

# ساخت کربن فعال به وسیله‌ی فعال‌سازی شیمیایی و فیزیکی چوب‌های مرکبات، زیتون و گز و مقایسه ویژگی‌های آنها

غلامرضا باصری\*<sup>+</sup>

گروه مهندسی پلیمر، واحد داراب، دانشگاه آزاد اسلامی، داراب

شیدا اسمعیل‌زاده

گروه شیمی، واحد داراب، دانشگاه آزاد اسلامی، داراب

فاطمه السادات حسینی

باشگاه پژوهشگران جوان و نخبگان، واحد داراب، دانشگاه آزاد اسلامی، داراب

**چکیده:** کربن فعال از پیرولیز هر ماده دارای کربن با استفاده از عملیات فعال‌سازی گوناگون، تولید می‌شود. در این پژوهش، چوب درختان پرتقال، زیتون و گز منطقه داراب فارس به عنوان مواد اولیه تولید کربن فعال استفاده شده است. اندازه‌گیری چگالی، درصد رطوبت، درصد ترکیب‌های شیمیایی (شامل سلولز، لیگنین، مواد استخراجی و خاکستر) مطابق با آیین‌نامه تاپی (TAAPI) و آنالیز گرمایی (DSC-TGA) بر روی نمونه‌های چوب، نشان می‌دهد، تخریب گرمایی چوب زیتون در دماهای بالاتری انجام می‌شود. همچنین میزان کربن تابعی از دانسیته چوب بوده و آنالیز شیمیایی چوب اثری بر میزان کربن و پایداری گرمایی آن ندارد. کربن فعال از نمونه چوب‌های گوناگون در سه حالت بدون فعال‌سازی، فعال‌سازی فیزیکی با بخار آب و فعال‌سازی شیمیایی با روی کلرید (در نسبت‌های ۵۰٪، ۱۰۰٪ و ۱۵۰٪) در شرایط همانند دما و زمان، تولید و ویژگی‌های آنها شامل عدد یدی، سطح آزاد به روش BET، رفتار گرمایی و تصویرهای میکروسکوپ الکترونی با یکدیگر مقایسه شده است. نتیجه‌ها نشان می‌دهند که عدد یدی و سطح آزاد کربن فعال تولیدی به طور مستقیم تابع نوع فعال‌سازی می‌باشد، به شکلی که این پارامترها در فعال‌سازی شیمیایی تفاوت چشمگیری نسبت به سایر روش‌ها دارد. همچنین با افزایش مقادیر عامل فعال‌سازی شیمیایی از ۵۰٪ تا ۱۰۰٪ میزان سطح آزاد، جذب هم‌دما، حجم آزاد و عدد یدی نیز افزایش می‌یابد لیکن افزایش از ۱۰۰٪ به ۱۵۰٪ اثر محسوسی بر این پارامتر و در نتیجه فعال‌سازی کربن ندارد. بیش‌ترین عدد یدی و BET مربوط به نمونه چوب پرتقال فعال شده با ۱۵۰٪ کلرید روی، با مقادیرهای به ترتیب ۹۸۰/۹۷ و ۱۰۵۰/۲۲ می‌باشد. همچنین در همه موارد فعال‌سازی، کربن به دست آمده از چوب زیتون رفتار بهتری از خود نشان می‌دهد و مقاومت گرمایی کربن فعال تولید شده از چوب زیتون نسبت به بقیه بیش‌تر است.

**واژه‌های کلیدی:** کربن فعال؛ فعال‌سازی فیزیکی؛ چوب پرتقال؛ چوب زیتون؛ چوب گز؛ فعال‌سازی شیمیایی؛ آنالیز شیمیایی چوب.

**KEYWORDS:** Activated carbon; Physical activation; Citrus wood; Olive wood; Tamarisk wood; Chemical activation; Chemical analysis of wood.

+E-mail: basseri2009@gmail.com

\*عهده دار مکاتبات

## مقدمه

هر ساله مقدار چشمگیری از درختان مرکبات و نیز سایر درختان در منطقه داراب به دلیل کم آبی، بالا رفتن سن درختان و نیز موضوع هرس کردن آنها، خشک شده و به چوب خشک تبدیل می‌شوند که در بسیاری از موارد این اقلام به درستی مورد استفاده اقتصادی قرار نمی‌گیرند. حال آن‌که به واسطه سختی ذاتی چوب این درختان، بستر خوبی برای تولید کربن فعال از این درختان خشک و ضایعاتی فراهم می‌شود. کربن فعال به‌عنوان یک جاذب، دارای کاربردهای مهم و حیاتی می‌باشد.

کربن فعال به گروهی از مواد اطلاق می‌شود که مساحت سطح داخلی بالا، تخلخل و قابلیت جذب گازها و مایع‌های شیمیایی را دارند. این ماده از پیرولیز هر ماده دارای کربن تولید می‌شود و تحت عملیات فعال‌سازی قرار می‌گیرد. کربن‌های فعال به‌عنوان جاذب‌های حیاتی در صنایع شناخته شده‌اند و کاربردهای گسترده‌ای با توجه به قابلیت جذب گازها و مایع‌های مزاحم دارند، و می‌توان از آنها برای تصفیه و پاکسازی و حتی بازیافت مواد شیمیایی استفاده نمود. کربن‌های فعال شده به دلیل مساحت گسترده آنها، ساختار منفذی، ظرفیت جذب بالا و قابلیت فعال‌سازی دوباره سطح، یک ماده یگانه می‌باشند.

شایان ذکر است افزون بر تولید داخلی این فرآورده، میزان واردات این کالا نشان از اهمیت این کالا در صنایع گوناگون می‌باشد. جدول ۱ آمار واردات این کالا را در سال‌های ۱۳۹۰ تا ۱۳۹۴ از کشورهای گوناگون نشان می‌دهد [۱].

گرچه میانگین قیمت کربن فعال حدود ۳ دلار در هر کیلوگرم می‌باشد لیکن متناسب با محل واردات (و محل مصرف آن) از طیف گسترده‌ای از قیمت (از ۲ تا ۱۶ دلار بر کیلوگرم) برخوردار می‌باشد.

تولید کربن فعال با استفاده از دو روش فعال‌سازی فیزیکی و فعال‌سازی شیمیایی امکان پذیر است. هدف از فعال‌سازی، ایجاد یک ساختار متخلخل کربنی با سطح آزاد زیاد در ماده خام است. در روش فعال‌سازی فیزیکی، ماده خام نخست در محیطی بدون حضور هوا کربونیزه می‌شود تا پایه کربنی اولیه تشکیل شود. در این شرایط، ترکیب‌های سلولزی و نیز پلیمری موجود در ماده خام به زغال تبدیل شده و مواد خامی مانند زغال سنگ، کلیه ترکیب‌های فرار خود را از دست می‌دهند. سپس پایه کربنی به‌دست آمده در معرض یک عامل فعال‌ساز گازی در دمای بالا قرار می‌گیرد. عامل فعال‌ساز به طور عموم بخار آب، کربن دی‌اکسید، اکسیژن یا

مخلوط آنها می‌باشد که می‌تواند است در دمای بالا با بخشی از کربن موجود در ماده واکنش دهد و آن را به‌صورت عامل‌های گازی کربن مونواکسید یا کربن دی‌اکسید خارج سازد. بدین ترتیب پس از حذف بخشی از کربن ساختمانی به وسیله عامل فعال‌ساز، فرآورده‌ی باقیمانده ساختاری متخلخل خواهد داشت. چگونگی تخلخل این فرآورده به عامل‌های بسیاری مانند نوع ماده خام، شرایط کربونیزاسیون، نوع عامل فعال‌ساز، دما و زمان فعال‌سازی بستگی دارد.

در روش فعال‌سازی شیمیایی که یک روش تک مرحله‌ای برای تولید کربن فعال به شمار می‌آید، ماده خام با محلولی غلیظ از یک عامل فعال‌ساز مخلوط شده و مخلوط به دست آمده پس از خشک شدن، در شرایط اتمسفر بی اثر در یک کوره گرما می‌بیند. از جمله مهم‌ترین موادی که به‌عنوان عامل فعال‌ساز مورد استفاده قرار می‌گیرند می‌توان به ترکیب‌های فلزهای قلیایی یا قلیایی خاکی مانند پتاسیم هیدروکسید، پتاسیم کربنات، سدیم کربنات، منیزیم کلرید و برخی اسیدها مانند فسفریک اسید، سولفوریک اسید، آلومینیوم کلرید و روی کلرید اشاره کرد. در اینجا نقش عامل فعال‌ساز، حذف آب از ساختار ماده اولیه و پایین آوردن دمای لازم برای کربونیزاسیون و جلوگیری از تشکیل قطران در زمان انجام فرایند است، که به ایجاد یک ساختار متخلخل در فرآورده کمک می‌کند. در این روش ویژگی‌های ماده خام مانند نوع و اندازه‌های دانه‌های آن، نوع عامل فعال‌ساز، نسبت اختلاط ماده خام با عامل فعال‌ساز (درصد تلقیح)، شرایط خشک کردن و گرمایش در کوره، در مشخصات و ویژگی‌های فرآورده‌ی نهایی تأثیر چشمگیری خواهد داشت. روشن است انتخاب روش فعال‌سازی، چگونگی تخلخل فرآورده را نیز تحت تأثیر قرار می‌دهد. به‌عنوان نمونه مشخص شده است که روش فعال‌سازی فیزیکی بیش‌تر حفره‌هایی به شکل مخروط ایجاد می‌کند. به‌صورتی که قاعده مخروط در بالا قرار دارد. درحالی که روش فعال‌سازی شیمیایی منجر به تشکیل حفره‌هایی به شکل بطری می‌شود.

از نظر اقتصادی، بهتر است موادی با کربن بالا و مواد آلی کم برای تولید کربن فعال شده انتخاب شود. ماده تشکیل شده جامد به دست آمده از عملیات پیرولیز باید دانسته بالا و همچنین دارای گازهای فرار کافی باشند. آزادسازی گازهای فرار در مرحله پیرولیز باعث ایجاد منفذها در کربن می‌شود. دانسته بالا باعث می‌شود کربن از استحکام و ساختار محکمی برخوردار شود. مواد خام مورد استفاده به ترتیب اهمیت آنها از نظر ظرفیت تولید

جدول ۱- واردات کربن فعال در سال‌های گوناگون

سال	وزن (کیلوگرم)	متوسط ارزش ریالی در هر سال (ریال بر کیلوگرم)	متوسط ارزش دلاری در هر سال (دلار بر کیلوگرم)
۱۳۹۰	۲۰۲۰۹۲۰	۲۶۷۴۶	۲/۴۴
۱۳۹۱	۱۶۶۲۳۹۳	۵۰۱۱۹	۳/۰۰
۱۳۹۲	۲۲۱۸۵۱۹	۷۶۲۲۲	۳/۰۸
۱۳۹۳	۲۲۷۲۷۴۸	۷۸۰۵۹	۲/۹۶

بافت‌های ثانویه لینین شده گیاهان آوندی که در بین مغز و لایه زاینده (کامبیوم) ساقه، ریشه و شاخه‌ها قرار می‌گیرد.

تعریف تجاری: چوب عبارت است از قسمت‌های داخلی ساقه، ریشه و شاخه درختان و درختچه‌ها که قابل تبدیل برای استفاده در مصرف‌های گوناگون می‌باشد و می‌توان با کار کردن بر روی آن به ارزش و مرغوبیت آن افزود.

تعریف صنعتی: چوب عبارت است از ماده ای جامد و متخلخل فیبری شکل، که دارای ساختمان سازمان یافته ای است و از هرسو نایکسان و ناهمگن می‌باشد.

ترکیب‌های تشکیل دهنده سلول چوب عبارتند از: کربوهیدرات‌ها (سلولز و همی‌سلولزها)، لیگنین، مواد استخراجی، ترکیب‌های معدنی.

#### مروری بر مطالعه‌های انجام شده

با توجه به بررسی‌های انجام شده و مطالعه مقاله‌ها، پتنت‌ها و مراجع موجود، موردی دیده نشد که در آن به بررسی ساختار چوب‌های مورد استفاده در این مقاله (چوب درختان پرتقال، زیتون و گز) و نیز کربن فعال تولیدی از این چوب‌ها، اشاره داشته باشد لیکن مطالعه‌های گوناگونی در مورد بررسی ساختار چوب‌های گوناگون و نیز کربن فعال تولید شده از مواد اولیه گوناگون انجام شده که به اختصار آورده می‌شود.

#### مطالعه‌های انجام شده بر روی ساختار چوب و فراورده‌ها و ضایعات کشاورزی

از آنجایی که چوب‌های مصرفی در این مقاله به عنوان چوب‌های جنگلی معرفی نمی‌شوند و نیز فراوانی چندانی ندارند، در نتیجه به عنوان منبع مورد استفاده در صنایع چوب و کاغذ اهمیت زیادی نداشته، بنابراین مطالعه ویژه‌ای برای شناسایی ترکیب‌های شیمیایی آن صورت نپذیرفته است. یکی از معتبرترین مراجع برای بررسی ساختار چوب کتاب "ساختار شیمیایی چوب" بوده

کربن متخلخل، ویژگی‌های نهایی و مقدار مصرف عبارتند از: چوب، زغال سنگ، سیگمنت (نوعی زغال سنگ)، پوست نارگیل و سبوس برنج.

استفاده از مواد خام سلولزی برای جذب از فاز مایع به ویژه در مواقعی که هدف از کاربرد فراورده‌ی پایانی، استفاده در فرایندهای صنایع غذایی باشد، به دلیل وجود ناخالصی کم‌تر مورد استفاده قرار می‌گیرد.

در این مقاله شرایط فراورده‌ی به‌دست آمده از فعال‌سازی شیمیایی و فیزیکی چوب درختان پرتقال، زیتون، گز به‌عنوان ماده خام به وسیله عامل فعال‌ساز روی کلرید ارایه شده است و اثر متغیرهایی مانند نوع چوب به عنوان ماده اولیه، نوع فعال‌سازی و درصد تلقیح در فعال‌سازی شیمیایی، روی تخلخل و ویژگی‌های جذبی فراورده، مورد مطالعه قرار گرفته است. این متغیرها به‌عنوان عامل‌های با اثر گذاری زیاد در ساخت کربن فعال شناخته شده اند. انتخاب کلرید روی به عنوان عامل فعال‌ساز به این دلیل بوده است که این ماده با داشتن ویژگی‌هایی نظیر کاهش دمای لازم برای فعال‌سازی و افزایش سرعت آن، رایج ترین ماده مصرفی برای این منظور به شمار می‌آید.

کربن فعال شده دارای کاربردهای زیادی می‌باشد از جمله مصرف‌های آن به تصفیه آب‌ها (آب شرب، آب آکواریوم و آب‌های صنعتی) از نظر رنگ و طعم، رنگ زدایی از قند و شکر، بازیافت طلا، بهسازی رنگ طعم دهنده در نوشیدنی‌ها و آب میوه‌ها، استفاده در دستگاه‌های تصفیه کننده هوا، خوش بو کننده‌ها، همچنین داروهای سم‌زدا و تصفیه‌های صنعتی و ... اشاره کرد.

#### چوب به عنوان ماده اولیه تولید کربن فعال

چوب، بسته به اینکه در چه قسمتی مورد استفاده قرار گیرد، تعریف متفاوت دارد. حجازی به طور کلی سه تعریف برای آن به کار برده است [۲].

تعریف گیاه شناسی: چوب عبارت است از مجموعه ای از

همچنین مقادیرهای لیگنین موجود در برون چوب ۲۳/۴۰ و درون چوب ۲۳/۵۰ درصد تعیین شده است [۸].

مهرابی ویژگی‌های چوب صنوبر دلتوئیدس را بررسی کرد و به این نتیجه رسید که طول الیاف آن ۱/۱۴۸ میلی متر، وزن مخصوص خشک آن ۰/۴۶۱ گرم بر سانتی متر مکعب، میانگین سلولز ۵۱/۵ درصد، میانگین لیگنین ۱۸ درصد و میانگین مواد استخراجی آن ۱/۵ درصد می‌باشد [۹].

نظرنژاد پژوهشی را با هدف شناخت ویژگی‌های آناتومیکی، فیزیکی و شیمیایی صنوبر دلتوئیدس انجام داد و به این نتیجه رسید که میانگین مقدار سلولز، لیگنین، مواد استخراجی و خاکستر برون چوب به ترتیب ۵۲/۸۸، ۲۳/۴۳، ۰/۸۲۵، و ۰/۷۷۹ و درون چوب ۵۳/۲، ۲۳/۴۹، ۰/۸۴۵ و ۱/۶۸۵ می‌باشد [۱۰].

کرد و سرائیان با بررسی مقدار لیگنین صنوبر دلتوئیدس منطقه گرگان به این نتیجه رسیدند که با افزایش سن از مغز تا پوست، میزان لیگنین کاهش می‌یابد [۱۱].

رضائی در مقاله خود با عنوان "بررسی ویژگی‌های آناتومی، بیومتری و شیمیایی چوب جوان و بالغ صنوبر" از درختان گونه بومی *populus alba* در سنین ۵ و ۲۵ ساله ای در منطقه ای به نام مهنان واقع در شهرستان بجنورد استفاده نمود. این پژوهش به بررسی برخی از ویژگی‌های کاربردی آناتومیکی و شیمیایی آن‌ها پس از تهیه مقاطع سه گانه (عرضی، شعاعی و مماسی) و آرد چوب عاری از مواد استخراجی و تهیه لیگنین‌های دیوکسان و کلازون پرداخته است [۱۲].

همچنین سعیدآبادی به شناسایی انواع درختان گز در ایران (کویر لوت) پرداخته است لیکن اشاره ای به ساختار شیمیایی آن‌ها ننموده است [۱۳].

کوشلندرا<sup>(۴)</sup> از روش TGA [۱۴]، ماهاتو<sup>(۵)</sup> از طیف سنجی فروسرخ و DSC [۱۵] و نیز یانگ<sup>(۶)</sup> از DSC [۱۶] برای آنالیز شیمیایی اجزاء سازنده چوب استفاده نمودند.

**مطالعه‌های انجام شده کربن فعال با استفاده از چوب، فراورده‌ها و ضایعات کشاورزی به عنوان ماده اولیه**

دونگان<sup>(۷)</sup> فرایندهایی که برای تولید کربن فعال شده وجود دارند را به سه دسته تقسیم کرد: ۱- فعال سازی گرمایی در دماهای بالا، ۲- فعال سازی شیمیایی با استفاده از فسفریک اسید و روی کلرید،

که به وسیله راجر پترسون<sup>(۱)</sup> گرد آوری شده است [۳]. در این کتاب ساختار شیمیایی بسیاری از انواع چوب‌ها از جمله زیتون و گز آورده شده است لیکن همان‌گونه که در این کتاب تصریح شده آنالیز چوب به پارامترهای بسیاری از جمله گونه درخت، سن، بخش‌های گوناگون درخت، منطقه آب و هوایی و غیره بستگی دارد، در نتیجه آنالیز درختان یاد شده مربوط به منطقه روسیه بوده و با آزمایش‌های انجام شده در این پژوهش تطابق کامل ندارد.

راول و همکاران<sup>(۳)</sup> الیاف پسماندهای گیاهی را به عنوان مواد لیگنوسولوزی مورد توجه قرار دادند، یعنی منابعی که در درجه ی اول شامل سلولز، همی سلولزها و لیگنین می باشند. مواد لیگنوسولوزی شامل چوب، پسماندهای ناشی از فعالیت‌های کشاورزی، گیاهان آبرزی، گیاهان علفی و دیگر منابع گیاهی می‌باشند [۴].

ردی و یانگ<sup>(۳)</sup> عنوان نمودند که الیاف باقی مانده‌های گیاهی ترکیب، ویژگی‌ها و ساختاری دارند که آن‌ها را برای استفاده در ساخت فراورده‌های چند سازه، منسوجات و تولید خمیر و کاغذ مناسب می‌سازند، همچنین اینکه الیاف گیاهی می‌توانند به منظور تولید سوخت، مواد شیمیایی، آزیم‌ها، غذا و فراورده‌های کشاورزی استفاده شوند [۵].

ویژگی‌های فیزیکی و مقاومتی فراورده‌های به دست آمده از این مواد لیگنوسولوزی به ویژگی‌های ریخت شناسانه و ترکیب‌های شیمیایی الیاف آن وابسته است و استفاده از این منابع برای تولید هر فراورده‌ای نیاز به ارزیابی دقیق ویژگی‌های کاربردی آن‌ها دارد. مهدوی و همکاران با مطالعه ویژگی‌های ریخت شناسانه و ترکیب‌های شیمیایی الیاف توانستند شناخت خوبی از آن‌ها به دست آورده و با مقایسه آن‌ها با الیاف گونه‌های طبیعی رایج و مورد استفاده در صنعت، قابلیت یا توانایی استفاده از آن‌ها را در صنعت فراورده‌های به دست آمده از مواد لیگنوسولوزی تخمین زدند [۶].

شیارکار و همکاران ترکیب‌های شیمیایی ساقه‌های ذرت کشت شده در منطقه آستارا شامل درصد سلولز، لیگنین، مواد استخراجی و خاکستر را انجام دادند [۷].

همچنین سرائیان و همکاران اندازه گیری مقدار لیگنین برون چوب و درون چوب صنوبر دلتوئیدس را انجام دادند. در این پژوهش میانگین طول الیاف برای بخش برون چوب و درون چوب صنوبر دلتوئیدس به ترتیب ۹۹۶ و ۶۸۴ میکرون اندازه گیری شد.

(۱) Roger C. Pettersen, 1984

(۲) Rowell R.M., et al., 2000

(۳) Reddy, N. and Yang, Y., 2005

(۴) Kaushlendra S., 2007

(۵) D.N. Mahato, 2013

(۶) H. Yang, 2007

(۷) Joseph W. Donegan, 1951

چوب درختان پرتقال<sup>(۸)</sup>، زیتون<sup>(۶)</sup> و گز<sup>(۷)</sup> می باشد. همه نمونه ها از نمونه های موجود در شهرستان داراب تهیه شد. چوب ها برش داده شده و خاک اره های آن مورد استفاده قرار گرفته اند. روی کلرید (ZnCl<sub>2</sub>) مورد استفاده در این مقاله به عنوان ماده فعال کننده شیمیایی فرآورده ی شرکت ایرانی کیمیا مواد با خلوص حداقل ۹۷٪ بوده است.

### آزمایش های انجام شده بر روی نمونه های چوب خام

چوب های انتخاب شده پس از اطمینان از خشک بودن آن ها برای انجام آزمایش ها اندازه گیری دانسیته، به صورت دیسک هایی به قطر ۴ سانتیمتر و به ضخامت ۴ تا ۶ میلی متر برش داده شده اند و برای سایر آزمایش ها از خاک اره به دست آمده از برش آن ها که آسیاب شده و با استفاده از الک جدا سازی شده اند استفاده شده است.

### تعیین چگالی (دانسیته) نمونه ها

برای اندازه گیری چگالی نمونه ها، وزن آن ها با ترازوی دقیق (با دقت سه رقم اعشار) و حجم با اندازه گیری کاهش جرم در آب که یکی از روش های غوطه وری (بویانسی) است، انجام شده است.

### اندازه گیری درصد رطوبت

درصد رطوبت به وسیله وزن سنجی پس از قرار دادن پودر نمونه های چوب در اون در دمای ۱۰۳ درجه سلسیوس به مدت ۱ ساعت، محاسبه شده است که مطابقت بسیار بالایی با نتیجه های به دست آمده از آزمایش ها DSC-TGA داشته است.

### اندازه گیری درصد ترکیب های شیمیایی

اندازه گیری درصد ترکیب های شیمیایی شامل درصد سلولز، لیگنین، مواد استخراجی و خاکستر در پژوهشگاه پردیس زیر آب، انجام شد.

برای این آزمایش ها از هر یک از نمونه های چوب مطابق استاندارد T 264 om-88 و استاندارد TAPPI آماده سازی چوب برای آنالیز شیمیایی، اندازه گیری درصد سلولز مطابق روش T429 با استفاده از نیتریک اسید انجام شد. اندازه گیری درصد لیگنین

۳- فعال سازی فیزیکی با استفاده از گازهای فعال کننده مانند بخار آب و کربن دی اکسید [۱۷].

همچنین غفاری و همکاران روش های گوناگون فعال سازی چوب (خاک اره) را برای تولید کربن فعال مورد بررسی قرار دادند [۱۸]. سمرقندی و همکاران از مخروط کاج، کربن فعال تولید کرده و در جذب رنگ از محلول های آبی مورد استفاده قرار دادند [۱۹]. م. عابدین زادگان عبدی و همکاران نشان دادند که روش مورد استفاده فعال سازی شیمیایی پوست گردو به وسیله عامل فعال ساز روی کلرید بوده است. در این بررسی ها مشخص شد که افزایش نسبت وزنی عامل فعال ساز به ماده خام تا ۱۰۰٪ وزنی، منجر به افزایش شدید سطح آزاد، حجم حفره ها و نیز عدد یدی فرآورده ی نهایی می شود و افزایش بیش تر نسبت عامل فعال ساز تا میزان دو برابر، منجر به افزایش تدریجی سطح آزاد و حجم حفره ها می شود و بر روی عدد یدی فرآورده اثری ندارد. اندازه ذره های ماده خام در بازه ی مورد بررسی، اثر چشمگیری را بر روی ویژگی های سطحی و جذبی فرآورده نشان نداده است [۲۰].

بررسی اثر نوع ماده اولیه در ویژگی های کربن فعال به وسیله کاغذچی و مددی انجام شد و دیده شد که پوست پسته با داشتن بیش ترین مقدار نسبت سلولز به لیگنین و خاکستر کم تر بیش ترین عدد یدی و سطح فعال را دارا می باشد [۲۱].

همچنین کربن فعال به عنوان معمول ترین و کارآمد ترین ماده قابل تولید از مواد آلی گوناگون در بسیاری از مطالعه های مورد بررسی قرار گرفته است. از این نوع مطالعه ها می توان به تولید کربن فعال از مواد زاید صنعتی به وسیله سانگ و همکاران<sup>(۱)</sup> [۲۲] و همچنین کادیرولو<sup>(۲)</sup> [۲۳]، و از بادام زمینی به وسیله ناماسیویام و همکاران<sup>(۳)</sup> [۲۴] و از زواید نی هندی (بامبو) به وسیله احمد و همکاران<sup>(۴)</sup> [۲۵] اشاره کرد. در تمامی این مطالعه ها، کربن فعال توانسته است به شکل مطلوبی و با توانایی جذب چشمگیری در حذف آلاینده های مورد مطالعه استفاده شود.

### بخش تجربی

#### مواد

چوب به عنوان مواد خام مورد استفاده در این بررسی،

(۱) Song, et al. 2011

(۲) Kadirvelu, 2005

(۳) Namasivayam & Kavitha 2011

(۴) Ahmad & Hameed, 2010

(۴) Citrus sinensis

(۶) Olea europaea

(۷) Tamarix tetrand

مرحله کربونیزاسیون یا تولید کربن فعال در محفظه استیل قرار داده شده و در کوره گذاشته شده و بر اساس برنامه گرمادهی معین (شکل ۱) عملیات کربونیزاسیون انجام شده است. پس از آن نمونه‌های کربن تولیدی چندین بار به وسیله آب شستشو داده شدند تا pH آن‌ها به ۶ تا ۶/۵ برسد. کربن فعال به دست آمده، سرانجام در آون در دمای  $50 \pm 105^\circ\text{C}$  به‌طور کامل خشک شدند.

نکته چشمگیر اینکه در مورد چوب‌های زیتون و گز استفاده از فعال کننده شیمیایی روی کلرید در مقادیرهای ۱۰٪ و ۱۵٪ به دلیل این‌که نمونه‌هایی به شدت گرانبه و چسبندگی و غیر قابل خشک شدن به وجود آمدند، در عمل تولید کربن فعال غیر ممکن بوده در نتیجه از انجام آزمایش‌های بیشتر بر آن‌ها خودداری شده است.

قابل بیان است گرمادهی بدین صورت بوده که پس از قرار دادن محفظه استیل دارای پودر چوب در کوره، دمای کوره از دمای محیط (۲۵ درجه سلسیوس) طی مدت زمان ۵۰ دقیقه به ۵۰۰ درجه سلسیوس رسانیده شده و به مدت یک ساعت در این دما نگهداشته شده است و سپس به آرامی سرد شده و به دمای محیط رسانیده شده است.

#### آزمایش‌های انجام شده بر روی نمونه‌های کربن فعال تولیدی

آزمایش‌های انجام شده بر روی نمونه‌های کربن فعال تولید شده عبارتند از:

#### تعیین سطح آزاد به روش BET

نمونه‌های کربن فعال به دست آمده، تحت آزمایش‌های جذب نیتروژن در دمای ۷۷K به منظور تعیین سطح آزاد به روش BET قرار گرفته‌اند. این عمل به وسیله دستگاه PHS 1020 در پژوهشکده کیمیاژی انجام شده است.

#### اندازه گیری عدد یدی

آزمایش‌های اندازه گیری عدد یدی بر اساس استاندارد ASTM-D4607 مطابق با استاندارد ملی ایران به شماره ۸۹۳۸ به انجام رسیده است.

#### تصاویر میکروسکوپ الکترونی SEM

از نمونه ماده خام و نیز برخی از فراورده‌های به دست آمده، تصویرهای به وسیله میکروسکوپ الکترونی EM-3200 مونتاژ شده به وسیله کمپانی KYKY چین، تهیه شده است تا ساختمان فراورده‌های به دست آمده مورد بررسی دقیق تر قرار گیرد.

مطابق با استاندارد 88-222 om T، مواد استخراجی محلول در حلال‌های آلی (الکل و استن) مطابق با استاندارد، T 204 om-97 مواد استخراجی محلول در آب داغ مطابق با استاندارد T 207 om-88، و خاکستر مطابق با استاندارد T 211 om-93 آیین نامه TAPPI انجام شده است.

#### آنالیز گرمایی نمونه‌های چوب

آنالیز گرمایی نمونه‌های چوب به وسیله دستگاه Metler (DSC-TGA) در اتمسفر نیتروژن با نرخ گرمایی ۱۰ درجه سلسیوس بر دقیقه در بازه‌ی ۲۵ تا ۷۰۰ درجه سلسیوس، در دانشگاه آزاد اسلامی واحد شیراز انجام پذیرفته است.

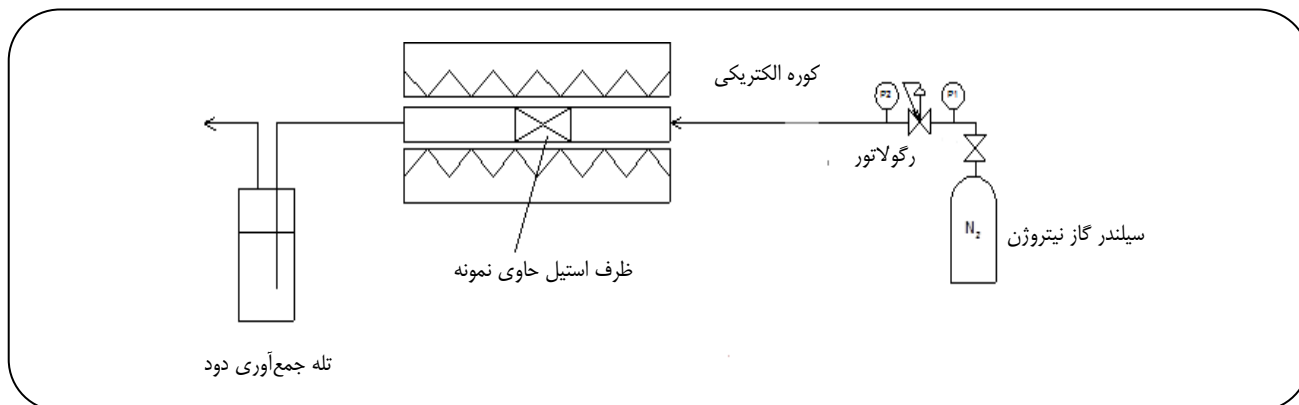
#### تولید کربن فعال

نمونه چوب‌های گوناگون پس از آسیاب شدن در بازه‌ی اندازه ذره‌ها بین ۲۱۲ میکرون تا ۵۰۰ میکرون الک شده و با استفاده از کوره الکتریکی قابل برنامه ریزی Nabertherm در یک محفظه از جنس استیل ۳۱۰ تحت اتمسفر نیتروژن با خلوص بالا در سه حالت زیر تهیه شده و ویژگی‌های آن‌ها با یکدیگر مقایسه شده است:

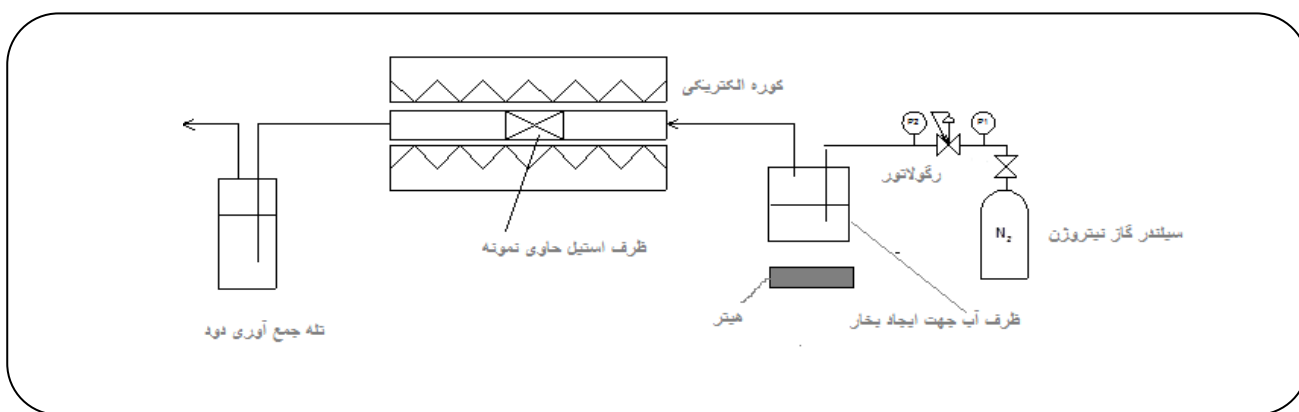
۱- تولید کربن فعال بدون فعال‌سازی: در این حالت پودرهای چوب آسیاب شده بدون هیچگونه فعال‌سازی، در محفظه فولادی قرار داده و در کوره گذاشته شده و بر اساس برنامه گرمادهی معین، (شکل ۱) عملیات کربونیزاسیون انجام شده است.

۲- تولید کربن فعال با فعال‌سازی فیزیکی با بخار آب: در این حالت پودرهای چوب آسیاب شده در محفظه فولادی قرار داده و در کوره گذاشته شده و بر اساس برنامه گرمادهی معین (شکل ۲) عملیات کربونیزاسیون انجام شده است. به طوری که گاز نیتروژن همراه با بخار آب وارد محفظه فولادی می‌شود.

۳- تولید کربن فعال با فعال‌سازی شیمیایی با کلرید روی: در این حالت ابتدا پودرهای چوب آسیاب شده به جرم معینی (۵۰ گرم)، به محلول غلیظ و جوشانی از کلرید روی افزوده شد. جرم روی کلرید موجود در این نمونه‌ها به گونه ای انتخاب شد که نسبت جرمی معینی را با ماده خام داشته باشد. (نسبت‌های ۵۰٪، ۱۰۰٪ و ۱۵۰٪ مورد استفاده قرار گرفتند). این مخلوط‌های ضمن بهم خوردن به ملایمت گرما می‌دیدند تا به صورت ظاهری خشک شوند سپس این مخلوط‌ها در آون در دمای  $100 \pm 140^\circ\text{C}$  برای مدت ۶ ساعت به‌طور کامل خشک شده اند. سپس به منظور انجام



شکل ۱- سامانه مورد استفاده برای تولید کربن فعال در حالت‌های بدون فعال‌سازی و فعال‌سازی شیمیایی.



شکل ۲- سامانه مورد استفاده برای تولید کربن فعال در حالت فعال‌سازی فیزیکی با بخار آب

آنالیز گرمایی نمونه‌های چوب در جدول ۴ و ترموگرام مربوط به آنالیز گرمایی DSC-TGA در پیوست (شکل پ- ۱) آورده شده است.

همان‌گونه که در جدول ۴ دیده می‌شود، مقدار باقیمانده در دمای ۵۰۰ درجه سلسیوس و مقدار باقیمانده در انتهای بازه‌ی تخریب (دمای  $650^{\circ}\text{C}$ ) به طور مستقیم تابعی از دانسیته چوب‌های مورد استفاده می‌باشد. در نتیجه می‌توان نتیجه گرفت، میزان کربن چوب‌های مورد استفاده، تابعی از دانسیته یا چگالی چوب می‌باشد. این نتیجه‌ها با محاسبه‌های انجام شده در آزمایش‌های تولید کربن فعال نیز مطابقت دارد (جدول ۵).

مقدار ماده باقیمانده در  $500^{\circ}\text{C}$  و  $650^{\circ}\text{C}$  تابعی از دانسیته نمونه چوب بوده، ولی به نظر می‌رسد فعال‌سازی فیزیکی با بخار آب، پایداری کربن را نسبت به کربن تولیدی بدون فعال‌سازی کاهش داده، لیکن فعال‌سازی شیمیایی پایداری کربن را افزایش داده است.

#### آنالیز گرمایی نمونه‌های کربن فعال تولیدی

آنالیز گرمایی برخی از نمونه‌های کربن فعال تولیدی به وسیله دستگاه Metler (DSC-TGA) تحت اتمسفر نیتروژن با نرخ گرمایی ۱۰ درجه سلسیوس بر دقیقه در بازه‌ی ۲۵ تا ۷۰۰ درجه سلسیوس، در دانشگاه آزاد اسلامی واحد شیراز انجام شده است.

#### نتیجه‌ها و بحث

چوب‌های به عنوان مواد خام مورد استفاده در این بررسی، چوب درختان پرتقال، زیتون و گز می‌باشد. که به ترتیب با حروف P و Z و G نشان داده شده اند (جدول ۲).

#### آزمایش‌های انجام شده بر روی نمونه‌های چوب خام

نتیجه‌های آزمایش‌های انجام شده بر روی نمونه‌های چوب خام از جمله، تعیین چگالی (دانسیته) نمونه‌ها، اندازه‌گیری درصد رطوبت و اندازه‌گیری درصد ترکیب‌های شیمیایی در جدول ۳ و نتیجه‌های

جدول ۲- کد گذاری نمونه‌ها.

نوع چوب	کد نمونه	عامل فعال کننده	مقدار عامل فعال کننده (%)
پرتقال	P-N	بدون فعال سازی	-
	P-P	فیزیکی (بخار آب)	-
	P-C-1	شیمیایی (روی کلرید)	۵۰
	P-C-2	شیمیایی (روی کلرید)	۱۰۰
	P-C-3	شیمیایی (روی کلرید)	۱۵۰
زیتون	Z-N	بدون فعال سازی	-
	Z-P	فیزیکی (بخار آب)	-
	Z-C-1	شیمیایی (روی کلرید)	۵۰
گز	G-N	بدون فعال سازی	-
	G-P	فیزیکی (بخار آب)	-
	G-C-1	شیمیایی (روی کلرید)	۵۰

جدول ۳- چگالی، رطوبت و ترکیبات شیمیایی چوب‌های گوناگون مورد استفاده.

نوع چوب	چگالی (گرم بر سانتیمتر مکعب)	رطوبت (%)	سلولز (%)	همی سلولز (%)	لیگنین (%)	مواد استخراجی (%)	خاکستر (%)	نسبت سلولز به لیگنین
P (پرتقال)	۰/۷۳	۴/۹	۵۴/۰	۲۵/۰	۱۳/۸	۴/۰	۳/۲	۳/۹۱
Z (زیتون)	۰/۷۸	۴/۴	۵۴/۵	۲۱/۵	۲۰/۰	۲/۶	۱/۴	۲/۷۳
G (گز)	۰/۸۶	۶/۲	۵۰/۰	۲۶/۰	۱۵/۵	۳/۶	۴/۹	۳/۲۳

جدول ۴- نتیجه‌های آنالیز گرمایی نمونه‌های چوب مورد استفاده.

نوع چوب	دانسیته (گرم بر سانتیمتر مکعب)	نتایج حاصل از آزمایشات DSC/TGA بر نمونه های چوب					
		دمای شروع تخریب گرمایی	دمای خاتمه تخریب گرمایی	پیک دمای تخریب گرمایی	درصد رطوبت	مقدار باقیمانده در دمای ۵۰۰°C	مقدار باقیمانده در انتهای محدوده تخریب (دمای ۶۵۰°C)
P (پرتقال)	۰/۷۳	۳۵۶	۴۱۹	۳۸۰	۲/۷۵	۲۷/۸	۲۴/۴
Z (زیتون)	۰/۷۸	۳۶۷	۳۸۰	۳۷۲	۲/۵۰	۲۸/۷	۲۵/۳
G (گز)	۰/۸۶	۲۵۶	۳۹۴	۳۱۷	۳/۸۰	۳۵/۹	۳۱/۴



جدول ۵ - درصد کربن به دست آمده از کربونیزاسیون چوب های مورد استفاده در طرح.

نوع چوب	دانشیه (گرم بر سانتیمتر مکعب)	درصد کربن به دست آمده از کربونیزاسیون چوب (در دمای ۵۰۰ درجه سلسیوس)			نتیجه های به دست آمده از آزمایش های DSC/TGA بر نمونه های چوب	
		بدون فعال سازی	فعال سازی (فیزیکی (بخار آب)	فعال سازی شیمیایی (کلرید روی) به مقدار ۵۰٪ وزن چوب	مقدار باقیمانده در دمای ۵۰۰°C	مقدار باقیمانده در انتهای محدوده تخریب (دمای ۶۵۰°C)
P (پرتقال)	۰/۷۳	۲۷/۸	۲۳/۳	۲۸/۳	۲۷/۸	۲۴/۴
Z (زیتون)	۰/۷۸	۲۸/۳	۲۶/۲	۳۰/۲	۲۸/۷	۲۵/۳
G (گز)	۰/۸۶	۳۱/۵	۳۰/۲	۳۳/۱	۳۵/۹	۳۱/۴

جدول ۶ - درصد خاکستر چوب ها و کربن فعال تولیدی از آن ها با روش های گوناگون فعال سازی.

نوع چوب	درصد خاکستر نمونه های چوب	درصد باقیمانده نمونه های کربن فعال به دست آمده (در دمای ۱۰۵۰ درجه سلسیوس)		
		بدون فعال سازی	فعال سازی فیزیکی (بخار آب)	فعال سازی شیمیایی (روی کلرید) به مقدار ۵۰٪ وزن چوب
P (پرتقال)	۳/۲	۶/۷	۸/۸	۱۱/۴
Z (زیتون)	۱/۴	۲/۹	۴/۱	۹/۰
G (گز)	۴/۹	۱۰/۶	۱۱/۴	۱۱/۳

دید شده است که تخریب گرمایی چوب زیتون در دماهای بالاتری انجام پذیرفته است.

همچنین در بررسی درصد خاکستر چوب ها و مقدار باقیمانده کربن فعال تولیدی از آن ها با روش های گوناگون فعال سازی (که به مدت ۱ ساعت در کوره در دمای ۱۰۵۰ درجه سلسیوس قرار داده شده) دیده می شود که فعال سازی فیزیکی یا شیمیایی پایداری کربن را بالاتر برده به شکلی که در زمان و دمای همانند مقادیرهای بیشتری از ماده باقی مانده است.

#### آزمایش های انجام شده بر روی نمونه های کربن فعال تولیدی

نتیجه های آزمایش های تعیین سطح آزاد و کل فضای خالی به روش BET، اندازه گیری عدد یدی، آنالیز گرمایی نمونه های کربن فعال تولیدی و تصاویر میکروسکوپ الکترونی SEM در ادامه آورده شده است.

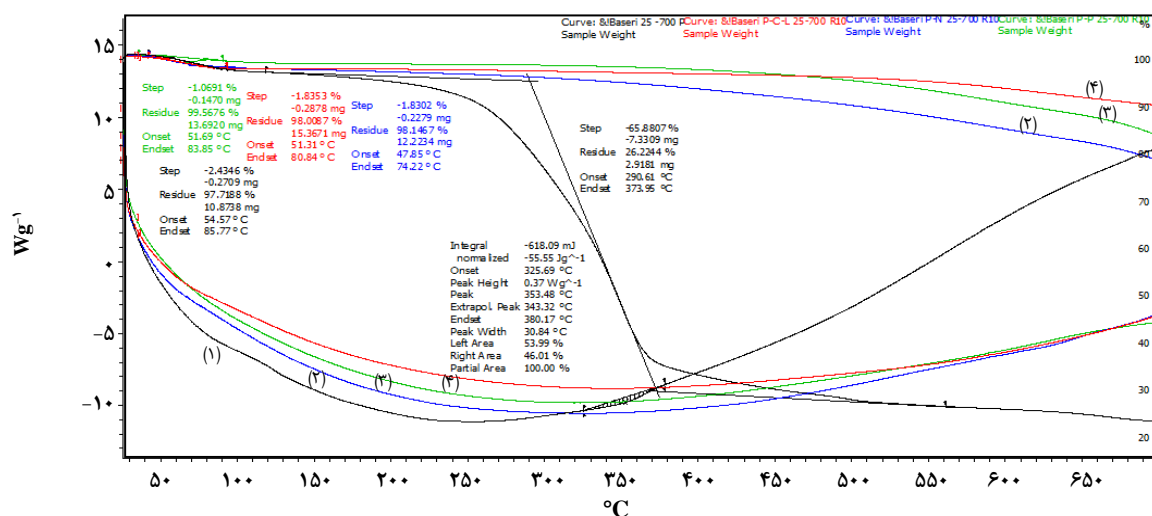
#### مقایسه عامل های فعال کننده بر چوب پرتقال

رفتار گرمایی نمونه های گوناگون کربن فعال تولید شده از چوب پرتقال در شکل ۳ آورده شده است.

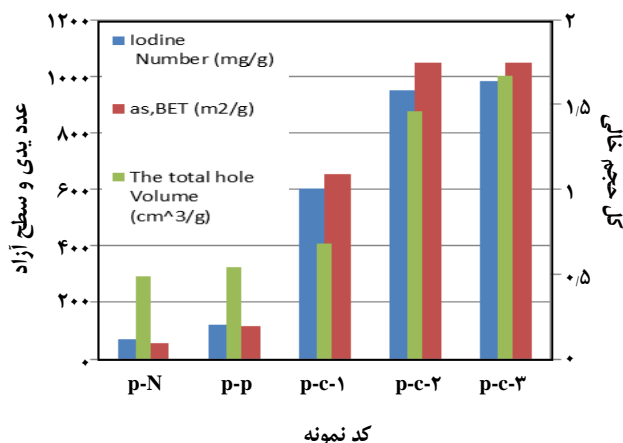
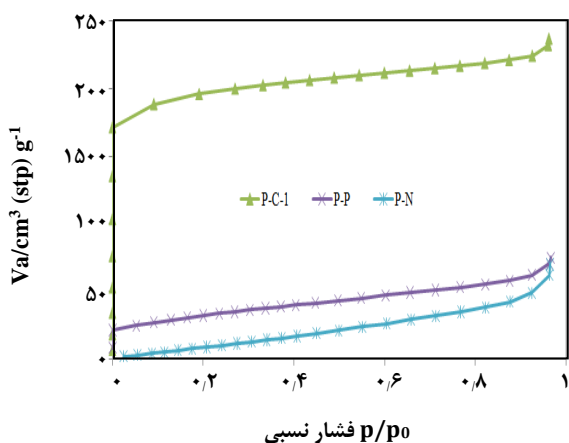
#### درصد خاکستر چوب ها و کربن فعال تولیدی از آن ها با روش های گوناگون فعال سازی

درصد خاکستر چوب ها و مقدار باقی مانده کربن فعال تولیدی از آن ها با روش های گوناگون فعال سازی (که به مدت ۱ ساعت در کوره در دمای ۱۰۵۰°C قرار داده شده) در جدول ۶ آورده شده است: مقدار ماده باقی مانده در ۱۰۵۰°C تابعی از درصد خاکستر نمونه چوب بوده لیکن به نظر می رسد فعال سازی فیزیکی و یا شیمیایی پایداری کربن را بالاتر برده به شکلی که در زمان و دمای همانند، مقادیرهای بیش تری از ماده باقی مانده است.

با توجه به نتیجه های به دست آمده که در بالا گزارش شد، می توان نتیجه گرفت، آنالیز شیمیایی اجزای چوب اثری بر میزان کربن و پایداری گرمایی نوع چوب ندارد، بلکه میزان کربن چوب های مورد استفاده تابعی از دانشیه یا چگالی چوب می باشد. این موضوع به وسیله محاسبه های انجام شده در آزمایش های تولید کربن فعال و نیز آزمایش های DSC-TGA نیز مطابقت دارد. از طرفی فعال سازی فیزیکی با بخار آب، پایداری کربن را نسبت به کربن تولیدی بدون فعال سازی کاهش داده، ولی فعال سازی شیمیایی پایداری کربن تولیدی را افزایش داده است. همچنین



شکل ۳- ترموگرام آنالیز گرمایی نمونه های کربن فعال تولید از چوب پرتقال با روش های گوناگون فعال سازی، (۱) منحنی سیاه رنگ: چوب پرتقال، (۲) منحنی آبی رنگ: کربن فعال بدون فعال سازی، (۳) منحنی سبز رنگ: کربن فعال با فعال سازی فیزیکی، (۴) منحنی قرمز رنگ: کربن فعال با فعال سازی شیمیایی.

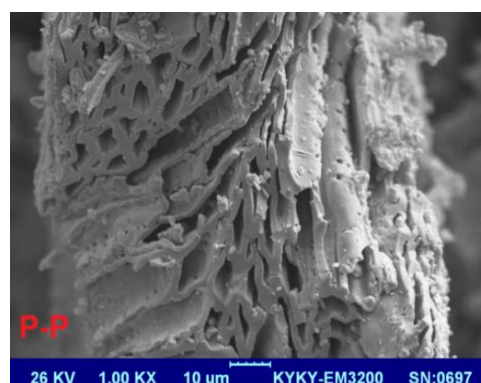
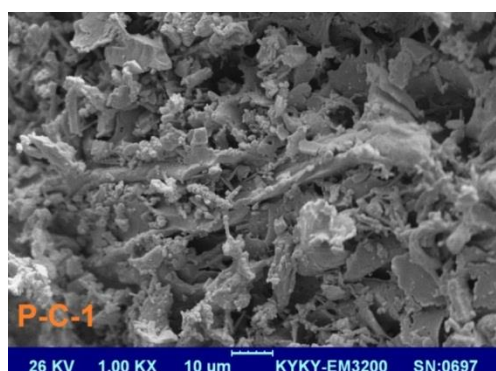
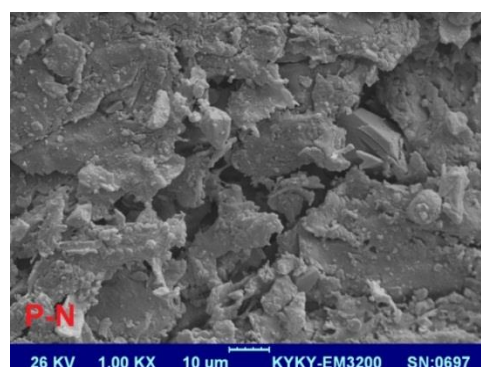
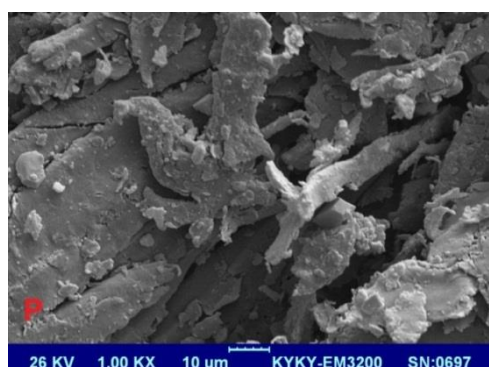


شکل ۵ - منحنی جذب همدمای نمونه های کربن فعال تولیدی از چوب پرتقال با روش های گوناگون فعال سازی (کد نمونه ها مطابق با جدول ۲).

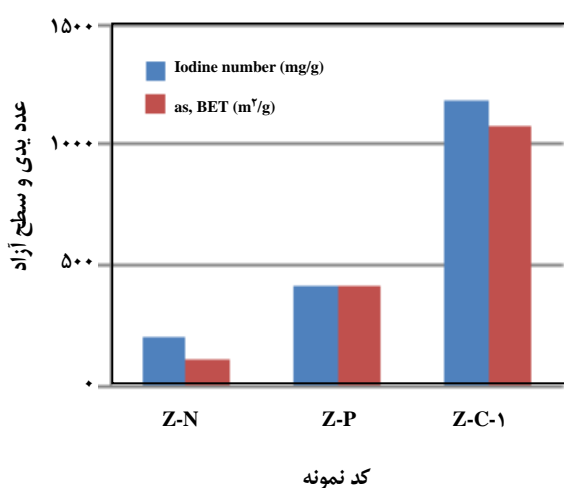
شکل ۴- عدد پدی، سطح آزاد و کل فضای خالی به روش BET نمونه های کربن فعال تولیدی از چوب پرتقال با روش های گوناگون فعال سازی (کد نمونه ها مطابق با جدول ۲).

عدد پدی، سطح آزاد و کل فضای خالی به روش BET و منحنی های جذب مربوط به نمونه های گوناگون کربن فعال تولید شده از چوب پرتقال در شکل های ۴ و ۵ داده شده است. همان گونه که دیده می شود عدد پدی، سطح آزاد و فضای خالی و نیز جذب همدمای کربن های فعال شده به روش شیمیایی تفاوت چشمگیری نسبت به کربن های فعال با دیگر روش ها دارد. همچنین شایان توجه است که با افزایش مقادیر عامل فعال ساز شیمیایی میزان عدد پدی نیز افزایش می یابد لیکن افزایش از ۱۰۰٪ به ۱۵۰٪ اثر محسوسی بر این پارامتر و در نتیجه فعال سازی کربن ندارد.

گرچه در مورد کربن های فعال تولید شده با فعال کننده های گوناگون (بدون فعال کننده P-N، با فعال کننده فیزیکی بخار آب P-P، و فعال کننده شیمیایی کلرید روی به مقدار ۵۰ درصد وزنی نسبت به چوب اولیه P-C-1) در بازه دمایی ۲۵ تا ۷۰ درجه سلسیوس هیچ پدیده گرمایی خاصی رخ نداده، لیکن به روشنی قابل دیدن است که مقاومت گرمایی نمونه فعال شده شیمیایی از نمونه فعال شده فیزیکی و به همین صورت از نمونه بدون فعالیت شیمیایی بیشتر است و دارای افت وزنی کمتری در این بازه می باشد. قابل بیان است افت اولیه، مربوط به آب جذب شده به وسیله نمونه ها می باشد.



شکل ۶ - عکس‌های میکروسکوپ الکترونی تهیه شده از چوب پرتقال و نیز کربن‌های فعال تولید شده از این چوب به روش‌های گوناگون فعال‌سازی در بزرگنمایی ۱۰۰۰ برابر (کد نمونه‌ها مطابق با جدول ۲).

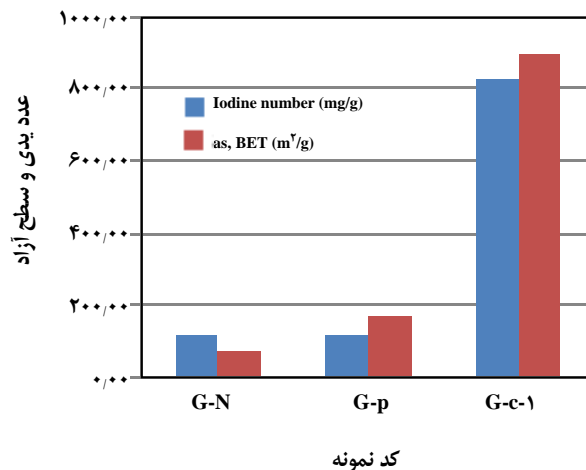
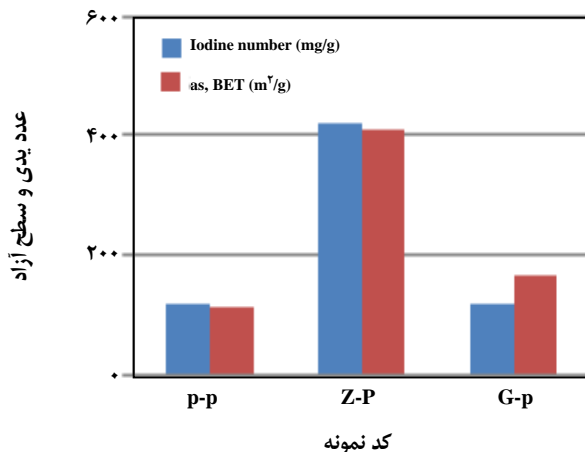


شکل ۷ - عدد یدی و سطح آزاد به روش BET نمونه‌های کربن فعال تولیدی از چوب زیتون با روش‌های گوناگون فعال‌سازی (کد نمونه‌ها مطابق با جدول ۲).

روشن است که با افزایش مقادیر عامل فعال‌ساز شیمیایی میزان عدد یدی، سطح آزاد و فضای خالی نیز افزایش می‌یابد. ولی افزایش از ۱۰۰٪ به ۱۵۰٪ اثر محسوسی بر این پارامترها و در نتیجه فعال‌سازی کربن به دست آمده از چوب پرتقال ندارد. عکس‌های میکروسکوپ الکترونی تهیه شده از چوب پرتقال و نیز کربن‌های فعال تولید شده از این چوب به روش‌های گوناگون فعال‌سازی در بزرگنمایی ۱۰۰۰ برابر در شکل ۶ ارایه شده است.

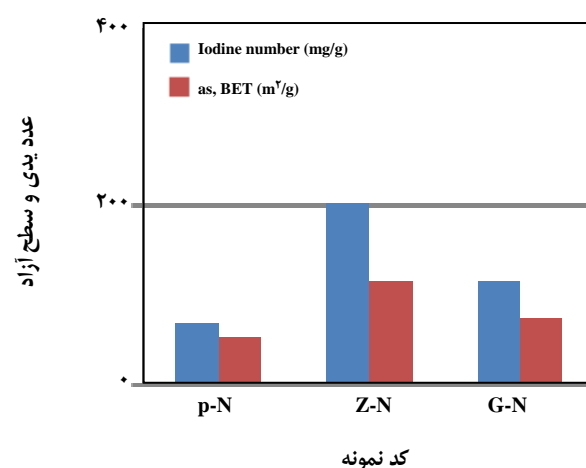
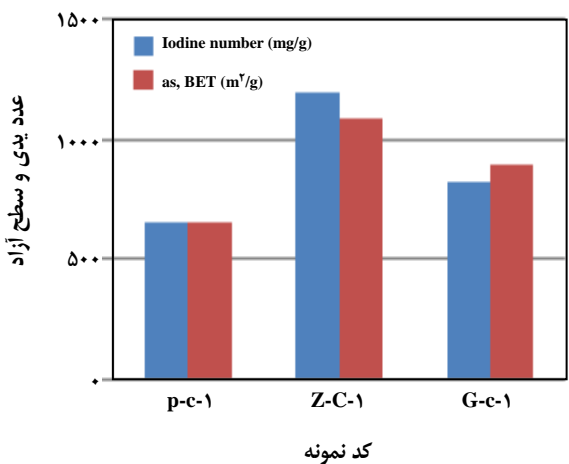
#### مقایسه عامل‌های فعال کننده بر چوب زیتون و چوب گز

عدد یدی و سطح آزاد به روش BET مربوط به نمونه‌های گوناگون کربن فعال تولید شده از چوب زیتون و چوب گز به ترتیب در شکل‌های ۷ و ۸ نشان داده شده است. همان‌گونه که دیده می‌شود، فعال‌سازی شیمیایی برای هر دو چوب زیتون و گز همانند با چوب پرتقال، به صورت چشمگیری موجب افزایش عدد یدی و BET شده است.



شکل ۱۰ - مقایسه عدد یدی و سطح آزاد کربن فعال تولید شده از چوب‌های گوناگون با فعال‌سازی فیزیکی، (کد نمونه‌ها مطابق با جدول ۲).

شکل ۸ - عدد یدی و سطح آزاد به روش BET نمونه‌های کربن فعال تولیدی از چوب گز با روش‌های گوناگون فعال‌سازی (کد نمونه‌ها مطابق با جدول ۲).



شکل ۱۱ - مقایسه عدد یدی و سطح آزاد کربن فعال تولید شده از چوب‌های گوناگون با فعال‌سازی شیمیایی، (کد نمونه‌ها مطابق با جدول ۲).

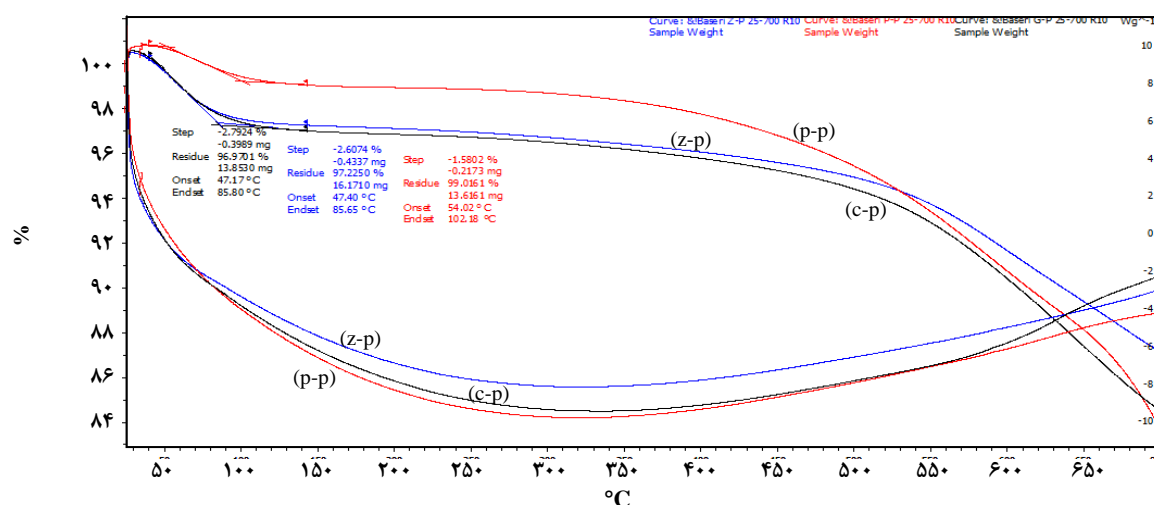
شکل ۹ - مقایسه عدد یدی و سطح آزاد کربن فعال تولید شده از چوب‌های پرتقال، زیتون و گز بدون فعال‌سازی، (کد نمونه‌ها مطابق با جدول ۲).

از چوب‌های گوناگون با فعال‌سازی فیزیکی در بزرگنمایی ۱۰۰۰ برابر در شکل ۱۴ نشان داده شده است.

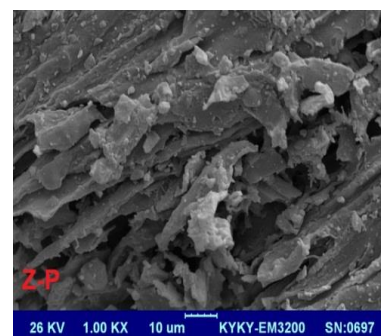
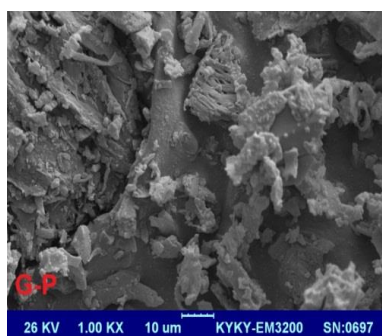
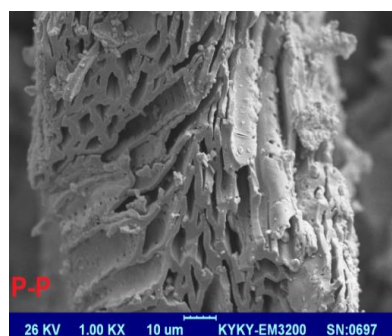
با توجه به شرایط یکسان دما و زمان برای تولید کربن فعال از آزمایش‌های انجام شده بر روی نمونه‌های کربن فعال تولیدی (آزمایش‌های تعیین سطح آزاد و کل فضای خالی به روش BET، اندازه‌گیری عدد یدی، آنالیز گرمایی نمونه‌های کربن فعال تولیدی و تصویرهای میکروسکوپ الکترونی SEM) دیده می‌شود که: الف) در مقایسه عامل‌های فعال‌کننده بر چوب پرتقال،

مقایسه رفتار گرمایی، عدد یدی و سطح آزاد کربن فعال تولید شده از چوب‌های گوناگون با استفاده از فعال‌سازی‌های گوناگون

عدد یدی و سطح آزاد به روش BET مربوط به نمونه‌های کربن فعال تولید شده از چوب درختان پرتقال، زیتون و گز که به روش‌های گوناگون فعال‌سازی شده در شکل‌های ۹، ۱۰ و ۱۱ و رفتار گرمایی کربن فعال تولید شده از چوب‌های گوناگون با استفاده از فعال‌سازی فیزیکی در شکل ۱۲ و نیز عکس‌های میکروسکوپ الکترونی تهیه شده از کربن فعال تولید شده



شکل ۱۲- رفتار گرمایی کربن فعال تولید شده از چوب‌های گوناگون با استفاده از فعال سازی فیزیکی منحنی‌های قرمز رنگ: P-P، منحنی‌های آبی رنگ: Z-P، منحنی‌های سیاه رنگ: G-P، (کد نمونه‌ها مطابق با جدول ۲).



شکل ۱۴- عکس‌های میکروسکوپ الکترونی تهیه شده از کربن‌های فعال تولید شده از چوب‌های گوناگون با فعال سازی فیزیکی در بزرگ‌نمایی ۱۰۰۰ برابر، (کد نمونه‌ها مطابق با جدول ۲).

شایان توجه است که با افزایش مقادیر عامل فعال ساز شیمیایی میزان عدد یدی نیز افزایش می‌یابد. لیکن افزایش از ۱۰۰٪ به ۱۵۰٪ اثر محسوسی بر این پارامتر و در نتیجه فعال سازی کربن ندارد. همچنین با افزایش مقادیر عامل فعال ساز شیمیایی میزان عدد یدی، سطح آزاد و فضای خالی و نیز جذب هم‌دما، نیز افزایش می‌یابد، لیکن افزایش از ۱۰۰٪ به ۱۵۰٪ اثر محسوسی بر این پارامترها و در نتیجه فعال سازی کربن به دست آمده از چوب پرتقال ندارد. این موضوع به نحوی با دیدن عکس‌های میکروسکوپی نیز تأیید می‌شود. همان‌گونه که دیده می‌شود، با افزایش درصد تلقیح، میزان جذب نیتروژن تا حد چشمگیری افزایش یافته که نمایانگر افزایش میزان تخلخل در نمونه‌ها می‌باشد. همچنین در درصد‌های پایین تلقیح،

گرچه در مورد کربن‌های فعال تولید شده با فعال کننده‌های گوناگون (بدون فعال کننده P-N، با فعال کننده فیزیکی بخار آب P-P، و فعال کننده شیمیایی کلرید روی به مقدار ۵۰ درصد وزنی نسبت به چوب اولیه P-C-1) در بازه‌ی دمایی ۲۵ تا ۷۰۰ درجه سلسیوس هیچ پدیده گرمایی خاصی رخ نداده است، لیکن به روشنی قابل دیدن است که مقاومت گرمایی نمونه فعال شده شیمیایی از نمونه فعال شده فیزیکی و به همین صورت از نمونه بدون فعال ساز شیمیایی بیش‌تر است و دارای افت وزنی کمتری در این بازه می‌باشد. (ب) در بحث اثر میزان عامل فعال سازی شیمیایی (روی کلرید) دیده می‌شود عدد یدی کربن‌های فعال شده به روش شیمیایی تفاوت چشمگیری نسبت به نمونه‌های دیگر دارد. همچنین

همچنین دیده می‌شود مقاومت گرمایی کربن فعال تولید شده از چوب زیتون نسبت به سایر موارد بیش‌تر است.

### نتیجه‌گیری

چوب‌های درختان پرتقال، زیتون و گز همگی به‌عنوان مواد سلولزی با ساختار سلولی و متخلخل، قابلیت خوبی به‌عنوان ماده خام برای تولید کربن فعال با سطح بسیار بالا از خود نشان داده‌اند. لیکن مناسبترین ویژگی‌های کربن فعال در مورد کربن فعال به دست آمده از چوب زیتون دیده می‌شود. در همه موارد، فعال‌سازی شیمیایی بهترین نتیجه را در پی داشت. گرچه در مورد چوب زیتون و نیز چوب گز امکان استفاده مناسب از مقادیر بالای فعال‌کننده شیمیایی (روی کلرید) وجود ندارد لیکن با همین نسبت ۵۰٪ نیز ویژگی‌های مناسبی به دست آمد.

### قدردانی

نویسندگان مقاله از رئیس محترم دانشگاه آزاد اسلامی واحد داراب و همچنین مسئول محترم امور پژوهشی دانشگاه به دلیل حمایت مالی از این پژوهش و فراهم کردن امکانات لازم تشکر و قدردانی می‌کنند.

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۲/۶؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۷/۲۶

شکل منحنی‌ها با منحنی‌های همدمای نوع I مطابقت دارد که نمایانگر وجود تجمع بالای ریز حفره‌ها در فراورده است. در حالی که در درصدهای بالای تلقیح، شکل منحنی همدمای نوع II منحنی‌های همدمای هماهنگی بیش‌تری می‌یابد که نشان دهنده افزایش حضور حفره‌های متوسط در نمونه می‌باشد. این روند در سایر بررسی‌هایی که پیرامون فعال‌سازی برخی مواد خام سلولزی دیگر با روی کلرید بوده است نیز به وسیله پژوهشگران گزارش شده است (حمیدپور و دو [۲۶]، عابدین زادگان عبیدی و همکاران [۲۰]).

تغییرهای عدد یدی را برای نمونه‌های ساخته شده بر حسب درصد تلقیح نشان می‌دهد. این شکل یک افزایش شدید در عدد یدی را تا درصد تلقیح ۱۰۰٪ مشخص می‌سازد و از آن پس تغییرهای عدد یدی فراورده افزایش منظمی را نشان نمی‌دهد.

پ) در مورد اثر نوع فعال‌سازی بر چوب‌های زیتون و گز نیز دیده می‌شود که عدد یدی و سطح آزاد کربن فعال تولیدی به‌طور مستقیم تابع نوع فعال‌سازی می‌باشد به این صورت که این پارامترها در مورد کربن‌های فعال شده به روش شیمیایی تفاوت چشمگیری نسبت به روش فیزیکی و یا بدون فعال‌سازی دارد. ت) در مقایسه رفتار گرمایی، عدد یدی و سطح آزاد کربن فعال تولید شده از چوب‌های گوناگون با استفاده از فعال‌سازی‌های گوناگون دیده می‌شود در همه موارد فعال‌سازی (بدون فعال‌سازی، فعال‌سازی فیزیکی و فعال‌سازی شیمیایی) کربن به دست آمده از چوب زیتون رفتار بهتری از خود نشان می‌دهد. این موارد در عکس‌های میکروسکوپی نیز قابل بررسی می‌باشند.

### مراجع

[1] [www.irica.gov.ir](http://www.irica.gov.ir)

[۲] حجازی، ر.، چوب شناسی و صنایع چوب، انتشارات دانشگاه تهران، (۱۳۶۴).

[3] Roger C. P., "The Chemical Composition of Wood", American Chemical Society (1984).

[4] Rowell R.M., Han J.S., Rowell J.S., Elisabete F., Alcides L.L., Mattoso H.C., *Characterization and factors effecting fiber properties, Natural Polymers and Agrofibers Composites, preparation, Properties and Applications, Emrapa Instrumentacao Agropecuaria, Brazil*, 115-134 (2000).

[5] Reddy N., Yang Y., *Biofibers from Agricultural by Products for Industrial Applications, Trends in Biotechnol.*, 23(1): 22- 27 (2005)

- [۶] مهدوی، س.، حسین زاده، ع.، فامیلیان، ح.، فخریان، ع. و حبیبی، م. ر. مقایسه بیومتری الیاف و میزان ترکیب های شیمیایی از نظر کاغذسازی، *مجله علوم چوب و کاغذ/ایران*، ۱۴: ۷۳ تا ۱۰۷ (۱۳۸۰).
- [۷] شیارکار ایرج و همکاران، ویژگی های مورفولوژیکی و ترکیبات شیمیایی ساقه های ذرت کشت شده در منطقه آستارا، *فصلنامه علمی - پژوهشی تحقیقات علوم چوب و کاغذ/ایران*، (۳) ۲۸: ۵۶۱ تا ۵۶۷ (۱۳۹۲).
- [۸] سرائیان، احمدرضا؛ علی خلیلی گشت رودخانه‌ی، میثم علی آبادی، محمد دهمرده قلعه نو، مقایسه ویژگی‌های خمیر کاغذ سودا و کرافت از برون چوب و درون چوب صنوبر دلتوئیدس، *مجله پژوهش علوم و فناوری چوب و جنگل*، (۴) ۱۷: ۱۲۵ تا ۱۳۷ (۱۳۸۹).
- [۹] مهربابی، سعید، بررسی ویژگی‌های خمیر کاغذ و کاغذ سه کلن صنوبر کبسوده و بومی کلن ۱۴۴/۹ دلتوئیدس کلن ۶۹/۵۵ و اورامریکن ۲۱۴، *مجله تحقیقات علوم چوب و کاغذ/ایران*، (۲) ۲۱: ۱۵۱ تا ۱۶۷ (۱۳۸۴).
- [۱۰] نظر نژاد، نورالدین؛ "بررسی خصوصیات خمیر و کاغذ با راندمان بالا (CMP) از دو گونه صنوبر دلتوئیدس و اروامریکن"، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس، (۱۳۷۵).
- [۱۱] کرد، بهزاد؛ سرائیان، احمدرضا؛ بررسی تأثیر سن و ارتفاع درخت صنوبر گونه دلتوئیدس بر خواص شیمیایی چوب آن، *مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی*، (۴) ۱۴: ۳۲ تا ۴۰ (۱۳۸۶).
- [۱۲] رضانی، ش.؛ بررسی خواص آناتومی، بیومتری و شیمیایی چوب جوان و بالغ صنوبر، *فصلنامه علمی - پژوهشی تحقیقات علوم چوب و کاغذ/ایران*، (۱) ۲۸: ۱۸۲ تا ۱۹۳ (۱۳۹۲).
- [۱۳] سعید آبادی، ح.؛ شناسایی انواع درختان گز در ایران (کویر لوت)، *نشریه دانشکده علوم دانشگاه تهران*، (۴) ۳: ۲۱ تا ۳۲ (۱۳۵۰).
- [14] Singh K., Determination of Compost Tion of Cellulose and Lignin Mixtu Res Using Thermo Gravimetric AnalysisS (TGA), "15th North American Waste to Energy Conference", May 21-23, Miami, Florida USA, NAWTEC15-3222 (2007)
- [15] Mahato D.N., DSC and IR Method for Determination of Accesability of Cellulosic Coir Fiber and Thermal Degradationunder Mercerization, *Indianjournal of Fiber and Textile*, **38**: 96-100 (2013).
- [16] Yang H., Characteristics of Hemicellulose, *Cellulose and Lignin Pyrolysis*, **86**: 1781-1788 (2007)
- [17] Donegan Joseph W., Manufacture of Activated Carbon, *USP 2, 549, 298* (1951).
- [۱۸] غفاری، سمیه؛ تحویل‌داری، کامبیز؛ فلاح نژاد، گیلدا، نعمت، مستانه؛ فراهانی، مونا، تهیه و آنالیز زغال فعال از پوست میوه ها و خاک اره، "نهمین کنگره ملی مهندسی شیمی ایران"، دانشگاه علم و صنعت ایران، ۳ تا ۵ آذر ماه (۱۳۸۴).

- [۱۹] سمرقندی، محمدرضا؛ سلیمانی امین‌آباد، مهری؛ عزیزبان، سعید؛ هادی، مهدی؛ "مشخصه های رفتارستون کربن فعال تولید شده از مخروط کاج در جذب رنگ از محلول های آبی"، محیط شناسی، ۳۷(۶۰): ۱۱۷ تا ۱۲۸ (۱۳۹۰)
- [۲۰] عابدین‌زادگان عبدی، مجید؛ مهدیارفر، محمد؛ رشیدی، علیمراد؛ احمدپور، علی؛ ساخت کربن فعال با استفاده از فعال سازی شیمیایی پوست گردو، مقاله‌های مجله‌های علمی. دانشگاه فردوسی مشهد، دانشکده مهندسی، ۱۴(۱): ۲۱ تا ۲۸ (۱۳۸۱).
- [۲۱] کاغذچی، طاهره؛ مددی یگانه، مینا؛ بررسی اثرنوع ماده اولیه در خواص کربن فعال، "نهمین کنگره ملی مهندسی شیمی ایران، دانشگاه علم و صنعت ایران"، ۳ تا ۵ (۱۳۸۳)
- [22] Song J., Zou W., Bian Y., Su F., Han R., [Adsorption Characteristics of Methylene Blue by Peanut Husk in Batch and Column Modes](#), *Desalination*, **265**:119-125 (2011)
- [23] Kadirvelu K., Karthika C., Vennilamani N., Patabhi S., [Activated Carbon from Industrial Solid Waste as an Adsorbent for the Removal of Rhodamine-B from Aqueous Solution: Kinetic and Equilibrium Studies](#), *Chemosphere*, **60**: 1009-1017 (2005).
- [24] Namasivayam C., Kavitha D., [Removal of Congo Red from Water by Adsorption Onto Activated Carbon Prepared from Coir Pith, an Agricultural Solid Waste](#), *Dyes Pigments*, **54**: 47-58 (2002).
- [25] Ahmad A.A., Hameed B.H., [Fixed-Bed Adsorption of Reactive azo Dye onto Granular Activated Carbon Prepared from Waste](#), *J. Hazard Mater*, **175**: 298-303 (2010).
- [26] Ahmadpour A., Do D.D., ["The Preparation of Activated Carbon from Macadamia Nutshell by Chemical Activation"](#), *Carbon*, **35**(12): 1723-1732 (1997).