



تبدیل ضایعات کشاورزی و هرس شهری به بیوچار با استفاده از فرایند دما بالای پیرولیز چوب

هادی جاویدی^۱، علی محمد نیکبخت^۲، عارف مردانی کرانی^۳

۱- کارشناسی ارشد، مکانیک بیوسیستم

۲- دانشیار، مکانیک بیوسیستم

۳- استادیار، مکانیک بیوسیستم

چکیده

ضایعات شهری حاصل از هرس درختان همه ساله به عنوان یک منبع مهم در کشورها برای تولید انرژی و مواد با ارزش افزوده مطرح می‌باشد. متأسفانه در ایران هیچ راهکار مدیریتی در این خصوص وجود ندارد. در این پژوهش، به پیرولیز ضایعات چوب و هرس شهری درخت چنار در دماهای مختلف و در اندازه‌های مختلف پرداخته شده است. فرآیند پیرولیز در رآکتور بچ با محیط آدیاباتیک انجام شد. هدف نهایی تولید حداکثر نسبت جرمی بیوچار از ضایعات چوب بود. میزان تاثیرات دما، مدت ماندگاری، تأثیر اندازه بر روی مقدار بیوچار تولیدی در دماهای ۴۰۰، ۵۰۰، ۶۰۰ و ۷۰۰ درجه سلسیوس با سه بار تکرار انجام گردید. ذرات در ۴ سایز تهیه و زمان ماندگاری در دمای بیشینه ۵، ۱۰ و ۱۵ دقیقه بود. تمامی پارامترها قبل از آزمایش و بعد از تولید بیوچار توزین و درصد وزنی بیوچار تولیدی بدست آمد. بیوچار به عنوان یک ماده اضافه شونده به خاک و داشتن منافذ فراوان و خاصیت فیلتراسیون و نیز جذب سموم دارای ارزش بالایی در صنعت کشاورزی میباشد. بیوچار به عنوان ماده اولیه برای تهیه کربن فعال مورد استفاده قرار می‌گیرد.

واژه‌های کلیدی: پیرولیز، ضایعات کشاورزی، بیوچار، کربن فعال

مقدمه

امروزه استفاده از انرژی‌های جایگزین بدست آمده از بیومس افزایش پیدا کرده است، و این به دلیل وجود نگرانی‌ها از کاهش شدید ذخایر نفتی و افزایش تقاضای انرژی در جهان می‌باشد که با در نظر گرفتن هزینه‌های تولیدی انرژی مورد توجه سیاستمداران کشورهای مختلف قرار گرفته است (دمیر باش ۲۰۰۱، یانگ و همکاران ۲۰۱۰). بیومس (زیست توده): مواد و محصولاتی که معمولاً به صورت سوخت استفاده می‌شود، مانند درختان، علف‌هایی که رشد سریع دارند، بقایای محصولات کشاورزی، مواد زائد مانند کاه، فیبر نیشکر، پوسته برنج، بقایای جنگلداری و جنگل، ضایعات ساخت و سازهای چوبی و صنایع چوب (کروکر و همکاران ۲۰۰۶، مدلاک و همکاران ۲۰۰۱). بیومس جزء



سوخت‌های پاک در دنیا محسوب می‌شود (اسپیت و همکاران ۲۰۱۱). همچنین این سوخت در مقایسه با سوخت‌های فسیلی معمولی حاوی مقدار ناچیزی نیتروژن، سولفور و خاکستر می‌باشد، که در اثر سوختن آن در مقایسه با سوخت‌های فسیلی رایج، گازهای گلخانه‌ای، SO_2 ، NO_x و دوده کمتری آزاد می‌شود (زانگ و همکاران ۲۰۰۶، برجسو و همکاران ۱۹۹۶).

در گذشته مطالعاتی جهت بررسی استفاده از بیوجار به عنوان سوخت برای فرآیند پیرولیز انجام شده است (بواتنگ و همکاران ۲۰۰۸) که در درمان تترا سایکلیلین و کلروتتراسایکلیلین، ارتقای رشد و اهداف درمانی در تولید دام (پیلز و همکاران ۲۰۰۸)، تامین انرژی و خشک کردن مواد خام در کامباسترها (combustors) (پاتشه و همکاران ۲۰۰۴) مورد استفاده قرار می‌گیرد. از موارد استفاده گاز سنتزی، که محصول فرآیند پیرولیز بیومس (زیست توده) می‌باشد، می‌توان به استفاده در صنعت به صورت ترکیبی به منظور تولید گرما و قدرت اشاره کرد (بین و همکاران ۲۰۰۴). بخشی از گازهای سنتزی خارج شده شامل H_2 ، CO و CO_2 می‌باشد و هنگامی که به سوخت‌های سنتزی تبدیل می‌شود، می‌تواند برای محیط زیست سودمند باشند. سولفور آزاد و حضور اکسیژن باعث کاهش نثر CO و ازن به اتمسفر می‌گردد (میلز و همکاران ۱۹۹۴).

علاوه بر این با استفاده از فناوری‌های مختلف، سوخت با ترکیبات متفاوت سینتتیکی (سنتزی) می‌تواند عملکرد بالای موتور و افزایش بازدهی انرژی را در وسایل نقلیه در پی داشته باشد (چاننچوک و همکاران ۱۹۹۱، باکروت و همکاران ۲۰۰۵، ویلهلم و همکاران ۲۰۰۱) و یا به صورت انتخابی برای تبدیل هیدروکربن‌ها با وزن مولکولی بالا به کاتالیست مورد استفاده قرار گیرد (لی و همکاران ۱۹۹۰، ۱۹۹۱، Catalytica, Oxygenate Fuels: Challenge and Opportunities View, 1991). با توجه به ترکیب گاز حاصل از فرآیند پیرولیز و کاتالیست در دسترس، می‌تواند یک مسیر به سوخت مایع اضافه گردد تا بازدهی احتراق افزایش یابد.

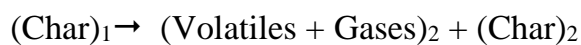
در زمینه تبدیل چمن با رشد سریع، جهت تولید روغن زیستی در فرآیند پیرولیز، مطالعات بسیاری در رابطه با طراحی رآکتور پیرولیز، شرایط پیرولیز، خصوصیات محصول، و بهبود کیفیت نهایی انجام گرفته است. این درحالی است که بسیار کم به بررسی کامل و دقیق فرآیند پیرولیز و نتایج بدست آمده از محصولات پیرولیز در دماهای مختلف پرداخته شده است. با مشخص کردن فرآیند پیرولیز و محصولات تولیدی از این فرآیند، در مطالعات آینده، ترکیبات شیمیایی و رفتار فیزیکی روغن زیستی می‌تواند بهتر و بیشتر مشخص شود.

روش تحقیق

دمیر باش به مطالعه و تولید بیوجار از ضایعات کشاورزی مانند بقایای ذرت و پوسته زیتون و چای پرداخته است. طی این پژوهش، محدوده دمایی ۶۷۰ درجه سانتی گراد تا ۱۰۷۰ درجه سلیسیوس و اندازه ذرات مابین ۰/۵ تا ۲/۲ میلیمتر در تولید بیوجار مورد مطالعه قرار گرفته است. با افزایش درجه حرارت میزان بیوجار تولیدی کاهش می‌یابد و در بزرگترین سایز که ۲/۲ میلیمتر بود نسبت به سایر نمونه‌ها درصد تولید بیوجار بیشینه بود. در قسمت دیگر این مقاله به بررسی میزان کربن در بیوجار با افزایش درجه حرارت پرداخته شده است که میزان کربن موجود در بیوجار با افزایش درجه حرارت افزایش یافته و نیز به میزان اکسیژن و هیدروژن موجود در بیوجار که با افزایش درجه حرارت کاهش پیدا می‌کند اشاره شده است و این



همان بخار آب موجود در نمونه چوب آزمایشی می‌باشد که در حرارت بالا بخار و به مولکولهای سازنده تقسیم می‌شود، و در نهایت این مقدار به صفر میل می‌کند. در بخش دیگری از این مطالعه به بررسی تغییرات لیگنین و میزان بیوجار پرداخته شده است که با افزایش میزان لیگنین میزان بیوجار تولیدی نیز افزایش پیدا می‌کند. مراحل تولید بیوجار به صورت کلی به سه مرحله تقسیم‌بندی می‌شوند (دمیرباش ۲۰۰۴):



در مرحله اول فقط مقداری رطوبت و مواد فرار از دست می‌رود، در مرحله دوم بیوجار اولیه بدست می‌آید و در مرحله سوم که با سرعت بالا انجام می‌گیرد تشکیل کربن‌های خالص صورت می‌گیرد، تغییرات شیمیایی رخ داده و کربن در بیوجار باقی می‌ماند.

طبق معادلات شیمیایی زیر بیشترین واکنش ترموشیمیایی در فرآیند پیرولیز انجام می‌گیرد:



در فرمول شیمیایی ۶، گاز خروجی از فرآیند را می‌توان به عنوان سوخت گازی مورد استفاده قرار داد.

میزان بیوجار خروجی از فرآیند را طبق فرمول زیر می‌توان محاسبه نمود (زانزی و همکاران ۱۹۹۶):

$$\text{Bio - char yield} = \frac{\left(\frac{A_b}{A_c} \right) - (A_b / 100)}{1 - (A_b / 100)} \quad 7$$

A_b میزان درصد وزنی بیومس خشک و A_c میزان درصد وزنی بیوجار خشک می‌باشد.

بررسی پیرولیز ضایعات کشاورزی مانند کاه برنج، نی ذرت و چوب ذرت در رنج دمایی ۳۰۰ تا ۷۰۰ درجه سلسیوس توسط چن و همکاران انجام شد. بررسی و رسم نمودارهای میزان مواد ازدست داده شده توسط ضایعات چوب از جمله این موارد است. با افزایش دما میزان مواد از دست رفته افزایش یافته و میزان بیوجار کمتری باقی می‌ماند. نمونه‌ها را از دمای اتاق تا ۸۰۰ درجه سلسیوس با نرخ دمایی ۲۰ درجه سلسیوس بر دقیقه با جریان نیتروژن و ترکیبی از نیتروژن و اکسیژن با ۶ درصد، ۱۴ درصد و ۲۱ درصد اکسیژن افزایش دادند. با استفاده از نمودارهای TG و DTG به بررسی و تحلیل مواد از دست رفته در فرآیند پیرولیز پرداخته شده است (چن و همکاران ۲۰۰۸).



مواد و روش‌ها

در انجام این آزمایش چندین ابزار همانند رآکتور پیرولیز و دستگاه هدایت گرمایی سنج چوب به کار گرفته شد و برای انجام آزمایشات از مواد اولیه و خام درخت چنار که در بهار ۱۳۹۳ قطع شده بود استفاده شد. برای دقیق‌تر شدن آزمایشات و با توجه به مقالات ارائه شده و مطالعه شده، نمونه‌های آماده شده از درخت چنار در چهار اندازه مختلف به ترتیب پوک - ۰/۰۱ میلی‌متر مکعب - ، تراشه - ۵۰ میلی‌متر مکعب ، ۲۰*۵*۰/۵ میلی‌متر - ، مکعب‌هایی با حجم یک سانتیمتر مکعب و یک اینچ مکعب - ۱۵/۶۲۵ سانتیمتر مکعب - تهیه گشت. که به ترتیب در شکل‌های ۱ تا چهار نمایش داده شده‌اند. برای دستگاه اندازه‌گیری هدایت گرمایی چوب نیز از همان درخت، قطعه‌ای به ابعاد ۱۰ سانتی‌متر طول و ۲/۵ سانتی‌متر عرض و ضخامت ۱ سانتیمتری تهیه نموده و با توجه به رطوبت میزان این کمیت دچار تغییر شد.

برای محاسبه میزان رطوبت چوب از استاندارد ASTM E871 استفاده شد که به این منظور در دمای ۱۰۳ درجه سانتیگراد به مدت ۱۶ ساعت در داخل آون -Oven- قرار داده شد و مقادیر رطوبت بر اساس همین استاندارد اندازه‌گیری و محاسبه گردید.

برای محاسبه میزان رطوبت چوب از استاندارد ASTM E871 استفاده شد که به این منظور در دمای ۱۰۳ درجه سانتیگراد به مدت ۱۶ ساعت در داخل آون -Oven- قرار داده شد و مقادیر رطوبت بر اساس همین استاندارد اندازه‌گیری و محاسبه گردید.

در انجام آزمایش ابتدا تمامی مقادیر وزنی اولیه با ترازوی دیجیتالی دقیق و دارای سه رقم اعشار، شینکو ژاپن، اندازه‌گیری و سپس برای اندازه‌گیری میزان رطوبت طبق استاندارد ASTM E871 عمل شد و وزن دقیق ثبت گردید و پس از آن در داخل رآکتور قرار داده شد. نرخ حرارتی در حدود ۶۰۰ درجه سانتی‌گراد در ۱۵ دقیقه اعمال گشت. نمونه در ظروف چینی دارای درب، داخل رآکتور قرار داده شد. ترموکوپل کوچکی همراه با نمونه‌ها در داخل چینی مذکور قرار گرفته و زمان ماندگاری پس از رسیدن به دمای مطلوب با سنسور چهارم محاسبه و شروع می‌شد. پس از قرار دادن نمونه‌ها در داخل رآکتور، هوای داخل رآکتور توسط پمپ خلأ، تخلیه و خلأ نسبی در داخل رآکتور به وجود می‌آمد. پس از خروج نمونه‌ها از رآکتور نمونه‌ها در داخل محیط شیشه‌ای که فاقد هوا-خلأ نسبی- بود، در دمای اتاق خنک و سپس با ترازوی دیجیتالی توزین می‌گشتند. تمامی پارامترها به دقت ثبت گردیده و جداول و نمودارها از طریق نرم افزار اکسل تنظیم و مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌گرفت.

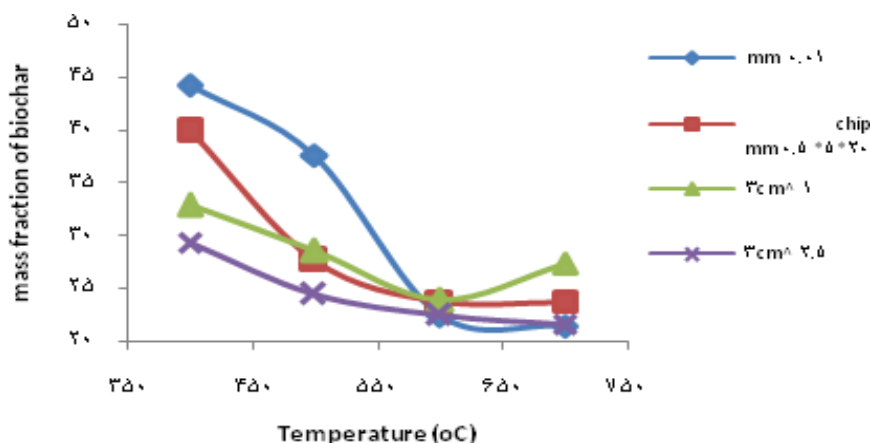
نتایج و بحث

جدول شماره ۱، که میزان درصد بیوجار تولیدی در دماهای مختلف در ابعاد مشخص را نشان می‌دهد. میزان ماندگاری در دمای بالا ۵ دقیقه است.



جدول شماره ۱- جدول دمایی و درصد تولید بیوچار در صورت وجود نرخ حرارتی با ۵ دقیقه زمان ماندگاری در دمای مطلوب

دما (°C)	400	500	600	700
0.01 mm ³	44.2344	37.5325	22.4338	21.4225
50 mm ³	39.8262	27.5821	23.7686	23.7081
1 cm ³	32.8392	28.5213	23.8267	27.3194
15.625 cm ³	29.3371	24.3799	22.4069	21.6264



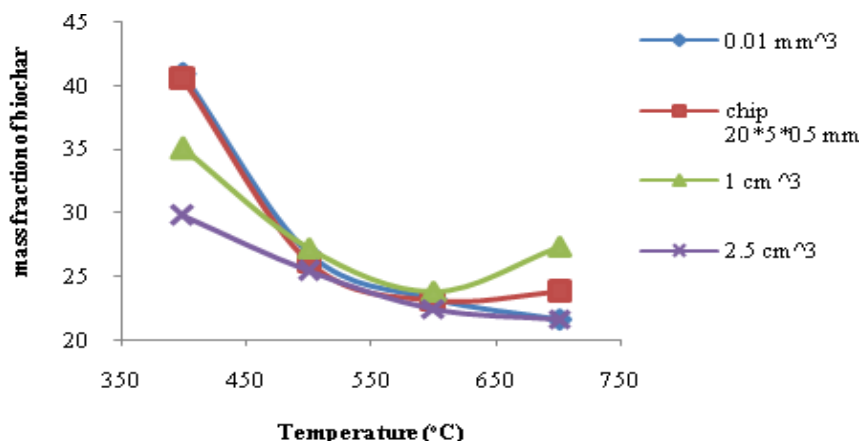
شکل ۱- ۵ دقیقه زمان ماندگاری در دمای بالا

شکل ۱ بیانگر درصد تولید بیوچار نسبت به دما، در مدت زمان ثابت ۵ دقیقه، در حرارت‌های ۶۰۰، ۵۰۰، ۴۰۰ و ۷۰۰ درجه سیلسیوس می‌باشد. پس از رسیدن حرارت داخلی رآکتور به دمای مطلوب، زمان ماندن محصول در داخل رآکتور محاسبه می‌گردد. این نمودار برای چهار اندازه مختلف چوب چنار تهیه شده است، که به ترتیب شامل پوک‌ها با حجم متوسط ۰/۰۱ میلی‌متر مکعب، تراشه با حجم متوسط ۵۰ میلی‌متر مکعب، و دو نمونه دیگر شامل مکعب‌های یکسان با وزن حجمی ۷۰۰ میلی‌گرم بر سانتی‌متر مکعب که برابر مکعب مربعی به اضلاع یک سانتی‌متر و مکعب مربع با اضلاع ۲/۵ سانتی‌متر می‌باشد. با توجه به نمودار فوق می‌توان به این نتیجه رسید که با افزایش دما در مدت زمان مشخص زمان ماندگاری در حرارت بالا، میزان بیوچار تولیدی کاهش می‌یابد. دلیل کاهش تولید بیوچار را می‌توان به افزایش دما و به طبع آن، افزایش میزان گاز تولیدی مرتبط دانست. با توجه به اینکه میزان حرارت تولیدی بیشتر می‌شود بنابراین زمان کافی برای بازگشت مقدار مشخصی از گاز دارای کربن، بر روی بیوچار تولیدی، واکنش با بیوچار و ماندن بر روی آن وجود ندارد. در حرارت‌های بالاتر به دلیل نزدیکی به مرحله گازی‌سازی، (Gasification) بخش اعظمی از محصول به گاز تبدیل می‌شود و



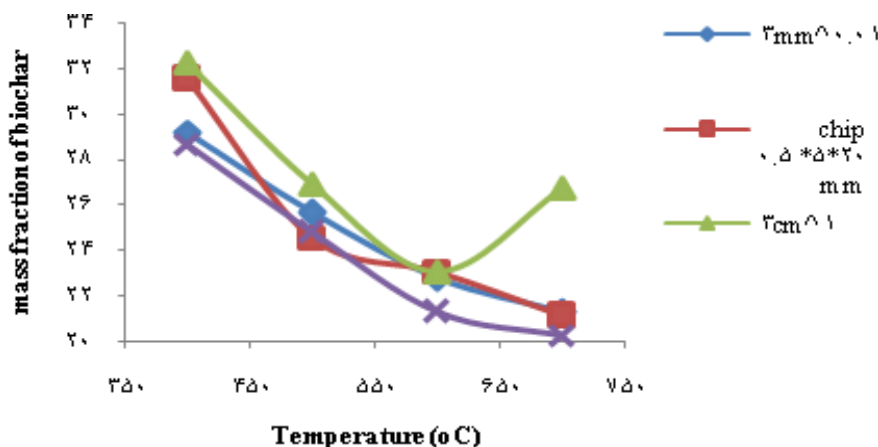
از این رو نوعی تصعید در فرآیند رخ داده که اکثر کربن موجود در حرارت بالا، با هیدروژن و اکسیژن تجزیه شده از بخار آب، واکنش داده و به صورت گاز متان و کربن دی اکسید خارج می‌گردد. ولی در حرارت های پایین، زمان واکنش بیشتر بوده و انرژی مولکولهای کربن کمتر می‌باشد، بنابراین میزان بیوجار تولیدی افزایش می‌یابد. میزان درصد تولیدی بیوجار با افزایش دما کاهش می‌یابد و این میزان در کوچکترین سایز با توجه به نمودار از دمای ۵۰۰ به ۶۰۰ درجه سلسیوس تقریباً نصف می‌شود. با بزرگتر شدن اندازه ذرات مورد آزمایش، درصد بیوجار تولیدی با شیب ملایم تری کاهش می‌یابد. در نمونه مکعب های یک سانتیمتر مکعبی میزان بیوجار تولیدی با افزایش دما از ۴۰۰ تا ۶۰۰ درجه سلسیوس کاهش می‌یابد. در مکعب هایی با ضلع یک سانتیمتر، میزان بیوجار تولیدی با افزایش دما از ۴۰۰ تا ۶۰۰ درجه سلسیوس کاهش می‌یابد ولی در دمای ۷۰۰ درجه سلسیوس این مقدار افزایش می‌یابد. دلیل افزایش بیوجار در دمای ۷۰۰ درجه سلسیوس، به دلیل بازگشت قابل توجهی از بخارات حاوی کربن بر روی بیوجار می‌باشد. در قطعات چوب با ابعاد کوچکتر، با افزایش دما مقدار قابل توجهی از میزان درصد بیوجار تولیدی کاهش می‌یابد. دلیل این امر را می‌توان در کوچک بودن ذرات و زیاد بودن سطح تماس آن‌ها با حرارت بیان کرد. با افزایش دما، لایه های بیرونی این قطعات کوچک، به سرعت به گاز تبدیل شده و یا می‌سوزند که این امر سبب کاهش چشم گیر میزان بیوجار تولیدی می‌شود.

دمیرباش بر اساس نتایج تحقیق خود در سال ۲۰۰۴ اعلام کرد که با افزایش درجه حرارت میزان خلوص کربن در بیوجار افزایش، میزان گازهای خروجی افزایش، درصد بیوجار خروجی کاهش و میزان هیدروژن و اکسیژن نیز افزایش می‌یابد. چن و همکاران ۲۰۰۸، به بررسی مواد از دست داده شده در فرآیند پیرولیز پرداختند که بر اساس گزارش آنها با افزایش دما میزان مواد خارج شده و از دست رفته افزایش و میزان بیوجار کمتری در نهایت باقی می‌ماند. آورن و همکاران ۲۰۰۸؛ بررسی عوامل موثر بر روی تولید بیوجار و کربن فعال از فرآیند پیرولیز را انجام که نتیجه گرفت با افزایش درجه حرارت میزان کمتری بیوجار و کربن فعال تولید می‌شود. ایمان ۲۰۱۲ تأثیر رطوبت چوب را بر روی بیوجار تولیدی بررسی کرده است و اعلام کرده است که با افزایش میزان رطوبت، بیوجار کمتری تولید و میزان گازها افزایش می‌یابد. پارک و همکاران ۲۰۱۲ گزارش کرده اند که با افزایش دما میزان گاز و روغن افزایش و میزان بیوجار تولیدی کاهش می‌یابد. پاتیوا و همکاران ۲۰۱۲ در مطالعه خود مدعی شده اند که با افزایش میزان ماندگاری در دمای بالا، میزان بیوجار تولیدی در مقایسه با میزان تولیدی مشابه در زمان کم کاهش می‌یابد و روغن نیز کاهش می‌یابد و فقط میزان گاز افزایش می‌یابد. اگر و همکاران ۲۰۱۳، کاهش تولید بیوجار در اثنای افزایش دما را گزارش نموده اند. گای و همکاران ۲۰۱۳ به این موضوع اشاره کرده اند که با افزایش نرخ حرارتی و یا کاهش نرخ حرارتی، میزان قابل توجهی تغییر در میزان بیوجار تولیدی مشاهده نمی‌شود ولی با افزایش حرارت در هر دو حالت، میزان قابل توجهی از وزن بیوجار نهایی کاسته می‌شود و در نرخ حرارتی بالا که ۴۰ درجه بر دقیقه بود میزان بیشتری بیوجار نسبت به ۵ درجه بر دقیقه تولید می‌شود و این به این دلیل است که میزان بیشتری زمان برای گرم شدن و رسیدن به دمای مطلوب طول می‌کشد و باعث سوختن بیوجار تولیدی شده و میزان درصد وزنی کمتری از بیوجار در نهایت باقی می‌ماند. در دمای ۶۰۰ درجه سلسیوس و نرخ حرارتی پایین، میزان مواد ازدست داده شده زیادتز از سایر موارد و دماها می‌باشد.



شکل ۲- ۱۰ دقیقه ماندگاری در دمای بالا

شکل ۴-۳ بیانگر درصد تولیدی بیوچار نسبت به دما در مدت زمان ثابت ۱۰ دقیقه در حرارت های ۴۰۰، ۵۰۰، ۶۰۰ و ۷۰۰ درجه‌ی سیلسیوس می‌باشد که در این حالت مقدار و درصد بیوچار تولیدی از آزمایش قبلی (شکل ۲) بیشتر می‌باشد. چون در این حالت زمان بیشتری برای کربن داده می‌شود تا با بیوچار واکنش داده و تبدیل به بیوچار گردد. در این حالت نیز با افزایش دما میزان درصد بیوچار باقی مانده کاهش خواهد یافت.



شکل ۳- ۱۵ دقیقه ماندگاری در دمای بالا

شکل ۳- بیانگر درصد تولیدی بیوچار نسبت به دما در مدت زمان ثابت ۱۵ دقیقه در حرارت های ۴۰۰، ۵۰۰، ۶۰۰ و ۷۰۰ درجه‌ی سیلسیوس می‌باشد که در این حالت، مقدار و درصد بیوچار تولیدی نسبت به دو آزمایش قبلی کمتر می‌باشد. چون در آزمایش سوم، زمان بیش از حد مطلوب، به کربن داده می‌شود، کربن موجود بر روی بیوچار، دوباره در حرارت مورد نظر با مولکولهای بخار آب واکنش داده و میزان بیشتری از مولکولهای کربن به صورت کربن دی اکسید و گاز متان از رآکتور خارج می‌شوند. در این حالت نیز با افزایش دما میزان درصد بیوچار باقی مانده کاهش خواهد یافت.



نتیجه گیری

ضایعات شهری حاصل از هرس درختان همه ساله به عنوان یک منبع مهم در کشورها برای تولید انرژی و مواد با ارزش افزوده مطرح می‌باشد. متأسفانه در ایران هیچ راهکار مدیریتی در این خصوص وجود ندارد. در این پژوهش، به پیرولیز ضایعات چوب و هرس شهری درخت چنار در دماهای مختلف و در اندازه‌های مختلف پرداخته شده است. فرآیند پیرولیز در راکتور بیج با محیط آدیاباتیک انجام شد. هدف نهایی تولید حداکثر نسبت جرمی بیوجار از ضایعات چوب بود. میزان تاثیرات دما، مدت ماندگاری، تأثیر اندازه بر روی مقدار بیوجار تولیدی در دماهای ۴۰۰، ۵۰۰، ۶۰۰ و ۷۰۰ درجه سلسیوس با سه بار تکرار انجام گردید. اندازه ذرات با حجم ۰/۱ میلی‌متر مکعب، ۱۵ میلی‌متر مکعب، ۱ سانتیمتر مکعب، ۱ اینچ مکعب (۱۵/۶۲۵ سانتیمتر مکعب) و زمان ماندگاری در دمای بیشینه ۵، ۱۰ و ۱۵ دقیقه بود. تمامی پارامترها قبل از آزمایش و بعد از تولید بیوجار توزین و درصد وزنی بیوجار تولیدی بدست آمد. در نتایج بدست آمده از فرآیند پیرولیز و مقایسه هر کدام از پارامترها با همدیگر بهترین درجه حرارت پیشنهادی معادل ۵۰۰-۶۰۰ درجه سلسیوس بدست آمد و بهینه ترین زمان نگه داری در دمای بیشینه ۱۰ دقیقه حاصل شد. در این سطح دمایی فرصت بیشتری برای بازگشت دوباره کربن بر روی بیوجار وجود دارد. همچنین از نظر سایز قطعات، مکعب‌های یک سانتی متر مکعب با وزن حجمی ۰/۶ گرم بر سانتیمتر مکعب میزان انرژی کمتری برای تبدیل به بیوجار و کربن فعال لازم داشته و نیز از کیفیت بالایی برخوردار می‌باشند.

منابع

1. Adler, P. Sanderson, M. Akwasi, A. 2006. Agron, Biomass Yield and Biofuel Quality of Switchgrass Harvested in fall or spring. J. 98: 1518–1525.
2. Boateng, A. Hicks, K. Vogel, K. 2006. J. Anal. Appl. Pyrolysis 75: 55–64.
3. Caballero, J. Font, R. Marcilla, A. 2001. Comments on the validity and utility of the different methods for kinetic analysis of thermogravimetric data, J. Anal. Appl. Pyrolysis 58: 617–633.
4. Changyan, Y. Zhang, B. Moen, J. Hennessy, K. Liu, Y. 2010. Fractionation and Characterization Of Bio-Oil From Microwave-Assisted Pyrolysis Of Corn Stover, Int. J. Agric. Biol. Eng. 3 : (3) 54–61.
5. Demirbas. 2001. Biomass Resource Facilities and Biomass Conversion Processing For Fuels And Chemicals Energy Convers. Manage, 42 : 1357–1378.
6. Elizabeth, L. Spriggs, K. Christin, P. Edwards, E. 2009. C4 Photosynthesis Promoted Species Diversification during the Miocene Grassland Expansion, DOI: 10.1371/journal.pone.0097722 .
7. Inguanzo, M. Domínguez, A. Meneñdez, J. 2002. On the pyrolysis of sewage sludge: the influence of pyrolysis conditions on solid, liquid and gas fractions, J. Anal. Appl. Pyrolysis 6: 209–222.
8. McLaughlin, S. Bouton, J. Bransby, .B. 1999. Developing Switchgrass as a Bioenergy Crop, Am. Soc. Hort. Sci. 20: 282–299.
9. McLaughlin, S. Ugarte, D. Garten, C. 2002. High-Value Renewable Energy from Prairie Grasses, Environ. Sci. Technol. 36: 2122–2129.
10. McLaughlin, S. Kszos, L. 2005. Development of Switchgrass (*Panicum Virgatum*) As a Bioenergy Feedstock in The United States, Biomass Bioenergy 28: 515–535.
11. Missaoui, A. Fasoula, V. Bouton, J. Euphytica, 2005. The Effect Of Low Plant Density On Response To Selection For Biomass Production In Switchgrass, Springer 142 , (142) : 1–12.



12. Osborne, C. Freckleton, R. 2009. Proc. Roy. Soc. B: Biol. Sci. 276: 1753–1760, doi:10.1098/rspb.2008.1762.
13. Rao, R. Sharma, A. 1998. Pyrolysis rates of biomass materials, Energy 23: 973–978.
14. Roth, A. Sample, D. Ribic, C. 2005. Grassland Bird Response To Harvesting Switchgrass As A Biomass Energy Crop, Biomass Bioenergy 28: 490–498.
15. Sage, R. Russell, M. 1999. Intracellular Biogenesis of Collagen Fibrils in ‘Activated Fibroblasts’ of Tendo Achillis, Plant Biol. 7: 228–229, ISBN 0126144400.
16. Speight, J. 2011. Handbook Of Industrial Hydrocarbon Processes, Elsevier Inc., ISBN: 978-0-7506-8632-7.
17. Walsh, M. Ugarte, D. Shapouri, H. 2003. Bioenergy Crop Production in the United States: Potential Quantities, Land Use Changes, and Economic Impacts on the Agricultural Sector, Journal of Springer, Environmental and. Resource. Economics 24: 313–333.
18. Yang, H. Yan, R. Chin, T. 2004. Thermogravimetric Analysis-Fourier Transform Infrared Analysis of Palm Oil Waste Pyrolysis. Energy & Fuels, 18: 1814-1821.
19. Zhang, Q. Chang, J. Wang, T. 2006. Upgrading Bio-oil over Different Solid Catalysts, Energy Fuels, 20: 2717–2720.



نهمین کنگره ملی مهندسی ماشین‌های کشاورزی

(مکانیک بیوسیستم) و مکانیزاسیون

پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران

۲ و ۳ اردیبهشت ۱۳۹۴ - کرج



Conversion agricultural waste and urban pruning to Bio-char, using high temperature process: wood pyrolysis.

Abstract

Solid woody wastes collected from pruning of municipal trees is a major source for producing energy and added valued materials in countries. Though millions of tons of such biomass is feasible, in Iran there's no administrative approach in this regard. In this study, the pyrolysis of wood collected from pruning of plane tree at different temperatures and different sizes have been investigated. Pyrolysis process was performed in a batch reactor under adiabatic conditions. The ultimate goal was the production of maximum ratio of Biochar mass from wood waste. Humidity, temperature, durability and the effect of size quantity in 400, 500, 600, 700° C were tested in triplicate. The particles in 4 sizes were prepared. All parameters were weighed before and after pyrolysis to obtain the Biochar mass fraction.

Keywords: Pyrolysis, Biochar, Activated Carbon, Solid Woody Waste