

تعیین خواص فیزیکی و شیمیایی کاه برنج و انرژی مورد نیاز برای خرد کردن آن

زینب رضوانی^{1*}، اکبر عرب حسینی²، غلامرضا چگینی³ و محمد حسین کیانمهر⁴

تاریخ دریافت: 92/2/25 تاریخ پذیرش: 92/7/5

- 1- گروه مهندسی ماشین‌های کشاورزی - دانشکده ابوریحان - دانشگاه تهران
- 2- گروه مهندسی ماشین‌های کشاورزی - دانشکده ابوریحان - دانشگاه تهران
- 3- گروه مهندسی ماشین‌های کشاورزی - دانشکده ابوریحان - دانشگاه تهران
- 4- گروه مهندسی ماشین‌های کشاورزی - دانشکده ابوریحان - دانشگاه تهران

* مسئول مکاتبه E-mail: zrezvani@ut.ac.ir

چکیده

دسترسی محدود به سوخت‌های فسیلی و آگاهی از عواقب مضر زیست محیطی ناشی از انتشار رو به رشد گازهای گلخانه‌ای، اهمیت زیست توده را به عنوان یک منبع انرژی افزایش می‌دهد. لذا تبدیل کاه برنج همراه با سبوس برنج به بریکت به عنوان سوخت جامد از اهمیت زیادی برخوردار است. هدف از این تحقیق بررسی خواص فیزیکی و شیمیایی کاه برنج و سبوس آن و نیز تعیین انرژی مورد نیاز جهت آسیاب کردن کاه برنج با استفاده از آسیاب چکشی می‌باشد. توزیع اندازه ذرات و چگالی حجمی برای کاه آسیاب شده با چهار توری، در شش سطح اندازه الک، تعیین شد. ضریب اصطکاک استاتیکی در سه سطح اصطکاکی آهن، آلومینیوم و گالوانیزه، و در شش سطح اندازه ذرات تعیین شد. آزمون FTIR برای تعیین گروه‌های عاملی کاه برنج و خاکستر آن صورت گرفت. با افزایش رطوبت و اندازه قطر روزنه توری‌های آسیاب، انرژی ویژه مورد نیاز برای آسیاب شدگی کاهش یافت. برای کاه آسیاب شده با توری-های با اندازه قطر توری 2 و 4 میلی‌متر، توزیع نرمال مشاهده شد. با کاهش اندازه ذرات، زاویه اصطکاک و چگالی حجمی کاه برنج افزایش یافت. همچنین، در میان سطوح اصطکاکی، آهن و آلومینیوم، به ترتیب دارای بیشترین و کمترین زاویه اصطکاک بودند. با توجه به نتایج آزمون FTIR، در طی فرآیند سوختن، لیگنین، بطور کامل وارد واکنش اکسیداسیون شد.

واژه‌های کلیدی: آسیاب چکشی، انرژی مصرفی مورد نیاز، خواص فیزیکی، سبوس برنج، کاه برنج

1- مقدمه

در ایران سالیانه حدود 2/5 میلیون تن شلتوک از مزارع برنج برداشت می‌شود. به واسطه برداشت این مقدار شلتوک، حدود سه میلیون تن کاه برنج در مزارع بر جای می‌ماند که به دلیل ارزش غذایی اندک برای تغذیه دام چندان مورد توجه قرار نمی‌گیرد و برای از بین بردن آن در حاشیه مزارع سوزانده می‌شود. این عمل علاوه بر داشتن عوارض زیست محیطی و تخریبی زیاد، موجب تشدید آلودگی، تاثیرات منفی بر اکوسیستم و از بین رفتن میکروارگانیسم‌های مفید خاک می‌شود.

باتا چارایا (1998) کیفیت محصول و انرژی مصرفی برای تهیه مواد متراکم در شرایط گرم با فشار زیاد را با حالت سرد و فشار پایین مورد مقایسه قرار داد.

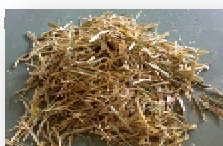
تابیل و سخن سنج (1997)، تحقیقاتی را بر روی خواص فله‌ای مرتبط با ویژگی‌های فشردگی یونجه آسیاب شده انجام دادند. آنها گزارش دادند که چگالی پلت‌هایی که از یونجه خرد شده با کیفیت بالا

با افزایش جمعیت جهان، نیاز به انرژی افزایش می‌یابد. محدودیت سوخت‌های فسیلی و آگاهی از عواقب مضر زیست محیطی ناشی از انتشار رو به رشد گازهای گلخانه‌ای در اثر استفاده از سوخت‌های فسیلی، اهمیت زیست توده¹ را به عنوان یک منبع انرژی در کشورهای توسعه یافته و در حال توسعه افزایش می‌دهد. به منظور کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای و همچنین جلوگیری از مشکلات آلودگی محلی ناشی از سوختن کاه برنج، به عنوان یک زیست توده کشاورزی، می‌تواند یک منبع انرژی تجدیدپذیر و جایگزین سوخت‌های فسیلی باشد (هاسلر و همکاران، 1998).

¹-Biomass

$$W = P t \quad (2)$$

که در آن، P ، توان مصرفی بر حسب وات (W)، ولتاژ بر حسب ولت (V)، I ، جریان الکتریکی بر حسب آمپر (A)، t ، بازه زمانی مورد نظر بر حسب ثانیه (s) و W ، انرژی مصرفی (J) می باشد. ابتدا، ساقه های برنج بوسیله یک برش دهنده در اندازه های تقریباً یکسان حدود 4-5 سانتی متر بریده شد (شکل 2).



شکل 2- تصویر ابزار برش دهنده و نمایی از ساقه های برش خورده

به منظور انجام آزمایشات مربوط به آسیاب کردن، ابتدا ساقه خرد شده در دو سطح رطوبتی 8 و 12 درصد تهیه گردید. برای این منظور با توجه به میزان رطوبت اولیه محصول و رطوبت هدف، مقدار معینی آب به ساقه های خرد شده اضافه شد و برای مدتی در محیطی بسته نگهداری شد تا رطوبت در تمامی قسمتها به یک میزان توزیع شود. سپس با استفاده از توری های مختلف نمونه هایی در چهار سطح آسیاب شدگی 2، 4، 7 و 8 میلی متر، با استفاده از آسیاب چکشی تهیه شد. آزمایش فاکتوریل با طرح کاملاً تصادفی در 3 تکرار انجام شد. پس از روشن کردن آسیاب چکشی مقدار 300 گرم از کاه برنج بصورت دستی به درون آسیاب ریخته شد. از تفاضل توان مورد نیاز برای خرد کردن کاه و توان مورد نیاز برای شرایط بدون بار آسیاب توان مصرفی خالص بدست آمد. انرژی مورد نیاز برای خرد کردن با انتگرالگیری از سطح زیر نمودار توان- زمان محاسبه شد (مانی و همکاران، 2004 ب، و بالک، 1964). انرژی ویژه مصرفی در فرآیند آسیاب کردن از رابطه (3) بدست آمد:

$$E_{sc} = \frac{E_{NI}}{w} \quad (3)$$

که در آن، E_{sc} ، انرژی ویژه مصرفی بر حسب کیلوژول بر تن $(kJ.t^{-1})$ ، E_{NI} ، انرژی خالص ورودی بر حسب کیلوژول (kJ) ، w ، وزن کاه خرد شده بر حسب تن (t) می باشد.

بدست آمده بودند، بسیار بهتر و یا بیشتر از آنهایی بود که با کیفیت پایین خرد شده بودند.

چو و همکاران (2009)، خصوصیات سوخت جامد تهیه شده از زیست توده کاه برنج و سبوس برنج را بررسی کردند. با افزایش درصد سبوس، بر مقاومت فشاری و ارزش حرارتی بریکت زیست توده افزوده می شود. فرایند بریکت سازی، شامل چهار بخش مجزا است. بخش نخست شامل تهیه مواد (خرد کردن، توزیع اندازه ذرات)، بخش دوم شامل آماده سازی مواد و تعیین خواص فیزیکی و شیمیایی (تعیین رطوبت و زاویه اصطکاک)، بخش سوم فشرده سازی و انجام آزمون تنش آسای و بخش چهارم تعیین خواص حرارتی (ارزش گرمایی، آزمایش TG) می باشد. در تحقیق حاضر به 2 بخش نخست پرداخته شد.

2- مواد و روش ها

کاه برنج مورد استفاده از نوع برنج هاشمی بود و سبوس مورد نیاز به عنوان ماده چسباننده ذرات کاه از استان مازندران شهر سلمانشهر، ناحیه تیلکنار تهیه شد.

2-1- آسیاب کردن کاه برنج

برای خرد کردن کاه برنج از آسیاب چکشی موجود در گروه فنی کشاورزی پردیس ابوریحان دانشگاه تهران (شکل 1) استفاده شد. این آسیاب با نیروی برشی و ضربه ای مواد را خرد می کند. این آسیاب شامل 25 تیغه است و به یک موتور الکتریکی (تک فاز) با توان 3 اسب بخار (2/2 کیلو وات) و سرعت سرعت 3000 دور بر دقیقه متصل شده است. ابعاد دهانه ورودی مخزن 500x500 میلی متر و ارتفاع بیشینه قسمت مخروطی در دهانه ورودی آن 300 میلی متر می باشد.



شکل 1- آسیاب چکشی

2-2- انرژی مصرفی برای آسیاب کردن کاه برنج

به منظور محاسبه انرژی مورد نیاز برای آسیاب کردن کاه برنج، یک آمپر سنج در مسیر ورودی جریان برق به آسیاب قرار داده شد. میزان انرژی مصرفی در هر بازه زمان از رابطه زیر محاسبه شد:

$$P = V I \quad (1)$$

استفاده از روابط موجود در استاندارد قطر میانگین هندسی نمونه ها (d_{gw}) و انحراف استاندارد هندسی قطر ذرات (S_{gw}) بر طبق روابط زیر محاسبه گردید.

$$d_{gw} = \log^{-1} \left[\frac{\sum_{i=1}^n (W_i \log \bar{d}_i)}{\sum_{i=1}^n W_i} \right] \quad (7)$$

$$S_{log} = \left[\frac{\sum_{i=1}^n W_i (\log \bar{d}_i - \log d_{gw})^2}{\sum_{i=1}^n W_i} \right]^{1/2} \quad (8)$$

$$S_{gw} = \frac{1}{2} d_{gw} \left[\log^{-1} S_{log} - (\log^{-1} S_{log})^{-1} \right] \quad (9)$$

در روابط فوق، d_{gw} میانگین هندسی قطر یا اندازه متوسط ذرات بر حسب میلی‌متر، S_{log} انحراف معیار هندسی ورود به سامانه توزیع نرمال (بدون بعد)، S_{gw} انحراف استاندارد قطر هندسی ذرات بر حسب میلی‌متر، W_i وزن کاه باقیمانده بر روی الک i ام بر حسب گرم، n تعداد الک‌ها، \bar{d}_i ، $(di \times di + 1)/2$ و di اندازه قطر روزنه الک i ام بر حسب میلی‌متر، $di+1$ اندازه قطر روزنه الک بر حسب میلی‌متر $i+1$ ام (mm) می‌باشند (بی‌نام، 2003 ب).



شکل 3- الک‌های استاندارد مورد استفاده

2-6- چگالی حجمی¹ ذرات کاه

کاه خرد شده بوسیله یک قیف درون ظرفی از جنس استیل به حجم 500 سانتی متر مکعب ریخته شد. با استفاده از یک سیم نازک فولادی انسداد موجود در قیف برطرف گردید. سپس با لبه چاقو مقدار کاه اضافی از لبه ظرف تراشیده و وزن گردید. سپس وزن ظرف خالی از وزن کل کم تفریق شد تا جرم کاه موجود در آن مشخص شود. سپس از تقسیم مقدار جرم بدست آمده بر حجم ظرف، چگالی محاسبه گردید. آزمایشات در سه تکرار انجام شدند (شو و همکاران، 2006).

2-7- ضریب اصطکاک

برای اندازه‌گیری ضریب اصطکاک از سطح شیبدار شکل 4 استفاده شد. در این دستگاه برای تعیین زاویه‌ای که در آن کاه برنج شروع به سرش می‌کند، ابتدا کاه برنج با جرم معلوم و ثابت روی یک

2-3- بررسی خواص فیزیکی کاه برنج

در فرآیند بریکت سازی کاه برنج، لازم است خواص فیزیکی کاه اندازه‌گیری شود. آن دسته از خواصی که در مطالعات بسیار مهم می‌باشد، مورد بررسی قرار گرفت. این موارد شامل مقدار رطوبت، توزیع اندازه ذرات، چگالی ذرات، و زاویه اصطکاک کاه می‌باشد (مودتی، 87).

2-4- اندازه‌گیری رطوبت کاه برنج

محتوای رطوبتی کاه برنج بر طبق استاندارد ASAE S358.2 (بی‌نام، 2003 ث) تعیین گردید. سه نمونه 25 گرمی در داخل آون در دمای 105 ± 3 °C به مدت 24 ساعت قرار داده شد. میزان رطوبت تریپایه و خشک‌پایه طبق روابط 3-4، 3-5 و 3-6 تعیین گردیدند.

$$MC_{w.b.} \% = \frac{w_w}{w_t} \times 100 \quad (4)$$

$$MC_{w.b.} \% = \frac{w_w}{w_w + w_d} \times 100 \quad (5)$$

$$MC_{d.b.} = \frac{w_w}{w_d} \times 100 \quad (6)$$

در روابط فوق، $MC_{w.b.}$ رطوبت تریپایه بر حسب درصد، w_w وزن آب موجود در کاه برنج بر حسب گرم، w_t وزن کل کاه برنج بر حسب گرم، w_d وزن ماده خشک موجود در کاه برنج بر حسب گرم، و $MC_{d.b.}$ رطوبت خشک‌پایه بر حسب درصد می‌باشد.

2-5- توزیع اندازه ذرات

اندازه ذرات، توزیع و شکل ذرات کاه برنج در فرآیند بریکت سازی نقش مهمی دارد. بنابراین در تولید بریکت می‌بایست اندازه کاه برنج و شکل ذرات مشخص باشد، تا بهترین ابعاد ذرات کاه در تولید نهایی بریکت انتخاب شود. طبق استاندارد ASAE S319.2 (بی‌نام، 2003 الف) به منظور توزیع اندازه کاه خرد شده از چهار الک به اندازه‌های 50، 30، 16 و 10 استفاده شد (جدول 1).

جدول 1- ابعاد منافذ الک‌های مورد استفاده

الک	اندازه	1	16	30	50
الک	0				
قطر منافذ		2	1/18	0/6	0/3

مطابق شکل 3، الک دارای بزرگترین اندازه (10) تا الک دارای کوچکترین اندازه (50) به ترتیب روی هم گذاشته شدند و حدود 100 گرم از کاه روی بزرگترین الک قرار گرفت و توزیع ابعاد کاه برنج در 3 تکرار تعیین شد. با تکان دادن الک‌ها به مدت 10 دقیقه مقدار کاه برنج باقیمانده روی هر یک از الک‌ها وزن گردید. سپس با

¹ - Bulk density

این روش گروه‌های عاملی موجود در نمونه کاه و خاکستر آن، به دست می‌آید.

محاسبات آماری و تحلیل داده‌ها و رسم نمودارها توسط نرم‌افزارهای Excel و SAS (version 9.0) و برایش 9 انجام شد. مقادیر میانگین، ضریب تغییرات، کمینه و بیشینه داده‌ها به کمک برنامه‌های آماری فوق تعیین گردید.

3- نتایج و بحث

3-1- انرژی مصرفی برای آسیاب کردن کاه برنج به

وسیله آسیاب چکشی

آسیاب کردن بخش مهم فرآیند بریکت سازی است. مقدار انرژی ویژه مورد نیاز برای مواد زیست توده، بخش مهمی از کل انرژی مصرفی در تهیه بریکت است.

مقدار میانگین انرژی ویژه مصرفی برای آسیاب کردن کاه برنج با رطوبت ترپایه 8 درصد بوسیله آسیاب چکشی با توری‌هایی به قطر روزنه‌ی 2، 4، 7 و 8 میلی‌متر به ترتیب 11/58، 19/73، 8/24 و 8/12 kWh t⁻¹ و برای کاه با رطوبت 12 درصد، به ترتیب 32/46، 26/52، 15/84 و 14/69 kWh t⁻¹ بدست آمد. با افزایش اندازه قطر روزنه توری‌ها، انرژی ویژه مصرفی برای آسیاب کردن کاه برنج در هر دو سطح رطوبت ترپایه 8 و 12 درصد کاهش یافت. با کاهش اندازه توری‌ها آسیاب از 2 تا 8 میلی‌متر، انرژی ویژه مصرفی برای آسیاب کردن کاه برنج با رطوبت 8 درصد، به مقدار 59 درصد کاهش یافت. در بین 4 سطح آسیاب شدگی، بیشترین و کمترین انرژی ویژه مصرفی برای توری‌های با قطر روزنه‌ی به ترتیب 2 و 8 میلی‌متر، بدست آمد. با کاهش اندازه‌ی قطر روزنه‌ی توری‌های آسیاب، مدت زمان لازم برای آسیاب کردن افزایش، و در نتیجه انرژی ویژه مصرفی افزایش می‌یابد.

شکل 5 و 6 به ترتیب، انرژی ویژه مصرفی مورد نیاز برای آسیاب کردن کاه برنج با رطوبت ترپایه 8 درصد و 12 درصد را بصورت تابعی از اندازه‌ی قطر روزنه‌ی توری نشان می‌دهد. این دو نمودار نشان می‌دهند که اندازه توری آسیاب چکشی با انرژی ویژه مصرفی رابطه عکس دارد. با کاهش اندازه توری‌ها، انرژی ویژه مصرفی در هر دو رطوبت کاهش یافت. به عبارت دیگر، ذرات ریزتر نیاز به انرژی بیشتری برای رسیدن به این ابعاد دارند. زیرا زمان آسیاب شدگی برای توری‌هایی با قطر کوچکتر، بیشتر شد. نتایج مشابه برای یونجه (سیتکی، 1986) ذرت علوفه‌ای، کاه گندم و کاه جو بدست آمده است (مانی و همکاران، 2004 الف). کمترین انرژی ویژه مصرفی به مقدار 8/12 kWh t⁻¹ برای آسیاب کردن کاه برنج در رطوبت ترپایه 8 درصد با توری با قطر روزنه 8 میلی‌متر، بدست آمد.

سطح فلزی به طول 10 سانتی متر ریخته شد و سپس شیب سطح افزایش داده شد تا کاه شروع به حرکت کند. در این حالت با استفاده از نقاله نصب شده بر روی دستگاه، زاویه اصطکاک (φ) ثبت شد. این آزمایش در سه تکرار انجام گردید. ضریب اصطکاک از (10) به دست آمد (باریه، 2001، باریه 2002، و دوتا و همکاران، 1998).

$$\mu = \tan \varphi \quad (10)$$

که رابطه فوق، μ ضریب اصطکاک (بی بعد)، و φ زاویه اصطکاک کاه برنج می‌باشد. از آنجا که، رابطه مثلثاتی تانژانت با مقدار زاویه آن تغییر می‌کند لذا، به بررسی زاویه پرداخته شد. برای این کار آزمایش فاکتوریل با طرح کاملاً تصادفی با فاکتور جنس سطح اصطکاک در سه سطح (آهن، آلومینیوم، گالوانیزه) و در 6 سطح اندازه (بزرگتر از 4/75، بین 2 و 4/75، بین 1/18 و 2، بین 0/6 و 1/18، بین 0/3 و 0/6 و کوچکتر از 0/3 میلی‌متر) با محتوای رطوبتی 8 درصد ترپایه و با 3 تکرار انجام گرفت.



شکل 4- دستگاه تعیین زاویه اصطکاک

8-2- ترکیبات شیمیایی

آزمایشات مربوط به تعیین ترکیبات شیمیایی کاه و سبوس برنج در آزمایشگاه علوم دام و طیور، پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران انجام و پروتئین، خاکستر، چربی، فیبر خام، فیبر شوینده خنثی¹ (NDF) و فیبر شوینده اسیدی² (ADF) با استفاده از منابع به دست آمد (بی‌نام 2005 الف تا 2005 ف).

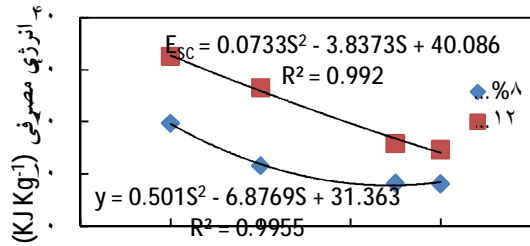
9-2- دستگاه طیف سنجی (FTIR)

برای به دست آوردن گروه‌های عاملی موجود در کاه برنج و خاکستر آن، از روش طیف سنجی³ استفاده شد. برای انجام این عمل تکه‌های برش خورده کاه با آب مقطر شستشو داده شد و درون آون با دمای 104°C به مدت 24 ساعت قرار داده شد تا کاملاً خشک شود. سپس نمونه خشک شده با برومید پتاسیم (KBr) مخلوط شده و به شکل یک پلت درآورده شد. پلت حاصل درون دستگاه اسپکتروسکوپ با دقت 4 cm⁻¹ قرار گرفت و طیف آن خوانده شد. با

¹-Neutral detergent fiber (NDF)

²- Acid detergent fiber (ADF)

³- Fourier transform infrared spectroscopy



شکل 7- انرژی ویژه مصرفی مورد نیاز برای آسیاب کردن کاه برنج در رطوبت های 8 و 12 درصد.

شکل 7- انرژی ویژه مصرفی مورد نیاز برای آسیاب کردن کاه برنج در رطوبت های 8 و 12 درصد.

3-2- خواص فیزیکی

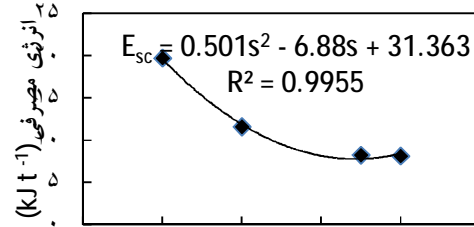
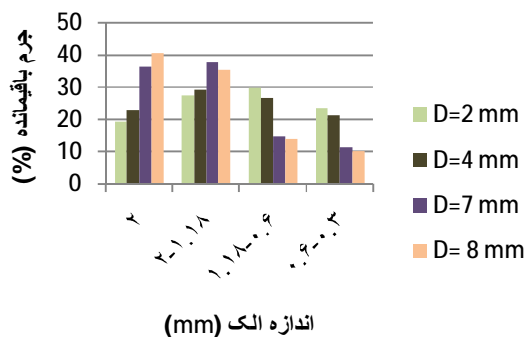
3-2-1- توزیع اندازه ذرات کاه برنج

جدول 2، مقدار میانگین جرم باقی مانده ذرات کاه برنج برای چهار توری آسیاب به اندازه قطر روزنه 2، 4، 7، 8 میلیمتر بر روی چهار الک با اندازه قطر 2، 1/18، 0/6 و 0/3 میلیمتر در سه تکرار را نشان می‌دهد.

جدول 2- پراکنش کاه برنج برای 4 اندازه‌ی قطر روزنه‌ی توری-

های آسیاب				اندازه قطر الک (mm)
0/3	0/6	1/18	2	
				اندازه ی قطر توری (mm)
23/44	29/78	27/43	19/35	2
21/3425	26/6225	29/1225	22/91	4
11/31	14/73	37/66	36/3	7
10/23	13/97	35/3	40/5	8

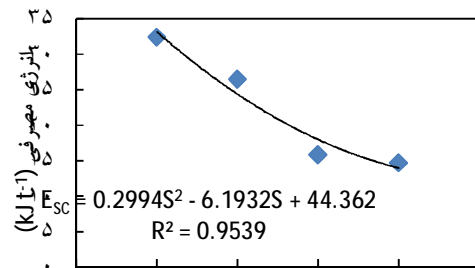
اندازه متوسط ذرات کاه برای توری‌های با اندازه قطر روزنه 2، 4، 7، 8 میلیمتر، به ترتیب 0/66، 0/76، 1/03 و 1/04 میلیمتر بدست آمد و مقدار انحراف استاندارد قطر هندسی به ترتیب 0/142، 0/141، 0/122 و 0/118 میلیمتر محاسبه شد. شکل 8 توزیع اندازه ذرات کاه برنج را نشان می‌دهد.



شکل 5- انرژی ویژه مصرفی مورد نیاز برای آسیاب کردن کاه برنج در رطوبت 8 درصد.

شکل 5- انرژی ویژه مصرفی مورد نیاز برای آسیاب کردن کاه برنج در رطوبت 8 درصد.

بیشترین و کمترین مصرف انرژی ویژه برای آسیاب کردن کاه برنج در هر دو سطح رطوبتی به ترتیب برای توری‌های به قطر روزنه 2 و 8 میلیمتر بدست آمد. برای آسیاب کردن کاه برنج در رطوبت تریپایه 12 درصد با توری با اندازه قطر روزنه 8 میلیمتر، کمترین انرژی ویژه مصرفی به مقدار $32/46 \text{ kWh t}^{-1}$ بدست آمد.



شکل 6- انرژی ویژه مصرفی مورد نیاز برای آسیاب کردن کاه برنج در رطوبت 12 درصد.

شکل 6- انرژی ویژه مصرفی مورد نیاز برای آسیاب کردن کاه برنج در رطوبت 12 درصد.

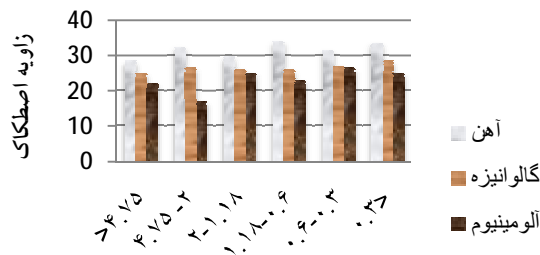
شکل 7 تاثیر رطوبت بر میزان انرژی ویژه مصرفی مورد نیاز برای آسیاب کردن کاه برنج را نشان می‌دهد. بیشترین انرژی ویژه مصرفی برای کاه برنج با رطوبت تریپایه 12 درصد و برای توری به قطر روزنه 2 میلیمتر، $32/46 \text{ kWh t}^{-1}$ بدست آمد. محتوای رطوبت با انرژی ویژه مصرفی رابطه مستقیم دارد؛ با افزایش رطوبت، انرژی ویژه مصرفی افزایش یافت. در واقع افزایش رطوبت کاه برنج، موجب افزایش مقاومت برشی شده است (انوسامی، 2000). بالک (1964) طی تحقیقی نشان داد که محتوای رطوبتی یونجه با انرژی مصرفی مورد نیاز برای آسیاب کردن آن رابطه مستقیم دارد.

خطا	سطح اصطکاک
36	22/7214774**
53	218/351667
	1138/736276
* معنی دار در سطح 5 درصد ، ** معنی دار در سطح 1 درصد	

با توجه به نتایج به دست آمده، فاکتورهای اندازه ذرات و نوع سطح اصطکاکی بر روی زاویه اصطکاک در سطح یک درصد و اثر متقابل اندازه ذرات و سطح اصطکاک در سطح پنج درصد معنی دار شد. با افزایش زاویه اصطکاک، در نتیجه با افزایش ضریب اصطکاک کاه، درگیری ذرات کاه با دیواره داخلی قالب در حین بریکت سازی افزایش یافته و بریکت های فشرده تر و چگال تری تشکیل خواهد شد.

با توجه به آزمون دانکن، هر قدر اندازه ذرات، ریزتر باشد، مقدار میانگین زاویه اصطکاکی بیشتر است. با کاهش اندازه ذرات کاه، سطح تماس با سطح بیشتر شده و در نتیجه زاویه اصطکاک افزایش می یابد.

با توجه به شکل 9 سطح اصطکاکی آهن، دارای بیشترین زاویه اصطکاک بود و این بدلیل وجود برجستگی ها و صاف نبودن سطح آهن نسبت به سایر سطوح می باشد.



اندازه ذرات (میلیمتر)

شکل 9- اثر متقابل اندازه ذرات کاه و سطوح تماس بر زاویه

اصطکاک

3-2-4- ترکیب شیمیایی

نتایج حاصل از تعیین ترکیبات شیمیایی کاه برنج و سبوس برنج در جدول 5 آورده شده است.

جدول 5- ترکیبات شیمیایی کاه برنج و سبوس آن		
ترکیبات شیمیایی (جرم خشک، درصد)	کاه برنج	سبوس برنج
نشاسته	2/1	14
پروتئین	4/3	12/43
چربی	1/3	24/2
خاکستر	18/4	11/83
سلولز	32/7	10/5
همی سلولز	28/2	9/8

شکل 8- توزیع اندازه ذرات کاه

برای توری های با اندازه قطر روزنه 2 و 4 میلیمتر، توزیع نرمال مشاهده می شود. توزیع نرمال برای فرآیند فشرده سازی مناسب است؛ چون در فرآیند فشرده سازی ذرات ریزتر، خلل و فرج ها را پر می کنند (مانی و همکاران 2003، و تایل، 1996). مانی و همکاران برای کاه گندم و کاه برنج (مانی و همکاران، 2004 الف)، آدایا و همکاران (2009) برای کاه جو، کاه کلزا، کاه جو دوسر و کاه گندم نتایج مشابه با نتایج این تحقیق را بدست آوردند. نتایج تحقیقات سایر محققان نشان می دهد که هرچه اندازه ذرات کوچکتر باشد، بریکت های محکم تری بدست می آید (جانچ و همکاران، 2001، مانی و همکاران، 2004 الف، و آدایا و همکاران، 2009).

2-2-3- تعیین چگالی کاه برنج

چگالی ظاهری کاه در شش اندازه مختلف ابعاد اندازه گیری شد که در جدول 3 آمده است.

اندازه ذرات	2 <	1/18-2	0/6-1/18	0/3-0/6	<0/3
چگالی	85/2	123/2	162/8	174/11	231/2

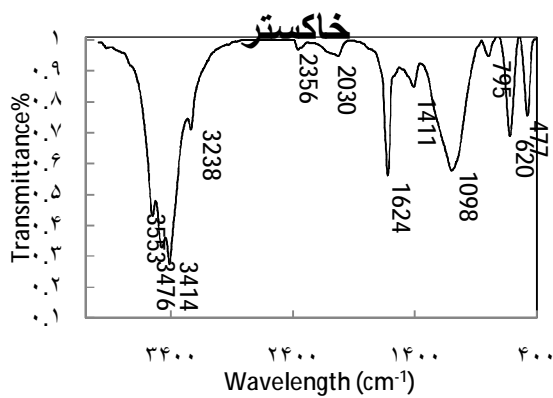
با توجه به نتایج مندرج در جدول 3، با کاهش اندازه ذرات کاه برنج، چگالی آن افزایش می یابد. کاهش اندازه ذرات موجب افزایش سطح تماس ذرات شده و در نتیجه در یک حجم مشخص مقدار بیشتری از ذرات قرار می گیرد. از آنجا که هدف از فشرده سازی افزایش چگالی است، بنابراین با کاه برنج ریزتر می توان بریکت های چگال تری را تولید کرد.

3-2-3- نتایج تعیین ضریب اصطکاک

ضریب اصطکاک بدست آمده در واقع، تانژانت نسبت ارتفاع سطح شیبدار به طول تصویر سطح شیب دار بر سطح افق در لحظه آستانه حرکت کاه برنج می باشد که توسط نقاله متصل به دستگاه برای هر اندازه کاه خوانده شد. از آنجا که تانژانت یک رابطه مثلثاتی صعودی است، لذا تغییرات زاویه اصطکاک، همان تغییرات ضریب اصطکاک خواهد بود. بنابراین در بررسی صفت اصطکاکی از زاویه اصطکاک استفاده شد. جدول 4، تحلیل آماری زاویه اصطکاک بر روی سه نوع سطح اصطکاکی متفاوت آهن، آلومینیوم، گالوانیزه را نشان می دهد.

جدول 4- تحلیل آماری داده های مربوط به زاویه اصطکاک

منابع تغییرات	درجه آزادی	مجموع مربعات	میانگین مربعات
اندازه ذرات	5	113/6073870	22/7214774**
سطح اصطکاک	2	656/8641148	328/4320574**
اندازه ذرات*	10	149/9131074	14/9913107*



شکل 10- نمودار طیف FTIR الف) کاه برنج ب) خاکستر حاصل از آن

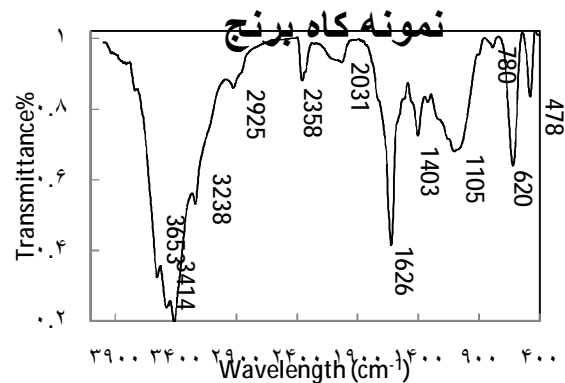
پیک‌های موجود در طول موجهای 3653 و 3414 ، 3238 cm^{-1} در نمودار الف، و در طول موجهای 3553 و 3476 ، 3414 cm^{-1} نمودار ب، بیانگر پیوند O-H در گروه هیدروکسیل موجود در ترکیبات آب، الکل، فنول ها و کربوکسیلیک اسیدها، و پیوند N-H موجود در آمین‌ها می باشند (سان و همکاران، 2005، سیزکووا و همکاران، 2011). همانگونه که از دو نمودار مشاهده می‌شود، نمودار الف دارای پیک 2925 cm^{-1} می‌باشد که مربوط به پیوند C-H گروه آلیفاتیک لیگنین و پلی ساکارید (بلسا و همکاران، 2003، ایبارا و همکاران، 1994، ایبارا و همکاران، 1996) است؛ اما در نمودار ب این پیک وجود ندارد که نشان دهنده عدم وجود این ترکیبات در خاکستر کاه برنج است. پیک‌های موجود در 2356 و 2031 cm^{-1} در نمودار ب بیانگر گروه Si-H، موجود در ناخالصی‌های سیلیکات و مواد معدنی خاک رس کمپلکس با هیومیک اسید، می‌باشد (ساتیوالی و بالاکریشن، 2009). پیک 1626 cm^{-1} در نمودار الف، و 1624 cm^{-1} در نمودار ب، بیانگر پیوند C-C در اسید کربوکسیلیک آروماتیک از لیگنین و یا همی سلولز است (بلسا و همکاران، 2003). پیک 1403 cm^{-1} در نمودار الف، و 1411 cm^{-1} در نمودار ب بیانگر پیوند C-O موجود در ترکیبات آلیفاتیک و کربناته می‌باشد (بلسا و همکاران، 2003). پیک‌های موجود در 1105 و 780 cm^{-1} در نمودار الف، و 795 cm^{-1} در نمودار ب، بیانگر گروه C-O ترکیبانه کربناته مانند گلوکز است (بلسا و همکاران، 2003). در نهایت پیک‌های 478 و 620 cm^{-1} در نمودار الف، و 620 و 477 cm^{-1} در نمودار ب، واقع در منطقه اثر انگشت (< 1000 cm^{-1}) را به گروه‌های فسفات و سولفات ناشی از اسیدهای نوکلئیک مربوط دانست (گویبیود و همکاران، 2003). از این دو نمودار می‌توان نتیجه گرفت که لیگنین موجود در کاه برنج در طی فرآیند سوختن، به صورت کامل وارد واکنش اکسیداسیون شده و اما مابقی ترکیبات موجود در کاه با درصد

لیگنین	6/3	12/2
فیبر	32	10/4

ترکیبات شیمیایی کاه برنج و سبوس آن در جدول 6 نشان داده شده اند. محتوای خاکستر بر مبنای وزن خشک برای کاه، در حدود 18 درصد بود؛ لذا بدلیل دارا بودن خاکستر و در نتیجه سیلیس بالا، ظرفیت گرمایی پایین‌تری نسبت به سایر زیست توده‌ها دارد. خاکستر کاه برنج بطور کلی شامل 75 درصد SiO_2 ، 10 درصد K_2O ، 3 درصد P_2O_5 ، 3 درصد F_2O_3 ، 1/3 درصد CaO و مقادیر کمی Mg، S و Na می باشد (فیناسی، 1987). بنابراین برای تهیه سوخت از کاه برنج می‌بایست آن را با زیست توده دیگری مخلوط کرد. مقدار ازت در سبوس 3-1 درصد است. حدود 12 درصد سبوس برنج را خاکستر تشکیل می دهد که همان جزء غیر آلی سبوس است. خاکستر شامل 95 درصد سیلیس و 5 درصد اکسیدهای کلسیم، سدیم، پتاسیم، فسفر، منگنز و آهن است. مشاهده می‌شود که لیگنین موجود در سبوس برنج بالا و در حدود 12/2 درصد و مقدار نشاسته آن در حدود 14 درصد می‌باشد. در نتیجه چسبندگی زیاد است.

3-3- نتایج حاصل از آزمایش FTIR

در این قسمت برای تعیین گروه‌های عاملی و ترکیبات تشکیل دهنده کاه برنج به تحلیل FTIR گرفته شده از نمونه کاه برنج و خاکستر حاصل از آن پرداخته می شود. در شکل 10 نمودار مربوط به این طیف آورده شده است.



¹-Fingerprint region

شدگی، کاهش یافت. برای کاه آسیاب شده با توری های با اندازه قطر توری 2 و 4 میلیمتر، توزیع نرمال مشاهده شد. با کاهش اندازه ذرات، زاویه اصطکاک و چگالی حجمی کاه برنج افزایش یافت. همچنین، در میان سطوح اصطکاکی، آهن و آلومینیوم، به ترتیب دارای بیشترین و کمترین زاویه اصطکاک بودند. با توجه به نتایج آزمون FTIR، در طی فرآیند سوختن، لیگنین، بطور کامل وارد واکنش اکسیداسیون شد.

منابع مورد استفاده

مودتی، س. 1387. **تعیین خواص فیزیکی کود کمپوست به منظور تهیه پلت**، پایان نامه‌ی کارشناسی ارشد، پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران.

Adapa, P. K., L. G. Tabil, and G. J. Schoenau. 2009. *Pelleting Compaction characteristics of barley, canola, oat and wheat straw*. Biosystems Engineering 1-10.

Annoussamy, M., G. Richard, S. Recous, and J. Guerif. 2000. *Change in mechanical properties of wheat straw due to decomposition and moisture*. Applied Engineering in Agriculture. 16(6):657-64.

Anon. 2005a. Official Method 2001.11. *Protein (crude) in animal feed, forage (plant tissue), grain and oilseeds*. In *Official Methods of Analysis of AOAC International*. 18th ed. Gaithersberg, MD. USA Association of Official Analytic Chemists.

Anon. 2005b. Official Method 967.04. *Ash of peat*. In *Official Methods of Analysis of AOAC International*. 18th ed. Gaithersberg, MD. USA Association of Official Analytic Chemists.

Anon. 2005c. Official Method 920.39. *Fat (crude) or ether extract in animal feed*. In *Official Methods of Analysis of AOAC International*. 18th ed. Gaithersberg, MD. USA Association of Official Analytic Chemists.

Anon. 2005d. Official Method 962.09. *Fiber (crude) in animal feed and pet food*. In *Official Methods of Analysis of AOAC International*. 18th ed. Gaithersberg, MD. USA Association of Official Analytic Chemists.

Anon. 2005e. Official Method 992.16. *Total dietary fiber – enzymatic gravimetric method*. In *Official Methods of Analysis of AOAC International*. 18th ed. Gaithersberg, MD. USA Association of Official Analytic Chemists.

Anon. 2005f. Official Method 973.19. *Acid detergent fiber & lignin in animal feed*. In *Official Methods of Analysis of AOAC International*. 18th ed. Gaithersberg, MD. USA Association of Official Analytic Chemists.

Anon. 2003 a. ASAE Standard S319.2.

Anon. 2003 b. ASAE Standard S319.3.

Anon. 2003 c. ASAE Standards S358.2.

Balk W. A. 1964. *Energy requirements for dehydrating and pelleting coastal Bermuda grass*. Transactions of the ASAE. 4: 349-51,355.

Baryeh, E. A. 2001a. *Physical properties of Bambara groundnuts*. Journal of Food Engineering. 47: 321-326.

Baryeh, E. A. 2002b. *Physical properties of millet*. Journal of Agricultural Engineering Research. 51: 39-46.

Bhattacharya, S.C. 1989. *State of the Art of Biomass Densification*. Division of Energy Technology. Energy Sources. N. Y. Taylor and Francis. 11(3):161-186.

Blesa, M. J., J. L. Miranda, , M. T. Izquierdo, and R. Moliner. 2003. *Study of the curing temperature effect on binders for smokeless briquettes by Fourier transform infrared spectroscopy*. Vibrational Spectroscopy. 31: 81-87.

Chou, Ch. Sh., Sh. Sh. Lin, and W. Ch. Lu. 2009. *Preparation and characterization of solid biomass fuel made from rice straw and rice bran*, Fuel Processing Technology; 90: 980-987.

Čížková, A., D. Juchelková, and , H. Raclavská. 2005. *The influence of hygienisation of sewage sludge on the process of pyrolysis*. Chem. Process Eng. 32(1): 57-68.

ناچیزی در همان محدوده FTIR مربوطه شان در خاکستر باقی می-مانند.

نتیجه گیری نهایی

انرژی مورد نیاز برای آسیاب کردن ساقه خرد شده برنج، توسط آسیاب چکشی و توزیع اندازه ذرات و چگالی حجمی کاه آسیاب شده با چهار توری، در شش سطح اندازه الک، تعیین شد. ضریب اصطکاک استاتیکی در سه سطح اصطکاکی آهن، آلومینیوم و گالوانیزه و در شش سطح اندازه ذرات تعیین شد. آزمون FTIR، برای تعیین گروه های عاملی کاه برنج و خاکستر آن صورت گرفت. با افزایش رطوبت و اندازه قطر روزنه توری های آسیاب، انرژی ویژه مورد نیاز برای آسیاب

- Dutta, S. D., V. K. Nema, and R. K. Bhardwaj. 1998. *Physical properties of gram*. Journal of Agricultural Engineering Research. 39: 259-268.
- Finassi, A., 1987. *Rice straw harvesting mechanisations chains*. In: Biomass energy: from harvesting to storage. Editors: Ferrero G.L., G. Grassi, and H. E. Williams. Elsevier Applied Science. London/ New York. 180-189.
- Guibaud, G., N. Tixier, A. Bouju, and M. Baudu. 2003. *Relation between extracellular polymers' composition and its ability to complex Cd, Cu and Pb*. Chemosphere. 52: 1701-1710.
- Hasler, Ph., T. Candinas, and Th. Nussbaumer. 1998. *Utilization of ashes from the combustion of hay, miscanthus, hemp, straw and wood as fertilizer*. The 10th European Conference on Biomass for Energy and Industry. June. 1998. Würzburg, Germany.
- Ibarra, J.V., and J. L. Miranda. 1996. *Spectrosc, Vib*. 10: 311.
- Ibarra, J. V., R. Moliner, and A. J. Bonet. 1994. *Fuel*. 73: 918.
- Jannasch, R., Y. Quan, and R. Samson. 2001. *A process and energy analysis of pelletizing switchgrass*. Reports and Newsletters. Bioenergy. A Process 2001.
- Mani, S., L. G. Tabil., and Sh. Sokhansanj. 2003. *An overview of compaction of biomass grinds*. Powder Handling and Processing. 15(3):160-8.
- Mani, S., L. G. Tabil, and Sh. Sokhansanj. 2004a. *Grinding performance and physical properties of wheat and barley straws, corn stover and switchgrass*. Biomass and Bioenergy. 37: 339-352.
- Mani, S., L. G. Tabil, and Sh. Sokhansang. 2004b. *Mechanical properties of corn stover grind*. Transactions of the ASAE. 45:1983-1990.
- Satyawali, Y., and M. Balakrishnan. 2009. *Performance enhancement with powdered activated carbon (PAC) addition in a membrane bioreactor (MBR) treating distillery effluent*. Journal of Hazardous Materials. 170: 457-465.
- Shaw, M. D., L. G. Tabil, S. Panigrahi, and P.Chang. 2006. *Evaluation of compression, relaxation, and frictional properties of peat moss, wheat straw, oat hull, and flax shive grinds*. Poster presented at Third International Conference on Biomass for Energy. September 18-20. Kiev. Ukraine.
- Sitkei, G., 1986. *Mechanics of agricultural materials*. Amsterdam. Elsevier.
- Sun, S. X., Q. Zeng, and H. Wang. 2011. *Process-mining-based workflow model fragmentation for distributed execution*. IEEE Trans. Syst. Man Cybernetics, Part A: Syst. Humans. 41: 294 -310.
- Tabil, L. G. 1996. *Pelleting and binding characteristics of alfalfa*. Ph.D thesis. Department of Agricultural and Bioresource Engineering. University of Saskatchewan. Saskatoon. Canada
- Tabil, L. G., and Sh. Sokhansanj. 1997. *Bulk properties of alfalfa grind in relation to its compaction characteristics*. Applied Engineering in Agriculture 13(4): 499-505.

Determination of Physical and Chemical Properties of Rice Straw and the Energy Required for its Grinding

Zinab Rezvani^{1*}, Akbar Arabhosseini², Gholam Reza Chegini³ and Mohammad Hossein Kianmehr⁴

¹Dept. of Agrotechnology, Faculty of Abouraihan, University of Tehran, Iran

²Dept. of Agrotechnology, Faculty of Abouraihan, University of Tehran, Iran

³Dept. of Agrotechnology, Faculty of Abouraihan, University of Tehran, Iran

⁴Dept. of Agrotechnology, Faculty of Abouraihan, University of Tehran, Iran

*Corresponding author: Email: z.rezvani@ut.ac.ir

Abstract

Limitation of fossil fuels and the growing awareness of the detrimental environmental consequences resulting from greenhouse gas emissions have reinforced the importance of biomass as an energy resource. The conversion of rice straw and rice bran into briquettes as solid fuel is an important issue. The aim of this study was to determine the physical and chemical properties of rice straw and rice bran, and also the energy required for milling rice straw by hammer mill. Particle size distribution and particle density were determined for the milled straws, produced by four sizes of hammer mill screens at six particle size levels. FTIR test was carried out for determination of rice straw factor groups and distinction relation test. The required energy for grinding decreased with increasing of moisture content of the materials and the size of hammer mill screen. Normal distribution was observed for particle sizes of rice straw, grinded at 2 and 4 mm hammer mill screen sizes. The friction angle and bulk density of rice straw decreased with increasing the rice straw particle size. For the friction surfaces, the highest and lowest friction angles belonged to iron and aluminum surfaces, respectively. Based on the results of FTIR, during the burning process, lignin was fully destroyed in the oxidation reaction.

Keyword: Energy, Hammer mill, Physical properties, Rice straw, Rice bran