مقاله علمی–ترویجی

نانوجاذب‌ها و کاربرد آنها در حذف فلزات سنگین

رقیه صفری*[۱]، حمیده ذکریایی[۱]، مریم فروزد[۲]

*fisheriessafari@yahoo.com

۱- گروه شیلات، دانشکده شیلات و محیط زیست، دانشگاه علوم کشاورزی منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران

۲- موسسه تحقیقات علوم شیلاتی کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران

تاریخ دریافت: شهریور ۱۳۹۹ تاریخ پذیرش: آذر ۱۳۹۹

چکیده

امروزه به دلیل توسعه صنایع مختلف و کارخانه‌ها ورود فلزات سنگین به اکوسیستم‌های آبی افزایش یافته است. فلزات سنگین در برابر تجزیه بسیار مقاوم هستند و امکان تجمع آنان در آبزیان زینتی و آبزیان به عنوان یکی از زنجیره‌های غذایی انسان‌ها و ایجاد خطر برای سلامتی انسانها وجود دارد. حذف این آلاینده‌ها از منابع آبی با روش‌های متداول بسیار وقت‌گیر و در مواردی هزینه‌بر می‌باشد که در سال‌های اخیر برای رفع این مشکل استفاده از نانوتکنولوژی مطرح گردید. نانوتکنولوژی فرآیندی است که در جلوگیری از آلودگی، شناسایی، اندازه‌گیری و تصفیه فلزات سنگین نقش کلیدی ایفاء می‌کند. نتایج حاصل از پژوهش‌های متعدد نشان داد که ذرات نانو به دلیل داشتن اندازه کوچک، سطح مقطع زیاد، شکل کریستالی و شبکه‌ای منحصربه‌فرد، دارای خاصیت واکنش‌پذیری زیاد هستند که می‌توانند در تبدیل آلاینده‌ها به مواد بی‌ضرر استفاده شوند. مکانیسم عمل نانوجاذب‌ها با توجه به ساختار آنها بسیار متفاوت است. در این بررسی، انواع نانوجاذب‌ها و کاربرد آنها در حذف فلزات سنگین از اکوسیستم‌های آبی و اکواریوم‌ها مورد بررسی قرار گرفت.

کلمات کلیدی: نانوجاذب‌ها، اکوسیستم آبی، فلزات سنگین، آکواریوم

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

[DOR: 20.1001.1.24234575.1400.8.1.5.9]

مقدمه

در سال‌های اخیر صنعت آبزی‌پروری به‌خصوص در بخش پرورش آبزیان زینتی از رشد چشم‌گیری برخوردار بوده است (Sudagar *et al*., 2015). پرورش آبزیانی سالم که عاری از هر گونه عوامل آلوده‌کننده باشند، بستگی زیادی به محیط پرورشی آنها دارد (Haghipour *et al*., 2015) که در بین عوامل محیطی موجود در محیط پرورش، عدم آلودگی اکوسیستم آبی از اهمیت بسیار بالایی برخوردار می‌باشد (Zakariaee and Sudagar, 2016). همواره حضور مقادیر زیادی از فلزات سنگین مانند جیوه، سرب، کادمیوم، آهن و سایر فلزات در محیط زیست در راستای صنعتی شدن کشورها خطرات جدی برای سلامتی آبزیان در پی خواهد داشت. جذب فلزات سنگین از پساب‌های صنعتی یکی از مباحث مهم زیست‌محیطی محسوب می‌شود. روش‌های معمول برای حذف فلزات سنگین شامل ترسیب شیمیایی، لخته‌سازی به‌وسیله آهک زنی، تبادل یونی، اسمز معکوس و استخراج از مایع می‌باشد (Heidary *et al*., 2014) که تمامی این روش‌ها دارای معایبی از جمله عدم حذف کامل یون‌ها، نیاز به مواد و انرژی زیاد، تولید مواد اضافی مضر و در مواردی محصولات جانبی نا به‌جا می‌باشد. یکی از راه حل‌های اساسی برای رفع نواقص روش‌های متداول تصفیه، استفاده از فناوری نانو می‌باشد که فرایندی است که در جلوگیری از آلودگی، شناسایی، اندازه‌گیری و تصفیه آلاینده‌ها نقش کلیدی ایفاء می‌کند. ذرات نانو به دلیل داشتن اندازه کوچک، سطح مقطع زیاد، شکل کریستالی و نظم شبکه‌ای ویژه و واکنش‌پذیری زیاد می‌توانند برای تصفیه و تبدیل آلاینده‌ها به ترکیباتی بی ضرر یا کم ضررتر به‌کار گرفته شوند که حتی در مقیاس کوچک آکواریوم قابل استفاده می‌باشند (Samadi *et al*., 2010). یکی از مهم‌ترین کاربردهای فناوری نانو کمک به حفظ سلامتی بشر و محیط زیست می‌باشد که از آن برای ساخت و بهینه کردن خواص جاذب‌ها در تصفیه و حذف فلزات سنگین از اکوسیستم‌های آبی استفاده می‌گردد. جذب سطحی به‌وسیله نانو ذرات فلزی یک تکنولوژی سازگار با محیط می‌باشد که طی سال‌های اخیر به عنوان عاملی مؤثر برای حذف آلودگی‌های آلی و یون‌های فلزات سنگین از آب و فاضلاب مورد بررسی قرار گرفته است (Chen *et al*., 2010).

از مطالعات انجام شده جذب فلزات سنگین از طریق نانوجاذب‌ها می‌توان به مطالعات Rahmani و همکاران (۲۰۱۰) در رابطه با جذب سرب به‌وسیله آلومینای نانوساختار، Moradi (۲۰۰۹) جذب سرب از طریق نانوذرات مغناطیسی اکسیدآهن، Huang و Chen (۲۰۰۹) حذف مس و سایر کاتیون‌ها با نانوذرات مگنتیت، Wong و همکاران (۲۰۰۳) جذب سرب از پساب صنعتی با خاکستر پوسته شلتوک، Malakutiyan و Khazai (۲۰۱۴) جذب کادمیوم از پساب صنعتی با نانو ذرات آهن سه ظرفیتی و ترکیبات منگنزی اشاره نمود. نانوجاذب‌ها دارای ترکیبات متفاوتی هستند که از مواد طبیعی و مصنوعی ساخته می‌شوند. لذا، در این تحقیق به بررسی انواع نانوجاذب‌ها و کارایی آنها در جذب فلزات سنگین پرداخته شد.

نانوجاذب‌ها در آبزی‌پروری

آبزیان به‌ویژه آبزیان زینتی نسبت به آلاینده‌های محیطی بسیار حساسند. تحقیقات نشان داد که کیفیت آب محیط پرورشی ماهیان و سایر آبزیان را می‌توان با استفاده از فرایندهای فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیک بهبود بخشید. مطالعاتی که در خصوص تصفیه آب فاضلاب با استفاده از فناوری نانو نیز صورت گرفته است، نشان می‌دهد که تولید و استفاده از نانوذرات مهندسی شده در حال افزایش می‌باشد. بنابراین، توسعه مدل‌های قابل قبول برای تعیین مقدار مصرفی هر یک از نانوذرات و اثرات آن بر حذف هر نوع فلز سنگین خاص، ضروری می‌باشد (Nezhadmoghadam and Safari, 2016). پساب‌های صنعتی شامل انواع آلاینده‌های سمی، ترکیبات آلی، ترکیبات غیرآلی، آفت‌کش‌ها و ترکیبات مختلف فلزات سمی (کادمیوم، مس، جیوه و...) می‌باشند (Kundu, 2005; Kumar and Singh, 2010) نه تنها تهدید جدی برای سلامتی انسان بلکه باعث آسیب هم‌زمان در چند اندام مختلف در بدن آبزیان نیز می‌شوند (Saxsena and Garg, 2011). انباشتگی فلزات سنگین در بافت‌های بدن ماهی به‌ویژه به‌دلیل جذب آنها از طریق آبشش، نیاز به کنترل مستمر دارد (Scown *et al*., 2009). از آن‌جایی که نانوذرات فلزی در گیاهان از طریق خاک جذب می‌شوند و می‌توانند به مصرف کنندگان ثانویه هم‌چون ماهیان گیاه‌خوار

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

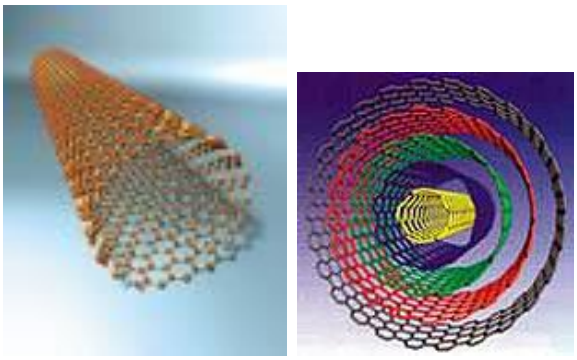
[DOR: 20.1001.1.24234575.1400.8.1.5.9]

یا همه‌چیزخوار منتقل شوند، دانش موجود در برنامه‌های کاربردی، فرصت‌ها و خطرات ناشی از فناوری نانو در زنجیره غذایی بسیار ضروری است. اما تاکنون هیچ گزارشی مبنی بر جذب بیولوژیک آنها در محیط‌های آبی صورت نگرفته است (Gajjar *et al*., 2009).

انواع نانوجاذب‌های پرکاربرد در جذب فلزات سنگین از اکوسیستم‌های آبی

نانو لوله‌های کربنی

یکی از جاذب‌های نوین در عرصه نانوتکنولوژی که کارایی حذف آلاینده‌های زیست‌محیطی از طریق آن در مطالعات گوناگون مورد بررسی قرار گرفته است، نانو لوله‌های کربنی می‌باشند (Hu *et al*., 2009; Bundschuh *et al*., 2001 ;). این نانوتکنولوژی را محقق ژاپنی به نام Iijima (۱۹۹۱) به عرصه علم معرفی نمود (Chappell *et al*., Henke, 2009 ; 2002). نانولوله‌های کربنی در واقع صفحاتی از اتم‌های کربن هستند که درون قسمتی غلطک مانند حرکت می‌کنند. سطح ویژه بالا، واکنش‌پذیری عالی، مقاومت حرارتی و مکانیکی فراوان و خصوصیات شیمیایی، الکتریکی و فیزیکی منحصربه‌فرد از جمله خصوصیات این مواد محسوب می‌گردند (Schulz, 2006; Mona, 2011).این نانولوله‌ها بر اساس نوع ساخت و تعداد لایه‌های کربن به‌کار رفته در ساختارشان به دو دسته نانولوله‌های کربنی تک جداره و چند جداره تقسیم می‌شوند. نانولوله‌های کربنی تک جداره دارای قطر و طول کوچک‌تری نسبت به نانو لوله‌های چند جداره هستند و به علت کوچک بودن اندازه، در مقادیر انبوه قابل تولید نمی‌باشند اما کاربرد آسان‌تری نسبت به نانو لوله‌های چند جداره دارند (Zhua *et al*., 2006; Dos, 2007). طبق مطالعات گوناگون نانو لوله‌های کربنی قادرند انواع مواد آلی، غیرآلی، فلزات سنگین، برخی شبه فلزات و نیز گروهی از آلودگی‌های میکروبی و ویروسی را از محیط‌زیست انسان، آبزیان و اکوسیستم‌های آبی حذف نمایند (Bundschuh, 2001; Hu *et al*., 2009). برای مثال، بالاترین درصد حذف سرب (۹۶/۰۳ درصد) در pH برابر ۴۰/۵ میلی‌گرم بر لیتر، زمان تماس ۸۰ دقیقه و سرعت اختلاط ۵۰ دور در دقیقه به‌وسیله نانولوله‌های کربنی به‌دست آمد (Kabbashi *et al*., 2009). هم‌چنین براساس مدل لانگموئیر حداکثر جذب یون‌های نیکل روی نانولوله‌های کربنی اولیه و اکسید شده به‌ترتیب ۱۸/۰۸۳ و ۴۹/۲۶۱ میلی‌گرم بر گرم تعیین شد (Kandaha, 2007). در مطالعات Usefi و همکاران (۲۰۱۳) فرآیند جذب سطحی آرسنات به‌وسیله نانولوله‌های کربنی تک جداره عامل‌دار شده از تکدمای فروندلیخ پیروی کرد که به معنای یکسان نبودن جایگاه‌های جذب در سطوح مختلف نانولوله‌های کربنی تک جداره بود. از این نانوجاذب می‌توان در مسیر آبهای ورودی به استخر ماهیان و آکواریوم‌های با چرخه آب مداربسته استفاده نمود (شکل ۱).



شکل ۱: نانولوله‌های کربنی تک لایه و چندلایه

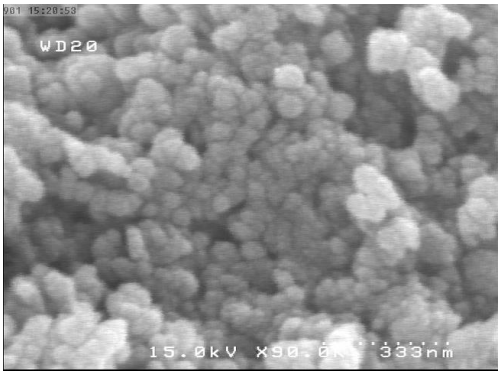
نانوذرات آهن

در بین نانو ذرات فلزی، نانوذرات آهن به دلیل فراوانی، ارزانی، غیر سمی بودن، واکنش سریع و توانایی و بازده بالا در جذب فلزات سنگین، بسیار مورد توجه قرار گرفته است (Kanel *et al*., 2005). نانوذرات آهن به دلیل داشتن نسبت سطح به وزن بالا و دانسیته بالای محل‌های واکنش، ظرفیت بالایی برای جذب فلزات سنگین دارند و خاصیت آهنربایی این نانوجاذب‌ها، جداسازی آسان آنها را از اکوسیستم‌های آبی که در نهایت مورد استفاده استخرهای پرورشی ماهیان و آکواریوم‌های زینتی قرار می‌گیرند، امکان‌پذیر می‌سازد. (Zhu *et al*., 2009). نانوجاذب‌های آهن شامل: نانوذرات Fe_3O_4، نانوذرات Fe_3O_4 اصلاح شده با پوست پرتقال و نانوذرات آهن صفر ظرفیتی می‌باشد (Malakutiyan and Khazai, 2014). نتایج تحقیقات Moradi (۲۰۰۹) در حذف مس و سرب از محلول‌های آبی با استفاده از نانو ذرات مغناطیسی

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

[DOR: 20.1001.1.24234575.1400.8.1.5.9]

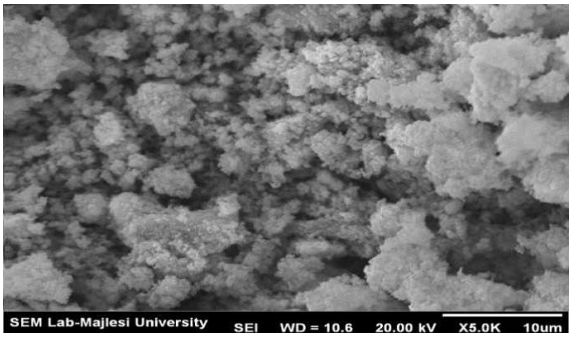
اکسید آهن نشان داد که بالاترین بازده جذب در دمای ۲۵ درجه سلسیوس، زمان ۱۰ دقیقه و pH برابر ۵ برای مس و pH برابر ۶/۵ برای سرب حاصل شد (Moradi, 2009). نانوذرات آهن به دلیل دارا بودن خواص مغناطیسی می‌توان در اکثر موارد در مسیر آبهای ورودی به استخرهای گرمابی و سردآبی و ماهیان زینتی استفاده نمود. زیرا آهن‌ربا این نانوذرات را پس از جذب فلزات سنگین به‌راحتی محیط آبی حذف می‌کند (شکل ۲).



شکل ۲: تصویر برداری میکروسکوپ الکترونی پویشی (SEM) از نانوذرات آهن

نانوذرات NiO

اکسید نیکل به دلیل ویژگی‌های شیمیایی و مغناطیسی اکسیدی قوی و قابل توجه می‌باشد. ذرات اکسید نیکل بسیار ریز هستند که دارای اندازه‌های یکسان و پراکنش خوب در زمینه‌های مختلفی مانند تولید فیلم‌ها، مواد مغناطیسی، سرامیک، موادهای قلیایی، الکتروکروم و کاتالیتیک غیر همگن، تهیه باطری و ... مورد استفاده قرار می‌گیرند (Bahari Molla Mahaleh *et al*., 2008). اکسید نیکل به عنوان یک کاتالیست موثر در اکسیداسیون طیف وسیعی از ترکیبات آلی دارای کاربرد فراوانی می‌باشد (Lai *et al*., 2007; Hou *et al*., 2008). نانوذرات اکسید نیکل به طور کامل در آب نامحلول هستند. در نتیجه، جداسازی آن از پساب به‌راحتی قابل انجام می‌باشد. همچنین ثابت شد که مقاومت نانوذرات اکسید نیکل از کربن فعال بسیار بالاتر می‌باشد (Nateghi *et al*., 2009). براساس تحقیقات Mahdavi و همکاران (۲۰۱۴) غلظت ۱ میلی‌گرم نانوجاذب اکسید نیکل در دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد و pH ۳ به عنوان جاذب بهینه در جذب دو فلز سنگین مس و کادمیوم از اکوسیستم‌های آبی معرفی گردید. در تحقیق Sheela و همکاران (۲۰۱۲) نیز مشخص شد که جایگاه‌های فعال سطحی موجود روی سطح نانو ذرات اکسید نیکل در مدت زمان ۶۰ دقیقه برای یون‌های کادمیوم و سرب به حالت اشباع می‌رسد (شکل ۳).



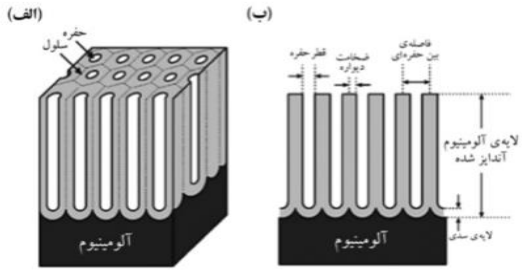
شکل ۳: تصویر برداری میکروسکوپ الکترونی پویشی (SEM) از نانوذرات اکسید نیکل

آلومینای نانوساختار

آلومینای نانوساختار روشی ارزان‌قیمت جهت حذف فلزات سنگین از اکوسیستم‌های آبی می‌باشد که از جمله نانومواد‌ی است که به روش‌های مختلفی تولید می‌شود و از آن در جذب فلزات سنگین از محلول‌های آبی استفاده می‌گردد. آلومینای نانوساختار مورد استفاده در تصفیه آب در گذشته با روش سل- ژل تولید می‌شد، ولی روش احتراقی محلول، ارزان‌قیمت و روش بسیار ساده‌ای برای حذف آلاینده‌ها از آبهای آلوده و پساب‌ها با راندمانی بالاتر می‌باشد که طبق تحقیقات ثابت شد آلومینای نانوساختار تهیه شده با سوخت آمونیوم استات دارای ذرات ریزتر و اندازه حفرات بزرگ‌تری است. بنابراین، می‌تواند به عنوان جاذب اصلی در حذف فلزات سنگین مطرح باشد. نتایج بررسی عوامل مؤثر بر میزان جذب، نشان داد بیش‌ترین میزان حذف فلزات درpH ۴، زمان ۱۸۰ دقیقه، دمای۲۹۳ کلوین و مقدار جاذب ۴ گرم در لیتر بود. هم‌چنین بر اساس مطالعات ترمودینامیک، فرآیند جذب این فلزات بر آلومینای نانوساختار فرآیندی خودبه‌خودی و گرمازاست. Rahmani (۲۰۱۰) آلومینای نانوساختار را با استفاده از روش احتراقی محلول، سنتز نمود. Zavarmusavi و همکاران (۲۰۱۱) با بررسی میزان حذف کادمیوم از محلول‌های آبی با استفاده از آلومینای نانوساختار نتیجه گرفتند که استفاده از این نانوذره

[Downloaded from ornamentalaquatics.ir on 2026-11-11]
[DOR: 20.1001.1.24234575.1400.8.1.5.9]

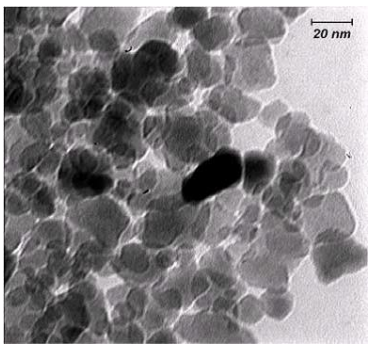
روشی مناسب و ارزان قیمت برای حذف فلزات سنگین از اکوسیستم‌های آبی می‌باشد. این نانوجاذب گزینه‌ای مناسب جهت استفاده در تصفیه آبهای ورودی به استخرهای پرورشی آبزیانی مانند ماهی (ماهیان گرمابی، سردآبی و زینتی) و میگو می‌باشد (شکل ۴).



شکل ۴: (الف) ساختار آلومینای آندی متخلخل، (ب) سطح مقطع لایه آندایز شده

نانوذرات منگنز

ترکیبات منگنزی می‌توانند بار الکتریکی منفی سطحی در تمام محدوده های pH موجود در آبهای سطحی ایجاد نمایند که در جداسازی آلاینده‌های فلزی از اکوسیستم‌های آبی بسیار حائز اهمیت می‌باشد. نانوذرات دی‌اکسید منگنز هیدراته و نانوذرات دی‌اکسید منگنز هیدراته ترکیبی با هیدرواکسید فریک نمونه‌های بارزی از نانوجاذب‌های منگنزی می‌باشند (Tonkin *et al.*, 2004). براساس تحقیقات Malakutiyan و Khazai (۲۰۱۴) ثابت شد که بیش‌ترین کارایی حذف یون کادمیوم از طریق دی اکسید منگنز هیدراته و ترکیب آن با هیدرواکسید فریک تحت شرایط بهینه به‌ترتیب برابر ۶۹/۲ و ۶۸/۷ درصد برای محلول سنتتیک و ۲۸ و ۲۷/۸ درصد برای نمونه فاضلاب به‌دست آمد (شکل ۵).



شکل ۵: تصویر برداری میکروسکوپ الکترونی پویشی (SEM) از نانوذرات منگنز

نانوذرات SBA

سنتز و استفاده از نانوجاذب‌هایی از خانواده SBA که به صورت ساده یا عامل‌دار شده تهیه می‌گردند، جهت حذف مواد رنگی و حذف یون‌های فلزات سنگین و مواد آلاینده به‌طور وسیع مورد استفاده قرار می‌گیرند. اصلاح خواص شیمیایی و فیزیکی این مواد، نانوحفره‌ها با اتصال دادن گروه‌های عاملی آلی روی سطح آنها امکان جاذب‌هایی با گستره وسیعی از کاربردها پدید آورده است (Mansoori *et al.*, 2008; Zhang, 2010). نانوجاذب‌های خانواده SBA شامل: SBA-1، SBA-2، SBA-3، SBA-11، SBA-12، SBA-14، SBA-15 و SBA-16 می‌باشد که نام‌گذاری آنها بر اساس شکل می‌باشد.

SBA-15

در سال ۱۹۹۸ گروهی از محققین دانشگاه سانتاباربارا، با استفاده از سطح فعالیت‌های غیر یونی، موادی را به نام SBA-15 معرفی کردند. ساختار مواد نانومتخلخل SBA-15 تقریبا لانه زنبوری است به‌طوری‌که نانو حفره‌های شش وجهی به‌وسیله دیواره‌های سیلیکاتی پیوسته جدا می‌شوند. خواص منحصربه‌فرد الکل‌های مولکولی نانو حفره‌های SBA-15 مانند سطح ویژه بالا، نظم زیاد حفره‌ها، بزرگ بودن اندازه حفره‌ها، شکل منظم و یکنواخت حفره‌ها، پایداری حرارتی و گرمایی و خواص فیزیکی و شیمیایی، منجر به قابلیت‌های کاربردی آنها شده است. (Kaveh *et al.*, 2014) (شکل ۶).

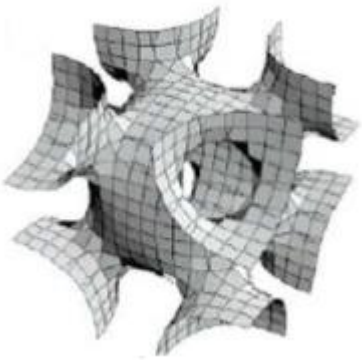


شکل۶: ساختار شماتیکSBA-15

[Downloaded from ornamentalaquatics.ir on 2026-11-11]
[DOR: 20.1001.1.24234575.1400.8.1.5.9]

SBA-16

این نانوجاذب‌ها دارای حفرات مربعی هستند که درون آن به صورت صلیب شکسته با دیواره‌های سیلیسی می‌باشد. از دیگر ویژگی‌های این نانوجاذب سطوح ویژه بالا، نظم زیاد حفره‌ها، بزرگ بودن اندازه حفره‌ها، شکل منظم و یکنواخت حفره‌ها، پایداری حرارتی و گرمایی و خواص فیزیکی و شیمیایی می‌باشد. این نانوجاذب‌ها نسبت به SBA-15 دارای مقاومت کم‌تر ولی کاربرد تقریباً مشابهی دارند (Zakariaee, 2015) (شکل ۷).



شکل۷: ساختار شماتیک SBA-16

نانوجاذب‌های تهیه شده از خاکستر

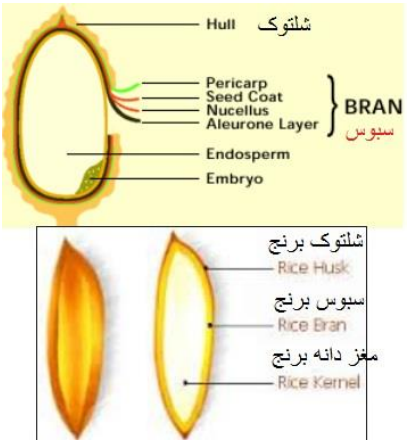
تحقیقات اخیر نشان داد که جاذب خاکستر به‌دلیل ارزان بودن نسبت به سایر جاذب‌ها از جمله کربن فعال، عدم نیاز به مرحله فعال سازی، دسترسی آسان به مواد اولیه مورد نیاز و توانایی حذف آلاینده‌ها کاربرد فراوانی دارد (Ghanizadeh and Asgar, 2009). از جمله جاذب‌هایی که به صورت خاکستر تهیه می‌گردند می‌توان به خاکستر برگ سدر (Divband *et al.*, 2011)، خاکستر باگاس ، خاکستر ذغال‌سنگ (Ahmaruzzaman, 2010)، خاکستر پوسته شلتوک (Wan Ngah *et al.*, 2002) و پوسته بادام (Mehri, 2008) اشاره کرد. این نانوذرات به دلیل طبیعی بودن دارای مضرات بسیار کم‌تری نسبت به سایر جاذب‌ها بوده و دارای قابلیت اتماد و اطمینان بیش‌تری در استفاده در تصفیه آب‌های ورودی به استخرهای آبزیان می‌باشد.

نانوذره خاکستر برگ سدر

گیاه کنار(سدر) (*Zizyphus Spinachristi*) گیاهی از خانواده عناب می‌باشد که در عربستان، شمال آفریقا و ایران در استان‌های خوزستان، فارس و هرمزگان به صورت خودرو رشد می‌کند (Paulino *et al.*, 2008). این گیاه بسیار ارزان بوده و دارای اثرات مثبت در حذف آلاینده‌ها و جذب فلزات سنگین از محیط آبی می‌باشد. تحقیقات Divband و همکاران (۲۰۱۱) نشان داد که با افزایش مقدار نانوجاذب خاکستر برگ سدر، کارایی حذف سرب افزایش می‌یابد زیرا تعداد جایگاه‌های جذب قابل دسترس، افزایش یافته که در نتیجه کارایی جاذب برای حذف یون فلزی افزایش می‌یابد. همچنین افزایش مقدار جاذب، احتمال برخورد جاذب را با کاتیون‌های فلزی افزایش می‌دهد و سبب افزایش جذب کاتیون‌ها می‌گردد.

نانوذره خاکستر پوسته شلتوک

پوسته شلتوک از برنج (شالی) به‌دست می‌آید.طی تحقیقاتی ثابت شد که از پوسته شلتوک به عنوان نانوجاذب در حذف و جذب فلزات سنگین استفاده می‌گردد. Wan Ngah و همکاران (۲۰۰۲) جذب سرب از پساب صنعتی به‌وسیله خاکستر پوسته شلتوک را مورد بررسی قرار دادند و نتیجه گرفتند جذب سرب با افزایش میزان جاذب و زمان تماس افزایش می یابد. همچنین Mehri (۲۰۰۶) نشان داد که نانوذرات خاکستر پوسته شلتوک و خاکستر پوسته بادام سبب کاهش EC آب به مقدار ۸۱/۵ و ۹۲/۵ درصد شدند (شکل ۸).



شکل۸: ساختار شماتیک شلتوک

[Downloaded from ornamentalaquatics.ir on 2026-11-11]
[DOR: 20.1001.1.24234575.1400.8.1.5.9]

نانوجاذب‌های GH-92 سنتز شده از اسفنج‌های خلیج فارس

اسفنج‌ها جزو ساده‌ترین موجودات پرسلولی هستند که از یکدیگر متمایز می‌باشند. شکل بدن در تمام گونه‌ها یکسان است که منافذی سطح بدن آنها را می‌پوشاند. تمامی اسفنج‌ها در محیط‌های آبی وجود دارند. بین سلول‌های اسفنج‌ها هماهنگی وجود ندارد و آنها می‌توانند از چند سلول مجزا دوباره به‌وجود آیند. اسفنج‌ها از دیرباز مورد استفاده انسان‌ها و سایر حیوانات قرار می‌گرفتند و برخی از آنها از نظر اقتصادی مهم می‌باشند و به دلیل ساختار سیلیکونی خاصی که دارند، می‌توانند جایگاهی مناسب برای جذب مواد و فلزات، لارو آبزیان و در برخی موارد خوراک ماهی‌ها باشند (Kotpal, 1998). بر اساس تحقیقات Ghafuriyan و همکاران (۲۰۱۵) در بررسی اثر نانوجاذب GH-92 ساخته شده از اسفنج دموسپونژیای خلیج فارس Niphatidot در جداسازی و حذف دو فلز سنگین سرب و کادمیوم از محلول‌های آبی ثابت شد که این اسفنج قادر است مقادیر متفاوتی از یون‌های مذکور را جذب نماید. به‌علاوه، میزان جذب کلسیم، منیزیوم و کبالت به‌وسیله این اسفنج بسیار ناچیز بود و بیش‌ترین ظرفیت جذب مربوط به یون کادمیوم و سرب می‌شد (شکل ۹ و جدول ۱).



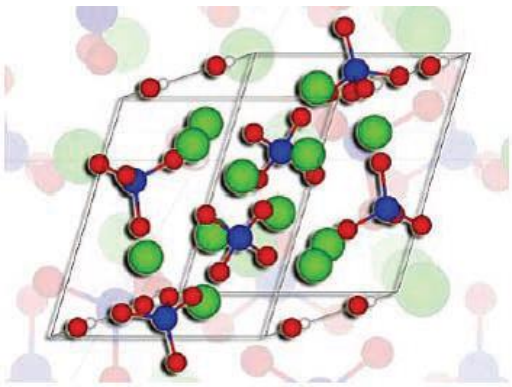
شکل ۹: اسفنج دموسپونژیا (*Niphatidot*)

جدول۱: تعیین ساختار اسفنج دموسپونژیا (Ghafuriyan *et al.*, 2015)

اسفنج	سطح (مترمربع بر گرم)	حجم منافذ (میلی‌متر بر گرم)	قطر منافذ (نانومتر)
دموسپونژیا	۶/۸۳۶	۰/۰۲۱	۲/۷۶۵

نانوجاذب هیدروکسی آپاتیت

هیدروکسی آپاتیت از توانایی‌های خاصی در جایگزینی استخوان‌ها یا دندان‌های آسیب دیده و نیز در جذب فلزات سنگینی مانند سرب، کادمیم، روی، آرسنیک، وانادیم و اورانیم برخوردار بوده که در چند دهه اخیر تحقیقات زیادی در این زمینه صورت گرفته است. زیرا این ماده دارای ساختار کریستالوگرافی و خواص شیمیایی مشابه با انواع استخوان‌های موجود در جانداران زنده می‌باشد (Mobasherpour, 2006). مهم‌ترین عضو گروه آپاتیت‌ها کلسیم هیدروکسی آپاتیت با فرمول $Ca10(PO4)6(OH)$ بوده که اغلب با عنوان هیدروکسی آپاتیت شناخته می‌شود. هیدروکسی آپاتیت دارای سلول واحد پیچیده و نسبتا بزرگی است که احتمال از دست رفتن یکپارچگی در آن زیاد می‌باشد. هم‌چنین هنگام تهیه هیدروکسی آپاتیت به روش‌های محلول، احتمال باقی ماندن فازهای اولیه و میانی در محصول نهایی وجود دارد. هیدروکسی آپاتیت بلورین دارای ساختمان هگزاگونال بوده اما در نتیجه جایگزینی‌های ایزومرفی، امکان تبدیل ساختار هگزاگونال به مونوکلینیک نیز وجود دارد. این ترکیب به دلیل وجود مناطق سطحی واکنش‌پذیر گوناگون، دارای توانایی جذب فلزات سنگین از اکوسیستم‌های آبی می‌باشد. در بررسی Mobasherpour و همکاران (۲۰۰۶) بر تاثیر فرآیند عملیات حرارتی بر رشد نانو جاذب هیدروکسی آپاتیت در حذف فلزات سنگین ثابت شد که نانو بلورک‌های هیدروکسی آپاتیت با ساختار هگزاگونال و پایدار قادر به جذب فلزات سنگین از محیط‌های آبی می‌باشند (شکل ۱۰).

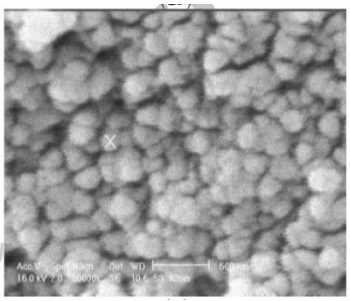


شکل ۱۰: ساختار بلورین هیدروکسی آپاتیت

[Downloaded from ornamentalaquatics.ir on 2026-11-11]
[DOR: 20.1001.1.24234575.1400.8.1.5.9]

نانوجاذب کیتوزان

کیتوزان پلیمری آب‌دوست و کاتیونی است که از حذف گروه‌های استیل کیتین در محیط بازی به‌دست می‌آید و به عنوان یک جاذب معروف به طور گسترده در جذب و حذف فلزات سنگین به‌کار می‌رود (Ekhlasi *et al*., 2013). این پلیمر طبیعی از منابعی مانند پوست خرچنگ، میگو، کوتیکول حشرات و دیواره سلولی برخی از قارچ‌ها و جلبک‌ها استخراج می‌گردد. کیتوزان به واسطه جذب، تبادل یونی و کی‌لیت شدن، قادر به ترکیب با یون‌های فلزی است، به‌همین دلیل دارای کاربرد گسترده‌ای در جذب فلزات سنگین از محیط‌های آبی می‌باشد (Krajewska, 2004). کیتوزان با فرآیندهای فیزیکی و شیمیایی به منظور تهیه مشتقات آن، با تغییر در وضعیت پلیمری این ترکیب اصلاح گردیده و به صورت‌های متفاوت غشا، بید، نانوذرات، پودر و فیبر عرضه می‌شود (Wan Ngah *et al*., 2002; Pillai *et al*., 2009). ویژگی منحصربه‌فرد نانوذرات از لحاظ اندازه ذرات بسیار کوچک و مساحت سطح زیاد ظرفیت جذب بالایی برای یون‌های فلزی ایجاد کرده است (Janes *et al*., 2001). جذب یون‌های اورانیوم، نیکل، وانادیوم،کادمیوم و مس با کیتوزان مطالعه گردیده است (Guibal *et al*., 1994; Kyzas *et al*., 2009). این تحقیقات نشان داد که کیتوزان می‌تواند به عنوان جاذب به‌واسطه وجود گروه‌های آمین و هیدروکسیل به‌عنوان مکان‌های کی‌لیت کننده در حذف فلزات سنگین استفاده گردد. هم‌چنین جذب یون‌های فلزی با مشتقات کیتوزان مانند کیتوزان دارای اتصالات عرضی، کیتوزان متخلخل پلی‌آمین‌دار شده، بیدهای کیتوزان و کامپوزیت کیتوزان بررسی گردیدند (Nagib *et al*., 1999; Becker *et al*., 2000; Qi and Xu, 2004; Vasconcelos *et al*., 2008) (شکل ۱۱).



شکل ۱۱: تصویر SEM از نانوذرات کیتوزان

نانوذرات گرافن اکساید

در بین جاذب‌ها، نانوذرات گرافن اکساید به‌دلیل پتانسیل بالا، ظرفیت جذب و سطح ویژه بالایی که دارند، برای حذف فلزات سنگین از آب مورد استفاده قرار می‌گیرند (Sheshmani *et al*., 2013). گرافن، ماده‌ای دو بعدی و کریستالی است که طی سال‌های اخیر شناسایی و تحلیل شده است. صفحه‌ای ورقه‌ای شکل به ضخامت اتم کربن گرافن تک‌لایه می‌باشد و ازاتصال صفحات گرافن و قرار گرفتن اتم‌های کربن تشکیل می‌شوند. در یک صفحه گرافن، هر اتم کربن با۳ اتم کربن دیگر پیوند خورده است. این سه پیوند، در یک صفحه قرار دارند و زوایای بین آنها با یکدیگر مساوی و برابر با ۱۲۰ درجه می‌باشد. در این حالت، اتم‌های کربن در وضعیتی قرار می‌گیرند که شبکه‌ای از شش‌ضلعی‌های منظم ایجاد می‌کنند. البته این ایده‌ال‌ترین حالت یک صفحه گرافن است. در یک صفحه گرافن، هر اتم کربن، یک پیوند آزاد در خارج از صفحه دارد که این پیوند مکان مناسبی برای قرارگیری برخی از گروه‌های عاملی و نیز اتم‌های هیدروژن است (Naghizadeh and Momeni, 2015). یکی از ویژگی‌های گرافن، جذب آلاینده‌های آب و خاک می‌باشد. Rafal Sitko و همکاران (۲۰۱۳) با بررسی جذب یون‌های فلزات دوظرفیتی از محلول‌های آبی با استفاده از گرافن اکساید، مشاهده نمودند که حداکثر جذب در محدوده pH ۷-۳ برای مس ۵-۸ برای روی، ۴-۸ برای کادمیوم و ۳-۷ برای سرب به‌دست آمد.

بحث و نتیجه گیری

استفاده از فناوری نانو در حذف آلاینده‌های زیست محیطی از جمله روش‌هایی است که در سال‌های اخیر توجه زیادی را به‌خود جلب کـرده است. به دلیل رشد روز افزون صنایع وکارخانجات مختلف که نتیجه آن تولید و ورود هر چه بیشتر آلاینده ها به محیط زیست است, لزوم استفاده از روش‌های پر بازده و کم هزینه برای کاهش این آلودگی‌ها تا میزان مجاز استانداردهای زیست‌محیطی احساس می‌شود. فلزات سنگین از خطرناک ترین آلاینده‌های پساب‌های آبی محسوب می‌شوند که منجر به نارسایی‌ها و بیماری‌های مختلف در انسان می‌شوند (Mirrezai, 2013). یکی از مواد جاذب این فلزات، نانو لوله‌های کربنی است که یک عامل تصفیه ابداعی می‌باشد

[Downloaded from ornamentalaquatics.ir on 2026-11-11]
[DOR: 20.1001.1.24234575.1400.8.1.5.9]

و مـی‌توانـد آلاینده‌های زیادی را حذف کند. از جمله این آلاینده‌هـا می‌تـوان به فلزات سنگین، حشره‌کش‌ها، علف‌کش‌ها، رنگ‌هـا و هیـدروکربن‌هـای کلرینه اشاره نمود. اما بررسی‌ها نشان داد که روش‌های بسیار ساده‌تر و ارزان‌تری نسبت به این آلاینده‌ها وجود دارد که جایگزین آن گردیده‌اند. تحقیقات ثابت کرد که در برخی از موارد ترکیب نانو جاذب‌ها با یکدیگر دارای اثرات بهبود در مکانیسم جذب هستند که این امر بستگی به نوع جاذب دارد که حاوی اثرات خنثی‌گری یا اثرات متقابل نسبت به یکدیگر نباشند. Fan و همکاران (۲۰۱۳) مخلوطی از گرافناکساید و کیتوزان مغناطیسی (MCGO)[1] را به عنوان جاذب مورد آزمایش قرار داده و دریافتند که این مواد قادر به جذب بسیار بالایی از یون‌های سرب می‌باشند. بهترین جاذب‌ها، جاذب‌هایی می‌باشند که دارای کم‌ترین هزینه، بیش‌ترین کارایی و کم‌ترین میزان خسارات احتمالی باشند و از همه مهم‌تر به راحتی تهیه گردند. نانوجاذب‌ها به دلیل حجم کم و مساحت زیاد، دارای کارایی بالایی می‌باشند. از دیگر خصوصیات یک جاذب، دفع سریع و ارزان قیمت آن می‌باشد. به همین دلیل در سال‌های اخیر بیشترین کارایی و مصرف را نانوجاذب‌های مغناطیسی به‌خود اختصاص داده‌اند. مکانیسم عمل این نانوجاذب‌ها به‌گونه‌ای است که پس از اعمال مکانیسم و جذب فلزات سنگین، مگنت به‌راحتی آنها را جذب می‌کند و از محیط‌های آبی جدا می‌گردند. زیرا حضور نانو جاذب و انباشتگی آنها در محیط آبی احتمال رسوب آنها را در بدن آبزیان ناشی می‌گردد. نانو ذرات اکسیدهای فلز رسانا خواص اپتیکی، مغناطیسی و الکتریکی بیشتری را در مقایسه با فرم تودهای خود نشان می‌دهد (Koseoglu *et al*., 2005).

به طور کلی، می‌توان نتیجه گرفت تمامی جاذب‌ها علاوه بر دارا بودن خاصیت جاذب، مادامی که به صورت ذرات نانو درآیند، خاصیت جذب آنها بیش‌تر می‌شود و به دلیل اندازه کوچک دارای سطح جذب بسیار بزرگی هستند. به همین سبب نسبت به سایر جاذب‌ها دارای قیمت کم‌تر و کارایی بیش‌تری می‌باشند. هم‌چنین با توجه به تحقیقات ثابت شد که نانوجاذب‌ها دارای مضرات بسیار کم‌تری نسبت به جاذب‌های معمولی هستند و دفع آنها نیز از بدن موجودات زنده آبزی زودتر و آسان‌تر می‌باشد. به‌علاوه، استفاده از نانوجاذب‌هایی با منشا طبیعی علاوه بر ارزان و در دسترس بودن، نسبت به سایر نانوجاذب‌ها مضرات کم‌تری دارد و با اطمینان خاطر بیش‌تری استفاده می‌گردند.

رهیافت‌های ترویجی

با توجه به این‌که در سال‌های اخیر کاربرد فناوری نانو در صنعت آبزی‌پروری جایگاه ویژه‌ای یافته و با توجه به این‌که فلزات سنگین آسیب‌های بسیاری در پرورش آبزیان به‌ویژه آبزیان زینتی ایجاد می‌کنند، کاربرد نانوجاذب‌ها در حذف این دسته از فلزات رایج گردیده است. دو دسته از نانوجاذب‌ها دارای بیش‌ترین کارایی می‌باشند: دسته اول نانوجاذب‌های با منشا طبیعی هستند که در صورت جذب از طریق بدن آبزی به آسانی قابلیت دفع دارند و به دلیل طبیعی بودن دارای ضرر قابل توجهی نمی‌باشند و دسته دوم نانوجاذب‌های مغناطیسی هستند که پس از اعمال مکانیسم به‌راحتی از محیط جدا می‌گردند.

منابع

Ahmaruzzaman, M., 2010. A review on the utilization of fly ash. *Progress in Energy and Combustion Science*, 36(3):327-63.

Bahari Molla Mahaleh, Y., Sadrnezhaad, S.K. and Hosseini, D., 2008. NiO Nanoparticles Synthesis by Chemical Precipitation and Effect of Applied Surfactant on Distribution of Particle Size. *Hindawi Publishing Corporation Journal of Nanomaterials*, 4: 1-7.

Becker, T., Schlaak, M. and Strasdeit, H., 2000. Adsorption of nickel (II), zinc (II) and cadmium (II) by new chitosan derivatives. *Journal of Reactive and Functional Polymers*, 44(3): 289-298.

[1] Magnetic Chitosan Graphene Oxide

[Downloaded from ornamentalaquatics.ir on 2026-11-11]
[DOR: 20.1001.1.24234575.1400.8.1.5.9]

Bundschuh, J., Parvez, F., Román-Ross, G., Nicolli, H., Jean, J., Chen-Wuing, L., Dina López, k., María, A., Armienta, R. G., Lorena, C., Luis, C. and Regla, T., 2001. One century of arsenic exposure in Latin America: A review of history and occurrenc from 14 countries. *Science of the Total Environment*, 1, 156: 43 –52.

Chappell, R., Calderon, R. and Thomas, D., 2002. Arsenic Exposure and Health Effects Proceedings of the Fifth International Conference on Arsenic Exposure and Health Effects, San Diego, California July14 – 18.

Chen, J.H., Wang, Y.J., Cui, Y.X., Wang, S.Q., and Chen, Y.C., 2010. Adsorption and desorption of Cu (II), Zn (II), Pb (II), and Cd (II) on the soils amended with nanoscale hydroxyapatite. *Journal of Environmental Progress and Sustainable Energy*, 29(2): 233-241.

Divband, L., Behzad, M., Brumandnasab, S. and Divband, S., 2011. Performance evaluation of nanoparticles made from Cedar leaf ash (*Zizyphus Spinachristi)* on removal of lead from aqueous solutions. *Journal of Health and Environment, Journal of Environmental Health Research Association*, spring 2012, V (1): 51-62.

Dos, S., 2007. Box-Behnken design: An alternative for the optimization of analytical methods. *Analytica Chimica Acta*, 11: 597-605.

Ekhlasi, L., Uonesi, H., Mehraban, Z. and Bahramifar, N., 2013. Chitosan nanoparticle synthesis and application of metallic ions from aqueous solutions. *Journal of Water and Wastewater*, 1: 10-18.

Fan, L., Luo, C., Sun, M., Li, X. and Qiu, H., 2013. Highly selective adsorption of lead ions by water-dispersible magnetic chitosan/graphene oxide composites. *Colloids Surf B Biointerfaces*, 103:523-9.

Gajjar, P., Pettee, B., Britt, D.W., Huang, W., Johnson, W.P. and Anderson, A.J., 2009. Antimicrobial activities of commercial nanoparticles against an environmental soil microbe, Pseudomonas putida KT2440. *Biological Engineering*, 1-13.

Ghafuriyan, H., Khodadadhosseini, H. and Rabbani, M., 2015. The new sorbent GH-92 using the Persian Gulf cloth for separation of lead and cadmium. *Journal of Water and Wastewater*. 2, 12. (In persian)

Ghanizadeh, Gh. and Asgari, G., 2009. Removal of methylene blue dye from synthetic wastewater with bone char. *Iranian Journal of Health and Environment*, 2(2):104-113 (In Persian).

Guibal, E., Saucedo, I., Roussy, J. and Le Cloirec, P., 1994. Uptake of uranyl ions by new sorbing polymers: Discussion of adsorption isotherms and pH effect. *Journal of Reactive Polymers*, 23(2-3): 147-156.

Haghipour, M., Sudagar, M., Mazandarani, M. and Hosseinifar, S.H., 2015. Effect of different levels of Isomalto oligvsacarid prebiotics on growth, survival and resistance to salt stress in fish Common carp (*Cyprinus carpio*). *Journal of Animal Ecology*, 7(3): 235-240.

[Downloaded from ornamentalaquatics.ir on 2026-11-11]
[DOR: 20.1001.1.24234575.1400.8.1.5.9]

Henke, K., 2009. Environmental Chemistry A, Health Threats and Waste Treatment This edition first published 2009 John Wiley & Sons Ltd: University of Kentucky Center for Applied Energy Research, USA.

Heidary, R., Afshar, Z., Sadeghi, D. 2014. Using Nanotechnology in Environment. *Zist Sepehr*. 10:47-51

Hou, Ch.W., Shu, H. Ch., Pao, Ch.H., Jyh, F. H. and Moo, B.Ch., 2008. Catalytic oxidation of gaseous PCDD/Fs with ozone over iron oxide catalysts. *Chemosphere*, 71: 388–397.

Hu, J., Zhu, X. and Wang, X., 2009. Removal of chromium from aqueous solution. by using oxidized multiwalled carbon nanotube.*Journal of Hazardous Material*. 162: 1542– 1550.

Huang, S.H. and Chen, D.H., 2009. Rapid removal of heavy metal cations and anions from aqueous solutions by an amino-functionalized magnetic nano-adsorbent. *Journal of Hazardous Materials*, 163(1):174-179.

Janes, K.A., Fresneau, M.P., Marazuela, A., Fabra, A. and Alonso, M.J., 2001. Chitosan nanoparticles as delivery systems for doxorubicin. *Journal of Controlled Release*, 73(2-3): 255-267.

Kabbashi, N., Al-Mamun, A. and Mirghami, M., 2009. Kinetic adsorption of application of carbon nanotubes for Pb (II) removal from aqueous solution. *Journal of Environmental Sciences*, 21: 539–544.

Kandaha, M., 2007. Removal of nickel ions from water by multi-walled carbon nanotubes. *Journal of Hazardous Materials*, 146: 283–288.

Kanel, S.R., Manning, B., Charlet, L. and Choi, H., 2005. Removal of arsenic (III) from groundwater by nanoscale zero − valent iron. *Journal of Environment Science Technology*, 39: 1291-1298.

Kaveh, F., Habibi juybari, M. and Ahmadiyan, M.R., 2014. Absorption of nickel ions in aqueous solutions using nano-absorbent hybrid organic - inorganic porous SBA-15 Functionalized. Second National Conference on Chemical Gorgan, Islamic Azad university, Gorgan Branch, 6 and 7 Esfand 2014.

Koseoglu, Y., Yildiz, F.F., Alvarez, G.S., Toprak, M., Muhammed, M. and Aktas, B. 2005. Phys. Status Solidi (b) 42:1712.

Kotpal, R.L., 1998. *Porifeva*, Rastogi Pub. Meerut, India.

Krajewska, B., 2004. Application of chitin- and chitosan-based materials for enzyme immobilizations: A review. *Journal of Enzyme and Microbial Technology*, 35(2-3): 126-139.

Kumar, P. and Singh, A., 2010. Cadmium toxicity in fish: An overview. *GERF Bulletin of Biosciences*, 41- 47.

Kundu, N., 2005. Planning for Aquatic Production in East Kolkata Wetlands. UA-Magazine, 24-26.

Kyzas, G. Z., Kostoglou, M. and Lazaridis, N.K., 2009. Copper and chromium (VI) removal by chitosan derivatives-Equilibrium and kinetic studies. *Journal of Chemical Engineering*, 152(2-3): 440-448.

Lai, T.L., Wang, W.F., Shu, Y.Y., Liu, Y.T. and Wang, C.B., 2007. Evaluation of microwave-enhanced catalytic degradation of 4-chlorophenol over nickel oxides. *Journal of*

[Downloaded from ornamentalaquatics.ir on 2026-11-11]
[DOR: 20.1001.1.24234575.1400.8.1.5.9]

Molecular Catalysis A: Chemical, 273: 303–309.

Mahdavi, Sh., Amini, N. and Molavi, P., 2014. The effect of nano-nickel oxide sorbent for the removal of heavy metals copper and cadmium from water. International Conference on Sustainable Development, strategies and challenges, with a focus on agriculture, Natural Resources, Environment and Tourism, 9 P.

Malakutiyan, M. and Khazai, A., 2014. Compare the performance of nano zero valent iron and manganese compounds for the removal of cadmium ions from aqueous solutions. Journal of Medical Sciences of Ilam. Course of twenty second, No 2, Khordad 2014. 93-103.

Mansoori, G. A., Rohani, T., Bastami, A. and Ahmadpour, Z., 2008. *Annual Review of Nano Research*, 2(2): 1 -71.

Mehri, E., 2008. Reduction of irrigation water EC using nano particles in porous media of sand filter in trickling irrigation system [Dissertation]. Isfahan: Isfahan University of Technology (In Persian).

Mirrezai, N., Ziyati, M., Nikazar, M. and Hasanzadeh, M., 2013. Study of Synthesis and Function of iron nanoparticles for the removal of heavy metals from aqueous solutions. The first national conference on new technologies in chemistry and chemical engineering, Tehran, Cooperative Research Vista, http://www.civilica.com/Paper-NCNC01-NCNC01_595.html.

Mobasherpour, E., 2006. Preparation and Characterization Hydroxyapatite - Zirconia alumina for use as a dental implant. Thesis Master of Materials Engineering (ceramic), Institute for Materials and Energy, Karaj.

Mobasherpour, E., Salahi, E. and Pazuki, M., 2009. The influence of heat treatment on the growth of nano-adsorption of hydroxyapatite in the removal of heavy metals. *Journal of Nanocomposite Materials*, 3(1): 157-164.

Mona, Sh., 2011. Biosorption of chromium (VI) by s pent cyanobacterial biomass from a hydrogen fermentor using Box-Behnken mode. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 656 – 663.

Moradi, M., 2009. Experimental study on removal of heavy metal ions from aqueous solution by poly vinyl alcohol coated Fe3O4 magnetic nanoparticles [Dissertation]. Isfahan: Isfahan University of Technology (In Persian.).

Naghizadeh, A. and Momeni, F., 2015. The efficiency of graphene oxide nanoparticles for the removal of chromium and lead from aqueous solutions. *Journal of Birjand University of Medical Sciences*, 22, 1, Spring 2015.

Nagib, S., Inoue, K., Yamaguchi, T. and Tamaru, T., 1999. Recovery of Ni from a large excess of Al generated from spent hydrodesulfurization catalyst using picolylamine type chelating resin and complexane types of chemically modified chitosan. *Journal of Hydrometallurgy*, 51(1):73-85.

Nateghi, R., Bonyadinezhad, Gh., Amin, M.M. and Asadi, A., 2099. The use of nickel oxide nanoparticles as an efficient adsorbent for the removal of dyes from synthetic wastewater.

[Downloaded from ornamentalaquatics.ir on 2026-11-11]
[DOR: 20.1001.1.24234575.1400.8.1.5.9]

Journal of Health System, 6th years, Special Issue 2010, 1015-1021.

Nezhadmoghaddam, Sh. and Safari, R. 2016. Study of some hematological indicators of common carp (*Cyprinus carpio*) by adding *Ferula assafoetida* powder to the diet. *National Conference on Aquaculture and Sustainable Aquatic Ecosystem.* pp.119-120.

Paulino, A.T., Santos, L.B. and Nozaki, J., 2008. Removal of Pb^{2+}, Cu^{2+}, and Fe^{3+} from battery manufacture wastewater by chitosan produced from silkworm chrysalides as a low-cost adsorbent. *Reactive & Functional Polymers*, 68(2):634-42.

Pillai, C.K.S., Paul, W. and Sharma, C.P., 2009. Chitin and chitosan polymers: Chemistry, solubility and fiber formation. *Journal of Progress in Polymer Science*, 34(7): 641-678.

Qi, L. and Xu, Z., 2004. Lead sorption from aqueous solutions on chitosan nanoparticles. *Journal of Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 251(1-3): 183-190.

Rafal Sitko A, Edyta Turek A, Beata Zawisza A, Ewa Malicka A, Ewa Talik B, Jan Heimann B., 2013. Adsorption of divalent metal ions from aqueous solutions using graphene oxide. Dalton Trans. 2013; 42: 5682-9.of lead adsorption. *Quarterly Journal of Applied Researches in Chemistry (JARC)*, 6(4):17-23. [Persian]

Rahmani, A., Zavvar Mousavi, H. and Fazli, M., 2010. Effect of nanostructure alumina on adsorption of heavy metals. *Desalination*, 253(1-3):94–100

Samadi, M.T., Saghi, M.H., Ghadiri, K. and Hadi, M., 2010. Beikmohammadi M. Performance of simple nano zeolite Y and modified nano zeolite Y in phosphor removal from aqueous solutions. *Iranian Journal of Health and Environment*, 3(1):27- 36 (In Persian).

Saxsena, R. and Garg, P., 2011. Vitamin E provides protection against in vitro oxidative stress due to pesticide (Chlorpyrifos and Endosulfan) in goat RBC. *GERF Bulletin of Biosciences*, 1-6.

Schulz, M., 2006. Introduction to carbon nanotube and nanofiber smart materials, *Composites: Part B*, 37: 382–394.

Scown, T.M., Aerle, R.V., Johnston, B.D., Cumberland, S., Lead, J.R., Owen, R. and Tyler C.R., 2009. High doses of intravenously administered titanium dioxide nanoparticles accumulate in the kidneys of rainbow trout but with no observable impairment of renal function. *Toxicological Sciences*, 372-380.

Sheela, T. and Nayaka, Y.A., 2012. Kinetics and thermodynamics of cadmium and lead ions adsorption on NiO nanoparticles. *Journal Chemical Engineering*, 15:123-31

Sheshmani, S.H., Arab Fashapoyeh, M. and Amini R., 2013. Iron (iii) hydroxide / graphene oxide nano composite and investigation of lead adsorption. *Journal of Applied Researches in Chemistry (JARC*), 6, 4; 17 -23.

Sudagar, M., Sedghpour sabet, S., Zakariaee, H., Dadgar, Sh. and Karamad, A., 2015. Effects of ovaprim, ovafact and pituitary extract on artificial reproduction of Kutum

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

[DOR: 20.1001.1.24234575.1400.8.1.5.9]

(*Rutilus frisii kutum*). *Journal of Applied Ichthyological Research*, in Press.

Tonkin, J.W., Balistrieri, L.S. and Murray, J.W., 2004. Modeling sorption of divalent metal cations on hydrous manganese oxide using the diffuse double layer model. *Applied Geochemistry*, 19:29-53.

Usefi, Z., Diyanatitilki, R., Mohammadpoor tahamtan, R., Ebrahimi, P. and Seyedirad, M., 2013. Optimization of single-walled carbon nanotubes removal of arsenate by response surface methodology (RSM). *University of Medical Sciences of North Khorasan*, 5(2): 501 - 510. (In persian)

Vasconcelos, H.L., Camargo, T.P., Gonçalves, N.S., Neves, A., Laranjeira, M.C.M. and Favere, V.T., 2008. Chitosan crosslinked with a metal complexing agent: Synthesis, characterization and copper (II) ions adsorption. *Journal of Reactive and Functional Polymers*, 68(2): 572-579.

Wan Ngah, W.S., Endud, C.S. and Mayanar, R., 2002. Removal of copper (II) ions from aqueous solution onto chitosan and cross-linked chitosan beads. *Journal of Reactive and Functional Polymers*, 50(2): 181-190.

Wong, K.K., Lee, C.K., Low, K.S. and Haron, M.J., 2003. Removal of Cu and Pb by tartaric acid modifiedrice husk from aqueous solution. *Chemospher*, 50(1):23-8.

Zakariaee, H. and Sudagar, M., 2016. Aquaponic and its importance in aquaculture. 3rd International Conference on Applied Research in Agriculture Sciences. 19 februery 2016.

Zakariaee, H. and Sudagar, M., 2016. Methods of enriching Artemia and use it in aquaculture. The The third Conference of Fisheries and Aquaculture in Iran. 17 Februery 2016.

Zakariaee, M.R., 2015. Removal of nickel ions in aqueous solutions using nano-absorbent hybrid organic - inorganic porous SBA-16 Functionalized. Master's thesis, Islamic Azad University, Gorgan Branch, Department of Chemistry, Supervisor: Fariborz Kaveh, 66 P.

Zavarmusavi, S.H., Fazli, M. and Rahmani, A., 2011. Removal of cadmium from aqueous solutions by γ - alumina nano. *Journal of Water and Wastewater* 22 / 80. http:// www. civilica.com/Paper - JR_WWJ-JR_WWJ - 22-80 _ 004.html. (In persian)

Zhang, Y. and Pagilla, K., 2010. Desalination, 263: 36- 44.

Zhu, H., Jia, Y., Wu, X. and Wang, H., 2009. Removal of arsenic from water by supported nano zero-valent iron on activated carbon. *Journal Hazard Materials*, 172:1591-6.

Zhua, H., Xing, W. and He, W., 2006. Removal of arsenic from water by supported nano zerovalent iron on activated carbon. *Journal of Hazardous Materials*, 3: 159-165.

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

[DOR: 20.1001.1.24234575.1400.8.1.5.9]

Nano-adsorbents and their application in removing heavy metals from aquatic ecosystems and aquarium

Safari R.[1*]; Zakariaee H.[1]; Forouzad M.[2]

[*]fisheriessafari@yahoo.com

1-Department of Fisheries and Environmental Sciences, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran
2-Iranian Fisheries Science Research Institute (IFSRI), Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran

Abstract

Nowadays, releasing of heavy metals to aquatic systems is increasing due to development of various industries and factories. Heavy metals are highly resistant to degradation and could accumulate in ornamental fish and other fish body as a human food chain and be dangerous for human health. Removing of these pollutants from water using common methods are very time-consuming and sometimes expensive. Thus, nanotechnology introduced to solve this problem, recently. Nanotechnology plays a key role in pollution prevention, identification, measurement and treatment of heavy metals. Reactivity properties of nanoparticles in converting harmful pollutants to harmless substances due to small size, high surface area, crystalline form and unique network has been proved. Nanoparticles mechanisms are very different according to their structures. This study was investigated types of Nano-adsorbents and their application in removing heavy metals from aquatic ecosystems and aquariums.

Keywords: Nano-adsorbents, aquatic ecosystems, heavy metals, aquarium.

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

[DOR: 20.1001.1.24234575.1400.8.1.5.9]