مجله بوم شناسی آبزیان

Journal homepage: http://jae.hormozgan.ac.ir

تعیین غلظت کشنده نانو نقره در ماهی گورخری معمولی *Aphanius dispar*(Rüppell, 1829)

ساجده مزارعی[1]، میرمسعود سجادی[2*]، ایمان سوری نژاد[1]، سید علی جوهری[3]، محمد اسدی[1]

[1] گروه شیلات، دانشکده علوم و فنون دریایی و جوی، دانشگاه هرمزگان، بندرعباس

[2] گروه شیلات، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه گیلان، صومعه سرا، صندوق پستی ۱۱۴۴

[3] گروه شیلات، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه کردستان

نوع مقاله:
مقاله کوتاه

تاریخچه مقاله:
دریافت: ۹۳/۰۷/۲۴
اصلاح: ۹۳/۱۱/۱۶
پذیرش: ۹۳/۱۱/۲۵

کلمات کلیدی:
نانو ذرات نقره
نانو سم‌شناسی
ماهی گورخری
LC_{50}

چکیده

هدف از پژوهش حاضر، مطالعه سمیت حاد کلوئید نانو ذرات نقره از طریق تعیین غلظت کشنده میانی (LC_{50}) آن در ماهی گورخری معمولی *Aphanius dispar* بود. آزمایشات سم‌شناسی طبق استاندارد شماره ۲۰۳ OECD، طی ۹۶ ساعت انجام و تلفات ماهیان پس از رویارویی با غلظت های اسمی ۰، ۵، ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۴۰ و ۵۰ میلی گرم در لیتر نانو ذرات نقره، هر ۲۴ ساعت یکبار ثبت شد. داده‌های حاصل از مرگ و میر ماهیان به کمک نرم افزار probit آنالیز گردید. مقدار غلظت کشنده میانی ۹۶ ساعته کلوئید مذکور، ۱۰/۶۳۱ میلی گرم در لیتر به دست آمد. بنابراین طبق سیستم هماهنگ جهانی (GHS) طبقه بندی و برچسب گذاری مواد شیمیایی، نانو نقره مورد مطالعه برای ماهی مذکور جزو گروه ۳ حاد طبقه بندی شده و بر اساس قوانین استاندارد اتحادیه اروپا، حضور این ماده در محیط زیست این ماهی مضر می‌باشد.

مقدمــه

فن آوری نانو، شناخت و کنترل مواد در ابعاد بین ۱-۱۰۰ نانومتر است که در این ابعاد خواص فیزیکی، شیمیایی و زیستی ماده غیر معمول بوده و کاربردهای جدید و منحصر به فردی از این مواد نانومتری ممکن می شود (سالاری جو و همکاران، ۱۳۹۱). امروزه استفاده از نانومواد در محصولاتی که در زندگی روزمره استفاده می‌شوند به طور وسیعی در حال گسترش می‌باشد، به طوریکه از سال ۲۰۰۶ استفاده از آنها به میزان ۵۲۱٪ افزایش یافته است و انتظار می‌رود کاربرد آنها در آینده رشد بیشتری نیز داشته باشد (Nickel *et al*., 2012). با توجه به توسعه روزافزون تولید و کاربرد نانو مواد، نگرانی ها در رابطه با خطرات احتمالی آزادسازی مواد محتوی ذرات نانو به محیط زیست در حال افزایش است (Bucheli and Nowack, 2007). بسیاری از فاضلاب‌های صنعتی و شهری به گستره های آبی شامل رودخانه‌ها، دریاچه‌ها، آب‌های ساحلی و غیره می ریزند که نگرانی آزادسازی نانو ذرات در محیط زیست را افزایش داده است (Valavanidis and Vlachogianni, 2010). انتشار نانوذرات به محیط زندگی آبزیان از مشکلات جدید زیست محیطی به شمار می آید که باید مورد مطالعه قرار گیرد. در همین راستا نانو زیست سم شناسی آبزیان زمینه تحقیقاتی نسبتا جدیدی است که توجه محققین را به خود جلب کرده است چراکه مقصد نهایی نانو مواد

* نویسنده مسئول، پست الکترونیک: mmsajjadi@hotmail.com

[Downloaded from jae.hormozgan.ac.ir on 2026-07-03]

[DOR: 20.1001.1.23222751.1394.4.4.14.8]

تولید شده، اکوسیستم های آبی است و این مواد احتمالاً بر موجودات زنده آبزی تأثیرات نامطلوبی خواهند گذاشت (سالاری جو و همکاران، ۱۳۹۱). ماهیان شاخص های بسیار خوبی از سلامت محیط زیست بوده و حساسیت آنها به طیف گسترده ای از مواد شیمیایی از جمله ترکیبات Xenobiotic بسیار زیاد است (Scown *et al*., 2010). Xenobiotic ها ترکیباتی هستند که در طبیعت وجود ندارند، بلکه به صورت شیمیایی ساخته شده و بنابراین برای زیست کره بیگانه بوده و بسته به سرنوشتشان در آب، هوا، خاک و رسوبات ممکن است در قسمت‌های مختلف طبیعت در دسترس موجودات زنده قرار گیرند، از جمله این مواد Xenobiotic، نانو مواد ساخت دست بشر می باشند (Prabhu and Poulose, 2012). در سال‌های اخیر، تولید نانو ذرات نقره به دلیل خواص ضد میکروبی، ویژگی‌های نوری، الکتریکی و مغناطیسی آن افزایش یافته است، به طوری که ۵۶٪ تولید جهانی نانو مواد اختصاص به نانو ذرات نقره دارد (Kalbassi *et al*., 2011). ورود فاضلاب های آلوده به نانوذرات نقره به محیط آبی می‌تواند باعث تغییراتی در زیست‌بوم آبزیان شده که این تغییرات ممکن است بر موجودات زنده آبزی اثر گذار باشند. آزمون های سمیت حاد در ماهی ها طی ۹۶ ساعت انجام می گردد و منجر به تعیین غلظت کشنده میانی LC_{50}[1] به عنوان یک شاخص زیستی به منظور اندازه گیری استعداد و پتانسیل مرگ و میر توده جانوری به مواد شیمیایی خاص می‌گردد و نشان دهنده غلظتی از مواد شیمیایی است که باعث مرگ ۵۰ درصد جمعیت مورد مطالعه می‌شود (Shah and Altindag, 2005). در سال های اخیر توجه ویژه ای به بحث سم‌شناسی نانومواد در زیست‌بوم های آبزیان شده است و مطالعات متعددی نیز در زمینه اثرات سمی نانوذرات نقره بر آبزیان انجام شده است که از جمله مطالعات انجام شده توسط پژوهشگران ایرانی می توان به مطالعه Johari و همکاران (۲۰۱۳) اشاره کرد که درصد بازماندگی مراحل مختلف زندگی ماهی قزل آلای رنگین کمان را در اثر مواجهه با نانوذرات نقره مورد بررسی قرار دادند. همچنین علیشاهی و حیدری (۱۳۹۰) به بررسی سمیت نانوذرات نقره در ناپلی آرتمیای دریاچه ارومیه پرداختند. Asghari و همکاران (۲۰۱۲) سمیت انواع مختلف نانوذرات نقره را در مقایسه با یون نقره در *Daphnia magna* بررسی کردند. Salari Joo و همکاران (۲۰۱۳) نشان دادند که شوری آب تأثیر مشخصی بر تجمع نانوذرات نقره در بافت‌های آبشش، روده، کلیه و ماهیچه در ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان دارد. همچنین Johari و همکاران (۲۰۱۴a) به بررسی اثرات مواجهه بلند مدت ماهی قزل آلای رنگین کمان با نانوذرات نقره کلوئیدی و پودری بر تجمع نقره در بافت های مختلف و همچنین فراوانی انواع آسیب‌های بافتی در این ماهی پرداختند. در مطالعه‌ای دیگر، Johari و همکاران (۲۰۱۴b)، نشان دادند که روش‌های فیزیکی و شیمیایی تولید نانوذرات نقره، بر سمیت آن‌ها در ماهی گورخری (*Danio rerio*) تأثیر دارد. علاوه بر این، Johari (۲۰۱۴) نشان داد که حضور نانوذرات نقره در زمان لقاح تخمک و اسپرم، بر قابلیت لقاح و موفقیت تولیدمثلی ماهی قزل آلای رنگین کمان تأثیر منفی دارد. حسینی و همکاران (۱۳۹۳) نیز به تعیین غلظت کشنده نانوذرات نقره تولید شده به روش سایش لیزری در ماهی گامبوزیا پرداختند.

جنس *Aphanius* تنها جنس از تیره کپور دندان ماهیان (Cyprinodontidae) موجود در ایران است. کپوردندان ماهیان، آبزیان بسیار زیبایی هستند که اغلب در تجارت ماهیان آکواریومی مورد استفاده قرار می‌گیرند. *Aphanius dispar* (Rüppell, 1829) یا ماهی گورخری معمولی، گونه ای است که تحمل نسبتاً بالایی نسبت به شوری دارد و آب‌های لب شور نواحی ساحلی خلیج فارس را ترجیح می‌دهد. اطلاعات اندکی در مورد جمعیت‌های مختلف جنس *Aphanius* در ایران وجود دارد (Hrbek *et al*., 2006)، بنابراین انجام مطالعات مختلف از جمله بررسی آثار مواد شیمیایی بر این ماهیان، زمینه حفاظت بیشتر از ذخایر محدود آنان را فراهم می‌سازد. با توجه به استفاده روز افزون از نانوذرات در صنایع مختلف و احتمال آزادسازی آن در محیط زیست آبی، هدف از پژوهش حاضر، بررسی سمیت حاد کلوئید نانو ذرات نقره در ماهی گورخری معمولی می‌باشد.

مواد و روش ها

کلوئید نانوذرات نقره نوع L-2000 با نام تجاری نانوسید از شرکت نانونصب پارس (تهران) خریداری شد. مشخصات این کلوئید قبلاً به طور کامل سنجش و گزارش شده است(Asghari *et al*., 2012; Johari *et al*., 2013). بر اساس مطالعات مذکور و به طور خلاصه، کلوئید مورد استفاده حاوی نانو ذرات نقره با غلظت واقعی ۳۹۸۰ میلی‌گرم در لیتر، پتانسیل زتای ۷/۸۶±۵۳/۳۳ میلی ولت و pH ۲/۴۰ می‌باشد؛ همچنین میانگین قطر نانو ذرات نقره در کلوئید مذکور ۱۶/۶ نانومتر می‌باشد.

[1] Median Lethal Concentration

[Downloaded from jae.hormozgan.ac.ir on 2026-07-03]

[DOR: 20.1001.1.23222751.1394.4.4.14.8]

به منظور انجام آزمایشات سم‌شناسی ابتدا، ۲۵۰ قطعه ماهی گورخری معمولی از خوریات بندر عباس به وسیله ساچوک و تور سدی (سکار) صید و به آزمایشگاه آبزی پروری دانشگاه هرمزگان منتقل شدند. سپس به منظور سازگاری با شرایط آزمایشگاه، ماهیان به مدت یک هفته در مخازن پلی اتیلنی ۳۰۰ لیتری و تحت دوره نوری ۱۴ ساعت روشنایی و ۱۰ ساعت تاریکی نگهداری و روزانه دو بار با غذای مخصوص ماهیان تزئینی تغذیه شدند. میانگین وزن و طول کل ماهیان به ترتیب برابر با ۰/۰۵۳± ۱/۰۱ گرم و ۰/۱۳± ۳/۹۲ سانتی‌متر اندازه گیری شد.

در پژوهش حاضر آزمایشات سم‌شناسی در آکواریوم‌های شیشه ای ۲۰ لیتری محتوی ۱۰ لیتر آب هوادهی شده، به روش ساکن (بدون تعویض آب) و بر اساس استاندارد سازمان همکاری و توسعه اقتصادی برنامه‌ریزی و اجرا گردید (OECD, 1992). براساس استاندارد فوق، غذادهی به ماهیان ۲۴ ساعت قبل از شروع آزمایش‌های سم‌شناسی و در طی انجام آن قطع گردید. بر همین اساس نیز ابتدا آزمایش‌های اولیه به منظور تعیین محدوده کشندگی نانو ذرات نقره انجام شد و با توجه به نتایج به دست آمده از این آزمایش‌ها، در مرحله بعد ماهیان در معرض غلظت های اسمی ۰، ۵، ۱۰، ۲۰ ، ۳۰، ۴۰ و ۵۰ میلی‌گرم در لیتر کلوئید نانو ذرات نقره طی ۹۶ ساعت قرار گرفتند. بنابراین در پژوهش حاضر هفت تیمار اصلی شامل گروه شاهد و غلظت‌های مختلف کلوئید نانوذرات نقره و ۳ تکرار برای هر تیمار (در مجموع ۲۱ آکواریوم) در نظر گرفته شد. در این مرحله تعداد ماهیان هر تکرار ۱۰ عدد بود و در مجموع از ۲۱۰ ماهی استفاده گردید. ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی آب در طی آزمایش به صورت روزانه اندازه‌گیری و ثبت می‌گردید. بر این اساس محدوده دما بین ۲۴ تا ۲۵ درجه سانتی گراد، pH برابر با ۸/۲، اکسیژن محلول ۷/۹ میلی گرم در لیتر، هدایت الکتریکی برابر ۸۷۵ میکروزیمنس بر سانتی متر و شوری ppt ۰/۲ بود. بعد از تیماربندی، به منظور تعیین غلظت واقعی نقره در هر تیمار، از هر آکواریوم به میزان ۶۰ سی سی نمونه آب برداشته و ابتدا با استفاده از اسید نیتریک ۰/۱ نرمال، pH آن به زیر ۲ رسانده شد؛ سپس با دستگاه جذب اتمی مقدار غلظت واقعی نقره در آب مورد سنجش قرار گرفت. تلفات ماهیان طی ۹۶ ساعت و هر ۲۴ ساعت یکبار شمارش و ثبت شد و داده‌های به دست آمده به وسیله نرم افزار probit (این نرم افزار توسط سازمان حفاظت محیط زیست آمریکا (US EPA) و برای آنالیز نتایج داده های مربوط به سمیت حاد ناشی از مواد شیمیایی طراحی گردیده است) برای تعیین غلظت کشنده میانی مورد استفاده قرار گرفت. لازم به ذکر است که مقادیر غلظت‌های کشنده در این مطالعه بر اساس غلظت واقعی نقره محاسبه گردیدند.

نتایــج

در ساعات اولیه در معرض‌گذاری با غلظت‌های مختلف نانوذرات نقره، حرکات غیر عادی ماهیان شامل آمدن به سطح آب، شنای سریع، بی حالی، تجمع ماهیان در یک نقطه از آکواریوم و حرکات سریع سرپوش آبششی ثبت گردید، هم چنین رسوب قهوه ای رنگ تیره در کف آکواریوم به خصوص در غلظت های بالا مشاهده گردید. نتایج سنجش غلظت‌های واقعی نقره در آب آکواریوم‌ها در جدول ۱ آورده شده است. در غلظت‌های آزمایش شده در ماهیان ترشح موکوس به خصوص بر روی پوست و آبشش ماهیان مشاهده شد. نتایج حاصل از شمارش تعداد ماهیان تلف شده در زمان‌های مختلف پس از رویارویی با نانو ذرات نقره در جدول ۲ خلاصه گردیده است. با توجه به این جدول، تلفات ماهیان با افزایش غلظت و افزایش زمان در معرض گذاری، بیشتر شده است به این صورت که با افزایش غلظت یک روند افزایشی در میزان تلفات مشاهده شد. بر اساس نتایج به دست آمده در این پژوهش، بیشترین غلظت فاقد اثر سمیت (NOEC[۲]) و کمترین غلظت ایجاد کننده سمیت (LOEC[۳]) نانو ذرات نقره برای ماهی گورخری معمولی به ترتیب برابر ۱/۲ و ۲/۷۱۵ میلی گرم در لیتر بودند. همچنین بر اساس بررسی داده‌های مرگ و میر با نرم افزار پروبیت، غلظت کشنده میانی ۹۶ ساعته کلوئید نانو ذرات نقره برای ماهی گورخری معمولی به میزان ۱۰/۶۳۱ میلی گرم در لیتر برآورد گردید (جدول ۳).

[2] No Observed Effect Concentration
[3] Lowest Observed Effect Concentration

[Downloaded from jae.hormozgan.ac.ir on 2026-07-03]

[DOR: 20.1001.1.23222751.1394.4.4.14.8]

جدول۱. نتایج سنجش غلظت واقعی نقره در هر یک از غلظت های مختلف استفاده شده در آزمایش (غلظت اسمی) با استفاده از دستگاه جذب اتمی (اعداد بر حسب میلی‌گرم در لیتر می باشند).

غلظت اسمی	۵	۱۰	۲۰	۳۰	۴۰	۵۰
غلظت واقعی	۲/۷۱۵	۵/۸۴۲	۱۱/۲۰۵	۱۹/۳۷	۲۲/۳۴۵	۲۷/۲۵۵

جدول ۲. تلفات ماهیان گورخری معمولی پس از رویارویی با کلوئید نانوذرات نقره طی دوره ۹۶ ساعته.

غلظت اسمی کلوئید نانوذرات نقره (میلی‌گرم در لیتر)	مجموع تعداد تلفات هر ساعت			
	۲۴	۴۸	۷۲	۹۶
۰	۰	۰	۰	۰
۵	۰	۱	۲	۳
۱۰	۰	۱	۴	۶
۲۰	۱	۳	۶	۱۱
۳۰	۳	۶	۱۲	۱۶
۴۰	۷	۱۴	۱۹	۲۲
۵۰	۳۰	۳۰	۳۰	۳۰

جدول ۳. غلظت های کشنده کلوئید نانوذرات نقره در ماهی گورخری معمولی محاسبه شده بر اساس غلظت های واقعی نقره در آب آکواریوم ها (سنجش شده توسط دستگاه جذب اتمی).

غلظت‌های کشنده (میلی‌گرم در لیتر)	حد پایین اطمینان	حد بالای اطمینان
LC_1 =۱/۳۷۸	۰/۰۳۲۵	۳/۳۴۶
LC_5 =۲/۵۰۷	۰/۱۶۴	۴/۹۵۳۵
LC_{10} =۳/۴۴۹	۰/۳۸۴۵	۶/۱۶۲
LC_{15} =۴/۲۷۸	۰/۶۷۸	۷/۱۹۲۵
LC_{50} =۱۰/۶۳۱	۵/۷۹۱۵	۱۷/۸۲۴۵
LC_{85} =۲۶/۴۱۷۸	۱۶/۲۳۹	۱۳۴/۵۴۸
LC_{90} =۳۲/۷۶۶	۱۹/۰۶۳۵	۲۳۵/۹۷۲۵
LC_{95} =۴۵/۰۸۲	۲۳/۸۲۸۵	۵۵۰/۳۸۷
LC_{99} =۸۲/۰۲	۳۵/۳۹۶۵	۲۷۵۶/۴۰۸

بحث

در پژوهش حاضر غلظت کشنده میانی ۹۶ ساعته نانو ذرات نقره کلوئیدی در ماهی گورخری معمولی برابر با ۱۰/۶۳۱ میلی‌گرم در لیتر به دست آمد. در پژوهش دیگری که بر روی چهار گونه ماهی آمور، شیربت، اسکار و سوروم توسط علیشاهی و مصباح (۱۳۸۹) انجام شد، غلظت‌های کشنده میانی نانو ذرات نقره برای گونه‌های مذکور به ترتیب برابر با ۰/۱۲، ۰/۰۸۶، ۶/۸۵ و ۷/۸۹ میلی‌گرم در لیتر به دست آمد. همچنین در مطالعه دیگری که توسط Wu و Zhou (۲۰۱۳) بر روی ماهی مداکای ژاپنی (*Oryzias latipes*) انجام شد، غلظت‌های کشنده میانی بعد از ۴۸، ۷۲ و ۹۶ ساعت رویارویی با نانوذرات نقره به ترتیب برابر با ۱/۳۸، ۱/۱۲ و ۰/۸۷ میلی‌گرم در لیتر به دست آمد. Bilberg و همکاران (۲۰۱۲) نیز میزان غلظت کشنده میانی ۴۸ ساعته نانوذرات نقره و یون نقره را در ماهی گورخری دانیو (*Danio rerio*) به ترتیب برابر ۸۴ و ۲۵ میکروگرم در لیتر گزارش کردند. همچنین Johari و همکاران (۲۰۱۳) غلظت‌های کشنده میانی ۹۶ ساعته کلوئید نانوذرات نقره را در مراحل جنینی، لاروی و

[Downloaded from jae.hormozgan.ac.ir on 2026-07-03]

[DOR: 20.1001.1.23222751.1394.4.4.14.8]

نوجوانی ماهی قزل آلای رنگین کمان (*Oncorhynchus mykiss*) به ترتیب برابر ۰/۲۵، ۰/۷۱ و ۲/۱۶ میلی‌گرم در لیتر به دست آوردند که این نتایج نشان دهنده حساسیت بیشتر مراحل اولیه زندگی این ماهی به نانو ذرات نقره بود. با توجه به نتایج تحقیقات اشاره شده، مقادیر غلظت‌های کشنده میانی به دست آمده در پژوهش حاضر برای ماهی گورخری معمولی بالاتر از مقادیر گزارش شده در سایر مطالعات برای گونه‌های دیگر است. این مقایسه نشان دهنده مقاومت بسیار بالاتر ماهی گورخری معمولی در برابر نانوذرات نقره نسبت به این گونه‌ها می باشد. به طور کلی مقاومت بالا نسبت به شرایط محیطی از ویژگی‌های کپور ماهیان دندانداز است که اگرچه در پژوهش حاضر هم این موضوع مورد تایید قرار گرفت، اما انجام مطالعات بیشتر در زمینه تکرار پذیری این مسئله در هنگام رویارویی این ماهی با سایر نانو مواد یا سایر مواد شیمیایی بسیار ضروری به نظر می‌رسد.

بر اساس نتایج پژوهش حاضر و مطابق سیستم هماهنگ جهانی (GHS) طبقه بندی و برچسب گذاری مواد شیمیایی (UN, 2009)، کلوئید نانو نقره مورد مطالعه برای ماهی گورخری معمولی جزو گروه ۳ حاد طبقه‌بندی می‌شود و در نتیجه بر اساس قوانین اتحادیه اروپا (EC, 2008) حضور این ماده در محیط زیست این ماهی مضر بوده و در بلند مدت می‌تواند اثرات نامطلوبی بر بوم سازگان آبی داشته باشد.

منابـع

حسینی، س. ژ.، حبیبی، ل.، جوهری، س. ع.، سوری‌نژاد، ا. ۱۳۹۳. بررسی سمیت حاد کلوئید نانو ذرات نقره سنتتیک تولید شده از طریق سایش لیزری بر ماهی گامبوزیا *Gambusia holbrooki*. مجله بوم‌شناسی آبزیان. دوره چهارم، شماره ۲، صفحات ۳۴-۳۰.

سالاری جو، ح.، کلباسی، م. ر.، جوهری، س. ع. ۱۳۹۱. تأثیر شوری آب بر سمیت حاد نانوذرات کلوئیدی در بچه ماهیان قزل آلای رنگین کمان (*Oncorhynchus mykiss*). مجله سلامت و محیط. دوره پنجم، شماره اول، صفحات ۱۳۲-۱۲۱.

علیشاهی، م. و حیدری، ب. ۱۳۹۰. بررسی سمیت نانوذرات نقره در ناپلی آرتمیای دریاچه ارومیه. مجله پژوهش های نوین دامپزشکی. سال دوم، شماره ۸، صفحات ۵۴- ۴۹.

علیشاهی، م.، و مصباح، م. ۱۳۸۹. مقایسه سمیت نانوذرات نقره در ماهیان آمور (*Ctenopharyngodon idella*)، شیربت (*Barbus grypus*)، اسکار (*Astronorus ocellatus*) و سوروم (*Cichlosoma severums*). مجله بیولوژی دریا. دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهواز. سال دوم، شماره ۷، صفحات ۵۱-۴۵.

Asghari, S., Johari, S.A., Lee, J.H., Kim, Y.S., Jeon, Y.B., Choi, H.J., Moon, M.C., Yu, I.J. 2012. Toxicity of various silver nanoparticles compared to silver ions in *Daphnia magna*. Journal of Nanobiotechnology. 10(14). DOI: 10.1186/1477-3155-10-14.

Bilberg, K., Hovgaard, M.B., Besenbacher, F., Baatrup,F. 2012**.** In Vivo Toxicity of Silver Nanoparticles and Silver Ions in zebrafish (*Danio rerio*). Journal of Toxicology. DOI:10.1155/2012/293784.

EC, 2008. Regulation (EC) No 1272/2008 of the European Parliament and Council of 16 December 2008 on Classification, Labeling and Packaging of Substances and Mixtures. Official Journal of the European Union. 31.12.2008.

Hrbek, T.F., Keivany, Y., Coad, B.W. 2006. New species of Aphanius (Teleostei, Cyprinodontidae) from Isfahan province of Iran and a reanalysis of other species. Copeia. 2: 244- 255.

Johari, S.A., Kalbassi M.R., Soltani M., 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.

Johari, S.A. 2014. Toxicity effect of colloidal silver nanoparticles on fertilization capacity and reproduction success of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). Journal of Nanomedicine Research. 1(1): 00001. DOI: 10.15406/jnmr.2014.01.00001.

Johari, S.A., Kalbassi, M.R., Yu, I.J., Lee, J.H. 2014a. Chronic effect of waterborne silver nanoparticles on rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*): histopathology and bioaccumulation. Comparative Clinical Pathology. DOI: 10.1007/s00580-014-2019-2.

Johari, S.A., Sourinejad, I., Bärsch, N., Saed-Moocheshi, S., Kaseb, A., Nazdar, N. 2014b. Does physical production of nanoparticles reduce their ecotoxicity? A case of lower toxicity of AgNPs produced by laser ablation to zebrafish. International Journal of Aquatic Biology. 2(4): 188-192.

[Downloaded from jae.hormozgan.ac.ir on 2026-07-03]

[DOR: 20.1001.1.23222751.1394.4.4.14.8]

Kalbassi, M.R., Salari-Joo, H., Johari, S.A. 2011. Toxicity of silver nanoparticles in aquatic ecosystems: Salinity as the main cause in reducing toxicity. Iranian Journal of Toxicology. 5(182): 436-443.

Nickel, C., Hellack, B., Gartiser, S., Flach, F., Schiwy, A., Maes, H., Schaeffer, A., Erdinger, L., Gabsch, S., Stintz, M., Erdinger, L., Kuhlbusch, T.A.J. 2012. Fate and behaviour of TiO2 nanomaterials in the environment, influenced by their shape, size and surface area. UBA Report 25/2012, pp. 163.

Nowack, B., Bucheli, T.D. 2007. Occurrence, behavior and effects of nanoparticles in the environment. Environmental Pollution. 150: 5-22.

OECD, 1992. OECD Guidelines for the Testing of Chemicals. Test No. 203: Fish, Acute Toxicity Test. Organization for Economic Cooperation and Development, Paris, France.

Prabhu, S., Poulose, E.K. 2012. Silver nanoparticles: mechanism of antimicrobial action, synthesis, medical applications, and toxicity effects. International Nano Letters. 2(32): DOI:10.1186/2228-5326-2-32.

Salari Joo, H., Kalbassi, M.R., Yu, I.J., Lee, J.H., Johari, S.A. 2013. Bioaccumulation of silver nanoparticles in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*): influence of concentration and salinity. Aquatic Toxicology. 140-141: 398-406.

Scown, T.M., Santos, E.M., Johnston, B.D., Gaiser, B., Baalousha, M., Mitov, S., Lead, J.R., Stone, V., Fernandes, T.F., Jepson, M., Aerle, R.V., Tyler, Ch.R. 2010. Effects of aqueous exposure to silver nanoparticles of different sizes in rainbow trout. Toxicological Sciences. 115(2): 521-534.

Shah, S.L., Altindag, A. 2005. Effects of heavy metal accumulation on the 96-h LC50 values in Tench *Tinca tinca* L., 1758. Turk. J. Vet. Anim. Sci. 29: 139-144.

UN (United Nations), 2009. GHS (Globally harmonized system of classification and labeling of chemicals). New York and Geneva.

Valavanidis, A., Vlachogianni, T. 2010. Nanomaterials and nanoparticles in the aquatic environment: Toxicological and ecotoxicological risks. Science Advances on Environment, Toxicology & Ecotoxicology. 1-10**.**

Wu, Y., Zhou, Q. 2013. Silver nanoparticles cause oxidative damage and histological changes in Medaka (*Oryzias latipes*) after 14 days of exposure. Environmental Toxicology and Chemistry. 32(1): 165–173.

[Downloaded from jae.hormozgan.ac.ir on 2026-07-03]

[DOR: 20.1001.1.23222751.1394.4.4.14.8]