پژوهش و فناوری محیط زیست، ۱۳۹۹ ۵(۷)، ۳۹-۵۴

پژوهش و فناوری محیط زیست

وبگاه نشریه: www.journal.eri.acecr.ir

پژوهشکده محیط زیست

شاپا الکترونیکی: ۲۶۷۶-۳۰۶۰

ارزیابی جاذب‌های طبیعی در تصفیه آب و فاضلاب

محدثه توکلی[1*]

۱- دانشجوی دکتری، گروه شیمی، دانشگاه مازندران، بابلسر، ایران

چکیده

با بیشتر شدن فعالیت‌های صنعتی و تخلیه فاضلاب‌های تصفیه نشده که شامل آلاینده‌های محیط زیستی مختلف هستند به محیط‌های آبی، مشکلاتی مانند کاهش قابلیت نفوذ نور، به وجود آمدن شرایط بی‌هوازی و عوارضی همچون آلرژی و سرطان برای انسان و سایر موجودات زنده ایجاد می‌شود. روش جذب سطحی به عنوان یکی از اثرگذارترین و کارآمدترین روش‌ها در حذف آلاینده‌های محیط زیستی مطرح است و در بین روش‌های رایج برای تصفیه فاضلاب، کاربرد جاذب‌های طبیعی نسبت به روش‌های دیگر کارایی بیشتری داشته و از نظر اقتصادی نیز مناسب‌تر است. از آن جایی که جاذب‌های طبیعی به وفور در طبیعت وجود دارند و دارای قیمت بسیار ناچیز و حتی در بعضی از موارد بدون هزینه هستند. جذب آلاینده به وسیله این مواد، می‌تواند روشی مناسب به منظور حذف مواد سمی از آب‌های آلوده و پساب‌های صنعتی باشد. در این مقاله، به بررسی عملکرد تعدادی از جاذب‌های زیستی به منظور حذف آلاینده‌ها از فاضلاب‌های صنعتی و پساب‌ها پرداخته می‌شود.

کلید واژه‌ها: جاذب طبیعی، تصفیه فاضلاب، جذب سطحی، آلاینده، صرفه اقتصادی

[*] پست الکترونیکی نویسنده مسئول: Mohadesetavakoli000@gmail.com

Journal of Environmental Research and Technology, 5(7)2020. 39-54

Journal of Environmental Research and Technology

journal homepage: www.journal.eri.acecr.ir

Environmental Research institute

Online ISSN: 3060-2676

Evaluation of natural adsorbents in water and wastewater treatment

Mohadeseh tavakoli [*1]

1. PhD Student, Department of Chemistry, Mazandaran University, Babolsar, Iran

Abstract

With increasing industrial activities and discharging untreated wastewater which contains various environmental pollutants to aquatic environments, problems such as reducing the penetration of light, anaerobic conditions and complications such as allergies and cancer for humans and other living organisms will occur. Surface absorption is one of the most effective and efficient methods for the removal of environmental pollutants and among the common methods for treatment of wastewater, applying natural adsorbents are more efficient than the other methods and is more economic. Since there are many natural adsorbents in nature, they are very inexpensive, they are even free in some cases; adsorption of contaminants by these materials can be a suitable way to remove the toxic substances of contaminated water and industrial wastewater. In this paper, we study some of bioactive adsorbents in order to remove contamination from industrial wastewater.

Keywords: Natural adsorbent, Wastewater treatment, Adsorption, Contamination, Economic efficiency

[*]Corresponding author E-mail address: Mohadesetavakoli000@gmail.com

مقدمه

بعضی از آلاینده‌ها سمی هستند و برخی دیگر موجب جهش در موجودات زنده آبزی می‌شوند. آزادسازی این پساب‌های آلوده در اکوسیستم، باعث نابودی زیبایی‌های طبیعت و اختلال در زندگی آبزیان می‌شود. علاوه‌براین، پایداری ساختار مولکولی آن‌ها موجب مقاومتشان در مقابل تجزیه بیولوژیکی یا شیمیایی می‌شود. بنابرین، لازم است که این ترکیبات تهدیدکننده حیات، قبل از تخلیه از پساب‌ها حذف شوند (محمودی[۱] و آرامی[۲]، ۲۰۰۹).

حفاظت از محیط زیست در مقابل آلودگی‌هایی که به وسیله صنایع و فناوری‌های مدرن به وجود می‌آید، یکی از نگرانی‌های دنیای امروز به علت به خطر انداختن سلامت و بهداشت عمومی جامعه می‌باشد (اینقوئی[۳] و کائوک[۴]، ۲۰۰۹).

در سالیان اخیر، صنایع، تحت فشار شدید مسئولین و افکار عمومی قرار دارند تا پساب‌های خود را قبل از تخلیه به محیط‌های طبیعی، به شکل مطلوبی تصفیه کنند. به همین جهت، یافتن روش‌های مؤثر تصفیه، امری ضروری و اجتناب‌ناپذیر است (انصاری و همکاران، ۱۳۹۰). در این راستا و به منظور ممانعت از تخریب محیط زیست و آسیب رسیدن به موجودات زنده، پژوهشگران به دنبال روش‌هایی برای حذف آلاینده‌ها هستند. بر اساس پژوهش‌های انجام شده، از بین روش‌های رایج، به دلیل هزینه بالا و کارایی پایین بعضی از آن‌ها و یا غیرقابل اجرا بودن، برای طیف وسیعی از آلاینده‌ها، روش جذب، مناسب‌ترین روش می‌باشد (سا و همکاران، ۲۰۱۳).

جذب سطحی، یکی از فرآیندهای متداول برای جذب آلاینده‌ها می‌باشد و یکی از مهم‌ترین جاذب‌ها در این زمینه کربن فعال است؛ ولی مشکلات ناشی از کاربرد کربن فعال مانند هزینه احیاء، استفاده از آن را با محدودیت مواجه می‌سازد (فنچیانگ[۵] و تیسن[۶]، ۲۰۰۹).

بنابراین، محققین برای استفاده از جاذب، ویژگی‌های هزینه کمتر و کاربرد آسان‌تر را برای انتخاب در اولویت قرار دادند. مواد طبیعی مانند کاه، برنج، گندم، خاک اره[۷]، بیومس آزولا[۸]، عدسک[۹] و گل قرمز و مواد معدنی مانند بنتونیت[۱۰]، خاک رس[۱۱] و کیتوزان[۱۲] تعدادی از جاذب‌های جدید و ارزان قیمت هستند. مطالعات نشان داده است که این جاذب‌ها عملکرد بالایی در حذف آلاینده‌ها از محیط زیست دارا می‌باشند. یکی از راه‌های کاهش هزینه، استفاده از مواد ارزان قیمت و در دسترس می‌باشد (سلمانی و همکاران، ۲۰۱۳).

- سینتیک جذب

یکی از مهم‌ترین عوامل به منظور طراحی سیستم جذب به منظور تعیین زمان اقامت ماده جذب شونده و ابعاد راکتور، پیش‌بینی سرعت فرآیند جذب می‌باشد که به وسیله سینتیک سیستم کنترل می‌شود. سینتیک جذب به خواص فیزیکی و شیمیایی ماده جاذب بستگی دارد که مکانیزم جذب را تحت تأثیر قرار می‌دهد.

شکل غیرخطی معادله شبه درجه اول در سطر زیر نشان داده شده است:

$$\frac{dq_t}{dt} = k_1(q_e - q_t)$$

با انتگرال‌گیری از این رابطه، معادله زیر به‌دست می‌آید:

$$\mathrm{Ln}\,(q_e - q_t) = \mathrm{Ln}q_e - k_t$$

در این‌جا، q_e، ظرفیت جذب جاذب در حالت تعادل بر حسب ($mg\ g^{-1}$)، q_t مقدار رنگ جذب شده در زمان t برحسب ($mg\ g^{-1}$)، k_1 ثابت سرعت معادله شبه درجه اول برحسب min^{-1} است. اگر نمودار $\mathrm{Log}\ (q_e - q_t)$ برحسب t برای شرایط آزمایشگاهی رسم شود، خط مستقیمی به دست می‌آید که ثابت سرعت k_1 و ضریب همبستگی R^2 از این نمودار محاسبه می‌شود.رابطه کلی معادله شبه درجه دوم به شکل زیر می‌باشد:

$$\frac{dq_t}{dt} = k_2(q_e - q_t)^2$$

---

[1] Mahmoodi
[2] Arami
[3] Inghui
[4] Caoc
[5] Fanchiang
[6] Tseng
[7] Sawdust
[8] Azool Biomass
[9] Judicial
[10] Bentonite
[11] Clay
[12] chitosan

با انتگرال‌گیری از این رابطه، معادله زیر به‌دست می‌آید:

$$\frac{t}{q_t} = \frac{1}{k_2 q_e^2} + \frac{t}{q_e}$$

k_2 ثابت سرعت معادله شبه درجه دوم برحسب $g\ mg^{-1}\ min^{-1}$ است. با رسم مقادیر $\frac{t}{q_t}$، در مقابل زمان تماس می‌توان مقادیر k_2 و q_e را به ترتیب از طریق شیب و عرض از مبداء منحنی فوق به دست آورد (کایور[1] و همکاران، ۲۰۱۳).

- ایزوترم جذب

ایزوترم‌های جذب، معادلاتی برای تشریح حالت تعادل جزء جذب‌شونده بین فاز جامد و سیال هستند. در جهت تحلیل نتایج جذب و بررسی ایزوترم‌های آن، مدل‌های لانگمویر و فروندلیچ مورد بررسی و مطالعه قرارگرفتند و نتایج تجربی با معادلات مذکور مقایسه گردیدند. مدل خطی این ایزوترم به شکل زیر ارائه می‌شود:

$$\frac{C_e}{q_e} = \frac{1}{K_a Q_m} + \frac{1}{Q_m} \times C_e$$

که در آن C_e غلظت تعادلی فاز مایع ($mg\ L^{-1}$)، q_e ظرفیت جذب جاذب ($mg\ g^{-1}$)، k_a ثابت تعادلی جذب ($L\ mg^{-1}$) است که مربوط به انرژی ظاهری جذب می‌شود.

ایزوترم فروندلیچ یک معادله تجربی است و نشان می‌دهد که انرژی جذب در هنگام اشغال شدن مراکز جذب‌کننده یک جاذب، به طور نمایی کاهش می‌یابد. مدل خطی این ایزوترم به شرح زیر بیان شده است:

$$Lnq_e = Lnk_f + \frac{1}{n_f}$$

در این معادله q_e ظرفیت جذب جاذب در تعادل ($mg\ g^{-1}$)، C_e غلظت تعادلی ماده جذب‌شونده در محلول ($mg\ L^{-1}$) و K_f ثابت فروندلیچ ($L\ g^{-1}$) که مربوط به انرژی پیوند است و نشان‌دهنده مقدار ماده جذب‌شونده روی جاذب بر واحد غلظت تعادلی می‌باشد.

$\frac{1}{n_f}$ پارامتر ناهمگنی است و n_f میزان انحراف از خط جذب است. اگر مقدار n_f برابر با یک باشد، جذب خطی است؛ اگر کمتر از یک باشد، فرآیند جذب یک فرآیند شیمیایی است و اگر بالای یک باشد، جذب یک فرآیند فیزیکی مطلوب است (توکلی و عابدین‌زاده، ۱۳۹۵).

پارامترهای مؤثر بر بازدهی جذب

از مهم‌ترین عوامل اثرگذار بر روی جذب سطحی، دما، زمان تماس و غلظت جاذب می‌باشد. پژوهش‌های انجام شده در این حوزه نشان داده است که افزایش دما منجر به افزایش جذب می‌شود (موچانیریی[2] و همکاران، ۲۰۱۴). در مورد رابطه مقدار جذب سطحی و غلظت جاذب مورد استفاده باید به این مطلب توجه کرد که افزایش در جذب با مقدار جاذب می‌تواند به دلیل افزایش سطح جاذب و میزان دسترسی بیشتر به مکان‌های جذب باشد (بولوت[3] و آیدین[4]، ۲۰۰۶). زمان تماس، یک متغیر مهم دیگر در فرآیند جذب سطحی است. ظرفیت جذب جذب سطحی و بازده حذف آلاینده به وسیله جاذب در محدوده‌ای رابطه مستقیم دارد. پس از آن، سطح جاذب به وسیله مولکول‌های ماده جذب شده مسدود و بعد از مدت زمانی پوشانده می‌شود. وقتی این اتفاق رخ می‌دهد، جاذب توانایی جذب آلاینده بیشتری ندارد (رحمانی[5] (رحمانی[5] و همکاران، ۲۰۱۰). این پژوهش، از بین ۲۸ مقاله منتشر شده از سایت‌های مختلف انجام شده است که در اغلب آن‌ها مزایا و محدودیت‌های کاربرد روش جذب سطحی ارزیابی گردیده است. در این مقالات، شرایط اصلی عملیاتی مؤثر بر فرآیند جذب مانند pH، دما، غلظت آلاینده‌ها و مقدار جاذب در عملکرد تصفیه آلاینده رنگ مورد سنجش قرار گرفته است.

- انواع جاذب‌های طبیعی

- پوسته تمر هندی

خرم‌فر و همکاران در سال ۱۳۸۸، ایزوترم و سینتیک جذب فرآیند حذف رنگ فاضلاب نساجی به وسیله جاذب طبیعی پوسته تمر هندی[6] هندی[6] را مورد مطالعه قرار دادند. در این پژوهش، قابلیت رنگ‌بری رنگ‌زای کاتیونی از فاضلاب رنگی نساجی با استفاده از جاذب طبیعی

[1] Kaur
[2] Muchanyereyi
[3] Bulut
[4] Aydın
[5] Rahmani
[6] Tamarindus Indica Hull

پوسته تمر هندی مورد بررسی قرار گرفت. رنگ‌زای بازیک آبی ۴۱[1] به عنوان رنگ‌زای نمونه انتخاب شد. خصوصیات سطحی پوسته تمر هندی با استفاده از دستگاه‌های تبدیل فوریه مادون قرمز[2] و میکروسکوپ الکترونی پویشی مورد مطالعه قرار گرفت. اثر متغیرهای مهم بر فرآیند رنگ‌بری، مانند مقدار جاذب، غلظت اولیه رنگ‌زا و pH بررسی شد. مقادیر بهینه دز جاذب $g\ L^{-1}$ ۰/۸، غلظت اولیه رنگ‌زا $mg\ L^{-1}$ ۵۰، pH= ۸، دما ۲۵ درجه سانتی‌گراد و سرعت هم‌زدن rpm ۲۰۰ در مدت یک ساعت می‌باشد.

ایزوترم لانگمویر و فروندلیچ و سینتیک جذب درجه اول و دوم به منظور ارزیابی داده‌ها مطالعه شدند. حضور گروه‌های عاملی مانند هیدروکسیل و کربونیل در سطح پوسته تمر هندی به وسیله دستگاه تبدیل فوریه مادون قرمز اثبات شد. نتایج نشان دادند که جذب رنگ-زا بر روی پوسته تمر هندی از ایزوترم لانگمویر پیروی می‌کند. همچنین، سینتیک جذب رنگ‌زا روی جاذب از سینتیک مرتبه دوم تبعیت می‌کند. با مطالعه داده‌ها این نکته اثبات گشت که پوسته تمر هندی می‌تواند به عنوان یک جاذب طبیعی در جهت رنگ‌بری رنگ‌زاهای کاتیونی از فاضلاب رنگی نساجی به کار رود (خرم‌فر و همکاران، ۱۳۸۸).

- جلبک اولوتریکس زوناتا

ملکوتیان و همکاران در سال ۱۳۹۰، سینتیک و ایزوترم بیوجذب فلزات سنگین به وسیله جلبک اولوتریکس زوناتا[3] از فاضلاب‌های صنعتی را مورد مطالعه قرار دادند. یکی از تکنولوژی‌های اثرگذار به‌منظور حذف فلزات سنگین، کاربرد جاذب‌های زیستی می‌باشد و علت آن اقتصادی بودن، سادگی روش و سازگار بودن آن با استانداردهای زیست محیطی است. هدف از این پژوهش، بررسی مقدار بیوجذب فلزات مس، روی، سرب و کادمیم به وسیله جلبک اولوتریکس زوناتا از فاضلاب‌های صنعتی می‌باشد. این مطالعه با نمونه‌برداری از فاضلاب صنایع مس، باتری‌سازی و آب‌کاری شهر کرمان انجام گرفت و مقادیر اولیه فلزات مس، روی، سرب و کادمیم آن‌ها با دستگاه جذب اتمی مشخص شد. در جهت تعیین مقدار جذب فلزات به وسیله جاذب اولوتریکس زوناتا مقادیر مختلفی از جاذب g (۰/۲، ۰/۴، ۰/۵، ۱، ۱/۵) در شرایط pHهای متفاوت (۳، ۴، ۵، ۶، ۷)، دماهای مختلف (۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵، ۳۰ درجه سانتی‌گراد)، زمان تماس‌های متفاوت (۱۵، ۳۰، ۴۵، ۶۰، ۸۰ دقیقه) در فاضلاب‌های موردنظر تماس داده شدند. سپس، ایزوترم‌های جذب و مدل‌سازی سینتیکی یون‌های فلزی بر روی جاذب برمبنای آزمون مدل‌های ایزوترم لانگمویر، فروندلیچ و سینتیک‌های درجه اول و دوم مشخص شدند. مقدار حذف فلزات به وسیله جاذب اولوتریکس زوناتا متفاوت بود. در دمای بهینه ۲۵ درجه سانتی‌گراد، pH بهینه ۴ برای فلزات مس و سرب، pH بهینه ۵ برای فلزات روی و کادمیم، زمان تماس تعادلی ۶۰ دقیقه و مقدار جاذب $g\ L^{-1}$ ۱/۵ میزان حذف فلزات مس، روی، سرب و کادمیم به ترتیب ۹۸/۲، ۹۶، ۹۸/۴ و ۹۴/۷ درصد بود و میزان حذف فلز سرب بیشتر از دیگر فلزات بود.

بر اساس نتایج کسب شده، جذب فلزات از مدل‌های فروندلیچ، لانگمویر و معادله سینتیک درجه دوم پیروی می‌کند. پارامترهای ایزوترم نشان می‌دهد که ظرفیت جذب فلز سرب بیشتر است، ولی جذب فلز مس و کادمیم با انرژی بیشتری انجام شد. با توجه به راندمان بالای جذب، جلبک اولوتریکس زوناتا قادر است به صورت مؤثر در جهت بیوجذب فلزات سنگین از فاضلاب‌های صنعتی استفاده شود (ملکوتیان و همکاران، ۱۳۹۰).

- خاکستر برگ گیاه سدر

دیوبند و همکاران در سال ۱۳۹۱، کارایی نانوذرات تهیه شده از خاکستر برگ گیاه سدر[4] را در حذف سرب از محیط‌های آبی بررسی کردند. این مطالعه به شکل ناپیوسته و با تغییر فاکتورهای مهمی مانند (۸-۳) pH، زمان تماس (۱۲۰-۵) دقیقه و مقدار جاذب ($g\ L^{-1}$ ۵۰-۱) در غلظت $mg\ L^{-1}$ ۱۰ محلول فلزی سرب مورد مطالعه قرار گرفت. سینتیک‌های جذب سرب بر روی جاذب‌های آماده شده بر اساس مدل‌های هو و همکاران و لاگرگرن و تطابق داده‌های جذب با ایزوترم‌های جذب لانگمویر و فروندلیچ بررسی شدند. بررسی داده‌ها بیانگر این است که با افزایش pH از ۳ تا ۵ راندمان جذب افزایش یافته و در pHهای بالاتر از ۵ یون‌های فلزی رسوب کرده‌اند. افزایش زمان تماس باعث افزایش کارایی جذب می‌شود و با افزایش مقدار جاذب نانومتری راندمان جذب ابتدا افزایش و سپس کاهش می‌یابد. داده‌های کسب شده در این پژوهش نشان می‌دهد که جذب سرب از مدل سینتیکی هو[5] و ایزوترم لاگرگرن[6] پیروی می‌کند (دیوبند و همکاران، ۱۳۹۱).

---

[1] Basic Blue 41 (BB41)
[2] Fourier Transform Iinfrared Spectroscopy
[3] Algae Ulothrix Zonata
[4] Zizyphus Spinachristi
[5] Hu
[6] Isotherm Lagergren

- پسماند سویا

ضیاءپور و همکاران در سال ۱۳۹۱، کاربرد پسماند سویا[1] به عنوان جاذب رنگ اسید اورانژ ۷ از محلول آبی را مورد مطالعه قرار دادند. در این پژوهش، پسماند لیگنوسلولزی سویا[2] برای جذب رنگ اسیداورانژ ۷ مورد بررسی قرار گرفت. ابتدا، اثر غلظت رنگ اسیداورانژ ۷، pH، دما و زمان تماس بر مقدار جذب بررسی شد و سپس، تبعیت ایزوترم جذب از مدل‌های لانگمویر و فروندلیچ مورد مطالعه قرار گرفت. نتایج نشان داد که کارایی جذب به مقدار زیادی به pH محلول و به مقدار کمتری به دمای محلول بستگی دارد. سرعت جذب رنگ اسید اورانژ ۷ با پسماند سویا بسیار بالا است و جذب در مدت زمان کمی به اتمام می‌رسد. نتایج بررسی ایزوترم جذب نشان می‌دهد که هر دو مدل برای توصیف جذب رنگ اسید اورانژ ۷ با سویا مناسب می‌باشند. حداکثر ظرفیت جذب رنگ اسید اورانژ ۷ به وسیله پسماندهای سویا برابر با $mg\ g^{-1}$ ۱۷/۵۴ محاسبه شد که از بعضی از جاذب‌های ارزان قیمت بررسی شده بیشتر و از بعضی دیگر مانند پسماند لیگنوسلولزی کلزا کمتر می‌باشد (ضیاپور و همکاران، ۱۳۹۱).

- خاکستر پوسته گردو

منصوریان و همکاران در سال ۱۳۹۲، معادلات تعادلی و سینتیکی حذف رنگ متیلن بلو با استفاده از خاکستر پوسته گردو[3] را مورد مطالعه قرار دادند. در این تحقیق، اثر متغیرهای مهمی مانند pH (۱۳-۲)، زمان تماس واکنش (۲۵۰-۳۰ دقیقه)، مقدار جاذب ($mg\ L^{-1}$ ۵-۰/۲) و غلظت اولیه رنگ ($mg\ L^{-1}$ ۲۵۰-۲۵) در کارایی حذف رنگ از فاضلاب سنتتیک مورد بررسی قرار گرفتند. همچنین، رفتار جذبی رنگ‌ها به وسیله ایزوترم‌های فروندلیچ و لانگمویر و سینتیک جذب آن‌ها، مورد سنجش قرار گرفت. آنالیز داده‌ها و رسم نمودارها با استفاده از برنامه اکسل و ضریب رگرسیون انجام گرفت. بالاترین کارایی حذف رنگ متیلن بلو از محلول در pH بهینه برابر با ۱۰، مدت زمان ۱۵۰ دقیقه و دوز جاذب $g\ L^{-1}$ ۳ حاصل شد که برای غلظت رنگزای $mg\ L^{-1}$ ۱۰۰ حدود ۹۳/۲۵ درصد به دست آمد.

ایزوترم‌های تعادل به وسیله معادلات لانگمویر و فروندلیچ آنالیز شدند و نشان دادند که این آزمایش‌ها از مدل فروندلیچ پیروی می‌کند (R=۰/۸۵).این ایزوترم‌ها همچنین نشان می‌دهند که سینتیک جذب برای سه غلظت رنگ اولیه $mg\ L^{-1}$ ۱۰۰، ۱۵۰ و ۲۰۰ با معادله شبه درجه دوم مطابقت بیشتری دارد (R=۰/۹۹). کارایی بیشتر از ۹۰ درصدی جاذب تهیه شده در حذف رنگ متیلن بلو از محیط آبی نشان می‌دهد که می‌توان از آن به عنوان یک جاذب طبیعی مؤثر و ارزان قیمت در فرآیندهای تصفیه استفاده کرد. استفاده از این تکنیک به منظور حذف آلاینده‌های رنگی از محیط‌های آبی پیشنهاد می‌شود (منصوریان و همکاران، ۱۳۹۲).

- خاکستر میوه بلوط

زارعی و همکاران در سال ۱۳۹۳، جذب نیکل به وسیله خاکستر میوه بلوط[4] از محلول‌های آبی و ایزوترم و سینتیک آن‌ها را بررسی کردند. کردند. نیکل (II) از آلاینده‌های مهم محیط زیست به شمار می‌رود و غلظت‌های بالای آن موجب سرطان ریه، سینوس بینی و استخوان می‌شود. بنابراین، ضروری است که برای حفاظت از سلامت انسان‌ها و محیط زیست، نیکل اضافی از فاضلاب صنایع حذف شود. لذا، این پژوهش با هدف بررسی کارایی خاکستر میوه بلوط در حذف نیکل انجام شده است. این مطالعه، در مقیاس آزمایشگاهی انجام گرفت. در مطالعه پیش‌رو، اثر پارامترهایی مانند pH، زمان تماس، جرم جاذب و غلظت اولیه نیکل بررسی شد. ایزوترم داده‌های تجربی با استفاده از معادلات لانگمویر، فروندلیچ و تمکین مورد سنجش قرار گرفت. همچنین، به منظور تعیین بهترین مدل سینتیک جذب یون‌های نیکل بر روی خاکستر میوه بلوط، از معادلات سینتیک شبه درجه اول، شبه درجه دوم و الوویچ استفاده شد.

داده‌های حاصل از این تحقیق نشان می‌دهد که ظرفیت جذب به عواملی از قبیل pH محلول، زمان تماس، جرم جاذب و غلظت اولیه یون‌های نیکل بستگی دارد. pH بهینه برای جذب نیکل برابر با ۷ می‌باشد و با افزایش جرم جاذب و زمان تماس، راندمان حذف افزایش یافت؛ با افزایش غلظت اولیه نیکل نیز، راندمان حذف کاهش یافت. نتایج نشان دادند که داده‌های آزمایشگاهی مطابقت بهتری با ایزوترم فروندلیچ دارند و بهترین مدل سینتیک جذب برای آن‌ها مدل سینتیکی شبه درجه دوم می‌باشد. پژوهش حاضر، بیانگر این نکته است که خاکستر میوه درخت بلوط ایرانی به عنوان یک جاذب مؤثر و دوست‌دار محیط زیست در حذف یون‌های نیکل از محلول‌های آبی به کار می‌رود (زارعی و همکاران، ۱۳۹۳).

---

[1] Soybean Waste
[2] soybean lignocellulosic waste
[3] ash of walnut shell
[4] Acorn Ashes

- جلبک عدسک آبی

بلارک و همکاران در سال ۱۳۹۴، جذب زیستی پیروکتکول به وسیله جلبک عدسک آبی و ایزوترم و سینتیک این فرآیند را مورد مطالعه قرار دادند. پیروکتکول[1] به عنوان آلاینده‌ای دارای تقدم که در غلظت‌های پایین نیز برای موجودات زنده اثرات بسیار بدی دارد، طبقه‌بندی می‌شود. لذا، هدف از این پژوهش، بررسی جذب پیروکتکول به وسیله جاذب عدسک آبی اصلاح شده از محلول‌های آبی است. این مطالعه، به صورت آزمایشگاهی و به شکل ناپیوسته انجام شد. در این بررسی، اثر پارامترهای گوناگونی از قبیل زمان تماس، pH، غلظت اولیه پیروکتکول و غلظت بیومس بر عملکرد جاذب مورد مطالعه قرار گرفت. نمونه‌ها با دو بار تکرار مورد آزمون قرار گرفتند و مدل‌های مختلف ایزوترم و سرعت واکنش جذب از روش مقایسه ضریب رگرسیون تحلیل شدند. نهایتاً، غلظت باقیمانده پیروکتکول به روش کروماتوگرافی مایع با عملکرد بالا[2] مورد سنجش قرار گرفت. با افزایش غلظت بیس فنل از $25\ mg\ L^{-1}$ تا ۲۰۰، کارایی حذف، از حدود ۹۸/۲ درصد به ۷۱/۴ درصد کاهش یافت. نتایج این پژوهش بیانگر این نکته است که جذب، بیشترین همبستگی را با مدل لانگمویر و سنتیک درجه دو نشان می‌دهد. به طورکلی، گیاه عدسک آبی به عنوان جاذب ارزان قیمت و بسیار اثرگذاری در تصفیه فاضلاب‌های صنعتی و یا محلول‌های آبی دارای ترکیبات فنلی به کار می‌رود (بلارک و همکاران، ۱۳۹۴). نتایج نشان می‌دهد که سطح ویژه جاذب $30\ m^2\ g^{-1}$ می‌باشد. حداکثر جذب پیروکتکول در pH برابر با ۳ و دز جاذب $4\ g\ L^{-1}$ و زمان تماس ۹۰ دقیقه به دست آمد.

- قارچ ساکارومیسس کارلزبرژنیس

احمدی اسب چین در سال ۱۳۹۴، سینتیک و ایزوترم جذب فلز نیکل و روی به وسیله قارچ ساکارومیسس کارلزبرژنزیس[3] را بررسی کرد. فلزات سمی موجب آلودگی پساب بیمارستان‌ها و کارخانه‌ها می‌شوند. مخمر ساکارومیسس کارلزبرژنزیس از سازمان پژوهش‌های علمی صنعتی ایران به صورت لیوفیلیزه دریافت شده و در محیط YEDPA کشت داده شد و به منظور تکثیر مالت اکسترکت براث[4] مورد استفاده قرار گرفت. در این پژوهش، تأثیر پارامترهایی از قبیل اسیدیته، دما، سینتیک و ایزوترم جذب فلز نیکل و روی به وسیله ساکارومیسس مطالعه شد. بیشترین میزان جذب نیکل و روی در محیط اسیدی حدود ۵/۵ و ۶ درصد بود. بررسی‌های سینتیکی نشان داد که جذب زیستی نیکل و روی به سرعت به وسیله بیومس ساکارومیسس انجام شد و بیشترین حذف در کمتر از ۳۰ دقیقه اول آزمایش صورت گرفت. بررسی جذب نیکل و روی به وسیله ساکارومیسس فعال و غیرفعال نشانگر این نکته است که بیشترین جذب به وسیله حالت فعال مخمر انجام شده است. مقدار جذب نیکل و روی به وسیله ساکارومیسس غیرفعال شده به وسیله اتوکلاو و سدیم آزید و دی نیترو فنل مورد بررسی قرار گرفته است. بیشینه میزان جذب نیکل و روی به ترتیب $0/65\ mmol\ g^{-1}$ و ۰/۴۷ می‌باشد. حذف فلزات سمی و سنگین از پساب بیمارستان‌ها به وسیله قارچ ساکارومیسس با کارایی بالا انجام می‌شود (احمدی اسب چین، ۱۳۹۴).

سلمانی و همکاران در سال ۱۳۹۴، فرآیند جذب در حذف رنگ از پساب‌های صنعتی را مطالعه کردند. در این پژوهش از ۴۵ مقاله منتشر شده از نشریه‌های مختلف بین سال‌های (۲۰۱۴-۱۹۹۷) میلادی استفاده شد که در بیشتر آن‌ها مزایا و محدودیت‌های کاربرد روش جذب سطحی مورد سنجش قرار گرفته است. در این مقالات، شرایط اصلی عملیاتی مؤثر بر فرآیند جذب مانند pH، دما، غلظت آلاینده‌ها و مقدار جاذب در عملکرد تصفیه آلاینده رنگ مطالعه شدند. این پژوهش مروری نشان داد که فاکتور pH در بیشتر تحقیقات متناوباً مطالعه و اثر آن به طور گسترده‌ای در جهت تصفیه پساب‌های آلوده شده به رنگ بررسی شد. فرآیند جذب برای حذف آلاینده‌های آلی و اصلاح فلزات در سیستم‌های یک رآکتوری ناپیوسته کارایی خوبی نشان داده است. علاوه بر این، از فرآیندهای متعارف، جذب به عنوان یکی از مؤثرترین روش‌ها به منظور تصفیه فاضلاب آلی و معدنی با غلظت آلاینده کمتر از $1000\ mg\ L^{-1}$ شناخته شده است (سلمانی و همکاران، ۱۳۹۴).

- جلبک سندسموس

گرجیان عربی و همکاران در سال ۱۳۹۵، جذب سطحی کادمیم به وسیله توده غیرزنده جلبک سندسموس[5] از محلول‌های آبی را مورد مطالعه قرار دادند. امروزه، آلودگی به فلزات سنگین به یکی از مهم‌ترین مشکلات زیست محیطی تبدیل شده است. جذب با استفاده از مواد زیستی مانند باکتری، قارچ، مخمر و جلبک‌ها به عنوان یک فناوری زیستی مقرون به صرفه در جهت درمان پساب‌های دارای فلزات سنگین در نظر گرفته می‌شود. هدف از این مطالعه، بررسی عملکرد توده سلولی غیرزنده جلبک به‌عنوان جاذب زیستی در حذف کادمیوم از

[1] Pyrocatechol
[2] HPLC
[3] Saccharomyces carlsbergensis PTCC5051
[4] Malt extract broth
[5] Scenedesmus sp.

محلول‌های آبی می‌باشد. مقدار جذب کادمیوم به وسیله جاذب از پارامترهای غلظت، pH، درجه حرارت و زمان تماس در مقیاس آزمایشگاهی و در سیستم ناپیوسته تأثیرپذیر است. غلظت کادمیوم با دستگاه جذب اتمی اندازه‌گیری شد. یافته‌های جذب به وسیله مدل-های ایزوترم لانگمویر و فروندلیچ و سینتیک جذب با مدل‌های شبه درجه اول و شبه درجه دوم و معادله ترمودینامیک تشریح شدند. نتایج نشانگر این نکته است که مقادیر بهینه جذب برابر با مقدار جاذب ۰/۱ g، غلظت $40\ mg\ L^{-1}$، pH= ۵، دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد و زمان تعادلی ۴۵ دقیقه است که در این شرایط مقدار حذف ۹۸/۷۱ درصد به دست آمد. در بررسی‌ها، سینتیک جذب از مدل شبه درجه دوم پیروی کرد و داده‌های آزمایشی به وسیله ایزوترم فروندلیچ توصیف شدند. نهایتاً، کارایی بالای ۹۸/۷۱ درصدی فرآیند جذب سطحی در این مطالعه نشان داد که جلبک سندسموس توانایی خوبی در حذف فلز کادمیم داراست و می‌تواند به عنوان عاملی در جهت حذف کادمیم از پساب‌ها مورد استفاده قرار بگیرد (گرجیان عربی و همکاران، ۱۳۹۵).

- خاک اره صنوبر

شهبازی و همکاران در سال ۱۳۹۵، کارایی خاک اره صنوبر در حذف متیلن بلو از محلول‌های آبی و همچنین ایزوترم، سینتیک و ترمودینامیک آن‌ها را بررسی کردند. در این مطالعه، کارایی خاک اره صنوبر[1] به عنوان یکی از ضایعات چوبی در حذف متیلن بلو از پساب، بررسی شده است. ایزوترم‌ها با استفاده از مدل‌های ایزوترم لانگمویر و فروندلیچ و سینتیک‌های جذب با استفاده از مدل‌های شبه درجه اول، شبه درجه دوم، الوویچ و نیز مدل نفوذ درون ذره‌ای مورد مطالعه قرار گرفت و مشاهده شد که رفتار فرآیند موردنظر از مدل ایزوترمی لانگمویر (R^2=۰/۹۹۶) تبعیت کرده و سینتیک آن بر واکنش شبه درجه دوم (R^2= ۰/۹۹۹) منطبق می‌شود و این ساز و کار به وسیله جذب سطحی و نفوذ درون ذره‌ای کنترل شده است. بیشینه ظرفیت جذب خاک اره صنوبر در جذب رنگ کاتیونی متیلن بلو در شرایط بهینه برابر با $26/85\ mg\ g^{-1}$ بوده است. نتایج نشان داد که خاک اره صنوبر، جاذب طبیعی مناسبی در جذب رنگ متیلن بلو از پساب محسوب می‌شود و در شرایط بهینه درصد جذبی برابر با ۸۴/۶۸ درصد را داراست (شهبازی و همکاران، ۱۳۹۵).

- هسته و میوه زیتون تلخ

نجف‌پور و همکاران در سال ۱۳۹۵، کارایی جاذب هسته و میوه زیتون تلخ در حذف رنگ متیلن بلو از فاضلاب سنتتیکی را بررسی کردند. هسته و میوه زیتون تلخ از جاذب‌های طبیعی ارزان قیمتی هستند که جایگاه ویژه‌ای را در تصفیه پساب نساجی دارند. این پژوهش، با هدف تعیین کارایی جاذب هسته و میوه زیتون تلخ در حذف رنگ متیلن بلو از فاضلاب سنتتیک انجام گشت. در این تحقیق، به منظور تعیین ویژگی‌های ساختاری جاذب از طیف تبدیل فوریه مادون قرمز (FT- IR) و میکروسکوپی الکترون روبشی[2] (SEM) استفاده گردیده است. تأثیر پارامترهای مختلف مانند غلظت اولیه رنگ ($10-100\ mg\ L^{-1}$)، مقدار جاذب ($0/1-1/1\ g\ L^{-1}$)، زمان تماس (۶۰-۰ دقیقه) و pH (۱۰-۴) بر میزان حذف رنگ مورد بررسی قرار گرفت و در نهایت سینتیک و ایزوترم جذب رنگ به وسیله جاذب مورد نظر نیز مطالعه گردید. غلظت رنگ به وسیله دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج ۶۶۵ نانومتر تعیین گشت. بیشترین حذف رنگ در شرایط غلظت رنگ $32/5\ mg\ L^{-1}$، غلظت جاذب $0/85\ g\ L^{-1}$، زمان تماس ۴۵ دقیقه و pH برابر با ۸/۵ به مقدار ۲۵ درصد به دست آمد. غلظت اولیه رنگ بیشترین اثر را بر میزان حذف آن داشت (P=۰/۰۰۰۱). نتایج حاصله نشان می‌دهد که سینتیک فرآیند جذب از مدل سینتیک شبه درجه دوم (R^2=۰/۹۹-۰/۹۵) و داده‌های تعادلی از مدل ایزوترمی لانگمویر (R^2=۰/۹۸) مطابقت می‌کند. هسته و میوه زیتون تلخ می‌توانند رنگ متیلن بلو را به راحتی حذف کنند. pH بهینه حذف این رنگ به وسیله این جاذب در محدوده قلیایی می‌باشد و بیشتر فاضلاب‌های نساجی دارای pH قلیایی می‌باشد؛ لذا این جاذب، جاذبی مناسب و مقرون به صرفه در جهت حذف رنگ از فاضلاب صنایع نساجی است (نجف‌پور و همکاران، ۱۳۹۵). علاوه بر مقالات فارسی، تعدادی دیگر از مقالات چاپ شده در نشریات بین‌المللی نیز، مورد مطالعه قرار گرفت؛ در این‌جا به تعدادی از آن‌ها اشاره می‌کنیم.

- زباله غلات محلی

سیهم[3] و همکاران در سال ۲۰۱۲، آماده‌سازی و عملکرد جاذب طبیعی مورد استفاده برای حذف آلاینده‌ها از فاضلاب را مورد مطالعه قرار دادند. امروزه، استفاده از زباله به عنوان یک ماده خام به منظور تولید کربن متخلخل به طور گسترده‌ای در تصفیه آب و فاضلاب انجام می‌شود. هدف این مطالعه، تشخیص طبیعت جاذبی است که از غلات محلی به دست می‌آید. این جاذب با آلاینده‌های آلی (فنول، رنگ‌ها)

[1] Populus nigra sawdust
[2] Scanning Electron Microscope
[3] Sihem

و آلاینده‌های معدنی (مس، روی و کادمیوم) آزمایش شده است و نتایج خوبی از آن‌ها کسب گردیده است. خصوصیات جاذب مورد نظر به وسیله روش تئوری بی ئی تی و میکروسکوپ الکترونی روبشی در جهت به دست آوردن ایده در مورد مورفولوژی و ساختار حفره و مکان‌های فعال سایت بررسی گردید (سیهم و همکاران، ۲۰۱۲).

- ذغال سنگ

سیمیت[1] و همکاران در سال ۲۰۱۶، رفتار جاذب ذغال سنگ برای سیستم‌های آب و فاضلاب را مورد مطالعه قرار دادند. این پژوهش، به بررسی کاربرد ذغال سنگ نه به عنوان یک منبع انرژی برای تولید برق، بلکه به عنوان یک جاذب کم‌هزینه در فرآیندهای تصفیه آب و فاضلاب می‌پردازد. در واقع، امروزه جاذب‌های مبتنی بر ذغال سنگ هنوز وجود دارند که مزایای قابل توجهی در استفاده از آن‌ها به دست آمده است. استفاده از ذغال سنگ‌های دریافت شده، سختی‌گیری شده، سولفون شده، لجن کربن، دوتایی کیتوزان، خاکستر ذغال سنگ و خاکستر ذغال سنگ مشتق شده از زئولیت نیز به طور گسترده مورد بحث قرار گرفته‌اند. از این بررسی‌ها آشکار می‌شود که اگر چه ظرفیت تبادل انواع جاذب‌های مبتنی بر ذغال سنگ با آلاینده‌های مختلف به طور قابل توجهی پایین‌تر است؛ اما در مقایسه با سایر فرم‌های جاذب، پتانسیل زیادی را برای استفاده از ذغال سنگ به عنوان وسیله‌ای برای حذف تعدادی از آلاینده‌ها از آب و فاضلاب نشان می‌دهد. با این حال، به دلیل کمبود اطلاعات مربوط به هزینه، مقایسه هزینه‌ها دشوار است (سیمیت و همکاران، ۲۰۱۶).

- مواد زائد کارخانه قند

تهیر[2] و همکاران در سال ۲۰۱۲، کاربرد قند طبیعی و اصلاح شده با قارچ برای حذف رنگ را بررسی کردند. در پژوهش حاضر، مواد زائد کارخانه قند (قارچ) به عنوان جاذبی کم‌هزینه در فرم‌های طبیعی و اصلاح شده استفاده شد و برای حذف رنگ سبز مالاشیت به کار رفت. قارچ نیشکر[3](SB)، قارچ کربن[4](CSB) و قارچ خاکستر پرواز[5](FA-SB) به عنوان جاذب برای حذف رنگ سبز مالاشیت از محلول‌های مورد آزمایش قرار گرفتند. حذف رنگ، توسط فرآیند جذب، تحت شرایط بهینه‌سازی غلظت رنگ، مقدار جاذب، دما و زمان تماس انجام شد و برای تعیین غلظت رنگ، قبل و بعد از جذب، روش اسپکتروفتومتریک مورد استفاده قرار گرفت. داده‌های تعادلی با ایزوترم‌های لانگمویر، فروندلیچ و دوبینین- رادوشکویچ مطابقت دارند و مقادیر ثابت‌های متناظر آن‌ها از دامنه‌ها و وقفه‌های مربوط به نقشه‌های آن‌ها ارزیابی شده است. داده‌های آزمایشی توسط معادله لانگمویر در محدوده 1×10^{-4} M - 1×10^{-5} بهترین پاسخ را ارائه می‌دهند. نتایج کسب شده نشان دادند که C-SB ظرفیت جذب بهتری را نسبت به سایر جاذب‌ها دارا می‌باشد و این امر به علت افزایش سطح تماس جاذب برای تصفیه شیمیایی می‌باشد. جاذب اصلاح شده C-SB درصد حذفی حدود ۸۹ درصد را نشان می‌دهد و به شکل‌گیری سطح اصلاح شده جدید و افزایش در سطح آن می‌انجامد. این روش، می‌تواند به عنوان روشی جایگزین و کم‌هزینه به منظور حذف رنگ و تصفیه از پساب‌های نساجی به کار رود (تهیر و همکاران، ۲۰۱۲).

- بنتولیت، کلسیت، کائولیت، زئولیت

محرمی و جلالی در سال ۲۰۱۳، حذف فسفر از محلول‌های آبی به وسیله جاذب‌های طبیعی ایرانی را بررسی کردند. حذف فسفر (P) از محلول‌های آبی با استفاده از جاذب‌های بنتونیت، کلسیت، کائولینیت[6] و زئولیت[7] به منظور تعیین شرایط عملیاتی بهینه از جمله زمان جذب، pH و دوز جذب مورد مطالعه قرار گرفت. ایزوترم‌های جذب به وسیله ایزوترم فروندلیچ به خوبی شرح داده شد و داده‌های آزمایشی بیشتر از همه با مدل لانگمویر (به جز کلسیت) مطابقت داشتند. حداکثر ظرفیت جذب فسفر به ترتیب برابر با ۱/۸۲ $mg\ L^{-1}$، ۰/۳۷، ۰/۳۲ و ۰/۲۸ برای کلسیت، زئولیت، کائولینیت و بنتونیت می‌باشد. تجزیه و تحلیل داده‌ها نشان داد که ترتیب ظرفیت واجذبی برابر با بنتونیت> زئولیت> کائولینیت> کلسیت است.

داده‌های اندازه‌گیری شده برای جذب فسفر بر روی جاذب به عنوان تابعی از pH برای پیش‌بینی جذب فسفر با استفاده از مدل دولایه‌ای به کار رفت. نتایج نشان دادند که مدل دولایه‌ای می‌تواند جذب فسفر بر روی جاذب‌ها را بیشتر از دامنه pH گسترده کند. شاخص‌های اشباع محلول جاذب[8] (SIs) و جذب فسفر با استفاده از برنامه MINTEQ نسخه ۲/۳ بررسی شد و احتمال بارگیری مواد معدنی به وسیله

[1] Simate
[2] Tahir
[3] Sugar Cane Bagasse
[4] Carbonaceous Bagasse
[5] Fly Ash Bagasse
[6] Kaolinite
[7] Zeolite
[8] The solution saturation index

وسیله میکروسکوپ الکترونی روبشی مورد مطالعه قرار گرفت. با توجه به تصاویر SEM و SI ها، حذف بالای فسفر با استفاده از جاذب‌ها تا حدودی به علت ته‌نشینی فسفر انجام شد. بررسی پارامترهای ترمودینامیکی اثبات می‌کند که فرآیند گرماگیر و خود به خودی می‌باشد (محرمی و جلالی، ۲۰۱۳).

- عناب

بیونگریول[1] و همکاران در سال ۲۰۱۵، کاربرد و ارزیابی سمیت جاذبی بر اساس عناب[2] را به منظور حذف فلزات سنگین و سمی مورد مطالعه قرار دادند. در این مطالعه، بررسی مکانیزم و کارایی حذف فلزات سنگین سمی با یک جاذب سازگار با محیط زیست انجام شد. انواع مختلف جاذب‌های ساخته شده از عناب با تغییر درجه حرارت خشک شدن دانه‌های ژل و روش آلودگی برای اجزای عناب سنتز شدند.
حداکثر ظرفیت جذب برای یون‌های سرب و مس با استفاده از مدل ایزوترم لانگمویر تعیین شد و با DJB-A-S-F (دانه عناب فریز و خشک شده ساخته شده از محلول جوشان عناب اتوکلاو شده) و بالاترین مقدار در $mg\ g^{-1}$ ۶۰/۴۴ برای سرب و $mg\ g^{-1}$ ۲۰/۳۳ برای مس به دست آمد. علاوه بر این، خصوصیات جاذب‌های مختلف نیز به وسیله روش تئوری بی ئی تی[3] (BET)، میکروسکوپ الکترونی روبشی و طیف‌سنجی پراش اشعه ایکس[4] (EDX) و طیف‌سنجی جرمی کروماتوگرافی گازی[5] (GC-MS) برای شناسایی اجزای DJB-A-S-F قبل قبل و بعد از جذب فلزات سنگین مورد استفاده قرار گرفت (pb-DJB-A-S-F و Cu-DJB-A-S-F). همچنین، آزمایش سیتوتوکسی سیتی درون آزمایشگاهی به این منظور انجام شد که آیا اتصال فلزات سنگین به DJB-A-S-F باعث افزایش سمیت سلولی می شود یا خیر؟ در نتیجه، هیچ تفاوتی در قابلیت زنده ماندن سلول بین DJB-A-S-F و آن‌هایی که به فلزات سنگین مرتبط بودند، مشاهده نشده است که این نکته نشان می‌دهد؛ جاذب‌های توسعه یافته، جاذب‌هایی غیرسیتوتوکسیک با سازگاری خوب هستند. بنابراین، DJB-A-S-F یک جاذب امیدوار کننده برای حذف فلزات کاتدی سمی سنگین از فاضلاب است (بیونگریول، ۲۰۱۵).

- خاک رس

سدیری[6] و همکاران در سال ۲۰۱۶، جاذب طبیعی خاک رس برای حذف انتخابی سرب از محلول‌های آبی را مورد بررسی قرار دادند. مواد معدنی رسی یک طبقه بدون رنگ از مواد هستند که به مدت طولانی به عنوان جاذب به دلیل ظرفیت تبادلشان، پشتیبانی کاتالیزوری بالای آن‌ها، سطح ویژه بزرگ و هزینه‌های کم شناخته شده‌اند. نتایج نشان دادند که رس طبیعی نمونه‌ها، عمدتاً از سیلیکا، آلومینا، آهن و اکسید منیزیم تشکیل شده است. داده‌های آزمایشی بیانگر این نکته است که نمونه‌های مورد مطالعه، اغلب رسوبات یون‌های سرب را از آب حذف می‌کنند و راندمان حذف یون سرب حدوداً $mg\ g^{-1}$ ۸۶/۴ به وسیله جاذب رس می‌باشد. براساس داده‌های آزمایشی به دست آمده، فرآیند جذب از سینتیک شبه درجه دوم پیروی می‌کند و بیشتر از ۹۵ درصد از کل ظرفیت جذب در مدت ۳۰ دقیقه اول رخ داده است. این نتایج اثبات می‌کند که رس کرتاسه اولیه تونس برای جذب یون‌های سرب از محیط آبی، یک جاذب طبیعی مؤثر است (سدیری و همکاران، ۲۰۱۶).

- پوسته تخم مرغ

میتال[7] و همکاران در سال ۲۰۱۶، کاربرد پوسته تخم مرغ و غشای پوسته تخم مرغ را مورد بررسی قرار دادند. از آن جایی که مصرف تخم مرغ در سراسر جهان بسیار بالا است؛ منجر به دسترسی آسان به آن می‌شود. مقدار دفع زباله‌های تخم مرغ، به ویژه پوسته تخم مرغ[8] (ES) و غشای پوسته تخم مرغ[9] (ESM) نیز، بسیار زیاد می‌باشد. دفع ES و ESM همیشه مشکل خاصی برای حوزه‌های مربوط به غذا، نانوایی و غیره می‌باشد. به همین علت، در سال‌های اخیر، تلاش برای استفاده از ES و ESM به منظور تولید بیودیزل و کلاژن افزایش یافته است، اما از نظر اقتصادی مقرون به صرفه نیست. از بین مواد زائدی که به عنوان مواد منفجره احتمالی مواد شیمیایی خطرناک وجود دارند، ES و ESM به عنوان جاذب‌های غیرسمی، همه‌کاره و کارآمد ظاهر شده است. در ده سال گذشته، رشد سیستماتیک در استفاده از ES و ESM به عنوان جاذب به منظور حذف انواع ارگانیک و همچنین، مواد شیمیایی خطرناک معدنی از فاضلاب را شاهد بوده‌ایم. این

[1] Byungryul
[2] Jujube
[3] Brunauer-Emmett-Teller
[4] X-ray diffraction
[5] Gas Chromatography/ Mass Spectrometry
[6] Sdiri
[7] Mittal
[8] Egg Shell
[9] Egg Shell Membrane

بررسی‌ها نشان می‌دهد که ES و ESM در فرم‌های اصلاح شده شیمیایی و طبیعی آن‌ها نیز وجود دارد و دارای نتایج عالی برای حذف انواع مختلف رنگ‌ها، اسید اگزالیک، فنل، آفت‌کش‌ها، اسید هیومیک[1]، داروها، سورفکتانت‌ها، پلی سایکلیک هیدروکربن‌ها[2]، فلزات سنگین، سنگین، فلزات گران‌بها و نور، اکتینیدها، فلورایدها و غیره می‌باشد. در سال‌های اخیر، نانوذرات پودر غشای پوسته تخم مرغ به عنوان جاذب، کاربردهای قابل توجه‌ای دارد. گزارش‌هایی نیز، در مورد استفاده از مواد نانوساختار CHAP مشتق شده از ES، به منظور حذف کادمیم و یون سرب از فاضلاب در دسترس هستند. در حال حاضر، مقاله ذکر شده، تلاشی در جهت خلاصه کردن تحقیقات انجام گرفته در این زمینه می‌باشد (میتال و همکاران، ۲۰۱۶).

- صدف

کاظمی[3] و همکاران در سال ۲۰۱۶، کاربرد صدف راه راه[4] به عنوان جاذب طبیعی، کم‌هزینه و جدید برای حذف آلاینده رنگ مالاشیت از محلول‌های آبی و سینتیک و ترمودینامیک این فرآیند را بررسی کردند. پوسته صدف راه راه، به طور عمده از مواد معدنی تشکیل شده است، بنابراین جاذب مناسبی برای حذف آلاینده رنگ می‌باشد. pH محلول، اندازه ذرات پودر صدف راه راه، دوز جاذب، زمان تماس، دما و غلظت اولیه رنگ مالاشیت به عنوان عوامل مؤثر در فرآیند جذب مورد بررسی قرار گرفتند. نتایج نشان دادند که حداکثر جذب در pH حدوداً ۵ رخ می‌دهد و زمان رسیدن به تعادل برای این رنگ ۶۰ دقیقه به دست آمد. داده‌های آزمایشی بیانگر این نکته است که فرآیند جذب از ایزوترم جذب فروندلیچ و سینتیک شبه درجه دوم پیروی می‌کند و بیشترین ظرفیت جذب برای رنگ سبز مالاشیت $mg\ g^{-1}$ ۳۵/۸۴ در دمای ۳۰۳ K می‌باشد. مورفولوژی سطح جاذب قبل و بعد از فرآیند جذب به وسیله میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) مورد مطالعه قرار گرفت و پژوهشگران به این نتیجه رسیدند که پودر صدف راه راه دارای پتانسیل بسیار زیادی به عنوان جاذب، برای حذف مالاشیت سبز می‌باشد (کاظمی و همکاران، ۲۰۱۶).

- بادام زمینی

علی[5] و همکاران در سال ۲۰۱۶، پتانسیل کاربرد جاذب سبز به منظور حذف فلزات سنگین از محلول‌های آبی را بررسی کردند و سینتیک جذب، ایزوترم، ترمودینامیک و مکانیزم آن‌ها را مورد تجزیه و تحلیل اقتصادی قرار دادند. چرم بادام زمینی[6] یکی از زباله‌های زراعی طبیعی و محلی می‌باشد که به وفور در مصر یافت می‌شود. بادام زمینی به عنوان یک جاذب، بدون انجام گرفتن هیچ گونه عملیات شیمیایی یا فیزیکی برای حذف یون‌های مس از محلول‌های آبی استفاده می‌شود. اثرات پارامترهای مختلف مانند pH اولیه، زمان تماس، اندازه ذرات، مقدار جاذب، دمای محلول و غلظت اولی Cu(II) برای سیستم جذب دسته‌ای مورد بررسی قرار گرفتند. شرایط عملیاتی شامل زمان تماس یک ساعت، سرعت چرخش ۱۵۰ دور در دقیقه، دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد، pH= ۴، مقدار جاذب یک گرم پوسته بادام زمینی و اندازه ذرات کوچک‌تر از ۲۵۰ µm/ ۵۰ mL از غلظت ۱۵۰ ppm محلول یون مس می‌باشد. حداکثر ظرفیت جذب پوسته بادام زمینی $mg\ g^{-1}$ ۱۴/۱۳ است. چندین مدل سینتیکی برای تشخیص مکانیزم جذب یون مس به وسیله پوسته بادام زمینی مورد بررسی قرار گرفته است. مطالعه نتایج کسب شده نشان می‌دهد که فرآیند جذب از مدل‌های سینتیکی شبه درجه دوم و نفوذ درون ذره‌ای پیروی می‌کند و این اثبات می‌کند که مکانیزم جذب، شیمیایی و فیزیکی می‌باشد. طبق بررسی‌های انجام شده داده‌های آزمایشی از ایزوترم جذب لانگمویر و فروندلیچ پیروی می‌کنند. این پژوهش، بر این نکته تأکید دارد که پوسته بادام زمینی می‌تواند به عنوان جایگزینی مؤثر، اقتصادی و سازگار با محیط زیست به منظور حذف Cu(II) از محلول‌های آبی به کار رود (علی و همکاران، ۲۰۱۶).

- هویج، گوجه فرنگی و پلی اتیلن ترفتالات زباله

چانگمائی[7] و همکاران در سال ۲۰۱۷، یک جاذب جدید ساخته شده از هویج، گوجه فرنگی و پلی اتیلن ترفتالات زباله را به عنوان جاذب پتانسیلی برای حذف Cu(II) از محلول‌های آبی مورد مطالعه قرار دادند. یون‌های فلزات سنگین در فاضلاب بر روی سلامت انسان، زندگی آبزیان و اکوسیستم‌ها تأثیر بدی می‌گذارند. با توجه به این که فنآوری‌های مورد استفاده برای حذف این آلاینده‌ها اغلب گران است با این حال، حذف آن‌ها ضروری می‌باشد و به راحتی قابل دسترسی نیست. در این مطالعه، جاذب جدیدی ترکیب شده از هویج، گوجه فرنگی و

[1] Humic acid
[2] Polycyclic Aromatic Hydrocarbons
[3] Kazemi
[4] Cerastoderma lamarcki shell
[5] Ali
[6] Peanut hull
[7] Changmai

پلی اتیلن ترفتالات[1] فعال‌شده، آماده گردیده است. ذرات جاذب سنتز شده با استفاده از طیف‌سنجی مادون قرمز فوریه (FTIR)، طیف-سنجی پراش اشعه ایکس (XRD)، میکروسکوپ الکترونی گسیل میدانی[2] (FESEM)، اشعه ایکس پراکنده[3] (EDX) و دستگاه ترموگرافی[4] (TGA) شناسایی شدند. اثر پارامترهای مختلف مانند pH، زمان تماس و مقدار جاذب به منظور حذف Cu(II) مورد بررسی قرار گرفت. ایزوترم‌های جذبی مانند لانگمویر و فروندلیچ برای بررسی رفتار تعادلی سیستم جذب مورد مطالعه قرار گرفتند. مدل لانگمویر، مناسب‌ترین مدل برای جذب آلاینده Cu(II) به وسیله جاذب سنتزشده با ظرفیت جذب $۳۱۲/۵۰\ mg\ g^{-1}$ می‌باشد (چانگمائی و همکاران، ۲۰۱۷).

- پوسته نارگیل

سلائوئی[5] و همکاران در سال ۲۰۱۷، مدل‌سازی فیزیکو- شیمیایی جذب رنگ راکتیو بنفش ۵، بر روی پوسته نارگیل و کربن فعال تجاری را با استفاده از تئوری فیزیک آماری بررسی کردند. دو مدل تعادلی بر اساس فیزیک آماری، به عنوان مثال، مدل تک‌لایه با انرژی تک و مدل چندلایه با اشباع به منظور دسترسی به جنبه‌های فضایی[6] و پر انرژی در جذب رنگ راکتیو بنفش ۵ (RV-5) بر کربن فعال پوسته نارگیل (AC) و کربن فعال تجاری (CAC) در دماهای مختلف (از K ۲۹۸ تا ۳۲۳) توسعه داده شدند. نتایج نشان می‌دهد که مدل چند-لایه با اشباع، قادر به نشان دادن سیستم جذب بوده است. این مدل، فرض می‌کند که جذب به وسیله شکل‌گیری تعدادی از لایه‌ها رخ می‌دهد. مقدار n از ۱/۱۰ به ۲/۹۸ رسیده است و این نکته نشان می‌دهد که مولکول‌های جذب شده در یک سطح شیب‌دار بر روی سطح جاذب در محلول متراکم می‌شوند. مطالعه تعداد کل لایه‌های تشکیل شده (L_2 + ۱) نشان می‌دهد که مانع فضایی، عامل غالبی است. توضیحات تعامل جاذب- جذب‌شونده به وسیله محاسبه انرژی جذب، بیانگر این نکته است که این فرآیند با جذب فیزیکی[7] از آن‌جا که مقادیری پایین‌تر از $۴۰\ kJ\ mol^{-1}$ را دارا است، در طبیعت رخ می‌دهد (سلائوئی و همکاران، ۲۰۱۷).

- پساب کشاورزی

دائی[8] و همکاران در سال ۲۰۱۸، کاربرد پساب کشاورزی به عنوان جاذب را برای حذف آلاینده‌ها مورد بررسی قرار دادند. زباله‌های کشاورزی شامل ساختارهای شل و متخلخل می‌باشند و دارای گروه‌های عملکردی مانند گروه کربوکسیل و هیدروکسیل هستند؛ بنابراین، می‌توان آن‌ها را به عنوان مواد جاذب بیولوژیکی مورد استفاده قرار داد. زباله‌های کشاورزی مزایای بسیاری مانند هزینه کم و قدرت تجدیدپذیری دارند. این چشم انداز برای استفاده جامع از منابع در هنگام استفاده از کنترل آلودگی محیط زیست مفید می‌باشد. در این مقاله، وضعیت پژوهش‌های انجام شده در ارتباط با زباله‌های کشاورزی در جذب آلاینده‌ها شده است. عوامل مهم و اثرگذار در جذب، مکانیسم جذب بیولوژیکی و پارامترهای مرتبط با جذب، کاربرد جاذب زباله کشاورزی در مهندسی و جذب در فاز مایع و گاز نیز در این‌جا مورد مطالعه قرار گرفته است (دائی، ۲۰۱۸).

- ذرات مغناطیسی پوسته نارگیل

هائو[9] و همکاران در سال ۲۰۱۸، تغییر ذرات مغناطیسی حاصل از کربن فعال پوسته نارگیل و زیست تخریبی آن‌ها را به منظور حذف مؤثر فنل از آب بررسی کردند. کربن فعال مغناطیسی[10] (MAC) و بیوشار مغناطیسی[11] (MBC) با کمک ته‌نشینی آماده‌سازی شدند. افزایش جرم حساسیت مغناطیسی و اسپکتروسکوپی اشعه ایکس (EDX) نشان داد که ذرات مغناطیسی با مؤفقیت روی سطح مواد کربنی باکره[12] (VCM) پوشانیده شده‌اند. اصلاح مغناطیسی موجب افزایش ناحیه سطح گشته، حجم منافذ کربن فعال را پر کرده و از خواص ساختاری بیوشار محافظت کرده است. کربن فعال مغناطیسی دارای نرخ جذب پایین‌تر ($۱۰/۶۴۱\ g\ mg^{-1}\ min^{-1}$) از کربن فعال باکره ($۲۰/۵۷۵\ mg^{-1}\ min^{-1}$) می‌باشد؛ در حالی که بیوشار مغناطیسی نمایش داده شده با نرخ جذب بالاتر ($۰/۶۱۸\ g\ mg^{-1}\ min^{-1}$) با بیوشار

[1] Polyethylene terephthalate
[2] Field Emission-SEM
[3] Energy Dispersive X- ray Spectroscopy
[4] Thermography
[5] Sellaoui
[6] steric
[7] physisorption
[8] Dai
[9] Hao
[10] Magnetic Activated Carbon
[11] Magnetic Bio Carbon
[12] Virgin Carbon Materials

باکره ($g\ mg^{-1}\ min^{-1}$ ۰/۰۴۰) که مربوط به فرآیند حمل و نقل عمومی بود، مقایسه می‌شود. نتایج کسب شده از مدل لانگمویر پیشنهاد می‌دهد که حداکثر ظرفیت جذب جاذب‌های سه‌کربنی به وسیله تغییرات مغناطیسی افزایش یافته است. حذف پیشرفته فنول پس از فرآیند مغناطیسی ممکن است به افزایش مساحت سطح ویژه حجم منافذ منجر شود. از میان VCMs/ MCCs، کربن حاصل از پوسته نارگیل مغناطیسی با مساحت سطح $m^2\ g^{-1}$ ۹۵۱/۸۴ عملکرد جذب آلودگی آلی بیشتری را نشان می‌دهد. این یافته این حقیقت را درباره مکانیزم جذب مغناطیسی AC/ BC برای فنل بیان می‌دارد و یک راهنما برای انتخاب کامپوزیت مغناطیسی به منظور حذف آلودگی آلی به طور مؤثر فراهم می‌کند. طبق اطلاعات به دست آمده، سینتیک این فرآیند از سینتیک درجه اول و دوم پیروی می‌کند (هائو و همکاران، ۲۰۱۸).

- تفاله چای سولفوناته

احسان[1] و همکاران در سال ۲۰۱۸، حذف رنگ متیلن بلو، تترا سایکلین و کروم ۶ از آب را با استفاده از تفاله چای سولفوناته[2] (STW) مورد مطالعه قرار دادند. جاذب‌های زیستی به دلیل قابل توجه بودن به طور مداوم برای تصفیه فاضلاب مورد بررسی قرار می‌گیرند. مزایای استفاده از این جاذب‌ها کاربرد آسان، هزینه کم، مقرون به صرفه بودن و سازگاری آن‌ها با محیط زیست می‌باشد. شکل کربنیزه بیومس آلی حاصل از تفاله چای سولفوناته، ظرفیت جذب بالایی برای متیلن آبی ($mg\ g^{-1}$ ۱۰۰۷)، تتراسایکلین ($mg\ g^{-1}$ ۳۸۱) و کروم ۶ ($mg\ g^{-1}$ ۴۳۸) در دمای اتاق دارا می‌باشد. اثرات دوز، زمان، pH و درجه حرارت بر روی جذب به طور سیستماتیک بررسی شدند. نمونه‌های جذب شده (Cr- adsorbed STW) با استفاده از طیف‌سنجی فوتوالکترون اشعه ایکس[3]، طیف‌سنجی رزونانس اسپین- الکترون[4] و پراکندگی اشعه ایکس با زاویه دید کم[5] (SAXS) مشخص گردیدند. به منظور تجزیه و تحلیل نمونه‌های آب، از روش‌های پلاسمای جفت-جفت‌شده القایی- طیف‌سنج نشر نوری[6] (ICP- OES) و طیف‌سنجی UV- Vis استفاده شد. بررسی داده‌های آزمایشی نشان داد که اطلاعات کسب شده با ایزوترم‌های لانگمویر و فروندلیچ مطابقت دارد و از سینتیک درجه دوم پیروی می‌کند. یک فیلتر جریان مداوم آب نیز، بر اساس عملکرد جاذب تفاله چای توانایی خود را به منظور تصفیه فاضلاب نشان می‌دهد. جذب بالای آلاینده‌ها، جاذب ارزانی مانند (STW) را به یک ماده حیاتی به منظور تصفیه آب در مقیاس تجاری مبدل ساخته است (احسان و همکاران، ۲۰۱۸).

- برگ چای سیاه

خان[7] و همکاران در سال ۲۰۱۸، اثر برگ‌های چای سیاه در حذف رنگ اریو کروم بلک تی در محلول‌های آبی با استفاده از امواج مایکروویو مایکروویو (MSTL) را بررسی کردند. در این پژوهش، برگ چای سیاه به عنوان جاذب سبز ارزان قیمت برای حذف رنگ اریو کروم بلک تی از محلول‌های آبی استفاده شد و به کمک امواج مایکروویو مورد استفاده قرار گرفت. pH_{pzc} برای MASTL، برابر با ۴/۶ به دست آمد. شرایط آزمایش از قبیل pH، زمان تماس، دما، غلظت جاذب و غلظت رنگ اریو کروم بلک تی به منظور تعیین تعامل این رنگ با MASTLبهینه گردید. ایزوترم جذب به وسیله مدل‌های لانگمویر، فروندلیچ، تمکین و دوبینین- رادوشکویچ[8] بررسی شد و نتایج بیان می‌کند که مدل لانگمویر بهترین داده‌های جذب را دارا می‌باشد. داده‌های سینتیکی، تطابق خوبی را با مدل‌های سینتیکی شبه درجه اول و شبه درجه دوم نشان دادند. ظرفیت جذب تک‌لایه‌ای به میزان $mg\ g^{-1}$ ۲۴۲/۷۲ در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد محاسبه شد. داده‌های ترمودینامیکی محاسبه شده از ایزوترم‌های جذبی وابسته به دما نشان می‌دهد که فرآیند جذب خودبه‌خودی، گرماگیر و فیزیکوشیمیایی می‌باشد. نتایج نشان می‌دهد که MASTL می‌تواند به عنوان یک جاذب ارزان قیمت سبز به منظور حذف مؤثر رنگ اریو کروم بلک تی از محلول‌های آبی در پاک‌سازی آلودگی محیط زیست استفاده شود (خان و همکاران، ۲۰۱۸).

- گیاه چریش و ریشه موز

ماریچلوام[9] و آژاگوراجان[10] در سال ۲۰۱۸، حذف عنصر جیوه از فاضلاب با استفاده از ذغال فعال گیاه چریش[11] و ریشه موز[1] را مورد

[1] Ahsan
[2] Sulfonated Tea Waste
[3] X- ray photoelectron spectrometry
[4] Spin- electron resonance spectrometry
[5] X- ray diffraction with low viewing angles
[6] Paired- induced plasma-Optical diffusion spectrometer
[7] Khan
[8] Dvbynyn- Radushkevich
[9] Marichelvam
[10] Azhagurajan
[11] Neem

مطالعه قرار دادند. جیوه، یکی از خطرناک‌ترین مواد شیمیایی می‌باشد. روش‌های مختلف فیزیکی و شیمیایی به وسیله پژوهشگران برای حذف فلزات سنگین مانند جیوه پیشنهاد شده است. با این حال، بیشتر این تکنیک‌ها پرهزینه‌اند. از این رو، در این مطالعه، تلاش می‌شود که جذب جیوه از محلول‌های آبی بررسی شده و ذغال فعال ریشه موز و گیاه چریش به عنوان جاذب کم‌هزینه به کار رود. عملکرد گروه-های کربوکسیلی به وسیله دستگاه FTIR مطالعه گردید و وجود آن اثبات شد. پارامترهایی مانند دوز جاذب، pH، زمان تماس، دما و غلظت آلاینده در این پژوهش مورد بررسی قرار گرفت. مطالعات انجام گرفته نشان دادند که ذغال فعال ریشه موز و گیاه چریش می‌تواند در صنایع به منظور حذف جیوه استفاده شود (ماریچلوام و آژاگوراجان، ۲۰۱۸).

بحث

با مطالعه ۲۸ مقاله چاپ شده در نشریات محیط زیستی مختلف داخلی و خارجی و بررسی آن‌ها به این نکته پی می‌بریم که روش جذب سطحی، روشی کارآمد و مفید برای تصفیه انواع پساب‌های صنعتی می‌باشد و قابلیت جالب توجهی در اجرا شدن در فاز صنعتی را دارا می‌باشد. شرایط اصلی مهم در فرآیند جذب سطحی شرایطی مانند pH، دما، غلظت آلاینده‌ها و مقدار جاذب است. در اغلب مقالات منتشر شده، pH بهینه برای فرآیند جذب سطحی، حدوداً خنثی گزارش شده است و واکنش‌ها در دمای اتاق به وقوع پیوسته‌اند. افزایش مقدار جاذب، سبب افزایش کارایی حذف آلاینده گشته و افزایش غلظت اولیه آلاینده موجب کاهش کارایی حذف آن می‌گردد. داده‌های آزمایشی نیز، اغلب با ایزوترم لانگمویر و فروندلیچ مطابقت داشته و از سینتیک درجه دوم پیروی می‌کنند.

نتیجه‌گیری

با ارزیابی پژوهش‌های مورد مطالعه قرار گرفته نتیجه می‌گیریم که جاذب‌های طبیعی در فرآیند جذب سطحی کارایی بسیار خوبی (اغلب مواقع بالای ۸۰ درصد) از خود نشان داده و یکی از بهترین و بی‌خطرترین جاذب‌ها در فرآیند جذب سطحی محسوب می‌شوند و این موضوع بالاترین حسن استفاده از این جاذب‌ها در تصفیه آب آشامیدنی می‌باشد، زیرا جاذب‌های شیمیایی مانند آلوم عوارض و خطراتی همچون بیماری آلزایمر را در بدن انسان ایجاد می‌کنند. در نتیجه، روش جذب سطحی، روشی ساده، آسان و کارآمد محسوب می‌شود و جاذب‌های طبیعی، ارزان‌ترین و بی‌خطرترین جاذب‌ها در صنعت تصفیه آب و فاضلاب هستند.

منابع

انصاری، ر، محمد خواه، ع، علایی، س، حذف رنگ‌زا آنیونی قرمزکنگو از محلول‌های آبی با استفاده از خاک اره اصلاح شده با پلی آنیلین: بررسی ایزوتروم و سینتیک جذب، نشریه علمی و پژوهشی علوم و فناوری رنگ، ۱۳۹۰، جلد ۵، ۳۵۵-۳۴۴.

توکلی، محدثه، عابدین زاده، نیلوفر، مروری بر حذف رنگ کنگورد از محلول‌های آبی به روش جذب سطحی، کنفرانس بین المللی عمران، معماری، مدیریت شهری و محیط زیست در هزاره سوم، رشت، ۱۴ شهریور ۱۳۹۵.

خرم فر، شوکا، محمودی، نیاز محمد، آرامی، مختار، قرنجیک، کمال الدین، رنگبری پساب نساجی با جاذب طبیعی پوسته تمر هندی: بررسی ایزوترم و سینتیک جذب، نشریه علمی و پژوهشی علوم و فناوری رنگ، ۱۳۸۸، شماره سوم، ۸۸-۸۱.

ملکوتیان، محمد، موسوی، سید غلامرضا، طولابی، علی، مطالعه کنتیکی و ایزوترم بیو جذب فلزات سنگین به وسیله جلبک اولوتریکس زوناتا از فاضلاب‌های صنعتی، مجله علمی دانشگاه علوم پزشکی ایلام، زمستان ۱۳۹۰، دوره نوزدهم، شماره چهارم، ۳۶-۲۶.

دیوبند، لاله، بهزاد، مجید، برومند نسب، سعید، دیوبند، سارا، بررسی کارایی نانوذرات تهیه شده از خاکستر برگ سدر در حذف سرب از محلول‌های آبی، مجله سلامت و محیط، فصلنامه علمی پژوهشی انجمن علمی بهداشت محیط ایران، بهار ۱۳۹۱، دوره پنجم، شماره اول، ۶۲-۵۱.

ضیاپور، علیرضا، همزه، یحیی، ابیض، علی، استفاده از پسماند سویا به عنوان جاذب رنگ اسید اورانژ ۷ از محلول آبی، نشریه علوم و مهندسی جداسازی، ۱۳۹۱، دوره چهارم، شماره دوم، ۳۸-۲۹.

جعفری منصوریان، حسین، محوی، امیر حسین، کرد مصطفی پور، فردوس، علیزاده، مصطفی، مطالعه معادلات تعادلی و سینتیکی حذف رنگ متیلن بلو با استفاده از خاکستر پوست گردو، فصلنامه بهداشت در عرصه، پاییز ۱۳۹۲، دوره اول، شماره سوم، ۵۵-۴۸.

زارعی، سلمان، دهواری، محبوبه، جمشیدی، بهزاد، سعدانی، محسن، بررسی ایزوترم و سینتیک جذب نیکل توسط خاکستر میوه بلوط از محلول‌های آبی، مقاله پژوهشی مجله دانشگاه علوم پزشکی رفسنجان، ۱۳۹۳، دوره سیزدهم، شماره دهم، ۹۰۸-۸۹۷.

[1] Banana Corm

بلارک، داود، بذرافشان، ادریس، مهدوی، یوسف، جذب زیستی پیرو کتکول توسط جلبک عدسک آبی: مطالعات ایزوترمی و سیستیکی، مجله علوم پزشکی زانکو، پاییز ۱۳۹۴، ۲۶-۱۳.

احمدی اسب چین، سلمان، بررسی سینتیک و ایزوترم جذب فیزیک نیکل و روی به وسیله قارچ ساکارومیسس کارلز برژنزیس، زیست فناوری دانشگاه تربیت مدرس، بهار و تابستان ۱۳۹۴، دوره ششم، شماره اول، ۴۵-۳۷.

سلمانی، محمد حسن، رحمانیان، رضا، دانایی، سروش، سلطانیان‌زاده، مریم، ارزیابی فرآیند جذب در حذف رنگ از پساب‌های صنعتی، دو ماهنامه علمی-پژوهشی دانشکده بهداشت یزد طلوع بهداشت، مرداد و شهریور ۱۳۹۴، سال چهاردهم، شماره سوم، ۷۲-۶۰.

گرجیان عربی، محمد حسین، حسینی، عباس، رضایی، حسن، یوسفی، حسین، مفتاح هلقی، مهدی، جذب سطحی کادمیم توسط توده غیر زنده جلبک .Scenedesmus sp از محلول‌های آبی: مطالعات ایزوترم، سینتیک و ترمودینامیک، مجله علمی- پژوهشی زیست‌شناسی دریا، تابستان ۱۳۹۵، سال هشتم، شماره سی‌ام، ۶۲-۴۷.

شهبازی، افسانه، زاهدی‌نیا، شیرین، هاشمی، حسین، بررسی کارایی خاک اره صنوبر در حذف متیلن بلو از محلول‌های آبی؛ مطالعات ایزوترم، سینتیک و ترمودینامیک، مجله علمی- پژوهشی عمران مدرس، تیر ۱۳۹۵، دوره شانزدهم، شماره دوم، ۱۷۲-۱۶۱.

نجف پور، علی اصغر،داوودی، مجتبی، دهقان، علی اکبر، بختی، سپیده، قادری فر، شیوا، الهه احمدی، بررسی کارایی جاذب هسته و میوه زیتون تلخ در حذف رنگ متیلن بلو از فاضلاب سنتتیک، مجله طنین سلامت، بهار ۱۳۹۵، دوره چهارم، شماره اول، ۱۶-۸.

Mahmoodi, N. M, Arami, M. Degradation and toxicity reduction of textile wastewater using immobilized titania Nanophotocatalysis, Journal of Photochemistry and Photobiology. B: Biology. 2009, 94(1), 20- 24.

Inghui, Y, Caoc, Q. Biosorption of Cd^{2+}, Cu^{2+}, Ni^{2+} and Zn^{2+} ions from aqueous solutions by pretreated biomass of brown algae, Journal of Hazardous Materials. 2009, 163, 931- 938.

SA, O, Toorisaka, E, Hirata, M, Han, T. Comparative study on kinetic adsorption of Cu(II), Cd(II) and Ni(II) ions from aqueous solutions using activated sludge and dried sludge, Applied Water Science 2013, 3, 321- 325.

Fanchiang, J- M, Tseng, D- H. Degradation of anthraquinone dye C.I. Reactive Blue 19 in aqueous solution by ozonation. Chemosphere. 2009, 77 (2), 214- 221.

Salmani, M. H, Ehrampoush, M. H, Aboiian, M. Comparison between Ag(I) and Ni(II) removal from synthetic nuclear power plant coolant water by iron oxide nanoparticles. Journal of Health Engineering Science. 2013, 11, 21.

Kaur, R, Singh, J, Khare, R, Cameotra, S. S, Ali, A. Batch sorption dynamics, kinetics and equilibrium studies of Cr(VI), Ni(II) and Cu(II) from aqueous phase using agricultural residues. Journal of Applied Water Science. 2013, 3, 207- 218.

Muchanyereyi, N, Matavire, N, Gwatidzo, L and Togarepi, E. Removal of methylene blue from aqueous solution by dehydrated maize tssels. Journal of Chemical Sciences. 2014, 4 (11), 5- 12.

Bulut, Y, Aydın, H. A. kinetics and thermodynamics study of methylene blue adsorption on wheat shells. Journal of Desalination. 2006, 194 (1), 259-267.

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

Sihem, A, Lehocinem, B, MINIAI ,H. A. Preparation and characterisation of an natural adsorbent used for elimination of pollutants in wastewater. Journal of Energy Procedia. 2012, 18, 1145- 1151.

Simate, G. S, Maledi, N, Ochieng, A, Ndlovu , S, Zhang, J, Walubita, L, F. Coal- based adsorbents for water and wastewater treatment. Journal of Enviromental Chemical Engineering. 2016, 16, 1- 88.

Tahir, H, Sultan, M, Akhtar, N, Hameed, U, Abid, T. Application of natural and modified sugar cane bagasse for the removal of dye from aqueous solution. Journal of Saudi Chemical Society. 2012, 1- 7.

Moharami, S, Jalali, M. Removal of phosphorus from aqueous solution by Iranian natural adsorbents. Journal of Chemical Engineering Journal. 2013, 223, 328- 339.

Byungryul, A, Chang- Gu, L, Mi- Kyung, S, Jae- Chun, R, Soonjae, L, Seong- Jik, P, Dongye, Zh, Song- Bae, K, Chanhyuk, P, Sang- Hyup, L, Seok, W, Hong, J, Woo, Ch. Applicability and toxicity evaluation of an adsorbent based on jujube for the removal of toxic heavy metals. Journal of Reactive and Functional Polymers. 2015,15, 1- 38.

Sdiri, A, Khairy, M, Bouaziz, S, El-Safty, Sh. A natural clayey adsorbent for selective removal of lead from aqueous solutions. Journal of Applied Clay Science. 2016, 126, 89- 97.

Mittal, A, Teotia, M, Soni, R. K, Mittal, J. Applications of Egg Shell and Egg Shell Membrane as Adsorbents: A Review. Journal of Molecular Liquids. 2016, 16, 1- 48.

Kazemi, Y, Biparva, P, Ashtiani, E. Cerastoderma lamarcki shell as a natural, low cost and new adsorbentto removal of dye pollutant from aqueous solutions: Equilibrium andkinetic studies. Journal of Ecological Engineering. 2016, 88, 82- 89.

Ali, R, Hesham, M, Hamad, A, Hussein, M. M, Malash, G. F. Potential of using green adsorbent of heavy metal removal fromaqueous solutions: Adsorption kinetics, isotherm, thermodynamic, mechanism and economic analysis. Journal of Ecological Engineering. 2016, 91, 317- 332.
Changmai, M, Banerjee, P, Nahar, K, Purkait, M. K. A novel adsorbent from carrot, tomato and polyethylene terephthalate waste as a potential adsorbent for Co(II) from aqueous solution: Kinetic and Equilibrium studies, journal Enviromental Chemical Engineering, 2017, 17, 1- 19.
Sellaoui, L, Cláudio Lima, É, Luiz Dotto, G. L. P, Dias, S. Physicochemical modeling of reactive violet 5 dye adsorption on home-made cocoa shell and commercial activated carbons using the statistical physics theory, Results in Physics. 2017, 7, 233- 237.
Dai, Y, Sun, Q, Wang, W, Lu, L, Liu, M, Li, J, Yang, Sh, Sun, Y, Zhang, K, Xu, J, Zheng, W, Hu, Zh, Yang, Y, Gao, Y, Chen, Y, Zhang, X, Gao, F, Zhang, Y. Utilizations of agricultural waste as adsorbent for the removal of contaminants: A review. Journal of Chemosphere. 2018, 18, 1- 48.
Hao, Zh, Wang, Ch, Yan, Z, Jiang, H, Xu, H. Magnetic particles modification of coconut shell- derived activated carbon and biochar for effective removal of phenol from water. Journal of Chemosphere. 2018, 18, 1- 28.
Ariful Ahsan, M, Krishna Katla, S, Tariqul Islam, M, Angel Hernandez-Viezcas J, Martinez, L, M, Diaz Moreno, C, A, Lopez, J, Singamaneni, S. R, Banuelos, J, Gardea- Torresdey, J, Noveron, J. C. Adsorptive removal of methylene blue, tetracycline and Cr(VI) from water using sulfonated tea waste. Environmental Technology and Innovation. 2018, 18, 1-47.
Khan, A, Wang, X, Gul, K, Khuda, F, Aly, Z, Elseman, A. M. Microwave- assisted spent black tea leaves as cost- effective and powerful green adsorbent for the efficient removal of Eriochrome black T from aqueous solutions, Egyptian Journal of Basic and Applied Sciences. 2018, 18, 1-12.
Marichelvam, M. K, Azhagurajan, A. Removal of Mercury from Effluent Solution by using Banana Corm and Neem Leaves Activated Charcoal. Enviromental Nanotechnology Monitoring and Management. 2018,18.