مقایسه فرایند تولید زغال از چوب، پودر چوب و پودر برگ پسته به روش تجزیه حرارتی

محسن استادحسینی[۱*]، احمد غضنفری مقدم[۲]، حسن هاشمی پور رفسنجانی[۳]، سید احمد عطایی[۴]

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد مکانیک ماشین های کشاورزی، دانشگاه شهید باهنر کرمان Mohsen_919191@yahoo.com

۲. استاد و عضو هیئت علمی گروه مکانیک ماشین های کشاورزی، دانشگاه شهید باهنر کرمان

۳. دانشیار گروه مهندسی شیمی، دانشگاه شهید باهنر کرمان

۴. استادیار گروه مهندسی شیمی، دانشگاه شهید باهنر کرمان

چکیده

منابع بیومس، امروزه به عنوان مناسب ترین گزینه در باب پیدا کردن یک جایگزین برای سوخت های فسیلی مورد توجه قرار گرفته اند. در این راستا، ضایعات حاصل از درخت پستهکه در مناطق زیر کشت پسته در ایران به وفور یافت می شود می تواند در صنعت تولید زغال با کیفیت بالا از آن بهره گرفته شود. در این تحقیق یک دستگاه ابتکاری برای انجام فرایند تجزیه حرارتی روی نمونه های چوب، پودر چوب و پودر برگ پسته به منظور تولید زغال از این نمونه ها ساخته شد. سپس نمونه های ۱۰ گرمی چوب، پودر چوب و پودر برگ در سطوح دمایی مختلف از ۱۰۰ تا۶۰۰°C در بازه های دمایی ۵۰ درجه ای در این راکتور حرارت داده شدند. زمان ماند نمونه در راکتور ۱۰ دقیقه در نظر گرفته شد.نتایج حاصل نشان داد که نمونه های چوب و پودر برگ هردو در دمای ۴۵۰°C و نمونه پودر چوب در دمای ۳۵۰°C به ثبات وزنی تقریبی رسیده و فرایند تشکیل زغال در آنها تقریبا به پایان رسیده است. همچنین وزن نهایی (وزن باقیمانده) هریک از نمونه های ۱۰ گرمی چوب، پودر چوب و پودر برگ ۳۳.۸٪، ۲۸.۶٪ و ۳۸٪ وزن اولیه به دست آمد، که نشان دهنده این است که پودر چوب بیشترین، و پودر برگ کمترین میزان افت وزنی را در بالاترین دما (۶۰۰°C) داشته است. همچنین با مقایسه نمودارهای مربوط به این سه نمونه، نتیجه شدکه سرعت تولید زغال از نمونه پودر چوب نسبت دو نمونه دیگر به طور قابل ملاحظه ای بالاتر است.

کلمات کلیدی: برگ، تجزیه حرارتی، چوب، زغال، شرایط دمایی

مقدمه

امروزه انرژی مصرفی بشر نیازمند است از منابعی تامین شود که با محیط زیست سازگار بوده و به آن آسیبی وارد نسازد. از این رو توجه بشر بایستی به منبعی معطوف شود که بتواند نقش مهمی را در کاهش گازهای گلخانه ای ایفا کند. با توجه به دلایل ذکر شده، منابع بیومس چوبی، به عنوان مناسب ترین گزینه در این باب مورد توجه قرار گرفته اند. این مواد ویژگی های مثبت زیادی از قبیل تولید کربن خنثی را دارا بوده، که از نقطه نظر زیست محیطی مزایای زیادی دارد (Wijayanti and Tanoue, 2013). بیومس را می توان با استفاده از روش های مختلف تبدیل کرد، سه روش اصلی برای تبدیل مواد بیومس ، عبارتند از روش های ترموشیمیایی، فیزیکوشیمیایی و بیوشیمیایی که روش ترموشیمیایی شامل انواع تجزیه حرارتی، احتراق و تبدیل گازی می باشد دو روش تبدیل دیگر یعنی روش فیزیکوشیمیایی و بیوشیمیایی معمولا به منظور تولید محصولات با ارزش بالاتر به کار می روند.تجزیه حرارتی یک فرایند مرسوم برای گازی سازی مواد بیومس است. بنا به تعریف،تجزیه حرارتی; تجزیه یک ماده به اجزای تشکیل دهنده آن از طریق حرارت و در غیاب اکسیژن (یا در حضور اندکی اکسیژن) است. در اثر حرارت اعمال شده به نمونه مقدار زیادی گاز متصاعد می شود که باید تقطیر شده و به روغن تبدیل شود. همچنین مقداری از ماده اولیه بعد از انجام فرایند به صورت زغال[1] باقی می ماند (خسرو انجم و غضنفری مقدم، ۱۳۸۸).

در بین روش های موجود برای به دست آوردن انرژی از مواد بیومس چوبی، روش پیرولیز (تجزیه حرارتی) به عنوان بهترین روش ترجیح داده می شود. اما در رابطه با تحلیل این فرایند، متاسفانه مکانیزم واکنش پیرولیز به دلیل تشکیل محصولات مختلف و یا تجزیه بیومس در اثر واکنش های مختلف بسیار پیچیده است(Koufopanos *etal*, 1991). بهترین محدوده دمایی برای انجام فرایند پیرولیز بین دماهای ۶۲۵ تا ۷۷۵ درجه کلوین است(Kirtay, 2011).فرایند پیرولیز (تجزیه حرارتی)، مواد ارگانیک مانند بیومس را در حضور اکسیژن به سه فاز جامد (زغال)، مایع (قطران، بخارهای قابل تقطیر و ...) و گاز تبدیل می کند(Wampler, 2006). این فرایند، باتوجه به شرایط راه اندازی ممکن است پیرولیز معمولی یا سریع باشد. پیرولیز آهسته یا معمولی از هزازان سال پیش در فرایند هایی از قبیل تولید زغال سنگ به کار برده شده است (Demirbas, 2004). در پیرولیز آهسته، ماده بیومس در دمای حدود ۵۰۰ درجه سانتیگراد با یک زمان ماند ۵ تا ۳۰ دقیقه ای در داخل راکتور حرارت داده می شود. اما در پیرولیز سریع، ماده مورد نظر در زمانی کمتر از یک دقیقه در حضور اکسیژن به سرعت حرارت داده می شود. در فرایند پیرولیز سریع، ۶۰ تا ۷۵ درصد وزنی بیواویل (زیست سوخت) مایع، ۱۵ تا ۲۵ درصد وزنی زغال جامد و ۱۰ تا ۲۰ درصد وزنی گازهای غیرقابل تقطیر تولید می شود (Mohan *etal*, 2006).

[1]. char

از فرایند تجزیه حرارتی همچنین برای تولید زغال نیز می توان استفاده کرد. به طور کلی زمانی که عمل تولید زغال در یک ظرف سربسته و در غیر مجاورت هوا صورت میگیرد این عمل را تقطیر خشک می گویند. در این روش، چوب ها را در مخزن سربسته که دارای یک لوله خروجی گاز است گذاشته و از بیرون حرارت می دهند زمانی که دما به ۱۷۰ درجه سانتیگراد رسید ابتدا بخار متصاعد می شود و در دای ۲۷۰–۲۸۰ درجه سانتیگراد گاز های منوکسید کربن و دی اکسید کربن (گازهای غیر قابل تراکم) و مقدار کمی از گازهای استیک اسید و الکل متیلیک (گازهای قابل تراکم) خارج می شود. بعد از افزایش دما از دمای ۲۸۰ تا ۴۰۰ درجه سانتیگراد، بجای گاز اکسیژن دار گازهای متان استن استات و استیک اسید بوجود می آید. همچنین در دماهای بین ۲۸۰ تا ۳۸۰ درجه سانتیگراد قطران رقیق و در دماهای بالای ۳۸۰ درجه سانتیگراد قطران غلیظ تولید می شود. با افزایش دما به بالای دمای ۴۰۰ درجه سانتیگراد میتوان گفت که عمل زغالگیری به پایان رسیده است اما اگر افزایش دما تا دمای ۵۰۰ درجه سانتیگراد صورت گیرد مرحله نهایی تجزیه زغال صورت میگیرد و در این مرحله نیز مقدار زیادی قطران تولید می شود. در دماهای بالای ۵۰۰ درجه سانتیگراد، به جای گازهای هیدروکربور، گاز هیدروژن تولید خواهد شد. در فرایند تجزیه حرارتی سلولز، در دمای کمتر از ۳۰۰ درجه سانتیگراد، فرایند حاکم کاهش میزان پلیمریزاسیون است. در مرحله بعد و در دماهای بالای ۳۰۰ درجه سانتیگراد؛زغال، قطران و عناصر گازی به وجود می آیند، در زیر واکنش های تجزیه سلولز در اثر حرارت نشان داده شده است(Shafizadeh, 1982).

در زمینه تجزیه حرارتی مواد بیومس پژوهش های زیادی صورت گرفته است. که به دو مورد از آن در که رابطه با ضایعات حاصل از محصول و درختان پسته می باشد اشاره می کنیم. طی پژوهشی فرایند پیرولیز آرام روی پوست پسته به منظور بررسی اثر دمای فرایند پیرولیز روی بازده و ترکیب ماده حاصله انجام شد. سطوح دمایی استفاده شده در این تحقیق به ترتیب ۳۰۰، ۴۰۰، ۵۰۰، ۵۵۰ و ۷۰۰ درجه سانتیگراد بودند. در نهایت مشخص شد که محصولات جامد و مایع حاصل از انجام فرایند تجزیه حرارتی روی پوست پسته، تشابه هایی را با سوخت های مرسوم دارای ارزش سوختی بالا دارا می باشد(Esin et al, 2007).

هدف از این پژوهش، بررسی و مقایسه فرایند تجزیه حرارتی نمونه های چوب، پودر چوب و پودر برگ پسته در سطوح دمایی مختلف به منظور تولید زغال در نظر گرفته شد. تا تاثیر شرایط دمایی مختلف روی فرایند تولید زغال و همچنین دمای تکمیل فرایند تهیه زغال از هریک از نمونه ها مشخص شود.از سوی دیگر با توجه به اینکه ضایعات چوب حاصل از هرس سالیانه درختان پسته در استان کرمان مقدار قابل توجهی (حدود ۱۸۰ هزار تن درسال[۹]) بوده و برای باغداران یک عامل مزاحم به حساب می آید، استفاده از این ضایعات به منظور تولید زغال می تواند به خلق یک تکنولوژی کارامد به منظور استفاده مناسب از ضایعات چوب حاصل از درختان پسته در استان کرمان بیانجامد.

۹. خبرنامه داخلی انجمن پسته ایران

۲- مواد و روش ها

۲-۱-آماده سازی نمونه

در این پژوهش نمونه چوب مورد نظر از باغات پسته منطقه بهرمان شهرستان رفسنجان تهیه گردید. قبل از انجام آزمایش، نمونه ها به دو صورت استوانه چوبی (با استفاده از اره) و پودر چوب و پودر برگ (با استفاده از آسیاب) در آورده شد. در زیر نمایی از پودر چوب و استوانه های چوبی را می توان در شکل شماره ۱ مشاهده کرد.

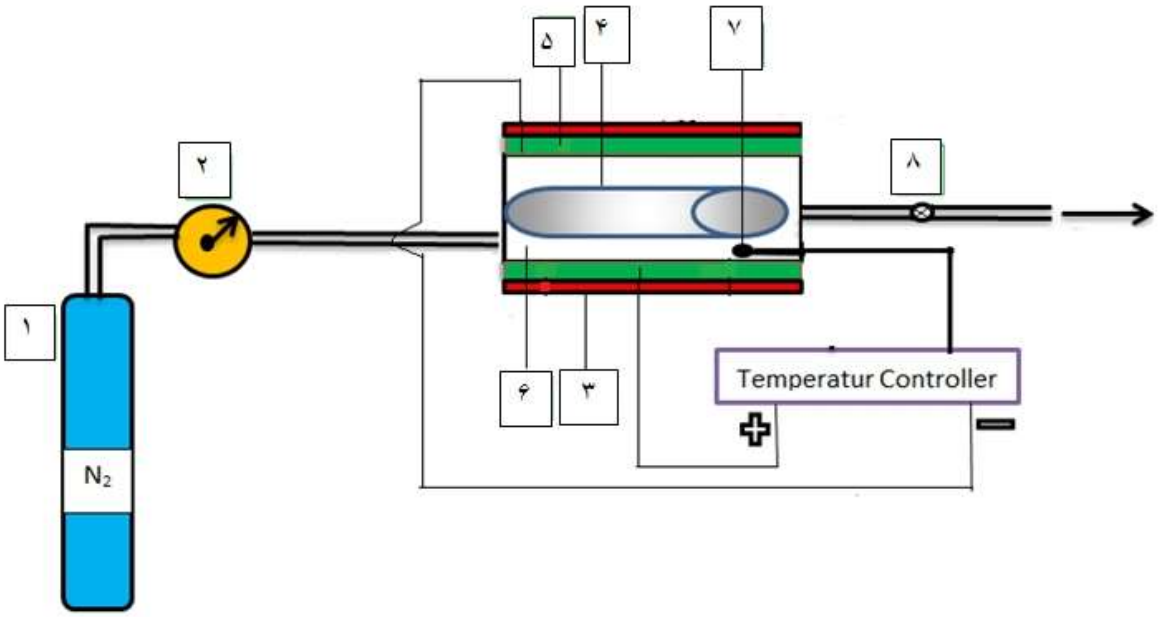
شکل ۱.نمایی از نمونه های مورد آزمایش: ۱)چوب پسته ۲)پودر چوب پسته ۳)پودر برگ پسته

۲-۲- دستگاه ابتکاری به منظور انجام فرایند تجزیه حرارتی

در این پژوهش یک راکتوربه منظور انجام فرایند تجزیه حرارتی روی نمونه مورد نظر ساخته شد. برای ساخت محفظه راکتور از یک لوله از جنس آهن گالوانیزه به قطر ۱۰ سانتیمتر استفاده گردید. به منظور تامین حرارت مورد نیاز راکتور، اطراف محفظه ۴ المنت های تسبیحی پیچیده شد، این المنت ها به صورت موازی در مدار قرار داده شدند. و باتوجه به دمای انجام فرایند تجزیه حرارتی روی نمونه ها، تعداد المنت های مورد نیاز به وسیله کلید وارد مدار شده و روشن می شدند. همچنین روی المنت ها برای جلوگیری از اتلاف حرارات دو لایه پشم سنگ قرار داده شد. به سر محفظه راکتور یک قسمت رزوه دار جوش داده شد تا یک درپوش فلزی روی آن پیچ شود. در مرکز این درپوش یک لوله مسی به منظور هدایت گاز تولید شده

به خارج از راکتور در هنگام فرایند تجزیه حرارتی در نظر گرفته شد.همچنین در پشت محفظه راکتور، یک ورودی برای تغذیه گاز نیتروژن به داخل راکتور به منظور اکسیژن زدایی در محفظه و جلوگیری از اشتعال نمونه در هنگام انجام فرایند تجزیه حرارتی تعبیه گردید. برای تغذیه گاز نیتروژن به داخل راکتور از یک کپسول نیتروژن ۱۰ لیتری استفاده شد. در مسیر خروجی این کپسول یک فشار سنج برای مشخص شدن میزان فشار گاز خروجی، و یک روتامتر به منظور تعیین نرخ جریان گاز نیتروژن خروجی از کپسول نصب گردید (نرخ جریان نیتروژن به داخل راکتور در هنگام آزمایش میزان ۱۰۰ میلی لیتر در دقیقه در نظر گرفته شد).

برای کنترل دمای راکتور نیز از یک رله (کنترلر) استفاده شد که یک ترموکوپل به ورودی آن متصل شد. ترموکوپل توسط سوراخی که روی سطح جانبی محفظه راکتور زده شده بود به داخل راکتور راه پیدا می کند، تا دمای محفظه را اندازه گیری کرده و به رله انتقال دهد تا کنترلر با توجه به دمای تنظیم شده روی آن، المان های حرارتی را روشن یا خاموش کند. وزن نمونه نیز در هنگام انجام آزمایش توسط یک ترازوی دیجیتال با دقت ۰.۰۱ گرم اندازه گیری گردید. شماتیک دستگاه تجزیه حرارتی ساخته شده در شکل شماره ۲ نشان داده شده است.



شکل۲. شماتیک سیستم تجزیه حرارتی: ۱. کپسول نیتروژن ۲. روتامتر۳.عایق حرارتی (پشم سنگ)۴. نگهدارنده نمونه ۵. المان حرارتی۶. محفظه راکتور۷. ترموکوپل۸. شیر محدود کننده گاز خروجی

۲-۳- آزمایشات

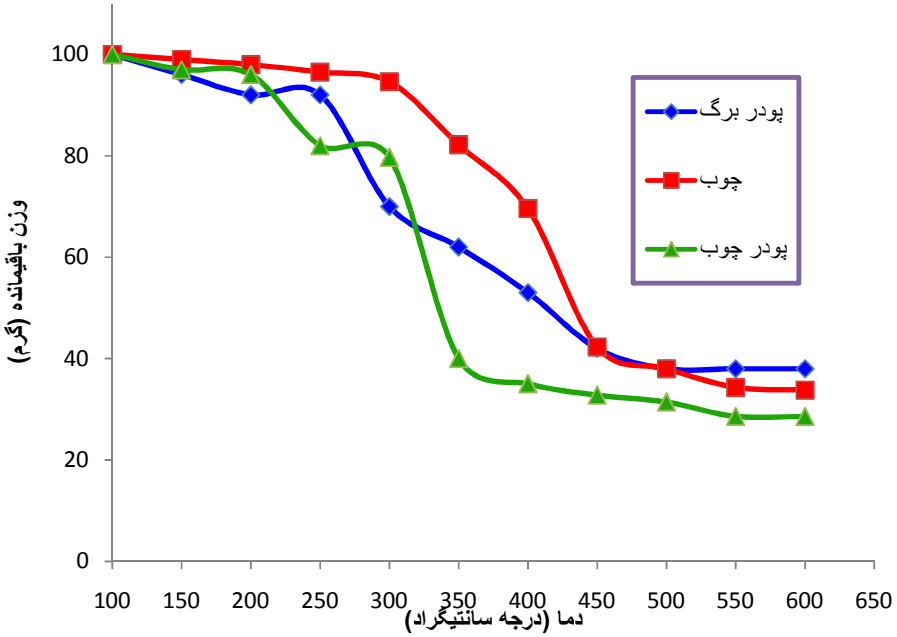
برای شروع فرایند تولید زغال ابتدا راکتور به دمای ۱۰۰ درجه سانتیگراد رسانده شد و رله روی دما تنظیم گردید تا این دما را در طول انجام آزمایش ثابت نگه دارد. سپس نمونه های چوب، پودر چوب و پودر برگ پسته در ظرف های ساخته شده از فویل آلومینیومی ضخیم در راکتور قرار داده شد. (هریک از نمونه ها به صورت نمونه های ۱۰ گرمی در نظر گرفته شد). این آزمایش تا دمای ۶۰۰ درجه سانتیگراد و در فواصل دمایی ۵۰ درجه ای نیز ادامه یافت. زمان ماند نمونه در راکتور، برای همه سطوح دمایی، ۱۰ دقیقه در نظر گرفته شد. برای اطمینان از اعتبار نتایج حاصل از آزمایش، هر کدام از آزمایش ها در ۳ تکرار انجام شد. پس از اتمام هر آزمایش، نمونه از راکتور خارج شده و وزن آن توسط یک ترازوی دیجیتال با دقت ۰.۰۱ گرم اندازه گیری گردید.

دما (درجه سانتیگراد)	وزن چوب (گرم)	وزن پودر چوب (گرم)	وزن پودر برگ (گرم)
100	100	100	100
150	99.0	97.0	96.0
2	98.0	96.0	92.0
250	96.5	82.0	91.0
300	94.6	79.7	70.0
350	82.2	40.0	62.0
400	69.6	35.0	53.0
450	42.3	32.8	42.0
500	38.0	31.4	38.0
550	34.	28.6	38.0
600	33.8	28.6	38.0

۳- نتایج و بحث

نتایج حاصل از انجام فرایند تجزیه حرارتی روی نمونه های چوب و پودر چوب و پودر برگ پسته در سطوح دمایی مختلف از ۱۰۰ تا ۶۰۰ درجه سانتیگراد، پس از زمان ماند ثابت ۱۰ دقیقه ای در راکتور در جدول ۱ قابل مشاهده است.

همانطور که از اطلاعات موجود در جدول (۱) قابل مشاهده است، با زمان ماند ثابت ۱۰ دقیقه ای در راکتور، در دمای ۱۰۰ درجه سانتیگراد هیچگونه تغییر و اتلاف وزنی در نمونه ها مشاهده نمی شود. و شروع تغییر وزن از دمای ۱۵۰ درجه می باشد.به طوریکه بیشترین کاهش وزن مشاهده شده در نمونه ها در نمونه پودر برگ مشاهده می شود. شکل (۳) نمودار مقایسه ای مربوط به کاهش وزنی سه نمونه مذکور را در ماهای مختلف نشان می دهد.

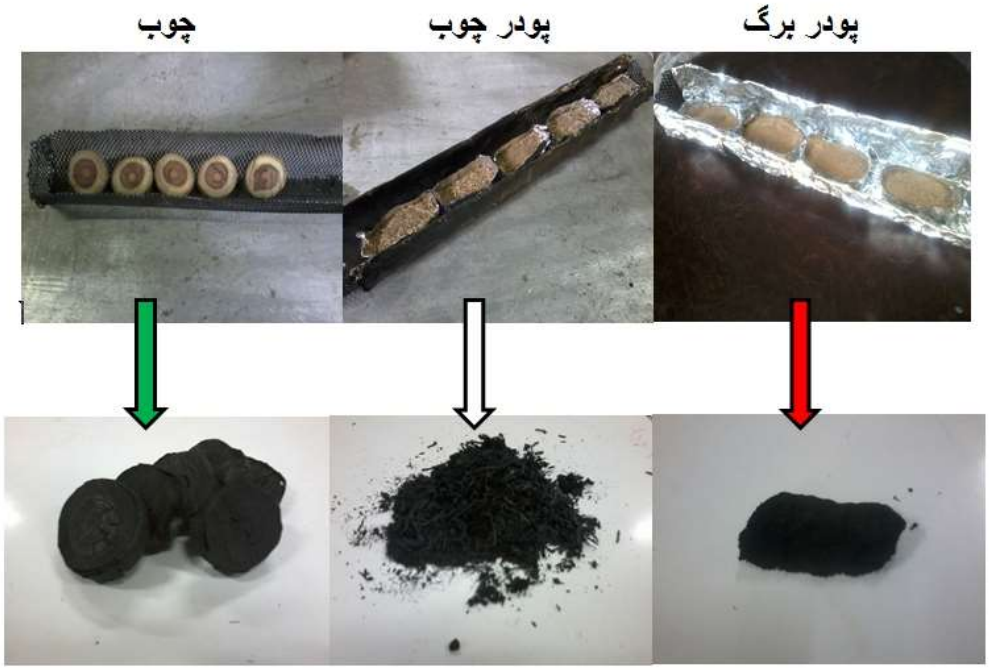


شکل۳. نمودار مربوط به مقایسه نتایج حاصل از فرایند تجزیه حرارتی روی نمونه های چوب و پودر چوب و پودر برگ در دماهای مختلف

در شکل ۳ مشاهده می شود که چوب پسته، از سطح دمایی ۱۰۰ تا ۳۰۰ درجه سانتیگراد کاهش وزن ناچیزی داشته، از دمای ۳۵۰ تا ۴۵۰ کاهش وزن سریعی از خود نشان می دهد و پس از دمای ۴۵۰ درجه سانتیگراد، دوباره کاهش وزن آن ناچیز شده و به ثبات وزنی می رسد. نمونه پودرچوب پسته، در بیشتر سطوح دمایی نسبت به سطح دمایی پیشین، ثبات داشته به جز در دو محدوده دمایی ۲۰۰ تا ۲۵۰ درجه سانتیگراد و ۳۰۰ تا ۳۵۰، که در این دو محدوده به ترتیب تقریبا ۱۵ و ۴۰ درصد از وزن کل خود را از دست می دهد.اما نمونه پودر برگ از همان ابتدا کاهش وزن داشته و این کاهش وزن به طور تقریبا یکنواختی تا دمای ۴۵۰ درجه ادامه یافته و سپس به ثبات وزنی تقریبی رسیده است. بیشترین افت وزنی نسبت به دمای قبلی، در نمونه های چوب، پودر چوب و پودر برگ به ترتیب در دماهای ۴۵۰، ۳۵۰ و ۳۰۰ درجه سانتیگراد به دست آمد که این میزان برای این سه نمونه به ترتیب ۲۷٪، ۴۰٪ و ۲۱٪ از کل وزن نمونه بود.

همچنین وزن نهایی (وزن باقیمانده) هریک از نمونه های ۱۰ گرمی چوب، پودر چوب و پودر برگ ۳۳.۸٪، ۲۸.۶٪ و ۳۸٪ وزن اولیه به دست آمد، که نشان دهنده این است که پودر چوب بیشترین، و پودر برگ کمترین میزان افت وزنی را در بالاترین دما (۶۰۰ درجه سانتیگراد) داشته است. همچنین نتیجه شد در زمان ماند ثابت ۱۰ دقیقه ای در راکتور، نمونه ها از دمای ۵۵۰ درجه

سانتیگراد به بالاتر کاهش وزنی از خود نشان نخواهند داد (یا درصورت کاهش، این کاهش بسیار ناچیز و قابل اغماض است). در شکل (۴) هریک از نمونه های چوب، پودر چوب و پودر برگ قبل از ورود به راکتور (جایگذاری در نگهدارنده نمونه) و همچنین پس از خروج از راکتور قابل مشاهده است.



شکل۴. نمایی از نمونه ها، قبل و بعد از فرایند تجزیه حرارتی و تولید زغال

همچنین برای استفاده مناسب تر از پودرهای زغال، پیشنهاد می شود زغال های حاصل از پودر چوب و پودر برگ پسته را بعد از خارج کردن از راکتور در قالب های مختلف ریخته، آنها را پرس کرده و در شکل های منظم و دلخواه در آورده و به بازار مصرف عرضه کرد. نکته قابل توجهی که بعد از اتمام فرایند تولید زغال در رابطه با نمونه های پودر برگ مشاهده شد این بود که این نمونه ها بر خلاف نمونه های پودر چوب که پس از خارج شدن از راکتور از هم می پاشیدند، شکل ظرف هایی که برای گذاشتن آنها در راکتور در نظر گرفته شده بود را به خود گرفتند. که این ایده را به ما می دهد که بجای اینکه نمونه های پودر برگ را پس از خروج از راکتور، در قالب های مورد نظر ریخته و به شکل منظم در آوریم، قبل از انجام آزمایش ظرف هایی را که برای گذاشتن نمونه در

راکتور در نظر میگیریم به شکل های مورد نظر درآوریم تا پس از خارج کردن نمونه ها از راکتور همان شکل برای زغال حاصل از پودر برگ حاصل شود.

۴- نتیجه گیری کلی

فرایند تولید زغال از پودر چوب پسته، زودتر از دو نمونه دیگر انجام گرفته و در دمای حدود ۳۵۰ درجه سانتیگراد تکمیل می گردد. وزن نهایی (وزن باقیمانده) هریک از نمونه های ۱۰ گرمی چوب، پودر چوب و پودر برگ ۳۳.۸٪، ۲۸.۶٪ و ۳۸٪ وزن اولیه به دست آمد، که نشان دهنده این است که پودر چوب بیشترین، و پودر برگ کمترین میزان افت وزنی را در سطوح دمایی تعریف شده داشته اند. همچنین نتیجه شد که با توجه به زمان ماند ثابت ۱۰ دقیقه ای در راکتور، از دمای ۴۵۰ درجه سانتیگراد به بعد برای نمونه های چوب و پودر برگ و همچنین از دمای ۳۵۰ درجه سانتیگراد به بعد برای نمونه پودر چوب کاهش وزن نمونه (نسبت به سطح دمایی قبلی) به صفر خواهد رسید یا در صورت وجود بسیار ناچیز خواهد بود.

منابع

۱. خسرو انجم، ف. غضنفری مقدم، ا. (۱۳۸۸). بررسی فرایند تهیه ذغال از تنه درخت خرما به طریق تجزیه حرارتی. دومین همایش بیوتکنولوژی کشاورزی، دانشگاه شهید باهنر کرمان

2. Esin A-v, Ersan P, Ayşe E. Slow pyrolysis of pistachio shell. Department of Chemical Engineering, Anadolu University, 26555, Eskişehir, Turkey(2007), Volume 86: Pages 1892–1899
3. Kirtay E. Recent advances in production of hydrogen from biomass. Energy Conversion and Management 52 (2011), 1778–1789
4. Wijayanti W, Tanoue K. Char formation and gas products of woody biomass pyrolysis. International Conference on Sustainable Energy Engineering and Application. Energy Procedia 32 (2013) 145 – 152
5. Koufopanos, C. Papayannakos, A., N., Maschio, G. and Lucchesi, A., modelling of the pyrolysis of biomass particles. Studies on kinetics, thermal and heat transfer effects Can. J. Chem. Eng., 1991; 69:907.
6. Shafizadeh F. 1982. Journal of Analytical and Applied Pyrolysis 3: 283-305.
7. Wampler, T. P. 2006. Applied Pyrolysis Handbook. 2nd ed. CRC Press, Boca Raton, Florida
8. Demirbas, A. 2004. Effect of temperature and particle size on bio-char yield from pyrolysis of agricultural residues. J. Anal. Appl. Pyrolysis 72(2):243-248.
9. Mohan, D., C. U. Pittman, and P. H. Steele. 2006. Pyrolysis of wood/biomass for bio-oil: A critical review. Energy fules 20(3): 848-889.

Comparison of char production process from wood, wood powder and leaves powder of pistachio using pyrolysis process

Abstract

Nowadays, biomass resources are taken into consideration as the most appropriate in search of an alternative instead of fossil fuels. Hence, waste of pistachio trees that is abundant in areas under cultivation of pistachio in Iran, can be used in char production industry with high quality. In this study, an innovative apparatus for char production from wood, wood powder and leaves powder of pistachio by pyrolysis process was developed. rtemperature difference replaced in reactor. Residence time for these experiments was considered 10min. Result indicated that both leaves powder and wood in 450°C and wood powder in 350°C reached to a stable weight. final weight for wood, wood powder and leaves powder 33.8%, 28.6% and 38% was obtained, respectively. This finding indicates that wood powder has maximum and leaves powder minimum amount of weight loss. Also with comparison of plots related to three sample was concluded that rate of char production of wood powder samples is considerably higher than two other samples.

Keywords: Char; Leaves; Pyrolysis; Temperature Conditions; Wood