

کاربرد روش سطح پاسخ در بهینه‌سازی شاخص‌های نیم‌جوش کردن برای پیش‌بینی بیشترین راندمان برنج سالم

ابراهیم تقی‌نژاد**

* نگارنده مسئول: بخش مهندسی مکانیک ماشین‌های کشاورزی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی مغان، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران. تلفن: ۰۴۵)۳۳۵۱۶۳۱۱، پیام‌نگار: e.taghinezhad@uma.ac.ir
** استادیار رشته مهندسی مکانیک ماشین‌های کشاورزی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی مغان، دانشگاه محقق اردبیلی
تاریخ دریافت: ۹۵/۱/۲۱؛ تاریخ پذیرش: ۹۵/۱۰/۵

چکیده

نیم‌جوش کردن فرآیندی است هیدروگرمایی شامل سه مرحله غوطه‌وری، بخاردهی و خشک‌کردن شلتوک. در این تحقیق از روش سطح پاسخ و طرح مرکب مرکزی برای بهینه‌سازی شاخص‌های نیم‌جوش کردن (دمای غوطه‌وری و مدت زمان بخاردهی) استفاده شد. نمونه‌ها بعد از غوطه‌وری (۵۵، ۶۰، ۶۵، ۷۰ و ۷۵ درجه سلسیوس) و بخاردهی (۲، ۴، ۶، ۸ و ۱۰ دقیقه)، طی ۳ روز تحت شرایط محیطی تا رسیدن رطوبت نهایی به ۱۱ درصد (بر پایه تر) خشک شدند. برای هر پاسخ با استفاده از تجزیه رگرسیون خطی چندگانه، مدل‌های چندجمله‌ای درجه دوم به دست آمد. تجزیه واریانس (ANOVA) برای بررسی صحت و دقت مدل برازش شده اجرا شد. نتایج به دست آمده نشان داد که تأثیر مربع دمای غوطه‌وری و مربع مدت زمان بخاردهی بر مقدار راندمان برنج سالم معنی‌دار ($P < 0.01$) است. همچنین، دمای غوطه‌وری و مدت زمان بخاردهی به ترتیب مؤثرترین متغیرها بر راندمان برنج سالم هستند. بر اساس مدل‌سازی به روش سطح پاسخ، شرایط بهینه جهت حصول بیشینه مقدار برنج سالم (۶۷/۶۶ درصد)، دمای غوطه‌وری ۶۴/۹۳ درجه سلسیوس و مدت زمان بخاردهی ۶/۶۷ دقیقه تعیین گردید.

واژه‌های کلیدی

بخاردهی، بهینه‌سازی، شلتوک برنج، غوطه‌وری، نیم‌جوش کردن

مقدمه

غذایی مورد مصرف اکثر مردم است. نیم‌جوش کردن فرآیندی است هیدروترمالی^۱ که قبل از عملیات تبدیل^۲ بر شلتوک اعمال می‌شود و شامل سه مرحله غوطه‌وری^۳، بخاردهی^۴ و خشک کردن است. برای حل مشکل شکستگی برنج، نیم‌جوش کردن روشی است مفید، کاربردی و مطمئن که تأثیر بسزایی در خودکفایی برنج دارد (Taghinezhad et al., 2015).

نتایج بررسی تأثیر متغیرهای فرآیند خشک کردن (دمای هوا، زمان استراحت و سطح رطوبت اولیه) و دوره

برنج ماده غذایی بسیار ارزشمندی است و نقش مهمی در تغذیه انسان دارد. طبق آمار سازمان خواربار و کشاورزی جهانی، در سال ۲۰۱۳ میزان کل تولید جهانی برنج معادل ۷۴۵/۷ میلیون تن بوده است که تولید این محصول در قاره آسیا به میزان ۶۷۴/۸ میلیون تن گزارش شده است (Anon, 2015). برنج به لحاظ اهمیتی که پس از گندم در رژیم غذایی مردم ایران دارد، در ردیف کالاهای استراتژیک جای گرفته و دومین ماده

1- Hydrothermal
3- Soaking

2- Milling
4- Steaming

کردن قرار دادند و کیفیت تبدیل شلتوک به برنج سفید، کیفیت پخت و درجه سختی برنج حاصل از دو روش نیم‌جوش و غیر نیم‌جوش را مقایسه کردند. نتایج بررسی‌های این محققان نشان می‌دهد که درصد خرد برنج در ارقام نیم‌جوش شده شیرودی و فجر کاهش قابل توجهی دارد. نیم‌جوش کردن عاملی مؤثر در کاهش درجه سفیدی، تغییر در خصوصیات پخت از جمله کاهش مواد جامد از دست رفته و افزایش سختی نمونه‌ها بوده است.

روش سطح پاسخ^۲ ابزاری مهم برای بهبود فرآیند و محصول به‌شمار می‌رود. روش سطح پاسخ در واقع مجموعه‌ای از طرح‌های آزمایشی و فن‌های بهینه‌سازی است که آزمایشگر را قادر می‌سازد تا رابطه بین پاسخ و متغیرهای مستقل را تعیین کند. روش سطح پاسخ برای ترسیم یک سطح پاسخ در محدوده مورد نظر و بهینه‌سازی پاسخ برای انتخاب شرایط فرآیند به‌منظور دستیابی به مشخصات هدف یا نیازمندی‌های مصرف‌کننده به‌کار می‌رود (Eren & Kaymak-Ertekin, 2007). دانابا و همکاران (Danbaba et al., 2014) تأثیر دمای غوطه‌وری (۵۵، ۶۰ و ۷۰ درجه سلسیوس)، زمان بخاردهی (۳۰، ۴۰ و ۵۰ دقیقه) و زمان خشک کردن (۱۰، ۱۵ و ۲۰ ساعت) را بر راندمان برنج سالم با استفاده از روش سطح پاسخ در کشور نیجریه بررسی کردند. شرایط بهینه نیم‌جوش کردن معادل دمای غوطه‌وری ۲۳/۱۸ درجه سلسیوس، مدت زمان بخاردهی ۱۱/۷ ساعت برای حصول بهترین راندمان ۷۸/۸۹ درصد به‌دست آمد.

پژوهش‌ها در خصوص استفاده از روش سطح پاسخ برای پیش‌بینی راندمان برنج سالم در فرآیند نیم‌جوش کردن بسیار اندک است. هدف از این مطالعه بررسی تأثیر متغیرهای دمای غوطه‌وری و مدت زمان بخاردهی بر راندمان برنج سالم در فرآیند نیم‌جوش کردن است؛ برای

استراحت بر کیفیت برنج نیم‌جوش، از قبیل درصد برنج سالم، نشان می‌دهد که دما و زمان استراحت به‌ترتیب تأثیر منفی و مثبت بر راندمان برنج سالم دارند (Elbert et al., 2001). در تحقیقی دیگر سوپونروناریت و همکاران (Soponronnarit et al., 2006) با استفاده از دمای غوطه‌وری ۷۰-۹۰ درجه سلسیوس به مدت ۰/۵ تا ۲ ساعت و دمای بخاردهی ۱۶۰-۱۲۰ درجه سلسیوس با شدت بخاردهی ۳/۹ متر بر ثانیه اعلام کردند که با افزایش دمای بخاردهی از ۱۲۰ به ۱۴۰ درجه سلسیوس میزان برنج سفید کل افزایش می‌یابد. ساریپوانگ و همکاران (Sareepuang et al., 2008) با بررسی اثر دمای غوطه‌وری بر خواص پخت، شیمیایی و فیزیکی برنج نیم‌جوش شده نتیجه گرفتند که راندمان تبدیل برنج سالم از ۵۱ درصد به ۸۰-۶۰ درصد افزایش می‌یابد. فرآیند نیم‌جوش کردن مقادیر پروتئین، چربی و مقدار خاکستر را به‌طور معنادار افزایش می‌دهد. این محققان سرانجام دمای غوطه‌وری ۵۰ درجه سلسیوس به مدت ۳ ساعت را پیشنهاد دادند. نصیراحمدی و همکاران (Nasirahmadi et al., 2014) تأثیر مدت زمان بخاردهی و دمای غوطه‌وری در فرآیند نیم‌جوش کردن را بر ضریب تبدیل و درصد برنج سالم ارقام مازندران بررسی کرده‌اند. این محققان فرآیند نیم‌جوش کردن را در سه دمای خیساندن معادل ۲۵، ۵۰ و ۷۵ درجه سلسیوس و در سه مدت زمان بخاردهی ۱۰، ۱۵ و ۲۰ دقیقه در دمای ۱۰۰ درجه سلسیوس تحت فشار اتمسفر روی دو رقم شلتوک طارم و فجر اعمال کردند. در این تحقیق با خشک کردن شلتوک در آون^۱، رطوبت آن به ۱۲ درصد (بر پایه تر) رسانده شد. با اندازه‌گیری ضریب تبدیل و درصد برنج سالم، مشخص شد که افزایش مدت زمان بخاردهی باعث افزایش ضریب تبدیل و درصد برنج سالم در هر دو رقم می‌شود. لطیفی و علیزاده (Latifi & Alizadeh, 2014) سه رقم شلتوک طارم محلی، شیرودی و فجر را تحت تیمار نیم‌جوش

غوطه‌وری شلتوک

برای غوطه‌وری شلتوک از دستگاهی ساخته شده توسط تقی‌نژاد و همکاران (Taghinezhad *et al.*, 2016) استفاده شد. این دستگاه شامل مخزن و سامانه کنترل دماست. طی خیساندن شلتوک، از سامانه کنترل دمای آب برای ثابت نگه‌داشتن دمای آب استفاده شد. این سامانه از یک حسگر دمای روکش‌دار LM35D (روکش استیل با قطر ۶ میلی‌متر)، سامانه کنترلی نوع تناسبی، پمپ آب، دمنده، گرم‌کن و مخزن تشکیل شده است (شکل ۱). پمپ آب (مدل GC 100, General ساخت کشور تایلند) برای یکنواخت کردن دمای آب درون مخزن و دمنده برای خنک‌کاری پمپ آب به کار برده می‌شد. یک محفظه توری (نمونه‌گیر) برای شناور کردن شلتوک در مخزن به کار گرفته شد. نمونه‌ها درون نمونه‌گیر قرار داده شد و دمای آب درون مخزن در تمام مدت زمان خیساندن با دقت ± 0.5 درجه سلسیوس ثابت بود. به‌طور معمول دمای غوطه‌وری ۶۰ تا ۷۰ درجه سلسیوس انتخاب می‌شود (Islam *et al.*, 2004). بنابراین در این تحقیق، غوطه‌وری در پنج سطح دمایی ۵۵، ۶۰، ۶۵، ۷۰ و ۷۵ درجه سلسیوس تا رسیدن رطوبت شلتوک به ۳۵ درصد بر پایه تر صورت گرفت (Manful *et al.*, 2008). بعد از اتمام غوطه‌وری، فرآیند بخاردهی در دمای ۹۶ درجه سلسیوس در ۵ سطح زمانی ۲ تا ۱۰ دقیقه (هر ۲ دقیقه) اجرا شد (Islam *et al.*, 2002). شلتوک سرانجام در شرایط محیطی دمای 27 ± 1 درجه سلسیوس و رطوبت نسبی 50 ± 20 درصد تا رسیدن رطوبت آن به ۱۱ درصد بر پایه تر، خشک شد (Fofana *et al.*, 2011).

مدل کردن راندمان برنج سالم به‌عنوان تابعی از این متغیرها و به‌دست آوردن شرایط بهینه فرآیند به‌منظور حصول بیشترین راندمان برنج سالم.

مواد و روش‌ها

تهیه نمونه و تعیین میزان رطوبت

برای اجرای تحقیق، شلتوک رقم فجر از مزرعه تحقیقاتی موسسه تحقیقات برنج کشور در آمل تهیه شد. میانگین طول، ضخامت و عرض دانه این رقم به ترتیب برابر با ۱۰/۹۸، ۲/۲۴ و ۱/۹۲ میلی‌متر گزارش شده است (Omid *et al.*, 2010). میانگین مقدار رطوبت اولیه شلتوک ۱۱ درصد (بر پایه تر) بود. برای تعیین میزان رطوبت شلتوک، نمونه‌های ۱۰ گرمی در دمای ۱۳۰ درجه سلسیوس به مدت ۲۴ ساعت در آون قرار داده شد. میزان رطوبت نمونه‌های شلتوک از رابطه ۱ به‌دست آمد (Anon, 1995):

$$M.C. = \frac{m_1 - m_2}{m_1} \times 100 \quad (1)$$

که در آن،

M.C. = درصد رطوبت نمونه‌ها بر پایه تر (w.b.%);
 m_1 = جرم اولیه نمونه (کیلوگرم); و m_2 = جرم نهایی نمونه (کیلوگرم). برای توزین نمونه‌ها از ترازوی دیجیتالی AND GF-600 ساخت کشور ژاپن با دقت ۰/۰۰۱ گرم استفاده شد. همچنین از اجاق آزمایشگاهی ممرت^۱ مدل D06836 ساخت کشور آلمان با دقت ۱ درجه سلسیوس استفاده شد.



شکل ۱- تجهیزات غوطه‌وری شلتوک

اثر متغیرهای مستقل شامل دمای غوطه‌وری (X_1) و مدت زمان بخاردهی (X_2) در ۵ سطح ارزیابی شد. در ضمن، متغیرها مطابق روابط ۲ تا ۴ کدگذاری شدند (Danbaba *et al.*, 2014):

$$x_1 = \frac{(x_i - \bar{x}_i)}{\Delta x_i} \quad (2)$$

$$x_1 = \frac{(\text{دما} - 65)}{5} \quad (3)$$

$$x_2 = \frac{(\text{زمان} - 65)}{2} \quad (4)$$

که در آنها،

x_i = مقدار واقعی متغیر مستقل فرایند؛ \bar{x}_i = مقدار واقعی متغیر مستقل فرایند در نقطه مرکزی؛ و Δx_i = تغییر پله‌ای. در جدول ۱ متغیرهای مستقل و مقادیر آن نشان داده شده است.

راندمان برنج سالم

راندمان برنج سالم از تقسیم وزن برنج سفید سالم (دانه‌هایی با طول بیش از ۳/۴ دانه سالم) به کل وزن شلتوک بر حسب درصد به دست می‌آید (Bello *et al.*, 2006).

تجزیه و تحلیل آماری و بهینه‌سازی فرآیند

روش سطح پاسخ مجموعه‌ای از فن‌های آماری است که در بهینه‌سازی فرآیندهایی به کار می‌رود که پاسخ مورد نظر به واسطه تعدادی از متغیرها تحت تأثیر قرار می‌گیرد. شمای گرافیکی مدل ریاضی سبب تعریف واژه روش سطح پاسخ شده است. با کمک این طرح آماری، تعداد آزمایش‌ها کاهش می‌یابد و کلیه ضرایب مدل رگرسیون درجه دوم و اثر متقابل متغیرها، قابل برآورد هستند. مهم‌ترین مسئله این تحقیق بررسی آثار اصلی و متقابل متغیرها است، از این رو طرح آماری سطح پاسخ انتخاب شد (Li *et al.*, 2007). در این مطالعه،

جدول ۱- متغیرهای مستقل فرآیند نیم‌جوش کردن برنج و سطوح آن در طرح مرکب مرکزی^۱

سطوح انتخابی					نماد ریاضی	متغیرهای مستقل
-α	-۱	۰	+۱	+α		
۵۵	۶۰	۶۵	۷۰	۷۵	x_1	دمای غوطه‌وری (درجه سلسیوس)
۲	۴	۶	۸	۱۰	x_2	مدت زمان بخاردهی (دقیقه)

در این تحقیق، به منظور تخمین اثر دو متغیر مستقل بر میزان راندمان برنج سالم از روش سطوح پاسخ و طرح مرکب مرکزی استفاده شد (Krishna et al., 2013). آزمون‌ها شامل ۱۳ تیمار با پنج تکرار در نقطه مرکزی طرح (برای محاسبه تکرارپذیری فرآیند) بود. معنادار بودن آماری عبارت‌ها در معادله رگرسیونی در سطح اطمینان ۹۵ درصد ($P < 0.05$) بررسی گردید. جهت برازش داده‌ها و رسم نمودارها نیز از نرم‌افزار دیزاین اکسپرت^۲ نسخه ۷ استفاده شد (Kargozari et al., 2010).

نتایج و بحث

مدل‌سازی

جدول ۳ نتایج به دست آمده از آزمایش‌ها را نشان می‌دهد. به کمک ضرایب رگرسیون اثر شرایط استخراج بر متغیرهای وابسته محاسبه شد.

در روش سطوح پاسخ، سطح مورد نظر تحت تأثیر متغیرهای بسیاری قرار دارد و هدف عبارت از بهینه کردن پاسخ مزبور است. برای به دست آوردن مقدار بهینه (Y_i) ، از حل رابطه رگرسیون ۴ استفاده شد (Mansourpoor & Shariati, 2012).

$$Y_i = \beta_0 + \sum \beta_i X_i + \sum \beta_{ij} X_i X_j + \sum \beta_{ii} X_i^2 + \varepsilon \quad (4)$$

که در آن،

$\beta_0, \beta_i, \beta_{ij}$ و β_{ii} = ضرایب ثابت رگرسیون؛ x_i و x_j = متغیرهای مستقل در فرآیند؛ ε = خطای تصادفی. مدل‌های ریاضی برای هر پاسخ با تجزیه رگرسیون خطی چندگانه، ارزیابی شدند. در انتها، نقطه بهینه فرآیند با توجه به شرایط مرزی جدول ۲ و توابع هدف تخمین زده شده به دست آمد.

جدول ۲- شرایط مرزی متغیرهای مستقل و وابسته

متغیر	هدف	حد پایین	حد بالا	ضریب اهمیت
دمای غوطه‌وری (درجه سلسیوس)	در محدوده آزمایش	۵۵	۷۵	۳
مدت زمان بخاردهی (دقیقه)	در محدوده آزمایش	۲	۱۰	۳
راندمان برنج سالم (درصد)	بیشینه	۶۴/۵۹	۶۷/۳۷	۵

جدول ۳- تیمارهای استخراج شده از روش سطح پاسخ و طرح مرکب مرکزی برای اندازه‌گیری راندمان برنج سالم

راندمان برنج سالم (درصد)	مدت زمان بخاردهی (دقیقه)	دمای غوطه‌وری (درجه سلسیوس)	تیمار	راندمان برنج سالم (درصد)	مدت زمان بخاردهی (دقیقه)	دمای غوطه‌وری (درجه سلسیوس)	تیمار
۶۵/۸۵۱۲	۱۰	۶۵	۸	۶۵/۸۴۹۶	۴	۶۰	۱
۶۵/۹۵۰۰	۶	۶۵	۹	۶۵/۴۳۷۳	۴	۷۰	۲
۶۶/۶۶۰۵	۶	۶۵	۱۰	۶۵/۷۳۹۸	۸	۶۰	۳
۶۷/۳۷۱۰	۶	۶۵	۱۱	۶۶/۰۷۲۱	۸	۷۰	۴
۶۶/۹۵۲۳	۶	۶۵	۱۲	۶۴/۶۴۱۵	۶	۵۵	۵
۶۶/۲۷۸۷	۶	۶۵	۱۳	۶۴/۵۹۱۱	۶	۷۵	۶
				۶۴/۷۶۵۷	۲	۶۵	۷

داده‌ها در شکل ۲ دیده می‌شود.

$$HRY = -22.26613 + 2.62547 \times A + 1.10968 \times B - 0.020219 \times A^2 - 0.083112 \times B^2 \quad (5)$$

که در آن،

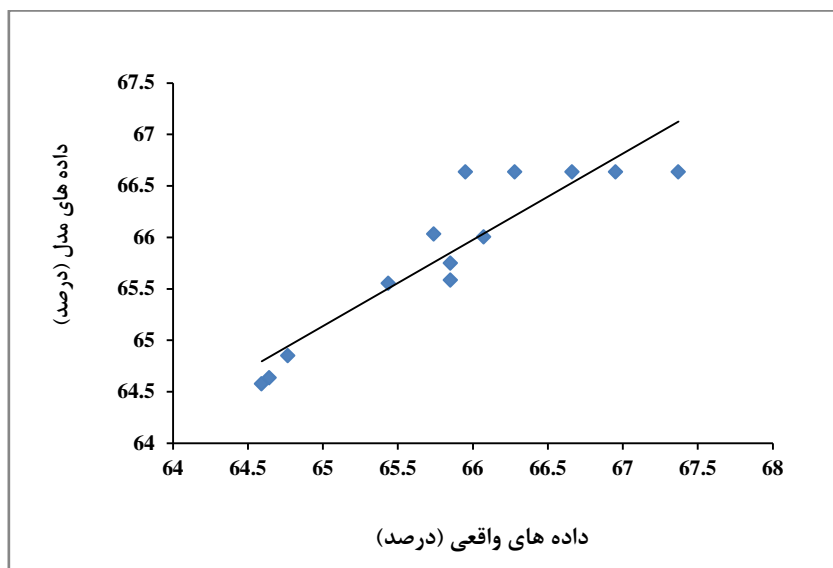
HRY = راندمان برنج سالم (درصد)؛ A = دمای غوطه‌وری (درجه سلسیوس)؛ و B = مدت زمان بخاردهی (دقیقه) است.

همان‌طور که در رابطه ۵ دیده می‌شود، ضرایب متغیرهای مستقل دمای غوطه‌وری و مدت زمان بخاردهی مثبت هستند. در نتیجه، افزایش هر یک از متغیرهای نامبرده اثری فزاینده در مدل ارائه شده دارد. علامت منفی مربع دمای غوطه‌وری و مربع مدت زمان بخاردهی بیانگر اثر معکوس متغیر نامبرده بر راندمان برنج سالم است (De Lima et al., 2010).

برای اینکه مدل توانایی خوبی برای برآزش اطلاعات داشته باشد لازم است که ضریب تبیین پیش‌بینی شده و ضریب تبیین اصلاح‌شده دارای بالاترین مقدار باشد. ضریب تبیین (R^2) به‌عنوان نسبت تغییرات توصیف شده توسط مدل به تغییرات کل بیان می‌شود که معیاری از درجه تناسب برآزش است. بنابراین، هرچه مقدار R^2 به یک نزدیک‌تر شود (حداقل ۰/۸ باشد)، قدرت مدل برآزش یافته در توصیف تغییرات پاسخ به‌عنوان تابعی از متغیرهای مستقل بیشتر خواهد بود (Bekers et al., 2007). با توجه به معنی‌دار نشدن شاخص عدم برآزش در آنالیز واریانس و مقدار ضریب تغییرات (۰/۶۵ درصد) برای مدل درجه دوم، می‌توان نتیجه گرفت که با توجه به ضرایب خطا در جدول ۴ به‌صورت رابطه ۵، این مدل بهترین مدل برای تخمین راندمان برنج سالم است. مدل درجه دوم از دقت مناسب برای تخمین داده‌ها برخوردار است و میزان دقت مدل در پیش‌بینی یا برآورد

جدول ۴- مدل‌های برآزش شده با RSM به همراه مقادیر ضرایب خطا

مدل	ضریب تبیین پیش‌بینی شده	ضریب تبیین اصلاح‌شده	ضریب تبیین
خطی	-۰/۸۱۹۰	-۰/۱۱۷۱	۰/۰۶۹۱
درجه دوم	۰/۷۲۸۹	۰/۷۴۳۹	۰/۸۵۰۸
درجه سوم	۰/۷۶۸۸	۰/۶۵۵۸	۰/۸۵۶۶



شکل ۲- برازش داده‌های تجربی در مقابل داده‌های پیش‌بینی شده در مدل برای راندمان برنج سالم

تأثیر متغیرهای مستقل بر پاسخ

انحنا بخشیده‌اند. با توجه به مقدار مجموع مربعات فاکتور مربع دمای غوطه‌وری مشخص می‌شود که ۶۶/۴ درصد تغییرات داده‌ها را این فاکتور توجیه می‌کند که نشان‌دهنده اهمیت بیشتر این عامل نسبت به فاکتورهای دیگر است. عبارتهای مربوط به اثر متقابل متغیرهای مستقل معنی‌دار نبودند و از مدل حذف شدند؛ به عبارت دیگر، هیچ‌گونه برهم‌کنشی میان متغیرهای مستقل وجود نداشت.

نتایج تجزیه واریانس در جدول ۵ نشان می‌دهد که کلیه مدل‌های رگرسیون در سطح اطمینان ۹۹ درصد معنی‌دار هستند. اما اثرهای اصلی دمای غوطه‌وری و مدت زمان بخاردهی بر راندمان برنج سالم معنی‌دار نیست و اثر مربع دمای غوطه‌وری و مربع مدت زمان بخاردهی بر راندمان برنج سالم در سطح یک درصد معنی‌دار است. جملات مربوط به اثرهای درجه دوم، به شکل مدل حالت

جدول ۵- تجزیه واریانس اثرهای اصلی و متقابل دمای غوطه‌وری و مدت زمان بخاردهی بر راندمان برنج سالم

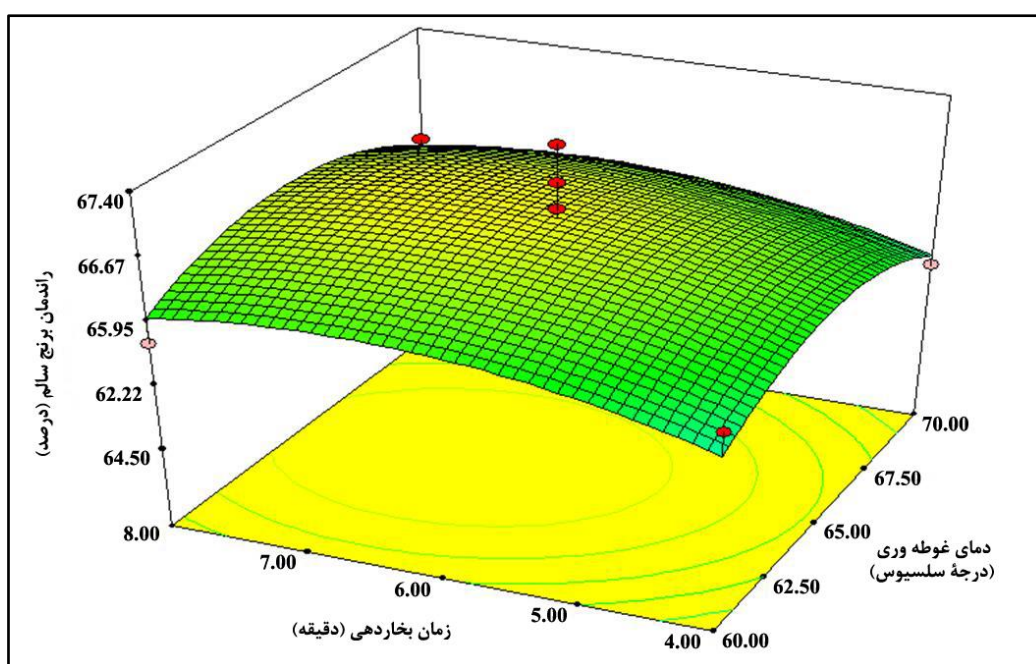
منبع تغییر	درجه آزادی	مجموع مربعات
مدل	۵	۷/۴۹ ^{**}
A	۱	۲/۷۲۳ E-۳ ^{ns}
B	۱	۰/۶۱ ^{ns}
A×B	۱	۰/۱۴ ^{ns}
A ²	۱	۵/۸۵ ^{**}
B ²	۱	۲/۵۳ ^{**}
باقیمانده	۷	۱/۳۲
عدم برازش	۳	۰/۰۵۴ ^{ns}
خطای خالص	۴	۱/۲۶
کل	۱۲	۸/۸۱

^{**} اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد و ^{ns} نبود اختلاف معنی‌دار

A: دمای غوطه‌وری و B: مدت زمان بخاردهی

که فرآیند نیم‌جوش کردن، در مقایسه با فرایند غیر نیم‌جوش، موجب بهبود کیفیت تبدیل برنج می‌شود. همچنین ایسلام و همکاران (Islam et al., 2004) گزارش دادند که طی فرآیند نیم‌جوش کردن، سختی دانه و مقاومت آن در برابر شکنندگی زیاد می‌شود و در نهایت راندمان تبدیل برنج، به‌ویژه در رقم‌های دانه بلند، افزایش می‌یابد.

اثر متقابل دمای غوطه‌وری و زمان بخاردهی بر راندمان برنج سالم در شکل ۳ نشان داده شده است. بیشترین راندمان برنج سالم مربوط به دمای غوطه‌وری ۶۵ درجه سلسیوس است. غوطه‌وری و بخاردهی در شرایط مناسب دما و زمان، راندمان برنج سالم را افزایش داده است. نتایج تحقیق ساریپوانگ و همکاران (Sareepuang et al., 2008) نیز نشان می‌دهد



شکل ۳- اثر متقابل دمای غوطه‌وری و زمان بخاردهی بر راندمان برنج سالم

غوطه‌ور شده در دمای بالا یا به‌علت جذب رطوبت اضافی و پخت برخی از دانه‌های برنج است (Islam et al., 2002; Bello et al., 2006). بنابراین، دمای بالای غوطه‌وری و مدت زمان طولانی بخاردهی موجب کاهش راندمان تبدیل برنج سالم می‌شود. دلیل این موضوع آن است که با افزایش دمای غوطه‌وری و مدت زمان بخاردهی، دانه برنج موجود در پوسته شلتوک آب اضافی جذب می‌کند و در نتیجه موجب ترک برداشتن دانه و متعاقب آن انتقال بخشی از مواد داخل دانه به خارج از آن و پخت برخی از دانه‌های برنج می‌گردد که پخت

افزایش راندمان برنج سالم می‌تواند به‌دلیل اتصال آزادانه پوسته اولیه شلتوک به دانه‌اش باشد، زیرا طی غوطه‌وری پوسته شلتوک از هم باز می‌شود. همچنین با ژلاتینه شدن نشاسته برنج طی مرحله بخاردهی، ساختار محکم‌تری در دانه‌ها ایجاد می‌گردد، در نتیجه راندمان تبدیل بالا می‌رود (Islam et al., 2004, Ayamdoo et al., 2013).

پایین‌ترین راندمان برنج سالم در دمای غوطه‌وری ۷۰ درجه سلسیوس رخ داد. این کاهش راندمان برنج سالم، به‌دلیل تغییر شکل شدید دانه‌های

دانه در اثر دمای بالا، عاملی موثر در حساس شدن دانه به شکست، حین عملیات تبدیل است. همچنین، محققان برای دستیابی به ماکزیمم راندمان برنج سالم، درجهٔ ژلاتینه شدن ۴۰ درصد را پیشنهاد داده‌اند (Miah *et al.*, 2002). زیرا درجهٔ ژلاتینه شدن نشاسته، فضاهای خالی و شکاف‌های موجود در دانه را تعیین می‌کند (Patindol *et al.*, 2008)؛ بنابراین، شدت تیمار نیم‌جوش کردن (افزایش دمای غوطه‌وری یا مدت زمان بخاردهی) موجب افزایش مقدار ژلاتینه شدن نشاستهٔ برنج می‌شود و در نتیجه به کاهش راندمان برنج سالم می‌انجامد. مدت زمان طولانی بخاردهی برای نیم‌جوش کردن مناسب نیست.

دانه در اثر دمای بالا، عاملی موثر در حساس شدن دانه به شکست، حین عملیات تبدیل است. همچنین، محققان برای دستیابی به ماکزیمم راندمان برنج سالم، درجهٔ ژلاتینه شدن ۴۰ درصد را پیشنهاد داده‌اند (Miah *et al.*, 2002). زیرا درجهٔ ژلاتینه شدن نشاسته، فضاهای خالی و شکاف‌های موجود در دانه را تعیین می‌کند (Patindol *et al.*, 2008)؛ بنابراین، شدت تیمار نیم‌جوش کردن (افزایش دمای غوطه‌وری یا مدت زمان بخاردهی) موجب افزایش مقدار ژلاتینه شدن نشاستهٔ برنج می‌شود و در نتیجه به کاهش راندمان برنج سالم می‌انجامد. مدت زمان طولانی بخاردهی برای نیم‌جوش کردن مناسب نیست.

بهینه‌سازی

شرایط بهینهٔ فرآیند نیم‌جوش کردن برای دستیابی به بیشینه راندمان برنج سالم تعیین شد. در این مطالعه مدل‌های چندجمله‌ای درجهٔ دوم به‌دست آمده برای هر پاسخ مورد استفاده قرار گرفتند تا شرایط بهینهٔ خاص تعیین شود. این مدل‌های رگرسیونی تنها در حوزهٔ انتخاب شده اعتبار دارند. بنابراین، ناحیهٔ عملیاتی با در نظر گرفتن تعدادی از محدودیت‌های اقتصادی، صنعتی و کیفیتی محصول تعیین شد (Mansourpoor & Shariati, 2012). در این تحقیق، دمای غوطه‌وری و مدت‌زمان بخاردهی به‌ترتیب در محدودهٔ ۷۵-۵۵ درجهٔ سلسیوس و ۱۰-۲ دقیقه انتخاب شدند. با به‌کارگیری تابع مطلوبیت، دمای غوطه‌وری ۶۴/۹۳ درجهٔ سلسیوس و مدت زمان بخاردهی ۶/۶۷ دقیقه به‌عنوان شرایط بهینه برای راندمان برنج سالم

نتیجه‌گیری

برای تعیین شرایط بهینهٔ دستیابی به بیشترین راندمان برنج سالم در فرآیند نیم‌جوش کردن، از روش سطح پاسخ استفاده شد. تجزیهٔ واریانس نشان داد که تأثیر مربع متغیرهای فرآیند شامل دمای غوطه‌وری و مدت‌زمان بخاردهی بر راندمان برنج سالم در سطح یک درصد معنی‌دار است. بهترین مدل برای برازش مقدار راندمان برنج سالم، مدل چندجمله‌ای درجهٔ دوم به‌دست آمد. شرایط بهینه فرآیند، دمای غوطه‌وری ۶۴/۹۳ درجهٔ سلسیوس و مدت زمان بخاردهی ۶/۶۷ دقیقه برای دستیابی به راندمان برنج سالم (۶۶/۶۷ درصد) با دقت ۸۵/۱ درصد مشخص شد.

مراجع

- Anon. 1995. Official Methods of Analysis. 16th Ed. Association of Official Analytical Chemists (AOAC). Arlington, VA, USA.
- Anon. 2015. Paddy rice, Production quantity, annual statistics. 2013. Commodities and Trade Division, FAO. Rome. Available at: <http://faostat.fao.org>.

- Ayamdo, J. A., Demuyakor, B., Dogbe, W. and Owusu, R. 2013. Parboiling of paddy rice: the science and perceptions of it as practiced in northern Ghana. *Int. J. Sci. Tech. Res.* 2, 13-18.
- Bekers, M., Grube, M., Upite, D., Kaminska, E. and Linde, R. 2007. Carbohydrates in Jerusalem artichoke powder suspension. *Nutr. Food Sci.* 37, 42-49.
- Bello, M., Baeza, R. and Tolaba, M. P. 2006. Quality characteristics of milled and cooked rice affected by hydrothermal treatment. *J. Food Eng.* 72, 124-133.
- Danbaba, N., Nkama, I., Badau, M. H., Ukwungwu, M. N., Maji, A. T., Abo, M. E., Hauwawu, H., Fati, K. I. and Oko, A. O. 2014. Optimization of rice parboiling process for optimum head rice yield: A response surface methodology (RSM) approach. *Int. J. Agric. Forest.* 4, 154-165.
- De Lima, C. J. B., Coelho, L. F. and Contreiro, J. 2010. The use of response surface methodology in optimization of lactic acid production: focus on medium supplementation, temperature and pH control. *Food Technol. Biotech.* 48, 175-181.
- Elbert, G., Tolaba, M. P. and Suárez, C. 2001. Effects of drying conditions on head rice yield and browning index of parboiled rice. *J. Food Eng.* 47, 37-41.
- Eren, I. and Kaymak-Ertekin, F. 2007. Optimization of osmotic dehydration of potato using response surface methodology. *J. Food Eng.* 79, 344-352.
- Fofana, M., Wanvoeke, J., Manful, J., Futakuchi, K., Van Mele, P., Zossou, E. and Bléoussi, T. M. R. 2011. Effect of improved parboiling methods on the physical and cooked grain characteristics of rice varieties in Benin. *Int. Food Res. J.* 18, 715-721.
- Islam, M. R., Shimizu, N. and Kimura, T. 2004. Energy requirement in parboiling and its relationship to some important quality indicators. *J. Food Eng.* 63, 433-439.
- Islam, M. R., Roy, P., Shimizu, N. and Kimura, T. 2002. Effect of processing conditions on physical properties of parboiled rice. *Food Sci. Technol. Res.* 8, 106-112.
- Kargozari, M., Moini, S. and Emam-Djomeh, Z. 2010. Prediction of some physical properties of osmodehydrated carrot cubes using response methodology. *J. Food Process. Pres.* 34, 1041-1063.
- Krishna, D. K., Krishna, S. and Sree, R. P. 2013. Response surface modelling and optimization of chromium(vi) removal from aqueous solution using BorasusFlabellifer Coir powder. *Int. J. Appl. Sci. Eng.* 11, 213-226.
- Latifi, A. and Alizadeh, M. R. 2014. Effect of parboiling on qualities and milling of Iranian rice. *J. Agric. Eng. Res.* 15, 77-88.
- Li, J. W., Ding, S. D. and Ding, X. L. 2007. Optimization of the ultrasonically assisted extraction of polysaccharides from *Zizyphus jujuba* cv. jinsixiaozao. *J. Food Eng.* 80, 176-183.
- Manful, J. T., Grimm, C. C., Gayin, J. and Coker, R. D. 2008. Effect of variable parboiling on crystallinity of rice samples. *Cereal Chem.* 85, 92-95.
- Mansourpoor, M. and Shariati, A. 2012. Optimization of biodiesel production from sunflower oil using response surface methodology. *J. Chem. Eng. Process. Technol.* doi:10.4172/2157-7048.1000141.
- Miah, M. A. K., Haque, A., Douglass, M. P. and Clarke, B. 2002. Parboiling of rice. Part II: Effect of hot soaking time on the degree of starch gelatinization. *Int. J. Food Sci. Technol.* 37, 539-545.
- Nasirahmadi, A., Emadi, B., Abbaspour-Fard, M. H. and Aghagolzade, H. 2014. Influence of moisture content, variety and parboiling on milling quality of rice grains. *Rice Sci.* 21, 116-122.
- Omid, M., Yadollahinia, A. R. and Rafiee, S. 2010. Development of a kinetic model for thin layer drying of Paddy, Fajr variety. *Biosys. Eng. . Iran.* 41, 153-160. (in Persian)

- Patindol, J., Newton, J. and Wang, Y. J. 2008. Functional properties as affected by laboratory-scale parboiling of rough rice and brown rice. *J. Food Sci.* 73, 370-377.
- Sareepuang, K., Siriamornpun, S., Wiset, L. and Meeso, N. 2008. Effect of soaking temperature on physical, chemical and cooking properties of parboiled Fragrant rice. *World J. Agric. Sci.* 4, 409-415.
- Soponronnarit, S., Nathakaranakule, A., Jirajindalert, A. and Taechapiroj, C. 2006. Parboiling brown rice using super heated steam fluidization technique. *J. Food Eng.* 75, 423-432.
- Taghinezhad, E., Khoshtaghaza, M. H., Minaei, S. and Latifi, A. 2015. Effect of soaking temperature and steaming time on the quality of parboiled Iranian paddy rice. *Int. J. Food Eng.* 11, 547-556.
- Taghinezhad, E., Khoshtaghaza, M. H., Suzuki, T., Minaei, S. and Brenner, T. 2016. Quantifying the relationship between degree of starch gelatinization of rice and moisture-electrical conductivity of paddy during soaking. *J. Food Process. Eng.* 39, 442-452.



Application of Response Surface Methodology (RSM) for Optimization of Parboiling Indicators and Prediction of Head Rice Yield

E. Taghinezhad *

*Corresponding Author: Assistant Professor, Agricultural Machinery Mechanic Engineering, Moghan College of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh-Ardabili, Ardabil, Iran.
Email:e.taghinezhad@uma.ac.ir

Received: 9 April 2016, Accepted: 25 December 2016

Parboiling is a hydrothermal treatment and it consists of 3 steps: soaking, steaming and drying of paddy. In this research RSM and central composite design was used for optimization of parboiling indicators (soaking temperature and steaming time). After soaking temperature of (55, 60, 65, 70 and 75 °C) and steaming time of (2, 4, 6, 8 and 10 min), the samples were dried for three days in the shade to a final moisture content of $11\pm 1\%$ (w.b.). Using multiple regression analysis a quadratic polynomial equation was developed for each response. Analysis of variance (ANOVA) was performed to check the adequacy and accuracy of the fitted models. The results showed that the effects of soaking temperature and steaming time were found to be significant ($p<0.01$) with regards to head rice yield. Results also showed that, soaking temperature and steaming time were the most important variables which affect the head rice yield, respectively. Based on developed models, optimum conditions for the maximum head rice yield of (66.67%), were achieved at soaking temperature of 64.93°C and steaming time of 6.67 min.

Keywords: Optimization, Parboiling, Rice Paddy, Soaking, Steaming