

# باگاس نیشکر، پتانسیل بالقوه جهت حذف ترکیبات کروم از فاضلاب های صنعتی

مهرداد نیاکوثری<sup>۱</sup> - شهرام جوادیان<sup>۲</sup>

<sup>۱</sup> بخش علوم و صنایع غذایی - دانشگاه شیراز

<sup>۲</sup> پژوهشکده مهندسی - مرکز تحقیقات مهندسی فارس

[niakosar@shirazu.ac.ir](mailto:niakosar@shirazu.ac.ir)

## چکیده

آلودگی های محیط زیستی بعلت توسعه فرایندهای صنعتی گوناگون از جمله معضلات قرن حاضر می باشد. حضور فلزات سنگین از قبیل کروم، مس، سرب و کادمیم در فاضلاب های صنعتی همواره محیط زیست را تهدید نموده است. این فلزات براحتی توسط فرایندهای بیولوژیکی تجزیه نمی شوند و حتی در غلظت های پایین نیز در موجودات زنده انباشته شده منجر به مرگ می شوند. کروم از جمله فلزات سنگین بوده که در فاضلاب بسیاری از صنایع خصوصا چرم و اب فلزکاری و تا حدودی نفت و گاز و پتروشیمی دیده شده اند. این فلز در محیط های آبی بصورت دو یا شش ظرفیتی وجود دارد که نوع شش ظرفیتی آن به مراتب الاینده تر، سمی تر و خورنده تر می باشد. این ترکیبات سمی در بافت ابریان خصوصا ماهی ها انباشته شده و تکثیر و تولید مثل آنها را تحت الشعاع قرار می دهد. روش های متعددی از جمله کاربرد سیستم های تبادل یونی، احیا، رسوب گذاری و استخراج با حلال و مواد بیولوژیکی را برای حذف این ترکیبات از فاضلاب پیشنهاد نموده اند که معمولا در مقیاس های صنعتی پیچیده و پرهزینه می باشند. از جمله روشهای موثر در حذف ترکیبات کروم روش جذب سطحی می باشد. بعلت هزینه بالای استفاده از کربن فعال محققین همواره در جستجوی جایگزین مناسبی برای این ماده بوده اند. باگاس نیشکر از ضایعات صنایع قند بوده که شامل مقادیر متنابهی سلولز، پنتوزان و لیگنین می باشد. در این مقاله ضمن اشاره و مقایسه روش های مختلف حذف یا کاهش کروم به معرفی استفاده از باگاس نیشکر بعنوان یک جاذب موثر کروم پرداخته و تاثیر پارامترهای مختلف در عملکرد بهینه این فرایند مورد تجزیه و تحلیل قرار میگیرد. نتایج حاصل نشانگر ظرفیت مناسب جذب می باشد. در صورت موفقیت در ابعاد صنعتی، کاربرد باگاس نه تنها هزینه های جذب و حذف را کاهش بلکه ایجاد ارزش افزوده در بخش کشاورزی را نیز به همراه خواهد داشت.

واژه های کلیدی: کروم، فاضلاب صنعتی، تصفیه، جذب سطحی، باگاس نیشکر

<sup>۱</sup> استادیار بخش علوم و صنایع غذایی دانشگاه شیراز

<sup>۲</sup> مدیر گروه پژوهشی فرایند

### مقدمه

آب یکی از منابع بسیار مهم طبیعی و لازمه ادامه حیات می باشد. این منبع با ارزش و کمیاب بععلل مختلف از جمله گسترش شهرها و صنعتی شدن کشورها دائماً با خطر آلودگی به ترکیبات سمی مواجه می باشد. در اغلب کشورهای در حال توسعه و خصوصاً ایران ابهای آلوده به فاضلاب های صنعتی به صورت گسترده تا چند سال گذشته و به صورت موردی در حال حاضر جهت آبیاری زمین های کشاورزی خصوصاً جهت کاشت سبزی و سیفی جات مورد استفاده بوده است ( برای مثال فاضلاب تخلیه شده توسط پتروشیمی شیراز و شرکت چرمینه به رودخانه کر جهت کشاورزی در منطقه مرودشت فارس استفاده می گردد). حضور فلزات سنگین در فاضلاب های صنعتی تاثیرات نامطلوب در محیط زیست ایجاد می کند. این الوده کننده های خطرناک براحتی تجزیه یا تصفیه نشده، در آبریان انباشته و براحتی وارد زنجیره غذایی انسان میشوند. فلزات سنگین همواره به گونه ای ایجاد خطراتی را در بدن به همراه داشته اند مثلاً کادمیم باعث ایجاد صدماتی به کلیه ها، سرب تاثیر منفی بر عملکرد گلبول های قرمز و سیستم عصبی و مقادیر بالای کروم سرطان زا می باشد (Lin et al., 2000). البته کروم در مقادیر بسیار جزئی جهت تنظیم متابولیسم گلبول ها موثر است. بنابراین برای حفظ محیط زیست و جلوگیری از خطرات احتمالی به انسان ها تصفیه این آبها جهت حذف بهینه فلزات سنگین قبل از دفع به خاک یا رودخانه الزامی است. روشهای متفاوتی جهت حذف فلزات سنگین و بخصوص کروم توسط محققین از جهات عملکرد و از دیدگاه اقتصادی مورد ارزیابی قرار گرفته شده است (جدول ۱) (Cheresources, 2002). در این قسمت به معرفی و مقایسه برخی از این روشها پرداخته و کاربرد محصولات جانبی بخش کشاورزی چون باگاس نیشکر جهت حذف فلزات سنگین خصوصاً کروم را از دیدگاه فرایندی مورد بررسی قرار گرفته می شود.

جدول (۱) - روش های تصفیه آب های الوده به فلزات سنگین (Cheresources, 2002)

Treatment	Process Description	Economics	Types of Wastes	Applications
Ion-Exchange	Waste stream pass through resin bed where ionic materials are selectively removed	Relatively high costs	Heavy metal aqueous solutions	Metal plating solutions
Ultra filtration	Separation of molecules by size using membranes	Relatively high costs	Heavy metal aqueous solutions	Metal coating applications
Reverse Osmosis	Separation of dissolved materials from liquid through a membrane	Relatively high costs	Heavy metals; organics, inorganic aqueous solutions	Seldom used industrially
Electrolysis	Separation of positively charged materials by application of electric current.	Dependent on concentrations	Heavy metals; ions from aqueous solutions; copper recovery	Metal plating
Precipitation	Chemical reaction caused formation of solids which settle	Relatively high costs	Lime slurries	Metal plating, wastewater treatment
Evaporation	Solvent recovery by boiling off the solvent	Energy intensive	Organic/Inorganic aqueous streams	Rinse waters from metal plating waste
Electrodialysis	Separation based on differential rates of diffusion through membranes	Moderately expensive	Separation/concentration of ions from aqueous streams	Separation of acids and metallic solutions
Reduction	Oxidative state of chemical changed through chemical reaction	Inexpensive	Metals, mercury in dilute streams	Chrome plating solutions and tanning operations
Flocculation	Agent added to aggregate solids together to facilitate separation	Relatively inexpensive	Aqueous solutions with finely divided solids	Refinery oil/water mixtures, paper wastes; mineral industry

## روش های حذف کروم

کروم دارای اعداد اکسیداسیونی متفاوتی است که کروم (VI) بیشترین حلالیت را در آب داراست، ۱۰۰۰ بار سمی تر از کروم (III) است، خاصیت اکسیدکنندگی بسیار بالایی دارد و براحتی جذب سلول های زنده می شود و از طرف سازمانهای بهداشت جهانی بعنوان یک ماده سرطان زا کلاس A منظور شده است (Devaprasath et al, 2007). طی سالهای اخیر روشهای متعددی جهت حذف فلزات سنگین خصوصا کروم پیشنهاد و مورد آزمایش و ارزیابی قرار گرفته است. از جمله می توان به فرایند ته نشینی با استفاده از سولفات سدیم و سولفات آهن، فرایند فیلتراسیون، احیا الکتروشیمیایی، روش تبادل یونی با استفاده از رزین های تبادل یونی متخلخل کربوکسیلیک، الکترودیالیز، استخراج با حلال، اسمز معکوس و تبخیر نام برد. اما هر کدام از این روش ها به نوبه خود دارای مزایا و معایبی است. بسته به نوع فاضلاب، غلظت یون فلزی، دبی و دما نوع فرایند صنعتی آن متفاوت بوده و در اغلب موارد اجرای صنعتی روش با عدم کارایی و یا هزینه های اجرایی یا عملیاتی آن دچار تردید می شود. امروزه استفاده از روش های جذب سطحی با جاذب های مختلف با توجه به کارایی قابل توجه آن بسیار مورد توجه محققین قرار گرفته است (et al, 2001, Selvi et al, 2001, Ćurkovic Bayat, 2002).

زغال فعال از زمان معرفی بدون شک بعنوان پر مصرف ترین جاذب در مقیاس صنعتی برای تصفیه آب بوده است اما هنوز از جمله گرانترین مواد مورد استفاده می باشد. بر اساس اندازه و شکل کربن فعال در ۴ گروه دسته بندی می شوند<sup>۳</sup>: پودر، گرانول، فیبری و لایه پوششی. این مطالعات برای بهینه سازی عملکرد کربن فعال خصوصا در مورد جذب مواد معدنی ترکیبات مکمل دیگری جهت فرایندهای کمپلکس شدن ضروری می باشد (Leyva-Ramos et al, 1994). این مسئله کاربرد زغال فعال را در مقیاس های کوچک چندان جذاب نمی نماید. همین امر محققین را بر آن داشته تا مطالعه بر روی جاذب های ارزاتر و فراوانتر دیگر که عملکردی شبیه یا نزدیک به زغال فعال را دارند و ظرفیت پیوند به فلزات سنگین نیز در آنها مناسب باشد را تشویق نماید. مواد آلی یا معدنی از قبیل کیتوزان، ژئولیت، خاک رس، خاکستر، زغال و حتی اکسیدهای مختلف با توجه به اینکه بعنوان محصولات جانبی بخش های صنعتی یا کشاورزی محسوب می گردند و بعلاوه قیمت ارزان آنها از یک طرف و ایجاد ارزش افزوده در بخش های صنعتی یا کشاورزی از جایگاه ویژه ای برخوردارند (Kalibantonga, 2004). بعلاوه با توجه به تلفیق موفقیت آمیز بیوتکنولوژی و فرایندهای زیستی در صنعت روش های جذب بیولوژیکی با استفاده از میکروارگانیسم هایی چون cyanobacteria و E. coli و مواد طبیعی با پایه گیاهی از قبیل Prosopis spicegera (برگ درخت) اینده ای بسیار روشن را پیش رو خواهند داشت (Singanan and Singanan, 2007).

در میان این جاذب های ارزان قیمت کیتوزان بعنوان یک محصول جانبی از بخش شیلات با توجه به توانایی قوی پیوندی به فلزات جایگاه مناسبی را داراست. کیتوزان در کشورهای آسیای دور بعلاوه رونق ماهیگیری و فراوانی ضایعات شیلاتی بسیار مناسب و سودمند خواهد بود. بر اساس یک تخمین تولید یک کیلو گرم کیتوزان از ضایعات دریایی کمتر از ۱۶ دلار هزینه در بر دارد. در تحقیقی در سال ۱۹۹۰ مشاهده شد که هر گرم کیتوزان قابلیت جذب ۲۸۰ میلی گرم از کروم (VI) را داراست. ایجاد برخی تغییرات شیمیایی منجر به کاهش ظرفیت جذب کیتوزان شده اما از جهتی پایداری عملکرد را به همراه خواهد داشت. توانایی جذب عالی فلزات سنگین توسط کیتوزان مرهون هیدروفیلیسیتی بالای این ماده (بدلیل تعداد زیاد گروه های هیدروکسیل)، حضور تعداد قابل توجه گروه های آمینو با فعالیت مناسب و ساختار انعطاف پذیر پلیمر در واکنش ها می باشند (Babel and Kurniawan, 2003).

<sup>3</sup> powder (PAC), granular (GAC), fibrous (ACF), clothe (ACC)

زئولیت نیز توانایی تبادل یونی بالایی را داراست. ایران با ذخایر زیاد زئولیت توانایی بهره‌وری از این نعمت الهی را در کاربرد این ماده طبیعی جهت فرایند های جذب سطحی داراست. قیمت جهانی زئولیت بسته به کیفیت آن بین ۰/۰۳ تا ۰/۱۲ دلار تخمین زده شده است. مطالعات در رابطه با زئولیت حاکی از جذب انتخابی آن برای یونهای فلزی مس، کادمیم، سرب و روی می باشد:  $Hg^{2+} > Ni^{2+} > Zn^{2+} > Cr^{3+} > Co^{2+} > Cu^{2+} > Cd^{2+} > Pb^{2+}$ . ظرفیت جذب یون کروم در ستون های جذب اکنه با زئولیت بین ۲/۵ تا ۳/۵ میلی گرم بر گرم است. یافته های محققین نشانگر توانایی بالای زئولیت بر جایگزینی کربن فعال برای جذب فلزات سنگین است. اما زئولیت با قابلیت نفوذپذیری پایینش نیاز به سیستمهای نگهدارنده مصنوعی در داخل ستون جذب دارد ( Babel and Kurniawan, 2003 ).

خاک رس ( montmorillonite , kaolinite, micas ) با قیمتی بین ۴ تا ۱۲ سنت (۲۰ بار ارزاتر از کربن فعال) جایگزین ارزان و مناسب دیگری برای کربن فعال در فرایند جذب فلزات سنگین می باشد. این ویژگی رس مرهون سطح زیاد و ظرفیت بالای آن برای جذب است. مطالعات متفاوتی ظرفیت مناسب مونت موریلونایت در جذب سرب (حدود ۶۸ mg/g)، روی ( ۱/۲۵ mg/g ) و آلومینیم را ثابت کرده است. جذب کروم(VI) بوسیله بنتونیت در pH حدود ۲ تابع دماست که این جذب در ۴۰°C حدود ۴۰ mg/g می باشد (Chantawong et al, 2001).

ماده ارزان دیگری که کارایی نسبتاً مناسبی را جهت حذف فلزات سنگین نشان داده تورب ( peat moss یا کود گیاهی) است که در کشورهایی چون انگلستان و ایرلند به حد وفور یافت می شود. سطحی بیشتر از ۲۰۰ m<sup>2</sup>/g را داراست و قسمت اعظم آن را لیگنین و سلولز تشکیل می دهد. ظرفیت جذب تورب برای کروم(VI) در محدوده pH ۱/۵-۳ بالغ بر ۱۳۰ mg/g است. ( Babel and Kurniawan, 2003 ). جدول (۲) عملکرد برخی محصولات جانبی بخش های مختلف صنعتی یا کشاورزی جهت حذف کروم را نشان می دهد.

جدول (۲) ظرفیت جذب کروم (VI) توسط برخی از مواد ارزان قیمت\*\*

ملاحظات	ظرفیت جذب ( mg/g )	شرایط عملیاتی	جاذب
براحی بعد از جذب جامد می شود	۲/۹۲	pH = 2	خاکستر ( fly ash )
ظرفیت در حضور CN <sup>-</sup> کاهش می یابد	۱۱/۷	pH = 4	اکسید آلومینیم (الومینا)
-----	۰/۰۳۸ mM محلول ۰/۹۹٪	----	اکسید آهن
حاصل از صنایع تولید کود شیمیایی	۰/۴۷	pH = 5.6	هیدروکسید آهن ( III )
حاصل از صنایع تولید کود شیمیایی	۶۴۰	----	ضایعات آبکی
---	۴۶	----	ساقه برنج
-----	۱/۶۸	-----	خاک دیاتومه
3Mg(OH) <sub>2</sub> ·MgCl <sub>2</sub> ·8H <sub>2</sub> O	۲۲	----	سیمان سوزل
Prosopis spicigera	---	----	برگ درخت
۵ گرم جاذب، بعد از ۱۵ دقیقه	۵۰ ppm محلول ۰/۸۰٪	pH = 2.5	سیانو باکتر

\*\* (Babel and Kurniawan, 2003, Kalibantonga, 2004, DAKIKY et al, 2002)

## کاربرد باگاس نیشکر بعنوان جاذب کروم (VI)

باگاس نیشکر محصول جانبی صنایع قند می باشد. این نامی است که به ضایعات تفاله ای نیشکر پس از استحصال قند از آن اطلاق می شود. قسمت اعظم باگاس را سلولز، پنتوزان و لیگنین تشکیل میدهد. با توجه به بهره برداری از ۸۴۰۰۰ هکتار زمین های زیر کشت نیشکر و برنامه تولید سالیانه ۷ میلیون تن نیشکر و بیش از ۷۰۰ هزار تن شکر در مجموعه کارخانجات عظیم توسعه نیشکر ایران در منطقه غرب کشور میزان قابل توجهی باگاس بعنوان ضایعات بدست می آید که علاوه بر تولید محصولات مفیدی چون کاغذ، خوراک دام و فیبر صنعتی امدی اف قابلیت تولید مقادیر متنابهی مواد جاذب نیز وجود دارد.

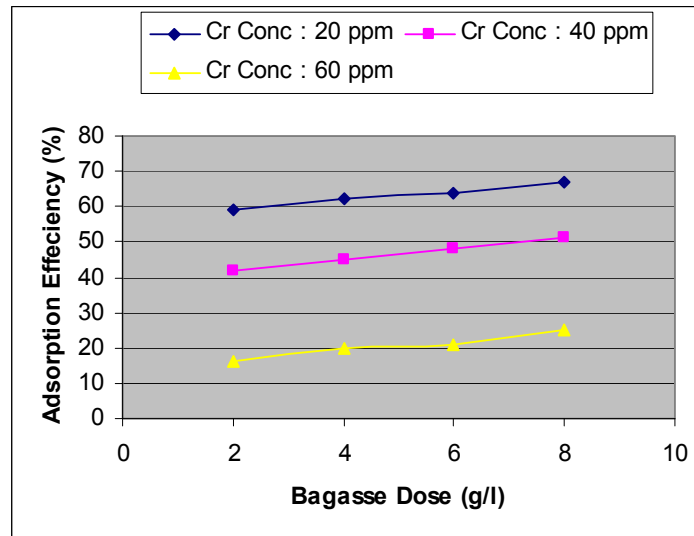
### مواد و روش

در این روش نیشکر خام جهت فرایند جذب کروم ابتدا در آون  $100^{\circ}\text{C}$  بمدت ۳۶ ساعت خشک شده و تا دانه بندی بین ۳۵۰ تا ۴۵۰ میکرون آسیاب می شود. محلول کروم اولیه با غلظت ۱۰۰۰ ppm (۲/۸۳ گرم در ۱۰۰۰ میلی لیتر آب مقطر) جهت استفاده در این آزمایشات توسط دی کرومات پتاسیم تهیه شد. در این آزمایشات ۳ غلظت ۲۰، ۴۰ و ۶۰ پارت در میلیون با رقیق سازی محلول اولیه آماده گردید. فرایند جذب در دمای محیط انجام شد ( $24-27^{\circ}\text{C}$ ) و در این دوره آزمایشات pH محلول در حدود ۱/۳ حفظ شد. زمان تماس نیز بین ۱ تا ۶ ساعت انتخاب شد. مقدار (دوز) مختلف باگاس (۲، ۴، ۶ و ۸ گرم در لیتر) مورد استفاده قرار گرفت. بعد از انجام فرایند باگاس با استفاده از فیلتر ۰/۴۵ میکرون از محلول جدا شد. غلظت نهایی یون کروم بعد از جذب توسط دستگاه طیف سنج پراکین المر<sup>۴</sup> اندازه گیری شد. کلیه اندازه گیری ها بر اساس روش استاندارد آب و فاضلاب (Standard Methods, 1989) انجام شد. برای محاسبه بازده ای جذب یون کروم از محلول از فرمول ساده ( $100 \times (C_0 - C_f) / C_0$ ) استفاده شد که  $C_0$  و  $C_f$  به ترتیب غلظت اولیه و نهایی کروم در محلول می باشد.

### نتایج و بحث

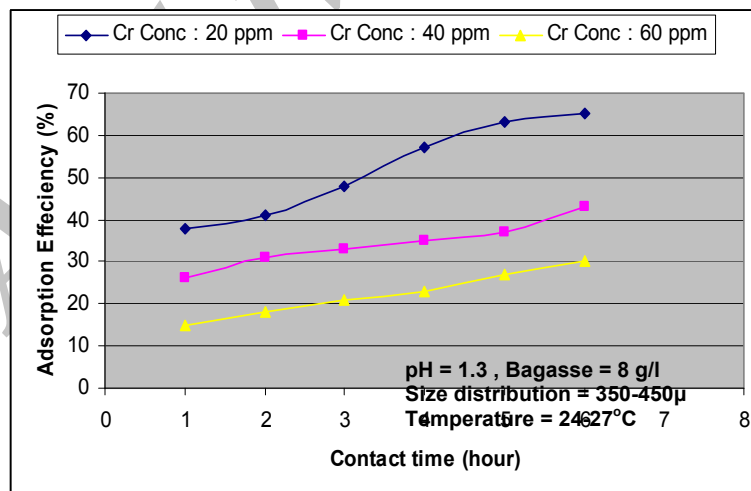
نمودار های ۱ و ۲ تاثیر پارامترهای مختلف در حذف کروم را نشان می دهد. بازده ای فرایند جداسازی تابع غلظت اولیه کروم، زمان تماس باگاس با محلول و میزان باگاس مصرفی می باشد. همانگونه که در شکل (۱) مشاهده می شود با ۳ برابر شدن غلظت یون کروم در محلول اولیه بازده ای فرایند تقریباً ۲ تا ۳ برابر کاهش می یابد. در غلظت های پایین تر نسبت تعداد مولهای فلزی به سطح در دسترس بمراتب بیشتر است بنابراین بازده ای فرایند تقریباً مستقل از غلظت اولیه می باشد. یافته ها با نتایج یو و همکاران (۲۰۰۳) و کریشنانی و همکاران (۲۰۰۴) مطابقت دارد. در این محدوده عملیاتی ( $\text{pH} = 1.3$  و دمای زیر  $30^{\circ}\text{C}$ ) با افزایش میزان باگاس مصرفی بعلا افزایش سطح و در دسترس بودن نقاط فعال در فرایند کاهش غلظت یون کروم در محلول را شاهد هستیم. افزایش میزان باگاس مصرفی تا ۴ برابر بازده ای فرایند جذب را حدود ۲۰٪ افزایش می دهد. ضمن اینکه در این فرایند pH محلول در حدود ۱/۳ ثابت ماند اما از یافته های دیگر محققین اینگونه نتیجه میشود که جذب یون کروم در pH پایین بیشترین بازده ای را دارد. (Babble & Kurniawan, 2003). نتایج برخی محققین دیگر نشان می دهد که حذف کروم در غلظت های بالا کمتر تابع pH محلول است (Khan & Mohamad, 2007).

<sup>4</sup> Perkin – Elmer model 3100, atomic absorption spectrophotometer



شکل (۱) - تاثیر غلظت اولیه و میزان باگاس مصرفی در بازده ای فرایند جذب

تاثیر زمان تماس ذرات باگاس با محلول یون کروم در شکل (۲) نشان داده شده است. در مورد محلول هایی با غلظت پایین کروم تاثیر زمان مشهود تر است. افزایش تقریباً دو برابری بازده ای جذب در غلظت ۲۰ ppm با افزایش زمان تماس از ۱ به ۶ ساعت نشانگر اهمیت زمان تماس محلول با باگاس می باشد. اما در غلظت های بالاتر این پدیده کمتر چشمگیر است. یافته های آزمایشات انجام شده با نتایج حاصله از تحقیقات کریشنانی و همکاران در سال ۲۰۰۴ که تاثیر برخی پارامترها بر عملکرد جذب فلزات سنگین و کروم توسط مواد لینگوسلولوزی را انجام دادند مطابقت دارد (Krishnani et al 2004).



شکل (۲) - تاثیر غلظت اولیه و زمان تماس محلول با باگاس در بازده ای فرایند جذب

## نتیجه گیری

نتایج اولیه حاصل از تحقیقات در زمینه کاربرد باگاس و ترکیبات لیگنوسلولزی در حذف فلزات سنگین و خصوصاً کروم از فاضلاب های صنعتی بسیار ترغیب کننده است. با توجه به تولید قابل توجه نیشکر و بالطبع باگاس و رشد صنایع قند منطقه غرب ایران پتانسیل استفاده از ضایعات این بخش صنعتی افق روشنی را دارد. نتایج در مورد محلول ساختگی (مصنوعی) حاکی از حذف ۷۰ درصدی کروم می باشد که البته ضروری است که این نتایج در مورد فاضلاب های واقعی که حاوی ترکیبات دیگر به همراه کروم می باشد نیز مورد ارزیابی قرار گیرد.

## مراجع

- BABLE, S & KURNIAWAN A T, 2003. Low-cost adsorbents for heavy metals uptake from contaminated water: a review [Journal of Hazardous Materials](#) B97, 219-243
- BAYAT, B. 2002. Comparative Study of Adsorption Properties of Turkish Fly Ashes: I. The Case of Nickel(II), Copper(II) and Zinc(II). *Journal of Hazardous Materials*, B95:251-273.
- CHANTAWONG, V, Harvey N W, Bashkin V N. 2001. *Asian J. Energy Environ.* 1 : 33-48.
- CHERESOURCES, INC. 2002. Waste Minimization. [Online]. Available at: <<http://www.cheresources.com/wminzz.shtml>>. Accessed: 17/03/2007.
- COONEY, D.O. 1999. *Adsorption Design for Wastewater Treatment*. Boca Raton: Lewis Publishers.
- ĆURKOVIĆ, L., CERJAN-STEFANOVIĆ, Š & RASTOVÈAN-MIOÈ, A. 2001. Batch Pb<sup>2+</sup> and Cu<sup>2+</sup> Removal by Electric Furnace Slag. *Water Resource*, 35(14):3436-3440.
- DAKIKY, M., KHAMIS, M., MANASSRA, A. & MER'EB, M. 2002. Selective Adsorption of Chromium(VI) in Industrial Wastewater Using Low-cost Abundantly Available Adsorbents. *Advances in Environmental Research*, 6(4):533-540.
- DEVAPRASATH, P M, SOLOMON, J S, THOMAS, BV. 2007, REMOVAL OF Cr (VI) FROM AQUEOUS SOLUTION USING NATURAL PLANT MATERIAL, *Journal of Applied Sciences in Environmental Sanitation*, 2 (3): 77-83.
- DE VASCONCELOS, L.A.T. & BECA, C.G.G. 1992. Pine Bark for Heavy Metal Metals Removal in Waste Water Treatment. *European Water Pollution Control*, 2(5):13-21.
- GAID, A., KAOUA, F., MEDERRES, N. & KHODJSA, M. 1994. Surface Mass Transfer Processes Using Activated Date Pits as adsorbent. *Water SA*, 20:273-278.
- KALIBANTONGA, P D 2004. Adsorption of Heavy Metals from Solution by a South African Industrial Clay. MSc Thesis, TSHWANE UNIVERSITY OF TECHNOLOGY, South Africa
- KAMIŃSKI, W. & MODRZEJEWSKA, Z. 1997. Application of Chitosan Membranes in Separation of Heavy Metal Ions. *Separation Science Technology*, 32(16):2659-2668.
- KHAN N A and MOHAMAD H., 2007, *Water & Wastewater Asia* • January/February
- Krishnani K K, Parimala V and Meng X. 2004 , Detoxification of chromium (VI) in coastal water using lignocellulosic agricultural waste, *Water SA* Vol. 30 No. 4
- LEE, C.K., LOW, K.S. & KEK, K.L. 1995. Removal of Chromium from Aqueous Solution. *Bioresource Technology*, 54:183-189.

LEYVA-RAMOS, R., JUAREZ-MARTINEZ, A. & GUERREROCORONADO, R.M. 1994. Adsorption of Chromium(VI) from Aqueous Solutions on Activated Carbon. *Water Science and Technology*, 30(9): 191-197.

LIN, S.H., LAI, S.L. & LEU, H.G. 2000. Removal of Heavy Metals from Aqueous Solution by Chelating Resin in a Multistage Adsorption Process. *Journal of Hazardous Materials*, B76:139-153.

ORHAN, Y. & BUYUKGUNGOR, H. 1993. Removal of Heavy Metals by Using Agricultural Wastes. *Water Science and Technology*, 28(2):247- 255.

SAMANTAROY, S., MOHANTY, A.K. & MISRA, M. 1997. Removal of Hexavalent Chromium by Kendu Fruit Gum Dust. *Journal of Applied Polymer Science*, 66:1485-1494.

Selvi, K., Pattabhi S. and Kardivelu K., 2001. Removal of Cr (VI) from aqueous solution by adsorption onto activated carbon, *Bioresour.Technol.*, Vol. 80, 87 – 89.

SINGNAN M. & SINGNAN A. V. 2007. Studies on the Removal of Hexavalent Chromium from Industrial Wastewater by Using Biomaterials. *EJEAFChe*, 6 (11): 2557-2564

STANDARD METHODS, 1989. Standard Methods for the Examination of Water and Waste Water. American Public Health Association (APHA, AWWA, WEF) Washington DC.

Yu L.J, Dorris K.L., Shukla A & Margrave J.L., 2003. Adsorption of chromium from aqueous solutions by maple dust”, *J.Hazard.Materials*, Vol. 100, 53 – 63.

Archive of SID