

# جذب کادمیم محلول از آب توسط زغال ساخته شده از پوست گردو و بادام و مقایسه آن با کربن فعال گرانولی

جواد بیات<sup>۱</sup>

عزیر عابسی<sup>۲</sup>

احمد جمشیدی<sup>۳</sup>

محسن سعیدی<sup>۴</sup>

(دریافت ۸۶/۸/۱ پذیرش ۸۷/۱۱/۱۳)

## چکیده

در این مطالعه کربن‌های ساخته شده از پوسته بادام و گردو به‌عنوان جاذب به‌منظور جذب یون‌های محلول کادمیم مورد آزمایش قرار گرفت. برای این منظور اثرات pH محلول، غلظت اولیه کادمیم در محلول و غلظت جاذب بر میزان جذب این فلز بررسی شد. علاوه بر بررسی جاذبهای مذکور، تمامی آزمایش‌های انجام شده با استفاده از کربن فعال دانه‌ای تکرار شد و نتایج هر سه نوع جاذب با یکدیگر مقایسه گردید. نتایج به‌دست آمده نشان داد که میزان جذب کادمیم به‌میزان قابل توجهی به pH نهایی محلول بستگی دارد و بیشترین میزان جذب زمانی حاصل شد که pH نهایی در محدوده ۶/۵ تا ۷ قرار گرفت. نتایج حاکی از آن است که جذب یون محلول کادمیم توسط جاذبهای مورد استفاده در این پژوهش، از مدل ایزوترم لانگمیر به خوبی تبعیت می‌کند. همچنین میزان بهینه جاذب برای کربن‌های پوسته گردو و کربن فعال دانه‌ای برابر ۲ گرم در لیتر و برای کربن پوسته بادام ۲/۵ گرم در لیتر به‌دست آمد. در شرایط بهینه که غلظت اولیه کادمیم در محلول ۴ ppm و غلظت جاذب و pH اولیه نیز مطابق با شرایط بهینه تنظیم شد، بیشترین میزان حذف کادمیم، مربوط به کربن پوسته گردو به میزان ۹۱ درصد بود. پس از آن کربن پوسته بادام و کربن فعال دانه‌ای به ترتیب حذفی معادل با ۸۵ و ۸۱ درصد را از خود نشان دادند.

**واژه‌های کلیدی:** جذب سطحی، کربن فعال، زغال پوسته گردو، زغال پوسته بادام، کادمیم.

## Removal of Dissolved Cadmium by Adsorption onto Walnut and Almond Shell Charcoal: Comparison with Granular Activated Carbon (GAC)

Mohsen Saeedi<sup>1</sup>

Ahmad Jamshidi<sup>2</sup>

Ozeair Abessi<sup>3</sup>

Javad Bayat<sup>4</sup>

(Received Oct. 23, 2007 Accepted Feb. 2, 2009)

### Abstract

In the present study, adsorption of dissolved Cadmium (Cd) onto walnut and almond shell charcoal and the standard granular activated carbon (GAC) has been investigated and compared. The effect of pH value, initial concentration of dissolved Cadmium and amount of adsorbent on the adsorption of Cd by the mentioned adsorbents were investigated. Results showed that the adsorption process was highly dependent on pH. Maximum Cd removal was achieved when the final pH of the mixture fell within 6.5-7. Adsorption test results revealed that Cd adsorption on the studied adsorbents could be better described by Langmuir isotherm. Maximum Cd removal efficiencies were obtained by walnut shell charcoal (91%), almond shell charcoal (85%), and GAC (81%).

**Keywords:** Adsorption, Walnut Shell, Almond Shell, Charcoal, Cadmium.

1. Assist. Prof. of Hydraulics and Environment, Dept. of Civil Engineering, Iran University of Science and Technology, Tehran (Corresponding Author) (+98 21) 77240093 msaeedi@iust.ac.ir
2. Graduate Student, Dept. of Civil Engineering, Iran University of Science and Technology, Tehran
3. Ph.D Student of Hydraulics and Environment, Dept. of Civil Engineering, Iran University of Science and Technology, Tehran
4. M.Sc., Department of Hydraulics and Environment, Dept. of Civil Engineering, Iran University of Science and Technology, Tehran

- ۱- استادیار گروه آب و محیط زیست، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران (نویسنده مسئول) ۷۷۲۴۰۰۹۳ (۰۲۱) msaeedi@iust.ac.ir
- ۲- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی محیط زیست، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران
- ۳- دانشجوی دکترای آب و محیط زیست، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران
- ۴- کارشناس ارشد مهندسی محیط زیست، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران

انجام شده به تهیه کربن فعال از زائدات جانبی محصولات کشاورزی اختصاص یافته است. از آن جمله، می‌توان به مطالعات انجام گرفته برای تهیه کربن‌های فعال از پوسته نارگیل، پوسته بادام زمینی، پوسته فندق، هسته‌های هلو، زردآلو، گیلاس، خرما و دانه‌های انگور اشاره نمود [۵، ۷، ۸، ۱۲ و ۱۳].

مسری و همکاران<sup>۱</sup> در سال ۱۹۷۴ از پوست درخت سرخدار برای جذب یون‌های محلول جیوه، سرب و کادمیم استفاده نمودند. طی این مطالعات حداکثر ظرفیت جذب برای جاذب مذکور از یون‌های جیوه، سرب و کادمیم به ترتیب ۲۵۰، ۱۸۲ و ۳۲ میلی‌گرم فلز در گرم جاذب گزارش شده است [۱۴]. ناریناسوامی و گروور در سال ۱۹۸۲ مقدار جذب کروم شش ظرفیتی توسط خاکستر فرار را ۴/۲۵ میلی‌گرم بر گرم در pH برابر ۲ گزارش نمودند [۲]. تحقیقی که توسط سارین<sup>۲</sup> و پنت<sup>۳</sup> در سال ۲۰۰۵ بر روی پوست درخت اکالیپتوس انجام شد، میزان حذف ۴۵ میلی‌گرم بر گرم از کروم شش ظرفیتی در محلولی با غلظت اولیه ۲۵۰ میلی‌گرم در لیتر و pH برابر ۲ را نشان داده است [۱۵]. سیاح‌زاده در سال ۱۳۸۱ با استفاده از کربن‌های تهیه شده از هسته خرما و چوب صنوبر به حذف کروم شش ظرفیتی از محیط آبی معادل ۹۱ درصد غلظت اولیه در pH بهینه ۲ دست یافت [۱۶].

چان<sup>۴</sup> و همکاران در سال ۲۰۰۸ جذب رنگهای اسیدی را با استفاده از کربن فعال تهیه شده از چوب بامبو بررسی نمودند [۱۷]. بسیاری از محققان در سالهای اخیر همچنان تحقیق روی کاربرد فرایند جذب و عوامل مؤثر بر آن برای حذف آلاینده‌های آلی و فلزی از محیط‌های آبی را ادامه داده‌اند [۱۸-۲۲]. کارایی این روش و هزینه‌های نسبتاً پایین آن در مقایسه با روش کلاسیک جذب با کربن فعال تجارتي همچنان این تحقیقات را به پیش می‌برد. در تحقیق حاضر با استفاده از جاذبهای ساخته شده از پوسته گردو و بادام تأثیر تعدادی از عوامل اثرگذار بر فرایند جذب، یعنی pH محلول، غلظت اولیه فلز سنگین و غلظت جاذب در محلول برای حذف یون‌های کادمیم از محلول آن مورد آزمایش قرار گرفت و نتایج آزمایش‌ها با کربن فعال دانه‌ای<sup>۵</sup> مقایسه گردید.

## ۲- مواد و روشها

در دهه‌های گذشته استفاده از جاذبهای کم هزینه و متنوع تهیه شده از زائدات محصولات کشاورزی به‌جای کربن فعال تجاری مورد توجه جدی محققان قرار گرفته است. به‌همین منظور در این تحقیق با

امروزه مشکلات ناشی از آلودگی محیط زیست به فلزات سنگین ابعاد بسیار جدی‌تری دارد. فلزات سنگین از عمومی‌ترین موادی هستند که به‌عنوان ماده خام اولیه در صنایع به کار می‌روند و پساب خروجی بسیاری از صنایع، حاوی آلاینده‌هایی از این دست می‌باشد. صنعتی شدن سریع و رشد بی‌رویه استفاده از کودها و سموم در کشاورزی، منجر به افزایش ورود فلزات سنگین از جمله فلز کادمیم به محیط زیست شده است. کادمیم در زمره فلزات سنگین به حساب آمده و ورود آن به محیط زیست انواع اثرات خطرناک و مضر را برای سلامتی جانداران به‌ویژه انسان، به دنبال دارد. این فلز به‌طور طبیعی در آبها و همراه مواد معدنی یافت می‌شود. بیشترین مصرف کادمیم در صنایع آبکاری، انواع لحیم مورد استفاده در صنایع الکترونیکی و آلیاژهای حاوی کادمیم است. کادمیم از طریق غذا، آب و هوای آلوده به بدن انسان وارد شده و جذب می‌گردد. با توجه به خاصیت تجمعی فلزات سنگین، با ورود این فلزات به بدن موجودات، غلظت آنها در بدن جانوران افزایش یافته و مشکل آفرین می‌شود. تاکنون نقش فلز کادمیم در ایجاد کم خونی و سرطان‌های پروستات و ریه به اثبات رسیده است [۱].

علی‌رغم تمامی قوانین و مقرراتی که به‌منظور حفظ منابع آب از آلوده شدن به انواع آلاینده‌ها به ویژه فلزات سنگین وضع گردیده است، عدم نظارت و حساسیت کافی در اجرای این ضوابط سبب شده تا آلودگی آب به آلاینده‌های فلزی روندی روبه رشد داشته باشد. از این رو حذف فلزات سنگین از منابع آبی امری ضروری به نظر می‌رسد. روشهای متعدد شیمیایی، فیزیکی و بیولوژیکی به منظور حذف فلزات سنگین از پیکره‌های آبی وجود دارد. یکی از روشهای متداول حذف فلزات سنگین از پیکره‌های آبی، استفاده از جاذبها است [۱]. تاریخچه مطالعه و کاربرد جاذبها در تصفیه آب و فاضلاب سابقه طولانی دارد به‌طوری که استفاده از جاذبها در واحدهای تصفیه در آمریکا به سال ۱۸۸۳ باز می‌گردد [۲]. در سال ۱۹۲۰ در شیکاگو به‌منظور کنترل بوی ناشی از کلروفنل از جاذب کربن فعال به‌صورت پودری استفاده شد [۱]. استفاده از مواد طبیعی که توانایی جذب آلاینده‌هایی نظیر فلزات سنگین را دارند در دهه‌های اخیر بسیار مورد توجه قرار گرفته است. از جمله این مواد می‌توان به انواع رسها، زئولیت‌های طبیعی، خاکستر فرار، خاک اره، پوست درختان کاج و گردو، پوسته برنج، کاه و پوشال گندم، پوسته سخت نارگیل، گردو، فندق و بلوط، هسته‌های هلو، زردآلو، خرما و دانه‌های انگور، پوست خرچنگ و زائدات برگ چای اشاره کرد [۳-۱۲].

در این میان محدوده وسیعی از کربن‌های فعال نیز به‌عنوان جاذب مورد استفاده قرار گرفته است و بخشی عظیمی از مطالعات

<sup>1</sup> Masri et al.

<sup>2</sup> Sarin

<sup>3</sup> Pant

<sup>4</sup> Chan

<sup>5</sup> Granular Activated Carbon (GAC)

استفاده از کربن تهیه شده از پوسته سخت گردو<sup>۱</sup> و بادام<sup>۲</sup> نسبت به حذف فلز سنگین کادمیم از محلولهای آبی آلوده به آن اقدام شد. علاوه بر بررسی میزان جذب کادمیم توسط کربن‌های تهیه شده، میزان جذب آن توسط کربن فعال دانه‌ای با کیفیت آزمایشگاهی یعنی GAC محصول شرکت مرک<sup>۳</sup> آلمان، که در این تحقیق با نام اختصاری ACL<sup>۴</sup> نام برده می‌شود، نیز مقایسه گردید.

برای تهیه کربن از پوسته گردو و بادام در ابتدا هر یک از مواد خرد شده و در داخل یک زانویی فلزی قابل انسداد با درپوش به صورت فشرده قرار داده شد. زانویی درون محفظه فلزی قرار گرفته و حجم باقیمانده محفظه توسط ماسه ریزدانه به صورت کاملاً متراکم پر گردید. محفظه فلزی به مدت یک ساعت در کوره و در دمای ۷۰۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شد و پس از گذشت این مدت با خنک کردن آن در هوای آزاد، محتویات محفظه فلزی و زانویی تخلیه گردید. کربن حاصل پس از خرد کردن با هاون چینی توسط الکهای مش ۲۰ و ۱۰۰ الک گردید تا اندازه قطر دانه‌های کربن در محدوده ۰/۱۵ - ۰/۸۵ میلی‌متر قرار گیرد [۸]. برای ایجاد شرایط یکسان مقایسه میزان جذب، دانه‌های GAC نیز توسط هاون چینی خرد و توسط الکهای مش ۲۰ و ۱۰۰ الک گردید تا قطر دانه‌های کربن فعال در محدوده ۰/۱۵ - ۰/۸۵ میلی‌متر قرار گیرد.

تعیین سطح ویژه کربن‌های مورد استفاده با ایزوترم جذب نیتروژن توسط یک دستگاه میکرومتری ۲۳۷۵ Gemini و با استفاده از روش BET انجام شد. به این ترتیب مشخصه‌های کربن‌های مورد استفاده تعیین گردید و در جدول ۱ ارائه شد. همچنین برای تعیین ساختار ملکولی جاذبها، آزمایش تفرق اشعه ایکس<sup>۵</sup> با دستگاه فیلیپس<sup>۷</sup> مدل PW ۳۷۱۰ به انجام رسید. نتیجه آزمایش که در شکل ۱ نشان داده شده است، نشان می‌دهد که هیچ یک از کربن‌ها دارای ساختار کریستالی نبوده و حالت ملکولی آمورف دارند.

برای تهیه نمونه‌های آب آلوده به فلز کادمیم از محلول استوک ۱۰۰۰ ppm کادمیم، محصول شرکت مرک آلمان و آب مقطر استفاده شد. برای تعیین غلظت کادمیم در نمونه‌ها از دستگاه جذب اتمی<sup>۸</sup> استفاده گردید.

با توجه به اهداف در نظر گرفته شده، آزمایش‌های متعددی به منظور بررسی اثر غلظت اولیه آلاینده، یافتن غلظت بهینه جاذب و

pH بهینه انجام شد. به منظور تعیین میزان غلظت بهینه جاذب، آزمایش‌ها بر روی محلول با غلظت اولیه ۲ ppm، pH اولیه معادل ۶ و جاذب با غلظتهای ۰/۵، ۱، ۱/۵، ۲ و ۲/۵ گرم بر لیتر، بر روی هر سه نوع جاذب انجام گردید. با تعیین میزان غلظت بهینه جاذب، آزمایش‌ها به منظور یافتن pH بهینه ادامه یافت و pH بهینه در محلول کادمیم با غلظت اولیه ۲ ppm و غلظت بهینه جاذب، برای هر سه نوع جاذب به دست آمد. در مرحله بعدی با استفاده از pH بهینه تعیین شده، آزمایش‌ها با محلول کادمیم با غلظتهای اولیه ۲، ۴، ۸ و ۱۰ ppm و جاذب در غلظتهای ۰/۵، ۱، ۱/۵، ۲ و ۲/۵ گرم در لیتر، بر روی هر سه نوع جاذب، انجام شد و میزان جذب کادمیم در هر حالت به دست آمد. پس از افزودن جاذب به محلولها باید آنها را در شرایط یکسان هم‌زد. برای این منظور از دستگاه جار تست<sup>۹</sup> مدل هج<sup>۱۰</sup> استفاده شد و بشرها به مدت دو ساعت در این دستگاه در سرعت ۱۲۰ دور بر دقیقه پره‌ها، قرار داده شدند. آزمایش‌ها در غلظت اولیه کادمیم برابر ۴ ppm، pH بهینه و جاذب با غلظتهای ۰/۵، ۱، ۱/۵، ۲ و ۲/۵ گرم در لیتر، بر روی نمونه‌های ساخته شده با آب شهری نیز انجام شد و نتایج آن با محلولهای ساخته شده از آب مقطر مقایسه گردید.

جدول ۱- مشخصات جاذبهای مورد استفاده

اندازه ذرات (mm)	رطوبت (درصد)	دانسیته (gr/cm <sup>3</sup> )	سطح ویژه (m <sup>2</sup> /gr)	نوع کربن
۰/۱۵-۰/۸۵	۱/۷	۱/۷۲۵۶	۱۴/۴۹	زغال پوسته بادام
۰/۱۵-۰/۸۵	۱/۷	۱/۷۳۱۴	۶/۱۸۲۷	زغال پوسته گردو
۰/۱۵-۰/۸۵	۲/۱	۲/۱۰۶۰	۸۹۱/۱۷۴۵	کربن فعال آزمایشگاهی

### ۳- نتایج و بحث

نتایج آزمایش‌ها بیانگر بیشترین میزان حذف کادمیم در pH نهایی محلول در محدوده ۶/۵ تا ۷ می‌باشد. مقایسه حذف کادمیم در pH اولیه متفاوت، غلظت اولیه کادمیم برابر با ۲ ppm و غلظت بهینه جاذب برابر با ۲ گرم در لیتر برای کربن فعال آزمایشگاهی ساخته شده از پوسته گردو و ۲/۵ گرم در لیتر برای کربن ساخته شده از پوسته بادام را نشان داد. چنانچه برای جاذبهای پوسته کربن و بادام pH اولیه ۶/۴ و برای کربن فعال آزمایشگاهی pH اولیه ۶/۲ تنظیم گردد، بیشترین میزان حذف کادمیم به دست می‌آید (شکل ۲).

<sup>1</sup> Walnut Shell Charcoal (WSC)

<sup>2</sup> Almond Shell Charcoal (ASC)

<sup>3</sup> Merck

<sup>4</sup> Laboratory Grade Activated Carbon (ACL)

<sup>5</sup> Surface Area

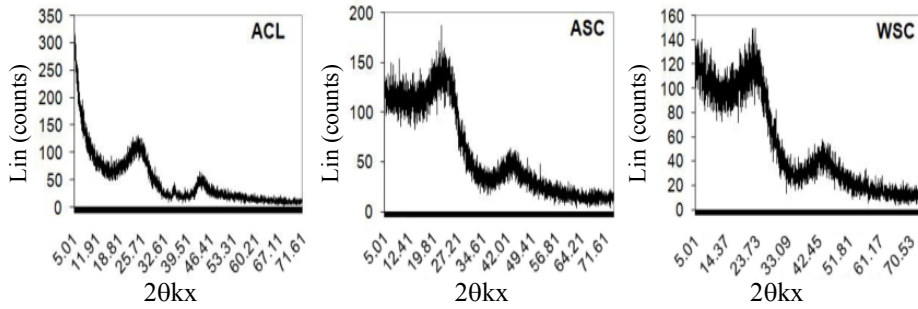
<sup>6</sup> X-ray Diffraction

<sup>7</sup> Philips

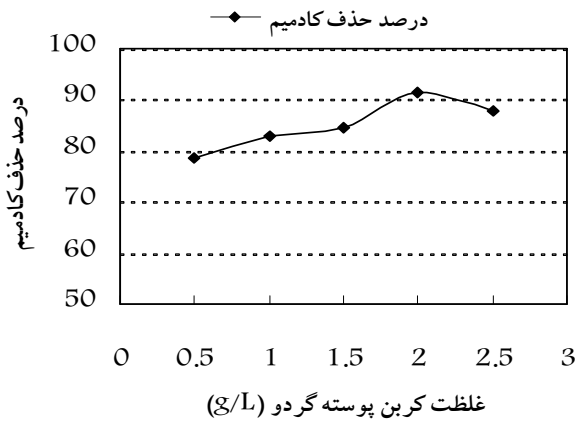
<sup>8</sup> Buck Scientific 210 VPG Model

<sup>9</sup> Jar Test

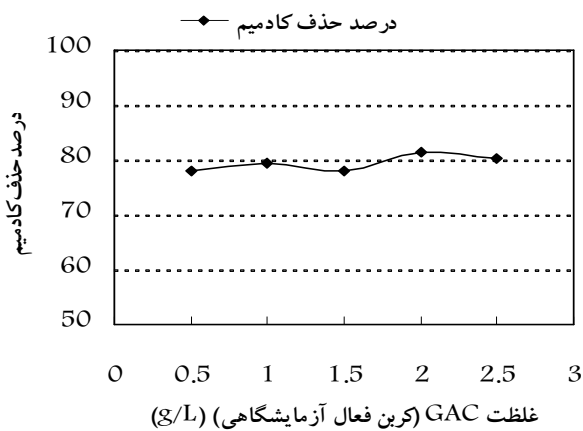
<sup>10</sup> HACH



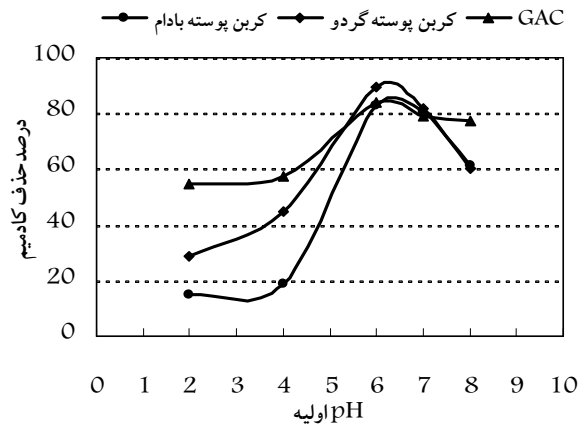
شکل ۱- نتیجه آزمایش XRD برای نمونه های کربن پوسته بادام (ASC)، پوسته گردو (WSC) و کربن فعال گرانوله آزمایشگاهی (ACL)



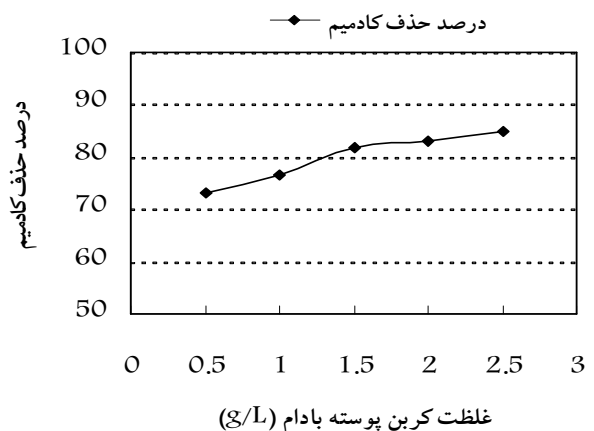
شکل ۴- اثر غلظت کربن پوسته گردو بر میزان حذف کادمیم در غلظت اولیه ۴ ppm فلز



شکل ۵- اثر غلظت کربن فعال آزمایشگاهی (GAC) بر میزان حذف کادمیم در غلظت اولیه ۴ ppm فلز



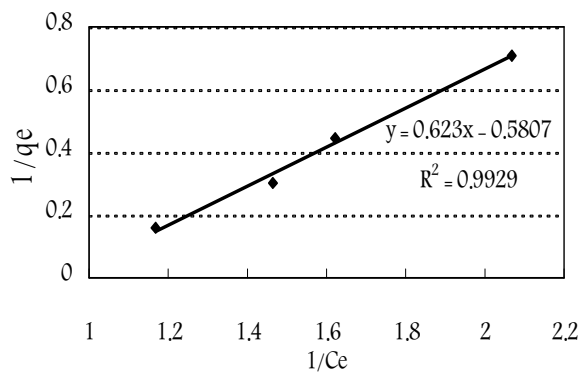
شکل ۲- مقایسه حذف کادمیم توسط جاذب های تهیه شده، در pH های مختلف محلول



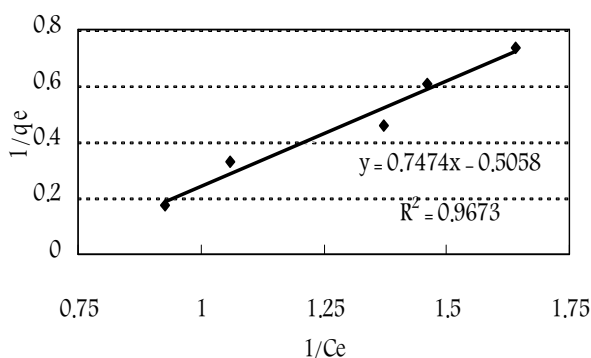
شکل ۳- اثر غلظت کربن پوسته بادام بر میزان حذف کادمیم در غلظت اولیه ۴ ppm فلز

آزمایشگاهی ۲ گرم در لیتر و برای کربن پوسته بادام ۲/۵ گرم در لیتر است. شکل های ۳ تا ۵ اثر غلظت جاذب بر حذف کادمیم با غلظت اولیه ۴ ppm در pH بهینه بر روی هر سه نوع جاذب را نشان می دهد. همچنین در آزمایش های انجام شده بیشترین میزان حذف در غلظت اولیه کادمیم ۴ ppm به دست آمد. غلظت های اولیه بیش از

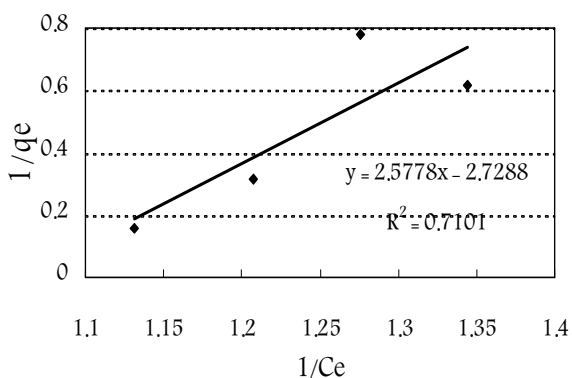
نتایج به دست آمده از آزمایش های صورت گرفته با غلظت های اولیه متفاوت کادمیم و همچنین غلظت های متفاوت جاذب نشان می دهد که با افزایش غلظت جاذب تا یک مقدار بهینه، میزان جذب یون محلول کادمیم افزایش یافته و پس از آن، میزان جذب کاهش می یابد. میزان غلظت بهینه جاذب های کربن پوسته گردو و کربن فعال



شکل ۸- ایزوترم لانگمیر برای جذب سطحی کادمیم توسط کربن پوسته گردو در غلظت اولیه ۴ppm



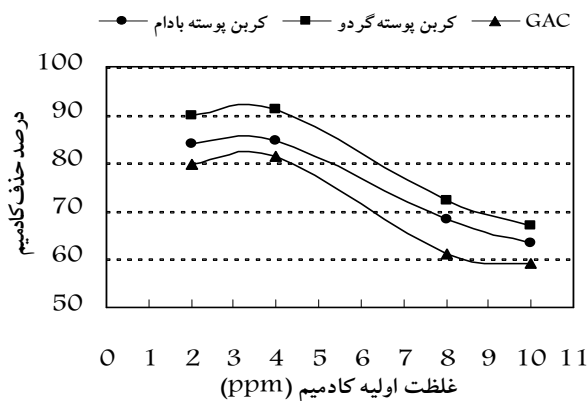
شکل ۹- ایزوترم لانگمیر برای جذب سطحی کادمیم توسط کربن پوسته بادام در غلظت اولیه ۴ppm



شکل ۱۰- ایزوترم لانگمیر برای جذب سطحی کادمیم توسط کربن فعال در غلظت اولیه ۴ppm

#### ۴- نتیجه گیری

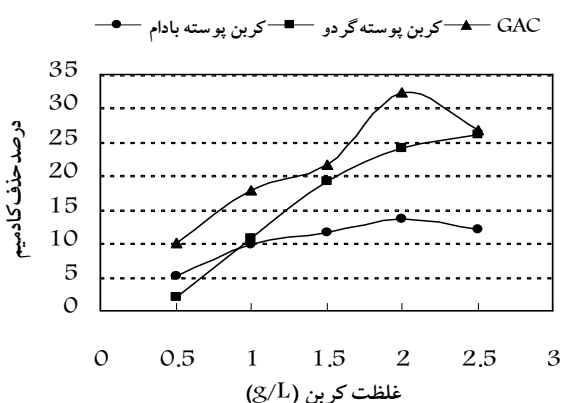
نتایج آزمایش‌ها بیانگر این نکته می‌باشد که جذب یون محلول کادمیم به میزان قابل توجهی به pH نهایی محلول بستگی دارد. pH بهینه برای هر سه نوع جاذب در حدود ۶/۵ تا ۷ به دست آمد. همچنین بازدهی حذف یون محلول کادمیم به غلظت جاذب و



شکل ۶- مقایسه حداکثر راندمان حذف کادمیم توسط جاذبهای تهیه شده، در غلظتهای اولیه یکسان از فلز

این مقدار کاهش حذف یون محلول کادمیم را نشان می‌دهد (شکل ۶). بیشترین میزان حذف کادمیم نیز به میزان ۹۱ درصد با استفاده از کربن پوسته گردو با غلظت ۲ گرم در لیتر در غلظت اولیه کادمیم ۴ppm به دست آمد. علی‌رغم نتایج مطلوب در حذف کادمیم در نمونه‌های ساخته شده از آب مقطر، نمونه‌های اسپایک<sup>۱</sup> شده (از قبل آلوده شده) آب شهر نتایج امیدوار کننده‌ای را نشان نمی‌دهد. به طوری که بیشترین میزان حذف با استفاده از کربن فعال آزمایشگاهی به میزان ۳۲ درصد به دست آمد. دلیل این امر را احتمالاً در وجود برخی آنیون‌ها و کاتیون‌های حاضر در آب شهر می‌توان جستجو کرد که در رقابت با کادمیم موفق‌تر عمل کرده و جذب بیشتری داشته‌اند و همین امر موجب کاهش محسوسی در میزان حذف کادمیم شده است (شکل ۷).

شکل‌های ۸ تا ۱۰ به خوبی میزان انطباق جذب یون محلول کادمیم از ایزوترم لانگمیر برای کربن‌های ساخته شده از پوسته بادام و گردو در غلظت اولیه ۴ppm را نشان می‌دهد.



شکل ۷- مقایسه کربن‌های تهیه شده بر میزان حذف کادمیم از نمونه اسپایک شده آب شهر

<sup>1</sup> Spike

غلظت اولیه یون کادمیم در محلول بستگی دارد. بهترین راندمان حذف زمانی اتفاق می افتد که غلظت جاذب ۲ تا ۲/۵ گرم بر لیتر باشد. همچنین غلظتهای اولیه کمتر تا حدود ۴ میلی گرم در لیتر نیز منجر به بیشترین عملکرد حذف کادمیم خواهد شد. تا یک مقدار بهینه برای غلظتهای اولیه ذکر شده، بازدهی حذف افزایش یافته و

پس از آن، میزان حذف کاهش می یابد. به طور نمونه زمانی که غلظت اولیه یون کادمیم در محلول، ۴ میلی گرم در لیتر باشد، راندمان حذف کادمیم توسط کربن های پوسته گردو، پوسته بادام و GAC به ترتیب ۹۱، ۸۵ و ۸۱ درصد خواهد بود.

## ۵- مراجع

- 1- Botkin, D., and Keller, E. (1995). *Environmental science*, John Wiley and Sons, New York.
  - 2- Dabrowski, A. (1999). Adsorption and its applications in industry and enviromntal protection: Vol. 2: *applications in environmental protection*, Elsevier Science, New York.
  - 3- Mohan, D., Gupta, V.K., Srivastava, S.K., and Chader, S. (2001). "Kinetics of mercury adsorption from wastewater using activated carbon derived from fertilizer waste." *J. Colloids and Surfaces*, 177, 169-181.
  - 4- Ricou-Hoeffler, P., Lecuyer, I., and Lecloirec, P. (2001) "Experimental design methodology applied to adsorption of metallic ions on to fly ash." *J. of Water Research*, 35(4), 965-976.
  - 5- Kadirvelu, K., Thamaraiselvi, K., and Namasivayam, C. (2001) "Adsorption of Nickel(II) from aqueous solution on to activated carbon prepared from coirpith." *Separation and Purification Technology*, 24(3), 497-505.
  - 6- Ajmal, M., Rao, R.A.K., Ahmad, R., Ahmad, J., and Rao, L.A.K. (2001). "Removal and recovery of heavy metals from electroplating wastewater by using Kyanite as an adsorbent." *J. of Hazardous Materials*, 87(1-3), 127-137.
  - 7- Rajeshwarisivaraj, Sivakumar, S., Senthilkumar, P., and Subburam, V. (2001). "Carbon from cassava peel, an agricultural waste, as an adsorbent in the removal of dyes and metal ions from aqueous solution." *Bioresource Technology*, 80(3), 233-235.
  - 8- El-Hendawy, A.N.A., Samra, S.E., and Gigis, B.S. (2001). "Adsorption characteristics of activated carbons obtained from corncobs." *Colloids and Surfaces*, 180(3), 209-221.
  - 9- Senthilkumaar, S., Baharathi, S., Nithyanandhi, R., and Subburam, V. (2000). "Bio sorption of toxic heavy metals from aqueous solutions." *Bioresource Technology*, 75 (2), 163-165.
  - 10- Vaughan, T., Seo, C.W., and Marshal, W.E. (2001). "Removal of selected metal ions from aqueous solution using modified corncobs." *Bioresource Technology*, 78(2), 133-139.
  - 11- An, H.K., Park, B.Y., and Kim, D.S. (2001). "Crab shell for the removal of heavy metals from aqueous solution." *J. of Water Research*, 35(15), 3551-3556.
  - 12- Al-Asheh, S., Banat, F., Al-Omari, R., and Duvnjak, Z. (2000). "Predictions of binary sorption isotherms for the sorption of heavy metals by pine bark using single isotherm data." *Chemosphere*, 41 (5), 659-665.
  - 13- Kim, J.W., Sohn, M.H., Kim, D.S., Sohn, S.M., and Kwon, Y.S.(2001b) "Production of granular activated carbon from waste walnut shell and its adsorption characteristics for Cu<sup>2+</sup> ion." *J. of Hazardous Materials*, 85(3), 301-315.
  - 14- Masri, M.S., Reuter, F.W., and Friedman, M. (1974). "Binding of metal cations by natural substances." *Applied Polymer Science*, 18 (3), 675-681.
  - 15- Sarin, V., Pant, K.K. (2005). "Removal of chromium from industrial waste by using eucalyptus bark." *Bioresource Technology*, 97 (1), 15-20.
- ۱۶- سیاح زاده، ا. (۱۳۸۱). "مقایسه جاذبهای طبیعی در حذف فلزات سنگین از پساب های صنعتی." پایان نامه کارشناسی

ارشد، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران.

- 17- Chan, L.S., Cheung, W.H., and McKay, G. (2008). "Adsorption of acid dyes by bamboo derived activated carbon." *Desalination*, 218 (1-3), 304-312.
- 18- Montes, S., Montes-Atenas, G., Salomo, F., Valero, E., and Diaz, O.(2006). "On the adsorption mechanisms of copper ions over modified biomass." *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 76, 171-178.
- 19- Shakirullah, H.R., Ahmad, M., Shah, I., and Hameedullah, S. (2006). "Sorption studies of Nickel ions on to sawdust of dalbergia sissoo." *J. of the Chinese Chemical Society*, 53, 1045-1052.
- 20- Schreiber, B., Schmalz, V., Brinkmann, T., and Worch, E. (2007). "The effect of water temperature on the adsorption equilibrium of dissolved organic matter and atrazine on granular activated carbon." *Environmental Science and Technology*, 41 (18), 6448-6453.
- 21- Deepatana, A., and Valix, A. M. (2008). "Comparative adsorption isotherms and modeling of Nickel and Cobalt citrate complexes onto chelating resins." *Desalination*, 218 (1-3), 334-342.
- 22- Mohan, S., and Sumitha, K. (2008). "Removal of Cu (II) by adsorption using casuarina equisetifolia bark." *Environmental Engineering Science*, 25(4), 497-506.