

بهینه‌سازی تولید کربن فعال از پوست بادام در جذب آلاینده‌های محلول نفتی

امیرحسین سیاح‌زاده^۱ حسین گنجی‌دوست^۲ بیبا آیتی^۳

(دریافت ۹۱/۶/۲۸ پذیرش ۹۲/۳/۵)

چکیده

کربن فعال محصول ارزشمندی است که کاربردهای محیط زیستی و صنعتی بسیاری دارد و لذا تولید آن از مواد زائد کم ارزش، یک اقدام اقتصادی- محیط‌زیستی محسوب می‌شود. با توجه به تعدد عوامل مؤثر بر خواص جذبی کربن فعال تولیدی، به‌منظور شناخت عوامل اصلی تأثیرگذار و بهینه‌سازی فرایند تولید کربن فعال، از طراحی آزمایش به روش تاگوچی استفاده شد. بر اساس تحلیل نتایج در این روش، نسبت آغشتگی و عامل فعال‌ساز در مقایسه با سایر عوامل، به ترتیب بیشترین تأثیر را بر عدد یدی کربن فعال پوست بادام داشتند. در این تحقیق با بهینه‌سازی فرایند فعال‌سازی شیمیایی پوست بادام درختی، کربن فعال با عدد یدی ۱۳۳۱ میلی‌گرم بر گرم تولید شد. آزمایش‌های جذب نشان داد که سینتیک جذب هیدروکربن‌های محلول نفتی روی کربن فعال پوست بادام از واکنش مرتبه دوم تبعیت کرده و نزدیک به ۹۵ درصد جذب طی ۳۰ دقیقه اول اتفاق افتاده است. همچنین داده‌های ایزوترم جذب از مدل ایزوترم فروندلیچ به خوبی تبعیت کردند.

واژه‌های کلیدی: کربن فعال، فعال‌سازی شیمیایی، هیدروکربن‌های نفتی، جذب سطحی، پوست بادام

Optimization of Activated Carbon Production from Almond Shell for Adsorption of Soluble Oil Contaminants

A. H. Sayyahzadeh¹

H. Ganjidoost²

B. Ayati³

(Received Sep. 18, 2012 Accepted May 22, 2013)

Abstract

Activated carbon is a valuable product that has many industrial and environmental applications and therefore its production from cheap wastes, is an economic-environmental action. According to the multiplicity of factors that affect adsorption properties of produced activated carbon, the design of experiments via Taguchi method was used to identify the main factors and optimization of activated carbon production. Based on the results, the impregnation ratio and activating reagent have the greatest impact on iodine number of almond shell activated carbon compared to other factors. In this study, activated carbon was produced with iodine number equal to 1331 mg/g, by optimization of chemical activation almond shell. Adsorption experiments showed that adsorption kinetics of dissolved petroleum hydrocarbons on activated carbon derived has followed from second-order reaction. Near to 95% of adsorption was happened during the first 30 minutes of process. Also the adsorption isotherm data were well followed from Freundlich isotherm model.

Keywords: Activated Carbon, Chemical Activation, Petroleum Hydrocarbons, Adsorption, Almond Shell.

1. PhD Student of Civil and Environmental Eng., Tarbiat Modares University, Tehran
2. Prof., Dept. of Civil and Environmental Eng., Tarbiat Modares University, Tehran (Corresponding Author) (+98 21) 82883332 h-ganji@modares.ac.ir
3. Assoc. Prof., Dept. of Civil and Environmental Eng., Tarbiat Modares University, Tehran

- ۱- دانشجوی دکتری مهندسی عمران- محیط زیست، دانشگاه تربیت مدرس، تهران
- ۲- استاد، دانشکده مهندسی عمران و محیط زیست، دانشگاه تربیت مدرس، تهران (نویسنده مسئول) ۸۲۸۸۳۳۳۲ (۲۱) h-ganji@modares.ac.ir
- ۳- دانشیار، دانشکده مهندسی عمران و محیط زیست، دانشگاه تربیت مدرس، تهران

روش فیزیکی، فعالسازی کربن از طریق قرار گرفتن کربن در معرض جریان یک گاز فعال کننده (معمولاً بخار آب یا دی‌اکسید کربن) در دماهای بالا (۶۰۰ تا ۱۱۰۰ درجه سلسیوس) صورت می‌گیرد [۱۳، ۱۴ و ۱۷]. در حالی که در روش شیمیایی، فعالسازی کربن از طریق آغشته‌سازی کربن با یک ماده شیمیایی فعالساز (مانند اسید فسفریک یا کلرید روی) انجام می‌پذیرد. از آنجا که در روش شیمیایی، فعالسازی کربن در دماهای به مراتب پایین‌تری اتفاق می‌افتد و انرژی کمتری مصرف می‌شود، در تحقیق حاضر نیز، این روش مورد بررسی قرار گرفت [۱۶].

گزارش تحقیقات انجام شده نشان می‌دهد که در روش فعالسازی شیمیایی، عوامل متعددی از جمله نوع ماده اولیه به‌کار رفته، اندازه ذرات ماده اولیه، عامل شیمیایی فعالساز، نسبت آغستگی (نسبت عامل فعالساز به ماده خام اولیه)، مدت زمان غوطه‌وری ماده خام در محلول عامل فعالساز (زمان خیساندن)، درجه حرارت و مدت زمان مرحله فعالسازی، بر خواص سطحی و جذبی کربن فعال حاصل اثر می‌گذارند. این عوامل در مطالعات قبلی، یا اصلاً مورد بررسی قرار نگرفته‌اند و کربن فعال در شرایط خاصی تولید شده و یا بررسی انجام شده فقط محدود به یک تا سه عامل بوده است [۸، ۹، ۱۰، ۱۳، ۱۹، ۲۷ و ۳۰].

هدف اصلی این تحقیق، بهینه‌سازی خواص سطحی و جذبی کربن فعال پوست بادام بود که پس از بررسی نحوه تأثیر عوامل مذکور بر خواص سطحی و جذبی کربن و شناسایی سطوح بهینه هر یک از این عوامل، بهینه‌سازی مورد نظر به‌دست آمد. سپس عملکرد کربن فعال حاصل در جذب هیدروکربن‌های نفتی محلول در آب بررسی شد. در این تحقیق، عدد یدی به‌عنوان معیار تعیین‌کننده مساحت سطحی و قابلیت جذبی کربن فعال اندازه‌گیری شد [۶، ۱۴ و ۱۵]. عدد یدی مقدار ید جذب شده بر حسب میلی‌گرم توسط یک گرم کربن فعال است [۱۵].

۲- مواد و روشها

پوست بادام درختی مورد استفاده پس از شستشو توسط آب شهر، به مدت ۲۴ ساعت تحت دمای ۱۰۵ درجه سلسیوس، در آون خشک و سپس در آسیاب خرد شد و در نهایت توسط الک‌های با مش ۳ تا ۷ در چهار گروه مختلف دانه‌بندی ۴/۷۶ تا ۶/۷۳ میلی‌متر، ۴/۰۰ تا ۴/۷۶ میلی‌متر، ۳/۳۶ تا ۴/۰۰ میلی‌متر و ۲/۸۳ تا ۳/۳۶ میلی‌متر غربال شد.

بر اساس نتایج برخی از تحقیقات انجام شده، از محلول‌های اسید فسفریک، کلرید روی، اسید سولفوریک، کربنات پتاسیم، کربنات سدیم، هیدروکسید سدیم، اسید استیک و اسید نیتریک

بازیافت، یکی از اساسی‌ترین اصول حاکم بر مدیریت مواد زائد جامد در مهندسی محیط زیست است. بخشی از مواد زائد جامد تولیدی را مواد زائد باغبانی تشکیل می‌دهد که با توجه به وجود بیش از دو و نیم میلیون هکتار سطح زیر کشت محصولات باغی، مواد زائد باغبانی قابل توجهی در کشور تولید می‌شود [۱]. به‌طور نمونه میزان تولید سالانه بادام درختی در کشور طی سال‌های ۱۳۷۲، ۱۳۸۲ و ۱۳۸۷ به ترتیب ۳۹۴۸۰، ۶۶۹۵۰ و ۱۲۶۶۷۹ تن گزارش شده که یک روند افزایشی را نشان می‌دهد [۱]. با توجه به اینکه حدود ۸۰ درصد از این محصول را پوست سخت آن تشکیل می‌دهد، می‌توان پیش‌بینی نمود که در حال حاضر فقط از همین یک نوع محصول، سالانه حدود ۷۰ هزار تن مواد زائد در کشور تولید می‌شود.

با توجه به تنوع و فراوانی این‌گونه محصولات باغبانی و در نتیجه فراوانی مواد زائد حاصل، تحقیق و مطالعه بر روی بازیافت این‌گونه مواد، امری ضروری و درخور توجه است. تحقیقات نشان داده که برخی مواد زائد باغبانی نظیر پوست گردو، پوست بادام و پوست فندق به دلیل داشتن مواد لیگنوسلولزی، قابلیت مناسبی در تولید کربن فعال دارند [۲، ۳ و ۴]. از سوی دیگر، کربن فعال محصول ارزشمندی است که علاوه بر کاربردهای محیط‌زیستی متعدد نظیر استفاده در واحدهای عملیاتی و فرایندی جذب سطحی در تصفیه‌خانه‌های آب و فاضلاب و دستگاههای حذف و جداسازی آلاینده‌های گازی، کاربردهای صنعتی بسیاری نیز دارد که از جمله آنها، استفاده در صنایع مختلف نفت، گاز و پتروشیمی است [۲]. بنابراین تولید کربن فعال از مواد زائد باغبانی، علاوه بر تولید ارزان‌قیمت این فراورده و تأمین بسیاری از نیازهای صنعتی و محیط‌زیستی، باعث کاهش حجم مواد زائد جامد تولیدی نیز می‌شود. این اقدام اقتصادی- محیط‌زیستی، می‌تواند گامی مؤثر در جهت نیل به توسعه پایدار باشد.

بر همین اساس طی سه دهه گذشته، در زمینه تولید کربن فعال از مواد زائد کم ارزش، تحقیقات متعددی صورت گرفته است. در این تحقیقات برای تهیه کربن فعال علاوه بر زغال سنگ از مواد زائد نظیر چوب درخت، خاک اره، پوست گردو، پوست بادام، پوست نارگیل، پوست فندق، هسته زردآلو، گیلاس، هسته زیتون، هسته خرما و هسته هلو، تفاله نیشکر، ساقه پنبه، ساقه درخت انگور، ساقه برنج، پوست نخل، چوب خیزران، چوب بید، دانه‌های انگور، دانه انار آب گرفته شده، زائادات چای و بیومس نیز استفاده شده است [۲۹-۵].

به‌طور کلی روشهای فعالسازی کربن در تحقیقات انجام شده را می‌توان به دو گروه فعالسازی فیزیکی و شیمیایی تقسیم نمود. در

به عنوان عوامل شیمیایی فعالساز استفاده شد [۹، ۱۲، ۱۹ و ۲۸]. همه مواد شیمیایی مذکور از نوع آزمایشگاهی و محصول شرکت مرک^۱ بودند. گاز وئیل مورد استفاده در پساب سنتزی نیز از جایگاههای توزیع سوخت داخل تهیه شده بود.

۱-۲- روش طراحی آزمایش برای بهینه سازی

از آنجا که در این تحقیق، بهینه سازی خواص سطحی و جذبی کربن فعال پوست بادام درختی مد نظر بود، ابتدا بر اساس مطالعه و بررسی تحقیقات قبلی، عوامل مؤثر بر خواص سطحی و جذبی کربن، شناسایی شد و سطوح مناسب برای بررسی تأثیر هر عامل انتخاب شد (جدول ۱). برای تعیین تعداد آزمایشها و تعیین سطح هر عامل در هر یک از آزمایشها، از طراحی آزمایش به روش تاگوچی استفاده شد. در این روش، تعداد آزمایشهای لازم و شرایط انجام هر آزمایش از آرایه متعامدی به دست می آید که انتخاب این آرایه بر اساس تعداد عوامل مورد بررسی و تعداد سطوح در نظر گرفته شده برای هر عامل است.

نکته قابل ذکر اینکه برای طراحی آزمایش و نیز تجزیه و تحلیل نتایج حاصله، نرم افزار کوآلیتک - ۴^۲ مورد استفاده قرار گرفت. کوآلیتک - ۴، نرم افزار تخصصی روش طراحی آزمایش تاگوچی است که تمامی محاسبات مربوط به این روش از جمله انتخاب آرایه متعامد، آنالیز واریانس، مقدار سیگنال به نویز و غیره را انجام می دهد.

جدول ۱- عوامل مؤثر بر فرایند تولید کربن فعال و سطوح انتخاب شده

عوامل مؤثر	سطح ۱	سطح ۲	سطح ۳	سطح ۴
اندازه ذرات (میلی متر)	۲/۸۳-۳/۳۶	۳/۳۶-۴/۰۰	۴/۰۰-۴/۷۶	۴/۷۶-۶/۷۳
عامل فعالساز	اسید	کلرید	اسیدسولفوریک	کربنات
نسبت آغشتگی (درصد)	۲۵	۵۰	۱۰۰	۱۵۰
زمان خیساندن (ساعت)	۰/۵	۱	۲	۳
دمای فعالسازی (درجه سلسیوس)	۳۵۰	۵۰۰	۶۵۰	۸۰۰
زمان فعالسازی (ساعت)	۰/۵	۱	۲	۳

^۱ Merck

^۲ Qualitek-4

با توجه به وجود شش عامل و اینکه هر عامل در چهار سطح مورد بررسی قرار می گیرد، آرایه ال-۳۲، برای طراحی آزمایشها انتخاب شد. این آرایه، مبین تعداد آزمایشهای لازم و راهنمای نحوه انجام هر آزمایش خواهد بود. ترتیب انجام هر یک از ۳۲ آزمایش، به صورت تصادفی بوده و هر آزمایش حداقل سه بار انجام شد (جدول ۲).

۲-۲- روش تولید کربن فعال

روش کلی انجام آزمایشها به این صورت بود که پس از انتخاب تصادفی یکی از ۳۲ آزمایش طراحی شده در آرایه متعامد ال-۳۲ مطابق جدول ۲، بر اساس سطوح مشخص عوامل مورد بررسی، ۵۰ گرم از ذرات پوست بادام با دانه بندی مشخص در جرم مشخصی از عامل فعالساز مورد نظر (بسته به درصد نسبت آغشتگی) قرار داده شد و ارلن حاوی مخلوط ذرات پوست بادام و عامل فعالساز، به مدت مشخصی (زمان خیساندن) بر روی شیکر همزده شد. سپس ذرات پوست بادام از محلول عامل فعالساز، جدا شده و در دمای محیط خشک گردید. بعد از آن، ذرات به مدت معینی (زمان فعالسازی) در کوره، تحت جریان ثابتی از گاز نیتروژن و تحت دمای خاصی (دمای فعالسازی) قرار گرفتند و سپس کوره خاموش شد و به ذرات کربن فعال حاصله، اجازه داده شد تا به آرامی به دمای محیط برسند. این ذرات برای بررسیهای بعدی (اندازه گیری عدد یدی) در دسیکاتور محتوی سیلیکاژل نگهداری شدند. نکته قابل ذکر اینکه اندازه گیری عدد یدی بر اساس روش استاندارد حجمی تیوسولفات سدیم^۳ صورت گرفت [۱۵].

۳-۲- روش انجام فرایندهای جذب

روش کلی انجام آزمایشهای جذب به این صورت بود که ابتدا ۲۰۰ میلی لیتر از محلول پساب سنتزی درون بشر ریخته و سپس جرم معینی از جاذب در بشر حاوی پساب قرار داده شد. غلظت جاذب در تمام آزمایشهای مربوط به بررسی سینتیک جذب، ۱ گرم در لیتر و در آزمایشهای مربوط به بررسی ایزوترم جذب به ترتیب برابر ۰/۲، ۰/۵، ۱، ۱/۵، ۲ و ۳ گرم در لیتر بود. پس از تنظیم pH بر روی ۷ و افزودن جاذب، محلول توسط دستگاه جار به مدت معینی (زمان تماس) با سرعت ۱۰۰ rpm هم زده شد [۳۱]. بلافاصله پس از اتمام این مرحله، محلول برای انجام آنالیز TPH، از کاغذ صافی عبور داده شد. نکته قابل ذکر اینکه اندازه گیری TPH بر اساس روش استاندارد ASTM D 3921 انجام گرفت [۱۵].

^۳ L₃₂

^۴ ASTM D 4607-86

جدول ۲- سطوح عوامل مورد بررسی در آزمایش‌های طراحی شده و مقدار متغیر پاسخ (عدد یدی) در سه بار انجام هر آزمایش

آزمایش‌ها	اندازه ذرات	عامل فعالساز	نسبت آغشتگی	زمان خیساندن	دمای		عدد یدی (mg/g)		
					فعالسازی	فعالسازی	پاسخ ۳	پاسخ ۳	پاسخ ۳
۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۳۷۵	۴۱۰	۳۹۲
۲	۱	۲	۲	۲	۲	۲	۹۵۶	۱۰۴۲	۹۸۵
۳	۱	۳	۳	۳	۳	۳	۱۷۹	۲۱۱	۱۹۵
۴	۱	۴	۴	۴	۴	۴	۴۱۶	۴۳۸	۴۰۶
۵	۲	۱	۱	۲	۲	۲	۵۵۷	۵۳۲	۵۲۶
۶	۲	۲	۲	۱	۱	۱	۹۶۵	۹۰۸	۹۱۵
۷	۲	۳	۳	۴	۴	۴	۲۲۵	۱۹۸	۲۱۶
۸	۲	۴	۴	۳	۳	۳	۳۹۸	۳۸۱	۴۱۹
۹	۳	۱	۲	۳	۴	۱	۶۷۲	۶۸۵	۶۲۴
۱۰	۳	۲	۱	۴	۳	۲	۷۹۸	۷۸۶	۸۲۴
۱۱	۳	۳	۴	۱	۲	۳	۱۶۲	۱۸۹	۱۷۸
۱۲	۳	۴	۳	۲	۱	۴	۴۴۱	۴۰۳	۴۱۴
۱۳	۴	۱	۲	۴	۳	۳	۶۳۵	۶۷۶	۶۹۰
۱۴	۴	۲	۱	۳	۴	۴	۸۶۵	۷۸۹	۸۳۱
۱۵	۴	۳	۴	۲	۱	۱	۱۳۸	۱۵۷	۱۱۹
۱۶	۴	۴	۳	۱	۲	۲	۴۸۹	۵۰۱	۴۵۹
۱۷	۱	۱	۴	۱	۴	۲	۸۲۵	۷۹۵	۸۵۶
۱۸	۱	۲	۳	۲	۳	۱	۱۰۲۹	۱۰۶۸	۹۷۸
۱۹	۱	۳	۲	۳	۲	۴	۱۰۹	۱۴۰	۱۳۸
۲۰	۱	۴	۱	۴	۱	۳	۳۵۲	۳۹۵	۳۳۰
۲۱	۲	۱	۴	۲	۳	۴	۷۸۹	۷۷۵	۸۲۰
۲۲	۲	۲	۲	۱	۴	۳	۱۰۵۳	۹۵۲	۱۰۱۰
۲۳	۲	۳	۲	۴	۱	۲	۱۲۴	۹۸	۱۱۱
۲۴	۲	۴	۱	۳	۲	۱	۳۶۵	۳۱۱	۳۵۶
۲۵	۳	۱	۳	۳	۱	۲	۸۱۵	۷۹۴	۸۴۱
۲۶	۳	۲	۴	۴	۲	۱	۸۲۲	۸۴۵	۸۷۶
۲۷	۳	۳	۱	۱	۳	۴	۸۷	۷۵	۹۹
۲۸	۳	۴	۲	۲	۴	۳	۳۶۹	۳۹۰	۳۸۸
۲۹	۴	۱	۳	۴	۲	۴	۸۴۳	۹۱۰	۸۶۵
۳۰	۴	۲	۴	۳	۱	۳	۷۹۵	۸۴۲	۸۰۶
۳۱	۴	۳	۱	۲	۴	۲	۸۹	۶۸	۷۱
۳۲	۴	۴	۲	۱	۳	۱	۳۷۴	۳۵۹	۳۴۱

۳- نتایج و بحث

۳-۱- بررسی عوامل مؤثر بر تولید کربن فعال با استفاده از روش

تاگوچی

ابتدا با استفاده از تحلیل سیگنال به نویز^۱ تاگوچی که یک ابزار تحلیلی قدرتمند نرم‌افزار کوآلیتک-۴ است، نحوه اثرگذاری هر یک از عوامل بر عدد یدی کربن فعال‌های حاصله بررسی شد که در شکل ۱ نشان داده شده است.

۳-۱-۱- اثر اندازه ذرات

همانگونه که در شکل ۱ مشاهده می‌شود، با بزرگ‌تر شدن اندازه ذرات، تا حدودی از مقدار سیگنال به نویز عدد یدی کاسته می‌شود. این بدان معنی است که هر اندازه ذرات پوست بادام کوچک‌تر شوند، خواص سطحی و جذبی کربن فعال بهبود می‌یابد زیرا هر اندازه ذرات پوست بادام کوچک‌تر شوند، سطح تماس بیشتری با عوامل فعالساز خواهند داشت. از آنجا که تغییر اندازه ذرات باعث

^۱ S/N

از یک مقدار بهینه، توسعه و بزرگ تر شدن منافذ آنقدر ادامه می یابد که حفره های کوچک با تعداد زیاد به حفره های بزرگ تر با تعداد کم تبدیل می شوند و در نتیجه خواص جذبی کربن فعال تقلیل یابد.

۳-۱-۴- اثر زمان خیساندن

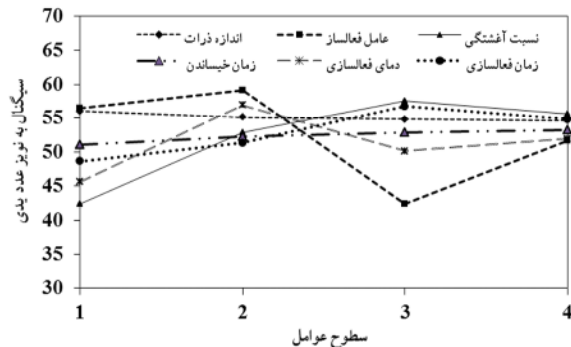
با افزایش زمان خیساندن، عامل فعالساز زمان بیشتری برای واکنش با مواد لیگنوسولوزی پوست بادام می کند و لذا به مقدار بیشتری در سطح ماده نفوذ کرده و در نتیجه واکنش دهیدراتاسیون پیشرفت بیشتری در این شرایط داشته و خواص جذبی کربن فعال بهبود می یابد [۱۴]. شکل ۱ نشان می دهد که بهبود خواص جذبی در اثر طولانی شدن زمان خیساندن، جزئی بوده و این عامل نیز جزء عوامل کم اثر است.

۳-۱-۵- اثر دمای فعالسازی

اثر دمای فعالسازی در شکل ۱ نشان می دهد که با افزایش اولیه دمای فعالسازی از ۳۵۰ به ۵۰۰ درجه سلسیوس، سیگنال به نويز عدد یدی به شدت افزایش یافته است اما با افزایش بیشتر دما تا ۶۵۰ و ۸۰۰ درجه سلسیوس، سیگنال به نويز عدد یدی کاهش یافته است. این رفتار نشان می دهد که با افزایش اولیه دما (از ۳۵۰ به ۵۰۰ درجه سلسیوس)، سرعت واکنش فعالسازی و خروج گازها و مواد فرار از ساختار کربن افزایش می یابد و در نتیجه قابلیت جذبی کربن فعال بهبود قابل ملاحظه ای پیدا می کند اما با افزایش بیشتر دما (تا ۶۵۰ و ۸۰۰ درجه سلسیوس)، دیواره بین حفرات ریز تخریب شده و این حفرات به حفرات بزرگ تری تبدیل می شوند و در نتیجه مساحت سطحی و قابلیت جذبی کربن کاهش می یابد [۱۹].

۳-۱-۶- اثر زمان فعالسازی

نتایج به دست آمده از اثر زمان فعالسازی حاکی از آن است که با افزایش زمان فعالسازی از ۰/۵ تا ۲ ساعت، قابلیت جذبی کربن فعال افزایش و سپس با افزایش این زمان به ۳ ساعت، خواص جذبی کربن کاهش یافته است. به طور مشابه با استدلال قسمت قبل، وقوع این رفتار ناشی از آن است که با افزایش محدود زمان فعالسازی، فرصت لازم برای تکمیل واکنش فعالسازی و خروج گازها و مواد فرار از ساختار کربن به وجود می آید. اما با افزایش بیشتر زمان حرارت دهی، دیواره بین حفرات ریز تخریب شده و حفرات بزرگ تری حاصل می شود که منجر به کاهش مساحت سطحی و قابلیت جذبی کربن می شود [۱۹]. از شکل ۱ می توان دریافت که بهبود خواص جذبی در اثر طولانی شدن زمان فعالسازی، جزئی بوده و این عامل نیز جزء عوامل کم اثر است.



شکل ۱- نحوه اثرگذاری هر یک از عوامل بر نسبت سیگنال به نويز عدد یدی کربن های فعال حاصله

تغییرات جزئی در عدد یدی کربن فعال می شود، این عامل را می توان جزء عوامل کم اثر در نظر گرفت.

۳-۱-۲- اثر ترکیب عامل فعالساز

ترکیبات شیمیایی فعالساز در واقع عوامل آگیری هستند که در هنگام حرارت دهی ماده اولیه آغشته شده به این ترکیبات، در واکنش های دهیدراتاسیون شرکت نموده و مانع از تشکیل قطران شده و لذا باعث ایجاد منافذ و خلل و فرج در ساختمان کربنی ماده و توسعه آن می شوند. از آنجا که عوامل اسیدی در واکنش های دهیدراتاسیون نقش کاتالیزوری دارند، برای متخلخل نمودن مواد لیگنوسولوزی عملکرد بهتری خواهند داشت.

در شکل ۱، تغییرات سیگنال به نويز عدد یدی ناشی از تغییر عامل فعالساز نشان می دهد که خواص جذبی کربن های فعال شده با کلرید روی در مقایسه با کربن های فعال شده با اسید فسفریک و اسید سولفوریک از وضعیت بهتری برخوردار است، زیرا کلرید روی در مقایسه با این مواد، خاصیت اسیدی ضعیف تری دارد و موجب شده خواص جذبی مناسب تری بر روی پوست بادام درختی به وجود آید. لذا برای انتخاب عامل فعالساز شیمیایی بهینه برای هر ماده، باید عوامل فعالساز شیمیایی متنوعی مورد مطالعه و آزمایش قرار گیرند.

۳-۱-۳- اثر نسبت آغشتگی

نتایج به دست آمده از تغییر نسبت آغشتگی در شکل ۱ بیان می دارد که با بیشتر شدن نسبت آغشتگی و در نتیجه تماس بیشتر عامل فعالساز، واکنش های دهیدراتاسیون پیشرفت بیشتری نموده و لذا بهبود فزاینده ای در خواص جذبی کربن فعال حاصل به وجود خواهد آمد.

البته کاهش عدد یدی ناشی از افزایش نسبت آغشتگی از ۱۰۰ به ۱۵۰ درصد، مبین آن است که با افزایش بیشتر نسبت آغشتگی

۳-۱-۷- سطح بهینه و میزان تأثیر هر عامل

نظر به اینکه در این تحقیق هدف، دستیابی به کربن فعالی با بیشترین خواص سطحی و قابلیت جذب بود، پس سطحی از هر عامل که منجر به بیشترین مقدار عدد یدی شود، عامل بهینه محسوب می‌شود. با توجه به شکل ۱، سطح بهینه برای هر عامل به شرح جدول ۳ انتخاب شد.

جدول ۳- سطوح بهینه عوامل مورد بررسی در آزمایش‌ها

عامل مورد مطالعه	سطح بهینه	مقدار در سطح بهینه
اندازه ذرات (میلی‌متر)	۱	۲/۸۳-۳/۳۶
عامل فعالساز	۲	کلرید روی
نسبت آغشتگی (درصد)	۳	۱۰۰
زمان خیساندن (ساعت)	۴	۳
دمای فعالسازی (درجه سلسیوس)	۲	۵۰۰
زمان فعالسازی (ساعت)	۳	۲

مقدار عدد یدی که توسط نرم‌افزار کوآلیتک ۴- به ازای سطوح بهینه پیش‌بینی شد، برابر ۱۳۵۶ میلی‌گرم بر گرم بود که با سه بار انجام آزمایش تحت شرایط سطوح بهینه، مقدار میانگین عدد یدی کربن فعال‌های حاصل، برابر ۱۲۸۳ میلی‌گرم در لیتر به‌دست آمد که این اختلاف بین دو مقدار به‌دست آمده برای عدد یدی، ناشی از خطاهای اندازه‌گیری و در سطح اطمینان ۹۰ درصد قابل قبول است.

بر اساس نتایج تحلیل واریانس^۱، میزان تأثیرگذاری هر یک از عوامل مورد مطالعه در تغییر عدد یدی کربن فعال‌های حاصل در جدول ۴ ارائه شده است.

با توجه به آخرین ستون جدول ۴، نسبت آغشتگی و عامل فعالساز در مقایسه با سایر عوامل دیگر، به ترتیب بیشترین تأثیر را بر عدد یدی کربن فعال‌های حاصل داشتند که به همین دلیل در ادامه به‌عنوان دو عامل اثرگذار اصلی مورد بررسی قرار گرفتند.

۳-۲- بررسی نسبت آغشتگی

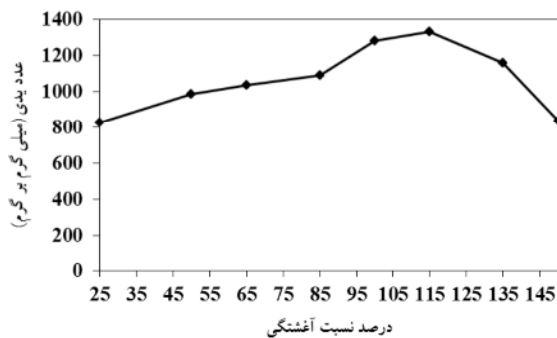
در این مرحله هشت نمونه کربن فعال در شرایطی تهیه شد که تمامی عوامل به‌جز نسبت آغشتگی در سطح بهینه خود قرار داده شدند و نسبت آغشتگی در ۸ مقدار مختلف (۲۵، ۵۰، ۶۵، ۸۵، ۱۰۰، ۱۱۵، ۱۳۵، ۱۵۰ درصد) قرار گرفت که نتایج حاصله در شکل ۲ ارائه شده است. نتایج به‌دست آمده از این مرحله مبین آن است که نسبت آغشتگی بهینه عامل فعالساز کلرید روی برای پوست بادام،

^۱ ANOVA

جدول ۴- نتایج حاصل از تحلیل واریانس برای مقایسه سهم اثر هر یک

از عوامل در تغییر عدد یدی

عامل	درجه آزادی	مجموع مربعات	واریانس	ضریب هم‌اثر (عامل (درصد) اف	سهم اثر
اندازه ذرات	۳	۸۰/۸۵۶	۱۲/۲۶	۳/۹۹	۵/۳۷
عامل فعالساز	۳	۴۷۹/۳۶	۲۸/۷۵	۹/۳۵	۲۹/۹۶
نسبت آغشتگی	۳	۵۱۵/۸۴	۲۳/۵۶	۷/۶۶	۳۲/۲۴
زمان خیساندن	۳	۱۰۰/۱۶	۱۱/۹۶	۳/۸۹	۶/۲۶
دمای فعالسازی	۳	۲۳۷/۷۶	۱۸/۷۴	۶/۰۹	۱۴/۸۶
زمان فعالسازی	۳	۱۰۷/۶۸	۱۴/۵۲	۴/۷۲	۶/۷۳
عوامل دیگر/خطا	۱۳	۶۹/۷۱	۳/۰۷۶	-	۴/۵۸
مجموع	۳۱	۱۵۹۱/۳۶۶	-	-	۱۰۰

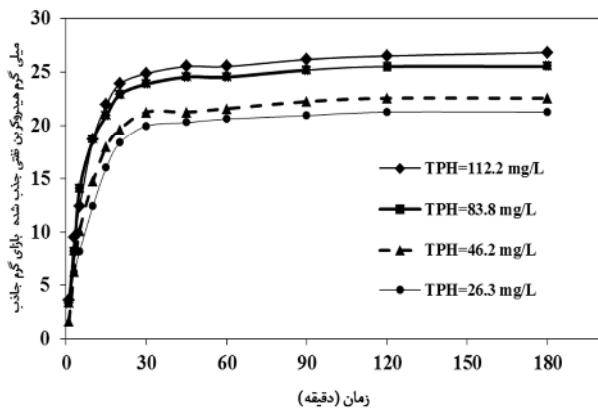


شکل ۲- نحوه اثرگذاری نسبت آغشتگی بر عدد یدی کربن‌های فعال حاصل (کلیه عوامل در سطوح بهینه)

۱۱۵ درصد می‌باشد که منجر به عدد یدی ۱۳۳۱ میلی‌گرم بر گرم برای کربن فعال پوست بادام شده است.

۳-۳- بررسی عوامل فعالساز دیگر

در این مرحله نیز هشت نمونه کربن فعال تهیه شد که در تولید آنها از ترکیبات شیمیایی اسید استیک، اسید نیتریک، کربنات سدیم و هیدروکسید سدیم به‌عنوان عامل فعالساز استفاده گردید در حالی‌که دیگر عوامل در سطح بهینه خود قرار داده شدند. نتایج حاصل از اندازه‌گیری عدد یدی این نوع کربن فعال‌ها در شکل ۳ ارائه شده است.



شکل ۴- سینتیک جذب هیدروکربن های نفتی بازای ۴ غلظت اولیه مختلف از آنها (سرعت همزن = ۱۰۰ rpm، غلظت کربن = ۱ g/L، pH=۷)

$$\frac{\tau}{q} = \frac{1}{k_2 q_e^2} + \frac{\tau}{q_e} \quad (2)$$

که در این روابط

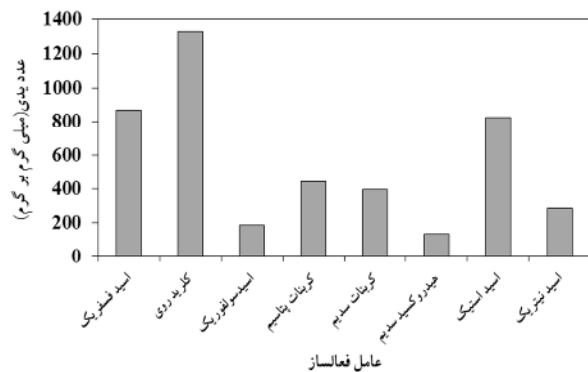
t زمان بر حسب دقیقه، q مقدار ماده جذب شده در واحد جرم جاذب در زمان t بر حسب میلی گرم بر گرم، q_e مقدار ماده جذب شده در واحد جرم جاذب در زمان تعادل یا ظرفیت تعادلی جاذب بر حسب میلی گرم بر گرم، k₁ ثابت نرخ مدل شبه مرتبه و k₂ ثابت نرخ مدل شبه مرتبه دوم است.

از روی شیب نمودار ln(q_e-q) بر حسب t می توان، k₁ ثابت

نرخ مدل شبه مرتبه اول و از روی شیب و عرض از مبدا نمودار $\frac{\tau}{q}$ بر حسب t نیز می توان k₂ ثابت نرخ مدل شبه مرتبه دوم را به دست آورد. نتایج حاصل از برازش داده ها بر روی مدل سینتیکی شبه مرتبه اول و مدل سینتیکی شبه مرتبه دوم، در جدول ۵ نشان داده شده است. با توجه به این نتایج، ضریب همستگی برای مدل سینتیکی شبه مرتبه دوم بسیار نزدیک به ۱ است که این موضوع نشان می دهد جذب آلاینده ها بر روی کربن فعال پوست بادام از واکنش مرتبه دوم تبعیت می کند.

جدول ۵- نتایج حاصل از برازش داده ها بر روی مدل های سینتیکی شبه مرتبه اول و شبه مرتبه دوم

مدل سینتیکی شبه مرتبه دوم		مدل سینتیکی شبه مرتبه اول		غلظت اولیه هیدروکربن های نفتی (میلی گرم در لیتر)
R ²	k ₂	R ²	k ₂	
۰/۹۹۹	۰/۰۰۸۴	۰/۸۹۷	۰/۰۴۶	۲۶/۳
۰/۹۹۷	۰/۰۰۶۴	۰/۸۸۳	۰/۰۴۴	۴۶/۲
۰/۹۹۹	۰/۰۰۷۹	۰/۸۸	۰/۰۴۴	۸۳/۸
۰/۹۹۹	۰/۰۰۷۵	۰/۸۷۹	۰/۰۴۵	۱۱۲/۲



شکل ۳- نحوه اثرگذاری عوامل فعال ساز مختلف بر عدد بیدی کربن های فعال حاصله (کلیه عوامل در سطح بهینه)

نتایج به دست آمده از این مرحله نشان می دهد که کلرید روی، اسید فسفریک و اسید استیک بهترین عوامل فعال ساز برای پوست بادام است، به طوری که استفاده از این عوامل منجر به تولید کربن فعال هایی با عدد بیدی به ترتیب با ۱۱۳۳۱±۵۸، ۸۶۹±۴۱ و ۸۲۴±۲۹ میلی گرم بر گرم شده است. از آنجا که هر سه عامل اسیدی بوده و در واکنش های دهیدراتاسیون نقش کاتالیزوری دارند، برای متخلخل نمودن پوست بادام که از مواد لیگنوسلولوزی است، عملکرد خوبی نشان داده اند. ضعف عملکرد اسید نیتریک و اسید سولفوریک به دلیل خاصیت اسیدی شدیدتری است که موجب شده خواص جذبی ضعیف تری بر روی پوست بادام به وجود آید.

۳-۴- بررسی نتایج حاصل از آزمایش های جذب

در این قسمت با بررسی سینتیک و ایزوترم جذب هیدروکربن های نفتی، عملکرد جذبی کربن فعال تولید شده مورد ارزیابی قرار گرفت.

۳-۴-۱- بررسی سینتیک جذب آلاینده های محلول نفتی

به منظور بررسی مکانیسم کنترلی فرایندهای جذب مانند انتقال جرم و واکنش شیمیایی، معادلات سینتیک شبه مرتبه اول و شبه مرتبه دوم، برای مدل کردن سینتیک جذب هیدروکربن های نفتی روی کربن فعال پوست بادام، به کار گرفته شد. نتایج حاصل از آزمایش سینتیک جذب در چهار غلظت مختلف از هیدروکربن های نفتی نشان داد که نزدیک به ۹۵ درصد جذب طی ۳۰ دقیقه اول اتفاق افتاده است (شکل ۴).

معادلات خطی سازی شده سینتیک شبه مرتبه اول و شبه مرتبه دوم عبارت است از [۳۲]

$$\ln(q_e - q) = \ln q_e - k_1 t \quad (1)$$

۳-۴-۲- بررسی ایزوترم جذب آلاینده‌های محلول نفتی

ایزوترم‌های جذب سطحی به‌عنوان یک توصیف ریاضی دقیق از ظرفیت تعادلی جاذب، برای نشان دادن رفتار جذب و تخمین ظرفیت جذب سطحی، مورد بررسی قرار می‌گیرند [۳۳]. برای ایزوترم‌های جذب سطحی چندین مدل توسعه داده شده است. هر چند که تاکنون یک مدل عمومی که بتواند بر داده‌های آزمایشگاهی تحت هر شرایطی به‌طور دقیق منطبق شود، یافت نشده است [۳۲]. معادلات لانگمیر و فروندلیچ متداول‌ترین مدل‌های به‌کار رفته برای ایزوترم‌های جذب سطحی هستند که به ترتیب مربوط به جاذب‌هایی با سطوح همگن و ناهمگن است [۳۳]. در مطالعه حاضر، داده‌های آزمایشگاهی به‌دست آمده در دمای ۲۳ درجه سلسیوس با این دو مدل بررسی شد که نتایج حاصل از برازش داده‌ها بر روی دو مدل در جدول ۶ نشان داده شده است.

شکل خطی‌سازی شده معادلات ایزوترم لانگمیر و فروندلیچ به ترتیب عبارت است از [۳۲]

$$\frac{1}{q_e} = \left(\frac{1}{Q_0 K_L}\right) \left(\frac{1}{C_e}\right) + \frac{1}{Q_0} \quad (1)$$

$$\ln q_e = \ln K_F + \left(\frac{1}{n}\right) \ln C_e \quad (2)$$

که در این روابط

C_e غلظت ماده جذب شده در محلول در زمان تعادل یا به عبارت دیگر غلظت تعادلی محلول بر حسب میلی‌گرم در لیتر، q_e ظرفیت تعادلی جاذب بر حسب میلی‌گرم بر گرم، Q_0 حداکثر ظرفیت تک لایه بر حسب میلی‌گرم بر گرم، K_L ثابت ایزوترم لانگمیر بر حسب لیتر بر میلی‌گرم، K_F ثابت ایزوترم فروندلیچ بر حسب میلی‌گرم و n ثابت بی‌بعد مربوط به شدت جذب است.

می‌توان با محاسبه شیب و عرض از مبدا نمودار $\frac{1}{q_e}$ بر حسب

$\frac{1}{C_e}$ ، مقادیر K_L و Q_0 و از روی شیب و عرض از مبدا نمودار $\ln q_e$ بر حسب $\ln C_e$ ، مقادیر K_F و n را تعیین نمود.

اینکه از کدام معادله ایزوترم برای تخمین ظرفیت جذب سطحی استفاده شود، به این بستگی دارد که مقدار ضریب همبستگی (R^2) به‌دست آمده برای هر یک از معادلات ایزوترم چقدر به ۱ نزدیک باشد. از جدول ۶ مشخص است که مدل فروندلیچ تطابق بیشتری نسبت به مدل لانگمیر برای جذب هیدروکربن‌های نفتی بر روی کربن فعال پوست بادام دارد. بر اساس مدل فروندلیچ، ظرفیت جذب هیدروکربن‌های نفتی بر روی هر گرم کربن فعال پوست بادام در محدوده غلظت‌های تعادلی ۲۰ تا ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر در محدوده ۱۷ تا ۲۸ میلی‌گرم است.

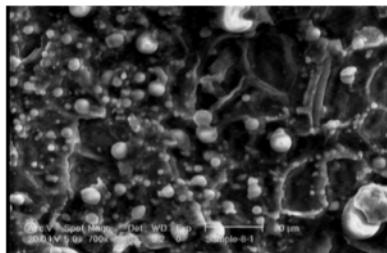
۳-۴-۳- تصاویر میکروسکوپی الکترونی روبشی^۱ از کربن فعال تهیه شده

برای مشاهده میزان تأثیر عملیات فعالسازی بر ایجاد حفرات و منافذ روی سطح پوست بادام، تصاویر میکروسکوپی الکترونی روبشی از پوست بادام در قبل و بعد از فعالسازی با کلرید روی تحت شرایط بهینه در شکل ۵ ارائه شده است. با مقایسه دو تصویر به وضوح مشخص است که عملیات فعالسازی باعث ایجاد یک ساختار متخلخل با حفرات بسیار ریز در سطح پوسته بادام شده است. همچنین با بررسی دو تصویر ب و پ که سطح کربن فعال پوست بادام را در قبل و بعد از تماس با پساب نفتی طی فرایند جذب نشان می‌دهد، مشخص است که ساختار حفره‌ای سطح کربن فعال با مولکول‌های متفاوتی پوشانده شده است.

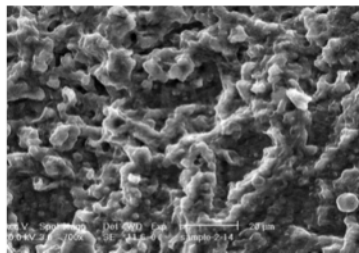
^۱ Scanning Electron Microscope (SEM)

جدول ۶- ثابت‌های ایزوترم لانگمیر و فروندلیچ برای جذب هیدروکربن‌های نفتی بر روی کربن فعال پوست بادام

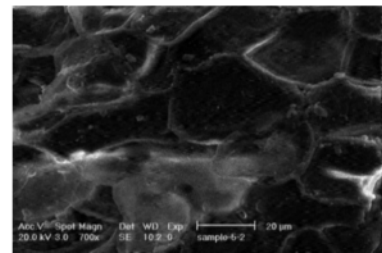
ایزوترم فروندلیچ		ایزوترم لانگمیر			
$(K_F(\text{mg/g})(L/\text{mg}))^{1/n}$	n	R^2	$K_L(L/\text{mg})$	$Q_0(\text{mg/g})$	R^2
۶/۵۳۴	۳/۱۵۴	۰/۹۷۱	۰/۰۳۲۹	۳۷/۰۳۷	۰/۹۳۸



پ- بعد از تماس با پساب



ب- بعد از فعالسازی (تحت شرایط بهینه)



الف- قبل از فعالسازی

شکل ۵- تصویر میکروسکوپی الکترونی روبشی از سطح پوست بادام (بزرگنمایی ۷۰۰ برابر)

۴- نتیجه گیری

فعال پوست بادام از واکنش مرتبه دوم تبعیت می کند که نشان می دهد مکانیسم کنترل کننده فرایند جذب، واکنش شیمیایی بین جذب شونده و سطح جاذب است. همچنین مدل ایزوترم فروندلیچ تطابق بیشتری برای ایزوترم جذب هیدروکربن های نفتی بر روی کربن فعال پوست بادام دارد که مبین ناهمگن بودن سطح کربن فعال به دست آمده است. بر اساس این مدل، ظرفیت جذب کربن فعال پوست بادام در محدوده غلظت های تعادلی ۲۰ تا ۱۰۰ میلی گرم در لیتر در حدود ۱۷ تا ۲۸ میلی گرم هیدروکربن نفتی به ازای هر گرم کربن می باشد.

فرایند تولید کربن فعال دانه ای با فعال سازی شیمیایی پوست بادام درختی شیوه مناسبی برای بازیافت این ماده زائد باغبانی ارزان قیمت و در دسترس است. در بین عوامل مؤثر بر خواص سطحی و قابلیت جذبی کربن فعال حاصل، نوع عامل فعال ساز و نسبت آغشتگی، بیشترین تأثیر را بر مقدار عدد یدی کربن فعال های حاصل داشتند به طوری که بهترین عامل فعال ساز، کلرید روی بوده و در نسبت آغشتگی ۱۵ درصد منجر به بیشترین مقدار عدد یدی شد. سینتیک جذب هیدروکربن های محلول نفتی بر روی کربن

۵- مراجع

1. Statistics and Information Technology Office. (2010). *The results of a sample survey designs garden products in 2008*, Ministry of Agriculture, Planning and Economic Affairs, Tehran. (In Persian)
2. Bhatnagar, A., and Minocha, A. K. (2006). "Conventional and non-conventional of pollutants from water-A review." *Indian Journal of Chemical Technology*, 13, 203-217.
3. Ioannidou, O., and Zabaniotou, A. (2007). "Agricultural residues as precursors for activated carbon production -A review." *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 11, 1966-2005.
4. Suhas, P.J.M., Carrott, M.M.L., and Carrott, R. (2007). "Lignin – from natural adsorbent to activated carbon - A review." *Bioresource Technology*, 98, 2301-2312.
5. Amin-Aghaie, S., Shafiei, M., and Ranjbar, M. (2010). "Chemical demineralization coal in order to produce appropriate raw material for the production of activated carbon." *The First Conference on Mining*, Kerman.
6. Budinova, T., Ekinci, E., Yardim, F., Grimm, A., Björnbo, E., Minkova, V., and Goranova, M. (2006). "Characterization and application of activated carbon produced by H₃PO₄ and water vapor activation." *Fuel Processing Technology*, 87, 899-905.
7. Mohanty, K., Das, D., and Biswas, M.N. (2005). "Adsorption of phenol from aqueous solutions using activated carbons prepared from Tectona grandis sawdust by ZnCl₂ activation." *Chemical Engineering Journal*, 115, 121-131.
8. Matos, J., Nahas, C., Rojas, L., and Rosales, M. (2011). "Synthesis and characterization of activated carbon from sawdust of Algarroba wood. I. Physical activation and pyrolysis." *J. of Hazardous Materials*, 196, 360-369.
9. Zabihi, M., Haghghi Asl, A., and Ahmadpour, A. (2010). "Studies on adsorption of mercury from aqueous solution on activated carbons prepared from walnut shell." *J. of Hazardous Materials*, 174, 251-256.
10. Mourao, P.A.M., Laginhas, C., Custodio, F., Nabais, J.M.V., Carrott, P.J.M., and Ribeiro Carrott, M.M.L. (2011). "Influence of oxidation process on the adsorption capacity of activated carbons from lignocellulosic precursors." *Fuel Processing Technology*, 92, 241-246.
11. Amuda, O.S., and Ibrahim, A.O. (2006). "Industrial wastewater treatment using natural material as adsorbent." *African J. of Biotechnology*, 5(16), 1483-1487.
12. Demirbas, E., Dizge, N., Sulak, M.T., and Kobya, M. (2009). "Adsorption kinetics and equilibrium of copper from aqueous solutions using hazelnut shell activated carbon." *Chemical Engineering Journal*, 148, 480-487.
13. Poinern, G.E.J., Senanayake, G., Shah, N., Thi-Le, X.N., Parkinson, G.M., and Fawcett, D. (2011). "Adsorption of the aurocyanide, AuCN₂ complex on granular activated carbons derived from macadamia nut shells – A preliminary study." *Minerals Engineering*, 24, 1694-1702.
14. Gergova, K., Petrov, N., and Eser, S. (1994). "Adsorption properties and microstructure of activated carbons produced from agricultural by-products by steam pyrolysis." *Carbon*, 32(4), 693-702.

15. Ayguun, A., Yeniso-y-Karakas, S., and Duman, I. (2003). "Production of granular activated carbon from fruit stones and nutshells and evaluation of their physical, chemical and adsorption properties." *Microporous and Mesoporous Materials*, 66, 189-195.
16. Daifullah, A.A.M., and Girgis, B.S. (2003). "Impact of surface characteristics of activated carbon on adsorption of BTEX, Colloids and Surfaces A: Physicochem." *Eng. Aspects*, 214, 181-193.
17. Ahmedna, M., Marshall, W.E., and Rao, R.M. (2000). "Surface properties of granular activated carbons from agricultural by-products and their effects on raw sugar decolorization." *Bioresource Technology*, 71, 103-112.
18. Purnomo, C.W., Salim, C., and Hinode, H. (2012). "Effect of the activation method on the properties and adsorption behavior of bagasse fly ash-based activated carbon." *Fuel Processing Technology*, 102, 132-139.
19. Nahil, M.A., and Williams, P.T. (2012). "Pore characteristics of activated carbons from the phosphoric acid chemical activation of cotton stalks." *Biomass and Bioenergy*, 37, 142-149.
20. Fierro, V., Muniz, G., Basta, A.H., El-Saied, H., and Celzard, A. (2010). "Rice straw as precursor of activated carbons: Activation with ortho-phosphoric acid." *J. Hazard Mater*, 181(1-3), 27-34.
21. Arami-Niya, A., Ashri Wan Daud, W.M., and Mjalli, F.S. (2010). "Using granular activated carbon prepared from oil palm shell by $ZnCl_2$ and physical activation for methane adsorption." *J. of Analytical and Applied Pyrolysis*, 89(2), 197-203.
22. Arami-Niya, A., Ashri Wan Daud, W.M., and Mjalli, F.S. (2011). "Comparative study of the textural characteristics of oil palm shell activated carbon produced by chemical and physical activation for methane adsorption." *Chemical Engineering Research and Design*, 89(6), 657-664.
23. Arami-Niya, A., Ashri Wan Daud, W.M., Mjalli, F.S., Abnisa, F., and Shafeeyan, M.S. (2012). "Production of microporous palm shell based activated carbon for methane adsorption: Modeling and optimization using response surface methodology." *Chemical Engineering Research and Design*, 90(6), 776-784.
24. Liu, Q-S., Zheng, T., Wang, P., and Guo, L. (2010). "Preparation and characterization of activated carbon from bamboo by microwave-induced phosphoric acid activation." *Ind. Crop. Prod.*, 31(2), 233-238.
25. Jasieńko-Halać, M., and Majewski, D. (2012). "Preparation of activated carbons from willow (*Salix* spp.). Part 3. Activation with sodium and potassium compounds." *Przemysł Chemiczny*, 91(7), 1412-1415.
26. Al Bahri, M., Calvo, L., Gilarranz, M.A., and Rodriguez, J.J. (2012). "Activated carbon from grape seeds upon chemical activation with phosphoric acid: Application to the adsorption of diuron from water." *Chemical Engineering Journal*, 203(1), 348-356.
27. Ucar, S., Erdem, M., Tay, T., and Karagoz, S. (2009). "Preparation and characterization of activated carbon produced from pomegranate seeds by $ZnCl_2$ activation." *Applied Surface Science*, 255, 8890-8896.
28. Isil Gurten, I., Ozmak, M., Yagmur, E., and Aktas, Z. (2012). "Preparation and characterization of activated carbon from waste tea using K_2CO_3 ." *Biomass and Bioenergy*, 3, 1-9.
29. Theydan, S.K., and Ahmed, M.J. (2012). "Adsorption of methylene blue onto biomass-based activated carbon by $FeCl_3$ activation: Equilibrium, kinetics, and thermodynamic studies." *J. of Analytical and Applied Pyrolysis*, 97, 116-122.
30. Ahmedna, M., Marshall, W.E., Hussein, A.A., Rao, R.M., and Goktepe, I. (2004). "The use of nutshell carbons in drinking water filters for removal of trace metals." *Water Research*, 38, 1062-1068.
31. Yuan M., Tong S., Zhao S., and Jia C.Q. (2011) "Adsorption of polycyclic aromatic hydrocarbons from water using petroleum coke-derived porous carbon." *J. of Hazardous Materials*, 181(1-3), 1115-1120.
32. Behera, S.K., Kim, J.H., Guo, X., and Park, H.S. (2008) "Adsorption equilibrium and kinetics of poly vinyl alcohol from aqueous solution on powdered activated carbon." *J. of Hazardous Materials*, 153, 1207-1214.
33. Anbia, M., and Moradi, S.E. (2009) "Adsorption of naphthalene-derived compounds from water by chemically oxidized nanoporous carbon." *Chemical Engineering Journal*, 148, 452-458.