



## بررسی عملکرد جاذب زیستی در حذف فلز سنگین کروم شش ظرفیتی از فاضلاب صنعتی

پریسان طاهریان<sup>۱</sup>، علی شهیدی<sup>۲</sup>، محمدحسین نجفی مود<sup>۳</sup>

۱-دانشجوی کارشناسی ارشد آبیاری و زهکشی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بیرجند، بیرجند

۲-استادیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بیرجند، بیرجند

### چکیده

فلزات سنگین بیشتر از طریق تخلیه پساب‌های صنعتی به محیط زیست وارد می‌گردند و برای انسان‌ها و دیگر موجودات زنده اثرات زیان‌باری را به دنبال دارد بنابراین حذف آن‌ها از پساب‌های صنعتی یک موضوع زیست محیطی بسیار مهم و درخور توجه است. در این پژوهش، با مطالعه تحقیقات انجام شده حذف کروم شش ظرفیتی از پساب‌ها به وسیله‌ی جاذب‌های کربن هسته سنجد و عناب و مقایسه آن با کربن فعال گرانولی، پوسته برنج، گیاه مانگرو (Avicenia)، عصاره میوه بلوط و پوسته پسته را مورد بررسی قرار دادیم. به همین منظور دراین تحقیق برای جذب فلز سنگین کروم شش ظرفیتی از محلول، غلظت اولیه فلز در محلول، مدت زمان تماس جاذب با محلول در PH بررسی گردید. نتایج مرور منابع نشان می‌دهد که استفاده از ضایعات ارزان قیمت کشاورزی به منظور حذف فلز سنگین کروم شش از محیط‌های آبی نظیر فاضلاب‌های صنعتی و امکان استفاده مجدد از این آبها در مصارف کشاورزی و کاهش خطر بحران آب در کشور بسیار راه گشا می‌باشد. این ضایعات کم ارزش، نظیر هسته سنجد و عناب و پوسته پسته به مقدار فراوان در استان خراسان جنوبی و شهرستان بیرجند در دسترس بوده و به طور طبیعی میل ترکیبی قوی با فلزات سنگین دارند.

واژه‌های کلیدی: جاذب طبیعی، فاضلاب، فلز سنگین، کروم شش ظرفیتی، خراسان جنوبی.

## Evaluation of Biological Adsorbents for the Removal of Heavy Metal Hexavalent Chromium from Industrial Wastewater

Parisan Taherian<sup>1\*</sup>, Ali Shahidi<sup>2</sup>, Mohammad Hosien Najafi Mood<sup>2</sup>

1- MSc Student in Irrigation and Drainage, Faculty of Agriculture, University of Birjand, Birjand

2- Assistant Professor, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, University of Birjand, Birjand

### Abstract

In this paper, a study of literature review was done to investigate the removal of hexavalent chromium from wastewater using carbon adsorbents in Sea-buckthorn and Ziziphus jujuba cores and it was compared with granular activated carbon, rice husk, mangrove plant (Avicenia), Oak fruit and pistachio shells. In order to do so, for the absorption of heavy metal hexavalent chromium solution, the initial concentration of metal solution and contact duration with adsorbent solution in PH were examined. These valueless wastes such as Sea-buckthorn cores and pistachio shell are abundant and available in Southern Khorasan province and Birjand and normally have a strong tendency to combine with heavy metals.

**Key words:** Natural sorbent, wastewater, heavy metal, hexavalent chromium, southern Khorasan.

\* Corresponding Author's E-mail(ParisanTaheri@gmail.com)



## الف-مقدمه

با پیشرفت روز افزون علوم و فناوری در جوامع بشری و افزایش کمی و کیفی تولیدات صنعتی بنا به نیازهای جامعه‌ی امروزی پسابهای صنعتی نیز که حاصل فرآیندهای تولید در بخش‌های مختلف صنعت می‌باشد بهصورت یکی از عوامل مخاطره‌آمیز برای محیط زیست در آمده است (شریعت‌پناهی، ۱۳۷۹). تخلیه‌ی پسابهای صنعتی حاوی آلاینده‌های مختلف باعث آلودگی محیط زیست و ایجاد اختلال در اکوسیستم زیست‌محیطی گردیده است همچنین از طبق مواد غذایی دریابی و محصولات کشاورزی که با این‌گونه پساب‌ها آبیاری می‌شوند سلامت و بهداشت عمومی جوامع انسانی به‌طور جدی مورد تهدید قرار گرفته است (امیربیگی، ۱۳۸۲). توسعه و پیشرفت صنایع آلیاژی، آبکاری فلزات، چرمسازی و غیره باعث شده است که غلظت یون‌های محلول فلزات سنگین در پسابهای صنعتی به نحو چشمگیری افزایش یابد و این در حالی است که بسیاری از این فلزات حتی از غلظت‌های کم نیز از ترکیبات سمی بهشمار می‌آیند. تجمع این فلزات در داخل بدن انسان باعث بروز اختلالات شدید در دستگاه‌های کلیوی، کبدی، مغذی و سلسه مرکزی اعصاب می‌شود (پور کیوانی نرگور، ۱۳۹۱). همچنین اگر فلزات سنگین مستقیماً به سیستم جمع آوری پساب شهری تخلیه شوند به واحدهای تصفیه بیولوژیکی خسارت وارد کرده و همچنین لجن فعال نامناسب و مضری را برای مصارف کشاورزی به وجود می‌آورند. از آنجا که فلزات سنگین غیر قابل تجزیه بیولوژیکی هستند در بافت و نسوج موجودات زنده تجمع یافته و بدین ترتیب وارد زنجیره غذایی گیاهان، جانوران و انسان‌ها می‌گردند (کی‌نژاد و ابراهیمی، ۱۳۸۰). بنابراین با توجه به مضرات فلزات سنگین حذف آن‌ها از پسابهای صنعتی یا آبهای سطحی یک موضوع زیست‌محیطی بسیار مهم و در خور توجه است از همین رو مؤسسات و سازمان‌های فعال در زمینه حفظ محیط زیست در سطوح محلی، ملی، بین‌المللی قوانین و استانداردهای دقیقی را برای تعیین حداقل غلظت مجاز یون‌های فلزات سنگین در پسابهای صنعتی و آبهای سطحی وضع کرده‌اند (بوکتین و کلر، ۱۹۹۵). برای حذف و کاهش غلظت فلزات سنگین روش‌ها و تکنیک‌های مختلفی وجود دارد. استفاده از میکروارگانیسم از قبیل باکتری، قارچ، جلبک در تصفیه پسابهای حاوی فلزات سنگین بوده که امروزه یک تکنیک جذاب است اما هنوز برای کاربردهایی در مقیاس وسیع مناسب نیست. روش‌های رایج و متداول یا ناتوان و ناکارآمد مانند فرآیندهای احیاء شیمیایی و ترسیب توسط آب آهک و یا بسیار گران قیمت و هزینه‌بر مانند فرآیندهای تبادل یونی، حذف الکتروولیتی و جذب سطحی توسط کربن فعال هستند (سوس، ۲۰۱۱). در سال‌های اخیر یکی از بهترین روش‌های موجود برای حذف این یون‌های فلزی فرآیند جذب توسط مواد زائد بیولوژیکی و غیر بیولوژیکی است چرا که این مواد ارزان‌قیمت بوده و در طبیعت فراوان یافت می‌شود.



به همین خاطر طی دهه های گذشته محققان بسیاری از جاذب های ارزان قیمت و متنوع را به جای کربن فعال تجاری برای حذف فلزات سنگین بررسی کرده اند. بیشتر این کربن ها از مواد زائد کشاورزی و گونه های گیاهی گرفته شده اند که این موضوع از دو جنبه حائز اهمیت است اول اینکه محصولات کشاورزی و گونه های گیاهی منابع تجدید پذیری هستند دوم اینکه در مقایسه با مواد دیگر بسیار ارزان قیمت می باشد (آگوستینو کوتیوان و همکاران، ۲۰۰۶). از همین رو در سال های اخیر تحقیقات گستره هایی بر روی کربن های فعال بقایای زاید محصولات کشاورزی و گونه های گیاهی مانند پوسته نارگیل، پوسته بادام، گردو، فندق، بادام زمینی، پوسته درخت گردو، پوسته درخت کاساو، تکه های چوب، چوب درخت، پوسته های سویا و برنج، کاه و پوشال گندم، هسته های هلو، آلو، زردآلو، گیلاس، خرما و دانه های انگور انجام شده است.

آلارس رو دیجوسا و همکاران (۲۰۱۱) توانایی کربن به دست آمده از دانه آووکادو (نام درخت) را برای حذف فنل مورد بررسی قرار دادند. رنیوان و همکاران (۲۰۱۱) با استفاده از ضایعات دورین (نوعی میوه در جنوب شرق آسیا معروف به شاه میوه)، یون کروم شش ظرفیتی را از فاضلاب مصنوعی حذف نمودند. جلیل نژاد فالیزی و همکاران (۱۳۹۱) حذف کادمیم از پساب با استفاده از جاذب طبیعی لوفا را مورد بررسی قرار دادند. روانی پور و همکاران (۱۳۹۲) به بررسی جذب سطحی سرب بر روی برگ درخت خرمای اصلاح شده با بیکربنات سدیم پرداختند. طاهریان (۱۳۹۱) امکان سنجی جذب عناصر سرب، روی و کادمیم از فاضلابها توسط منعقد کننده نانو را مورد بررسی قرار دادند. فدائی و همکاران (۱۳۹۲) حذف کروم شش ظرفیتی از محلول های آبی به وسیله کربن هسته سنجد و عناب و مقایسه آن با کربن فعال گرانولی را مورد بررسی قرار دادند. عاطف و همکاران (۱۳۹۱) به ارزیابی حذف فلز سنگین کروم شش ظرفیتی توسط گیاه مانگرو (Avicenia) منطقه عسلویه - ایران پرداختند. مسعودی نژاد و همکاران (۱۳۹۱) حذف کروم از منابع آب آلوده به فاضلاب با استفاده از عصاره میوه بلوط را مورد بررسی قرار دادند. مساعد و همکاران (۱۳۹۰) حذف فلزات سنگین کروم شش ظرفیتی از پساب توسط پوسته برنج را مورد بررسی قرار دادند. موسوی و طالبی (۲۰۱۲) در پژوهشی با استفاده از پودر پوسته و کربن فعال اقدام به حذف همزمان کروم شش ظرفیتی از فاضلاب آبکاری الکتریکی نمودند.

### ب-مواد و روش ها

کروم ششمین عنصر جدول تناوبی و بیست و یکمین عنصر پوسته زمین از نظر فراوانی است. معمول ترین و پایدار ترین حالت های اکسیداسیون کروم به صورت  $^{+3}$  و  $^{+6}$  است. کروم شش ظرفیتی برای بیشتر میکرو اگانیزم ها (در غلظت های بالاتر از ۰/۵ میلی



گرم در لیتر) سمی است. کروم شش در آب خیلی محلول بوده و می‌تواند در pH های مختلف آنیون‌های دو ظرفیتی مثل  $\text{CrO}_4^{2-}$  و آنیون یک ظرفیتی  $\text{HCrO}_4^-$  را تشکیل بدهد (موسوی و طالبی، ۲۰۱۱). در مطالعه حذف کروم شش ظرفیتی با استفاده از کربن ساخته شده از هسته سنجید و عناب، استفاده از پوسته برنج و کربن پوسته پسته به منزله جاذب طبیعی آثار زمان تماس، pH محلول، غلظت اولیه کروم در محلول و غلظت جاذب بر میزان جذب این فلز بررسی شد. علاوه بر بررسی جاذب مذکور تمامی آزمایش‌های انجام شده با استفاده از کربن فعال دانه‌ای تکرار و نتایج هر سه نوع جاذب با یکدیگر مقایسه شدند (طاهریان، ۱۳۹۱؛ فدائی، ۱۳۹۰؛ مسعودی نژاد، ۱۳۹۰). در مطالعه بررسی حذف فلز سنگین کروم شش ظرفیتی با استفاده از گیاه مانگرو، این گیاهان از نقاط مختلف جنگلهای حرا منطقه عسلویه نمونه‌برداری شده و بعد از قرار گرفتن در پایلوت در مدت زمان یکماه در غلظت‌های ۲/۵ و ۵ و ۱۰ و ۱۵ PH=۷/۸ مشابه محیط زیست طبیعی گیاه به صورت مجزا و ترکیبی از عناصر مورد مطالعه تحت بررسی قرار گرفتند و در ادامه نتایج توسط دستگاه اسپکتروفوتومتری اتمی مقدار غلظت باقیمانده فلزات مورد نظر را در محلول تیمار قرار دادند (عاطف، ۱۳۹۱). در مطالعه‌ای با استفاده از عصاره میوه بلوط (*Quercus Brantii sub Belangri*) که حاوی ترکیبات اسید تانیک کندانسه، اسید تانیک قابل هیدرولیز، اسید گالیک و الازیک اسید می‌باشد، اقدام به حذف کروم از منابع آب‌های زیرزمینی آلووده به فاضلاب گردید. ابتدا در شرایط آزمایشگاهی تعداد ۶۰ نمونه آب حاوی مقادیر مختلف کروم و نیکل با غلظت معلوم در ۱۲ گروه با پنج غلظت و شرایط محیطی مختلف تهیه شد. با روش نمونه برداری غیراحتمالی و تجربی اثرات متقابل عصاره تان، هیدروکسید کلسیم و هیدروکسید سدیم به صورت جداگانه و همزمان مورد مطالعه قرار گرفت. با توجه به غلظت‌های اولیه معلوم مقدار غلظت باقیمانده از طریق دستگاه جذب اتمی به وسیله شعله تعیین مقدار گردید (مسعودی نژاد، ۱۳۹۱).

### ج-نتایج و بحث

آزمایشات انجام‌شده در خصوص استفاده از کربن هسته سنجید و عناب و مقایسه آن با کربن فعال گرانولی، پوسته برنج، گیاه مانگرو(*Avicenia*), عصاره میوه بلوط و کربن پوسته نشان داد که عوامل موثری بر میزان جذب کروم و در نتیجه بازیافت پساب وجود دارد که از جمله آن‌ها می‌توان به اسیدیته pH محیط، غلظت اولیه کروم، نوع و غلظت جاذب اشاره کرد (فادائی، عاطف، ۱۳۹۱؛ مسعودی نژاد، ۱۳۹۱؛ پرویزی مساعد، ۱۳۹۱؛ موسوی، ۲۰۱۱). نتایج نشان داد که در pH های پایین میزان حذف کروم بیشتر می‌باشد. علت این پدیده به تاثیر pH بر بار سطحی جاذب و آلاینده جذب‌شونده مرتبط است. عاطف و



همکاران (۱۳۹۱) گزارش کردند جذب این آلینده توسط گیاه مانگرو (Avicenia) شدیداً به pH محیط وابسته است، به طوری که با افزایش pH از ۳ به ۹، میزان جذب از ۹۱٪ به ۷۷٪ کاهش می‌یابد. دلیل افزایش راندمان در pH پایین این است که در شرایط اسیدی شکل غالب کروم شش ظرفیتی  $\text{HCrO}_4^-$  بوده و سطح جاذب دارای بار مثبت می‌باشد. با بالا رفتن pH به علت تغییر شکل  $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$  به  $\text{CrO}_4^{2-}$  و  $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$  ظرفیت جذب کاهش می‌یابد. در pH پایین میزان یون‌های مثبت  $\text{H}^+$  اطراف جاذب افزایش پیدا می‌کند و در نتیجه یون‌های با بار منفی  $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$  بیشتر به سمت جاذب حرکت کرده و میزان جذب بیشتر می‌شود. نتایج نشان داد که زمان تعادل فرآیند جذب و همچنین بازده جذب به منزله مشخصه‌های اقتصادی، بیشترین اهمیت را برای توسعه تکنولوژی‌های تصفیه آب بر پایه جاذبهای طبیعی دارد. مساعد و همکاران (۱۳۹۰) نشان دادند با افزایش pH پساب ساختگی، درصد جذب یون‌های فلز روی و کروم توسط ذرات پوسته برنج به ترتیب افزایش و کاهش یافت و در pH برابر با ۷ و ۲ به حداقل مقدار خود رسید. موسوی و طالبی (۲۰۱۱) با بررسی پوسته پسته و کربن فعال نشان دادند که در pH پایین‌تر، کارایی حذف کروم شش ظرفیتی بیشتر می‌باشد و در pH بالاتر، جذب کروم به طور قابل ملاحظه‌ای کاهش می‌یابد. این محققان نشان دادند که بیشترین حذف کروم در pH برابر  $1/5$  اتفاق افتاده است و پس از آن، راندمان حذف تا pH برابر ۳ به سرعت کاهش یافته است و سپس به یک پایداری نسبی رسیده است. فدائی و همکاران (۱۳۹۲) با استفاده از جاذب کربن هسته سنجد و عناب و مقایسه آن با کربن فعال گرانولی نشان دادند که با افزایش مقدار جاذب، زمان تماس و کاهش غلظت اولیه فلز در محلول راندمان جذب افزایش می‌یابد. نتایج حاکی از آن است که جذب یون محلول کروم از طریق جاذبهای مورد استفاده در این پژوهش، از مدل ایزوترمی لانگمیر بهخوبی تبعیت می‌کند. در شرایط بهینه راندمان حذف کروم از طریق کربن هسته سنجد، کربن هسته عناب و GAC به ترتیب  $62\text{mg/g}$  و  $66\text{mg/g}$  خواهد بود. مسعودی نژاد و همکاران (۱۳۹۱) با بررسی عصاره میوه بلوط نشان دادند که کاربرد همزمان دو عامل چیلیت‌کننده هیدروکسید کلسیم و عصاره تانن دار تفاوت معنی‌داری نسبت به سایر روش‌های مقایسه‌ای دارد. همچنین ثابت گردید که عصاره تانن در یک محیط قلیایی با تشکیل سوی کامل از سرشاخه‌های (OH) که در محیط واکنش با یون‌های کروم و نیکل ترکیب شده به علت بزرگی مولکول‌های تانن و اشباع شدن آنها با کاتیون‌های موجود به صورت توده فلوک در آمده و به علت سنگینی، بلا فاصله در محیط را سبب می‌شود. همچنین عصاره موجود قادر است یون‌های مورد نظر را در غلظت‌های کم تا زیاد از محیط واکنش خارج نماید و غلظت یون‌ها تفاوت معنی‌داری در راندمان حذف ندارد (مسعودی نژاد، ۱۳۹۱).



با توجه به موارد یاد شده و نتایج به دست آمده از این پژوهش می توان نتیجه گیری کرد که حذف کروم شش ظرفیتی از پسابها به وسیله‌ی جاذب‌های کربن هسته سنجد و عناب و مقایسه آن با کربن فعال گرانولی، پوسته برنج، گیاه مانگرو (Avicenia)، عصاره میوه بلوط و پوسته پسته می توانند به عنوان جاذب‌های طبیعی ارزان، مؤثر و در دسترس برای پاکسازی یون‌های فلزی در پساب‌های صنعتی، کشاورزی و شهری مورد استفاده قرار گیرند. درصد جذب یون فلزی به نوع جاذب‌های طبیعی بستگی دارد، به طوری که این جاذب‌ها می‌توانند با توجه به یون‌های مختلف موجود در پساب عملکرد و بازدهی متفاوتی داشته باشند. از میان جاذب‌های طبیعی مورد بررسی در این پژوهش، جاذب هسته سنجد و عناب بیشترین کارآیی را در جهت پاکسازی پساب حاوی یون فلز کروم شش دارد. نکته دارای اهمیت این است که جاذب گیاه مانگرو (Avicenia) به ویژه در پاکسازی یون کروم شش نسبت به جاذب آزمایشگاهی (کربن فعال) که استفاده از آن از لحاظ اقتصادی هزینه بر بوده، تقریباً کارآیی یکسانی دارد. بنابراین با توجه به ارزانی قیمت و ملاحظات زیست محیطی، استفاده از آن به جای جاذب آزمایشگاهی توصیه می‌شود (موسوی و همکاران، ۱۴۰۱). حذف کروم توسط کربن هسته سنجد و عناب و مقایسه آن با کربن فعال گرانولی نشان داد که این جاذب توانایی خوبی در حذف کروم در فاضلاب سنتیک دارد. همچنین جاذب مناسب و ارزان برای حذف فلز سنگین کروم می‌باشد و مطالعه بر روی کارآیی آن جهت حذف سایر آلاینده‌های زیست محیطی توصیه می‌گردد. با توجه به در دسترس بودن سنجد و عناب در منطقه خراسان جنوبی استفاده از این جاذب‌ها پیشنهاد می‌شود (فدائی و همکاران، ۱۳۹۰). نتایج پژوهش استفاده از گیاه مانگرو (Avicenia) نشان داد زیست جرم خشک شده، قادر به حذف کروم شش ظرفیتی از محیط‌های آبی می‌باشد. بنابراین با توجه به اینکه این گروه گیاهی در مناطق گرم استوایی می‌رویند و با توجه به درصد جذب متوسط این گونه گیاهی از فلزات سنگین در منطقه خراسان جنوبی یافت نمی‌شوند (عاطف و میرزایی، ۱۳۹۱). مطالعات حاصل از حذف کروم با استفاده از عصاره میوه بلوط نشان داد که این جاذب بالاترین جذب را در مورد فلز سنگین کروم شش از خود نشان می‌دهد. جاذب مورد مطالعه در مقایسه با برخی از جاذب‌ها مانند گیاه مانگرو (Avicenia) دارای سطح وسیع‌تری بوده و نیز دارای ظرفیت بیشتری برای حذف کروم می‌باشد (مسعودی‌نژاد، ۱۳۹۱). براساس یافته‌های پژوهش حذف کروم شش با پوسته برنج می‌توان چنین نتیجه گیری نمود که این جاذب یک ماده ارزان و در دسترس است و همانند سایر جاذب‌ها با داشتن سطح جذب مناسب پتانسیل مناسبی برای جذب کروم دارد. از آن جایی که استفاده از یک جاذب منوط به تعیین تأثیر تمامی فاکتورها نظیر درجه حرارت، اثر متقابل سایر آنیون‌ها و کاتیون‌ها می‌باشد لذا لازم است مطالعات تکمیلی جهت توسعه استفاده از این جاذب توسط سایر محققین انجام شود (پرویزی

مساعد، ۱۳۹۱). نتایج تحقیق استفاده از جاذب پوسته پسته نشان داد که این جاذب نسبتاً از ظرفیت جذب خوبی برای حذف کروم شش برخوردار است. با افزایش جرم جاذب، زمان تعادل افزایش می‌یابد. همچنین استفاده از ضایعات پسته به منظور حذف فلز سنگین کروم شش از پساب بسیار راه گشاست و این ضایعات ارزان قیمت به مقدار فراوان در دسترس بوده و به طور طبیعی میل ترکیبی قوی با فلزها دارند (موسوی، ۲۰۱۱).

## ۵- فهرست منابع

- امیر بیگی، ح. ۱۳۸۲. اصول تصفیه و بهداشت آب. انتشارات اندیشه رفیع.
- پروینی مساعد، ح. سبحان اردکانی، س. حمیدیان، ا. ح. ۱۳۹۱. حذف فلزات سنگین (Zn(II) و Cr(VI)) از پساب توسط پوسته برنج.
- نشریه محیط زیست. شماره ۳: ۱۸-۱۲.
- پور کیوانی نرگور، پ. ۱۳۹۱. روش‌های جذب فلزات سنگین توسط جاذب‌ها. پایان نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه آزاد واحد تهران جنوب.
- جلیل نژاد فالیزی، ن. ۱۳۹۲. حذف کادمیوم از پساب با استفاده از جاذب طبیعی لوفا و بررسی نتایج روش ارائه شده در مدل سازی جابجایی و پراکندگی آلاینده‌ها در رودخانه. پایان نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه کشاورزی بیرجند.
- روانی پور، ن. ۱۳۹۲. به بررسی جذب سطحی سرب بر روی برگ درخت خرمای اصلاح شده با بیکربنات سدیم. فصلنامه محیط زیست. شماره ۳۲-۳۶. ۵۶-۵۶.
- شریعت پناهی، م. ۱۳۷۹. مبانی بهداشت محیط. انتشارات دانشگاه تهران.
- طاهریان، ل. ۱۳۹۱. امکان سنجی جذب عناصر Cd, Pb, Mn از فاضلابها توسط منعقدکننده نانو. پایان نامه کارشناسی ارشد. در رشتۀ ارزیابی و آمایش سرزمین. دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم تحقیقات. دانشکده محیط زیست و انرژی.
- عاطف، ا. میرزایی، ف. ۱۳۹۱. حذف کروم شش ظرفیتی از پساب‌های صنعتی با استفاده از گیاه مانگرو(Aviciaenia)، مجله آب و فاضلاب. شماره ۶۸-۲: ۶۸.
- فدائی، ا. پورخیاز، ع. ر. نبی بیدهندی، غ. ر. امیری، م. ج. جمشیدی، ا. والهی، ۵. ۱۳۹۰. حذف کروم ۶ ظرفیتی از محلول‌های آبی به وسیله کربن هسته سنجید و عناب و مقایسه آن با کربن فعلی گرانولی. فصلنامه محیط شناسی. شماره ۶۷: ۴۷-۴۹.
- کی نژاد، م. ع. و ابراهیمی، س. ۱۳۸۰. مهندسی محیط زیست آب و فاضلاب، انتشارات سهند، تبریز.
- مسعودی نژاد، م. ر. یزدانبخش، ا. ر. شریفی ملکسری، ه. ۱۳۹۱. حذف فلز کروم شش ظرفیتی از عصاره میوه بلوط. مجله آب و فاضلاب. ۴: ۴۸-۳۹.

Agustiono kurniawan, T. G.Y.S.Chan, W.H.Lo, S.Babel, 2006. "Physico-chemical treatmenttechniques for wastewaterladen with heavy metals" J. chemical Engineering 118(2006)83-98.

Botkin, D., Keller, E. 1995. Environmental science. John Wiley and Sons. New York. Demiral, H., and Gunduzoglu, G., 2010. Removal of nitrate from aqueous solutions by activated carbon prepared from sugar beet bagass. Bioresource Technology. 101: 1675-1680

Kean, W. F.; Kean, I. R. L. 2008. "Clinical pharmacology of gold". Inflammopharmacology 16 (3): 112-25.

Martel, B.; Cassidy, K. 2004. Chemical Risk Analysis: A Practical Handbook. Butterworth-Heinemann. pp. 362. ISBN 1-903996-65-1

Mosavi, B.; Talebi, K. 2011. Chemical Risk Analysis: A Practical Handbook. Butterworth-Heinemann. pp. 362. ISBN 1-903996-65-1

Soos, A . 2011. "Gold Mining Boom Increasing Mercury Pollution Risk". Advanced Media Solutions, Inc. (Oilprice.com). Retrieved 2011-03-26.