تعیین انرژی مصرفی در سیستم‌های تبدیل شلتوک به برنج

محسن حیدری سلطان آبادی[1*]، اورنگ تاکی[2]، اردشیر اسدی[3]

۱- عضو هیئت علمی مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی اصفهان

۲- عضو هیئت علمی مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی اصفهان

۳- عضو هیئت علمی مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی اصفهان

* ایمیل نویسنده مسئول: mheisol@gmail.com

چکیده

میزان ضایعات و انرژی مصرفی در تبدیل شلتوک به برنج سفید، از جمله پارامترهای مهم در انتخاب یک سیستم مناسب تبدیل محسوب می‌شود. در این تحقیق انرژی مصرفی در سیستم‌های تبدیل سایشی و تیغه‌ای استان اصفهان مورد مقایسه قرار گرفت. به این منظور انرژی مصرفی تبدیل شلتوک در سه سیستم معمول تبدیل برنج شامل سیستم اصطکاکی (غلتک لاستیکی- سفیدکن تیغه‌ای) و دو سیستم از نوع سایشی (سایشی وارداتی چینی و ساخت داخل) اندازه‌گیری و مقایسه گردید. نتایج حاصل از محاسبه انرژی مصرفی در فرایند تبدیل شلتوک به برنج سفید نشان داد که مقدار مصرف انرژی الکتریکی بین ۱۰۷/۳ تا ۲۰۶/۶ مگاژول بر تن و میزان انرژی مصرفی در خشک کردن شلتوک بین ۳۷۳ تا ۱۹۴۱/۵ مگاژول بر تن متغیر است. به طور کلی مصرف انرژی در سیستم‌های سایشی بیشتر از نوع تیغه‌ای است.

واژه‌های کلیدی: انرژی مصرفی، برنج، سفیدکن سایشی، سفیدکن تیغه‌ای

مقدمه

برنج یکی از مهم‌ترین محصولات غله‌ای جهان است، به طوری که تولید این محصول در سال ۲۰۱۲ میلادی در حدود۷۲۰ میلیون تن بوده است و تقریباً یک چهارم تولید محصول غله جهان می‌باشد (فاو، ۲۰۱۲). برنج بعد از گندم پر مصرف‌ترین محصول کشاورزی در ایران است. مقدار تولید شلتوک کشور سالانه حدود ۲/۷۵ میلیون تن می‌باشد که با ضریب تبدیل ۶۴ درصد، حدود ۱/۷۶ میلیون تن برنج تولید می‌شود (بی‌نام، ۱۳۹۰). بر خلاف سایر غلات، شکل ظاهری و درصد شکستگی برنج، از عوامل تعیین کننده کیفیت محصول است. مطالعات نشان می‌دهد که در بازارهای جهانی درصورت وجود خرده برنج در محصول عرضه شده، قیمت آن با توجه به شرایط تا یک دهم قیمت برنج مرغوب، کاهش می یابد. شکسته شدن برنج تابع عوامل زیادی نظیر رقم،

مدیریت زراعی، رطوبت هنگام برداشت و تبدیل، روش خشک کردن و وسایل به کار گرفته شده در سیستم تبدیل است (حیدری سلطان‌آبادی، ۱۳۸۴). در طی عملیات تبدیل، شلتوک به برنج سفید تبدیل می‌گردد.

این عملیات شامل خشک کردن، تمیز کردن یا بوجاری، پوست‌کنی[۱]، سفیدکردن[۲]، براق کردن[۳] و درجه بندی است. عمده ضایعات برنج (برنج شکسته شده) در مرحله تبدیل و به خصوص در سفیدکن‌ها بوجود می‌آید. از طرفی عوامل تضعیف کننده استحکام برنج مانند وجود ترک‌های ایجاد شده در مراحل برداشت و خشک کردن نیز خود را در این مرحله نشان می‌دهد. سیستم‌های تبدیل شلتوک از لحاظ به‌کارگیری تجهیزات تبدیل، به سایشی و اصطکاکی (تیغه‌ای) تقسیم می‌شوند. در سیستم سایشی از سفیدکن‌های سایشی[۴] و در سیستم‌های اصطکاکی از سفیدکن‌های تیغه‌ای[۵] استفاده می‌شود.

تعیین انرژی مصرفی در واحدهای تولیدی و اندازه‌گیری محصول تولید شده به ازای انرژی مصرفی، یکی از روش‌های ارزیابی عملکرد فرایند تولید است. سیستم‌های تبدیل برنج را نیز می‌توان از طریق اندازه‌گیری انرژی مصرفی به ازای وزن برنج تبدیلی، مقایسه و ارزیابی کرد. در واحدهای شالی‌کوبی، به جز انرژی انسانی (کارگری) که سهم ناچیزی در انرژی کل مصرفی دارد بقیه انرژی به صورت انرژی الکتریکی و انرژی گرمایی به مصرف می‌رسد. در این زمینه تحقیقات چندی برای اندازه‌گیری این انرژی‌ها صورت پذیرفته است. حیدری‌سلطان آبادی و همکاران (۱۳۸۹) میزان برق مصرفی در سیستم‌های تبدیل تیغه‌ای و سایشی را به ترتیب ۱۸ و ۳۶ کیلووات ساعت بر تن گزارش کرد. در تحقیق دیگری در بنگلادش، انرژی الکتریسیته مصرفی در سیستم‌های تبدیل تیغه‌ای و سایشی به ترتیب ۱۹ و ۲۹/۳ کیلووات ساعت بر تن اندازه‌گیری شد (آهیدوزمان و صدر الاسلام، ۲۰۰۹). گویال و همکاران (Goyal *et al.*, 2008) میزان انرژی تبدیل برنج را بین ۱۴/۴۲ تا ۳۶/۳ کیلووات ساعت بر تن اعلام کردند. استان اصفهان با داشتن سطح زیر کشت ۶۴۰۰ هکتاری برنج و عملکردی برابر ۵/۲ تن در هکتار، از جمله استان‌های تولید کننده برنج محسوب می‌شود (بی‌نام،۱۳۹۱). سطح زیر کشت برنج دراین استان به علت محدودیت‌های آب و خشک‌سالی‌های مکرر، در طول دهه اخیر به یک سوم سال‌های قبل رسیده است. صنایع تبدیل برنج در این استان بر حسب ضرورت و با پیشرفت‌های صنعتی توسعه یافته است. اکثر کارگاه‌های برنج‌کوبی استان در حاشیه رودخانه زاینده رود و در شهرستان‌های لنجان، نجف آباد و اصفهان قرار دارند که علت آن کاشت برنج در این مناطق است. در ابتدای ورود صنعت تبدیل برنج در استان بیشتر واحدهای شالی‌کوبی تنها به سفیدکن‌های تیغه‌ای مجهز بودند که عملیات پوست‌کنی و سفید کردن برنج در دو یا سه دستگاه انجام می‌شد. از خصوصیات این سیستم راندمان تبدیل پایین و درصد شکستگی بالای برنج است. در دو دهه اخیر اکثر واحدهای برنج‌کوبی به پوست‌کن‌های غلتک لاستیکی تجهیز گردید که موجب افزایش راندمان تبدیل برنج شد. همچنین با توجه به نقش زیاد رطوبت

---

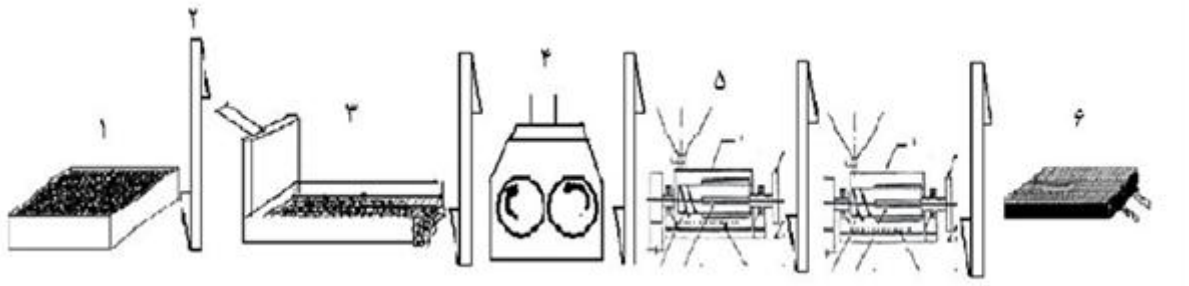
[1]- Husking
[2] - Whitening
[3] - Polishing
[4] - Abrasive Rice Miller
[5] - Frictional Rice Miller

شلتوک در زمان تبدیل، برخی از برنجکوبی‌ها اقدام به نصب خشک‌کن‌های بستر ثابت افقی برنج کردند که‌این عمل با توجه به کنترل فرایند خشک کردن شلتوک، درصد برنج سالم را افزایش داده است. در ادامه توسعه صنایع تبدیل برنج ، در ۱۰ سال گذشته تعداد معدودی از واحدهای شالی‌کوبی استان سیستم‌های تبدیل قدیمی را با ادوات جدید تعویض نموده اند. این ادوات شامل سفیدکن‌های سایشی، پادیه، سنگ گیر، پولیشر و الک‌های درجه بند است. سیستم‌های سایشی راندمان تبدیل را افزایش و درصد شکستگی برنج را در فرایند تبدیل کاهش داده است (حیدری‌سلطان آبادی و همکاران، ۱۳۸۹). با این وجود به علت برخی از محدودیت‌ها تجهیز تمامی‌واحدهای برنج‌کوبی میسر نگردیده است. از جمله این دلایل می‌توان به هزینه اولیه بالای تجهیزات، کاهش شدید سطح زیر کشت برنج در استان، زیاد بودن حداقل برنج ورودی به دستگاه‌های جدید نسبت به سیستم‌های قدیمی و افزایش انرژی مصرفی سیستم‌های جدید اشاره کرد.

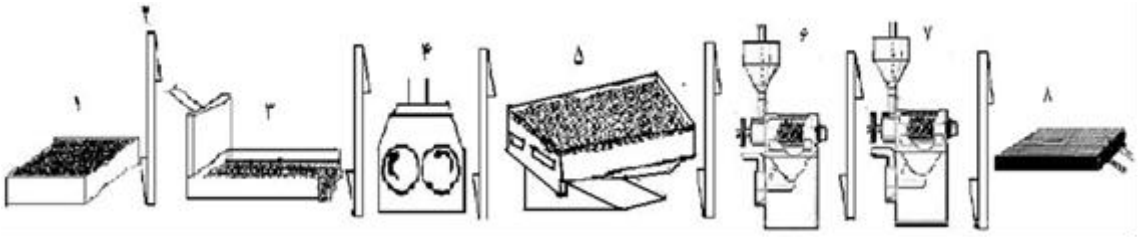
هدف از تحقیق حاضر، اندازه‌گیری و مقایسه انرژی مصرفی سه سیستم متداول تبدیل برنج در استان اصفهان می‌باشد.

مواد و روش‌ها

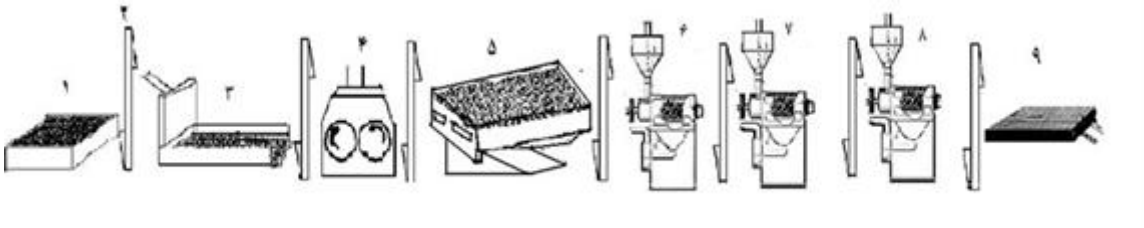
در این تحقیق، انژری مصرفی سه سیستم معمول تبدیل برنج در کارگاه‌های شالی‌کوبی استان اصفهان، شامل یک سیستم از نوع اصطکاکی و دو سیستم از نوع سایشی، اندازه‌گیری و مورد بررسی و مقایسه قرار گرفت. سیستم‌های اصطکاکی از یک یا دو دستگاه پوست‌کن غلتک لاستیکی و دو یا سه دستگاه سفیدکن تیغه‌ای به صورت سری تشکیل شده بود (شکل ۱). در سیستم سایشی وارداتی از دو سفیدکن سایشی ساخت کشور چین که به صورت سری بودند استفاده می‌شد (شکل ۲). در سیستم سایشی داخلی، علاوه بر دو دستگاه سفیدکن سایشی ساخت کشور ایران، یک دستگاه پولیشر نیز در انتهای خط تبدیل قرار داشت (شکل ۳). جدول ۱ دستگاه‌های مورد استفاده و تعداد آن‌ها را نشان می‌دهد. به منظور تعیین مقدار کل انرژی مصرفی در هر سیستم، انرژی ناشی از سوخت (نفت یا گاز طبیعی) و برق مصرفی در یک دور فعالیت فصلی کارگاه مطابق با قبض برق یا گاز صادره محاسبه شد. به این ترتیب که مقدار شلتوک تبدیل شده در دورهٔ کاری مورد نظر از دفتر اطلاعات کارگاه شالیکوبی ثبت شد و مقدار سوخت مصرفی (بر حسب لیتر یا متر مکعب) و برق مصرفی (بر حسب کیلووات ساعت) در همان دوره زمانی از قبض‌های صادره از شرکت برق و گاز اخذ گردید. با تبدیل مقدار انرژی سوخت و برق مصرفی بر حسب مگاژول، انرژی مصرفی ویژه (مگاژول بر تن شلتوک تبدیلی) در هر سیستم تبدیل، محاسبه شد.



شکل۱- طرحواره سیستم تبدیل اصطکاکی: ۱:خشک‌کن، ۲: بالابر، ۳: دستگاه بوجار، ٤: ماشین پوست‌کن غلتک لاستیکی (یک یا دو واحد)، ٥: ماشین سفیدکن تیغه‌ای (دو یا سه واحد)، ٦: درجه بند برنج سفید



شکل۲- طرحواره سیستم تبدیل سایشی وارداتی
۱: خشک‌کن، ۲: بالابر، ۳: دستگاه بوجار، ٤: ماشین پوست‌کن غلتک لاستیکی، ٥: پادیه، ٦ و۷: ماشین سفیدکن سایشی ۸: درجه بند برنج سفید



شکل ۳- طرحواره سیستم تبدیل سایشی داخلی
۱: خشک‌کن، ۲: بالابر، ۳: دستگاه بوجار، ٤: ماشین پوست‌کن غلتک لاستیکی، ٥: پادیه، ٦و۷: ماشین سفیدکن سایشی ۸: پولیشر (صیقل دهنده) ۹: درجه بند برنج سفید

جدول ۱ - تجهیزات مورد استفاده در واحدهای شالی‌کوبی

	نوع سیستم تبدیل						
تعداد دستگاه	اصطکاکی (۱)	اصطکاکی (۲)	اصطکاکی (۳)	اصطکاکی (۴)	سایشی (۱)	سایشی (۲)	سایشی (۳)
خشک‌کن	۱	۱	۲	۱	–	–	۳
دستگاه بوجار	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱
سنگ گیر	–	–	–	–	۱	۱	۱
پوست‌کن	۱	۱	۲	۱	۱	۱	۱
پادیه	–	–	–	–	۱	۱	۱
سفیدکن	۲	۲	۳	۲	۲	۲	۲
پولیشر	–	–	–	–	–	۱	–
درجه بند	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱
الواتور	۴	۴	۷	۴	۷	۸	۷

نتایج و بحث

به منظور اندازه‌گیری انرژی مورد مصرف در واحدهای برنج‌کوبی، ۷ واحد شالی‌کوبی شامل ۴ واحد اصطکاکی (تیغه‌ای) و ۳ واحد سایشی مورد بررسی قرار گرفت. جدول ۲ مشخصات مصرف انرژی در هر یک از واحدهای شالی‌کوبی‌ها را نمایش می‌دهد. انرژی مورد محاسبه در دو بخش انرژی الکتریسیته مورد نیاز برای راه‌اندازی واحدهای مختلف و انرژی گرمایی لازم برای خشک کردن شلتوک مصرف می‌شود. به منظور یکسان‌سازی واحدهای مصرف انرژی، مقادیر آنها بر حسب واحد وزن شلتوک تبدیلی (تن) بیان گردیده است. طبق اندازه‌گیری‌ها، مقدار مصرف انرژی الکتریکی از ۲۹/۸ الی ۵۷/۴ کیلووات ساعت بر تن (۱۰۷/۳ الی ۲۰۶/۶ مگاژول بر تن) متغیر است که صرف راه اندازی موتورهای الکتریکی ادوات و تجهیزات می‌شود. علت تفاوت این مقادیر، تعداد و توان مصرفی تجهیزات مورد استفاده، ظرفیت کاری دستگاه‌ها و نحوه استفاده از آن‌ها می‌باشد. در تحقیقی میزان انرژی الکتریکی مصرفی در سیستم‌های تبدیل تیغه‌ای و سایشی به ترتیب ۶۴/۸ و ۱۲۹/۶ مگاژول بر تن به‌دست آمد (حیدری‌سلطان آبادی ۱۳۸۹). در تحقیق دیگری در بنگلادش، انرژی الکتریسیته مصرفی در سیستم‌های تبدیل تیغه‌ای و سایشی به ترتیب ۶۸/۴ و ۱۰۵/۵ مگاژول بر تن اندازه‌گیری شد (Ahiduzzaman and Sadrul Islam, 2009). چابرا و همکاران (۱۳۸۵) با بررسی انرژی الکتریکی مصرفی در واحدهای شالی‌کوبی شمال کشور، این مقدار را در واحدهای شالی‌کوبی سنتی و پیشرفته به ترتیب ۱۱۵۲ و ۳۵۹ مگاژول بر تن به دست آوردند. مقادیر مصرف انرژی برق در شالی‌کوبی‌های مورد مطالعه در استان اصفهان (تحقیق حاضر) نسبت به مقادیر گزارش شده توسط برخی از محققان بیشتر است. از دلایل این امر، اضافه شدن انرژی الکتریکی مصرفی در خشک‌کن‌ها و عدم فعالیت دستگاه‌ها با ظرفیت کامل خود می‌باشد.

طبق نتایج جدول ۲ میزان انرژی مصرفی در خشک کردن شلتوک بین ۳۷۳ تا ۱۹۴۱/۵ مگاژول بر تن متغیر است که علت این تغییر مقادیر، رطوبت و حجم متفاوت شلتوک ورودی به خشک‌کن‌ها می‌باشد. برخی از برنج‌کوبی‌ها هنوز به خشک‌کن مجهز نشده‌اند که علت آن حجم ورودی کم شلتوک یا استفاده از نور مستقیم آفتاب برای خشکاندن شلتوک است. آهیدوزمان و صدرالاسلام (Ahiduzzaman and Sadrul Islam, 2009)، مقدار انرژی لازم برای خشک کردن هر تن شلتوک را ۱۵۴۰ مگاژول اعلام کردند. با احتساب مجموع انرژی مصرفی در بخش الکتریکی و گرمایی، انرژی مصرفی در تبدیل شلتوک از ۲۰۶/۶ تا ۲۱۳۰/۵ مگاژول بر تن به‌دست آمد. علت این اختلاف زیاد، عدم استفاده از خشک‌کن در برخی از واحدهای برنج‌کوبی است. میانگین مصرف انرژی الکتریکی و گرمایی به ازای تبدیل هر تن شلتوک به ترتیب ۱۵۷/۴ و ۱۱۵۶ مگاژول بر تن حاصل شد (جدول ۲). گویال و همکاران (Goyal *et al.*, 2008) میزان کل انرژی لازم برای تبدیل شلتوک پاربویل شده و بدون پاربویل[1] را به ترتیب ۳۳۲۶ و ۱۳۰/۴ مگاژول بر تن به‌دست آوردند که ۳۱۰۵ مگاژول بر تن، صرف پاربویل کردن شلتوک شد. طبق این تحقیق، ۵۲۷/۲۱ کیلو وات ساعت برای غوطه وری، ۷۵/۱۶ کیلو وات ساعت برای بخار دهی و ۲۷۱/۵۸ کیلو وات ساعت انرژی صرف فرایند خشک کردن شلتوک پاربویل شده گردید. همچنین در تحقیق ایشان نتیجه‌گیری شد که ۴۸ تا ۵۰ درصد انرژی

[1] - Parboiling

جدول ۲ - مشخصات واحدهای شالی‌کوبی مورد بررسی در اندازه‌گیری انرژی

	نوع سیستم تبدیل							
	اصطکاکی (۱)	اصطکاکی (۲)	اصطکاکی (۳)	اصطکاکی (۴)	سایشی (۱)	سایشی (۲)	سایشی (۳)	میانگین
مجموع کل شلتوک تبدیلی (تن در سال)	۳۲۰	۲۸۰	۳۵۰	۳۰۰	۴۵۰	۳۰۰	۵۵۰	۳۶۴/۳
ظرفیت کاری واحد شالی‌کوبی (تن در ساعت)	۰/۴۴	۰/۴	۰/۶۶	۰/۳۶	۰/۷	۱	۱	۰/۶۵
الکتریسیته مصرفی (کیلووات ساعت در ساعت)	۱۳/۹	۱۳/۲	۳۱/۷	۱۰/۷	۳۷/۷	۵۷/۴	۵۲/۵	۳۱
الکتریسیته مصرفی (کیلووات ساعت بر تن)	۳۱/۵	۳۳/۱	۴۸	۲۹/۸	۵۳/۸	۵۷/۴	۵۲/۵	۴۳/۷
انرژی الکتریسیته مصرفی (مگاژول بر تن)	۱۱۳/۴	۱۱۹/۲	۱۷۲/۸	۱۰۷/۳	۱۹۳/۷	۲۰۶/۶	۱۸۹	۱۵۷/۴
سوخت مصرفی (متر مکعب در ساعت)	۲/۲۲*	۴/۳۶	۳/۳۳	۲/۵۶	۰	۰	۴/۱۶	۳/۳۳
مقدار انرژی سوخت مصرفی (مگاژول بر تن)	۳۷۳	۱۶۹۵	۱۵۵۳/۶	۳۹۸	۰	۰	۱۹۴۱/۵	۱۱۵۶
مجموع انرژی مصرفی در تبدیل (مگاژول بر تن)	۴۸۶/۴	۱۸۱۴/۲	۱۷۲۶/۴	۵۰۵/۳	۱۹۳/۷	۲۰۶/۶	۲۱۳۰/۵	۱۰۰۹

*سوخت مصرفی گازوئیل بوده و واحد آن لیتر در ساعت است.

الکتریکی مصرفی کل مربوط به ماشین‌های تبدیل مـی باشـد. ابـراهیم و همکـاران (Ibrahim *et al.*, 2014) در بررسـی انـرژی مصرفی در خشک‌کن‌های بستر مایل برنج، انرژی الکتریکی مصرفی را بین ۶۵/۴ تا ۹۹/۲ مگاژول بر تن و انرژی گرمایی مصرفی را بین ۹۶۰ تا ۱۳۲۸/۵ مگاژول بر تن گزارش کردند. در تحقیقی توسط مرکز بین المللی توسعه تحقیقات کانادا (IDRC) گـزارش شده است که در فرایند پاربویلینگ یک تن شلتوک به ترتیب برای خیسـاندن در آب گـرم ۳۶۰، بـرای بخـاردهی ۱۰۵/۵ و بـرای خشک کردن ۵۷۴ مگا ژول انرژی لازم است (Araullo *et al.*, 1985). در تحقیق یوسف ابراهیم (Yusuf Ibrahim, 2011) در نیجریه نتیجه‌گیری شد که ۵۴/۶ درصد از مجموع کل انرژی مصرف شده روزانه (۲۴۲۷/۴۴ مگاژول) برای تبدیل برنج از سـوخت دیزل تامین می‌شود.

نتیجه‌گیری کلی

محاسبه انرژی مصرفی در فرایند تبدیل شلتوک به برنج سفید در تعدادی از سیستم‌های تبدیل تیغه‌ای و سایشی نشان از آن داشت که مقدار مصرف انرژی الکتریکی از ۲۹/۸ الی ۵۷/۴ کیلووات ساعت بر تن (۱۰۷/۳ الی ۲۰۶/۶ مگاژول بر تن) متغیر است. میـزان انرژی مصرفی در خشک کردن شلتوک نیز بین ۳۷۳ تا ۱۹۴۱/۵ مگاژول بر تن اندازه‌گیری شـد کـه علـت ایـن تفـاوت، اخـتلاف رطوبت و حجم شلتوک ورودی به خشک‌کن‌ها است. مجموع انرژی مصرفی در تبدیل شلتوک شـامل انـرژی الکتریکـی و انـرژی گرمایی خشک‌کن‌ها از ۲۰۶/۶ تا ۲۱۳۰/۵ مگاژول بر تن متغیر است.

فهرست منابع

بی‌نام، ۱۳۹۱. آمار زراعی استان اصفهان.

بی‌نام، ۱۳۹۰. آمارنامه کشاورزی جلد اول: محصولات زراعی، سال زراعی ۱۳۹۰– ۱۳۸۹. وزارت جهاد کشاورزی، دفتر آمار و فناوری اطلاعات.

چابرا، د.، کاشانی نژاد، م. و رفیعی، ش. ۱۳۸۵. بررسی و مقایسه میزان ضایعات در خشک‌کن‌های خوابیده و ایسـتاده. دوازدهمـین همایش ملی برنج کشور. بابلسر. مازندران.

حیدری سلطان‌آبادی، م. ۱۳۸۴. بهینه سازی سیستم سفید کن تیغه‌ای برنج با استفاده از مارپیچ انتقـال. گـزارش پژوهشـی نهـایی. موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی. مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی اصفهان.

حیدری سلطان‌آبادی، م.، ملک، س.، قزوینی، ح.، شاکر، م. و هدایتی زاده، م. ۱۳۸۹. بررسی میزان شکست ارقام بـرنج اصـفهان در سفیدکن‌های سایشی و مالشی و تعیین رطوبت مناسب تبدیل آنها. مجله تحقیقات مهندسی کشاورزی. جلد ۱۱. شماره ۱. ص ۸۴– ۶۷.

Araullo, E.V., D. B. Depadua, and M. Graham. 1985. Rice post harvest technology. IDRC-053e. International Development Research Centre: Ottawa, Canada, pp.198-200.

Food and Agriculture Organization. 2013. http://faostat.fao.org/site/339/default.aspx.

Goyal, S. K., S. V. Jogand, and A. K. Agarwal. 2008. A Study of Energy Audit in Rice Processing Machines. Progressive Agriculture. Vol. 8(1).34-38.

Ibrahim, M. N, M. S. H. Sarker, N. Ab Aziz, and P. Mohd Salleh. 2014. Drying performance and overall energy requisite of industrial inclined bed paddy drying in Malaysia. Journal of Engineering Science and Technology. Vol. 9(3). 398 – 409.

Mohammed Ahiduzzaman, M. and A. K. M. Sadrul Islam. 2009. Energy utilization. and environmental aspects of rice processing industries in Bangladesh. Energies. 2, 134-149. doi:10.3390/en20100134.

Yusuf Ibrahim, H. 2011. Energy use analysis in rice milling: a case study of lafia rice mill nasarawa state, Nigeria. Elixir Agriculture 35: 2760-2763.