مجله ایمنی زیستی

دوره ۱۶، شماره ۲، تابستان ۱۴۰۲

ISSN 2716-9804 الکترونیکی، ISSN 2717-0632 چاپی

نانوذرات طلا و نقره: سنتز سبز، مشخصه‌یابی و کاربردها در بیوتکنولوژی

نوع مقاله: مروری

امیرحسین قاسمعلی‌پور[۱]، فروغ قاسمی[۲*]

۱-دانشجوی بیوتکنولوژی، دانشکده علوم زیستی، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران

۲- استادیار، بخش نانوتکنولوژی، پژوهشگاه بیوتکنولوژی کشاورزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران

forough.ghasemi@abrii.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۵/۰۶، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۰/۱۳

صفحه ۶۲-۳۱

چکیده

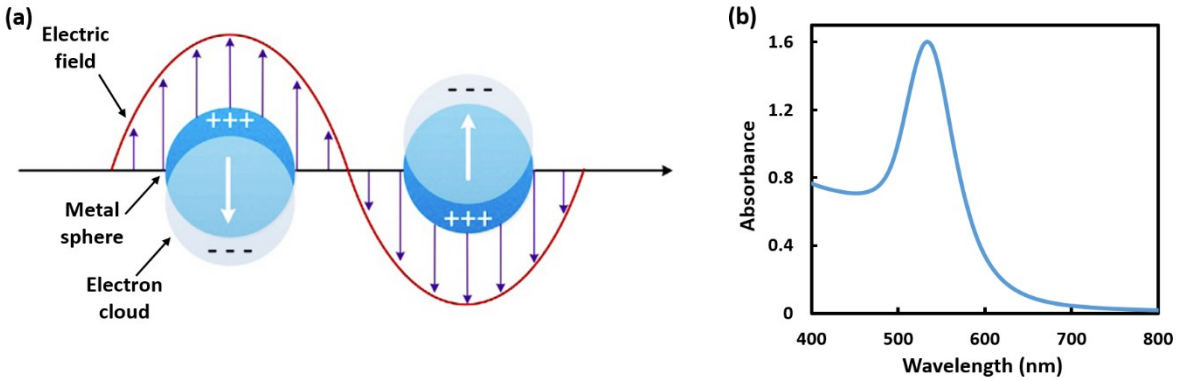
نانوذرات طلا و نقره به علت خواص منحصربه فرد خود، در صنایع مختلفی کاربرد دارند. روش‌های مختلف فیزیکی، شیمیایی و سبز برای سنتز این نانوذرات وجود دارد. در سنتز سبز، از ترکیبات زیست سازگار، گیاهان یا عصاره آن‌ها، میکروارگانیسم‌ها مانند مخمر، باکتری، *اکتینوباکتر*، قارچ و جلبک برای سنتز نانوذرات استفاده می‌شود. این منابع زیستی دارای زیست‌مولکول‌هایی هستند که با احیاکردن یون‌های طلا و نقره، نانوذرات پلاسمونی طلا و نقره را به وجود می‌آورند. سنتز نانوذرات به روش سبز آسان، امن، پربازده، از نظر اقتصادی به‌صرفه و سازگار با محیط زیست است. پس از سنتز نانوذرات، برای اینکه خواص فیزیکی و شیمیایی آن‌ها (اندازه، شکل، سطح، همگنی و پایداری) مشخص شود باید مشخصه‌یابی شوند. روش‌های متنوعی برای مشخصه‌یابی وجود دارد که می‌توان به میکروسکوپی الکترونی عبوری، اسپکتروسکوپی مرئی-فرابنفش، طیف سنجی فروسرخ تبدیل فوریه، پراکندگی دینامیکی نور و پتانسیل زتا اشاره کرد. نانوذرات طلا و نقره دارای استفاده‌های مختلفی از جمله فعالیت‌های ضدمیکروبی و ضدتوموری، استفاده در صنایع نساجی، غذا و کشاورزی، تصفیه فاضلاب و زیست پالایی هستند. هدف این مقاله مروری معرفی نانوذرات طلا و نقره، روش‌های مختلف سنتز آن‌ها با تاکید بر روش سنتز سبز، شرح روش‌های مختلف مشخصه‌یابی نانوذرات پلاسمونی و بیان کاربردهای این نانوذرات در زیست‌فناوری است.

واژه‌های کلیدی: زیست‌فناوری، سنتز سبز، مشخصه‌یابی، نانوذرات طلا و نقره.

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2024-11-21]

مقدمه

نانوذرات پلاسمونی که به‌طور معمول شامل نانوذرات مس، طلا و نقره هستند، با قابلیت تشدید پلاسمون سطحی مستقر خود (LSPR: localized surface plasmon resonance) شناخته می‌شوند. در واقع LSPR از طریق برهمکنش قوی بین نور تابیده شده و الکترون‌های آزاد موجود در لایه ظرفیتی نانوذرات که باعث نوسان جمعی الکترون‌های آزاد در رزونانس با میدان الکترومغناطیسی فرود آمده می‌شود، به وجود می‌آید (شکل ۱). نانوذرات پلاسمونی ویژگی‌های خیره‌کننده‌ای همچون رنگی بودن در ناحیه مرئی، نسبت سطح به حجم بالا، پایداری خوب، رسانایی عالی و فعالیت کاتالیزی خوب دارند. این ویژگی‌ها آن‌ها را برای استفاده در کاربردهای مختلف مناسب می‌کند (Saha et al. 2012).



شکل ۱- (a) رزونانس پلاسمون سطحی و (b) طیف جذبی نانوذرات کروی (Sepahvand et al. 2021)

نانوذرات پلاسمونی طلا و نقره جزء پراستفاده‌ترین نانوذرات هستند که به‌صورت گسترده‌ای در سلول‌های خورشیدی (Atwater and Polman, 2011)، نانوداروها (Jain et al. 2007)، حسگرهای زیستی (Anthony and Turner, 2013)، طیف‌سنجی (Saha et al. 2012)، کاتالیز، درمان سرطان، صنایع غذایی، محیط زیست، کاربردهای ضد میکروبی، سمیت سلولی، کشاورزی، زیست فناوری و انتقال دارو کاربرد دارند (Majdalawieh et al. 2014; Gellé and Moores, 2019). در سال ۲۰۱۵ پاترا و همکاران یک مقاله مروری در مورد سنتز نانوذرات طلا و نقره و پتانسیل آن‌ها برای کاربرد در درمان سرطان منتشر کردند (Patra et al. 2015). در سال ۲۰۱۹ نوآ در فصلی از یک کتاب سنتز و کاربردهای نانوذرات طلا و نقره را مرور کرده است (Noah. 2019). در سال ۲۰۲۰ نیز کاستیلو هنریکوئز و همکاران یک مقاله مروری در مورد سنتز سبز نانوذرات طلا و نقره با استفاده از عصاره گیاهان و کاربردهای احتمالی آن‌ها به‌عنوان عامل

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2024-11-21]

ضدمیکروبی نوشته‌اند (Castillo-Henríquez et al. 2020). به‌رغم انتشار مقالات مروری ذکر شده، هیچ نویسنده‌ای در یک مقاله فارسی، به‌صورت جامع سنتز سبز، مشخصه‌یابی و کاربردهای نانوذرات طلا و نقره را بررسی نکرده است. به علت اینکه در سال‌های اخیر نانوذرات طلا و نقره سبز بسیار مورد توجه قرار گرفته‌اند، چاپ مقاله مروری که در آن همه این موارد، از سنتز سبز تا کاربرد نانوذرات طلا و نقره بررسی شده باشد، از اهمیت بالایی برخوردار است. در مقاله مروری حاضر، سنتز سبز و مشخصه‌یابی نانوذرات طلا و نقره و همچنین کاربردهای آن‌ها به ویژه در زیست‌فناوری ارائه خواهد شد.

نانوذرات طلا و نقره به‌رغم ویژگی‌های منحصر به‌فرد تنها زمانی برای استفاده منطقی هستند که یک روش آسان، امن و به‌صرفه از نظر اقتصادی و زیست‌محیطی برای سنتز آن‌ها وجود داشته باشد. در این مقاله مروری ابتدا روش‌های مختلف فیزیکی (بالا به پایین) و شیمیایی (پایین به بالا) بررسی شده و مزایا و معایب آن‌ها بیان می‌شود. سپس، سنتز سبز نانوذرات طلا و نقره با استفاده از میکروارگانیسم‌ها، گیاهان و ترکیبات زیست سازگار مختلف بحث می‌شود. واضح است که خواص مختلف نانوذرات پلاسمونی سنتز شده وابسته به اندازه، مورفولوژی و ویژگی‌های سطح آن‌ها است (Ghasemi et al. 2022). بنابراین نیاز است که خواص فیزیکی و شیمیایی این نانومواد، پیش از استفاده در کاربرد موردنظر، با استفاده از روش‌های مناسب مشخصه‌یابی شوند. بعد از بررسی روش‌های سنتز سبز، روش‌های مختلف مشخصه‌یابی نانوذرات طلا و نقره از جمله میکروسکوپی الکترونی عبوری (EM: transmission electron microscopy)، اسپکتروسکوپی مرئی-فرابنفش (UV-Vis)، طیف‌سنجی فروسرخ تبدیل فوریه (FTIR: fourier transform infrared)، پراکندگی دینامیکی نور (DLS: dynamic light scattering)، پتانسیل زتا (ZP: zeta potential) و روش‌های دیگر توضیح داده می‌شوند. خواص منحصربه فرد نانوذرات طلا و نقره باعث شده است که کاربردهای آن‌ها در زمینه‌های مختلف روز به روز افزایش یابد. در بخش نهایی مقاله کاربردهای نانوذرات طلا و نقره در زمینه‌های مختلف به‌ویژه در زیست‌فناوری مانند خواص ضدمیکروبی، ضدتومور، تصفیه فاضلاب، کودها و آفت‌کش‌های زیستی به تفصیل بیان می‌شوند.

سنتز نانوذرات طلا و نقره

روش‌های فیزیکی (بالا به پایین): در روش بالا به پایین با استفاده از تکنیک‌های متعددی مانند تبخیر-میعان، کند و سوز لیزری، لیتوگرافی، آسیاب گلوله‌ای، تخلیه جرقه، آذرکافت افشانه‌ای، و تخلیه الکتریکی سیم، توده‌هایی از مواد دچار

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2024-11-21]

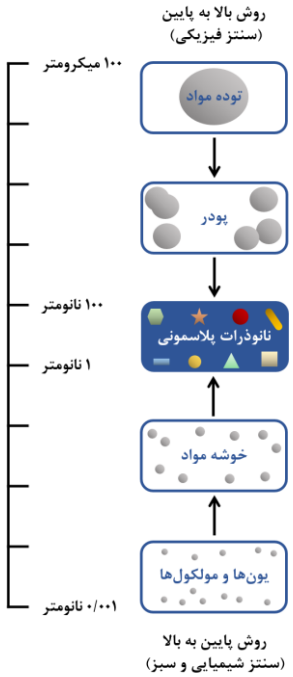
گسیختگی شده و ذراتی کوچکتر در مقیاس نانو به‌وجود می‌آید (شکل۲) (Salem and Fouda, 2021). به علت تبدیل ذرات با ابعاد بزرگ به ذرات با ابعاد کوچکتر (نانو) به این روش‌ها بالا به پایین گفته می‌شود. نبود آلودگی حلالی در لایه‌های نازک تولید شده و یکنواختی توزیع نانوذرات از مزایای روش‌های فیزیکی است (Iravani et al. 2014). روش‌های فیزیکی با اینکه مطالعات زیادی در مورد آن‌ها انجام شده و پیشرفت‌های زیادی داشته‌اند دارای معایبی نیز هستند. نیاز به ابزارهای گران قیمت و پیچیده، مصرف بالای انرژی، سختی فرآیند تولید انبوه و تولید نانوذرات با سطح ناقص از جمله این معایب است (Nasaruddin et al. 2021; Qiao and Qi, 2021).

روش‌های شیمیایی (پایین به بالا): معمول‌ترین روش برای سنتز نانوذرات، احیای شیمیایی توسط عوامل احیایی آلی و معدنی است. در روش‌های شیمیایی اتم‌ها به یک هسته متصل می‌شوند، رشد کرده و نانوذرات را به وجود می‌آورند. به علت تبدیل مواد با ابعاد کوچک به ذرات با ابعاد بزرگتر (نانو) به این روش‌ها پایین به بالا گفته می‌شود. روش‌های زیستی نیز مانند روش‌های شیمیایی به‌عنوان روش‌های پایین به بالا شناخته می‌شوند (شکل ۲) (Salem and Fouda, 2021). روش شیمیایی شامل احیای فتوشیمیایی، شیمیایی و الکتروشیمیایی نمک‌های فلزی مانند Au(III) و Ag(I) است (Ghasemi et al. 2022). عوامل احیاکننده متفاوتی استفاده می‌شود تا یون طلا و نقره را به اتم‌های آن‌ها تبدیل کند (Iravani et al. 2014). مانند بقیه نانوذرات، نانوذرات طلا و نقره نیز در روش شیمیایی نیاز به حلال، عوامل احیاکننده و واکنشگرهای تثبیت‌کننده دارد. در واقع تثبیت‌کننده‌ها با جلوگیری از رشد بیش از حد نانوذرات در جهات مختلف باعث تعیین اندازه و شکل نانوذره می‌شود. در کل حلال، عوامل احیاکننده و واکنشگرهای پایدارکننده ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی نانوذرات طلا و نقره را تعیین می‌کنند که به تبع آن کاربرد نانوذره مشخص می‌شود. وجود عامل سطح فعال که شامل گروه عاملی است نیز باعث پایدارسازی رشد شده و از تجمع، ته‌نشینی و از دست دادن خصوصیات مربوط به سطح نانوذرات جلوگیری می‌کند (Iravani et al. 2014). در این روش تکنیک‌های مختلف میکروامولسیون، فتوشیمیایی، آذرکافت، الکتروشیمیایی، میکروموج، هم‌رسوبی، گرمابی و احیای شیمیایی مورد استفاده قرار می‌گیرند (Salem and Fouda, 2021). یکی از معایب اصلی روش‌های شیمیایی احتمال نشت حلال‌ها، عوامل احیاکننده و پایدارکننده‌های سمی به طبیعت است که می‌تواند سلامت انسان و سایر موجودات زنده را به خطر اندازد. همچنین، این مواد شیمیایی

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2024-11-21]

خطرناک روی سطح نانوذرات جذب شده و کاربردهای آن‌ها را محدود می‌کنند (Nasaruddin et al. 2021; Qiao and Qi, 2021).

همانطوری‌که اشاره شد روش‌های فیزیکی و شیمیایی دارای معایب بسیاری هستند و از نظر اقتصادی و زیست‌محیطی مناسب نیستند. همچنین دارای فرآیندهای سنتز بسیار پیچیده و سخت‌اند. نانوذرات طلا و نقره به‌واسطه کاربردهای بسیاری که دارند، نیاز است در مقیاس بسیار بالا و به‌طور گسترده تولید شوند. بنابراین باید روشی وجود داشته باشد که آسان بوده و به شرایط آزمایشگاهی به شدت کنترل شده نیاز نداشته باشد و تا حد امکان به صرفه و فاقد مضرات اقتصادی و زیستی باشد. سنتز سبز نانوذرات طلا و نقره می‌تواند پاسخی بر این نیازها باشد که در بخش بعدی بررسی خواهند شد.



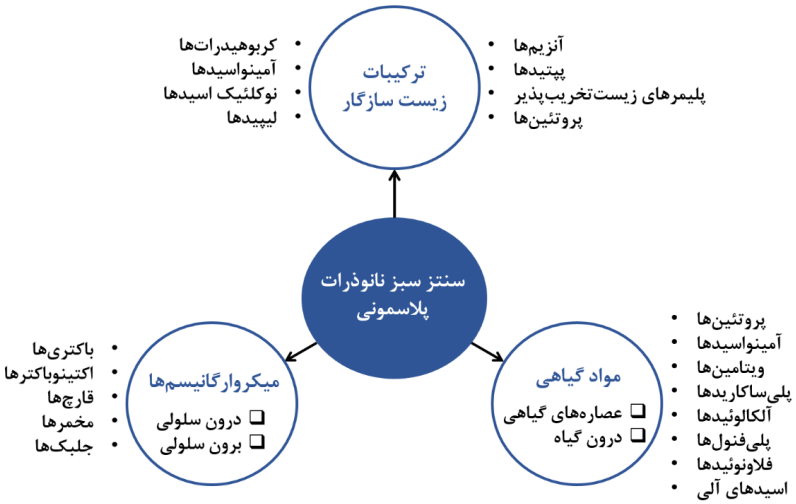
شکل ۲- روش‌های پایین به بالا و بالا به پایین برای تولید نانوذرات (Salem and Fouda, 2021)

سنتز سبز نانوذرات طلا و نقره

در سنتز سبز، از ترکیبات زیست سازگار، گیاهان یا عصاره آن‌ها، میکروارگانیسم‌هایی مانند مخمر، باکتری، اکتینوباکتر، قارچ و جلبک برای سنتز نانوذرات طلا و نقره استفاده می‌شود. این منابع زیستی دارای زیست‌مولکول‌هایی هستند که با احیا کردن یون‌های طلا و نقره، نانوذرات پلاسمونی طلا و نقره را در یک محیط آبی به‌وجود می‌آورند. سنتز سبز بسیاری از معایب مخرب دیگر روش‌ها را ندارد. در این روش نانوذرات در فشار، دما و pH ملایم با هزینه بسیار کمتر تولید می‌شوند (Salem and Fouda, 2021). این روش جزء

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2024-11-21]

روش‌های پایین به بالا است که در آن زیست‌مولکول‌هایی مانند آنزیم‌ها، پروتئین‌ها، قندها و کربوهیدرات‌ها با فرآیند اکسید/احیا نانوذرات طلا و نقره را به‌وجود می‌آورند. همچنین این منابع زیستی با داشتن پایدارکننده‌هایی در محیط واکنش نانوذرات تولید شده را پوشانده و باعث پایداری نانوذرات می‌شوند. هرکدام از این منابع زیستی عامل احیاکننده و پایدارکننده متفاوتی تولید می‌کند که با یون‌های طلا و نقره واکنش داده و نانوذرات طلا و نقره را در شکل‌ها، اندازه‌ها و با خواص فیزیکوشیمیایی مختلفی تولید می‌کنند (Ghasemi et al. 2022). به‌رغم مزایای سنتز نانوذرات با استفاده از میکروارگانیسم‌ها زنده، این روش هنوز به‌طور کامل پیشرفت نکرده، زیرا میکروارگانیسم‌ها به‌وسیله مسیرهای متفاوتی با یون‌های فلزی دارای ارتباط متقابل هستند (Salem and Fouda, 2021). در شکل ۳ انواع مختلف میکروارگانیسم‌ها، مواد گیاهی و ترکیبات زیست‌سازگار که برای سنتز نانوذرات طلا و نقره استفاده می‌شود، نشان داده شده است.



شکل ۳- انواع مختلف میکروارگانیسم‌ها، مواد گیاهی و ترکیبات زیست‌سازگار که برای سنتز نانوذرات طلا و نقره استفاده شده‌اند.

میکروارگانیسم‌ها: میکروارگانیسم‌ها ابزاری سازگار با محیط زیست و به‌صرفه بشمار می‌آیند که بدون نیاز به مواد سمی و انرژی زیاد نانوذرات طلا و نقره را تولید می‌کنند (Singh et al. 2016). نانوذرات طلا و نقره توسط میکروارگانیسم‌ها متفاوتی مانند باکتری‌ها، قارچ‌ها، اکتینوباکترها، مخمرها، ویروس‌ها و جلبک‌ها تولید می‌شوند (جدول ۱).

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2024-11-21]

جدول ۱- فهرست نانوذرات طلا و نقره‌ای که با اندازه‌های مختلف به‌وسیله باکتری‌ها، اکتینوباکترها، قارچ‌ها، مخمرها، جلبک‌ها، ویروس‌ها و گیاهان تولید شده‌اند.

نانوذره	باکتری	اندازه (نانومتر)	منبع
نقره	*Pseudomonas* sp.	20-70	(John et al. 2020)
	Ochrobactrum anhtropi	35-85	(Thomas et al. 2014)
	Bacillus spp.	77-92	(Elbeshehy et al. 2015)
	Bacillus brevis NCIM 2533	41-68	(Saravanan et al. 2018)
	Bacillus mojavensis BTCB15	105	(Mathew et al. 2019)
	Bacillus endophyticus	5	(Gan et al. 2018)
	Bacillus brevis	41-68	(Saravanan et al. 2018)
	Bacillus licheniformis Dahb1	18-63	(Shanthi et al. 2016)
	Bacillus methylotrophicus DC3	10-30	(Wang et al. 2016)
نقره–طلا	*Stenotrophomonas* GSG2	Au (10-50), Ag (40-60)	(Malhotra et al. 2013)
طلا	*Bacillus subtilis*	20-25	(Srinath et al. 2018)
	Shewanella loihica	2-15	(Ahmed et al. 2018)
	Micrococcus yunnanensis	53	(Jafari et al. 2018)
	Mycobacterium sp.	5-55	(Camas et al. 2018)
	Halomonas salina	30-100	(Shah et al. 2012)
	Shewanella oneidensis MR-1	3-15	(Tuo et al. 2015)
نانوذره	**اکتینوباکتر**	**اندازه (نانومتر)**	**منبع**
نقره	*Streptomyces* spp.	11-63	(Fouda et al. 2020)
	Nocardiopsis sp. MBRC-1	45	(Manivasagan et al. 2013)
	Streptomyces sp.	15-25	(Alani et al. 2012)
	Saccaropolyspora hirsuta	10-30	(Sholkamy et al. 2019)
	Streptomyces parvulus	100	(de Amorim Silva et al. 2017)
	Nocardiopsis flavascens	5-50	(Ranjani et al. 2018)
	Streptomyces fradiae	100-200	(Sowani et al. 2016)
	Streptomyces griseoplanus	19-20	(Vijayabharathi et al. 2018)
	Streptomyces sp. Al-Dhabi-87	20-50	(Al-Dhabi et al. 2018)
طلا–نقره	*Streptomyces* sp.	Au (10); Ag (8.4)	(Składanowski et al. 2017)
	Gordonia amicalis HS-11	5-25	(Sowani et al. 2016)
طلا	*Streptomycetes viridogens* HM10	18-20	(Balagurunathan et al. 2011)
	Streptomyces sp.	90	(Gopal et al. 2013)
	Streptomyces griseoruber	5-50	(Ranjitha and Rai 2017)
	Streptomyces hygroscopicus	10-20	(Waghmare et al. 2014)
نانوذره	**قارچ**	**اندازه (نانومتر)**	**منبع**
نقره	*Rhizopus stolonifer*	2.86	(AbdelRahim et al. 2017)
	Candida glabrata	2.15	(Jalal et al. 2018)
	Trichoderma longibrachiatum	10	(Elamawi et al. 2018)
	Ganoderma sessiliforme	45	(Mohanta et al. 2018)
	Rhodotorula glutinis	15.45	(Popli et al. 2018)
	Aspergillus sp.	5–30	(Mohmed et al. 2017)
	Fusarium oxysporum	5–13	(Husseiny et al. 2015)
	Metarhizium anisopliae	28–38	(Amerasan et al. 2016)
	Trichoderma harzianum	20–30	(Guilger et al. 2017)
	Fusarium oxysporum	34–44	(Hamedi et al. 2017)
	Candida albicans ATCC 10231	10–20	(Bonilla et al. 2017)
طلا	*Cladosporium cladosporioides*	60	(Joshi et al. 2017)
	Trichoderma harzianum	32–44	(Tripathi et al. 2018)
	Pleurotus ostreatus	10–30	(El Domany et al. 2018)
	Aspergillus sp.	2.5–6.7	(Shen et al. 2017)
	Rhizopus oryzae	16–43	(Kitching et al. 2016)

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2024-11-21]

نانوذره	مخمر	اندازه (نانومتر)	منبع
نقره	*Rhodotorula* sp. ATL72	8–21	(Soliman et al. 2018)
	Saccharomyces cerevisiae	2–7	(Iravani et al. 2014)
	Saccharomyces cerevisiae	2–20	(Korbekandi et al. 2016)
	Rhodotorula mucilaginosa	11	(Salvadori 2019)
	Rhodotorula glutinis	15.5	(Cunha et al. 2018)
طلا	*Saccharomyces cerevisiae*	-	(Yang et al. 2017)
	Magnusiomyces ingens LHF1	20–28	(Qu et al. 2018)
نانوذره	**جلبک**	**اندازه (نانومتر)**	**منبع**
نقره	*Portieria hornemannii*	60–70	(Fatima et al. 2020)
	Ulva lactuca L.	31	(González-Ballesteros et al. 2019)
	Gelidium amansii	27–54	(Pugazhendhi et al. 2018)
	Caulerpa serrulata	10 ± 2	(Aboelfetoh et al. 2017)
	Gracilaria birdiae	20.3	(de Aragao et al. 2019)
	Sargassum muticum	43–79	(Madhiyazhagan et al. 2015)
	Anabaena flos-aquae	5–25	(Ebrahimzadeh et al. 2020)
	Polysiphonia algae	5–25	(Moshfegh et al. 2019)
طلا	*Gelidiella acerosa*	5.8–117.6	(Senthilkumar et al. 2019)
	Ulva lactuca L.	7.9	(González-Ballesteros et al. 2019)
	Cystoseira baccata	8.4	(González-Ballesteros et al. 2017)
	Pithophora oedogonia	32.06	(Li and Zhang 2016)
	Sargassum tenerrimum	5–45	(Ramakrishna et al. 2016)
	Spirulina platensis	20–30	(Suganya et al. 2015)
نانوذره	**ویروس**	**اندازه (نانومتر)**	**منبع**
طلا	*Bacteriophage*	20–50, 50–150	(Ahiwale et al. 2017)
	Tobacco mosaic virus	50	(Kurgan and Karbivskyy 2020)
	M13 virus	–	(Seo et al. 2017)
نانوذره	**گیاه**	**اندازه (نانومتر)**	**منبع**
نقره	*Annona reticulata*	7–8	(Parthiban et al. 2019)
	Camellia sinensis	2–4	(Rolim et al. 2019)
	Persea americana	20–40	(Girón-Vázquez et al. 2019)
	Elephantopus scaber	37.86	(Francis et al. 2018)
	Panax ginseng	5–15	(Sreekanth et al. 2018)
	Dolichos lablab	4–16	(Kahsay et al. 2018)
	Alternanthera bettzickiana	5–15	(Vaali-Mohammed et al. 2017)
	Thymus vulgaris	30	(Heidari et al. 2018)
	Tribulus terrestris	7	(Gopinath et al. 2019)
	Camellia sinensis	10	(Onitsuka et al. 2019)
	Anacardium occidentale	10–30	(Sunderam et al. 2019)
	Rhazya stricta Decne	40	(Ahmad et al. 2017)
	Elettaria cardamomum	15	(Rajan et al. 2017)

این جانداران دارای زیست‌مولکول‌های مختلفی مانند پروتئین‌ها، پلی‌ساکاریدها، آنزیم‌ها و سورفاکتانت‌های زیستی هستند که باعث احیا یون‌های طلا و نقره و پایدارسازی نانوذرات حاصل از آن‌ها می‌شوند. تعیین دقیق عوامل دخیل در فرآیند سنتز با این روش بسیار دشوار است. هرچند این موضوع مشخص است که احیا شدن یون‌ها عموماً توسط آنزیم‌ها انجام می‌شود. سنتز نانوذرات توسط میکروارگانیسم‌ها به شکل درون سلولی و برون سلولی انجام می‌شود. سازوکار درون سلولی دارای سه مرحله اصلی به دام‌اندازی، احیا کردن و پایدارسازی است. دیواره سلولی

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2024-11-21]

دارای بار منفی بوده و یون‌های فلزی بار مثبت دارند. بنابراین، ابتدا یون‌های طلا و نقره به علت برهمکنش‌های الکترواستاتیکی وارد دیواره سلولی میکروارگانیسم می‌شوند. سپس، آنزیم‌ها وارد عمل شده و با احیا کردن یون‌ها، آن‌ها را تبدیل به نانوذرات می‌کنند. در سازوکار برون سلولی، یون‌های طلا و نقره توسط آنزیم‌های سطح میکروارگانیسم مانند نیترات ردوکتاز، تبدیل به نانوذرات طلا و نقره می‌شوند (Rónavári et al. 2021). از بین این دو روش، روش برون سلولی ترجیح داده می‌شود، زیرا در این روش مراحلی که برای بازپس‌گیری نانوذرات از سلول‌ها در روش درون سلولی وجود داشت (مانند مراحل شکستن دیواره سلولی، شستن و خالص‌سازی) حذف می‌شوند (Singh et al. 2016).

باکتری‌ها به‌طور گسترده در سنتز نانوذرات استفاده می‌شوند. باکتری‌هایی که در سنتز نانوذرات طلا و نقره به‌عنوان کاتالیزور زیستی استفاده شده‌اند، همانند داربست زیستی در کانی‌سازی نانوذرات عمل می‌کنند و در کل نقش فعالی در ساخت نانوذرات دارند (Iravani et al. 2014). باکتری‌ها برای سنتز نانوذرات طلا و نقره ترجیح داده می‌شوند زیرا به محیط‌های دارای شرایط دشوار در آزمایشگاه نیاز ندارند، نانوذرات ساخته شده توسط آن‌ها به راحتی خالص‌سازی می‌شوند و دارای بازدهی زیادی هستند. آن‌ها به‌طور گسترده‌ای مورد مطالعه پژوهشگران قرار گرفته و در سال‌های اخیر به کارخانه‌ی نانومواد معروف شده‌اند. باکتری‌ها می‌توانند نانوذرات را در هنگام انکوبه شدن در محیط کشت به‌صورت درون یا برون سلولی تولید کنند. این موضوع باکتری‌ها را به یک مورد معقول، انعطاف‌پذیر و مناسب برای ساخت نانوذرات طلا و نقره در مقیاس انبوه تبدیل می‌کند (Salem and Fouda, 2021).

در سال ۲۰۲۰ جان و همکاران با استفاده از باکتری *Pseudomonas* sp. موفق به تولید نانوذرات نقره شدند (John et al. 2020). همچنین، سرینات و همکاران توانستند با استفاده از باکتری *Bacillus subtilis* نانوذرات طلا تولید کنند که خاصیت رنگ‌بری داشت (Srinath et al. 2018).

اکتینوباکترها گروهی از باکتری‌های تک‌سلولی گرم مثبت رشته‌ای هستند که شبکه‌ای شاخه‌دار از رشته‌ها تولید کرده و اسپور تولید می‌کنند. اکتینوباکترها به‌واسطه بازه زیادی از متابولیت‌های ثانویه که تولید می‌کنند، منابع خوبی برای سنتز زیستی نانوذرات طلا و نقره هستند. اکتینوباکترها می‌توانند این نانوذرات را به‌صورت درون یا برون سلولی تولید کنند. به‌طور معمول روش برون سلولی ترجیح داده می‌شود؛ به‌مخصوص زمانی که بس‌پاشیدگی نقش مهمی را بازی کند

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2024-11-21]

Manivasagan et al. 2016; Salem and Fouda,) 2021). نانوذراتی که به این روش ساخته می‌شوند دارای بس‌پاشیدگی و پایداری مناسب هستند و همچنین در مقابل عوامل بیماری‌زای مختلف خاصیت زیست‌کشی دارند (Golinska et al. 2014). از دیگر خصوصیات نانوذرات طلا و نقره که با این روش تهیه می‌شوند می‌توان به اندازه بسیار کوچک آن‌ها اشاره کرد (Manimaran and Kannabiran, 2017). تاکنون اکتینوباکترهای مختلفی توانسته‌اند نانوذرات طلا و نقره را تولید کنند (جدول ۱). سیلوا-وینهوت و همکاران با استفاده از گونه‌های مختلف *Streptomyces* موفق به تولید نانوذرات نقره با اندازه‌های متفاوت با خصوصیات ضدمیکروبی شدند (De Amorim Silva et al. 2017). در همان سال رانجیتا و همکاران، با استفاده از گونه‌ی دیگری از همان اکتینوباکتر توانستند نانوذرات طلا را تولید کنند (Ranjitha and Rai, 2017).

بسیاری از قارچ‌ها و مخمرها به علت داشتن آنزیم‌ها و پروتئین‌های مناسب، برای سنتز نانوذرات طلا و نقره استفاده می‌شوند. همچنین سطح زیاد قارچ‌ها باعث افزایش بهره‌وری سنتز نانوذرات طلا و نقره می‌شود. قارچ‌ها بواسطه مقاومت و قابلیت زیست انباشتگی فلزی بالایی خود، در ساخت نانومواد فلزی مورد توجه زیادی قرار گرفته‌اند (Sastry et al. 2003). استفاده از قارچ‌ها و مخمرها به منظور سنتز نانوذرات طلا و نقره از طریق فرآیندهای درون و برون سلولی دارای مزایای زیادی است. این آغازیان به راحتی رشد می‌کنند و در مقابل شرایط محیطی سخت مقاوم هستند. از نظر اقتصادی مناسبند و به راحتی می‌توان در مقیاس‌های تولید انبوه از آن‌ها استفاده کرد. همچنین، با داشتن میسلیوم باعث افزایش سطح می‌شوند که بازده تولید را می‌افزاید. به هر حال استفاده از این موجودات دارای چالش‌هایی همچون سخت بودن دستکاری ژنتیکی آن‌ها، ناتوانی در تولید نانوذرات با اندازه و شکل ویژه و نداشتن قابلیت تکرارپذیری است (Salem and Fouda, 2021; Ghasemi et al. 2022). عبدالرحیم و همکاران با استفاده از قارچ *Rhizopus stolonifer* (AbdelRahim et al. 2017) و فرناندز به همراه تیم خود به کمک مخمر *Rhodotorula glutinis* (Fernández et al. 2016) موفق به تولید نانوذرات نقره شدند. همچنین شن و همکاران با استفاده از قارچ *Aspergillus* sp. (Shen et al. 2017) و یانگ و همکاران با استفاده از مخمر *Saccharomyces cerevisiae* (Yang et al. 2017) توانستند نانوذرات طلا را تولید کنند.

جلبک‌ها میکروارگانیسم‌های دریایی‌اند که طبق گزارش‌ها، نه تنها فلزات سنگین را از محیط جذب می‌کنند، بلکه توانایی ساخت نانوذرات طلا و نقره را دارند (Salem and Fouda, 2021).

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2024-11-21]

سلول‌های جلبک‌ها و یا عصاره آن‌ها راهی سریع و ارزان برای ساخت نانوذرات پلاسمونی است. در این روش نانوذرات به‌وسیله ترکیبات زیست‌فعال مانند رنگدانه و آنتی‌اکسیدان‌ها که مانند احیاکننده‌های زیست‌سازگار عمل می‌کنند، روی سطح دارای بار منفی جلبک رشد می‌کنند (Khanna et al. 2019). لین و همکاران موفق به تولید نانوذرات طلا با استفاده از جلبک *Pithophora oedogonia* شدند (Lin et al. 2016). عبدالرئوف و همکاران به کمک جلبک قهوه‌ای *Padina pavonia* توانستند نانوذرات نقره را تولید کنند (Abdel-Raouf et al. 2019). استفاده از ویروس‌ها روشی مدرن برای سنتز سبز نانوذرات معدنی مانند نانوذرات طلا و نقره است (Salem and Fouda, 2021). اگر غلظت کمی از ویروس موزائیک تنباکو، قبل از اضافه کردن عصاره گیاهی، به محلول یون‌های طلا و یا نقره اضافه شود، نه تنها نانوذرات کوچک‌تری ساخته می‌شوند، بلکه به تعداد آن‌ها نیز افزوده می‌شود (Love et al. 2014).

گیاهان: قسمت‌های مختلف گیاهان (به‌صورت زنده یا عصاره) می‌توانند برای سنتز نانوذرات مورد استفاده قرار گیرند. گیاهان دارای ترکیبات مختلفی از جمله پروتئین‌ها، فلاونوئیدها، آمینواسیدها، آلکالوئیدها، پلی‌فنول‌ها، کربوهیدرات‌ها، آنزیم‌ها، ویتامین‌ها، ترپنوئیدها و اسیدهای آلی هستند که یون‌های طلا و نقره را احیا کرده و آن‌ها را پایدار می‌کند. در این روش به‌طور معمول نمک‌های طلا و نقره با عصاره گیاهان واکنش داده و نانوذرات را شکل می‌دهند (Ghaffari-Moghaddam et al. 2014). از گیاهان زنده نیز می‌توان به عنوان بیوراکتور برای دریافت یون‌های طلا و نقره، تبدیل کردن آن‌ها به نانوذرات و ذخیره کردن آن‌ها استفاده کرد. در این روش سنتز نانوذرات به‌صورت پایدار رشد عادی گیاه را تحت تاثیر قرار نمی‌دهد. هرچند خالص‌سازی این نانوذرات و تولید آن‌ها در مقیاس وسیع کاری بسیار سخت و پیچیده است (Ghasemi et al. 2022). گزارش‌های زیادی مبنی بر ساخت نانوذرات طلا و نقره با استفاده از گیاهان ارائه داده شده است. برای مثال رضوی و همکاران موفق شدند با استفاده از گیاه توت نانوذرات نقره را تولید کنند (Razavi et al. 2020). در همین سال اونال و همکاران به‌وسیله عصاره کلم قرمز نانوذرات طلا را تولید کردند (Unal et al. 2020). با استفاده از گیاه *Alternanthera bettzickiana*، والی محمد و ناگالینگام به ترتیب موفق به ساخت نانوذرات نقره و طلا شدند (Vaali-Mohammed et al. 2017; Nagalingam et al. 2018).

پژوهشگران دیگری نیز با استفاده از گیاهان مختلف موفق به تولید نانوذرات شده‌اند که برخی

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2024-11-21]

از آن موارد در جدول ۱ مشاهده می‌شوند. در سنتز سبز نانوذرات طلا و نقره، استفاده از عصاره گیاهان بهتر از میکروارگانیسم‌ها است زیرا تک مرحله‌ای، غیربیماری‌زا، اقتصادی و به‌صرفه است. همچنین این روش برای محیط زیست ضرر ندارد. از طرفی ساخت نانوذرات به این روش دارای معایبی مانند واکنش‌های طولانی‌تر، مراحل خسته‌کننده خالص‌سازی، به‌وجود آمدن نانوذرات با اندازه بزرگ و اطلاعات کم در مورد سازوکارهای اصلی است. این روش باید بهینه‌سازی شود تا شاهد ساخت سریع و پاک نانوذرات طلا و نقره با اندازه و ساختارهای مناسب باشیم (Shukla and Iravani, 2017).

ترکیبات زیست‌سازگار: سنتز زیستی نانوذرات طلا و نقره از طریق موجودات زنده و ویروس‌ها دارای مشکلات قابل توجهی است. یافتن اینکه به‌طور دقیق کدام متابولیت‌ها و مولکول‌های زیستی نقش فعالی در احیا و پایدارکنندگی این نانوذرات دارند کار بسیار دشواری است. زیرا ترکیبات مختلفی در این میکروارگانیسم‌ها و عصاره‌هایشان وجود دارد. تنوع این ترکیبات، کنترل اینکه یون‌های طلا و نقره دقیقا با کدام مواد واکنش می‌دهند را بسیار سخت می‌کند. همین موضوع باعث تولید نانوذرات با اندازه، شکل و خصوصیات مختلف می‌شود که ممکن است مطابق میل سازنده نباشد و فرآیند تولید انبوه را با مشکل مواجه کند (Ghasemi et al. 2022). همین مسائل باعث شد که پژوهشگران به دنبال روشی سبز برای تولید نانوذرات پلاسمونی باشند که طی آن سازوکارها و مواد دخیل در احیا و پایداری یون‌های طلا و نقره کاملا مشخص باشند و نانوذراتی یکدست با اندازه و شکل کنترل شده تولید شوند. این موضوع مخصوصا در کاربرد این نانوذرات اهمیت بسیاری دارد.

روش تولید زیست‌تقلید یک روش سبز و کنترل شده برای تولید نانوذرات فلزی مانند طلا و نقره است که در آن فرآیندها می‌توانند به خوبی شناخته شوند زیرا در آن نوع، غلظت و خلوص مولکول‌های زیستی کاملا مشخص است. در این روش از عوامل زیست‌سازگار مختلفی از جمله آنزیم‌ها، پروتئین‌ها، کربوهیدرات‌ها، آمینواسیدها، نوکلئیک اسیدها، پپتیدها، پلیمرهای زیست تخریب‌پذیر و لیپیدها برای ساخت نانوذرات استفاده می‌شود (Nasaruddin et al. 2021).

مشخصه‌یابی نانوذرات طلا و نقره

قبل از اینکه نانوذرات طلا و نقره‌ی سنتز شده برای هر نوع کاربردی استفاده شوند، باید به دقت خواص فیزیکوشیمیایی آن‌ها بررسی و مشخصه یابی شوند. مشخصه‌یابی شامل مطالعه اندازه، شکل، سطح، همگنی، پایداری و بقیه خصوصیاتی است که از آن‌ها اطلاعات با ارزشی از نانومواد تولید شده بدست می‌آید و ایده‌های جدیدی برای

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2024-11-21]

کنترل این خواص در طول سنتز به‌وجود می آورد که در کاربردهای صنعتی بسیار پراهمیت هستند (Salem and Fouda, 2021). قابل ذکر است که مشخصه‌یابی کمک شایانی به شناخت بهتر سازوکارهای سنتز نانوذرات طلا و نقره به روش‌های زیستی و زیست‌تقلید (استفاده از مواد زیست سازگار) می‌کند. مشخصه‌یابی همچنین برای شناخت مولکول‌های زیستی که در این فرآیندها نقش دارند استفاده می‌شود (Ghasemi et al. 2022). تکنیک‌های مختلفی برای مشخصه‌یابی نانوذرات پلاسمونی طلا و نقره استفاده می‌شود که در این بخش مهم‌ترین این تکنیک‌ها شامل TEM، UV-Vis، FTIR، DLS و ZP مورد بررسی قرار می‌گیرند.

TEM نوعی میکروسکوپ الکترونی است که پرتوی الکترون یا فوتون متمرکز شده و دارای انرژی بالا بین ۱۰۰ تا ۴۰۰ کیلوالکترون ولت را به نمونه‌ای بسیار نازک از نانوذرات قرار گرفته در یک چهارچوب خشک مسی پوشانده شده با کربن، می‌تاباند. الکترون‌ها یا فوتون‌ها با رد شدن از نمونه، با آن‌ها برهمکنش می‌کنند. این برهمکنش‌ها بین اتم‌ها و الکترون‌ها موجب دستیابی به اطلاعات شیمیایی و تصاویر فضایی در مقیاس اتمی و با کیفیت بالا از نانوذرات طلا و نقره می‌شوند (Mourdikoudis et al. 2018). در واقع زمانی‌که پرتو به فویل نمونه می‌رسد، بعضی از الکترون‌ها از آن رد می‌شوند؛ در حالی‌که تعدادی دیگر به‌صورت کشسان یا غیرکشسان دچار پراکندگی می‌شوند. الکترون‌های پراکنده شده تمام اطلاعات به‌دست آمده از این تکنیک را دارا هستند. TEM روشی پراستفاده برای بررسی شکل، اندازه و حتی وضعیت تجمع نانوذرات طلا و نقره است. میکروسکوپی الکترونی عبوری نانوذرات طلا، خواص مورفولوژیکی، شکل، خواص سطحی، اندازه و قطر آن را آشکار می‌سازد. استفاده از این تکنیک همچنین موروفولوژی و پراکندگی نانوذرات را نیز ارائه می‌دهد (Alaqad and Saleh, 2016). این روش برای بررسی ساختار فضایی مشبک کریستال‌های نانوذرات نیز مناسب است. تصاویر TEM در شکل ۴ بخش a و b نانوذرات طلا و نقره سنتز شده با قارچ *C. albicans* را نشان می‌دهد (Ahmad et al. 2013).

UV-Vis یکی از مهم‌ترین تکنیک‌هایی است که برای مشخصه‌یابی ساختاری نانوذرات فلزی مانند طلا و نقره استفاده می‌شود (Ahmad et al. 2013). با استفاده از این تکنیک می‌توان اطلاعاتی از نانوذرات طلا و نقره ساخته شده همچون پایداری، غلظت، خواص نوری، اندازه، وضعیت تجمع، شکل و SPR به‌دست آورد. خواص نوری نانوذرات طلا و نقره به علت جذب پلاسمونی آن‌ها است. به علت نواسانات سطحی این

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2024-11-21]

نانوذرات، تابش‌های الکترومغناطیسی توسط آن‌ها جذب می‌شوند (Alaqad and Saleh, 2016). خاصیت SPR و میزان جذب نانوذرات پلاسمونی وابسته به اندازه، شکل، ترکیب، موادی که آن‌ها را احاطه کرده‌اند و فواصل بین ذره‌ای آن‌ها است. در مورد نانوذرات طلا و نقره فرکانس‌های نوسان پلاسمونی سطحی آن‌ها، در بازه نور مرئی است که موجب جذب SPR قوی می‌شود. نانوکره‌های طلا نور قرمز، و نانوذرات نقره نور زرد را منعکس می‌کنند که با تغییر دادن اندازه و شکل آن‌ها رنگ آن‌ها تغییر می‌کند. نور مرئی-فرابنفش موج الکترومغناطیسی با طول موج بین ۱۹۰ تا ۷۰۰ نانومتر است. برهمکنش بین این نور و نانوذرات باعث بدست آمدن اطلاعات گفته شده می‌شود (Ghasemi et al. 2022). در پژوهشی که در سال ۲۰۱۳ توسط توکیر احمد و همکاران منتشر شد، نانوذراتی که توسط قارچ *C. albicans* سنتز زیستی شده بودند، توسط اسپکتروسکوپی مرئی-فرابنفش مشخصه‌یابی شدند. این عمل بر اساس احیا شدن کلروآریک اسید ($AuCl_4^-$) و یون نقره (Ag^+) در زمان‌های مختلف انجام شد. در نهایت نانوذرات طلا حداکثر رزونانس پلاسمونی را در ۵۴۰ نانومتر و نانوذرات نقره ۴۵۰ نانومتر نشان دادند. شدت جذب با افزایش زمان واکنش افزایش می‌یابد که نشان از پیشرفت احیا شدن یون‌ها دارد (شکل ۴ بخش c و d) (Ahmad et al. 2013).

DLS نوعی اندازه‌گیری تفکیک زمانی است که در طی آن خصوصیات نور پراکنده شده توسط اجسام پراکنده کننده مانند مولکول‌های بزرگ اندازه‌گیری می‌شود. سیگنال‌های اندازه‌گیری شده بر اساس نواسانات آن‌ها اندازه‌گیری می‌شود که ممکن است دارای منشاهای متفاوتی باشند. در واقع DLS نواساناتی که توسط حرکات تصادفی اجسام که حاصل انرژی گرمایی آن‌ها است را موقعیت‌یابی می‌کند (Babick 2020). نور لیزر پراکنده شده توسط یک ذره، با تفکیک زمانی بالا تحت یک زاویه مشخص (θ) اندازه‌گیری می‌شود. با استفاده از آنالیز نواسانات سیگنال‌های دریافتی می‌توان به خصوصیات دینامیکی میکروساختاری مانند حرکت براونی و یا اندازه نانوذرات طلا و نقره پی برد. مقدار نور پراکنده شده توسط نانوذرات در کلوئید وابسته به قطر آن‌ها است (Akbari et al. 2011). با استفاده از این روش می‌توان به توزیع اندازه در محلول کلوئیدی، وضعیت تجمع و اندازه هیدرودینامیکی نانوذرات طلا و نقره پی برد. با استفاده از این تکنیک به‌طور معمول می‌توان نانوذراتی با اندازه بین ۱ تا ۵۰۰ نانومتر را اندازه‌گیری کرد. زمانی که ذرات مجتمع هستند، ثبت اندازه آن‌ها بسیار سخت است (Banerjee and Ravishankar Rai, 2018). هر چقدر اندازه نانوذرات طلا و نقره کوچکتر باشد، نوسان‌های حاصل از نور پراکنده شده بیشتر است؛

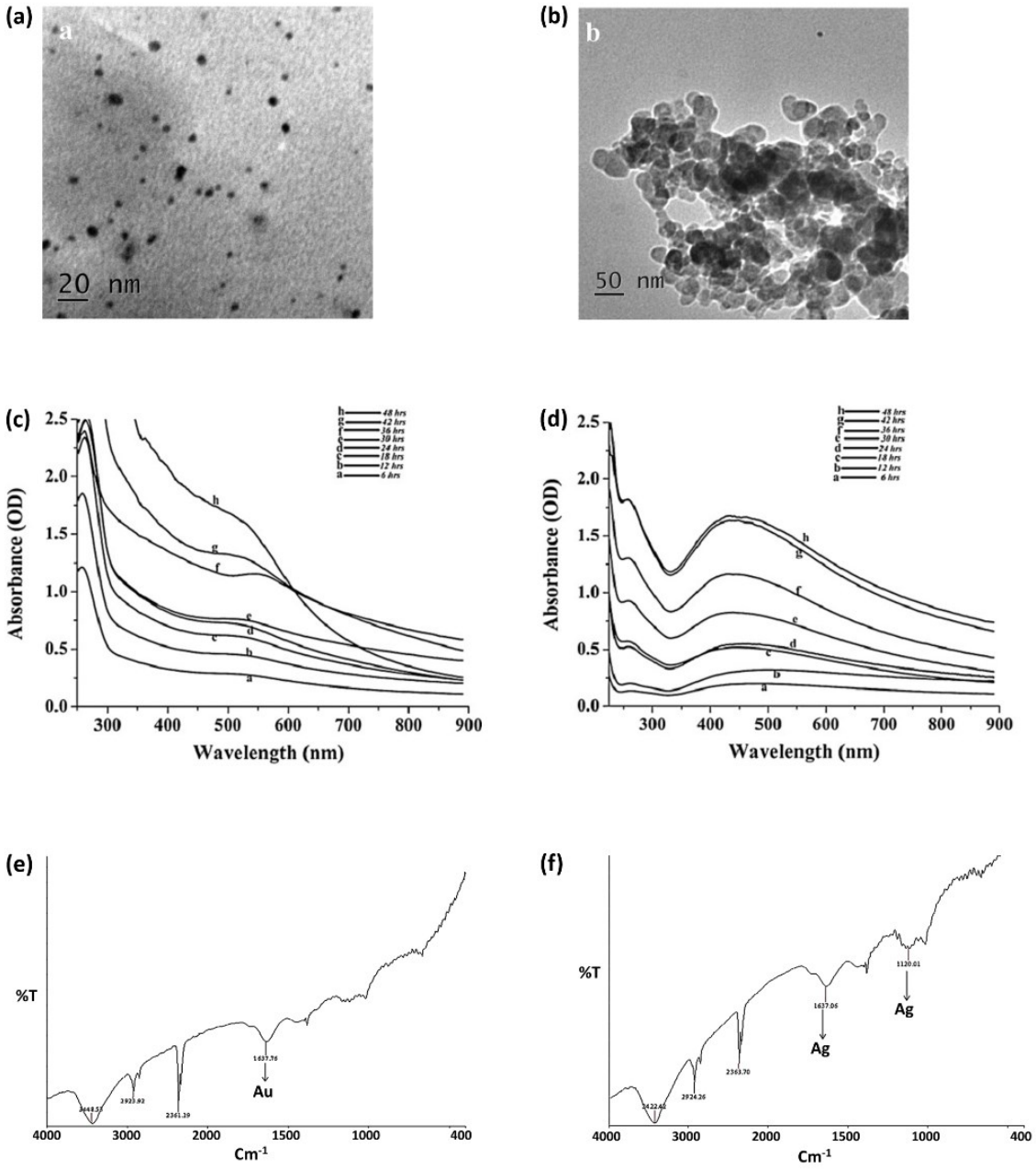
[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2024-11-21]

زیرا ذرات ریز دارای سرعت متوسط بیشتری هستند و حرکات براونی بیشتری دارند.

ZP (که با ζ نشان داده می‌شود) یا پتانسیل الکتروسینتیک، پتانسیل الکتریکی ذره‌ای است که در کلوئید روی یک صفحه برشی تحت میدان الکتریکی حرکت می‌کند. صفحه برشی یک سطح فرضی است که لایه‌ای نازک از مایع را مشخص کرده و رفتارهای کشسان آن را نسبت به بقیه مایع نشان می‌دهد (Busnaina et al. 2018). در مشخصه‌یابی نانوذرات طلا و نقره، با اندازه‌گیری پتانسیل زتای آن‌ها می‌توان به بار سطحی‌شان دست یافت. اندازه‌گیری پتانسیل زتای یک نمونه کلوئیدی از نانوذرات طلا و نقره، نقشی کلیدی در مشخص کردن میزان پایداری این نانوذرات دارد. نانوذرات با بار مثبت یا منفی زیاد تمایل به دفع یکدیگر دارند. این موضوع سبب می‌شود که از آگلومره شدن نانوذرات طلا و نقره جلوگیری شده و دارای پایداری بالایی باشند. از طرفی کم بودن بار نانوذرات موجب نزدیک شدنشان به یکدیگر، تشکیل توده و تجمع آن‌ها می‌شود (Mourdikoudis et al. 2018).

تکنیک FTIR به منظور شناسایی گروه‌های عاملی که عامل احیا، پوشندگی و پایدارسازی نانوذرات فلزی مانند طلا و نقره هستند، استفاده می‌شود (Salem and Fouda 2021). با استفاده از این روش، خصوصیات ارتعاشی گروه‌های عاملی در نمونه مورد مطالعه قرار می‌گیرد. در واقع هدف FTIR، اندازه‌گیری میزان جذب پرتو الکترومغناطیسی فروسرخ با طول موج بین $400cm^{-1}$ تا $4000cm^{-1}$ است. اگر مولکولی پرتو فروسرخ را جذب کند، دوقطبی لحظه‌ای ایجاد شده و مولکول با فروسرخ فعال می‌شود. پیوندهای شیمیایی این پرتوها را به‌صورت انتخابی جذب می‌کنند و وضعیت ارتعاشی آن‌ها تغییر می‌کند. طیف‌های ثبت شده اطلاعاتی در مورد قدرت و ماهیت پیوندها و گروه‌های عاملی می‌دهد که از طریق آن می‌توان به ساختار و برهمکنش‌های مولکولی نانوذرات طلا و نقره دست یافت (Mourdikoudis et al. 2018). در پژوهشی نانوذرات طلا و نقره را با استفاده از ساپونینی که از گیاه خرفه‌سا (*Trianthema decandra* L.) استخراج شده بود، سنتز کردند. سپس، برای مشخصه‌یابی از روش‌های مختلفی استفاده کردند که یکی از آن روش‌ها طیف‌سنجی فروسرخ تبدیل فوریه بود. به این منظور نانوذرات طلا و نقره توسط ساچمه‌های پتاسیم برمید آسیاب شده و به‌طور کامل خشک شدند به‌طوری که دیگر هیچ رطوبتی در آن‌ها نباشد. در نهایت از این پودر برای آنالیز FTIR استفاده شد که نتیجه طیف‌سنجی در شکل ۴ بخش e و f مشاهده می شود (Geethalakshmi and Sarada 2013).

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2024-11-21]



شکل ۴- تصاویر TEM نانوذرات (a) طلا و (b) نقره و طیف UV-Vis نانوذرات (c) طلا و (d) نقره سنتز شده با قارچ *C. albicans* (Ahmad et al. 2013)، طیف FTIR نانوذرات (e) طلا و (f) نقره سنتز شده با گیاه خرفه‌سا (Geethalakshmi and Sarada 2013)

به غیر از موارد ذکر شده، تکنیک‌های دیگری نیز برای مشخصه‌یابی نانوذرات طلا و نقره برای یافتن خصوصیات مختلف آن‌ها استفاده می‌شوند که برخی از آن‌ها در جدول ۲ ذکر شده‌اند.

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2024-11-21]

جدول ۲- سایر تکنیک‌های مشخصه‌یابی (Salem and Fouda 2021)

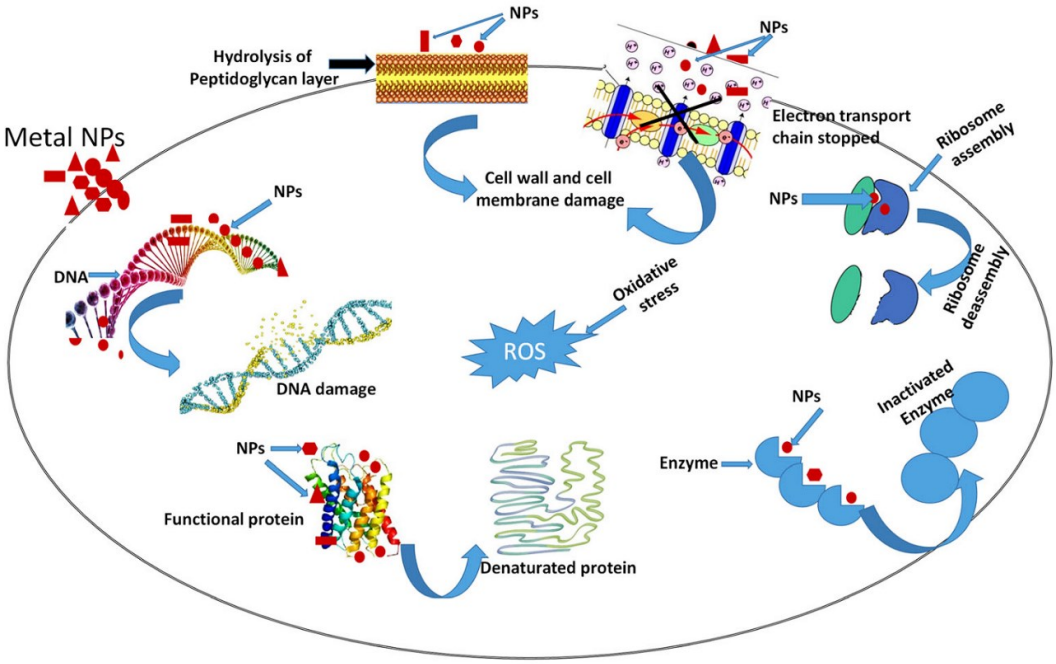
ویژگی	تکنیک مشخصه یابی مناسب
اندازه و ویژگی‌های ساختاری	پراش اشعه‌ی پرتو ایکس (XRD)، آنالیز ردیابی نانوذرات (NTA)، پراکندگی اشعه ایکس زاویه کوچک (SAXS)، میکروسکوپ الکترونی عبوری با تفکیک بالا (HRTEM)، میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM)، میکروسکوپ نیروی اتمی (AFM)، جذب لبه ساختار ظریف پرتو ایکس (EXAFS)، تصویرسازی تشدید مغناطیسی کارکردی (FMR)، گرماسنجی روبشی تفاضلی (DCS)، طیف‌سنجی جرمی پلاسمای جفت‌شده القایی (ICP-MS)، واجذب-یونش لیزری به کمک ماتریس (MALDI)، رزونانس مغناطیسی هسته‌ای (NMR)، آنالیز احیا برنامه‌ریزی دمایی شده (TRPS)
شکل	میکروسکوپ الکترونی عبوری با تفکیک بالا (HRTEM)، میکروسکوپ نیروی اتمی (AFM)، تصویرسازی تشدید مغناطیسی کارکردی (FMR)، برش‌نگاری سه بعدی (3D-tomography)
ترکیب شیمیایی و عنصری	پراش اشعه‌ی پرتو ایکس (XRD)، طیف‌سنجی فتوالکترونی پرتو ایکس (XPS)، طیف‌سنجی جرمی پلاسمای جفت‌شده القایی (ICP-MS)، طیف‌سنجی انتشار اتمی پلاسمای جفت‌شده القایی (ICP-OES)، میکروسکوپی الکترونی روبشی با طیف‌سنجی پراش انرژی پرتو ایکس (SEM-EDX)، رزونانس مغناطیسی هسته‌ای (NMR)، میکروسکوپ نیروی مغناطیسی (MFM)، طیف سنجی پراکندگی یون کم انرژی (LEIS)
ساختار بلوری	پراش اشعه‌ی پرتو ایکس (XRD)، جذب لبه ساختار ظریف پرتو ایکس (EXAFS)، میکروسکوپ الکترونی عبوری با تفکیک بالا (HRTEM)، میکروسکوپ الکترونی عبوری روبشی (STEM)
توزیع اندازه	گرماسنجی روبشی تفاضلی (DCS)، پراکندگی اشعه ایکس زاویه کوچک (SAXS)، تحلیل ردیابی نانوذرات (NTA)، طیف‌سنجی جرمی پلاسمای جفت‌شده القایی (ICP-MS)، تصویرسازی تشدید مغناطیسی کارکردی (FMR)، گرماسنجی تفاضلی (DTA)، آنالیز احیا برنامه‌ریزی شده دمایی (TRPS)، میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM)
ویژگی‌های نوری	نورتابناکی (PL)، طیف‌سنجی اتلاف انرژی الکترون (EELS-STEM)
ویژگی‌های مغناطیسی	دستگاه ابررسانی تداخلی کوانتومی (SQUID)، مغناطیس‌سنج نمونه ارتعاشی (VSM)، طیف‌بینی موسباور (Mossbauer Spectroscopy)، میکروسکوپ نیروی مغناطیسی (MFM)، تصویرسازی تشدید مغناطیسی کارکردی (FMR)، طیف نمایی رنگ تابی دورانی مغناطیسی اشعه ایکس (XMCD)
وضعیت تجمع	گرماسنجی روبشی تفاضلی (DCS)، میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM)، میکروسکوپ الکترونی کرایو (Cryo-TEM)
غلظت	طیف‌سنجی جرمی پلاسمای جفت‌شده القایی (ICP-MS)، گرماسنجی روبشی تفاضلی (DCS)، آنالیز احیا برنامه‌ریزی شده دمایی (TRPS)

کاربردها در زیست‌فناوری

فعالیت‌های ضدمیکروبی و سمیت سلولی: پیشرفت نانوفناوری، روش‌های سنتز نانوذرات (NPs) و نانوکامپوزیت‌ها، فعالیت‌های ضدمیکروبی نانومواد و کاربرد آنها در سنجش ایمنی انقلابی عظیم در زمینه زیست‌پزشکی ایجاد کرده است. پژوهش‌ها نشان داده است که نانوذرات طلا و نقره کاربردهای موثری در زمینه پزشکی دارند. امروزه صنعت دارو وارد چالش جدید ظهور میکروب‌های مقاوم به داروها شده است. بنابراین باید داروهای جدیدی ساخته شوند که بتوان توسط آن‌ها بیماری‌های مختلف را درمان کرد. استفاده از نانوذرات در این زمینه موجب بهبود در تشخیص به‌وسیله سیستم‌های تشخیص

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2024-11-21]

سریع و عکس‌برداری برپایه‌ی نانوذرات می‌شود. علاوه‌بر این، با استفاده از نانوذرات طلا و نقره، می‌توان بیماری‌هایی که توسط میکروب‌های مقاوم به دارو به‌وجود می‌آیند را درمان کرد (Salem and Fouda 2021). پژوهش‌های بسیاری ثابت کرده‌اند که نانوذرات طلا و نقره – به‌مخصوص نانوذرات نقره – توانایی کشتن قارچ‌ها، باکتری‌ها، آغازیان جانوری و بعضی از ویروس‌ها را دارند (Majdalawieh et al. 2014).



شکل ۵- سازوکار خاصیت ضدمیکروبی نانوذرات فلزی مانند طلا و نقره (Salem and Fouda, 2021)

نانوذرات نقره به خواص ضدقارچی، ضدالتهابی و ضدویروسی خود معروف هستند (Gan and Li, 2012). این نانوذرات به‌وسیله واکنش با آنزیم‌ها، پروتئین‌ها و حتی دی.ان.ای (DNA) میکروب‌ها، می‌توانند تقسیم آن‌ها را غیرفعال و مهار کنند (Singh et al. 2010). پژوهش‌ها نشان داده است که برهمکنش بین نقره و ترکیبات دارای گروه تیول نقش مهمی در غیرفعال‌سازی باکتری‌ها دارد (Liau et al. 1997). نانوذرات نقره به علت اکسیداسیون آهسته به یون نقره (Ag^+) و پیوند دادن با گروه تیول، می‌توانند به دیواره باکتری‌ها نفوذ کرده و آن‌ها را بکشند. در نتیجه، نانوذرات نقره در محافظت از گیاهان، آب و پارچه در مقابل باکتری‌ها نقش دارند. البته استفاده از نقره برای این منظور مشکلاتی نیز به همراه دارد. برای مثال نانوذرات نقره می‌توانند باکتری‌ها و سلول‌های مفید موجود در بدن انسان و خاک را بکشند و این موضوع موجب کاهش کاربرد آن‌ها می‌شود

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2024-11-21]

(Majdalawieh et al. 2014). طبق پژوهشی که توسط پال و همکاران انجام شد، می‌توان گفت که قدرت فعالیت ضدمیکروبی نانوذرات نقره به شکل آن‌ها وابسته است. در این پژوهش، میزان خاصیت ضدمیکروبی نانوذرات نقره با شکل‌های مختلف از طریق واکنش آن‌ها با باکتری *اشریشیا کلی* (*Escherichia coli*) بررسی شد. نتیجه پژوهش نشان داد که نانوصفحات نقره با شکل مثلثی خاصیت ضدمیکروبی بیشتری نسبت به نانوذرات کروی و نانومیله‌ها داشتند (Pal et al. 2007). الچیگوئرا و همکاران نشان دادند که نانوذرات نقره در کنترل عفونت ویروس نقص ایمنی انسانی (HIV) موثر هستند. آن‌ها در شرایط آزمایشگاهی نانوذرات نقره با اندازه بین ۱ تا ۱۰ نانومتر را با گیلکوپروتئین‌های HIV-1 واکنش دادند و از آلوده شدن سلول‌ها جلوگیری کردند (Elechiguerra et al. 2005). در مورد آثار ضدمیکروبی و سمیت سلولی نانوذرات طلا نیز پژوهش‌های مختلفی انجام شده است. پژوهش کانر و همکاران نشان داد که نانوذرات طلا توسط گلبول‌های سفید خون جذب می‌شوند اما سمیت حادی ایجاد نمی‌کنند (Connor et al. 2005). در کل سه مرحله برای از بین بردن سلول توسط نانوذرات فلزی مانند طلا و نقره شناسایی شده است. در ابتدا نانوذرات به دیواره و غشای سلولی حمله کرده و آن‌ها را دچار آسیب می‌کنند. سپس، وارد سلول شده و ترکیبات درون سلولی را نابود می‌کنند. در نهایت هم سازوکار تنش‌های اکسیداتیو فعال می‌شود. این مراحل در شکل ۵ نشان داده شده است (Salem and Fouda, 2021).

فعالیت‌های ضد توموری: سالانه میلیون‌ها نفر در سراسر جهان دچار مرگ بر اثر سرطان می‌شوند. درمان‌های مختلفی برای این بیماری وجود دارد اما اغلب آن‌ها یا کارساز نیستند و یا دارای عوارض جانبی بسیاری هستند و ممکن است حتی تا آخر عمر بر زندگی شخص درمان‌شده نیز اثر منفی بگذارد. در سال‌های اخیر پژوهش‌های گسترده‌ای در زمینه تشخیص و درمان سرطان به‌وسیله نانوذرات و نانوداروها انجام شده است. استفاده از نانوذرات طلا و نقره در این زمینه می‌تواند موثرتر و دارای اثرات جانبی کمتری نسبت به درمان‌های معمول مانند شیمی‌درمانی و پرتودرمانی باشد. نانومواد مانند میسل‌ها، لیپوزوم‌ها، دندریمرها و نانوذرات معدنی به عنوان انتقال‌دهنده‌ی دارو در درمان سرطان استفاده شده‌اند. این مواد عملکرد موثرتری بر از بین بردن تومور نشان داده‌اند و همچنین دارای اثرات جانبی کمتری نسبت به درمان‌های معمول بوده‌اند (González-Ballesteros et al. 2019). نانوذرات نقره می‌توانند به‌وسیله اندوسیتوز وارد سلول شده و در فضای پری‌نوکلئاز سیتوپلاسم و درون لیزوزوم استقرار یابند (Asharani et al. 2009).

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2024-11-21]

نانوذرات نقره با تولید گونه‌های فعال اکسیژنی (ROS: reactive oxygen species)، تنفس سلولی را مختل کرده و سلول را از بین می‌برد. نانوذرات نقره همچنین می‌توانند با آسیب زدن به دی‌ان‌ای، فعال کردن مرگ سلولی و مختل کردن عملکرد میتوکندری سلول‌های سرطانی را نابود کنند (Sakthi Devi et al. 2022). یک پژوهش نشان داد که نانوذرات نقره می‌توانند بر فاکتور رشد اندوتلیال عروقی که با رگ‌زایی در ارتباط است، اثر مثبت داشته باشند (Kalishwaralal et al. 2009).

نانوذرات طلا یکی از پراستفاده‌ترین نانوذرات در تشخیص و درمان سرطان است. این نانوذرات دارای ساختار مناسب، پایداری، تنوع در اندازه، قابل کنترل بودن آزادسازی و سمیت اندک هستند که آن‌ها را در تشخیص و درمان سرطان کاربردی می‌کنند (Tan et al. 2012). نانوذرات طلا برای تشخیص سرطان بسیار مناسب هستند. این نانوذرات دارای خاصیت رزونانس پلاسمون سطحی بوده و رنگ آن‌ها با افزایش اندازه‌شان، تغییر می‌کند. نانوذرات طلا به علت داشتن این خاصیت منحصر به‌فرد، در تشخیص زیست‌مولکول‌های مختلف کاربردی هستند و می‌توان با استفاده از آن‌ها تومورها را در شرایط درون‌تنی (*in-vivo*) و آزمایشگاهی شناسایی کرد. نانوذرات طلا در روش‌های مختلفی از درمان سرطان به‌طور موثر مورد استفاده قرار گرفته است. یکی از این روش‌ها، درمان به‌وسیله اثر فتوترمال است. در درمان فتوترمال، نور جذب شده از طریق فرآیندهای غیرتابشی به گرما تبدیل می‌شود. روش دیگر درمان سرطان که نانوذرات طلا در آن نقش دارند، درمان فتودینامیک است. برخی داروها با عنوان "داروهای حساس به نور" وقتی توسط طیف خاصی از نور تحریک می‌شوند، اکسیژن اطرافشان را به گونه‌های فعال اکسیژن که سمی‌اند تبدیل می‌کنند. این عمل می‌تواند سلول‌های بدخیمی که اطرافشان قرار دارند را از بین ببرد. این پدیده به درمان فتودینامیک سرطان معروف است. در درمان تومورهای عمقی، از نانوذرات طلا استفاده می‌شود که درمان فتودینامیک را با فعال شدن به‌وسیله نور نزدیک فروسرخ به انجام می‌رسانند (Sakthi Devi et al. 2022).

صنعت نساجی: در سال‌های اخیر، اهمیت استفاده از نانوذرات در صنعت نساجی و تهیه پارچه افزایش یافته است. نانوذرات مختلفی در این صنعت استفاده می‌شوند که منجر به ارتقا کیفیت محصول نهایی شده‌اند. از این نانوذرات می‌توان به زینک اکساید (ZnO)، دی اکسید تیتانیوم (TiO_2) و سایر اکسیدهای فلزی و از همه مهم‌تر به نانوذرات طلا و نقره اشاره کرد. استفاده از نانوذرات نقره در تولید پارچه، موجب به‌وجود آمدن خواص ضدباکتریایی، خودپاکسازی و

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2024-11-21]

محافظت در مقابل تشعشعات در آن‌ها می‌شود (Salem and Fouda, 2021). در همین راستا، از فیبرهای نانوکامپوزیتی نقره در بافت پارچه استفاده می‌شود (Yeo et al. 2003). چنین پارچه‌هایی خواص ضدمیکروبی بالایی در مقابل باکتری‌های مختلف مانند *E. coli* نشان می‌دهند (Natsuki et al. 2015). در مورد کاربرد نانوذرات طلا در نساجی نیز پژوهش‌ها متنوعی انجام شده است. کلوئید نانوذرات طلا به علت خاصیت پلاسمون رزونانس سطحی خود، می‌توانند با توجه به اندازه‌شان در کلوئید، دارای رنگ‌های مختلفی مانند خرمایی، بنفش، صورتی و کاهی باشند. سیواکاوینسان و همکاران موفق به سنتز سبز نانوذرات طلا با استفاده از پوست دورریختنی میوه *Garcinia mangostana* شدند. در این پژوهش، این نانوذرات با اندازه‌ها و غلظت‌های مختلف تهیه شده و به‌عنوان رنگ‌های متفاوت برای الیاف استفاده شدند. رنگ‌ها پایداری مناسبی از خود نشان دادند (Sivakavinesan et al. 2021). مفتاحی و همکاران از نانوذرات طلا برای رنگ کردن کاموا استفاده کردند. کاموای رنگ شده خاصیت ضدباکتریایی مناسبی از خود در مقابل باکتری‌های *S. aureus* و *E. coli* نشان داد (Meftahi et al. 2022).

تصفیه فاضلاب: چهار نوع از نانومواد می‌توانند در تصفیه فاضلاب استفاده شوند: دندریمرها، نانوذرات فلزی، زئولیت و نانومواد حاوی کربن. نانوذرات طلا و نقره که جزء نانوذرات فلزی‌اند، دارای دو ویژگی مهم هستند که آن‌ها را برای این کار مناسب کرده است. نانوذرات فلزی دارای نسبت سطح به حجم بالاتری نسبت به مواد با اندازه‌های بزرگ هستند. آن‌ها همچنین توانایی فعال شدن با گروه‌های عاملی را دارند که موجب ایجاد برهمکنش با ترکیبات هدف می‌شود (Salem and Fouda, 2021). نانوذرات نقره دارای خاصیت ضدمیکروبی، ضدقارچی و آنتی‌بیوتیکی است. از این نانوذره برای از بین بردن باکتری‌های کلی‌فرم موجود در فاضلاب استفاده می‌شود. پژوهش‌ها نشان داده است که نانوذرات نقره به عنوان کشنده‌های زیستی فعال در مقابل باکتری‌های گرم مثبت و گرم منفی عمل می‌کنند. نقش کاتالیستی نانوذرات طلایی که توسط پالادیوم پوشیده شده‌اند، برای حذف تری-کلرواتان، ۲۲۰۰ برابر موثرتر از پالادیوم به تنهایی است. نانوذرات طلا همچنین برای حذف فلزات سنگین از طریق تشکیل آلیاژهای مختلف استفاده می‌شوند. برای مثال آن‌ها با تشکیل آلیاژهای مختلفی مانند Au_3Hg, AuHg, $AuHg_3$ می‌توانند یون‌های جیوه را از آب حذف کنند (Pradeep 2009). از نظر اقتصادی، این روش تصفیه فاضلاب به عنوان یک تکنیک جدید و کاربردی برای حل چالش‌های موجود در زمینه منابع آب و انرژی پذیرفته شده

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2024-11-21]

است. البته این تکنیک هنوز به اندازه کافی فراگیر نشده و لازم است که بودجه مناسبی برای آن اختصاص داده شود (Salem and Fouda, 2021).

صنعت غذا: نانوذرات دارای کاربردهای مختلفی در صنعت غذا هستند. از این کاربردها می‌توان به بسته‌بندی، مواد نگه‌دارنده، افزودنی‌ها، امنیت و ایمنی غذایی و تشخیص عوامل بیماری‌زا اشاره کرد. در کل نانوفناوری در دو زمینه کلیدی صنعت غذا نقش موثری دارد: بسته‌بندی و مواد تشکیل دهنده غذا (Majdalawieh et al. 2014). استفاده از ظروفی که از نانومواد درست شده‌اند برای بسته‌بندی غذا، می‌تواند گام مهمی برای تازه نگه داشتن غذا برای مدت طولانی باشد. همچنین کاهش مواد سمی و از بین بردن عوامل بیماری‌زا از اهداف استفاده از نانوذرات در این صنعت است. نانوذرات طلا و نقره از جمله نانوذراتی هستند که در این زمینه کاربرد دارند. نانوذرات نقره توانایی از بین بردن باکتری‌های موجود در غذا در نتیجه ورود به آن‌ها را دارند (Salem and Fouda, 2021). امروزه از این نانوذرات در کاربردهای ضدمیکروبی، ضد ترکیبات بودار و مکمل‌ها در غذا استفاده می‌شود. علاوه‌بر کاربردهای معمول در بسته‌بندی غذا و خواص ضدمیکروبی، نانومواد طلا و نقره در حسگرهای زیستی با هدف تشخیص مواد مغذی، بیماری‌زایی و عوامل میکروبی استفاده می‌شود (Majdalawieh et al. 2014). در پژوهشی از نانوذرات نقره برای شناسایی حضور ملامین در شیر خام استفاده شد. ملامین موجب تجمع نانوذرات طلا شده که باعث تغییر رنگ آن از قرمز به آبی می‌شود (Li et al. 2010).

کشاورزی: امروزه نانوفناوری موجب ارتقا کیفیت محصولات کشاورزی شده است. نانوذرات می‌توانند به‌صورت نانوآفت‌کش‌ها، نانوحشره‌کش‌ها و نانوکودها و موارد دیگر مورد استفاده قرار گیرند و همچنین میکروب‌های بیماری‌زا در گیاهان را از بین ببرند (Salem and Fouda, 2021). عوامل مختلفی مانند باکتری‌ها، ویروس‌ها، حشرات و قارچ‌ها می‌توانند باعث ایجاد بیماری در گیاهان شوند و عملکرد آن‌ها را مختل کنند. بنابراین نیاز است که آفت‌کش‌هایی وجود داشته باشند که وجود این موارد را کنترل کنند. نانوذرات طلا و نقره برای این عملکرد مناسب هستند. قارچ‌ها مهم‌ترین عامل بیماری‌زا در گیاهان هستند. نانوذرات طلا در شرایط آزمایشگاهی با آسیب سلولی، عملکرد خوبی علیه قارچ‌ها و باکتری‌ها نشان داده‌اند. نانوذرات نقره نیز بر اساس نوع و غلظت خود توانایی از بین بردن قارچ‌های مختلف را دارند. برای مثال نانوذرات Ag_2O و یا Ag با غلظت ۵۰ میلی‌گرم بر لیتر می‌توانند جلوی رشد قارچ‌ها را بگیرند (Thenmozhi et al. 2013). نانوذرات نقره

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2024-11-21]

همچنین می‌توانند در غلظت ۵ تا ۲۵ میلی‌گرم بر لیتر باعث مرگ مگس خونخوار *Hippobosca maculata* شوند (Santhoshkumar et al. 2012). از کشت بافت گیاهی برای حفاظت، تکثیر انبوه، دستکاری ژنتیکی، تولید ترکیبات فعال زیستی و بهبود گیاهان استفاده می‌شود. امروزه استفاده از نانوذرات نقره با موفقیت آلاینده‌های میکروبی ریزنمونه‌ها را کنترل کرده و نقش مثبت نانوذرات نقره در القای کالوس، اندام‌زایی، جنین‌زایی سوماتیک و افزایش تولید متابولیت‌های ثانویه به اثبات رسیده است (Mahendran. 2019).

یکی از مهم‌ترین مشکلات در زمینه کشاورزی، نیاز به استفاده از کودهای شیمیایی است. استفاده بی‌رویه این کودها باعث آلودگی منابع آبی شده و باروری خاک را کاهش می‌دهد. این موضوع در نهایت به تولید محصولات کشاورزی آسیب می‌زند. استفاده از نانوکودها باعث حل این مشکل می‌شود. این کودها منجر به افزایش بازده جذب مواد مغذی توسط گیاهان، کاهش سمیت خاک و کاهش اثرات منفی حاصل از استفاده زیاد کودهای شیمیایی می‌شود (Salem and Fouda, 2021). در یک پژوهش نشان داده شد که نانوذرات طلا می‌توانند بدون آسیب زدن به خاک و اختلال در جوانه‌زنی گیاه، نسبت طول اندام‌های هوایی کاهو (*Lactuca sativa*) را به ریشه آن افزایش دهد (Shah and Belozerova, 2009). پژوهش دیگری نشان داد که استفاده از نانوذرات نقره می‌تواند در کیفیت رویش نوعی گل گاوزبان (*Borago officinalis*) مؤثر باشد (Seifsahandi et al. 2013).

زیست‌پالایی: امروزه آلاینده‌هایی مانند رنگ‌های آزو، اسیدی، کاتیونی و سایر رنگ‌ها به علت ماندگاری بالا و سمیت مورد توجه بیشتری قرار گرفته‌اند (Salem and Fouda 2021). این آلاینده‌ها می‌توانند منابع آبی مانند رودها، دریاچه‌ها و جویبارها را آلوده کنند. این موضوع می‌تواند اثرات جبران ناپذیری بر محیط زیست و سلامت داشته باشد. بنابراین آلاینده‌ها باید زیست‌پالایی شوند تا آب موجود قابل استفاده شده و کمبود منابع آب جبران شود. تکنیک‌های مختلفی مانند فشار اسمزی، جذب سطحی و لختگی برای این منظور وجود دارند. این روش‌ها برای حذف فاضلاب و پساب‌ها از منابع آبی استفاده می‌شود، اما هرکدام از این روش‌ها دارای معایب بسیاری هستند (Akintelu et al. 2021). امروزه استفاده از نانوفناوری درحال تبدیل شدن به راهی مناسب و سبز برای زیست‌پالایی است. بعضی از نانومواد می‌توانند با خاصیت کاتالیستی خود با استفاده از پروسه‌های زیستی و نانوفناوری، آلاینده‌ها را کاهش دهند. از جمله این نانو مواد می‌توان به نانوذرات پلاسمونی طلا و نقره اشاره کرد. نانوذرات نقره دارای عملکرد کاتالیستی

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2024-11-21]

مناسبی برای ازبین بردن بعضی از رنگ‌های آلی است. این نانوکاتالیست‌ها با توجه به کارایی و واکنش‌دهی مناسب، نقش مهمی در صنعت برای از بین بردن رنگ‌ها دارند (Sharma et al. 2015). همچنین، از نانوذرات طلا می‌توان به عنوان عامل فتوکاتالیستی استفاده کرد. مؤثر بودن استفاده از نانوذرات طلا به‌عنوان فتوکاتالیزور برای از بین بردن آلاینده‌های آلی به‌علت سطح بزرگ و اثرات محدودیت کوانتومی آن‌ها است (Akintelu et al. 2021). فرآیند از بین بردن رنگ‌ها توسط نانوذرات دارای دو مرحله است. در مرحله اول الکترون‌ها روی سطح نانوذرات تجمع می‌کنند. در مرحله دوم رنگ از طریق مولکول‌هایش روی سطح نانوذرات انتشار می‌یابد و در ادامه توسط الکترون‌های سطحی روی سطح نانوکاتالیزور احیا شده و از بین می‌رود (Bastús et al. 2014).

نتیجه‌گیری

کاربردهای نانوذرات پلاسمونی طلا و نقره در پزشکی، داروسازی، کشاورزی، صنایع غذایی و سایر صنعت‌ها، به‌واسطه‌ی ویژگی‌های منحصربه‌فرد آن‌ها روز به روز درحال افزایش است. در نتیجه لازم است روش‌های سنتز ارزان و ایمن با قابلیت تولید انبوه گسترش یابد. از بین روش‌های مختلف پایین به بالا و بالا به پایین سنتز نانوذرات، سنتز سبز که نوعی روش پایین به بالا محسوب می‌شود، مناسب‌ترین روش است. سنتز سبز می‌تواند با استفاده از موجودات زنده مانند میکروارگانیسم‌های زنده و گیاهان، موجودات غیرزنده مثل ویروس‌ها و حتی با استفاده از مواد زیست‌سازگار مانند آمینواسیدها یا کربوهیدرات‌ها انجام شود. مشخصه‌یابی نانوذرات طلا و نقره که با روش سبز تولید می‌شوند نیز مشابه سایر نانوذرات است. برای دستیابی به اطلاعات در مورد هر نوع از ویژگی‌های نانوذرات مانند شکل، ابعاد، بار و غیره از تکنیک معینی در مشخصه‌یابی استفاده می‌شود. نانوذرات سبز طلا و نقره در صنایع مختلفی همچون پزشکی، دارو، غذا، کشاورزی و محیط زیست مورد استفاده قرار می‌گیرند.

به‌رغم مزیت‌های روش‌های سبز، چالش‌های عمده‌ای در روش سبز مشاهده می‌شود. سنتز یک اندازه و شکل خاصی از نانوذرات به روش سبز نیاز به مطالعات بهینه‌سازی بیشتری دارد. پایداری نانوذرات تولید شده به عوامل بهینه‌سازی مانند pH، غلظت نمک، زمان تماس و دما بستگی دارد. این عوامل با توجه به تفاوت موجودات مورد استفاده متفاوت است. همچنین تولید نانوذرات با ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی خاص نیاز به مطالعات بیشتری به ویژه برای کاربردهای زیست پزشکی دارد. در این روش فرآیند واکنش‌های احیا و پایدارسازی و یا حتی عوامل دخیل در آن، به‌طور

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2024-11-21]

کامل شناسایی نشده است. متابولیت‌های دخیل در زیست‌توده زیستی باید به‌طور کامل تجزیه و تحلیل شوند تا نقش هر یک از ترکیبات در سنتز زیستی نانوذرات شناسایی شود. افزایش مقیاس تولید نانوذرات به روش سبز چالش دیگری است که در تجاری‌سازی آن بایستی مورد توجه باشد. احتمالا در آینده این مشکلات با گسترش مطالعات در این زمینه حل خواهد شد.

فهرست منابع References

Abdel-Raouf N, Al-Enazi NM, Ibraheem IBM, Alharbi RM, Alkhulaifi MM. 2019. Biosynthesis of silver nanoparticles by using of the marine brown alga Padina pavonia and their characterization. Saudi J. Biol. Sci. 26: 1207-1215.

AbdelRahim K, Mahmoud SY, Ali AM, Almaary KS, Mustafa AEZM, Husseiny SM. 2017. Extracellular biosynthesis of silver nanoparticles using *Rhizopus stolonifer*. Saudi J. Biol. Sci. 24: 208-216.

Aboelfetoh EF, El-Shenody RA, Ghobara MM. 2017. Eco-friendly synthesis of silver nanoparticles using green algae (*Caulerpa serrulata*): reaction optimization, catalytic and antibacterial activities. Environ. Monit. Assess. 189: 1-15.

Ahiwale S, Bankar A, Tagunde S, Kapadnis BP. 2017. A bacteriophage mediated gold nanoparticles synthesis and their anti-biofilm activity. Indian J. Microbiol. 57: 188-194.

Ahmad A, Wei Y, Ullah S, Shah SI, Nasir F, Shah A, Iqbal Z, Tahir K, Khan UA, Yuan Q. 2017. Synthesis of phytochemicals-stabilized gold nanoparticles and their biological activities against bacteria and Leishmania. Microb. Pathog. 110: 304-312.

Ahmad T, Wani IA, Manzoor N, Ahmed J, Asiri AM. 2013. Biosynthesis, structural characterization and antimicrobial activity of gold and silver nanoparticles. Colloids Surf. B. 107: 227-234.

Ahmed E, Kalathil S, Shi L, Alharbi O, Wang P. 2018. Synthesis of ultra-small platinum, palladium and gold nanoparticles by *Shewanella loihica* PV-4 electrochemically active biofilms and their enhanced catalytic activities. J. Saudi Chem. Soc. 22: 919-929.

Akbari B, Tavandashti MP, Zandrahimi M. 2011. Particle size characterization of nanoparticles–a practical approach. Iran. J. Mater. Sci. Eng. 8: 48-56.

Akintelu SA, Yao B, Folorunso AS. 2021. Bioremediation and pharmacological applications of gold nanoparticles synthesized from plant materials. Heliyon. 7: e06591.

Al-Dhabi NA, Mohammed Ghilan AK, Arasu MV. 2018. Characterization of silver nanomaterials derived from marine *Streptomyces* sp. al-dhabi-87 and its in vitro application against multidrug resistant and extended-spectrum beta-lactamase clinical pathogens. Nanomaterials. 8: 279.

Alani F, Moo-Young M, Anderson W. 2012. Biosynthesis of silver nanoparticles by a new strain of Streptomyces sp. compared with *Aspergillus fumigatus*. World J. Microbiol. Biotechnol. 28: 1081-1086.

Alaqad K and Saleh TA. 2016. Gold and silver nanoparticles: synthesis methods, characterization routes and applications towards drugs. J. Environ. Anal. Toxicol. 6: 525-2161.

Amerasan D, Nataraj T, Murugan K, Panneerselvam C, Madhiyazhagan P, Nicoletti M, Benelli G. 2016. Myco-synthesis of silver nanoparticles using *Metarhizium anisopliae* against the rural malaria vector *Anopheles culicifacies* Giles (Diptera: Culicidae). J. Pest Sci. 89: 249-256.

Anthony P and Turner A. 2013. Biosensors: Sense and sensibility. Chem. Soc. Rev. 42: 3184-3196.

Asharani P, Hande MP, Valiyaveettil S. 2009. Anti-proliferative activity of silver nanoparticles. BMC Cell Biol. 10: 1-14.

Atwater HA and Polman A. 2011. Plasmonics for improved photovoltaic devices. Materials for sustainable energy: a collection of peer-reviewed research and review articles from Nature Publishing Group. 1-11.

Babick F. 2020. Dynamic light scattering (DLS). In: Characterization of Nanoparticles. Elsevier. 137-172.

Balagurunathan R, Radhakrishnan M, Rajendran RB, Velmurugan D. 2011. Biosynthesis of gold nanoparticles by actinomycete Streptomyces viridogens strain HM10.

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2024-11-21]

Banerjee K and Ravishankar Rai V. 2018. A review on mycosynthesis, mechanism, and characterization of silver and gold nanoparticles. BioNanoScience. 8, 17-31.

Bastús NG, Merkoçi F, Piella J, Puntes V. 2014. Synthesis of highly monodisperse citrate-stabilized silver nanoparticles of up to 200 nm: kinetic control and catalytic properties. Chem. Mater. 26: 2836-2846.

Bonilla JJA, Guerrero DJP, Sáez RGT, Ishida K, Fonseca BB, Rozental S, López CCO. 2017. Green synthesis of silver nanoparticles using maltose and cysteine and their effect on cell wall envelope shapes and microbial growth of *Candida* spp. J. Nanosci. Nanotechnol. 17: 1729-1739.

Busnaina A, Bakhtari K, Park J-g. 2018. Particle deposition and adhesion. In: Handbook of Silicon Wafer Cleaning Technology. Elsevier. pp. 153-18.

Camas M, Sazak Camas A, Kyeremeh K. 2018. Extracellular synthesis and characterization of gold nanoparticles using *Mycobacterium* sp. BRS2A-AR2 isolated from the aerial roots of the Ghanaian mangrove plant, *Rhizophora racemosa*. Indian J. Microbiol. 58: 214-221.

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

Connor EE, Mwamuka J, Gole A, Murphy CJ, Wyatt MD. 2005. Gold nanoparticles are taken up by human cells but do not cause acute cytotoxicity. Small. 1: 325-327.

Cunha FA, Cunha MdC, da Frota SM, Mallmann EJ, Freire TM, Costa LS, Paula AJ, Menezes EA, Fechine PB. 2018. Biogenic synthesis of multifunctional silver nanoparticles from *Rhodotorula glutinis* and *Rhodotorula mucilaginosa*: antifungal, catalytic and cytotoxicity activities. World J. Microbiol. Biotechnol. 34: 1-15.

de Amorim Silva T, Quelemes PV, de AraÃºjo AR, de Moraes ACM, Azevedo RB, da Silva DA, Teixeira MFS. 2017. Extracellular biogenic synthesis of silver nanoparticles by Actinomycetes from amazonic biome and its antimicrobial efficiency. Afr. J. Biotechnol. 16: 2072-2082.

de Aragao AP, de Oliveira TM, Quelemes PV, Perfeito MLG, Araujo MC, Santiago JDAS, Cardoso VS, Quaresma P, Leite JRDSDA, da Silva DA. 2019. Green synthesis of silver nanoparticles using the seaweed Gracilaria birdiae and their antibacterial activity. Arab. J. Chem. 12: 4182-4188.

Dehghanzadeh H. 2022. Green synthesis and antibacterial effect of gold nanoparticles using *Mentha piperita* L. Extract. Journal of Biosafety. 15(1): 81-96

Devi L, Kushwaha P, Ansari TM, Kumar A, Rao, A. 2024. Recent trends in biologically synthesized metal nanoparticles and their biomedical applications: a review. Biological Trace Element Research, 202(7): 3383-3399.

Ebrahimzadeh Z, Salehzadeh A, Naeemi A, Jalali A. 2020. Silver nanoparticles biosynthesized by Anabaena flos-aquae enhance the apoptosis in breast cancer cell line. Bull. Mater. Sci. 43: 1-7.

El Domany EB, Essam TM, Ahmed AE, Farghali AA. 2018. Biosynthesis physico-chemical optimization of gold nanoparticles as anti-cancer and synergetic antimicrobial activity using Pleurotus ostreatus fungus. J. Appl. Pharm. Sci. 8: 119-128.

Elamawi RM, Al-Harbi RE, Hendi AA. 2018. Biosynthesis and characterization of silver nanoparticles using Trichoderma longibrachiatum and their effect on phytopathogenic fungi. Egypt. J. Biol. Pest Control. 28: 1-11.

Elbeshehy EK, Elazzazy AM, Aggelis G. 2015. Silver nanoparticles synthesis mediated by new isolates of Bacillus spp., nanoparticle characterization and their activity against Bean Yellow Mosaic Virus and human pathogens. Front. Microbiol. 6: 453.

Elechiguerra JL, Burt JL, Morones JR, Camacho-Bragado A, Gao X, Lara HH, Yacaman MJ. 2005. Interaction of silver nanoparticles with HIV-1. J. Nanobiotech. 3, 6.

Fatima R, Priya M, Indurthi L, Radhakrishnan V, Sudhakaran R. 2020. Biosynthesis of silver nanoparticles using red algae Portieria hornemannii and its antibacterial activity against fish pathogens. Microb. Pathog. 138: 103780.

Fernández JG, Fernández-Baldo MA, Berni E, Camí G, Durán N, Raba J, Sanz MI. 2016. Production of silver nanoparticles using yeasts and evaluation of their antifungal activity against phytopathogenic fungi. Process Biochem. 51: 1306-1313.

Fouda A, Hassan SE-D, Abdo AM, El-Gamal MS. 2020 Antimicrobial, antioxidant and larvicidal activities of spherical silver nanoparticles synthesized by endophytic Streptomyces spp. Biol. Trace Elem. Res. 195: 707-724.

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2024-11-21]

Francis S, Joseph S, Koshy EP, Mathew B. 2018 Microwave assisted green synthesis of silver nanoparticles using leaf extract of elephantopus scaber and its environmental and biological applications. Artif. Cells Nanomed Biotechnol. 46: 795-804.

Gan L, Zhang S, Zhang Y, He S, Tian Y. 2018. Biosynthesis, characterization and antimicrobial activity of silver nanoparticles by a halotolerant *Bacillus endophyticus* SCU-L. Prep. Biochem. Biotechnol. 48: 582-588.

Gan PP and Li SFY. 2012. Potential of plant as a biological factory to synthesize gold and silver nanoparticles and their applications. Rev. Environ. Sci. Biotechnol. 11: 169-206.

Geethalakshmi R and Sarada D. 2013. Characterization and antimicrobial activity of gold and silver nanoparticles synthesized using saponin isolated from *Trianthema decandra* L. Ind. Crops Prod. 51: 107-115.

Gellé A and Moores A. 2019. Plasmonic nanoparticles: Photocatalysts with a bright future. Curr. Opin. Green Sustain. 15: 60-66.

Ghaffari-Moghaddam M, Hadi-Dabanlou R, Khajeh M, Rakhshanipour M, Shameli K. 2014. Green synthesis of silver nanoparticles using plant extracts. Korean J. Chem. Eng. 31: 548-557.

Ghasemi F, Naseri A, Sepahvand M. 2022. Green plasmonic nanoparticles. In: Encyclopedia of Green Materials. Springer. pp. 1-10.

Girón-Vázquez N, Gómez-Gutiérrez C, Soto-Robles C, Nava O, Lugo-Medina E, Castrejón-Sánchez VH, Vilchis-Nestor AR, Luque PA. 2019. Study of the effect of *Persea americana* seed in the green synthesis of silver nanoparticles and their antimicrobial properties. Results Phys. 13: 102142.

Golinska P, Wypij M, Ingle AP, Gupta I, Dahm H, Rai M. 2014. Biogenic synthesis of metal nanoparticles from actinomycetes: biomedical applications and cytotoxicity. Appl. Microbiol. Biotechnol. 98: 8083-8097.

González-Ballesteros N, Prado-López S, Rodríguez-González J, Lastra M, Rodríguez-Argüelles M. 2017. Green synthesis of gold nanoparticles using brown algae *Cystoseira baccata*: Its activity in colon cancer cells. Colloids Surf. B. 153: 190-198.

González-Ballesteros N, Rodríguez-Argüelles MC, Prado-López S, Lastra M, Grimaldi M, Cavazza A, Nasi L, Salviati G, Bigi F. 2019. Macroalgae to nanoparticles: Study of *Ulva lactuca* L. role in biosynthesis of gold and silver nanoparticles and of their cytotoxicity on colon cancer cell lines. Mater. Sci. Eng. C. 97: 498-509.

Gopal JV, Thenmozhi M, Kannabiran K, Rajakumar G, Velayutham K, Rahuman AA. 2013. Actinobacteria mediated synthesis of gold nanoparticles using Streptomyces sp. VITDDK3 and its antifungal activity. Mater. Lett. 93: 360-362.

Gopinath V, Priyadarshini S, MubarakAli D, Loke MF, Thajuddin N, Alharbi NS, Yadavalli T, Alagiri M, Vadivelu J. 2019. Anti-Helicobacter pylori, cytotoxicity and catalytic activity of biosynthesized gold nanoparticles: multifaceted application. Arab. J. Chem. 12: 33-40.

Guilger M, Pasquoto-Stigliani T, Bilesky-Jose N, Grillo R, Abhilash PC, Fraceto LF, Lima RD. 2017. Biogenic silver nanoparticles based on Trichoderma harzianum: synthesis, characterization, toxicity evaluation and biological activity. Sci. Rep. 7: 44421.

Hamedi S, Ghaseminezhad M, Shokrollahzadeh S, Shojaosadati SA. 2017. Controlled biosynthesis of silver nanoparticles using nitrate reductase enzyme induction of filamentous fungus and their antibacterial evaluation. Artif. Cells Nanomed Biotechnol. 45: 1588-1596.

Heidari Z, Salehzadeh A, Sadat Shandiz SA, Tajdoost S. 2018. Anti-cancer and anti-oxidant properties of ethanolic leaf extract of Thymus vulgaris and its bio-functionalized silver nanoparticles. Biotech. 8: 1-14.

Husseiny SM, Salah TA, Anter HA. 2015. Biosynthesis of size controlled silver nanoparticles by Fusarium oxysporum, their antibacterial and antitumor activities. Beni-Suef University J. Basic Appl. Sci. 4: 225-231.

Iravani S, Korbekandi H, Mirmohammadi SV, Zolfaghari B. 2014. Synthesis of silver nanoparticles: chemical, physical and biological methods. Res. Pharm. Sci. 9: 385.

Jafari M, Rokhbakhsh-Zamin F, Shakibaie M, Moshafi MH, Ameri A, Rahimi HR, Forootanfar H. 2018. Cytotoxic and antibacterial activities of biologically synthesized gold nanoparticles assisted by *Micrococcus yunnanensis* strain J2. Biocatal. Agric. Biotechnol. 15: 245-253.

Jain P and Pradeep T. 2005. Potential of silver nanoparticle-coated polyurethane foam as an antibacterial water filter. Biotechnol. Bioeng. 90: 59-63.

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2024-11-21]

Jain PK, Huang X, El-Sayed IH, El-Sayed MA. 2007. Review of some interesting surface plasmon resonance-enhanced properties of noble metal nanoparticles and their applications to biosystems. Plasmonics 2: 107-118.

Jalal M, Ansari MA, Alzohairy MA, Ali SG, Khan HM, Almatroudi A, Raees K. 2018. Biosynthesis of silver nanoparticles from oropharyngeal *Candida glabrata* isolates and their antimicrobial activity against clinical strains of bacteria and fungi. Nanomaterials 8: 586.

John MS, Nagoth JA, Ramasamy KP, Mancini A, Giuli G, Natalello A, Ballarini P, Miceli C, Pucciarelli S. 2020. Synthesis of bioactive silver nanoparticles by a *Pseudomonas* strain associated with the antarctic psychrophilic protozoon Euplotes focardii. Mar. Drugs 18: 38.

Joshi CG, Danagoudar A, Poyya J, Kudva AK, Dhananjaya BL. 2017. Biogenic synthesis of gold nanoparticles by marine endophytic fungus-Cladosporium cladosporioides isolated from seaweed and evaluation of their antioxidant and antimicrobial properties. Process Biochem. 63: 137-144.

Kahsay MH, RamaDevi D, Kumar YP, Mohan BS, Tadesse A, Battu G, Basavaiah K. 2018. Synthesis of silver nanoparticles using aqueous extract of Dolichos lablab for reduction of 4-Nitrophenol, antimicrobial and anticancer activities. OpenNano 3: 28-37.

Kalishwaralal K, Banumathi E, Pandian SRK, Deepak V, Muniyandi J, Eom SH, Gurunathan S. 2009. Silver nanoparticles inhibit VEGF induced cell proliferation and migration in bovine retinal endothelial cells. Colloids Surf. B. 73: 51-57.

Kashyap AS, Manzar N, Vishwakarma SK, Mahajan C, Dey U. 2024. Tiny but mighty: metal nanoparticles as effective antimicrobial agents for plant pathogen control. World Journal of Microbiology and Biotechnology, 40(3), 104.

Khanna P, Kaur A, Goyal D. 2019. Algae-based metallic nanoparticles: Synthesis, characterization and applications. J. Microbiol. Methods 163: 105656.

Kitching M, Choudhary P, Inguva S, Guo Y, Ramani M, Das SK, Marsili E. 2016. Fungal surface protein mediated one-pot synthesis of stable and hemocompatible gold nanoparticles. Enzyme Microb. Technol. 95: 76-84.

Korbekandi H, Mohseni S, Mardani Jouneghani R, Pourhossein M, Iravani S. 2016. Biosynthesis of silver nanoparticles using Saccharomyces cerevisiae. Artif. Cells Nanomed. Biotechnol. 44: 235-239.

Kurgan N and Karbivskyy V. 2020. Properties of nanowires based on the tobacco mosaic virus and gold nanoparticles. Appl. Nanosci. 10: 2685-2689.

Li L, Li B, Cheng D, Mao L. 2010. Visual detection of melamine in raw milk using gold nanoparticles as colorimetric probe. Food Chem. 122: 895-900.

Li L and Zhang Z. 2016. Biosynthesis of gold nanoparticles using green alga *Pithophora oedogonia* with their electrochemical performance for determining carbendazim in soil. Int. J. Electrochem. Sci. 11: 4550-4559.

Liau SY, Read DC, Pugh WJ, Furr JR, Russell AD. 1997. Interaction of silver nitrate with readily identifiable groups: relationship to the antibacterialaction of silver ions. Lett. Appl. Microbiol. 25: 279-283.

Lin T, Wu Y, Li Z, Song Z, Guo L, Fu F. 2016. Visual monitoring of food spoilage based on hydrolysis-induced silver metallization of au nanorods. Anal. Chem. 88: 11022-11027.

Lokina S, Suresh R, Giribabu K, Stephen A, Sundaram RL, Narayanan V. 2014. Spectroscopic investigations, antimicrobial, and cytotoxic activity of green synthesized gold nanoparticles. Spectrochim. Acta A. 129: 484-490.

Love AJ, Makarov V, Yaminsky I, Kalinina NO, Taliansky ME. 2014. The use of tobacco mosaic virus and cowpea mosaic virus for the production of novel metal nanomaterials. Virology. 449: 133-139.

Mahendran D, Geetha N, Venkatachalam P. 2019. Role of silver nitrate and silver nanoparticles on tissue culture medium and enhanced the plant growth and development. In vitro Plant Breeding towards Novel Agronomic Traits: Biotic and Abiotic Stress Tolerance. 59-74.

Madhiyazhagan P, Murugan K, Kumar AN, Nataraj T, Dinesh D, Panneerselvam C, Subramaniam J, Kumar PM, Suresh U, Roni M, Nicoletti M, Alarfaj AA, Higuchi A, Munusamy MA, Benelli G. 2015. S argassum muticum-synthesized silver nanoparticles: An effective control tool against mosquito vectors and bacterial pathogens. Parasitol. Res. 114: 4305-4317.

Majdalawieh A, Kanan MC, El-Kadri O, Kanan SM. 2014. Recent advances in gold and silver nanoparticles: synthesis and applications. J. Nanosci. Nanotechnol. 14: 4757-4780.

Malhotra A, Dolma K, Kaur N, Rathore YS, Mayilraj S, Choudhury AR. 2013. Biosynthesis of gold and silver nanoparticles using a novel marine strain of *Stenotrophomonas*. Bioresour. Technol. 142: 727-731.

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2024-11-21]

Manimaran M and Kannabiran K. 2017. Actinomycetes-mediated biogenic synthesis of metal and metal oxide nanoparticles: progress and challenges. Lett. Appl. Microbiol. 64: 401-408.
Manivasagan P, Venkatesan J, Senthilkumar K, Sivakumar K, Kim SK. 2013. Biosynthesis, antimicrobial and cytotoxic effect of silver nanoparticles using a novel *Nocardiopsis* sp. MBRC-1. Biomed Res. Int. 2013.
Manivasagan P, Venkatesan J, Sivakumar K, Kim SK. 2016. Actinobacteria mediated synthesis of nanoparticles and their biological properties: A review. Crit. Rev. Microbiol. 42: 209-221.
Mathew E, Domínguez-Robles J, Larrañeta E, Lamprou DA. 2019. Fused deposition modelling as a potential tool for antimicrobial dialysis catheters manufacturing: New trends vs. conventional approaches. Coatings. 9: 515.
Meftahi A, Momeni Heravi ME, Jafari Shabazi S, Alibakhshi S, Kashef M. 2022. Application of nanogold in woolen textiles dyeing. J. Ultrafine Grained Nanostruct. Mater. 55: 65-69.
Mohanta YK, Nayak D, Biswas K, Singdevsachan SK, Abd_Allah EF, Hashem A, Alqarawi AA, Yadav D, Mohanta TK. 2018. Silver nanoparticles synthesized using wild mushroom show potential antimicrobial activities against food borne pathogens. Molecules 23: 655.
Mohmed AA, Saad E, Fouda A, Elgamal M, Salem S. 2017. Extracellular biosynthesis of silver nanoparticles using Aspergillus sp. and evaluation of their antibacterial and cytotoxicity. J. Appl. Life Sci. Int. 11: 1-12.
Moshfegh A, Jalali A, Salehzadeh A, Sadeghi Jozani A. 2019. Biological synthesis of silver nanoparticles by cell-free extract of Polysiphonia algae and their anticancer activity against breast cancer MCF-7 cell lines. Micro Nano Lett. 14: 581-584.
Mourdikoudis S, Pallares RM, Thanh NT. 2018. Characterization techniques for nanoparticles: comparison and complementarity upon studying nanoparticle properties. Nanoscale. 10: 12871-12934.
Nagalingam M, Kalpana V, Panneerselvam A. 2018. Biosynthesis, characterization, and evaluation of bioactivities of leaf extract-mediated biocompatible gold nanoparticles from Alternanthera bettzickiana. Biotechnol. Rep. 19: e00268.
Nasaruddin RR, Chen T, Yao Q, Zang S, Xie J. 2021. Toward greener synthesis of gold nanomaterials: From biological to biomimetic synthesis. Coord. Chem. Rev. 426: 213540.
Natsuki J, Natsuki T, Hashimoto Y. 2015. A review of silver nanoparticles: synthesis methods, properties and applications. Int. J. Mater. Sci. Appl. 4: 325-332.
Noah N. 2019. Green synthesis: Characterization and application of silver and gold nanoparticles. In: Green synthesis, characterization and applications of nanoparticles. Elsevier. pp. 111-135.
Onitsuka S, Hamada T, Okamura H. 2019. Preparation of antimicrobial gold and silver nanoparticles from tea leaf extracts. Colloids Surf. B. 173: 242-248.
Pal S, Tak YK, Song JM. 2007. Does the antibacterial activity of silver nanoparticles depend on the shape of the nanoparticle? a study of the gram-negative bacterium *Escherichia coli*. Appl. Environ. Microbiol. 73: 1712-1720.
Parthiban E, Manivannan N, Ramanibai R, Mathivanan N. 2019. Green synthesis of silver-nanoparticles from *Annona reticulata* leaves aqueous extract and its mosquito larvicidal and anti-microbial activity on human pathogens. Biotechnol. Rep. 21: e00297.
Patra S, Mukherjee S, Barui AK, Ganguly A, Sreedhar B, Patra CR. 2015. Green synthesis, characterization of gold and silver nanoparticles and their potential application for cancer therapeutics. Ater. Sci. Eng. C. 53: 298-309.
Popli D, Anil V, Subramanyam AB, MN N, VR R, Rao SN, Rai RV, Govindappa M. 2018. Endophyte fungi, *Cladosporium* species-mediated synthesis of silver nanoparticles possessing in vitro antioxidant, anti-diabetic and anti-Alzheimer activity. Artif. Cells Nanomed Biotechnol. 46: 676-683.
Pradeep T. 2009. Noble metal nanoparticles for water purification: a critical review. Thin Solid Films 517: 6441-6478.
Pugazhendhi A, Prabakar D, Jacob JM, Karuppusamy I, Saratale RG. 2018. Synthesis and characterization of silver nanoparticles using *Gelidium amansii* and its antimicrobial property against various pathogenic bacteria. Microb. Pathog. 114: 41-45.
Qiao J and Qi L 2021. Recent progress in plant-gold nanoparticles fabrication methods and bio-applications. Talanta. 223: 121396.
Qu Y, You S, Zhang X, Pei X, Shen W, Li Z, Li S, Zhang Z. 2018. Biosynthesis of gold nanoparticles using cell-free extracts of *Magnusiomyces ingens* LH-F1 for nitrophenols reduction. Bioprocess and Biosystems Engineering. 41: 359-367.

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2024-11-21]

Rajan A, Rajan AR, Philip D. 2017. Elettaria cardamomum seed mediated rapid synthesis of gold nanoparticles and its biological activities. OpenNano. 2: 1-8.
Ramakrishna M, Rajesh Babu D, Gengan RM, Chandra S, Nageswara Rao G.2016. Green synthesis of gold nanoparticles using marine algae and evaluation of their catalytic activity. J. Nanostructure Chem. 6: 1-13.
Ranjani A, Gopinath PM, Ananth S, Narchonai G, Santhanam P, Thajuddin N, Dhanasekaran D. 2018. Multidimensional dose–response toxicity exploration of silver nanoparticles from *Nocardiopsis flavascens* RD30. Appl. Nanosci. 8: 699-7.
Ranjitha V and Rai VR. 2017. Actinomycetes mediated synthesis of gold nanoparticles from the culture supernatant of Streptomyces griseoruber with special reference to catalytic activity. Biotech. 7: 1-7.
Razavi R, Molaei R, Moradi M, Tajik H, Ezati P, Shafipour Yordshahi A. 2020. Biosynthesis of metallic nanoparticles using mulberry fruit *Morus alba* L.) extract for the preparation of antimicrobial nanocellulose film. Appl. Nanosci. 10: 465-476.
Rolim WR, Pelegrino MT, de Araújo Lima B, Ferraz LS, Costa FN, Bernardes JS, Rodigues T, Brocchi M, Seabra AB. 2019. Green tea extract mediated biogenic synthesis of silver nanoparticles: Characterization, cytotoxicity evaluation and antibacterial activity. Appl. Surf. Sci. 463: 66-74.
Rónavári A, Igaz N, Adamecz DI, Szerencsés B, Molnar C, Kónya Z, Pfeiffer I, Kiricsi M. 2021. Green silver and gold nanoparticles: Biological synthesis approaches and potentials for biomedical applications. Molecules 26: 844.
Saha K, Agasti SS, Kim C, Li X, Rotello VM. 2012. Gold nanoparticles in chemical and biological sensing. Chem. Rev. 112: 2739-2779.
Sakthi Devi R, Girigoswami A, Siddharth M, Girigoswami K. 2022. Applications of gold and silver nanoparticles in theranostics. Appl. Biochem. Biotechnol. 194: 4187-4219.
Salem SS and Fouda A. 2021. Green synthesis of metallic nanoparticles and their prospective biotechnological applications: an overview. Biol. Trace Elem. Res. 199: 344-370.
Salvadori MR 2019. Processing of nanoparticles by biomatrices in a green approach. Microbial Nanobionics: State-of-the-Art, 1: 1-28.
Santhoshkumar T, Rahuman AA, Bagavan A, Marimuthu S, Jayaseelan C, Kirthi AV, Kamaraj C, Rajakumar G, Zahir AA, Elango G, Velayutham K, Iyappan M, Siva C, Karthik L, Rao KVB. 2012. Evaluation of stem aqueous extract and synthesized silver nanoparticles using *Cissus quadrangularis* against *Hippobosca maculata* and *Rhipicephalus Boophilus*) microplus. Exp. Parasitol. 132: 156-165.
Saravanan M, Barik SK, MubarakAli D, Prakash P, Pugazhendhi A. 2018. Synthesis of silver nanoparticles from *Bacillus brevis* (NCIM 2533) and their antibacterial activity against pathogenic bacteria. Microb. Pathog. 116: 221-226.
Sastry M, Ahmad A, Khan MI, Kumar R. 2003. Biosynthesis of metal nanoparticles using fungi and actinomycete. Curr. Sci. 162-170.
Senthilkumar P, Surendran L, Sudhagar B, Ranjith Santhosh Kumar DS. 2019. Facile green synthesis of gold nanoparticles from marine algae *Gelidiella acerosa* and evaluation of its biological Potential. SN Appl. Sci. 1: 1-12.
Seo Y, Manivannan S, Kang I, Lee SW, Kim K. 2017. Gold dendrites Co-deposited with M13 virus as a biosensor platform for nitrite ions. Biosens. Bioelectron. 94: 87-93.
Sepahvand M, Ghasemi F, Hosseini HMS. 2021. Plasmonic nanoparticles for colorimetric detection of nitrite and nitrate. Food. Chem. Toxicol. 149: 112025.
Shah R, Oza G, Pandey S, Sharon M. 2012. Biogenic fabrication of gold nanoparticles using Halomonas salina. J. Microbiol. Biotechnol. Res. 2: 485-492.
Shah V and Belozerova I. 2009. Influence of metal nanoparticles on the soil microbial community and germination of lettuce seeds. Water Air Soil Pollut. 197: 143-148.
Shanthi S, Jayaseelan BD, Velusamy P, Vijayakumar S, Chih CT, Vaseeharan B. 2016. Biosynthesis of silver nanoparticles using a probiotic *Bacillus licheniformis* Dahb1 and their antibiofilm activity and toxicity effects in *Ceriodaphnia cornuta*. Microb. Pathog. 93: 70-77.
Sharma K, Singh G, Kumar M, Bhalla V. 2015. Silver nanoparticles: facile synthesis and their catalytic application for the degradation of dyes. RSC Adv. 5: 25781-25788.
Shen W, Qu Y, Pei X, Li S, You S, Wang J, Zhang Z, Zhou J. 2017. Catalytic reduction of 4-nitrophenol using gold nanoparticles biosynthesized by cell-free extracts of *Aspergillus* sp. WL-Au. J. Hazard. Mater. 321: 299-306.

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2024-11-21]

Sholkamy EN, Ahamd MS, Yasser MM, Eslam N. 2019. Anti-microbiological activities of bio-synthesized silver Nano-stars by *Saccharopolyspora hirsuta*. Saudi J. Biol. Sci. 26: 195-200.
Shukla AK and Iravani S. 2017. Metallic nanoparticles: green synthesis and spectroscopic characterization. Environ. Chem. Lett. 15: 223-231.
Singh AK, Talat M, Singh DP, Srivastava ON. 2010. Biosynthesis of gold and silver nanoparticles by natural precursor clove and their functionalization with amine group. J. Nanopart. Res. 1:1667-1675.
Singh P, Kim Y-J, Zhang D, Yang DC. 2016. Biological synthesis of nanoparticles from plants and microorganisms. Trends Biotechnol. 34: 588-599.
Sivakavinesan M, Vanaja M, Annadurai G. 2021. Dyeing of cotton fabric materials with biogenic gold nanoparticles. Sci. Rep. 11: 1-11.
Składanowski M, Wypij M, Laskowski D, Golińska P, Dahm H, Rai M. 2017. Silver and gold nanoparticles synthesized from *Streptomyces* sp. isolated from acid forest soil with special reference to its antibacterial activity against pathogens. J. Clust. Sci. 28: 59-79.
Smitha S and Gopchandran K. 2013. Surface enhanced Raman scattering, antibacterial and antifungal active triangular gold nanoparticles. Spectrochim. Acta A 102: 119-114.
Soliman H, Elsayed A, Dyaa A. 2018. Antimicrobial activity of silver nanoparticles biosynthesised by *Rhodotorula* sp. strain ATL72. Egypt. J. Basic Appl. Sci. 5: 228-233.
Sowani H, Mohite P, Munot H, et al. 2016. Green synthesis of gold and silver nanoparticles by an actinomycete *Gordonia amicalis* HS-11: mechanistic aspects and biological application. Process Biochem. 51: 374-383.
Sreekanth T, Nagajyothi P, Muthuraman P, Shouche Y, Bapat T, Kumar AR, Kulkarni M, Zinjarde S. 2018. Ultra-sonication-assisted silver nanoparticles using Panax ginseng root extract and their anti-cancer and antiviral activities. J. Photochem. Photobiol. B, Biol. 188: 6-11.
Srinath B, Namratha K, Byrappa K. 2018. Eco-friendly synthesis of gold nanoparticles by Bacillus subtilis and their environmental applications. Adv. Sci. Lett. 24: 5942-5946.
Suganya KU, Govindaraju K, Kumar VG, Dhas TS, Karthick V, Singaravelu G, Elanchezhiyan M. 2015. Blue green alga mediated synthesis of gold nanoparticles and its antibacterial efficacy against gram positive organisms. Mater. Sci. Eng. C. 47: 351-356.
Sunderam V, Thiyagarajan D, Lawrence AV, Mohammed SSS, Selvaraj A. 2019. In-vitro antimicrobial and anticancer properties of green synthesized gold nanoparticles using *Anacardium occidentale* leaves extract. Saudi J. Biol. Sci. 26: 455-459.
Tan E, Yin P, Lang X, Wang X, You T, Guo L. 2012. Functionalized gold nanoparticles as nanosensor for sensitive and selective detection of silver ions and silver nanoparticles by surface-enhanced Raman scattering. Analyst 137: 3925-3928.
Thenmozhi M, Kannabiran K, Kumar R, Khanna VG. 2013. Antifungal activity of *Streptomyces* sp. VITSTK7 and its synthesized Ag_2O/Ag nanoparticles against medically important Aspergillus pathogens. J. Med. Mycol. 23: 97-103.
Thomas R, Janardhanan A, Varghese RT, Soniya EV, Mathew J, Radhakrishnan EK. 2014. Antibacterial properties of silver nanoparticles synthesized by marine Ochrobactrum sp. Braz. J. Microbiol. 45, 1221-1227.
Tiwari DK, Behari J, Sen P. 2008. Application of nanoparticles in waste water treatment. World Appl. Sci. J. 3: 417-433.
Tripathi RM, Shrivastav BR, Shrivastav A. 2018. Antibacterial and catalytic activity of biogenic gold nanoparticles synthesised by *Trichoderma harzianum*. IET Nanobiotechnol. 12: 509-513.
Tuo Y, Liu G, Dong B, Zhou J, Wang A, Wang J, Jin R, Lv H, Dou Z, Huang W. 2015. Microbial synthesis of Pd/Fe_3O_4, Au/Fe_3O_4 and PdAu/Fe_3O_4 nanocomposites for catalytic reduction of nitroaromatic compounds. Sci. Rep. 5: 13515.
Unal IS, Demirbas A, Onal I, Ildiz N, Ocsoy I. 2020. One step preparation of stable gold nanoparticle using red cabbage extracts under UV light and its catalytic activity. J. Photochem. Photobiol. B, Biol. 204: 111800.
Vaali-Mohammed M-A, Al-Lohedan HA, Appaturi JN. 2017. Synthesis and bio-physical characterization of Silver nanoparticle and Ag-mesoporous MnO2 nanocomposite for anti-microbial and anti-cancer activity. J. Mol. Liq. 243: 348-357.
Vijayabharathi R, Sathya A, Gopalakrishnan S. 2018. Extracellular biosynthesis of silver nanoparticles using Streptomyces griseoplanus SAI-25 and its antifungal activity against Macrophomina phaseolina, the charcoal rot pathogen of sorghum. Biocatal. Agric. Biotechnol. 14: 166-171.

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2024-11-21]

Waghmare SS, Deshmukh AM, Sadowski Z. 2014. Biosynthesis, optimization, purification and characterization of gold nanoparticles. Afr. J. Microbiol. Res. 8: 138-146.
Wang C, Kim YJ, Singh P, Mathiyalagan R, Jin Y, Yang DC. 2016. Green synthesis of silver nanoparticles by Bacillus methylotrophicus, and their antimicrobial activity. Artif. Cells Nanomed. Biotechnol. 44: 1132-1127.
Yang Z, Li Z, Lu X, He F, Zhu X, Ma Y, Gao F, Ni W, Yi Y. 2017. Controllable biosynthesis and properties of gold nanoplates using yeast extract. Nanomicro. Lett. 9: 1-13.
Yeo SY, Lee HJ, Jeong SH. 2003. Preparation of nanocomposite fibers for permanent antibacterial effect. J. Mater. Sci. 38: 2143-2147.

Gold and Silver Nanoparticles: Green Synthesis, Characterization and Applications in Biotechnology

Amirhossein Ghasemalipour[1] and Forough Ghasemi[*2]

1- Student of Biotechnology, Faculty of Biological Sciences, Kharazmi University, Tehran, Iran.
2- Assistant Professor, Department of Nanotechnology, Agricultural Biotechnology Research Institute of Iran (ABRII), Agricultural Research, Education, and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran.

forough.ghasemi@abrii.ac.ir

Abstract

Gold and silver nanoparticles are utilized in various industrial applications because of their unique properties. Physical, chemical, and green methods exist to synthesize these plasmonic nanoparticles. In green synthesis, biocompatible compounds, plants or their extracts, and microorganisms such as yeast, bacteria, actinobacteria, fungi, and algae are used to synthesize gold and silver nanoparticles. These biological sources have biomolecules that produce plasmonic gold and silver nanoparticles by reducing gold and silver ions. Green synthesis is easy, secure, high-yield, economically sensible, and eco-friendly. The synthesized nanoparticles should be characterized to determine their physiochemical properties (size, shape, surface, homogeneity, stability, and other properties). There are various techniques for the characterization of plasmonic nanoparticles, such as transmission electron microscopy, ultraviolet-visible spectroscopy, Fourier transform infrared, dynamic light scattering, and zeta potential. Gold and silver nanoparticles have diverse applications including antimicrobial and antitumor activities, usage in textile, food, and agriculture industries, wastewater treatment, and bioremediation. This review paper aims to introduce gold and silver nanoparticles and their synthesis approaches with an emphasis on green synthesis, explain different characterization techniques, and express the applications of these nanoparticles in biotechnology.

Keywords: Biotechnology, Characterization, Gold and Silver Nanoparticles, Green Synthesis.

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2024-11-21]