مجله تحقیقات مهندسی کشاورزی/جلد ۱۱/ شماره ۲/سال ۱۳۸۹/ص ۱۶-۱

تعیین انرژی سفیدکردن، شاخص انرژی مصرفی و شاخص سفیدشدگی در سه رقم برنج

غلامرضا روحی*، میرحسین پیمان و سعید مینایی**

* نگارنده مسئول، نشانی: خوزستان، دانشگاه آزاد اسلامی واحد ایذه، ص. پ. ۱۹۵-۶۳۹۱۵، تلفن: ۵۲۲۴۰۴۰(۰۶۹۲)، پیام‌نگار: gh_reza_roohi@yahoo.com

** به ترتیب عضو هیئت علمی گروه مکانیک دانشگاه آزاد اسلامی واحد ایذه؛ استادیار گروه مکانیک ماشین‌های کشاورزی دانشگاه گیلان؛ و دانشیار گروه مکانیک ماشین‌های کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس

تاریخ دریافت: ۸۸/۲/۲۰؛ تاریخ پذیرش: ۸۸/۱۱/۳

چکیده

فرایند تبدیل برنج یکی از صنایع تبدیلی بخش کشاورزی است که در آن مقدار زیادی انرژی الکتریکی حاصل از سوخت‌های فسیلی مصرف می‌شود. برای بررسی اثر عوامل مختلف بر انرژی مصرفی در فرایند سفیدکردن برنج، شاخص سفیدشدگی و شاخص انرژی مصرفی در سفیدکردن، اثر سه عامل مدت زمان سفیدکردن، رقم، و رطوبت در مرحلهٔ سفیدکردن در قالب طرح کرت‌های دوبار خرد شده در سه تکرار بررسی شد. سطوح در نظر گرفته شده این عوامل عبارت بودند از: زمان سفیدکردن (در چهار سطح ۱۵، ۳۰، ۴۵، و ۶۰ ثانیه) به عنوان عامل اصلی، رقم (*خزر*، *بینام* و *علی‌کاظمی*) به عنوان عامل فرعی، رطوبت (در سه سطح ۱۴-۱۲/۵، ۱۲/۵-۱۱ و ۱۱-۹/۵ درصد بر پایهٔ تر) به عنوان عامل فرعی فرعی. پس از تجزیهٔ آماری داده‌های حاصل از اندازه‌گیری انرژی مصرفی سفیدکردن، شاخص انرژی مصرفی سفیدکردن، و شاخص سفیدشدگی، نتایج نشان داد که با افزایش مدت زمان سفیدکردن، انرژی مصرفی سفیدکردن افزایش و شاخص آن کاهش می‌یابد. در دو مدت زمان سفیدکردن ۱۵ و ۶۰ ثانیه، کاهش رطوبت تا سطح ۱۱-۹/۵ درصد باعث افزایش معنی‌دار در شاخص انرژی مصرفی سفیدکردن و افزایش زمان سفیدکردن از ۱۵ ثانیه به ۶۰ ثانیه، باعث افزایش شاخص سفیدشدگی می‌شود. شاخص سفیدشدگی رقم *خزر* به طور معنی‌دار بیشتر از دو رقم دیگر است. شاخص انرژی مصرفی سفیدکردن رقم *خزر* در هر سه سطح رطوبتی به طور معنی‌داری بیشتر از دو رقم دیگر است. بهترین حالت از نظر شاخص انرژی مصرفی سفیدکردن و شاخص سفیدشدگی برای هر سه رقم، مدت زمان ۱۵ ثانیه و رطوبت ۱۱-۹/۵ درصد تشخیص داده شد. البته برای رقم *خزر* افزایش این شاخص‌ها واضح‌تر بود.

واژه‌های کلیدی

انرژی مصرفی، برنج، شاخص انرژی مصرفی، شاخص سفیدشدگی

مقدمه

با توجه به ارزش بالای سوخت‌های فسیلی که برای تولید انرژی الکتریکی به‌کار می‌رود و همچنین هزینهٔ بالای تولید انرژی الکتریکی توسط توربین‌های آبی و بادی، بهینه کردن مصرف انرژی الکتریکی در صنعت و کشاورزی بسیار مهم است. در کشور ما سالانه در حدود ۲/۴ میلیون تن شلتوک تولید می‌شود، که انرژی زیادی برای تبدیل این مقدار شلتوک لازم است و ضمن آنکه کاهش ضایعات برنج در مرحلهٔ پوست‌کنی و سفیدکنی نیز حائز اهمیت می‌باشد (Payman, 2000). تحقیقات نشان داده است که رطوبت دانهٔ شلتوک تأثیر زیادی بر کیفیت تبدیل آن به برنج سفید و قیمت محصول دارد (Abdur Rah man *et al.*, 1996) و تغییرات میزان رطوبت دانه نیز در هنگام تبدیل، اثر بسیار زیادی بر

© 2013,The Author(s). Published by Agricultural Engineering Research Institute. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

عملکرد تبدیل دارد (Yadav *et al*., 2008). یکی از عوامل مهم در کیفیت فرایند تبدیل برنج قهوه‌ای به برنج سفید، زمان سفیدکردن است. افزایش مدت زمان قرارگیری دانه‌ها در محفظهٔ سفیدکن، مقدار شکست دانه را افزایش می‌دهد (Batista *et al*., 2000). اثر مقدار رطوبت دانه بر میزان برنج سفید سالم پس از سفیدکنی موضوع مهمی است که تحقیقات زیادی در مورد آن صورت گرفته است. تحقیقات پومینسکی و همکاران (Pominiski *et al*., 1961) نشان می‌دهد که مقدار رطوبت دانه، اختلاف معنی‌داری از نظر ایجاد درصد خردشدن، پس از سفیدکنی، برای رقم *Bluebonnet50* به وجود می‌آورد. این محققان می‌گویند در محدوده رطوبتی ۱۰ تا ۱۴درصد به ازای هر یک درصد کاهش رطوبت، برنج سالم و کل برنج سفیدشده به ترتیب ۳ و ۰/۷ درصد افزایش می‌یابد. استیپ و همکاران (Stipe *et al*., 1972) پس از پوست کنی رقم *Saturn* و اندازه‌گیری رطوبت برنج قهوه‌ای قبل از سفیدکنی، نشان دادند که بالا رفتن رطوبت از حد نرمال، درصد خردشدگی پس از سفیدکنی را افزایش می‌دهد. نتایج تحقیات این محققان نشان می‌دهد که درصد خردشدگی پس از سفیدکنی نمونه‌های برنج قهوه‌ای دارای ۱۲ تا ۱۴ درصد رطوبت نسبت به نمونه‌های دارای ۱۶ تا ۱۸ درصد رطوبت، کمتر است.

یکی از عوامل مهم در فرایند سفیدکنی، مدت زمان سفیدکردن است که اگر درست تعیین نشود، می‌تواند باعث افزایش خردشدگی برنج در این مرحله شود. تحقیقات اوتری و همکاران (Autrey *et al*., 1955) نشان می‌دهد که در مدت زمان سفیدشدن، ۲۵ درصد ازکل خردشدگی مربوط به ۷۵درصد از برنج قهوه ای ورودی به سفیدکن است و ۷۵ درصد باقیماندهٔ خردشدگی مربوط به ۲۵ درصد برنج قهوه‌ای باقیمانده در محفظهٔ سفیدکن است. اسمیت و مک‌کری (Smith & Mccrea, 1951) تعداد زیادی از واریته‌های مختلف برنج را در ۱۵ تا ۹۰ ثانیه سفید کردند. نحوهٔ کار آنها این‌گونه بود که ابتدا همهٔ نمونه‌ها را در مدت زمان ۱۵ ثانیه سفید کردند و درصد خردشدگی را به دست آوردند. سپس برای نمونه‌های مربوط به زمان سفیدکنی ۳۰ ثانیه، نمونه‌های قبلی را (پس از محاسبهٔ درصد خردشدگی) به مدت ۱۵ ثانیه دیگر سفید کردند (برای این کار دانه‌های خرد و سالم را مخلوط کردند و به نمونهٔ اولیه برگرداندند). با محاسبهٔ درصد خردشدگی، اختلاف خردشدگی این دو مدت زمان سفیدکنی را به دست آوردند. برای زمان سفید کنی ۴۵ ثانیه نیز نمونه‌های سفید شده در مرحلهٔ قبل را به مدت زمان ۱۵ ثانیه دوباره سفید کردند و به همین روش اختلاف خردشدگی در زمان‌های مختلف سفیدکنی را به دست آوردند. پس از تحلیل آماری، نتیجه گرفتند که بیشترین خردشدگی در مرحلهٔ سفیدکنی در ۱۵ ثانیه اول اتفاق افتاده است.

پاندی و ساه (Pandey & Sah, 1993) تحقیقات جامعی در مورد رابطه بین خردشدگی و زمان سفیدکنی انجام دادند. آنها ۵ رقم برنج قهوه‌ای را در مدت زمان متغیر ۱۰ تا ۱۱۰ ثانیه با افزایش ۱۰ ثانیه‌ای سفید کردند و نتیجه گرفتند با افزایش مدت زمان سفیدکردن نسبت شکست برنج سفید شده افزایش می‌یابد. این افزایش برای رقم *P.D-4* به دلیل طویل‌تر بودن دانه‌ها نمود بیشتری داشت.

به منظور تحلیل نیرو و انرژی لازم برای سفید کردن برنج و تأثیر زمان سفید کردن برنج بر آن از روابط تحلیل نیرو استفاده می‌شود. نیروی اصطکاک وارد شده بر دانهٔ برنج در محفظهٔ سفیدکن از رابطهٔ ۲ به دست می‌آید. در این مدل فرض شده است که لایه‌های برنج در هنگام سفیدکردن سرعت یکسان ندارند و متناسب با فاصلهٔ آنها از توپی، از سرعت آنها کم می شود (رابطهٔ ۱) (Heidari-Soltanabadi, 1999):

$$V \propto \frac{1}{r} \Rightarrow V = \frac{k}{r} \qquad (۱)$$

که در آن،
V = سرعت خطی متوسط دانه در داخل محفظهٔ سفیدکن (متر بر ثانیه)؛ r= شعاع دوران دانه (متر)؛ و k= ضریب تناسب سرعت و شعاع دوران دانه (متر مربع بر ثانیه) است.

$$F = \mu.\rho.l.2\pi.k^2(\frac{1}{r_2}-\frac{1}{r_1}) \qquad (۲)$$

که در آن،
F = نیروی اصطکاک (نیوتن)؛ μ = ضریب اصطکاک دانه با دانه؛ ρ = جرم حجمی برنج (کیلوگرم بر مترمکعب)؛ l= طول همزن یا توپی سفیدکن (متر)؛ و r_2 و r_1 به ترتیب حداقل و حداکثر شعاع دوران دانهٔ برنج در محفظهٔ سفیدکن (متر) است.

بر طبق این رابطه، نیروی اصطکاک به عواملی مانند ضریب اصطکاک دانه با فلز، جرم حجمی دانه، و سرعت دانه در محفظهٔ سفیدکن بستگی دارد. بنابراین، عوامل فوق بر انرژی مصرفی در سفیدکن تأثیرگذار هستند. برای بررسی انرژی سفیدکردن، ارقام مختلف در سطوح رطوبتی متفاوت بررسی می‌شوند. زیرا رطوبت بر جرم حجمی و ضریب اصطکاک دانه در محفظهٔ سفیدکن تأثیرگذار می‌گذارد (Mohapatra *et al*., 2007). علاوه بر این، با توجه به کیفیت تبدیل به دست آمده، بهترین حالت کارکرد ماشین انتخاب می‌شود.

نتایج تحقیقات نشان می‌دهد که با طولانی‌تر شدن زمان سفیدکردن شاخص سفیدشدگی بیشتر می‌شود. این شاخص وقتی سفید کردن سه و یک دقیقه به طول انجامد به ترتیب ۰/۵۹ و ۰/۴۵ است (Heidari-Soltanabadi, 1999). از طرفی نتایج نشان داده که وقتی ۲۵۰ کیلوگرم برنج در ساعت به سفیدکن وارد شود شاخص سفیدشدگی بیشتر از زمانی است که ۱۵۰ کیلوگرم در ساعت وارد شود (Heidari-Soltanabadi, 1999). در مورد میزان انرژی مصرف شده در فرایند تبدیل برنج تحقیقات زیادی صورت نگرفته است. تحقیقات میدانی پیمان و همکاران (Payman *et al*., 2004) نشان می‌دهد که انرژی مصرفی تبدیل شلتوک رقم خزر در دو روش سنتی و نیمه مکانیزه به ترتیب ۱۱۲۳۹/۳ و ۸۳۴۶/۲ مگاژول در هر هکتار است.

هدف نهایی تحقیق حاضر، تعیین اثر پارامترهای عنوان شده بر میزان انرژی مصرفی برای سفیدکردن برنج قهوه‌ای و همچنین تعیین شاخص سفیدشدگی و راندمان انرژی مصرفی در سفیدکردن است. از نتایج به دست آمده از این تحقیق برای تعیین بهترین شرایط تبدیل از نظر کاهش مصرف انرژی و کیفیت بالای تبدیل (حداقل درصد خردشدگی) استفاده می‌شود.

مواد و روش‌ها

در این تحقیق اثر سه عامل مدت زمان سفیدکردن، رقم، و رطوبت بر میزان انرژی مصرفی، شاخص سفیدشدگی، و شاخص انرژی مصرفی سفیدکردن برنج قهوه‌ای در دستگاه سفیدکن مالشی آزمایشگاهی، بررسی شد. آزمایش‌ها به صورت کرت‌های دو بار خرد شده در قالب طرح پایهٔ بلوک‌های کامل تصادفی و در سه تکرار اجرا شد. زمان سفید کردن به عنوان عامل اصلی و رقم و رطوبت به ترتیب به عنوان عوامل فرعی اول و دوم انتخاب شدند. در آزمایش‌ها از سه رقم غالب برنج گیلان شامل علی کاظمی، بینام، و خزر استفاده و سه سطح رطوبتی ۱۴-۱۲/۵، ۱۲/۵-۱۱، و ۱۱-۹/۵ درصد بر پایهٔ وزن‌تر در نظر گرفته شد. چهار سطح مدت زمان سفیدکردن عبارت بودند از ۱۵،۳۰، ۴۵، و ۶۰ ثانیه و در تجزیهٔ واریانس داده‌ها، مقایسهٔ میانگین‌ها، و محاسبهٔ سایر شاخص‌های مورد نظر از نرم افزار MSTATC استفاده شد.

برای خشک کردن نمونه‌ها تا سطوح رطوبتی تعیین شده، از خشک‌کن مدل افقی خوابیده کارخانهٔ برنجکوبی بخش تحقیقات فنی و مهندسی مؤسسه تحقیقات برنج

(شکل ۱) و برای اندازه‌گیری رطوبت نمونه‌ها از رطوبت‌سنج دیجیتالی مدل GMK-303RS استفاده شد. این رطوبت‌سنج، الکتریکی و نوعی با اندازه‌گیری مقاومت است (شکل ۲).

شکل ۱- خشک‌کن افقی خوابیده

شکل ۲- رطوبت‌سنج دیجیتالی مدل GMK-303RS

در ابتدا ۳۰۰ گرم شلتوک از هر نمونه، با رطوبت‌های مورد نظر در طرح آزمایشی در شرایط توصیه شده (Payman, 2000) با دستگاه پوست کن آزمایشگاهی غلتک لاستیکی (شکل ۴)، پوست کنی شد. آنگاه ۱۲۰ گرم برنج قهوه‌ای سالم مورد نیاز هر نمونه (معادل ظرفیت سفیدکن آزمایشگاهی مدل MCGILL MILLER (شکل ۳)) برداشته شد. برای اندازه‌گیری توان موتور الکتریکی سفیدکن از توان‌سنج (Power Meter) استفاده شد. میزان انرژی مصرفی از حاصل ضرب توان اندازه‌گیری شده در مدت زمان اجرای عملیات به دست آمد و چون در توان‌سنج‌های موجود، بررسی میزان مصرف انرژی در هر لحظه از زمان امکانپذیر نیست، تصمیم به ساخت توان‌سنجی (شکل ۵) گرفته شد که بتواند میزان انرژی مصرفی و توان را در هر لحظه از زمان اندازه بگیرد (Roohi *et al.*, 2004). برای به دست آوردن انرژی لازم برای سفیدکردن برنج قهوه‌ای در ابتدا انرژی مصرفی موتور سفیدکن در حالت بی باری تعیین شد، آنگاه پس از تعیین انرژی مصرف شده در هنگام کار (سفیدکردن)، از تفاضل این دو، انرژی مصرفی لازم (E) برای سفید کردن هر نمونه برنج قهوه‌ای، استخراج شد. از تقسیم انرژی مصرفی (E) بر مقدار برنج قهوه‌ای ورودی به سفیدکن (۱۲۰ گرم)، انرژی ویژه سفید کردن بر حسب ژول بر گرم به دست آمد (e). پس از تعیین شاخص سفیدشدگی هر نمونه و با توجه به رابطهٔ ۳، شاخص انرژی مصرفی سفیدکردن با استفاده از رابطهٔ ۷ تعیین شد.

به منظور ارزیابی عملکرد دستگاه سفید کن، از رابطهٔ شاخص سفید شدگی استفاده می‌شود. در این شاخص، کیفیت برنج خروجی از سفید کن با توجه به درصد شلتوک مخلوط با برنج سفید، درجهٔ سفید شدگی یا درصد سفید شدگی، درصد شکستگی و درصد ناخالصی مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. این شاخص از رابطهٔ ۳ محاسبه می‌شود (Khan *et al*., 1991):

$$ind_w = (1-y)(\frac{S_w}{S_w + S_{br} + S_i}) \qquad (۳)$$

که در آن،

ind_w = شاخص سفید شدگی برنج؛ y= درصد شلتوک مخلوط با برنج سفید شده؛ S_w= درصد سفیدشدگی هر نمونه؛ S_{br}= درصد شکستگی یا خرد هر نمونه؛ Si= درصد ناخالصی برنج سفید شده است.

$$S_w = \frac{(M_b - M_w)\times 100}{M_b} \qquad (۴)$$

که در آن،

M_b= وزن برنج قهوه‌ای (گرم)؛ و M_w= وزن برنج سفید شده (گرم) است.

$$S_{br} = \frac{M_{br}\times 100}{M_w} \qquad (۵)$$

که در آن،

M_{br}= وزن برنج خرد شده (شکسته) موجود در برنج سفید شده (گرم) است.

$$y = \frac{H_2}{H_1} \qquad (۶)$$

که در آن،

H_1= تعداد دانهٔ انتخاب شده (۱۰۰)؛ و H_2= تعداد دانهٔ پوست‌کنده نشده است.

از تقسیم مقدار انرژی مورد نیاز برای سفیدکردن مقدار مشخصی از برنج قهوه‌ای (E) (بر حسب ژول یا کیلوژول) بر میزان برنج قهوه‌ای ورودی به سفید کن، انرژی ویژهٔ سفیدکردن (e) محاسبه می‌شود که واحد آن ژول بر گرم یا کیلوژول بر کیلوگرم است.

بهترین حالت سفیدکردن در شرایطی است که انرژی ویژه سفیدکردن حداقل و شاخص سفیدشدگی حداکثر باشد. برای تعیین عملکرد سفیدکن از نظر مصرف انرژی و کیفیت سفیدکردن، رابطه شاخص انرژی مصرفی سفید کردن به شرح زیر ارائه شد:

$$\eta = \frac{ind_w}{100\times e} \qquad (۷)$$

که در آن،

η = شاخص انرژی سفیدکردن (کیلوگرم بر کیلوژول)؛ $indw$= شاخص سفیدشدگی (درصد)؛ و e= انرژی ویژه سفیدکردن (کیلوگرم بر کیلوژول) است.

شکل ۳- سفیدکن آزمایشگاهی مدل MCGILL MILLER

شکل ٤- پوست کن آزمایشگاهی غلتک لاستیکی

شکل ٥- توان‌سنج ساخته شده جهت اندازه‌گیری انرژی خالص مصرفی

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس صفات اندازه‌گیری شده در فرایند سفیدکردن که در جدول ۱ نشان داده شده است. نشان می‌دهد که اثرهای اصلی کلیهٔ متغیرهای مورد بررسی بر شاخص سفیدشدگی و شاخص انرژی سفیدکردن معنی‌دار هستند. اثر اصلی زمان سفیدکردن و رقم بر انرژی مصرفی سفیدکردن معنی‌دار است اما اثر رطوبت بر آن معنی‌دار نیست.

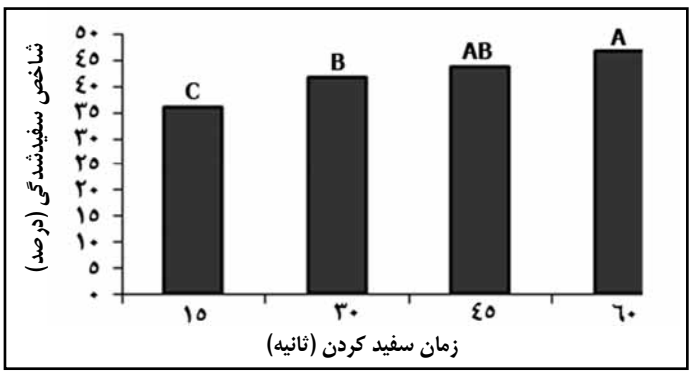
بررسی تأثیرات متقابل نشان می‌دهد که اثر متقابل زمان سفیدکردن و رقم به جز بر شاخص سفیدشدگی بر صفات اندازه‌گیری شده دیگر معنی‌دار است. همچنین اثر متقابل زمان و رطوبت بر انرژی مصرفی و شاخص انرژی مصرفی معنی‌دار است، اما بر شاخص سفیدشدگی معنی‌داری نیست. اثر متقابل رقم و رطوبت بر شاخص سفیدشدگی معنی‌دار است، اما بر انرژی مصرفی سفیدکردن و شاخص انرژی

مصرفی معنی‌دار نیست. نتایج جدول تجزیهٔ واریانس نشان می‌دهد که زمان سفیدکردن تأثیر معنی‌داری بر شاخص سفیدشدگی در سطح ۱ درصد دارد (جدول ۱). مقایسه میانگین‌ها به‌وسیلهٔ آزمون چند دامنه‌ای دانکن نشان می‌دهد که شاخص سفیدشدگی حاصل در زمان سفیدکنی ۶۰ ثانیه، اختلاف معنی‌داری با شاخص سفیدشدگی در زمان سفیدکنی ۱۵ و ۳۰ ثانیه دارد (شکل ۶). همچنین مشخص گردید که شاخص سفیدشدگی در مدت زمان ۴۵ ثانیه اختلاف معنی‌داری با شاخص سفیدشدگی در دو زمان ۳۰ و ۶۰ ثانیه ندارد. با افزایش زمان سفیدکنی از ۱۵ به ۶۰ ثانیه، سبوس بیشتری از سطح برنج قهوه‌ای برداشته می‌شود و در نتیجه وزن برنج سفیدشده کاهش می‌یابد. این امر باعث افزایش درجهٔ سفیدشدگی برنج و در نتیجه، با توجه به رابطهٔ ۳، باعث افزایش شاخص سفیدشدگی می‌شود.

جدول ۱- نتایج تجزیهٔ واریانس صفات اندازه‌گیری شده (سفیدکردن)

منابع تغییر	درجهٔ آزادی	میانگین مربعات		
		انرژی مصرفی سفیدکنی	شاخص سفیدشدگی	شاخص انرژی سفیدکنی
زمان سفیدکردن	۳	۵۶۴۷۵۰۲۷۶/۹**	۰/۰۵۸**	۲۹/۷۴۵**
خطا	۶	۵۶۸۴۷۰/۷	۰/۰۰۲	۰/۰۳۶
رقم	۲	۵۳۳۰۲۲۶/۸**	۰/۴۴۷**	۱۶/۵۲۱**
زمان × رقم	۶	۲۰۵۵۳۳۵/۸*	۰/۰۰۳ns	۰/۹۰۸ **
خطا	۱۶	۵۸۴۲۷۴/۴۷	۰/۰۰۲	۰/۰۵۸
رطوبت	۲	۱۶۶۲۰۴/۷۸ns	۰/۰۲۳**	۰/۹۱۰ **
زمان × رطوبت	۶	۲۲۰۷۰۵۴/۴۴*	۰/۰۰۰۱ns	۰/۳۷۲ **
رقم × رطوبت	۴	۲۴۰۷۳/۶ns	۰/۰۰۹**	۰/۱۴۷ns
زمان × رقم × رطوبت	۱۲	۸۶۹۶۴۹/۷ns	۰/۰۰۲ns	۰/۰۷۲ns
خطا	۴۸	۷۲۰۰۲۴/۱۱	۰/۰۰۲	۰/۰۷۲
ضریب تغییرات (درصد)		**۹/۱۳**	**۹/۵۲**	**۶/۲۵**

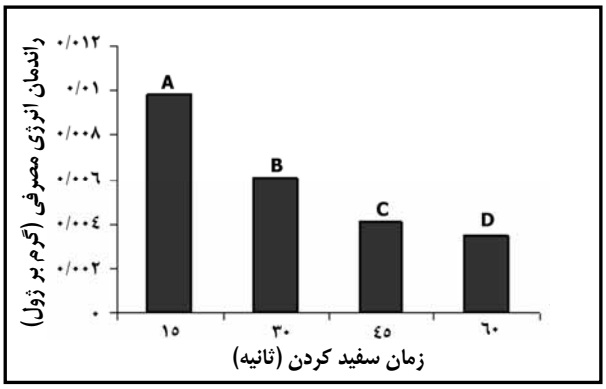
** اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد، * اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد و ns نبود اختلاف معنی‌دار



شکل ٦- اثر زمان سفیدکردن بر شاخص سفیدشدگی

(میانگین‌های دارای حروف مشترک بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌دار ندارند.)

نتایج آزمون چند دامنه‌ای دانکن نشان می‌دهد که با افزایش زمان سفیدکردن، شاخص انرژی مصرفی به طور معنی‌دار کاهش می‌یابد (شکل ۷). علت این امر بیشتر مربوط به افزایش انرژی مصرفی در اثر افزایش زمان سفیدکردن است و نشان می‌دهد که اگرچه شاخص سفیدشدگی در زمان ۶۰ ثانیه بیشتر است تا در زمان ۱۵ ثانیه، اما اختلاف زیاد میزان انرژی مصرفی در زمان ۶۰ ثانیه و ۱۵ ثانیه در حدی است که باعث کاهش شاخص انرژی مصرفی می‌شود. موهاپاترا و بال (Mohapatra & Bal, 2007) نیز نشان دادند که با زمان سفیدکردن برنج قهوه‌ای افزایش یابد، میزان انرژی مصرفی نیز افزوده می‌گردد. درجه سفیدی برنج به عادت غذایی مصرف کننده بستگی دارد. در ایران مصرف کنندگان ترجیح می‌دهند برنجی را مصرف کنند که سفیدتر باشد. اما در بعضی نقاط دنیا از برنج سبوس‌دار یا برنج قهوه‌ای استفاده می شود. این عادت غذایی در مصرف انرژی تبدیل برنج نیز تأثیر بسزایی دارد.



شکل ۷- اثر زمان سفیدکردن بر راندمان انرژی مصرفی سفیدکردن

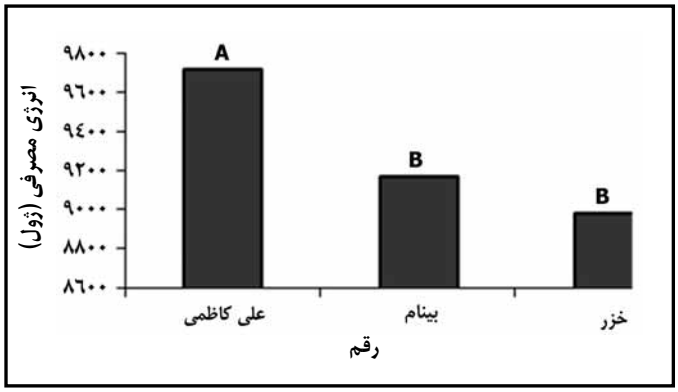
(میانگین‌های دارای حروف مشترک بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌دار ندارند.)

به عنوان مثال، با توجه به تولید ۲/۶ میلیون تنی شلتوک در ایران و در نظر گرفتن ضریب تبدیل شلتوک به برنج سفید در حدود ۶۶ درصد، حدود ۱/۷ میلیون تن برنج سفید تولید می شود. در زمان سفیدکنی ۱۵ ثانیه، به ازای هر ۰/۰۱ گرم برنج سفید به دست آمده، ۱ ژول انرژی مصرف می‌شود. اما در زمان سفیدکردن ۶۰ ثانیه، این مقدار انرژی (۱ ژول)، برای ۰/۰۰۴ گرم برنج سفید صرف می‌شود. بدین ترتیب برای به دست آوردن ۱/۷ میلیون تن برنج سفید در زمان ۱۵ و ۶۰ ثانیه به ترتیب حدود $۱/۷\times۱۰^{۱۴}$ و $۴/۲۵\times۱۰^{۱۴}$ ژول انرژی لازم می‌باشد. تفاوت این دو عدد برابر با $۲/۵۵\times۱۰^{۱۴}$ ژول و حدوداً برابر ۶۱ میلیارد کیلوکالری انرژی می‌باشد و از سوختن حدود ۶/۱ میلیون لیتر نفت حاصل می‌شود[۱]. این رقم، اهمیت زمان سفیدکنی را بر میزان انرژی مصرفی در این فرایند مشخص می‌کند.

نتایج جدول تجزیهٔ واریانس نشان می‌دهد که اثر رقم بر انرژی سفیدکردن در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار است (جدول ۱). مقایسهٔ میانگین‌ها نیز نشان می‌دهد که انرژی لازم برای سفیدکردن دو رقم *بینام* و *خزر* به طور معنی‌دار کمتر است تا برای رقم *علی کاظمی*. اما مقادیر انرژی مصرفی برای سفیدکردن دو رقم خزر و بینام، اختلاف معنی‌داری با یکدیگر نشان نمی‌دهد (شکل ۸). توضیح این موضوع نیاز به آزمایش‌های بیشتری دارد که در آنها ضریب اصطکاک و وزن حجمی دانهٔ ارقام مورد بررسی نیز لحاظ شود. طبق مدل ریاضی ارائه شده در رابطهٔ ۲، نیروی اصطکاک وارد بر دانه در هنگام فرایند

۱- انرژی گرمایی نهفته هر لیتر نفت حدود ۱۰۰۰۰ کیلوکالری می‌باشد.

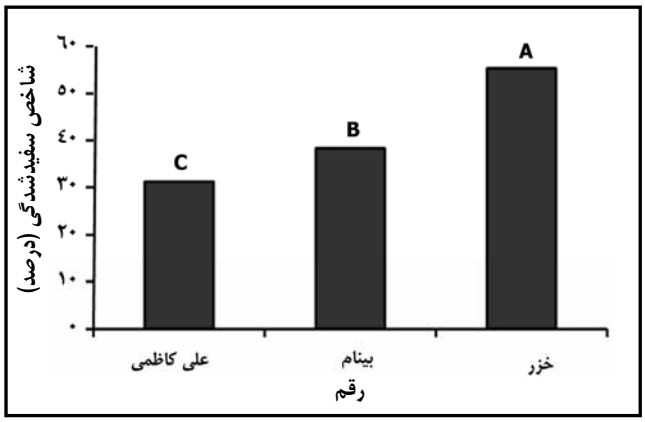
سفیدکنی به عواملی مانند ضریب اصطکاک، وزن حجمی، و شعاع دوران دانه در محفظه سفیدکنی بستگی دارد. تحقیقات نشان داده است که انرژی مصرفی سفیدکردن ارقام دانه بلند بیشتر از ارقام دانه کوتاه است (Roy *et al*, 2008). ارقام *علی کاظمی* و *بینام* دانه بلند و رقم *خزر* دانه کوتاه می‌باشند.



شکل ۸- اثر رقم بر انرژی مصرفی سفیدکردن

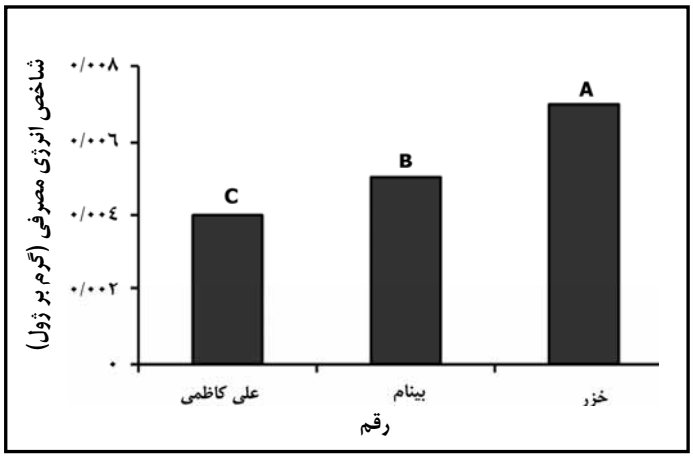
(میانگین‌های دارای حروف مشترک بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌دار ندارند.)

طبق نتایج جدول ۱، اثر رقم بر شاخص سفیدشدگی در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار است. نتایج آزمون دانکن نشان می‌دهد که کمترین و بیشترین شاخص سفیدشدگی برای رقم *علی کاظمی* و بیشترین شاخص سفیدشدگی برای رقم *خزر* ایجاد شده است (شکل ۹). رقم *خزر* از ارقام اصلاح شده است و درصد خرد شدگی ایجاد شده آن در فرایند تبدیل کمتر از دو رقم دیگر است (Roohi, 2002). بنابراین، شاخص سفیدشدگیِ بیشتر برای آن منطقی است. نتایج جدول تجزیه واریانس نشان می‌دهد که اثر رقم بر شاخص انرژی مصرفی در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار است (جدول ۱). مقایسهٔ میانگین‌ها نشان می‌دهد که بیشترین شاخص انرژی مصرفی برای رقم *خزر* و کمترین مقدار آن برای رقم *علی کاظمی* ایجاد شده است (شکل ۱۰).



شکل ۹- اثر رقم بر شاخص سفیدشدگی

(میانگین‌های دارای حروف مشترک بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌دار ندارند.)



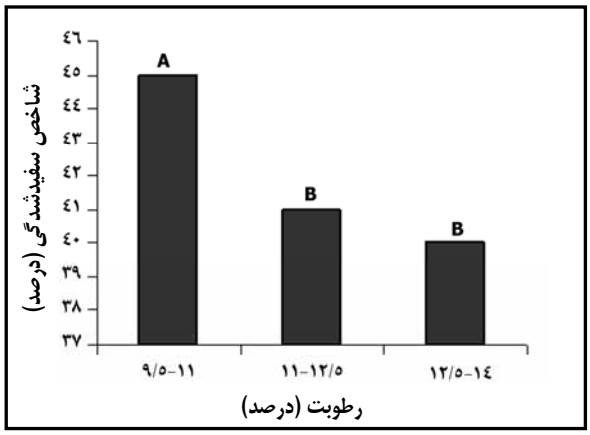
شکل ۱۰- اثر رقم بر شاخص انرژی مصرفی در فرایند سفیدکردن

(میانگین‌های دارای حروف مشترک بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌دار ندارند.)

نتایج جدول تجزیهٔ واریانس نشان می‌دهد که اثر رطوبت بر شاخص سفیدشدگی در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار است (جدول ۱). مقایسهٔ میانگین‌ها نیز نشان می‌دهد که شاخص سفیدشدگی در دو سطح رطوبتی ۱۴-۱۲/۵ و ۱۲/۵-۱۱ درصد، در مقایسه با شاخص سفیدشدگی در سطح رطوبتی ۱۱-۹/۵ درصد کمتر و اختلاف آنها معنی‌دار است. علت این امر افزایش خرده برنج و به تبع آن کاهش درجهٔ سفیدشدگی است (Roohi, 2002) (شکل ۱۱).

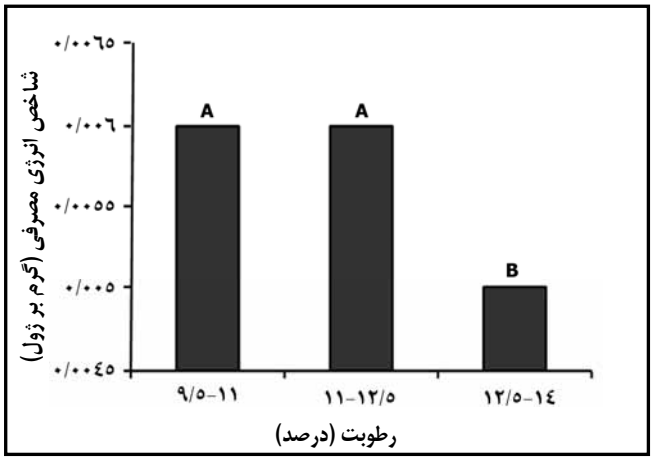
اثر رطوبت بر شاخص انرژی مصرفی در فرایند سفیدکردن در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار است (جدول ۱). مقایسهٔ میانگین‌ها نیز نشان می‌دهد که شاخص انرژی مصرفی در سطح رطوبتی ۱۴-۱۲/۵ درصد، به طور معنی‌داری کمتر است تا در دو سطح رطوبتی دیگر (شکل ۱۲). دلیل این موضوع باید کاهش شاخص سفیدشدگی در اثر افزایش مقدار رطوبتی تا ۱۴-۱۲/۵ درصد باشد.

نتایج آزمون چند دامنه‌ای دانکن نشان می‌دهد که اثر متقابل زمان و رقم بر انرژی مصرفی سفیدکردن و شاخص انرژی مصرفی به ترتیب در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد معنی‌دار است (جدول ۱). اما اثر متقابل فوق بر شاخص سفیدشدگی تأثیر معنی‌دار ندارد (جدول ۱).



شکل ۱۱- اثر رطوبت بر شاخص سفیدشدگی

(میانگین‌های دارای حروف مشترک بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌دار ندارند.)

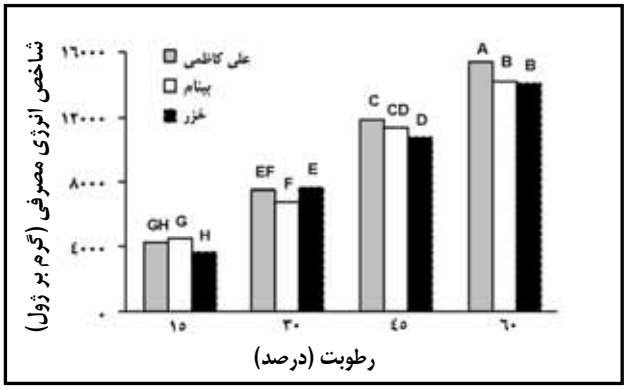


شکل ۱۲- اثر رطوبت بر شاخص انرژی مصرفی در فرایند سفیدکردن

(میانگین‌های دارای حروف مشترک بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌دار ندارند.)

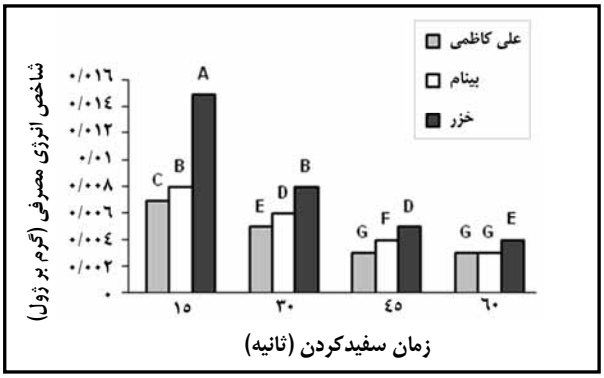
نتایج مقایسهٔ میانگین‌های اثر متقابل زمان و رقم بر انرژی مصرفی سفیدکردن در شکل ۱۳ نشان داده شده است. برای هر سه رقم با افزایش زمان سفیدکردن، انرژی مصرفی سفیدکردن به طور معنی‌داری افزایش می‌یابد. در زمان سفیدکردن ۱۵ و ۳۰ ثانیه، انرژی مصرفی برای سفیدکردن رقم *علی کاظمی* و *خزر* اختلاف معنی‌داری نشان نمی‌دهد. اما در دو زمان ۴۵ و ۶۰ ثانیه، انرژی مصرفی برای سفیدکردن این دو رقم اختلاف معنی‌داری نشان می‌دهد و برای رقم *علی کاظمی* بیشتر از رقم *خزر* می‌باشد. پیشتر گفته شد که اثر متقابل زمان سفیدکردن و رقم بر شاخص انرژی مصرفی سفیدکردن، معنی‌دار است.

برای رقم *علی کاظمی* بین شاخص انرژی مصرفی سفیدکردن در دو زمان ۴۵ و ۶۰ ثانیه اختلاف معنی‌داری دیده نمی‌شود. با افزایش زمان سفیدکردن از ۴۵ به ۶۰ ثانیه، انرژی مصرفی افزایش و شاخص سفیدشدگی این رقم نیز افزایش معنی‌دار نشان می‌دهد. در دو رقم دیگر، با افزایش زمان سفیدکردن، شاخص انرژی مصرفی به طور معنی‌داری کاهش می‌یابد. این امر مربوط به مصرف انرژی بیشتر در اثر افزایش زمان سفیدکردن است. در شکل ۱۴، نمودار این اثر متقابل بر شاخص انرژی مصرفی سفیدکردن نشان داده شده است.



شکل ۱۳- اثر متقابل زمان سفیدکردن و رقم بر انرژی مصرفی سفیدکردن

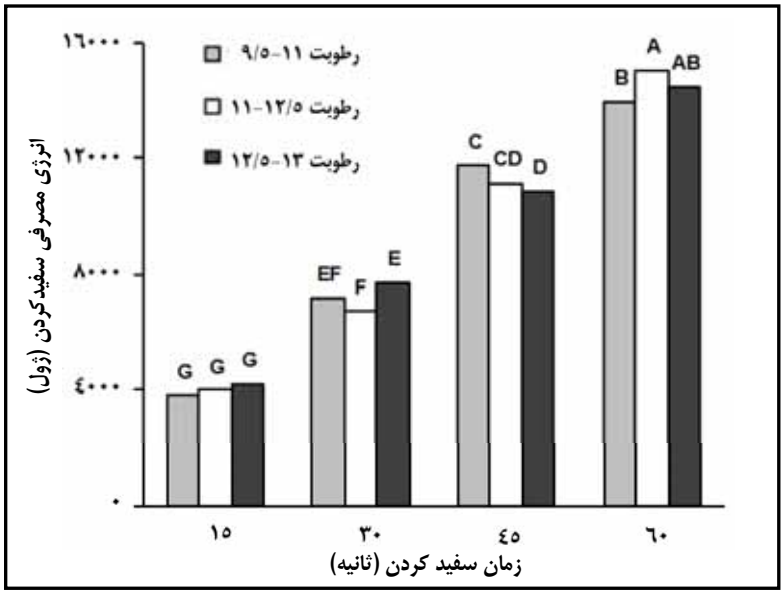
(میانگین‌های دارای حروف مشترک بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌دار ندارند.)



شکل ۱۴- اثر متقابل زمان سفیدکردن و رقم بر شاخص انرژی مصرفی سفیدکردن

(میانگین‌های دارای حروف مشترک بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌دار ندارند.)

نتایج آزمون تجزیهٔ واریانس نشان می‌دهد که اثر متقابل زمان و رطوبت بر انرژی مصرفی سفیدکردن و شاخص انرژی مصرفی به ترتیب در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد معنی‌دار است. اما اثر متقابل فوق بر شاخص سفیدشدگی تأثیر معنی‌داری ندارد (جدول ۱). نتایج نشان می‌دهد که در زمان‌های سفیدکنی ۱۵ و ۳۰ ثانیه، اختلاف معنی‌داری در انرژی مصرفی سفیدکردن در پایین‌ترین و بالاترین سطح رطوبتی دیده نمی‌شود. اما در زمان سفیدکردن ۴۵ ثانیه، انرژی مصرفی در سطح رطوبتی ۱۱-۹/۵ درصد به طور معنی‌داری بیشتر است تا در رطوبت ۱۴-۱۲/۵ درصد. در شکل ۱۵ نمودار این اثر متقابل بر انرژی مصرفی نشان داده شده است.

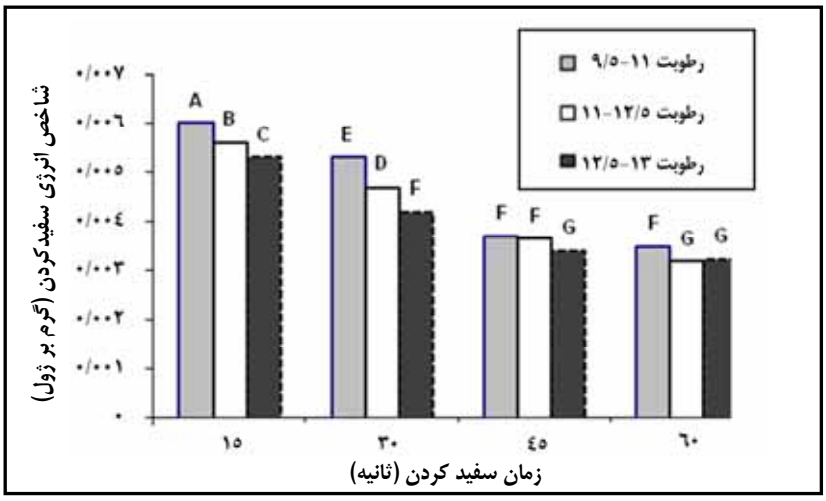


شکل ۱۵- اثر متقابل زمان سفیدکردن و رطوبت بر انرژی مصرفی سفیدکردن

(میانگین‌های دارای حروف مشترک بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌دار ندارند.)

نتایج مقایسهٔ میانگین‌ها نشان می‌دهد که شاخص انرژی مصرفی سفیدکردن در مدت زمان ۱۵ و ۶۰ ثانیه، با کاهش رطوبت تا سطح ۱۱-۹/۵ درصد، اختلاف معنی‌داری با این شاخص در رطوبت ۱۴-۱۲/۵ درصد دارد و به طور معنی‌داری بیشتر است (شکل ۱۶).

در مورد شاخص سفیدشدگی، بین دو سطح رطوبتی ۱۱-۹/۵ و ۱۴-۱۲/۵ درصد اختلاف معنی‌داری در هر چهار سطح زمان سفیدکردن وجود دارد و با کاهش رطوبت مقدار شاخص افزایش می‌یابد. بهترین شرایط پیشنهادی می‌تواند زمان سفیدکردن ۱۵ ثانیه با میزان رطوبت ۱۱-۹/۵ درصد باشد. البته باید ذائقه مصرف‌کننده را در میزان سفیدشدگی در این مدت زمان سفید شدگی (۱۵ ثانیه) زمان در نظر گرفت که این موضوع به تحقیقات صنایع غذایی ارتباط خواهد داشت.



شکل ۱۶- اثر متقابل زمان سفیدکردن و رطوبت بر شاخص انرژی مصرفی سفیدکردن

(میانگین‌های دارای حروف مشترک بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌دار ندارند.)

نتیجه‌گیری

با توجه به موارد مذکور در قسمت قبل می‌توان نتایج کلی زیر را بیان نمود:

- افزایش مدت زمان سفیدکردن باعث افزایش معنی‌دار در انرژی مصرفی سفیدکردن می‌شود.
- افزایش مدت زمان سفیدکردن از ۱۵ ثانیه به ۶۰ ثانیه باعث افزایش شاخص سفیدشدگی می‌شود.
- افزایش مدت زمان سفیدکردن باعث کاهش معنی‌داری در شاخص انرژی سفیدکردن می‌شود.
- شاخص سفیدشدگی رقم خزر به طور معنی‌داری بیشتر از دو رقم دیگر است.
- در دو مدت زمان سفیدکردن ۱۵ و ۶۰ ثانیه، کاهش رطوبت تا سطح ۱۱-۹/۵ درصد باعث افزایش معنی‌دار در شاخص انرژی مصرفی سفیدکردن می‌شود.
- شاخص انرژی مصرفی سفیدکردن رقم خزر در هر سه سطح رطوبتی به طور معنی‌دار بیشتر از دو رقم دیگر است.
- بهترین شرایط پیشنهادی برای سفیدکردن ارقام، زمان ۱۵ ثانیه و رطوبت ۱۱-۹/۵ درصد است.

مراجع

Abdur Rah man, M., Abdul Kadus Miah, M. A. and hmad, A. 1996. Status of rice processing technology in Bangladesh. AMA. 27(1): 46-50.

Autrey, H. S., Grigorief, W. W., Altschul, A. M. and Hogan, J. T. 1955. Effects of milling conditions on Breakage of rice grains. J. Agric. Food Chem. 3, 593-599.

Batista, R. C., and Sibenmorgen, T. J. 2000. Fissure formation in brown rice kernels observed with a video microscopy system ongoing studies. Rice Quality and Processing B. R. Wells Rice Research Series 2000.

Heidari-Soltanabadi, M. 1999. Design, fabrication and evaluation of a rice whitening set revised system. M. Sc. Thesis. Tarbiat Modares University. Tehran. Iran. (in Farsi)

Khan, M. K. and Mohanty, S. N. 1991. Effects of different clearances between two rubber rolls on dehusking of paddy. AMA. 22(4): 51-53.

Mohapatra, D. and Bal, S. 2007. Effect of degree of milling on specific energy consumption, optical measurements and cooking quality of rice. J. Food Eng. 80(1): 119-125.

Pandey, J. P. and Sah, P. C. 1993. Rice kernel breakage kinetics in the Process operation for bran removal. J. Food Sci. Technol. 30(5): 365-367.

Payman, M. 2000. Study of kernel breakage factors in paddy husking process. PhD. Thesis. Tarbiat Modares University. Tehran. Iran. (in Farsi)

Payman, M., Roohi, G. H. and Alizadeh, M. R. 2004. Determination of energy consumption in traditional and Semi_mechanized methods for rice production (A case study in Gilan province). J. Agric. Eng. Res. 6(22):67-80. (in Farsi)

Pominski, J., Wasserman, T., Schultz, Jr. E. F. and Spadaro, J. J. 1961. Increasing laboratory head and total yields of rough rice by milling at low moisture Levels. Rice J. 64(10):11-15.

Roohi, G. H. 2002. Study of Energy Consumption in the Hulling and Whitening of Three Paddy Varieties in Gilan. M. Sc. Thesis. Tarbiat Modares University. Tehran. Iran. (in Farsi)

Roohi, G. H., Minaee, S. and Payman, M. 2004. Design, fabrication and evaluation of electrical power meter having monitoring ability. Proceedings of the 3rd Congress of Agricultural Machinery and Mechanization Engineering of Iran. Kerman. Iran. (in Farsi)

Roy, P., Ijiri, T., Okadome, H., Nei, D., Orikasa, T., Nakamura, N. and Shiina, T. 2008. Effect of processing condition on overall energy consumption and quality of rice. J. Food Eng. 89, 343-348.

Smith, W. D. and Mccrea, W. 1951. Where breakage occurs in the milling of rice. Rice J. 54(2):14-15.

Stipe, D. R., Wratten, F. T. and Miller, M. F. 1972. Effects of various methods of handling brown rice on milling and other quality parameters. Process. 14th Rice Technology.Working Group, June. 20-22. Davis, California. In: Bor S. Luh (Ed) Rice: Production and Utilization AVI Publishing Co, INC.

Yadav, B. K. and Jindal, V. K. 2008. Changes in head rice yield and whiteness during milling of rough rice (*Oryza sativa* L.). J. Food Eng. 86(1): 113-121.

AERI JAER *Journal of Agricultural Engineering Research/Vol.11/No.2/2010/P: 1-16*

Determination of Whitening Energy, Energy Consumption Index and Whitening Index in Three Varieties of Rice

G. H. Roohi[*], **M. Peyman and S. Minaee**

* Corresponding Author: Academic Member, Islamic Azad University, P. O. Box: 63915-195, Izeh, Iran. Email: gh_reza_roohi@yahoo.com

The rice conversion process is an agricultural transformative industry that consumes a great deal of fossil fuel and electricity. In this study, the effect of different factors on energy consumption, energy consumption index and whitening index were investigated. The experimental design was a split plot design with four whitening periods (15, 30, 45, 60s) (main plot), three rice varieties (*Khazar*, *Beenam*, *Alikazemi*), three levels of final paddy moisture content (9.5-11%, 11-12.5%, 12.5-14% wb) and three replications for each test. The statistical analysis outcomes for energy consumption, energy consumption index and whitening index indicated that as whitening time increased, energy consumption increased and its index decreased. In the 15 and 60s whitening periods, decreasing the moisture content to 9.5-11%, significantly increased the energy consumption index. The energy consumption index of the *Khazar* variety was significantly higher than the other two varieties at all levels of moisture content. Increasing moisture content caused increased rice breakage, which resulted in decreasing quality and whitening indices. When the whitening period increased to 60s, the whitening index increased significantly. The whitening index of the *Khazar* variety was significantly greater than those of the other varieties. The results showed that the best state, considering the energy consumption index and whitening index, was obtained at 9.5-11% moisture contents and a 15s whitening period for all varieties.

Key words: Energy Consumption Index, Rice-Required Energy, Whitening Index