مروری بر انواع جاذب در تصفیه آب و پساب

متین حجی زاده [۱]، شهریار غمامی [۲*]، حسین گنجی دوست [۳]، فروغ فرساد [۱]

۱- دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، گروه علوم محیط زیست، تهران، ایران

۲*- نویسنده مسئول، دانشگاه بین المللی امام خمینی، دانشکده علوم پایه، گروه شیمی، قزوین، ایران

۳- دانشگاه تربیت مدرس، دانشکده مهندسی عمران و محیط زیست، گروه مهندسی محیط زیست، تهران، ایران

* ایمیل نویسنده مسئول: shghamami@yahoo.com

تاریخ دریافت : ۹۹/۰۷/۱۲ تاریخ پذیرش : ۹۹/۰۷/۲۸

چکیده

تکنیک های مختلفی جهت حذف آلاینده ها از آب و پساب وجود دارد. در این بین جذب سطحی یکی از ساده ترین، موثرترین و اقتصادی ترین روشها جهت تصفیه فاضلاب می باشد. این مقاله مروری به تحقیقات اخیر در خصوص حذف آلاینده های مختلف با انواع جاذب ها از آب و پساب اشاره می کند. در این مطالعه تعداد زیادی از جاذب ها نظیر جاذب های طبیعی، ضایعات کشاورزی، محصولات جانبی صنایع، بیومس، انواع مختلف نانوجاذب ها شامل نانو مواد با پایه کربن، نانو مواد جدید با پایه فلزی، نانو جاذب های با پایه اکسیدهای فلزی، نانو مواد با پایه فریت اسپینل، نانو کامپوزیت ها، سیمان ژئوپلیمر و پلیمرهای شاخه ای جهت حذف آلاینده های مختلف از آب و پساب مورد بحث قرار گرفته است. همچنین در این مقاله تلاش شده است به مزایا و معایب هر یک از جاذب ها و نیازهای پژوهشی در زمینه تصفیه فاضلاب توسط جاذب ها اشاره شود.

کلمات کلیدی

"جذب سطحی"، "جاذب"، "تصفیه پساب"

Review the types of adsorbents in water and wastewater treatment

Matin Hajjizadeh[1] , Shahriar Ghammamy [2,*], Hossein Ganjidoust[3], Forough Farsad[1]

1 - Department of Environmental Science, Faculty of Natural Resources and Environment, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

2 -[*] Department of Chemistry, Faculty of science, Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran

3 - Environmental Engineering Department, Faculty of Civil and Environmental Engineering, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran,

[*]Email Address: shghamami@yahoo.com

Abstract

There are several techniques for removing contaminants from water and wastewater. Meanwhile, adsorption is one of the simplest, effectual and most economical methods for wastewater treatment. In this study, a large number of adsorbents such as natural adsorbents, agricultural wastes, industrial by-products, biomass, nanosorbents including carbon-based nanomaterials, novel metal-based nanomaterials, metal oxide-based nanosorbents, nanomaterials with base Spinel ferrite, nanocomposites, geopolymer cement and dendritic polymers to remove various contaminants from the effluent are discussed. This article also tries to point out the advantages and disadvantages of each adsorbent and research needs in the field of wastewater treatment by adsorbents.

Keywords

‘‘adsorption’’, ‘‘adsorbent’’, ‘‘wastewater treatment’’

۱- مقدمه

تکنولوژی های مختلفی جهت حذف آلاینده هایی نظیر فلزات سنگین سمی، رنگ ها، آفت کش ها، کودهای شیمیایی، اسیدهای آلی و ترکیبات فنولی و هالوژنه از آب و پساب وجود دارد. تکنیک هایی نظیر رسوب دهی، سوزاندن، کوآگولاسیون و فلوکولاسیون، تبادل یونی، اسمز معکوس، فیلتراسیون غشایی، الکتروشیمی، فتوالکتروشیمی، اکسیداسیون پیشرفته و روشهای بیولوژیکی سطوح مختلفی از تصفیه را نشان می دهند. هر یک از این روشها در تصفیه ی فاضلاب دارای مزایا و معایبی هستند. برخی اشکالات این روشها عبارتند از راندمان حذف پایین، تولید بالای لجن، عدم بهره وری هزینه و انرژی، تولید محصولات جانبی سمی و نیز اضافه کردن مواد شیمیایی بالقوه سمی به محیط زیست. در این بین روش جذب[1] یکی از موثرترین روشها جهت تصفیه طیف وسیعی از فاضلاب هاست. (۲۵) این روش به دلیل مزایای آن نظیر ساده بودن عملیات، مقرون به صرفه بودن، کارایی بالا و طراحی آسان جاذب و مهمتر از همه عدم ایجاد آلاینده های ثانویه در طی فرآیند جذب، یکی از روشهای مناسب جهت حذف آلاینده هاست. (۳۰) در این روش آلاینده ها در سطح منافذ جاذب هایی که در واقع ترکیبات غیر قابل حل در آب می باشند؛ جذب سطحی می شوند. (۳۲) در این فرآیند ذرات جذب شونده[2] تشکیل یک لایه نازک (فیلم) بر روی سطح جاذب جامد می دهند که این عمل باعث شده فرآیند جذب سطحی از فرآیند جذب شیمیایی[3] که در آن از یک حلال شیمیایی به عنوان جاذب استفاده می شود متفاوت باشد. (۱۶) جذب سطحی یکی از معمول ترین فرآیندهایی است که خصوصا در غلظت های پایین تا متوسط آلودگی کاربرد دارد. (۱) انتخاب جاذب جهت حذف آلاینده های آب بستگی به غلظت و نوع آلاینده موجود در آب، کارایی و ظرفیت جذب برای آلاینده دارد. علاوه بر این جاذب ها باید غیر سمی، مقرون به صرفه و در دسترس بوده و بتوانند به راحتی احیا یا بازیابی شوند. (۲۷) در طول سالیان اخیر تحقیقات زیادی در خصوص استفاده از انواع جاذب جهت تصفیه آب و فاضلاب انجام شده است. در این مطالعه معمول ترین جاذب های مورد استفادهجهت حذف انواع آلاینده از محلول های آبی مورد بررسی قرار گرفته است.

۲- انواع جاذب

تعداد زیادی از جاذب ها نظیر مواد طبیعی، ضایعات و بقایای کشاورزی، محصولات جانبی صنایع و مواد زیست توده جهت پاکسازی آب و پساب استفاده می شوند. یک جاذب ایده آل جهت تصفیه فاضلاب باید دارای معیارهای زیر باشد:

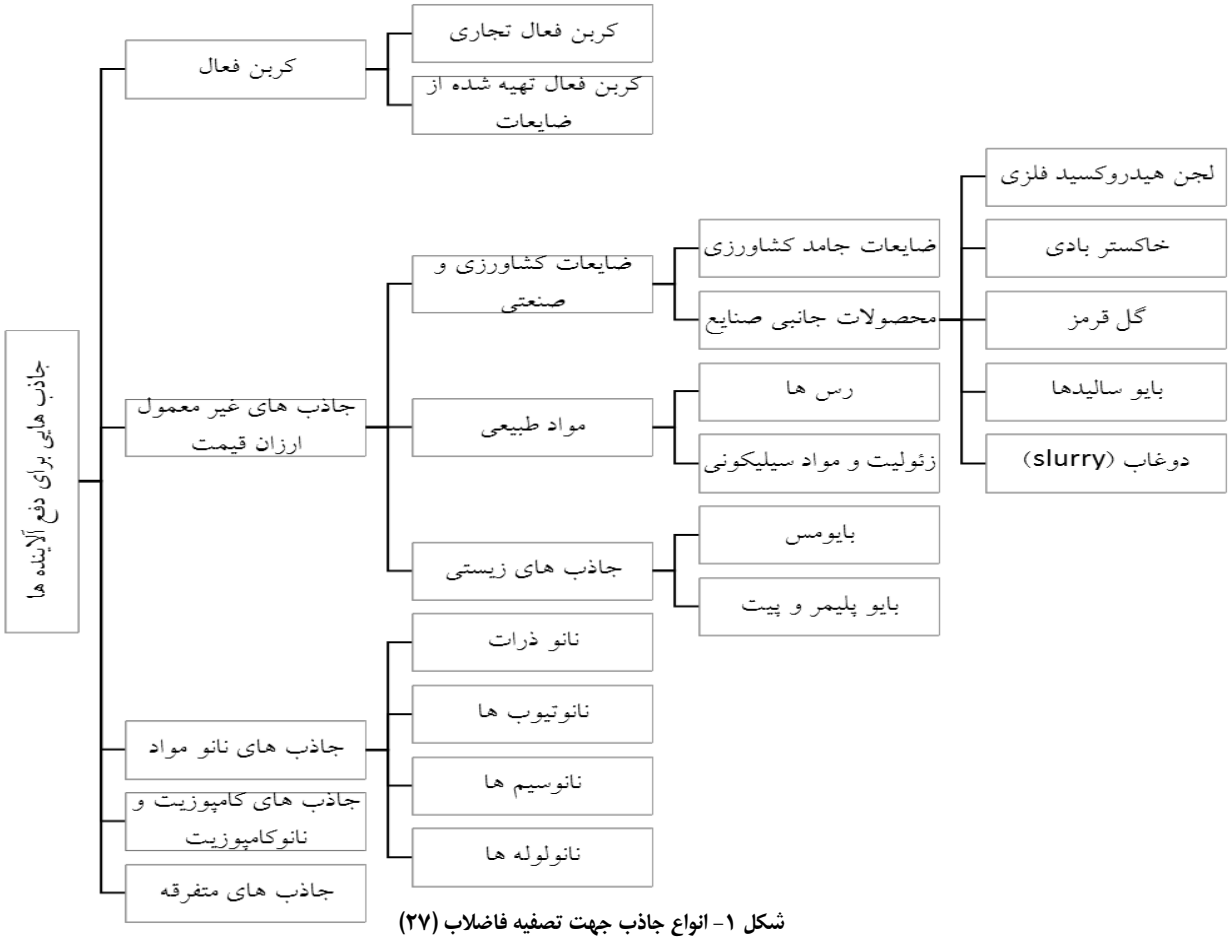
- دوستدار محیط زیست باشد.
- دارای ظرفیت جذب بالا بوده و جهت حذف آلاینده های با غلظت پایین در آب/پساب؛ انتخابی عمل نماید.
- آلاینده های جذب شده از سطح آن به راحتی حذف شوند.
- قابل بازیافت باشند. (۲۷)

در ادامه توضیحات مختصری در خصوص نوع و کارایی هر یک از این جاذب ها اشاره می گردد.

۲-۱- کربن فعال

کربن فعال یک نام معمول برای جاذب های با پایه کربنی است که عموما خطرناک نبوده و دارای ساختار متخلخل و مساحت سطح ویژه داخلی بالا می باشند. (۲۱) این ترکیب؛ یکی از موثرترین جاذب ها جهت از بین بردن طیف گسترده ای از آلاینده ها از فاضلاب های شهری و صنعتی، شیرابه زباله و آبهای زیرزمینی آلوده است و به عنوان قوی ترین جاذب جهان می تواند طیف گسترده ای از آلاینده ها را حذف نماید. (۷) این ماده که به دلیل تخلخل میکرو و مزوی بالا و نیز مساحت سطح ویژه بالا (از ۳۰۰ تا ۴۰۰۰ m^2/g) در تصفیه آب آشامیدنی و پساب های صنعتی کاربرد دارد؛ به شکل تجاری در شکل های پلیت استوانه ای، گرانول یا پودر در دسترس بوده و می توان آن را از طریق شیمیایی یا فیزیکی تولید کرد. متداول ترین فعال سازهای شیمیایی عبارتند از $ZnCl_2$، H_3PO_4، H_2SO_4، KOH، K_2S، KCNS و معمولاً جهت فعال سازی شیمیایی از دمای ۴۰۰ ^oC- ۱۰۰۰ استفاده می شود. فعال سازی فیزیکی معمولاً با استفاده از بخار یا دی اکسید کربن و در دمای ۸۰۰ ^oC-۱۰۰۰ انجام می گیرد. در تصفیه آب آشامیدنی؛ کربن فعال جهت حذف بوهای ناخوشایند، مزه ها و ترکیبات خطرناک برای سلامتی (نظیر آفت کش ها، هیدروکربن های کلرینه و...) مورد استفاده قرار می گیرد. راندمان حذف توسط کربن فعال تحت تاثیر عوامل بسیاری نظیر سایز ذرات، ماهیت شیمیایی کربن فعال، روش اصلاح جاذب، نوع و غلظت یون های فلزی، دما و pH آب، سرعت جریان یا زمانی که پساب در معرض کربن فعال قرار می گیرد می باشد.(۲۱) .کربن فعال بر اساس دانسیته به ۳ کلاس کربن ماکروپور، مزوپور و میکروپور تقسیم بندی می شود. کربن ماکروپور دانسیته ای (حجم تخلخل به ازای gr کربن)؛ بالاتر از cm^3/g ۱ دارد. کربن مزوپور دانسیته ای بین cm^3/gr ۰٫۸۵-۱ و کربن میکروپور دانسیته ای کمتر از cm^3/gr ۰٫۸۵ دارد. به طور کلی کربن ماکروپور و مزوپور جهت حذف مولکول های بزرگ استفاده می شوند درحالیکه میکروپورها جهت حذف مولکول های با سایز کوچکتر مناسب ترند. (۷) مطالعات گسترده ای در خصوص استفاده از انواع مختلف پیش سازهای ارزان قیمت جهت تولید کربن فعال در حال انجام است. به عنوان مثال Tuomikoshi (۲۰۱۴)؛ استفاده از جاذب به دست آمده از ضایعات کربن ناشی از فرآیند گازیفیکاسیون چوب را پس از فعال سازی شیمیایی مورد مطالعه قرار داد. (۲۹) علاوه بر این؛ در بین سایر مواد، کربن فعال مشتق شده از پوست میوه درخت mahogany (۱۸)، ضایعات سیب زمینی (۳۱)، پوسته تخم مرغ (۶)، ساقه نخل و ضایعات روغن های روان کننده (۴) و ضایعات لاستیک تاکنون مورد مطالعه قرار گرفته اند. به عنوان نتیجه گیری؛ منشاء کربن فعال می تواند هر ماده در دسترس حاوی کربن که به آسانی در دسترس و قابل تهیه بوده و هزینه های خرید و تهیه آن حداقل است باشد. با این حال کربن فعال به طور سنتی از ذغال سنگ غیر قابل تجدید یا پیت تولید می شود که در کنار تاثیرات زیست محیطی باعث افزایش قیمت آن می گردد. به این دلیل؛ هزینه بالای تولید کربن فعال ممکن است استفاده از آن را به ویژه در کشورهای در حال توسعه محدود کند. این امر باعث شده تا پژوهشگران به دنبال متدهای جدید تولیدات کم هزینه باشند. (۲۱)

1. Adsorption
2. Adsorbate
3. Absorption



شکل ۱- انواع جاذب جهت تصفیه فاضلاب (۲۷)

۲-۲- ضایعات کشاورزی

بقایای کشاورزی، پوست میوه ها و سبزیجات؛ موادی هستند که می توانند به عنوان جاذب هایی ارزان قیمت پس از پردازشی مختصر مورد استفاده قرار گیرند. (۲۷) ضایعات کشاورزی به طور عمده متشکل از لیگنین، همی سلولز، لیپیدها، پروتئین ها، قندهای ساده، آب، هیدروکربن ها و نشاسته بوده هستند و به دلیل ساختار خاص و ویژگی های شیمیایی خود به عنوان یک جاذب جذاب با ظرفیت جذب بالقوه برای آلاینده های مختلف عمل می کنند. (۷) گروههای عاملی خاص نظیر الکل، فنول، آلدهید، کربوکسیل و کتون در زنجیره های پلیمری این ترکیبات حضور دارند و به حذف آلاینده های مختلف از آب کمک می کنند. (۲۷) تعداد زیادی از ضایعات کشاورزی نظیر پوست پرتقال (۹)، پوست پوملو (۲۹)، پوست لیمو (۱۲)، پوست موز (۲۰)، پوسته برنج (۱۴)، سبوس گندم (۲۶)، پودر کتان (۲)، پوست نارگیل (۸)، ضایعات ساقه و برگ کنجد (۵)، پوست سیر (۱۵) و .... جهت تصفیه فاضلاب گزارش شده اند. ضایعات کشاورزی به شکل های طبیعی و اصلاح شده مورد استفاده قرار می گیرند. در شکل طبیعی؛ محصول شسته شده و الک می شود؛ تا سایز ذرات به اندازه دلخواه رسیده و سپس در آزمایشات جذب مورد استفاده قرار می گیرد. در حالیکه در شکل اصلاح شده؛ محصول با استفاده از تکنیک های اصلاح مشهور؛ پیش تصفیه می شود. هدف از این پیش تصفیه، بهبود ویژگی های فیزیکوشیمیایی نظیر مساحت سطح ویژه، توزیع اندازه و حجم منافذ، بهبود و تقویت پتانسیل گروههای عاملی و در نتیجه افزایش تعداد سایت های فعال جذب می باشد.

تکنیک های اصلاح ضایعات کشاورزی را می توان به ۳ دسته ی کلی تقسیم کرد:

۱.اصلاح شیمیایی

۲. اصلاح فیزیکی

۳. اصلاح بیولوژیکی

از بین این روشها اصلاح با ترکیبات شیمیایی جهت افزایش ظرفیت جذب جاذب بیشتر مورد استفاده قرار می گیرد. این ترکیبات اغلب شامل اسیدهای آلی و معدنی (H_2SO_4، HNO_3، HCl، اسید استیک، اسید سیتریک و اسید فرمیک)، محلول های پایه (NaOH، Na_2CO_3، $Ca(OH)_2$، $CaCl_2$)، اکسید کننده ها (H_2O_2، K_2MnO_4) و بسیاری از مواد معدنی دیگر و ترکیبات شیمیایی آلی (فرمالدهید، گلوتار آلدئید، CH_3OH، پلی اتیلن آمین، اپی کلروهیدرین) می باشند. (۷) اگرچه استفاده از ضایعات کشاورزی به عنوان جاذب جهت حذف آلاینده های مختلف بسیار مورد توجه است اما هنوز شکاف های متعددی وجود دارد که نیاز به توجه بیشتری دارد. جاذب های با پایه ضایعات کشاورزی می بایست کارآمدتر، قابل استفاده مجدد و کاربردی تر برای حذف پساب های واقعی صنعتی و تصفیه شیرابه با انواع آلاینده ساخته شوند. (۲۷)

۲-۳- ضایعات صنعتی

امروزه فعالیت های صنعتی مقدار زیادی مواد زاید جامد به عنوان محصولات جانبی تولید می کنند. در حالیکه بعضی از این مواد مجدداً مورد استفاده قرار می گیرند؛ برخی دیگر جهت دفن به لندفیل فرستاده

می شوند. بنابراین امکان استفاده مجدد از این مواد در فرآیند جذبغ بیانگر یک راه حل جالب است زیرا ضایعات صنعتی موادی در دسترس و تقریباً بدون هزینه بوده و در صورت دفع مشکلات عمده ای را ایجاد می نمایند. (۷) محصولات جانبی صنایع می توانند به عنوان جاذب های ارزان قیمت جهت حذف فلزات سنگین، رنگ ها و ترکیبات آلی از آب و پساب مورد استفاده قرار گیرند. این ضایعات معمولا در مقادیر زیاد در دسترس بوده و ارزان هستند. تعداد زیادی از ضایعات صنعتی از جمله خاکستر روغن نخل، گل سرخ، ضایعات کارخانه چای، ضایعات قهوه، ضایعات صنعت روغن زیتون، خاکستر بادی، خاکستر باگاس، سرباره انفجار کوره های سیمان، جهت حذف مواد شیمیایی سنگین از آب و پساب مورد استفاده قرار گرفته اند. باید توجه داشت اگرچه این جاذب ها ارزان قیمت بوده و در مقادیر زیاد در دسترس اند اما با این حال ظرفیت جذب آنها بسیار متنوع بوده و بستگی به خصوصیات جاذب، میزان اصلاح شیمیایی و غلظت آلاینده دارد؛ که این جنبه ها نیاز به تحقیق بیشتر دارد. (۲۷) به طور کلی محصولات جانبی صنایع را می توان به گروههای زیر تقسیم کرد:

- خاکستر بادی
- ضایعات صنعت فولاد
- ضایعات صنعت آلومینیوم
- ضایعات صنایع کودسازی
- سایر زباله های صنعتی

خاکستر بادی؛ ضایعات تولید شده از فرآیند احتراق است. استفاده اصلی خاکستر بادی شامل احداث جاده ها، صنعت آجر، سیمان و... است. درصد بالای سیلیس و آلومینیوم در خاکستر بادی آن را تبدیل به یک گزینه مناسب جهت استفاده به عنوان یک جاذب ارزان قیمت ساخته است.

ضایعات فولاد، سرباره کوره های فولاد، لجن و گرد و غبار، با توجه به کاربرد آنها در فرآیند جذب، پر مطالعه ترین ضایعات هستند.

در خصوص ضایعات صنعت آلومینیوم؛ گل سرخ بیشتر مورد مطالعه قرار گرفته است. گل سرخ ماده زایدی است که در فرآیند تولید آلومینیوم، زمانی که سنگ معدن بوکسیت در معرض آبشویی قرار می گیرد تولید می شود. این ماده بسیار قلیایی است. سمیت و ماهیت کلوئیدی ذرات گل قرمز، یک خطر آلودگی جدی برای محیط زیست می باشد. پس از پیش تصفیه؛ گل سرخ مناسب تصفیه پساب، به ویژه محلول های آبی حاوی congo red می باشد.

صنعت کود؛ تعدادی محصول جانبی در مقادیر زیاد تولید می کند؛ که دفع آن مشکلات جدی ایجاد کرده و محیط زیست اطراف را تخریب می کند. این محصولات در صورت اصلاح می توانند به عنوان جاذب جهت حذف آلودگی ها مورد استفاده قرار گیرند. (۷) Jain و همکاران (۲۰۰۳)؛ تعدادی از جاذب های ارزان قیمت از صنایع فولاد و کود را جهت حذف رنگ های آنیونی نظیر اتیل اورنج، متانیل زرد[1] و اسید آبی ۱۱۳[2] از محلول های آبی را مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد ضایعات غیرآلی نظیر گرد و غبار کوره های انفجار، لجن و سرباره کارخانه های فولاد جهت حذف مواد آلی مناسب نیست؛ درحالیکه جاذب های کربن دار تهیه شده از صنایع کود می توانند به ترتیب؛ ۱۹۸، ۲۱۱ و ۲۱۹ میلی گرم بر گرم اتیل اورنج، متانیل زرد و رنگ اسید بلو ۱۱۳ را حذف نمایند. علاوه بر این داده های جذب در جاذب های کربن دار تهیه شده از ضایعات صنعت کود، با ذغال فعال استاندارد مقایسه شد و مشخص شد جاذب های آماده شده از ضایعات صنعت کود ۸۰٪ کاراتر از ذغال چوب استاندارد بوده و بنابراین می توانند به عنوان یک جایگزین کم هزینه (۱۰۰ دلار آمریکا در هر تن) جهت حذف رنگ از فاضلاب استفاده شوند. (۱۱) خواص جذب کربن فعال تهیه شده از ضایعات روزنامه با فعال سازی فیزیکی و شیمیایی جهت حذف متیلن بلو توسط Okada و همکاران (۲۰۰۳)؛ مورد مطالعه قرار گرفت. نتایج آنالیز XPS در این مطالعه نشان داد که گروههای عاملی سطحی کربن فعال به دست آمده از فعال سازی شیمیایی بالاتر از محصول به دست آمده از فعالسازی فیزیکی است. همچنین جذب متیلن بلو در فعالسازی شیمیایی نسبت به فعالسازی فیزیکی و کربن فعال تجاری بالاتر است. این جذب بالاتر به دلیل عملکرد سایز منافذ و ویژگی های سطحی هیدروفیلیک جاذب می باشد. (۱۹) Tsai و همکاران (۲۰۰۸)؛ در مطالعه ای نشان دادند که ضایعات صنعت آبجوسازی عمدتاً شامل دیاتومیت است که می تواند به طور مستقیم به عنوان یک جاذب متخلخل مورد استفاده قرار گیرد. نتایج این مطالعه نشان داد منافذ این جاذب بیشتر از دیاتومیت خام بوده و کارایی خوبی در حذف رنگ های پایه نظیر متیلن بلو از فاضلاب های صنعتی دارد. (۲۸)

لجن فاضلاب؛ نیز می تواند با روشهای مختلف فعالسازی شیمیایی، تبدیل به جاذب شده و جهت حذف فنول، فلزات سنگین و رنگ ها از فاضلاب مورد استفاده قرار گیرد. (۷)

۲-٤- بیومس

به نظر می رسد توده های زیستی پتانسیل بالایی جهت حذف عناصر سمی نظیر فلزات سنگین، رنگ ها و ترکیبات آلی از آب دارند. بیومس میکروبی زنده و مرده مانند جلبک ها، قارچ ها، مخمرها و باکتری ها دارای ظرفیت قابل توجهی برای عناصر مختلف سمی هستند.

جلبک ها به عنوان یکی از انواع امیدوار کننده جاذب های زیستی در نظر گرفته می شوند زیرا دارای ظرفیت جذب بالا بوده و در مقادیر زیادی در دریاها و اقیانوس ها به راحتی قابل دسترس هستند. جذب زیستی بستگی به ترکیب دیواره سلولی جلبک دارد. دیواره سلولی جلبک از تعدادی پلی ساکارید نظیر مانان[3]، زایلن، اسید آلژنیک، کیتین و... تشکیل شده است. این ترکیبات همراه با پروتئین های موجود می توانند سایت های پیوند اسیدی نظیر گروههای آمین، هیدروکسید، ایمیدازول، فسفات و سولفات را فراهم کنند. (۲۷) در بین انواع جلبک ها؛ برخی از ماکروجلبک ها نظیر جلبک های قهوه ای؛ دارای ظرفیت تبادل یونی قابل توجهی هستند که به محتوای پلی ساکاریدی آنها مربوط می باشد. (۷) اگرچه جلبک های دریایی ظرفیت جذب بسیار زیادی دارند اما Holan و همکاران (۱۹۹۳)؛ مشاهده کردند که این نوع بیومس؛ تمایل زیادی به تورم و متلاشی شدن (تجزیه) در آب دارد. به همین دلیل به طور موثری می تواند جهت عملیات ستونی مورد استفاده قرار گیرد. (۱۰)

قارچ ها و مخمر ها گروهی دیگر از زیست توده ها و از محصولات جانبی صنایع هستند که جاذب های کارآمدی جهت حذف مواد شیمیایی سمی هستند. جذب درون و برون سلولی عناصر سمی توسط این سلول های زنده و مرده بستگی به دیواره سلولی آنها دارد. دیواره سلولی قارچ ها و مخمر ها شامل تعدادی از پلی ساکاریدها، گلوکان ها[4]، پروتئین ها

1. metanil yellow
2 .acid blue 113
3. mannan
4. glucan

و کیتین هاست. گروههای عاملی این نوع از بیومس شامل فسفات، کربوکسیلات، سولفات، هیدروکسیل و گروههای آمین می باشد. فرآیند جذب توسط این ترکیبات از طریق تبادل یونی، تشکیل کمپلکس و جذب فیزیکی صورت می گیرد.

باکتری ها نیز به عنوان بیوجاذب جهت حذف مواد شیمیایی سمی مورد استفاده قرار می گیرند. اندازه کوچک، ابعاد و توانایی رشد آنها تحت شرایط مختلف محیطی، آنها را تبدیل به جاذب هایی مطلوب کرده است. باکتری ها دارای لایه هایی از پلی ساکارید بوده و گروههای آمین، کربوکسیل، فسفات و سولفات جهت جذب زیستی فلزات فراهم می کنند. زیست توده باکتریایی به طور کلی به عنوان محصول جانبی از فعالیت های صنعتی ایجاد شده یا می تواند به طور خاص در مقیاس بزرگ تکثیر شود. تعدادی از گونه های باکتریایی نظیر باسیلوس، سودوموناس، استرپتومایسن، اشرشیا، میکروکوکوس و .... وجود دارد که به طور موفقیت آمیزی جهت جذب رنگ ها، فلزات و ترکیبات آلی استفاده می شود. (۲۷)

۲-۵-جاذب های طبیعی

تعدادی از مواد طبیعی که دارای ویژگی های یک جاذب هستند در مقادیر زیاد در دسترس هستند. از این بین ترکیباتی نظیر کیتین، زئولیت، رس، گل سرخ[1]، چوب و زغال سنگ به طور موفقیت آمیزی جهت حذف فلزات سنگین، رنگ ها و ترکیبات آلی از آب و پساب مورد استفاده قرار گرفته اند.

کیتین یکی از امید بخش ترین بیوپلیمرهای طبیعی است که در جذب کاربرد دارد. این ماده جزء اصلی اسکلت، کوتیکول و دیواره سلولی سخت پوستان، حشرات و میکروارگانیسم هاست. داستیلاسیون کیتین در شکل گیری کیتوزان نقش دارد و مشتقات آن حتی نسبت به کیتین بسیار امید بخش تر هستند. (۲۷) به گفته Ali و همکاران (۲۰۱۲)؛ ۳۶۲,۱۰۶ تن کیتین در سال از صید سخت پوستانی از خانواده خرچنگ ها در دسترس می باشد. (۳)

پیت (زغال سنگ نارس) به طور طبیعی یک ماده متخلخل با سطح بزرگ است. این ترکیبات به فراوانی در طبیعت وجود دارند، نسبتا ارزان بوده و دارای ظرفیت جذب بالا برای انواع آلاینده ها هستند. اجزای اصلی پیت متشکل از لیگنین، سلولز و اسید هیومیک می باشد. (۲۷) این اجزا به ویژه لیگنین دارای گروههای عاملی قطبی بوده که می توانند در پیوند شیمیایی شرکت کرده و به عامل های موثری جهت تصفیه آب و پساب تبدیل کرده شوند. به خاطر این ویژگی ها؛ پیت دارای ظرفیت بالایی جهت جذب کاتیون ها بوده و می تواند به طور موثری به عنوان جاذب جهت حذف آلاینده های مختلف به کار رود. (۷) با این وجود اگرچه تورب های خام می توانند به طور مستقیم به عنوان جاذب استفاده شوند اما اصلاح شیمیایی منجر به ایجاد جاذب های قویتری می گردد. (۲۷)

چوب یک جاذب طبیعی است که در مقادیر زیاد و با قیمت بسیار پایین وجود دارد. علاوه بر این نیازی به بازیابی پس از استفاده ندارد و می تواند پس از استفاده با سوزاندن دور انداخته شود. چوب و پوست تعداد زیادی از گیاهان جهت حذف آلاینده ها از آب و پساب مورد استفاده قرار می گیرد. (۲۷) پوست اکالیپتوس بدون هیچ پیش تصفیه ای جهت حذف رنگ Remsol BB مورد استفاده قرار گرفت.(۱۷) همچنین پوست اکالیپتوس جهت حذف Cr^{6+} از فاضلاب صنعتی مورد استفاده قرار گرفت. حذف Cr^{6+} در pH:2 و غلظت ۲۵۰ mg/L حداکثر بوده و ظرفیت جذب در شرایط بهینه ۴۵ mg/g بوده است. (۲۴) فلزات سنگین نظیر Cu^{2+}، Cd^{2+} و Zn^{2+} با استفاده از چوب پاپایا به عنوان بایو جاذب حذف شدند. در pH:5 و دوز جاذب ۵ g/L؛ درصد حذف به ترتیب ۹۷,۸، ۹۴,۹ و ۶۶,۸٪ برای Cd^{2+}، Cu^{2+} و Zn^{2+} به دست آمد. (۲۳)

زئولیت ها آلومینوسیلیکات های کریستالی هستند (۲۷) که دارای یک ساختار میکروپور با حدود ۵۰٪ فضای خالی درونی و سطح تا m^2/g ۱۵۰۰ می باشند. (۲۱) فرمول معمول آنها سدیم آلومینو اورتو سیلیکات است ($Na_2O.Al_2O_3.xSiO_2.yH_2O$) که در آنها اتم های سیلیسیوم و آلومینیوم به صورت تتراهدرال از طریق اتم اکسیژن به یکدیگر متصل می شوند. زئولیت ها در طبیعت به فراوانی وجود دارند و به همین دلیل هزینه آنها پایین است. زئولیت ها دارای قابلیت تبادل کاتیونی و خاصیت غربالگری مولکولی هستند و به همین دلیل و از آنجایی که زئولیت ها جاذب هایی انتخابی هستند؛ به طور گسترده ای به عنوان جاذب در تصفیه آب مورد استفاده قرار می گیرند. (۲۷ و ۲۱) احتمالاً کلینوپتولیت؛ فراوان ترین گونه زئولیت طبیعی با بیش از ۴۰٪ کل زئولیت زئولیت هاست. (۷) این زئولیت ها با خاصیت پیش تصفیه کنندگی جهت حذف رنگ ها، فنل ها و فلزات سنگین از آب و پساب مورد استفاده قرار گرفته اند. (۲۷) زئولیت های سنتتیک؛ دارای ویژگی های فیزیکوشیمیایی کنترل شده و شناخته شده ای هستند که آنها را نسبت به زئولیت های طبیعی مفیدتر می کند. (۲۱)

رس یک جاذب طبیعی برای تصفیه آب است. خاکهای رس دارای ظرفیت جذب بالا، نفوذپذیری پایین، پایداری مکانیکی و شیمیایی بالا و سطح ویژه بالا تا حدود m^2/g ۸۰۰ هستند. رس ها دارای بار سطحی منفی هستند به همین دلیل در جذب فلزات سنگین و رنگ های کاتیونی کاربرد دارند. (۷) تعداد زیادی از کاتیون ها (Mg^{2+}، Ca^{2+}، H^+، K^+، NH_4^+ و Na^+) و آنیون ها (SO_4^{2-}، Cl^-، PO_4^{3-}، NO_3^-) در سطح رس وجود دارند که می توانند به آسانی جایگزین یون های موجود در آلاینده شوند(۲۷) انواع مختلفی از خاک رس وجود دارد اما انتظار می رود که مونتموریلونیت بالاترین ظرفیت جذب در مقایسه با دیگران را داشته باشد. (۷) این رس ها به شکل طبیعی یا اصلاح شده خود می توانند به عنوان جاذب مورد استفاده قرار گیرند. (۲۷)

ماسه، رسوبات و خاک؛ می توانند جهت حذف ترکیبات آلی از آب توسط فرآیند جذب استفاده شوند. مطالعات متعدد راندمان بالای خاک را جهت حذف glyphosate، آفت کش ها و ترکیبات فنولی نشان می دهد. (۷)

۲-۶- نانوجاذب ها

همانگونه که در بالا توضیح داده شد جذب به عنوان یکی از بهترین تکنیک ها جهت حذف رنگ، فلزات سنگین و ترکیبات آلی می باشد. در مقایسه با مواد معمولی؛ جاذب های نانوساختار عمدتاً به دلیل مساحت سطح بالا، کارایی جذب بالاتر و سرعت جذب بیشتری در تصفیه آب دارند.

۲-۶-۱- نانوجاذب های با پایه کربن

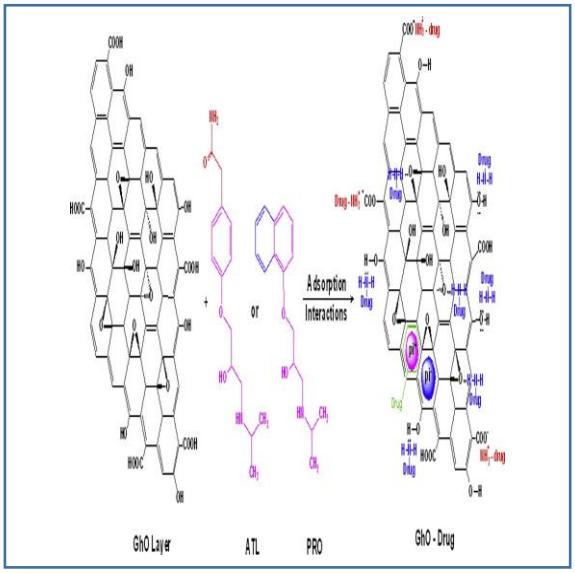
مواد با پایه کربن نظیر کربن فعال، الیاف کربن، آئروژل و کربن نانو ساختار به خوبی به عنوان جاذب مورد استفاده قرار گرفته اند. کربن فعال به عنوان یک جاذب بسیار کارآمد جهت حذف آلاینده های مختلف مورد استفاده قرار می گیرند. عبارت کربن فعال اساساً اشاره به یک ماده

1. peatmoss

کربنیک با حجم میکروپور بالا، سطح ویژه بالا، توزیع مناسب منافذ و ظرفیت جذب بالا دارد. تقریباً تمام مواد کربن دار را می توان جهت تولید کربن فعال استفاده کرد؛ اما خواص آنها با توجه به مواد خام و روش فعال سازی متفاوت خواهد بود. اگرچه کربن فعال جاذب خوبی جهت تصفیه آب است اما هزینه بالای آن استفاده از آن را محدود کرده است.

نانو لوله های کربنی (CNTs) موادی هستند که متعلق به خانواده کربن اند. این مواد به دو گروه نانو لوله های تک دیواره و نانو لوله های چند دیواره طبقه بندی می شوند. نانو لوله های کربنی به عنوان جاذب جهت حذف یون های فلزی و ناخالصی های آلی و غیر آلی موجود در منابع آب مورد استفاده قرار می گیرند. این جاذب ها به طور موثری یون های فلزی را از فاضلاب جدا می کنند. ظرفیت جذب فلزات سنگین در نانو لوله های تک دیواره بیشتر از چند دیواره است. در بیشتر مطالعات جذب؛ ایزوترم لانگمویر با داده های تعادلی همخوانی بیشتری داشته و جذب تک لایه بر سطح جاذب را پیشنهاد می کند. همچنین داده های جذب در اغلب مطالعات از مدل جنبشی شبه مرتبه دوم تبعیت می کند. (۲۷)

به طور کلی جذب با افزایش pH محلول (برای کاتیون ها) افزایش یافته و با افزایش قدرت یونی محلول کاهش می یابد. حداکثر ظرفیت بازیابی نانو لوله های کربنی برای کاتیون های فلزی در پایین ترین pH به دست می آید. در حالیکه در مورد رادیونوکلوئیدها، به دلیل ایجاد کمپلکس های قوی بین رادیونوکلوئیدها و نانو لوله های کربنی؛ بازیابی ضعیف است. این اشکال عمده بازیابی نانو لوله های کربنی اشباع شده با رادیو نوکلوئیدهاست. (۲۷) نانو لوله های کربنی تک دیواره (SWCNTs) به دلیل مساحت سطح ویژه بالا؛ نسبت به بسیاری از ترکیبات آلی تمایل شدیدی از خود نشان می دهند. با این حال مهمترین ضعف نانو لوله های کربنی تک دیواره که کاربرد آنها را محدود می کند، هزینه بالای آن است. نانو لوله های کربنی چند دیواره ارزان تر هستند اما ظرفیت جذب نسبتاً کم آن، کاربرد آنها را محدود می کند. اصلاح نانو لوله های کربنی چند دیواره (MWCNTs) ظرفیت جذب آنها را برای ترکیبات آلی مختلف افزایش می دهد؛ به طوری که می توانند با کاربردهای انتخابی تطابق یابند. (۲۷) نانو لوله های کربنی با ۳ ویژگی منحصر به فرد باکتری ها را جذب می کنند: اولا ظرفیت جذب میکروبی بر CNT بسیار بالاتر از سایر جاذب های تجاری است. ثانیاً CNT دارای خاصیت جذب انتخابی باکتری هاست؛ ویژگی که در سایر جاذب ها دیده نمی شود. در نهایت؛ سینتیک جذب باکتری بر CNT تقریباً آنی است که استفاده از آن را در برنامه های کاربردی مانند استفاده به عنوان سنسور پاتوژن ها؛ جایی که به سرعت بر آلودگی هدف تمرکز می کند؛ مناسب می سازد. (۲۷) جذب مواد آلی طبیعی بر CNT یک فرآیند اگزوترمیک[1] است و با این حال دارای ارزش آنتروپی مثبت است. CNT به دلیل اثر هیدروفوبیک، واکنش π–π، پیوند هیدروژنی، پیوند کووالانسی و واکنش الکترواستاتیک ترکیبات آلی را به شدت جذب می کند. نانو لوله های کربنی دارای خواص فیزیکوشیمیایی، مکانیکی، حرارتی و الکتریکی قابل توجه ای بوده که کاربرد آنها را به عنوان جاذب در محیط زیست حداکثر کرده است. عاملدار کردن و یا اصلاح نانو لوله های کربنی راندمان حذف آلاینده ها را به طور قابل توجهی بهبود می دهد. با این حال استفاده از نانو لوله های کربنی جهت تصفیه آب، پر هزینه بوده و به پارامترهای مختلف بستگی دارد. به همین دلیل تحقیقات بیشتری جهت بهینه یابی پارامترهای فرآیند به منظور کاهش هزینه های تصفیه آب مبتنی بر نانو لوله های کربنی مورد نیاز است. (۲۷) گرافن یکی از ساختارهای کربنی یک لایه یا با تعداد لایه های محدود (<۱۰) است. این ماده از یک ساختار بلوری لانه زنبوری دو بعدی تشکیل شده است. اتم های کربن در گرافن با سه پیوند SP^2 هیبریدیزه شده و به سه اتم کربن دیگر متصل شده اند. گرافن به دلیل خواص فیزیکی و شیمیایی خاص آن از زمان کشف آن در سال ۲۰۰۴، در سراسر جهان برای اهداف مختلف مورد مطالعه قرار گرفته اند. با توجه به این روند، گرافن اکساید به دلیل نقش آن در تولید انبوه مواد بر پایه گرافن، توجه محققان بسیاری را به خود جلب کرده است. گرافن اکساید دارای ساختار لایه ای شبیه به گرافیت است اما سطح اتم های کربن در اکسید گرافن به شدت با گروههای حاوی اکسیژن آرایش شده است. (۲۷) گرافن و گرافن اکساید اخیراً به عنوان جاذب جهت حذف آلاینده های مختلف از آب استفاده می شوند. Kyzasو همکاران (۲۰۱۵)؛ جذب مولکول های دارویی آتنولول و پروپرانول بر سطح گرافن اکساید را مورد بررسی قرار دادند و نشان دادند در دمای ۲۵ º C و شرایط بهینه، حداکثر ظرفیت جذب گرافن اکساید برای پروپرانول و آتنولول به ترتیب ۶۷ و ۱۱۶ میلی گرم بر گرم می باشد. (۳۲) مکانیزم جذب در شکل ۲ نشان داده شده است. تعدادی از یون های فلزی نیز می توانند توسط گرافن اکساید از محلول آبی حذف شوند. به عنوان مثال جذب Pb^{2+} بر گرافن اکساید بسیار بالا بوده و بستگی به غلظت اولیه یون سرب داشته و با افزایش غلظت اولیه افزایش می یابد. ویژگی های گرافن اکساید نظیر مساحت سطح ویژه بالا، وجود گروههای عاملی مختلف حاوی اکسیژن و ساختار چند لایه ای؛ نقش مهمی در جذب سریع Pb^{2+} از محلول های آبی ایفا می کند. (۲۲)



شکل۲- مکانیسم جذب آلاینده های دارویی توسط گرافن و گرافن اکساید

گرافن اکساید به دلیل جذب قابل توجه و کاربرد چند منظوره؛ توجهات زیادی را به خود جلب کرده است. با این حال خواص سمی نانو لوله های گرافن اکساید در صورت ورود به محیط زیست؛ استفاده از آن را با تردید مواجه ساخته است. هیدروکسیدهای دو لایه (LDHs) یک خانواده از رس های آنیونی دو بعدی هستند که می توانند باعث انعقاد گرافن اکساید و کاهش سمیت آن شوند. (۲۷)

1. Exothermic

۲-٦-۲- نیترید بور (BN)

نیترید بور با ساختاری شبیه گرافن، دارای بسیاری از ویژگی های فوق العاده نظیر مساحت سطح ویژه بالا، مقاومت به اکسیداسیون در دمای بالا و پایداری شیمیایی بالا می باشد. این ماده سازگار با محیط زیست بوده و نانو مواد نیترید بور متخلخل می تواند طیف وسیعی از آلاینده ها نظیر رنگ ها، حلال های آلی، فلزات سنگین، روغن ها و... را از آب حذف کند. گزارش شده است که عامل حذف یون های فلزی؛ واکنش الکترواستاتیک بین فلزات و BN می باشد. نیترید بور دارای ساختار کربنی بوده و به طور کلی در ۴ شکل کریستالی شامل نیترید بور شش وجهی گرافیت مانند (h-BN)، نیترید بور مکعبی الماس مانند (c-BN)، نیترید بور آمورف (r-BN)[1] و نیترید بور ورتزیت (w-BN)[2]. در این بین h-BN به دلیل شباهت به یک نوع گرافیت به نام گرافیت سفید؛ توجه خاصی را به خود جلب کرده است. علیرغم شباهت ساختاری بین گرافن و نیترید بور؛ توجه کمتری به نیترید بور در حذف آلاینده ها از آب شده است. (۲۷)

۳-٦-۲- نانو مواد با پایه فلزی و اکسید فلز

نانو ذرات فلزی جدید نظیر نقره و طلا در تصفیه آب آشامیدنی مورد استفاده قرار می گیرند. نانو ذرات نقره در حذف تعدادی از آلاینده های سمی از آب آشامیدنی مورد استفاده قرار گرفته است. همچنین حذف جیوه از آب توسط نانو ذرات طلا مورد مطالعه و تایید قرار گرفته است. (۲۷) همچنین تعداد زیادی از نانو مواد اکسید فلزی نظیر ZnO، TiO_2، Fe_3O_4 و همچنین کامپوزیت های آنها جهت حذف یون های فلزی سمی و آلاینده های آلی از آب و پساب مورد استفاده قرار گرفته اند. (۲۷) اکسیدهای فلزی با توجه به ارزان بودن و فراوانی در طبیعت در تصفیه فاضلاب های صنعتی کاربرد دارند. (۲۱) برخی از نانو اکسیدهای فلزی به عنوان یک فتوکاتالیست جهت تخریب رنگ ها و ترکیبات آلی کاربرد خوبی دارند. (۲۷) آلومینای فعال شده به طور گسترده ای در تصفیه آب و پساب نظیر حذف آرسین (AsH_3)، فسفات، کلراید و فلوراید کاربرد دارد. آلومینای فعال یک ماده متخلخل با مساحت سطح ویژه بالاست که از تصفیه حرارتی هیدروکسید آلومینیوم تولید شده و حاوی یکسری اشکال ناپایدار اکسید آلومینیوم هیدروکسید شده Al_2O_3 می باشد. اکسیدهای آهن جاذب های موثری برای As(III) و As(V) هستند. (۲۱)

٤-٦-۲- نانو ذرات آهن صفر ظرفیتی

نانو ذرات آهن صفر ظرفیتی معمولا جهت حذف فلزات سنگین از پساب مورد استفاده قرار می گیرند. این نانو ذرات، یک ترکیب دوستدار محیط زیست بوده که با موفقیت جهت حذف سرب، باریم، روی، آرسنیک (۳ و ۵ ظرفیتی) کروم، مس، کادمیوم و کبالت از طریق واکنش پذیری بالا، سایت های سطحی فعال و سایز ذرات قابل کنترل؛ مورد استفاده قرار گرفته اند. (۲۷)

۵-٦-۲- نانو مواد با پایه فریت اسپینل[3] (SFs)

این مواد به دلیل خواص پارا مغناطیسی، نسبت سطح به حجم بالا و اندازه نانومتر به طور گسترده ای در تصفیه آب کاربرد دارند. انواع مختلف آلاینده ها با استفاده از اسپینل های مختلف از آب حذف می شوند. اخیراً SFs ها به طور گسترده ای به عنوان جاذب های مغناطیسی جهت حذف رنگ های آنیونی و کاتیونی از محلول های آبی مورد استفاده قرار گرفته اند. واکنش های فیزیکوشیمیایی جاذب-آلاینده نظیر: پیوند هیدروژنی، واکنش π-π، تشکیل کمپلکس های سطحی، واکنش الکترواستاتیک، جذب شیمیایی و تبادل یونی نقش مهمی را در این رابطه ایفا می کنند. در خصوص اکسیدهای فلزی اسپینل؛ گروههای هیدروکسیل سطحی و بار سطحی نقش مهمی در جذب ایفا می کنند. بسته به pH محلول، بار الکتریکی اکسید فلزی می تواند متغیر باشد. حذف برخی فلزات توسط SP ها در جدول ۱ آمده است. (۲۷)

۳-چشم انداز آینده

اگرچه مقالات در دسترس در خصوص استفاده از جاذب جهت تصفیه فاضلاب با سرعت زیادی در حال افزایش است اما هنوز شکاف های زیادی وجود دارد که نیاز به توجه بیشتر دارند. به نظر می رسد که انجام مطالعات در زمینه ی توسعه جاذب هایی با قیمت پایین، کارایی بالا، قابلیت استفاده مجدد و بازیابی، سازگار با محیط زیست و جذب انتخابی باید در مطالعات آتی مورد توجه قرار گیرد. همچنین انجام آزمایشات بر روی فاضلاب های صنعتی و واقعی از دیگر مواردی است که می بایست در مطالعات آتی بیشتر به آن پرداخته شود.

٤-بحث و نتیجه گیری

در عصر حاضر به دلیل کمبود منابع آب؛ تصفیه موثر فاضلاب یکی از مهمترین پیش نیازها برای کشورهای در حال توسعه می باشد. از این رو توسعه و اجرای سیستم های تصفیه پیشرفته با کارایی بالا و نیاز به سرمایه اندک بسیار ضروری است. به دلیل افزایش روز افزون جمعیت، خشکسالی های طولانی، تغییرات اقلیمی و... آب سالم در بسیاری از مناطق جهان به یک منبع رقابتی تبدیل شده است. تاکنون تکنیک های متعددی جهت تصفیه آب و پساب توسعه پیدا کرده اند که از این بین روش جذب سطحی یک روش کارا و موثر می باشد. انواع مختلفی از جاذب ها جهت حذف آلاینده های مختلف مورد استفاده قرار گرفته اند. در سالهای اخیر استفاده از نانو مواد در تصفیه آب به طور قابل توجی افزایش پیدا کرده است. با توجه به تنوع محصولات زراعی و صنایع در کشور ایران می توان از ضایعات و محصولات جانبی این بخش به عنوان جاذب های ارزان قیت و کارا استفاده نمود. در این بین تلاش برای بهینه سازی پارامترهای موثر بر جذب و تجاری سازی جاذب و توسعه ی آنالیزهای آزمایشگاهی بر روی نمونه های واقعی ضروری به نظر می رسد.

1 .Rhombohedral
2 .Wurtzite
3 .Spinel ferrite

جدول ۱؛ کارایی جذب SFs جهت حذف یونهای فلزی

adsorbent	Size (nm)	PZC	SA (m^2/g)	pollutant	$q_{e(mg/g)}$	qe (mg/m^2)	pH
MBC	-	-	-	Pb^{2+} Cd^{2+}	۲۵,۳ ۱۵	-	۵ ۵
$MnFe_2O_4$	-	۷,۷	-	Pb^{2+} Cu^{2+}	۶۹,۱ ۶۰,۵	–	۶ ۶
$Zn\ Fe_2O_4$	۲۰	-	۶۵	Cr^{6+}	۳۴,۲	۰,۵۳	۲,۵
3D Porous Ni Fe_2O_4	–	–	۶,۲	Cu^{2+} Cr^{6+} Ni^{2+}	۵۵,۸ ۳۷ ۳۷	۹ ۶ ۶	۵ ۷ ۲
Nano Ni Fe_2O_4	۲۱	۶,۲	–	Fe^{2+}	۷۰	–	۵
$Mn\ Fe_2O_4$	۵۰–۳۰	۷,۵	۱۳۸	As^{3+} As^{5+}	۹۳,۸ ۹۰,۴	۰,۶۸ ۰,۶۶	۳ ۷
$Co\ Fe_2O_4$	۳۰–۱۰	۷	۱۰۱	As^{3+} As^{5+}	۱۰۰ ۷۳,۸	۰,۹۹ ۰,۷۳	۳ ۷
$Mn\ Fe_2O_4$	۶–۴	–	–	Pb^{2+}	۵,۲	–	۶,۸
$Mn\ Fe_2O_4$	۴۰–۲۰	–	–	Cr^{6+}	–	–	۲
$Ni\ Fe_2O_4$	<۱۰	–	–	Pb^{2+}	–	–	–
$Co\ Fe_2O_4$	<۱۰۰	–	–	Pb^{2+}	–	–	–
$CuFe_2O_4$	۹۰–۲۰	–	۶۹,۱	Cd^{2+}	۱۷,۵۴	۰,۲۵	۶
$CuFe_2O_4$	۶۰	۷,۳	۴۸,۳	As^{3+}	۴۱,۲	۰,۸۵	۴,۲
$CuFe_2O_4$	۱۲۰–۲۰	۷,۳	۴۸,۳	As^{5+}	۴۵,۷	۰,۹۵	۳,۷
$CuFe_2O_4$	۱۲۰–۲۰	۷,۳	۴۸,۳	Mo	۳۰,۶	۰,۶۳	۲,۷۵
Surface- modified $Mn\ Fe_2O_4$	۱۰	۶,۵	۲۰۸	Cr^{6+}	۳۱,۶	۰,۱۵	۲
$Mn\ Fe_2O_4$	۱۱	–	۹۱	Pb^{2+} As^{3+} As^{5+}	۴۸۸ ۹۷ ۱۳۶	۵,۳۶ ۱,۰۷ ۱,۴۹	۵ ۶,۵ ۴

منبع : ۲۷

منابع

[1] صدیف، مینا، (۱۳۹۳)، جذب تیوسیانات از محلول های آبی توسط زئولیت های اصلاح شده، پایان نامه کارشناسی ارشد رشته شیمی فیزیک، دانشگاه خوارزمی، دانشکده شیمی

[2] Ahalya N., Kanamadi T.V., Ramachandra R.D., (2005), Biosorption of chromium (VI) from aqueous solution by the husk of Bengal gram (Cicer arientinum): Review, Electronic Journal of Biotechnology, 8(3):258-264.

[3] Ali I., Asim M., khan T.A., (2012), low cost adsorbent for the removal of organic pollutants from wastewater, Journal of Environmental Management, 113:170-183.

[4] Alothman ZA., Habila MA., Ali R., Ghafar AA., Hassouna MSE., (2014), Valorization of two waste steams into activated carbon and studying its adsorption kinetics, equilibrium isotherms and thermodynamics for methylenblue removal, Arabian Journal of Chemistry, 7:1148-1158.

[5] Cheraghi E., Ameri E., Moheb A., (2015), Adsorption of cadmium ions from aqueous solutions using sesame as a low cost biosorbent: kinetic and equilibrium studies, International Journal of Environmental Science and Technology, 12:2579-2592

[6] Giraldo L., Moreno-Pirajan Jc., (2014), Study of adsorption of phenol on activated carbons obtained from eggshells, Journal of Analytical and Applied Pyrolysis, 106:41-47.
[7] Gisi S.D., Lofrano G., Grassi M., Notarnicola M., (2016), Characteristics and adsorption capacities of low-cost sorbents for wastewater treatment: A review, Sustainable Materials and Technologies, 9: 10–40
[8] Hameed B.H., Tan I.A.W., Ahmad A.L., (2008), Adsorption isotherm, kinetic modeling and mechanism 0f 2,4,6-trichlorophenol on coconut husk-based activated carbon, Chemical Engineering Journal, 144:235-234.
[9] Hassan A.A., (2014), Removal of reactive red 3b from aqueous solutions by using treated orange peel, International Journal of Civil Engineering & Technology, 5:160-169.
[10] Holan Z.R., Voleski B., prasteyo i., (1993), Biosorption of cadmium by biomass of marine algae, Biotechnology and Bioengineering, 41:819-825.
[11] Jain A.K., Gupta V.K., Bhatnagar A., Suhas, (2003), Utilization of Industrial Waste Products as Adsorbents for the Removal of Dyes, Journal of Hazardous Materials, 101(1):31-42, doi: 10.1016/s0304-3894(03)00146-8.
[12] Kannan N., Veemaraj T., (2010), Dynamics and equilibrium studies for removal of Cd^{2+} and Cd^{2+} EDTA onto lemon peel carbon, Indian Journal of Environmental Protection, 30:26-33
[13] Kyzas G.Z., Koltsakidou A., Nanaki S.G., Bikiaris D.N., Lambropoulou D.A., (2015), Removal of beta-blockers from aqueous media by adsorption onto graphene oxide, Science of The Total Environment, 537:411-420
[14] Lakshmi U.R., Srivastava V.C., Mall I.D., Lataye D.H., (2009), Rice husk ash an effective adsorbent: evaluation of adsorptive charactristics for indigo carmine dye, Journal of Environmental Management, 90:710-720.
[15] Liang S., Guo X., Tian Q., (2013), adsorption of Pb^{2+}, Cu^{2+} and Ni^{2+} from aqueous solution by novel garlic peel adsorbent, Desalination Water Treatment, 51:7166-7171 [16] Mahmoud D.K., Salleh M.A.M., Karim W.A.W., Idris A., et al., (2012), Batch adsorption of basic dye using acid treated kenaf fiber char: equilibrium, kinetic, and thermodynamic studies. Chemical Engineering Journal, 181:449-457.
[17] Morias L.C., Freitas O.M., Goncalves E.P., Vasconcelos L.T., Gonzales Beca C.G., (1999), Reactive dyes removal from wastewater by adsorption by eucalyptus bark: variable that defines the process, Water Researches, 33:979-988.
[18] Njoku VO, Islam Md.A., Asif M., Hameed MH., (2014), Utilization of sky fruit husk agricultural waste to produce high quality activated carbon for the herbicide bentazone adsorption, Chemical Engineering Journal, 251:183-191.
[19] Okada K., Yamamoto N., Kameshima Y., Yasumori A., (2003), Adsorption properties of activated carbon from waste newspaper prepared by chemical and physical activation, Journal of Colloid and Interface Science, 262:194-199.
[20] Ponou J., Wang l.P., Dodbiba G., Matuo S., Fujita T., (2014), Effect of carbonization on banana peels for removal of cadmium ions from aqueous solution, Environmental Engineering and Management Journal, 2:1070-1081
[21] Prilä M., (2015), Adsorption and Photocatalysis in water treatment: active, abundant and inexpensive materials and methods, Acta Universitatis Ouluensis C522, Doctoral thesis, University of Oulu
[22] Raghubanshi H., Ngobeni S.M., Osikoya A.O., Shooto N.D., Dikio E.D., et al., (2017), Synthesis of graphen oxide and its application for the adsorption of pb^{2+} from aqueous solution. Journal of Industrial and Engineering Chemistry, 47:169-178
[23] Saeed A., Akhter M.W., Iqbal M., (2005), Removal and recovery of heavy metal from aqueous solution using papaya wood as a new biosorbent, Seperation and Purification Technology, 45,25-31.
[24] Sarin V., Pant K.K., (2006), Removal of chromium from industrial waste by using eucalyptus bark, Bioresources Technology, 97(1):15-20
[25] Shehzad A., Bashir M.J.K., Sethupathi S., Lim J.W., (2015), An overview of heavily polluted landfill leachate treatment using food waste as an alternative and renewable source of activated carbon, Process Safety and Environment Protection, http://dx.doi.org/10.1016/j.psep.2015.09.005.
[26] Singh K.K., Singh A.K., Hasan S.H., (2006), Low cost bio-sorbent wheat barn for the removal of cadmium from wastewater: kinetic and equilibrium studies, Bioresources Technology, 97:994-1001
[27] Singh N.B., Nagpal G., Agrawal S., Rachna., (2018). Water purification by using Adsorbents: A Review. Environmental Technology & Innovation, 11, 187–240.

Tasaso P., (2014), Adsorption of copper using pomelo peel and depectinated pomelo peel, Journal of Clean Energy Technologies, 2:154-157.
[28] Tsai W.T., Hsu H.C., Su T.y., Lin K.Y., Lin C.M., (2008), Removal of basic dye (mwthylene blue) from wastewaters utilizing beer brewery waste, Journal of Hazardous Materials, 154:73-78.
[29] Tuomikoski S., (2014), Utilisation of gasification carbon residues – activation, characterization and use as an adsorbent, Acta Universitatis Ouluensis A633, Doctoral thesis, University of Oulu
[30] Wang W., et al., (2017). From illite/smectite clay to mesoporous silicate adsorbent for efficient removal of chlortetracycline from water. Journal of Environmental Sciences, 51,31-34
[31] Zhang Z., Luo X., Liu Y., Zhou P., et al., (2015), A low cost and highly efficient adsorbent (activated carbon) prepared from waste potato residue, Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers, 49:206-211
[32] Zhou D., Zhang L., Zhou J., Guo S., (2004), Cellolose/chitin beads for adsorption of heavy metals in aqueous solution, Water Researches, Vol.38, pp.2643-2650.