

Article Type: Applied

نوع مقاله: کاربردی

Investigation of Nitrate Absorption Methods from Contaminated Waters Using Biochar

E. Ghanbari Adivi^{1*}, P. mehrabinia², J. Kermannezhad³

1,2- Assistant Professor & MSC Student, Department of Water Science Engineering, Shahrekord University, Iran. 3- Ph.D. Student, Department of Water Science Engineering, Lorestan University, Iran.

*(Corresponding Author Email: Ghanbariadi@sku.ac.ir)

Received: 17-06-2019

Accepted: 23-09-2019

بررسی روش‌های جذب نیترات از آب‌های آلوده با استفاده از زغال زیستی

الهام قنبری عدیوی^{۱*}، پریسا مهربانی^۲، جلیل کرمان نژاد^۳

۱ و ۲- به ترتیب استادیار و دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی آب، دانشگاه شهرکرد. ۳- دانشجوی دکتری گروه مهندسی آب، دانشگاه لرستان.

*(نویسنده مسئول، E-Mail: Ghanbariadi@sku.ac.ir)

تاریخ دریافت: ۹۸/۰۳/۲۷

تاریخ پذیرش: ۹۸/۰۷/۰۱

Abstract

Nowadays, the problem of water and soil resources pollution is major and influential issue for the healthy living of humans and living things. Nitrate is one of the decentralized sources of environmental pollution in wastewater or agricultural drainage that caused by excessive use of fertilizer. The infiltration and leakage of these waters into surface water and groundwater sources cause to contaminating these waters with nitrate. Nitrate moves easily into the soil profile due to its negative charge and lack of adsorption on the soil surface that cause to contamination on surface and groundwater. Different physical and chemical methods are commonly used to nitrate adsorption from various municipal, industrial and agricultural wastewaters, which are complex and costly on industrial scales. In this research, various methods of nitrate adsorption have been studied and the main focus of the study is on the process of surface adsorption by cheap biochar as an effective process and a suitable method in the final refining of nitrate-contaminated waters.

Keywords: Adsorption, BioChar, Contamination, Nitrate, Refining.

چکیده

امروزه معضل آلودگی منابع آب و خاک به عنوان یک موضوع اساسی و تأثیرگذار برای زندگی سالم انسان‌ها و موجودات زنده مطرح می‌باشد. نیترات به عنوان یکی از منابع غیرمتمرکز آلودگی محیط زیست در پساب و یا زه‌آب‌های کشاورزی ناشی از مصرف بیش از حد کود، می‌باشد. نفوذ و نشت این آب‌ها به منابع آب‌های سطحی و آب‌های زیرزمینی باعث آلوده شدن این آب‌ها به نیترات می‌گردد. نیترات به دلیل بار منفی و عدم جذب بر روی سطوح خاک، به راحتی در پروفیل خاک حرکت می‌کند و باعث آلودگی آب‌های سطحی و زیرزمینی می‌شود. جهت جذب نیترات از پساب‌های مختلف شهری، صنعتی و کشاورزی، معمولاً از روش‌های مختلف فیزیکی و شیمیایی استفاده می‌شود که در مقیاس‌های صنعتی پیچیده و پرهزینه می‌باشند. در این تحقیق انواع روش‌های جذب نیترات بیان شده و تمرکز اصلی مطالعه به فرآیند جذب سطحی توسط زغال زیستی (بیوچار) ارزان قیمت، به عنوان یک فرایند موثر و یک روش مناسب در تصفیه نهایی آب‌های آلوده به نیترات، قرار گرفته است.

واژه‌های کلیدی: آلودگی، بیوچار، تصفیه، جذب، نیترات.

گرماکافت، سرعت گرمادهی، اندازه ذرات بیوپار و دمای اوج گرماکافت و مدت زمان گرماکافت قرار می‌گیرد. دامنه گسترده فرایند گرماکافت منجر به تشکیل بیوپارهایی می‌شود که از نظر ترکیب عنصری و خاکستر، جرم مخصوص، تخلخل، توزیع اندازه منافذ، سطح ویژه، خصوصیات شیمیایی سطح، جذب و دفع آب و یون‌ها، pH، و یکنواختی ساختمان فیزیکی بسیار متفاوت هستند (Laird و همکاران، ۲۰۱۰).

یکی از بخش‌های با اهمیت در مدیریت آب کشور مدیریت زه‌آب کشاورزی است. زه‌آب‌ها که امروزه به طلای خاکستری شناخته می‌شوند، می‌توانند نقش به‌سزایی در کاهش فشار وارد بر منابع آبی و نیز کمک به احیای محیط‌زیست ایفا کنند. بنابراین با توجه به اهمیت موضوع به خصوص در زمینه زیست‌محیطی، بایستی به دنبال روش‌های بود که مقرون به صرفه بوده و قابلیت اجرایی شدن بالایی نیز داشته باشند. خوشبختانه در سال‌های اخیر استفاده از جاذب‌های ارزان قیمت جهت بهبود شرایط آب‌ها به موفقیت‌های خوبی دست یافته و مطالعات زیادی در این زمینه انجام شده است. عمده این جاذب‌های ارزان قیمت را ضایعات کشاورزی یا به نوعی مواد زیستی تشکیل می‌دهند. بررسی مطالعات انجام شده نشان‌دهنده این موضوع است که این مواد ضایعاتی، قابلیت بالقوه خوبی در تصفیه آب از آلودگی‌ها دارند.

نیترات

یکی از شاخص‌های مهم برای نشان‌دادن کیفیت آب آشامیدنی و کشاورزی، میزان نیترات موجود در آن است (Davisson و Criss، ۲۰۰۴). در حال حاضر، آلودگی منابع آب زیرزمینی و سطحی به نیترات یکی از مهم‌ترین مشکلات زیست‌محیطی و کشاورزی می‌باشد. در چند دهه اخیر، مصرف کودهای نیتروژن‌دار حاوی یون‌های آمونیوم و نیترات بدون توجه به اثرات آن‌ها بر خصوصیات آب و خاک، باعث افزایش آلودگی محیط‌زیست شده است. اثرات ناشی از مصرف کودهای ازته معمولاً به صورت آزادسازی آنیون‌های NH_4^+ ، NO_2^- ، NO_3^- در محیط ظاهر می‌شود. آنیون نیترات به دلیل تحرک زیاد و عدم جذب روی سطح کلئیدهای خاک به سرعت قابل شست‌وشو بوده و همراه جریان‌های سطحی و زیرزمینی وارد منابع آب می‌گردد (سلیمانی و همکاران، ۱۳۸۷). نیترات به خودی خود نسبتاً غیرسمی است؛ اما زمانی که به نیتريت احیا شود سلامتی بشر را به خطر می‌اندازد (Kapoor و همکاران، ۱۹۷۷). رشد فعالیت‌های کشاورزی، افزایش آلودگی نیترات آب‌های سطحی و زیرزمینی را به ویژه در ۳۰ سال گذشته به همراه داشته است. در ایران نیز زمین‌های کشاورزی مهم‌ترین منبع آلودگی نیترات منابع آبی محسوب می‌شوند (ملکیان، ۱۳۹۰). غلظت بالای آلودگی نیترات در آب زیرزمینی و به‌طور اساسی در نواحی کشاورزی و

ایران به عنوان یکی از کشورهای واقع در کمربند خشک کره زمین با مشکل کم آبی مواجه است. رشد فزاینده جمعیت و نیاز به محصولات کشاورزی و دامی و محدودیت منابع آب و خاک به عنوان بستر اصلی تولیدات کشاورزی، مسئله کم‌آبی را به گونه‌ای بسیار جدی فرا روی کشور قرار داده است (عزتی فیض، ۱۳۹۴). بنابراین یکی از مهم‌ترین مشکلات در مناطق خشک و نیمه خشک که وسعتی حدود یک سوم جهان را در بر گرفته است کمبود آب آبیاری در بخش کشاورزی است. بنابراین در مناطقی که آب شیرین کمیاب است، نیاز فزاینده‌ای برای استفاده از آب با کیفیت پایین وجود دارد. در این رابطه آب‌های نامتعارف از قبیل زه‌آب‌های کشاورزی، آب‌های شور و پساب‌های شهری می‌توانند از منابع با ارزش محسوب شود (عابدی کوپایی، ۱۳۸۶). با توجه به افزایش جمعیت و نیاز روز افزون به تأمین غذا از طریق گیاهان، نیاز به نیتروژن کافی جهت رشد گیاهان امری ضروری است. از طرفی از آنجایی که نیتروژن تولیدی از منابع طبیعی (مواد آلی خاک، آب باران، جذب نیتروژن از هوا، تثبیت نیتروژن توسط باکتری‌های خاک) نمی‌تواند پاسخ گوی نیاز گیاه به این ماده مغذی باشد، نیتروژن مورد نیاز گیاه با کاربرد کودهای نیتروژن‌دار (به خصوص در مناطق خشک و نیمه‌خشک) تأمین شده و به این ترتیب عملکرد گیاه افزایش می‌یابد. درحالی‌که نیتروژن نقش به‌سزایی در عملکرد گیاه ایفا می‌کند، به‌عنوان مهم‌ترین آلاینده آب نیز شناخته شده است (ملکیان، ۱۳۹۰). چهار فرم اصلی نیتروژن در خاک عبارتند از: گاز نیتروژن، نیتروژن آلی، نیترات آمونیوم و نیترات. از جمله مهم‌ترین آلودگی‌هایی که در اثر توسعه کشاورزی به وجود می‌آید، آلودگی ناشی از کودهای ازته از جمله نیترات است (ملکوئی، ۱۳۷۳). بیوپار، مواد کربنی جامد ریزدانه و متخلخل شبیه به زغال است که در اثر پیرولیز (حرارت دادن در شرایط اکسیژن کم) مواد آلی تولید می‌شوند. این مواد دارای پتانسیل بالایی برای بازیافت عناصر غذایی، تهویه خاک، مدیریت سیستم پسماند و عامل بلندمدت برای نگه‌داشت کربن به‌صورت مطمئن و اقتصادی است (Lehman و Rondon، ۲۰۰۶). گاهی از بیوپار به‌عنوان زغال کشاورزی نیز یاد می‌شود؛ زیرا این زغال محصول تجزیه حرارتی دامنه وسیعی از مواد غنی از کربن متعلق به علفزارها، چوب‌های نرم و سخت، بقایای کشاورزی و جنگل است (Yao و همکاران، ۲۰۱۲). وقتی مواد خام چوبی پیرولیز می‌شوند، بیوپار تولیدشده درشت، مقاوم و مقدار کربن آن بالا است (بیش از ۸۰ درصد) و ماهیت لیگنینی مواد سخت موجود در منبع در بقایای بیوپار حفظ می‌شود (Winsley، ۲۰۰۷). خصوصیات فیزیکی و شیمیایی بیوپار تحت تأثیر عوامل مختلفی از جمله نوع مواد اولیه، شرایط واحد

و کاربرد آن) می‌باشد. راندمان حذف جامدات محلول بیش از ۹۹٪ می‌باشد. این روش به دلیل استفاده از پمپ‌های فشار قوی نیاز به مصرف انرژی بالایی دارد (Steyn و Choeman، ۲۰۰۳).

۲- احیای شیمیایی

در روش احیای شیمیایی معمولاً از مواد شیمیایی احیا کننده مانند آهن دو ظرفیتی (Fe^{2+}) استفاده می‌شود. بدین گونه نیترات را احیا کرده و تبدیل به گاز نیتروژن نموده که در مرحله نهایی این گاز از محلول خارج می‌شود (Kumar و Chakraborty، ۲۰۰۶).

۳- الکترودیالیز

فرایند الکترودیالیز یک نوع هدایت هیدرولیکی است، که با استفاده از ولتاژ و از طریق غشاهای نیمه تراوا یون‌ها را عبور داده و سبب کاهش سختی آب و حذف نیترات می‌شود. این فرایند به طور متناوب تکرار شده و انتقال در یک میدان با ولتاژ مستقیم (DC) انجام می‌شود. الکترودیالیز یک فرایند جداسازی غشایی است که در آن از اختلاف پتانسیل الکتریکی به عنوان نیروی محرکه جهت انتقال یون‌ها استفاده می‌شود. در این سیستم از غشاهای پلیمری مانند پلی اتیلن پوشش داده شده استفاده می‌شود. غشاهای کاتیونی نسبت به کاتیون‌ها تراوا می‌باشند و آنیون‌ها فقط می‌توانند از غشاهای آنیونی عبور نمایند. در سیستم‌های پیشرفته، دستگاه الکترودیالیز به شیوه‌ای طراحی و بهره‌برداری می‌شود که حدود هر ۱۵ دقیقه یک مرتبه کاتد و آند جابه‌جا می‌شوند و به‌طور اتوماتیک از رسوب روی الکترودها و گرفتگی غشاهای کاسته می‌شود. این روش در مقایسه با روش‌های دیگر پیچیده‌تر بوده اما از نظر اقتصادی نسبت به روش اسمز معکوس مقرون به‌صرفه‌تر است (Huang و Xu، ۲۰۰۸؛ افیونی و عرفان منش، ۱۳۷۹).

۴- تبادل یونی

در روش تبادل یونی در مورد نیترات رزین‌های مختلفی برای جذب نیترات توسعه داده شده‌اند. رزین‌های تعویض یونی، ذرات جامدی هستند که می‌توانند یون‌های نامطلوب در محلول را با همان مقدار اکی‌والان از یون مطلوب با بار الکتریکی مشابه را جایگزین کنند. در کل، چهار رزین مختلف از جمله رزین‌های کاتیونی قوی، رزین‌های کاتیونی ضعیف، رزین‌های آنیونی قوی، رزین‌های آنیونی ضعیف، در بازار وجود دارد (Clifford و همکاران، ۱۹۹۳). مزایای روش تبادل یونی شامل بهره‌برداری آسان، عدم نیاز به تخصص بالا و تجهیزات پیچیده، عدم نیاز به فضای زیاد جهت احداث و سرمایه‌گذاری اولیه کمتر نسبت به اسمز معکوس می‌باشد.

در اثر کاربرد کودهای حیوانی و شیمیایی در زمین‌های کشاورزی ایجاد می‌شود. علاوه بر نفوذ عمقی نیترات از سطح خاک در اثر مصرف کودهای شیمیایی، در زه‌آب زیرزمینی وجود غلظت‌های بالای نیترات می‌تواند منبع دیگری مانند تجزیه مواد آلی طبیعی داشته باشد (مهردادی و همکاران، ۱۳۸۰). نیترات از آلاینده‌های مهم آب است و اثرات زیان‌بار بسیاری بر سلامتی انسان دارد و حذف و کاهش آن در پساب و آب به کمتر از مقدار استاندارد تعیین شده همواره اهمیت بسیار داشته است. این امر زمانی که شرایط با محدودیت زمان، منابع و انرژی روبه‌رو باشد اهمیت دو چندان می‌یابد (موسوی و همکاران، ۱۳۹۴). در ادامه مقادیر استاندارد ملی و بین‌المللی میزان نیترات برحسب میلی‌گرم بر لیتر در جدول (۱) ارائه شده است.

جدول ۱- مقادیر مجاز استانداردهای ملی و بین‌المللی نیترات در آب آشامیدنی برحسب میلی‌گرم بر لیتر*

نام کشور	مقدار مجاز	نام کشور	مقدار مجاز
نیوزلند	۵۰ برحسب نیترات	کانادا	۴۵ برحسب نیترات
اتحادیه اروپا	۵۰ برحسب نیترات	سازمان بهداشت محیط ایالات متحده	۱۰ برحسب نیتروژن
نیوجرسی	۱۰ برحسب نیتروژن	سازمان بهداشت جهانی (WHO)	۵۰ برحسب نیترات
استرالیا	۵۰ برحسب نیترات	ایران (استاندارد ایران ۱۰۵۳)	۵۰ برحسب نیترات

* منبع مقدار مجاز در تمام کشورها به جز ایران WHO (۲۰۲۰) است.

روش‌های جذب نیترات

۱- روش اسمز معکوس

در روش اسمز معکوس، آب با فشار زیاد از چند لایه غشا نیمه تراوا با روزه‌های نانومتری عبور داده می‌شود. این فشار خارجی که بیشتر از فشار اتمسفریک است باعث می‌شود مولکول‌های خالص آب از غشا نیمه تراوا عبور کرده، ولی مولکول‌های درشت پشت منافذ باقی بمانند و به این ترتیب تمامی املاح محلول از آب جدا می‌شوند (Steyn و Choeman، ۲۰۰۳). این روش به‌طور کلی برای شیرین کردن آب‌های شور به‌کار می‌رود. ولی در سال‌های اخیر برای حذف آلاینده‌های خاص نظیر نیترات مورد توجه قرار گرفته است. در این روش علاوه بر نیترات، کل جامدات محلول آب نیز کاهش می‌یابد. این روش برای جامدات حل شده در آب توصیه می‌شود؛ زیرا قیمت‌های عملیاتی آن‌ها اقتصادی می‌باشد و هم‌چنین اتلاف زمان زیادی دارد (Wang و همکاران، ۲۰۰۳). قطر منافذ غشا جهت جداسازی ذرات در اسمز معکوس ۰/۰۰۳ تا ۰/۰۰۳ میکرومتر (۰/۱ تا ۳ نانومتر بسته به نوع غشا

۵- نیترات زدایی بیولوژیکی

به حداقل برساند (Pollard و همکاران، ۱۹۹۲). به همین خاطر این فرایند دارای کاربردی گسترده در کنترل آلودگی آب می‌باشد (Aly و Faust، ۱۹۸۷). جاذب‌های مختلفی برای حذف یون نیترات از آب به کار گرفته می‌شود (جدول ۲).

جدول ۲- جاذب‌های به کار گرفته شده برای حذف یون نیترات از آب

ردیف	روش‌های حذف نیترات	مشخصات پژوهش
۱	جاذب‌های بر پایه کربن	Kaneko و همکاران، ۱۹۹۱
۲	جاذب‌های ژئولیتی	Peng و Wang، ۲۰۱۰
۳	جاذب‌های کیتوسان	Jaafari و همکاران، ۲۰۰۴
۴	جاذب‌های شنی	Pinnavaia، ۱۹۸۳
۵	ترکیبات هیدروکسیدهای چند لایه	Tezuka و همکاران، ۲۰۰۴
۶	جاذب‌های متفرقه	Saad و همکاران، ۲۰۰۸

در روش نیترات زدایی بیولوژیکی، سرعت حذف نیترات بالا است. در این روش از باکتری‌های شیمی اتوتروف هوازی استفاده می‌شود، که در فرایند نیتروفیکاسیون، نیترژن آلی را به یون نیترات تبدیل می‌کنند. سپس باکتری‌های شیمی‌هتروتروف غیر هوازی استفاده شده و طی فرایند دی‌نیتروفیکاسیون، نیترات تبدیل به گاز ازن شده و از محلول جدا می‌شود (Soares، ۲۰۰۰). در این فرایند که عمل اصلی توسط باکتری‌ها انجام می‌شود، نیاز به منبع تغذیه (به صورت کربن آلی، CO_2 و یا سولفور) است. اما از آن جایی که میزان کربن آلی در بیشتر آب‌های آشامیدنی کم است، لازم است که از کربن اضافی استفاده کنیم که در این مورد بیشتر از متانول استفاده می‌شود. اما به جای متانول می‌توان از اتانول یا اسید استیک نیز به عنوان منبع تغذیه استفاده کرد. تبدیل نیترات به گاز نیترژن در چهار مرحله صورت می‌پذیرد: ابتدا نیترات (NO_3^-) توسط میکروارگانیسم‌ها به یون نیتريت (NO_2^-) تبدیل می‌شود. سپس یون نیتريت به NO^- و سپس به اکسید نیترژن N_2O و در نهایت به گاز نیترژن تبدیل می‌شود. (Ovez و همکاران، ۲۰۰۶).

۶- جذب سطحی

در جدول (۳) فرآیندهای متداول جذب نیترات به صورت کلی مقایسه شده است. فناوری‌های جدید دارای محدودیت‌هایی از قبیل هزینه زیاد اقتصادی، راندمان کم و تولید محصولات جانبی می‌باشد. هم‌چنین دارای فرایندی پیچیده برای استفاده کاربردی در محل جهت جذب آلودگی‌های آب‌های زیرزمینی می‌باشند.

فرایند جذب سطحی در تصفیه آب به علت سادگی طراحی و سهولت عملیات بسیار موثر می‌باشد. این فرایند می‌تواند انواع مختلفی از آلودگی‌های آلی و غیرآلی را از پساب و زه‌آب حذف یا

جدول ۳- مقایسه فرآیندهای متداول جذب نیترات از آب

فرآیند	مزایا	معایب	محقق
اسمز معکوس	عدم اهمیت تأثیر pH و دما، دست‌یابی به بازده بیش از ۹۵٪، کیفیت قابل کنترل آب خروجی	نیاز به دفع TDS بالا و هزینه عملیاتی زیاد، نیاز به تصفیه نهایی به دلیل خورنده بودن آب تولیدی، عدم انعطاف‌پذیری با تغییرات فشار	Choeman و Steyn، ۲۰۰۳
احیای شیمیایی	عدم نیاز به دفع پساب‌های تولیدی، عدم اهمیت تأثیر pH و دما، سازگاری با محیط‌زیست	نیاز به تصفیه نهایی به علت تولید محصولات جانبی، بالاترین بازدهی گزارش شده کم‌تر از ۶۰-۷۰٪	Kumar و Chakraborty، ۲۰۰۶
الکترودیالیز	عدم اهمیت تأثیر pH و دما، دست‌یابی به بازده بیش از ۹۵٪، کیفیت قابل کنترل آب خروجی	نیاز به دفع TDS بالا و هزینه عملیاتی زیاد، نیاز به تصفیه نهایی به دلیل خورنده بودن آب تولیدی، عدم انعطاف‌پذیری با تغییرات فشار	Huang و Xu، ۲۰۰۸
تبادل یونی	عدم اهمیت تأثیر pH و دما، دست‌یابی به بازده بیش از ۹۵٪، انعطاف‌پذیری با تغییرات فشار، هزینه عملیاتی متوسط	نیاز به دفع پساب‌های تولیدی، نیاز به تصفیه نهایی به دلیل خورنده بودن آب تولیدی، پرشدن ظرفیت رزین در حضور مواد آلی، مشکلات عملیاتی احیای رزین	Clifford و همکاران، ۱۹۹۳
روش‌های بیولوژیکی	دست‌یابی به بازدهی بیش از ۹۹٪، سازگاری با محیط‌زیست، هزینه عملیاتی متوسط	نیاز به دفع ضایعات، اهمیت تأثیر دما، نیاز به تصفیه نهایی به دلیل حضور میکروارگانیسم‌ها	Ovez و همکاران، ۲۰۰۶
جذب سطحی	عدم نیاز به تصفیه نهایی، بازدهی مناسب با استفاده از نوع جاذب، سهولت عملکرد، هزینه عملیاتی متوسط	نیاز به دفع جاذب‌های اشباع شده، اهمیت تأثیر pH و دما	Aly و Faust، ۱۹۸۷

• پارامترهای تأثیرگذار در جذب سطحی

- نوع و خصوصیات جسم جاذب

پدیده جذب سطحی در سطح خارجی یا سطح داخلی خلل و فرج جسم جاذب انجام می‌شود. هرچه سطح تماس بزرگتر باشد مقدار جذب نیز بیشتر خواهد بود. وجود حفرات زیاد در سطح جاذب و کوچکتر بودن ذرات آن سبب افزایش سطح تماس و در نتیجه افزایش سرعت پیشرفت فرایند جذب خواهد شد. توانایی جذب در کربن فعال به سطح ویژه آن بستگی دارد و اندازه ذرات و سطح ویژه دو خصوصیت مهم کربن فعال در جذب سطحی است (Benefield و همکاران، ۱۹۸۲).

- نوع و خصوصیات ماده جذب شونده

غلظت، اندازه و جرم مولکولی، گروه‌های عاملی موجود در ساختار، از خصوصیات مهم ماده جذب شونده است، که بر میزان جذب موثر است (جرسایی تالار، ۱۳۷۵). همچنین در فرایند جذب هرچه اندازه مولکول ماده جذب شونده کوچکتر باشد، راحت‌تر و سریع‌تر وارد خلل و فرج جاذب می‌شود، نکته قابل ذکر در مورد ماده جذب شونده این است که از آنجایی که هرچه اندازه خلل و فرج بزرگتر باشد، مولکول‌های بزرگتر نیز جذب می‌شوند و هرچه اندازه خلل و فرج کوچکتر باشد، میزان مولکول‌های ریزتر بیشتر خواهد بود. نوع ماده جاذب بایستی متناسب با مولکول‌های جذب شونده انتخاب شود (شامحمدی حیدری و همکاران، ۱۳۸۷).

- درجه حرارت

درجه حرارت در سرعت و مقدار جذبی که اتفاق می‌افتد موثر است. سرعت جذب با افزایش درجه حرارت افزایش، و با کاهش درجه حرارت کاهش می‌یابد (اکبری، ۱۳۸۴). به عقیده Gupta و Sankararamakrishnan (۲۰۱۰) انرژی آزاد با افزایش دما کاهش می‌یابد. به همین دلیل با افزایش دما، سرعت جذب نیز افزایش می‌یابد.

- زمان تماس و میزان هم زدن

با افزایش زمان تماس، مقدار جذب به دلیل تماس بیشتر مواد جذب شونده با جاذب افزایش می‌یابد (Qaiser و همکاران، ۲۰۰۷). اگر زمان تماس یا مخلوط کردن در حد مناسبی باشد سرعت جذب افزایش یافته و انتشار درون خلل و فرج‌ها به خوبی انجام می‌شود. اما اگر تلاطم کمی بین جاذب و سیال برقرار باشد، چون لایه سطحی مایع اطراف ذره نازک بوده فرایند جذب به خوبی انجام نمی‌شود (شامحمدی حیدری و همکاران، ۱۳۸۷).

- pH محلول

pH محیط، در سرعت انجام فرایند و میزان جذب بسیار موثر است و به دلیل رقابت برای اشغال مکان‌های سطح جاذب میان یون‌های موجود در محلول و یون‌های هیدروژن، اسیدیته یک فاکتور مهم در فرایند جذب است (Rahmani و همکاران، ۲۰۱۰). میزان pH در بیشترین حذف طبق پژوهش‌های بی‌آزار (Ozturk و Bekta، ۲۰۰۴) و Ohe و همکاران (۲۰۰۳) در محدوده ۲ تا ۳ بوده است.

نانو مواد

فناوری نانو نامی است، که ریچارد فایمن استاد فیزیک نظری، در سال ۱۹۶۰ در انجمن علمی در دانشگاه کالیفرنیا مطرح نمود (Feynman، ۱۹۶۰). فناوری نانو در واقع مطالعه پدیده‌ها و دستکاری اتمی-مولکولی مواد است که خواص کاملاً متفاوتی نسبت به مقیاس‌های بزرگتر دارد (Ahmad و Shah، ۲۰۱۱). براساس یک معیار پذیرفته شده قطر ذرات نانو کمتر از ۱۰۰ نانومتر بر یکی از ابعاد و سطح ویژه بالا می‌باشند. نانو مواد به عنوان موادی تعریف می‌شوند که حاوی قطعات ساختاری با حداقل یک بعد زیر ۱۰۰ نانومتری هستند (Kohler و Fritzsche، ۲۰۰۴). بعضی از نانو ذرات‌ها ساختار کریستالی دارند و از کنار هم قرارگرفتن آن‌ها نانو کریستال‌ها ساخته می‌شوند. هنگامی که از میکرو ذرات‌ها به سمت نانو ذرات می‌رویم، تعداد زیادی از خصوصیات فیزیکی آن‌ها تغییر می‌کند. یکی از دلایل چنین تغییراتی، افزایش نسبت سطح به حجم در آن‌ها می‌باشد (Hewakuruppu و همکاران، ۲۰۱۳). افزایش سطح (رویه سطحی) نانو ذرات، تأثیر زیادی بر روی برهم کنش بین مواد ترکیبی، مانند نانوکامپوزیت‌ها دارد و موجب تغییر در خصوصیات شیمیایی،

مکانیکی و الکتریکی این مواد می‌شود (Taylor و همکاران، ۲۰۱۱). توزیع اندازه ذرات و مورفولوژی، از خصوصیات و پارامترهای مهم نانو ذرات هستند. توزیع اندازه و متوسط قطر ذرات باعث ثبات بدنه داخلی نانو ذرات می‌شود (Edimar و همکاران، ۲۰۰۷).

۱- کاربرد فناوری نانو در تصفیه آب و فاضلاب

علم و فناوری نقش مهمی را در ارتباط با توسعه روش‌های نوین، ابزارها و تکنیک‌ها برای حل مشکلات کمی و کیفی آب ایفا می‌کند. در زمینه آب و فاضلاب فناوری نانو کارایی بالایی را برای حذف آلاینده‌ها و تشخیص آن‌ها دارا است (امینی، ۱۳۹۱). فناوری نانو درباره راه‌های جدید ساخت مواد صحبت می‌کند و هدف آن تولید دستگاه‌های کوچکتر، ارزان‌تر، سبک‌تر و سریع‌تر، با کارایی بهتر است، که از مواد اولیه و انرژی کمتری استفاده می‌کنند. کمبود آب هم از لحاظ کمی و هم از لحاظ کیفی به عنوان یک تهدید و چالش جدی برای سلامت افراد حال و آینده در سرتاسر جهان مخصوصاً برای مردمی که در کشورهای در حال توسعه زندگی می‌کنند، مطرح است. از این‌رو استفاده از این فناوری به دلیل قابلیت بالای آن در تشخیص و کنترل محدوده وسیعی از منابع آلوده‌کننده، امری اجتناب

ناپذیر است. فناوری نانو برای تشخیص آفت کشته‌ها، مواد شیمیایی و بیولوژیکی شامل فلزات (مانند کادمیوم، مس، سرب، جیوه، نیکل و روی)، مواد مغذی (مانند فسفات آمونیاک، نیتريت و نیترات)، مواد آلی سیانیدی، جلبک‌ها (مانند: سموم سیانو باکتریایی)، ویروس‌ها و پاتوژن‌ها استفاده می‌شود (آیتی و همکاران، ۱۳۸۵). در کشورهای صنعتی از روش‌های مختلف فیزیکی و شیمیایی برای تصفیه آب استفاده می‌شود، که نیاز به زیرساخت‌های فراوان داشته و هزینه‌بر می‌باشند. ولی فناوری نانو نیاز به زیرساخت‌های کمتری دارد و مقرون به صرفه می‌باشد (تقی‌یان اقدم و همکاران، ۱۳۹۴).

۲- استفاده از ذرات نانو به عنوان جاذب

ساختار و ویژگی‌های منحصر به فرد تعدادی از ذرات نانو، از این مواد، جاذب‌های قدرتمندی ایجاد نموده است. هرچه اندازه ذرات ماده کوچکتر باشد، تماس بیشتری با فاز سیال داشته و سرعت انجام فرایند جذب بیشتر خواهد شد. سرعت جذب برای یک جرم معین جاذب متناسب با عکس قطر ذرات جاذب است (Qi و همکاران، ۲۰۱۳). به‌طور کلی با کاهش اندازه ذرات جاذب میزان جذب افزایش می‌یابد. علت این امر افزایش سطح تماس جاذب با مواد جذب شونده است و یکی از خصوصیات ذرات نانو را اندازه کوچک آن‌ها و افزایش جذب باید دانست (Chen و Mohanraj، ۲۰۰۶). نانو جاذب می‌تواند به آسانی به صورت پودری برای تصفیه آب استفاده شود، اما به دلیل عملکرد متفاوت نانو ذرات مختلف در آب‌ها، فاضلاب‌ها و ناشناخته بودن اثرات طولانی مدت به علت مطالعات کم آزمایشگاهی، لازم است تحقیقات وسیع‌تری در مورد برنامه‌های کاربردی فناوری نانو در تصفیه آب و فاضلاب صورت گیرد (Qi و همکاران، ۲۰۱۳). فراستی و همکاران (۱۳۹۱) طی پژوهش‌های خود، از نانو جاذب‌های نی و پوشال نیشکر برای حذف نیترات از آب استفاده نموده‌اند. نتایج آنها حاکی از کاهش ۸۰ درصدی میزان نیترات در آب توسط نانو جاذب نی و پوشال نیشکر می‌باشد.

استفاده از جاذب ارزان قیمت در تصفیه زه‌آب کشاورزی

۱- باگاس نیشکر

کشت نیشکر در خوزستان ۷۰۰ تا ۸۰۰ قبل از میلاد رواج داشته است و آغاز فعالیت برای کشت نیشکر در خوزستان در سال ۱۳۱۶ تا ۱۳۱۸ بوده است؛ ولی شروع جنگ جهانی باعث عدم رسیدگی به این فعالیت شد. با همکاری سازمان خواروبار و کشاورزی ملل متحد (فائو) در سال ۱۳۳۰ برنامه کشت نیشکر در خوزستان پایه‌گذاری شد و تا امروز ادامه داشته است؛ به‌طوری‌که در حال حاضر برنامه توسعه نیشکر یکی از بزرگترین طرح‌های ملی ایران است (صادقی لاری، ۱۳۹۱). نیشکر گیاهی دائمی و گرمسیری از تک لپه‌ای‌ها و از خانواده گرامینه و از جنس

فناوری نانو می‌تواند روش بزرگی در کاهش هزینه‌ها و تکنیک موثری در حذف آلاینده‌ها از آب در درازمدت باشد. در این دیدگاه نانو ذرات می‌تواند، به عنوان جاذب قوی استفاده شود. نانو ذرات استفاده گسترده‌ای دارد، با این حال باید اثرات این ذرات را بر محیط‌زیست بررسی کرد (Zhang و همکاران، ۲۰۱۱).

کربن فعال

کربن فعال به گروهی از مواد اطلاق می‌شود، که دارای تخلخل زیادی هستند و قابلیت جذب گازها و مایعات شیمیایی را دارند. کربن‌های فعال به عنوان جاذب‌های حیاتی، در صنایع شناخته شده‌اند و کاربردهای گسترده‌ای با توجه به قابلیت جذب گازها و مایعات مزاحم، دارند و می‌توان از آن‌ها برای تصفیه و پاکسازی و حتی بازیافت مواد شیمیایی استفاده نمود. کربن‌های فعال شده به دلیل مساحت گسترده آن‌ها، ساختار منفذی، ظرفیت جذب بالا و قابلیت فعال‌سازی مجدد سطح، ماده‌ای منحصر به فرد می‌باشند. کاربرد مهم و قابل اهمیت آن‌ها در جداسازی بو، رنگ و مزه‌های غیردلخواه از آب در عملیات‌های خانگی و صنعتی، بازیافت حلال، تصفیه هوا به ویژه در رستوران‌ها، صنایع غذایی و شیمیایی می‌باشد. همچنین از مواد غیرآلی به عنوان کاتالیست نیز استفاده می‌شود (شاهچراغ، ۱۳۹۵). سطح موثر کربن فعال از ۲۵۰ تا ۲۵۰۰ میلی‌گرم تغییر می‌کند. همچنین کربن‌های فعالی با سطح موثر بیشتر از ۲۵۰۰ وجود دارند، که می‌توانند برای برنامه‌های ویژه‌ای که نیاز به سطح موثر بسیار بالا دارند، کاربرد لازم را فراهم کنند. کربن‌های فعال با قابلیت جذبی که دارند، برای جدایی بین چند ماده مختلف و برنامه‌های تصفیه استفاده می‌شوند (شاهچراغ، ۱۳۹۵). کربن فعال به عنوان یک جاذب دارای کاربردهای مهم و حیاتی می‌باشد. برای تهیه کربن‌های فعال، می‌توان از چوب، زغال سنگ، زغال نفتی، کود گیاهی، کاه، نی، خاک اره، تایر فرسوده و ... استفاده نمود.

ساکاروم می‌باشد. در شرایط خوزستان ارتفاع آن تا ۲۷۰ سانتی‌متر و قطر آن به حدود ۲/۵۵ تا ۳ سانتی‌متر و وزن هر ساقه نیشکر به حدود ۸۰۰ گرم تا یک کیلوگرم در سال می‌رسد. در فرایند تولید شکر، گیاه نیشکر پس از برداشت، شسته شده و برای خردکردن و عصاره‌گیری به آسیاب منتقل می‌شود. در قسمت آسیاب حدود ۹۲ تا ۹۴ درصد از قند موجود در آن استخراج می‌شود (مشایخی و ایزدینیا، ۱۳۸۲). باگاس نیشکر یکی از محصولات جانبی نیشکر است که ۲۰-۳۰ درصد وزن آن را تشکیل می‌دهد. باگاس نیشکر به صورت قطعات ریز و به رنگ کاهی است و از ضایعات کشاورزی و یک ماده لیگنو سلولزی است که از تفاله نیشکر بدست می‌آید و عمدتاً از سلولز، همی سلولز و لیگنین تشکیل شده است (Reungsang و Fangkum، ۲۰۱۱).

۲- مصارف و کاربرد باگاس

باگاس دارای کاربردهای بسیار متنوعی است، که از مهم‌ترین محصولات فرعی باگاس می‌توان به تولید متان، تولید ورق‌های فشرده، تولید اتانول، تولید نئوپان، خمیر کاغذ، تولید پوشال برای مرغ‌داری‌ها و تولید کمپوست اشاره کرد. در حال حاضر از باگاس نیشکر در تولید کربن فعال استفاده می‌شود و بقیه دفن یا سوزانده می‌شوند (Bakker, 2012).

پژوهش‌های انجام شده در زمینه حذف نیترات از آب

هاشمی و همکاران (۱۳۹۰) در پژوهشی از پوشال جو به عنوان یک ماده کربنی ارزان قیمت، برای جذب نیترات و افزایش سرعت غنی‌شدن استفاده کردند. نتایج مطالعات آزمایشگاهی نشان داد که ترکیب ۳۰ درصد پوشال جو و ۷۰ درصد خاک می‌تواند یک فیلتر مناسب جهت حذف نیترات از زه‌آب‌های زیرزمینی باشد. فیلترهای مورد استفاده در این آزمایش توانستند در انتهای دوره آزمایش بیش از ۸۰ درصد نیترات موجود در آب را با فرایند غنی‌شدگی از محیط خارج نمایند، که نشان‌دهنده قابلیت خوب این سیستم می‌باشد. استفاده از این فیلترها به دلیل ارزان بودن و در دسترس بودن مواد مصرفی بسیار مناسب می‌باشند و در صورتی که این فیلترها همزمان با اجرای سیستم زهکشی نصب گردند، هزینه آن به مراتب کاهش می‌یابد. فراستی و همکاران (۱۳۹۱) برای آماده‌سازی مواد اولیه آزمایش از گیاه نی و گیاه باگاس نیشکر در مقیاس نانو استفاده کردند و اثر عواملی مانند میزان جاذب، غلظت نیترات ورودی، pH و حضور سایر یون‌های رقابتی روی جذب نیترات را آزمایش نمودند. در مورد جاذب باگاس نیشکر اصلاح شده با افزایش جرم جاذب از ۰/۱ تا ۰/۵ گرم، راندمان حذف از ۴۵ درصد به ۷۵ درصد افزایش یافت، اما با افزایش میزان جاذب از ۰/۵ گرم تا ۱ گرم، راندمان جذب ثابت ماند. برای جذب نی اصلاح شده با افزایش جرم جاذب از ۰/۱ تا ۰/۳ گرم، راندمان جذب از ۶۰ درصد به ۸۵ درصد افزایش یافت. اما با افزایش میزان جاذب از ۰/۳ گرم تا ۱ گرم، راندمان جذب ثابت باقی ماند. پس از انجام آزمایش‌ها برای جذب نیترات با غلظت ۱۵ میلی‌گرم بر لیتر، برای نانو جاذب‌های نی و باگاس نیشکر به ترتیب ۰/۳ و ۰/۵ گرم جاذب، زمان تعادل ۲ ساعت و $pH=6$ به دست آمد. با افزایش غلظت ماده جذب‌شونده از راندمان جذب کاسته شده و با افزایش غلظت ماده جاذب، راندمان جذب بیشتر شد. نتایج بدست آمده از آزمایش‌های جذب در فرایند ناپیوسته با ایزوترم جذب سطحی فروندلیچ مطابقت کامل داشت. نانو جاذب‌های نی و باگاس نیشکر به عنوان جاذب‌های آنیونی قوی قادر به جذب نیترات از محلول آبی بودند و از بین آن‌ها نانو جاذب نی توانایی بیشتری در جذب نیترات داشته است. با توجه به این که این گیاهان به عنوان ضایعات کشاورزی هستند، به نظر می‌رسد که

استفاده از آن‌ها برای تصفیه آب اقتصادی باشد. مقیمی (۱۳۹۵) در پژوهشی برای جذب نیترات از باگاس نیشکر به عنوان ماده کربنی استفاده کرده است. باگاس نیشکر به عنوان فیلتر توانست در انتهای دوره آزمایش حدود ۶۰ درصد از نیترات موجود در آب را با فرایند غنی‌شدگی از محیط خارج نماید که نشان‌دهنده قابلیت خوب این سیستم می‌باشد. باگاس نیشکر را به صورت یک لایه فیلتر در کنار لوله زهکشی نصب نمود، تا زه‌آب سیستم زهکشی قبل از ورود به داخل لوله‌ها و انتقال به آب‌های سطحی از میان این فیلتر عبور نماید. استفاده از باگاس باعث افزایش غلظت آمونیوم و میزان هدایت هیدرولیکی به میزان خیلی ناچیز شد و میزان pH در زه‌آب خروجی را کاهش داد. بی‌آزار (۱۳۹۱) در پژوهشی از چهار جاذب کربنی: جاذب کربن گلبرگ زعفران، جاذب کربن فعال کربن هسته عناب و کربن پوسته گردو برای حذف نیترات از آب استفاده کرد و به این نتیجه رسید که جاذب‌های کربنی درصد زیادی از نیترات را از آب می‌توانند حذف کنند. تنگسیر و همکاران (۱۳۹۶) در پژوهشی برای جذب نیترات از بسترهای غنی‌شدگی که در لوله‌های پلی‌اتیلن به قطر سه اینچ و ارتفاع ۴۵ سانتی‌متر شبیه‌سازی می‌شوند، استفاده کردند. ابعاد در نظر گرفته شده برای مدل‌سازی بستر مشابه ابعاد در نظر گرفته شده توسط هاشمی و همکاران (۱۳۹۰) بود. آن‌ها دو نوع بستر را برای ارزیابی فرایند غنی‌شدگی آماده کردند، که در نوع اول فقط خاک و در نوع دوم، مخلوطی از خاک و باگاس با نسبت حجمی ۳۰ درصد باگاس و ۷۰ درصد خاک در نظر گرفته شد. از نتایج به دست آمده مشاهده نمودند که میزان غلظت نیترات خروجی در هر بستر نسبت به میزان نیترات ورودی کاهش می‌یابد. در مطالعه بررسی راندمان جذب نیترات در بسترهای دنیتریفیکاسیون ساخته شده از باگاس جو مشاهده نمودند که در هر دو ستون حاوی منبع کربنی و فاقد منبع کربنی، نیترات خروجی نسبت به میزان نیترات ورودی کاهش می‌یابد و میزان کاهش نیترات خروجی در ستون‌های حاوی باگاس خیلی بیشتر از ستون‌های فاقد باگاس است. در بسترهای فاقد باگاس، حداکثر راندمان جذب (۸۵/۲۴ درصد)، به ابتدای دوره (۲۵ روز از شروع آزمایش) تعلق دارد. هم‌چنین مشاهده نمودند که در پایان دوره آزمایش، راندمان جذب در ستون‌های فاقد باگاس به ۲۷/۸۱ درصد کاهش می‌یابد، در حالی که در بسترهای حاوی باگاس، راندمان جذب نیترات در کل دوره آزمایش بالای ۸۰ درصد باقی می‌ماند. متوسط راندمان جذب در طول دوره آزمایش به ترتیب برابر ۸۹/۳۶ و ۴۶/۸۲ درصد می‌باشد که نتایج نشان می‌دهند باگاس نیشکر به خوبی در جذب نیترات ورودی می‌تواند موثر واقع شود. مارزی و همکاران (۱۳۹۵) در پژوهشی بیان نمودند بیوجار، جاذبی مناسب و ارزان قیمت برای خارج‌سازی نیترات از منابع آب است و از موادی با ارزش اقتصادی پایین قابل تولید است. برای تولید بیوجار، دما و مدت نگهداری در دوره مهم‌ترین فاکتورهای کنترل‌کننده کیفیت و قدرت بیوجار که

خارج‌سازی نیترات است. در این پژوهش بیوجار تولید شده در دمای ۶۰۰ درجه سلسیوس و در زمان ۴ ساعت توانایی بیشتری در جذب نیترات از محلول نیترات را دارا بود و فاکتورهای محیطی مثل دما و pH محیط، تأثیر زیادی در جذب نیترات بر بیوجار داشت. مدل سینتیکی شبه مرتبه دوم به خوبی بر داده‌های آزمایشی برازش پیدا کرد؛ اما دو مدل شبه مرتبه اول و پخشیدگی بین ذره‌ای، برازش پایینی بر داده‌های آزمایشی داشتند. از بین مدل‌های هم‌دما نیز مدل‌های لانگمویر و تمکین بهتر از مدل فروندلیچ به داده‌های آزمایشی برازش داشتند. هاشمی و همکاران (۱۳۹۶) از باگاس نیشکر که قسمت اعظم این پسماند فیبری خشک و محکم را سلولز، پنتوزان و لیگنین تشکیل می‌دهد، برای حذف نیترات از زهاب خروجی مزارع کشاورزی و تعیین بهترین سطوح، در شرایط فیزیکی و شیمیایی استفاده کردند. انجام فرایند جذب سطحی توسط چهار پارامتر غلظت نیترات در محلول، اندازه ذره جاذب، pH محلول و زمان تعادل جذب، بررسی شد و بهترین سطوح برای فرایند جذب تعیین شد. نتایج نشان داد که توانایی جذب در سطوح ذرات جاذب باگاس نیشکر با کاهش قطر ذرات جاذب، افزایش میزان PH محلول، افزایش غلظت نیترات و افزایش مدت زمان واکنش تا یک حد مشخصی افزایش می‌یابد و از میان این پارامترها، پارامتر قطر جاذب ذرات کم‌ترین تأثیر را روی توانایی جذب نیترات دارا است. با انجام این آزمایش بازده جذب نیترات ۶۰ درصد برآورد شد. Ohe و همکاران (۲۰۰۳) در پژوهشی رفتار جذب نیترات از محلول‌های آبی را با استفاده از کربن فعال ساخته شده از پوسته نارگیل و ذغال ساخته شده از بامبو بررسی نمودند. حداکثر جذب نیترات توسط جاذب‌های تهیه شده در $pH=2/4$ اتفاق افتاد و از مدل لانگمویر تبعیت کرد. ظرفیت جذب برای زغال بامبو و کربن فعال به ترتیب 1.04×10^{-1} و $2/66 \times 10^{-1}$ mmol/g گزارش شد. Bekta و Oztuk (۲۰۰۴) حذف نیترات از محلول‌های آبی را به وسیله جاذب‌های مختلف مطالعه کردند. در این پژوهش سیپولیت، فعال شده با HCl، تفاله و کربن پودری فعال به عنوان جاذب استفاده شد. محلول نیترات نقره 100 mgL^{-1} در آزمایشات ناپیوسته برای بررسی میزان حذف نیترات استفاده شد. بر اساس مطالعات سینتیکی مشخص شد، که تفاله برای حذف نیترات مؤثر نیست. اندازه جاذب، pH و زمان تماس برای حذف نیترات در مورد سایر جاذب‌ها بررسی شد. pH بهینه پودر کربن فعال معادل ۲ بود، در حالی که pH بر روی بازدهی سایر جاذب‌ها چندان مؤثر نبود. مقدار جاذب 1 mgL^{-1} ۲۰-۵ متغیر بود. افزایش مقدار منجر به افزایش بازدهی حذف نیترات می‌شد. Saltali و همکاران (۲۰۰۷) از براده چوب و پوشال گندم در تصفیه پساب کشاورزی استفاده نمود. نتایج نشان داد که هر دو جاذب مذکور دارای قابلیت حذف ۹۹ درصد نیترات بودند. با توجه به نتایج به‌دست آمده، هر دو جاذب می‌توانند به‌عنوان بیوفیلتر استفاده شوند. Mishra و Patel (۲۰۰۹) در پژوهشی از

زغال کاه گندم و زغال کاه خردل برای جذب نیترات از محلول‌های آبی استفاده کردند. این دو ماده ابتدا تمیز و سپس به مدت ۲۴ ساعت خشک شدند. سپس الک شده و در کوره در دمای ۳۰۰ درجه سانتی‌گراد برای یک ساعت و ۳۰ دقیقه سوزانده شدند. همچنین زغال با آب مقطر شسته شد تا تمام رنگ آن که به علت حضور ذرات کربن بود از آن گرفته شود. بعد از آن با یک کربن تجاری به عنوان استاندارد برای مقایسه به کار گرفته شد. نتایج نشان داد، مقدار جذب زغال کاه گندم و زغال کاه خردل و کربن تجاری در ۱۵ درجه سانتی‌گراد به ترتیب ۱/۱۰، ۱/۳۰، ۱/۲۲ میلی‌گرم بر گرم بوده که نشان می‌دهد جذب کاه خردل بیشتر از زغال کاه گندم و زغال تجاری می‌باشد. Gundzoglu و Demiral (۲۰۱۰) در پژوهشی از کربن بدست آمده از باگاس چغندر قند، برای حذف نیترات از محلول‌های آبی استفاده کردند و اثرات pH و زمان تماس را بررسی نمودند. مطالعات جذب با استفاده از ایزوترم‌های لانگمویر و فروندلیچ انجام گردید و نتایج بدست آمده از داده‌های جذب به خوبی با مدل لانگمویر مطابقت داشت و با کاهش pH و افزایش زمان تماس، ظرفیت جذب افزایش یافت. Divband Hafshejani و همکاران (۲۰۱۶) در پژوهشی از تفاله نیشکر به عنوان یک جاذب موثر برای جذب نیترات از محلول‌های آبی استفاده کردند. آن‌ها آزمایش‌های جذب تعادل را با استفاده از غلظت اولیه نیترات ۱۰۰-۱ میلی‌گرم بر لیتر با در جذب مطلوب ۲ گرم بر لیتر در دمای ۲۲ درجه سانتی‌گراد و $pH=4/6$ انجام دادند و سپس از فیلترهای غشایی عبور و غلظت نیترات باقی مانده را تجزیه و تحلیل کردند. نتایج به‌دست آمده نشان داد که جذب در عرض ۶۰ دقیقه به تعادل رسیده است. همچنین داده‌های آزمایشی به خوبی با مدل‌های ایزوترم لانگمویر و سنتیک شبه درجه دوم مطابقت داشتند و حداکثر بیوجار (زغال زیستی) اصلاح شده برای یون‌های نیترات ۲۸/۲۱ میلی‌گرم بر لیتر به‌دست آمد. Mor و همکاران (۲۰۱۶) در پژوهشی از خاکستر پوسته برنج که به‌عنوان زباله‌های زراعی به مقدار زیادی در دسترس هستند، استفاده کردند. مشخصه جاذب با استفاده از تبدیل فوریه مادون قرمز، اشعه ماوراء بنفش و پراش اشعه ایکس اسپکتروفتومتریک تجزیه و تحلیل شد و پارامترهای مختلف مانند زمان تماس، دوز جذب‌کننده، pH و دما بررسی شده و حذف فسفات تا ۸۹ درصد در $pH=6$ در زمان ۱۲۰ دقیقه به‌دست آمد. در این پژوهش از ایزوترم لانگمویر و شبه درجه دوم که بهترین تناسب را با داده‌های تجربی داشتند، استفاده شد و نتایج نشان داد که سطح زبر ظرفیت جذب را افزایش می‌دهد و خاکستر پوسته برنج به‌عنوان یک جاذب ارزان قیمت برای درمان آب و فاضلاب این پتانسیل را دارد. در جدول (۴) در یک بررسی کلی میزان کارایی روش‌های کاهش نیترات در آب با استفاده از جاذب‌های مختلف جهت مقایسه آورده شده است.

جدول ۴- میزان کارایی روش‌های جذب نیترات در آب با استفاده از جاذب‌های مختلف

میزان جذب نیترات	زمان	pH	آلاینده	جاذب مورد استفاده	محققین / سال
بیش از ۹۰٪	-	pH = ۲-۶	نیترات	پوشال جو	هاشمی و همکاران، ۱۳۹۰
۸۰٪	۱۲۰ دقیقه	pH = ۶	نیترات	پوشال نیشکر	فراستی و همکاران، ۱۳۹۱
۹۰٪	-	pH = ۷/۰۹-۶/۵	نیترات	باگاس نیشکر	مقیم، ۱۳۹۵
۶۶٪	۹۰ دقیقه	pH = ۲	نیترات	گلبرگ زعفران	بی‌آزار، ۱۳۹۱
۶۱٪	۱۵۰ دقیقه	pH = ۲	نیترات	کربن فعال	
۵۵٪	۲۱۰ دقیقه	pH = ۲	نیترات	کربن هسته عنب	
۳۷٪	۲۱۰ دقیقه	pH = ۲	نیترات	کربن پوسته گردو	
۳۶-۸۹٪	-	pH = ۲-۶	نیترات	باگاس نیشکر	تنگسیر و همکاران، ۱۳۹۶
۹۰٪	۲۴۰ دقیقه	pH = ۲-۶	نیترات	بیوچار	مارزی و همکاران، ۱۳۹۵
۶۰٪	-	pH = ۲-۶	نیترات	باگاس نیشکر	هاشمی و همکاران، ۱۳۹۶
۹۰٪	-	pH = ۲/۴	نیترات	کربن فعال	Ohe و همکاران، ۲۰۰۳
۹۰٪	-	pH = ۲/۴	نیترات	پوسته نارگیل	
۹۰٪	-	pH = ۲	نیترات	زغال بامبو	Bekta و Ozturk، ۲۰۰۴
۹۰٪	-	pH = ۲	نیترات	سپیولیت فعال شده با HCL	
۹۰٪	-	pH = ۲	نیترات	تفاله و کربن پودری فعال	
۹۹٪	-	pH = ۲-۶	نیترات	براده چوب	Saltali و همکاران، ۲۰۰۷
۹۹٪	-	pH = ۲-۶	نیترات	پوشال گندم	
۸۰٪	-	pH = ۲-۶	نیترات	زغال کاه گندم	Patel و Mishra، ۲۰۰۹
۹۰٪	-	pH = ۲-۶	نیترات	زغال کاه خردل	
۹۰٪	-	pH = ۶	نیترات	باگاس چغندر قند	Gundzogli و Demiral، ۲۰۱۰
۹۰٪	۶۰ دقیقه	pH = ۴/۶	نیترات	باگاس نیشکر	Divband Hafshejani و همکاران، ۲۰۱۶
۹۹٪	-	pH = ۶	نیترات	خاکستر پوسته برنج	Mor و همکاران، ۲۰۱۶

جمع‌بندی

با توجه به محدود بودن منابع آبی در دسترس، زدودن آلودگی از این منابع و همچنین از پساب‌های خانگی، صنعتی و زه‌آب‌های کشاورزی می‌تواند ضمن حفاظت از محیط‌زیست و منابع آبی بخشی از کمبود آب را نیز جبران نماید. در این مقاله فرایندهای مختلفی برای جذب نیترات از آب‌های آلوده به نیترات مطالعه شد. نتایج نشان داد تصفیه زه‌آب توسط فرایند جذب سطحی به وسیله بیوچار تولید شده از ضایعات گیاهی، روشی بسیار مفید و موثر است. بیوچار از موادی با ارزش اقتصادی پایین قابل تولید است و جاذبی مناسب و ارزان قیمت برای خارج‌سازی نیترات از منابع آبی است. طبق مطالعات انجام شده برای تولید بیوچار، دما و مدت نگهداری در کوره مهم‌ترین فاکتورهایی کنترل‌کننده کیفیت و قدرت بیوچار در خارج‌سازی نیترات

است. در صورت استفاده از جاذب مناسب در بعضی تحقیقات حتی تا ۹۹ درصد میزان نیترات موجود در آب کاهش یافته است.

منابع

افیونی، م. و عرفانمنش، م. ۱۳۷۹. آلودگی آب و خاک و هوا. دانشگاه صنعتی اصفهان. انتشارات ارکان.
اکبری، ت. ۱۳۸۴. بررسی کاربرد باگاس به عنوان یک جاذب طبیعی ارزان قیمت به منظور حذف روی، سرب و کادمیوم از آب. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات اهواز.
امینی، ا. ۱۳۹۱. کارایی نانو ذرات آهن صفر ظرفیتی روی بستر نانوکربن جهت حذف فسفات از آب. پایان‌نامه کارشناسی ارشد،

دانشگاه علوم و فنون دریایی خرمشهر، دانشکده علوم دریایی و اقیانوسی.

آیتی، ب.، فرتوس، س. و دلنواز م. ۱۳۸۵. بررسی فناوری‌های نوین ذرات نانو در مهندسی محیط‌زیست. همایش آینده‌پژوهی، فناوری و چشم انداز توسعه.

بی‌آزار، س. ۱۳۹۱. حذف نیترات و سولفات از محلول‌های آبی به وسیله نانو ذرات و جاذب‌ها زیستی. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه بیرجند، دانشکده محیط زیست.

تنگسیر، س.، ناصری، ع.ع.، معاضد، ه.، هاشمی گرم دره، س.ا. و برومند نسب، س. ۱۳۹۶. بررسی عملکرد باگاس نیشکر به عنوان منبع کربنی مورد نیاز در طراحی بسترهای دنیتریفیکاسیون. مجله علوم و مهندسی آبیاری، ۴۰: ۳۹-۵۷.

تقی یان اقدم، ا. شهیدی؛ ع. خزاعی تبار، ح. ۱۳۹۴. بهینه سازی پوشش کانال‌های آبیاری با مواد ژئوسنتیک. همایش بین المللی پژوهش‌های کاربردی در کشاورزی. تهران.

جرسایی تالار، ع. ۱۳۷۵. حذف فلزات سنگین از آب و فاضلاب. سمینار کارشناسی ارشد. دانشگاه علم و صنعت ایران دانشکده عمران.

سلیمانی، م.، انصاری، م.، عباسی، م. و عابدی، ج. ۱۳۸۷. بررسی حذف نیترات و آمونیوم از آب‌های زیر زمینی با استفاده از فیلترهای کانساری. مجله آب و فاضلاب، ۶۷.

فراستی، م.، جعفرزاده، ن.، برومند نسب، س.، معاضد، ه.، عابدی کوپایی، ج. و سیدیان، س.م. ۱۳۹۱. استفاده از نانو جاذب‌های گیاهی به منظور حذف نیترات از محلول‌های آبی. مجله پژوهش‌های منابع آب ایران، ۳: ۲۸-۳۸.

شامحمدی حیدری، ز.، معاضد، ه.، جعفرزاده حقیقی، ن. و حقیقت‌جو، پ. ۱۳۸۷. حذف کادمیم از محیط آبی در غلظت‌های کم به وسیله پوسته شلتوک اصلاح شده. مجله آب و فاضلاب، ۳۷: ۳۳-۶۷.

شاهچراغ، س.ک. ۱۳۹۵. مطالعه خواص فیزیکی و سنتز نانو ساختارهای حفره‌دار کربن فعال کاربرد در رفع آلودگی‌های زیست محیطی. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه دامغان، دانشکده فیزیک.

صادقی لاری، ع. ۱۳۹۱. بررسی اثرات کنترل سطح ایستابی بر روی میزان جریان نیتروژن و فسفر خروجی از زهکش‌های زیرزمینی در نواحی خشک (مطالعه موردی شعبیه خوزستان). پایان‌نامه کارشناسی ارشد رشته آبیاری زهکشی، دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران اهواز.

عابدی کوپایی ج. ۱۳۸۶. تأثیر آبیاری سطحی و زیرسطحی با پساب تصفیه شده بر خصوصیات چمن برموداگراس. مجله علوم و کشاورزی و منابع طبیعی. جلد ۱۵. شماره ۴.

عزتی فیض ج. ۱۳۹۴. بحران آب (چالش‌ها و راه‌کارها). فصل‌نامه

زمین‌شناسی تنیس. سال ششم. شماره پانزدهم.

مارزی، م.، فرحبخش، م. و خیال ص. ۱۳۹۵. سینتیک و هم‌دمای جذب نیترات از محلول آبی با استفاده از بیوجار. نشریه دانش آب و خاک. ۲۶: ۱۴۵-۱۵۸.

مقیمی، ن.، ناصری، ع.ع.، سلطانی محمدی، ا. و هاشمی گرم دره، س.ا. ۱۳۹۵. بررسی عملکرد باگاس نیشکر در کاهش نیترات خروجی از زه آب زهکش‌های زیرزمینی. مجله علوم و مهندسی آبیاری، ۳۹: ۲.

مشایخی، م. و ایزدینیا، ح.ر. ۱۳۸۲. استفاده از سطوح مختلف باگاس غنی شده با اوره در جیره غذایی گاومیش‌های شیرده خوزستان. مجله پژوهش و سازندگی، ۱۶(۱): ۲-۵.

ملکوتی، م. ۱۳۸۷. حاصل‌خیزی خاک‌های مناطق خشک. انتشارات دانشگاه تربیت مدرس تهران.

ملکیان، ر. ۱۳۹۰. تأثیر ژئولیت و ژئولیت اصلاح شده کلینوپتیلولایت بر آبشویی نیترات و آمونیوم و رشد گیاه. رساله دکتری آبیاری و زهکشی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه اصفهان.

مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، شماره استاندارد ایران ۱۰۵۳، ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی آب آشامیدنی.

موسوی، ع. مرتضایی ز. محمدی ط. چراغیان فرد ش. ۱۳۹۴. مروری بر روش‌های حذف نیترات از آب و فاضلاب. دومین کنفرانس بین المللی مهندسی محیط زیست.

مهرداد، ن. عدل م و زرنکابی م. ۱۳۸۰. مدیریت کیفیت زه آب‌های کشاورزی. انتشارات کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران. شماره ۴۳.

هاشمی، س.ا.، حیدرپور، م. و مصطفی‌زاده فرد، ب. ۱۳۹۰. بررسی میزان حذف نیترات در دو حالت قرارگیری فیلترهای زیستی در سیستم‌های زهکشی زیرزمینی. مجله علوم و مهندسی آبیاری، ۳۴: ۱.

هاشمی، م.، ناصری، ع.ع. و تکدستان، ا. ۱۳۹۶. بررسی کارایی جاذب باگاس نیشکر در حذف نیترات از زهاب خروجی کشاورزی. مجله علمی علوم و مهندسی آبیاری، ۴۰: ۱-۱۰.

Bakker H. 2012. Sugar Cane Cultivation and Management. Springer Science & Business Media. 54: 74-85

Benefield D., Judkins F. and Weand I. 1982. Process chemistry for water and wastewater treatment. Prentice-Hall.

Cengeloglu Y., Tor A., Ersoz M. and Arslan G. 2006. Removal of nitrate from aqueous solution by using red mud, Sep. Purif. Technol, 51: 374-378.

choeman J.J and Steyn A. 2003. Nitrate removal with reverse osmosis in a rural area in South Africa.

- beads to remove nitrate from contaminated water. *Chem. Eng. J*, 99: 153-160.
- Kaneko K., Camara S., Ozeki S. and Souma M. 1991. Dynamic NO₃ adsorption characteristics of iron oxide-dispersed activated carbon fibers. *Carbon*, 29: 1287 -1289.
- Kapoor A, T. Virapaghavan. 1977. "Nitrate removal from drinking water", *J. Environ. Eng.* 123 :371-379.
- Kohler M. and Fritzsche W. 2004. *Nanotechnology An Introduction to Nanostructuring techniques*. Wiley-VHC, ISBN, 978-3-527-30750-0.
- Kumar M and Chakraborty S. 2006. Chemical denitrification of water by zero valent magnesium powder. *Journal Hazardous Materials*,135: 112-121.
- Laird D.A., Rogovska N.P., Garcia-Perez M. Collins H.P, Streubel J.D. and Smith M. 2010. Pyrolysis and biochar opportunities for distributed production and soil quality enhancement. In: Braun R. Karlen D. and Johnson D. Sustainable alternative fuel feedstock opportunities, challenges and roadmaps for six U. S. regions. *Proceedings of the Sustainable Feedstocks for Advance Biofuels Workshop*, pp. 257-281.
- Lehman J.J and Rondon M. 2006. Biochar sequestration in terrestrial ecosystems-A review. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 11(2): 403-427.
- Mishra P.C and Patel R.K. 2009. Use of agricultural waste for the removal of nitrate nitrogen from aqueous medium. *Environ Manage*, 90: 519-522.
- Mor S., Chhoden K. and Khaiwal R. 2016. Application of Agro-waste Rice Husk Ash for the removal of Phosphate from Wastewater. *Journal of Cleaner Production*, 50: 98.
- Mohanraj V.J. and Chen Y. Nanoparticles – A Review. *Tropical J of Pharm Res*, 5(1): 561-573.
- Ohe K., Nagae Y., Nakamura S. and Baba Y. 2003. Removal of nitrate anion by carbonaceous materials prepared from bamboo and coconut shell. *J. Chem. Eng. Japan*, 36: 511-515.
- Desalination, 155: 15-26.
- Criss, E., and Davisson, M., 2004. Fertilizers, water quality, and human health. *Environmental Health Perspective*. 112: 536-546
- Clifford D.A., Liu X. 1993. Ion Exchange for Nitrate Removal. *Journal AWWA*, 85(4):135-143.
- Demiral H and Gunduzoglu G. 2010. Removal of nitrate from aqueous solutions by activated carbon prepared from sugar beet bagasse. *Bioresour Technol*, 101: 1675-1680.
- Divband Hafshejani L. Hooshmand A. Naseri A.A. Soltani Mohammadi A. Abbasi F. & Bhatnagar A. Removal of nitrate from aqueous solution by modified sugarcane bagasse biochar. 2016. *Ecological Engineering* 95:101-111.
- Edimar R., Cláudio N., Osvaldo A., Serra AGS. and Prado A. 2007. Antenna Effect in Highly Luminescent Eu³⁺ Anchored in Hexagonal Mesoporous Silica. *Chem. Mater*, Vol, 19(22): 5437-5442.
- Fangkum A. and Reungsang A. 2011. Biohydrogen production from sugarcane bagasse hydrolysate by elephant dung: effects of initial pH and substrate concentration. *International Journal of Hydrogen Energy*, 36(14): 8687-8696.
- Faust S.D. and Aly O.M. 1987. *Adsorption Process for Water Treatment*. Butterworths Publishers, Stoneham,
- Feyman R.P. 1960. There is plenty of room at the bottom. *Eng Sci*, 23(2): 155-163.
- Hewakuruppu Y.L., Dombrovsky L.A., Chen C., Timchenko V., Jiang X., Baek S. and Taylor R.A. 2013. Plasmonic pump-probe method to study semi-transparent nanofluids. *Applied Optics*, 52(24): 6041-6050.
- Gupta A. and Sankararamakrishnan N. 2010. Column studies on the evaluation of novel spacer granules for the removal of arsenite and arsenate from contaminated water. *Bioresource Technology*.101: 2173-2179.
- Jaafari K., Ruiz T., Elmaleh S., Coma J. and Benkhoucha K. 2004. Simulation of a fixed bed adsorber packed with protonated cross-linked chitosan gel

- Soares M.I.M. 2000. Biological denitrification of ground water. *Water, Air, & Soil Pollution*, 123: 183-193.
- Taylor R.A., Phelan P.E., Otanicar T.P., Adrian R. and Prasher R. 2011. Nanofluid optical property characterization: Towards efficient direct absorption solar collectors. *Nano Res Lett*, 6: 1-225.
- Tezuka S., Chitrakar R., Sonoda A., Ooi K. and Tomida T. 2004. Studies on selective adsorbents for oxo-anions. Nitrate ion-exchange properties of layered double hydroxides with different metal atoms. *Green Chem*, 6: 104-109.
- Wang Y., Lin S. and Juang R. 2003. Removal of heavy metal ions from aqueous solutions using various low-cost adsorbents. *Journal of hazardous materials*, 102(2-3): 291-302.
- Wang S., Peng Y. 2010. "Natural zeolites as effective adsorbents in water and wastewater treatment", *Chem. Eng. J.* 156 :11 24.
- Winsley P. 2007. Biochar and bioenergy production for climate change mitigation. *New Zealand Science Review* 64: 5-10.
- Yao Y. Gao B. Zhang M. Inyang M. & Zimmerman AR. 2012. Effect of biochar amendment on sorption and leaching of nitrate, ammonium, and phosphate in a sandy soil. *Chemosphere* 89: 1467-1471.
- Xu T. and Huang Ch. 2008. Electrodialysis-Based Separation Technologies: A Critical Review. *AICHE J*, 54: 3147-3159.
- Zhang H., Tong Z.h., Wei T. and Tang Y. 2011. Removal characteristics of Zn(II) from aqueous solution by alkaline Ca-bentonite. *Desalination*, 276: 103-108.
- <https://apps.WHO.int/iris/handle/10665/38551> (visited 4 June 2020)
- <http://standard.isiri.gov.ir/1053> (visited 4 June 2020)
- Orlando U.S., Baes A.U., Nishijima W and Okada M. 2002. A new procedure to produce lignocellulosic anion exchangers from agricultural waste materials. *Bioresour.Technol*, 83: 195-198.
- Ovez B., Ozgen S and Yuksel M. 2006. Biological denitrification in drinking water using *Glycyrrhiza glabra* and *Arunda donax* as the carbon source. *Process Biochemistry*, 41: 1539-1544.
- Ozturk N. and Bekta TE. 2004. Nitrate removal from aqueous solution by adsorption onto various materials. *J. Hazard. Mater*, B112: 155-162.
- Pinnavaia T.J. 1983. Intercalated clay catalysts. *Science*, 220: 365-371.
- Pollard S.J.T., Fowler G.D., Sollars C.J. and Perry R. 1992. Low-cost adsorbents for waste and wastewater treatment: a review. *Sci. Total Environ*, 116: 31-52.
- Qaiser S., Saleemi A. and Mahmood M. 2007. Heavy metal uptake by agro based waste materials", *Electronic Journal of Biotechnology*, 10(3): 409-416.
- Qu X., Alvarez P.J.J. and Li Q. 2013. Applications of nanotechnology in water and wastewater treatment. *Water Res*, 47: 3931-3946.
- Rahmani A., Zavvar Mousavi H. and Fazli M. 2010. Effect of nanostructure alumina on adsorption of heavy metals. *Desalination*, 253(1-3): 94 -100.
- Saad R., Hamoudi S. and Belkacemi K. 2008. Adsorption of phosphate and nitrate anions on ammonium-functionnalized mesoporous silicas. *J. Porous Mater*, 15: 315-323.
- Saltali K., Sari A. and Aydin M. 2007. Removal of ammonium ion from aqueous solution by natural Turkish (Yildizeli) zeolite for environmental quality. *J. Hazard. Mater*, 141: 258-263.
- Shah M.A. and Ahmad T. 2011. Principles of nanoscience and nanotechnology. Narosa Publishing House: New Delhi, India, 11.