مقاله مروری

فصلنامه انسان و محیط زیست، شماره ۶۱، تابستان ۱۴۰۱ صص ۷۱-۸۴

مروری بر کاربرد نانو جاذبها در سیستمهای تصفیه آب و پساب

سیده هدی رحمتی [۱] *

rahmati@srbiau.ac.ir

خشایار محمدبیگی [۲]

روح الله باقری [۳]

سید مصطفی ساداتی کیادهی [۴]

تاریخ دریافت: ۹۷/۱۰/۱۱ **تاریخ پذیرش: ۹۸/۰۱/۲۶**

چکیده

زمینه هدف : در دهه اخیر، تحقیقات گسترده‌ای در زمینه کاربرد نانو جذبها در صنایع آب و فاضلاب شده است. بطور کلی این نانو ذرات به نانولوله‌های کربنی، نانوجاذبهای پلیمری، زئولیتها و نانوذرات اکسیدهای فلزی تقسیم می‌شوند. نانوتیوبهای کربنی دارای سطح ویژه فعال بالایی هستند ضمن آنکه استفاده مجدد آسانی دارند. نانو ذرات اکسیدهای فلزی، دارای خاصیت انتخاب پذیری مناسب برای جذب ترکیبات سمی و فلزات سنگین هستند. نانو جاذبهای پلیمری دارای عملکرد دوگانه (پوسته داخلی جذب ترکیبات آلی، شاخه‌های خارجی جذب فلزات سنگین)، قابلیت استفاده مجدد دارند و زئولیتها دارای سطح ویژه و قابلیت جذب بالایی هستند. در این مقاله مروری ضمن بررسی نانو جاذبها، کاربردهای آنها در سیستمهای تصفیه آب و پساب، مورد مطالعه قرار گرفته است.

روش بررسی : اطلاعات و داده های تحقیق مطابق روش مقالات مروری از طریق جستجوی بانکهای مراجع مقاله ها و منابع علمی و پژوهشهای انجام شده در داخل کشور و خارج از ایران در زمینه کاربرد نانو جاذبها در سیستمهای تصفیه آب و فاضلاب، انجام شده است.

یافته ها : نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که در ایران، تحقیقات زیادی بر کاربرد نانوجاذبهای اکسیدهای آهن و نانو لوله‌های کربنی شده است ولی در زمینه نانو ذرات نقره که داری خاصیت ضد باکتری بالایی جهت حذف ویروسها، باکتریها و قارچها از آب و پساب هستند، پژوهشهای کمتری انجام شده است.

۱- استادیار گروه مهندسی محیط زیست- منابع آب، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران(مسئول مکاتبات)

۲- دانشجوی دکتری مهندسی محیط زیست، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

۳- دانشجوی دکتری مهندسی محیط زیست، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

۴- دانشجوی دکتری مهندسی محیط زیست، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

بحث و نتیجه گیری: با توجه به توسعه و کاربردهای نانوجاذبها در زمینه سیستمهای تصفیه آب و پساب، پیشنهاد می‌شود تا در مراکز پژوهشی و علمی کشور، پژوهشهایی با دیدگاه کاربردی و صنعتی مد نظر قرار گیرد تا امکان بازیابی آب و بهینه سازی سیستم تصفیه میسر شود.

کلید واژه : نانوجاذب، تصفیه، آب، پساب

Human and Environment, No. 61, Summer 2022, pp. 71-84

An Overview of Nano Adsorbents Application in Water and Wastewater Treatment System

Seyedeh Hoda Rahmati [1 *]
rahmati@srbiau.ac.ir
Khashayar Mohamadbeigy [2]
Rohollah Bagheri [3]
Seyed Mostafa Sadati Kiadehi [4]

Received: January 1, 2019 **Accepted: April 15, 2019**

Abstract

Background and Objective: In recent decade, various researches have been performed on the application of nanoparticles in the water and wastewater industries. In generally, these nanoparticles are divided to carbon nanotubes, metal oxide nanoparticles. Carbon nanotubes have a high active specific surface, while easy reuse. Metal oxide nanoparticles have the proper selectivity for absorbing toxic compounds and heavy metals. Polymeric nanoadsorbents have Bifunctional (inner shell adsorbs organics, outer branches adsorb heavy metals) and reusable. Zeolites have high specific surface and adsorption ability. In this paper has been studied a review of nanoadsorbents and their applications in water and wastewater treatment systems.

Analysis methodology: Research documents and data have been gathered based on review articles methodology by searching the reference data banks of articles and scientific resources and researches conducted inside and outside Iran in the field of nano adsorbents for water and wastewater treatment systems.

Findings: The results of this study shows that there are many research about iron oxide and carbon nanotubes, but less research is done in the field of silver nanoparticles with high antibacterial properties to remove viruses, bacteria and fungi from water and wastewater.

Discussion and Conclusions: Regard to development and applications of nanoabsorbents in the field of water and wastewater treatment systems, it is suggested that researches with an applied and industrial point of view be considered in the research and scientific centers of the country to enable the possibility of water recovery and optimization of the treatment system.

Key words: Nano adsorbent, Treatment, water, wastewater

1-Assistant Professor, Water Resources, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran. (Corresponding Author)
2- PhD Student, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran
3- PhD Student, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran
4 - PhD Student, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

مقدمه

کشور ایران جزو مناطق آب و هوایی خشک و نیمه خشک قرار دارد. همچنین رشد سریع جمعیت، استفاده بی رویه از منابع آبی موجب شده است تا براساس شاخص فالکن مارک، کشور ایران در آستانه بحران آبی قرار گیرد(۱). بنابراین لازم است تا ضمن مدیریت منابع آبی و استفاده بهینه، میزان هدر رفت آب در بخش تصفیه و مصرف کاهش یابد. بنابراین بهبود عملکرد سیستمهای تصفیه آب و پساب حائز اهمیت است. از اینرو لازم است که ارتقای راندمان تصفیه و استفاده از روشهای نوین جهت حصول به استانداردهای زیست محیطی، مدنظر قرار گیرد. سیستمهای تصفیه آب باید متناسب با شرایط جمعیتی و محیطی طراحی شوند بنابراین جاذبها با انتخاب‌پذیری و قابلیت جذب بالا می‌توانند ضمن بهبود سیستم عملیاتی تصفیه، کیفیت آب را ارتقا دهند. پیشرفت در فناوری نانو، امکان کاربرد این مواد را در فرایندهای تصفیه آب و پساب میسر کرده است. در سالهای اخیر، نانو جاذبها برای جذب فلزات سنگین، ترکیبات سمی، رادیو نوکلوئیدها، املاح آلی و معدنی، باکتری و ویروسها در سیستمهای تصفیه آب و پساب، توسعه یافتند(۲). پیشرفت در زمینه سنتز نانو جاذبها و کاربرد آنها در سیستمهای تصفیه آب و پساب، موجب ارتقای عملکرد تصفیه شده و بهبود در عملیات فرآیند را میسر می‌سازد. افزایش راندمان سیستم، کاهش فضای مورد نیاز برای تصفیه و همچنین عملیات پایا در شرایط مختلف از مزایای استفاده از نانو جاذبها در تصفیه آب و فاضلاب است. بنابراین با نانو جاذبها، امکان استفاده بهینه از منابع آبی برای گسترش و توسعه پایدار فراهم می‌گردد. ترکیب فناوری نانو پیشرفته با فرآیندهای متداول تصفیه، چشم انداز مناسبی برای توسعه واحدهای آب و فاضلاب فراهم کرده است. در این مقاله، مروری کلی بر نانوجاذبها در سیستمهای آب و فاضلاب شامل نانوجاذبها، فرآیندها و کاربردهای آنها ارائه گردیده است.

جذب سطحی

اساس پدیده جذب بر مبنای قابلیت جذب مولکولهای گاز یا مواد محلول بر روی سطح جامد است که این مواد جامد، جاذب نامیده می‌شوند. در جذب سطحی، جاذب متخلخل است و این منافذ، سطح بالایی را ایجاد می‌کنند و میزان جذب بستگی به سطح در معرض تماس، شرایط فرآیندی نظیر دما، فشار و قدرت برهمکنش جذب شونده و جاذب دارد. نانو ذرات به موادی با اندازه کوچکتر از ۱۰۰ نانومتر اطلاق می‌شود که این کاهش مقیاس، باعث افزایش سطح جاذب شده و قابلیت جذب افزایش می‌یابد. این امر موجب شده است تا نانوجاذبها، دارای پتانسیل بالایی برای فرایندهای حذف آلاینده های آلی و غیر آلی و ضدعفونی در سیستمهای تصفیه آب و پساب داشته باشند. علاوه بر صرفه جویی در میزان مواد جاذب، امکان کوچک سازی ابعاد تجهیزات فرآیندی تصفیه آب و فاضلاب را میسر می‌کند. با توجه به سطح خاص نانوجاذبها، آنها دارای خواصی منحصر به فردی بر مبنای اندازه آنها (انحلال سریع، واکنش پذیری بالا، جذب قوی) هستند. این ویژگیهای خاص مواد نانو، امکان توسعه مواد جدید با تکنولوژی بالا را برای فرآیندهای تصفیه آب و فاضلاب را فراهم می‌سازد.

کاربرد نانو جاذبها در سیستمهای آب و پساب

در توسعه جوامع شهری آب نقش مهمی ایفا می کند ولی در حال حاضر، دسترسی به منابع آب با کیفیت با چالشهای روبرو است. از سوی دیگر، با میزان تقاضای آب برای مصارف شهری، کشاورزی و صنعتی رو به افزایش می باشد بنابراین توجه به فناوریهای نوین تصفیه آب و پساب، حائز اهمیت است که یکی از این روشها استفاده از نانو مواد می‌باشد. فناوری نانو، چشم انداز روشنی برای توسعه سیستمهای تامین آب نسل جدید، ارائه داده است که دارای عملکرد بالا، تصفیه مناسب آب و کاهش آلاینده های پسابها می‌باشد.در سالهای اخیر، کاربردهای فناوری نانو در صنعت به عنوان کاتالیزور، پزشکی و داروسازی، سنجش گازها ، بیولوژی، محیط زیست و تصفیه آب و پساب پیشرفت چشمگیری داشته است (۳). استفاده از نانو ذرات بعلت سطح ویژه بالا و توانایی جذب و انتخاب پذیری بالا، مزایای زیادی در سیستمهای تصفیه آب و پسابهای صنعتی دارد و این نانو مواد می‌توانند به طور موثری در حذف آلاینده های آلی، انیونهای معدنی، باکتریها و فلزات سنگین از

محلولهای آبی و پسابها بکار روند. راندمان تصفیه آب با نانوذرات بستگی مستقیم به کارایی نانوذره دارد بنابراین با استفاده از نانو ذره مناسب، میتوان یک سیستم کارآمد طراحی کرد. مواد آلاینده بر روی سطوح فعال نانو جاذبها، جذب می شوند که این یک پدیده سطحی است و توسط نیروهای فیزیکی، گاهی اوقات، پیوند شیمیایی ضعیف در فرآیند جذب، انجام می‌شود که بستگی به عوامل متعددی نظیر دما، فشار، مشخصه های جاذب و جذب شونده، حضور همزمان آلاینده های دیگر، شرایط عملیاتی مانند pH، غلظت آلاینده‌ها، زمان تماس و اندازه ذرات بستگی دارد(۴). نانو مواد مورد استفاده در سیستم تصفیه آب و پساب شامل: نانو جاذبهای پایه کربنی مثل نانولوله های کربنی، نانو ذرات پایه فلزی، نانو ذرات پلیمری و زئولیتها هستند که به علت سطح فعال بالا، پتانسیل بالایی در جذب دارند و میزان جاذب در مقایسه با جاذبهای متداول کاهش می‌یابد بنابراین امکان استفاده از تجهیزات کوچکتر در سیستمهای تصفیه پساب میسر می گردد(۵). در جدول (۱) مزایا، معایب و کاربردهای این نانو ذرات ارایه شده است.

جدول ۱- خواص، کاربردها و جنبه های نوآورانه نانو جاذبها (۵)

Table 1- Properties, applications and innovative aspects of nano-adsorbents (5)

نانو جاذب	خصوصیات		کاربرد	نوآوری ها
	مزایا	معایب		
نانو جاذبهای فلزی	سطح جذب بالا، واکنش پذیری انتخابی	احتمال ریسک سلامتی	حذف مواد آلی و فلزات سنگین	افزایش سطح فعال
نانولوله‌های کربنی	سطح جذب بالا، ضد باکتری، قابلیت استفاده مجدد	هزینه تولید زیاد احتمال ریسک سلامتی	آلاینده های قابل تجزیه (داروها، آنتی بیوتیک ها)	نانولوله های کربنی فوق بلند با جذب نمک بسیار بالا
نانوجاذبهای پلیمری (دندریمرها)	عملکرد دوگانه (پوسته داخلی جذب ترکیبات آلی، شاخه های خارجی جذب فلزات سنگین)، قابل استفاده مجدد	فرآیند تولید چند مرحله‌ای پیچیده	حذف مواد آلی و فلزات سنگین	زیست تجزیه پذیر، زیست سازگار، بیو جاذب غیر سمی (ترکیبی از کیتوسان و دندریت)
زئولیتها	رهایش کنترل شده نانوسیلور، ضد باکتری	کاهش سطوح فعال بعلت بی تحرکی نانوسیلور	فرآیندهای ضدعفونی	نانو زئولیت ها با شکستگی القایی لیزر

برای بهبود عملیات تصفیه آب و پساب باید راهکارهای مناسب برای استفاده از نانو جاذبها درنظر گرفته شود. هر دو جاذب نانو لوله های کربنی و فلزی برای جذب فلزات سنگین مثل آرسنیک، کادمیوم، جیوه کاربرد دارند. در این زمینه، نانوذرات فلزی و زئولیتها از لحاظ اقتصادی و سازگاری با سیستم های تصفیه آب توسعه یافته اند.

در استفاده از نانو جاذبها، محدویتهای نظیر محدویتهای عملیاتی، هزینه های تولید بالا و احتمال خطر زیست محیطی و انسانی وجود دارد(۶)که جهت رفع این موانع، لازم است تا با حمایت دولت و موسسات تحقیقاتی، استفاده از این نانو جاذبها صنعتی شود. در صنعت برای جداسازی ترکیبات سمی و فلزات سنگین از روشهای مختلفی استفاده می شود که فرآیند جذب سطحی به دلیل سهولت و کم هزینه بودن برای تصفیه پساب مطرح می باشد. نانو جاذبها به دلیل سطح ویژه بالا، راندمان بالا و سهولت در جداسازی مورد توجه می باشند و در سالهای اخیر با گسترش فناوری نانو، استفاده از نانو جاذبها در تصفیه آب و پساب گسترش یافته است. این کاربردها در زمینه تصفیه آب و پسابها جهت جداسازی ترکیبات سمی و آلاینده، نمک زدایی، جداسازی فلزات سنگین می باشد. نتایج بررسی منابع و مراجع در این زمینه نشان می‌دهد که استفاده از فناوری نانو، موجب افزایش کارایی سیستم تصفیه آب و پساب می‌شود. جذب سطحی به عنوان یک روش موثر و اقتصادی

برای حذف فلزات سنگین از پسابهای صنعتی مطرح می‌باشد(۷). نانوذرات آهن، خاصیت واکنش پذیری زیادی دارند و استفاده از نانو ذرات مغناطیسی با پوششهای مناسب، امکان جذب ترکیبات آلاینده از آب را میدهد ضمن آنکه با استفاده از میدان مغناطیسی، میتوانند جدا شوند. از اینرو در زمینه تصفیه آب و جذب ترکیبات سمی کاربرد دارند (۸). در روش جذب سطحی ماده جاذب به دلیل داشتن مساحت سطح و حجم تخلخل زیاد قادر است آلاینده ها را به داخل حفرات خود جذب و از آب جدا نماید. نانو ذرات آهن نیز بدلیل داشتن مساحت سطح و حجم تخلخل قابل توجه توانایی جذب سطحی آلاینده ها از محیط آبی را دارا می باشند(۹). محققان با استفاده از زئولیت اصلاح شده با نانو ذرات اکسیدآهن جهت حذف نیترات بررسی کردند که نتایج نشان داد که امکان جداسازی بیش از ۸۰ درصد نیترات در محیط اسیدی(pH حدود شش) با میزان تزریق جاذب ۲ گرم بر لیتر میسر است. در این شرایط جذب نیترات از ایزوترم لانگمیر با معادله شبه درجه دو تبعیت می‌کند(۱۰). نانو جاذبها دارای ظرفیت بالا، گزینش پذیری زیاد و چگالی کم می باشند که امر موجب گسترش استفاده آنها در تصفیه آب و پساب شده است(۱۱). نانو جاذبهای متخلل سیلیکاتی می تواند سرب را از محلولهای آبی حذف کنند در پژوهشی که در این زمینه انجام شده است نتایج نشان می دهد که با این نانوجاذب، امکان حذف بیش از ۹۵ درصد سرب در شرایط بهینه میسر است(۱۲). در سالهای اخیر، نانو لوله های کربنی برای جذب ترکیبات سمی نظیر سرب و کادمیم مطرح شده اند که امکان جذب این ترکیبات مضر را از آب دارند. مشخصه های فیزیکی نانو لوله های کربنی نظیر مورفولوژی و سطح فعال آنها بر میزان جذب آنها موثر است(۱۳). همچنین برای جداسازی فلزات سنگین مانند نیکل و کادمیم، نانوالیاف پلی استایرن کاربرد دارند و در پژوهشی که در این زمینه انجام شده است نشان داد که درمحیط اسیدی (pH حدود پنج) بیشترین جذب به سطح این نانو الیاف رخ میدهد(۱۴). امکان جداسازی ترکیبات حلقوی بنزنی از محیط آبی با استفاده از نانو لوله های با پوشش ذرات اکسید روی میسر است که این امر، موجب حذف آلاینده های هیدروکربنی BTEX میگردد(۱۵). پژوهشی کاربردی برای حذف آلاینده های آلی از محلولهای آبی انجام شده است که کارایی خاک رس اصلاح شده با نانو ذرات ظرفیت صفر را نشان داد (۱۶). گسترش فناوری نانو، در زمینه حذف فلزات سنگین از آب موجب ارتقای سیستمهای تصفیه آب و پساب شده است(۱۷). در سالهای اخیر، استفاده از نانوذرات جهت جذب سطحی ترکیبات بعلت سطح ویژه بالا، انتخاب پذیری واکنش و راندمان بالای جذب گسترش یافته است(۱۸). حذف نیترات با استفاده از نانو جاذبها یکی از این کاربردهای صنعتی می‌باشد که به عنوان جایگزینی برای جاذبهای متداول، مطرح می‌باشد (۱۹). در تحقیقی امکان استفاده از نانو لوله های کربنی چند جداره اصلاح شده با بیوپلیمر کیتوسان جهت حذف فلزات سنگین، بررسی شده است که نتایج آن نشان داد که نانولوله‌های کربنی در شرایط بهینه، برای جذب سرب، روی و کادمیوم دارای کارایی بالایی هستند(۲۰). استفاده از خاصیت مغناطیسی در نانو جاذبها، امکان توسعه روشی برای جذب فلزات سنگین از پسابهاب معدنی را میسر کرده است(۲۱). برای حذف کادمیم از محلولهای آبی، استفاده از نانو رس نیز میسر است و چنانچه نتایج تحقیق نشان می دهد نانورس می تواند کادمیم را حتی در غلظت های بالا از آب جدا نماید(۲۲). ظرفیت جذب نانو اکسیدهای فلزی نظیر نانوذرات اکسید آهن، اکسید منگنز، اکسید آلومینیوم، اکسید تیتانیوم برای حذف فلزات سنگین از آب، متفاوت می باشد(۲۳). باید توجه داشت که فناوری نانو و استفاده از نانو جاذبها در تصفیه آب و پساب، از راهکارهایی است که در حال گسترش است(۲۴). بنابراین انتخاب جاذب متناسب با شرایط فرآیندی، باید با در نظر مسایل فنی و اقتصادی انجام شود(۲۵). نانو ذرات آهن برای کاهش میزان رنگ از پساب صنایع نساجی و رنگرزی، کاربرد دارند که میزان کاهش رنگ با زمان تماس رابطه مستقیم دارد(۲۶). همچنین نانو ذرات مغناطیسی با پوشش پلیمری نیز جهت حذف رنگ از آب، مورد استفاده قرار گرفته اند(۲۷). در پژوهشی با استفاده از نانو ذرات کیتوسان عامل دار شده با نیتریلوتری استیک

اسید، جذب فلزلت سنگین نیکل و سرب مورد مطالعه قرار گرفته است که نتایج میزان جذب نیکل و سرب را به ترتیب حدود ۲۸ و ۲۳ درصد نشان میدهد(۲۸). امکان جذب سطحی رنگزاهای نساجی با استفاده از نانوذرات فریت مس اصلاح شده با ۳-آمینو پروپیل تری متوکسی سیلان، در تحقیق دیگری انجام شده است که نشان می دهد رفتار ایزوترم جذب رنگزاها روی نانوذرات اصلاح شده، منطبق بر ایزوترم لانگمویر می‌باشد(۲۹). همچنین در پژوهشی از نانوجاذب بیولوژیکی تریکودرماهارزیانیوم در حذف رنگزای مالاکیت گرین، استفاده شده است که نشان می دهد قارچ تریکودرما هارزیانیوم، می تواند رنگزای مالاکیت گرین را تا حدود ۵۴ درصد جذب کند(۳۰).

حذف رنگزا از پساب با استفاده از نانوجاذب بایولوژیکی آتلیابومباسینا، نیز مطالعه شده است که نشان داد فرایند جذب از ایزوترم لانگمویر و مدل سینتیکی شبه مرتبه دوم تبعیت می کند(۳۱). در سال های اخیر، استفاده از نانو جاذب های مغناطیسی به علت سطح ویژه بالا، راندمان بالا و سهولت در جداسازی گسترش یافته است(۳۲). از لحاظ مقرارت زیست محیطی، میزان فلزات سنگین در پسابهای واحدهای صنعتی باید تا میزان استاندارد کاهش یابد بنابراین مطالعه‌ای بر روی جذب کاتیون ها و فلزات سنگین (سرب و ارسنیک)، آنیونها (نیترات) با گرانولهای ترکیبی از رس و نانورس انجام شده است که حاکی از امکان کاهش نیترات، ارسنیک با استفاده از این نانورس است(۳۳). در پژوهشی دیگر، حذف فلز کادمیوم به کمک نانو سلولز میکروبی وکیتوسان از پساب مطالعه شده است که نتایج نشان میدهد با افزایش دما و زمان میزان جذب فلز کادمیوم توسط جاذب افزایش می‌یابد (۳۴). امکان استفاده از نانولوله های چند جداره اکسیدشده به عنوان جاذب کلسیم و منیزیم و حذف سختی آب، در مطالعه تجربی انجام شده است که نشان دهنده کارایی بالا این نانولوله ها جهت تهیه آب دیونیزه می باشد(۳۵). مطالعه بر روی حذف جیوه از محلول های آبی با استفاده از جاذب نانو حفره کربنی نشان داد که امکان جداسازی مؤثر جیوه با استفاده از این روش میسر است.

نانوجاذبهای کربن می تواند در شرایط بهینه، میزان فلز جیوه را تا بیش از ۹۵ درصد جذب کنند بنابراین استفاده از این نانو جاذبها موجب بهبود کیفی پساب می‌شود (۳۶). پژوهشی در زمینه امکان حذف فلز سنگین روی از محلول های آبی با استفاده از نانو سیلیکاژل عاملدار شده با گروه آمینه، نشان می‌دهد که راندمان حذف با افزایش میزان جاذب و زمان تماس بالا می‌رود (۳۷). با استفاده از نانو جاذب طبیعی آندالوزیت، میزان رنگزای دیسپرس آبی رنگ DB60 در محلولهای آبی تا بیش از ۹۳ درصد کاهش می‌یابد(۳۸). امکان جذب فلز سرب با نانوجاذب اصلاح شده با گروه آمینه هیستیدین میسر است که مدل سینتیکی جذب از مرتبه دوم تبعیت می کند(۳۹). در مطالعه‌ای تجربی بر روی امکان حذف فلز سنگین کادمیوم با استفاده از نانو جاذب دیاتومیت مغناطیسی، مشخص شد که pH محلول، زمان تماس، غلظت فلز سنگین و مقدار جاذب در میزان حذف فلزکادمیوم موثراست و جذب از ایزوترم لانگمویر با سرعت واکنش شبه مرتبه دوم تبعیت می کند (۴۰). مطابق مقرارت زیست محیطی، میزان فلوراید در آب اشامیدنی باید تا حد مجاز استاندارد کاهش یابد که با استفاده از نانواکسید آلومینیوم می توان فلوراید موجود در آب را جذب نماید (۴۱). نانو کامپوزیت اکسیدهای فلزی آلومینیوم- روی - مس، می تواند بیش از ۹۰ درصد رنگدانه‌های متیل اورانژ را از اب را جذب کند(۴۲). همچنین با استفاده از نانوکامپوزیت پلی پیرول/ اکسید آهن سه، امکان جداسازی فلزسرب ازمحلول آبی می‌باشد که با کاهش اندازه ذرات نانوجاذب، جداسازی بهتر انجام می‌شود(۴۳). در پژوهشی تجربی، کارایی جذب آرسنیک از آب توسط پلی اکریل آمید زیرکونیوم اسیدی و نانو ذرات اکسید آلومینیوم مطالعه شده است که قابلیت این ماده دوستدارمحیط را درتصفیه آب نشان داد(۴۴). نانو صفحات گرافن اکساید می‌تواند نیتروژن و فسفر موجود در پساب صنایع لبنی را جذب کند و با ۳۲۰ میلی گرم در لیتر، میزان نیتروژن و فسفر به ترتیب ۹۰ و ۸۰ درصد کاهش یابد(۴۵). نانوذرات زئولیت ساختار متخلخل دارند و دارای سطح فعال مناسب

برای جذب فلزات سنگین می‌باشند که شرایط محیطی مانند دما، pH، زمان و میزان جاذب بر میزان جذب موثر است (۴۶). فلز سنگین کادمیوم ازمحلول های آبی می‌تواند با استفاده از نانوذرات مغناطیسی پوشش داده شده با کربن فعال تا بیش از ۸۸ درصد جذب شوند(۴۷). نانوذرات اکسید آهن مغناطیسی برای کاهش میزان BOD از پسابهای بهداشتی بکار می‌روند و همچنین برای حذف نیترات و فسفات کاربرد دارند(۴۸).

بحث و نتیجه گیری

نانو جاذبها از جمله نانوذرات فلزی ظرفیت صفر (نقره، آهن و روی)، نانوذرات اکسید فلزی (اکسید تیتانیوم، اکسید روی و آهن)، نانولوله های کربنی و نانو کامپوزیتها، در تصفیه آب و پساب توسعه یافته‌اند که برای حذف فلزات سنگین و آلاینده های آلی و بیولوژیکی از آب بکار می‌روند. این نانو جاذبها دارای راندمان بالایی در کاهش آلاینده ها هستند و مقدار مورد نیاز نانوجاذب برای جذب ترکیبات آلاینده، بسیار کم است. بنابراین با توسعه فناوری نانو، استفاده از این نانو جاذبها به عنوان روشهای نوین تصفیه مطرح می‌باشد. هنگامیکه غلظت جذب آلاینده در آب ثابت میشود، سیستم به تعادل می‌رسد که با مطالعات تجربی، بررسی ایزوترم جذب جهت محاسبه پارامترهای جاذب انجام شده و بر اساس مدلهای سینتیکی، رفتار سیستم تحلیل می‌گردد. با مقایسه راندمان نانو جاذب و ارزیابی مکانیزم عملکرد آنها در حذف آلایندها، می توان جاذب مناسب را انتخاب نمود. باید توجه داشت که کاربردهای متنوع نانو جاذبها بر مبنای سطح ویژه فعال بالا و انتخاب پذیری برای جذب ترکیبات آلاینده و سمی، موجب استفاده روزافزون آنها در سیستمهای تصفیه آب و پساب در جهان شده است. توجه به پژوهشهای نانو ذرات در دنیا و بررسی نیازهای کاربردی و صنعتی کشور در راستای تولید نانو جاذبها و بومی سازی روشهای تصفیه حائز اهمیت است. بنابراین مقایسه‌ای بین توزیع پژوهشهای داخلی و خارجی انجام شده بر روی کاربرد نانو ذرات در تصفیه آب و پساب، انجام شد که در شکل (۱) نمایش داده شده است.

شکل ۱- مقایسه توزیع پژوهشهای کاربردی نانوجاذبها در تصفیه آب و پساب

Comparison of the distribution of applied research on nano adsorbents in water -Figure 1 and wastewater treatment

همانطور که مشاهده می‌شود: در ایران، مطالعه کاربردهای نانوجاذبهای اکسیدهای آهن دارای توزیع بیشتری در تحقیقات انجام شده دارد که شاید به دلیل در دسترس بودن و سهولت ساخت این نانو جاذبها باشد. این امر در حالی است که توزیع پژوهشهای داخلی و خارجی در نانو لوله های کربنی، توزیع تقریبا یکسانی دارد. نانو ذرات نقره دارای خاصیت ضد باکتری بالایی هستند و می‌توانند برای حذف ویروسها، باکتریها و قارچها از آب و پساب استفاده شوند، ولی در پژوهشهای داخلی کمتر مورد بررسی قرار گرفته اند. همچنین با توجه به مشخصات فوتو کاتالیستی اکسید تیتانیوم، پیشنهاد می شود که تحقیقات بر روی کاربردهای این نانو ذرات، در مراکز پژوهشی و علمی کشور مورد مطالعه قرار گیرد.

اگرچه پیشرفتهایی چشمگیری در زمینه استفاده از نانو ذرات در سیستمهای تصفیه آب و پساب شده است ولی محدودیتهای برای نانوذرات در مورد کاربردهای آب به صورت قوانین و مقررات و نیز خطرات بالقوه بهداشتی، موجود است. بنابراین تحقیقات بر روی توسعه نانوذرات سازگار با ارگانهای زنده مدنظر مطرح شده‌اند و با پژوهشهای هدفمند در زمینه کاربردهای صنعتی این نانو ذرات، می‌توان ضمن ارتقا و بهبود عملیات سیستم تصفیه، موجب حفظ محیط زیست و بازیابی منابع آبی گردید. از اینرو، نیاز به بررسی روشهای تجاری‌سازی کاربرد نانو جاذبها در تصفیه خانه‌های صنعتی می‌باشد و باید ضمن کاهش هزینه‌های تولید نانوجاذبها و افزایش سهولت عملیات تصفیه‌خانه، بررسیهای زیست محیطی انجام شود تا امکان استفاده کاربردی از نانو جاذبها در سیستمهای آب و پساب میسر شود.

مراجع

1- Mohammadi Soleimani, Ebrahim., Shabani Rochi, Zohra., (2013), Water crisis in Iran, Second International Conference on Sustainable Agriculture and Natural Resources, Tehran, Mehr Arvand Institute of Higher Education, Environmental Lovers Promotion Group and Nature Protection Association (In Persian)

2- Elhawi Nazari, Kivan., Ilati Khamene, Jamshid., (2009), Nanomaterials and water treatment: opportunities and challenges, Tehran Water and Wastewater Company - Technical Office and Engineering Services (In Persian)

3- Lu,M., Wang, J., Stoller, M., Wang, T., Bao,Y., and Hao1, H., 2016. An Overview of Nanomaterials for Water and Wastewater Treatment Advances in Materials Science and Engineering, 6, (1), pp.1-10.

4- Usmani,M., and etal., 2017. Current Trend in the Application of Nanoparticles for Waste Water Treatment and Purification: A Review, Current Organic Synthesis, 14(1), pp.1-21.

5- Gehrke,I., Geiser,A., and Somborn-Schulz, A.,2015. Innovations in nanotechnology for water treatment", Nanotechnology, Science and Applications, 1(8), pp.1–17.

6- Qu,X., Alvarez,P., Li,Q., 2013. Applications of nanotechnology in water and wastewater treatment, water research, 47(1), pp.3931-3946.

7- Saidi, Muslim., Bahramifar, Nader., Younisi, Habibullah, Review of surface absorption methods of heavy metals using nanoabsorbents, International Conference on Civil Engineering, Architecture, Urban Management and Environment in the Third Millennium, 2015, Rasht. (In Persian)

8- Ehtshami, Shekoh., Faiz Bakhsh, Ali Reza., Rustai, Ali., Introduction of various methods used to modify the

surface of magnetic nanoparticles in stability and removal of pollutants, 4th National Chemistry, Petrochemical and Nano Conference, 2015, Tehran (In Persian)

9- Nobari, Siam., Khodadadi Darban, Ahmed., Methods of production and manufacturing of nanoparticles and their application in water pollution treatment and removal of heavy metals from polluted water, Second International Congress on Earth, Space and Clean Energy with a focus on natural resources management, agriculture and development Bishndar, 1395 Tehran (In Persian)

10- Rahmani, Mehri., Bakhtiari, Fereshte., Dareh Zarashki, Ismail, Nitrate removal by zeolite modified with iron oxide nanoparticles, 4th International Conference on Environmental Planning and Management, 2016, Tehran, Faculty of Environment, University of Tehran

11- Rahimi, Atefeh., Hamzeh, Yahyai., Abdulkhani, Ali., Investigation of airgel nanoparticles with emphasis on its application in water and wastewater treatment, 4th International Conference on Environmental Planning and Management, 2016, Tehran, Faculty of Environment, University of Tehran. (In Persian)

12- Moqtadarshaar, Sajjad., Qurbani, Mohsen., Isazadeh, Hossein., Investigating the effect of time and amount of adsorbent on the separation of lead ions from aqueous solution, 4th Separation Science and Engineering Conference, 2016, Babol, Noshirvani University of Technology, Babol (In Persian))

13- Bashiri, Elaha., Carbon nanotubes are promising adsorbents in wastewater treatment, 4th Separation Science and Engineering Conference, 2016, Babol, Noshirvani University of Technology, Babol (In Persian)

14- Keshavarz Shahbaz, Mohammad Ali., Separation of heavy metals nickel and cadmium using polystyrene nano adsorbent for water treatment, 4th International Oil, Gas and Petrochemical Conference, 2016, Tehran, Industrial and Mineral Research Center (In Persian)

15- Zahidnia, Maryam, Kazi Tabatabai, Zohra, Removal of BTEX pollutant from aqueous solutions using single-walled carbon nanotubes coated with zinc oxide nanoparticles, Second International Conference on New Research Findings in Chemistry and Engineering Chemistry, 2015, Tehran, International Confederation of Inventors of the World (IFIA), Comprehensive University of Applied Sciences (In Persian)

16- Dadkhodaei, Zahra., Alipour, Vali., Sadeghi, Zahra., Salvati, Hussein. National Crisis Management, Security, Health, Environment and Sustainable Development, (2015) Tehran, Mehr Arvand Institute of Higher Education, Center for Sustainable Development Solutions (In Persian)

17- Khayati, Solmaz., Rezaei, Hasan., Investigation of the removal of heavy metals from water and wastewater by nanotechnology, the third conference and exhibition on the environment and upcoming crises (with a focus on water shortage and urban and industrial pollution), 1395. Tehran,

Mah Danesh Atran Engineering Company (In Persian)

18- Masafir, Ehsan., Rezaei, Hassan., Investigation of cadmium absorption by nanoparticles in synthetic wastewater, 4th National Conference of Student Scientific Associations of Agriculture, Natural Resources and Environment, 2015, Karaj, University of Tehran Agriculture and Natural Resources Campus (In Persian)

19- Mokhtari Hosseini, Zohrabigam., Hosseinabadi, Zahra., Shnoai Zare, Tektem., Nitrate removal from aqueous solutions using adsorbents and nanoabsorbents, 8th National Conference and Specialized Exhibition of Environmental Engineering, 1395, Tehran, Anjuman Environmental Engineering of Iran (In Persian)

20- Hashemzadeh, Farzad., Hosni, Amirhossam., Ahmadpanahi, Homayun. Feasibility study of removing lead, zinc and cadmium heavy metals from water environments using multi-walled carbon nanotubes modified with chitosan, 8th National Conference and Specialized Exhibition of Environmental Engineering, 2015, Tehran, Environmental Engineering Society of Iran (In Persian)

21- Daneshvar, Majid., Rauf Hosseini, Seyed Mohammad., Treatment of mineral wastewater from heavy metals using nanomagnetic bio-absorbents, 8th National Conference and Specialized Exhibition of Environmental Engineering, 2015, Tehran, Environmental Engineering Society of Iran (In Persian)

22- Akbari Alawijeh, Mozhgan., Nasiri Sarvi, Mahdi., Ramezani Afarani, Zahra. , the use of montmorillonite nanoclay in absorbing the heavy metal cadmium from aqueous solution, the third international conference on new research achievements in chemistry and chemical engineering, 2015, Tehran, International Confederation of Inventors of the World (In Persian)

23- Naserzadeh, Yusuf; Aria Shireh Baz Tawana and Hossein Safarzadeh, Comparison of iron oxide nanoparticles and aqueous manganese oxide in terms of optimal adsorption amount in removing heavy metals from water and wastewater, 4th International Science and Engineering Conference, 2016, Italy-Rome, Ide Pardaz Directors Institute, Vira Capital (In Persian)

24- Hashemi, Mohsen., Kuroni, Mohammad Ali., Survey of nanotechnology strategies in dealing with environmental pollutants, 4th International Conference on Science and Engineering, (2015), Italy-Rome, Institute of Idea Managers, capital of Vira (In Persian)

25- Azad, Armin., Mousavi. Seyed Farhad., Kerami, Hojjat., Farzin, Saeed. , Suggestion of suitable adsorbent for urban wastewater treatment using AHP method, 6th National Conference on Water Resources Management of Iran, 2015, Kurdistan, University of Kurdistan (In Persian)

26- Shojaei, Siros., Asghari, Ali., Shojaei, Saeed., Asghari, Bahare., Chemical synthesis of zero-iron nanoparticles and purification of colored solutions, the third scientific research congress

of development and promotion of agricultural sciences, natural resources and environment of Iran, 2015 , Tehran, Association for the Development and Promotion of Basic Sciences and Techniques (In Persian)

27- Sadeghi, Yasir., Qurbani, Mohsen., Rahimpour, Ahmed., Barah, Radiyeh., Application of magnetic nanoparticles with polymer coating to remove color and pollution from water, the third international conference on recent innovations in chemistry and chemical engineering, 2015 Tehran, Nikan Institute of Higher Education (In Persian)

28- Kazemishariatpanahi, Sadaf., Qadi, Arzoo., Saif Kordi, Ali Akbar., New synthesis of functionalized nano-chitosan for use in wastewater treatment of industrial factories, 3rd International Conference on Recent Innovations in Chemistry and Chemical Engineering, 2015, Tehran, Institute Nikan Higher Education (In Persian)

29- Mahmoudi, Niaz Mohammad., Surface adsorption of textile dyes from wastewater on amine copper ferrite nanoparticles, 2nd Environmental Science, Engineering and Technologies Conference, 2015, Tehran, Faculty of Environment, University of Tehran (In Persian)

30- Mohammadi Shakalgourabi, Massoud., Karamoozian, Mohammad, Seifpanahishaabani, Kiyomarth, Application of Trichoderma harzianium biological nanoabsorbent in removing malachite green pigment, Second Conference of Environmental Sciences, Engineering and Technologies, 2015, Tehran, Faculty of Environment, University of Tehran. in Persian)

31- Mohajer Maqari, Farshid., Karamouzian, Mohammad, Seifpanahishaabani, Kiyomarth, Effluent treatment by Atliabumbasina biological nanoabsorbent, 2nd Conference on Environmental Sciences, Engineering and Technologies, 1395, Tehran, Faculty of Environment, University of Tehran (In Persian)

32- Yousefi Nesab, Mohhaddeh, Qanadzadeh Gilani, Hossein, Investigation of the removal of heavy metal zinc from the water environment using synthesized bio-absorbent, Iran Water and Wastewater Science and Engineering Congress, 2015, Tehran, Iran Water and Wastewater Association (affiliated) To the Commission of Scientific Associations of Iran) - Tehran University - Country Water and Wastewater Engineering Company (In Persian)

33- Rizvani, Parisa, Taghizadeh, Mohammad Mahdi, Application of nanoclay granules to improve some properties of drinking water, First National Conference on Natural Resources and Sustainable Development in Central Zagros 2015, Shahrekord, Shahrekord University (In Persian)

34- Zare, Pegah., Ashjaran, Ali., Removal of cadmium metal with the help of nano microbial cellulose/chitosan from wastewater, National Conference on Nanostructures, Science and Nano Engineering, (2015), Kashan, Islamic Azad University Nano Science and

Engineering Research Center Kashan Unit (In Persian)

35- Raees Al-Sadati, Seyedhashem., Hosseini-Bandagharai, Ahmad., Taherian, Akram., Study and review of oxidized nanotube as an absorbent in removing water hardness, Second National Conference on Environmental Health, Health and Sustainable Environment, 2014, Hamedan, Permanent Secretariat Hamaish, Shahid Muftah College (In Persian)

36- Zanganeh Asadabadi, Abolfazl., Zulfiqari, Qasim., Removal of mercury from aqueous solutions using Zn-OCMK-3 carbon nanocavity adsorbent, First International Conference and Third National Conference on Environmental Health, Health and Sustainable Environment, 2014 , Hamedan, Permanent Secretariat of the Conference (In Persian)

37- Aghajani, Mehdi., Daghiki Assal, Maryam., Turkian, Leila., Removal of heavy metal zinc from aqueous solutions using nano-silica gel functionalized with amine group and investigation of optimal absorption conditions, Second National Conference on Water, Man and Earth , 1394, Isfahan, Isfahan Tourism Developers Company (In Persian)

38- Nusrati, Saleh; Mohammad Karamozian and Kiyomarth Seif Panahi Shabani, Investigating the potential of andalusite nano-absorbent in the purification of aqueous disperse dye 60 from aqueous solutions using kinetic and equilibrium studies, the third national conference on environmental and agricultural research of Iran, 2014, Hamedan, Permanent Secretariat of the conference. Shahid Muftah College (In Persian)

39- Ankari, Mehdad., Daghiki Assal, Maryam., Turkian, Leila., Investigating the optimal conditions for the absorption of lead heavy metal from aqueous solutions using a modified nano adsorbent, the third national conference on environmental and agricultural research in Iran, 2014, Hamedan , Permanent Secretariat of the Conference, Shahid Muftah College (In Persian)

40- Mohammadi, Reza., Karamozian, Mohammad., Seifpanahishaabani, Kiyomarth., Treatment of wastewater contaminated with heavy metals with the help of magnetized diatomite mineral nano-absorbent, the first national congress of new engineering design with the approach of sustainable development and environmental protection, 2014. Semnan, Arman Roshan National Foundation (In Persian)

41- Dehghani, Mohammad Hadi; Rostami, Iman., Rostami, Elham., Study and evaluation of the efficiency of nano aluminum oxide in removing fluoride from aqueous solutions and evaluating its toxicity on Daphnia magnesia, the first national conference of new technologies in chemistry and petrochemicals, (2013), Tehran, Hamandishan Charkha Alam Company and industry

42- Hassanzadeh Tabrizi, Seyed Ali., Fabrication of CuO-ZnO-Al2O3 nanocomposite for water treatment applications, 4th National Conference on Nanotechnology from Theory to

Application, (2014), Jami Institute of Higher Education, Isfahan.

43- Barari Gangraj, Seyyed Ahmed, Iszadeh, Hossein, Sadeghi, Ibrahim. , preparation of polypyrrole/iron(III) oxide nanocomposite and its application in separating lead from aqueous solution, the first national conference on environmental health, health and the environment of Bishdar, 2014, Hamedan, Hegmatane Environmental Assessors Association, Shahid Muftah College (In Persian)

44- Hassanpour, Mehri, Khazri, Seyed Mostafi, Absorption of arsenic from water by polyacrylamide under acidic conium laterite and aluminum oxide nanoparticles, the first national conference on environmental health, sustainable health and environment, 2014, Hamedan, Association of Environmental Evaluators Hegemonic Life, Shahid Muftah Faculty (In Persian)

45- Falahati, Faezeh, Baghdadi, Majid., Nitrogen and phosphorus removal from dairy waste water by graphene oxide nano adsorbent and its sludge separation by aminated magnetite magnetic nanoparticles, a case study of pasteurized milk factory in Pegah, Tehran, 7th National Conference and Specialized Exhibition of Environmental Engineering, 2014, Tehran, Faculty of Environment, University of Tehran (In Persian)

46- Sajjadi, Soudeh Al-Sadat., Sajjadi, Samaha Al-Sadat., Optimizing zeolites with zinc oxide nanoparticles to remove heavy metals from wastewater, First National Congress of Biology and Natural Sciences of Iran, 2014, Tehran, Center for Sustainable Development, Anjuman Protecting the nature of Iran (In Persian)

47- Mokhedi, Qasim., Moinpour, Farid., Removal of cadmium from aqueous solutions using magnetic nanoparticles coated with activated carbon obtained from date kernels, 4th National Conference on Health, Environment and Sustainable Development, 2013, Bandar Abbas University Azad Islami Bandar Abbas Unit (In Persian)

48- Yazdanbakhsh, Ahmadreza., Eslami, Akbar., Aghaiani, Ehsan., Fatahzadeh, Massoud., Removal of COD, BOD, Nitrate and Phosphate from urban sewage effluent with Fe3O4 iron oxide nanoparticles, National Conference on Solutions for the Water Crisis in Iran and the Middle East , 2014, Shiraz, Hamaish Nagar Scientific Conference Center (In Persian)