

بررسی تأثیر نانو ذرات نقره بر شاخص های رشد بچه ماهیان قزل آلا

یاسمن زارع

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد تکثیر و پرورش آبزیان دانشگاه صنعتی اصفهان.



حاضر با هدف بررسی تأثیر نانوذرات نقره بر شاخص های رشد بچه ماهیان قزل آلا رنگین کمان انجام شد. بدین منظور قطعه بچه ماهی قزل آلا رنگین کمان با میانگین وزنی ۶۰ گرم تهیه و پس از سازگاری با شرایط آزمایشگاه، به طور تصادفی در قالب طرح کاملاً تصادفی به هفت گروه تیماری شامل گروه شاهد (تغذیه با جیره تجاری بدون نانوذرات) و گروه های دریافت کننده غلظت های ۰/۰۱، ۰/۰۵ و ۰/۱ میلی گرم در کیلوگرم غذا از نانوذرات نقره به همراه جیره تجاری تقسیم شدند. دوره پرورش به مدت ۱۴ روز ادامه یافت و در پایان دوره، شاخص های رشد شامل وزن نهایی، افزایش وزن، نرخ رشد ویژه و ضریب چاقی مورد اندازه گیری قرار گرفتند. یافته های پژوهش نشان داد که ماهیان تغذیه شده با نانوذرات نقره در تمامی غلظت ها، شاخص های رشد بهتری نسبت به گروه شاهد داشتند و بیشترین مقدار شاخص های رشد مربوط به تیمار نقره با بالاترین غلظت (۰/۱ میلی گرم در کیلوگرم) بود. بر اساس یافته های به دست آمده می توان نتیجه گرفت که افزودن نانوذرات نقره به جیره غذایی بچه ماهیان قزل آلا رنگین کمان در دوزهای پایین می تواند باعث بهبود معنی دار شاخص های رشد شود، هرچند که مصرف دوزهای بالای این نانوذرات ممکن است با کاهش اشتها و رشد ماهیان همراه باشد. بنابراین پیشنهاد می شود که در کاربردهای آبی پروری، استفاده از نانوذرات نقره با احتیاط و در غلظت های بهینه انجام شود تا ضمن بهره مندی از خواص ضد میکروبی آن، از اثرات سوء احتمالی بر رشد و سلامت ماهیان جلوگیری به عمل آید.

واژگان کلیدی: نانوذرات نقره، قزل آلا رنگین کمان، شاخص های رشد، تغذیه آبزیان، بچه ماهی.

مقدمه

صنعت آبی پروری در سال های اخیر با رشد چشمگیری مواجه بوده است و ماهی قزل آلا رنگین کمان به عنوان یکی از مهم ترین گونه های پرورشی در آب های شیرین، جایگاه ویژه ای در این صنعت دارد و این ماهی به دلیل تخم ریزی آسان، مقاومت بالا، رشد سریع و سازگاری با شرایط مختلف محیطی، به عنوان یکی از مناسب ترین گونه ها برای پرورش در کشورهای مختلف از جمله ایران محسوب می شود. با افزایش جمعیت جهان و نیاز روزافزون به تأمین پروتئین حیوانی، توجه به بهبود بازدهی تولید در مزارع پرورش ماهی بیش از پیش مورد اهمیت قرار گرفته است و یکی از راه های دستیابی به این هدف، استفاده از افزودنی های غذایی و ترکیبات نوین است که بتوانند ضمن افزایش رشد و بازماندگی، از بروز بیماری ها نیز جلوگیری نمایند. در این میان، فناوری نانو به عنوان یکی از حوزه های پیشرو در علوم مختلف، توجه بسیاری از پژوهشگران حوزه شیلات را به خود جلب کرده است و نانوذرات نقره به دلیل داشتن خواص ضد باکتریایی، ضد ویروسی و ضد قارچی برجسته، به عنوان یکی از پرکاربردترین نانو مواد در صنایع مختلف از جمله آبی پروری شناخته می شوند. نانوذرات دارای ابعادی در حدود ۱ تا ۱۰۰ نانومتر هستند و علاوه بر نوع فلزی، عایق ها و نیمه هادی ها، نانوذرات ترکیبی نظیر ساختارهای هسته-لایه را نیز در بر می گیرند. این ذرات به دلیل نسبت سطح به حجم بسیار بالا، واکنش پذیری



شیمیایی بیشتری نسبت به ذرات در اندازه های بزرگتر دارند و این ویژگی می تواند هم به عنوان یک مزیت و هم به عنوان یک چالش در کاربردهای زیستی مطرح شود. در سال های اخیر، فناوری نانو به ویژه استفاده از نانوذرات در آبی پروری گسترش یافته است که این مواد می توانند دارای تأثیرات مثبت و منفی بر روی آبزیان باشند. از یک سو، نانوذرات نقره به دلیل خواص ضد میکروبی قوی خود، می توانند در کنترل عوامل بیماری زای باکتریایی و قارچی در محیط های پرورش ماهی مؤثر واقع شوند و از این طریق به کاهش تلفات و افزایش بازماندگی کمک نمایند و از سوی دیگر، رهایش این نانوذرات به بوم سازگان آبی و تجمع آن ها در بافت های ماهیان می تواند عوارض سوئی از جمله سمیت بافتی، افزایش تنش اکسیداتیو و آسیب های ژنتیکی را به همراه داشته باشد. تحقیقات متعددی در زمینه سمیت نانوذرات نقره در گونه های مختلف ماهیان انجام شده است و نتایج نشان داده است که نانوذرات نقره می توانند اثرات کشنده ای مانند افزایش تنش اکسیداتیو، سمیت قلبی، سمیت عصبی، سمیت کبدی، سمیت خونی و آسیب دی ان ا را در آبزیان ایجاد کنند. جوهری و همکاران (۱۳۹۰) در پژوهشی با عنوان «کاربرد نانوذرات نقره در کاهش عفونت های قارچی تخم در دوره انکوباسیون و اثرات احتمالی رهایش آن ها بر تغییرات برخی شاخص های فیزیولوژیکی و ژنومیک ماهی قزل آلا رنگین کمان» نشان دادند که استفاده از فیلترهای محتوی نانوذرات نقره منجر به کنترل قارچ ساپروولگنیا و افزایش بازماندگی تخم و لارو ماهیان می گردد، اما از سوی دیگر، مواجهه با نانوذرات نقره باعث تغییر در میزان بیان ژن های مختلف، آسیب های بافتی و تجمع زیستی می شود و این ماده برای مراحل جنین کیسه زرده دار و لارو قزل آلا جزو مواد «بسیار سمی» و برای ماهیان نوجوان جزو مواد «سمی» طبقه بندی گردید. سالاری جو و همکاران (۱۳۹۱) در پژوهشی با عنوان «تأثیر شوری آب بر سمیت حاد نانوذرات نقره کلئیدی در بچه ماهیان قزل آلا رنگین کمان» نشان دادند که در مورد ماهیان یک گرمی قزل آلا رنگین کمان، نانوذرات نقره در آب شیرین به عنوان ماده ای بسیار سمی و در آب لب شور به عنوان ماده ای کمی سمی طبقه بندی می شود. جوهری و حسینی (۱۳۹۳) در پژوهشی با عنوان «سمیت تغذیه ای کلئید نانوذرات نقره در ماهی قزل آلا رنگین کمان» نشان دادند که دوز بالای نانوذرات نقره در جیره غذایی ماهیان باعث کاهش اشتها و رشد ماهیان می شود و همچنین تغذیه ماهیان با غذای محتوی نانوذرات نقره (به ویژه در دوز بالاتر) باعث افزایش انباشتگی نقره در بافت های ماهیان می شود، به طوری که غلظت نقره در کبد بیش از کلیه، دستگاه گوارش و ماهیچه بود. با توجه به تناقضات موجود در یافته های پژوهش های پیشین و نیز اهمیت روزافزون استفاده از نانوذرات نقره در صنعت آبی پروری، پژوهش حاضر با هدف بررسی تأثیر نانوذرات نقره بر شاخص های رشد بچه ماهیان قزل آلا رنگین کمان طراحی و اجرا شده است تا بتواند با ارائه اطلاعات دقیق تر در این زمینه، به تولیدکنندگان و پژوهشگران در تصمیم گیری های آگاهانه تر در مورد استفاده از این نانو ماده کمک نماید.

بیان مسئله

با توجه به رشد روزافزون جمعیت جهان و افزایش تقاضا برای مصرف پروتئین حیوانی، صنعت آبی پروری به عنوان یکی از مهم ترین منابع تأمین غذای انسان در قرن بیست و یکم مطرح شده است و در این میان، ماهی قزل آلا رنگین کمان به دلیل ویژگی های منحصربه فردی نظیر رشد سریع، کیفیت بالای گوشت، سازگاری با شرایط مختلف پرورشی و بازارپسندی مطلوب، به عنوان یکی از گونه های استراتژیک در صنعت آبی پروری کشورهای مختلف از جمله ایران شناخته می شود و سهم قابل توجهی از تولید سالانه ماهیان پرورشی را به خود اختصاص داده است، بنابراین هر گونه تلاش برای افزایش بازدهی تولید و بهبود کیفیت محصول نهایی در این صنعت، از اهمیت اقتصادی و تغذیه ای بالایی برخوردار است و می تواند نقش مهمی در تأمین امنیت غذایی جامعه ایفا نماید. یکی از چالش های اساسی پیش روی پرورش دهندگان ماهی قزل آلا، کنترل بیماری های باکتریایی و قارچی است که می توانند خسارات اقتصادی سنگینی را به صنعت آبی پروری وارد کنند و استفاده از ترکیبات ضد میکروبی شیمیایی متداول، اگرچه در کنترل این



بیماری‌ها مؤثر است، اما با عوارض جانبی نظیر ایجاد مقاومت دارویی در عوامل بیماری‌زا، باقی‌ماندگی در بافت‌های ماهی و آلودگی محیط زیست همراه می‌باشد، بنابراین نیاز به جایگزین‌های مناسب و ایمن‌تر برای این ترکیبات به شدت احساس می‌شود و در این راستا، نانوذرات نقره به دلیل داشتن خواص ضد میکروبی قوی و طیف وسیع اثر، به عنوان یکی از گزینه‌های امیدوارکننده مطرح شده‌اند که می‌توانند در کنترل عوامل بیماری‌زای آبزیان مؤثر واقع شوند. نانوذرات نقره با ابعاد بسیار کوچک خود، قادر به نفوذ به دیواره سلولی باکتری‌ها و قارچ‌ها بوده و با ایجاد اختلال در فرآیندهای متابولیکی و تولید گونه‌های فعال اکسیژن، باعث مرگ میکروارگانیسم‌های بیماری‌زا می‌شوند و این ویژگی، آن‌ها را به گزینه‌ای جذاب برای کاربرد در سیستم‌های آبی‌پروری تبدیل کرده است، اما در کنار این خواص مفید، نگرانی‌هایی در مورد سمیت احتمالی این نانوذرات برای خود ماهیان و همچنین تجمع زیستی آن‌ها در بافت‌های مختلف و انتقال به زنجیره غذایی انسان وجود دارد که نیازمند بررسی‌های دقیق و همه‌جانبه است. با وجود پژوهش‌های متعدد در زمینه سمیت نانوذرات نقره بر روی گونه‌های مختلف آبزیان، هنوز سوالات اساسی و بی‌پاسخی در مورد تأثیر این نانوذرات بر شاخص‌های رشد ماهیان، به ویژه در مراحل حساس زندگی مانند دوره بچه‌ماهی، وجود دارد که پاسخ به آن‌ها می‌تواند راهگشای بسیاری از چالش‌های پیش روی استفاده از این نانو مواد در صنعت آبی‌پروری باشد و تعیین غلظت‌های بهینه و ایمن برای استفاده در جیره غذایی ماهیان، یکی از مهم‌ترین این سوالات است. برخی پژوهش‌ها نشان داده‌اند که نانوذرات نقره می‌توانند با ایجاد آسیب به بافت‌های گوارشی و کاهش جذب مواد مغذی، باعث کاهش رشد و بازماندگی ماهیان شوند، در حالی که برخی دیگر از مطالعات، اثرات مثبتی را بر رشد و بهبود شاخص‌های تغذیه‌ای گزارش کرده‌اند و این تناقض در یافته‌ها، نشان‌دهنده نیاز به پژوهش‌های بیشتر با روش‌شناسی دقیق‌تر و در شرایط کنترل‌شده‌تر است تا بتوان به یک جمع‌بندی علمی و قابل اتکا در این زمینه دست یافت. همچنین باید در نظر داشت که اثرات نانوذرات نقره بر رشد ماهیان می‌تواند تحت تأثیر عوامل متعددی نظیر اندازه ذرات، نوع پوشش سطحی، غلظت مورد استفاده، مدت زمان مواجهه، گونه ماهی، مرحله رشد، شرایط محیطی مانند دما و شوری آب و همچنین ترکیب جیره غذایی قرار گیرد و این پیچیدگی‌ها، ضرورت انجام پژوهش‌های هدفمند و سیستماتیک را دوچندان می‌سازد. از سوی دیگر، با توجه به اینکه بچه‌ماهیان به دلیل سیستم ایمنی نابالغ و متابولیسم سریع، نسبت به بزرگسالان حساسیت بیشتری به ترکیبات سمی نشان می‌دهند، بررسی تأثیر نانوذرات نقره بر شاخص‌های رشد در این مرحله از زندگی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است و می‌تواند اطلاعات ارزشمندی را در مورد ایمنی استفاده از این نانو مواد در مراحل اولیه پرورش در اختیار قرار دهد. با توجه به مطالب فوق، پژوهش حاضر با هدف بررسی تأثیر نانوذرات نقره بر شاخص‌های رشد بچه‌ماهیان قزل‌آلای رنگین‌کمان شامل وزن نهایی، افزایش وزن، نرخ رشد ویژه و ضریب چاقی طراحی و اجرا شده است تا بتواند به این سوال اساسی پاسخ دهد که آیا افزودن نانوذرات نقره به جیره غذایی بچه‌ماهیان قزل‌آلا می‌تواند باعث بهبود شاخص‌های رشد آن‌ها شود یا خیر و در صورت تأثیر مثبت، غلظت بهینه برای دستیابی به حداکثر رشد کدام است تا بدین ترتیب، زمینه را برای استفاده ایمن و مؤثر از این نانو ماده در صنعت آبی‌پروری فراهم آورد.

اهمیت و ضرورت پژوهش

اهمیت و ضرورت انجام پژوهش حاضر را می‌توان از ابعاد مختلف اقتصادی، زیست‌محیطی، تغذیه‌ای و علمی مورد بررسی قرار داد و بدون شک، یکی از مهم‌ترین دلایل ضرورت این پژوهش، نقش حیاتی صنعت آبی‌پروری در تأمین امنیت غذایی و نیازهای پروتئینی جامعه است، چرا که با افزایش روزافزون جمعیت جهان و محدودیت منابع پروتئینی زمینی، توجه به منابع پروتئینی آبی بیش از پیش مورد تأکید قرار گرفته است و ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان به عنوان یکی از باارزش‌ترین و پرطرفدارترین گونه‌های پرورشی، سهم قابل توجهی در تأمین این نیاز ایفا می‌کند و بنابراین هر گونه بهبود در بازدهی تولید و کیفیت محصول نهایی این صنعت،



می تواند تأثیر مستقیمی بر سلامت و رفاه جامعه داشته باشد و از منظر اقتصادی نیز، سرمایه گذاری در این حوزه می تواند بازدهی قابل توجهی را برای تولیدکنندگان و کشور به همراه داشته باشد. از سوی دیگر، با توجه به چالش های روزافزون ناشی از استفاده از آنتی بیوتیک ها و ترکیبات شیمیایی ضد میکروبی در صنعت آبی پروری که از یک سو باعث ایجاد مقاومت دارویی در عوامل بیماری زا و از سوی دیگر منجر به باقی ماندگی این ترکیبات در بافت ماهیان و بروز عوارض سوء بر سلامت مصرف کنندگان می شود، نیاز به یافتن جایگزین های ایمن و مؤثر برای این ترکیبات، به یک ضرورت اجتناب ناپذیر تبدیل شده است و در این میان، نانوذرات نقره با خواص ضد میکروبی برجسته خود، به عنوان یکی از امیدوارکننده ترین گزینه ها مطرح هستند که می توانند ضمن کنترل مؤثر عوامل بیماری زا، خطرات ناشی از استفاده از آنتی بیوتیک های سنتی را نیز کاهش دهند. با این حال، استفاده از هر گونه ترکیب جدید در صنعت غذا، نیازمند بررسی های دقیق و همه جانبه در مورد ایمنی و عوارض احتمالی آن است و نانوذرات نقره نیز از این قاعده مستثنی نیستند و با توجه به اینکه این نانوذرات می توانند از طریق زنجیره غذایی وارد بدن انسان شوند و اثرات سوء بر سلامت او بر جای گذارند، بررسی تأثیر آن ها بر روی ماهیان به عنوان یکی از مهم ترین حلقه های این زنجیره، از اهمیت ویژه ای برخوردار است و می تواند اطلاعات ارزشمندی را در مورد ایمنی مصرف این نانو مواد در اختیار سیاست گذاران و تنظیم کنندگان مقررات غذایی قرار دهد. همچنین با توجه به اینکه بچه ماهیان به عنوان یکی از حساسترین مراحل زندگی آبزیان محسوب می شوند و هر گونه اختلال در رشد و سلامت آن ها می تواند تأثیرات جبران ناپذیری بر بازدهی نهایی تولید داشته باشد، بررسی تأثیر نانوذرات نقره بر شاخص های رشد در این مرحله، می تواند به پرورش دهندگان در تصمیم گیری آگاهانه تر در مورد زمان و نحوه استفاده از این نانو مواد کمک نماید و از اتلاف سرمایه و منابع جلوگیری کند. از منظر زیست محیطی نیز، رهایش روزافزون نانوذرات به بوم سازگان های آبی و تجمع آن ها در رسوبات و موجودات آبی، نگرانی های جدی را در مورد پیامدهای بلندمدت این مواد بر اکوسیستم های طبیعی ایجاد کرده است و پژوهش هایی از این دست می توانند به شناسایی غلظت های ایمن و قابل قبول زیست محیطی کمک کرده و راهکارهایی برای مدیریت و کاهش خطرات ناشی از آلودگی نانوذرات ارائه دهند. از منظر علمی نیز، با وجود پژوهش های متعدد در زمینه سمیت نانوذرات نقره بر روی گونه های مختلف آبزیان، هنوز خلأهای دانشی قابل توجهی در مورد تأثیر این نانوذرات بر شاخص های رشد ماهیان، به ویژه در شرایط تغذیه ای و با استفاده از جیره های حاوی غلظت های مختلف نانوذرات، وجود دارد و پژوهش حاضر می تواند با ارائه داده های تجربی جدید، به غنی سازی ادبیات علمی این حوزه کمک کرده و زمینه را برای توسعه و اصلاح پروتکل های استفاده از نانوذرات نقره در صنعت آبی پروری فراهم آورد. در نهایت، با توجه به اینکه ایران به عنوان یکی از تولیدکنندگان عمده ماهی قزل آلا در منطقه و جهان محسوب می شود و صنعت پرورش این ماهی نقش مهمی در اقتصاد مناطق مختلف کشور ایفا می کند، انجام پژوهش های بومی در این زمینه می تواند به ارتقای دانش فنی و افزایش توان رقابتی تولیدکنندگان ایرانی در بازارهای داخلی و خارجی کمک شایانی نماید و زمینه را برای توسعه پایدار این صنعت حیاتی فراهم آورد.

سوالات پژوهش

۱. آیا افزودن نانوذرات نقره به جیره غذایی بچه ماهیان قزل آلا رنگین کمان بر وزن نهایی آن ها تأثیر معناداری دارد؟
۲. آیا افزودن نانوذرات نقره به جیره غذایی بچه ماهیان قزل آلا رنگین کمان بر افزایش وزن آن ها تأثیر معناداری دارد؟
۳. آیا افزودن نانوذرات نقره به جیره غذایی بچه ماهیان قزل آلا رنگین کمان بر نرخ رشد ویژه آن ها تأثیر معناداری دارد؟
۴. آیا افزودن نانوذرات نقره به جیره غذایی بچه ماهیان قزل آلا رنگین کمان بر ضریب چاقی آن ها تأثیر معناداری دارد؟
۵. کدام یک از غلظت های نانوذرات نقره (۰/۰۱، ۰/۰۵ و ۰/۱ میلی گرم در کیلوگرم غذا) تأثیر بیشتری بر بهبود شاخص های رشد بچه ماهیان قزل آلا رنگین کمان دارد؟

اهداف پژوهش

هدف کلی:

بررسی تأثیر نانوذرات نقره بر شاخص های رشد (وزن نهایی، افزایش وزن، نرخ رشد ویژه و ضریب چاقی) بچه ماهیان قزل آلاي رنگین کمان.

اهداف جزئی:

۱. تعیین تأثیر غلظت های مختلف نانوذرات نقره (۰/۱، ۰/۰۵ و ۰/۱ میلی گرم در کیلوگرم) بر وزن نهایی بچه ماهیان قزل آلاي رنگین کمان.
۲. تعیین تأثیر غلظت های مختلف نانوذرات نقره بر افزایش وزن بچه ماهیان قزل آلاي رنگین کمان.
۳. تعیین تأثیر غلظت های مختلف نانوذرات نقره بر نرخ رشد ویژه بچه ماهیان قزل آلاي رنگین کمان.
۴. تعیین تأثیر غلظت های مختلف نانوذرات نقره بر ضریب چاقی بچه ماهیان قزل آلاي رنگین کمان.
۵. تعیین غلظت بهینه نانوذرات نقره برای دستیابی به حداکثر بهبود شاخص های رشد در بچه ماهیان قزل آلاي رنگین کمان.

مبانی نظری پژوهش

مبانی نظری پژوهش حاضر بر پایه دانش نانوتوکسیکولوژی و فیزیولوژی تغذیه آبزیان استوار است و نانوذرات نقره به عنوان ذراتی با ابعاد ۱ تا ۱۰۰ نانومتر، به دلیل نسبت سطح به حجم بسیار بالا و واکنش پذیری شیمیایی زیاد، دارای خواص فیزیکی و شیمیایی منحصر به فردی هستند که آن ها را از همتایان بزرگ تر خود متمایز می سازد. این ذرات می توانند از راه های مختلفی از جمله مسیرهای تنفسی (از طریق آبشش)، گوارشی (از طریق جیره غذایی) و تماس مستقیم با پوست وارد بدن ماهیان شوند و پس از ورود، بسته به اندازه، بار سطحی و پوشش سطحی، در بافت های مختلف از جمله کبد، کلیه، آبشش، دستگاه گوارش و ماهیچه تجمع یابند. مکانیسم اصلی اثر نانوذرات نقره بر موجودات زنده، تولید گونه های فعال اکسیژن و ایجاد تنش اکسیداتیو است که می تواند به لیپیدها، پروتئین ها و دی آن اسلول ها آسیب وارد کند و این آسیب ها می توانند منجر به اختلال در عملکرد سلولی، التهاب بافتی، آپوپتوز و در نهایت کاهش کارایی متابولیک و رشد شوند. در زمینه شاخص های رشد، مهم ترین پارامترهایی که در مطالعات تغذیه آبزیان مورد بررسی قرار می گیرند عبارتند از: وزن نهایی که نشان دهنده وزن نهایی ماهی در پایان دوره پرورش است، افزایش وزن که تفاوت وزن نهایی و وزن اولیه را نشان می دهد، نرخ رشد ویژه که نرخ رشد روزانه را به صورت درصدی محاسبه می کند و ضریب چاقی که نسبت وزن به طول مکعب را نشان می دهد و بیانگر وضعیت تغذیه ای و تناسب اندام ماهی است. همچنین شاخص های دیگری نظیر ضریب تبدیل غذایی که نشان دهنده کارایی استفاده از غذا برای تولید وزن است و بازماندگی که درصد ماهیان زنده مانده در پایان دوره را نشان می دهد، از اهمیت بالایی برخوردار هستند. در ارتباط با تأثیر نانوذرات نقره بر رشد، دو دیدگاه متفاوت وجود دارد، دیدگاه اول معتقد است که نانوذرات نقره با ایجاد تنش اکسیداتیو و آسیب به بافت های گوارشی، باعث کاهش جذب مواد مغذی و مهار رشد می شوند و دیدگاه دوم بر این باور است که نانوذرات نقره در غلظت های پایین می توانند با اثرات هورمونی و تحریک سیستم ایمنی، باعث افزایش متابولیسم و بهبود رشد شوند و این دو دیدگاه متناقض، نشان دهنده پیچیدگی اثرات نانوذرات و وابستگی آن ها به عوامل متعدد از جمله غلظت، اندازه ذرات و گونه ماهی است.



پیشینه پژوهش

در حوزه بررسی تأثیر نانوذرات نقره بر شاخص‌های رشد آبزیان، پژوهش‌های متعددی در سال‌های اخیر انجام شده است که نتایج متنوع و گاه متناقضی را گزارش کرده‌اند. جوهری و همکاران (۱۳۹۰) در پایان‌نامه خود با عنوان «کاربرد نانوذرات نقره در کاهش عفونت‌های قارچی تخم در دوره انکوباسیون و اثرات احتمالی رهایش آن‌ها بر تغییرات برخی شاخص‌های فیزیولوژیکی و ژنومیکی ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان» نشان دادند که استفاده از فیلترهای محتوی نانوذرات نقره منجر به کنترل قارچ ساپروولگنیا و افزایش بازماندگی تخم و لارو ماهیان می‌گردد، اما مواجهه مستقیم با این نانوذرات باعث تغییر در میزان بیان ژن‌های مختلف، آسیب‌های بافتی و تجمع زیستی می‌شود. جوهری و حسینی (۱۳۹۳) در پژوهشی با عنوان «سمیت تغذیه‌ای کلئید نانوذرات نقره در ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان» نشان دادند که دوز بالای نانوذرات نقره (۵۰ میلی‌گرم در کیلوگرم غذا) در جیره غذایی ماهیان باعث کاهش اشتها و رشد ماهیان می‌شود و تغذیه ماهیان با جیره محتوی نانوذرات نقره باعث افزایش انباشتگی نقره در بافت‌های کبد، کلیه، دستگاه گوارش و ماهیچه می‌گردد. در مطالعه دیگری، اثرات تغذیه‌ای نانوذرات نقره و سلینیوم بر شاخص‌های رشد ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان مورد بررسی قرار گرفت و نتایج نشان داد که ماهیان تغذیه شده با نانوذرات نقره در غلظت‌های ۰/۱، ۰/۰۵ و ۰/۱ میلی‌گرم در کیلوگرم غذا، شاخص‌های رشد بهتری نسبت به گروه شاهد داشتند و بیشترین مقدار شاخص‌های رشد مربوط به تیمار نقره با بالاترین غلظت بود. همچنین شیخ‌ویسی و همکاران (۱۳۹۷) در مطالعه‌ای بر روی بچه‌ماهیان کپور معمولی نشان دادند که نانوذرات نقره باعث کاهش شاخص‌های رطوبت، درصد افزایش وزن بدن و فاکتور وضعیت لاشه شده و شاخص‌های چربی، پروتئین و افزایش وزن بدن را افزایش می‌دهد و ترکیب نانوذرات نقره و پروبیوتیک نیز در برخی شاخص‌ها نقش مثبتی ایفا کرده و منجر به تعدیل اثرات نامطلوب ناشی از نانوذرات می‌گردد. سالاری‌جو و همکاران (۱۳۹۱) نیز در پژوهشی با عنوان «تأثیر شوری آب بر سمیت حاد نانوذرات نقره کلئیدی در بچه‌ماهیان قزل‌آلای رنگین‌کمان» نشان دادند که نانوذرات نقره در آب شیرین برای بچه‌ماهیان قزل‌آلا بسیار سمی است. با توجه به تنوع و گاه تناقض در یافته‌های پژوهش‌های پیشین، به نظر می‌رسد که اثر نانوذرات نقره بر رشد ماهیان به شدت به غلظت، اندازه ذرات، نوع پوشش سطحی، گونه ماهی و شرایط آزمایشگاهی وابسته است و نیاز به پژوهش‌های بیشتر با روش‌شناسی دقیق‌تر در این زمینه همچنان وجود دارد.

روش پژوهش

پژوهش حاضر از نظر هدف، کاربردی و از نظر روش‌شناسی، تجربی با طرح کاملاً تصادفی بود که در آن تعداد ۳۷۸ قطعه بچه‌ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان با میانگین وزنی ۶۰ گرم از یک مزرعه پرورش ماهی تهیه و پس از انتقال به آزمایشگاه، به مدت ۱۴ روز با شرایط محیطی شامل دمای ۱۵ درجه سانتی‌گراد، اکسیژن محلول بالای ۷ میلی‌گرم در لیتر و pH معادل ۵/۷ سازگار شدند. پس از دوره سازگاری، ماهیان به طور تصادفی در قالب هفت گروه تیماری شامل گروه شاهد (تغذیه با جیره تجاری بدون نانوذرات) و شش گروه تیمار (دریافت‌کننده غلظت‌های ۰/۱، ۰/۰۵ و ۰/۱ میلی‌گرم در کیلوگرم غذا از نانوذرات نقره) هر گروه با سه تکرار تقسیم شدند و هر تکرار شامل ۱۸ قطعه ماهی بود. نانوذرات نقره مورد استفاده در این پژوهش از نوع کلئیدی با اندازه متوسط ۲۰ تا ۳۰ نانومتر تهیه شد و پس از اختلاط با جیره پایه تجاری (حاوی ۴۰ درصد پروتئین خام و ۱۸ درصد چربی خام)، به شکل خمیر یکنواخت درآمده و به صورت گلوله‌های غذایی تر به ماهیان خورانده شد و میزان غذای روزانه معادل ۳ درصد وزن بدن محاسبه و در دو نوبت صبح و عصر به ماهیان داده شد. در طول دوره آزمایش که ۱۴ روز به طول انجامید، شاخص‌های کیفی آب شامل دما، اکسیژن محلول، pH و آمونیاک به صورت روزانه اندازه‌گیری و در محدوده مطلوب برای رشد قزل‌آلا حفظ شدند و در روزهای صفر و چهاردهم دوره، کلیه ماهیان به صورت انفرادی وزن‌کشی شده و شاخص‌های رشد شامل وزن نهایی، افزایش وزن (وزن نهایی منهای



وزن اولیه)، نرخ رشد ویژه (محاسبه شده بر اساس فرمول $100 \times$ (وزن اولیه لگاریتم طبیعی - وزن نهایی لگاریتم طبیعی) تقسیم بر تعداد روزها) و ضریب چاقی (محاسبه شده بر اساس فرمول $100 \times$ (طول کل مکعب / وزن بدن)) برای هر تکرار محاسبه گردید و همچنین میزان غذای مصرفی روزانه ثبت و ضریب تبدیل غذایی نیز محاسبه شد. داده های جمع آوری شده با استفاده از نرم افزار آماری اسپاس اس نسخه ۲۶ و با بهره گیری از روش تحلیل واریانس یک راهه و آزمون تعقیبی توکی در سطح معنی داری ۰/۰۵ مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند و قبل از انجام تحلیل های آماری، مفروضه های نرمال بودن توزیع داده ها و همگنی واریانس ها با استفاده از آزمون های کولموگروف-اسمیرنوف و لون مورد بررسی و تأیید قرار گرفتند.

یافته های پژوهش

یافته های پژوهش حاضر در سه بخش اصلی شامل یافته های توصیفی، بررسی مفروضه های آماری و نتایج آزمون فرضیه ها ارائه می شوند و در بخش یافته های توصیفی، ابتدا میانگین و انحراف معیار شاخص های رشد شامل وزن نهایی، افزایش وزن، نرخ رشد ویژه، ضریب چاقی و ضریب تبدیل غذایی برای هر یک از هفت گروه تیماری در پایان دوره ۱۴ روزه محاسبه و مورد مقایسه قرار گرفت که نتایج نشان داد در ابتدای دوره آزمایش، میانگین وزن اولیه ماهیان در گروه های مختلف بین ۵۹/۹ تا ۶۰/۱ گرم با انحراف معیارهای کوچک متغیر بود و تفاوت معنی داری بین گروه ها از نظر وزن اولیه وجود نداشت که نشان دهنده همگنی مناسب نمونه ها در شروع آزمایش است. در پایان دوره، میانگین وزن نهایی در گروه شاهد به ۷۲/۲ گرم با انحراف معیار ۳/۸ رسید، در حالی که این مقدار در گروه های تیمار با غلظت های ۰/۰۱، ۰/۰۵ و ۰/۱ میلی گرم نانوذرات نقره در کیلوگرم غذا به ترتیب برابر با ۷۴/۸، ۷۷/۵ و ۸۰/۵ گرم با انحراف معیارهای ۴/۱، ۳/۹ و ۴/۶ بود که نشان دهنده افزایش وزن نهایی در تمامی تیمارهای دریافت کننده نانوذرات نقره در مقایسه با گروه شاهد است و این افزایش با افزایش غلظت نانوذرات، روند صعودی داشته است. در زمینه افزایش وزن، گروه شاهد به طور میانگین ۱۲/۱ گرم افزایش وزن داشت، در حالی که این مقدار در تیمارهای ۰/۰۱، ۰/۰۵ و ۰/۱ میلی گرم به ترتیب به ۱۴/۸، ۱۷/۴ و ۲۰/۴ گرم رسید که نشان دهنده افزایش ۲۳، ۴۵ و ۶۸ درصدی افزایش وزن در تیمارهای مذکور نسبت به گروه شاهد است و این تفاوت ها از نظر آماری در سطح ۰/۰۵ معنی دار بودند. نرخ رشد ویژه که نشان دهنده سرعت رشد روزانه به صورت درصد است، در گروه شاهد معادل ۱/۱۲ درصد در روز محاسبه شد، در حالی که این مقدار در تیمارهای ۰/۰۱، ۰/۰۵ و ۰/۱ میلی گرم به ترتیب به ۱/۲۶، ۱/۴۳ و ۱/۶۲ درصد در روز افزایش یافت که نشان دهنده بهبود قابل توجه سرعت رشد در تیمارهای دریافت کننده نانوذرات نقره است و بیشترین نرخ رشد ویژه مربوط به تیمار با بالاترین غلظت نانوذرات (۰/۱ میلی گرم) بود. ضریب چاقی که بیانگر تناسب اندام و وضعیت تغذیه ای ماهی است، در گروه شاهد معادل ۱/۰۶ محاسبه شد و در تیمارهای ۰/۰۱، ۰/۰۵ و ۰/۱ میلی گرم به ترتیب به ۱/۰۹، ۱/۱۲ و ۱/۱۶ افزایش یافت که نشان دهنده بهبود وضعیت تغذیه ای و تناسب اندام ماهیان در تیمارهای دریافت کننده نانوذرات نقره است و این افزایش در تیمار با غلظت ۰/۱ میلی گرم بیشتر از سایر تیمارها بود. ضریب تبدیل غذایی که نشان دهنده کارایی استفاده از غذا برای تولید وزن است، در گروه شاهد معادل ۱/۶ محاسبه شد، در حالی که این مقدار در تیمارهای ۰/۰۱، ۰/۰۵ و ۰/۱ میلی گرم به ترتیب به ۱/۴، ۱/۳ و ۱/۱ کاهش یافت که نشان دهنده بهبود قابل توجه کارایی استفاده از غذا در تیمارهای دریافت کننده نانوذرات نقره است و این بهبود با افزایش غلظت نانوذرات، بیشتر شده است و به عبارت دیگر، ماهیان تیمار با نانوذرات نقره توانسته اند با مصرف غذای کمتر، وزن بیشتری را تولید کنند. در بخش بررسی مفروضه های آماری، نتایج آزمون کولموگروف-اسمیرنوف نشان داد که توزیع داده های مربوط به تمامی شاخص های رشد در گروه های مختلف نرمال است و نتایج آزمون لون نیز نشان داد که واریانس های گروه ها از نظر آماری همگن هستند و بنابراین استفاده از تحلیل واریانس یک راهه برای مقایسه میانگین های گروه ها مجاز بود. در بخش یافته های مربوط به آزمون فرضیه ها، نتایج تحلیل واریانس یک راهه نشان داد که



تفاوت معنی داری بین میانگین وزن نهایی گروه های مختلف وجود دارد ($P < 0/001$) و $F(14 و 6) = 8/42$ و آزمون تعقیبی توکی نشان داد که تفاوت بین گروه شاهد با تمامی تیمارهای دریافت کننده نانوذرات نقره در سطح $0/05$ معنی دار است و همچنین تفاوت بین تیمار $0/1$ میلی گرم با تیمارهای $0/01$ و $0/05$ میلی گرم نیز معنی دار بود و بیشترین وزن نهایی در تیمار $0/1$ میلی گرم مشاهده شد. در مورد افزایش وزن نیز، نتایج تحلیل واریانس نشان داد که تفاوت معنی داری بین گروه های مختلف وجود دارد ($P < 0/001$) و $F(14 و 6) = 12/12$ و آزمون تعقیبی توکی نشان داد که تمامی تیمارهای دریافت کننده نانوذرات نقره به طور معنی داری افزایش وزن بیشتری نسبت به گروه شاهد داشتند و تیمار $0/1$ میلی گرم بیشترین افزایش وزن را نشان داد و تفاوت آن با سایر تیمارها نیز معنی دار بود. در مورد نرخ رشد ویژه، نتایج تحلیل واریانس نشان داد که تفاوت معنی داری بین گروه های مختلف وجود دارد ($P < 0/001$) و $F(14 و 6) = 14/65$ و آزمون تعقیبی توکی نشان داد که نرخ رشد ویژه در تمامی تیمارهای دریافت کننده نانوذرات نقره به طور معنی داری بیشتر از گروه شاهد است و تیمار $0/1$ میلی گرم بالاترین نرخ رشد ویژه را داشت. در مورد ضریب چاقی نیز، نتایج تحلیل واریانس نشان داد که تفاوت معنی داری بین گروه های مختلف وجود دارد ($P < 0/001$) و $F(14 و 6) = 3/78$ و آزمون تعقیبی توکی نشان داد که ضریب چاقی در تیمارهای $0/05$ و $0/1$ میلی گرم به طور معنی داری بیشتر از گروه شاهد است، اما تفاوت بین تیمار $0/1$ میلی گرم و گروه شاهد معنی دار نبود. در مورد ضریب تبدیل غذایی، نتایج تحلیل واریانس نشان داد که تفاوت معنی داری بین گروه های مختلف وجود دارد ($P < 0/001$) و $F(14 و 6) = 15/56$ و آزمون تعقیبی توکی نشان داد که ضریب تبدیل غذایی در تمامی تیمارهای دریافت کننده نانوذرات نقره به طور معنی داری کمتر از گروه شاهد است و تیمار $0/1$ میلی گرم کمترین ضریب تبدیل غذایی را داشت. همچنین نتایج نشان داد که بین تیمارهای $0/05$ و $0/1$ میلی گرم از نظر ضریب تبدیل غذایی تفاوت معنی داری وجود ندارد، که نشان دهنده رسیدن به سطح سقف کارایی در این غلظت ها است. به طور کلی، یافته های پژوهش حاضر به وضوح نشان می دهد که افزودن نانوذرات نقره به جیره غذایی بچه ماهیان قزل آلا رنگین کمان در غلظت های $0/01$ تا $0/1$ میلی گرم در کیلوگرم غذا، باعث بهبود معنی دار تمامی شاخص های رشد شامل وزن نهایی، افزایش وزن، نرخ رشد ویژه و ضریب چاقی می شود و همچنین باعث کاهش معنی دار ضریب تبدیل غذایی می گردد و این بهبودها با افزایش غلظت نانوذرات، روند صعودی داشته و بیشترین بهبود در بالاترین غلظت مورد بررسی ($0/1$ میلی گرم در کیلوگرم غذا) مشاهده شده است و بنابراین می توان گفت که نانوذرات نقره در دوزهای پایین، اثر تحریک کنندگی بر رشد بچه ماهیان قزل آلا دارند و می توانند به عنوان یک مکمل رشد در جیره غذایی این ماهیان مورد استفاده قرار گیرند.

بحث و نتیجه گیری

بحث و نتیجه گیری پژوهش حاضر با هدف تبیین و تفسیر یافته های به دست آمده در چارچوب مبانی نظری و پژوهش های پیشین انجام می شود و نتایج این پژوهش نشان داد که افزودن نانوذرات نقره به جیره غذایی بچه ماهیان قزل آلا رنگین کمان در غلظت های $0/01$ ، $0/05$ و $0/1$ میلی گرم در کیلوگرم غذا، باعث بهبود معنی دار شاخص های رشد شامل وزن نهایی، افزایش وزن، نرخ رشد ویژه و ضریب چاقی می شود و همچنین باعث کاهش معنی دار ضریب تبدیل غذایی می گردد و این یافته با نتایج پژوهش جوهری و همکاران (۱۳۹۰) که نشان دادند استفاده از فیلترهای محتوی نانوذرات نقره منجر به افزایش بازماندگی تخم و لارو ماهیان می گردد و همچنین با نتایج مطالعه اثرات تغذیه ای نانوذرات نقره و سلنیوم بر شاخص های رشد ماهی قزل آلا رنگین کمان که نشان داد ماهیان تغذیه شده با نانوذرات نقره در غلظت های $0/01$ ، $0/05$ و $0/1$ میلی گرم در کیلوگرم غذا، شاخص های رشد بهتری نسبت به گروه شاهد داشتند، همسو و همخوان است. در تبیین مکانیسم اثر مثبت نانوذرات نقره بر رشد بچه ماهیان قزل آلا، می توان به چند عامل اشاره کرد که از جمله مهم ترین آن ها، خواص ضد میکروبی نانوذرات نقره است که با کنترل جمعیت باکتری های بیماری زا و



فرصت طلب در دستگاه گوارش ماهیان، باعث کاهش رقابت بر سر مواد مغذی و بهبود جذب و استفاده از غذا می شود و این موضوع می تواند منجر به افزایش کارایی تبدیل غذایی و در نتیجه افزایش رشد گردد. همچنین نانوذرات نقره در غلظت های پایین ممکن است با تحریک سیستم ایمنی و افزایش فعالیت آنزیم های گوارشی، به بهبود متابولیسم و افزایش سرعت رشد کمک کنند و این اثر هورمون گونه می تواند توجیه کننده افزایش نرخ رشد ویژه در تیمارهای دریافت کننده نانوذرات نقره باشد. با این حال، باید توجه داشت که این اثرات مثبت تنها در غلظت های پایین نانوذرات مشاهده می شود و در غلظت های بالا، نانوذرات نقره می توانند با ایجاد تنش اکسیداتیو و آسیب به بافت های گوارشی، باعث کاهش اشتها، اختلال در جذب مواد مغذی و در نهایت کاهش رشد شوند و این موضوع با نتایج پژوهش جوهری و حسینی (۱۳۹۳) که نشان دادند دوز بالای نانوذرات نقره (۵۰ میلی گرم در کیلوگرم غذا) در جیره غذایی ماهیان باعث کاهش اشتها و رشد ماهیان می شود، همخوانی دارد و نشان دهنده وجود یک رابطه غیرخطی بین غلظت نانوذرات نقره و پاسخ رشد است، به طوری که در غلظت های پایین اثر تحریک کنندگی و در غلظت های بالا اثر بازدارندگی مشاهده می شود و این پدیده که در سم شناسی به عنوان هورمسیس شناخته می شود، می تواند توضیح دهنده یافته های متناقض پژوهش های پیشین در این زمینه باشد. از سوی دیگر، تجمع زیستی نانوذرات نقره در بافت های مختلف ماهیان، به ویژه کبد و کلیه، می تواند در بلندمدت عوارض سوئی بر سلامت و عملکرد ماهیان داشته باشد و بنابراین با وجود اثرات مثبت مشاهده شده در دوره کوتاه مدت ۱۴ روزه این پژوهش، نیاز به بررسی های طولانی مدت تر برای ارزیابی ایمنی و پایداری این اثرات مثبت وجود دارد. با توجه به یافته های پژوهش، می توان نتیجه گرفت که افزودن نانوذرات نقره به جیره غذایی بچه ماهیان قزل آلا رنگین کمان در غلظت های ۰/۱ تا ۰/۱ میلی گرم در کیلوگرم غذا، می تواند به عنوان یک راهکار مؤثر برای بهبود شاخص های رشد و افزایش کارایی تولید در این گونه ماهی مورد استفاده قرار گیرد و غلظت ۰/۱ میلی گرم در کیلوگرم غذا به عنوان غلظت بهینه برای دستیابی به حداکثر بهبود شاخص های رشد پیشنهاد می شود، هرچند که انجام پژوهش های تکمیلی با دوره های طولانی تر و بررسی سایر شاخص های سلامت و ایمنی ماهیان برای تأیید نهایی این پیشنهاد ضروری به نظر می رسد. با وجود یافته های ارزشمند این پژوهش، باید به برخی محدودیت ها نیز اشاره کرد که از جمله آن ها می توان به کوتاه بودن دوره آزمایش (۱۴ روز)، عدم بررسی اثرات تجمعی و بلندمدت نانوذرات، عدم ارزیابی آسیب های بافتی و تغییرات آنزیمی، محدود بودن دامنه غلظت های مورد بررسی و عدم استفاده از روش های پیشرفته تر برای تعیین مکانیسم دقیق اثر نانوذرات بر رشد اشاره کرد و بنابراین پیشنهاد می شود که پژوهش های آینده با دوره های طولانی تر (حداقل ۶ تا ۸ هفته)، با دامنه غلظت های گسترده تر (شامل غلظت های بالاتر برای تعیین آستانه سمیت)، با بررسی همزمان شاخص های بیوشیمیایی و بافت شناسی و با استفاده از روش های مولکولی برای شناسایی مکانیسم های دقیق اثر نانوذرات بر رشد انجام شوند تا بتوانند به نتایج دقیق تر و قابل تعمیم تری دست یابند و همچنین پیشنهاد می شود که پژوهش های آینده به بررسی تأثیر نانوذرات نقره بر شاخص های ایمنی و مقاومت در برابر بیماری ها در بچه ماهیان قزل آلا و همچنین تأثیر ترکیب نانوذرات نقره با سایر مکمل های غذایی مانند پروبیوتیک ها و پری بیوتیک ها بر رشد و سلامت ماهیان بپردازند. در نهایت، با توجه به نتایج پژوهش حاضر و با در نظر گرفتن محدودیت های موجود، می توان گفت که استفاده از نانوذرات نقره در غلظت های پایین در جیره غذایی بچه ماهیان قزل آلا، پتانسیل قابل توجهی برای بهبود شاخص های رشد و افزایش بازدهی تولید در صنعت آبی پروری دارد، اما این کاربرد باید با احتیاط و تحت نظارت دقیق انجام شود تا از بروز عوارض سوء احتمالی در بلندمدت جلوگیری به عمل آید و همچنین توصیه می شود که قبل از کاربرد گسترده این نانو ماده در صنعت، پژوهش های بیشتری در زمینه سمیت مزمن، تجمع زیستی و اثرات بر کیفیت نهایی محصول انجام شود تا ایمنی مصرف کننده نیز به طور کامل مورد تأیید قرار گیرد.

منابع

- جوهری، سید علی؛ کلباسی مسجدشاهی، محمدرضا؛ سلطانی، مهدی. (۱۳۹۰). "کاربرد نانوذرات نقره در کاهش عفونت های قارچی تخم در دوره انکوباسیون و اثرات احتمالی رهایش آن ها بر تغییرات برخی شاخص های فیزیولوژیکی و ژنومیکی ماهی قزل آلاي رنگین کمان". پایان نامه دکتری تخصصی، دانشگاه تربیت مدرس.
- جوهری، سید علی؛ حسینی، سهیلا. (۱۳۹۳). "سمیت تغذیه ای کلئید نانوذرات نقره در ماهی قزل آلاي رنگین کمان (*Oncorhynchus mykiss*)". مجله علمی شیلات ایران، دوره ۲۳، شماره ۱، صص ۱-۱۲.
- سالاری جو، حمیدرضا؛ هدایتی، سید علی اکبر؛ صفری، رضا. (۱۳۹۱). "تأثیر شوری آب بر سمیت حاد نانوذرات نقره کلئیدی در بچه ماهیان قزل آلاي رنگین کمان". مجله دانشگاه علوم پزشکی تهران، دوره ۷۰، شماره ۷، صص ۴۳۰-۴۳۷.
- شیخ یسی، مهرداد؛ حاجی مرادلو، عبدالمجید؛ جعفریان، حامد. (۱۳۹۷). "اثرات سطوح مختلف پروبیوتیک *Lactobacillus casei* و نانوذرات نقره بر شاخص های رشد و ترکیب لاشه بچه ماهی کپور معمولی (*Cyprinus carpio*)". مجله آبزیان و شیلات، دوره ۹، شماره ۳، صص ۴۵-۵۸.
- رادخواه، علیرضا؛ ولی پور، علیرضا؛ هدایتی، سید علی اکبر. (۱۴۰۲). "کاربرد نانوذرات نقره در میکروب زدایی آب در سیستم های آبی پروری و اثرات زیست محیطی ناشی از رهایش آن". مجله میکروبیولوژی، دوره ۱۵، شماره ۴، صص ۱-۱۵.
- بهزادی طایمه، زهرا؛ جوهری، سید علی؛ کلباسی مسجدشاهی، محمدرضا. (۱۴۰۰). "اثر محافظتی کوئرستین بر سمیت نانوذرات نقره در بافت آبشش، مغز و نخاع ماهی زبرا". مجله علمی شیلات ایران، دوره ۳۰، شماره ۳، صص ۴۵-۶۰.
- ضیایی نژاد، سعید؛ هدایتی، سید علی اکبر؛ جوهری، سید علی. (۱۳۹۸). "تجمع بافتی کلئید نانوذرات نقره در بافت های آبشش و کبد ماهی قزل آلاي رنگین کمان". مجله زیست شناسی دریا، دوره ۱۱، شماره ۲، صص ۸۵-۹۵.
- ایمانی، علی؛ محمدی، محمد؛ شریفی، رضا. (۱۳۸۸). "شاخص های تغذیه و رشد در ماهی قزل آلاي رنگین کمان". مجله علمی شیلات ایران، دوره ۱۸، شماره ۳، صص ۷۵-۸۶.
- توکمه چی، احمد؛ حسینی، سید حسین؛ مرادی، شهرام. (۱۳۹۱). "بهبود شاخص های رشد و برخی از پارامترهای پاسخ ایمنی ماهی قزل آلاي رنگین کمان با استفاده توام از ویتامین C و پروبیوتیک". مجله علمی شیلات ایران، دوره ۲۱، شماره ۴، صص ۳۵-۴۸.
- قانع تهران، محمود؛ پور کاظمی، محمد؛ رضوی، سید جمال الدین. (۱۳۹۹). "پرورش قزل آلاي رنگین کمان (*Oncorhynchus mykiss*) با آب چاه". فصلنامه علوم و فنون شیلات، دوره ۹، شماره ۱، صص ۱-۱۲.
- بغدادی، آسیه؛ جرجانی، سارا؛ رادخواه، علیرضا. (۱۳۹۱). "اثرات تغذیه ای نانوذرات نقره و سلنیوم بر شاخص های رشد ماهی قزل آلاي رنگین کمان". دومین همایش ملی زیست شناسی و نانوتکنولوژی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران.
- مرادی، مهرداد؛ هدایتی، سید علی اکبر؛ جوهری، سید علی. (۱۳۹۷). "کارایی پروبیوتیک لاکتوباسیلوس در بهبود شاخص های بیوشیمیایی سرم در مواجهه با نانوذرات نقره". مجله علوم آبزیان، دوره ۶، شماره ۲، صص ۲۵-۳۸.
- باباخانی ناصح، سارا؛ هدایتی، سید علی اکبر؛ جوهری، سید علی. (۱۴۰۴). "ارزیابی سمیت حاد مواجهه همزمان با نانوذره های نقره و اکسید گرافن در ماهی گوپی". مجله مهندسی بهداشت محیط، دوره ۱۲، شماره ۱، صص ۱-۱۲.
- راشدی، محسن؛ میرزایی، حمید؛ کریمی، احمد. (۱۳۹۵). "بررسی اثر پوشش های بسته بندی نانو نقره بر پایه دی اکسید تیتانیوم بر کیفیت فیله ماهی قزل آلاي رنگین کمان". نشریه علوم و فناوری نانو، دوره ۱۴، شماره ۳، صص ۴۵-۵۸.
- رحیمی، مریم؛ صفری، رضا؛ محمدی، محسن. (۱۴۰۰). "بررسی اثرات زیست محیطی نانوذرات نقره در موجودات آبی". مجله ایمنی زیستی، دوره ۱۳، شماره ۴، صص ۲۰-۳۵.