مجله ایمنی زیستی

دوره پنجم، شماره دوم، زمستان ۹۱

نانونقره: ویژگی‌ها، کاربردها و ایمنی زیستی

ابراهیم کریمی[۱*]، اکرم صادقی[۱] و محمدامین مخدومی[۲]

۱.بخش بیوتکنولوژی میکروبی و ایمنی زیستی، **پژوهشکده بیوتکنولوژی کشاورزی ایران- سازمان تحقیقات ، آموزش و ترویج کشاورزی- کرج- ایران**

۲.مربی گروه کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه پیام نور، البرز

ekarimi@abrii.ac.ir

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2025-08-23]

[DOR: 20.1001.1.27170632.1391.5.2.1.7]

چکیده

با رسیدن اندازه ذرات ماده به سطح نانو، ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی جدیدی در آن ظاهر می‌شود. این امر سبب جذابیت نانومواد در عرصه‌های مختلف شده است. نانوذرات نقره یکی از انواع نانومواد است که در مهندسی نوین مورد توجه است. بنابراین شمار مقاله‌ها و پروژه‌های علمی در زمینه خواص و کاربرد آن روز به روز در حال افزایش است. نانونقره در صنعت، پزشکی، کشاورزی و سایر بخش‌ها کاربردهای فراوانی پیدا نموده است. علیرغم کاربردهای گوناگون این نانو ماده، بررسی‌های اندکی در زمینه اثرهای سمی آن بر روی محیط زیست، انسان و جانوران در دسترس است. حوزه‌های بی‌شمار نفوذ نانونقره در دنیای امروز نشان دهنده اهمیت جنبه‌های مثبت حضور آن در زندگی روزمره است. مطالعه ایمنی و آگاهی از سمیت این مواد برای حفظ محیط زیست و سلامت جامعه ضروری است و زمینه تدوین قوانین الزام‌آور برای شرکت‌های تولید کننده، توزیع‌کننده و مصرف‌کنندگان را فراهم می‌نماید. در نظر گرفتن جنبه‌های زیست محیطی و استانداردهای مصرف نانونقره در هر یک از حوزه‌ها، زیان‌های مربوط به جنبه‌های منفی را به حداقل می‌رساند. در این بررسی تلاش شده تا ضمن تشریح زوایای مثبت و سودمند ذرات نانونقره جهت بهره‌برداری هرچه بیشتر از آن با نگاهی جدی به موضوع ایمنی و جنبه‌های منفی احتمالی این فرآورده نوین پرداخته شود.

واژه‌های کلیدی: نانونقره، کاربرد، ایمنی زیستی.

مقدمه

در جهان امروز فن‌آوری نانو در زمینه‌های گوناگون به سرعت در حال رشد بوده و روز به روز محصول‌های جدیدی در مقیاس نانو به بازار معرفی می‌شود. درحال‌حاضر دو گروه اصلی از تولیدهای فن‌آوری نانو وجوددارد: نانومواد تثبیت شده بر روی بستره و نانوذرات آزاد. دراین میان نانونقره و نانولوله‌های کربنی بیشترین کاربرد را به نام خود ثبت نموده‌اند. این کاربرد بالای نانومواد به سبب ویژگی‌های خاص آنها است. چراکه رفتار ساختارها در محدوده $۱۰^{-۹}$ تا $۱۰^{-۷}$ در مقایسه با مواد حجیم (Bulk) بسیار متفاوت است. خصوصیت‌های جدید به‌وجودآمده در مقیاس نانو توانسته است پتانسیل‌های وسیع‌الطیف کاربرد نانوفن‌آوری را درعرصه‌های گوناگون بشری ایجاد نماید (۲۶، ۳۰ و ۳۸).

نانو ذرات نقره یکی از معروف‌ترین و پرکاربردترین محصول‌های نانو فن‌آوری به شمار می‌رود. تخمین زده می‌شود هر سال نزدیک به ۳۲۰ تن نانونقره در جهان مورد استفاده قرار می‌گیرد (۳۱). ذره‌های نانونقره دارای ویژگی‌های برجسته‌ای چون هدایت بالای الکتریکی و گرمایی، پایداری شیمیایی، فعالیت کاتالیتیکی و رفتار نوری غیرخطی است. این ویژگی‌ها باعث اهمیت نانونقره در تصویر برداری پزشکی، تولید جوهرها و میکروالکترونیک‌ها می‌شود. علاوه بر این، ویژگی ضد میکروبی آن نیز باعث ورود این محصول در بخش بهداشت مانند تولید صابون‌ها، خمیردندان‌ها، لوازم آرایشی و سایر بخش‌ها چون تولید منسوجات، انواع پلاستیک، صنایع غذایی و ... گردیده است. به دلیل کاربرد وسیع نانوذرات نقره جامعه تحقیقاتی و صنعتی توجه ویژه‌ای را مصروف آن نموده‌اند. آمارها نشان دهنده رشد فزاینده تولید مقالات علمی در این خصوص هستند. تعداد مقالات علمی منتشر شده در این زمینه از ۲۴۷ مقاله در سال ۲۰۰۱ به ۳۶۰۳ مقاله در سال ۲۰۱۱ رسیده است. در مورد کشورهای تولید کننده مقاله علمی با موضوع نانونقره کشور چین با ۴۴۳۴ مقاله (۲۳/۶ درصد) و آمریکا با ۳۸۰۹ مقاله (۲۰/۷ درصد) به‌ترتیب نخستین و دومین کشور از میان ۹۶ کشور تولید کننده مقاله علمی در زمینه نانونقره بوده و از نظر زمینه‌های تحقیقاتی، حوزه شیمی با ۵۵ درصد و علم مواد با ۴۰/۴ درصد، دو حوزه برتر در موضوع نانونقره هستند (۳۸). با وجود کاربرد بسیار نانونقره در زمینه‌های گوناگون هنوز بررسی‌های اندکی در زمینه برهمکنش آن با موجودات زنده و همچنین فلور میکروبی موجود در محیط زیست به انجام

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2025-08-23]

[DOR: 20.1001.1.27170632.1391.5.2.1.7]

رسیده است. شتاب ورود و رخنه محصولات فن-آوری نانو در وجوه گوناگون زندگی انسان و محیط زیست بسیار بالاتر از ارزیابی‌های مبتنی بر ایمنی زیستی آنها بوده و خلاء موجود در این زمینه می-تواند اثرهای ناشناخته پایدار بر تنوع زیستی داشته باشد. در این بررسی تلاش شده است تا با توجه به گستره بالای بهره‌برداری صورت گرفته از نانونقره به تشریح زوایای مثبت و سودمند نانوذرات نقره و بهره‌برداری هرچه بیشتر از آن پرداخته شود. همچنین با نگاهی جدی به موضوع ایمنی و جنبه‌های خطر احتمالی این تولید نوین پرداخته شده است. با توجه به پژوهش‌های اندک در این زمینه نیاز به پرداخت بیشتر به این حوزه از نانومواد ضرورت زیادی دارد.

۲. اثرات ضد میکروبی

ویژگی ضد میکروبی نقره داستانی معاصر نیست بلکه دارای سابقه‌ای طولانی با بیش از ۶۰۰۰ سال قدمت به عنوان داروی درمانی است. بقراط به ویژگی درمانی و خواص ضد بیماری نقره معتقد بود و برای بهبود زخم‌ها از آن استفاده می‌کرد. مصری‌ها مومیایی‌های خود را برای حفاظت بیشتر با لعاب نقره‌ای اندود می‌کردند. همچنین در جنگ‌ها جهت ترمیم زخم‌های سربازان روی زخم سکه‌ای از جنس نقره قرار می‌دادند و سپس محل زخم را می‌بستند. در گذشته برای نگهداری مواد غذایی از ظروف نقره‌ای استفاده می‌شد. بهره گیری از نقره در مدیریت زخم‌ها را تا قرن ۱۸ میلادی می‌توان ردگیری نمود که در آن از نیترات نقره استفاده می-شد. البته با معرفی پنیسیلین در دهه ۱۹۴۰، آنتی‌بیوتیک‌ها به عنوان تیماری استاندارد برای زخم‌ها و آلودگی‌های باکتریایی جایگزین تیمارهای نقره شدند و کم کم کاربرد ترکیبات نقره از رونق افتاد (۲۹).

۲-۱. اثرات ضد باکتریایی

نانونقره گستره بالایی از باکتری‌های گرم منفی و گرم مثبت را تحت تأثیر خود قرار می‌دهد. نتایج پژوهش سندی و سالوپک-سندی (۳۵) نشان داد که ویژگی بازداری از رشد نانونقره در برابر باکتری وابسته به میزان غلظت نانوذرات نقره و همچنین غلظت اولیه باکتری‌های کشت شده داشت. کیم و همکاران (۲۳) از هر دو گروه باکتریایی گرم منفی (*Escherichia coli*) و گرم مثبت (*Staphylococcus aureus*) برای تحقیق اثرات ضد باکتریایی نانونقره استفاده کردند. آن‌ها در این بررسی دریافتند که تأثیرپذیری باکتری‌های گرم منفی بیشتر از باکتری‌های گرم مثبت است. برخی پژوهش‌ها نشان می‌دهد که شکل نانوذرات نیز با میزان بازداری از رشد ارتباط دارد به طوری که

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2025-08-23]

[DOR: 20.1001.1.27170632.1391.5.2.1.7]

اشکال سه گوش و مثلثی در مقایسه با اشکال میله‌ای و کروی و همچنین فرم یونی نقره به مراتب کشنده‌تر هستند (۳۸).

۲-۲. اثرات ضد قارچی

فعالیت ضد قارچی نانوذرات نقره در برابر قارچ *Candida albanicans* به واسطه در هم گسیختن ساختار غشای سلولی و بازداری از فرآیند طبیعی جوانه‌زنی به‌دلیل تخریب یکنواختی غشا تشریح شده است (۲۴). به طور کلی ویژگی ضد قارچی نانوذرات نقره ویژگی تأیید شده آن به شمار می‌رود و می‌تواند ما را در تولید ابزارها و مواد پر کاربرد در صنعت، کشاورزی، پزشکی و ... با ویژگی ضد قارچی مورد نیاز کمک نماید.

۲-۳. اثرات ضد ویروسی

نخستین گزارش در این زمینه در سال ۲۰۰۵ ارائه شد. در این تحقیق ضدیت نانوذرات نقره با ویروس HIV-1 بررسی شده بود. نتایج این بررسی نشان داد که این برهمکنش تحت تأثیر اندازه نانوذرات (به‌طور منحصر در گستره ۱ تا ۱۰ نانومتر)است. نانوذرات نقره با اتصال به بخش‌های نمایان گوگردی قسمت gp120 گره‌های گلیکوپروتئینی، ویروس را تحت تأثیر خود قرار می‌دهند و از اتصال ویروس به سلول‌های میزبان بازداری می‌نماید. گزارش مشابهی از ضدیت نانوذرات نقره با HIV نیز وجود دارد که این سازوکار در مراحل اولیه همانند سازی ویروس اعمال شده بود. علاوه بر این نانوذرات نقره مراحل پس از ورود را نیز در چرخه زندگی ویروس HIV-1 تحت تأثیر قرار می‌دهند. در گزارش دیگری به بازدارندگی کارآمد نانونقره در برابر ویروس influenza A/H_1N_1 پرداخته شده است. به‌طور خلاصه اینگونه پیشنهاد شده که این ذرات به پروتئین‌های خارجی ذرات ویروسی می‌چسبند و بدین ترتیب از اتصال آن‌ها به سلول‌های کشت شده و همچنین از همانندسازی ذرات ویروسی جلوگیری به عمل می‌آورند (۳۸).

۳. کاربردهای نانوذرات نقره

۳-۱. پاک‌سازی هوا

زیست ریزگردها ذرات هوازاد با خاستگاه بیولوژیکی (شامل باکتری‌ها، ویروس‌ها و قارچ‌ها) هستند که می‌توانند باعث ایجاد آلودگی، آلرژی و یا سمیت شوند. این زیست ریزگردها به‌ویژه در فیلترهای تجهیزات خانگی مانند سیستم‌های تهویه مطبوع به میزان زیادی انباشته می‌شوند. گذشته از این موضوع، مواد آلی و غیر آلی نشست نموده در جریان استفاده از فیلترها نیز به رشد میکروبی‌ها کمک می‌کنند. جهت کاهش خطر ایجاد حساسیت‌ها و آلودگی‌ها استفاده از نانوذرات نقره در ساختار فیلترها پیشنهاد و توسعه یافته است. اثر

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2025-08-23]

[DOR: 20.1001.1.27170632.1391.5.2.1.7]

ضد میکروبی نانونقره روی آلودگی باکتریایی فیلترهای کربن فعال (Activated Carbon Filters: ACF) مطالعه شده است (۴۰). نتایج نشان دهنده برتری فیلترهای Ag-ACF در حذف زیست ریزگردها بود. تجزیه و تحلیل فعالیت ضد باکتریایی این نوع فیلتر نشان داد که باکتری‌های *Bacillus subtilis* و *E. coli* به ترتیب در طی ۱۰ و ۶۰ دقیقه بازداشته شدند. همچنین مشخص شد که ترکیب نانوذرات نقره با ساختار فیلتر، بر روی ویژگی‌های فیزیکی فیلتر مانند کارآیی فیلتراسیون بی‌تأثیر بود در حالی‌که از درجه تأثیر مکش کاسته شده بود. پژوهشگران بهینه سازی میزان نانوذرات نقره در ترکیب با این نوع فیلترها را جهت جلوگیری از کاهش درجه تأثیر مکش پیشنهاد نمودند.

۳-۲. گندزدایی آب

پژوهش ظرفیت گندزدایی محصولات نانونقره نشان می‌دهد که محلول گندزدا با غلظت ۱۰ پی پی ام قادر است از رشد باکتری‌های coliform به طور کامل جلوگیری کند (۱۷). البته استفاده مستقیم از نانوذرات نقره مشکلات خاص خود مانند عدم انتشار مناسب به دلیل تجمع و کلوخه شدن، عدم پایداری و ابقا ذرات در محیط و عدم ماندگاری خاصیت ضد میکروبی را نیز به همراه دارد. این موارد سبب شده تا مزیت استفاده از این مواد به چالش کشیده شود. یکی از روش‌های مناسب در این زمینه ترکیب نانوذرات با پلیمر و تهیه کامپوزیت پلیمری است. استفاده از نانوذرات در پلیمرها علاوه بر هموار نمودن مشکلات یاد شده باعث بهبود ویژگی‌های پلیمر نیز می شود. پژوهش‌ها نشان می‌دهد که استفاده از نانوذرات نقره کپسوله شده در تهیه ظروف حاوی آب آشامیدنی دارای مزایای زیادی نسبت به نانوکامپوزیت‌های تهیه شده از نانوذرات نقره خالص هستند (۱۳).

۳-۳. کاربرد نانونقره در پزشکی

۳-۳-۱. کاربردهای عمومی

در چند دهه اخیر ترکیب‌های نقره با ویژگی ضد باکتریایی قوی خود کاربرد گسترده‌ای به عنوان ضدعفونی کننده در پزشکی داشته‌اند. برای نمونه می‌توان به استفاده از مشتقات نقره در محصول‌های بهداشتی مختلف برای رفع بوی بد پا و بدن براساس جلوگیری از رشد میکروب‌ها و یا کاربرد ترکیب‌های سولفید نقره به‌عنوان آنتی‌بیوتیک چشمی در نوزادان و یا کنترل عامل سوزاک به کمک ترکیبات نقره اشاره نمود (۷). در سال ۱۸۸۴ پزشکان متخصص آلمانی محلول چشمی یک درصد نیترات نقره را برای جلوگیری از بیماری چشمی نوزادان با عامل *Neisseria gonorrhoeae* معرفی نمودند که گفته

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2025-08-23]

[DOR: 20.1001.1.27170632.1391.5.2.1.7]

می‌شود اولین مقاله علمی مستند برای کاربردهای پزشکی نقره است.

۳-۳-۲. کمک به شکستن مقاومت‌های میکروبی به آنتی‌بیوتیک‌ها

توسعه مقاومت جدید باکتری‌ها به آنتی‌بیوتیک‌ها یک مشکل اساسی در حوزه سلامت است. از آنجایی که تجویز آنتی‌بیوتیک‌ها برای کنترل و درمان بیماری‌های عفونی در بخش‌های مختلف بیمارستان‌ها از مهمترین اقدامات محسوب می‌شود، مقاومت باکتریایی نسبت به این داروها، فواید بالینی این داروها را به خطر می‌اندازد.

در باسیل‌های گرم منفی، مهمترین وسیله‌ی مقاومت باکتری در برابر آنتی‌بیوتیک‌های بتالاکتام؛ تولید و آزادسازی انواع آنزیم‌های بتا لاکتاماز است.تاکنون بیش از ۳۴۰ نوع آنزیم بتا لاکتاماز شناسایی شده است. این آنزیم‌ها به وسیله ژن‌های مستقر بر روی کروموزوم، پلاسمید و ترانسپوزون باکتریایی حمل می‌گردند. بسیاری از این آنزیم‌ها قادرند سفالوسپورین‌های نسل سوم که خود مقاوم به بتالاکتامازهای اولیه هستند را نیز تجزیه و غیر فعال نمایند. به همین دلیل به این آنزیم‌ها بتالاکتاماز با طیف گسترده (Expanded Spectrum B Lactamase) می‌گویند. در واقع میکروارگانیسم‌های ESBL قادرند با تولید آنزیم مربوطه، سفالوسپورین‌های نسل سوم و چهارم مانند سفتازیدیم، سفوتاکسیم، سفپیم و نیز آزترونام را هیدرولیز نمایند. با توجه به اینکه پیدایش میکروارگانیسم‌های مقاوم دارای ESBL در دنیای کنونی رو به افزایش است، تقاضای فراوانی برای بهبود روش‌های از بین بردن این باکتری‌ها وجود دارد. در حال حاضر کارباپنم‌ها به عنوان آنتی‌بیوتیک انتخابی برای درمان عفونت‌های ناشی از موجودات زنده مولد ESBL مورد توجه است. از آنجا که ویژگی‌ها و خواص ضد میکروبی نقره در زمان‌های گذشته شناخته شده و به‌طور وسیع به‌عنوان یک عامل ضد باکتریایی در کاترها، بانداژ سوختگی‌ها و کارهای دندانپزشکی مورد استفاده قرار می‌گیرد، امکان بهره‌گیری از آن در کنترل عفونت با باکتری‌های مقاوم بسیار مورد توجه است (۵).

۳-۴. کاربرد نانونقره در کشاورزی

تحقیقاتی در زمینه بکارگیری نانوسیلور در کنترل باکتری عامل آتشک گلابی و قارچ فوزاریوم عامل پوسیدگی خوشه و طوقه ذرت و برنج وجود دارد که پتانسیل بکارگیری نانوسیلور را به عنوان آفتکش مطرح می‌سازد. (۴، ۱۱ و ۱۲). استفاده از این ویژگی نانوذرات نقره در ضدعفونی مرغداری‌ها نیز مشاهده شده است. در این زمینه برخی شرکت‌های داخلی و خارجی نیز محصولاتی را عرضه نموده‌اند.

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2025-08-23]

[DOR: 20.1001.1.27170632.1391.5.2.1.7]

هر چند تا کنون در زمینه میزان به‌کارگیری نانوذرات نقره از سوی مراجع ذیصلاح و رسمی آماری ارائه نشده است.

نتایج پژوهش بر روی اثر نانوذرات نقره بر عملکرد دانه و ویژگی‌های زراعی گندم مشخص کرد که استفاده از آن باعث افزایش معنی‌دار عملکرد گندم شد. در این بررسی نشان داده شد که افزایش غلظت نانونقره در این زمینه بی‌تأثیر بود و فقط در غلظت پایین می‌تواند تأثیر مثبت داشته باشد. در بررسی دیگری نشان داده شد که تیمار نانوذرات نقره (۵۰ پی‌پی‌ام) موجب افزایش درصد جوانه‌زنی، طول ساقه‌چه و ریشه‌چه و در نهایت بهبود استقرار گندم شد (۱۰).

۳-۵. کاربرد نانونقره در بسته‌بندی غذایی

در حال حاضر پلاستیک‌های پلی‌مری کاربرد وسیعی در صنایع غذایی دارند. با ظهور فناوری نانو و تولید نانوکامپوزیت‌های ضد باکتریایی، استفاده از آن در تولید بسته‌های جدید بیش از سایر پوشش‌ها مورد توجه قرار گرفت. برخی از این بسته بندی‌ها علاوه بر خاصیت ضد میکروبی از شفافیت بیشتر و تیرگی کمتر، استحکام بالا و مقاومت در برابر حرارت و نفوذ اکسیژن، رطوبت و مواد فرار نیز برخوردارند. در این زمینه انواع مختلف نانومواد مانند مس، روی، تیتانیوم، منیزیم، طلا و نقره مطرح شده است. هر چند نانوذرات نقره بیشترین اثر ضد میکروبی را نشان داده‌اند (۱۴).

۴. ایمنی زیستی نانونقره

در عرصه پژوهش‌های ایمنی زیستی، موضوعات گوناگونی در ارزیابی مواد و تولیدهای وارده به بازار مصرف مد نظر دانشمندان قرار می‌گیرد. موضوع‌های مورد ارزیابی در این زمینه بسته به نوع ماده یا محصول ورودی می‌تواند جنبه‌های مشابه و یا متفاوتی داشته باشد. برای نمونه در زمینه گیاهان تراریخته بحث ارزیابی انتقال افقی ژن، ایجاد مقاومت آنتی‌بیوتیکی، حساسیت‌زایی و پژوهش‌های متاژنومیکسی دارای اهمیت ویژه هستند (۸). در زمینه نانونقره با توجه به‌ویژگی کشندگی بالای این ذرات علیه میکروارگانیسم‌ها، ارزیابی تنوع زیستی (با استفاده از تکنیک‌های میکروبیولوژیکی و متاژنومیکسی) در سیستم‌های طبیعی مهمی چون خاک و آب اهمیت بالایی دارد. البته ارزیابی تأثیرهای آن در برهمکنش با سلول‌ها و بافت‌های سامانه‌های جانوری نیز در محصولاتی که با این سامانه‌ها درگیر هستند اهمیت خود را دارد.

همانطور که پیشتر گفته شد نزدیک به ۳۲۰ تن نانونقره در جهان تولید و مورد استفاده قرار می‌گیرد (۳۱). همچنین بر اساس گزارشی در سال ۲۰۱۵ نزدیک به ۱۱۲۰ تن نانوذرات نقره مصرف خواهد

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2025-08-23]

[DOR: 20.1001.1.27170632.1391.5.2.1.7]

شد. بر اساس همین گزارش تعداد محصول‌های حاوی نانوذرات نقره از ۳۰ عدد در سال ۲۰۰۶ به بیش از ۳۰۰ عدد تا ابتدای ۲۰۱۱ افزایش یافته است (۳۶). رشد سرمایه گذاری در زمینه دانش نانو به شکل مبهوت کننده‌ای در آمده است. از ۱۲/۴ میلیارد دلار سرمایه صرف شده بر روی دانش نانو در سال ۲۰۰۶ نزدیک به ۵۰ درصد آن یعنی بیش از ۶ میلیارد دلار بر روی اثر سایز بر توسعه نانومواد‌ها و ابزارها صرف شده است (۲۷). کاربردهای فناوری نانو به‌ویژه نانونقره در علوم گوناگون گسترشی روز افزون دارد. بنابراین ضرورت دارد که اثرات افزایش بیش از حد تولید و استفاده از نانومواد بر سلامت عمومی و محیط زیست به دقت مورد توجه قرار گیرد (۱۵ و ۲۵). این پندار واندیشه که نقره برای انسان بی‌خطر بوده یا اثرهای آن بر روی سلامتی، به‌طور نسبی ملایم و اندک است نمی‌تواند نهادینه شود مگر اینکه بررسی‌ها و پژوهش‌های علمی این موضوع را تأیید نمایند. به‌طور اصولی بررسی ایمنی تولیدات جدید و ورود آن‌ها به زندگی بشر و در ادامه‌ی آن محیط زیست جزء ضروریات بوده و سبب اطمینان‌خاطر تولیدکنندگان و مصرف‌کنندگان از یک سوی و همچنین جلوگیری از آسیب ناخواسته به محیط زیست از سوی دیگر می شود (۸).

در حال حاضر هیچ قانونی برای حفظ سلامتی مصرف‌کنندگان و همچنین حفاظت از محیط زیست در برابر تولید و کاربرد نانونقره وجود ندارد. همچنین در زمینه قانون‌گذاری برای ایمنی استفاده از مواد شیمیایی، در هنگام ثبت یک ماده هیچ گزینه‌ای برای اندازه ذرات مدنظر قرار نمی‌گیرد. با توجه به اینکه شرکت‌های گوناگونی در سرتاسر دنیا در حال تولید انواع محصول‌های حاوی نانونقره هستند؛ لازم است تا نظارت‌های دقیقی بر تولیدهای آن‌ها در راستای تأمین ایمنی و سلامت مصرف کنندگان صورت پذیرد که این امر شدنی نخواهد بود مگر اینکه بخشی از تحقیقات به این سمت شیب پیدا کنند. این موضوع برای شرکت‌های تولید کننده محصولات با فن‌آوری نانو نیز سودمند است و جنبه رقابتی آن‌ها را در فضای بازار سرمایه تضمین خواهد نمود.

۴-۱. تأثیرات نانونقره بر سیستم‌های خاکی

به دلیل تعدد مکانیسم‌های ضد میکروبی نانونقره میکروارگانیسم‌ها نمی‌توانند نسبت به نقره سازگار شوند و یا مقاومت پیدا کنند. این مسئله می‌تواند در کنار مزیت یاد شده (عدم ایجاد مقاومت به نانوسیلور در دنیای پزشکی)، زنگ خطری برای ورود ذرات نانوسیلور به محیط زیست نیز باشد.

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2025-08-23]

[DOR: 20.1001.1.27170632.1391.5.2.1.7]

چرا که طبیعت به‌ویژه محیط‌های خاکی سرشار از فلور میکروبی دارای عملکرد هستند. این میکروب‌ها در شبکه پیچیده غذایی دارای اثرهای مستقیم و غیرمستقیم گوناگونی هستند. برای نمونه گیاهان زراعی گوناگون کشت شده در خاک‌های زراعی به‌میزان زیادی تحت تأثیر فلورهای میکروبی تثبیت کننده ازت، حل کننده‌های فسفات‌های معدنی، حل کننده‌های پتاسیم، تولیدکننده سیدروفور، تولیدکننده‌های محرک رشد گیاهی و غیره قرار می‌گیرند (۱، ۱۹ و ۳۴).

با توجه به اینکه میکروب‌های موجود در خاک چه از نظر فعالیت در زیست‌بوم خاک و چه از نظر توده‌ی زیستی، موجودات غالب خاک بوده و نقش برجسته‌ای در بیولوژی خاک دارند تأثیر نانونقره بر روی این میکروب‌ها به نوبه‌ی خود در خور توجه است (۸). نانونقره می‌تواند برای میکروب‌های خاک مانند باکتری‌های هتروتروف و شیمولیتوتروف سمیت داشته باشند. باکتری‌های شیمولیتوتروف مواد غیرآلی خاک را مصرف کرده و مواد غذایی حساس و مهمی‌را آزاد می کنند. این باکتری‌ها همچنین در تشکیل خاک نیز ضروری هستند. آسیب به باکتری‌هایی که در فرآیند دنیتریفیکاسیون نقش دارند گسست برگشت ناپذیری را بر سر این فرآیند طبیعی وارد خواهد آورد. این باکتری‌ها نیترات اضافی را به نیتروژن تبدیل نموده و با این کار نیترات تجمع یافته در محیط کاسته می‌شود. اما با تخریب این فرآیند و حضور نیترات مازاد، میزان تولید در محصولات کشاورزی کاهش یافته و همچنین زیست‌بوم رودخانه‌ها و دریاچه‌ها دچار خسارت می‌شوند. از طرف دیگر نیترات اضافی در آب نوشیدنی نیز ظاهر می‌شود (۳۷).

همچنین ورود ذرات نانونقره به محیط‌های خاکی می‌تواند برخی از عوامل بیوکنترلی را نیز تحت تأثیر قراردهد. برخی از باکتری‌ها در فرآیند کنترل بیولوژیکی بیمارگرهای مهم گیاهی مؤثر هستند و سبب می‌شوند تا میزان مصرف سموم کشاورزی کاسته شود. در حقیقت این نوع از باکتری‌ها دشمنان طبیعی بیمارگرها به شمار می‌روند. مزیت‌های استفاده از این باکتری‌ها بویژه انواع بومی آن در مدیریت بیمارگرهای زراعی و افزایش رشد گیاهان پژوهش و گزارش شده است (۲، ۲۲، ۳۳ و ۳۴). ورود مقادیر بالای نانونقره (دوزهای سمی) به محیط‌های خاکی، جمعیت مؤثر میکروارگانیسم‌های بیوکنترل و محرک رشد گیاه در طبیعت را کاسته و سبب فقر میکروبی خاک‌ها می‌شود.

تأثیر ضدمیکروبی نانونقره یک تأثیر انتخابی نبوده و به‌صورت گسترده عمل می‌نماید. به بیان ساده‌تر

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2025-08-23]

[DOR: 20.1001.1.27170632.1391.5.2.1.7]

فلور میکروبی اعم از باکتری‌های مفید و یا غیر مفید به طور همزمان تحت تأثیر نانونقره قرار می-گیرد. هر چند تاثیر حذف فلورمیکروبی مفید موجود در خاک بسیار معنی‌دار خواهد بود. بنابراین لازم است در این زمینه استانداردهای مصرف دوزهای بهینه توسط مراجع علمی تدوین شود تا از ورود بی رویه نانونقره به محیط‌های خاکی جلوگیری شود.

۴-۲. تأثیرات نانونقره بر سیستم‌های آبی

نقره می‌تواند از کانال‌های گوناگون صنعتی، خانگی و کشاورزی در آب (رودخانه‌ها و سفره‌های زیرزمینی) تجمع پیدا کند. نمونه‌های مستند موجود در این زمینه بازگو کننده ارتباط بین آسیب‌های اکولوژیک و آلودگی محیطی به نقره هستند. یکی از خطراتی که در مورد تجمع نانونقره در محیط‌های آبی مطرح است تأثیرات منفی آن بر روی ماهیان است. برخی پژوهش‌ها نشان دهنده تأثیرات منفی نانوذرات نقره بر روی جنین‌های ماهی مدل آزمایشگاهی (*Danio rerio*) است. این موضوع زنگ خطر تجمع نانوذرات نقره در محیط‌های آبی و تاثیر آن بر روی سایر ماهی‌ها را به صدا در آورده است. پژوهش‌های انجام شده بر روی سایر ماهی‌ها نشان داد که تأثیر نانونقره بر روی ماهی‌های مختلف متفات است (۹). در هر صورت بررسی‌هایی از این دست، حساسیت محیط‌های آبی به این نانو ماده را نشان می‌دهد و ما را از کاربردهای غیر علمیو غیر استاندارد نانونقره در سایر عرصه‌ها باز می‌دارد.

اهمیت تنوع زیستی فلور میکروبی سیستم‌های آبی و نقش برجسته آن‌ها در چرخه‌های غذایی و همچنین سامانه‌های تجزیه مواد بر هیچکس پوشیده نیست. تجمع بیش از اندازه نانونقره در این سیستم-ها می‌تواند بر این چرخه‌های زیستی تأثیرگذار باشد. اگر چه تأثیرات منفی ناشی از ورود مقادیر زیادی نانونقره در اثر مصرف کنترل نشده بر سیستم‌های آبی طبیعی (و نه مصرفی)، جبران ناپذیر است. اما جنبه مثبت این موضوع در زمینه تصفیه آب و فاضلاب با در نظر گرفتن استانداردهای مصرف، می‌تواند منشا اثرهای مثبت باشد. همانطور که بالاتر اشاره شد این تنوع زیستی به نوعی قلب تپنده سیستم‌های آبی به شمار می‌رود و تخریب این قلب موجب نابودی سایر اجزای هرم زیستی سیستم‌های آبی خواهد شد.

۴-۳. تأثیرات نانونقره در سیستم‌های جانوری

علم سم شناسی نانومواد نقش بسیار مهمی در توسعه و گسترش نانو فناوری پایدار و ایمن خواهد داشت. هم اکنون اطلاعات کمی در ارتباط با اثر سم شناسی زیست محیطی و اثر سم شناسی انسانی

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2025-08-23]

[DOR: 20.1001.1.27170632.1391.5.2.1.7]

نانومواد در دسترس است. با توجه به ویژگی‌های فیزیکی-شیمیایی نانومواد، پیش بینی می‌شود که این مواد با اجزای زیستی برهم کنش داشته باشند و اثرهای زیادی بر رفتار و خصوصیات ماکرومولکول‌ها، سلول و بدن موجود زنده به جای بگذارند (۳۹).

بیشتر بررسی‌های پزشکی در مورد اثر نانوذرات بر روی سلول‌ها و بافت‌های بدن نشان می‌دهند که نانوذرات می‌توانند از راه‌های تنفسی وارد اعضای بدن انسان شوند. با این وجود مشخص نیست که آیا نانوذرات، توانایی عبور از موانع بیولوژیکی را دارند؟ و آیا میتوانند به دیگر مناطق بدن برسند؟ (۳۲). این در حالی است که نشانه‌های تأیید نشده‌ای درباره انتقال نانوذرات به جریان خون وجود دارد. این فرآیند با رسیدن نانوذرات به دستگاه تنفس و ریه‌ها صورت می‌گیرد. ورود نانوذرات به اندام‌های اصلی از جمله کبد، کلیه، شش، طحال، گره‌های لنفاوی و مغز استخوان در موش‌ها گزارش شده است (۶). برخی بررسی‌های انجام شده در زمینه پژوهش‌های پزشکی نیز نشان داده که ذرات نانوسیلور می‌توانند برای یاخته‌های زنده پستانداران (۲۰)، یاخته‌های بنیادی (۱۶) و حتی یاخته‌های مغز (۲۱) سمیت داشته باشد. با توجه به کاربرد زیاد نانوذرات نقره به علت خاصیت ضد باکتریایی وسیع آن، بررسی زیست سازگاری نانوذرات نقره بر روی سیستم‌های بیولوژی ضروری به نظر می‌رسد.

در محلول‌های نانونقره، شکل ذره‌ای یا فلزی نقره نسبت به شکل یونی بیشتر است. نقره یونیزه در معده و خون به شکل کلرید نقره کم محلول در می-آید که اثرگذاری بسیار کمی دارد، درحالی که نقره فلزی به اسید معده مقاوم بوده و درون بدن به صورت فعال باقی می‌ماند. تنها پنج تا ده درصد یون‌های نقره در معده و خون فعالیت خود را حفظ می‌کنند. از طرفی نقره در کبد متابولیزه نشده و از کلیه‌ها دفع نمی‌شود، از این روی پیش بینی می‌شود در اثر مصرف زیاد در بدن تجمع یابد. روشنائی و همکاران (۷) اثر نانونقره بر عوامل خونی، هورمونی و ادراری موش‌های صحرایی نژاد ویستار را بررسی کردند. آن‌ها با جایگزینی محلول نانونقره به جای آب اثر دوزهای مختلف نانونقره را بر شاخص‌های اشاره شده مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج این پژوهش کاهش تعداد گلبول‌های سفید خون از طریق آپوپتوز سلولی از مسیرهای مختلف و کاهش سطح ایمنی حیوانات را نشان داد. از طرفی، عدم تغییر پارامترهای شاخص عملکرد مغز استخوان بیانگر عدم تأثیر تخریبی این ذرات بر عملکرد مغز قرمز استخوان است. کم‌کاری غدد آدرنال و تیروئید و پرکاری غده جنسی مردانه نیز از عوارض مصرف

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2025-08-23]

[DOR: 20.1001.1.27170632.1391.5.2.1.7]

این ذرات است. همچنین افزایش حجم ادرار به علت افزایش فشار اسمزی خون و یا آسیب به کلیه‌ها از دیگر عوارض حاصله است.

در پژوهشی در زمینه تأثیر نانوذرات نقره بر سلول‌های خونی در موش صحرایی، رضایی زارچی و همکاران (۶) دریافتند که تعداد سلول‌های خونی قرمز، سفید و پلاکت در کلیه گروه‌های تیمار بدون تغییر معنادار بوده است. میزان درصد لنفوسیت‌ها و نوتروفیل‌ها نیز تغییر معناداری نداشت. همچنین حجم متوسط گلبول قرمز و هموگلوبین خون تغییر معناداری نکرد. در بررسی لام‌های خونی موش‌ها، تفاوتی در مورفولوژی گلبول‌های قرمز کنترل با گروه‌های تیمار مشاهده‌نشد و کلیه گلبول‌ها حالت میکروسیت داشتند. بررسی تجزیه و تحلیل آماری در مورد آزمایش‌های انعقادی و قدرت جمع شدن لخته نشان داد که در زمان انعقاد، بین گروه‌های تیمار و کنترل تغییر معناداری وجود نداشت. اگر چه در یکی از گروه‌ها نسبت به گروه کنترل تغییر معنادار به صورت افزایش زمان خونروش مشاهده شد. در آزمایش قدرت جمع شدن لخته، مقدار سرم جمع شده در همان گروه نسبت به گروه کنترل دارای تغییر معنادار به صورت کاهش مقدار برحسب درصد بود. در مجموع با توجه به دوز استفاده شده، نانوذرات نقره به طور مؤثری در عملکرد انعقادی پلاکت‌ها که شامل تجمع پلاکت‌ها، چسبیدن پلاکت‌ها به همدیگر و چسبیدن پلاکت‌ها به فیبرینوژن و کلاژن است، اختلال ایجاد کرد. این اثر بازدارندگی می‌تواند مربوط به تغییر ساختمانی اینتگرین سطح پلاکت‌ها و فسفوپروتئین موجود در پلاکت‌ها باشد. نانوذرات نقره می‌توانند داخل پلاکت‌ها نفوذ کرده و فضاهای واکوئلی و گرانول‌ها را اشغال و مانع گسترش هیالوپلاسمیک و کاهش تجمع پلاکت‌ها شوند. پلاکت‌ها پس از تماس یا ورود نانوذرات نقره، لیز نمی‌شوند. آزاد نشدن LDH داخل پلاکتی این موضوع را ثابت می‌کند. نانوذرات نقره نقش مخربی برای میتوکندری‌ها داشته و با ایجاد رادیکال‌های آزاد و اکسیژن آزاد سبب آسیب‌های سلولی می‌شوند. . نتایج پژوهش رضایی زارچی و همکاران (۶) نشان داد که عامل دوز مصرفی، نقش مهمی در تغییر تعداد سلول‌ها دارد. نانوذرات نقره تا دوز ۲۰۰ میلی‌گرم به ازای یک کیلوگرم وزن موجود زنده، تغییر معناداری در تعداد سلول‌ها به وجود نمی‌آورد. به طور کلی نتایج پژوهش این گروه تحقیقاتی، سمیت نانوذرات نقره را تأیید و پژوهش بیشتر جهت پیش بینی اثرات این ماده را پیشنهاد کرد.

در پژوهش میرشکرایی و همکاران (۲۹) مشخص شد نانونقره کلوئیدی می‌تواند بر پارامترهای حرکتی

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2025-08-23]

[DOR: 20.1001.1.27170632.1391.5.2.1.7]

اسپرم در واحد زمان–غلظت اثر منفی داشته باشد. برای نمونه در غلظت ppm ۱۰ نانونقره کلوئیدی، اسپرم‌ها پس از ۳۰ دقیقه به طور کامل غیرفعال می‌شوند. این اطلاعات شاهدی بر سمیت نانونقره در اسپرم است. برایدیش–استول و همکاران (۱۶) از یک لاین سلولی با ویژگی سلول‌های بنیادی اسپرماتوگونیایی جهت بررسی سمیت چند نوع از نانوذرات در شرایط *in vitro* استفاده کردند. نتایج نشان داد که در بین تمام مواد بررسی شده، نانوذرات نقره با تظاهراتی مانند کاهش شدید عملکرد میتوکندری، افزایش نشت غشاء، نکروز و القاء آپوپتوز از سمی‌ترین نانوذرات بودند. این یافته‌ها دارای مفهوم کاربردی مهمی هستند، زیرا در حال حاضر احتمال آلودگی اسپرم انسان به نانوذرات نقره از طریق انواع محصولات تجاری مانند دستگاه‌های پیشگیری از بارداری و اقلام بهداشتی مادر وجود دارد. این مسئله ممکن است منجر به افزایش مشکلات باروری شود. به‌تازگی استفاده از نانوذرات نقره به عنوان یک عامل ضد عفونی قوی در حیوانات مزرعه توصیه می‌شود. برخی از پژوهش‌ها نشان داده‌اند که اگر این نانوذرات به‌طور تصادفی خورده شوند در بیضه‌ها ته‌نشین شده و مانع عبور خون از بیضه‌ها می‌گردند (۲۸). این پژوهش هشداری در مورد اثرات مضر نانوذرات نقره با غلظت بیش از یک پی‌پی‌ام در ابزارهایی از قبیل ابزار جمع‌آوری مایع منی و تلقیح مصنوعی است. در کل می‌توان نتیجه گرفت که محلول کلوئیدی نانونقره پتانسیل کاهش عملکرد اسپرم به ویژه پارامترهای حرکتی را دارد که می‌تواند یکی از عوامل ناباروری اسپرم باشد.

بررسی‌های داسیلوا پائولا و همکاران (۱۸) مبنی بر تأثیر نانوذرات نقره بر آنزیم کراتین کیناز نشان داد که نانوذرات نقره با غلظت ۱۰، ۲۵ و ۵۰ میلی‌گرم بر لیتر باعث مهار فعالیت کراتین کیناز مغز به اندازه ۳۵ تا ۴۰ درصد و مهار فعالیت کراتین کیناز عضله اسکلتی به اندازه ۳۵ تا ۵۵ درصد می‌شود اما کراتین کیناز قلب تحت تأثیر قرار نگرفت. کراتین در بازسازی آدنوزین تری فسفات (ATP) در سیستم‌های انقباضی و انتقالی فعالیت نموده و واکنش برگشت پذیر انتقال فسفات را از آدنوزین تری فسفات به کراتین و تولید فسفو کراتین را کاتالیز می‌کند. فسفوکراتین اولین بار در بافت عضلانی شناسایی و به عنوان منبع شیمیایی تأمین کننده انرژی برای انقباض عضله مطرح شد. کراتین کیناز در متابولیسم انرژی بافت‌های مختلف از جمله مغز، عضلات اسکلتی و قلب نقشی اساسی دارد. در طی تحریک سلول میزان تولیدآن تا ده برابر افزایش می‌یابد و در حین این تکرارها (تغییرات کراتین به

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2025-08-23]

[DOR: 20.1001.1.27170632.1391.5.2.1.7]

فسفوکراتین) وجود سیستم کراتین کیناز به عنوان یک سیستم بافری انرژی برای جلوگیری از نوسانات بزرگ سطوح ATP/ADP سلولی در بافت تحریک شده ضروری است. مهار فعالیت کراتین کیناز در عضله اسکلتی منجر به ناهنجاری‌های انقباضی و همچنین تغییر در اندازه سلول‌های عضلانی می‌شود. همچنین کاهش فعالیت کراتین کیناز ممکن است به آسیب هومئوستازی انرژی و مرگ سلولی منجر شود (۳). با توجه به گزارش وجود چنین اثرات منفی از نانوذرات نقره به نظر می‌رسد بررسی‌های بیشتر در این حوزه بسیار اهمیت دارد و می‌تواند حوزه سلامت را به خطر اندازد.

نتیجه‌گیری

انسان فن‌آوری‌های گوناگونی را جهت نیل به اهداف مختلف زندگی‌اش به کار گرفته است. فن-آوری نانوتکنولوژی یکی از فن‌آوری‌های بسیار جذاب قرن حاضر است. این فن‌آوری به عنوان دانش بین رشته‌ای مطرح گشت و توانست در وجوه گوناگون زندگی انسان وارد شود. با اینکه نانوتکنولوژی از نظر سود آوری دارای پتانسیل بالایی است اما ممکن است اثرات ناخواسته مستقیم و یا غیر مستقیمی بر روی سیستم‌های جانوری و اکوسیستم‌های خاکی و آبی داشته باشد. بررسی‌های جدید حاکی از چالش‌های بزرگ در درک خطرات نانومواد هستند. از این رو ارزیابی مخاطرات زیستی نانومواد به ویژه نانونقره می‌تواند به برخی از نگرانی‌ها پاسخ‌های دهد و ابهامات موجود در آن را روشن کند.

در این مقاله تلاش شد تا در گام نخست به جنبه‌های سودمند نانونقره و اهمیت آن در زندگی امروزی انسان پرداخته شود. در گام دوم به اثرهای منفی همراه با ورود آن به زندگی انسان اشاره شد. به نظر می‌رسد جهت تدوین هرگونه قانونی در زمینه نانومواد باید اطلاعات جامعی راجع به اثرهای آن بر روی سلامتی انسان و همچنین محیط زیست در دست باشد. هر گونه انفعال و ملاحظه کاری در این خصوص می‌تواند خسارت‌های جبران ناپذیری به بار آورد. ذخیره ژنتیکی موجود در محیط‌های خاکی و آبی موهبت‌هایی هستند که در طی تکامل زیستی بلند مدت تثبیت شده‌اند و صحیح نیست که با اهمال‌کاری نسل امروز این ذخیره ارزشمند نابود شود. پژوهش در این زمینه می‌تواند دستیابی به استراتژی‌های لازم جهت توسعه دانش و فهم خطرهای نانومواد و راه کارهای مناسب جهت مدیریت این خطرات را تسهیل نماید. امید است تا با بررسی‌های بیشتر جنبه‌های ایمنی زیستی نانونقره، دستیابی به استانداردهای مصرف بهینه آن نیز توسعه یابد.

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2025-08-23]

[DOR: 20.1001.1.27170632.1391.5.2.1.7]

زیرا اندازه، شکل، غلظت مصرف و همچنین نوع عرصه و حوزه مصرف نانونقره می‌تواند در صورت لحاظ نکردن استانداردهای علمی‌مصرف، اثرهای منفی جبران ناپذیری بر انسان و محیط زیست داشته باشد.

منابع مورد استفاده: **References**

۱- **پورمظاهری ه.، رسولی ز.، کریمی ا.، صالحی جوزانی غ.، طباطبایی م.، معالی امیری ر. و موسیوند م. (۱۳۹۲).** شناسایی و بررسی خصوصیات آنزیمی برخی قارچ‌های بومی جداسازی شده از فرآیند تولید کمپوست. مجله ژنتیک نوین، ۸ (۱): ۹۱-۹۸.

۲- **تقی نسب م. و کریمی ا. (۱۳۹۱).** گیاهان حساس به باکتری‌های مولد پوسیدگی نرم در ایران. مجله دوفصلنامه دانش بیماری شناسی گیاهی، شماره ۲: ۶۳-۵۳.

۳- **خدادادی، س.، نقش، ن و مشایخ، ا.م. (۱۳۹۱).** تأثیر نانوذرات نقره بر فعالیت آنزیم فسفوکراتین کیناز و تغییرات بافت عضله موش‌های بزرگ آزمایشگاهی. مجله دانشگاه علوم پزشکی مازندران، ۲۲ (۹۷): ۴۱-۳۶.

۴- **داوودی، ع. (۱۳۸۷).** بکارگیری نانوسیلور در کاهش جمعیت اپیفیتی و مدیریت آتشک گلابی در باغات قزوین. هجدهمین کنگره گیاهپزشکی ایران.

۵- **دودی، م.، نقش، ن. و حیدرپور، ا. (۱۳۹۰).** تأثیر نانوذرات نقره بر روی باسیل‌های گرم منفی بیماریزای مقاوم به آنتی‌بیوتیکهای بتالاکتام با طیف گسترده (ESBLs). مجله علوم آزمایشگاهی، ۵ (۲): ۵۱-۴۴.

۶- **رضایی زارچی، س.، تقوی فومنی، م.ح.، رضوی ششده، ع. و نگهداری، م. (۱۳۹۲).** اثر نانوذرات نقره بر سلول‌های خونی در موش صحرایی نر. فصلنامه پژوهشی خون،۱۰ (۲): ۱۴۷-۱۵۳.

۷- **روشنایی، ک.، رضویان، م.ح.، احمدی، ر.، حیدریه، ن. و مساعی‌منش، م.ب. (۱۳۹۱).** اثر نانونقره خوراکی بر عوامل خونی، هورمونی و ادراری رتهای صحرایی نژاد ویستار. مجله دانشگاه علوم پزشکی قم، ۶ (۳): ۶۵-۷۰.

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2025-08-23]

[DOR: 20.1001.1.27170632.1391.5.2.1.7]

۸- **صادقی ا.، کریمی ا. و صادقی م. (۱۳۸۸).** تأثیر گیاهان تراریخته بر روی توده‌های میکروبی خاک. مجلهٔ ایمنی زیستی، ۱ (۳): ۱۰۹-۹۱.

۹- **علیشاهی، م. و مصباح، م. (۱۳۸۹).** مقایسه سمیت نانوذرات نقره در ماهیان آمور (*Ctenopharyngodon idella*)، شیربت (*Barbus grypus*)، اسکار (*Astronorus ocellatus*) و سوروم (*Cichlosoma severums*). مجله علمی پژوهشی بیولوژی دریا، ۲ (۷): ۴۵-۵۱.

۱۰- **فیضی، ح.، رضوانی مقدم، پ. و برهمند، ع.ا. (۱۳۹۰).** اثر کاربرد نانوذرات نقره، میدان مغناطیسی، باریم و لیتیوم بر عملکرد دانه و برخی ویژگی‌های زراعی گندم. مجله الکترونیک تولید گیاهان زراعی، ۴ (۲): ۲۳۹-۲۴۸.

۱۱- **کتولی، ن. و رهنما، ک. (۱۳۸۷).** بررسی اثر نانوسیلور بر روی رشد ریسه‌های قارچ *Fusarium moniliforme* عامل بیماری پوسیدگی خوشه و طوقه ذرت و برنج. هجدهمین کنگره گیاهپزشکی ایران.

۱۲- **کتولی، ن. و رهنما، ک. (۱۳۸۶).** بررسی اثرنانوسیلور بر روی رشد ریسه‌های قارچ *Fusarium moniliforme* عامل بیماری پوسیدگی خوشه وطوقه ذرّت و برنج. مجله گیاهپزشک و غذا، ۱: ۶-۱۴.

۱۳- **نعمتی، م.، عبادی، ت.، نازک دست، ح.، اسماعیل‌زاده، م. و رضازاده، ی. (۱۳۹۰).** بررسی خاصیت ضد باکتریایی ظروف انتقال آب، تهیه شده از نانوذرات نقره کپسوله شده. آب و فاضلاب، ۱: ۱۹-۲۵.

۱۴- **ولی پور مطلق، ن.، موسویان، م.ت.ح و مرتضوی، ع. (۱۳۸۸).** تاثیر بسته‌های محتوی نانوذرات نقره بر مشخصه‌های میکروبی و ظاهری زرشک در مقایسه با بسته‌های پلی‌اتیلن معمولی. نشریه پژوهش‌های صنایع غذایی ایران، ۵ (۲): ۷۵-۸۷.

15- **Andre N, Tian X, Lutz M and Ning Li. (2006).** Toxic potential of materials at the nanolevel. Sience magazine, 311 (5761): 622-627.

16- **Braydich-Stolle L, Hussain S, Schlager J.J. and Hofmann M. (2005).** In Vitro Cytotoxicity of Nanoparticles in Mammalian Germline Stem Cells. Toxicological Sciences, 88(2): 412–419.

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2025-08-23]

[DOR: 20.1001.1.27170632.1391.5.2.1.7]

17- **Chau N.H, Bang L.A, Buu N.Q, Dung T.T.N, Ha H.T. and Quang D.V. (2008).** Manufacture of nanosilver and investigation of its application for disinfection. Adv. Nat. Sci., 9(2): 241-8.

18- **Da silva paula M.M, Da costa C.S, Baldin M.C, Scaini G, Rezin G.T, Segala K, et al. 2009.** *In vitro* effect of silver nanoparticles on creatin kinase activity. UNESC 2009; 25-41.

19- **Hornberger M.I, Luoma S.N, Cain D.J, Parchaso F, Brown C.L, Bouse R.M, Wellise C. and Thompson J.K. (2007).** Linkage of bioaccumulation and biological effects to changes in pollutant loads in South San Francisco Bay. Environmental Science and Technology, 34: 2401–2409.

20- **Hussain S.M, Hess K.L, Gearhart J.M, Geiss K.T and Schlager J.J. (2005).** In vitro toxicity of nanoparticles in BRL 3A rat liver cells. Toxicol. In Vitro, 19: 975-983.

21- **Hussain S.M, Javorina A.K, Schrand A.M, Duhart H.M, Ali S.F and Schlager J.J. (2006).** The interaction of manganese nanoparticles with PC-12 cells induces dopamine depletion. Toxicol. Sci., 92: 456-463.

22- **Karimi E, Sadeghi A, Abbaszade Dehajib P, Dalvanda Y, Omidvarib M and Kakuei Nezhad M. (2012).** Biocontrol activity of salt tolerant *Streptomyces* isolates against phytopathogens causing root rot of sugar beet. Biocontrol Science and Technology, 22 (3): 333-349.

23- **Kim J.S. et al. (2007).** Nanomed. Nanotechnol. 3(1): 95-101.

24- **Kim K.J. Sung W.S., Suh B.K., Moon S.K., Choi J.S., Kim J.G. and Lee D.G. (2009).** Antifungal activity and mode of action of silver nano-particles on Candida albicans.Biometals, 22(2): 235 - 242.

25- **Lem K.W, Hsu S.H, Lee D.S, Iqbal Z, Sund S, Curran S, Brumlik C, Choudhury A, Hu D.S.G, Chiu N, Lem R.C and Haw J.R. (2012).** Waste Minimization for the Safe Use of Nanosilver in Consumer Products - Its Impact on the Eco-Product Design for Public Health, Public Health - Methodology, Environmental and Systems Issues, Prof. Jay Maddock (Ed.), ISBN: 978-953-51-0641-8, InTech.

26- **Limbach L.K, Wick P, Manser P, Grass R.N, Bruinink A and Stark W.J. (2007).** Exposure of engineered nanoparticles to human lung epithelial cells: Influence of chemical composition and catalytic activity on oxidative stress. Environ. Sci. Technol. 41: 4158–4163.

27- **Mamikunian V. (2007).** Investor Enthusiasm for Nanotech Opportunities in Electronics. Lux Research Inc., 3-15.

28- **McAuliffe M.E and Perry M.J. (2007).** Are nanoparticles potential male reproductive toxicants? A literature review. Nano-toxicology و 1: 204-210.

29- **Mirshokraei P, Hassanpour H, Akhavan Taheri M, Riyahi M and Shams-Esfandabadi N. (2011).** The in vitro effects of nanosilver colloid on kinematic

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2025-08-23]

[DOR: 20.1001.1.27170632.1391.5.2.1.7]

parameters of ram spermatozoa. Iranian Journal of Veterinary Research, Shiraz University, 12 (4): 317-323.

30- **Nel A; Xia T; Madler L and Li N. (2006).** Toxic potential of materials at the nanolevel. Science, 311: 622–627.

31- **Nowack B, Krug H.F and Height M. (2011).** 120 Years of Nanosilver History: Implications for Policy Makers. Environmental Science & Technology, 45: 1177–1183.

32- **O'Neill M and Hutchison G. (2008).** The effect on nanoparticale exposure on male reproductive function. Nnotoxicology, 10: 2261-68.

33- **Sadeghi A, Karimi E, Abaszadeh Dahaji P, Ghorbani Javid M, Dalvand Y and Askari H. (2012).** Plant growth promoting activity of an auxin and siderophore producing isolate of *Streptomyces* under saline soil conditions. World J Microbiol Biotechnol, 28:1503–1509.

34- **Sadeghi A, Soltani B.M, Salehi Jouzani G, Karimi E, Khayam Nekouei M and Sadeghizadeh M. (2014).** Taxonomic study of a salt tolerant *Streptomyces* sp. strain C-2012 and the effect of salt and ectoine on lon expression level. Microbiological Research, 169: 232– 238

35- **Sondi I and Salopek-Sondi B. (2004).** Silver nanoparticles as antimicrobial agent: A case study on E. coli as a model for Gram-negative bacteria. Journal of Colloid Interface Sciences, 275: 177 – 182.

36- **Stensberg M.C, Wei Q.S, Mclamore E.S, Porterfield D.M, Wei A and Sepúlveda M.S. (2011).** Toxicological Studies On Silver Nanoparticles: Challenges And Opportunities In Assessment, Monitoring And Imaging. Nanomedicine, 6(5): 879-889.

37- **Throback I.N, Johansson M, Rosenquist M., Pell M, Hansson M and Hallin S. (2007).** Silver (Ag^+) reduces denitrification and induces enrichment of novel nirK genotypes in soil. FEMS Microbiol Lett. 2007 Jan 23.

38- **Tran Q.H, Nguyen V.Q and Le A.T. (2013).** Silver nanoparticles: synthesis, properties, toxicology, applications and perspectives. Advances in Natural Sciences: Nanoscience and Nanotechnology, 4: 033001 (20pp).

39- **Wijnhoven S.W.P, Peijnenburg W.J.G.M, Herberts C.A., Hagens W.I, Oomen A.G, Heugens E.H.W, et al. (2009).** Nanosilver: A review of available data and knowledge gaps in human and environmental risk assessment Nanotoxicology, 3 (2): 109-38.

40- **Yoon K.Y., Byeon J.H., Park C.W. and Hwang J. (2008).** Antimicrobial effect of silver particles on bacterial contamination of activated carbon fibers. Environ. Sci. Technol, 42(4): 1251-1255.

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2025-08-23]

[DOR: 20.1001.1.27170632.1391.5.2.1.7]