نهمین کنگره ملی مهندسی ماشین‌های کشاورزی
(مکانیک بیوسیستم) و مکانیزاسیون
پردیس کشاورزی و منابع‌طبیعی دانشگاه تهران
۲ و ۳ اردیبهشت ۱۳۹٤ - کرج

# تحلیل مصرف انرژی فشرده‌سازی کمپوست تولید شده از باگاس به روش سطح پاسخ

**غفور آب سالان*[۱]، بهنام ابوعلی[۱] ، محمد حسین کیان مهر[۲] و محمد جواد یوسفی[۱]**
۱ و ۲ – به ترتیب دانش آموخته‌گان کارشناسی ارشد و استاد گروه فنی و کشاورزی پردیس ابوریحان دانشگاه تهران
ایمیل مکاتبه کننده: ghabsalan@ut.ac.ir

**چکیده**

کمپوست باگاس به عنوان کود آلی زیست محیطی با بهره‌وری بسیار بالا می باشد. مشکل اصلی این نوع کود ها جرم حجمی کم آن‌ها می‌باشد. یک راه حل برای حل این مشکل استفاده از فن‌آوری شکل‌دهی و متراکم‌سازی کود کمپوست باگاس می‌باشد. کمپوست باگاس در سه سطح اندازه ذرات(۱ و ۲/۵ و ٤ میلی‌متر) و سه سطح رطوبتی(۸، ۱۲ و ۲۰ درصد) تهیه شده و پلت‌ها تولید گردید و در نهایت تأثیر این عوامل بر میزان انرژی مصرف شده برای فشرده‌سازی پلت‌های تولیدی بررسی شد. به منظور بهینه سازی، آزمایش با استفاده از روش سطح پاسخ و در قالب طرح باکس بنکن طراحی شد. نتایج حاکی از آن بود که پارامترهای مستقل فشار و محتوی رطوبت اثر معنی داری به ترتیب در سطح یک و پنج درصد بر مصرف انرژی فشرده‌سازی داشتند. هم چنین اندازه ذرات اثر معنی داری بر پاسخ ها نداشت.

واژه‌های کلیدی: کمپوست باگاس، پلت، انرژی فشرده سازی، روش سطح پاسخ

**مقدمه**

باگاس به تفاله باقی‌مانده بعد از عصاره گیری ساقه نیشکر و استخراج شربت آن می‌گویند. ۳۲ درصد نیشکر را باگاس خام تشکیل می‌دهد که با وجود امکان استفاده از آن به عنوان سوخت، بهره گیری از آن در صنایع سلولزی که اکنون سالانه در ایران یک میلیون و ٦۰۰ هزار تن باگاس از سطح کشت و صنعت‌های نیشکر خوزستان به دست می‌آید. متأسفانه به دلیل عدم توسعه صنایع جانبی نیشکر از آن استفاده بهینه نمی‌شود. سوختن باگاس تنها پس از برداشت نیشکر و آن هم به طور غیر عمد اتفاق می‌افتد. باگاس دارای ارزش اقتصادی بسیار بالا و مخلوطی از قند، فیبر و رطوبت است که وقتی برای مدتی روی زمین باشد خود به خود می‌سوزد. سوختن باگاس، یکی از دلایل اصلی آلودگی‌های زیست محیطی است. تنها راه جلوگیری از سوختن این محصول با ارزش را ایجاد صنایع تبدیلی برای آن است. باگاس می‌توان در صنایع مختلفی همچون صنایع کاغذسازی، صنایع چوب، خوراک دام، الکل‌سازی و

دیگر صنایع کاربرد فراوان دارد. باگاس عمدتاً دارای ۵۱ درصد محتوی رطوبتی، ٤۷ درصد فیبر و ۲ درصد آب محلول می‌باشد. این مقادیر بسته به نوع واریته نیشکر، منطقه جغرافیایی و چگونگی برداشت و روش عصاره‌گیری استفاده متغیر می‌باشد. در استان خوزستان با اجراء طرح توسعه نیشکر و هم‌زمان با فعالیت کارخانجات شکر، مقادیر زیادی باگاس تولیدی را به همراه برگ و سرشاخه نیشکر می‌تواند در نتیجه فعالیت‌های میکروبی به راحتی به کمپوست باگاس تبدیل شود و به عنوان کود آلی زیست محیطی با بهره‌وری بسیار مطلوب مورد استفاده قرار گیرد. به کارگیری کمپوست باگاس در اراضی بایر این استان که صدها سال به صورت لم‌یزرع بوده و در نتیجه دارای میزان مواد آلی ناچیز می‌باشد، سبب بهبود کیفیت خاک جهت فعالیت‌های زراعی می‌گردد. علی‌رغم موارد مذکور، چندین عامل کاربرد مناسب کود کمپوست باگاس را محدود نموده است. اولین مشکل جرم حجمی کم این مواد می‌باشد که حمل و نقل، جابه‌جایی و ذخیره و کاربرد این مواد را در مزارع و باغ‌ها مشکل ساخته و افزایش هزینه‌ها را در پی دارد. یک راه حل برای حل این مشکل استفاده از فن‌آوری شکل‌دهی و متراکم‌سازی کود کمپوست باگاس می‌باشد. می‌توان کود را به صورت استوانه کوچک با قطر و طول مشخص درآورد که در صنعت فرآوری مواد به این استوانه‌ها پلت گفته می‌شود. در این تحقیق به تولید پلت از طریق فشرده سازی و همچنین بررسی رفتار فشرده‌سازی‌کمپوست باگاس در روش دای بسته به عنوان محور اصلی قرار گرفته است. تحقیقات زیادی برای بررسی اثر پارمترهای مختلف بر مصرف انرژی فشرده سازی انجام شده است. قادرنژاد و همکاران در سال ۲۰۱۲ تحقیقی بر روی انرژی فشرده‌سازی پلت تولید شده از کود گاوی انجام دادند و دریافتند با افزایش محتوی رطوبتی انرژی فشرده‌سازی افزایش و سپس کاهش می‌یابد(قادر نژاد و همکاران، ۱۳۹۱). نیلسون و همکاران در سال ۲۰۰۹ به این نتیجه رسیدند که با افزایش رطوبت انرژی مصرفی فشرده‌سازی کاهش می‌یابد(Nielsen et al., 2009). از آنجا که در تحلیل فرایند فشرده سازی مشخصه های گوناگونی مطرح است و معمولا بهینه سازی چند هدف را در نظر دارد، روش سطح پاسخ روش مناسبی برای نیل به این هدف به ما کمک میکند. روش سطح پاسخ (RSM) مجموعه‌ای از روش‌های آماری و ریاضی است که برای آنالیز و مدل‌سازی پاسخ‌های یک فرآیند استفاده می‌شود که در نهایت هدف آن بهینه سازی فرآیند است. در این تحقیق، به منظور بررسی فرایند مصرف انرژی فشرده‌سازی ، پلت کود کمپوست باگاس با استفاده از یک قالب باز و یک پیستون تحت فشار ناشی از یک پرس هیدرولیکی تولید شد. هدف از این تحقیق بهینه سازی مصرف انرژی در فرایند پلت کود کمپوست پاگاس با توجه به لزوم کیفیت مطلوب به کمک روش سطح پاسخ است.

**مواد و روش‌ها**

کمپوست باگاس تولید شده توسط شرکت بیوفر ایران جهت تولید پلت کمپوست باگاس به پردیس ابوریحان دانشگاه تهران منتقل شد. رطوبت اولیه کمپوست ۸۰٪ (بر پایه‌تر) بود. بنابراین برای کاهش رطوبت، کمپوست در هوای آزاد خشک و در نهایت به رطوبت تعادلی ۸٪ رسید. برای تهیه نمونه‌هایی با سطوح رطوبتی مورد نظر برای هر آزمایش، طبق رابطه (۱) با آب‌پاش به کمپوست آب مقطر اضافه گردید.

$$m_w = \frac{m_i(M_{wf} - M_{wi})}{1 - M_{wf}} \quad (۱)$$

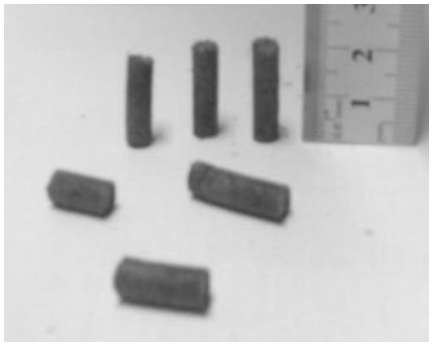
که در این رابطه $M_{wi}$ رطوبت اولیه کمپوست بر مبنای خشک، $M_{wf}$ رطوبت نهایی بر مبنای خشک، $m_i$ جرم اولیه کمپوست بر مبنای خشک و $m_w$ جرم آب اضافه شده می باشد. پس از اضافه نمودن آب مقطر، نمونه‌ها به مدت ٤٨ ساعت در کیسه‌های پلاستیکی در بسته در یخچال با دمای ۵ درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند تا رطوبت به طور یکنواخت در نمونه‌ها توزیع شود. برای تعیین مقدار واقعی رطوبت نمونه‌ها، سه نمونه ۱۰ گرمی از هر سطح رطوبتی در آون قرار داده شد(ASAE Standards, 2001).

**کاهش اندازه کمپوست باگاس**

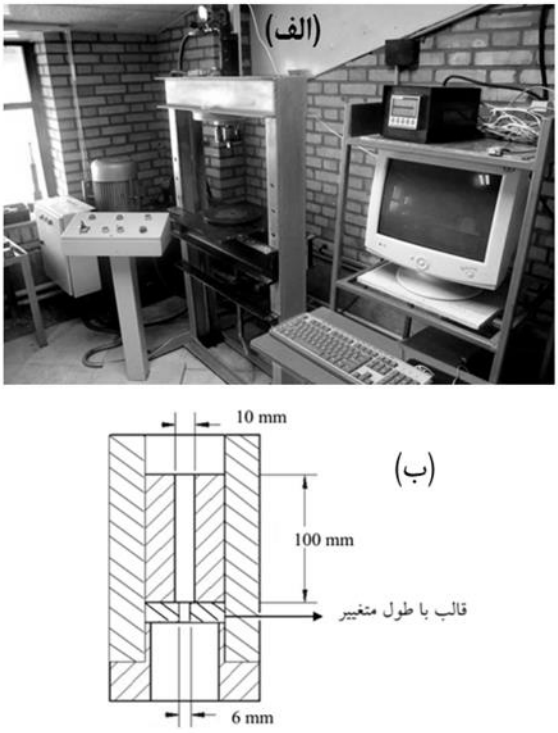
جهت بدست آوردن اندازه ذرات مورد نظر از یک آسیاب چکشی سایشی استاندارد که برای این کار طراحی شده بود استفاده شد(رضوی حائری، ۱۳۹۰). قطعات کمپوست باگاس بلافاصله بعد از رسیدن به رطوبت مورد نظر توسط آسیاب چکشی- سایشی آسیاب شد. از آسیاب چکشی ساخته شده در پردیس ابوریحان استفاده شد. آسیاب دارای سه صفحه به اندازه سوراخ‌های ۱، ۲/۵ و ٤ میلی‌متر بود.

**تهیه پلت**

برای تهیه پلت‌های آزمایشگاهی از پرس هیدرولیکی استفاده شد (شکل ۲). پلت‌های مورد نظر در سه سطح رطوبت (۸٪، ۱٤٪ و ۲۰٪)، سه سطح فشار (۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ مگاپاسکال) و سه سطح مش‌بندی (۱، ۲/۵ و ٤ میلی‌متر) تهیه شدند. بعد از رساندن رطوبت نمونه‌ها، آن‌ها را در کیسه‌های پلاستیکی قرار داده و به مدت ۲٤ ساعت در یخچال قرار داده شد. برای تهیه پلت از قالب با قطر ۸ میلی‌متر استفاده شد. پارامترهای قابل کنترل پرس هیدرولیکی عبارتند از فشار، سرعت پایین آمدن سنبه و مدت نگهداری پلت تحت بار. فشار کاری در سه سطح ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ مگاپاسکال ، سرعت پایین آمدن سنبه به میزان ٤/۵ میلی‌متر در دقیقه و مدت نگهداری نمونه تحت بار ٦۰ ثانیه تنظیم شد. برای تهیه پلت ابتدا نمونه را در قالب ریخته و توسط سنبه مقداری با فشار دست فشرده شد به طوری که قالب تا حدی پر شده و سپس سنبه را روی آن قرار داده و این مجموعه را زیر سنبه پرس هیدرولیکی قرار داده و با اعمال فشار تعیین شده ابتدا قالب را که ته آن مسدود است را تحت فشار قرار داده و در مرحله بعد در حالی که انتهای قالب باز است با اعمال فشار مجدد پرس نمونه پلت ساخته شده از داخل قالب خارج شد. از هر حالت چند نمونه پلت ساخته شده و در داخل کیسه‌های پلاستیکی قرار داده تا در مراحل بعد مورد استفاده قرار گیرند. نمونه‌ای از پلت‌های تشکیل شده به روش قالب بسته در شکل ۱ نشان داده شده است.



شکل ۱- نمونه‌ای از پلت‌های تولید شده




شکل ۲- تجهیزات آزمایشگاهی استفاده شده جهت تولید پلت الف) پرس هدرولیک، ب) قالب

**مصرف انرژی فشرده سازی**

در طول فرایند فشرده سازی داده های نیرو و جابه جایی ثبت و مصرف مطابق روش مانی و همکاران تعیین شد(Mani et al., 2006). سطح زیر منحنی نیرو–جا به جایی به دست آمده از فشرده سازی پلت محاسبه شد و با ترکیب آن با جرم پلت، مصرف انرژی فشرده سازی به دست آمد.

**آنالیز و بهینه سازی**

برای تحلیل نتایج فشرده‌سازی و تأثیر سه پارامتر فشار، رطوبت و اندازه ذرات، از نرم‌افزار Design Expert 7.0.0 برای بدست آوردن سطوح پاسخ استفاده شد. تیمارها به روش کاملاً تصادفی *BBD*[1] باکس بنکن با استفاده از روش *RMS*[2] و ۱۷ تیمار شامل ۵ تکرار در نقطه مرکزی انجام گردید. باکس بنکن طراحی سه سطحی برای انطباق پاسخ ارائه می دهد. این طراحی از ترکیب طرح عاملی با طرح بلوک ناقص شکل گرفته است(Box and Behnken, 1960) در جدول ۱ متغیرها و سطوح کد بندی شده آنها نشان داده شده است. هر متغیر در ۳ سطح به صورت Face Centered انتخاب شد. و پاسخ‌ها برای انرژی ویژه فشرده‌سازی بررسی قرار گرفت.

جدول ۱- متغیرهای مستقل در فرآیند فشرده‌سازی

| پارامتر مستقل | نماد | سطوح کد بندی شده متغیر | | |
|---|---|---|---|---|
| | | -۱ | ۰ | ۱ |
| فشار (MPa) | $x_1$ | ۵۰ | ۱۰۰ | ۱۵۰ |
| رطوبت (%) | $x_2$ | ۸ | ۱٤ | ۲۰ |
| اندازه ذرات (mm) | $x_3$ | ۱ | ۲/۵ | ٤ |

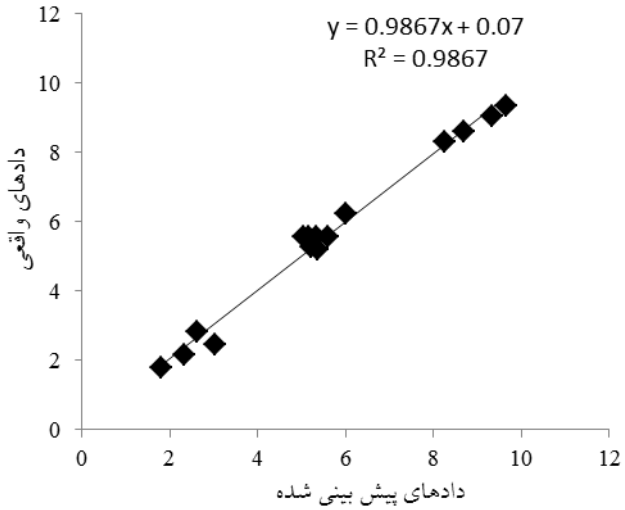
**نتایج وبحث**

معادله (۲) رابطه بین انرژی فشرده‌سازی و متغیرهای مستقل را به صورت حقیقی نمایش می‌دهد.

$$\text{انرژی فشرده سازی} = -۳/۱۷۱۰۸ + ۰/۰۸۵۱۷\, x_۱ + ۰/۰۵۲۲۹۲\, x_۲ + ۰/۸۵٤۱۷\, x_۳ - ۶/۰۰ \times ۱۰^{-٤}\, x_۱ x_۲ - ۰/۸۶۶۶۷ \times ۱۰^{-۳}\, x_۱ x_۳ - ۰/۰۱۹۰۱۶۸\, x_۲ x_۳ \quad (۲)$$

در شکل ۳ مقادیر حقیقی انرژی فشرده‌سازی را در مقابل داده‌های پیش‌بینی شده نمایش می‌دهد. این شکل نشان می-دهد که مدل ارائه شده با درجه اطمینان ۹۸٪ به دادهای بدست آمده نزدیک می‌باشد.

[1] Box-Behnken Design
[2] Response Surface Methodology




شکل۳- مقادیر حقیقی انرژی فشردگی در مقابل داده‌های پیش‌بینی شده

نتایج حاصل از آنالیز واریانس جهت بررسی اثر فشار، محتوی رطوبتی و اندازه ذرات عبوری از مش آسیاب انرژی فشرده‌سازی در جدول ۲ نشان داده شده است.

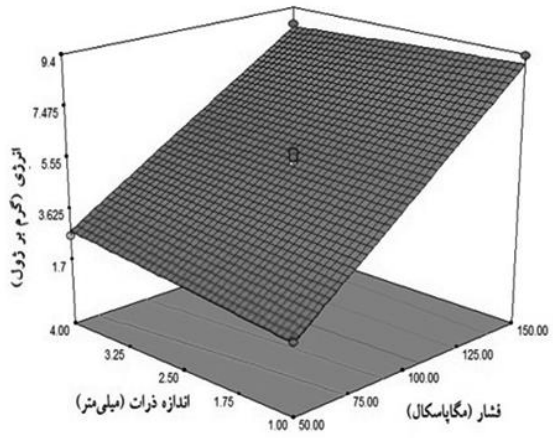
جدول ۲- نتایج آنالیز واریانس(ANOVA) اثر سه پارامتر مستقل بر انرژی فشرده‌سازی

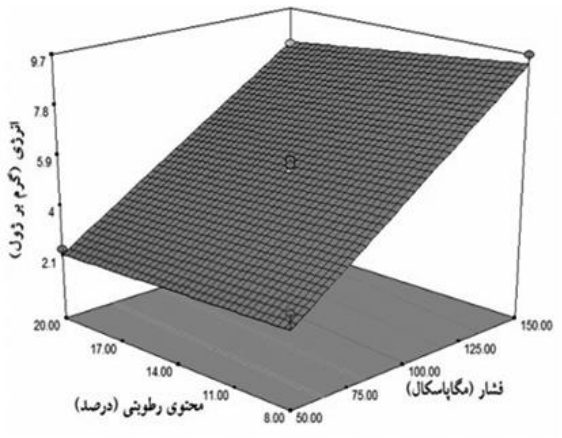
| منابع تغییرات | مجموع مربعات | df | میانگین مربعات |
|---|---|---|---|
| فشار | ٤١/٨٥ | ١ | ٨٥/٤١* |
| رطوبت | ٠/٨٩ | ١ | ٠/٨٩** |
| اندازه ذرات | ٠/١٨ | ١ | ٠/١٨ ns |
| $x_1x_2$ | ٠/١٣ | ١ | ٠/١٣ ns |
| $x_1x_3$ | ٠/٥٣ | ١ | ٠/٥٣ ns |
| $x_2x_3$ | ٠/١٢ | ١ | ٠/١٢ ns |

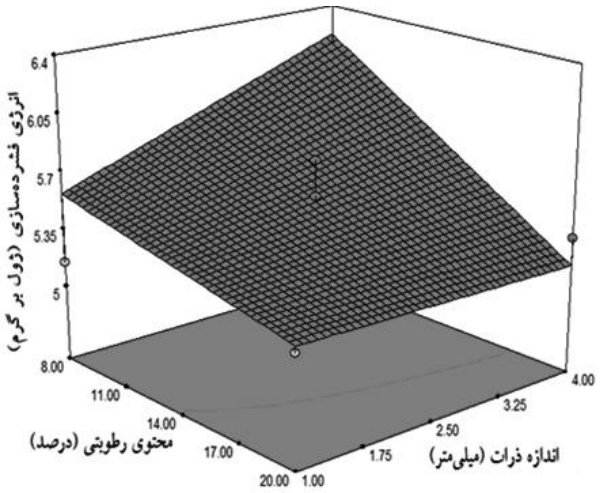
**معنی‌دار در سطح یک درصد، * معنی دار در سطح پنج درصد و ns غیر معنی‌دار

نتایج حاصل از آنالیز واریانس نشان می‌دهد سه عامل فشار فرایند فشرده‌سازی، محتوی رطوبتی کمپوست باگاس بر انرژی فشرده سازی کمپوست اثر معنی دار دارد و با توجه به نتایج بیشترین تأثیر را فشار فرایند فشرده‌سازی بر روی انرژی فشرده‌سازی دارد. در شکل ٤ اثر متقابل پارامترهای مستقل بر انرژی فشرده‌سازی را نشان می‌دهد. حداقل انرژی فشرده‌سازی در فشار ٥٠ مگا پاسکال و محتوی رطوبتی ٢٠ درصد بدست آمد که برابر با ٢/٣٤ ژول بر گرم می-باشد و حداکثر انرژی فشرده‌سازی در فشار ١٥٠ مگا پاسکال و محتوی رطوبتی ٨ درصد بدست آمد که برابر با ٩/٦٧ ژول بر گرم می‌باشد. همچنین از نمودار فوق می‌توان مشاهده کرد که تأثیر فشار بیشتر از محتوی رطوبتی بر انرژی

فشرده‌سازی پلت‌ها است. در واقع انرژی فشرده سازی مربوط به حرکت لغزشی مواد درون قالب می‌باشد و انرژی به صورت انرژی اصطکاکی بین مواد در مراحل فشرده‌سازی ظاهر می‌شود. حداقل انرژی مصرفی در حالت فشار ۵۰ مگا پاسکال و اندازه ذره ۱ میلی‌متر به دست آمد که برابر با ۱/۸۱ گرم بر ژول می‌باشد و انرژی مصرفی در حالت فشار ۱۵۰ مگا پاسکال و اندازه ذره ۱ میلی‌متر به دست آمد که برابر با ۹/۳۳ گرم بر ژول می‌باشد. همچنین این نمودار نشان می‌دهد با افزایش فشار اثر اندازه ذرات بر مصرف انرژی معکوس می‌شود، بدین معنی که در فشارهای پایین با افزایش اندازه ذرات انرژی مصرفی افزایش می‌یابد ولی در فشار ۱۵۰ مگا پاسکال با افزایش اندازه ذرات انرژی مصرفی کاهش می‌یابد. افزایش انرژی فشرده‌سازی در اندازه ذرات بزرگ‌تر را می‌توان این چنین توجیه کرد که در ذرات ریزتر تلفات مربوط به اصطکاک بین ذرات ناشی از حرکت لغزشی ذرات نسبت به یکدیگر نسبت به ذرات درش تر کمتر می‌باشد.. متغیر فشار در نقطه میانی خود یعنی ۱۰۰ مگا پاسکال است. همان‌طور که از شکل مشخص است حداقل انرژی مصرفی فشرده سازی در شرایط محتوی رطوبتی ۲۰ درصد و اندازه ذرات ۱ میلی‌متر به دست آمد که برابر با ۵/۲۱ ژول بر گرم می‌باشد و حداکثر انرژی مصرفی فشرده سازی در شرایط محتوی رطوبتی ۲۰ درصد و اندازه ذرات ۱ میلی‌متر به دست آمد که برابر با ٦ ژول بر گرم می‌باشد.






شکل ٤- اثر متقابل پارامترهای مستقل بر انرژی فشرده‌سازی (گرم بر ژول)

## نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از تحلیل تاثیر پارامترها بر روی انرژی فشرده‌سازی پلت‌ها نشان می‌دهد که با افزایش فشار، انرژی فشرده‌سازی پلت‌ها افزایش می‌یابد همچنین با افزایش محتوی رطوبتی، انرژی فشرده‌سازی کاهش می‌یابد، همچنین با افزایش اندازه ذرات، انرژی فشرده‌سازی پلت‌ها اندکی افزایش می‌یابد.

## منابع و مآخذ

۱. رضوی حائری، ع.ا. ۱۳۹۰. بهینه سازی آسیاب چکشی آزمایشگاهی و ارزیابی آن برای خرد کردن مواد زیست توده، دانشگاه تهران پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران، ۱۲-۲۳.

۲. قادرنژاد، ک. کیان‌مهر، م.ح. عرب حسینی، ا. ۱۳۹۱. بررسی پارامترهای تراکم سازی مواد زیست توده در سمبه و قالب برای طراحی دای‌رولر به منظور تهیه پلت. پایان‌نامه‌ی کارشناسی ارشد. پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران.

3. ASAE. 2001. ASAE Standards 47 th ed. S319.3. Method of determining and expressing 5 neness of feed materials by sieving. St. Joseph, MI, American Society of Agricultural Engineers, 573–6.
4. Box, G. E. P. & Behnken, D. W. 1960. Some New Three Level Designs for the Study of Quantitative Variables. Technometrics, Vol 2, 455-476.
5. Mani, S. Tabil, L.G. & Sokhansanj, S. 2006. Effects of compressive force, particle size and moisture content on mechanical properties of biomass pellets from grasses. Biomass and Bioenergy, Vol 30, 648-654.
6. Nielsen, N.P.K. Gardner, D. J. & Poulsen, T. 2009. Importance of Temperature, Moisture Content, and Species for the Conversion Process of Wood Residues into Fuel Pellets. Wood and Fiber Science, Vol 41(4), 414-415.

# Analysis of compression energy compost produced from bagasse by response surface methodology

## Abstract

Bagasse compost efficiency is very high as an organic fertilizer ecosystem. The main problem this materials, is their low density fertilizer, which cause limitation in usage of such materials. Densification, such as pelleting, is a solution for these problems which increase bulk density, improve storability, reduce transportation costs, and make these materials easier to handle. In the following, the behavior of densification in close die was examined as well. compost in three levels of particle size (1, 2.5, and 4 mm) and three moisture levels (8, 12, and 20 %) was prepared, pellets were produced and finally the effect of these factors on the properties of produced pellets including the amount of consumed energy for densification and fracture resistance were studied. Analysis of results and optimizing the process was performed using response surface methodology (RSM) in the Box-Behnken method. The results showed that independent parameters, pressure and moisture content have a significant effect on compression energy consumption respectively at of a five per cent had. The particle size had no significant effect on the response.

**Keywords**: Bagasse compost, pellet, compression energy, response surface methodology.