



مروری بر انواع جاذب‌های ارزان قیمت مورد استفاده در تصفیه پساب‌های آلوده به روش جذب سطحی

اعظم حیدری*

گروه شیمی کاربردی، دانشگاه علوم پزشکی زنجان، زنجان، ایران

محمدحسین رسولی فرد

گروه شیمی و گروه علوم محیط زیست، دانشکده علوم، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران

سیدمحمد مهدی دوست محمدی

گروه شیمی کاربردی، باشگاه دانش پژوهان دانشگاه آزاد اسلامی واحد زنجان، زنجان، ایران

چکیده

این مقاله مروری بر تحقیقات اخیر انجام گرفته، در خارج ساختن آلاینده‌های مختلف با استفاده از انواع جاذب‌های ارزان قیمت می‌باشد که در آن به‌جای کربن فعال تجاری از مواد ارزان‌تر و در دسترس هم‌چون کیتوسان، ژئولیت، پسماندهای گیاهی و سایر جاذب‌هایی که قابلیت جذب بالا و دسترسی آسانی دارند استفاده شده است.

کلید واژه: تصفیه پساب، جاذب ارزان قیمت، جذب سطحی

* Email: heidariazam@yahoo.com

مقدمه

آلاینده‌های محیط زیست و رفع آن و همچنین مسئله خارج ساختن آلاینده‌ها از آب و پساب‌های صنعتی با رشد سریع صنایع بیش‌تر مورد توجه قرار می‌گیرند. فلزات سنگین، رنگ‌ها، آلاینده‌های نفتی و سایر مواد سمی که از صنایع مختلفی هم‌چون رنگ‌سازی، چاپ، معدن، آب-کاری، نیروگاه‌ها، باتری‌سازی و غیره حاصل می‌شوند و زندگی موجودات زنده را به مخاطره می‌اندازد، موجب نگرانی‌های زیست محیطی شده است. لذا آلاینده‌هایی که در حجم زیادی تولید می‌شوند قبل از رهاسازی به محیط باید مورد پاک‌سازی و تصفیه واقع شوند.

تصفیه پساب با استفاده از جذب سطحی

امروزه بیش‌تر تحقیقات در فرآیند تصفیه پساب، به‌منظور یافتن روش‌های ارزان‌تری انجام می‌گیرد تا بتوانند روش‌های پرهزینه را هم‌چون ترسیب شیمیایی، تبادل یونی، الکتروفلاتسون، جداسازی غشایی، اسمز معکوس، الکترودیالیز، استخراج حلالی و غیره را با آن‌ها جای‌گزین کنند. جذب سطحی یکی از این قبیل فرآیندهای فیزیکوشیمیایی تصفیه پساب است که در حذف آلودگی‌ها بسیار موثر عمل می‌کند. در فرآیند جذب سطحی برای انتخاب جاذب پارامترهایی را باید در نظر داشت که عبارتند از:

- کارایی بالای جاذب برای حذف آلاینده‌ها
- استفاده از جاذب‌های ارزان قیمت و فراوان در طبیعت یا جاذب‌های حاصل از پسماند صنایع
- قابلیت مناسب بازیابی جاذب‌ها و ورود مجدد آن‌ها به چرخه تصفیه پساب
- امکان طراحی و استفاده از جاذب برای سیستم‌های صنعتی
- تخریب‌پذیری زیستی جاذب

در چند سال اخیر تحقیقات در زمینه جذب سطحی برای تامین مواد ارزان قیمت به عنوان جاذب‌های قوی و توسعه آن بر پایه مواد جامد پسماند متمرکز شده است که می‌تواند

کارایی حذف بالا و مقرون به صرفه بودن اقتصادی را نیز تامین کند [۱]، [۲].

انواع جاذب‌های ارزان قیمت مورد استفاده در تصفیه پساب

تکنیک جذب سطحی با استفاده از جاذب‌های جامدی هم‌چون انواع کیتوسان حاصل از پوست سخت‌پوستان، کیتین، سلولز، زواید و پسماندهای گیاهی، پسماندهای کارخانجات، خاکسترآتشفشان، ذغال، لیگنین حاصل از گیاهان، ژئولیت، خاک رس، خاک اره صنعتی و غیره که امروزه توسعه یافته است، به‌طور وسیعی جهت حذف دسته‌ای از آلاینده‌های شیمیایی از آب به‌ویژه آن‌هایی که در روش‌های معمولی تصفیه آب به‌سختی از بین می‌روند به‌کار می‌رود.

ژئولیت

ژئولیت‌ها اساساً آلومینا سیلیکات‌های طبیعی هستند که دارای چهارچوب چهار وجهی هستند. در طول دهه ۱۹۷۰ ژئولیت‌های طبیعی به‌خاطر قابلیت تعویض یونی در خارج ساختن فلزات سنگین برای دانشمندان اهمیت قابل ملاحظه‌ای یافتند. به‌ویژه ارزانی و خواص بی‌نظیر آن‌ها، ژئولیت‌ها را برای استفاده در تصفیه آب و پساب مطلوب ساخته است. ژئولیت‌ها انواع متعددی از گونه‌های مختلف هم‌چون کلینوپتیلولیت^۱ و کابازیت^۲ دارند. کلینوپتیلولیت در میان ۴۰ نوع دیگر ژئولیت‌ها فراوان‌ترین بوده و به راحتی در دسترس است، قابلیت ژئولیت‌ها در خارج ساختن فلزاتی هم‌چون استرانسیم و سزیم و یون‌های Cd^{2+} ، Cr^{6+} ، Ni^{2+} ، Zn^{2+} ، Fe^{2+} ، Co^{2+} ، Cr^{3+} ، Pb^{2+} ، Hg^{2+} ، Cu^{2+} ، Sr^{2+} گزارش شده است. ژئولیت‌ها در خارج ساختن فلزات سنگین پساب‌های کارخانجات از پتانسیل بالقوه‌ای برخوردارند [۳].

کیتوسان

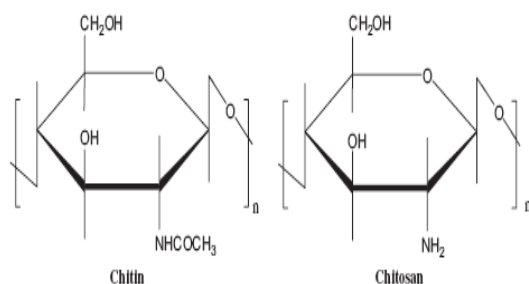
کیتوسان^۳ از N- استیل زدایی قلیایی کیتین ایجاد می‌شود که به‌طور وسیعی در پوست سخت‌پوستان به‌ویژه در مناطق

^۱ Clinoptilolite

^۲ Chabazite

^۳ Chitosan

اخیراً با اتصال آنزیمی گروه‌های کربوکسیلی بر روی کیتوسان جذب رنگ‌زاهای کاتیونی روی دانه‌های کیتوسان نیز میسر گردیده است. هم‌چنین حذف رنگ‌زای آنیونی آلی زرد مستقیم ۹ و نارنجی راکتیو ۱۲۲ از آب آلوده (۴) و مطالعاتی در مورد جذب رنگ‌زای آبی اسیدی ۲۵ با دانه‌های کیتوسان - سیکلودکسترین، آبی راکتیو ۲ و قرمز راکتیو ۲ با کیتوسان دارای اتصال عرضی تری پلی فسفات (TPP)^۱، قرمز راکتیو ۱۸۹ توسط کیتوسان فاقد اتصال عرضی و کیتوسان دارای اتصال عرضی اپی کلروهیدرین (EPI)^۲ یا گلو تار آلدهید (GLU)^۳ یا اتیلن گلیکول دی گلیسیدیل اتر (EGDE)^۴ گزارش شده است. به‌علاوه نتایج حاصل از گزارشات دلالت بر افزایش ۱۵-۳ برابری جذب کیتوسان دارای اتصالات عرضی رنگ‌های آنیونی نسبت به کربن فعال تجاری در pH یکسان دارد [۱].



شکل ۱: ساختار شیمیایی کیتین و کیتوسان

خاک رس

خاک رس^۵ دارای ترکیب آلومینیوم سیلیکات آب‌دار است و از ترکیب اجزای کلئیدی خاک‌های کلئیدی، رسوب‌ها و سنگ‌ها و آب‌ها تشکیل می‌شوند و مخلوطی از اکسیدهای فلزی، کربنات‌ها و کوارتز می‌باشند. خاک رس دارای سه گونه پایه‌ای است: اسمستیت (مانند مونت موریلونیت)، کائولیت و میکا. از این میان مونت موریلونیت بیش‌ترین قابلیت تعویض کاتیونی دارد و از نظر قیمت ۲۰ برابر ارزان‌تر از کربن فعال است.

ساحلی و کنار آب‌ها یافت می‌شود. در میان جاذب‌های زیستی پلی ساکاریدی، کیتین از نظر فراوانی دومین زیست پلی مر طبیعی بعد از سلولز است. اگرچه پراهمیت‌تر از کیتین، کیتوسان است که ساختار مولکولی آن مشابه سلولز است و اخیراً جایگاه ایده‌آلی را در میان محققان برای تصفیه پساب یافته است (شکل ۱). گسترش نیاز به جاذب‌های ارزان قیمت طبیعی، افزایش مشکلات انهدام زیاله‌ها و قیمت رزین‌های سنتزی، بدون شک کیتوسان را به‌عنوان یکی از مواد مطلوب در تصفیه پساب به‌ویژه در مناطق ساحلی ساخته است. خاصیت آب‌دوستی زیاد آن در نتیجه وجود تعداد زیاد گروه‌های هیدروکسیلی، وجود گروه‌های آمینی و فعالیت بالای آن‌ها و بالاخره ساختار انعطاف‌پذیر زنجیره پلی‌مری کیتوسان، آن را برای خارج ساختن فلزات سنگین بسیار مناسب ساخته است. علاوه بر این ظرفیت جذب آن به منشا پلی ساکاریدی تهیه شده و درجه N-استیلاسیون آن مربوط می‌شود و حتی با اصلاحات شیمیایی و ساختن اتصالات عرضی عمل کرد کیتوسان بهبود می‌یابد [۳].

گزارشات متعددی مبنی بر جذب بالای یون‌های فلزاتی هم‌چون Zn^{2+} ، Hg^{2+} ، Cu^{2+} ، Sr^{2+} ، Cd^{2+} ، Cr^{6+} ، Ni^{2+} ، Pb^{2+} ارائه شده است. گرچه قدرت جذب آن با تغییرات pH، دما و اصلاحات شیمیایی یا اتصالات عرضی و حتی تغییر اندازه دانه‌های کیتوسان می‌تواند متفاوت باشد. دانه‌های کیتوسان نه تنها برای رفع آلودگی‌ها به‌کار برده شده بلکه برای بازیابی فلزات گران قیمت نیز استفاده گردیده است لذا در مورد دانه‌های کیتوسان دارای اتصالات عرضی برای خارج ساختن فلزات با ارزشی هم‌چون مولیبدن، وانادیم، پلاتین، پالادیم، اسمیم، رودیم و طلا نیز گزارش شده است [۱]، [۳].

مواد بر پایه کیتوسان با این‌که از ظرفیت جذب بسیار بالایی برای اغلب آلاینده‌ها از جمله مواد رنگ‌زا برخوردارند اما در مورد رنگ‌زاهای کاتیونی تمایل کمی به جذب آن نشان می‌دهند.

^۱ Tripolyphosphate

^۲ Epichlorohydrin

^۳ Glutaraldehyde

^۴ Ethylene glycol diglycidyl ether

^۵ Clay

مواد مفید در خارج کردن آلاینده‌های رنگی و یون‌های سمی از پساب‌ها می‌تواند عمل کند. به‌علاوه با اتصالات عرضی اعمال شده همانند پلی اتیلن ایمین دارای اتصالات عرضی CPEI^۱، قدرت جذب آن افزایش یافته و با ایجاد جایگاه‌های مثبت به‌شکل گروه‌های آمینوی واکنش‌پذیر به سطح مواد چوب، واکنش‌پذیری خاک اره و در نتیجه گرفتن رنگ‌زاهای آنیونی افزایش می‌یابد [۷].

خاکستر ذغال

خاکستر ذغال^۲ یکی از پسماندهای جامد نیروگاه‌های حرارتی است که از سوختن ذغال تولید می‌شود و ترکیب آن مخلوطی از آلومینا، سیلیکا، کربن و اکسیدهای فلزی می‌باشد و یکی از ارزان‌ترین جاذب‌هایی است که قابلیت خوبی در جذب آلودگی‌ها در تصفیه پساب دارد و حتی ترکیب آن با ذغال جذب مطلوبی را در حذف آلاینده‌ها نشان می‌دهد. دارای قابلیت جذب عالی برای فلزاتی هم-چون مس و جیوه است. به‌علاوه مخلوط خاکستر و والاستونیت برای جذب کروم شش ظرفیتی نیز گزارش شده است [۳].

اکسیدهای فلزی طبیعی

اکسیدهای فلزی موجود در طبیعت هم‌چون آلومینا، اکسید آهن، اکسید منگنز هستند که به‌ویژه در حذف فلزات سنگین مطلوب عمل می‌کنند. حتی در مخلوط با ذغال یا شن و ماسه قدرت جذب آن‌ها بهتر می‌شود. آلومینیم اکسید برای جذب Pb^{2+} , Cd^{2+} , Cr^{6+} و اکسید آهن در جذب Pb^{2+} , Cd^{2+} گزارش شده است [۳].

پسماندهای صنعتی

پسماندهای صنعتی^۳ هیدروکسید آهن (III) به‌عنوان یکی از پسماندهای صنایع کودسازی به‌طور گسترده در خارج کردن Cr^{6+} از پساب‌های صنعتی گزارش شده هم-چنین پسماند لجن صنایع کودسازی در حذف Cu^{2+} , Cr^{6+} , Pb^{2+} , Hg^{2+} نیز استفاده شده است. لیگنین حاصل از

مساحت سطح ویژه بالا، پایداری مکانیکی و شیمیایی، ساختار لایه ای شکل، ظرفیت بالای تعویض کاتیونی و موارد دیگر، خاک‌های رسی را در گروه جاذب‌های عالی قرار داده است. این نوع جاذب‌ها قادر به جذب ذرات آنیونی، کاتیونی، غیریونی و آلاینده‌های قطبی از آب‌های طبیعی هستند. خاک‌های رسی با پاک‌سازی آلودگی‌ها و گرفتن کاتیون‌ها و آنیون‌ها از طریق تعویض یونی یا جذب سطحی نقش مهمی در محیط زیست دارد [۵]. از انواع خاک‌های رسی گزارشات متعددی از جمله برای جذب فلزات سنگین ارائه شده است. تعدادی از گزارشات مبنی بر استفاده از مونت موریلونیت در جذب‌های Cd^{2+} , Pb^{2+} , Zn^{2+} و Al^{3+} کائولینیت در جذب Cd^{2+} , Pb^{2+} و بنتونیت در جذب Zn^{2+} , Sr^{2+} , Cd^{2+} , Cr^{6+} , Ni^{2+} است [۳]. به‌علاوه خاک‌های رسی هم‌چون بنتونیت و اسپیتولیت به‌طور گسترده به‌خاطر خواص جذبی یا کاتالیستی مطالعه شده‌اند. بنتونیت در خارج ساختن بسیاری از گونه‌های شیمیایی نظیر آمین‌ها، رنگینه‌های آلی (بتا کاروتن)، فنول و کتون، فسفات‌ها، حشره کش‌ها، کلروفیل II و آلاینده‌های غیریونی استفاده شده است. این خاک‌های رسی با موفقیت در مقیاس صنعتی برای پاک‌سازی پساب فرآیندهای رنگ-دار به‌کار رفته است. مولکول‌های رنگ‌زا تمایل بالایی برای سطوح اسیدی بنتونیتی نشان می‌دهند و حتی به‌طور کامل از محلول‌های رقیق جذب می‌شوند. هم‌چنین گزارشاتی از اسپولیت در جذب متیلن بلو، 4×10^4 بی‌پیریدیل، بنزیدین، آمونیوم و آمونیاک، تتراهیدروپیران، تتراهیدرو فوران و 4×10^4 دی‌اکسان داده شده است [۶].

خاک اره

تعدادی از مطالعات گزارش شده بر اساس جذب سطحی رنگ‌ها، مواد نفتی و نمک‌های سمی توسط خاک اره انجام گرفته است. باقی‌مانده خاک اره‌های صنعتی که به روش اسیدی مورد هیدرولیز قرار گرفته باشد، به‌عنوان

^۱ Cross linked polyethylene imine

^۲ Coal ash

^۳ Industrial wastes

بلوط در جذب Cu^{2+} , Ni^{2+} , Cr^{6+} ، خاک اره درخت کاج در جذب Pb^{2+} , Zn^{2+} , Ni^{2+} و Cr^{6+} و خاکستر نیشکر حاصل از کارخانجات تولید شکر در خارج ساختن کروم شش ظرفیتی از پساب‌های صنایع آب‌کاری، لجن قرمز فعال صنایع آلومینیم‌سازی که اساساً حاوی سیلیکا، آلومینیوم، آهن و اکسید تیتانیوم است در جذب Cr^{6+} و Ni^{2+} گزارش شده است [۳].

پسماندهای گیاهی امروزه به‌خاطر برخی مزایای استفاده از پسماندهای گیاهی در تصفیه آب نظیر تکنیک ساده، فرآیند کوتاه، ظرفیت جذب بالا، جذب گزینشی، قیمت کم، دسترسی تقریباً رایگان و بازیابی آسان آن، تحقیقات گسترده‌ای بر روی جذب سطحی گیاهانی مانند چوب خربزه درختی، برگ ذرت، پودر برگ ساج، پودر برگ کائوچو، پوست بادام زمینی، برگ درخت سرخس، خاکستر سبوس برنج، سبوس گندم، ساکاو، پسماند ساقه انگور، پوست پرتقال، پوست نارگیل، پوست فندق و غیره انجام گرفته است [۲].

این پسماندها بسیار ارزان بوده و از ارزش اقتصادی بسیار کمی برخوردارند و علاوه بر دسترسی آسان، از قابلیت جذب خوب، گزینش‌پذیری یون‌های فلزی و بازیابی راحت برخوردارند. برای انواع پسماندهای گیاهی با توجه به انواع اصلاحات و پیش تیمارهای شیمیایی و بهینه ساختن شرایط واکنش گزارشات متعددی منتشر شده است. طبق گزارشات اخیر پوست یا سبوس برنج در جذب Cd^{2+} ، Cu^{2+} , Pb^{2+} , Zn^{2+} , Co^{2+} , Ni^{2+} , Au , Cr^{6+} , Hg^{2+} ، دانه‌های خراب شده^۱ در جذب Cd^{2+} , Pb^{2+} ، خاکستر/ تفاله نیشکر در جذب Cd^{2+} , Pb^{2+} , Cu^{2+} ، خاک اره چوب سدروس دیودار^۲ در جذب Cd^{2+} ، خاک اره اسربوستا^۳ در جذب Cr^{6+} ، خاک اره درخت سپیدار در جذب Cu^{2+} ، خاک اره دالبرجیا سیسوی^۴ در جذب Ni^{2+} ، خاک اره درخت صنوبر در جذب Zn^{2+} , Cu^{2+} ، خاک اره درخت

سیمان پرتلند

سیمان پرتلند، ماده ساختمانی پودری شکل و ارزان قیمتی است که دارای چهار جزء مهم تری کلسیم سیلیکات، دی کلسیم سیلیکات، تری کلسیم آلومینات و تتراکلسیم آلومینوفریت می‌باشد. سیمان پرتلند برای تهیه سیمان آب-پوشی شده با آب مخلوط می‌شود. بلافاصله پس از مخلوط شدن سیمان با آب، تشکیل خمیری را می‌دهد که حفره‌های واقع بین ذرات سیمان مجاور یکدیگرند و به‌وسیله آب پر گشته‌اند. هنگام خشک کردن سیمان در درجه حرارت ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد ژل آب خود را از دست می‌دهد و حفره‌های بسیار ریز پراکنده‌ای در آن ایجاد می‌شود که حدوداً معادل یک نهم حجم آن است. مزیت مهم استفاده از سیمان آب‌پوشی شده بر جاذب‌های دیگر مربوط به عدم تولید لجن، فراوانی، دسترسی‌پذیری و ارزانی آن می‌باشد [۸]، [۹]. از سیمان آب‌پوشی شده به‌عنوان یک جاذب ارزان قیمت و موثر در خارج ساختن آرسنات از آب محیط تا میزان ۹۵٪ و هم‌چنین آرسنیت تا تقریباً ۸۸٪ گزارش شده است [۱۰]. هم‌چنین پتانسیل بالقوه آن در حذف فلئورید اضافی از محلول‌های آبی توسط سیستم ناپیوسته و حذف ماده رنگ‌زای آلی زرد بازی ۲ توسط

^۱ Spent grain

^۲ Cedrus deodar wood

^۳ Srobusta

^۴ Dalbergia sissoo

[5] Bhattacharyya, K.G., Gupta, S.S., 2008, Adsorption of a few heavy metals on natural and modified kaolinite and montmorillonite: A review, *Advances in Colloid and Interface Science*, 140, 2, 114-131.

[6] Espantaleon, A.G., Nieto, J. A., Fernandez, M., Marsal, A., 2003, Use of activated clays in the removal of dyes and surfactants from tannery waste waters, *Applied Clay Science*, 24, 105- 110.

[7] Shukla, A., Zhang, Y., Dubey, H.P., 2002, The role of sawdust in the removal of unwanted materials from water, *Journal of Hazardous Materials*, B95, 137-152.

[8] W. Czernine, *Cement chemistry and physics for civil engineers*, New York, Chemical Pub. Co, 1962.

[9] Kagne, S., Jagtap, S., Dhawade, P., Kamble, S.P., Devotta, S., Rayalu, S.S., 2008, Hydrated cement: A promising adsorbent for the removal of fluoride from aqueous solution, *Journal of Hazardous Materials*, 154, 88-95.

[10] Kundu, S., Kavalakatt, S.S., A. Pal, S.K. Ghosh, M. Mandal, T. Pal, Removal of Arsenic using hardened paste of Portland cement: batch adsorption and column study, *Water Research*, 38 (2004), 3780-3790.

[11] Rasoulifard, M. H., Haddai Esfahlani, F., Mehrizadeh, H., Sehati, N., 2010, Removal of C.I. Basic Yellow 2 from aqueous solution by low-cost adsorbent: hardened paste of Portland cement, *Environmental Technology*, 31, 277 – 284.

[12] Saadatjou, N., Rasoulifard, M.H., Heidari, A., Doust Mohammadi, S.M.M., 2011, Removal of C.I. Basic Red 46 (BR 46) from contaminated water by adsorption onto hardened paste of Portland cement: Equilibrium isotherms and thermodynamic parameters study, *International Journal of Physical Sciences*, 6, 22, 5181-5189.

[۱۳] رسولی فرد، م.، خانمحمدی، م.، هانفی، ه.، دوست محمدی، م.، حیدری، الف.، بررسی حذف رنگزای آنیونی آبی اسیدی ۲۵ از آب آلوده با استفاده از جاذب ارزان قیمت تکه‌های سخت شده سیمان پرتلند. نشریه پژوهش‌های شیمی کاربردی، ۶، ۲ (۱۳۹۱)، ۴۶-۴۱.

[14] Agyei, N.M., Strydom, C.A., Potgieter, J.H., 2002, The removal of phosphate ions from aqueous solution by fly ash, slag, ordinary Portland cement and related blends, *Cement and Concrete Research*, 32 , 1889-1897.

[15] Ok, Y.S., Yang, J.E., Zhang, Y.S., Kim, S.J., Chung, D.Y., 2007, Heavy metal adsorption by a formulated zeolite-Portland cement mixture, *Journal of Hazardous Materials*, 147 , 91-96.

سیستم پیوسته با راندمان بیش از ۹۰ درصد و رنگزای آلی قرمز بازی ۴۶ در سیستم ناپیوسته با راندمان بیش از ۸۰ درصد و رنگزای آلی آبی اسیدی ۲۵ با راندمان بیش از ۹۰ درصد گزارش شده است [۹]، [۱۱]، [۱۲]، [۱۳]. به علاوه مخلوط خاکستر آتشفشانی، سرباره، سیمان پرتلند معمولی و ترکیبات مرتبط با آن در حذف یون فسفات در شرایط مختلف [۱۴] هم‌چنین از مخلوط سیمان پرتلند - زئولیت فرموله شده نیز در جذب سطحی فلزات سنگینی هم‌چون Pb با جذب ۴۷٪، Cu با جذب ۸۹٪، Zn با جذب ۷۸٪ و Cd با جذب ۷۱٪ گزارش شده است [۱۳].

بحث و نتیجه‌گیری

امروزه اغلب تحقیقات در راستای جست‌وجو و توسعه روش‌های ارزان قیمت و کاربردی فرآیند تصفیه پساب نظیر جذب سطحی انجام می‌گیرد. به علاوه با توجه به گستردگی و تنوع صنایع موجود در کشورمان، می‌توان از پسماندهای غیرقابل استفاده حاصل از صنایع معدنی، خاک، پسماندهای گیاهی صنایع چوب و غیره و بهینه‌سازی آن‌ها در تصفیه پساب‌ها بهره جست. به نظر می‌رسد با بهره‌گیری از مواد ارزان قیمت و قابلیت‌های طبیعی، این امر خوش آتیه خواهد بود.

منابع

[1] Crini, G., 2005, Recent development in polysaccharide-based materials used as adsorbent in wastewater treatment, *Progress Polymer Science*, 30 , 38-70.

[2] W.S. Wan Ngah, M.A.K.M. Hanafiah., 2008, Removal of heavy metal ions from wastewater by chemically modified plant wastes as adsorbents: A review, *Bioresource Technology*, 99 , 3935-3948.

[3] Babel, S., Kurniawan, T.A., 2003, Low-cost adsorbent for heavy metals uptake from contaminated water: a review, *Journal of Hazardous Materials*, B97 , 219-243.

[۴] رسولی فرد، م.، طاهری قزوینی، ن.، فرهنگ نیا، الف.، حیدری، الف.، دوست محمدی، م.، حذف رنگزای آنیونی آبی زرد مستقیم ۹ و نارنجی راکنیو ۱۲۲ از آب آلوده با استفاده از جاذب زیست پلی‌مری کیتوسان. نشریه علوم و فناوری رنگ، ۴ (۱۳۸۹)، ۲۳-۱۷.