Archive of SID

3rd International Conference On Modern Research in AGRICULTURAL SCIENCE AND ENVIRONMENT
سومین کنفرانس بین المللی پژوهش های نوین در علوم کشاورزی و محیط زیست
15 December 2016 Singapore
۲۵ آذر ۱۳۹۵ سنگاپور

مروری بر جاذب‌های طبیعی کم هزینه برای حذف فلزات سنگین از پساب‌های صنعتی

ندا میرحسینی
دانشگاه اراک، دانشکده مهندسی شیمی، اراک، ایران
n.mir89@yahoo.com

محمد رضا میرانی
دانشگاه اراک، دانشکده مهندسی شیمی، اراک، ایران
Mirani.kut41@yahoo.com

رضا داورنژاد
دانشگاه اراک، دانشکده مهندسی شیمی، اراک، ایران
davarnejad.usm.ac@gmail.com

چکیده

در طول دو دهه گذشته با پیشرفت صنعت، انسان شاهد مسائل مختلف زیست محیطی در جامعه می-باشد. یکی از این اثرات، آلودگی آب است. پساب تعداد زیادی از صنایع مانند آبکاری شامل مقدار قابل توجهی فلزات سنگین می‌باشد. روش‌های رایج حذف آلودگی فلزات سنگین روش‌هایی گران قیمت، انرژی بر و اغلب با محصولات جانبی سمی همراه است اما روش جذب با مواد طبیعی به عنوان یک روش مقرون به صرفه برای حذف فلزات سنگین از پساب‌ها بررسی شده است. در مطالعه حاضر از جاذب‌های مختلف کم هزینه برای حذف آلودگی فلزات سنگین از پساب‌های صنعتی استفاده شده است. این جاذب شامل مواد طبیعی مانند زئولیت، خاک رس، خزه تورب و کیتین بعنوان یک عامل موثر برای حذف فلزات سمی سنگین استفاده شده است. به غیر از این موارد ضایعات مختلف کشاورزی مثل سبوس برنج، پوست گردو ، ماش سیاه، تفاله چای بعنوان جاذب کم‌هزینه می‌باشد. همچنین این جاذب‌ها به عنوان یک جاذب قوی برای از بین بردن فلزات سنگین در نظر گرفته شده است که حتی محصولات فرعی صنعتی کم هزینه مانند خاکستر، لجن انفجار کوره، آهن (III) گل هیدروکساید و گل قرمز، تفاله چغندر قند و ساقه انگور برای حذف فلزات سمی سنگین از آب آلوده برای این روش می-توانند به کار روند.

واژگان کلیدی: فلزات سنگین، پساب‌های صنعتی، جاذب‌های طبیعی کم هزینه، خزه تورب، کیتین.

www.SID.ir

Archive of SID

مقدمه

در حال حاضر آلودگی محیط زیست یکی از مهم ترین مسائل پیش روی بشریت می‌باشد بطوری که در چند سال گذشته این آلودگی به سطح هشدار دهنده از نظر اثرات مخرب آور بر موجودات زنده افزایش یافته است. فلزات سنگین سمی یکی از آلاینده هایی است که اثر مستقیم بر سلامت انسان و حیوانات خواهد داشت. فلزات سنگین فلزاتی غیر قابل تجزیه می باشند. جریان پساب صنعتی ممکن است حاوی فلزات سنگین مانند کروم، مس، سرب، روی، نیکل، و غیره باشند. فلزات سنگین به سبب زیست انباشتگی در زنجیره غذایی خطرناک هستند (Rahmani et al, 2009) (Shah et al, 2009). مکانیسم اثر نامطلوب فلزات سنگین از نظر زیست شیمیایی ناشی از تمایل واکنش کاتیون‌های فلزات با گوگرد است سپس کاتیون های فلزات سنگین از طریق بلع (SH-) وارد بدن شده و به راحتی به گروه‌های سولفیدریل[1] که در بدن انسان به وفور یافت می شوند، متصل می گردند. پیوند فلز گوگرد بر روی آنزیم های کنترل کننده سرعت واکنش های سوخت و سازی بدن انسان اثر می گذارد، لذا این آنزیم ها نمی توانند وظیفه عادی خود را انجام دهند (Matheicha et al, 1997).

برخی از روش های متداول حذف فلزات سنگین از زباله‌های مایع توسعه یافته همچون روش‌های ته نشینی شیمیایی، تبادل یونی، فرآیندهای غشایی، تصفیه الکتروشیمیایی و غیره می‌باشد که این روش‌های رایج برای حذف یون های فلزی دارای معایب مختلف من جمله نیاز به مقدار زیادی از واکنشگر، تولید لجن سمی و غیره می باشد (Shah et al, 2009)، (Rahmani et al, 2009)، (Upendra, 2013). مزیت اصلی روش جذب برای حذف فلز سنگین، پایین بودن هزینه‌های بهره برداری، طراحی و همچنین نیاز کمتر به سیستم‌های کنترلی می‌باشد (Acar and Eren et al, 2006).

روش تحقیق

پساب‌های صنعتی و فلزات سنگین

فلزات سنگین معمولا در فاضلاب صنایع مختلف دیده می‌شود. آبکاری منجر به ایجاد مقادیر قابل توجهی پساب حاوی فلزات سنگین (مانند کادمیوم، روی، سرب، کروم، نیکل، مس، وانادیم، پلاتین، نقره و تیتانیوم) شده است (Malik et al, 2004). فلزهایی از قبیل کادمیوم، روی، مس، نیکل، سرب، جیوه و کروم چند نمونه از فلزات سنگین می‌باشند که نه تنها از فعالیت‌های آبکاری فلزات، بلکه از فعالیت‌های معدن کاری، تولید باتری، پالایش نفت و تولید رنگ سرچشمه می‌گیرد (Kadirvelu, 2001)، (Williams et al, 1998). علاوه بر این، فاضلاب ناشی از صنایع چرم، نساجی، رنگدانه و رنگ، فراورده‌های چوب و تولید فیلم عکاسی شامل مقدار قابل توجهی از فلزات سنگین می‌باشند. این یون‌های فلزات سنگین برای انسانها و حیوانات سمی و مضر می‌باشند. فلزاتی که در محیط زیست آبزیان زیست انباشته[2] می‌شوند تمایل به زیست تجمع[3] در طول زنجیره مواد غذایی خواهند داشت. بنابراین موجودات در سطح تغذیه‌ای بالاتر بیشتر مستعد در معرض قرارگیری سمیت می‌باشند. این نوع فلزات تقریبا پایدار و غیر قابل تخریب می‌باشند. فلزاتی همچون جیوه (Hg)، سرب (Pb)، کادمیم (Cd)، کروم ([Cr [VI)، روی (Zn)، آرسنیک (As) و نیکل (Ni) جزء فلزات سمی سنگین است (Babel and Kurniawan et al, 2003). این فلزات سنگین منجر به اثرات جدی مانند توقف رشد، آسیب رسانی به اندامهای حیاتی، آسیب به مغز، سرطان و در برخی از موارد نیز حتی منجر به مرگ می‌شود.

به خطر افتادن سلامت انسان به علت وجود مسمومیت با فلزات سنگین مشکل جدید بشر نمی‌باشد. بهبود پساب صنعتی آلوده شده با فلزات سنگین در درون صنعت قبل از رهاسازی یک روش کارامد برای حذف فلزات سنگین نسبت به بهبود حجم بالایی از پساب در تصفیه خانه می‌باشد. بنابراین توسعه روش‌های جداسازی فلزات سنگین از پساب‌های صنعتی روشی سودمند است. این مقاله بر روی فرایند بهبود جایگزین برای حذف فلزات سنگین از پساب‌های صنعتی پرداخته است.

[1] R-SH
[2] Bioaccumulation
[3] Biomagnification

www.SID.ir

Archive of SID

جذب سطحی

همانطور که قبلا بحث شده، جذب به عنوان یک روش موثر، مقرون به صرفه و سازگار با محیط زیست شناسایی شده است. جذب اساسا یک فرآیند انتقال جرم بوده که توسط آن ماده ای از فاز مایع به سطح جامد منتقل می‌شود و توسط فعل و انفعالات فیزیکی شیمیایی پیوند برقرار می‌کند (Babel and Kurniawan, 2003). در واقع جذب فرآیندی است که در آن برخی از اجزء فاز مایع به سطح جاذب جامد منتقل می‌شود. همه روش‌های جذب متکی به تعادل جامد- مایع و سرعت انتقال جرم می‌باشد. روش جذب می تواند ناپیوسته، نیمه پیوسته و پیوسته باشد. در سطح مولکولی، جذب سطحی را می‌توان عمدتا تمایل مولکول‌های فاز سیال برای چسبیدن به سطح جامد تعریف کرد. جذب با توجه به نیروهای بین‌مولکولی جاذبه شامل انواع زیر است:

جذب فیزیکی

یک پدیده طبیعی است که در هر سیستم دوتایی جامد- مایع یا جامد- گاز رخ می دهد. جذب فیزیکی یک فرایندی است که در آن مولکولها بوسیله نیروهای واندروالسی به سطح ماده جاذب گیر می‌کنند. نیروهای واندروالس از تعامل بین دو قطبی الکتریکی دائمی یا گذرا سرچشمه گرفته است. جذب فیزیکی تنها در محیط با درجه حرارت پایین و تحت شرایط مناسب مشاهده شده است، مولکول‌های فاز گاز می تواند جذب چند لایه تشکیل دهد.

جذب شیمیایی

این نوع از جذب شامل یک واکنش شیمیایی بین جاذب و جسم جذب شونده می‌باشد. تعامل قوی بین جسم جذب شده و سطح، انواع پیوندهای الکترونیکی (کووالانسی، یونی) را ایجاد می‌کند. جذب سطحی شیمیایی، حداکثر به یک تک لایه منتهی می‌شود که در عملیات کاتالیزوری استفاده شده است. به طور کلی، جذب سطحی در چندین گام پی در پی صورت می‌گیرد که گام‌های اصلی در جذب آلاینده بر جاذب جامد عبارتند از:

انتقال آلاینده از محلول بالک به سمت لایه‌های مجاور ماده جذب شونده

انتقال جرم داخلی در امتداد فضای خالی منافذ از سطح خارجی جاذب به سطح داخلی ساختار متخلخل یا همان دهانه حفرات ماده جاذب.

جذب جاذب در سایت های فعال منافذ جاذب.

سرعت کلی جذب وابسته به تشکیل فیلم یا نفوذ ذرات به داخل و یا هر دو آنها به عنوان آخرین مرحله از جذب با سرعتی بالا نسبت به دو مرحله باقی مانده می‌باشد.

جاذب‌های کم هزینه

به طور کلی، یک جاذب را از آن جهت کم هزینه گویند که نیاز به روش‌های پردازش کمی دارد و یا به وفور در طبیعت یافت می‌شود و حتی می‌تواند محصول فرعی صنایع باشد. مواد طبیعی و یا پساب‌های حاصل از عملیات صنعتی و یا کشاورزی یکی از منابع مهم جاذب کم هزینه می‌باشد. به طور کلی، این مواد در مقادیر زیاد در دسترس و ارزان است (Mohanaet al, 2007). حذف فلزات سنگین با استفاده از جاذب کم هزینه بسیار کاربردی می‌باشد که توسعه این جاذب‌ها با استفاده از پسماندهای کشاورزی و صنعتی انجام شده است (Siti et al, 2013). از لحاظ تجاری یک جاذب باید انتخاب‌پذیری بالایی برای تسهیل جداسازی، حمل و نقل آسان، ویژگی‌های جنبشی، گرمایی و ثبات شیمیایی، مقاومت مکانیکی، مقاومت در برابر رسوب گذاری، ظرفیت بازسازی و حلالیت کم در مایع را داشته باشد. فرایند جذب مزایای زیادی نسبت به روش‌های رایج حذف فلزات سنگین دارد. از مزایای دستاوردهای فرایند جذب می‌توان به صرفه اقتصادی، انتخاب‌پذیری فلز، بازیابی، عدم حضور لجن سمی، بازیابی فلز و از همه مهمتر، به موثر بودن این روش نام برد. جاذب‌ها عمدتا ضایعات کشاورزی، محصولات جانبی صنعتی، مواد طبیعی یا اصلاح شده زیست بسپارها می‌باشد.

www.SID.ir

Archive of SID

یافته‌ها

جذب سطحی توسط مواد طبیعی

1-1- زئولیت‌ها

زئولیت‌ها به طور طبیعی با ساختارهای آلومینو سیلیکاتی کریستالی که از اسکلت مولکول‌های چهار وجهی توسط اتم اکسیژن با یکدیگر متصل شده‌اند. ظرفیت‌های تبادل یونی زئولیت در واقع آن را یک جامد کریستالی مناسب برای حذف فلزات سنگین ساخته است. جذب سطحی زئولیتی در واقع گزینش‌گر و برگشت پذیر می‌باشد. زئولیت‌ها شامل گونه‌های مختلفی از جمله کلینوپتیلولیت[4]و شابازیت[5]می‌باشد. با مطالعات گسترده بر روی زئولیت‌های مختلف، کلینوپتیلولیت انتخاب‌پذیری بالایی برای حذف فلزات مانند سرب (II) Pb، کادمیم (II) Cd، روی (II) Zn و مس (II) Cu نشان داده است. زئولیت‌های مختلفی در طول چند سال گذشته برای افزایش بهره‌وری اصلاح شده‌اند که در میان آنها، کلینوپتیلولیت برای حذف فلزات سنگین با توجه به قابلیت تبادل یونی بسیار موثر بوده است (Babel and Kurniawan, 2003)، (Siti et al, 2013)، (Bose et al, 2002).

1-2- خاک رس

سه گروه اصلی از خاک رس با نام‌های کائولینیت[6]، اسمکتیک مونت مریلینت[7]، و میکا[8]وجود دارد. مونت موریلونیت دارای بالاترین ظرفیت تبادل کاتیونی و تقریبا قیمت ۲۰ برابر ارزان‌تر نسبت به کربن فعال می‌باشد. ظرفیت حذف فلزات سنگین آنها نسبت به زئولیت‌ها کمتر است و اما در دسترس بودن این گروه و خواص اقتصادی مقرون به صرفه آنها سبب بهره‌وری این ترکیب شده است. بازده حذف فلزات سنگین می‌تواند توسط خاک رس با تغییر ساختار آنها با کامپوزیت پلیمری خاک رس بهبود می‌یابد (Vengris et al, 2001)، (Solenera et al, 2008)، (Abu-Eishah, 2008).

1-3- خزه پیت

خزه پیت[9]بفور در طبیعت و با محتوای بسیار بالا مواد آلی یافت می‌شود. مساحت سطح زیاد (>= 200 m2/gr) و تخلخل بالا، آن را بعنوان یک عامل موثر برای از بین بردن فلزات سنگین از پساب‌ها می‌سازد. خزه پیت نقش مهمی را در بهبود پساب‌های صنعتی حاوی فلزات Cu^{2+} ، Cd^{2+}، Zn^{2+} و Ni^{2+} دارد (Gosset et al, 1986). ظرفیت جذب اسفگنوم[10]خزه پیت مساحتی در حدود 132 mg of Cr^{+6}/g در محدوده pH مشخص ۱/۵ تا ۳ نشان داده است. یکی از فواید جالب سهولت، کم هزینه بودن و قابلیت اجرا برای تنوع گسترده ای از ترکیبات پساب می‌باشد (Sharma and Forster, 1993).

کیتین[11] دومین زیست پلیمر طبیعی فراوان سلولزی است. کیتین پلیمری با زنجیره بلند از N استیل گلوکز آمین که از گلوکز مشتق شده است که جزء اصلی دیواره سلولی قارچ می‌باشد و اسکلت خارجی بندپایانی همچون سخت پوستان (به عنوان مثال، خرچنگ، خرچنگ دریایی و میگو) و حشرات، منقار و پوسته داخلی سرپایان، از جمله اختاپوس از این ترکیب می‌باشد که برای حذف فلزات سنگین در گذشته استفاده شده است. در حال حاضر، کیتوسان[12]که توسط آلکالین N- دی اکتیلاسیون کیتین تولید شده است توجه بسیاری از محققان را به سبب قابلیت حذف فلزات سنگین به خود جلب کرده است. کیتوسان برای بهبود Hg^{2+}، Cu^{2+}، Ni^{2+}، Zn^{2+}، Cr^{6+}، Cd^{2+} و Pb^{2+} استفاده شده است.

---

[4] Clinoptilolite
[5] Chabazite
[6] Kaolinite
[7] Montmorillonite smectite
[8] Mica
[9] Peat moss
[10] Sphagnum
[11] Chitin
[12] Chitosan

www.SID.ir

Archive of SID

جذب سطحی توسط ضایعات کشاورزی

امروزه استفاده از محصولات جانبی کشاورزی به عنوان جاذب برای حذف فلزات سنگین از پساب‌های صنعتی رو به افزایش است. جدول ۱ برخی از مطالعات انجام شده برای حذف فلزات سنگین با کمک ضایعات گیاهی را نشان می‌دهد.

جدول ۱: حذف فلزات سنگین با کمک ضایعات کشاورزی

ضایعات گیاهی	کاربرد	مرجع
سبوس برنج	جذب فلزات سنگین کادمیوم و جیوه	(El-Said et al, 2012)
سبوس برنج، پوست چریش	جذب روی از محلول آبی	(Bhattacharya et al, 2006)
سبوس برنج	بازده بالا در حذف آهن، سرب، نیکل	(Hegazi, 2013)
خاکستر	بالاترین بازده در حذف کادمیوم و مس	
پوسته ماش سیاه	حذف کادمیوم از محلول آبی	(Saeed and Iqbal, 2003)
تفاله چای، قهوه و پوست آجیل بویژه گردو	حذف آلومنیوم	(Orhan and Büyükgüngör, 1993)

مطالعات بر روی برخی از جاذب‌های دیگر مانند چوب پاپایا (Saeed et al, 2005)، برگ ذرت (Babarinde et al, 2006)، پودر برگ درخت ساج[۳](King et al, 2006)، گشنیز (Karunasagar et al, 2005)، پودر برگ علف حلفه[۴](Hanafiah et al, 2007)، پوست بادام زمینی (Johnson et al, 2002)، زباله درخت ساگو (Quek et al, 1998)، برگ سالتبش[۵](Sawalha et al, 2007)، (Sawalha et al, 2007)، درخت سرخس (Ho and Wang, 2004)، (Ho et al, 2004)، (Ho, 2003)، ضایعات ساقه انگور (Villaescusa et al, 2004) و غیره نیز انجام شده است. از فواید استفاده از ضایعات کشاورزی برای بهبود پساب می توان به آسان بودن روش، توانایی جذب بالاتر، جذب انتخابی یون‌های فلزات سنگین، صرفه اقتصادی، در دسترس بودن و بازیابی آن اشاره کرد. از سوی دیگر، استفاده از ضایعات کشاورزی بهبود نیافته به عنوان جاذب همچنین سبب بعضی مشکلات از قبیل توانایی جذب کم، نیاز شیمیایی اکسیژن[۶]و نیاز شیمیایی بیولوژیکی[۷]بالا و همچنین کربن کل آلی بالا [۸]به دلیل تخلیه ترکیبات آلی محلول موجود در مواد گیاهی می‌گردد (Gaballah et al, 1997)، (Nakajima and Sakaguchi, 1990). افزایش COD، BOD و TOC می‌تواند سبب کاهش اکسیژن محلول در آب شود که تهدیدی برای زندگی آبزیان است.

امروزه می‌توان از محصولات جدیدی همانند: جک فروت[۹]سبوس برنج، پوست گردو و فندق، چوب ذرت و یا پوسته ذرت نیز به عنوان جاذب برای حذف فلزات سنگین بعد از تغییرات شیمیایی مورد استفاده قرار می‌گیرند. تغییر شیمیایی ضایعات کشاورزی سبب افزایش بازده کی‌لیت می‌شود. سبوس گندم محصول فرعی صنایع غلات، بعنوان یک جاذب خوب برای حذف انواع یون‌های فلزات سنگین می باشد که در نهایت جذب بهتر یون مس را نتیجه می‌شود که در کار ازر و همکارانش گزارش شده است (Ozer, 2004). پوست پرتقال برای حذف نیکل (II) از فاضلاب شبیه سازی شده استفاده می‌شود (Ajmal et al, 2000). به طور مشابه، جذب سطحی یون‌های دو ظرفیتی فلزات سنگین به خصوص Cu^{2+}، Zn^{2+}، Co^{2+}، Ni^{2+} و Pb^{2+} با اسید و قلیایی کردن پوست موز و پرتقال در کار Annadurai و همکارانش دیده شده است (Annadurai etall, 2002). کربن فعال با پایه پوست نارگیل[۲۰]و کربن فعال با پایه پودر زغال سنگ[۲۱] به عنوان جاذبی برای حذف فلز سرب از پساب صنعت

[1] Teak leaf powder [3]
[1] Imperata cylindrica [4]
[1] Saltbush [5]
[1] COD [6]
[1] BOD [7]
[1] TO [8]
[1] Jackfruit [9]
[2] ACSCP [0]
[2] ACP [1]

www.SID.ir

Archive of SID

الکتروشیمیایی استفاده می‌شود (Nishigandha et al, 2015). علاوه بر این، فاکتورهایی مانند pH، دما، دوره تماس، غلظت اولیه فلز، مقدار جاذب و غیره بر ظرفیت جذب تاثیر می گذارد (Parmar and Thakur, 2013).

جذب سطحی پساب‌های صنعتی

پساب‌های صنعتی گوناگونی می‌توانند برای جذب فلزات سنگین از فاضلاب استفاده شوند. این پساب‌های صنعتی به عنوان یک محصول فرعی تولید شده که به ندرت برای هدف خاصی استفاده می‌شوند. ماهیت محصولات فرعی در دسترس بودن و مقرون به صرفه بودن آن است. این پساب‌های صنعتی کاربرد خوبی بعنوان جاذب خواهند داشت. جدول ۲ حذف فلزات سنگین از برخی از محصولات فرعی صنعتی را لیست کرده است. از دیگر پس‌مانده‌های صنعتی به عنوان جاذب‌های کم هزینه در حذف فلزات سنگین سمی از پساب‌ها می توان به پوسته قهوه (Oliveira et al, 2008)، زباله‌های کارخانه چای (Malkoc and Nuhoglu, 2007)، تفاله چغندر قند (Pehlivan et al, 2006)، تفاله کارخانه روغن‌گیری زیتون (Malkoc et al, 2006) و تفاله ساقه انگور (Villaescusa et al, 2004) می توان اشاره کرد.

جدول ۲: حذف فلزات سنگین از پساب‌های صنعتی

ضایعات گیاهی	کاربرد	مرجع
خاکستر	حذف روی و کامیوم	(Bayat, 2002)
خاکستر	حذف مس (Cu 2+)	(Wang et al, 2007)
سرباره کوره	حذف مس، روی و نیکل	(Dimitrova, 1996)
سرباره کوره	حذف سرب و کروم	(Srivastava et al, 1997)
پسماند کود شیمیایی (آهن (III)/ کروم (III) هیدروکساید	حذف کروم Cr (VI)	(Namasivayam and Ranganathan, 1993)
پسماند کود شیمیایی (آهن (III)/ کروم (III) هیدروکساید	حذف سرب، نیکل و کادمیوم	(Namasivayam and Ranganathan, 1998)
ضایعات نفت، ضایعات کارخانه چوب، شلتوک برنج، هسته میوه، خاکستر، خاک رس، سرخگل	حذف فلزات سنگین مختلف	(Gupta and Ali Imran, 2002)
سرخگل	حذف آرسنیک	(Altundogan et al, 2000)

جاذب‌های متعددی برای جذب روی از پساب استفاده شده است. جدول ۳ برخی از بالاترین ظرفیت‌های جذب فلز Zn^{2+} را گزارش کرده است.

جدول۳: بالاترین ظرفیت‌های جذب روی توسط جاذب‌های مختلف

میزان جذب بر حسب میلی گرم در هر گرم جاذب	نوع جاذب	مرجع
۱۶۸	لجن پساب	
۱۲۸/۸	جلبک سبز خشک شده	(Zwain et al, 2014)
۷۳/۲	لیگنین	

بحث و نتیجه‌گیری

روش‌های جهانی اخیر برای رسیدن به استانداردهای محیطی با کیفیتی برتر سبب استفاده از سیستم‌های کم هزینه برای بهبود پساب خروجی صنایع شده است که در این میان جاذب‌های مختلف کم هزینه بدست آمده از ضایعات کشاورزی و یا محصولات طبیعی به طور گسترده برای حذف فلزات سنگین از پساب‌های آلوده خروجی از صنایع بررسی شد. ضایعات کشاورزی بعد از یکسری تغییرات شیمیایی یا حرارتی، قابلیت حذف فلزات سنگین فوق العاده‌ای را از خود نشان داد. غلظت

www.SID.ir

Archive of SID

جاذب، اصلاح‌سازی سطح و ویژگی‌های جاذب از فاکتورهای تعیین کننده میزان جذب هستند. البته هزینه و کاربرد فنی، دو عامل کلیدی مهم برای انتخاب جاذب کم هزینه برای حذف فلزات سنگین است.

منابع

Shah BA, Shah AV, Singh RR (2009) Sorption isotherms and kinetics of chromium uptake from wastewater using natural sorbent material. International Journal of Environmental Science and Technology 6: 77-90.
Rahmani K, Mahvi AH, Vaezi F, Mesdaghinia AR, Nabizade R, et al (2009) Bioremoval of lead by use of waste activated sludge. International Journal of Environmental Research, 3: 471-476.
Matheichal, J. T., Yu, Q., and Feltham, J. (1997). "Cu (II) Binding by E. Radiata." Biomaterial. Environ.Technol., Vol 18 (1), 25-34.
Upendra Kumar, (2013), "Agricultural products and by-products as a low cost adsorbent for heavy metal removal from water and wastewater: A review", Scientific Research and Creativity, 1(1): 1-5.
Acar FN, Eren Z (2006) Removal of Cu (II) ions by activated poplar sawdust (Samsun Clone) from aqueous solutions. J Hazard Mater B 137: 909–914.
Kadirvelu, K., K. Thamaraiselvi and C. Namasivayam, 2001. Removal of heavy metal from industrial wastewater by adsorption onto activated carbon prepared from an agricultural solid waste. Bioresource Technology, 76: 63-65.
Williams, C.J., D. Aderhold and G.J. Edyvean, 1998. Comparison between biosorbents for the removal of metal ions from aqueous solutions. Water Research, 32(1): 216-224.
Malik A (2004) Metal bioremediation through growing cells. Environmental International, 30: 261-278.
Babel S, Kurniawan TA (2003) Various treatment technologies to remove arsenic and mercury from contaminated groundwater: an overview. In: Proceedings of the First International Symposium on Southeast Asian Water Environment, Bangkok, Thailand, 24-25 October: 433-440.
D. Mohana and C. U. Pittman Jr, Arsenic Removal from Water/wastewater using Adsorbents- A Critical Review, January, 105-111 (2007).
Siti Nur AA, Mohd Halim SI, Lias Kamal Md, Shamsul Izhar (2013) Adsorption Process of Heavy Metals by Low-Cost Adsorbent: A Review. World Applied Sciences Journal 28: 1518-1530.
Bose P, Bose MA, Kumar S (2002) Critical evaluation of treatment strategies involving adsorption and chelation for wastewater containing copper, zinc, and cyanide. Adv Environ Res 7: 179-195.
Vengris T, Binkiene R, Sveikauskaite A (2001) Nickel, copper, and zinc removal from wastewater by a modified clay sorbent. Appl Clay Sci 18:183-90.
Solenera M, Tunalib S, O¨zcan ,A S, O¨zcanc A, Gedikbey T (2008) Adsorption characteristics of lead (II) ions onto the clay/ poly(methoxyethyl)acrylamide (PMEA) composite from aqueous solutions. Desalination 223: 308-322.
Abu-Eishah SI (2008) Removal of Zn, Cd, and Pb ions from water by Sarooj clay. Appl Clay Sci 42 : 201-205
Gosset T, Trancart JL, Thevenot DR (1986) Batch Metal removal by peat Kinetics and thermodynamics. Water Res 20: 21-26.
Sharma DC, Forster CF (1993) Removal of Hexavalent Chromium using Sphagnum moss peat. Water Res 27: 1201-1208.
El-Said AG, Badawy NA, Garamon SE (2012) Adsorption of Cadmium (II) and Mercury (II) onto Natural Adsorbent Rice Husk Ash (RHA) from Aqueous Solutions: Study in Single and Binary System, International Journal of Chemistry 2012: 58-68.
Bhattacharya AK, Mandal SN, Das SK (2006) Adsorption of Zn(II) from aqueous solution by using different adsorbents. Chem Eng J 123: 43-51.
Hala Ahmed Hegazi, Removal of heavy metals from wastewater using agricultural and industrial wastes as adsorbents, HBRC Journal (2013) 9, 276–282
Saeed A, Iqbal M (2003) Bioremoval of cadmium from aqueous solution by black gram husk (Cicer arientinum). Water Res 37: 3472-3480.
Orhan Y, Büyükgüngör H (1993) The removal of heavy metals by using agricultural wastes. Water Sci Technol 28(2): 247-255.
Saeed A, Iqbal M, Akhtar MW (2005) Removal and recovery of heavy metals rom aqueous solution using papaya wood as a new biosorbent. Sep. Purif Technol 45: 25-31.
Babarinde NAA, Oyebamiji Babalola J, Adebowale Sanni R (2006) Biosorption of lead ions from aqueous solution by maize leaf. Int. J Phys Sci 1: 23-26.

www.SID.ir

Archive of SID

King P, Srivinas P, Prasanna Kumar Y, Prasad VSRK (2006) Sorption of copper (II) ion from aqueous solution by Tectona grandis l.f. (teak leaves powder). J Hazard Mater B136: 560-566.
Karunasagar D, Balarama Krishna MV, Rao SV, Arunachalam J (2005) Removal of preconcentration of inorganic and methyl mercury from aqueous media using a sorbent prepared from the plant Coriandrum sativum. J. Hazard Mater B 118: 133-139.
Hanafiah MAK, Ngah WSW, Zakaria H, Ibrahim SC (2007) Batch study of liquid-phase adsorption of lead ions using Lalang (Imperata cylindrica) leaf powder. J Biol Sci 7: 222-230.
Johnson PD, Watson MA, Brown J, Jefcoat IA (2002) Peanut hull pellets as a single use sorbent for the capture of Cu (II) from wastewater. Waste Manage 22: 471-480.
Quek SY, Wase DAJ, Forster CF (1998) The use of sago waste for the sorption of lead and copper. Water SA 24: 251-256.
Sawalha MF, Peralta-Videa JR, Romero-Gonza´lez J, Duarte-Gardea M, Gardea-Torresdey JL (2007) Thermodynamic and isotherm studies of the biosorption of Cu(II), Pb(II), and Zn(II) by leaves of saltbush(Atriplex canescens). J Chem. Thermodyn 39: 488-492.
Sawalha MF, Peralta-Videa JR, Romero-Gonza´lez J, Gardea-Torresdey JL (2007) Biosorption of Cd (II), Cr (III), and Cr(VI) by saltbush (Atriplex canescens) biomass: thermodynamic and isotherm studies. J Colloid Interface Sci 300: 100-104.
Ho YS, Wang CC (2004) Pseudo-isotherms for the sorption of cadmium ion onto tree fern. Process Biochem. 39: 759-763.
Ho YS, Chiu WT, Hsu CS, Huang CT (2004) Sorption of lead ions from aqueous solution using tree fern as a sorbent. Hydrometallurgy. 73: 55-61.
Ho YS (2003) Removal of copper ions from aqueous solution by tree fern. Water Res 37: 2323-2330.
Villaescusa I, Fiol N, Martínez N, Miralles N, Poch J, et al. (2004) Removal of copper and nickel ions from aqueous solutions by grape stalks wastes. Water Research. 38: 992-1002.
Gaballah I, Goy D, Allain E, Kilbertus G, Thauront J (1997) Recovery of copper through decontamination of synthetic solutions using modified barks. Met Metall Trans.B 28: 13-23.
Nakajima A, Sakaguchi T (1990) Recovery and removal of uranium by using plant wastes. Biomass 21: 55-63.
Ozer A, Ozer D (2004) The adsorption of copper (II) ions onto dehydrated wheat bran (DWB): determination of equilibrium and thermodynamic parameters. Process Biochem 39: 2183-2191.
Ajmal M, Rao RAK, Ahmad R, Ahmad J (2000) Adsorption studies on Citrus reticulata (fruit peel of orange) removal and recovery of Ni (II) from electroplating wastewater. J Hazard Mater 79: 117-31.
Annadurai G, Juang HS, Lee DJ (2002) Adsorption of heavy metal from water using banana and orange peels. Water Sci Technol 47: 185-190.
Nishigandha JB, Suryavanshi AA, Tirthakar SN (2015) Removal of heavy metal lead (pb) from electrochemical industry waste water using low cost adsorbent. Int J Research in Engineering and Technology 04: 731-733.
Parmar M, Thakur Lokendra Singh (2013) Heavy metal Cu, Ni and Zn: toxicity, health hazards and their removal techniques by low cost adsorbents: a short overview. Int J Plant Animal & Env. Science 3: 143-147.
Bayat B (2002) Combined removal of zinc (II) and cadmium (II) from aqueous solutions by adsorption onto high-calcium Turkish Fly Ash. Water Air Soil Pollut. 136: 69-92.
Wang SB, Li L, Zhu ZH (2007) Solid-state conversion of fly ash to effective adsorbents for Cu removal from wastewater. J Hazard. Mater 139: 254-259.
Dimitrova SV (1996) Metal sorption on blast-furnace slag. Water Res. 30: 228-232.
Srivastava S, Gupta V, Mohan D (1997) Removal of Lead and Chromium by Activated Slag-A Blast-Furnace Waste. J Environ Eng, 123: 461-468.
Namasivayam C, Ranganathan K (1993) Waste Fe (III)/Cr (III) hydroxide as adsorbent for the removal of Cr (VI) from aqueous solution and chromium plating industry wastewater. Environ Pollut. 82: 255-261.
Namasivayam C, Ranganathan K (1998) Effect of organic ligands on the removal of Pb(II), Ni(II), and Cd(II) by waste Fe(III)/Cr(III) hydroxide. Water Res 32: 969-971.
Gupta VK, Ali Imran (2002) Adsorbents for water treatment: Low cost alternatives to carbon, Encyclopaedia of surface and colloid science, (edited by Arthur Hubbard), Marcel Dekker, New York, USA Vol. 1: 136-166.
Altundogan HS, Altundogan S, Tumen F, Bildik M (2000) Arsenic removal from aqueous solutions by adsorption on red mud. Waste Manage. 20:761-767.
Oliveira WE, Franca AS, Oliveira LS, Rocha SD (2008) Untreated coffee husks as biosorbents for the removal
Malkoc E, Nuhoglu Y (2007) Potential of tea factory waste for chromium (VI) removal from aqueous solutions: Thermodynamic and kinetic studies. Sep Purific Technol 54: 291-297.
Pehlivan E, Cetin S, Yanik BH (2006) Equilibrium studies for the sorption of zinc and copper from aqueous solutions using sugar beet pulp and fly ash. J Hazard Mater 135: 193-199.

www.SID.ir

Archive of SID

Malkoc E, Nuhoglu Y, Dundar M (2006) Adsorption of chromium (VI) on pomace-An olive oil industry waste: Batch and column studies. J Hazard Mater 138: 142-151.

Zwain Haider M, Vakili Mohammadtaghi, Dahlan Irvan (2014) Waste Material Adsorbents for Zinc Removal from Wastewater: A Comprehensive Review. Int. J Chem Engg. 2014: 1-13.

www.SID.ir