مقاله علمی–مروری

مروری بر فواید و مضرات فناوری نانو در صنعت آبزی‌پروری

علیرضا رادخواه[۱]، سهیل ایگدری*[۱]، حامد موسوی ثابت[۲]

* soheil.eagderi@ut.ac.ir

۱-گروه شیلات، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران.
۲-گروه شیلات، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه گیلان، صومعه‌سرا، ایران.

تاریخ دریافت: آذر ۱۳۹۹ تاریخ پذیرش: اسفند ۱۳۹۹

چکیده

تاکنون فناوری نانومواد به عنوان یک دانش نوظهور در بسیاری از صنایع مورد استفاده قرار گرفته است که از جمله آنها می‌توان به بخش آبزی‌پروری اشاره کرد. اگرچه این مواد کاربرد گسترده‌ای در بخش آبزی‌پروری دارند، اما افزایش تولید و استفاده از آنها نگرانی‌های زیادی را در مورد سمیت بالقوه برای سلامت انسان و محیط زیست ایجاد کرده است. بنابراین، تحقیق حاضر با هدف مرور فواید و مضرات استفاده از فناوری نانو در سیستم‌های آبزی‌پروری از جمله پرورش ماهیان زینتی انجام شده است. این مطالعه قصد دارد با ارائه این اطلاعات، رویکرد جامع و همه‌جانبه‌ای برای تصمیم‌گیری بهتر مدیران شیلاتی فراهم سازد. در این تحقیق، نقش فناوری نانو و فواید آن در بخش‌های مختلف صنعت آبزی‌پروری، از قبیل تغذیه آبزیان، تولیدمثل، تصفیه آب، صید و کنترل بهداشت و درمان بیماری‌ها مورد بررسی قرار گرفت و اثرات منفی و سمیت ناشی از کاربرد این مواد در سیستم‌های پرورشی از دیدگاه اکولوژیک و زیست‌محیطی ارزیابی شد.

کلمات کلیدی: نانوذرات، تغذیه آبزیان، کنترل بیماری‌ها، فیلتراسیون، سمیت

[Downloaded from ornamentalaquatics.ir on 2026-11-16]

[DOR: 20.1001.1.24234575.1400.8.2.2.8]

مقدمه

امروزه آبزی‌پروری سریع‌ترین و پُررونق‌ترین صنعت جهانی غذا محسوب می‌شود و در تامین افزایش تقاضا برای پروتئین‌های حیوانی نقش اساسی دارد. با این حال، عوامل مختلف از جمله شیوع بیماری‌ها، آلودگی‌های شیمیایی و تخریب محیط زیست به طور چشمگیر مانع از دستیابی این بخش به امنیت جهانی غذا می‌شوند (رادخواه و همکاران، ۱۳۹۸، ۱۳۹۹؛ Radkhah, 2017). در همین راستا برای مقابله با این چالش‌ها در آبزیان، شیوه‌های جدیدی در علم و فناوری توسعه یافته است. در این میان فناوری نانو از پتانسیل فوق‌العاده‌ای برای بهبود آبزی‌پروری برخوردار می‌باشد و از جلوه‌های فناوری نانو در صنعت آبزی‌پروری کاربرد نانوذرات (NPs) با هدف تغذیه آبزیان، بهبود کیفیت آب و کنترل بیماری‌هاست (Márquez *et al*., 2018; Luis *et al*., 2019).

اگرچه امروزه هزاران محصول نانو در بازار وجود دارد، اما همچنان تعداد محصولات جدیدی که مبتنی بر فناوری نانو هستند، به‌سرعت در حال افزایش است. رشد سریع تجاری‌سازی نانوذرات باعث افزایش میزان مواجهه این مواد با محیط زیست و فشارهای احتمالی بر آن می‌شود (Liu *et al*., 2016). بررسی منابع نشان می‌دهد که رهاسازی این مواد به محیط زیست و آلودگی‌های ناشی از آنها به طور ناخواسته رو به افزایش است و از نظر سمیت برای موجودات آبزی به‌ویژه ماهیان نگرانی‌هایی ایجاد کرده است (Thummabancha *et al*., 2016).

تاکنون تحقیقات متعددی به بررسی نقش و اثرات فناوری نانو در صنعت آبزی‌پروری پرداخته‌اند. در برخی از این تحقیقات به کاربرد فناوری نانو اشاره شده و در برخی دیگر نیز اثرات زیست‌محیطی آنها مورد بررسی قرار گرفته است. Soltani و همکاران (۲۰۰۹) در بررسی اثر ضدمیکروبی نانوذرات نقره بر باکتری‌های گرم مثبت و گرم منفی در ماهیان قزل‌آلا، بیان کردند که نانوذرات نقره موجب کاهش رشد سویه‌های باکتریایی *Aeromonas hydrophila*، *Lactococcus garvieae*، *Streptococcus iniae* و *Yersinia ruckeri* می‌شوند. Daniel و همکاران (۲۰۱۶) در پژوهشی به منظور کنترل و درمان بیماری‌های لکه سفید و لکه قرمز در ماهی طلایی (*Carassius auratus*) بیان نمودند که یک بار استفاده از نانوذرات نقره با غلظت بسیار کم (۱۰ نانوگرم بر گرم وزن بدن) می‌تواند محافظت طولانی مدت در ماهی طلایی ایجاد کند. Ochoa-Meza و همکاران (۲۰۱۹) نیز پتانسیل ضد ویروسی نانوذرات نقره در مواجهه با ویروس سندرم لکه سفید (WSSV)، در میگوی پاسفید (*Penaeus vannamei*) را مورد بررسی قرار داده و نشان دادند که استفاده از نانوذرات نقره می‌تواند جایگزین مناسبی برای درمان بیماری سندرم لکه سفید در میگوی پاسفید باشد.

اگر چه مزایای استفاده از فناوری نانو در مطالعات مختلف به ثبت رسیده، اما اثرات منفی این مواد از دیدگاه اکولوژیک و زیست‌محیطی در بسیاری از پژوهش‌ها مطرح شده است. Johari و همکاران (۲۰۱۳) در بررسی میزان سمیت نانوذرات نقره کلوئیدی (AgNPs) در سه مرحله مختلف زندگی قزل‌آلای رنگین کمان، بیان کردند که AgNP های کلوئیدی در مرحله‌های جنین-لارو و جوانی به‌ترتیب به عنوان "بسیار سمی" و "سمی" طبقه‌بندی می‌شوند. Sohn و همکاران (۲۰۱۵) برای درک بهتر اثرات زیست‌محیطی نانوذرات نقره (AgNPs) و نانوسیم‌های نقره‌ای (AgNWs) در محیط‌های آب شیرین، سمیت این نانومواد را در گونه‌های دافنی (*Daphnia magna*)، ماهی (*Oryzias latipes*) و جلبک (*Raphidocelis subcapitata*) مقایسه کردند و نشان دادند که حساسیت به نانومواد در بین ارگانیسم‌های مورد آزمایش متفاوت (دافنی> جلبک> ماهی) است. Rajkumar و همکاران (۲۰۱۶) در ارزیابی پارامترهای خون‌شناسی ماهی *Labeo rohita* در مواجهه با نانوذرات نقره ابراز داشتند که این مواد باعث تغییر پارامترهای خون شناسی این ماهی می‌شود و بر عملکرد طبیعی فیزیولوژیک ماهی تأثیر می‌گذارد. مجموع مطالب مذکور نشان می‌دهد که تاکنون مزایا و معایب مختلفی از کاربرد نانومواد در بخش آبزی‌پروری به ثبت رسیده است. از این‌رو، لازم است که رویکرد جامع و همه‌جانبه‌ای برای استفاده از این مواد اتخاذ گردد. با توجه به این موضوع، مطالعه حاضر با هدف مرور فواید و مضرات استفاده از فناوری نانو در سیستم‌های آبزی‌پروری به اجرا درآمد. ارائه این اطلاعات مروری می‌تواند کاربرد و جایگاه نانوذرات در صنعت آبزی‌پروری را برای علاقه‌مندان مشخص نماید و مورد استفاده کارشناسان و مدیران قرار گیرد.

[Downloaded from ornamentalaquatics.ir on 2026-11-16]

[DOR: 20.1001.1.24234575.1400.8.2.2.8]

نانوذرات

نانوذرات موادی در مقیاس نانو یعنی در ابعاد ۱۰۰-۱ نانومتر می‌باشند (Rather *et al*., 2011). نانوذرات به دلیل ویژگی‌های خاصی که دارند، در طیف گسترده‌ای از بخش‌ها شامل انرژی (تولید، کاتالیز و ذخیره‌سازی)، مواد (روان‌کننده‌ها، ساینده‌ها، رنگ‌ها، لاستیک‌ها و وسایل ورزشی)، الکترونیک (تراشه و صفحه)، حمل و نقل و ارتباط از راه دور، تصویربرداری، مهندسی مکانیک، حسگرهای شیمیایی و بیولوژیک، اپتیک و اصلاح (جذب آلودگی، فیلتر و ضدعفونی آب)، مواد غذایی (مواد افزودنی و بسته‌بندی)، مواد آرایشی (لوسیون‌های پوستی) و داروها (تشخیص و انتقال دارو) کاربرد دارند (Buzea *et al*., 2007; Joner *et al*., 2008; Rana and Kalaichelvan, 2013). این کاربرد گسترده موجب شده است تا Garside (۲۰۱۹) اعلام کند که "در سال ۲۰۱۷، فناوری نانو ارزش بازاری نزدیک به ۴۹ میلیارد دلار آمریکا در سراسر جهان داشته است و پیش‌بینی می‌شود تا سال ۲۰۲۰ به حدود ۷۶ میلیارد دلار آمریکا افزایش یابد". نانوذرات براساس نوع ماده تشکیل دهنده به دو بخش نانوذرات فلزی و غیر فلزی تقسیم می‌شوند. از جمله نانوذرات فلزی مرسوم می‌توان به اکسید آلومینیوم، طلا، اکسید مس، نقره، اکسید روی، اکسید آهن و اکسید تیتانیوم اشاره کرد.

کاربرد فناوری نانو در صنعت آبزی‌پروری

براساس سازمان غذا و کشاورزی (FAO)، تولیدات آبزی‌پروری در سال‌های اخیر افزایش یافته است. فعالیت‌های آبزی‌پروری برای مقابله با مشکلات متعدد از قبیل گسترش بیماری‌هایی باکتریایی و ویروسی، آلودگی پساب‌های پرورشی و استفاده بیش از حد از منبع آب همواره با چالش مواجه است. از این‌رو، صنعت آبزی‌پروری نیاز به اتخاذ فن‌آوری‌های نوآورانه دارد تا از دشواری‌ها و چالش‌هایی که توسعه آن را محدوده می‌کند، عبور کند. در این بخش، نقش فناوری نانو و فواید آن در بخش‌های مختلف صنعت آبزی‌پروری، از قبیل تغذیه آبزیان، تولیدمثل، تصفیه آب و کنترل بهداشت و درمان بیماری‌ها مورد بحث قرار می‌گیرد.

کاربرد فناوری نانو در تغذیه آبزیان

فناوری نانو برای غلبه بر مشکلات تغذیه در موجودات پرورشی، نتایج مفید و امیدوار کننده‌ای ارائه داده است. Wang و همکاران (۲۰۰۷) بیان کردند که فناوری نانو نویدبخش تغذیه آبزیان است، زیرا موادی که در ابعاد نانو هستند، ویژگی‌های جدید و متفاوتی دارند و استفاده از آنها باعث می‌شود تا سیستم انتقال مواد غذایی کارآمدتر و موفق‌تر عمل کند. بر طبق برخی تحقیقات، ذرات نانو از عناصری مانند سلنیوم، آهن و ... که به رژیم غذایی آبزیان اضافه می‌شوند، می‌توانند رشد ماهیان را بهبود بخشند و هزینه تصفیه آب را کاهش دهند. مجموع این موارد نشان می‌دهد که نانومواد کاربردهای بالقوه و بی‌شماری در تغذیه آبزیان دارند (Shrivastava *et al*., 2015). در جدول ۱ برخی از این کاربردها در غذای آبزیان ارائه شده است.

تاکنون مطالعات مختلفی با هدف بررسی نقش نانوذرات فلزی و غیرفلزی در تغذیه آبزیان انجام شده است. آهن (Fe) به دلیل نقش حیاتی در فرآیندهای فیزیولوژیک مانند انتقال اکسیژن، تنفس سلولی و واکنش‌های اکسیداسیون لیپید، عنصری ضروری برای عملکرد اندام‌ها و بافت‌های موجودات از جمله ماهیان است (Andersen *et al*., 1997). دانشمندان آکادمی علوم روسیه گزارش کردند که ماهیان کپور جوان و ماهیان خاویاری هنگام تغذیه با نانوذرات آهن سرعت رشد سریع‌تری از خود نشان دادند (به‌ترتیب ۳۰ و ۲۴ درصد). همچنین تحقیقات نشان داده است که منابع مختلف سلنیوم (Nano-Se و Selenomethionine) همراه با رژیم غذایی پایه می‌توانند وزن نهایی، میزان سود نسبی، وضعیت آنتی اکسیدانی و همچنین فعالیت‌های گلوتاتیون پراکسیداز (GSH-Px)و غلظت سلنیوم (Se) در عضله کپور کاراس (*C. gibelio*) را بهبود ببخشند (Zhou *et al*., 2009; Shrivastava *et al*., 2015).

چربی یک مولفه مهم در رژیم غذایی ماهیان است، اما به‌راحتی اکسید شده و متعفن شده و در نهایت باعث ایجاد عطر و طعم نامناسب در خوراک می‌شود. برای غلبه بر این مشکل، از β-cyclodextrin به عنوان یک پلیمر محلول در آب و پلی کاپرولاکتون به عنوان یک پلیمر نامحلول در آب برای کپسوله‌سازی روغن ماهی استفاده می‌شود

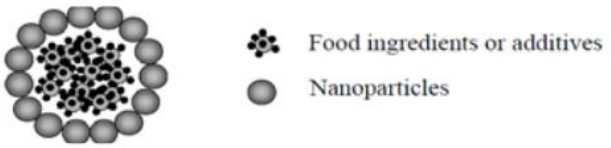
[Downloaded from ornamentalaquatics.ir on 2026-11-16]

[DOR: 20.1001.1.24234575.1400.8.2.2.8]

(Shrivastava *et al*., 2015). ماهی‌ها مواد غذایی حاوی نانومواد را مصرف می‌کنند. با توجه به این موضوع، می‌توان از فناوری نانو برای بهبود انتقال ریزمغذی‌ها یا مواد ناپایدار در تغذیه آبزیان استفاده کرد. برای مثال، از فناوری نانوکپسوله‌سازی (شکل ۱) برای انتقال ویتامین‌های محلول در چربی، مواد معدنی و اسیدهای چرب استفاده می‌شود (Shah and Mraz, 2019). بعضی از نانومواد می‌توانند خصوصیات فیزیکی (شناوری و سختی) خوراک را تغییر دهند.

جدول ۱: استفاده از فناوری نانو در خوراک آبزیان (Shrivastava *et al*., 2015))

	عملکرد	توجیه
۱	عوامل ضدمیکروبی یا ضدقارچی	نگهداری از مواد مغذی ماهی در طول دوره ذخیره
۲	تحویل ریز مغذی‌ها یا سایر مواد با ثبات پایین	برای محصور کردن یا پوشاندن (فناوری نانوکپسولاسیون) مواد مغذی که به طور معمول تخریب می‌شوند، مانند اسیدهای چرب یا دارای بازده جذب محدود هستند. برای مثال. اسیدهای چرب آزاد
۳	افزایش زیست‌فراهمی (Bioavailability)	کاروتنوئیدها، مواد معدنی کمیاب، ویتامین‌ها و اسیدهای چرب
۴	مکمل‌های معدنی در مقیاس نانو (فلزات کمیاب) مانند اشکال نانو سدیم سلنیت	به جذب بهتر کمک می‌کند
۵	جایگزین برای اشکال ارگانیک مکمل‌های غذایی	کاهش عوامل ضد تغذیه‌ای (Antinutritional factors)
۶	پایداری مواد غذایی	تغییر خصوصیات فیزیکی باعث کاهش اتلاف غذا و آلودگی می‌شود که باعث بهبود بافت و شناوری می‌شود. کپسوله‌سازی و انتشار کنترل شده غذا
۷	تغییر خصوصیات فیزیکی پِلت‌های غذایی	نانولوله‌های کربنی تک‌جداره (SWCNT) در غذای ماهی قزل‌آلا استفاده می‌شوند. این امر باعث ایجاد پلت‌های سخت غذایی می‌شود که به‌راحتی در آب تکه تکه نمی‌شوند. محققان مشاهده کردند که قزل‌آلای رنگین کمان، غذای حاوی نانومواد را به‌راحتی مصرف می‌کند (حداکثر ۱۰۰ میلی‌گرم نانوذرات TiO_2 در کیلوگرم)
۸	حامل مواد معدنی ضروری	غذاداروها (Nutraceuticals)، آنزیم‌ها، افزودنی‌های غذایی، مواد غذایی ضدمیکروبی



شکل ۱: نانوکپسوله‌سازی خوراک آبزیان
(Shrivastava *et al*., 2015)

فناوری نانو در فرآوری آبزیان نیز نقش مهم و تاثیرگذاری دارد. از فناوری نانو برای زیست‌فراهمی، پایداری و ماندگاری بیشتر مواد حساس و محافظت از محصولات غذایی در برابر آلودگی‌های میکروبی استفاده می‌شود. یکی از کاربردهای فناوری نانو استفاده از روش‌های مختلف حفاظت و بسته‌بندی برای تأمین ایمنی مواد غذایی و تأخیر در فساد آنزیمی و میکروبی است. فیلم‌های نانوکامپوزیتی یکی از جلوه‌های فناوری نانو هستند که در فرآوری و بسته‌بندی مواد غذایی استفاده می‌شوند. این فیلم‌ها از بیوپلیمرهای طبیعی مانند پلی‌ساکارید، پروتئین و لیپید به‌دست می‌آیند (Can *et al*., 2011). این منابع جایگزین پلاستیک‌های مبتنی بر مواد شیمیایی هستند و برای بسته‌بندی مناسب مواد غذایی استفاده می‌شوند. این مواد به‌دلیل خاصیت خوراکی، دوستدار محیط زیست و ضدسرطانی مفید هستند (Dursun *et al*., 2010) و علاوه بر این، از نانوفیلتراسیون و فرآیند اسمز معکوس استفاده می‌کنند تا شوری آبی را که در شستشو و فرآوری مواد غذایی استفاده می‌شود، کاهش دهند (Can *et al*., 2011).

[Downloaded from ornamentalaquatics.ir on 2026-11-16]
[DOR: 20.1001.1.24234575.1400.8.2.2.8]

کاربرد فناوری نانو در تولیدمثل آبزیان

در تولیدمثل مصنوعی موجودات آبزی و تجاری، یکی از رایج ترین مشکلات، ویتلوژنزیز ناقص در ماده‌هاست که منجر به شکست بلوغ نهایی تخمک و تخمک‌گذاری می‌شود. برای غلبه بر این مشکل، لازم است روش‌هایی برای کنترل روند تولید مثل اتخاذ شود. از نانوذرات کیتوزان (Chitosan NPs) می‌توان برای انتقال و ترشح هورمون درون‌زا به روش کنترل شده استفاده کرد (Pulavendran *et al*., 2011). Rather و همکاران (۲۰۱۳) برای غلبه بر مشکل عمر کوتاه هورمون‌های تولیدمثل در خون، از هورمون سالمون با نانوذرات کیتوزان-طلا (Chitosan-nAu) استفاده کردند. آنها اظهار کردند که این امر از تزریق چندین باره هورمون به منظور افزایش اثربخشی آن در فرآیند تولیدمثل جلوگیری می‌کند. به‌علاوه، نتایج نشان داد که هورمون‌های تولیدمثل برای مدت طولانی‌تری در خون ارگانیسم‌های تحت درمان وجود دارند و تعداد نسبی تخم‌ها و میزان لقاح آنها نیز به طور قابل توجهی افزایش می‌یابد. محققان بیان کردند که هورمون آزادکننده لوتئینیزه ماهی قزل آلا متصل شده به نانو کیتوزان (CsLHRH) میزان بیان رونوشت Sox9 در غدد جنسی و سطح هورمون استروئیدی را در خون ماهیان ماده و نر متعلق به گربه ماهی *Clarias batrachus* افزایش داد که برای رشد مناسب غدد جنسی مفید است (Bhat *et al*., 2016).

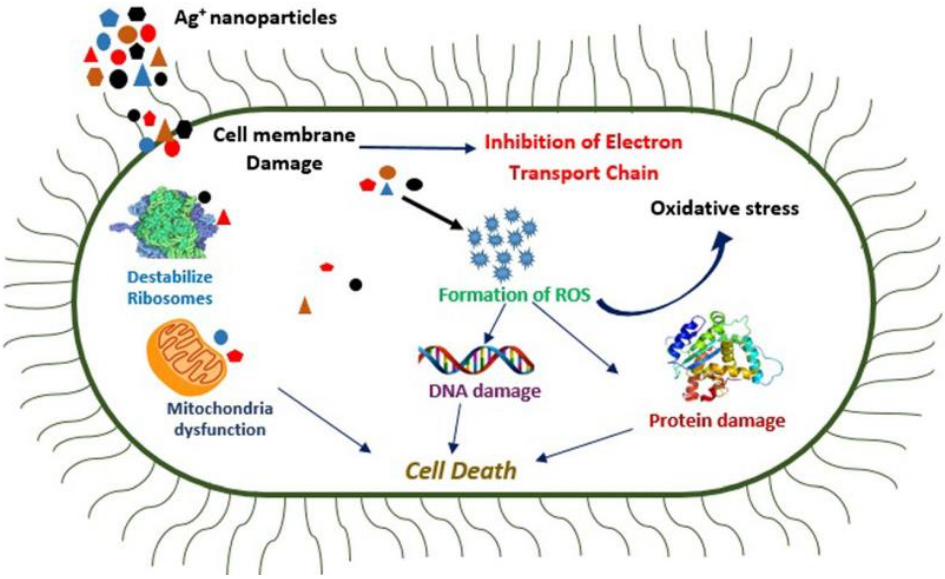
کاربرد نانوذرات در درمان آبزیان

آنتی بیوتیک‌ها چندین دهه برای مقابله با عفونت‌های باکتریایی مورد استفاده قرار گرفته‌اند. استفاده بیش از حد از آنتی‌بیوتیک‌ها می‌تواند منجر به ظهور باکتری‌های مقاومی شود که دیگر به آنتی‌بیوتیک‌ها حساس نیستند. Tuševljak و همکاران (۲۰۱۳) بیان داشتند که تتراسایکلین بیشترین عامل آنتی‌بیوتیک در مزارع پرورش ماهی است. این پژوهشگران بیان کردند که بین ظهور باکتری‌های مقاوم به آنتی بیوتیک و تجویز بیش از حد آنتی‌بیوتیک در پرورش آبزیان رابطه‌ای قوی وجود دارد. Son و همکاران (۱۹۹۷) اظهار کردند که باکتری *A. hydrophila* در تیلاپیا به طیف گسترده ای از آنتی‌بیوتیک‌ها مانند تتراسایکلین، استرپتومایسین و اریترومایسین مقاوم بودند. به‌علاوه، تاکنون مقاومت آنتی‌بیوتیک در بسیاری از سویه‌های باکتریای از جمله *Vibrio, Listeria*، *A. salmonicida*، *Y. ruckeri*، *Edwardsiella* و *Pseudomonas* ثبت شده است (Shaalan *et al*., 2016). در بسیاری از مطالعات، استفاده از نانوذرات به‌عنوان عوامل ضد میکروبی جایگزین برای مبارزه با مقاومت میکروبی در برابر آنتی‌بیوتیک مورد بررسی قرار گرفته است. بر اساس نتایج این مطالعات، نانوذرات فلزی فعالیت ضد میکروبی بالایی را در برابر باکتری‌ها، قارچ‌ها و ویروس‌ها نشان داده‌اند. در این بخش، نقش نانوذرات نقره، طلا و نانوذرات دی اکسید تیتانیوم در برابر عوامل بیماری‌زای ماهی مورد بررسی قرار گرفته است.

نانوذرات نقره (Ag-NPs): تاثیرات ضد باکتریایی نانوذرات نقره در بسیاری از تحقیقات به تایید رسیده است. این مواد از طریق مکانیزم‌های متعدد در برابر باکتری‌ها عمل می‌کنند و می‌توانند از مقاومت باکتریایی جلوگیری کنند (Knetsch and Koole, 2011). یون نقره (Ag^+) با اتصال به پروتئین‌های غشاء سلولی در باکتری‌ها باعث اختلال در عملکرد غشاء شده و منجر به مرگ سلول‌های باکتریایی می‌گردد (شکل ۲). در واقع، Ag^+ به سیتوکروم و اسیدهای نوکلئیک متصل و به آنها آسیب می‌رساند و از تقسیم سلولی جلوگیری می‌کند (Huang *et al*., 2011; Shaalan *et al*., 2016). Bundschuh و همکاران (۲۰۱۶) از عصاره برگ درخت حرا *Rhizophora mucronata* برای سنتز بیولوژیک Ag-NPs استفاده کردند. سپس، آنها اثرات ضد میکروبی این ماده علیه *Flavobacterium* sp.، *Proteus* sp. و *Pseudomonas fluorescens* را مورد بررسی قرار دادند. نتایج آنها نشان داد که اثر نانوذرات نقره سنتز شده همانند آنتی‌بیوتیک‌های تجاری است. در مطالعه‌ای دیگر، Vaseeharan و همکاران (۲۰۱۰) در درمان طولانی مدت با نانوذرات نقره را بر میگوهای نوجوان *Feneropenaeus indicus* آلوده به سویه باکتریایی *V. harveyi* نشان دادند که نانوذرات نقره در دوزهای بالا باعث کاهش ۷۱ درصدی مرگ و میر میگوها می‌شود.

[Downloaded from ornamentalaquatics.ir on 2026-11-16]

[DOR: 20.1001.1.24234575.1400.8.2.2.8]



شکل ۲: تصویر شماتیکی از مکانیسم عملکرد نانوذرات نقره در برابر رشد و تکثیر باکتری‌ها. (Rahman *et al.*, 2019)

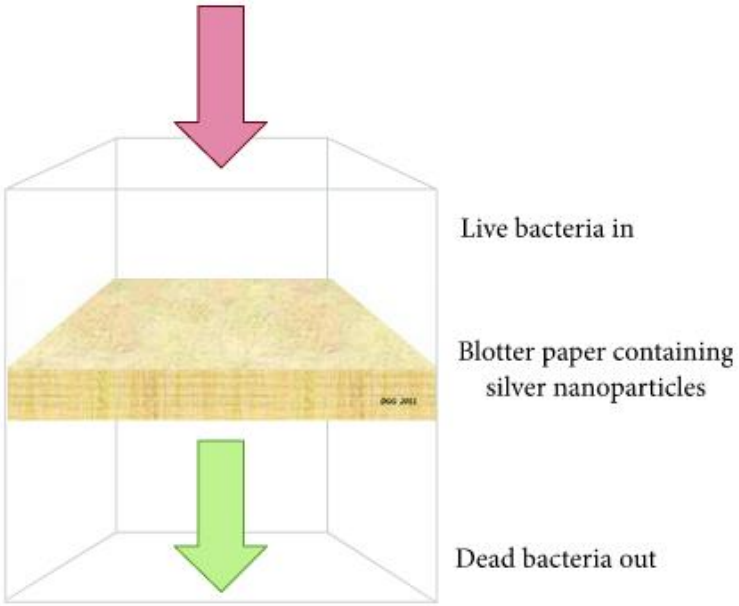
نانوذرات طلا (Au-NPs): در حال حاضر، علاقه زیادی به بررسی اثرات ضد میکروبی نانوذرات طلا (Au-NPs)، به دلیل سمیت کم آنها برای سلول‌های یوکاریوتی وجود دارد. نانوذرات طلا می‌توانند با پروتئین‌های بیولوژیک و غیر پروتئین‌ها، برای مثال، لیپوپلی‌ساکاریدها (LPS) ارتباط برقرار کنند و عملکردهای بیولوژیک قابل توجهی داشته باشند (Shaalan و همکاران، ۲۰۱۶). تاکنون اثرات ضد باکتریایی نانوذرات طلا در مواجهه با عوامل میکروبی از جمله *Salmonella typhi* و *Escherichia coli* به اثبات شده است (Lima *et al.*, 2013). به‌علاوه، Au-NP های سنتز شده نیز فعالیت ضدباکتریایی قابل توجهی در برابر باکتری‌های ماهی نشان دادند.

نانوذرات دی اکسید تیتانیوم (TiO_2-NPs): نانوذرات دی اکسید تیتانیوم هنگامی که با Fe_3O_4-NP مغناطیسی دوپ شوند، پس از فعال شدن به‌واسطه نور، اثر ضد باکتریایی بر علیه *Photobacterium damselae*، *S. iniae* و *Edwardsiella tarda* خواهند داشت (Cheng *et al.*, 2011). از این ذرات می‌توان برای ضدعفونی آب استفاده کرد، زیرا پاتوژن‌های ماهی به نانوذرات متصل می‌شوند، سپس می‌توان با استفاده از آهن‌ربا این نانوذرات آلوده را به‌راحتی از آب جدا کرد (Shaalan *et al.*, 2016). با این حال، Jovanović و همکاران (۲۰۱۱) نتیجه گرفتند که TiO_2-NP با مهار فعالیت ضد باکتریایی نوتروفیل‌ها بر سیستم ایمنی ماهیان تأثیر می‌گذارد و از این‌رو، مرگ و میر ماهیان را به‌ویژه هنگام شیوع بیماری افزایش می‌دهد.

کاربرد فناوری نانو در تصفیه آب

آب یک نیاز اساسی برای زندگی است و در دسترس بودن آن به شکل خالص برای فعالیت‌های مختلف بقاء مانند مصرف انسان و کشاورزی مهم است. فعالیت‌های انسانی بر مکانیسم بازیافت و تصفیه آب تأثیر گذاشته و تعادل بین مصرف و فرآیندهای تصفیه را کاملاً بر هم زده است. تقریباً تمام منابع طبیعی آب آشامیدنی مانند آبهای سطحی، آبهای زیرزمینی، دریاچه‌ها و مخازن، رودخانه‌ها و کانال‌ها و آب باران به طیف گسترده‌ای از مواد سمی و میکروارگانیسم‌های بیماری‌زا آلوده شده است (Baruah *et al.*, 2009, 2016). بر طبق گزارش سازمان جهانی بهداشت (WHO) تقریباً ۱۲ میلیون نفر هر ساله بر اثر بیماری‌های مربوط به آب می‌میرند. آب ناخالص علت حدود ۹۰٪ از کل بیماری‌ها در حال توسعه است. بیش از ۴ میلیارد گزارش درباره بیماری‌های ناشی از مصرف آب آلوده در سطح جهان ثبت شده است (Baruah *et al.*, 2016). فناوری نانو یک فناوری نویدبخش برای تصفیه آلودگی‌های آب است (شکل ۳) (Brame and Alvarez, 2011).

[Downloaded from ornamentalaquatics.ir on 2026-11-16]
[DOR: 20.1001.1.24234575.1400.8.2.2.8]



شکل ۳: تصویری شماتیک از فرآیند حذف عوامل بیماری‌زا به‌وسیله نانوذرات فلز (Lu *et al.*, 2016)

این فناوری قادر است بر فن‌آوری‌هایی مانند شیرین‌سازی آب دریا برای افزایش تأمین آب شیرین تأثیر بگذارد. البته، باید یادآو شد، نانومواد مهندسی شده می‌توانند با تأثیر در آلودگی آب، اثرات سوئی بر اکوسیستم نیز داشته باشند (Najam Khan *et al.*, 2014; Baruah *et al.*, 2016). در موردخصوصیات مثبت و پیامدهای سوء نانومواد در تصفیه آب می‌توان به موارد ذیل اشاره نمود:

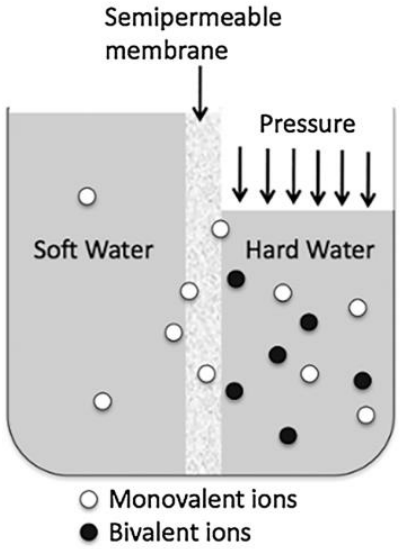
فوتوکاتالیز[1]: فوتوکاتالیز خورشیدی به عنوان موفقیت اصلی فناوری در تصفیه آب به‌ویژه در مناطق در حال توسعه شناخته می‌شود. سیستم‌های فوتوکاتالیستی می‌توانند تکنیک‌های موجود را در حذف آلاینده‌های کمیاب تکمیل کنند. فوتوکاتالیز، با استفاده از ساختارهای نانوئی و نیمه هادی‌های اکسید فلز مانند اکسید روی (ZnO)، تیتانیوم (TiO_2)، اکسید تنگستن (WO_3) و استانات روی (Zn_2SnO_4) می‌تواند روشی موثر برای تصفیه آب باشد، زیرا قادر به حذف مواد شیمیایی و همچنین آلاینده‌های زیستی است (Baruah *et al.*, 2012). از آنجایی‌که فعالیت‌های زیادی در رابطه با استفاده از فوتوکاتالیزها در زمینه‌های کشاورزی و میکروب‌شناسی در حال انجام است، بسیار مهم است که فوتوکاتالیست‌ها از نظر بیولوژیک بی‌اثر و غیرسمی باشند. فوتوکاتالیست‌های نانوساختار دارای نسبت سطح به حجم زیادی هستند که این موضوع، اجازه جذب بیشتر مولکول‌های هدف را می‌دهد.

نانوفیلتراسیون: نانو فیلتراسیون، فرآیند نسبتاً جدیدی در گروه فرآیندهای فیلتراسیون غشایی است که بیشتر برای آبهای سطحی و زیرزمینی که دارای مقادیر کمتری از مواد جامد محلول هستند، استفاده می‌شود. اهداف نانوفیلتراسیون نرم کردن (حذف کاتیون چند ظرفیتی) آب و حذف پیش‌سازهای DOB مانند مواد آلی طبیعی و مصنوعی است (Hillie and Hlophe, 2007). نوع موادی که می‌توانند فیلتر شوند، به اندازه منافذ غشاهای فیلتراسیون بستگی دارد. نانو فیلتراسیون که یک فناوری فیلتراسیون جریان متقابل است که می‌تواند بین اولترافیلتراسیون و اسمز معکوس قرار گیرد. اندازه منافذ غشای نانوفیلتراسیون می‌تواند تا حدود ۱ نانومتر کاهش یابد. برخی از آلاینده‌ها با استفاده از غشاهایی با اندازه منافذ ۱۰۰۰-۰/۵ نانومتر قابل حذف هستند (Baruah *et al.*, 2016). شکل ۴ نمایشی شماتیک از نرم شدن آب با استفاده از غشاء نانوفیلتراسیون را نشان می‌دهد که در آن آب با فشار بالا از میان غشاء عبور داده می‌شود. انتخاب غشاء نانوفیلتر با توجه به دو پارامتر احتباس و

[1] Photocatalysis

[Downloaded from ornamentalaquatics.ir on 2026-11-16]
[DOR: 20.1001.1.24234575.1400.8.2.2.8]

نفوذپذیری کنترل می‌شود. احتباس تابعی از اندازه املاح است. در غشاهای نانوفیلتراسیون، احتباس و نفوذپذیری نیز تابعی از بار الکتریکی، ظرفیت نمک‌ها و ترکیبات موجود در محلول است (Baruah *et al*., 2016).



شکل ۴: تصویری شماتیک از غشای نانوفیلتراسیون

یون‌های یک ظرفیتی با غلظت پایین عمدتاً می‌توانند از طریق غشای نانو فیلتراسیون بدون مانع عبور کنند در حالی‌که این حالت برای بیشتر یون‌های چندظرفیتی مانند سولفات‌ها و کربنات‌ها صادق نیست. احتباس کاتیون با استفاده از نانوفیلتراسیون برای پروتون‌ها حداقل است و برای سایر کاتیون‌های معمول مانند سدیم، پتاسیم، کلسیم، منیزیم، مس و آهن افزایش می‌یابد. در مورد آنیون‌ها، توانایی احتباس غشاهای نانوفیلتراسیون به‌ترتیب نیترات‌ها، کلریدها، هیدروکسیدها، سولفات‌ها، کربنات‌ها و فسفات‌ها افزایش می‌یابد (Baruah *et al*., 2016; Fumatech, 2016).

تاکنون فناوری‌های مبتنی بر نانو برای حذف آلاینده‌های موجود در آب محیطهای پرورش آبزیان استفاده شده است. در آبزی پروری از بیوفیلترها برای حذف آلاینده‌ها به‌خصوص برای حذف آمونیاک استفاده می‌شود. پودرهایی در مقیاس نانو که ماهیتی فوق‌العاده نازک دارند نیز برای حذف آلاینده‌ها از آب استفاده می‌شوند. این پودرها می‌توانند به‌عنوان ابزاری موثر برای پاک‌سازی آلاینده‌های آلی و تبدیل آنها به ترکیبات کربنی ساده‌تر که سمیت کمتری دارند، استفاده شوند (Sharma and Dash, 2020). تاکنون تحقیقات مختلفی مبتنی بر فناوری نانو با هدف حذف آلاینده‌ها و میکروب‌ها از آبها انجام شده است. در جدول ۲ برخی از این تحقیقات به‌طور خلاصه مرور شده‌اند.

کاربرد فناوری نانو در صید

روش مرسوم ماهیگیری که با استفاده از طعمه‌هاست که می‌تواند به‌واسطه فناوری نانو بهبود یابد. در این روش، طعمه‌ها با رنگ نرمال رنگ‌آمیزی می‌شوند که بازتاب نور را محدود کرده و میزان صید را کاهش می‌دهد. هنگامی که از رنگ‌های مبتنی بر فناوری نانو در صید استفاده شود (شکل ۵)، انعکاس نور در هر جهتی صورت می‌گیرد که نتیجه آن افزایش احتمال صید به‌میزان ۳-۲ برابر است. شایان ذکر است، فیلم نانو پوش‌شده در قلاب ماهیگیری، فیلم پلی‌آمید است (Sharma and Dash, 2020).

اثرات مضر فناوری نانو

سمیت ناشی از نانوذرات در محیط‌های آبی: مطالعات متعددی در مورد خصوصیات سم‌شناسی نانوذرات وجود دارد. تحقیقات انجام شده نشان داده‌اند که برخی از این مواد قادر هستند از موانع مختلف حفاظتی موجودات زنده عبور کنند. نانوذرات پس از عبور از تمام مکانیسم‌های محافظتی می‌توانند در جریان خون قرار گیرند و سپس در اندام‌های مختلف توزیع شده و در مکان‌های مشخص تجمع یابند. این مواد می‌توانند در امتداد اعصاب بویایی حرکت کنند و به طور مستقیم درون مغز نفوذ کنند. یکی از ویژگی‌های خاص نانوذرات میزان سمیت به مساحت سطح آنهاست. نانوذرات آنقدر ریزند که در مقادیر اندک (به لحاظ جرم) به دلیل سطح زیاد می‌توانند تاثیرات سمی قابل توجهی داشته باشند (Oberdörster *et al*., 2005; Rana and Kalaichelvan, 2013). نانوذرات با توجه به اندازه کوچکی که دارند، بسیار واکنشی هستند و به طور بالقوه بر ساختار و عملکرد اکوسیستم تأثیر می‌گذارند (Klaine *et al*., 2012).

[Downloaded from ornamentalaquatics.ir on 2026-11-16]

[DOR: 20.1001.1.24234575.1400.8.2.2.8]

جدول ۲: مروری بر سیستم‌های مبتنی بر نانوذرات برای حذف آلاینده‌ها از آب. (اقتباس از: Shah and Mraz, 2019)

سیستم	آلاینده‌های هدف
فوم پلی‌اورتان پوشانده شده با نانوذرات نقره	*Escherichia coli*
نانوکامپوزیت $AgCoFe_2O_4$–GO	*Escherichia coli*، *Staphylococcus aureus* و سرب (Pb)
فیلترهای سرامیکی آغشته به نانوذرات نقره	*Cryptosporidium parvum*
نانوذرات کیتوزان (CSNPs)، نانوذرات نقره (AgNPs)، نانوذرات روی (ZnNPs)	*Enterococcus faecalis*
غشای آغشته به Fe_2O_3-NP در سیستم اولترافیلتراسیون	*Escherichia coli*
Ag/rGO hydrogel	*Escherichia coli*
پلی الکترولیت‌ها/ نانوذرات نقره	*Escherichia coli*
نانوذرات نقره (AgNPs) یا نانوذرات مس (CuNPs)	کُلی‌فرم کُل و *E. coli*
IAO/GO	فلوراید
3-D RGO hydrogel	جیوه (Hg) و فلوراید
جاذب نانومغناطیسی مبتنی بر GO	سرب (II)
NCC	نیترات (NO^{-3})
نانوکامپوزیت‌های FeOOH-GO	فلوراید
CMGO/nHA	آئرومایسین هیدروکلرید
تیتانیوم دی‌اکسید (TiO_2)، تیتانیوم دی‌اکسید (TiO_2)-سیلیکون دی‌اکسید (SiO_2)	فلوراید

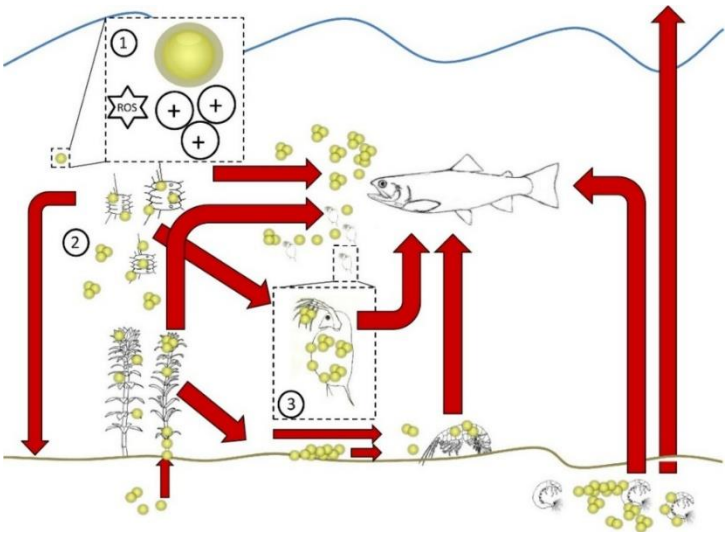


شکل ۵: تصاویری از قلاب‌های ماهیگیری مبتنی بر فناوری نانو (wired2fish.com)

بررسی منابع نشان می‌دهد که ماهی می‌تواند برای ارزیابی آلودگی، سلامت اکوسیستم آبی و تغییرات فیزیولوژیک مورد استفاده قرار گیرد. بنابراین، به‌عنوان شاخص بیولوژیک در مطالعات بوم سم‌شناسی استفاده می‌شود (Rajkumar *et al*., 2016; Naguib *et al*., 2020). ماهی یکی از مهم‌ترین مؤلفه‌های سیستم‌های آبزیان می‌باشد و مسیر اولیه برای جذب و تجمع زیستی نانوذرات در انسان را فراهم می‌کند. از این‌رو، برخی از اثرات ناشی از سمیت نانوذرات در ماهی می‌تواند منعکس‌کننده خطرات احتمالی آنها در مورد سایر مهره‌داران از جمله انسان باشد. تاکنون مطالعات متعددی با توجه به سمیت نانوذرات در ماهیان انجام شده است و اطلاعات قابل توجهی در مورد اثرات بیولوژیک این مواد ناشی از جذب و تجمع زیستی در اندام‌های مختلف ماهی از جمله آبشش، کبد، مغز، روده و ... فراهم شده است (Liu *et al*., 2016). در شکل ۶ تصویری شماتیک از مواجهه و مسیرهای احتمالی سمیت نانوذرات (قرمز) در محیط‌های آبی ارائه شده است. در این شکل، مسیر (۱) خاصیت سمی، مسیر (۲) پتانسیل تجمع زیستی ناشی از جذب و مسیر (۳) جذب نانوذرات را بر موجودات آبزی شامل ماهی، گیاهان آبزی، بی‌مهرگان، جلبک‌ها و ارگانیسم‌های مختلف نشان می‌دهد.

[Downloaded from ornamentalaquatics.ir on 2026-11-16]

[DOR: 20.1001.1.24234575.1400.8.2.2.8]



شکل ۶: تصویری شماتیک از مسیرهای احتمالی نانوذرات در محیط‌های آبی. (Bundschuh *et al.*, 2016)

جذب و تجمع زیستی نانوذرات: از آن جایی‌که محیط‌های آبزی محل تجمع نانوذرات هستند، ممکن است خطرات احتمالی این مواد به‌واسطه جذب و تجمع زیستی در بدن موجودات آبزی ایجاد شود. به طور کلی، نانوذرات در آب بسیار پراکنده هستند و در بیشتر موارد به عنوان سوسپانسیون کلوئیدی در محیط آب حضور دارند. آنها تمایل به لخته شدن و ترسیب به صورت سنگدانه‌هایی با قطر چند میکرومتر دارند. این رفتار ممکن است به‌واسطه ماکرومولکول‌های آلی طبیعی معکوس شود یا به تأخیر بیفتد. رفتار نانوذرات مانند تجمع و ارتباط با مواد بیولوژیک، منجر به کاهش زیست‌فراهمی اکسیدهای فلزی می‌شود. بنابراین، جذب و تجمع زیستی این ترکیبات را در موجودات آبزی محدود می‌کند. جذب زیستی نانوذرات از طریق ناقل‌های یونی احتمالاً زیاد نیست، اما اندوسیتوز[1] مکانیسم احتمالی جذب است. مطالعات در مورد جذب و تجمع زیستی نانوذرات نشان می‌دهد که بیشترین حالت مواجهه با NP ها برای ماهیان در محیط‌های آبی شامل تغذیه و مواجهه مستقیم از طریق سیستم تنفسی و پوست ماهی است (Liu *et al.*, 2016).

سمیت سیستمیک نانوذرات: اگرچه استفاده از نانومواد به‌طور تصاعدی در حال رشد است، اما نگرانی در مورد مسمومیت ناشی از این مواد نیز افزایش یافته است. برخی از افراد، نگرش مثبتی نسبت به اثرات بیولوژیک نانوذرات دارند، برای مثال، Zhu و همکاران (۲۰۰۶) هیچ اثر فیزیولوژیک در ماهی *Pimephales promelas* که به مدت ۴۸ ساعت در معرض ۰/۵ میکروگرم بر میلی‌لیتر فولرن C60[2] قرار گرفتند، مشاهده نکردند. با توجه به خطرات احتمالی زیست‌محیطی ناشی از NP، کاربرد این مواد با انتقاداتی همراه است و بسیاری از مقالات شواهد زیادی ارائه کرده‌اند که نشان دهنده سمیت نانوذرات می‌باشد. مقادیر زیادی از NP می‌تواند اثرات کشنده‌ای برای آبزیان ایجاد کند که این امر در واقع، بارزترین و چشمگیرترین اثر آن است. برخی از اثرات دیگر مانند آسیب ریوی، سمیت کبدی، سمیت ایمنی، سمیت عصبی و سمیت کلیه نیز به طور گسترده در حیوانات گزارش شده است (Liu *et al.*, 2016). با توجه به سمیت نانومواد برای ماهیان، اثرات این سمیت شامل سمیت رشد، سمیت ژنی و سمیت ایمنی بیشتر مورد بحث قرار می‌گیرد. در جدول ۳ مثال‌های مختلفی از سمیت سیستمیک نانوذرات مختلف برای آبزیان به‌ویژه ماهیان ارائه شده است.

[1] Endocytosis

[2] Fullerene

[Downloaded from ornamentalaquatics.ir on 2026-11-16]

[DOR: 20.1001.1.24234575.1400.8.2.2.8]

جدول ۳: سمیت سیستمیک نانوذرات مختلف برای ماهیان. (برگرفته از: Liu *et al*., 2016)

سمیت سیستمیک	نانو ذرات	اثرات
سمیت رشد	Ag-NPs	ناهنجاری رشد وابسته به غلظت، کاهش ابعاد چشم، پاسخ آرام به لمس، تأخیر در تفریخ، کاهش ضربان قلب، تورم پریکارد و مرگ جنین و نقص در گردش خون
	ZnO-NPs	کاهش میزان تفریخ و ناهنجاری
	Au-NPs	عدم رشد، شکل ظاهری و رفتار غیرعادی، چشم‌های کوچکتر، مهار رشد آکسون و بیش فعالی در رفتار شنا
	Fe_2O3- NPs	مرگ و میر، تاخیر در تفریخ و بدشکلی
	CdSe QDs	بروز ناهنجاری‌ها و کاهش میزان تفریخ
	Pt-NPs	تأخیر در تفریخ، کاهش ضربان قلب وابسته به غلظت، انحنای محور فقرات
	Ni-NPs	نازک‌تر شدن اپیتلیوم روده، جداسازی فیبر عضلات اسکلتی
	C60 NPs	تأخیر در رشد جنین و توسعه لارو ماهی گورخری، کاهش میزان بقا و تفریخ، تورم پریکارد
	Ag-NPs	ورود به هسته سلول، آسیب DNA ، افزایش سطح پراکسیداسیون لیپید (LPO) و کاهش سطح GSH، SOD و CAT
سمیت ژنی	CdS-NPs	تغییر ژنوم، اختلال عملکرد میتوکندری
	PAMAM-NPs	افزایش آسیب DNA، شروع نکروز
	C60-NPs	تعدیل ژن شوک حرارتی، کاهش تنظیم ژن کد دهنده RNA و خانواده KLF
	TiO_2-NPs	کاهش در انفجار اکسیداتیو، افزایش بیان اینترلوکین ۱۱، عامل تحریک ماکروفاژ ۱، تغییر عملکرد نوتروفیل
	C60-NPs	مهار انفجار اکسیداتیو، دگرانولاسیون (Degranulation) گرانول های اولیه، افزایش رونویسی ژن های اینترلوکین ۱۱ و میلوپراکسیداز، کاهش رونویسی ژن الاستاز
سمیت ایمنی	Ag-NPs	افزایش نشانگرهای استرس عمومی مانند گلوکز پلاسما و بیان ژن آبشش از پروتئین شوک حرارتی ۷۰
اختلال در متابولیسم چربی	C60-NPs	کاهش سطح PMP70 ، انتقال چربی کمتر به پراکسی‌زوم‌ها، مهار روند ترمیم
	CdSe/ZnS QDs	هیچ تغییر قابل توجهی در گلوتاتیون کبدی، پراکسیداسیون لیپید یا بیان ژن‌های درگیر در متابولیسم فلز یا استرس اکسیداتیو مشاهده نشد.

با توسعه سریع فناوری نانو، خطر مواجهه انسان و محیط زیست با مواد و محصولات مبتنی بر فناوری نانو افزایش یافته است (Can و همکاران، ۲۰۱۱). از آنجایی‌که پیکره‌های آبی در برابر آلودگی مستقیم و غیرمستقیم نانومواد آسیب‌پذیر هستند، باید سمیت بالقوه و پیامدهای زیست‌محیطی مواد نانو برای موجودات آبزی مورد ارزیابی قرار گیرد. در این بخش، به تعدادی از تحقیقات انجام شده پیرامون سمیت برخی از نانوذرات در ماهیان براساس نوع نانوذره اشاره می‌شود.

نانوذرات دی اکسید تیتانیوم (TiO_2-NPs): نانوذرات TiO_2 در طیف وسیعی از محصولات از جمله کرم ضد آفتاب، مواد آرایشی، رنگ و مصالح ساختمانی استفاده می‌شوند (Can *et al*., 2011). Smith و همکاران (۲۰۰۷) بیان کردند که نانوذرات TiO_2 یک ماده تنظیم کننده یونی[1] یا همولیتیک[2] برای ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان نیست. کاربرد این ماده با نگرانی‌هایی همراه است که شامل مشکلات تنفسی و سمیت تحت کشنده شامل استرس اکسیداتیو، آسیب اندام‌ها و القا دفاع آنتی‌اکسیدانی، مانند گلوتاتیون است. Linhua و همکاران (۲۰۰۹) پایداری تعلیق نانوذرات TiO_2 در آب را بررسی کردند. این مطالعه نشان داد که نانوذرات TiO_2 با مقادیر ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر باعث کاهش معنی‌دار فعالیت‌های SOD، CAT و POD و افزایش قابل توجه سطح LPO در بافت‌ها می‌شود. این مسئله نشان می‌دهد ماهیانی

[1] Ionoregulatory oxicant
[2] Haemolytic

[Downloaded from ornamentalaquatics.ir on 2026-11-16]
[DOR: 20.1001.1.24234575.1400.8.2.2.8]

که در معرض این دو غلظت از نانو ذرات TiO_2 قرار دارند، از استرس اکسیداتیو رنج می‌برند.

نانولوله‌های کربنی تک جداره (SWCNTs)[1]: Smith و همکاران (۲۰۰۷) بیان کردند که نانولوله‌های کربنی تک جداره باعث مسمومیت تنفسی در ماهی قزل آلا می‌شوند. اگرچه ماهی‌ها قادر به کنترل استرس اکسیداتیو و اختلالات تنظیم اسمزی هستند، اما در برابر سایر آسیب‌های سلولی پیرامون نقص چرخه سلولی، مسمومیت عصبی و سایر عوارض شناسایی نشده از طریق خون، آسیب‌پذیرند.

نانوسلنیوم (Nano-Se): در مطالعه Li و همکاران (۲۰۰۸)، سمیت نانوسلنیوم و سلنیت در ماهی مِداکا (Medaka) مورد مقایسه قرار گرفت. نتایج این مطالعه نشان داد که نانوسلنیوم شش برابر بیشتر از سلنیت در کبد تجمع یافته است. همچنین نانوسلنیوم مسمومیت شدیدی را برای ماهی مِداکا با اختلاف تقریباً پنج برابر از نظر LC_{50} در مقایسه با سلنیت به نمایش گذاشت. Li و همکاران (۲۰۰۸) در این مطالعه بیان نمودند که نانوسلنیوم باعث تأثیرات بیشتری بر استرس اکسیداتیو می‌شود که به احتمال زیاد به‌دلیل تجمع بیش از حد سلنیوم در کبد است.

نانوذرات نقره (Ag-NPs): نانوذرات نقره به‌دلیل خاصیت ضد باکتریایی و ضد قارچی در محصولات تجاری استفاده می‌شوند. برخی از این محصولات احتمالاً منجر به ورود نانوذرات نقره به سیستم‌های آبزی می‌شوند. Wise و همکاران (۲۰۱۰) بیان کردند که بررسی سمیت سلولی و سمیت ژنی نانوکره‌های نقره با قطر ۳۰ نانومتر نشان دهنده تاثیرات سیتوتوکسیک و ژنوتوکسیک این مواد برای سلول‌های ماهی می‌باشد. این موضوع در مطالعات انجام شده سایر پژوهشگران از جمله Can و همکاران (۲۰۱۱) نیز مورد تایید قرار گرفته است.

نتیجه‌گیری و رهیافت ترویجی

مطالعه حاضر کاربرد نانوذرات را در صنعت آبزی‌پروری منعکس نمود. این اطلاعات می‌تواند در جهت پیشرفت این صنعت مهم، مورد استفاده قرار گیرد. نکته مهمی که در مورد کاربرد نانوذرات وجود دارد، خطرات و مضرات احتمالی آن می‌باشد که لازم است در تحقیقات آتی مورد توجه و مطالعه دقیق قرار گیرد. مسلماً، توجه به مسائل زیست‌محیطی ناشی از کاربرد این مواد، می‌تواند در راستای توسعه پایدار بخش شیلات و آبزی‌پروری مفید واقع شود. مجموع فواید و مضرات ناشی از کاربرد نانوذرات در صنعت آبزی‌پروری می‌تواند نقشه و مسیر مناسبی را برای تصمیم‌گیری مدیران شیلاتی در آینده فراهم سازد. در واقع، این مدیران شیلاتی هستند که می‌توانند با توجه به جنبه‌های مختلف این فناوری، امکان استفاده از آن را در بخش‌های مختلف آبزی‌پروری تایید نمایند.

منابع

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.

رادخواه، ع.ر.، ایگدری، س. و صادقی‌نژاد ماسوله، ا.، ۱۳۹۹. بررسی خواص ضد میکروبی نانوذرات نقره (AgNPs) به منظور کنترل بیماری ها و مدیریت بهداشت در سیستم های آبزی پروری. مجله آبزیان زینتی، دوره ۷، شماره ۱، صص ۱۵-۷.

Andersen, F., Lorentzen, M., Waagbo, R. and Maage, A., 1997. Bioavailability and interactions with other micronutrients of three dietary iron sources in Atlantic salmon, *Salmo salar*, smolts. *Aquaculture Nutrition*, 3: 239-346.

Baruah, S. and Dutta, J., 2009. Hydrothermal growth of ZnO nanostructures. *Science and Technology of Advanced Materials*, 10(1): 013001. DOI: 10.1088/1468-6996/10/1/013001.

Baruah, S., Jaisai, M. and Dutta, J., 2012. Development of a visible light active photocatalytic portable water purification unit using ZnO nanorods. *Catalysis Science and Technology*, 2(5): 918–921.

[1] Single walled carbon nanotubes

[Downloaded from ornamentalaquatics.ir on 2026-11-16]
[DOR: 20.1001.1.24234575.1400.8.2.2.8]

Baruah, S., Najam Khan, M. and Dutta, J., 2016. Perspectives and applications of nanotechnology in water treatment. *Environmental Chemistry Letters*, 14: 1–14.

Bhat, I.A., Rather, M.A., Saha, R., Pathakota, G.B., Pavan-Kumar, A. and Sharma, R., 2016. Expression analysis of Sox9 genes during annual reproductive cycles in gonads and after nanodelivery of LHRH in Clarias batrachus. *Research in Veterinary Science*, 106: 100-106.

Brame, J., Li, Q. and Alvarez, P.P.J., 2011. Nanotechnology-enabled water treatment and reuse: emerging opportunities and challenges for developing countries. *Trends in Food Science and Technology*, 22(11): 618–624.

Bundschuh, M., Seitz, F., Rosenfeldt, R.R. and Schulz, R., 2016. Effects of nanoparticles in fresh waters: risks, mechanisms and interactions. *Freshwater Biology*, 61(12): 2185–2196.

Buzea, C., Pacheco, I.I. and Robbie, K., 2007. Nanomaterials and nanoparticles: sources and toxicity. *Biointerphases*, 2: 17–71.

Can, E., Kizak, V., Kayim, M., Can, S.S., Kutlu, B., Ates, M., Kocabas, M. and Demirtas, N., 2011. Nanotechnological Applications in Aquaculture-Seafood Industries and Adverse Effects of Nanoparticles on Environment. *Journal of Materials Science and Engineering*, 5: 605–609.

Cheng, T.C., Yao, K.S., Yeh, N., Chang, C.I., Hsu, H.C., Gonzalez, F. and Chang, C.Y., 2011. Bactericidal effect of blue LED light irradiated TiO_2/Fe_3O_4 particles on fish pathogen in seawater. *Thin Solid Films*, 519(15): 5002-5006.

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.

Dursun, S., Erkan, N. and Yesiltas, M., 2010. Application of natural biopolymer based nanocomposite films in seafood. *Journal of FisheriesScience*, 4(1): 50-77.

Fumatech., 2016. Fumatech. Retrieved from http://www.fumatech.com/EN/Membrane-technology/Membrane-processes/Nanofiltration. Accessed 23 April 2016.

Garside, M., 2019. Global nanotechnology market value 2010-2020. Retrieved from https://www.statista.com/statistics/1073886/global-market-value-nanotechnology. 22 November, 2019.

Hillie, T. and Hlophe, M., 2007. Nanotechnology and the challenge of clean water. *Nature Nanotechnology*, 2(11): 663–664.

Huang, C.M., Chen, C.H., Pornpattananangkul, D., Zhang, L., Chan, M., Hsieh, M.F. and Zhang, l., 2011. Eradication of drug resistant *Staphylococcus aureus* by liposomal oleic acids. *Biomaterials*, 32(1): 214-221.

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.

Joner, E.J., Hartnik, T. and Amundsen, C.E., 2008. Environmental fate and ecotoxicity of engineered nanoparticles, in Norwegian Pollution Control Authority Report No. TA 2304/2007, Bioforsk, Norway, pp. 1–64.

Jovanović, B., Anastasova, L., Rowe, E.W., Zhang, Y., Clapp, A.R. and Palić, D., 2011. Effects of nanosized titanium dioxide on innate

[Downloaded from ornamentalaquatics.ir on 2026-11-16]

[DOR: 20.1001.1.24234575.1400.8.2.2.8]

immune system of fathead minnow (*Pimephales promelas* Rafinesque, 1820). *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 74(4): 675-683.

Klaine, S.J., Koelmans, A.A., Horne, N., Carley, S., Handy, R.D., Kapustka, L., Nowack, B. and von der Kammer, F., 2012. Paradigms to assess the environmental impact of manufactured nanomaterials. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 31: 3–14.

Knetsch, M.L. and Koole, L.H., 2011. New strategies in the development of antimicrobial coatings: the example of increasing usage of silver and silver nanoparticles. *Polymers*, 3(1): 340-366.

Li, H., Zhang, J., Wang, T., Luo, W., Zhou, Q. and Jiang, G., 2008. Elemental selenium particles at nano-size (Nano-Se) are more toxic to medaka (*Oryzias latipes*) as a consequence of hyper-accumulation of selenium: a comparison with sodium selenite, *Aquatic Toxicology*, 89: 251-256.

Lima, E., Guerra, R., Lara, V. and Guzmán, A., 2013. Gold nanoparticles as efficient antimicrobial agents for *Escherichia coli* and *Salmonella typhi*. *Chemistry Central Journal*, 7(1): 11.

Linhua, H., Zhenyu, W. and Baoshan, X., 2009. Effect of sub-acute exposure to TiO2 nanoparticles on oxidative stress and histopathological changes in juvenile carp (*Cyprinus carpio*), *Journal of Environmental Sciences*, 21: 1459-1466.

Liu, W., Long, Y., Yin, N., Zhao, X., Sun, C., Zhou, Q. and Jiang, G., 2016. Engineered nanoparticles and the environment: biophysicochemical processes and toxicity, First edition. Xing, B., Vecitis, C.D. and Senesi, N (eds.). John Wiley and Sons, Inc. pp. 347–366.

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.

Márquez, J.C.M., Partida, A.H., Dosta M.D.C.M., Mejía, J.C. and Martínez J.A.B., 2018. Silver nanoparticles applications (AgNPS) in aquaculture. *International Journal of Fisheries and Aquatic Studies*, 6(2): 5–11.

Naguib, M., Mahmoud, U.M., Mekkawy, I.A. and Sayed, A.E.H., 2020. Hepatotoxic effects of silver nanoparticles on *Clarias gariepinus*; biochemical, histopathological and histochemical studies. *Toxicology Reports*, 7: 133–141.

Najam Khan, M., Al-Hinai, M.H., Al-Hinai, A.T. and Dutta, J., 2014. Visible light photocatalysis of mixed phase zinc stannate/zinc oxide nanostructures precipitated at room temperature in aqueous media. *Ceramics International*, 40(6): 8743-8752.

Oberdörster, G., Oberdörster, E. and Oberdörster, J., 2005. Nanotechnology: an emerging discipline evolving from studies of ultrafine particles. *Environmental Health Perspectives*, 113(7): 823–839.

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.

Pulavendran, S., Chellan, R. and Asit, B., 2011. Hepatocyte growth factor incorporated chitosan nanoparticles augment the differentiation of stem cell into hepatocytes for

[Downloaded from ornamentalaquatics.ir on 2026-11-16]
[DOR: 20.1001.1.24234575.1400.8.2.2.8]

the recovery of liver cirrhosis in mice. *Journal of Nanobiotechnology*, 9(1): 1

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.

Rajkumar, K., Kanipandian, N. and Thirumurugan, R., 2016. Toxicity assessment on haemotology, biochemical and histopathological alterations of silver nanoparticles-exposed freshwater fish *Labeo rohita*. *Applied Nanoscience*, 6: 19–29.

Rana, S. and Kalaichelvan, P.T., 2013. Ecotoxicity of nanoparticles. *International Scholarly Research Notices*, Volume 2013, Article ID: 574648, 11 pages. DOI: 10.1155/2013/574648.

Rather, M.A., Sharma, R., Aklakur, M., Ahmad, S., Kumar, N., Khan, M. and Ramya, V.L., 2011. Nanotechnology: a novel tool for aquaculture and fisheries development. A prospective mini-Review. *Fisheries and Aquaculture Journal*, Volume 2011: FAJ-16, pp. 1–6.

Rather, M.A., Sharma, R., Gupta, S., Ferosekhan, S., Ramya, V.L. and Jadhao, S.B., 2013. Chitosan-nanoconjugated hormone nanoparticles for sustained surge of gonadotropins and enhanced reproductive output in female fish. *PLoS One*, 8(2): e57094. DOI: 10.1371/journal.pone.0057094.

Shaalan, M., Saleh, M., El-Mahdy, M. and El-Matbouli, M., 2016. Recent progress in applications of nanoparticles in fish medicine: A review. *Nanomedicine: Nanotechnology, Biology, and Medicine*, 12: 701–710.

Shah, B.H. and Mraz, J., 2019. Advances in nanotechnology for sustainable aquaculture and fisheries. *Reviews in Aquaculture*, 1–18. DOI: 10.1111/raq.12356.

Sharma, B,B. and Dash, G., 2020. Relevance of Nanotechnology in the Field of Aquaculture. Available at: http://aquafind.com/articles/Nanotechnology-In-Aquaculture.php. Accessed 27 December 2020.

Shrivastava, V., Lende, S.R., Baraiya, K.G., Khileri, R.A. and Vikas., 2015. Nano-Technology in Aquaculture Feed: A Review. National Conference on Innovative Research in Agriculture, Food Science, Forestry, Horticulture, Aquaculture, Animal Sciences, Biodiversity, Environmental Engineering and Climate Change (AFHABEC-2015), pp. 107-110.

Smith, C.J., Shaw, B.J. and Handy, R.D., 2007. Toxicity of single walled carbon nanotubes to rainbow trout, (*Oncorhynchus mykiss*): respiratory toxicity, organ pathologies, and other physiological effects. *Aquatic Toxicology*, 82: 94-109.

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.

Son, R., Rusul, G., Sahilah, A.M., Zainuri, A., Raha, A.R. and Salmah, I., 1997. Antibiotic resistance and plasmid profile of *Aeromonas*

[Downloaded from ornamentalaquatics.ir on 2026-11-16]

[DOR: 20.1001.1.24234575.1400.8.2.2.8]

hydrophila isolates from cultured fish, Telapia (*Telapia mossambica*). *Letters in Applied Microbiology*, 24(6): 479-482.

Thummabancha, K., Onparn, N. and Srisapoome, P., 2016. Analysis of hematologic alterations, immune responses and metallothionein gene expression in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) exposed to silver nanoparticles. *Journal of Immunotoxicology*, 13(6): 909–917.

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(6): 426-436.

Vaseeharan, B., Ramasamy, P. and Chen, J.C., 2010. Antibacterial activity of silver nanoparticles (AgNps) synthesized by tea leaf extracts against pathogenic *Vibrio harveyi* and its protective efficacy on juvenile *Fenneropenaeus indicus*. *Letters in Applied Microbiology*, 50(4): 352-356.

Wang, H.L., Zhang, J.S. and Yu, H.Q., 2007. Elemental selenium at nano size possesses lower toxicity without compromising the fundamental effect on selenoenzymes: comparison with selenomethionine in mice. *Free Radical Biology and Medicine*, 42: 1524–1533.

Wise, Sr J.P., Goodale, B.C., Wise, S.S., Craig, G.A., Pongan, A.F., Walter, R.B., Thompson, W.D., Ng, A-K., Aboueissa, A-M., Mitani, H., Spalding, M.J. and Masonb, M.D., 2010. Silver nanospheres are cytotoxic and genotoxic to fish cells. *Aquatic Toxicology*, 97: 34-41.

Zhou, X., Wang, Y., Gu, Q. and Li, W., 2009. Effects of different dietary selenium sources (Selenium nanoparticle and selenomethionine) on growth performance, muscle composition and glutathione peroxidase enzyme activity of crucian carp (*Carassius auratus gibelio*). *Aquaculture*, 291: 78-81.

Zhu, S., Oberdorster, E. and Haasch, M.L., 2006. Toxicity of an engineered nanoparticle (fullerene, C60) in two aquatic species, Daphnia and fathead minnow. *Marine Environmental Research*, 62: 5–9.

[Downloaded from ornamentalaquatics.ir on 2026-11-16]

[DOR: 20.1001.1.24234575.1400.8.2.2.8]

Review on the benefits and disadvantages of nanotechnology in the aquaculture

Radkhah A.R.[1]; Eagderi S.[1*]; Mousavi-Sabet H.[2]

[*] soheil.eagderi@ut.ac.ir

1-Department of Fisheries, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran
2-Department of Fisheries, Faculty of Natural Resources, University of Guilan, Sowmeh Sara, Iran.

Abstract

Nanotechnology is an emerging technology in many industries, including aquaculture sector. Although these nanoparticles are widely used in the aquaculture, the increase in their production and use has raised many concerns about their potential toxicity to human health and the environment. Therefore, the present study aims to review the benefits and disadvantages of nanotechnology in aquaculture. This work will provide a comprehensive review to better undestanding of decision-makers in aquaculture section. In this study, the role of nanotechnology and its benefits in various sectors of the aquaculture industry, such as nutrition, reproduction, water purification, fishing and health control of diseases are discussed, and then, the negative effects and toxicity. The use of these materials in rearing systems was evaluated from an ecological and environmental point of view.

Keywords: Nanoparticles, Aquatic nutrition, Disease control, Filtration, Toxicity

[Downloaded from ornamentalaquatics.ir on 2026-11-16]

[DOR: 20.1001.1.24234575.1400.8.2.2.8]