

تولید کربن فعال گرانولی از پوست سخت گردو در مقیاس صنعتی و مقایسه استانداردهای آن با نمونه‌های مشابه

احسان صالحی^{1*}، فروغ بیات²، سید علی کیائی³، رضا اکبری⁴، مهدی عسکری⁵

¹استادیار گروه مهندسی شیمی، دانشکده فنی مهندسی، دانشگاه اراک، اراک، ایران

²کارشناسی ارشد، مدیر تولید شرکت پارت شیمی، شهرک صنعتی تویسرکان، تویسرکان، همدان، ایران

³کارشناسی ارشد، گروه مدیریت راهبردی، دانشگاه صنعتی مالک اشتر، تهران، ایران

⁴کارشناسی، مدیر عامل شرکت پارت شیمی، شهرک صنعتی تویسرکان، تویسرکان، همدان، ایران

⁵کارشناسی، گروه مهندسی شیمی، دانشکده فنی مهندسی، دانشگاه اراک، اراک، ایران

دریافت: 94/10/7 پذیرش: 95/7/7

چکیده

کربن فعال گرانولی از پوسته سخت گردو به روش فعال‌سازی فیزیکی در داخل کشور (منطقه تویسرکان، استان همدان) تولید گردید. در این تحقیق، شاخص‌های استاندارد کربن فعال بر اساس ASTM ارزیابی و با نمونه‌های کربن موجود در داخل کشور مقایسه شده است. ابتدا ترکیب خام سلولزی در کوره کربنیزاسیون در دمای 800°C گرماکافت و سپس در کوره پیشرفته فعال‌سازی در دمایی بین 800°C تا 1200°C به وسیله بخار آب و دی اکسید کربن فعال گردید. آزمون‌های سختی، درصد خاکستر، عدد یدی، درصد رطوبت، سطح داخلی ویژه و دانسیته ظاهری در کنار آنالیزهای XRF و FTIR انجام گرفت. نتایج این آنالیزها نشان داد، علاوه بر داشتن گروه‌های عاملی مناسب، کربن فعال تولیدی این شرکت با سختی 88٪، عدد یدی 1100mg/g ، خاکستر 7٪، دانسیته ظاهری 400 kg/m^3 ، سطح داخلی $1240\text{ m}^2/\text{g}$ و رطوبت 5٪، از نظر کیفیت قابل رقابت با نمونه‌های خارجی است.

کلمات کلیدی

کربن فعال گرانولی، فعال‌سازی فیزیکی، سختی، جذب سطحی، عدد یدی.

*ehsan1salehi@gmail.com

Second E-mail: e-salehi@araku.ac.ir

مقدمه

کربن فعال جذبی کارآمد برای اهداف گوناگون صنعتی است. توانایی بالای این ماده ارزشمند در جذب سطحی به دلیل سطح ویژه بالا، ساختار متخلخل توسعه یافته و فعالیت بالای سطح (انرژی سطحی) آن است. کربن فعال به عنوان جذب در صنایع مختلف برای اهداف گوناگونی نظیر خالص سازی، گندزدایی، رنگ زدایی، جداسازی، تغلیظ و... استفاده می شود. از میان صنایع و واحدهای صنعتی که کربن فعال در فرآیند آن ها کاربرد دارد می توان به صنایع غذایی و دارویی، نفت، گاز و پتروشیمی، انرژی هسته ای، خودروسازی، رنگ و رزین، داروسازی، تصفیه آب آشامیدنی و پساب های صنعتی و همچنین تصفیه گازهای خروجی از دودکش واحدهای صنعتی اشاره کرد [1]. عمده کاربردهای کربن فعال در صنایع پالایش گاز را می توان به حذف ترکیبات خطرناک گوگردار و نیتروژن دار از گازهای خروجی از واحدهای مختلف پالایشگاهی مرتبط دانست. کربن فعال مورد استفاده در یک فرآیند گازی مانند سیکل معروف آمین معمولاً از نوع گرانولی است که امکان دارد با روش های فیزیکی یا شیمیایی متداول بهبود داده شده باشد. گاز ترش نیز معمولاً دارای ترکیبات سمی گوگردار مانند سولفید هیدروژن، دی سولفید کربن و دی اکسید گوگرد است. یک روش برای سولفورزدایی از گاز استفاده از برج های جذب پر شده با کربن فعال با بستر ثابت و یا متحرک است [4-1]. از این رو می توان کربن فعال را به عنوان کالایی استراتژیک قلمداد کرد که نیاز به تولید آن در داخل کشور به شدت در حال افزایش است.

یکی از عوامل موثر بر ویژگی های جذبی نهایی کربن فعال، ماده اولیه آن است. هر ماده ارزانی که دارای درصد بالای کربن و مقدار کمی مواد معدنی و فرار باشد می تواند به عنوان ماده خام جهت تولید کربن فعال به کار رود [2]. ضایعات کشاورزی به دلیل دارا بودن این ویژگی ها و همچنین ارزانی و فراوان بودن آنها مستعدترین مواد اولیه برای تولید کربن فعال بوده و هستند [3]. از این میان می توان به پوست گردو [4-6]، پوست بادام [3،4]، پوست فندق [4]، پوست نارگیل [7]، هسته زیتون [3،5]، هسته زردآلو [3،4]، هسته هل و [3،8]، هسته گیلاس و دانه انگور [3]، تفاله نیشکر، پوست برنج [3،9] و دانه انار [10] اشاره کرد. علاوه بر ضایعات کشاورزی از مواد پلیمری و معدنی دیگری مانند تایرهای فرسوده [2]، روزنامه باطله [11]، درخت نخل [12]، زغال سنگ [1] و... نیز کربن فعال تولید شده که استفاده از این مواد اولیه محدود و با اهداف خاص می باشد.

مواد اولیه فوق برای تبدیل به کربن فعال باید پس از دفع مواد فرار، فعال سازی¹ شوند. فعال سازی به دو روش شیمیایی و فیزیکی امکان پذیر است. فعال سازی فیزیکی شامل کربونیزاسیون² مواد اولیه طی فرآیند گرماکافت³ در دمای 400 تا 850 درجه سانتیگراد و سپس فعال سازی ذغال حاصل با استفاده از گازهای اکسندهای مانند کربن دی اکسید، بخار آب، هوا یا مخلوط این گازها در دمایی بین 600 تا 900 درجه سانتیگراد است. در فعال سازی شیمیایی دو مرحله فوق، به طور همزمان در یک عملیات واحد با آغستن مواد اولیه به عوامل فعال ساز اسیدی، بازی یا نمک های معدنی از قبیل K_2CO_3 ، H_3PO_4 ، KOH ، $ZnCl_2$ در

¹Activation

²Carbonization

³Pyrolysis

شرایط عملیاتی ملایم تر (به ویژه دمای کمتر) نسبت به فعال سازی فیزیکی انجام می شود [3]. این مواد فعال ساز شیمیایی نسبت به عوامل فعال ساز فیزیکی گران تر بوده و در عین حال خورنده نیز هستند. همچنین حجم تولید کربن فعال به روش شیمیایی بسیار کم تر بوده و قابل مقایسه با روش فیزیکی نیست. محصولات فعال سازی شیمیایی عمدتاً پودری هستند و دانسیته کمی دارند در حالی که فرآورده فعال سازی فیزیکی گرانولی بوده و اندازه های مختلف کربن فعال با آسیاب و غربال کردن قابل دستیابی است. از طرفی حذف عامل فعال ساز از محصول فعال سازی شیمیایی هزینه بر است [13]. در عین حال، بازده تولید بالاتر، دمای فعال سازی کم تر، زمان اقامت کوتاه تر و توسعه یافتگی بهتر حفرات کربن فعال از مزایای فعال سازی شیمیایی به شمار می رود [14].

ویژگی های فیزیکی، شیمیایی و جذبی کربن فعال عواملی تعیین کننده در کارایی آن در جذب ترکیبات مورد نظر است [15]. مهم ترین این ویژگی ها عبارتند از مساحت ویژه (BET)، اندازه حفرات، دانسیته ظاهری¹، سختی²، pH، درصد خاکستر³، مقدار رطوبت⁴ و عدد یدی⁵. شرایط عملیاتی فرآیند تولید و جنس ماده اولیه اصلی ترین عوامل تعیین کننده این ویژگی ها در کربن فعال هستند.

در پژوهش پیش رو کربن فعالی که از پوست سخت گردو با روش فیزیکی و در مقیاس صنعتی تولید شده است مورد بررسی و ارزیابی خواص قرار گرفته و پس از تعیین مشخصات آن بر اساس استاندارد ASTM با نمونه های کربن فعال دیگر مقایسه شده است. گروه های عاملی و شیمی کربن فعال تولیدی نیز با آنالیزهای FTIR و XRD مورد ارزیابی قرار گرفته است.

روش تحقیق

مواد خام

ماده اولیه استفاده شده برای تولید کربن فعال در این پژوهش پوست سخت گردوی باغ های منطقه توپسرکان واقع در استان همدان بوده که در جدول 1 ترکیبات موجود در آن ارائه گردیده است. تمام مواد شیمیایی به کار رفته برای انجام تست ها ساخت شرکت مرک کشور آلمان بودند. در ضمن از آب دوبار تقطیر برای انجام کلیه تست ها استفاده شده است.

کربونیزاسیون

در فرآیند کربونیزاسیون (یا گرماکافت) اجزای غیرکربنی از قبیل هیدروژن، اکسیژن و مواد فرار به صورت گاز از مواد اولیه خارج می شوند و کربن های آزاد نیز به صورت گروه های منظم بلورهای گرافیت را تشکیل می دهند. به دلیل وجود منافذ در بین بلورها، ساختار آن ها به صورت نامنظم است. این فرآیند در درجه

¹ Apparent density (Bulk density)

² Hardness

³ Ash content

⁴ Moisture content

⁵ Iodine number

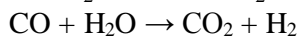
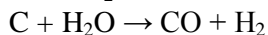
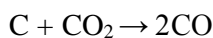
حرارتی زیر 800 درجه سانتیگراد در کوره‌ای با 16 درجه هوای کوچک در بدنه و 2 درجه بزرگ با قابلیت باز و بسته شدن در قسمت پشت کوره برای خروج گازهای حاصل از احتراق، صورت می‌گیرد. با تنظیم درجه باز بودن این دریچه‌ها می‌توان دمای داخل کوره را به مقدار دلخواه تنظیم کرد. مهم‌ترین ویژگی این کوره عدم نیاز آن به سوخت دائمی است. خود پوست گردو پس از کمک به احتراق اولیه آن، به عنوان سوخت نیز عمل می‌کند و حرارت لازم را برای ادامه فرآیند گرماکافت تامین می‌نماید. فرآیند گرماکافت معمولاً بین 3 تا 4 ساعت زمان می‌برد. ساختار منافذ کربن در دمای حدود 500 درجه سانتیگراد شکل می‌گیرد. بیشتر این منافذ به وسیله ماده قیری شکل آزاد شده در حین فرآیند گرماکافت مسدود می‌شوند. به همین دلیل برای باز شدن این حفرات و استفاده نهایی به عنوان جاذب باید مرحله فعال‌سازی نیز متعاقباً انجام شود.

جدول 1. آنالیز عناصر و ترکیبات موجود در پوست گردو [16]

ماده اولیه	پوست گردو
کربن	32/3 %
هیدروژن	3/8 %
سلولوز	20 %
همی سلولوز	4/6 %
لیگنین	27/7 %
مواد قابل استخراج	3 %
خاکستر	2 %
رطوبت	6/6 %
جمع	100 %

فعال‌سازی

در عملیات فعال‌سازی مواد کربنیزه شده در دمای 800 تا 1000 درجه سانتیگراد با حضور عوامل اکسنده بخار آب و دی‌اکسید کربن در واکنش‌های زیر شرکت می‌کنند:



این واکنش‌ها با مصرف مقداری از کربن موجود و همچنین خارج نمودن مواد قیری شکل باقی مانده از مرحله گرماکافت، باعث باز شدن، گسترش بهتر و اتصال داخلی حفرات کربن می‌شوند و در نتیجه مساحت داخلی منافذ به شکل قابل توجهی افزایش می‌یابد.

تست استاندارد تعیین عدد یدی

عدد یدی عبارت است از میلی گرم ید جذب شده توسط یک گرم جاذب، در شرایطی که غلظت ید باقی مانده در محلول فیلترشده از 100 میلی لیتر محلول 0/1 نرمال ید به 0/02 نرمال برسد. عدد یدی معرف نسبی خوبی برای تعیین میزان تخلخل کربن فعال است. این معیار هر چند محکی از ظرفیت جذب کربن فعال به

شمار می‌رود ولی لزوماً شاخصی دقیق برای تعیین توانایی جذب تمامی ترکیبات توسط کربن فعال نیست. عدد یدی کربن‌های فعال با تغییر جنس ماده اولیه، شرایط عملیات فعال سازی و توزیع حفره‌ها تغییر می‌کند. برای تعیین این خاصیت بر اساس روش ارائه شده در ASTM D-4607 عمل شده است.

تست تعیین سختی

مقاومت مکانیکی کربن فعال با تعیین درصد ساییدگی مرطوب نمونه‌ها تعیین گردید. در این آزمایش از نمونه‌های کربنی با اندازه مش استاندارد 30-10 استفاده می‌شود. ابتدا یک گرم از نمونه در مجاورت 100 میلی لیتر محلول بافر استات (0/07 مولار استات سدیم و 0/03 مولار اسید استیک) قرار می‌گیرد و به مدت یک شبانه روز در دمای محیط با سرعت 500 دور بر دقیقه هم زده می‌شود. پس از این زمان نمونه‌ها بر روی الک استاندارد با مش 50 قرار گرفته و با 250 میلی لیتر آب دوبار تقطیر شسته می‌شوند. کربن باقی مانده بر روی الک به مدت 2 ساعت در دمای 100°C خشک می‌گردد. درصد ساییدگی از رابطه 1 محاسبه می‌شود:

$$\text{Atribution \%} = \quad (1)$$

$$\left[\frac{W_i - W_f}{W_i} \right] \times 100$$

که در این رابطه، W_i وزن اولیه (گرم) و W_f وزن نهایی (گرم) است.

اندازه‌گیری درصد خاکستر

برای تعیین درصد خاکستر بر اساس دستورالعمل استاندارد ASTM D-2866 مراحل زیر طی گردید:

1. ابتدا مقدار مشخصی از کربن فعال مورد نظر وزن شده و داخل ظرفی نسوز که وزن آن معین است قرار گرفت.
2. ظرف به مدت 3 ساعت در کوره‌ای آزمایشگاهی با درجه حرارت 700 تا 900 درجه سانتی گراد قرار گرفت.
3. نمونه را از کوره خارج نموده و صبر می‌کنیم تا با محیط هم دما شود و در نهایت آن را وزن می‌کنیم.

با استفاده از رابطه 2 میزان خاکستر محاسبه

$$\text{Total - ash \%} = \left[\frac{D - B}{C - B} \right] \times 100 \quad \text{می‌شود:} \quad (2)$$

که در آن B وزن ظرف (گرم)، C وزن ظرف به همراه نمونه اولیه و D وزن نمونه به همراه خاکستر است.

اندازه‌گیری درصد رطوبت

برای اندازه‌گیری رطوبت بر اساس دستورالعمل استاندارد ASTM D-2867 مقدار مشخصی کربن فعال را به طور دقیق وزن کرده و در ظرفی با وزن مشخص می‌ریزیم. سپس نمونه را به مدت 3 ساعت در دمای 120 درجه سانتی‌گراد درون آون قرار می‌دهیم. درصد رطوبت از رابطه 3 محاسبه می‌گردد:

Moisture % = (3)

$$\left[\frac{W_i - W_f}{W_i} \right] \times 100$$

که در آن W_i وزن اولیه (قبل از حرارت دهی) و W_f وزن نهایی (پس از گرما دهی) است.

روش اندازه گیری pH

طبق دستورالعمل ASTM D-3838 میزان 10 گرم کربن فعال را در 100 میلی لیتر آب مقطر ریخته و برای مدت معینی در شرایط رفلاکس (بازچرخانی پیوسته محلول در یک سیکل بسته) قرار می دهیم و در نهایت با استفاده از pH متر (Jenway 3150)، pH محلول اندازه گیری می شود.

دانسیتته ظاهری

دانسیتته به دست آمده در این روش برای طراحی مخازنی که بستریهای جاذب در آنها قرار می گیرند، استفاده می شود. برای تعیین دانسیته ظاهری مطابق دستورالعمل استاندارد جهانی ASTM D-2854 به صورت زیر عمل گردید:

مقدار کربن فعال را با دبی یکنواخت توسط لرزشگر به استوانه مدرج 100 میلی لیتری منتقل کرده (طوری که حداقل نصف استوانه پر شود) و سپس محتویات استوانه را وزن می کنیم. دانسیته ظاهری از رابطه 4 به دست می آید:

$$d = \left(\frac{m}{v} \right) \left(1 - \frac{mo}{100} \right) \quad (4)$$

که در آن d دانسیته ظاهری بر مبنای خشک (Kg/m^3)، m وزن کربن مصرفی بر حسب g ، v حجمی از استوانه که پر شده است بر حسب ml و mo درصد رطوبت است.

سطح داخلی ویژه

این آزمون بر اساس روش معروف BET و با جذب و واجذب نیتروژن مایع (در دمای 77 کلوین)، و رسم و تحلیل نمودارهای همدمای مربوطه توسط دستگاه Gemini VII 2390 Surface Area Analyzer انجام گرفت. این تست روشی استاندارد و بسیار دقیق جهت ارزیابی سطح ویژه جاذبها می باشد.

نتایج و بحث

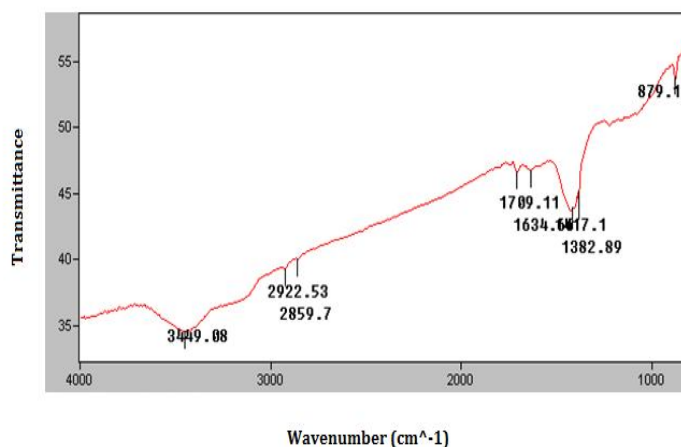
مقایسه شاخص های استاندارد

هر محصول صنعتی دارای استانداردهای خاص خود می باشد که در حین تولید باید بر اساس روش های دقیق علمی اندازه گیری و کنترل شوند. کربن فعال نیز از این قاعده مستثنی نیست. مهم ترین این شاخص ها برای کربن فعال عبارتند از سطح ویژه، دانسیته ظاهری، عدد یدی، سختی سایشی، اسیدیته، درصد رطوبت و درصد خاکستر. مقایسه شاخص های استاندارد کربن فعال تولید شده با سایر کربن های فعال موجود در بازار کشور در جدول 2 آمده است. با توجه به نتایج گزارش شده در جدول 2، برتری شاخص عدد یدی کربن فعال

تولید شده نسبت به سایر جاذبها مشهود است. این برتری نشان از میزان تخلخل مطلوب و ظرفیت بالای جذب این کربن فعال دارد که به لحاظ کنترل دقیق شرایط فرآیندی کوره‌ها حاصل شده است. درصد خاکستر نیز در محدوده مناسب قرار دارد. گفتنی است میزان خاکستر تا حد زیادی به نوع ماده اولیه بستگی دارد. درصد خاکستر را می‌توان با اصلاح شرایط نگهداری مواد اولیه و غربال کردن مواد اولیه قبل از فرآیند بهبود بخشید. رطوبت نمونه‌ها نیز در حد مطلوب بوده و در صورت لزوم می‌توان آن را با خشک کردن به میزان کمتری نیز رساند. سختی کربن فعال تولیدی نسبت به نمونه‌های خارجی اندکی پایین‌تر است. این مسئله به دلیل درصد بالای لینگوسلولز موجود در ساختار پوست گردو است [4]. کربن تولیدی از پوست گردو علی‌رغم داشتن شاخص‌های جذبی عالی، از نظر مقاومت مکانیکی اندکی کاستی دارد. این نقص را می‌توان با مخلوط کردن با مواد اولیه دارای سختی بالا مانند هسته هلو بهبود بخشید. اخیراً با استفاده از تکنیک مذکور کربن فعالی در این شرکت تولید شده که سختی آن بالای 95 است. دانسیته کربن تولیدی نیز متأثر از جنس ماده اولیه بوده و عدد پایینی دارد. این کمبود نیز به روش مخلوط کردن با درصدی از ترکیبات سلولزی با تراکم مولکولی بالاتر قابل جبران است. همان‌طور که از جدول 2 دریافت می‌شود، اکثر کربن فعال‌های گرانولی در محدوده pH بازی قرار دارند که کربن فعال تولید شده نیز از این قاعده مستثنی نیست. برای کاربردهای خاصی کربن با pH اسیدی لازم است که باید از فرآیند اسیدشویی برای این منظور استفاده کرد. بالا بودن محسوس مساحت داخلی ویژه کربن فعال تولیدی نشانگر کنترل مناسب و دقیق فرآیند تولید آن است. تخلخل و توزیع مناسب حفرات در کنار توسعه یافتگی عالی آن‌ها در ساختار گرافیتی از جمله نتایج قابل دریافت از بالا بودن سطح ویژه کربن فعال است [3].

تست FTIR

این تست جهت تعیین گروه‌های عاملی سطح کربن فعال در دانشگاه امیرکبیر انجام شده و نتیجه آن در شکل 1 آمده است.



شکل 1. طیف‌های FTIR کربن فعال پارت شیمی

جدول 2. مقایسه شاخص‌های استاندارد کربن فعال پارت شیمی با سایر کربن‌های فعال موجود در بازار

نام کربن فعال پارت شیمی	عدد بیدی (mg/g)	مقدار خاکستر، %	مقدار رطوبت، %	سختی، %	دانسیته (kg/m ³)	pH	مساحت داخلی ویژه (m ² /g)
Norit GAC 400	1000	ناموجود	2	ناموجود	490	ناموجود	ناموجود
Norit GAC 800w	1000	8	5	95	485	قلیایی	1150
Norit GAC1240w	950	12	5	97	470	قلیایی	1100
Calgon Carbon SGL 80×30	900	ناموجود	2	ناموجود	ناموجود	ناموجود	ناموجود
Jacobi Aquasorb 1000	850	15	5	95	510	11-8	900
Jacobi Aquasorb 2000	1000	13	5	95	480	11-8	1050
Jacobi Aquasorb CS	1000	4	5	98	440	10	1050
Jacobi Aquasorb CX-MCA	1000	4	5	98	514	10	1060
Jacobi Aquasorb CT	1050	4	5	98	500	10	1100
Alcarbon IC 60 6×12 G	>1100	5	5	98	490	ناموجود	ناموجود
Hydratfin 30 N II	850	15	5	90	500	ناموجود	800
ShimiPajoohan LGAS36 & 27	1000	4/5	8-5	95	500-470	8	1000
کربن فعال پارت شیمی	1100	7-6	5	88	400	11-10	1240

با توجه به شکل 1، وجود پیک گسترده در طول موج 3450cm^{-1} را می‌توان به نوسان‌های ارتعاشی گروه‌های $\nu(\text{O-H})$ نسبت داد. دلیل وجود نوارهای ضعیف در محدوده 2860 تا 2922cm^{-1} به دلیل حضور گروه‌های کربوکسیلیکی (COOH) و آلیفاتیکی است. پیک‌های موجود در منطقه 1380 تا 1700cm^{-1} را می‌توان به پیوندهای کربوکسیلیکی (C=O) و همچنین وجود گروه‌های کربونیل و حلقه‌های آروماتیک مرتبط دانست. در نهایت نوار باریک شناسایی شده در طول موج 880cm^{-1} نشانگر پیوندهای متنوعی می‌تواند باشد ولی با توجه به ترکیبات تشکیل دهنده پوست گردو احتمالاً نشان دهنده وجود پیوندهای کربوکسیلیکی ارتعاشی در ساختار لاکتون‌ها، اپوکسیدها و اترها است [5].

تست XRF

طیف سنجی فلورسانس پرتو ایکس (XRF) یکی از روش‌های آنالیز عنصری است که اطلاعات جامعی از ترکیبات شیمیایی و ساختار کریستالی مواد به دست می‌دهد. این آنالیز بر روی کربن فعال تولید شده انجام گرفت و در جدول 3 ترکیبات با درصد وزنی آن‌ها در نمونه ارائه شده است.

جدول 3. نتایج تست XRF

ترکیب	درصد وزنی	ترکیب	درصد
Na_2O	0/017	MgO	0/059
Al_2O_3	0/18	SiO_2	0/75
P_2O_5	0/18	S	0/075
Cl	0/018	Ar	<1ppm
K_2O	1/27	CaO	1/84
Sc_2O_3	<1ppm	TiO_2	0/0049
Cr_2O_3	<1ppm	MnO	0/0043

در این روش، پرتو ایکس به نمونه تابیده شده و در اثر برانگیختن اتم‌ها باعث پدید آمدن پرتو ایکس ثانویه می‌شود. سپس با تعیین طول موج یا انرژی پرتو ایکس ثانویه، عناصر و ترکیبات موجود در کربن فعال از طریق تطابق دهی با الگوهای استاندارد شناسایی می‌گردند. نکته جالب توجه، وجود اکسیدهای فلزی آلومینیوم، منیزیوم و منگنز در کنار اکسیدهای معدنی نظیر تیتانیوم و سیلیس در ساختار کربن فعال است. وجود این ترکیبات که خاصیت جذبی اثبات شده‌ای دارند [17]، می‌تواند به‌عنوان یکی از عوامل افزایش ظرفیت جذب کربن فعال پایه گردو به‌شمار رود.

نتیجه گیری

در این نوشتار، خصوصیات استاندارد صنعتی کربن فعال تولید شده در داخل کشور (شرکت پارت شیمی) به روش فعال سازی فیزیکی از پوسته گردو بر اساس استاندارد ASTM مورد ارزیابی قرار گرفت. سطح داخلی ویژه و عدد یدی کربن فعال تولید شده به ترتیب $1240 \text{ m}^2/\text{g}$ و 1100 mg/g اندازه گیری شد. نتایج سایر آنالیزهای استاندارد کربن فعال شامل سختی، خاکستر، رطوبت و دانسیته ظاهری نیز با مشخصات سایر کربن های فعال گرانولی مشابه مورد مقایسه قرار گرفت. همچنین با استفاده از تست های FTIR و XRD به ترتیب گروه های عاملی جاذب و عناصر و ترکیبات موجود در کربن فعال به خوبی شناسایی گردید.

تشکر و قدردانی

نویسندگان این مقاله از شرکت تولیدی کربن فعال پارت شیمی برای حمایت از این پژوهش تشکر و سپاسگزاری می کنند.

مراجع

1. Bansal R.C. and Goyal M. Activated Carbon Adsorption, CRC Press, New York, United States of America, 2005
2. ادریس حسین زاده، علیرضا رحمانی «تولید کربن فعال از تایرهای فرسوده با روش ترموشیمیایی و ارزیابی کارایی آن در حذف رنگ اسیدی سیاه 1» انجمن علمی بهداشت ایران، 1390، 4، 438.4 - 427
3. Ioannidou O. and Zabaniotou A. (2007) "Agricultural residues as precursors for activated carbon production-A review" Renewable and Sustainable Energy Reviews, 11, 2002, pp 1966-2005
4. Aygun, S. Yenisoy-Karakas, I. Duman (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
5. M.L. Martinez, M.M. Torres, C.A. Guzman, D.M. Maestri (2006) "Preparation and characteristics of activated carbon from olive stones and walnut shells" Industrial Crops and Products, 23, 23-28
6. مجید عابدین زادگان عبدی، محمد مهدیارفر، علیمراد رشیدی، علی احمدپور (1381) «ساخت کربن فعال با استفاده از فعال سازی شیمیایی پوست گردو.» نشریه دانشکده مهندسی، 14، 1، 21-28
7. M.K.B. Gratuito, T.Panyathanmaporn, R.-A. Chamnanklang, N.Sirinuntawittaya (2008) "Production of activated carbon from coconut shell: Optimization using response surface methodology", Bioresource Technology, 99, 4887-4895
8. A.A. Attita, B.S. Girgis, N.A. Fathy (2008) "Removal of methylene blue by carbons derived from peach stones by H_3PO_4 activation: Batch and column studies", Dyes and Pigments, 76, 282-289
9. D. Kalderis, S. Bethanis, P. Paraskeva, E. Diamadopoulos (2008) "Production of activated carbon from bagasse and rice husk by a single-stage chemical activation method at low retention times", Bioresource Technology, 99, 6809-6816



10. S. Ucar, M. Erdem, T. Tay, S. Karagoz, (2009) "Preparation and characterization of activated carbon produced from pomegranate seeds by $ZnCl_2$ activation", *Applied Surface Science*, 255, 8890-8896
11. K. Okada, N. Yamamoto, Y. Kameshima, A. Yasumori, (2003) "Adsorption properties of activated carbon from waste newspaper prepared by chemical and physical activation", *Journal of Colloid and Interface Science*, 262, 194-199
12. مینا طهرانی زاده، احمد غضنفری مقدم، حسن هاشمی پور رفسنجانی (1391) «تهیه کربن فعال از چوب نخل خرما با استفاده از تجزیه حرارتی»، *مجله تحقیقات مهندسی کشاورزی*، 13، 3، 77-88
13. E. Worch (2012) *Adsorption Technology in Water Treatment*, De Gruyter, Berlin, Germany
14. J.A. Macia-Agullo, B.C. Moore, D. Cazorla-Amoros, A. Linares-Solano, (2004) "Activation of coal tar pitch carbon fibres: Physical activation vs. chemical activation", *Carbon*, 42, 1367-1370
15. M. Ahmedna, W.E. Marshall, R.M. Rao (2000) "Production of granular activated carbon from select agricultural by-product and evaluation of their physical, chemical, adsorption properties", *Bioresource Technology*, 71, 113-123
16. اکرم دورانی (1388) «تولید کربن فعال نانو پروس از زائدات پوست گردو»، *خبرنامه فناوری های نوین کشاورزی*، 12، 1-6
17. Shankin Ni, Yiwen Ju, Quanlin Hou, Shijie Wang, Qing Liu, Yudong Wu, Lingling Xiao (2009) "Enrichment of heavy metal elements and their adsorption on iron oxides during carbonate rock weathering process", *Progress in Natural Science*, 19, 1133-1139