بررسی خواص ضد میکروبی نانوذرات نقره (AgNPs) به منظور کنترل بیماری‌ها و مدیریت بهداشت در سیستم‌های آبزی‌پروری

علیرضا رادخواه[۱]، سهیل ایگدری*[۱]، اسماعیل صادقی‌نژاد ماسوله[۲]

*soheil.eagderi@ut.ac.ir

۱-گروه شیلات، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران.
۲- پژوهشکده آبزی‌پروری آبهای داخلی، موسسه تحقیقات علوم شیلاتی کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، بندرانزلی، ایران.

تاریخ دریافت: آذر ۱۳۹۸ تاریخ پذیرش: بهمن ۱۳۹۸

چکیده

امروزه آبزی‌پروری با چالش‌های متعددی از جمله شیوع عوامل بیماری‌زا در سیستم‌های پرورشی مواجه است. تاکنون روش‌های مختلف شیمیایی، فیزیکی و بیولوژیک به‌منظور کنترل و جلوگیری از شیوع عوامل بیماری‌زا در محیط‌های پرورشی مورد استفاده قرار گرفته است. در سال‌های اخیر پیشرفت‌های چشمگیر در زمینه نانوتکنولوژی موجب شده است تا این دانش به صنایع مختلف از جمله آبزی‌پروری راه یابد. تاکنون پژوهش‌های قابل توجهی پیرامون کاربرد نانوذرات نقره (AgNPs) در صنعت آبزی‌پروری انجام شده است و علاوه بر این، مستنداتی مبنی بر نقش مهم این مواد در کنترل و جلوگیری از شیوع عوامل بیماری‌زا در محیط‌های آبزی ارائه شده است. با توجه به این موضوع، پژوهش حاضر با هدف مرور تاثیرات ضد میکروبی نانوذرات نقره به منظور کنترل بیماری‌های آبزیان و مدیریت بهداشت در سیستم‌های پرورشی صورت گرفت. علاوه بر این، در این مطالعه چالش‌ها و خطرات ناشی از کاربرد این مواد در محیط‌های پرورشی نیز به طور اجمالی مورد بررسی قرار گرفته است. بررسی منابع نشان داد که بیشترین مطالعات درباره تاثیرات ضدمیکروبی نانوذرات نقره پیرامون عوامل باکتریایی صورت گرفته است. همچنین یافته‌ها نشان می‌دهد که استفاده از نانوذرات نقره می‌تواند در جهت مدیریت پایدار و بهبود شرایط بهداشتی در سیستم‌های آبزی‌پروری مورد استفاده پرورش‌دهندگان قرار گیرد.

کلمات کلیدی: نانوذرات نقره، عوامل بیماری‌زا، ضدباکتری، آنتی‌بیوتیک‌ها، آبزی‌پروری

[Downloaded from ornamentalaquatics.ir on 2026-06-13]

[DOR: 20.1001.1.24234575.1399.7.1.4.1]

مقدمه

آبزی‌پروری فعالیت اقتصادی بهره‌برداری از آبزیان است (Boyd *et al*., 2005; Troell *et al*., 2017) که به معیشت افراد دست‌اندرکار کمک کرده (رادخواه، ۱۳۹۸؛ رادخواه و ایگدری، ۱۳۹۸) و با افزایش اشتغال و درآمد (Mahanty *et al*., 2013) در راستای تأمین جهانی غذا اقدام می‌نماید (Sivaramasamy *et al*., 2016). در حال حاضر، این بخش سریع‌ترین بخش تولید مواد غذایی بشر است، زیرا بسیاری از مناطق صید جهانی به حدِ بیولوژیک تولید خود رسیده یا از طریق صید بی‌رویه و تخریب زیستگاه‌ها از بین رفته‌اند (FAO, 2008, 2018). بنابراین، این موضوع نقش آبزی‌پروری را به‌خوبی آشکار می‌نماید تا جایی که فائو اعلام می‌کند که تولید آبزی‌پروری به منظور تأمین نیاز جهانی برای غذاهای آبزی در سال ۲۰۲۰ باید ۴۲/۹ درصد افزایش یابد (Sae-Lim *et al*., 2016).

رشد سریع بخش‌آبزی‌پروری منجر به چالش‌های بی‌شماری از جمله آلودگی، تغییرات آب و هوا و بیماری‌هایی شده که منجر به رشد منفی و ضرر مالی قابل توجهی می‌شوند (Mahanty *et al*., 2013). بیماری‌های عفونی یک مانع عمده برای توسعه آبزی‌پروری در سراسر جهان می‌باشد (Meyer, 1991; Mohapatra *et al*., 2013; Mahanty *et al*., 2013; Barakat *et al*., 2016; Shaalan *et al*., 2017)، زیرا محیط آبی یک محیط پویا برای انتقال عوامل بیماری‌زاست (Murray, 2013). علاوه بر این، عوامل بیماری‌زا را می‌توان به‌دلیل حرکت مکرر ارگانیسم‌ها در بین مزارع پرورشی جابجا کرد (Radkhah, 2017; Shaalan *et al*., 2017). افزایش بیماری‌ها در آبزی پروری، استفاده گسترده از آنتی‌بیوتیک‌ها را به دنبال دارد. با این حال، آنتی‌بیوتیک‌ها برای کنترل عوامل بیماری‌زا در محیط‌های پرورشی در اکثر کشورها مجاز نیستند (Shaalan *et al*., 2017). دلایل این ممنوعیت را می‌توان به هزینه‌های زیاد، خطرات زیست‌محیطی و مقاومت آنتی‌بیوتیک که بسیاری از عوامل بیماری‌زا آنها را ایجاد می‌کنند، نسبت داد (Daniel *et al*., 2016). از این‌رو، نیاز مُبرم و فزاینده‌ای به مواد ضدمیکروبی جایگزین وجود دارد و نانوذرات فلز و اکسید فلز به دلیل کاربردهای بالقوه‌ای که دارند، می‌توانند برای رفع این نیاز مورد استفاده قرار گیرند (Shaalan *et al*., 2017). بنابراین، مطالعه مروری حاضر با هدف بررسی خواص ضدمیکروبی نانوذرات نقره (AgNPs) در کنترل بیماری‌ها و مدیریت بهداشت در سیستم‌های آبزی‌پروری انجام شد.

نانوذرات نقره

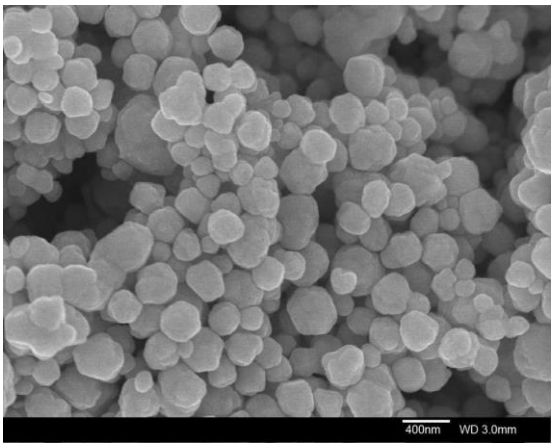
دانش نانو که اخیراً به عنوان یک علم جدید میان رشته‌ای پایه‌گذاری شده است را می‌توان یک دانش در مورد خصوصیات اساسی اشیاء با اندازه نانو تعریف کرد (Sergeev and Shabatina, 2008; Abou El-Nour *et al*., 2010). نانومواد (Nanomaterials) می‌توانند طبیعی یا ساخته‌شده باشند و با ذرات سست، سنگدانه‌ها[1] یا آگلومره[2] به شکل نانوذرات، نانولوله‌ها، نانوسیم‌ها، نانو الیاف و سایر موارد تشکیل شوند. از میان این اشکال، نانوذرات‌ها (NPs) که ابعاد آنها حدود ۱۰۰-۱ نانومتر است، بیشتر مورد مطالعه قرار گرفتند و نمونه‌هایی هستند که دارای اندازه‌ها و شکل‌های متنوعی می‌باشند (Silva *et al*., 2017; Zorraquín-Peña *et al*., 2020). نانوذرات معمولاً به صورت آلی و معدنی طبقه‌بندی می‌شوند. نانوذرات آلی کربن را مشارکت می‌دهند در حالیکه نانوذرات معدنی شامل ترکیبات فلزی (نقره، طلا، مس)، مغناطیسی (Ni، Fe و Co) یا اجزاء نیمه‌رسانا (CdS، ZnS و ZnO) هستند (Rafique *et al*., 2017; Zorraquín-Peña *et al*., 2020). نانوذرات نقره (AgNPs) که به دسته معدنی تعلق دارند (شکل ۱). از ۱۸۱۴ نانو محصول تولیدی در دنیا، ۴۳۵ نانو محصول متعلق به فلز نقره با تولید سالانه ۳۲۰ تُن، ۳۴ درصد از مجموع محصولات نانو را به‌خود اختصاص داد (Khan *et al*., 2017; Wilson, 2019).

ذرات فلزی به اندازه نانو از خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیک منحصر به‌فردی نسبت به همتایان خود برخوردار هستند (Sharma *et al*., 2008; Abou El-Nour *et al*., 2010). از این‌رو، این مواد در بسیاری از صنایع و بخش‌ها مورد توجه قرار گرفته‌اند و در این بین نانوذرات نقره جزء تجاری‌ترین آنها هستند (Daniel *et al*., 2016). به طور کلی، این مواد به دلیل خصوصیت‌های مغناطیسی، نوری،

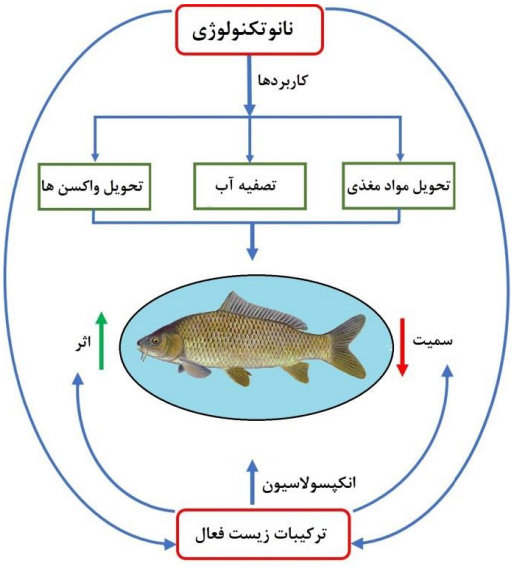
[1] Aggregates
[2] Agglomerate

[Downloaded from ornamentalaquatics.ir on 2026-06-13]
[DOR: 20.1001.1.24234575.1399.7.1.4.1]

الکترونیکی و کاتالیزوریک خاصی که دارند در زمینه‌های مختلف از جمله علوم مواد، شیمی و فیزیک کاربرد دارند (Johari *et al*., 2013). به‌علاوه، نانوذرات نقره در صنایع بهداشتی، محصولات آرایشی، داروهای درمانی، ذخیره‌سازی مواد غذایی، پوشش‌های نساجی و محصولات خانگی مورد استفاده قرار می‌گیرند (Yeo *et al*., 2003; Daniel *et al*., 2016). یکی از جلوه‌های فناوری نانو در صنعت آبزی‌پروری، کاربرد نانوذرات نقره (AgNPs) می‌باشد که با هدف تغذیه آبزیان، بهبود کیفیت آب و کنترل بیماری‌ها انجام می‌گیرد (شکل ۲) (Luis *et al*., 2019).



شکل ۱: نانوذرات نقره (منبع: SS-Nano, 2020)



شکل ۲: تصویری شماتیک از کاربرد فناوری نانو در صنعت آبزی-پروری (اقتباس از Luis و همکاران، ۲۰۱۹).

تاثیرات ضد میکروبی نانوذرات نقره

امروزه چندین نوع از ترکیبات نقره از قبیل نیترات نقره، زئولیت نقره و نانوذرات نقره برای طیف قابل توجهی از اهداف ضد میکروبی استفاده می‌شوند. Kathiresan و همکاران (۲۰۱۰) بیان داشتند که نانوذرات نقره از لحاظ تاریخی برای کنترل عوامل میکروبی مورد استفاده قرار گرفته و اثرات ضد میکروبی آنها حتی در برابر باکتری‌های مقاوم به آنتی‌بیوتیک در شرایط آزمایشگاهی به اثبات رسیده است (Kathiresan *et al*., 2010; Sivaramasamy *et al*., 2016; Zorraquín-Peña و همکاران (۲۰۲۰) نیز بیان داشتند که نانوذرات نقره به دلیل برخورداری از خاصیت ضدمیکروبی به طور گسترده در زمینه‌های پزشکی و بیوتکنولوژی مورد استفاده قرار گرفته‌اند. مطالعات متعددی پیرامون اثربخشی این مواد در جلوگیری از رشد باکتری‌های بیماری‌زا از قبیل *Proteus vulgaris*، *Escherichia coli*، *Staphylococcus aureus*، *Streptococcus pyogenes* و *S. mutans* صورت گرفته است (Kim *et al*., 2007; Ouay and Stellacci, 2015).

به‌دلیل کثرت، تنها برخی مطالعات پیرامون تاثیرات ضدباکتریایی نانوذرات نقره در محیط‌های آبزی در زیر مرور گردید. آئروموناس هیدروفیلا[1] یک بیماری‌زای مهم عفونی در محیط‌های آبی بوده و عامل ایجاد زخم‌ها، پوسیدگی باله و دُم و سپتی‌سمی خونریزی دهنده در بسیاری از ماهیان می‌شود و طبق گزارش‌ها در برابر بسیاری از آنتی‌بیوتیک‌های موجود مقاومت دارد (Mahanty *et al*., 2013). از این‌رو، نانوذرات نقره می‌توانند به‌عنوان جایگزین آنتی‌بیوتیک‌ها و سایر بیوسایدها[2] و به عنوان یک عامل درمانی مقرون به صرفه و زیست محیطی در برابر *A. hydrofila* استفاده شوند (Mahanty *et al*., 2013). همچنین Shaalan و همکاران (۲۰۱۷) اظهار داشتند که نانوذرات نقره فعالیت ضدباکتریایی قابل توجهی بر ضد *A. hydrofila* نشان می‌دهند. آنها در این مطالعه فعالیت ضدمیکروبی نانوذرات اکسید نقره را در مواجهه با عامل باکتریایی *A. salmonicida* نیز مورد بررسی قرار دادند و نتایج نشان داد که نانوذرات نقره سنتز شده با غلظت ۱۷ میکروگرم بر میلی‌لیتر قادر به مهار کامل رشد سویه

[1] *Aeromonas hydrophila*
[2] Biocides

[Downloaded from ornamentalaquatics.ir on 2026-06-13]
[DOR: 20.1001.1.24234575.1399.7.1.4.1]

باکتریایی *A. salmonicida* هستند. این در حالی است که اُکسی‌تتراسایکلین با غلظت ۲۵ میکروگرم بر میلی‌لیتر برای مهار رشد *A. salmonicida* مدت زمان بیشتری نسبت به نانوذرات نقره نیاز داشت.

Soltani و همکاران (۲۰۰۹) در مطالعه‌ای که به منظور بررسی اثر ضد میکروبی نانوذرات نقره بر باکتری‌های گرم مثبت و گرم منفی در ماهیان قزل‌آلا انجام شده بود، بیان کردند که نانوذرات نقره موجب کاهش رشد سویه‌های باکتریایی *A. hydrophila*، *Lactococcus garvieae*، *Streptococcus iniae* و *Yersinia ruckeri* می‌شوند. Barakat و همکاران (۲۰۱۶) در مطالعه‌ای بر باس دریایی (*Dicentrarchus labrax*) بیان نمودند که این گونه حساس‌ترین گونه به *Vibrio anguillarum* است که سبب بیماری vibriosis (سپتی‌سمی خون‌ریزی دهنده) می‌شود. Barakat و همکاران (۲۰۱۶) در این مطالعه پتانسیل ضد باکتریایی نانوذرات نقره-کیتوزان سنتز شده را در غلظت‌های ۵ و ۱۰ درصد در مواجهه با عامل میکروبی *V. anguillarum* مورد آزمایش قرار داده و نشان دادند که نانوذرات نقره-کیتوزان با غلظت ۵ درصد برای سرکوب عفونت کافی است و می‌تواند به‌عنوان جایگزین آنتی‌بیوتیکا برای کنترل عوامل بیماری‌زا در ماهیان استفاده شود.

میگوی پاسفید اقیانوس آرام (*Litopenaeus vannamei*) اولین بار در اواخر دهه ۱۹۸۰ در چین معرفی شد و تا سال ۲۰۱۰ به یکی از سه میگوی بزرگ پرورشی در جهان تبدیل شد (Sivaramasamy *et al*., 2016). کل تولید جهانی این گونه از حدود ۱۰۰۰۰ تُن در سال ۱۹۷۰ به بیش از ۳ میلیون تُن افزایش یافت (Li and Xiang, 2013) به‌طوری‌که ۸۵ درصد از کُل تولید میگو در چین را به‌خود اختصاص داده است (Clarke *et al*., 2013; Sivaramasamy *et al*., 2016). Sivaramasamy و همکاران (۲۰۱۶) مطالعه‌ای را با هدف بررسی تأثیر نانوذرات نقره سنتز شده از *Bacillus subtilis* بر رشد، بقاء، فعالیت ضد میکروبی و بیان ژن ایمنی در میگوی پاسفید اقیانوس آرام در مواجهه با عامل بیماری‌زای vibriosis انجام داده و نشان دادند که بیان ژن‌های مرتبط با ایمنی (سطوح mRNA) در میگوهایی که از رژیم غذایی AgNPs استفاده می‌کردند، بر خلاف میگوهای گروه *B. subtilis* و شاهد به‌طور قابل توجهی تنظیم شد. در مجموع، Sivaramasamy و همکاران (۲۰۱۶) بیان داشتند که نانوذرات نقره یک ابزار بالقوه برای مهار vibriosis در پرورش میگو می‌باشد.

در چندین مطالعه اثرات ضد قارچی و ضدانگلی نانوذرات نقره به طور خاص مورد بررسی قرار گرفته است. Daniel و همکاران (۲۰۱۶) در پژوهشی که به منظور کنترل و درمان بیماری‌های لکه سفید[1] و لکه قرمز[2] در ماهی گُلدفیش (*Carassius auratus*) جذب نانوذرات نقره، تبادلات بیوشیمیایی و سمیت حاصل از آنها را مورد بررسی قرار دادند. در واقع، بیماری لکه سفید[3] ناشی از تک یاخته *Ichthyophthirius multifiliis* است که با لکه‌های نمکی-مانند روی باله‌های بدن ایجاد می‌شود (رادخواه و ایگدری، ۱۳۹۷). سندرم زخم اپیزوتیک (بیماری لکه قرمز) (ESU)[4] نیز ناشی از قارچ بیماری‌زا *Aphanomyces invadans* می-باشد. در مطالعه Daniel و همکاران (۲۰۱۶) علائم درمانی بیماری‌های لکه قرمز و لکه سفید در مدت ۳ روز بدون نشان دادن سمیت مشخص گردید. ماهیان درمان فوری عفونت را نشان دادند و از اینرو محققان این پژوهش بیان نمودند که یک بار استفاده از نانوذرات نقره با غلظت بسیار کم (۱۰ نانوگرم بر گرم وزن بدن) با استفاده از روش حمام کردن ساده می‌تواند محافظت طولانی مدت در ماهیان گلدفیش ایجاد کند. آنها همچنین تاکید کردند که این مطالعه اولین گزارش در مورد اثربخشی نانوذرات نقره برای درمان تک یاخته‌ها و قارچ‌ها در ماهیان می‌باشد.

Dananjaya و همکاران (۲۰۱۷) نیز اثرات ضدمیکروبی AgNPs ریزپوشانی شده را با کیتوزان در مواجهه با گونه قارچی *Fusarium oxysporum* نشان دادند. در مطالعه‌ای دیگر، Pimentel-Acosta و همکاران (۲۰۱۹) اثر ضد انگلی نانوذرات نقره را در شرایط آزمایشگاهی در مواجهه با نمونه‌های بالغ و تخم یکی از گونه‌های انگلی آب شیرین (*Cichlidogyrus*) بررسی و نشان دادند که نانوذرات نقره

[1] White spot
[2] Red spot
[3] Ichthyophthiriasis-Ich
[4] Epizootic Ulcerative Syndrome

[Downloaded from ornamentalaquatics.ir on 2026-06-13]
[DOR: 20.1001.1.24234575.1399.7.1.4.1]

موجب اختلال در انگل‌های بالغ شدند در حالیکه تخم‌ها به مواد ضد پلاسما و مواد شیمیایی تحمل نشان دادند.

شایان ذکر است، در مورد تاثیرات ضد ویروسی نانوذرات نقره بر گونه‌های آبزی نیز گزارش‌های متعددی ارائه شده است که از جمله آن‌ها می‌توان به مطالعه Ochoa-Meza و همکاران (۲۰۱۹) اشاره کرد. در این پژوهش، پتانسیل ضد ویروسی نانوذرات نقره در مواجهه با ویروس سندرم لکه سفید (WSSV)[1] در میگوی پاسفید مورد بررسی قرار گرفت و نتایج نشان داد که مقدار کمی از نانوذرات نقره قادر به افزایش پاسخ سیستم ایمنی میگو بدون اثرات سمی در میگوهای سالم است. Ochoa-Meza و همکاران (۲۰۱۹) همچنین بیان کردند که این پاسخ ایمنی با استفاده از سایر دوزها قابل افزایش است. آنها همچنین تاکید نمودند که استفاده از نانوذرات نقره می‌تواند جایگزین مهمی برای درمان بیماری سندرم لکه سفید در میگوی پاسفید باشد.

نگرانی‌ها و چالش‌های پیش‌رو

به رغم چندین دهه استفاده، شواهد دقیقی مبنی بر سمیت نقره آشکار نشده و محصولات ساخته شده با AgNP توسط طیف وسیعی از نهادهای معتبر از جمله سازمان غذا و دارو (FDA)، سازمان حفاظت از محیط زیست ایالات متحده آمریکا (USEPA) [2] و SIAA ژاپن مورد تأیید قرار گرفته است (Zhong *et al*., 2007; Abou El-Nour *et al*., 2010). این در حالی است که تاثیرات ضد میکروبی این مواد به اثبات رسیده است و همچنان نگرانی‌های زیادی در مورد کاربرد آنها در سیستم‌های پرورشی وجود دارد. Johari و همکاران (۲۰۱۳) در پژوهشی که به‌منظور بررسی میزان سمیت نانوذرات نقره کلوئیدی (AgNPs) در سه مرحله مختلف زندگی قزل‌آلای رنگین کمان انجام گرفته بود، بیان کردند که ارزش تخمین زده شده LC_{50} در ۹۶ ساعت برای جنین‌های آزاد[3]، لاروها[4] و ماهیان جوان[5] به‌ترتیب ۰/۲۵، ۰/۷۱ و ۲/۱۶ میلی‌گرم در لیتر می‌باشد که حساسیت بالاتری را در مراحل اولیه زندگی نشان می‌دهد. نگارندگان در این پژوهش، AgNP های کلوئیدی را بترتیب به‌عنوان "بسیار سمی" و "سمی" در مرحله‌های جنین-لارو و جوانی طبقه-بندی نمودند.

Sohn و همکاران (۲۰۱۵) برای درک بهتر اثرات زیست‌محیطی نانوذرات نقره و نانوسیم‌های نقره‌ای (AgNWs) در محیط‌های آب شیرین، سمیت این نانومواد را در گونه‌های دافنی (*Daphnia magna*)، ماهی (*Oryzias latipes*) و جلبک (*Raphidocelis subcapitata*) با استفاده از دستورالعمل‌های سازمان همکاری و توسعه اقتصادی (OECD)[6] بررسی و مقایسه کردند. این مطالعه نشان داد که حساسیت به نانومواد در بین ارگانیسم‌های مورد آزمایش (دافنی> جلبک> ماهی) متفاوت است. براساس یافته‌های این تحقیق، AgNP ها به عنوان "دسته حاد ۱" برای *D. magna*، "دسته حاد ۲" برای *O. latipes* ، و"دسته حاد ۱" برای *R. subcapitata* طبقه‌بندی می‌شوند. این در حالی است که AgNW ها به عنوان "دسته حاد ۱" برای *D. magna*، "دسته حاد ۲" برای *O. latipes*، و "دسته حاد ۲" برای *R. subcapitata* طبقه‌بندی می‌شوند. نتایج مطالعه Sohn و همکاران (۲۰۱۵) نشان داد که برای جلوگیری از انتشار تصادفی یا عمدی نانومواد نقره در محیط‌های آب شیرین باید تدابیر بیشتری اتخاذ شود.

اگر چه تحقیقات ارائه شده تاثیرات سمی نانوذرات را نشان می‌دهند، اما با این حال نباید نقش عوامل محیطی را در میزان سمیت این مواد نادیده گرفت. Yung و همکاران (۲۰۱۴) اظهار داشتند هنگامی که نانوذرات اکسید شده وارد محیط آبزیان می‌شوند، رفتار آنها با عوامل محیطی مانند سطح اکسیژن، pH، استحکام یونی و میزان مواد آلی کنترل می‌شود. آن‌ها همچنین تاکید می‌کنند که به دلیل استحکام یونی زیاد در آب دریا، نانوذرات اکسید شده تمایل به تجمع و کم تحرک شدن دارند در حالیکه در آب شیرین تمایل به حل شدن سریع دارند که خطر سمیت حاد را برای موجودات آبزی افزایش می‌دهد (Franklin *et al*., 2007; Shaalan *et al*., 2017).

[1] White Spot Syndrome Virus
[2] United States Environmental Protection Agency
[3] Eleuthero-embryo
[4] Larvae
[5] Juvenile
[6] Organisation for Economic Cooperation and Development

[Downloaded from ornamentalaquatics.ir on 2026-06-13]
[DOR: 20.1001.1.24234575.1399.7.1.4.1]

نتیجه‌گیری

مطالعه حاضر نقش نانوذرات نقره را در کنترل بیماری‌های آبزیان در محیط‌های پرورشی منعکس نمود. براساس منابع، بیشترین تحقیقات درباره تاثیرات ضدباکتریایی نانوذرات نقره بر گونه‌های آبزی صورت گرفته است. این در حالی است که تاثیرات ضد میکروبی این مواد بر عوامل ویروسی کمتر مورد توجه قرار گرفته است. در مجموع، مطالعه حاضر نشان داد که با توجه به فعالیت ضد میکروبی زیاد و اثرات محیطی و سمیت سلولی کم، نانوذرات نقره می‌توانند به‌عنوان جایگزینی مؤثر در برابر طیف وسیعی از عوامل میکروبی از قبیل باکتری‌ها، قارچ-ها، انگل‌ها و حتی ویروس‌ها مورد استفاده قرار گیرند. با توجه به این موضوع توصیه می‌شود که از خصوصیات نانوذرات نقره به‌منظور جلوگیری از رشد و کنترل عوامل بیماری‌زا و همچنین مدیریت بهداشت در سیستم‌های پرورشی استفاده شود. البته شایان ذکر است، کاربرد این مواد در محیط‌های پرورشی باید با احتیاط و رعایت تمام جوانب ضروری صورت گیرد. با این حال، لازم است که تحقیقات بیشتری به منظور درک بهتر و دقیق‌تر اثربخشی این مواد و همچنین میزان سمیت آنها در گونه‌های مختلف آبزیان پرورشی به‌ویژه ماهیان مورد مصرف انسان، انجام گیرد.

منابع

رادخواه، ع.ر.، ۱۳۹۸. گسترش بیماری‌های انگلی به‌عنوان تهدیدی جدی برای صنعت پرورش ماهیان زینتی: بررسی میزان شیوع انگل آرگولوس (*Argulus*) در ماهیان زینتی ایران. مجله آبزیان زینتی، دوره ۶، شماره ۳، صص ۲۲-۱۳.

رادخواه، ع.ر. و ایگدری، س.، ۱۳۹۷. معرفی ویژگی‌های زیستی ماهی قرمز (*Carassius auratus* Linnaeus, 1785) در ایران و بررسی پتانسیل‌های تکثیر و پرورش آن. مجله آبزیان زینتی، دوره ۵، شماره ۲، صص ۱۱-۱.

رادخواه، ع.ر. و ایگدری، س.، ۱۳۹۸. بررسی خصوصیات زیست‌شناختی و پتانسیل‌های پرورشی برخی از گونه‌های جراح ماهی (خانواده: Acanthuridae) ساکن خلیج فارس جهت بهره‌برداری در صنعت پرورش ماهیان زینتی. مجله آبزیان زینتی، دوره ۶، شماره ۴، صص ۱۱-۱.

Abou El-Nour, K.M.M., Eftaiha, A., Al-Warthan, A. and Ammar, R.A.A., 2010. Synthesis and applications of silver nanoparticles. Arabian Journal of Chemistry, 3:135–140. DOI:10.1016/j.arabjc.2010.04.008.

Barakat, K.M., El-Sayed, H.S. and Gohar, Y.M., 2016. Protective effect of squilla chitosan–silver nanoparticles for *Dicentrarchus labrax* larvae infected with *Vibrio anguillarum*. International Aquatic Research, 8: 179–189. DOI: 10.1007/s40071-016-0133-2.

Boyd, C.E., McNevin, A.A., Clay, J. and Johnson, H.M., 2005. Certification issues for some common aquaculture species. Reviews in Fisheries Science, 13: 231–279. DOI: 10.1080/10641260500326867.

Clarke, J.L., Waheed, M.T., Lössl, A.G., Martinussen, I. and Daniell, H., 2013. How can plant genetic engineering contribute to cost-effective fish vaccine development for promoting sustainable aquaculture? Plant Molecular Biology, 83: 33–40. DOI: 10.1007/s11103-013-0081-9.

Dananjaya, S.H.S., Erandani, W.K.C.U., Kim, C.H., Nikapitiya, C., Lee, J. and De Zoysa, M., 2017. Comparative study on antifungal activities of chitosan nanoparticles and chitosan silver nano composites against *Fusarium oxysporum* species complex. International Journal of Biological Macromolecules, 105(1): 478–488. DOI: 10.1016/j.ijbiomac. 2017.07.056.

[Downloaded from ornamentalaquatics.ir on 2026-06-13]
[DOR: 20.1001.1.24234575.1399.7.1.4.1]

Daniel, S.C.G.K., Sironmani, T.A. and Dinakaran, S., 2016. Nano formulations as curative and protective agent for fish diseases: Studies on red spot and white spot diseases of ornamental gold fish *Carassius auratus*. International Journal of Fisheries and Aquatic Studies, 4(4): 255–261.

FAO., 2008. Aquaculture development. 3. Genetic resource management. FAO Technical Guidelines for Responsible Fisheries. No. 5, Suppl. 3, Rome, 125P.

FAO., 2018. The State of World Fisheries and Aquaculture 2018 - Meeting the sustainable development goals, Rome, 210P.

Franklin, N.M., Rogers, N.J., Apte, S.C., Batley, G.E., Gadd, G.E. and Casey, P.S., 2007. Comparative toxicity of nanoparticulate ZnO, bulk ZnO, and $ZnCl_2$ to a freshwater microalga (*Pseudokirchneriella subcapitata*): the importance of particle solubility. Environmental Science and Technology, 41: 8484–8490. DOI: 10.1021/es071445r.

Johari, S.A., Kalbassi, M.R., Soltani, M. and Yu, I.J., 2013. Toxicity comparison of colloidal silver nanoparticles in various life stages of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). Iranian Journal of Fisheries Sciences, 12(1): 76–95.

Kathiresan, K., Alikunhi, N.M., Pathmanaban, S., Nabikhan, A. and Kandasamy, S. 2010. Analysis of antimicrobial silver nanoparticles synthesized by coastal strains of *Escherichia coli* and *Aspergillus niger*. Canadian Journal of Microbiology, 56: 1050–1059. DOI: 10.1139/W10-094.

Khan, M.S., Qureshi, N.A. and Jabeen, F., 2017. Assessment of toxicity in fresh water fish *Labeo rohita* treated with silver nanoparticles. Applied Nanoscience, 7: 167–179. DOI: 10.1007/s13204-017-0559-x.

Kim, J.S., Kuk, E., Yu, K.N., Kim, J.H., Park, S.J., Lee, H.I., Kim, S.H., Park, S.J., Park, Y.H., Hwang, C.Y., Kim, Y.K., Lee, Y.S., Jeong, D.H. and Cho, M.H., 2007. Antimicrobial effects of silver nanoparticles. Nanomedicine, Nanotechnology, Biology, and Medicine, 3: 95–101. DOI: 10.1016/j.nano.2006.12.001.

Li, F. and Xiang, J., 2013. Recent advances in researches on the innate immunity of shrimp in China. Developmental and Comparative Immunology, 39: 11–26. DOI: 10.1016/j.dci.2012.03.016.

Luis, A.I.S., Campos, E.V.R., Oliveira, J.L. and Fraceto, L.F., 2019. Trends in aquaculture sciences: from now to use of nanotechnology for disease control. Reviews in Aquaculture, 11: 119–132.

Mahanty, A., Mishra, S., Bosu, R., Maurya, U.K., Netam, S.P. and Sarkar, B., 2013. Phytoextracts-synthesized silver nanoparticles inhibit bacterial fish pathogen *Aeromonas hydrophila*. Indian Journal of Microbiology, 53(4):438–446. DOI: 10.1007/s12088-013-0409-9.

Meyer, F.P., 1991. Aquaculture disease and health management. Journal of Animal Science, 69: 4201–4208.

Mohapatra, S., Chakraborty, T., Kumar, V., DeBoeck, G. and Mohanta, K.N., 2013. Aquaculture and stress management: a review

[Downloaded from ornamentalaquatics.ir on 2026-06-13]

[DOR: 20.1001.1.24234575.1399.7.1.4.1]

of probiotics intervention. Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition, 97(3):405–430.

Murray, A.G., 2013. Epidemiology of the spread of viral diseases under aquaculture. Current Opinion in Virology, 3: 74–78.

Ochoa-Meza, A.R., Álvarez-Sánchez, A.R., Romo-Quiñonez, C.R., Barraza, A., Magallón-Barajas, F.J., Chávez-Sánchez, A., García-Ramos, J.C., Toledano-Magaña, Y., Bogdanchikova, N., Pestryakov, A. and Mejía-Ruiz, C.H.. 2019. Silver nanoparticles enhance survival of white spot syndrome virus infected Penaeus vannamei shrimps by activation of its immunological system. Fish and Shellfish Immunology, 84:1083–1089. DOI: 10.1016/j.fsi.2018.10.007.

Ouay, B.L. and Stellacci, F., 2015. Antibacterial activity of silver nanoparticles: A surface science insight. Nanotoday, 10(3): 339–354. DOI: 10.1016/j.nantod.2015.04.002.

Pimentel-Acosta, C.A., Morales-Serna, F.N., Chávez-Sánchez, M.C., Lara, H.H., Pestryakov, A., Bogdanchikova, N. and Fajer-Ávila, E.J., 2019. Efficacy of silver nanoparticles against the adults and eggs of monogenean parasites of fish. Parasitology Research, 118: 1741–1749. DOI: 10.1007/s00436-019-06315-9.

Radkhah, A.R., 2017. Introduction to some species of Argulus (Crustacea: Branchiura), parasitic infections in the freshwater fishes. Journal of Applied Sciences and Environmental Management, 21(7): 1268–1271. DOI: 10.4314/jasem.v21i7.7.

Rafique, M., Sadaf, I., Rafique, M.S. and Tahir, M.B., 2017. A review on green synthesis of silver nanoparticles and their applications. Artificial Cells, Nanomedicine, and Biotechnology, 45: 1272–1291.

Sae-Lim, P., Kause, A., Mulder, H.A. and Olesen, I., 2016. Selective breeding in aquaculture for future environments under climate change. Conference paper, 3 p.

Sergeev, G. and Shabatina, T., 2008. Cryochemistry of nanometals. In: Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects. Nanoscience and Nanotechnology, Volumes 313–314, pp. 18–22.

Shaalan, M.I., El-Mahdy, M.M., Theiner, S., El-Matbouli, M. and Saleh, M., 2017. In vitro assessment of the antimicrobial activity of silver and zinc oxide nanoparticles against fish pathogens. Acta Veterinaria Scandinavica, 59: 49. DOI: 10.1186/s13028-017-0317-9.

Sharma, V., Yngard, R. and Lin, Y., 2008. Silver nanoparticles: green synthesis and their antimicrobial activities. Advances in Colloid and Interface Science, 145(1-2): 83–96. DOI: 10.1016/j.cis.2008.09.002.

Silva, L.P., Silveira, A.P., Bonatto, C.C., Reis, I.G. and Milreu, P.V., 2017. Silver nanoparticles as antimicrobial agents: past, present, and future. In: Nanostructures for antimicrobial therapy. Ficai, A. and Grumezescu, A.M., (eds.), Elsevier, Amsterdam, Netherlands, pp. 577–596.

Sivaramasamy, E., Zhiwei, W., Li, F. and Xiang, J., 2016. Enhancement of vibriosis

[Downloaded from ornamentalaquatics.ir on 2026-06-13]
[DOR: 20.1001.1.24234575.1399.7.1.4.1]

resistance in *Litopenaeus vannamei* by supplementation of biomastered silver nanoparticles by *Bacillus subtilis*. Journal of Nanomedicine and Nanotechnology, 7: 352. DOI: 10.4172/2157-7439.1000352.

Sohn, E.K., Johari, A., Kim, T.G., Kim, J.K., Kim, E., Lee, J.H., Chung, Y.S. and Yu, I.J., 2015. Aquatic toxicity comparison of silver nanoparticles and silver nanowires. Biomed Research International. Volume 2015, Article ID: 893049, 12 pages. DOI: 10.1155/2015/893049.

Soltani, M., Ghodratnema, M., Ahari, H., Ebrahimzadeh mousavi, H.A., Atee, M., Dastmalchi, F. and Rahmanya, J., 2009. The inhibitory effect of silver nanoparticles on the bacterial fish pathogens, *Streptococcus iniae*, *Lactococcus garvieae*, *Yersinia ruckeri* and *Aeromonas hydrophila*. Journal of Veterinary Research, 3(2):137–142.

Troell, M., Kautsky, N., Beveridge, M., Henriksson, P., Primavera, J., Rönnbäck, P., Folke, C. and Jonell, M., 2017. Aquaculture. In: Reference Module in Life Sciences, Elsevier, DOI: 10.1016/B978-0-12-809633-8.02007-0.

Tuševljak, N., Dutil, L., Rajić, A., Uhland, F.C., Mcclure, C., St-Hilaire, S., Reid-Smith, R.J. and McEwen, S.A., 2013. Antimicrobial use and resistance in aquaculture: findings of a globally administered survey of aquaculture-allied professionals. Zoonoses Public Health, 60: 426–436.

Wilson, W.D., 2019. Nanotechnology consumer product inventory. Retrieved from http://www.nanotechproject.org/cpi/about/analysis. Accessed 13 September 2019.

Yeo, S.Y., Lee, H.J. and Jeong, S.H., 2003. Preparation of nanocomposite fibers for permanent antibacterial effect. Journal of Materials Science, 38: 2143–2147.

Yung, M.M.N., Mouneyrac, C. and Leung, K.M.Y., 2014. Ecotoxicity of zinc oxide nanoparticles in the marine environment. In: Encyclopedia of Nanotechnology. Bhushan, B. (eds.), Springer, Dordrecht, pp. 1–17. DOI: 10.1007/978-94-007-6178-0_100970-1.

Zhong, L., Hu, J., Cui, Z., Wan, L. and Song, W., 2007. *In-situ* loading of noble metal nanoparticles on hydroxyl-group-rich titania precursor and their catalytic applications. Chemistry of Materials, 19(18): 4557–4562.

Zorraquín-Peña, I., Cueva, C., Bartolomé, B. and Moreno-Arribas, M.V., 2020. Silver nanoparticles against foodborne bacteria. Effects at intestinal level and health limitations. Microorganisms, 8: 132. DOI: 10.3390/microorganisms8010132.

[Downloaded from ornamentalaquatics.ir on 2026-06-13]

[DOR: 20.1001.1.24234575.1399.7.1.4.1]

Investigation of antimicrobial properties of silver nanoparticles (AgNPs) to control diseases and health management in aquaculture systems

Radkhah A.R.[1]; Eagderi S.[1*]; Sadeghinejad Masouleh E.[2]

*soheil.eagderi@ut.ac.ir

1- Department of Fisheries, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran
2- Inland Waters Aquaculture Research Center, Iranian Fisheries Science Research Institute (IFSRI), Agriculture Research Education and Extension Organization (AREEO), Bandar-e Anzali, Iran

Abstract

Today, the aquaculture has encountered many challenges such as the prevalence of the pathogens in rearing systems. So far, various chemical, physical and biological methods have been used to control and prevent the spread of pathogens in farms. In recent years, significant advances in nanotechnology have been led to introduce of this science into various industries, including aquaculture. Considerable studies have been performed on the application of silver nanoparticles (AgNPs) in the aquaculture. In addition, there are evidences that these substances play an important role in controlling and preventing the spread of pathogens in aquatic environments. Hence, the present work aimed to review the antimicrobial effects of silver nanoparticles to control aquatic diseases and health management in aquaculture. In addition, the challenges and risks of using these substances in aquaculture environments are briefly discussed. A review of available sources has shown that most studies have done on the effects of silver nanoparticles on bacterial agents. The findings also show that silver nanoparticles can be used by aquaculturists for sustainable management and improvement of health conditions in aquaculture systems.

Keywords: Silver Nanoparticles, Pathogens, Antibacterial, Antibiotics, Aquaculture

[Downloaded from ornamentalaquatics.ir on 2026-06-13]

[DOR: 20.1001.1.24234575.1399.7.1.4.1]