازه‌های مختلف می‌تواند با استفاده از POMهای مختلف که به‌عنوان یک احیا دهنده و پایدارکننده عمل می‌کند، به دست آیند [۲, ٦۱].

٤-۳-۳- روش بیولوژیکی: نیاز زیادی برای ایجاد روش‌های نانوذرات فلزی با عملکرد بالا، هزینه کم، غیر سمی و روش‌های خوش‌خیم زیست‌محیطی وجود دارد. ازاین‌رو، رویکرد بیولوژیکی برای سنتز نانو ذرات مهم است [٦۲]. روش‌های بیولوژیکی سنتز نانوذرات با استفاده از میکروارگانیسم‌ها (جلبک‌ها، قارچ‌ها، مخمرها، باکتری‌ها و ویروس‌ها)، آنزیم‌ها و گیاهان یا عصاره‌های گیاهی به‌عنوان جایگزین‌های متنوع برای روش‌های شیمیایی و فیزیکی پیشنهاد شده است. حجم وسیعی از گزارش‌های نوشته شده، سنتز موفق نانوذرات نقره را با استفاده از ترکیبات زیستی آلی نشان می‌دهند. یانگ سانگ و همکاران، پنج عصاره برگ گیاه (کاج، خرمالو، گینکو، ماگنولیا و پلاتانوس) را برای تولید سنتز خارج سلولی نانو ذرات نقره فلزی مورد استفاده قرار دادند و مقایسه کردند و نشان دادند که این روش سازگار با محیط‌زیست برای تولید نانو ذرات نقره بیولوژیکی، سرعت سنتز سریع‌تر را فراهم می‌کند و با روش‌های شیمیایی مقایسه

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2026-07-01]

[DOR: 20.1001.1.27170632.1397.11.2.4.2]

می‌شود. به‌طور بالقوه می‌تواند در بخش‌های گوناگون تماس با انسان مانند لوازم‌آرایشی، غذا و کاربردهای پزشکی مورد استفاده قرار گیرد [٦٣].

۵-۳-۳- روش پرتودهی: نانوذرات نقره را می‌توان با استفاده از روش‌های تابش مختلف بدون استفاده از هیچ عامل احیاکننده‌ای با موفقیت سنتز کرد. به‌عنوان مثال، تابش لیزر از یک محلول آبی نمک نقره و سورفاکتانت، می‌تواند تولید نانوذرات نقره را با یک توزیع شکل و اندازه به‌خوبی مشخص کند. رادیولیز محلول‌های آبی یک روش کارآمد برای کاهش یون‌های فلزی است تا فلزات ظرفیت صفر یا اکسید فلزی را تشکیل دهند [۲].

مقایسه روش‌های سنتز نانوذرات نقره با خواص ضد باکتری

با توجه به روش‌های متفاوتی که جهت سنتز نانوذرات نقره وجود دارد، در جدول ۲ مقایسه‌ای بین پژوهش‌های انجام شده در سنتز شیمیایی و سبز نانوذرات نقره برای اثرهای ضد باکتری آن با توجه به شرایط عملکرد واکنش از جمله غلظت واکنش‌گرها، دما و مدت زمان انجام واکنش، اندازه نانوذرات، PH و تغییر رنگ حاصل شده، انجام شده است.

جدول۲- مقایسه برخی روش‌های تولید نانوذره نقره ضد باکتری

روش سنتز	غلظت (ppm)	زمان (دقیقه)	PH	تغییر رنگ	سایز ذرات	خواص ضد باکتری	توضیحات	مرجع
احیای شیمیایی	۱۳۰ و ۱٤۰	۳	۹ و ۱۱	زرد	۳٦ و ۱۸	+	سدیم سیترات به‌عنوان عامل احیا و سدیم بوروهیدرید عامل پایداری	[۱۷]
ماکروویو	۲۰	۱۰		زرد	۳۰-٤۰	+		[٦٤]
فتو شیمی		۱۵		زرد قهوه‌ای	۱٤	+	پلی اتیلن گلیکول به عنون عامل احیا و پایداری	[۳]
پلی ساکارید	۱۵، ۱٦ و ۳۳	۵	۸-۱۲	زرد	۱۵	+	b-glucan عامل احیا و پایدارکننده	[٤]
احیای شیمیایی	۱۰۰	۱۵	۷	زرد	۵۵ و ٤۵	+	گلوکز عامل احیا و سدیم هیدوکسید به‌عنوان محیط قلیایی	[۱۰]
تابش UV	۱۰۰ و ۲۰۰	۵	۸/۵-۹	زرد	۵۳	+	PVP عامل احیا و پایدارکننده	[۱٤]
احیای شیمیایی	۱۰۰	۱۵		زرد مایل به سبز تا سبز مایل به قرمز	۱۲-۳۱	+	تری سدیم سیترات عامل احیا و پایدارکننده	[۱۵]
احیای شیمیایی	۲۰۰	۵		زرد کمرنگ تا زرد طلایی	۱۱	+	تری سدیم سیترات عامل احیا و پایدارکننده	[۱۵]
سبز	۱۰۰	۱۰-٦۰	٤/۵-	زرد	۵/۷-	+	صمغ درخت عامل احیا و پایاداری	[٦۵]

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2026-07-01]

[DOR: 20.1001.1.27170632.1397.11.2.4.2]

			۵/۵		۰/۲			
تولوئن	۱۰۰، ۲۰۰ و ۵۰۰	۱۲۰	۹-۱۴	زرد روشن تا قهوه‌ای	۹-۱۰	+	نانو ذرات پایدار شده با اولئیک اسید	[۱۶]
تولوئن	۱۰۰، ۲۰۰ و ۵۰۰	۱۲۰	۱۲- ۱۴	زرد روشن تا قهوه‌ای	۶-۷	+	نانو ذرات پایدار شده با مریستیک اسید	[۱۶]
تولوئن	۰/۲- ۰/۰۰۵ M	۱۵	۱۱/۵- ۱۳	زرد	۲۰-۵۰	+	گلوکز و گالاکتوز عامل احیا و SDS و PVP پایدارکننده	[۲]
احیای شیمیایی	۱۰۰	۳		زرد روشن	۳-۲۱	+	سدیم برو هیدرید عامل احیا	[۳۷]
بیولویکی	۱۰۰	۱۲۰		زرد	۳۰/۵	+		[۲]
پلی‌اکسومتالات	۱۰۰	۱۵		زرد	۳۸	+	POM به عنوان عامل احیا، پایداری و فتوکاتالیستی	[۲]
احیای شیمیایی	۱۰۰	۱۵	۷/۴	قهوه‌ای	۱۰-۱۵	+	گلوکز وهیدرازین عامل احیا	[۵]
الکتروشیمیایی	۲۰۰	۵		زرد روشن	۷-۱۴	+	PVP عامل پایدارکننده	[۴۹]

۵- اثر ضد باکتری نانو ذرات نقره

نقره برای خواص ضد میکروبی خود شناخته شده است و برای سال‌ها در زمینه پزشکی برای کاربردهای ضد میکروبی استفاده‌شده است و حتی برای جلوگیری از اتصال ایدز به سلول‌های میزبان نشان داده شده است. علاوه بر این، نقره در تصفیه آب‌وهوا برای از بین بردن میکروارگانیسم‌ها استفاده شده است [۲]. مکانیسم‌های محدودی از فعالیت ضد باکتری نانوذرات وجود دارد. به‌طورکلی، نانو ذرات خواص ضدباکتریایی خوبی را که ناشی از سطح بزرگ آن نسبت به حجم است را فراهم می‌کند، که باعث ایجاد تماس مطلوب با سلول‌های باکتریایی می‌شود. مکانیسم‌های فعالیت ضد باکتری نانو ذرات اغلب در مقالات بر روی نمونه‌های نانوذرات نقره فلزی مورد بحث است. یکی از مکانیسم‌های سیتوتوکسیک نتیجه جذب نانو ذرات Ag توسط سلول‌های باکتریایی است [۱]. نانوذرات نقره توانایی لنگر انداختن به دیواره سلول باکتریایی را دارند و سپس به آن نفوذ می‌کنند، در نتیجه باعث تغییرات ساختاری در غشای سلولی مانند نفوذپذیری غشای سلول و مرگ آن می‌شود. مطالعات زیادی نشان می‌دهند که تشکیل رادیکال‌های آزاد توسط نانوذرات نقره در هنگام تماس با باکتری‌ها وجود دارد. این رادیکال‌های آزاد دارای توانایی آسیب رساندن به غشای سلولی و ایجاد تخلخل در آن هستند که درنهایت می‌تواند منجر به مرگ سلول شود. سلول‌های باکتریایی در تماس با نقره، یون‌های نقره‌ای را جذب می‌کنند که مانع عملکرد چندگانه

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2026-07-01]

[DOR: 20.1001.1.27170632.1397.11.2.4.2]

در سلول و آسیب رساندن به سلول‌ها می‌شود [٦٦]. نانوذرات دارای اندازه کوچک‌تر، تاثیر ضد باکتری بیشتری نسبت به گونه‌های درشت‌تر با غلظت مشابه نشان می‌دهد. در سال ۲۰۰۵ شریوازتاوا و همکاران، تاثیر نانوذرات نقره با اندازه ۱۰ تا ۱۵ نانومتر را بر روی باکتری‌ها مورد بررسی قراردادند که در آن نانوذرات با اندازه کوچک‌تر خواص ضد باکتری بیشتری را از خود به نمایش گذاشت [۵]. گازمن و همکاران در سال ۲۰۱۲ اثر نانوذرات نقره را روی باکتری‌های گرم مثبت و گرم منفی و بعضی از گونه‌های مقاوم نشان دادند و مشخص کردند که اندازه نانو ذرات نقره، تاثیر بسیاری در خواص ضد باکتری دارد به‌طوری که ذراتی با اندازه ۹ تا ۱۹، بیشترین تاثیر را بر روی باکتری‌ها داشته‌اند [٤٤]. نانوذرات نقره کوچک‌تر که دارای سطح بزرگتری از سطح در دسترس برای تعامل هستند، اثر ضدباکتری بیشتری را نسبت به نانوذرات بزرگ‌تر نشان می‌دهد. هم‌چنین ممکن است نانوذرات نقره علاوه بر برقراری ارتباط با سطح غشا، در داخل باکتری نیز نفوذ نمایند.

کاربرد نانو ذرات نقره به‌عنوان عامل ضد باکتری

استفاده کاربردی از نانوذرات نیازمند ذراتی با اندازه دقیق و توزیع اندازه محدود است. فرآیندهای سنتز خاص برای تولید نانوذرات، پوشش، پراکندگی و یا کامپوزیت‌های مختلف استفاده می‌شود. فناوری نانو، یک اساس برای تغییر و توسعه خواص مهم فلز در قالب نانوذرات است که دارای بخش‌های امیدوارکننده محیط‌زیست و بیوتکنولوژی، الکترونیک [۱۱]، نوری، عوامل کنتراست برای تصویربرداری بیولوژیکی، عوامل ضد میکروبی، سیستم‌های دارورسانی و داروهای نانو برای درمان بیماری‌های مختلف است [۱۵]. نانوذرات به‌طور معمول به‌عنوان حامل داروهای ضد باکتری استفاده می‌شود و ممکن است با موجودات زنده ارتباط برقرار کنند و کارآیی و خاصیت درمان‌های پزشکی را افزایش دهند. آن‌ها ممکن است به‌عنوان افزودنی‌های خوب برای چسب‌های دندانی با فعالیت ضد باکتری استفاده شوند [۱]. طراحی نانو ذرات فلزی با کامپوزیت‌های پلیمری در چند سال گذشته، به‌دلیل طیف وسیعی از کاربردها، به‌عنوان مثال به‌عنوان کاتالیزورها و در زمینه زیست پزشکی، توجه زیادی را به خود جلب کرده است [٦٧]. پژوهشگران به سمت نانوذرات به‌خصوص نانوذرات نقره حرکت می‌کنند تا مشکل پاتوژن‌های در حال ظهور ازجمله باکتری‌های مقاوم در برابر چند دارو را حل نمایند. علاوه بر این، توانایی ادغام نانوذرات نقره در سیستم‌های بیولوژیکی، بیشترین تاثیر را در زیست‌شناسی و زیست پزشکی دارد. ظهور گذشته فناوری نانو، یک روش جدید درمانی در نانو ذرات نقره برای استفاده‌ی پزشکی به وجود

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2026-07-01]

[DOR: 20.1001.1.27170632.1397.11.2.4.2]

آورده است و با خواص متمایزی که دارد کاربرد آن را در درمان ضدباکتری، ضدقارچی، ضدویروسی و ضدالتهابی گسترش می‌دهد [۱۵]. مطالعات نشان می‌دهند که نانوذرات نقره از تکثیر ایدز جلوگیری می‌کند، به‌طوری‌که تاثیر آن‌ها از نانوذرات طلا بیشتر است. همچنین اثر موثر نانوذرات نقره بر ویروسی مانند هپاتیت B گزارش شده است [۶۸]. ازجمله کاربردهای دیگر نانو ذرات نقره، به‌دلیل خواص منحصر به‌فرد آن‌ها، در کاربردهای ضد میکروبی، مواد بیوسنسور، الیاف کامپوزیتی، مواد ابررسانای برودتی، حفظ مواد غذایی، تصفیه آب، محصولات آرایشی و قطعات الکترونیکی می‌باشد که در شکل ۳ نشان داده شده است [۱۱].

شکل ۳- دامنه کاربردهای عملی نانو ذرات نقره ضد باکتری.

نتیجه‌گیری

با توجه به پیشرفت صنعت، نیاز روزافزون به تولید ترکیبات نانویی برای انواع مصارف تجاری و کاربردی در زمینه‌های علوم مواد، زیست‌شناسی، داروسازی، شیمی و پزشکی رو به افزایش است. نانو ذرات حاوی فعالیت ضد باکتری، وعده‌ی زیادی در حفظ مواد غذایی، سطوح و پارچه‌های ضد باکتری، دندان‌پزشکی، نانو مواد پزشکی جدید و ... دارند. نانوذرات ضد باکتری، منطقه وسیعی از مواد مانند فلزات، اکسیدهای فلزی و حامل‌هایی در ابعاد نانو را پوشش می‌دهند. روش‌های سریع و سبز با استفاده از عصاره‌های زیستی، پتانسیل زیادی را در سنتز نانو ذرات نقره به‌ویژه پیشرفت در مسیر

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2026-07-01]

[DOR: 20.1001.1.27170632.1397.11.2.4.2]

توسعه کنترل شکل و اندازه آن‌ها نشان می‌دهند. ازاین‌رو سنتز نانوذرات بسیار حائز اهمیت است. در این مقاله به بررسی مختصر پژوهش‌های ارائه شده درباره‌ی سنتز نانو ذرات نقره ضد باکتری به روش‌های شیمیایی و سبز پرداخته شده است. یکی از متداول‌ترین روش‌های شیمیایی تولید نانوذرات نقره، احیای شیمیایی است که امکان ساخت نانوذرات با سایز مختلف را مهیا می‌کند. از ارکان اصلی تولید این نانو ذرات به روش احیای شیمیایی، پیش ماده نقره، عامل احیا، حلال و عامل پوشش است.

باتوجه به این‌که استفاده از روش‌های شیمیایی ملاحظات زیادی را به‌سلامت انسان و محیط می‌رساند، ازاین‌رو افزایش آگاهی نسبت به شیمی سبز و فرآیندهای زیستی، استفاده از روش‌های سازگار با محیط‌زیست را برای تولید غیرسمی نانو مواد زیستی ضروری کرده است. امروزه در بسیاری از کشورهای توسعه‌یافته، فعالیت‌های پژوهشی به‌صورت هدفمند در بخش‌های فناوری نانو برای روش‌های شیمی سبز که روشی دوست‌دار طبیعت و بدون استفاده از مواد شیمیایی خطرناک است، در جریان است

.

فهرست منابع

References

1- Moritz, M. and Geszke-Moritz, M., 2013. The newest achievements in synthesis, immobilization and practical applications of antibacterial nanoparticles. Chemical Engineering Journal, 228, pp.596-613.

2- Sharma, V.K., Yngard, R.A. and Lin, Y., 2009. Silver nanoparticles: green synthesis and their antimicrobial activities. Advances in colloid and interface science, 145(1-2), pp.83-96.

3- Fahmy, A., El-Zomrawy, A., Saeed, A.M., Sayed, A.Z., El-Arab, M.A.E., Shehata, H.A. and Friedrich, J., 2017. One-step synthesis of silver nanoparticles embedded with polyethylene glycol as thin films. Journal of adhesion science and Technology, 31(13), pp.1422-1440.

4- Goyal, G., Hwang, J., Aviral, J., Seo, Y., Jo, Y., Son, J. and Choi, J., 2017. Green synthesis of silver nanoparticles using β-glucan, and their incorporation into

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2026-07-01]

[DOR: 20.1001.1.27170632.1397.11.2.4.2]

doxorubicin-loaded water-in-oil nanoemulsions for antitumor and antibacterial applications. Journal of industrial and engineering chemistry, 47, pp.179-186.

5- Shrivastava, S., Bera, T., Roy, A., Singh, G., Ramachandrarao, P. and Dash, D., 2007. Characterization of enhanced antibacterial effects of novel silver nanoparticles. Nanotechnology, 18(22), p.225103.

6- Li, X., Xie, J., Liao, L., Jiang, X. and Fu, H., 2017. UV-curable polyurethane acrylate–Ag/TiO2 nanocomposites with superior UV light antibacterial activity. International Journal of Polymeric Materials and Polymeric Biomaterials, 66(16), pp.835-843.

7- Sheikh, F.A., Barakat, N.A., Kanjwal, M.A., Chaudhari, A.A., Jung, I.H., Lee, J.H. and Kim, H.Y., 2009. Electrospun antimicrobial polyurethane nanofibers containing silver nanoparticles for biotechnological applications. Macromolecular Research, 17(9), pp.688-696..

8- Qu, R., Gao, J., Tang, B., Ma, Q., Qu, B. and Sun, C., 2014. Preparation and property of polyurethane/nanosilver complex fibers. Applied Surface Science, 294, pp.81-88.

9- Shi, H., Liu, H., Luan, S., Shi, D., Yan, S., Liu, C., Li, R.K. and Yin, J., 2016. Antibacterial and biocompatible properties of polyurethane nanofiber composites with integrated antifouling and bactericidal components. Composites Science and Technology, 127, pp.28-35.

10- Maryan, A.S., Montazer, M. and Harifi, T., 2015. Synthesis of nano silver on cellulosic denim fabric producing yellow colored garment with antibacterial properties. Carbohydrate polymers, 115, pp.568-574.

11- Abbasi, E., Milani, M., Fekri Aval, S., Kouhi, M., Akbarzadeh, A., Tayefi Nasrabadi, H., Nikasa, P., Joo, S.W., Hanifehpour, Y., Nejati-Koshki, K. and Samiei, M., 2016. Silver nanoparticles: synthesis methods, bio-applications and properties. Critical reviews in microbiology, 42(2), pp.173-180..

12- Liu, T.M., Wu, X.Z. and Qiu, Y.R., 2016. Enhanced biocompatibility and antibacterial property of polyurethane materials modified with citric acid and chitosan. Journal of Biomaterials science, Polymer edition, 27(12), pp.1211-1231.

13- Song, K.C., Lee, S.M., Park, T.S. and Lee, B.S., 2009. Preparation of colloidal silver nanoparticles by chemical reduction method. Korean Journal of Chemical Engineering, 26(1), pp.153-155.

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2026-07-01]

[DOR: 20.1001.1.27170632.1397.11.2.4.2]

14 -Montazer, M., Shamei, A. and Alimohammadi, F., 2012. Synthesizing and stabilizing silver nanoparticles on polyamide fabric using silver-ammonia/PVP/UVC. Progress in Organic Coatings, 75(4), pp.379-385.

15- Yu, W. and Xie, H., 2012. A review on nanofluids: preparation, stability mechanisms, and applications. Journal of nanomaterials, 2012, p.1.

16- Le, A.T., Tam, P.D., Huy, P.T., Huy, T.Q., Van Hieu, N., Kudrinskiy, A.A. and Krutyakov, Y.A., 2010. Synthesis of oleic acid-stabilized silver nanoparticles and analysis of their antibacterial activity. Materials Science and Engineering: C, 30(6), pp.910-916.

17- Zapata-Giraldo, J., Mena, P., Galeano, B., Escobar, N., Mejía, M., Ortiz, I.C., Cuesta, D., Botero, L.E. and Hoyos-Palacio, L.M., 2017. Characterization of silver nanoparticles for potential use as antimicrobial agent. In VII Latin American Congress on Biomedical Engineering CLAIB 2016, Bucaramanga, Santander, Colombia, October 26th-28th, 2016 (pp. 245-247). Springer, Singapore.

18- Montazer, M., Alimohammadi, F., Shamei, A. and Rahimi, M.K., 2012. In situ synthesis of nano silver on cotton using Tollens' reagent. Carbohydrate Polymers, 87(2), pp.1706-1712.

19- Ayati, A., Ahmadpour, A., Bamoharram, F.F., Heravi, M.M., Rashidi, H. and Tanhaei, B., 2011. Application of a new photocatalyst in the preparation of silver nanoparticles and investigating their photocatalytic activity. Journal of Nanostructure in Chemistry, 2.

20- Hosseinkhani, M., Montazer, M., Eskandarnejad, S. and Rahimi, M.K., 2012. Simultaneous in situ synthesis of nano silver and wool fiber fineness enhancement using sulphur based reducing agents. Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects, 415, pp.431-438.

21- Sanghi, R. and Verma, P., 2009. Biomimetic synthesis and characterisation of protein capped silver nanoparticles. *Bioresource technology*, *100*(1), pp.501-504.

22- Pacioni, N.L., Borsarelli, C.D., Rey, V. and Veglia, A.V., 2015. Synthetic routes for the preparation of silver nanoparticles. In Silver nanoparticle applications (pp. 13-46). Springer, Cham.

23- Li, L., Sun, J., Li, X., Zhang, Y., Wang, Z., Wang, C., Dai, J. and Wang, Q., 2012. Controllable synthesis of monodispersed silver nanoparticles as standards for quantitative assessment of their cytotoxicity. Biomaterials, 33(6), pp.1714-1721.

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2026-07-01]

[DOR: 20.1001.1.27170632.1397.11.2.4.2]

24- Wang, H., Qiao, X., Chen, J. and Ding, S., 2005. Preparation of silver nanoparticles by chemical reduction method. Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects, 256(2-3), pp.111-115.

25- Samadi, N., Hosseini, S.V., Fazeli, A. and Fazeli, M.R., 2010. Synthesis and antimicrobial effects of silver nanoparticles produced by chemical reduction method. DARU Journal of Pharmaceutical Sciences, 18(3), p.168.

26- Shameli, K., Bin Ahmad, M., Jazayeri, S.D., Sedaghat, S., Shabanzadeh, P., Jahangirian, H., Mahdavi, M. and Abdollahi, Y., 2012. Synthesis and characterization of polyethylene glycol mediated silver nanoparticles by the green method. International journal of molecular sciences, 13(6), pp.6639-6650.

27- Jia, Z., Sun, H. and Gu, Q., 2013. Preparation of Ag nanoparticles with triethanolamine as reducing agent and their antibacterial property. *Colloids and Surfaces A:* Physicochemical and Engineering Aspects, 419, pp.174-179.

28- Bin Ahmad, M., Lim, J.J., Shameli, K., Ibrahim, N.A. and Tay, M.Y., 2011. Synthesis of silver nanoparticles in chitosan, gelatin and chitosan/gelatin bionanocomposites by a chemical reducing agent and their characterization. Molecules, 16(9), pp.7237-7248.

29- Zhou, G. and Wang, W., 2012. Synthesis of silver nanoparticles and their antiproliferation against human lung cancer cells in vitro. Oriental journal of chemistry, 28(2), p.651.

30- Luo, C., Liu, W., Luo, B., Tian, J., Wen, W., Liu, M. and Zhou, C., 2017. Antibacterial activity and cytocompatibility of chitooligosaccharide-modified polyurethane membrane via polydopamine adhesive layer. Carbohydrate polymers, 156, pp.235-243.

31- Sun, Y., Yin, Y., Mayers, B.T., Herricks, T. and Xia, Y., 2002. Uniform silver nanowires synthesis by reducing AgNO3 with ethylene glycol in the presence of seeds and poly (vinyl pyrrolidone). Chemistry of Materials, 14(11), pp.4736-4745.

32- Sadjadi, M.A.S., Sadeghi, B., Meskinfam, M., Zare, K. and Azizian, J., 2008. Synthesis and characterization of Ag/PVA nanorods by chemical reduction method. *Physica E: Low-dimensional Systems and Nanostructures*, *40*(10), pp.3183-3186.

33- Amany, A., El-Rab, S.F.G. and Gad, F., 2012. Effect of reducing and protecting agents on size of silver nanoparticles and their anti-bacterial activity. Der Pharma Chemica, 4(1), pp.53-65.

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2026-07-01]

[DOR: 20.1001.1.27170632.1397.11.2.4.2]

34- Van Dong, P., Ha, C.H. and Kasbohm, J., 2012. Chemical synthesis and antibacterial activity of novel-shaped silver nanoparticles. International Nano Letters, 2(1), p.9.

35- Jia, C., Yang, P. and Zhang, A., 2014. Glycerol and ethylene glycol co-mediated synthesis of uniform multiple crystalline silver nanowires. Materials Chemistry and Physics, 143(2), pp.794-800.

36- Domenech, B., Ziegler, K., Vigués, N., Olszewski, W., Marini, C., Mas, J., Munoz, M., Muraviev, D.N. and Macanás, J., 2016. Polyurethane foams doped with stable silver nanoparticles as bactericidal and catalytic materials for the effective treatment of water. New Journal of Chemistry, 40(4), pp.3716-3725.

37- Wu, C.I., Huang, J.W., Wen, Y.L., Wen, S.B., Shen, Y.H. and Yeh, M.Y., 2009. Preparation of antibacterial waterborne polyurethane/silver nanocomposite. Journal of the Chinese Chemical Society, 56(6), pp.1231-1235.

38- Mulfinger, L., Solomon, S.D., Bahadory, M., Jeyarajasingam, A.V., Rutkowsky, S.A. and Boritz, C., 2007. Synthesis and study of silver nanoparticles. Journal of chemical education, 84(2), p.322.

39- Kora, A.J. and Rastogi, L., 2013. Enhancement of antibacterial activity of capped silver nanoparticles in combination with antibiotics, on model gram-negative and gram-positive bacteria. Bioinorganic chemistry and applications, 2013.

40- Tan, Z., Abe, H., Naito, M. and Ohara, S., 2010. Oriented growth behavior of Ag nanoparticles using SDS as a shape director. Journal of colloid and interface science, 348(1), pp.289-292.

41- Evanoff, D.D. and Chumanov, G., 2004. Size-controlled synthesis of nanoparticles. 2. Measurement of extinction, scattering, and absorption cross sections. The Journal of Physical Chemistry B, 108(37), pp.13957-13962.

42- Filippo, E., Serra, A. and Manno, D., 2009. Poly (vinyl alcohol) capped silver nanoparticles as localized surface plasmon resonance-based hydrogen peroxide sensor. Sensors and actuators B: chemical, 138(2), pp.625-630.

43- Bhui, D.K., Bar, H., Sarkar, P., Sahoo, G.P., De, S.P. and Misra, A., 2009. Synthesis and UV–vis spectroscopic study of silver nanoparticles in aqueous SDS solution. Journal of Molecular Liquids, 145(1), pp.33-37.

44- Guzman, M., Dille, J. and Godet, S., 2012. Synthesis and antibacterial activity of silver nanoparticles against gram-positive and gram-negative bacteria. Nanomedicine: Nanotechnology, Biology and Medicine, 8(1), pp.37-45.

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2026-07-01]

[DOR: 20.1001.1.27170632.1397.11.2.4.2]

45- Do Kim, K., Han, D.N. and Kim, H.T., 2004. Optimization of experimental conditions based on the Taguchi robust design for the formation of nano-sized silver particles by chemical reduction method. Chemical Engineering Journal, 104(1-3), pp.55-61.

46- Szczepanowicz, K., Stefanska, J., Socha, R.P. and Warszynski, P., 2010. Preparation of silver nanoparticles via chemical reduction and their antimicrobial activity. Physicochem Probl Miner Process, 45, pp.85-98.

47- Leopold, N. and Lendl, B., 2003. A new method for fast preparation of highly surface-enhanced Raman scattering (SERS) active silver colloids at room temperature by reduction of silver nitrate with hydroxylamine hydrochloride. The Journal of Physical Chemistry B, 107(24), pp.5723-5727.

48- Polte, J., Tuaev, X., Wuithschick, M., Fischer, A., Thuenemann, A.F., Rademann, K., Kraehnert, R. and Emmerling, F., 2012. Formation mechanism of colloidal silver nanoparticles: analogies and differences to the growth of gold nanoparticles. Acs Nano, 6(7), pp.5791-5802.

49- Yin, B., Ma, H., Wang, S. and Chen, S., 2003. Electrochemical synthesis of silver nanoparticles under protection of poly (N-vinylpyrrolidone). The Journal of Physical Chemistry B, 107(34), pp.8898-8904.

50- Xu, L., Zhou, W.L., Frommen, C., Baughman, R.H., Zakhidov, A.A., Malkinski, L., Wang, J.Q. and Wiley, J.B., 2000. Electrodeposited nickel and gold nanoscale metal meshes with potentially interesting photonic properties. Chemical Communications, (12), pp.997-998.

51- Bartlett, P.N., Birkin, P.R. and Ghanem, M.A., 2000. Electrochemical deposition of macroporous platinum, palladium and cobalt films using polystyrene latex sphere templates. Chemical Communications, (17), pp.1671-1672.

52- Petica, A., Gavriliu, S., Lungu, M., Buruntea, N. and Panzaru, C., 2008. Colloidal silver solutions with antimicrobial properties. Materials Science and Engineering: B, 152(1-3), pp.22-27.

53- Cozzoli, P.D., Comparelli, R., Fanizza, E., Curri, M.L., Agostiano, A. and Laub, D., 2004. Photocatalytic synthesis of silver nanoparticles stabilized by TiO2 nanorods: A semiconductor/metal nanocomposite in homogeneous nonpolar solution. Journal of the American Chemical Society, 126(12), pp.3868-3879.

54- Chang, C.C., Lin, C.K., Chan, C.C., Hsu, C.S. and Chen, C.Y., 2006. Photocatalytic properties of nanocrystalline TiO2 thin film with Ag additions. Thin Solid Films, 494(1-2), pp.274-278.

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2026-07-01]

[DOR: 20.1001.1.27170632.1397.11.2.4.2]

55- Darroudi, M., Zak, A.K., Muhamad, M.R., Huang, N.M. and Hakimi, M., 2012. Green synthesis of colloidal silver nanoparticles by sonochemical method. Materials Letters, 66(1), pp.117-120.

56- Xu, H., Zeiger, B.W. and Suslick, K.S., 2013. Sonochemical synthesis of nanomaterials. *Chemical Society Reviews*, *42*(7), pp.2555-2567.

57- Li, B., Xie, Y., Huang, J. and Qian, Y., 1999. Sonochemical synthesis of silver, copper and lead selenides. Ultrasonics Sonochemistry, 6(4), pp.217-220.

58- Bamoharram, F.F., Ahmadpour, A., Heravi, M.M., Ayati, A., Rashidi, H. and Tanhaei, B., 2012. Recent advances in application of polyoxometalates for the synthesis of nanoparticles. Synthesis and Reactivity in Inorganic, Metal-Organic, and Nano-Metal Chemistry, 42(2), pp.209-230.

59- Ayati, A., Ahmadpour, A., Bamoharram, F.F., Heravi, M.M., Rashidi, H. and Tanhaei, B., 2011. A new photocatalyst for preparation of silver nanoparticles and their photcatalysis of the decolorization of methyl orange. J Nanostruct Chem, 2(1), pp.15-22.

60- Ahmadpour, A., Tanhaei, B., F Bamoharram, F., Ayati, A. and Sillanpaa, M., 2012. Green, rapid and facile HPMo-assisted synthesis of silver nanoparticles. Current Nanoscience, 8(6), pp.880-884.

61- Troupis, A., Hiskia, A. and Papaconstantinou, E., 2002. Synthesis of metal nanoparticles by using polyoxometalates as photocatalysts and stabilizers. Angewandte Chemie International Edition, 41(11), pp.1911-1914.

62- Thakkar, K.N., Mhatre, S.S. and Parikh, R.Y., 2010. Biological synthesis of metallic nanoparticles. Nanomedicine: nanotechnology, biology and medicine, 6(2), pp.257-262.

63- Song, J.Y. and Kim, B.S., 2009. Rapid biological synthesis of silver nanoparticles using plant leaf extracts. Bioprocess and biosystems engineering, 32(1), p.79.

64- Mady, A.H., Baynosa, M.L., Tuma, D. and Shim, J.J., 2017. Facile microwave-assisted green synthesis of Ag-ZnFe2O4@ rGO nanocomposites for efficient removal of organic dyes under UV-and visible-light irradiation. Applied Catalysis B: Environmental, 203, pp.416-427.

65- Kora, A.J., Beedu, S.R. and Jayaraman, A., 2012. Size-controlled green synthesis of silver nanoparticles mediated by gum ghatti (Anogeissus latifolia) and its biological activity. Organic and medicinal chemistry letters, 2(1), p.17.

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2026-07-01]

[DOR: 20.1001.1.27170632.1397.11.2.4.2]

66- Prabhu, S. and Poulose, E.K., 2012. Silver nanoparticles: mechanism of antimicrobial action, synthesis, medical applications, and toxicity effects. International nano letters, 2(1), p.32.

67- Rao, K.K., Reddy, P.R., Lee, Y.I. and Kim, C., 2012. Synthesis and characterization of chitosan–PEG–Ag nanocomposites for antimicrobial application. Carbohydrate Polymers, 87(1), pp.920-925.

68- Sun, R.W.Y., Chen, R., Chung, N.P.Y., Ho, C.M., Lin, C.L.S. and Che, C.M., 2005. Silver nanoparticles fabricated in Hepes buffer exhibit cytoprotective activities toward HIV-1 infected cells. Chemical communications, (40), pp.5059-5061.

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2026-07-01]

[DOR: 20.1001.1.27170632.1397.11.2.4.2]

Silver Nanoparticles: A Survey on Chemical and Biological Synthesis Methods and their Antibacterial Behavior

Zeynab Farrokhi[1], Mojtaba Kanvisi[2] and Ali Ayati[2*]

1- MSc student, Faculty of Chemical Engineering, Quchan University of Technology, Quchan, Iran
2- Assistant Professor, Department of Chemical Engineering, Faculty of Chemical Engineering, Quchan University of Technology, Quchan, Iran

mkanvisi@gmail.com

Abstract

Silver nanoparticles, due to its special chemical and physical properties, as well as its disinfection properties, are widely used in medical, pharmaceutical, bacterial, electronic, optical and other uses. Therefore, the synthesis of these nanoparticles is very important. This paper discusses past developments in the synthesis, applications and antibacterial effects of silver nanoparticles. Due to the high cost of chemical synthesis of silver nanoparticles and also the creation of serious considerations for human health and the environment, the study of the biosynthesis of these nanoparticles is of great importance. Research has shown that the green method of nanoparticle synthesis due to the presence of reducing and stabilizing agents in plant extracts and in comparison with these factors in chemical methods, is significantly less toxic.

Keywords: Ag nanoparticle, Synthesis, Chemical method, Green method, Antibacterial effect.

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2026-07-01]

[DOR: 20.1001.1.27170632.1397.11.2.4.2]