



علوم محیطی

علوم محیطی سال هشتم، شماره سوم، بهار ۱۳۹۰  
ENVIRONMENTAL SCIENCES Vol.8, No.3, Spring 2011

۹۷-۱۰۸

## تأثیر جاذب‌های طبیعی در حذف مس و سرب

حمید رفتاری<sup>۱</sup>، حمید معظمی<sup>۱</sup>، حسین گنجی دوست<sup>۲\*</sup>، بیتا آیتی<sup>۳</sup>

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی عمران و محیط زیست، دانشگاه تربیت مدرس تهران

۲- استاد گروه مهندسی محیط زیست، دانشکده مهندسی عمران و محیط زیست، دانشگاه تربیت مدرس تهران

۳- دانشیار گروه مهندسی محیط زیست، دانشکده مهندسی عمران و محیط زیست، دانشگاه تربیت مدرس تهران

تاریخ پذیرش: ۹۰/۲/۱۸

تاریخ دریافت: ۸۸/۱۲/۵

### Effects of Natural Absorbents on Copper and Lead Removal

Hamid Raftari<sup>1</sup>, Hamid Moazami<sup>1</sup>, Hossein Ganjidoust<sup>2\*</sup>, Bitaa Ayati<sup>3</sup>

1-MSc. Student in Civil & Environmental Engineering, Tarbiat Modares University, Tehran

2- Professor, Division of Environmental Engineering, Faculty of Civil & Environmental Engineering, Tarbiat Modares University, Tehran

3- Associate Professor, Division of Environmental Engineering, Faculty of Civil & Environmental Engineering, Tarbiat Modares University, Tehran

#### Abstract

Lead and copper are heavy metals that are applied in different industries. Their standard limits in drinking water are 0.05 and 1.3 mg/L, respectively. Since natural absorbents are inexpensive and may be achieved without any cost and they are usually found in abundance in nature, absorption of solute ions by these materials is a proper method for eliminating heavy metals from polluted waters and industrial wastewaters. In this study, tea leaves and wheat straw wastes were used to absorb lead while sawdust and rice hull were applied to absorb copper from a polluted solution under batch and continuous conditions. The experiments have been carried out at different concentrations and times with an optimum pH of 5 and 5.5 for lead and copper, respectively. According to the batch experimental results, the equilibrium time has been found to be within the range of two hours. By increasing the concentration of absorbed material, the absorption efficiency has been diminished. The results of the batch experiments coincided with Langmuir and Freundlich isotherms but did not agree with BET and Linear isotherms. Continuous experiments have been accomplished with the use of an absorption column and a high up-flow rate of 0.35 L/min. In general, absorption efficiency has a decreasing trend over time. Based on the results of the continuous column system, the percentage maximum sorption of lead for tea leaves and wheat straw wastes came to be 99.5. This value for copper by sawdust and rice husk was found to be 95 and 63 percent, respectively.

**Keywords:** Isotherm, Continuous, Batch, Adsorption.

#### چکیده

سرب و مس از جمله فلزات سنگین پر کاربرد می‌باشند که مقدار استاندارد آن‌ها در آب شرب به ترتیب ۰/۰۵ و ۱/۳ میلی‌گرم بر لیتر می‌باشد. از آن‌جا که جاذب‌های طبیعی ارزان قیمت در طبیعت به وفور یافت می‌شوند، جذب یون‌های محلول توسط این مواد می‌تواند روشی مناسب جهت تصفیه آب‌های آلوده باشد. در این تحقیق از زایادات برگ چای و پوشال گندم برای جذب سرب و از خاک اره و پوسته شلتوک برنج برای جذب مس استفاده شد. آزمایشات در غلظت‌ها و زمان‌های مختلف در pH بهینه ۵ برای سرب و ۵/۵ برای مس انجام گردید. با توجه به نتایج آزمایشات ناپیوسته، زمان تعادل ۲ ساعت حاصل شد که با ایزوترم‌های لانگمایر و فرندلیچ مطابقت داشت ولی از ایزوترم‌های خطی و BET پیروی نکرد. آزمایشات پیوسته با استفاده از ستون جذب و جریان رو به بالا با دبی ۰/۳۵ L/min صورت گرفت که در حالت کلی راندمان جذب با گذشت زمان روند نزولی داشت. براساس نتایج، حداکثر میزان جذب سرب در آزمایشات پیوسته برای زایادات برگ چای و پوشال گندم ۹۹/۵ درصد و مقدار جذب مس توسط خاک اره و پوسته شلتوک برنج به ترتیب ۹۵ و ۶۳ درصد بدست آمد.

**کلید واژه‌ها:** ایزوترم، پیوسته، جذب سطحی، ناپیوسته.

\* Corresponding author. E-mail Address: h-ganji@modares.ac.ir

مقدمه

پیشرفت سریع و روزافزون علم و فناوری و افزایش کمی و کیفی تولیدات صنعتی و نیز آلاینده‌های مختلف، بصورت یکی از عوامل مخاطره آمیز برای محیط‌زیست درآمده است. فلزات سنگین سرب و مس با کاربرد فراوان در صنایع مختلف، دارای اثرات مضر زیست محیطی و بهداشتی می‌باشند که منجر به بروز مشکلات و بیماری‌های گوناگون در انسان‌ها و حیوانات می‌شوند.

از روش‌های متداول حذف فلزات سنگین از محیط آبی می‌توان به فرایندهای تبادل یونی، ترسیب شیمیایی، غشایی (الکترودیالیز و اسمز معکوس)، اکسیداسیون و احیاء، تصفیه الکتروشیمیایی، استخراج با حلال، جذب سطحی و جذب زیستی اشاره نمود (Mahdavi Matin, 2004). بیشتر روش‌های مذکور بجز جذب نه تنها گستره محدودی دارند، بلکه نیاز به سرمایه‌گذاری اولیه، هزینه‌های عملیاتی و بهره‌برداری بالا داشته و حتی باعث تولید پساب ثانویه می‌گردند. لذا در سال‌های اخیر جذب سطحی به‌عنوان یکی از بهترین روش‌های موجود مطرح می‌باشد. این روش در مقایسه با انواع متداول از مزایایی همچون مقرون به صرفه بودن، قابلیت جذب انتخابی، قابلیت احیاء و بازیابی فلزات، بالا بودن نسبی سرعت فرایند و عدم تولید لجن برخوردار است (Naddafi, 2005). بخصوص در رابطه با جاذب‌های طبیعی که ارزان قیمت (قیمت تجاری حدود ۱۰ تا ۱۵ دلار بر کیلوگرم) بوده و به راحتی در دسترس می‌باشند. برخی از انواع آن‌ها در طبیعت به وفور یافت و در برخی از فعالیت‌ها هم بصورت زایدات بلا استفاده تولید می‌شوند. در حالی که قیمت رزین‌های تبادل یونی ۳۰ تا ۵۰ دلار بر کیلوگرم بوده و برآوردها بیانگر این است که با استفاده از این فرایند در مقایسه با سایر روش‌ها حدود ۲۰ درصد هزینه‌های سرمایه‌گذاری، ۳۶

درصد هزینه‌های بهره‌برداری و ۲۸ درصد هزینه‌های کل تصفیه کاهش می‌یابد (Naddafi, 2005). با توجه به وسعت مطالعات در زمینه جذب با استفاده از جاذب‌های طبیعی، در ادامه به شرح مختصری از تحقیقات عمده پرداخته شده است:

Ajmal و همکاران در سال ۱۹۹۸ به بررسی تاثیر خاک اره خام در حذف مس از فاضلاب صنعتی پرداختند و با استفاده از آزمایشات ناپیوسته با غلظت اولیه ۱۷ mg/L مس، جاذب ۲۰۰ میلی‌گرم در حجم ۵۰ mL، زمان ۶۰ دقیقه، pH=۶، دمای ۲۵ درجه سلسیوس و دور اختلاط ۲۰۰، راندمان جذب ۶۰٪ را بدست آوردند که نتایج حاصله با دو ایزوترم لانگمایر و فرنرلیچ مطابقت داشت (Ajmal et al., 1998). Qin و Wang در بررسی میزان جذب مس از آب‌های آلوده با استفاده از پوسته شلتوک برنج در غلظت اولیه مس ۱۰۰ mg/L، pH=۵/۵، زمان ۲۴۰ دقیقه، دمای ۲۵ درجه و مقدار جاذب ۲۵ گرم در حجم ۵۰ mL، به مقدار جذب ۱۹/۶ mg/gr دست یافتند که نتایج حاصل در شرایط مختلف با ایزوترم‌های لانگمایر و فرنرلیچ مطابقت داشت (Wang and Qin, 2005). در تحقیق Grimm و همکاران، میزان جذب مس با استفاده از جاذب‌های خاک اره، جلبک دریایی و خزّه (پیش تصفیه) در غلظت ۵ mg/L مس، ۲/۵ گرم جاذب در حجم ۱۰۰ میلی‌لیتر، زمان ۳۶۰ دقیقه، pH=۵/۵، دمای ۲۲ درجه و دور اختلاط ۲۰۰ بررسی شد و راندمان حذف سه جاذب به ترتیب ۸۵، ۹۷ و ۹۵ درصد بدست آمد (Grimm et al., 2008). در سال ۲۰۰۸، Zhu و همکاران، pH بهینه ۵ و ۶ را برای جذب سرب با استفاده از بنتونیت با مش ۲۰۰ تعیین کردند و در غلظت mg/L ۳۰۰ به مقدار ۹۸ درصد جذب سرب، دست یافتند. این جاذب‌ها نیز از قوانین و ایزوترم‌های لانگمایر و فرنرلیچ پیروی می‌کردند (Zhu et al., 2008). در سال ۲۰۰۴، Ayappan و همکاران بوسیله کربن هسته میوه، خاک اره

### آزمایشات ناپیوسته

جهت انجام آزمایشات ناپیوسته، ابتدا محلول سنتزی مس در غلظت‌های ۲۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌گرم بر لیتر و محلول سرب در غلظت‌های ۲۰، ۱۰۰ و ۳۰۰ میلی‌گرم بر لیتر تهیه و آزمایشات ناپیوسته در سه مرحله مجزا انجام و غلظت‌های باقیمانده اندازه‌گیری شدند.

تعیین pH مناسب برای حذف مس و سرب در غلظت‌های ۱۰۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ میلی‌گرم بر لیتر، برای هر جاذب به صورت جداگانه انجام گردید. برای انجام آزمایشات، محلول حاوی فلز در ارلن‌های ۱۰۰ mL ریخته و pH هر یک با استفاده از اسید سولفوریک (برای مس)، اسید نیتریک (برای سرب) و هیدروکسید سدیم بر روی اعداد ۳، ۴، ۵، ۵/۵، ۶، ۷ تنظیم و مقدار ۲ گرم جاذب به هر ارلن اضافه شد. پس از قرار دادن ارلن‌ها بر روی دستگاه شیکر با دور ۱۲۰ rpm به مدت ۲ ساعت و عبور نمونه‌ها از کاغذ صافی، غلظت آن‌ها تعیین شد.

### آزمایشات پیوسته

برای بررسی شرایط پیوسته و استفاده از ظرفیت کامل جاذب‌ها به نحوی که کم‌ترین غلظت فلز در خروجی اتفاق بیفتد، از ستون جذب از جنس پلکسی گلاس به طول ۷۰ سانتی‌متر و قطر داخلی ۹۰ میلی‌متر با بستر ثابت استفاده شد. بدین صورت که جاذب درون ستون اضافه و جریان رو به بالای محتوی آلاینده با دبی ۰/۳۵ لیتر بر دقیقه به سمت آن هدایت گردید. در طول عبور جریان، محلول با ذرات جاذب برخورد کرده و فلز حل شده به مرور از محلول جدا می‌شد. عملیات جذب تا زمان اشباع شدن جاذب که افزایش غلظت خروجی را به همراه داشت، ادامه پیدا می‌کرد. مشخصات ستون و شماتیک پایلوت مورد استفاده در شکل ۱ ارائه شده است.

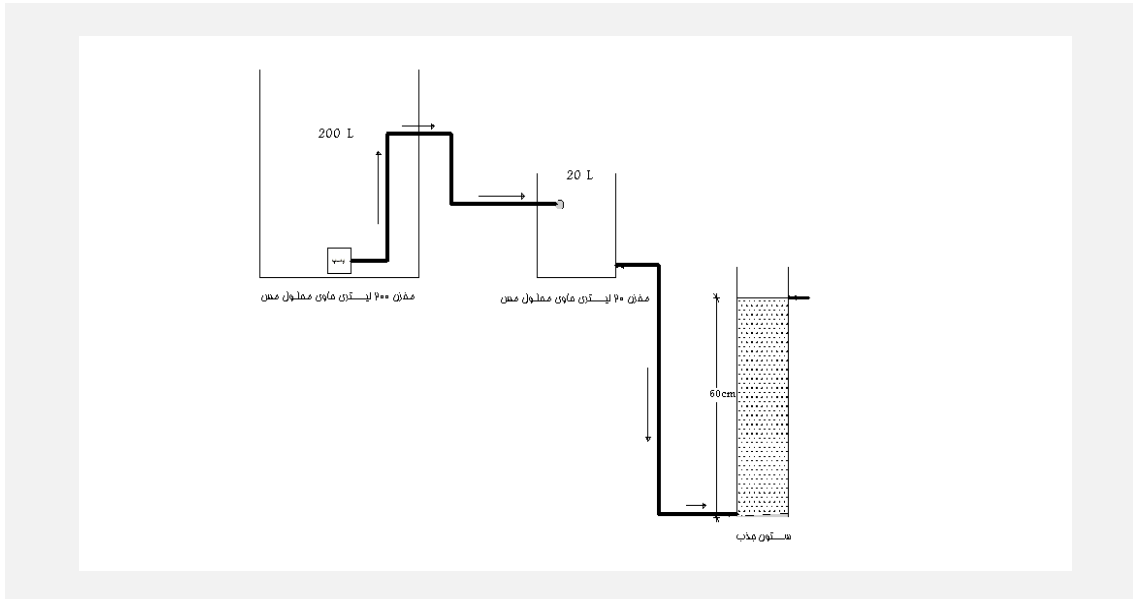
و تفاله نیشکر در pH بهینه ۵، یون سرب ( $Pb^{2+}$ ) را به ترتیب ۹۹، ۹۴ و ۹۸ درصد جذب نمودند (Ayappan *et al.*, 2004). در مطالعات Montanher و همکاران، برای حذف سرب و مس توسط پوسته شلتوک برنج، بیشترین حذف این فلزات در pH محدوده ۵ تا ۶، میزان حذف مس و سرب به ترتیب ۶۲ و ۹۸ درصد رخ داد (Montanher *et al.*, 2005). Elchaghby و Abdel Ghani در pH معادل ۴/۵ و مقدار ۱/۵ گرم از گیاه رز نیل، حدود ۹۹ درصد از مخلوط سرب، مس، کادمیم و روی با غلظت ۵۰ mg/L را حذف نمودند که در بین فلزات مورد استفاده آن‌ها سرب دارای بیشترین مقدار جذب بوده است (AbdelGhani and Elchaghby, 2007).

هدف از انجام این تحقیق، تعیین میزان حذف دو فلز مس و سرب از آب آلوده توسط جاذب‌های طبیعی در شرایط مختلف در دو حالت پیوسته و ناپیوسته بوده است.

### مواد و روش‌ها

#### دستگاه‌ها و مواد مورد استفاده

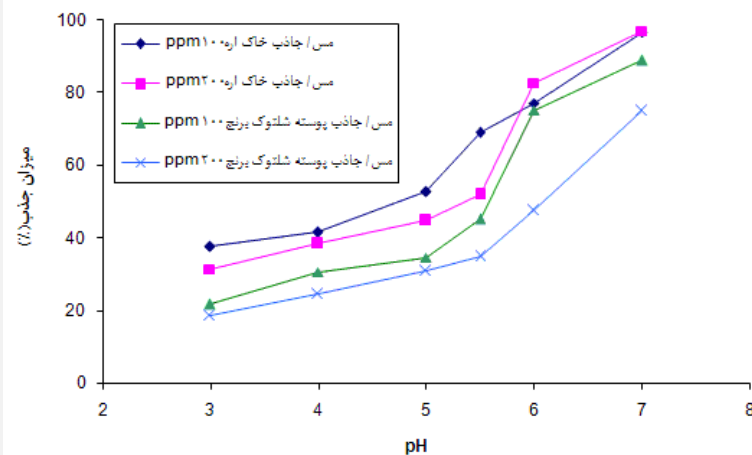
دستگاه‌های مورد استفاده جهت انجام آزمایشات شامل جذب اتمی مدل Varian-AA240، pH متر مدل Metrohm-691، ترازو با دقت یک میلی‌گرم مدل Metler-PJ300، میز شیکر و میکروسکوپ الکترونیکی مدل Philips- XL30 بودند. مواد مورد استفاده شامل جاذب‌های طبیعی (زایادات برگ چای، پوشال گندم، خاک اره، پوسته شلتوک برنج)، سولفات مس (آلاینده مس)، نترات سرب (آلاینده سرب)، اسیدسولفوریک، اسید نیتریک و هیدروکسید سدیم (جهت تنظیم pH) و آب (آب دو بار تقطیر جهت انجام آزمایشات ناپیوسته و آب شهری جهت انجام آزمایشات پیوسته) بودند. نکته قابل ذکر اینکه کلیه آزمایشات بر اساس روش کار استاندارد آب و فاضلاب آمریکا انجام پذیرفت (APHA/AWWA/WEF, 2005).



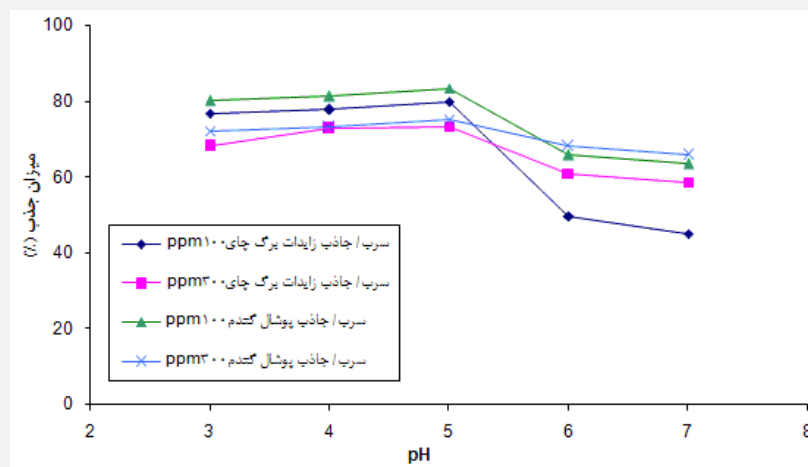
شکل ۱- شماتیک پابلوت مورد استفاده جهت آزمایشات پیوسته

نتایج  
 تعیین pH بهینه  
 طبق بررسی‌های انجام شده جهت حذف مس (شکل ۲)، بیشترین میزان حذف در pH های ۶ و ۷ رخ داد اما به دلیل تشکیل رسوب هیدروکسید مس و بر اساس مطالعات انجام شده، pH بهینه برای هر دو جاذب بین ۵ تا ۶ (۵/۵) انتخاب گردید. در این pH در غلظت‌های اولیه ۱۰۰ و ۳۰۰ میلی گرم بر لیتر در این pH معادل ۵ اتفاق افتاد که به عنوان pH بهینه انتخاب شد. برای فلز سرب نیز مطابق شکل ۳، در دو غلظت ۱۰۰ و ۳۰۰ میلی گرم بر لیتر بالاترین راندمان برای هر دو جاذب در pH معادل ۵ اتفاق افتاد که به عنوان pH بهینه انتخاب شد. در این pH در غلظت‌های اولیه ۱۰۰ و ۳۰۰ میلی گرم بر لیتر میزان حذف سرب با استفاده از زایادات برگ چای به ترتیب ۸۰/۱ و ۷۳/۴ درصد و با استفاده از پوشال گندم به ترتیب ۸۳/۵ و ۷۵/۴ درصد بدست آمد.

میزان جذب (%)  
 pH



شکل ۲- میزان جذب مس در pH های مختلف



شکل ۳- میزان جذب سرب در pH های مختلف

تعداد مورد آزمایش قرار گرفتند. بدین منظور، محلول‌هایی با غلظت‌های ۲۰، ۱۰۰، ۲۰۰، ۳۰۰ میلی‌گرم بر لیتر و مقدار جاذب ۲ گرم در ۱۰۰ mL تهیه و در زمان‌های ۵، ۲۰، ۶۰، ۱۲۰، ۱۸۰، ۲۴۰، ۳۰۰ و ۳۶۰ دقیقه و با دور اختلاط ۱۲۰ rpm برای هر جاذب به طور جداگانه انجام گردید.

طبق نتایج حاصل (شکل‌های ۴ و ۵) از زمان ۱۲۰ دقیقه به بعد نرخ افزایش میزان جذب در هر دو حالت روند تقریباً ثابتی پیدا نموده است. علت این پدیده را می‌توان با کامل شدن ظرفیت جذب هر دو جاذب مرتبط دانست. زیرا با اشباع شدن جاذب‌ها، میزان جذب فلز از محلول کاهش می‌یابد و دو فاز جامد و مایع تقریباً به حالت تعادل می‌رسند. در این حالت، نرخ جذب یون فلز به سطح جاذب و نیز نرخ برگشت یون از سطح ذرات جاذب به درون محلول برابر می‌شود. به عبارتی عملیات جذب در دو مرحله سریع و آهسته صورت می‌گیرد. در مرحله اول، عمل جذب بر روی سطح جاذب به سرعت انجام می‌شود زیرا اکثر سایت‌های جاذب خالی است. در حالی که با گذشت زمان و پر شدن تدریجی این سایت‌ها،

با توجه به اینکه سطح بیشتر جاذب‌ها دارای بار منفی است، پدیده یونیزاسیون سرعت جذب را افزایش می‌دهد و از آن‌جا که یون‌های  $H^+$  و  $OH^-$  به شدت جذب سطحی می‌شوند، می‌توانند بار سطحی جاذب را تغییر دهند. در pH های پائین یون  $H^+$  با یون فلزی رقابت می‌کند و سایت‌های جاذب توسط  $H^+$  اشغال و یون‌های فلزی به دلیل نیروی دافعه، کمتر به جاذب نزدیک می‌شوند. در pH های بالاتر، سطح جاذب بار منفی بیشتری می‌گیرد و میزان جذب یون فلزی افزایش می‌یابد. با افزایش pH، ابتدا افزایش سپس کاهش راندمان جذب ملاحظه شد به این دلیل که با افزایش pH کمپلکس‌های هیدروکسید تشکیل می‌شوند و که بیشتر آن‌ها نامحلول بوده و رسوب می‌کنند (Djeribi and Hamdaoui, 2008).

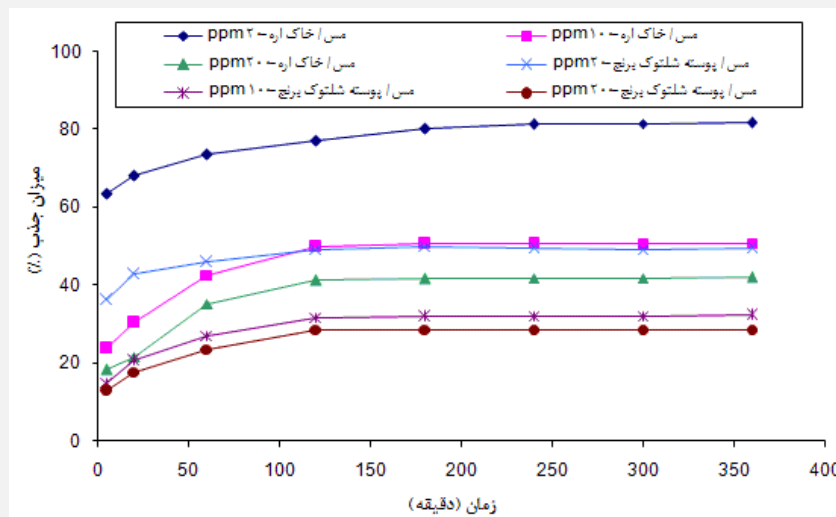
### تعیین میزان جذب و زمان تعادل در آزمایشات ناپیوسته

در این مرحله، غلظت‌های متفاوت از ماده جذب شونده و غلظت ثابت از ماده جاذب در زمان‌های مختلف برای بررسی میزان جذب دو فلز توسط جاذب‌ها و تعیین زمان

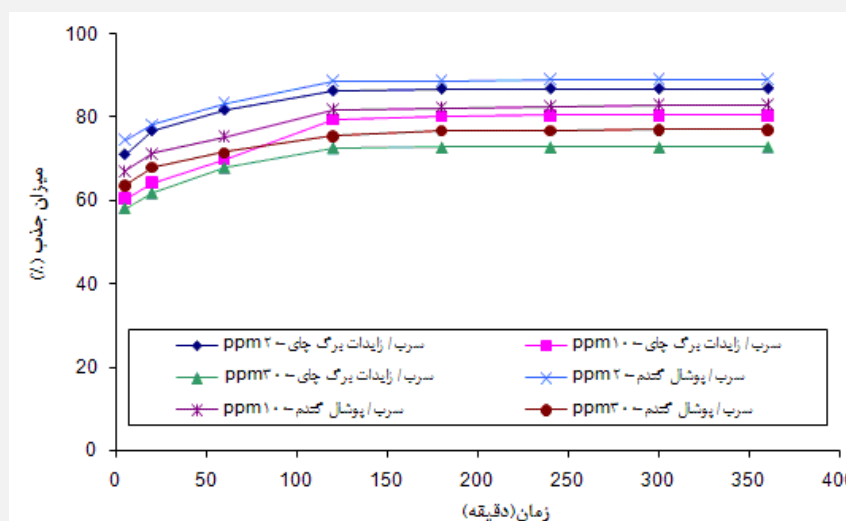
غلظت‌های پائین فلزی، نسبت مول‌های اولیه حل شونده به مساحت سطح جاذب کم است و میزان جذب وابستگی چندانی به غلظت اولیه ماده جذب شونده ندارد (Amarasinghe and Williams, 2007).

لذا با توجه به نتایج بدست آمده برای جذب مس، خاک اره و برای جذب سرب، پوشال گندم دارای عملکرد بهتری بودند.

نفوذ یون فلزی از بین یون‌های جذب شده و اتصال به سطح‌های خالی باعث کندتر شدن فرایند جذب می‌گردد که مرحله آهسته انتقال جرم داخلی می‌باشد. هم‌چنین با افزایش غلظت یون فلزی، میزان جذب افزایش می‌یابد و در نهایت با اشباع شدن جاذب، میزان جذب به مقدار ثابتی می‌رسد. در نتیجه بعد از آن اضافه نمودن غلظت تاثیری بر میزان جذب نخواهد داشت. در



شکل ۴- میزان جذب مس در زمان‌های مختلف



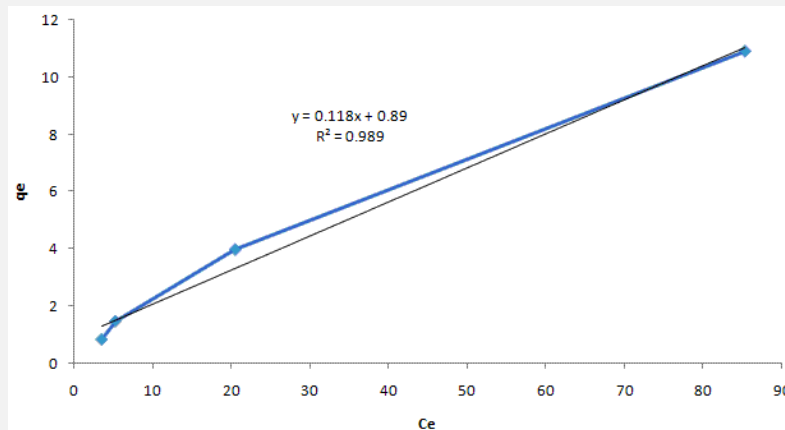
شکل ۵- میزان جذب سرب در زمان‌های مختلف

### نحوه پیروی نتایج با مدل های ایزوترم

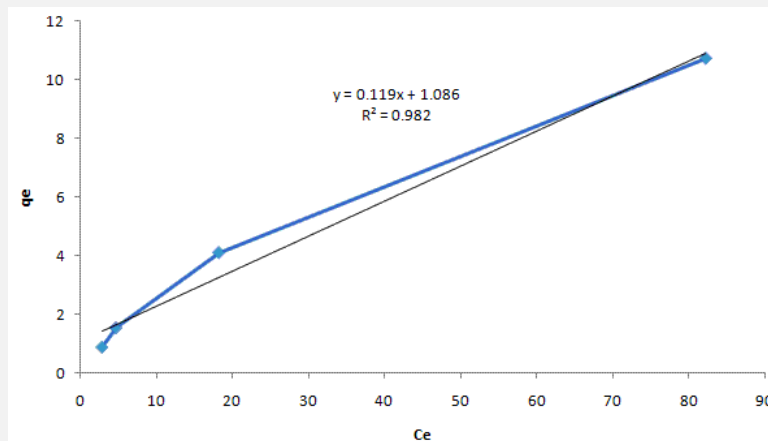
مقدار ماده جذب شونده ای که یک جاذب می تواند آن را جذب نماید، تابعی از مشخصه ها و غلظت ماده جذب شونده و دما می باشد. عموماً مقدار ماده جذب شده را بصورت تابعی از غلظت تعادلی ماده جذب شونده در دمای ثابت بدست می آورند و تابع نتیجه را ایزوترم جذب سطحی می نامند (Reynolds and Richards, 1995).

در این قسمت، با توجه به زمان تعادل بدست آمده، با غلظت ثابتی از ماده جذب شونده (۲۰ mg/L) برای مقادیر جاذب (۱، ۲، ۳، ۴ گرم در ۱۰۰ میلی لیتر محلول) آزمایشاتی جهت بررسی میزان حذف ماده جذب شونده با افزایش غلظت جاذب و بررسی ایزوترمهایی جذب

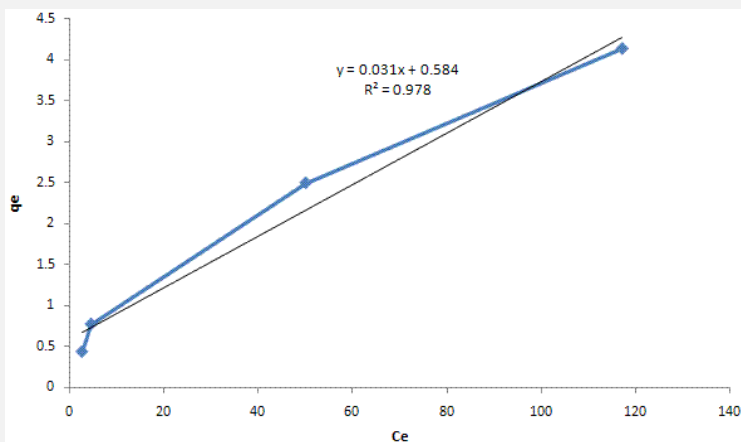
انجام گردید که نتایج حاصل در شکل های ۶ تا ۱۲ و جدول ۱ ارائه شده است. با توجه به نتایج حاصل مشاهده می شود که هیچیک از جاذب ها، صورت کلی مدل جذب سطحی خطی و BET را شامل نمی شوند اما از مدل های ایزوترم فرندلیچ و لانگمایر تبعیت می نمایند. ضرایب همبستگی در مدل های ایزوترم جذب فلز مس برای جاذب های خاک اره و پوسته شلتوک برنج در مدل فرندلیچ به ترتیب ۰/۹۲۸ و ۰/۹۹۴ و مدل لانگمایر ۰/۹۶۶ و ۰/۹۹ و نیز برای سرب برای جاذب های پوشال گندم و زایدات برگ چای در مدل فرندلیچ به ترتیب ۰/۹۷۸ و ۰/۹۸ و برای مدل لانگمایر ۰/۹۹ و ۰/۹۸ حاصل شد.



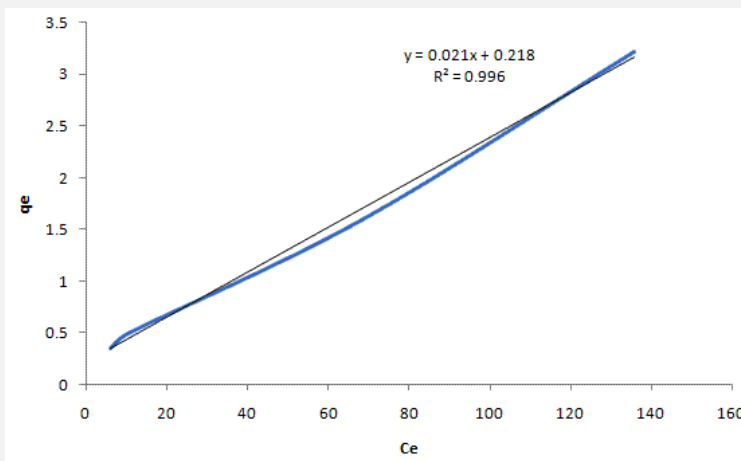
شکل ۶ - میزان سرب جذب شده بر اساس تغییرات غلظت توسط زایدات برگ چای



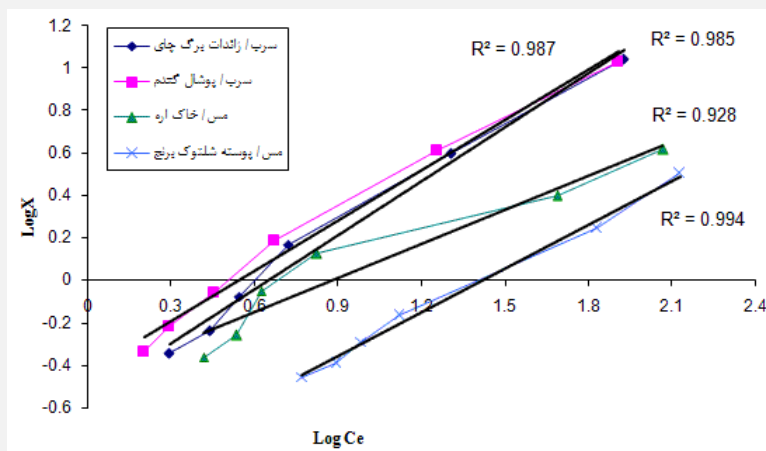
شکل ۷ - میزان سرب جذب شده بر اساس تغییرات غلظت توسط پوشال گندم



شکل ۸- میزان مس جذب شده بر اساس تغییرات غلظت توسط خاک اره

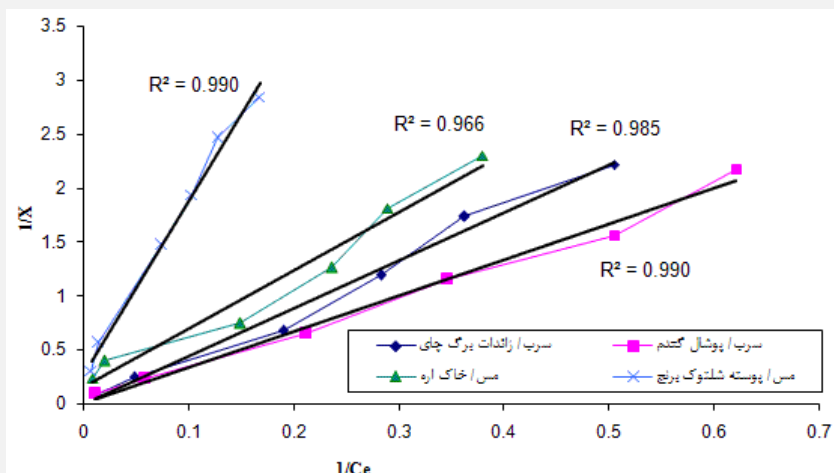


شکل ۹- میزان مس جذب شده بر اساس تغییرات غلظت توسط پوسته شلتوک برنج

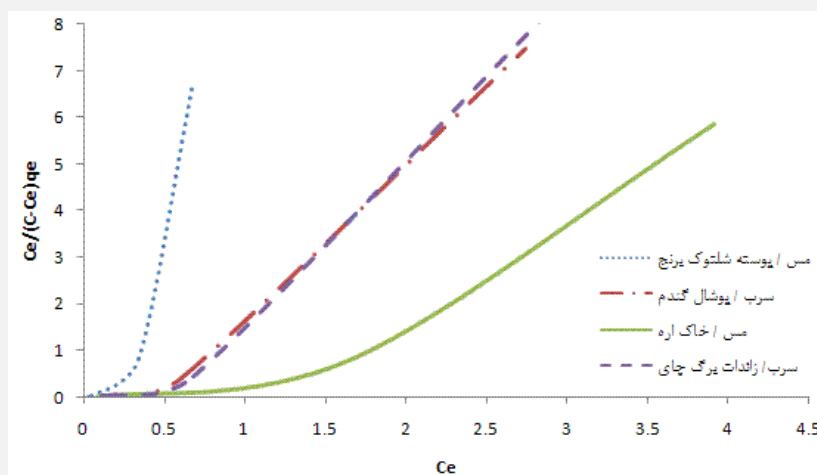


شکل ۱۰- مدل ایزوترم فرندلیچ





شکل ۱۱- مدل ایزوترم لانگمایر



شکل ۱۲- مدل ایزوترم BET

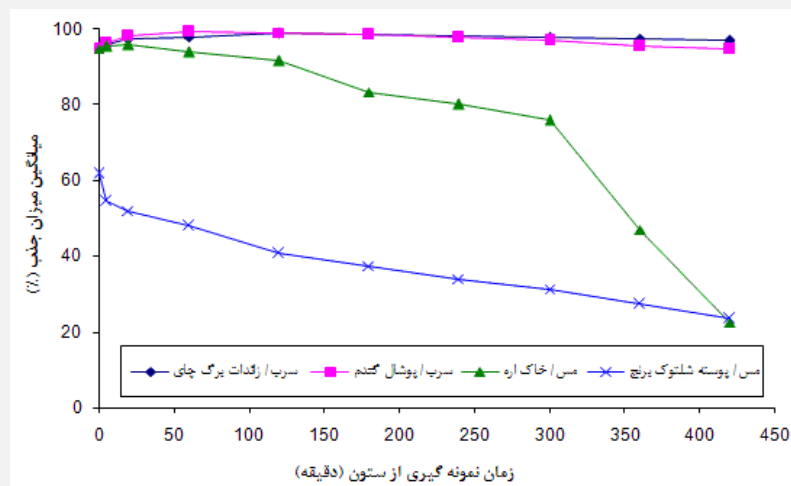
جدول ۱- پارامترهای مدل‌های ایزوترم فرنلیدج و لانگمایر در دمای ۲۳ درجه سلسیوس

ایزوترم لانگمایر			ایزوترم فرنلیدج			نوع جاذب
$R^2$	b	a	$R^2$	n	$K_f$	
۰/۹۹	$۴/۷۶ * ۱۰^{-۳}$	۶۳/۶۹۴	۰/۹۷۸	۱/۲۵۹	۰/۳۶۷	پوشال گندم
۰/۹۸	$۹/۲۵ * ۱۰^{-۴}$	-۲۴۳/۹	۰/۹۸	۱/۱۷۷	۰/۲۸۰	زایدات برگک چای
۰/۹۶۶	۰/۰۲۹	۶/۳۴۱	۰/۹۲۸	۱/۸۷۳	۰/۳۳۳	خاک اره
۰/۹۹	۰/۰۱۷	۳/۵۳۳	۰/۹۹۴	۱/۴۵۷	۰/۱۰۵	پوشه شلتوک برنج

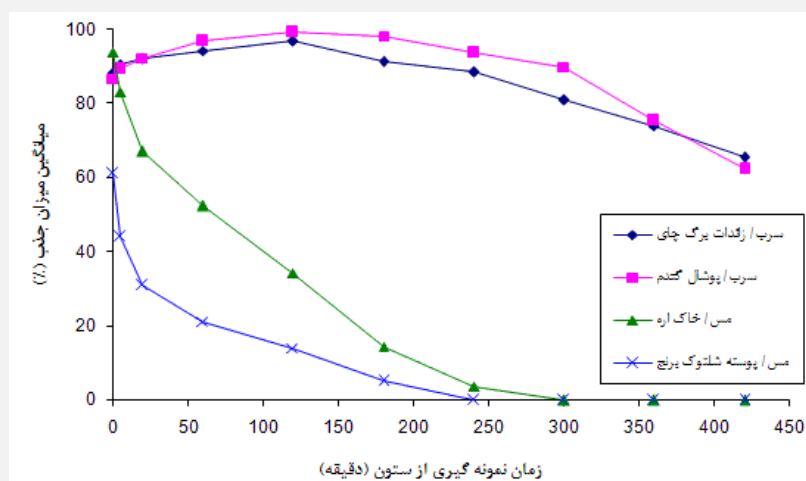
### نتایج آزمایشات پیوسته

در این مرحله، جهت بررسی فرایند جذب در مقیاس بزرگتر از ستون جذب با بستر ثابت استفاده شد و محلول حاوی سرب با غلظت های ۲۰، ۱۰۰ و ۳۰۰ میلی گرم بر لیتر با  $pH=5$  و محلول حاوی مس با غلظت های ۲۰، ۱۰۰، ۲۰۰ میلی گرم بر لیتر با  $pH=5/5$  برای هر غلظت و هر جاذب به صورت جداگانه در دمای  $23 \pm 2$  درجه سلسیوس مورد بررسی قرار گرفت. بعد از

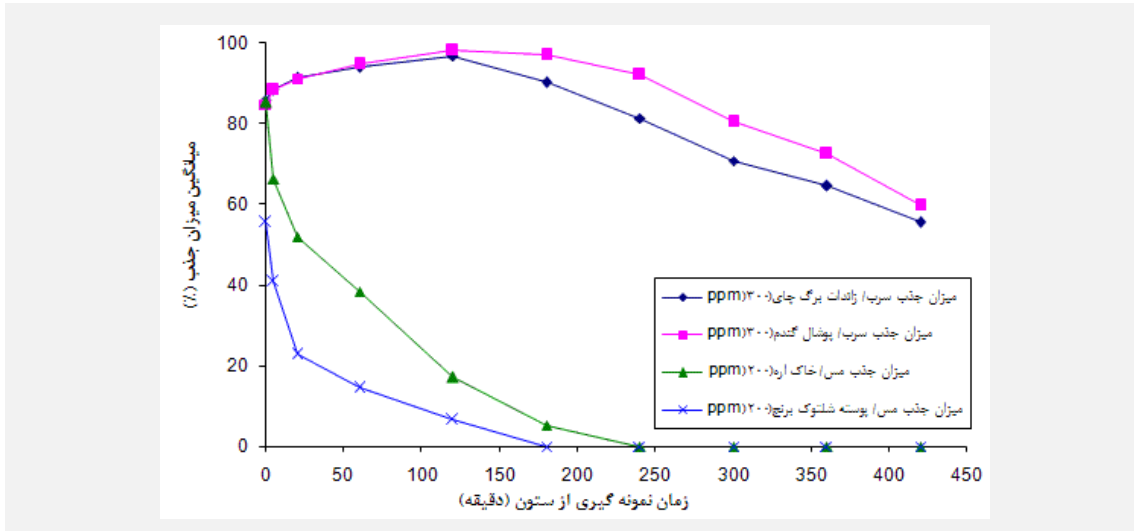
راه اندازی پایلوت و عبور محلول از ستون با دبی ۰/۳۵ لیتر بر دقیقه و جریان رو به بالا، اولین خروجی از ستون به عنوان اولین نمونه (زمان صفر) تهیه و بعد از آن به ترتیب در زمان های ۲۰، ۵، ۶۰، ۱۲۰، ۱۸۰، ۲۴۰، ۳۰۰، ۳۶۰ و ۴۲۰ دقیقه عمل نمونه گیری انجام شد. نتایج حاصل به تفکیک برای میزان درصد جذب سرب و مس در غلظت ها و زمان های مختلف در شکل های ۱۳ تا ۱۵ نشان داده شده است.



شکل ۱۳- نحوه جذب سرب و مس در غلظت اولیه ۲۰ ppm در شرایط پیوسته



شکل ۱۴- نحوه جذب سرب و مس در غلظت اولیه ۱۰۰ ppm در شرایط پیوسته



شکل ۱۵- نحوه جذب سرب و مس در غلظت‌های اولیه ۲۰۰ و ۳۰۰ ppm در شرایط پیوسته

حذف سرب با جاذب‌های زایدات برگ چای و پوشال گندم برابر ۵ است.

در غلظت ۲۰ mg/L حدود ۶۳ درصد و در غلظت ۱۰۰ mg/L حدود ۲۴ درصد مس توسط خاک اره طی جریان پیوسته حذف شد در حالی که جاذب‌های دیگر مانند جلبک دریایی و خزه در غلظت ۵ mg/L به ترتیب دارای ۹۷ و ۹۵ درصد جذب بودند (Grimm et al., 2008).

فلز سرب در غلظت‌های ۱۰۰ و ۳۰۰ میلی گرم بر لیتر توسط پوشال گندم به ترتیب به میزان ۹۶ و ۹۶ درصد با جریان پیوسته حذف شد که در مقایسه با بنتونیت (Zhu et al., 2008) در غلظت ۳۰۰ mg/L و گیاه رز نیل (AbdelGhani and Elchaghby, 2007) در غلظت ۵۰ mg/L قابل قیاس می‌باشد.

با توجه به نتایج حاصل هیچیک از جاذب‌ها، صورت کلی مدل جذب سطحی خطی و BET را شامل نمی‌شوند اما از مدل‌های ایزوترم فرنرندلیچ و لانگمایر تبعیت می‌نمایند که نتایج مشابه در مطالعات Zhu و همکاران (۲۰۰۸) و AbdelGhani and Elchaghby (۲۰۰۷)، Wang و Qin (۲۰۰۵) و Ajaml و همکاران (۱۹۹۸) نیز این موضوع را به خوبی تصدیق می‌کند.

همان‌گونه که ملاحظه می‌شود، از دو فلز مورد آزمایش، سرب دارای راندمان جذب بالاتر و از دو جاذب بررسی شده پوشال گندم دارای توانایی جذب بیشتری است. در غلظت ۲۰ mg/L حدود ۶۳ درصد و در غلظت ۱۰۰ mg/L حدود ۲۴ درصد مس جذب توسط خاک اره حذف شده در حالی که جاذب‌های دیگر مانند جلبک دریایی و خزه (پیش تصفیه) در غلظت ۵ mg/L به ترتیب دارای ۹۷ و ۹۵ درصد جذب بودند (Grimm et al., 2008).

## بحث

در مقایسه بین عملکرد دو جاذب خاک اره و پوسته شلتوک برنج در آزمایشات ناپیوسته و پیوسته، خاک اره عملکرد بهتری در میزان جذب مس دارد و بین دو جاذب پوشال گندم و زایدات برگ چای، پوشال گندم دارای قدرت جذب بالاتری است.

با توجه به آزمایشات ناپیوسته، زمان تماس بهینه ۱۲۰ دقیقه و pH مناسب جهت حذف مس با استفاده از دو جاذب خاک اره و پوسته شلتوک برنج ۵/۵ و جهت

- Types of Biomasses for Copper Biosorption, *Bioresource Technology*, 99(7):559-565.
- Mahdavi Matin, S. (2004). Use of Natural Adsorbents in COD removal from Wood Fiber Wastewater, M.Sc. Thesis, Civil (Environmental) Eng. Dept., Tarbiat Modares University, Tehran, Iran.
- Montanher, S.F., E.A. Oliveira and M.C. Rollemberg (2005). Removal of Metal Ions from Aqueous Solution by Sorption onto Rice Bran. *Journal of Hazardous Materials*, 117(2-3):205-211.
- Naddafi, K., R. Saeedi and M.R. Mohebbi (2005). Bio-sorption and Removal of Heavy Metals from Water and Wastewater. *Water and Environment Journal*, 63: 33-39.
- Reynolds, T.D. and P.A. Richards (1995). *Unit Operations and Processes in Environmental Engineering*. PWS Publishing Company, U.S.A.
- Zhu S., H. Hoobo and X. Yongjie (2008). Kinetic and isothermal studies of Lead Ion Adsorption onto Bentonit. *Applied Clay Science*, 40(1-4): 171-178.
- Wang X.S. and Y. Qin (2005). Equilibrium Sorption Isotherms for of Cu on Rice Bran. *Process Biochemistry*, 40(2): 677-680.
- منابع  
Abdel-Ghani, N.T. and G.A. Elchaghaby (2007). Influence of Operating Conditions on the Removal of Cu, Zn, Cd and Pb Ions from Wastewater by Adsorption, *Enviro. Sci. Tech*, 4: 451-457.
- Ajmal, M., A.H. Khan, S. Ahmad and A. Ahmad (1998). Role of Sawdust in the Removal of Copper from Industrial Wastes, *Wat. Res.*, 32(10):3085-3091.
- Amarasinghe, B.M.W.P.K. and R.A. Williams (2007). Tea Waste as a Low Cost Adsorbent for the Removal of Cu and Pb from Wastewater, *Chemical Engineering Journal*, 132(1-3): 299-309.
- APHA/AWWA/WPCF. (2005). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, 21st edition, Washington DC, USA.
- Ayyappan, R., A. Carmalin Sophia, K. Swaminathan and S. Sandhya (2005). Removal of Pb(II) from Aqueous Solution using Carbon Derived from Agricultural Wastes, *Process Biochemistry*, 40(3-4):1293-1299.
- Djeribi, R. and O. Hamdaoui (2008). Sorption of Copper from Aqueous by Cedar Sawdust and Crushed Brick. *Desalination*, 225(1-3): 95-112.
- Grimm, A., R. Zanzi, E. Bjornbom and A.L. Cukierman (2008). Comparison of Different

