کارایی رشد ماهی آمور (*Ctenopharyngodon idella*) در مواجه با نانو ذرات اکسید روی

غلامرضا حیدری‌کاهکش[۱]
مژده چله‌مال‌دزفول نژاد[۲]*

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد گروه شیلات، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران
۲. استادیار گروه شیلات، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران

***مسئول مکاتبات:**
m_chelemal@yahoo.com

کد مقاله: ۱۳۹۶۰۲۰۳۶۴
تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۱۱/۱۶
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۰۳/۲۴
این مقاله برگرفته از پایان‌نامه کارشناسی ارشد می‌باشد.

چکیده

جذب نانو ذرات توسط موجودات آبزی (مانند ماهی) با نگرانی‌هایی در مورد عوارض جانبی احتمالی نانو ذرات (NPs) همراه بوده است. هدف این مطالعه بررسی مؤلفه‌های رشد ماهی آمور در مواجه با نانو ذرات اکسید روی (ZnO-NPs) به مدت ۶۰ روز می‌باشد. این پژوهش در قالب یک طرح کاملاً تصادفی با ۵ تیمار و ۳ تکرار در سال ۱۳۹۴ انجام شد و بچه ماهیان آمور در یک سیستم جریان مداوم در معرضِ ۰ (شاهد)، ۰/۱، ۰/۳، ۰/۸ و ۲/۴ میلی‌گرم/لیتر ZnO-NPs قرار گرفتند. بچه ماهیان با میانگین وزنی ۲۰ گرم در بین ۱۵ تانک تقسیم شدند. در سطوح پایین نانو ذرات اکسید روی باعث بهبود رشد طولی و وزنی شدند. با افزایش میزان نانو ذرات اکسید روی فاکتورهای تغذیه‌ای شامل نرخ رشد ویژه، فاکتور وضعیت، ضریب تبدیل غذایی و نرخ کارایی پروتئین کاهش یافتند. مطالعات ما نشان داد که اندازه‌گیری فاکتورهای رشد می‌تواند به‌عنوان یک ابزار دقیق برای ارزیابی اثرات سمیت نانو ذرات در ماهی مورد استفاده قرار گیرد.

واژگان کلیدی: نانو ذرات، اکسید روی، ماهی آمور، مؤلفه‌های رشد.

مقدمه

ذرات دی‌اکسید تیتانیوم و اکسید روی در حد نانو (قطر بین ۱ تا ۱۰۰ نانومتر)، دارای خواصی مانند تضعیف‌کننده اشعه UV بوده و در مواد آرایشی مانند کرم‌های ضد آفتاب (Maier and Korting, 2005)، تصفیه فاضلاب (Chen *et al.*, 2004) و بازسازی محیط‌زیست (Aitken *et al.*, 2006) استفاده می‌شود. در حال حاضر به‌طورکلی اکسید روی به‌عنوان یک ماده امن توسط سازمان غذا و دارو (CFR182.899121) شناخته‌شده و در گذشته در شرایط آزمایشگاهی به‌عنوان یک عامل ضد میکروبی در برابر پاتوژن‌های مواد غذایی و باکتری‌های عامل فساد مورد آزمایش قرار گرفته است (Espitia *et al.*, 2013; Zhang *et al.*, 2008). انتشار مستقیم و غیرمستقیم این نانوذرات به محیط آبی از طریق حمام کردن، پساب و فاضلاب (Daughton and Ternes, 1999; Handy and Shaw, 2007; Ternes *et al.*, 2004) و سایر فعالیت‌ها (Chen *et al.*, 2004; Nagaveni *et al.*, 2004) شانس در معرض قرار گرفتن انسان‌ها و اکوسیستم به این نانو مواد افزایش می‌یابد (Nowack and Bucheli, 2007). به‌طورکلی، سمیت نانو ذرات در اثر اندازه کوچک و سطح ویژه بالا آن‌ها است (Lovern and Klaper, 2006). به لحاظ نظری انتظار می‌رود نانو مواد از همتایان فلزی خود به علت واکنش‌پذیری و سطح تماس بیشتر و توانایی در نفوذ به مواد، از تجمع در سلول‌ها و موجودات زنده بیشتری برخوردار باشند (Carlson *et al.*, 2008; Ispas *et al.*, 2009; Mironava *et al.*, 2010). مطالعات متعدد نشان داده که نانو ذرات اکسید روی برای ماهیان سمی است. در جنین و لارو ماهی گورخری در معرض نانو ذرات اکسید روی، جلوگیری از تخم گشایی، مرگ و میر، جراحت بافتی، تأخیر در رشد و ناهنجاری مشاهده شد (Zhu *et al.*, 2008 and 2009; Zhao *et al.*, 2013; Bai *et al.*, 2010). ازجمله این مطالعات می‌توان به پژوهش Celik و همکاران (۲۰۱۳) بر روی تأثیرات در معرض قرارگیری با

[Downloaded from jweb.ahvaz.iau.ir on 2026-07-12]

روی بر روی ذخیره، خون‌شناسی و ایمنی تیلاپیای موزامبیک (*Oreochromis mossambicus*)، Hao و همکاران (۲۰۱۳) ذخیره زیستی و غلظت کشنده روی بر روی کپور ماهیان جوان (*Cyprinus carpio*) و Faiz و همکاران (۲۰۱۵) بر روی تأثیر نانوکپسول روی موجود در جیره بر روی رشد و پارامترهای خونی کپور علفخوار جوان (*Ctenopharyngodon idella*) اشاره کرد.

یو و همکاران (۲۰۱۱) LC50 ۹۶ ساعته را ۳/۹۷ میلی‌گرم در لیتر برای نانو ذرات اکسید روی با اندازه اولیه ۳۰ نانومتر مشخص کردند. محلول Zn2 از محلول نانو ذرات اکسید روی پخش‌شده و باعث مسمومیت می‌شود و تجمع و رسوب‌گذاری نانو ذرات سمت آن را کاهش می‌دهد. نانو ذرات روی یک حالت جدید از روی بوده و توجه ویژه‌ای را به خود جلب کرده است. بااین‌حال، اثرات سطوح مختلف نانو ذرات روی بر روی کپور علف خوار موردمطالعه قرار نگرفته است. لذا هدف از این تحقیق بررسی اثر دوزهای مختلف نانو ذرات اکسید روی بر کارایی رشد، تبدیل غذا و بقای ماهی آمور (*Ctenopharyngodon idella*) می‌باشد.

مواد و روش‌ها

ماهیان آمور (*Ctenopharyngodon idella*) از یک موسسه تکثیر و پرورش ماهی در استان خوزستان به نام شرکت ماهی کارون شوشتر خریداری و به درمانگاه دامپزشکی دانشگاه آزاد اسلامی واحد شوشتر انتقال داده شدند. این آزمایش در قالب طرح کاملاً تصادفی با پنج تیمار و سه تکرار، در ۱۵ تانک (آکواریوم) انجام شد. در هر تانک ۲۵ ماهی نگهداری شد. متوسط طول ماهی ۰/۶±۱۰/۳ سانتی‌متر و میانگین وزن ۳/۲۳±۲۰/۰ گرم بود (میانگین ± انحراف معیار). ماهیان با آب کلرزدایی شده و دوره نور طبیعی (۱۲ ساعت روشنایی/۱۲ ساعت تاریکی) به مدت ۷ روز تطابق یافتند و دو بار در روز تغذیه شدند. در طول دوره ۶۰ روزه پرورش، دمای آب در رنج ۲۳ درجه سانتی‌گراد نگهداری شد.

نانو ذرات اکسید روی از شرکت US NANO (US Research Nanomaterials) امریکا خریداری شد. اندازه ذرات بین ۳۰–۴۰ نانومتر بود و خلوص آن ۹۹٫۵ درصد بود. نانو ذرات اکسید روی به حالت محلول و با غلظت‌های ۰، ۰/۱، ۰/۳، ۰/۸ و ۲/۴ میلی‌گرم در لیتر به آب تیمارها اضافه شد (Lee *et al*, 2014).

جدول ۱: غلظت نانو ذرات اکسید روی در هر یک از تیمارها.

تیمار	غلظت نانو ذرات در هر تیمار
تیمار ۱	صفر میلی‌گرم در لیتر نانو ذرات اکسید روی
تیمار ۲	۰/۱ میلی‌گرم در لیتر نانو ذرات اکسید روی
تیمار ۳	۰/۳ میلی‌گرم در لیتر نانو ذرات اکسید روی
تیمار ۴	۰/۸ میلی‌گرم در لیتر نانو ذرات اکسید روی
تیمار ۵	۲/۴ میلی‌گرم در لیتر نانو ذرات اکسید روی

جیره خوراکی استفاده شده در این تحقیق از نوع غذای تجاری ماهی آمور تولیدشده در شرکت غذای نقشین کرمانشاه بود که ترکیب بیوشیمیایی آن در جدول ۲ آمده است.

[Downloaded from jweb.ahvaz.iau.ir on 2026-07-12]

جدول ۲: ترکیب غذایی استفاده‌شده در آزمایش.

نوع ماده	(٪)
پروتئین	۳۵±۱/۴۳
چربی	۱۱/۴±۰/۲۵
رطوبت	۹/۴±۰/۳۲
خاکستر	۱۲/۱±۱/۶

*مقادیر به‌صورت میانگین و انحراف معیار بیان شده‌اند.

بعد از ۶۰ روز از آزمایش، ماهیان به‌صورت انفرادی مورد زیست‌سنجی قرار گرفتند. برخی از مؤلفه‌های رشد و تغذیه از قبیل افزایش وزن بدن (WG)، نرخ رشد ویژه (SGR) و بقای ماهیان محاسبه شد. مؤلفه‌های رشد بر اساس رابطه‌های زیر محاسبه شد:

رابطه ۱: افزایش طول بدن (FL)

Length Gain= final Length - initial Length

Final Length = طول نهایی

Initial Length = طول اولیه

رابطه ۲: نسبت کارایی پروتئین (PER) (Helland *et al.*, 1996)

PER = g live weight gain / g protein intake

g live weight gain= وزن به‌دست‌آمده

g protein intake= گرم پروتئین خورده شده

رابطه ۳: عامل وضعیت (CF) (Austreng *et al.*, 2000)

$CF= [w/L] \times 100^3$

L= طول کل ماهی (سانتی‌متر)، W= وزن نهایی ماهی (گرم)

رابطه ۴: ضریب تبدیل غذایی (FCR) (De Silva and Anderson, 1995)

Food conversion ratio (FCR) = food intake (g) / living weight gain (g)

Food intake = غذای خورده شده

Living weight gain = وزن به‌دست‌آمده

رابطه ۵: نرخ رشد ویژه (SGR): (Helland *et al.*, 1996)

SGR=(log final weight-log initial weight)/culture period×100

رابطه ۶: بقاء (٪)(Helland *et al.*, 1996)

S=100×[(N1 FISH- N FISH dead) / N1 FISH]

N1 FISH= تعداد ماهی اولیه،

N FISH dead= تعداد ماهی ثانویه

[Downloaded from jweb.ahvaz.iau.ir on 2026-07-12]

تجزیه و تحلیل آماری با استفاده از نرم‌افزار SPSS 10.0 انجام شد (SPSS Inc., Chicago, USA). تفاوت بین گروه‌ها و شاهد با استفاده از آنالیز واریانس یک‌طرفه (ANOVA) و Student's T-test در سطح معنی‌داری ۰/۰۵ مشخص شد.

نتایج

عملکرد رشد ماهی آمور در معرض سطوح مختلف نانو ذرات اکسید روی در جدول ۳ ارائه‌شده است. ماهیان قرارگرفته در سطوح پایین‌تر نانو ذرات (۰ و ۰/۱ و ۰/۳) کارایی رشد بهتری شامل مؤلفه‌های افزایش وزن بدن، طول نهایی، نرخ رشد ویژه، ضریب تبدیل غذایی، عامل وضعیت و نرخ کارایی پروتئین را نشان دادند (P<۰/۰۵). با افزایش در مقدار نانو ذرات اکسید روی یک افزایش در مقدار FCR در تیمارهای حاوی ۰/۸ و ۲/۴ میلی‌گرم در لیتر نانو ذرات اکسید روی مشاهده شد. بالاترین SGR در تیمار دریافت‌کننده ۰/۳ میلی‌گرم در لیتر نانو ذرات اکسید روی به دست آمد و تفاوت معنی‌داری (P<۰/۰۵) را با تیمارهای دریافت‌کننده ۰/۸ و ۲/۴ میلی‌گرم در لیتر نانو ذرات اکسید روی نشان داد، اما هیچ‌گونه تفاوتی (P>۰/۰۵) را تیمارهای دریافت‌کننده ۰ و ۰/۱ میلی‌گرم در لیتر نانو ذرات اکسید روی نشان نداد. بیشینه عامل وضعیت (۰/۹۳) در تیمار ۰/۸ میلی‌گرم در لیتر نانو ذرات اکسید روی به دست آمد و تفاوت معنی‌داری را با تیمار ۲/۴ میلی‌گرم در لیتر نانو ذرات اکسید روی نشان داد (P<۰/۰۵). با افزایش در مقدار نانو ذرات اکسید روی در آب یک‌روند کاهشی در PER مشاهده شد. هیچ‌گونه تلفاتی در طول دوره در هیچ‌یک از تیمارها مشاهده نشد.

جدول ۳: کارایی رشد و بقاء بچه ماهیان آمور (*Ctenopharyngodon idella*) در سطوح مختلف نانو ذرات اکسید روی.

تیمار	۰	۰/۱	۰/۳	۰/۸	۲/٤
وزن نهایی (گرم)	۵۸/۵۶±۱/۱۴a گرم	۵۹/۷۳±۰/۴a گرم	۵۹/۸۵±۱/۴۵a گرم	۴۹/۵۸±۱b گرم	۴۴/۴۵±۱/۱c گرم
طول نهایی (سانتی‌متر)	۲۳/۱۶±۰/۶۱b سانتی‌متر	۲۴±۰/۴۵ab سانتی‌متر	۲۵/۰۳±۰/۳۰a سانتی‌متر	۲۱/۰۸±۰/۶۵c سانتی‌متر	۲۰/۶۸±۰/۷۲c سانتی‌متر
نرخ رشد ویژه	۱/۴۱±۰/۱۵a	۱/۴۰±۰/۲۱a	۱/۴۲±۰/۰۶a	۱/ ۳۴±۰/۱۰b	۱/۳۵±۰/۲۱b
ضریب تبدیل غذایی	۱/۷۲±۰/۰۵b	۱/۶۹±۰/۰۸b	۱/۶۸±۰/۱۵b	۱/۸۰±۰/۱۱a	۱/۸۱±۰/۱۵a
عامل وضعیت	۰/۹۱±۰/۰۹ab	۰/۹۱±۰/۰۳ab	۰/۹۱±۰/۰۸ab	۰/۹۳±۰/۰۵a	۰/۸۹±۰/۰۲b
نرخ کارایی پروتئین	۱/۸۲±۰/۱۵a	۱/۸۶±۰/۰۵a	۱/۸۸±۰/۰۴a	۱/۷۴±۰/۰۸b	۱/۷۲±۰/۱۰b
بقاء (درصد)	٪۱۰۰	٪۱۰۰	٪۱۰۰	٪۱۰۰	٪۱۰۰

*اعداد با حروف مشابه تفاوت معنی‌داری با یکدیگر ندارند (P>۰/۰۵).

بحث و نتیجه‌گیری

روی یکی از عناصر ضروری کمیاب است و برای رشد بدنی مناسب، لازم است (Paski and Xu, 2001). در انسان‌ها و جانوران رشد ضعیف، علامت بالینی کمبود شدید روی می‌باشد (Hambidge *et al.*, 1986). در این مطالعه ماهیان به مدت ۶۰ روز در مواجهه با سطوح ۰، ۰/۱، ۰/۳، ۰/۸ و ۲/۴ میلی‌گرم در لیتر نانو ذرات اکسید روی قرار گرفتند. با افزایش سطح نانو ذرات اکسید روی افزایش وزن، FCR، SGR، CF و PER به طرز معنی دارای در سطوح ۰/۸ و ۲/۴ میلی‌گرم در لیتر نانو ذرات اکسید روی کاهش یافت و در سطوح پایین، یعنی تیمارهای دریافت‌کننده ۰/۱ و ۰/۳ تفاوت معنی‌داری با تیمار شاهد مشاهده نشد. سطح بهینه نانو ذرات اکسید روی برای ماهی آمور به‌صورت محلول در آب در این مطالعه ۰/۳ میلی‌گرم در لیتر بود. با توجه به یافته‌ها، سطوح بیشتر از ۰/۳ میلی‌گرم در لیتر میل به اثرات سمی دارد و می‌تواند به‌عنوان یک عامل استرس‌زا بر روی رشد ماهی اثرگذار باشد.

[Downloaded from jweb.ahvaz.iau.ir on 2026-07-12]

این مطالعه باهدف بررسی ارتباط بین غلظت نانو ذرات اکسید روی و طول و وزن ماهی انجام شد. نتایج نشان داد که رابطه منفی بین غلظت نانو ذرات اکسید روی و فاکتورهای رشد ماهی وجود دارد. Nussey و همکاران (۲۰۰۰) نشان دادند که افزایش تجمع فلزات در بدن ماهی *Labeo umbratus* باعث کاهش رشد آن می‌شود. در این مطالعه رابطه منفی بین افزایش غلظت نانو ذرات و رشد ماهی مشاهده شد. Widianarko و همکاران (۲۰۰۰) به بررسی رابطه بین غلظت فلزات (Pb, Zn, Cu) و سایز ماهی (*Poecilia reticulata*) پرداختند و دریافتند که با کاهش روی، سایز ماهیان به طرز معنی‌داری افزایش می‌یابد، درحالی‌که غلظت مس و روی بر روی وزن بدن تأثیری نداشتند. آن‌ها نشان دادند که غلظت مس و روی در بدن به‌صورت مداوم تنظیم و در یک غلظت خاص نگهداری می‌شود. مطالعات متعددی خاصیت سمی بودن نانو ذرات اکسید روی را برای ماهیان نشان داده است. در مطالعات قبلی مکانیسم اثرگذاری سمیت نانو ذرات اکسید روی به دلیل آزاد شدن یون روی از آن، گزارش شده است (Franklin *et al*., 2007; Heinlaan *et al*., 2008; wiench *et al*., 2009). درواقع نانو ذرات اکسید روی در غلظت‌های بالا سبب تخریب و آسیب به DNA، پروتئین‌ها و تخریب سلولی می‌شوند و درواقع این مکانیسم‌ها که عامل قدرت ضد باکتریایی نانو ذرات اکسید روی هستند (Heinlaan *et al*., 2008) خود عاملی برای آسیب به ماهی شده و از این طریق رشد را کاهش می‌دهند.

در مطالعات متعددی بر روی جنین لارو ماهی گورخری (*Danio rerio*)، جلوگیری از تخم گشایی، مرگ و میر، آسیب بافتی، تأخیر در رشد و ناهنجاری در ماهیان معرض نانو ذرات اکسید روی گزارش شده است (Zhu *et al*., 2009; Zhou *et al*., 2008; Zhao *et al*., 2013 and Bai *et al*., 2010). با توجه به یافته‌های حاصل از این مطالعه، بهترین ضریب تبدیل غذایی، نسبت بازده پروتئین، عامل وضعیت و نرخ رشد به ترتیب در تیمارهای ۱، ۲ و ۳ به دست آمد.

اثرات استفاده از سطوح متفاوت نانو ذرات اکسید روی بر روی ماهی کپور علف خوار در این مطالعه مورد بررسی قرار گرفت. به‌طور خلاصه نتایج ما نشان داد که نانو ذرات اکسید روی باعث کاهش فاکتورهای رشد شده و می‌تواند باعث بروز حالت‌های مسمومیت در این ماهی شود. ماهیان در معرض ۰/۸-۲/۴ میلی‌گرم در لیتر نانو ذرات اکسید روی، کاهش رشد را نشان دادند. متأسفانه مطالعات مشابهی بر روی دیگر گونه‌ها در مورد اثرات سمیت نانو ذرات اکسید روی صورت نگرفته است و تنها مطالعاتی بر روی اثرات این مواد بر روی دوره‌های جنینی ماهی گوره خری صورت گرفته است و در دیگر مطالعات به بررسی اثرات سمیت آن بر برخی فاکتورهای ایمنی در برخی گونه‌ها پرداخته‌شده است. مطالعات ما نشان داد که اندازه‌گیری فاکتورهای رشد می‌تواند به‌عنوان یک ابزار دقیق برای ارزیابی اثرات سمیت نانو ذرات در ماهی مورد استفاده قرار گیرد. بررسی مکانیسم‌های فیزیولوژیکی و اکولوژیکی در مواجه با نانو ذرات اکسید روی می‌تواند در آینده مورد توجه بیشتر محققان قرار گیرد.

سپاسگزاری

این تحقیق برگرفته از پایان‌نامه کارشناسی ارشد می‌باشد، بدین‌وسیله مراتب تشکر و قدردانی از گروه شیلات دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهواز، گروه دامپزشکی دانشگاه آزاد اسلامی واحد شوشتر، موسسه ماهی کارون شوشتر و همچنین عزیزانی که در انجام این تحقیق ما را یاری نمودند به عمل می‌آید.

منابع

Aitken, R., Chaudhry, M., Boxall, A. and Hull, M., 2006. Manufacture and use of nanomaterials: current status in the UK and global trends. Occup Medz 56, 300–306.

Austreng, E., Storebakken, T., Thomassen, M. S., Refstie, S. and Thomassen, Y., 2000. Evaluation of selected trivalent metal oxides as inert markers used to estimate apparent digestibility in salmonids. Aquaculture 188(1), 65-78.

[Downloaded from jweb.ahvaz.iau.ir on 2026-07-12]

Bai, W., Zhang, Z., Tian, W., He, X., Ma, Y., Zhao, Y. and Chai, Z., 2010. Toxicity of zinc oxide nanoparticles to zebrafish embryo: a physicochemical study of toxicity mechanism. J Nanopart Res 12, 1645–1654.

Carlson, C., Hussain, S. M., Schrand, A. M., Braydich-Stolle, L. K., Hess, K. L., Jones, R. L. and Schlager, J. J., 2008. Unique cellular interaction of silver nanoparticles: size-dependent generation of reactive oxygen species. J Phys Chem B. 112(43), 13608–13619.

Celik, E. S., H. Kaya, S. Yilmaz, M. Akbulut and Tulgar, A., 2013. Effects of zinc exposure on the accumulation, haematology and immunology of Mozambique tilapia, *Oreochromis mossambicus.* Afr J Biotechnol 12, 744-753

Chen, J., Liu, M., Zhang, J., Ying, X. and Jin, L., 2004. Photocatalytic degradation of organic wastes by electrochemically assisted TiO2 photocatalytic system. J Environ Manage. 70(1), 43–47.

Daughton, C. and Ternes, T., 1999. Pharmaceuticals and personal care products in the environment: agents of subtle change? Environ Health Persp. 107(Suppl; 6), 907.

De Silva, S. S. and Anderson T. A., 1995. Fish nutrition in aquaculture. Chapman and Hall press, 319 P.

Espitia, P. J. P., Soares, N. F. F., Teófilo, R. F., Coimbra, J. S. R., Vitor, D. M., Batista, R. A. and Medeirosm, E. A. A., 2013. Physical-mechanical and antimicrobial properties of nanocomposite films with pediocin and ZnO nanoparticles. Carbohydrate Polymers 94(1), 199-208.

Faiz, H., Zuberi, A., Nazir, S. and Younus, N., 2015. Zinc Oxide, Zinc Sulfate and Zinc Oxide Nanoparticles as Source of Dietary Zinc: Comparative Effects on Growth and Hematological Indices of Juvenile Grass Carp (*Ctenopharyngodon idella*). Int J Agric Biol 17, 568-574.

Franklin, N. M., Rogers, N. J., Apte, S. C., Batley, G. E., Gadd, G. E. and Casey, P. S. 2007. Comprative toxicity of nano particle ZnO, bulk ZnO, and ZnCl2 to a freshwater microalgae (*Pseudokirchneriella subcapitata*): the importance of particle solubility. Environmental Science and Technology 41, 8484-8490.

Hambidge, K. M., Casey, C. E. and Krebs, N. F., 1986. Zinc In: Mertz, W. (Ed.), Trace Elements in Human and Animal Nutrition. Academic Press, Orlando, pp. 1 – 137.

Handy, R. and Shaw, B., 2007. Toxic effects of nanoparticles and nanomaterials: implications for public health, risk assessment and the public perception of nanotechnology. Health Risk Soc 9, 125–44.

Hao L., Chen, L., Haom, J. and Zhong, N., 2013. Bioaccumulation and subacute toxicity of zinc oxide nanoparticles in juvenile carp (*Cyprinus carpio*): a comparative study with its bulk counterparts. Ecotoxicol Environ Saf 91, 52-60.

Heinlaan, M., Ivask, A., Blinova, I., Dubourguier, H. C. and Kahru, A., 2008. Toxicity on nanosized and bulk ZnO, CuO and TiO2 to bacteria Vibrio fischeri and crustaceans Daphnia magna and Thamnocephalus platyurus. Chemosphere 71(7), 1308-1316.

Helland, S. J., Grisdale-Helland, B. and Nerland, S., 1996. A simple method for the measurement of daily feed intake of groups of fish in tanks. Aquaculture 139(1), 157-163.

Ispas, C., Andreescu, D., Patel, A., Goia, D. V., Andreescu, S. and Wallace, K. N., 2009. Toxicity and developmental defects of different sizes and shape nickel nanoparticles in Zebrafish. Environ Sci Technol 43, 6349–6356.

Lee, J. W., Kim, J. E., Shin. Y. J., Ryu, J. S., Eom, I. C., Lee, J., Kim, Y., Kim, P. J., Choi, K. H. and Lee, B.C., 2014. Serum and ultra structure responses of common carp (*Cyprinus carpio* L.) during long-term exposure to zinc oxide nanoparticles. Ecot Environ Saf 104, 9–17.

Lovern, S. B. and Klaper, R., 2006. Daphnia magna mortality when exposed to titanium dioxide and fullerene (C60) nanoparticles. Environ Toxicol Chem 25, 1132–1137.

Maier, T. and Korting, H., 2005. Sunscreens-which and what for? Skin Pharmacol Appl Skin Physiol 18, 253–262.

Mironava, T., Hadjiargyrou, M., Simon, M., Jurukovski, V. and Rafailovich, M. H., 2010. Gold nanoparticles cellular toxicity and recovery: effect of size, concentration and exposure time. Nanotoxicology 4, 120–137.

Nagaveni, K., Sivalingam, G., Hegde, M. S. and Madras, G., 2004. Photocatalytic degradation of organic compounds over combustion-synthesized nano-TiO2. Environ Sci Technol 38, 1600–1604.

[Downloaded from jweb.ahvaz.iau.ir on 2026-07-12]

Nowack, B. and Bucheli, T., 2007. Occurrence, behavior and effects of nanoparticles in the environment. Environ Pollut 150, 5-22.

Paski, S. C. and Xu, Z., 2001. Labile intracellular zinc is associated with 3T3 cell growth. J Nutr Biochem 12, 655– 661.

Ternes, T., Joss, A. and Siegrist, H., 2004. Peer reviewed: scrutinizing pharmaceuticals and personal care products in wastewater treatment. Environ Sci Technol 38, 392–399.

Wiench, K., Wohlleben, W., Hisgen, V., Radke, K., Salinas, E., Zok, S. and Landsiedel, R. 2009. Acute and chronic effects of nano and non nano scale TiO2 and ZnO particles on mobility and reproduction of the freshwater invertebrate *Daphnia magna*. Chemosphere 76, 1356- 1365.

Yu, L., Fang, T., Xiong, D., Zhu, W. and Sima, X., 2011. Comparative toxicity of nano-ZnO and bulk ZnO suspensions to zebrafish and the effects of sedimentation, _OH production and particle dissolution in distilled water. J Environ Monit 13(7), 1975-1982.

Zhang, L., Ding, Y., Povey, M. and York, D., 2008. ZnO nanofluids-A potential antibacterial agent. Pro Natural Sci 18(8), 939-944.

Zhao, X., Wang, S., Wu, Y., You, H. and Lv, L., 2013. Acute ZnO nanoparticles exposure induces developmental toxicity, oxidative stress and DNA damage in embryo-larval zebrafish. Aquat Toxicol (136), 49–59.

Zhu, X., Zhu, L., Duan, Z., Qi, R., Li, Y. and Lang, Y., 2008. Comparative toxicity of several metal oxide nanoparticle aqueous suspensions to Zebrafish (*Danio rerio*) early developmental stage, J Environ. Sci Health 43(3), 278–284.

Zhu, X., Wang, J., Zhang, X., Chang, Y. and Chen, Y., 2009. The impact of ZnO nanoparticle aggregates on the embryonic development of zebrafish (*Danio rerio*). Nano-technology 20(19), 195103.

[Downloaded from jweb.ahvaz.iau.ir on 2026-07-12]

[Downloaded from jweb.ahvaz.iau.ir on 2026-07-12]