مرگ‌ومیر دافنی ماگنا (*Daphnia magna*) در مواجهه با نانوذره اکسید کبالت(Co_2O_3) در محیط‌های آبی، کاربردی اطمینان‌بخش از نشانگرهای زیستی در ارزیابی سمیت

لیلا فارسی[۱]
مژگان خدادادی[۲*]
سیما سبزعلیپور[۳]
نعمت اله جعفر زاده حقیقی فرد[۴و۵]
فرید جمالی شینی[۶]

۱، ۳. گروه علوم محیط‌زیست، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران.
۲. گروه تکثیر و پرورش آبزیان، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران.
۴. استاد مشاور مدعو، گروه علوم محیط‌زیست، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران.
۵. مرکز تحقیقات فناوری‌های محیط‌زیست، دانشگاه علوم پزشکی جندی‌شاپور اهواز، اهواز، ایران.
۶. مرکز تحقیقات مهندسی سطح پیشرفته و نانو مواد، گروه فیزیک، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران.

***مسئول مکاتبات:**
mjkhodadadi@gmail.com

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۷/۲۹
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۸/۰۴
این مقاله پژوهشی و برگرفته از رساله دکتری است.

چکیده

با توجه به تولید روزافزون نانو ذرات و کاربردهای مفید آن‌ها در سیستم‌های زیستی، تاکنون مطالعات کمی در زمینه اثرات جانبی این مواد بر موجودات زنده صورت گرفته است. خواص ویژه و منحصربه‌فرد نانو ذرات، خطرات احتمالی منحصربه‌فردی نیز به دنبال خواهد داشت. از طرف دیگر نانو ذرات در شرایط مختلف ممکن است اثرات مختلفی داشته باشند و با ورود به اکوسیستم‌های آبی به موجودات زنده آسیب برساند. ازاین‌رو در این مطالعه به‌منظور ارزیابی اثرات نانو ذرات در محیط‌های آبی، از نانوذره اکسید کبالت (Co_2O_3) بر زئوپلانکتون سخت آب شیرین (*Daphnia magna*)، در دو محیط آب مقطر و آب رودخانه کارون در شهر اهواز در سال ۱۳۹۷ استفاده شد. بر این اساس *Daphnia magna* به مدت‌زمان ۹۶ ساعت در دمای ۲۵-۲۰ درجه سانتی‌گراد در معرض غلظت‌های ۱، ۵، ۱۰، ۲۰، ۵۰ و ۱۰۰ از نانوذره قرار گرفت. پارامترهای مهم کیفی آب مانند اکسیژن محلول (DO)، دما، اسیدیته (pH)، طبق استاندارد در طول آزمایش کنترل شد.LC_{50} در زمان‌های ۲۴، ۴۸، ۹۶ و ۷۲ ساعت با استفاده از روش‌های Probit ازنظر آماری بررسی شد. مقادیر LC50 ۹۶ ساعت برای نانو اکسید کبالت در آب مقطر و آب رودخانه کارون به ترتیب ۱۲۱/۰۴ و ۹۵/۹۰۲ میلی‌گرم در لیتر به دست آمد. طبق نتایج این مطالعه، نرخ مرگ‌ومیر *D.magna* در مواجهه با نانوذره اکسید کبالت در نمونه‌های حاوی آب رودخانه بیشتر از نمونه‌های آب مقطر باشد که می‌تواند به علت وجود احتمالی سایر آلاینده‌ها و اثرات هم‌بیشی آن‌ها در محیط‌های طبیعی باشد. همچنین مقادیر SAFE (Safety Factor) و SAR (Safe Application Rate) برای این نانوذره در هر دو محیط توصیه شد.

واژگان کلیدی: سمیت حاد، نشانگر زیستی، *Daphnia magna*، رودخانه کارون، نانو اکسید کبالت.

مقدمه

یکی از مهم‌ترین مشکلاتی که به‌موازات توسعه تکنولوژی، شرایط زیستی را به مخاطره انداخته است، آلودگی‌های محیط‌زیست می‌باشد که عمدتاً ناشی از فعالیت‌های صنعتی است که به‌منظور بهبود وضعیت کنونی زندگی بشر انجام می‌گیرند. امروزه از نانو ذرات در صنایع مختلف مانند صنایع الکترونیک، صنایع شوینده و آرایشی-بهداشتی، دارویی و فرآیندهای زیست‌محیطی (تصفیه آب و فاضلاب) استفاده می‌شود (Nogueira *et al.*, 2020). برخی از این نانو ذرات از فاضلاب تولیدی این صنایع و یا پسماندهای تولیدی دیگر مانند زباله جامد به محیط‌زیست تخلیه می‌شوند که ممکن است این نانو ذرات تخلیه‌شده، اثرات زیست‌محیطی مضر داشته باشند و تهدیدی بالقوه برای سلامت انسان و دیگر موجودات

[Downloaded from jweb.ahvaz.iau.ir on 2026-06-08]

زنده و انواع بوم‌سازگان گردد (Zhang *et al*., 2020). نانو ذرات توسط خون انسان و حیوانات قابل‌جذب بوده و از طریق خون به سایر ارگان‌ها و بافت‌هایی مانند کبد، قلب و سلول‌های خون می‌رسند (Jeevanandam *et al*., 2016).

افزایش حضور نانو مواد در بوم‌سازگان‌های آبی می‌تواند باعث تأثیر مستقیم و یا غیرمستقیم و از طریق ایجاد سمّیت بر آبزیان شود. نانو ذرات معمولاً در محیط‌های آبی محلول نبوده و به شکل سوسپانسیون یا معلق می‌باشند. مشخص‌شده است که تنها مقدار اندکی از این ذرات در حیط‌های آبی به‌صورت یون درمی‌آید. آنچه حائز اهمیت است قابلیت تحرک نانو ذرات در محیط‌های آبی می‌باشد که درنتیجه موجودات آبزی بیشتری (جلبک‌ها، ماهی‌ها و...) در معرض صدمات جبران‌ناپذیر این ذرات قرار می‌گیرند (Monica *et al*., 2013).

با افزایش غلظت نانو ذرات در محیط‌زیست، سمیت این ذرات نیز به‌طور قابل‌توجهی افزایش می‌یابد که این مسئله می‌تواند باعث از بین رفتن بسیاری از گونه‌های زیستی به‌ویژه گونه‌های حساس شده و به‌این‌ترتیب تنوع زیستی موجودات و سلامت انسان‌ها را با خطر جدی روبرو نماید (Goswami *et al*., 2020). کمبود اطلاعات در مورد اثرات منفی احتمالی نانو مواد، موردتوجه بسیاری از سازمان‌ها در سراسر جهان مانند آژانس حفاظت از محیط‌زیست ایالات‌متحده (EPA)، سازمان بهداشت جهانی (WHO)، سازمان همکاری و توسعه اقتصادی (OECD) قرارگرفته است (Rajput *et al*., 2020).

یکی از این نانو ذرات‌ها، نانوذره اکسید کبالت است که در رنگ‌دانه‌ها، کاتالیزور، حس‌گرها، الکتروشیمی، مغناطیس و ذخیره انرژی استفاده می‌شود (Zhou *et al*., 2017). فلز کبالت یکی از فلزات ضروری برای انسان و دیگر موجودات زنده می‌باشد. اهمیت بیوشیمیایی ترکیبات کبالت به خاطر ویتامین B_{12} می‌باشد، اما افزایش بیش از نیاز بدن به این فلز، منجر به مسمومیت و آسیب‌های بافتی می‌شود که می‌توان به بیماری‌های قلبی و ضعف بینایی اشاره کرد. یافته‌های اخیر بر روی سلول‌های انسانی و موش صحرایی در مواجهه با نانو کبالت نشان داده است که افزایش میزان کبالت موجب افزایش سمیت ژنی به‌واسطه افزایش استرس اکسیداتیو، اکسایش ترکیبات DNA، شکستن DNA در فایبروبلاست و آسیب‌های کروموزومی و درنهایت موجب اختلال و مرگ سلولی می‌شود. از طرفی افزایش این ماده موجب کاهش پاسخ مولکولی و بیوشیمیایی در بدن شده است (Lekamage *et al*., 2019). همچنین هر دو حالت نانو و یون نانوذره کبالت می‌توانند آسیب‌های جدی در بافت آب‌شش ماهی گورخری ایجاد کند (Mansouri *et al*., 2015).

استفاده از دافنی ماگنا (*Daphnia magna*) نیز به‌عنوان منشأ زنجیره غذایی در محیط‌های آبی و یک مدل ویژه به دلیل اندازه بزرگ‌تر بدن نسبت به سایر گونه‌های آن، کشت آسان در شرایط آزمایشگاهی، حساسیت بالا نسبت به تغییرات محیطی و مواد شیمیایی مناسب بوده (Buchman *et al*., 2020) و جهت نظارت بر محیط‌زیست توسط سازمان‌های مختلف ازجمله سازمان حفاظت از محیط‌زیست پیشنهاد می‌گردد. در آزمایشات اکوتوکسیولوژیک، مرگ‌ومیر و بی‌تحرکی آن جاندار، معیار اصلی برای تعیین سمیت است (Adam, 2017). اطلاعات اندکی در رابطه با تأثیر نانو اکسید کبالت بر موجودات زنده و محیط‌زیست وجود دارد. در این مطالعه به‌منظور ارزیابی سمیت احتمالی نانو ذرات بر محیط‌های آب شیرین، از نانوذره Co_2O_3 در دو محیط آب مقطر و آب رودخانه کارون در شهر اهواز به‌عنوان محیط طبیعی استفاده‌شده است.

مواد و روش‌ها

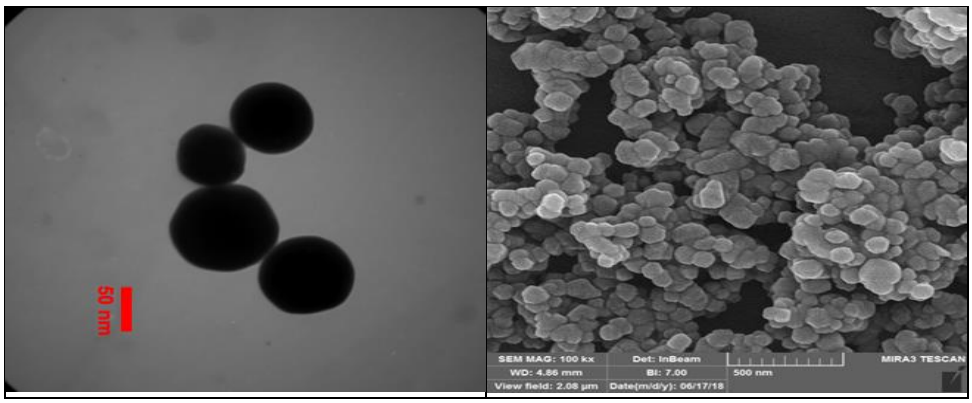
نانو ذرات Co_2O_3 (CAS number 1308-06-1, NS6130-03-307, Indian) به‌صورت تجاری از شرکت کیمیا طب خریداری شد. خصوصیات این نانوذره در جدول ۱ و شکل ۱ نشان داده‌شده است. این پژوهش در شرایط آزمایشگاهی در آزمایشگاه محیط‌زیست دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهواز انجام شد. مقدار لازم از پودر نانو ذرات توسط ترازو با دقت ۰/۰۰۰۱ گرم اندازه‌گیری شد و غلظت‌های مختلف (۱، ۵، ۱۰، ۲۰، ۵۰، ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر) نانو اکسید کبالت در آب مقطر و در آب رودخانه کارون حل گردید (Li *et al*., 2009). نمونه‌های آب رودخانه کارون در سه‌نقطه متفاوت از رودخانه از مسیر حد بستر رودخانه تا منطقه زرگان در شهر اهواز جمع‌آوری و مخلوط گردید. سپس با کاغذ صافی واتمن

[Downloaded from jweb.ahvaz.iau.ir on 2026-06-08]

شماره ۴۰ صاف شد و جهت حذف بار میکروبی آن در اتوکلاو استریل شد. موقعیت نمونه‌برداری در شکل ۲ نشان داده‌شده است. محلول‌های به‌دست‌آمده در دستگاه اولتراسونیک (Elma E30H, 37 kHz Ultrasound frequency, Germany) به مدت ۱ ساعت و با فواصل زمانی خاموش/روشن (۳۰:۱۰) جهت تهیه سوسپانسیونی پایدار و اجتناب از ته‌نشینی نانوذره قرار گرفت (Jaafarzadeh *et al*., 2013).

جدول ۱: خصوصیات فیزیکوشیمیایی نانوذره اکسید کبالت.

نانوذره	اندازه متوسط ذرات (نانومتر)	سطح خاص ویژه (گرم/ مترمربع)	درجه خلوص (درصد)	رنگ
Co_3O_4	۵۰	۰-۲۰	۹۹	سیاه



شکل ۱: تصویر TEM(سمت چپ) و SEM(سمت راست) نانوذره اکسید کبالت.

شکل ۲: موقعیت نمونه‌برداری از آب رودخانه کارون در شهر اهواز.

در این مطالعه از سخت‌پوست پلانکتونی *Daphnia magna* استفاده شد که از آزمایشگاه میکروبیولوژی دانشکده بهداشت دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی تهران تهیه گردید و به اهواز منتقل شد و در شرایط کشت آزمایشگاهی با کنترل دما (۱±۲۱ درجه سانتی‌گراد)، ۸-۷ = pHو دوره ۱۶: ۸ روشنایی- تاریکی پرورش و کشت داده شد. بر اساس دستورالعمل شماره ۲۰۲ (OECD, 2004)، نوزادان کمتر از ۲۴ ساعت سن و تقریباً هم‌اندازه برای زیست آزمونی استفاده شد.

[Downloaded from jweb.ahvaz.iau.ir on 2026-06-08]

پارامترهای کیفی آب کنترل شد. تست سمیت بر ۶ گروه تجربی و یک گروه کنترل مجموعاً ۷ گروه ۲۱ نمونه (با ۳ تکرار) صورت گرفت و در آن غلظت‌های نانوذره اکسید کبالت در زمان‌های ۲۴، ۴۸، ۷۲ و ۹۶ ساعت با دافنی‌ها (تعداد ۱۰ عدد دافنی در هر غلظت و هر بشر) مجاورت داده شد. دافنی‌ها پس از مواجه با نانوذره بر اساس بی‌تحرکی، در مقایسه هم‌زمان با گروه کنترل، موردبررسی قرار گرفتند و در پایان هر دوره، دافنی‌های زنده در هر ظرف شمارش و ثبت شد. در طول آزمایش تیمارها کنترل شد و فرآیند غذادهی نیز متوقف شد. هرچند جهت تعیین سمیت حاد با دافنی مواجهه ۲٤ ساعته نیز یک مدت‌زمان قابل‌قبول است (U.S.EPA, 2002) در این تحقیق، مدت‌زمان مواجهه ۹٦ ساعت بود (APHA, 2005).

تجزیه‌وتحلیل داده‌ها و محاسبه مقادیر LC_{10}, LC_{50},LC_{90} با استفاده از آنالیز پروبیت انجام شد ($p = ۰/۰۵$) و نمودارها در محیط اکسل رسم گردید (Jaafarzadeh *et al*., 2013) برای نانوذره اکسید کبالت در هر دو محیط کشت نیز شاخص‌های SAFE و SAR محاسبه شد (Basak and Konar, 1977).

رابطه ۱:
$$SAFE = \frac{LC_0\, at\, 96\, hours}{LC_{100}\, at\, 96\, hours}$$

رابطه ۲:
$$SAR = (96\, hours\, LC_{50}) \times SAFE$$

نتایج

خصوصیات کیفی محیط‌های کشت شامل دمای آب و محیط نگهداری، اکسیژن محلول و اسیدیته (pH) در جداول ۲ و ۳ ارائه‌شده است. مقادیر پارامترهای اندازه‌گیری شده در محیط کشت، اختلاف قابل‌توجهی نسبت به مقادیر استاندارد تعیین‌شده (APHA, 2005) برای دافنی ماگنا در محیط‌های مشابه نداشت. یکی از مهم‌ترین عامل کنترل‌کننده دافنیا، دما است. دمای بالاتر از ۲۵ درجه سانتی‌گراد زیان‌آور می‌باشد (U. S. EPA, 2002). در تمام طول دوره کشت دافنیا، pH در حد بهینه ۷/۸–۷ حفظ گردید. عامل مهم دیگر وجود اکسیژن محلول مناسب بین ۸–۶ میلی‌گرم در لیتر بود (U. S. EPA, 2002) که عمل هوادهی بسیار ملایم نیز انجام گردید. مقادیر LC10، LC_{50} و LC_{90} بر *D.magna* در شکل ۳ و جدول ۴ نشان داده‌شده است. نتایج سمیت نانو ذرات اکسید کبالت در محیط آب مقطر و آب رودخانه کارون نشان می‌دهد که در نمونه‌های شاهد مرگ‌ومیر دافنیا دیده نشده است و میزان مرگ‌ومیر دافنی‌ها در محیط آب رودخانه بیشتر از محیط آب مقطر می‌باشد.

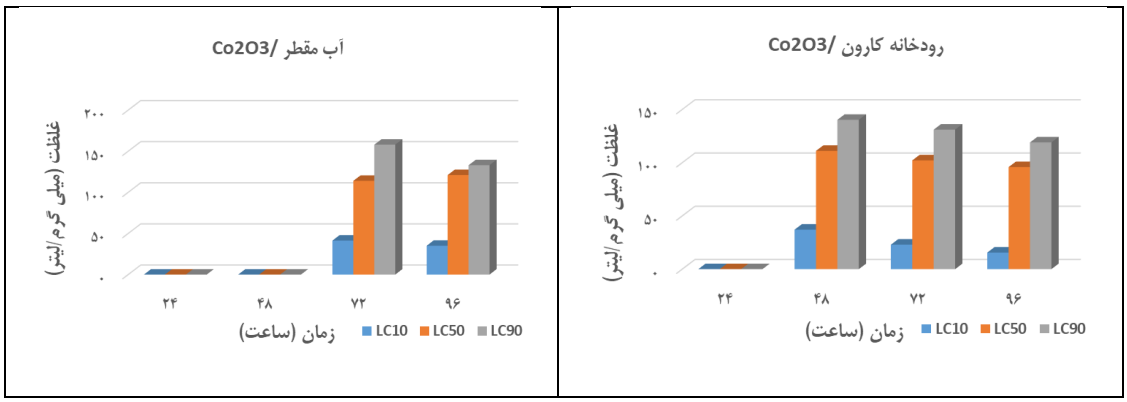
جدول ۲: خصوصیات پارامترهای کیفی محیط کشت (آب مقطر).

پارامتر	مقدار میانگین	محدوده استاندارد
دمای محیط (درجه سانتی‌گراد)	۲۵/۶۱ ± ۰/۵	۲۴/۲۱ – ۲۷/۸۱
دمای آب (درجه سانتی‌گراد)	۲۱/۴۰ ± ۰/۱	۲۰/۲۲ – ۲۴/۳۱
اکسیژن محلول (میلی‌گرم در لیتر)	۷/۳۱ ± ۰/۱۲	۶/۲۳ – ۷/۳۲
pH	۷/۲۱ ± ۰/۱	۷/۳۱ – ۷/۵۱

[Downloaded from jweb.ahvaz.iau.ir on 2026-06-08]

جدول ۳: خصوصیات پارامترهای کیفی محیط کشت (آب رودخانه کارون).

پارامتر	مقدار میانگین	محدوده استاندارد
دمای محیط (درجه سانتی‌گراد)	۲۷/۸۱ ± ۰/۵	۲۷/۴۱ – ۲۹/۶۱
دمای آب (درجه سانتی‌گراد)	۲۳/۴۲ ± ۰/۲	۲۱/۰۰ – ۲۴/۷۲
اکسیژن محلول (میلی‌گرم در لیتر)	۷/۸۱ ± ۰/۴	۶/۶۱ – ۷/۸۲
pH	۷/۴۱ ± ۰/۱	۷/۴۲ – ۷/۹۱



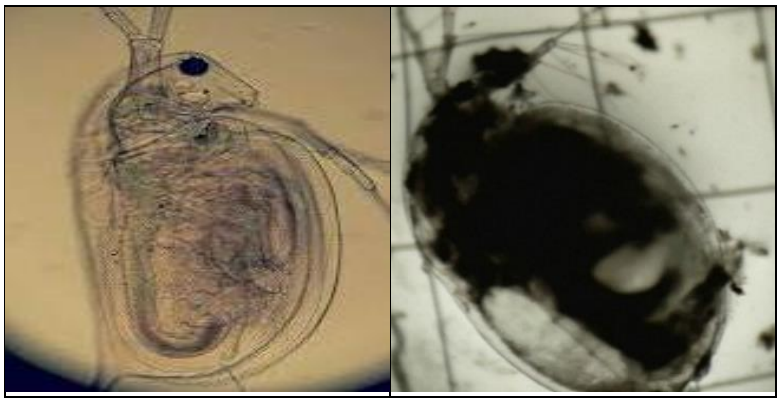
شکل ۳: مقادیر LC_{50} نانوذره اکسید کبالت بر دافنی (*Daphnia.magna*).

جدول ۴: سمیت حاد نانوذره اکسید کبالت بر دافنی (*Daphnia magna*) در محیط آب مقطر و آب رودخانه کارون.

نانوذره	زمان	LC_{10}	LC_{50}	LC_{90}
Co_2O_3 (رودخانه کارون)	۲۴	-	-	-
	۴۸	۳۷/۱۲	۱۱۱/۰۶	۱۴۰/۳
	۷۲	۲۳/۰۳۲	۱۰۲/۲۱	۱۳۱/۰۶
	۹۶	۱۵/۵۸۷	۹۵/۹۰۲	۱۱۹/۱
Co_2O_3 (آب مقطر)	۲۴	-	-	-
	۴۸	-	-	-
	۷۲	۴۱/۳۴۱	۱۱۴/۰۳	۱۵۸/۰۱
	۹۶	۳۵/۰۵۰	۱۲۱/۰۴	۱۳۳/۰۴

شکل ۴ تصویر دافنی ماگنا در مواجهه با نانوذره اکسید کبالت در مدت‌زمان ۷۲ ساعت را نشان می‌دهد. میزان تجمع نانو ذرات در این جاندار نشان‌دهنده سرعت جذب نانو ذرات توسط موجودات حساس ساکن اکوسیستم‌های آبی است.

[Downloaded from jweb.ahvaz.iau.ir on 2026-06-08]



شکل ۴: دافنی ماگنا (*Daphnia magna*) در معرض نانوذره اکسید کبالت (۷۲ ساعت)، (سمت راست) و نمونه شاهد (سمت چپ).

بحث و نتیجه‌گیری

نتایج آزمایشات مواجهه دافنی‌ها با نانوذره اکسید کبالت در آب مقطر و آب رودخانه کارون نشان می‌دهد که در طول آزمایش هیچ‌گونه تلفاتی در گروه شاهد در هر دو محیط مشاهده نشده است و با افزایش غلظت نانوذره و مدت‌زمان مواجهه، میزان سمیت نانوذره نیز افزایش‌یافته است ($P<۰/۰۵$).

طبق نتایج این تحقیق، در غلظت‌های مختلف از نانوذره اکسید کبالت در مدت‌زمان ۲۴ و ۴۸ ساعت در محیط حاوی آب مقطر مرگ‌ومیری از دافنیامگنا مشاهده نشد. در نمونه‌های آب رودخانه کارون نیز در مدت ۲۴ ساعت مرگ‌ومیر مشاهده نشد. عدم وجود مرگ‌ومیر در تیمار شاهد نمی‌تواند این واقعیت را توصیف کند که عدم تغذیه حتی تا مدت‌زمان ۹۶ ساعت اثرات کشنده‌ای بر روی این‌گونه ایجاد نمی‌کند. سمیت نانو ذرات (برحسب میلی‌گرم در لیتر) به‌عنوان مقادیر LC_{10}، LC_{50} و LC_{90} بر روی *D.magna* بیان‌شده است. نتایج نشان نی دهد که میزان مرگ‌ومیر دافنیا در محیط آب رودخانه بیشتر از محیط دارای آب مقطر بوده که می‌تواند نشان‌دهنده وجود دیگر مواد آلاینده در آب رودخانه کارون و اثرات سینرژیک مواد باشد. نانو مواد مختلف در شرایط محیطی متفاوت اثرات هم‌افزایی دارند (Park *et al*., 2019).

مقادیر SAFE و SAR نانواکسید کبالت در آب مقطر ۰/۱۳۱ میلی‌گرم در لیتر و ۱۵/۹۴۴ میلی‌گرم در لیتر و در آب رودخانه کارون به ترتیب ۰/۰۶۵ میلی‌گرم در لیتر و ۶/۲۳۳ میلی‌گرم در لیتر به دست آمد. با توجه به نتایج ضرایب ایمن به نظر می‌رسد که ورود فاضلاب با این مقدار SAR در محیط و بدنه آب تأثیر نامطلوبی بر جانداران حساس مانند *D.magna* نداشته باشد. جذب نانو ذرات توسط *D.magna* پس از گذشت ۷۲ ساعت، می‌تواند به علت جذب سریع این مواد توسط دافنی و آسیب احتمالی بر این جاندار باشد، زیرا در نمونه‌های شاهد این لکه‌های تاریک دیده نشد (شکل ۴).

کبالت یک عنصر اساسی برای سنتز سیانوکوبالامین سلول‌ها است (Kaweeteerawat *et al*., 2015). از طرف دیگر، کبالت به‌عنوان یک محرک آسیب‌زای اکسیداتیو در سلول‌های پستانداران (Zhang *et al*., 2012) و باکتری‌ها (Kaweeteerawat *et al*., 2015) شناخته‌شده است. مطالعات صورت گرفته نشان می‌دهد که اثرات کوتاه‌مدت نانوذره و یون کبالت با سایز ۵۰ نانومتر بر گورخر ماهی (*Danio rerio*) باعث ایجاد آسیب در بافت آبشش ماهی شده است و با افزایش میزان غلظت در هر دو حالت نانویی و یونی کبالت، میزان آسیب‌های وارده بیشتر شده است (Mansouri *et al*., 2015). همچنین در دیگر یافته‌ها نانوCo_3O_4 با ابعاد ۳۰-۱۰ نانومتر تأثیری بر *D. magna* نداشته است (EC_{50} >100) (Margit *et al*., 2017). همچنین نانو Co_2O_3 باعث ایجاد سمیت بر جلبک‌های تک‌سلولی (Aruoja *et al*., 2015) و گورخر ماهی گونه شده است (منصوری و همکاران، ۱۳۹۴). در مطالعه حاضر نانوذره اکسید کبالت با

[Downloaded from jweb.ahvaz.iau.ir on 2026-06-08]

ابعاد ۵۰ نانومتر در غلظت‌های بیشتر منجر به مرگ‌ومیر در دافنیا شد. طبق نتایج حاصل از این تحقیق، زمان تماس نسبت به فاکتور غلظت تأثیر بیشتری بر کشندگی دافنیا مگنا دارد، یعنی در هر غلظت با افزایش زمان تماس، میزان مرگ‌ومیر به‌طور قابل‌توجهی افزایش می‌یابد. بر این اساس، هرگونه اختلاف بین آستانه‌های سمیت ممکن است مربوط به تفاوت در اندازه ذرات، روش‌های آنالیز و آماده‌سازی یا طرح‌های آزمایش و شرایط آزمایشگاهی متفاوت باشد (Wang *et al*., 2016). با توجه به آزمون‌های زیستی انجام‌شده در حیطه اثرات نانو ذرات بر دافنی ماگنا می‌توان مقایسه‌ای بین دیگر نانو ذرات انجام داد که روند سمیت بر دافنیا به شرح زیر می‌باشد (جدول ۵):

SiO_2> ZnO > CoO > Co_3O_4 > Co_2O_3> TiO_2 >Fe_3O_4

مطابق الگوی سمیت فوق، نانو اکسید سیلیس بیشترین میزان سمیت را بر دافنیا داشته است. پس از نانو اکسید روی، نانو اکسیدهای کبالت سمیت کمتری دارند و بعد آز آن نانواکسید تیتانیوم و اکسید آهن سمیت کمتری داشته‌اند؛ بنابراین نانو ذرات در مقادیر متفاوت و زمان مواجهه طولانی‌تر و با روند مشخص و در محیط‌های گوناگون و در اثر همبیشی با سایر مواد می‌توانند آلاینده باشند. خواص فیزیکوشیمیایی نانو ذرات ازجمله توزیع اندازه، شکل، مساحت سطح، ترکیب شیمیایی، پایداری، ساختار کریستالی، انرژی سطح و تجمع پذیری در شرایط محیطی مختلف می‌تواند به‌طور قابل‌توجهی بر روی سمیت نانو ذرات تأثیرگذار باشد (Gholami-Borujeni *et al*., 2020).

جدول ۵: مقایسه اثرات حاد نانو ذرات مختلف بر دافنی (*Daphnia magna*).

نانوذره	LC_{50}	مدت‌زمان تماس	منبع
ZnO	LC_{50}:۳ /۲۰	۴۸ ساعت	Heinlaan *et al*., 2008
CoO	LC_{50}> ۱۰	۴۸ ساعت	Griffitt *et al*., 2008
TiO2 (20nm)	LC_{50}: ۱۲۳/۷۹	۴۸ ساعت	Khoshnood *et al*., 2016
SiO2 (20-30nm)	LC_{50}: ۱/۷۳	۹۶ ساعت	Shariati *et al*., 2020
Fe3O4 (20nm)	LC_{50} :٦٥٤/٦٥	۹۶ ساعت	Shariati *et al*., 2020
Co_3O_4 (10-30 nm)	EC_{50} > 100	۹۶ ساعت	Margit *et al*., 2017
Co_2O_3 (50nm)	LC_{50}:۱۲۱/۰٤	۹۶ ساعت	مطالعه حاضر در آب مقطر
Co_2O_3 (50nm)	LC_{50}:۹۵ /۹۰۲	۹۶ ساعت	مطالعه حاضر در آب رودخانه

به‌طورکلی مطالعه در مورد نانو ذرات در مراحل اولیه است، اما نگرانی‌ها در مورد اثرات سمی آن‌ها بر بی‌مهرگان و محیط‌زیست افزایش‌یافته است (Shariati *et al*., 2020). هرچند نتایج مطالعه‌ی حاضر در مقیاس آزمایشگاهی است، اما می‌توان انتظار داشت که ورود مقادیر بالایی از نانو ذرات در محیط‌های آبی سبب بروز آثار زیان‌باری بر سلامت آبزیان و اکوسیستم‌های آبی گردد. ازاین‌رو، پیش‌بینی تمهیداتی برای کاهش و جلوگیری از ورود مقادیر مضر آن به محیط‌زیست آبزیان و استفاده بی‌رویه از نانو ذرات در صنایع مختلف دریایی و آبزی‌پروری امری مهم ضروری به نظر می‌رسد و میزان انواع آلاینده‌های فلزی و منابع ورود آن‌ها به اکوسیستم‌ها و همچنین اثرات آن‌ها در بافت‌های مختلف آبزیان مورد پایش مستمر قرار گیرد و اثرات واقعی نانو فناوری قبل از اینکه پسماندهای نانو در محیط ظاهر شوند و همچنین قبل از معرفی نانو تولیدات جدید به بازار تعیین و شناسایی شوند. در صورت اقدامات صحیح در زمینه مدیریت این ترکیبات جدید می‌توان از آلودگی‌های جبران‌ناپذیر و عواقب ناشی از ورود مقادیر سمی آن جلوگیری به عمل آورد، زیرا گیاهان سبز و جلبک‌ها، اولین سطح زندگی در طبیعت می‌باشند که آسیب به آن‌ها نابودی بسیاری از موجودات زنده در ادامه زنجیره غذایی را به دنبال دارد.

[Downloaded from jweb.ahvaz.iau.ir on 2026-06-08]

سپاسگزاری

نویسندگان مقاله از همکاری پرسنل آزمایشگاه محیطزیست و نانو مواد دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهواز قدردانی می‌کنند.

منابع

Adam, B., 2017. Daphnia swimming behaviour as a biomarker in toxicity assessment: A review. Science of the Total Environment, 601–602: 194–205.

APHA, AWWA, WE., 2005. Standard Methods for the Examine of Water and Wastewater, 20th ed., Washigton, DC: American Health Public Association.

Aruoja, V., Pokhrel, S., Sihtmäe, M., Mortimer, M., Mädler, L. and Kahru, A., 2015. Toxicity of 12 metal based nanoparticles to algae, bacteria and protozoa, Environmental. Science. Nano, 2: 630-644.

Basak, P. and Konar, S., 1977. Indian Journal of Environmental Health, 19: 283 – 292.

Buchman, J. T., Bennett, E. A., Wang, C., Tamijani, A. A., Bennett, J., Hudson, B. and Laudadio, E., 2020. Nickel enrichment of next-generation NMC nanomaterials alters material stability, causing unexpected dissolution behavior and observed toxicity to S. oneidensis MR-1 and *D. magna*. *Environmental. Science. Nano*, 2 (7): 55-59.

Gholami-Borujeni1, F., Nejatzadeh, F. and Jamalan M., 2020. Toxicity Assessment of Some Conventionally Manufactured Nanoparticles to *Daphnia magna*. Journal of Mazandaran University of Medical Sciences, 29 (182): 12-20.

Goswami, L., Kim, K. H., Deep, A., Das, P., Bhattacharya, S. S. and Kumar, S., 2017. Engineered nano particles: Nature, behavior, and effect on the environment. Journal of Environmental Management. 196(Suppl C): 297-315.

Griffitt, R. J., Luo, J., Gao, J., Bonzongo, J. C. and Barber, D. S., 2008. Effects of particle composition and species on toxicity of metallic nanomaterials in aquatic organisms. Environmental Toxicology and Chemistry, 27(9): 1972–1978.

Jaafarzadeh, N., Hashempour, Y. and Angali, K. A., 2013. Acute toxicity test using cyanide on *Daphnia magna* by flow-through system, Journal of Water Chemistry and Technology, 35(6): 281-286.

J**eevanandam, J., Chan, Y. S. and Danquah, M. K., 2016**. Nano-formulations of drugs: Recent developments impact and challenges. Biochimie, 128(Suppl C): 99-112.

Kaweeteerawat, Ch., Ivask, A., Liu, R., Zhang, H. and Chang, Ch., 2015. Toxicity of Metal Oxide Nanoparticles in Escherichia coli Correlates with Conduction Band and Hydration Energies Environmental Science & Technology, 49 (2): 1105-1112**.**

Khoshnood, R., Jaafarzadeh, N. and Jamili, S., 2016. Nanoparticles ecotoxicity on *Daphnia magna*, Transylvanian Review of Systematical and Ecological Research., 18 (2): 9-38.

Lekamage, S., Miranda, A. F., Ball, A. S., Shukla, R. and Nugegoda, D., 2019. The toxicity of coated silver nanoparticles to *Daphnia carinata* and trophic transfer from algae *Raphidocelis subcapitata*. PLOS ONE, 14(4): 214-398.

Li, H., Zhou, Q., Wu, Y., Fu, J. and Wang, T., 2009. Effects of waterborne nanoiron on medaka (*Oryzias latipes*): antioxidant enzymatic activity, lipid peroxidation and histopathology Ecotoxicology and Environmental Safety, 72: 684–692.

Manickam, V., Dhakshinamoorthy, V., Perumal, E. and Mol, J., 2018. Effects of nanoparticles on Organisms. Neurosci, 64(3): 352.

Mansouri, B., Afshin Maleki, A., Johari, S., Reshahmanish N., 2015. Effects of cobalt oxide nanoparticles and cobalt ions on gill histopathology of zebrafish, (*Danio rerio*)., Aquaculture, Aquarium, Conservation & Legislation Biofl, 8(3): 438-444.

[Downloaded from jweb.ahvaz.iau.ir on 2026-06-08]

Margit,,H., Marge, M., Katre, J., Olena, O., Serge, S., Anne, K. and Vera, I. S., 2017. Exposure to sublethal concentrations of Co_3O_4 and Mn_2O_3 nanoparticles induced elevated metal body burden in Daphnia magna. Aquatic Toxicology, 189: 123-133.

Monica, J., Andrew T., 2013. Nanotechnology innovations for the construction industry. Progress in Materials Science 58(7): 1056–110.

Nogueira, D. J., Vaz, V. P., Neto, O. S., da Silva, M. L. N., Simioni, C., Ouriques, L. C. and Matias, W. G., 2020. Crystalline phase-dependent toxicity of aluminum oxide nanoparticles toward *Daphnia magna* and ecological risk assessment. Environmental Research, p.182.

OECD Guidelines for the Testing of Chem., 2004. Fifteenth Addendum, 202pp.

Park, C. B., Jung, J. W., Baek, M., Sung, B., Park, J. W., Seol, Y., Yeom, D. H., Park, J. W. and Kim, Y. U., 2019. Mixture toxicity of metal oxide nanoparticles and silver ions on *Daphnia magna*. Journal of Nanoparticle Research, 21: 166– 179.

Shariati, F., Poordeljoo, T. and Zanjanchi, P., 2020. The Acute Toxicity of SiO_2 and Fe_3O_4 Nano-particles on *Daphnia magna*, Silicon., pp. 1-6.

Rajput, V. and Minkina, T., 2020. Accumulation of nanoparticles in the soil-plant systems and their effects on human health Annals of Agricultural Sciences. 2(65): 137-143.

USEPA., 2002. Methods for measuring the acute toxicity of effluents and receiving waters to freshwater and marine organisms. Washington, DC 20460.

Wang, D., Zhifen, L., Ting, W., Zhifeng, Y., Mengnan, Q., Shourong, Z. and Wei, L., 2016. Where does the toxicity of metal oxide nanoparticles come from: The nanoparticles, the ions, or ombination of both. Journal of Hazardous Materials, 308: 328-334.

Zhang, F., Wang, Z., Song, L., Fang, H. and Wang, D. G., 2020. Aquatic toxicity of iron-oxide-doped microplastics to *Chlorella pyrenoidosa* and *Daphnia magna*. Environmental Pollution, Pp. 257.

Zhou, N., Zhang, Y., Nian, S., Li, W., Li, J., Cao, W. and Wu, Z., 2017. Synthesis and characterization of Zn1-xCoxO green pigments with low content cobalt oxide. Journal of Alloys and Compounds, 711: 406-413.

[Downloaded from jweb.ahvaz.iau.ir on 2026-06-08]

[Downloaded from jweb.ahvaz.iau.ir on 2026-06-08]