بررسی پارامترهای مؤثر بر فرآیند تولید بریکت از باگاس و پوست گردو

حسین شفاعی[۱]، علی‌ماشاءاله کرمانی[۲*]، محمدحسین کیانمهر[۳]، سید رضا حسن بیگی[۳]

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک بیوسیستم، پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران (hossein.shafaie73@ut.ac.ir)
۲. استادیار، گروه فنی کشاورزی، پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران (amkermani@ut.ac.ir)
۳. استاد، گروه فنی کشاورزی، پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران (rhbeigi@ut.ac.ir; kianmehr@ut.ac.ir)

چکیده

افزایش کربن دی‌اکسید و گازهای گلخانه‌ای دیگر به علت سوزاندن سوخت‌های فسیلی، در حال حاضر مهم‌ترین نگرانی زیست‌محیطی می‌باشد که انتقال منابع انرژی از سوخت‌های فسیلی به منابع انرژی تجدید پذیر مانند سوخت‌های زیستی را در پی داشته است که در این میان استفاده از زیست‌توده، به‌عنوان منبع انرژی، مزایای اقتصادی و زیست‌محیطی قابل‌توجهی را به ارمغان می‌آورد. در مورد زیست‌توده تازه، اغلب فاصله دور بین محل اصلی زیست‌توده و محل استفاده از آن، منجر به هزینه‌های حمل‌ونقل بیشتر می‌شود. متراکم کردن مواد زیست‌توده حجیم، موجب بهبود ویژگی‌های مدیریتی مواد برای حمل‌ونقل، انبار و غیره می‌شود. با توجه به اهمیت به‌کارگیری ضایعات کشاورزی در تهیه سوخت‌های زیستی، اهداف این مطالعه شامل بررسی اثر پارامترهای مختلف بریکت سازی ازجمله دما و رطوبت و اندازه ذرات بر کیفیت بریکت‌های تولیدی و بررسی ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی بریکت‌های تولیدی می‌باشد. در این تحقیق به‌منظور بررسی تهیه بریکت‌های سوختی، طراحی آزمایش‌ها به روش سطح پاسخ (RSM) در نرم‌افزار Design Expert نسخه ۱۱ انجام شد. در این روش اثر فاکتورهای درصد نسبی ترکیب مواد (۵، ۱۵ و ۲۵ درصد)، دما (۲۸۰، ۳۲۰ و ۳۶۰ درجه سلسیوس)، رطوبت (۷، ۱۳ و ۱۹ درصد) و اندازه ذرات (۱/۱۸، ۲/۳۶-۱/۱۸ و ۴/۷۵-۲/۳۶ میلی‌متر) همگی در سه سطح طرح‌ریزی شد. نتایج به‌دست‌آمده نشان می‌دهد که متغیرهای اندازه ذرات، دما و رطوبت تأثیر معنی‌داری بر روی چگالی در سطح ۱ درصد دارند. با تحلیل داده‌ها مشخص شد که با کاهش مقدار رطوبت، چگالی افزایش پیدا می‌کند. پس از رطوبت، دما تأثیر بیشتری بر چگالی بریکت‌ها دارد و با افزایش آن، چگالی بریکت‌ها افزایش می‌یابد. همچنین از داده‌ها می‌توان نتیجه گرفت که با کاهش اندازه ذرات، چگالی افزایش می‌یابد. با توجه به متغیرهای آزمایش، دما و رطوبت روی پاسخ چقرمگی در سطح یک درصد معنی‌دار می‌باشد و با افزایش دما، چقرمگی افزایش می‌یابد. تأثیر رطوبت بر چقرمگی به‌صورت عکس می‌باشد و با کاهش مقدار رطوبت، چقرمگی افزایش پیدا می‌کند.

کلمات کلیدی:

بریکت، باگاس، پوست گردو، فشرده‌سازی، روش سطح پاسخ

* نویسنده مسئول

بررسی پارامترهای مؤثر بر فرآیند تولید بریکت از باگاس و پوست گردو

مقدمه

با توجه به کاهش سریع و هزینه نسبتاً زیاد سوخت‌های فسیلی غیرقابل‌تجدید پذیر و همچنین تهدیدات جدی زیست‌محیطی، تلاش‌های بیشتر برای یافتن منابع انرژی تجدید پذیر و ارزان‌قیمت جایگزین با اثرات زیست‌محیطی کمتر یا بدون آن به‌طور چشمگیری افزایش‌یافته است [۱۱]. از میان منابع انرژی جایگزین سوخت‌های فسیلی، زیست‌توده به یک منبع انرژی تجدید پذیر مهم تبدیل‌شده است زیرا دارای ویژگی‌هایی مانند هزینه تولید پایین، گازهای گلخانه‌ای کم و انتشار گازهای اسیدی پایین می‌باشد. زیست‌توده لیگنوسلولزی از بقایای کشاورزی، زائدات جنگلی، و محصولات انرژی به‌عنوان مهم‌ترین منابع تجدید پذیر برای تولید محصولات قابل اشتعال محسوب می‌شوند [۵]. این مواد شامل سه جزء اولیه است: سلولز، همی سلولوز و لیگنین. سلولز و همی سلولز هر دو پلیمرهای کربوهیدرات هستند و به‌طورکلی شامل ۶۰ تا ۸۰ درصد از ترکیب زیست‌توده می‌شوند. لیگنین یک پلیمر بسیار متخلخل است که از واحدهای مونومر ال-پراکسید هیدروکسی سینامیل الکل تشکیل‌شده است [۷]. مطابق اطلاعات به‌دست‌آمده از فائو، ایران رتبه سوم را ازنظر تولید گردو دارد. بررسی‌ها نشان می‌دهد که به‌طور متوسط حدود ۶۶ درصد از گردوی تولیدشده، شامل پسماندهای پوست سبز و چوبی می‌باشد [۱]. با توجه به میزان بالای تولید پوست چوبی گردو، می‌توان از آن در تولید محصولات مختلف مانند بریکت‌های سوختی استفاده کرد. از دیگر منابع زیست‌توده، باگاس نیشکر می‌باشد. باگاس بقایای خشک به‌دست‌آمده از ساقه نیشکر پس از خرد کردن و استخراج عصاره نیشکر از آن می‌باشد. این ماده می‌تواند به‌عنوان سوخت مورداستفاده قرار گیرد [۳]. با توجه به فراوانی باگاس و کاربرد آن در تولید انرژی، می‌توان از آن در تولید بریکت سوختی استفاده کرد. در مورد زیست‌توده تازه، اغلب فاصله دوربین محل اصلی زیست‌توده و محل استفاده از آن، منجر به هزینه‌های حمل‌ونقل بیشتر می‌شود [۸]. متراکم کردن مواد زیست‌توده حجیم، موجب بهبود ویژگی‌های مدیریتی مواد برای حمل‌ونقل، انبار و غیره می‌شود [۲]. بریکت‌ها از معروف‌ترین محصولات متراکم شده برای اهداف سوختی می‌باشد. چگالی انرژی بالا و سهولت در مدیریت و حمل‌ونقل، بریکت‌های زیست‌توده را تبدیل به یک سوخت برتر در مقایسه با مواد خام‌شان، کرده است. تاکنون مطالعات زیادی درزمینه تولید بریکت‌های سوختی از زائدات کشاورزی صورت گرفته است که بخشی از آن‌ها مرتبط با مواد اولیه مورداستفاده، بخشی از آن‌ها در مورد بایندر و بخشی دیگر درزمینهٔ پیش فرآوری مواد اولیه می‌باشد. در این قسمت به بررسی کارهای انجام‌شده درزمینهٔ بریکت کردن مواد زیست‌توده پرداخته می‌شود که بعضی از آن‌ها همراه با پیش‌تیمار و بعضی از آن‌ها بدون پیش‌تیمار می‌باشد.

چو و همکاران در تحقیقی شرایط بهینه برای تهیه بریکت کاه برنج از طریق روش قالب- پیستونی با استفاده از روش تاگوچی را موردبررسی قراردادند. آنان در این تحقیق عوامل متعددی شامل سه نوع ماده اتصال‌دهنده (بایندر) شامل سبوس برنج، بقایای سویا و خاک اره آکاسیا، دمای فشار داغ در سه سطح ۱۱۰، ۱۳۰ و ۱۵۰ درجه سلسیوس، اندازه ذرات کاه برنج خردشده در سه سطح 10-5mm، mm 5-2 و کوچک‌تر از ۲ mm ، و نسبت درصد کاه برنج به بایندر در سه سطح $\frac{100}{0}$، $\frac{80}{20}$ و $\frac{60}{40}$ موردمطالعه قراردادند. نتایج نشان داد که اندازه ذرات کاه برنج تأثیرگذارترین عامل برای استحکام بریکت سوختی است. در این تحقیق شرایط مطلوب به‌دست‌آمده برای فشرده‌سازی بریکت کاه برنج شامل استفاده از اتصال‌دهنده سبوس برنج، دمای پرس داغ ۱۵۰ درجه سلسیوس، اندازه کاه خردشده کمتر از ۲ میلی‌متر و نسبت درصد کاه برنج به اتصال‌دهنده ۸۰ به ۲۰ می‌باشد[۶].

وو و همکاران بر روی تولید بریکت زغال با استفاده از پیش‌تیمار هیدروترمال زیست‌توده تحقیق کردند. آنان نمونه‌های زیست‌توده تهیه‌شده از زائدات ساقه پنبه و خاک اره در اندازه‌های ۱-۰/۵ میلی‌متر را به دو روش حرارتی مختلف شامل برشته سازی خشک و عملیات هیدروترمال به ترتیب در ۲۰۰، ۲۳۰، ۲۶۰ درجه سلسیوس پیش تیمار کردند. سپس نمونه‌ها را با نیروی فشاری ۸۰ مگاپاسکال توسط

سیلندر- پیستون دارای المنت حرارتی نواری با دمای ۷۵ درجه سلسیوس بدون هیچ‌گونه بایندر برای تهیه بریکت متراکم کردند. نمونه‌های بریکت سوختی در دمای ۴۰۰ درجه سلسیوس کربنیزه شدند تا بریکت زغال چوب تولید شود. نتایج نشان می‌دهد که خواص فیزیکی شامل تراکم توده و مقاومت فشاری بریکت‌های زغال چوب هیدروترمال‌شده، بهتر از برشته‌شده و بریکت‌های زغال چوب پیش‌پردازش نشده هستند، حتی در مقایسه با زغال کبابی تجاری با افزودن بایندر هم بهتر هستند. آن‌ها دریافتند که بریکت‌های زغال هیدروترمال‌شده، محصول خاکستر کمتری نسبت به زغال کبابی تجاری دارند. در این تحقیق، پیش‌پردازش هیدروترمال ساقه برنج و خاک اره در ۲۳۰ درجه سلسیوس بهترین مواد برای فرآیند تولید بریکت زغال چوب بودند [۱۰].

آندریا برند و همکاران در تحقیقی به بررسی کیفیت بریکت‌های تولیدشده با نسبت‌های مختلف پوسته برنج، کاه برنج و خاکستر پوسته برنج پرداختند. در این تحقیق بریکت‌ها در یک آزمایشگاه با دستگاه بریکت هیدرولیک، در دمای ۱۲۰ درجه سلسیوس و فشار ۹۵ بار ساخته شد. بریکتی که بهترین خواص فیزیکی را نشان داد، شامل ۳۰٪ پوسته برنج، ۶۰٪ کاه برنج و ۱۰٪ خاکستر پوسته برنج بود. آن‌ها دریافتند که واردکردن کاه برنج در مخلوط‌ها، تراکم توده را افزایش می‌دهد و افزودن خاکستر باعث افزایش مقاومت فشاری بریکت‌ها می‌شود. در این تحقیق اندازه ذرات اثر بیشتری نسبت به تراکم اولیه ضایعات در خواص فیزیکی بریکت‌ها داشت. بریکت با بهترین کیفیت انرژی، بریکت کاه برنج همگن و سپس مخلوطی با نسبت بالاتری از کاه برنج بود [۴].

پودار و همکاران تأثیر فشار پلت‌سازی را بر چگالی و ارزش حرارتی پلت‌ها بررسی کردند. آن‌ها از هشت گونه خاک اره و فشارهای مختلف در تحقیقشان استفاده کردند. برای تعیین تراکم پلت، اندازه و وزن نمونه‌های فشرده‌شده اندازه‌گیری شد و برای تعیین ارزش گرمایی آن، از کالری سنج بمب اکسیژن استفاده شد. نتایج تحقیق نشان داد که با افزایش فشار پلت‌سازی در ابتدا میزان تراکم به‌طور قابل‌توجهی افزایش پیدا می‌کند و سپس افزایش تراکم تدریجی خواهد بود. نتایج نشان می‌دهد که بالاترین چگالی (۹۲۲/۳۸ کیلوگرم بر مکعب) در فشار 20 kN به دست می‌آید. در مورد ارزش حرارتی، با افزایش فشار پلت‌سازی هیچ‌گونه روند مشخصی بین گونه‌های زیست‌توده فشرده‌شده مشاهده نشد [۸].

مواد و روش‌ها

تهیه و آماده‌سازی مواد

در این تحقیق مواد اولیه‌ی مورداستفاده جهت تولید بریکت شامل باگاس و پوست گردو می‌باشند که باگاس موردنظر برای نگهداری مطلوب و تهیه مواد با رطوبت موردنظر جهت استفاده در فرایند بریکت‌کردن خشک شدند. پس از خشک‌کردن باگاس، برای خرد کردن باگاس و پوست گردو از آسیاب چکشی استفاده شد. در فرایند تولید بریکت اندازه ذرات، پراکنش و شکل ذرات باگاس نقش مهمی دارد. بنابراین در تولید بریکت می‌بایست اندازه باگاس مشخص باشد، تا بهترین ابعاد ذرات باگاس در تولید نهایی بریکت انتخاب شود. در این تحقیق پس از خرد کردن مواد اولیه و رسیدن به‌اندازه مطلوب، به‌منظور توزیع اندازه باگاس خردشده از سه الک با اندازه مش‌های ۴، ۸ و ۱۶ استفاده شدند. پس از طراحی آزمایش‌ها برای تهیه مواد با رطوبت‌های موردنظر، ابتدا رطوبت اولیه مواد با آون اندازه‌گیری شد. پس از به دست آوردن رطوبت مواد، با استفاده از رابطه ۱ رطوبت به مقادیر موردنظر رسانده شد.

$$m_w = \frac{m_i(M_{wf} - M_{wi})}{1 - M_{wf}} \quad (1)$$

که در این رابطه:

m_w= جرم آب اضافه‌شده (gr)

m_i= جرم اولیه باگاس (gr)

M_{wi}= رطوبت اولیه باگاس بر مبنای تر (٪)

M_{wf}= رطوبت نهایی بر مبنای تر (٪)

با به دست آوردن مقدار آب موردنیاز با استفاده از فرمول (۱)، آب را به باگاس اضافه نموده و در کیسه‌های پلاستیکی در یخچال در دمای ۴ درجه سلسیوس برای ۷۲ ساعت نگهداری شد تا رطوبت در سطح باگاس به‌خوبی پخش شود.

طراحی آزمایش‌ها با استفاده از نرم‌افزار Design Expert

در این تحقیق اثر فاکتورهای اندازه ذرات باگاس، نسبت ترکیب پوست گردو به باگاس، رطوبت مواد و دمای فرآیند بر کیفیت بریکت موردبررسی قرار می‌گیرد. به‌منظور بررسی تهیه بریکت‌های سوختی، طراحی آزمایش‌ها به روش سطح پاسخ (RSM) با روش طرح مرکب مرکزی CCD در نرم‌افزار Design Expert نسخه ۱۱ انجام شد. در این روش اثر فاکتورهای درصد نسبی ترکیب مواد در سه سطح (۵، ۱۵ و ۲۵ درصد)، اندازه ذرات در سه سطح (۱/۱۸، ۲/۳۶-۱/۱۸ و ۴/۷۵-۲/۳۶ میلی‌متر)، دما در سه سطح (۲۸۰، ۳۲۰ و ۳۶۰ درجه سلسیوس) و رطوبت در سه سطح (۷، ۱۳ و ۱۹ درصد) طرح‌ریزی شد.

تهیه بریکت با استفاده از دستگاه پرس

به‌منظور تهیه بریکت‌های سوختی با شرایط موردنظر، از دستگاه پرس هیدرولیکی (شکل ۱) استفاده شد. این دستگاه پرس از یک فک ثابت (محل قرارگیری قالب) و یک فک متحرک (سیلندر هیدرولیک) تشکیل‌شده است، که توسط جک هیدرولیکی فشار موردنظر را به نمونه وارد می‌نماید. نحوه عملکرد دستگاه بدین‌صورت است که یک پمپ هیدرولیک مستقر در پکیج هیدرولیک، سرعت و فشار لازم را برای به حرکت درآوردن سیلندر هیدرولیک تأمین می‌کند.

پرس هیدرولیکی مورداستفاده برای تولید بریکت

در این تحقیق قطر داخلی قالب مورداستفاده ۳۰ میلی‌متر می‌باشد. برای انجام آزمایش‌ها، تیمارهای مختلف دارای سطوح رطوبتی ۷، ۱۳ و ۱۹ درصد می‌باشند. پس‌ازآنکه تیمارها با رطوبت موردنظر آماده شدند پوست گردوی خردشده به میزان ۵، ۱۵ و ۲۵ درصد به باگاس اضافه شد. وسایل موردنظر برای انجام آزمایش‌های بریکت کردن شامل یک سیلندر و پیستون (شکل ۲) به‌عنوان قالب، یک کمربند حرارتی با توان ۱۰۰۰ وات که دور سیلندر قرارگرفته و عمل گرمایش سیلندر را بر عهده داشت، یک ترموستات (شکل ۳) و یک پرس هیدرولیکی بود. نحوه آزمایش بدین ترتیب بود که سیلندر موردنظر به دماهای مورد آزمایش ۲۸۰، ۳۲۰ و ۳۶۰ درجه سلسیوس تنظیم شد. پس از رسیدن به دماهای موردنظر بلافاصله حدود ۱۲ گرم از مخلوط باگاس و پوست گردو به درون سیلندر اضافه شد و پرس هیدرولیکی به مدت ۴۵ ثانیه سیلندر و پیستون را تحت‌فشار قرارداد پس‌ازآن بریکت‌های تولیدشده از درون سیلندر خارج شد. در این تحقیق فشرده-سازی باگاس در سطح فشاری ۵۰ بار انجام شد.

شکل ۲ سیلندر و پیستون به همراه کمربند حرارتی

شکل ۳ ترموستات برای کنترل دما.

چگالی بریکت‌ها

اساساً تولید بریکت بر اساس تغییر حجم باگاس یا افزایش وزن حجمی آن می‌باشد. برای اندازه‌گیری چگالی بریکت‌ها ابتدا طول (L) و قطر (d) بریکت‌ها با استفاده از یک کولیس اندازه‌گیری شد و وزن آن‌ها با استفاده از یک ترازوی دیجیتال با دقت ۰/۰۱ گرم محاسبه شد. سپس چگالی بریکت‌ها با استفاده از روابط ۲ و ۳ به دست آمد.

$$V = \frac{\pi}{4} \ d^2L \quad (۲)$$

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (۳)$$

که در این روابط، V حجم بریکت در حالت فشردگی برحسب مترمکعب (m^3)، d قطر داخلی قالب برحسب متر (m)، L طول بریکت در حالت فشردگی برحسب متر (m)، m وزن بریکت برحسب کیلوگرم (Kg) و ρ حجم مخصوص واقعی بریکت برحسب کیلوگرم بر مترمکعب (Kg/m^3) می‌باشند.

مقاومت فشاری بریکت‌ها

مقاومت فشاری، بیشینه نیروی اعمالی به بریکت یا پلت قبل از خرد شدن یا شکستن آن‌ها می‌باشد. مقاومت فشاری برای محصولات فشرده‌شده (بریکت، پلت و ...) با استفاده از آزمون متراکم سازی قطری صورت گرفت. برای اندازه‌گیری مقاومت به شکست بریکت از دستگاه آزمایش مواد بیولوژیکی (B.M.T) شکل ۴ استفاده شد. این دستگاه قابلیت بارگذاری فشاری و کششی بر روی محصولات کشاورزی را دارد و با استفاده از آن می‌توان منحنی نیروجابجائی محصولات کشاورزی را تحت بارگذاری شبه استاتیک مشخص کرد و خواص مکانیکی همچون سختی، مدول الاستیک، تغییر شکل، نیروی شکست، انرژی شکست و ... را به دست آورد. نحوه انجام آزمایش به شرح ذیل است: بریکت روی سینی زیر نیروسنج گذاشته می‌شود. سپس نیروسنج که به فک متحرک وصل است با سرعت ۲۵ میلی‌متر بر دقیقه به سمت پایین حرکت کرده و بریکت را می‌فشرد. نیرویی که توسط نیروسنج برای شکستن بریکت لازم است، ثبت می‌شود. در این آزمایش حداکثر نیروی لازم برای شکستن (گسستن) بریکت‌ها به‌عنوان مبنای سفتی (استحکام) بریکت‌ها در نظر گرفته شد.

شکل ٤ دستگاه تست مواد بیولوژیکی

نتایج و بحث

نتایج آزمون‌های تعیین چگالی و مقاومت فشاری برای تعیین کیفیت بریکت‌ها به شرح زیر می‌باشد.

بررسی چگالی بریکت‌های تولیدشده

نتایج حاصل از تجزیه واریانس جهت بررسی اثر نسبت ترکیب، دما، رطوبت و اندازه ذرات بر چگالی در جدول ۱ نشان داده‌شده است. نتایج نشان‌دهنده این است که معادله درجه اول رفتار سیستم را پیش‌بینی می‌کند. رابطه ۴ ارتباط بین چگالی و متغیرها را نشان می‌دهد.

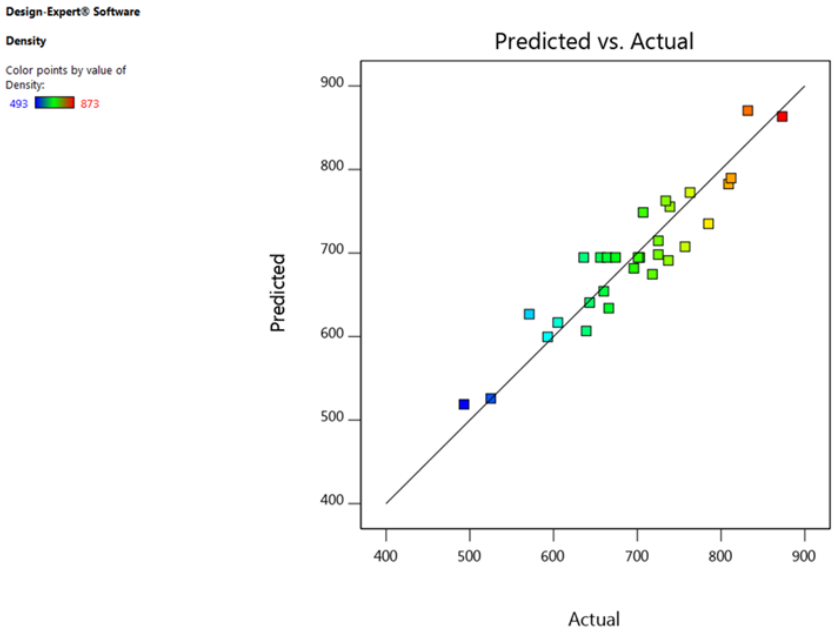
$$\text{Density} = 486.70926 + 0.355556*(\text{Composition Ratio}) - 20.19444*(\text{Particle Size}) + 1.35*(\text{Temperature}) - 12.98148*(\text{Moisture Content}) \quad (٤)$$

نتایج حاصل از تحلیل واریانس در جدول ۱ نشان می‌دهد که سه عامل دما، رطوبت و اندازه ذرات در سطح یک درصد تأثیر معنی‌داری بر روی چگالی دارد.

جدول ۱ نتایج تجزیه واریانس برای چگالی بریکت

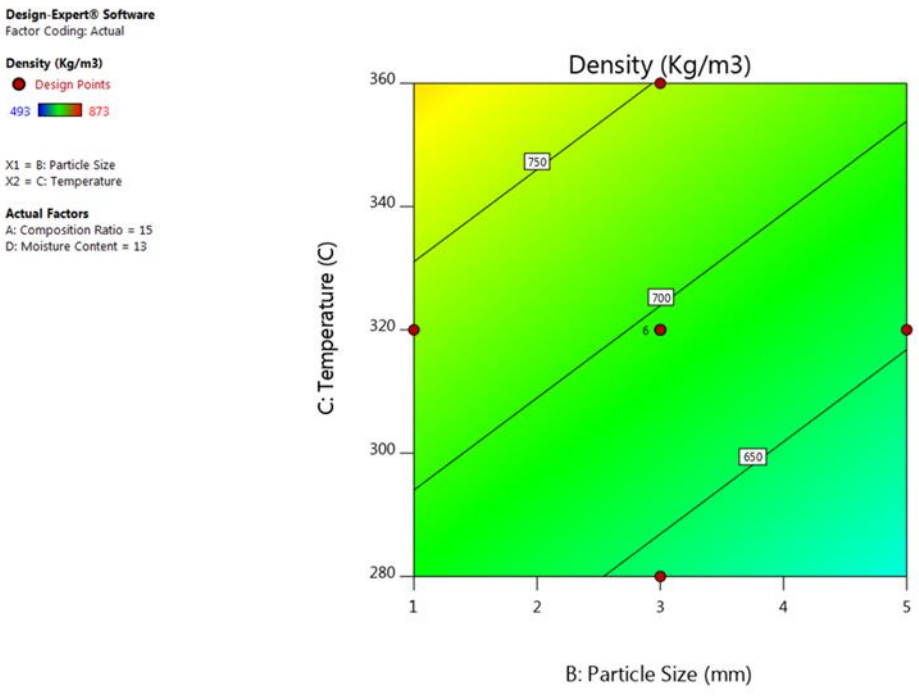
منبع	مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	مقدار F	مقدار P	
مدل	۱/۹۱۳E+۰۵	۴	۴۷۸۱۹/۶۳	۴۲/۵۲	۰/۰۰۰۱	significant
نسبت ترکیب (A)	۲۲۷/۵۶	۱	۲۲۷/۵۶	۰/۲۰۲۴	۰/۶۵۶۷	
اندازه ذرات (B)	۲۹۳۶۲/۷۲	۱	۲۹۳۶۲/۷۲	۲۶/۱۱	۰/۰۰۰۱	
دما (C)	۵۲۴۸۸/۰۰	۱	۵۲۴۸۸/۰۰	۴۶/۶۷	۰/۰۰۰۱	
درصد رطوبت (D)	۱/۰۹۲ E+۰۵	۱	۱/۰۹۲ E+۰۵	۹۷/۱۱	۰/۰۰۰۱	
باقی‌مانده	۲۸۱۱۳/۸۰	۲۵	۱۱۲۴/۵۵			
Lack of Fit	۲۴۶۹۲/۴۷	۲۰	۱۲۳۴/۶۲	۱/۸۰	۰/۲۶۶۵	not significant
خطای خالص	۳۴۲۱/۳۳	۵	۶۸۴/۲۷			
جمع کل	۲/۱۹۴ E+۰۵	۲۹				
ضریب تعیین R^2	۰/۸۷۱۹					
ضریب تغییرات	۴/۸۳					

شکل ۴ مقادیر حقیقی چگالی را در مقابل داده‌هایی که روش سطح پاسخ پیش‌بینی کرده است را نشان می‌دهد که در شکل ۴ مدل ارائه‌شده با ضریب تبیین ۸۷٪ به داده‌های به‌دست‌آمده نزدیک می‌باشد.



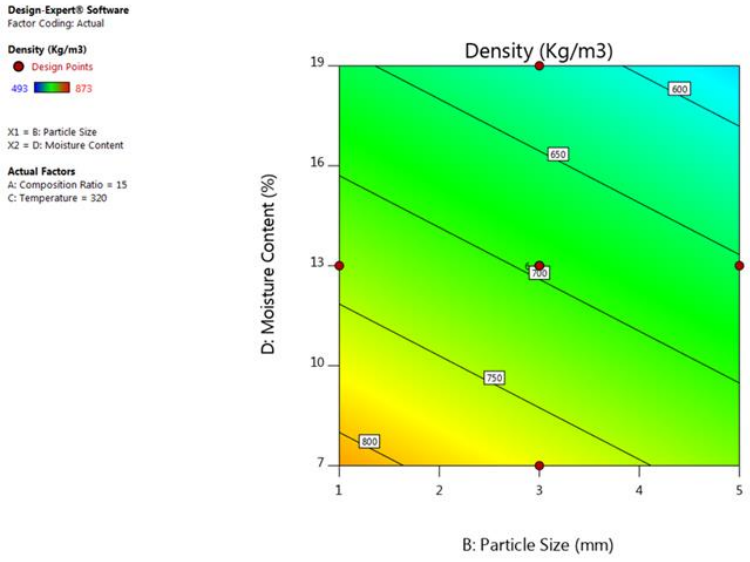
شکل ٤ مقادیر پیش‌بینی‌شده در مقابل مقادیر واقعی

شکل ۵ نشان می‌دهد با کاهش اندازه ذرات و افزایش دما، چگالی افزایش می‌یابد. می‌توان چنین بیان کرد که با کاهش اندازه ذرات، سطح تماس ذرات افزایش‌یافته و موجب افزایش چگالی می‌شود [8] و همچنین ذرات ریزتر، خلل و فرج‌ها را پرکرده و بنابراین چگالی افزایش می‌یابد. بنابراین چگالی با اندازه ذرات رابطه عکس دارد. همچنین از شکل می‌توان نتیجه گرفت که دما با چگالی رابطه مستقیم دارد. افزایش دما موجب جریان یافتن لیگنین موجود در دیواره سلولی و درنتیجه موجب چسبندگی ذرات به هم می‌شود. اسمیت و همکاران دریافتند که در فشار مشخص، افزایش دما موجب افزایش فشردگی و دوام بریکت‌ها می‌شود [9].



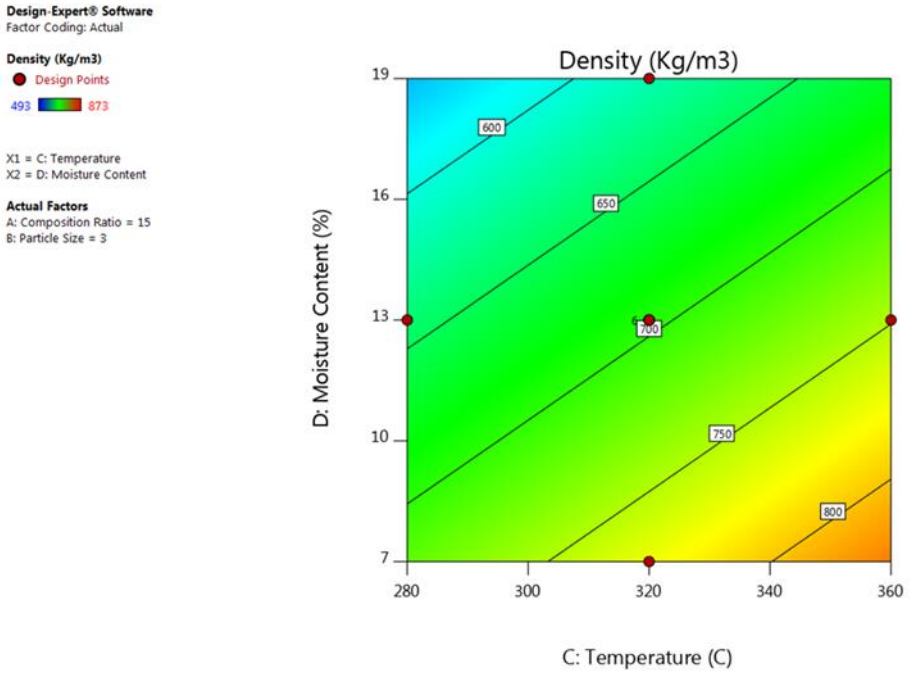
شکل ۵ اثر متقابل اندازه ذرات و دما بر چگالی

شکل ۶ اثر اندازه ذرات و رطوبت را بر چگالی نشان می‌دهد. همان‌طور که از شکل پیداست با کاهش اندازه ذرات و رطوبت، چگالی بریکت افزایش پیدا می‌کند. می‌توان چنین نتیجه گرفت که رطوبت بالا باعث انبساط حجم بریکت پس از خارج‌سازی از قالب، به علت تبخیر رطوبت در دمای بالا می‌شود و درنتیجه چگالی را کاهش می‌دهد. رطوبت می‌تواند به‌عنوان یک اتصال‌دهنده باشد که اتصال بین ذرات را در محدوده مناسب تقویت می‌کند. اما وقتی‌که بالاتر از محدوده باشد، پس از خشک شدن به علت تبخیر رطوبت، شکاف در بریکت‌ها اتفاق می‌افتد که سبب می‌شود بریکت‌ها به‌آسانی شکسته شوند. بنابراین محتوای رطوبت زیست‌توده، بر روی تراکم بریکت اثر پیچیده‌ای دارد.



شکل ٦ اثر اندازه ذرات و رطوبت بر چگالی

شکل ۷ اثر دما و رطوبت را بر چگالی نشان می‌دهد. همان‌طور که شکل نشان می‌دهد با افزایش دما و کاهش رطوبت، چگالی بریکت‌ها افزایش می‌یابد. درواقع می‌توان نتیجه گرفت که افزایش دما موجب جریان یافتن لیگنین موجود در دیواره سلولی و درنتیجه موجب چسبندگی ذرات به هم می‌شود و چگالی افزایش می‌یابد.



شکل ۷ اثر دما و رطوبت بر چگالی

در این بخش به بررسی خواص مکانیکی (چقرمگی) بریکت‌ها می‌پردازیم. نتایج حاصل از تجزیه واریانس جهت بررسی اثر نسبت ترکیب، دما، رطوبت و اندازه ذرات بر چقرمگی در جدول ۲ نشان داده‌شده است. نتایج نشان‌دهنده این است که مدل اثر متقابل فاکتورها رفتار سیستم را پیش‌بینی می‌کند. رابطه ۵ ارتباط بین چقرمگی و متغیرها را نشان می‌دهد.

$$\sqrt{\text{Toughness}} = -27.92528 + 0.014700*(CR) + 0.581284*(PS) + 0.128465*(T) + 1.38954*(MC) + 0.046376*(CR*PS) - 0.000985*(CR*T) + 0.010324*(CR*MC) - 0.000751*(PS*T) - 0.058789*(PS*MC) - 0.004934*(T*MC) \quad (۵)$$

که در آن: CR= نسبت ترکیب، PS= اندازه ذرات، T= دما (درجه سلسیوس) و MC= درصد رطوبت است.

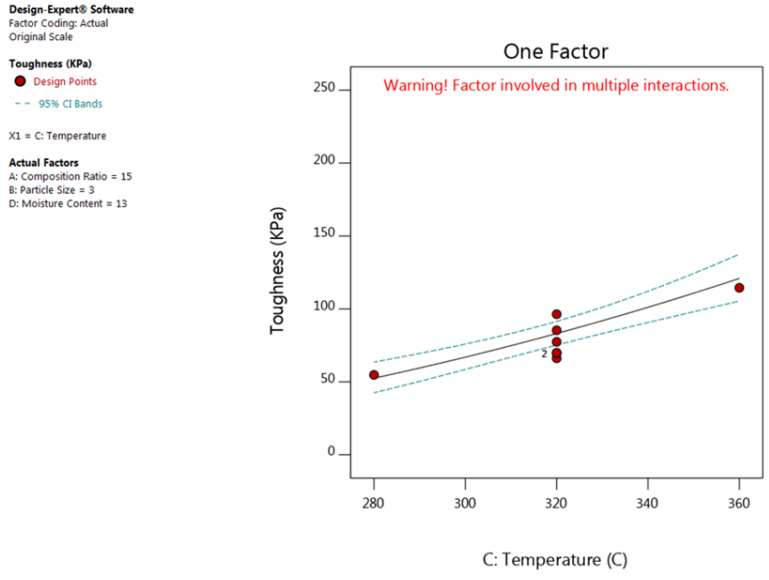
جدول ۲ نتایج آنالیز واریانس برای چقرمگی

منبع	مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	ارزش F	ارزش P	
مدل	۱۵۲/۷۵	۱۰	۱۵/۲۸	۱۰/۹۷	۰/۰۰۰۱	significant
نسبت ترکیب (A)	۱/۳۴	۱	۱/۳۴	۰/۹۶۱۵	۰/۳۳۹۱	
اندازه ذرات (B)	۵/۳۴	۱	۵/۳۴	۳/۸۳	۰/۰۶۵۱	
دما (C)	۶۴/۳۹	۱	۶۴/۳۹	۴۶/۲۲	۰/۰۰۰۱	
رطوبت (D)	۲۸/۸۳	۱	۲۸/۸۳	۲۰/۷۰	۰/۰۰۰۲	
AB	۱۳/۷۶	۱	۱۳/۷۶	۹/۸۸	۰/۰۰۵۴	
AC	۲/۴۹	۱	۲/۴۹	۱/۷۸	۰/۱۹۷۴	
AD	۶/۱۴	۱	۶/۱۴	۴/۴۱	۰/۰۴۹۴	

BC	۰/۰۵۷۸	۱	۰/۰۵۷۸	۰/۰۴۱۵	۰/۸۴۰۸	
BD	۷/۹۶	۱	۷/۹۶	۵/۷۲	۰/۰۲۷۳	
CD	۲۲/۴۴	۱	۲۲/۴۴	۱۶/۱۱	۰/۰۰۰۷	
باقی‌مانده	۲۶/۴۷	۱۹	۱/۳۹			
Lack of Fit	۲۴/۴۱	۱۴	۱/۷۴	۴/۲۳	۰/۰۶۰۱	not significant
خطای خالص	۲/۰۶	۵	۰/۴۱۲۰			
جمع کل	۱۷۹/۲۲	۲۹				
ضریب تعیین	۰/۸۵۲۳					
ضریب تغییرات	۱۳/۰۵					

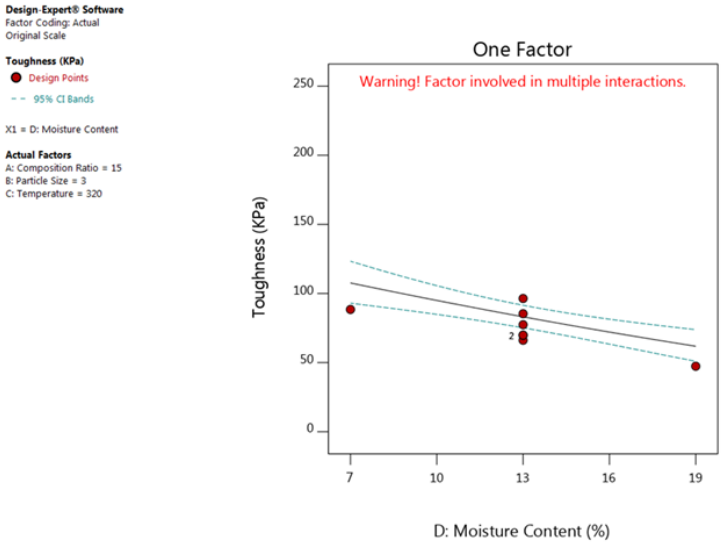
نتایج حاصل از تحلیل واریانس در جدول ۲ نشان می‌دهد که دو عامل دما و رطوبت در سطح یک درصد تأثیر معنی‌داری بر روی چقرمگی دارد.

شکل ۸ اثر دما را بر چقرمگی نشان می‌دهد. همان‌طور که شکل نشان می‌دهد با افزایش دما، چقرمگی افزایش پیدا می‌کند. همان‌طور که ذکر شد می‌توان چنین بیان کرد که با افزایش دما، لیگنین جریان یافته و موجب استحکام بیشتر بریکت می‌شود که موجب می‌شود چقرمگی افزایش پیدا کند.



شکل ۸ اثر دما بر چقرمگی

شکل ۹ اثر رطوبت را بر چقرمگی نشان می‌دهد. از شکل می‌توان نتیجه گرفت که با کاهش مقدار رطوبت، چقرمگی افزایش پیدا می‌کند که دلیل آن را می‌توان افزایش استحکام و چگالی دانست زیرا با افزایش چگالی مواد فشرده‌تر می‌شود که نشان‌دهنده اتصال خوب ذرات به هم می‌باشد.



شکل۹ اثر رطوبت بر چقرمگی

نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از تحلیل پارامترها بر بریکت نشان می‌دهد که با افزایش دما و کاهش اندازه ذرات و رطوبت چگالی بریکت افزایش می‌یابد. بیشترین مقدار چگالی برای بریکت با نسبت ترکیب پوست گردو به باگاس ۵ درصد، اندازه ذرات کمتر از ۱/۱۸ میلی‌متر، دمای ۳۶۰ درجه سلسیوس و مقدار رطوبت ۷ درصد به دست آمد که مقدار آن برابر با ۸۷۳ کیلوگرم بر مترمکعب می‌باشد. همچنین متغیرهای دما و رطوبت بر روی چقرمگی تأثیر دارند و با افزایش دما و کاهش رطوبت چقرمگی افزایش پیدا کرد. بیشترین مقدار چقرمگی برای بریکت با نسبت ترکیب پوست گردو به باگاس ۵ درصد، اندازه ذرات کمتر از ۱/۱۸ میلی‌متر، دمای ۳۶۰ درجه سلسیوس و مقدار رطوبت ۷ درصد به دست آمد که مقدار آن برابر با ۲۳۳ کیلوپاسکال می‌باشد.

منابع

۱- بنائیان، نرگس. ۱۳۸۹. برآورد انرژی ضایعات گردو و راهکارهای بازیافت آن. همایش ملی مدیریت پسماندها و پساب‌های کشاورزی، ۸-۷ دی ۱۳۸۹، تهران.

۲- رضوانی، ز.، عرب حسینی، ا. چگینی، غ. ر.، و کیانمهر م. ح. ۱۳۹۱. بررسی تأثیر پارامترهای بریکت‌سازی از کاه برنج بر کیفیت بریکت‌ها. هفتمین کنگره ملی مهندسی ماشین‌های کشاورزی و مکانیزاسیون، ۱۶-۱۴ شهریور ۱۳۹۱، دانشگاه شیراز، شیراز.

۳- گلستان، محمدباقر. ۱۳۸۳. باگاس (تفاله نیشکر) سرمایه ملی که دود می‌شود، پنجمین همایش ملی دوسالانه انجمن متخصصان محیط‌زیست ایران، تهران، انجمن متخصصان محیط‌زیست ایران.

4- Andreia Brand, M., Jacinto, R.C., Antunes, R., da Cunha, A.B. 2017. Production of briquettes as a tool to optimize the use of waste from rice cultivation and industrial processing. Renewable Energy, 111: 116-123

5- Brandt, A., et al. (2013). "Deconstruction of lignocellulosic biomass with ionic liquids." Green chemistry 15(3): 550-583

6- Chou, C.-S., et al. (2009). "The optimum conditions for preparing solid fuel briquette of rice straw by a piston-mold process using the Taguchi method." Fuel Processing Technology 90(7-8): 1041-1046

7- Freudenberg, K. (1965). "Lignin: its constitution and formation from p-hydroxycinnamyl alcohols." Science 148(3670): 595-600
8- Poddar, S., et al. (2014). "Effect of compression pressure on lignocellulosic biomass pellet to improve fuel properties: Higher heating value." Fuel 131: 43-48
9- Smith, I., et al. (1977). "The briquetting of wheat straw." Journal of Agricultural Engineering Research 22(2): 105-111
10- Wu, S., Zhang, S., Wang, C., Mu, C., and Huang, X. 2018. High-strength charcoal briquette preparation from hydrothermal pretreated biomass wastes. Fuel Processing Technology, 171: 293-300
11- Zhao, P., et al. (2014). "Clean solid biofuel production from high moisture content waste biomass employing hydrothermal treatment." Applied energy 131: 345-367

Investigating of effective parameters on the production process of briquettes from bagasse and walnut shell

Hussain shafaie[1], Ali Mashaallah Kermani[1*], Mohammad Hossein Kianmehr[1], Seyed Reza Hassanbeygi[1]

[1]Department of Agrotechnology, Aburaihan Campus, University of Tehran, Tehran, Iran

Abstract

Increasing carbon dioxide and other greenhouse gases due to the burning of fossil fuels is currently the most important environmental concern that drives the transfer of energy from fossil fuels to renewable energy sources such as biofuels. Consequently, the use of biomass as a source of energy has significant economic and environmental benefits. In the case of fresh biomass, the often away distance between the main biomass site and the place of use will result in higher transportation costs. Compressing bulk biomaterials improves material management properties for transportation, storage, and more. Given the importance of using agricultural waste in biofuels preparation, the objectives of this study were to investigate the effect of different briquetting parameters such as temperature and humidity and particle size on the quality of briquettes produced and study the physical and mechanical properties of briquettes produced. In this research, to Check fuel briquettes, Design of Experiments with Response Surface Methodology (RSM) was designed in Design Expert Version 11 software. In this method, the effect of relative percentages of material composition (5, 15 and 25%), temperature (280, 320 and 360 ° C), moisture (7, 13 and 19%) and particle size (1.18, 1.18-2.36 and 2.36-4.75 mm) were all designed in three levels. The results show that the variables of particle size, temperature and humidity have significant effect on density at 1% level. Analysis of the data showed that density increase with decreasing moisture content. After humidity, temperature has a greater effect on the density of briquettes and as it increases, the density of briquettes increases. It can also be deduced from the data that as the particle size decreases, the density increases. According to the experimental variables, temperature and humidity on the Toughness response were significant at 1% level and the Toughness increase with increasing temperature. The effect of moisture on toughness is the opposite, and as moisture content decreases, toughness increases.

Key words: Briquette, bagasse, Walnut shell, Compression, Response Surface Methodology

*Corresponding author
E-mail: amkermani@ut.ac.ir