

## اندازه گیر انرژی مصرفی در فرآیند آسیاب کردن یونجه خرد شده

زهرا قربانی<sup>1</sup>، امین اله معصومی، عباس همت<sup>2</sup>، محمد امین خرسندی کوهستانی<sup>3</sup>

<sup>1</sup> - دانشجوی دکتری مکانیک ماشینهای کشاورزی دانشگاه تهران

<sup>2</sup> - به ترتیب استادیار و استاد گروه مکانیک ماشینهای کشاورزی دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان

<sup>3</sup> - دانشجوی سابق کارشناسی الکترونیک، دانشگاه آزاد یزد

[z.ghorbani90@ut.ac.ir](mailto:z.ghorbani90@ut.ac.ir)

### چکیده

اندازه گیری انرژی مورد نیاز در فرآیند کاهش ابعاد محصولات کشاورزی به روش های مختلف توسط محققین صورت گرفته است. در تحقیق حاضر برای محاسبه انرژی مورد نیاز توسط موتور آسیاب چکشی یک مدار محاسبه گر انرژی مصرفی طراحی و ساخته شد. مدار ساخته شده از دو قسمت وات متر و data logger تشکیل شده بود که به ترتیب عملیات مربوط به اندازه گیری توان مصرفی و محاسبه و نمایش انرژی مصرفی را انجام می داد. ارتباط بین دو قسمت توسط دو عدد اپتوکوپلر نوری به صورت سریال بود. هر 100 میکرو ثانیه از ولتاژ و جریان نمونه برداری شد، سپس ولتاژ و جریان در هم ضرب شده و توان محاسبه گردید. با نوشتن برنامه ای در میکروکنترلر ATmega8 به زبان بیسیک (در 50 سطر) با انتگرال گیری به روش عددی توان محاسبه و بر روی Seven segment نمایش داده شد. برنامه مربوط به قسمت data logger در میکروکنترلر ATmega32L به زبان بیسیک (در 147 سطر) نوشته شد. در این قسمت داده های توان نسبت به زمان به صورت نمودار بر روی صفحه LCD گرافیکی نمایش داده شد. دستگاه ساخته شده با وات متر با دقت 0/1 و اسنجی گردید و سپس جهت اندازه گیری انرژی مصرفی در فرآیند آسیاب کردن یونجه خرد شده استفاده شد. داده های بدست آمده از انرژی ویژه مصرفی بر مدل ریتینگر با ضریب تبیین بالا ( $R^2 > 0/94$ ) برازش گردید.

کلمات کلیدی: آسیاب چکشی، محاسبه گر انرژی مصرفی، یونجه خرد شده

### مقدمه

کشاورزی یکی از مهم ترین منابع تولید و تأمین غذای انسان ها می باشد. در سطح جهانی گیاهان علوفه ای حدود 75 درصد انرژی جیره غذایی دام های اهلی را تأمین می کنند [جعفری، 1384]. یونجه با نام علمی Medicago Sativa مهم ترین گیاه علوفه ای دنیا و اولین گیاه علوفه ای اهلی شده است که بشر اولیه آنرا به عنوان تغذیه دام تشخیص داده است [جابری معز، 1380]. در صنعت علوفه، آسیاب چکشی به طور وسیعی برای آسیاب کردن یونجه خرد شده استفاده می شود. آسیاب های چکشی نسبتاً گران هستند و به راحتی دامنه وسیعی از ذرات را که برای متراکم کردن از مواد آسیاب شده مورد نیاز است، تولید می کنند [Mani et al. 2006]. در فرآیند کاهش اندازه ذرات انرژی مکانیکی مورد نیاز شامل، انرژی لازم برای آسیاب کردن مواد و همچنین غلبه بر اصطکاک قسمت های

در حال حرکت ماشین است [Manlu et al., 2006]. انرژی مصرفی برای آسیاب کردن محصولات به اندازه ذرات (قبل و بعد از آسیاب کردن)، محتوای رطوبتی و نرخ تغذیه مواد و متغیرهای ماشین وابسته است [Fang et al. 1997].

رابطه بین انرژی و مقدار کاهش ابعاد به فاکتورهایی از قبیل طول اولیه (L)، طول کاهش یافته ( $\Delta L$ )، یک ضریب ثابت (C) که به نوع مواد و آسیاب و n یک ضریب (بی بعد) مربوط می باشد، بیان می شود (رابطه 1) [Henderson et al. 1970].

$$\Delta E = C \left( \frac{\Delta L}{L} \right)^n \quad (1)$$

مانلو و همکاران (2006) بیان کردند که میزان انرژی با کاهش اندازه ذرات افزایش می یابد و برای اندازه های ریز نسبتاً بالا است. ایشان برای اندازه گیری انرژی از یک حسگر گشتاور که به محور موتور متصل بود و میزان گشتاور انتقالی و سرعت دورانی را اندازه گیری می کرد، استفاده کردند. اوهای به قل از فنگ (1997) از یک وات متر برای اندازه گیری توان آسیاب چکشی استفاده کرد.

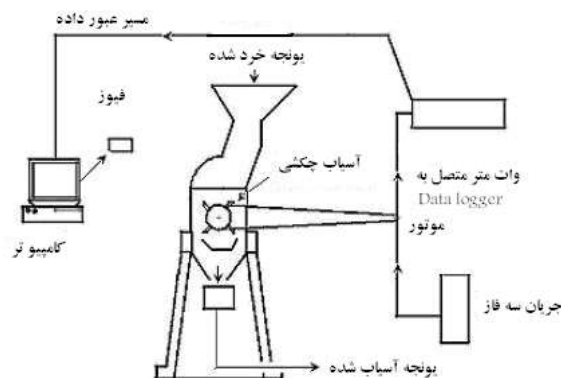
بیترا و همکاران (2008) انرژی مکانیکی مورد نیاز برای کاهش اندازه ذرات Swichgrass، کلس گندم و ذرت علوفه ای را با استفاده از یک آسیاب چکشی اندازه گیری نمودند. توان مورد نیاز برای آسیاب کردن مستقیماً از سرعت 2000 تا 3600 دور بر دقیقه برای نرخ تغذیه 2/5 کیلوگرم بر دقیقه همراه با توری به قطر روزنه 3/17 میلی متر با وات متر با دقت 0/003 کیلو وات اندازه گیری شد. اهدافی که در این تحقیق دنبال می شد شامل طراحی، ساخت و ارزیابی یک دستگاه محاسبه گر انرژی مصرفی در موتور بود. پس از واسنجی دستگاه ساخته شده، جهت ارزیابی عملکرد دستگاه، اثر درجه آسیاب شدگی یونجه خرد شده بر انرژی مصرفی بررسی گردید.

## مواد و روش ها

### طراحی و ساخت دستگاه محاسبه گر انرژی مصرفی در موتور

#### طراحی و ساخت وات متر

وات مترها دستگاه هایی هستند که جهت اندازه گیری توان مصرفی در یک وسیله الکتریکی به کار می روند. سیستم استفاده شده برای آسیاب کردن شامل یک پیش مخزن همراه با هلیس برای انتقال یکنواخت یونجه به داخل آسیاب، آسیاب چکشی، وات متر همراه با data logger و یک عدد کامپیوتر برای ذخیره داده ها بود که طرحواره آن در شکل 1 نشان داده شده است.



شکل 1- طرحواره سیستم استفاده شده برای آسیاب کردن سه اندازه یونجه خرد شده

توان مصرفی در مدار طراحی شده از طریق رابطه 2 محاسبه شد.

$$P = 1/T \int_0^T V(t) \cdot I(t) dt \quad (2)$$

در این رابطه  $V(t)$  نمایانگر تغییرات ولتاژ نسبت به زمان،  $I(t)$  تغییرات جریان نسبت به زمان در یک دوره تناوب  $T$  و  $P$  توان مصرفی در یک سیکل است. طریقه محاسبه توان بدین صورت بود که هر 100 میکرو ثانیه از ولتاژ و جریان نمونه برداری شده و سپس ولتاژ و جریان در هم ضرب شده و تغییرات توان نسبت به زمان در یک سیکل بدست می آمد، بنابراین 200 داده توان در یک سیکل (0/02 ثانیه) داشتیم. سپس از انتگرال گیری به روش عددی که برنامه مربوط به این قسمت در میکرو کنترلر ATmega8 به زبان بیسیک (در 50 سطر) نوشته شده بود، توان محاسبه و بر روی Seven segment نمایش داده می شد. از مزایای این روش عدم تاثیرگذاری هارمونیک ها بر نتیجه اندازه گیری است. رابطه 3 تنها در مواقعی صادق است که شکل موج ولتاژ و جریان دقیقاً سینوسی یکنواخت باشد، در غیر اینصورت خطا بوجود می آید. چون ما از روش محاسبات عددی و نمونه برداری پی در پی استفاده کردیم و سطح متوسط توان را اندازه گیری کردیم شکل ظاهری ولتاژ و جریان بر خروجی ما تاثیر گذار نیست. همچنین سرعت دقت در این روش بیشتر است زیرا تمام محاسبات و اندازه گیری ها برای یک سیکل موج انجام دادیم.

نمونه برداری از ولتاژ بدین صورت بود که ولتاژ برق شهر قبل از ورود به مدار ابتدا از یک ترانسفورماتور کاهنده (220 به 6 ولت) که در داخل یک جعبه بیرون از ساختار مدار تعبیه شده بود وارد می شد. رابط بین ترانسفورماتور و مدار یک کانکتور (از نوع مخابراتی) بود. ولتاژ پس از تضعیف به وسیله ترانسفورماتور وارد یک مدار تقویت کننده تفاضلی که شامل یک تقویت کننده عملیاتی (آپ امپ) و چند عدد مقاومت بود، وارد می شد (شکل 3). آپ امپ موجود در مدار شکل 3 (U8) در ناحیه خطی عمل می کند در عمل ولتاژ خروجی از نظر شکل ظاهری شبیه به ورودی بود با این تفاوت که این ولتاژ تضعیف می شد. خروجی تقویت کننده به پایه شماره 3 پورت C میکروکنترلر که این پایه در میکروکنترلر به صورت ورودی آنالوگ تعریف شده بود ارسال می شد.

نمونه برداری از جریان نیز بدین صورت بود که در ابتدا جریان از مقاومت خیلی کوچک (0/1 اهم) موجود در جعبه بیرون از مدار، عبور کرده و اختلاف پتانسیلی را در دو سر مقاومت ایجاد می کرد. ولتاژ تولید شده طبق رابطه اهم متناسب با جریان عبوری بود. ولتاژ خروجی وارد قسمت  $U_3$  مدار شده و عمل تقویت ولتاژ صورت می گرفت (شکل 3).

### طراحی و ساخت Data logger

در این قسمت داده های توان نسبت به زمان به صورت نمودار بر روی صفحه LCD گرافیکی نمایش داده می شد. زمان مورد نیاز توسط یک صفحه کلید که در پایین LCD قرار گرفته بود وارد می شد. انتگرال گیری به روش عددی از سطح زیر نمودار توان با زمان که همان انرژی مصرفی است انجام شده و داده حاصل از این انتگرال گیری بر روی صفحه LCD نشان داده می شد. برنامه مربوط به این قسمت در میکروکنترلر ATmega32L به زبان بیسیک (در 147 سطر) نوشته شده بود. نرخ نمونه برداری در data logger ثابت نبوده و با توجه به مدت زمان وارد شده برای داده برداری محاسبه می شد. از آنجا که داده ها به صورت نقطه ای بر روی LCD نمایش داده می شد و پیکسل آن  $128 \times 64$  بود فقط امکان دریافت 128 داده از وات متر مقدور بود. طبق برنامه نوشته شده در

داخل میکروکنترلر زمان وارد شده که برای یونجه عبور کرده از توری 18، 15 ثانیه و برای دو اندازه دیگر 22 ثانیه بود، بر 128 تقسیم شده تا نرخ نمونه برداری بدست آید.

منبع تغذیه اصلی در قسمت data logger از یک آداپتور، کانکتور، رگولاتور و دو خازن (یک خازن عدسی و یک خازن الکترولیتی) تشکیل شده بود (شکل 3). از طریق کانکتور (رابط بین آداپتور خارجی و مدار) ولتاژ 12 ولت وارد رگولاتور می شد. رگولاتور استفاده شده در این قسمت، ولت از 12 ولت را به 5 ولت تبدیل کرده و آن را یکنواخت می کرد. برای از بین بردن پارازیت های نهایی، ولتاژ خارج شده از رگولاتور از دو خازن عبور می کرد. بدین ترتیب قسمت های مختلف مدار تحت این ولتاژ تغذیه می شد.

داده ها از پورت D پایه یک میکروکنترلر به کار رفته در قسمت وات متر به وسیله یک عدد اپتو کوپلر نوری از طریق ارتباط سریال به قسمت data logger ارسال می شدند. مهم ترین کاربرد اپتو کوپلر ایزوله کردن قسمت ولتاژ بالای مدار است، که در مدار طراحی شده نیز جهت ایزوله کردن بخش data logger نسبت به قسمت وات متر استفاده شد. داده های ارسال شده از وات متر به پایه صفر مربوط به پورت D میکروکنترلر فرستاده می شد (شکل 3).

پورت های A و C موجود در میکروکنترلر ATmega32L برای ارتباط با LCD به کار گرفته شده بودند. در این قسمت داده های توان نسبت به زمان به صورت نمودار بر روی صفحه LCD نمایش داده می شد. لازم به ذکر است که در مدار ساخته شده دو عدد رله نیز به کار رفته بود که وظیفه آنان راه اندازی و متوقف کردن موتور آسیاب بود. از آن جا که داده های توان توسط این قسمت دریافت شده و بایستی در محدوده زمانی که توسط این بخش تعیین می شود داده برداری صورت گیرد، رله های به کار رفته در مدار همزمان با شروع داده برداری، موتور را راه اندازی و پس از آن موتور را متوقف می کنند. شکل واقعی دستگاه ساخته شده در شکل 4 آورده شده است.

### واسنجی دستگاه

یک عدد پتانسیومتر P2 جهت واسنجی توان در مدار ساخته شده استفاده شد. پتانسیومتر یک مقاومت متغیر است که دارای سه پایه (دو پایه ثابت و یک پایه متغیر) می باشد. در مدار ساخته شده ولتاژ به دو پایه ثابت آن اعمال شده و از یکی از پایه های ثابت و پایه متغیر دریافت می شد. با چرخاندن پتانسیومتر مقاومت آن تغییر و ولتاژ خروجی آن نیز تغییر می کند. بدین ترتیب در مدار ولتاژ متغیر داشتیم. همانطور که می دانیم توان حاصل ضرب ولتاژ در جریان است و جهت واسنجی توان، واسنجی یکی از دو پارامتر ولتاژ یا جریان کافی است. معیار واسنجی دستگاه چند عدد لامپ با توان های متفاوت بود که ابتدا توسط یک وات متر (ساخت کشور تایوان) با دقت 0/1 وات توان اندازه گیری شد و دستگاه ساخته شده بر اساس آن واسنجی شد. دستگاه ساخته شده در اندازه گیری انرژی مصرفی آسیاب چکشی در فرآیند آسیاب کردن یونجه خرد شده استفاده گردید.

### اندازه گیری انرژی مصرفی در فرآیند آسیاب کردن یونجه

نمونه ها به طور تصادفی از یونجه ی بسته بندی شده مکعبی موجود در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه صنعتی اصفهان واقع در جوزدان نجف آباد تهیه شد. نمونه ها ابتدا با خرمکوب مجهز به توری با قطر روزنه 18 میلی متر خرد شد. یونجه خرد شده به سه قسمت تقسیم شد، قسمت اول همان یونجه خرد شده با خرمکوب بود و دو قسمت دیگر به ترتیب از توری های به قطر روزنه 15 و 12 میلی متر عبور داده شدند. بدین ترتیب سه گروه مختلف یونجه خرد شده بدست آمد که تا زمان آزمایش در شرایط اتاق نگهداری شد. محتوای رطوبتی یونجه خرد شده طبق



پیش مخزن  
به همراه هلیس

آسیاب

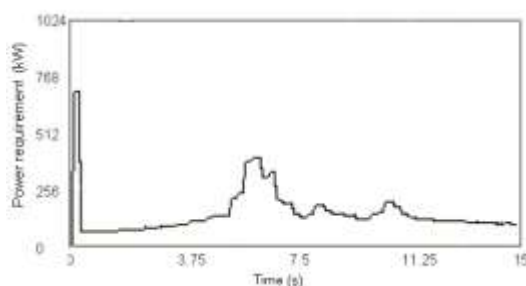


کامپیوتر

وات متر متصل به  
Data logger

شکل 4- نمونه واقعی دستگاه ساخته شده

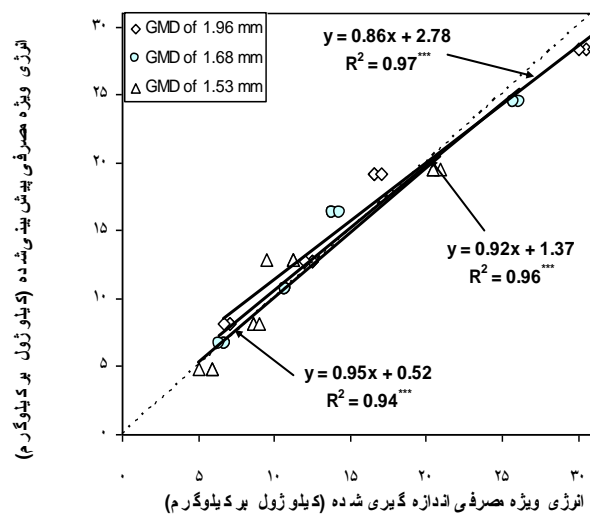
لازم به ذکر است که این تغییرات مربوط به یک فاز موتور بود. همانطور که در شکل مشخص است بیشترین انرژی ویژه مصرفی در زمان راه اندازی موتور بود. علت آن اتصال مستقیم موتور به جریان سه فاز بود که سبب می شد در زمان راه اندازی جریان خیلی زیادی (حدود 4 تا 7 برابر جریان نامی موتور) از سیم پیچ های موتور عبور کند. روندی مشابه در فرآیند کاهش اندازه بیومس توسط مانلو و همکاران (2006) و در فرآیند پلت کردن توسط تبیل (1996) مشاهده شد.



شکل 5- تغییرات توان با زمان در زمان آسیاب کردن یونجه عبور کرده از توری به قطر روزنه 18 میلی متر با توری به قطر روزنه 1/68 میلی متر.

مانی و همکاران (2006) مشاهده نمودند در فرآیند آسیاب کردن گندم، کلش جو، ذرت علوفه ای و Switchgrass با کاهش اندازه نهایی از 3/2 به 0/8 میلی متر، انرژی ویژه مصرفی به صورت خطی افزایش یافت. تبیل (1996) میانگین انرژی ویژه مصرفی مورد نیاز برای پلت کردن یونجه آسیاب شده با توری های به قطر روزنه های 2/4 و 3/2 میلی متر در سرعت 250 و 316 دور بر دقیقه به ترتیب 29/8 و 29/7 و 29/4 و 29 کیلووات ساعت بر تن گزارش نمود.

داده ها بر مدل ریتینگر برای هر یک از سطوح خرد شدگی برآزش گردید، برای ارزیابی مدل برآزش شده مقادیر پیش بینی شده توسط آن در مقابل مقادیر اندازه گیری شده رسم گردیدند (شکل 6). همانطور که در شکل 6 مشخص شده است، مدل ریتینگر با ضریب تبیین بالا ( $R^2 > 0/94$ ) و همچنین شیب خط فیت شده نزدیک به یک ( $> 0/85$ ) بین داده های اندازه گیری شده و پیش بینی شده را دارا می باشد.



شکل 11- مدل فیت شده ریتینگر با انرژی ویژه مصرفی برای سه اندازه خرد شدگی GMD میانگین قطر هندسی،  
معنی داری در سطح احتمال 0/1 درصد

#### نتیجه گیری:

دستگاه با وات متر با دقت 0/01 واسنجی گردید و در نهایت جهت ارزیابی عملکرد دستگاه ساخته شده جهت اندازه گیری انرژی مصرفی در فرآیند آسیاب کردن یونجه خرد شده مورد استفاده قرار گرفت. داده های بدست آمده در مدل ارائه شده توسط ریتینگر برآزش گردیدند و نتیجه این برآزش ضریب تبیین بالا ( $R^2 > 0/94$ ) بود.

#### منابع

1. اشرف جعفری، ع. 1384. نقش گراس ها ولگوم در تولید علوفه. اولین همایش ملی گیاهان علوفه ایی کشور، کرج
2. جابری معز. م. 1380. طراحی، ساخت و ارزیابی دستگاه نمونه پرس علوفه. پایان نامه کارشناسی ارشد. دانشکده کشاورزی. دانشگاه شیراز.
3. ASAE, (2003), ASAE S358.2 - Moisture measurement - forages. ASAE Standard.
4. Fang, Q., I. BÖlÖni, E. Haque and C. K. Spillman,(1997), Comparison of energy efficiency between a roller mill and a hammer mill. Trans. ASAE. 13: 631-635.
5. Henderson, S. M. and R. L. Perry, (1970), Agricultural process engineering. University of California. Printed in the United States of America.
6. Mani, S., Tabil, L.G., Sokhansang, S., (2006), Specific energy requirement for compaction corn stover. Bioresource Technology, 97, 1420-1426
7. Manlu, YU., A. R. Womac, P. I. Miu, C. Ighathinathance, I. Sokhansanj and S. Narayan,(2006), Direct energy measurement system for rotary biomass grinder-hammer mill. ASABE Annual International Meeting. Convention Center Portland, Oregon. paper No: 066217.
8. SAS, (2001), SAS Users' Guide: Statistics. Version 8.2 Statistical Analysis System, Ink., Raleigh, NC.
9. Tabil, L. G., (1996), Binding and pelleting characteristics of alfalfa. Thesis for the degree of

---

doctor of philosophy. University of Saskatchewan, Saskatoon.