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

آنالیز انرژی مصرفی آسیاب چکشی آزمایشگاهی برای خرد کردن مواد زیست‌توده

اکبر عرب محمد حسینی[1*]، فرهاد همایون‌فر[2]، محمد حسین کیان مهر[3]، سیدعلی اکبررضوی حائری[4]
۱ ، ۲،۳و٤– به ترتیب دانشیار، دانشجوی کارشناسی ارشد مکانیک بیوسیستم، استاد و دانش آموخته کارشناسی ارشد
مکانیک ماشین‌های کشاورزی گروه فنی مهندسی بیوسیستم پردیس ابوریحان دانشگاه تهران
ایمیل مکاتبه کننده: ahosseini@ut.ac.ir

چکیده

مواد زیست توده حاصل از محصولات کشاورزی به عنوان یکی از منابع مهم برای تامین انرژی در کانون توجه اصحاب علم قرار دارند. اندازه‌گیری انرژی مورد نیاز برای کاهش اندازه مواد مختلف زیست توده می‌تواند برای به کار گیری راه‌های مناسب و بهینه و با حداقل انرژی و در نهایت حصول مواد خوراکی و یا سوختی با حداقل هزینه و حداکثر کیفیت بسیار مفید باشد. یک دستگاه آسیاب چکشی آزمایشگاهی برای خرد کردن مواد زیست‌توده ساخته شد. برای ارزیابی دستگاه از نظر مصرف انرژی پوست سخت گردو در سه سطح سرعت دورانی خرد کن ۱٤۰۰، ۲۰۰۰ و ۲۸۰۰ و با سه مش ۲/۵، ٤ و ۵ میلی‌متری به وسیله این آسیاب خرد شد و در هر مورد انرژی مخصوص به صورت مجزا دسته‌بندی شد. هم‌چنین کود گاو با سرعت ۱٤۰۰ و مش ریز آسیاب شده و انرژی مخصوص آن با پوست گردو در همین وضعیت مقایسه گردید. نتایج حاصل نشان داد که در یک سرعت ثابت، با مش‌های ریزتر انرژی مخصوص بیشتری برای خرد کردن مواد بایستی صرف شود و نیز میزان خرد شدن مواد بیشتر است هم‌چنین در یک مش مشابه، انرزی بیشتری برای خرد کردن پوست گردو با سرعت پایین‌تر نیاز است و میزان خردشدگی نیز در سرعت‌های بالا بیشتر خواهد بود.

واژه‌های کلیدی: آسیاب چکشی ، انرژی مخصوص، کاهش اندازه، مش‌بندی، مواد زیست توده

مقدمه

مواد زیست توده از منابع مختلفی مانند جنگل‌ها، کشاورزی و پس‌ماندهای صنعتی و شهری بدست می‌آیند. کاهش اندازه ذرات (آسیاب کردن) یکی از مهمترین مراحل پیش تولید برای استفاده مواد زیست‌توده به عنوان منبع انرژی و یا برای موارد استفاده دیگر مثل تهیه کود و سوخت و حتی خمیر کاغذ است. این مواد با توجه ماهیت اولیه و محصول مورد انتظار نهایی، نیاز به انجام مراحل پیش‌تولید مانند خشک کردن، جداکردن، خرد کردن و .... دارند. یکی از این مراحل که تقریبا برای همه مواد زیست‌توده لازم است، کاهش اندازه ذرات است به طوری که برای تولید محصول نهایی آماده گردند. هرچند قطعات بزرگ مواد زیست‌توده مانند ساقه ذرت یا شاخ و برگ درختان، پیش از ورود به آسیاب، توسط ماشین‌هایی مثل چاپر به

قطعات کوچتری تقسیم می‌شوند. مرحله کاهش اندازه مواد زیست‌توده با توجه به ماهیت خود مواد، به طرق مختلفی صورت می‌گیرد که استفاده از آسیاب‌ها، مرسوم‌ترین و رایج‌ترین راه است. آسیاب‌ها یکی از پرمصرف‌ترین لوازم در این پروسه هستند[۹]. در این مرحله بسته به عوامل مختلف مثل نوع ماده، نوع آسیاب، اندازه مواد ورودی و خروجی، رطوبت و دیگر خصوصیات، انرژی بسیار زیادی صرف برش، ضربه و ساییدگی ذرات می‌شود[۸]. طراحی و انتخاب یک آسیاب مناسب می‌تواند یکی از مهمترین عوامل در کاهش میزان مصرف انرژی برای فراوری مواد زیست‌توده باشد. بسته به خصوصیات فیزیکی ماده زیست‌توده و نیز محصول نهایی که قرار است از آن استحصال گردد، از آسیاب‌های مختلفی استفاده می‌شود. انواع بسیار متنوعی از آسیاب‌های غلطکی، استوانه‌ای، دیسکی و چکشی وجود دارند که در صنایع مختلف از جمله کشاورزی و بازیافت مورد استفاده قرار می‌گیرند.

جدول۱ نشان می‌دهد که در یک کارگاه تولید پلت با عملکرد تولید ۳ تا ۵ تن در ساعت، آسیاب دومین وسیله پرمصرف (با مصرف ۱۱۱/۹ کیلووات)، پس از دستگاه نورد پلت است.

جدول۱– فهرست تجهیزات و قدرت موردنیاز آنها برای تولید ۳ تا ۵ تن در ساعت پلت (اسمیت، ۲۰۰٤)

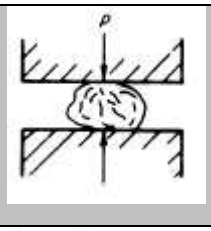
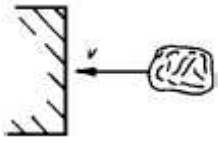
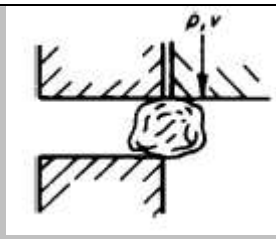
تجهیزات	قدرت(کیلووات)	قیمت(دلار)
نقاله کششی	۰/۷	٦۰۰۰
دستگاه بالابر	۲/۲	٦۰۰۰
موتور لرزاننده	۷/۵	۹٦۰۰
کاندیشنر	۵/٦	۱۰۰۰۰
غربال پلت	۱/۵	۱٤۰۰۰
تسمه نقاله	۳/۷	۱٤۸۰۰
سیتم خنک کننده هوا	۱۱/۲	۱٦۰۰۰
خنک کننده	۱/۵	۱۸۰۰۰
نقاله بسته‌بندی	۰/۷	۲۸۰۰۰
ماشین تغذیه‌کننده	۷/۵	۳۲۰۰۰
آسیاب چکشی و دمنده	۱۱۱/۹	۸۷۰۰۰
ماشین نورد پلت	۱۸٦/۵	۱۲۵۰۰۰

کاهش اندازه

کاهش اندازه از طرق مختلف و با نیروهای مختلف و متنوعی انجام می شود. خرد شدن، آسیاب شدن، فرز شدن، بریده شدن و قطعه قطعه شدن، تعاریف مختلفی است که برای عملیات کاهش اندازه در کتب و مقالات مختلف از آن یاد می‌شود. در نهایت هدف، تولید قطعات کوچکتر از قطعات بزرگتر به خاطر رسیدن به شکل، اندازه و تعداد جدیدی از ذرات است.

معمولا محصول نهایی اگرچه قطعا ریزتر از مواد خام ورودی است، اما دامنه نسبتا بزرگی از ابعاد را شامل می‌شود. زیرا هنگام خروج مواد، معمولا کنترل بر روی بزرگترین اجزای خروجی است و ذرات کوچکتر بدون کنترل خارج خواهند شد که احیانا برای موارد خاص نیاز به غربال آنها نیز می‌باشد.

جدول۲– انواع نیروهای دخیل در پروسه کاهش اندازه ذره در دستگاه‌های مختلف

نیرو	تصویر شماتیک	نمونه دستگاه
فشاری		خردکن غلطکی
ضربه‌ای		آسیاب چکشی
سایشی		آسیاب دیسکی
برشی		آسیاب چاقویی یا چاپرها

نیروهای دخیل در کاهش اندازه ذره

نیروهای مختلفی در شکست ذره دخیلند که گاه کاملا متضاد هم عمل می‌کنند. نیروهایی که در این پروسه شرکت می‌کنند، معمولا از جنس فشاری، ضربه‌ای، سایشی و برشی هستند. در حالیکه معمولا هنگام خرد شدن ذره، بیش از یک نوع از این نیروها همزمان دخالت دارند. در جدول۲ شکل ساده این نیروها نشان داده شده است.

نیروی فشاری برای خرد کردن مواد سخت، درشت و زمخت استفاده شده و معمولا مواد تا سه میلی‌متر کوچک می‌شوند. نیروی ضربه‌ای می‌تواند کاربردهای چندگانه داشته و برای مواد درشت، متوسط و ریز استفاده شود. نیروی سایشی نیز بیشتر برای ریز کردن بکار می‌رود و در نهایت نیروی برشی برای دقت بیشتر در اندازه نهایی ذره، کاربرد بیشتری دارد.

انرژی مورد نیاز و قوانین کاهش اندازه

برای انجام فرایند خردشدن ماده جامد و سخت، انرژی مصرف می‌شود، یکی از این موارد شکست خوردن ماده در راستای ترک‌های داخلی که داشته و یا بر اثر نیروی ایجاد شده و دیگری ترک‌هایی که احیانا پس از خرد شدن در ماده باقی خواهد ماند. از سوی دیگر طبق تحقیقات صورت گرفته، درصد بسیار کمی از کل انرژی مصرفی به اندازه کمتر از ۲٪ صرف شکستن مواد در داخل آسیاب می‌شود و بقیه صرف اصطکاک خود دستگاه خواهد شد [۳]. بنابراین، می‌توان آسیاب کردن را جزء کم‌بازده‌ترین مراحل فرآوری ماده زیست‌توده به حساب آورد. قسمت زیادی از انرژی صرف تغییر شکل در ناحیه الاستیک ماده و نیز اصطکاک داخلی آن می‌شود. مقدار زیادی از این انرژی هدر رفته، مربوط به گرمایی می‌شود که هنگام چرخیدن مواد در آسیاب به هدر می‌رود.

خصوصیات الاستیک و غیرالاستیک ماده زیست‌توده به شدت تحت تاثیر رطوبت آن قرار دارد. پیچیدگی موضوع وقتی بیشتر می‌شود که بدانیم این رطوبت در تمام سطح ماده بطور یکسان نیست ماده در لایه‌ها و قسمت‌های مختلفش، محتوای متفاوتی از رطوبت را نگه می‌دارد. از سوی دیگر رفتار ماده در مقابل شدت و سرعت نیروی وارده نیز متفاوت است و برخی مواد هنگام اعمال نیرو با سرعت کم، رفتار مواد پلاستیک و انعطاف‌پذیر را از خود نشان می‌دهند، درحالیکه در مقابل ضربه رفتار مواد الاستیک و شکننده را دارند. به هر صورت امکان تفکیک جزء به جزء رطوبت یا رفتار ماده نیست و لاجرم برای توصیف رفتار ماده و محاسبه انرژی مورد نیاز برای شکست ماده و طراحی دستگاهی مناسب این کار، این اعداد بطور تقریبی محاسبه می‌شوند.

انرژی مورد نیاز برای شکست برابر کاری است که برای تغییر شکل ماده و ایجاد سطح جدید صرف می‌شود. این انرژی از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$E = \Delta(\sigma A) \qquad (۱)$$

که σ انرژی مورد نیاز درونی برای ایجاد صفحه جدید و A مساحت سطح است. حداقل کار شکست می‌تواند با جایگزینی نیروی کششی ساده (یا فشاری) در یک دستگاهی مثل اینستران که همزمان نیرو را در آخرین لحظه شکست اندازه می‌گیرد. با رسم شکل نیرو، جابجایی و اندازه‌گیری مساحت زیر نمودار، انرژی مورد نیاز برای شکست به دست می‌آید:

$$E = \int_0^{\Delta X_{max}} F dx \qquad (۲)$$

در یک آسیاب، ماده تغییرشکل‌های الاستیک و غیرالاستیک زیادی را متحمل می‌شود که به شکست منتهی نمی‌شود. این تغییرشکل‌ها هم انرژی‌بر هستند که ممکن است این انرژی به هدر رفته و یا بصورت ترک‌هایی ظاهر شوند. در واقع تنها ۰/۰٦ تا ۱٪ از انرژی استفاده شده در آسیاب منتهی به ایجاد سطوح جدید (شکست) در ماده می‌شود و بقیه بصورت گرما به هدر رفته و موجب افزایش دمای مواد و محیط می‌شود. با در نظر گرفتن ملاحظات تئوری در می‌یابیم که انرژی مورد نیاز برای ایجادیک تغییر کوچک در یک مقدار واحد از یک ماده می‌تواند به عنوان یک معادله قدرت مربوط به آن اندازه مطرح شود:

$$\frac{dE}{dx} = -\frac{K}{x^n} \qquad (۳)$$

که dE تغییرات انرژی، dx تغییرات اندازه، K ضریب ثابت، n مقدار توان و x اندازه ذره است. معادله (۳) یک قانون کلی برای محاسبه انرژی شکست در ماده است.

محاسبه انرژی آسیاب

معمولا برای محاسبه انرژی نهایی در آسیاب و نیز انرژی مورد نیاز برای خرد کردن ماده مورد نظر، از روش قرار دادن یک پاورآنالایزر و یا آمپرمتر بر سر راه آسیاب استفاده می‌شود. اختلاف انرژی مصرفی آسیاب در هنگام بی‌باری و بار کامل برابر انرژی مورد نیاز برای کاهش اندازه ماده واحد بود.

رابطه بین خرد کردن و انرژی مخصوص

مارک شاو (۲۰۰۸) انرژی مخصوص برای آسیاب کردن دو ماده چوب صنوبر و ساقه گندم را بوسیله یک آسیاب چکشی در چند وضعیت اندازه گرفت. انرژی مخصوص برای آسیاب کردن چوب صنوبر با مش خروجی ۰/۸، ۳/۲ و ٦/٤ میلی‌متر به ترتیب ۱۸۸/۵، ۱۲۰/۷ و ۷۳/۰ ($kwht^{-1}$) بوده است. مقدار انرژی مخصوص مورد نیاز برای آسیاب کردن ساقه گندم نیز در مش‌های خروجی ۰/۸ و ۳/۲ میلی‌متر به ترتیب ۷۸/۸ و ۱۱/۳ ($kwht^{-1}$) بوده است. ماک شاو، دلیل بالاتر بودن انرژی مخصوص چوب صنوبر نسبت به ساقه گندم را یکی جنس آن و دیگری بزرگتر بودن ابعاد مواد خام ورودی به آسیاب عنوان کرده است. آنوسومی و همکاران (۲۰۰۰) در تحقیقشان نشان دادند که افزایش رطوبت در ساقه گندم ورودی به آسیاب مقاومت برشی آن را بطور نسبی افزایش می‌دهد و موجب افزایش انرژی مخصوص مورد نیاز به دستگاه می‌شود[۱]. مانی و همکاران (۲۰۰٤) این موضوع را تایید کرده و نشان دادند که افزایش در رطوبت مواد ورودی به آسیاب با افزایش در انرژی مخصوص همراه خواهد بود. آنها همچنین نشان دادند که کاهش اندازه مش خروجی آسیاب موجب افزایش انرژی مخصوص خواهد بود و این به دلیل این است که انرژی بیشتری برای بیشتر خرد کردن مواد لازم است[٤].

با آزمودن چوب صنوبر با رطوبت بین ۱۰ تا ۱۵ درصد، استبان و کاراسکو (۲۰۰٦) نتیجه گرفتند که برای خرد کردن آن ماده با مش‌های ۱/۵، ٤، ٦، ۸ و ۱۰ میلی‌متر به ترتیب انرژی مخصوصی معادل ۸۲/٦، ۳۷/۷، ۲۷/۵، ۱۲/۹ و ۱۱/۷ ($kwht^{-1}$) نیاز است[۲]. مقدار انرژی مورد نیاز برای آسیاب کردن هنگامی که از موارد ریزتر در تغذیه ورودی آسیاب استفاده می‌شود

متفاوت است. فنگ و همکاران در ۱۹۹۷ گزارش کردند که اندازه سوراخ‌های مش ورودی یکی از موثرترین فاکتورها در انرژی مصرفی دستگاه هستند. مارتین و بنکه نیز در ۱۹۸٤ در مطالعه‌شان روی فرایند کاهش اندازه دانه سورگوم و ذرت متوجه شدند که برای بدست آوردن ذرات ریزتر به منظور تولید پلت‌های باکیفیت بالاتر، انرژی بیشتری مورد نیاز است. سامسون و همکاران در سال ۲۰۰۰ انرژی مخصوصی معادل ۱٦۱/٦٤ kJ/kg برای آسیاب یولاف با اندازه کمتر از ۵/٦ میلی‌متر با آسیاب چکشی بدست آوردند. [٦].

روش‌های اندازه‌گیری انرژی

روش‌های مختلفی برای اندازه‌گیری انرژی مصرفی آسیاب وجود دارد. مانلو و همکاران در سال ۲۰۰٦ انرژی مخصوص مورد نیاز برای آسیاب کردن چیپس چوب بلوط را با استفاده از سنسورهای اندازه‌گیری گشتاور و سرعت که به محور موتور وصل شده بودند تا گشتاور و سرعت گردش روتور را ثبت کنند، بدست آوردند[۵]. تبیل در ۱۹۹٦ میزان مصرف انرژی مخصوص برای خرد کردن یونجه با دو اندازه مختلف ورودی ۲/٤ میلی‌متر و ۳/۲ میلی‌متر را اندازه گرفت. او از یک وات‌ساعت متر که به دیتالاگر متصل بود هر بار به مدت ۱۵ ثانیه استفاده کرد[۱۰].

هدف از این تحقیق ارزیابی کیفی عملکرد سیستم و اندازه‌گیری انرژی مصرفی آسیاب در شرایط کاری مختلف، می‌باشد.

مواد و روش‌ها

برای ارزیابی دستگاه آسیاب چکشی سایشی ساخته شده، از دو ماده استفاده شد. ماده اول، پوست خشک و سخت گردو بود که ساختار چوبی و شکننده و سختی نسبتا بالایی دارد. ماده دوم نیز کود گاو بود که نسبت به پوست چوبی گردو، نرم‌تر و با سختی پایین‌تری است. برای ارزیابی بهتر و دقیق‌تر تمام پارامترهای مواد ورودی به آسیاب اندازه‌گیری شدند. برای این منظور مواد همگی از مش ٤/۳ اینچی (۱۹/۰۵ میلیمتر) عبور داده شدند و تنها پوست گردو و ذرات کودی که از این مش عبور کردند، برای ورود به آسیاب انتخاب شدند. مواد انتخاب شده، به دسته‌های ۵۰ گرمی تقسیم شدند تا جرم مواد ورودی به آسیاب برای تمامی آزمایشات مساوی باشد.

برای تعیین محتوای رطوبت اولیه مواد زیست توده سه نمونه ۱۰۰ گرمی از پوست گردو و کود گاو، طبق استاندارد ASAE S358.2 در داخل آون ساخت شرکت آبی‌آسا با دمای C °3±103 به مدت ٤۸ ساعت قرار داده شد. محتوای رطوبت طبق رابطه ٤ بر پایه تر و رابطه ۵ بر پایه خشک سنجیده شد (ASAE Standards. 1998. S269.4).

$$M_{w.b.} = \frac{W_w}{W_w + W_d} \times 100 \qquad (٤)$$

$$M_{d.b.} = \frac{W_w}{W_d} \times 100 \qquad (۵)$$

که در این روابط $M_{w.b.}$ - رطوبت مواد زیست‌توده بر مبنای تر(٪)؛ W_w - وزن آب موجود در ماده kg؛ W_t - وزن کل ماده kg؛ W_d - وزن ماده خشک kg؛ $M_{d.b.}$ - رطوبت ماده بر مبنای خشک (٪).

برای اندازه‌گیری طول و قطر مواد زیست‌توده از یک کولیس دیجیتال با دقت ۰/۰۱ میلی‌متر، مدل (CD-6CSX, Mitutoyo Corp) و برای اندازه‌گیری جرم مواد از یک ترازوی دیجیتال مدل (Kern) ساخت آلمان (KERN and Sohn GmbH, Germany) با قابلیت ٦۰۰ گرم و دقت ۰/۰۱ گرم استفاده شد .

نتایج مربوط به رطوبت نمونه ها در جدول ۳ نشان داده شده است. پس از محاسبه رطوبت‌ها با استفاده از داده‌های بدست آمده در معادلات فوق، رطوبت پوست گردوهای ورودی به آسیاب بطور متوسط ۹/۹۷٪ بر پایه تر و رطوبت کود گاو بطور متوسط ۱۲/۱۷٪ اندازه‌گیری شد.

جدول ۳– رطوبت مواد زیست توده بر مبنای تر

ماده	رطوبت بر پایه تر
پوست گردو۱	٪۹/۹۷
پوست گردو۲	٪۹/۹۸
پوست گردو۳	٪۹/۹۵
کود گاو۱	٪۱۲/۱۷
کود گاو۲	٪۱۲/۰۷
کود گاو۳	٪۱۲/۲۰

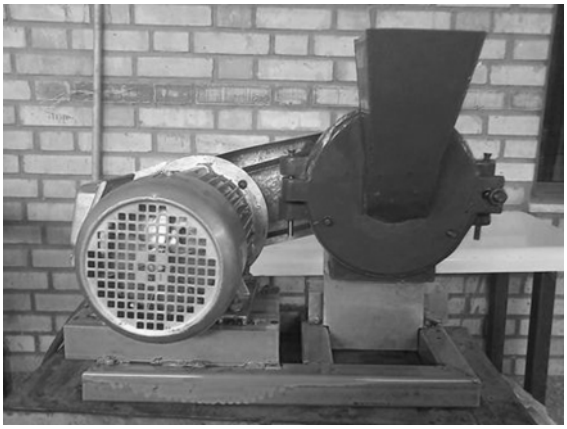
با توجه به محدودیت اندازه و شکل ورودی آسیاب، ورود مواد با اندازه‌های درشت منجر به پل زدن مواد و انسداد آنها در انتهای ورودی شده و از کیفیت کار کاسته شده و در نهایت موجب هدر رفتن انرژی می‌شوند. لذا طی چند آزمایش اولیه مواد با اندازه‌های مختلف وارد دستگاه شده و در نهایت مواد ریزتر از مش ۰/۷۵ اینچی مناسب این کار انتخاب شد. همان طور که قبلا نیز اشاره شد، اندازه مواد ورودی به آسیاب در کیفیت کار و میزان انرژی مصرفی آن دخالت دارد. در این آزمایش مش ورودی آسیاب برای همه نمونه‌ها ثابت در نظر گرفته شدند تا ارزیابی در شرایط یکسانی صورت گیرد. برای بدست آوردن زمان مورد نیاز آسیاب جهت خرد کردن نمونه‌های ۵۰ گرمی انتخاب شده در شرایط مختلف، از هر نمونه در هر وضعیت (۳ مش و ۳ سرعت مختلف) سه بار آزمایش اولیه صورت گرفت. پیوست۲ زمان متوسط بدست آمده برای هر آزمایش را نشان می‌دهد.

برای بدست آوردن مقدار توان و انرژی مصرفی آسیاب در حالت بی‌باری، پیش از وارد کردن مواد به داخل آسیاب در سه سرعت مختلف عدد آمپر خوانده شد (جدول ٤).

جدول٤- جریان در حالت بی‌باری در سه سرعت مختلف

سرعت دورانی (rpm)	١٤٠٠	٢٠٠٠	٢٨٠٠
جریان (آمپر)	٢/٤	٢/٥	٢/٦
توان مصرفی (وات)	٩١٤/٥٢	٩٥٢/٦٢	٩٩٠/٧٣

لازم به ذکر است که توان موتور دستگاه ساخته شده،۲ اسب بخار، سرعت دورانی آن ١٤٠٠ دور بر دقیقه و بیشینه جریان آن نیز ٣/٦ آمپر است (شکل ١).



شکل ١- آسیاب چکشی سایشی ساخته شده دراین پروژه

روش‌های مختلفی برای اندازه گیری انرژی و انرژی مخصوص در مقالات مختلف بکار گرفته شده است. در این تحقیق برای این کار از یک آمپرمتر مدل AMMETTER با حداکثر ظرفیت ٢٠ آمپر و دقت ٠/١ آمپر استفاده شد. این آمپرمتر بر سر راه یکی از سه فاز ورودی به موتور الکتریکی بسته شد. توان مصرفی دستگاه از رابطه ٦ حاصل می شود که در این رابطه P توان مصرفی به وات (W، V) ولتاژ ورودی هر فاز به ولت (V) و I جریانی است که از هر فاز وارد دستگاه می‌شود و با آمپر (A).

$$P = \sqrt{3}VI \qquad (٦)$$

با توجه به اینکه برق شهری مرسوم در ایران ۲۲۰ ولت است، بنابر این میزان ولتاژ هر فاز مشخص و ثابت است و در نتیجه با داشتن آمپر، می‌توان به توان مصرفی دستگاه در هر لحظه دست یافت.

برای بدست آوردن انرژی مخصوص نیز ادامه روابط بالا کارامد خواهد بود. زیرا:

$$E_T = \frac{\int_0^T (P_t - P_0)dt}{m} = \frac{\int_0^T \Delta P_t dt}{m} \qquad (۷)$$

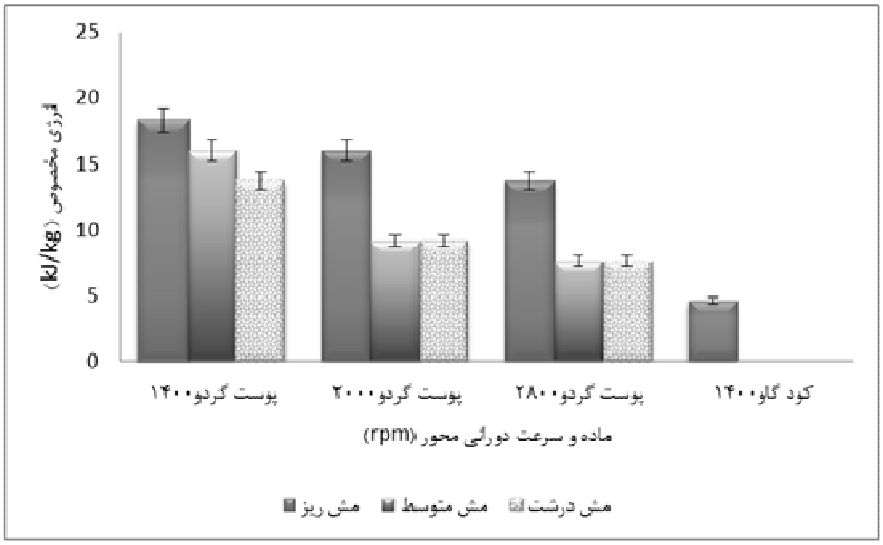
که در اینجا E_T انرژی خالص مخصوص برای آسیاب کردن واحد جرم ماده مورد نظر است(kJ/kg). P_t مقدار توان مصرفی آسیاب در هنگام خرد کردن ماده در زمان t است و دیمانسیون آن وات است، P_0 متوسط توان مصرفی آسیاب در حالت بی‌باری است، ΔP_t نیز توان خالص مصرفی، جهت خرد کردن مواد در مدت زمان t ثانیه است و در نهایت m جرم مواد خرد شده توسط آسیاب به کیلوگرم خواهد بود.

نتایج و بحث

برای دسته‌بندی انرژی مخصوص مصرف شده در هر حالت ابتدا داده‌ها بصورت جدول۵ طبقه‌بندی شدند برای اینکه بتوان مقایسه ساده و مناسبی در مورد انرژی مخصوص در حالت‌های مختلف انجام داد، نمودار مقایسه‌ای آنها رسم شده است (شکل ۲).

جدول۵- دسته‌بندی انرژی مخصوص مصرف شده درحالت‌های مختلف

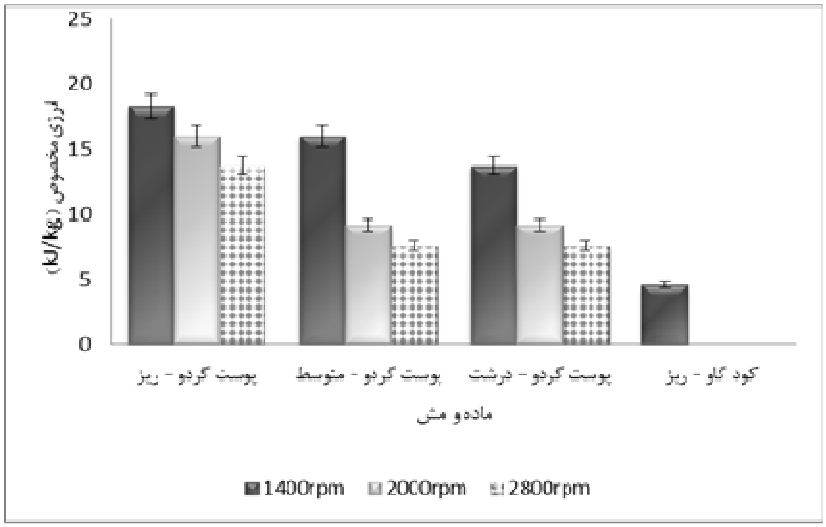
ماده	سرعت دورانی محور(rpm)	مش	زمان(s)	جریان(A)	انرژی مخصوص کل(kJ/kg)	انرژی مخصوص خالص(kJ/kg)
پوست گردو	۱٤۰۰	ریز	۸	۲/۷	۱٦٤/٦۱٤	۱۸/۲۹۰
پوست گردو	۲۰۰۰	ریز	۷	۲/۸	۱٤۹/۳۷۲	۱٦/۰۰۵
پوست گردو	۲۸۰۰	ریز	٦	۲/۹	۱۳۲/٦۰۵	۱۳/۷۱۸
پوست گردو	۱٤۰۰	متوسط	۷	۲/۷	۱٤٤/۰۳۷	۱٦/۰۰٤
پوست گردو	۲۰۰۰	متوسط	٦	۲/۷	۱۲۳/٤٦۰	۹/۱٤٦
پوست گردو	۲۸۰۰	متوسط	٦	۲/۸	۱۲۸/۰۳۳	۹/۱٤٦
پوست گردو	۱٤۰۰	درشت	٦	۲/۷	۱۲۳/٤٦۰	۱۳/۷۱۸
پوست گردو	۲۰۰۰	درشت	۵	۲/۷	۱۰۲/۸۸۳	۷/٦۲۱
پوست گردو	۲۸۰۰	درشت	۵	۲/۸	۱۰٦/٦۹٤	۷/٦۲۱
کود گاو	۱٤۰۰	ریز	۳	۲/٦	۵۹/٤٤٤	٤/۵۷۳



شکل۲- مقایسه انرژی مخصوص موردنیاز برای خردکردن پوست گردو وکودگاو درمش‌های مختلف

مقایسه داده‌ها در شکل ۲ نشان می‌دهد که در هر سرعت بیشترین مقدار انرژی مخصوص برای خرد کردن پوست گردو با مش ریز لازم است و به ترتیب برای خرد کردن با مش‌های متوسط و درشت انرژی کمتری نیاز است. به عنوان مثال در سرعت ۱٤۰۰rpm برای خرد کردن جرم واحد پوست گردو با مش ریز به ۱۸/۲۹۰ (kJ/kg) انرژی نیاز است که این عدد ۲/۲۹ (kJ/kg)بیشتر از انرژی مورد نیاز برای مش متوسط و ٤/٥۸ (kJ/kg) بیشتر از انرژی مورد نیاز برای خرد کردن پوست گردو با مش درشت است. دلیل این امر هم این است پوست گردو برای خرد شدن بیشتر به انرژی بیشتری نیاز دارد و نیز باید مدت زمان بیشتری در آسیاب باقی بماند. نکته دیگر برابر بودن تقریبی انرژی مخصوص مورد نیاز برای خرد کردن پوست گردو با مش متوسط و درشت در سرعت ۲۰۰۰ rpm و ۲۸۰۰ rpm است. قطع یقین انرژی مخصوص مورد نیاز در واقعیت برای این حالت‌ها متفاوت خواهد بود. اما به دو دلیل این اعداد بسیار نزدیک به هم شده‌اند. اول این که قدرت موتور الکتریکی انتخاب شده برای این دستگاه بسیار زیاد است و در واقع طوری انتخاب شده که برای خرد کردن سخت‌ترین مواد نیز با محدودیت مواجه نشود. لذا خرد کردن پوست گردو توان زیادی از آن نخواهد کشید و اختلاف انرژی زیادی نشان نخواهد داد. دوم اینکه زمان مورد نیاز برای خرد کردن که در آزمایش‌های اولیه اندازه گیری شدند، به دلیل شرایط ناگزیر آزمایشی می‌توانند با خطای کوچکی همراه باشند که این خود در نتیجه نهایی بی‌تاثیر نخواهد بود.

مقایسه انرژی مخصوص مورد نیاز برای این ماده زیست‌توده در مش مساوی و سرعت‌های متفاوت در شکل ۳ ارائه شده است:



شکل ۳- مقایسه انرژی مخصوص موردنیاز برای خردکردن پوست گردو وکود گاو درسرعت‌های مختلف

همان‌طور که نتایج بدست آمده در شکل ۳ نشان می‌دهند، انرژی مخصوص مورد نیاز برای خرد کردن پوست گردو در سرعت پایین، نسبت به سرعت‌های بالاتر بیشتر است. علی‌رغم اینکه موتور برای گرداندن محور پره‌های آسیاب در سرعت‌های بالا، توان بیشتری مصرف می‌کند، اما چون واحد جرم ماده را در زمان کمتری خرد می‌کند، در نهایت انرژی مخصوص کمتری مصرف خواهد کرد.

نکته دیگری که از این نمودارها می‌توان استحصال کرد، مقایسه انرژی مخصوص مورد نیاز برای خرد کردن کود گاو با پوست گردو در شرایط مساوی است. آن طور که مشخص است، برای خرد کردن واحد جرم کود گاو با مش ریز و در سرعت ۱٤۰۰ rpm به ٤/٥۷ (kJ/kg) انرژی نیاز است که این مقدار در مقایسه با انرژی مخصوص مورد نیاز برای خرد کردن واحد جرم پوست گردو یعنی ۱۸/۲۹ (kJ/kg) بسیار کمتر است و این اختلاف به دلیل این است که سختی و مقاومت کود در مقابل نیروهای ضربه‌ای و برشی (سایشی) بسیار پایین‌تر از پوست گردو است و این باعث می‌شود که آسیاب در زمان کمتر و با صرف توان کمتری، کار خرد کردن را انجام دهد.

نتیجه‌گیری

نتایج به دست آمده از ارزیابی دستگاه آسیاب چکشی سایشی ساخته شده در این پروژه، تطابق زیادی با نتایج تحقیقات قبلی دارد. کوچکتر شدن قطر سوراخ مش‌ها، بیشتر شدن انرژی مخصوص مورد نیاز را در پی داشت. افزایش سرعت به دلیل کاهش زمان مورد نیاز برای خرد کردن، علی‌رغم صرف توان بیشتر در واحد زمان، در کل از انرژی مخصوص لازم کاست.

منابع و مآخذ

1. Annoussamy, M. Richard,G. Recous, S. & Guérif, J. 2000. Change in mechanical properties of wheat straw due to decomposition and moisture. Applied Engineering in Agriculture 16: 657-664.
2. Esteban, L.S. & Carrasco, J.E. 2006. Evaluation of different strategies for pulverization of forest biomass. Powder Technology 166: 139-151.
3. Klyosov, A. A. 1984. Enzymatic Conversion of Cellulosic Materials and Alcohol.The Technology and its Implications. United Nations Industrial DevelopmentOrganization, Vienna. UNIDO/IS-476, p. 16.
4. Mani, S. Tabil, L.G. & Sokhansanj, S. 2004. Grinding performance and physicalproperties of wheat and barley straws, corn stover and switchgrass. Biomass andBioenergy 37: 339-352.
5. Manlu, Y. U. Womac, A. R. Miu P. I. Igathinathance, C. I. Sokhansanj, S. & Narayan, S. 2006. Direct energy measurement system forrotary biomass grinder–hammer mill. In: ASABE AnnualInternational Meeting, Convention Center, Portland, Oregon.Paper no: 66217.
6. Martin, S. & Behnke, K. 1984. Grinding eKciency and particle size e.ects on feed manufacturing operations. ASAE paper no. 84-3524. St. Joseph,MI: American Society of Agricultural Engineers.
7. Samson, P. Duxbury, P. Drisdelle, M. & Lapointe, C. 2001. Assessmentof pelletized biofuels.
8. Spinelli, R. and B. Hartsough. A survey of Italian chipping operation. Biomass and Bioenergy. 21:433-444

9. Stockes, B. J. Watson, W. F. Sirois, D. L. & Matthes, R. K. 1987. Factors affectingpower requirements for chipping whole trees. Paper Number: 87-6012. ASAESummer Meeting. Baltimore, Maryland.
10. Tabil, L. G. & Sokhansanj, S. 1997. Bulk properties of alfalfa grind in relation to its compaction characteristics. Applied Engineering in Agriculture 13(4): 499-505.X. S. Zhang, R. J. Roy, and E. W. Jensen, “EEG Complexity as a Measure of Depth of Anesthesia for Patients”, IEEE Trans. Biomed. Eng., Vol. 48, No. 12, pp. 1424–1433, Dec. 2001.

Analysis of energy consumption in a laboratory hammer mill for Grinding biomass

Abstract

Biomass from forestry and agriculture sources has recently drawn a lot of attention as a new source of feedstock for energy and bio-products. Measurement of the amount of the specific energy consumption for reducing the size of particles can be useful for selection of appropriate and optimum method with least requirement energy. So capability of grinding materials in various sizes can be score for a good grinder. The performance of the mill was evaluated in specific energy consumption of products. The hard skin of walnut was grinded in three levels of rotational speed (1400, 2000 and 2800 rpm) and by using three meshes having diameter holes of 2.5, 4 and 5 mm. In each test, the specific energy was classified. The cow manure also grinded at 1400 rpm and using 2.5 mm mesh to compare with grinded walnut skin in the same conditions. The results suggested that in invariant meshes, at a constant rotational speed, finer meshes require more specific energy to grind the material. The results also suggested that grinding with the same mesh, specific energy at lower speeds is higher. The specific energy consumption for grinding of walnut skin was found higher compared to cow manure.

Keywords: biomass, hammer mill, size reduction, specific energy consumption, meshing