تحقیقات مهندسی صنایع غذایی/جلد ۲۵ / شماره ۷۹/ پاییز و زمستان/۱٤۰٤/ ص ۱۹٦-۱۸۵

سایت مجله: https://fooder.areeo.ac.ir

نوع مقاله: پژوهشی

بهینه سازی فرایند پاربویلینگ رقم تیسا با استفاده از روش سطح پاسخ

عاصفه لطیفی[1*] و پردیس رمضانی[2]

[1*] استادیار پژوهش، موسسه تحقیقات برنج کشور، معاونت مازندران. سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، آمل – ایران.دانشجو

[2]کارشناس موسسه تحقیقات برنج کشور، معاونت مازندران. سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی

تاریخ ارسال: ۱۴۰۴/۰۶/۰۵ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۹/۲۳

چکیده

ارقام پرمحصول برنج، نسبت به ارقام بومی، سرشکستگی و درصد گچی بالاتری دارند. از این‌رو با فرایندهای مناسب پس از برداشت مانند پاربویلینگ (نیم‌پزکردن) امکان بهبود این خصوصیات وجود دارد. نیم‌پزکردن فرایند آبی و حرارتی شلتوک پیش از تبدیل و شامل سه مرحله اصلی: خیساندن، بخاردهی و خشک‌کردن است. این عملیات سبب بهبود خصوصیات تبدیل ازجمله افزایش راندمان برنج سالم، کاهش درصد گچی دانه و بهبود پخت به دلیل کاهش چسبندگی می‌شود. در روش‌های متداول نیم‌پزکردن، تعیین نقطه بهینه کاری دشوار و زمان‌بر است و نیاز به آزمایش‌های متعدد دارد از اینرو از روش سطح پاسخ برای این هدف استفاده شد. بر اساس آزمایش‌های صورت گرفتهٔ قبلی از سه دامنه مشخص دمای خیساندن، زمان خیساندن و زمان بخاردهی در روش سطح پاسخ به ترتیب شامل ۵۰ تا ۷۰ درجه سلسیوس، ٤ تا ۸ ساعت و ۵ تا ۱۵ دقیقه استفاده شد تا خروجی های مهم شامل راندمان برنج سالم، میزان سفیدی و سختی برنج بیشترین و درصد گچی و سرسوختگی کمترین باشد. در اثر فرایند پاربویلینگ راندمان برنج سالم، سختی دانهٔ خام و سرسوختگی بیشتر و سفیدی دانه و میزان گچی کمتر به‌دست آمد. بر این اساس شرایط بهینه نیم‌پزکردن برای رقم پرمحصول تیسا دمای خیساندن ٦۱ درجه سلسیوس به مدت ۵ ساعت و زمان بخاردهی۷ دقیقه تعیین شد.

واژه‌های کلیدی: برنج، نیم‌پزکردن، روش سطح پاسخ، خصوصیات کیفی

مقدمه

یکی از اهداف علم اصلاح نژاد معرفی ارقام پرمحصول می‌باشد. برخی از ارقام پرمحصول برنج مانند رقم تیسا، با عملکرد بالا در مزرعه ممکن است سر شکستگی یا درصد گچی بالایی نیز داشته باشند. در این‌صورت، با فرایندهای مناسب پس از برداشت امکان بهبود این خصوصیات وجود دارد. یکی از این فرایندها پاربویلینگ یا نیم‌جوش کردن می‌باشد که شامل فرایند آبی و حرارتی شلتوک پیش از عملیات تبدیل است و سه مرحله اصلی دارد: خیساندن در آب، بخاردهی و خشک‌کردن. خیساندن معمولا در آبی با دماهای مختلف به مدت چند ساعت صورت می‌گیرد و بعد شلتوک به مدت چند دقیقه بخاردهی می‌شود. سپس مراحل خشک‌کردن و تبدیل را طی می‌کند. این عملیات سبب ترمیم ترک‌های ریز در سطح برنج به دلیل ژلاتینه‌شدن نشاسته و بهبود خصوصیات تبدیل از جمله افزایش راندمان برنج سالم، کاهش درصد شکستگی، کاهش درصد گچی و بهبود خصوصیات پخت دانه به دلیل کاهش چسبندگی می‌شود. این عملیات سبب کاهش سفیدی و افزایش زردی رنگ دانه می‌شود (Adhikaritanayake & Noomhorm, 1998; Miah, *et al*., 2002; Bello, *et al*., 2006).

نصیراحمدی و همکاران (Nasirahmadi *et al*., 2013 and 2014) اثر رطوبت تبدیل و شرایط پاربویلینگ را بر فاکتورهای تبدیل دو رقم طارم و فجر بررسی کردند و به این نتیجه رسیدند این فرایند سبب افزایش ۱۰ تا ۱۴ درصد راندمان برنج سفید، کاهش ۱۰ درصد در سفیدی رنگ ارقام و کاهش درجه سبوس‌برداری ارقام می‌شود. اویدل و آدوتی

نویسنده مسئول: Email: asefeh59@yahoo.comr

http://doi: 10.22092/fooder.2026.370536.1431

© 2026,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/). Which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

(Oyedele and Adeoti, 2013) رطوبت مناسب تبدیل و زمان‌های مناسب بخاردهی را برای رقم محلی نیجریه به دست آوردند که سبب کاهش شکستگی آن رقم در مقایسه با روش غیر پاربویل شده بود. پال و همکاران (Pal *et al.*, 2018) نیز به کاهش سفیدی و افزایش راندمان برنج سفید، افزایش مقدار پروتئین و اسید آمینه‌های ضروری و افزایش ترکیبات فنولیک در برنج سفید در اثر فرایند پاربویلنگ اشاره کردند. سیواکامساندری و همکاران (Sivakamasundari, *et al.*, 2020) اثر دو روش پاربویلینگ را بر شاخص‌های تبدیل، کیفی و اندیس گلایسمی ۵ رقم با آمیلوزهای متفاوت بررسی کردند و گزارش دادند راندمان برنج سالم و سختی ارقام در اثر پاربویلینگ افزایش و شاخص گلایسمی و میزان مواد جامد خروجی در آنها کاهش می‌یابد.

در روش های عادی پاربویلینگ که دامنه‌ای از دماها و زمان‌های مختلف خیساندن و بخاردهی اعمال می‌شود ممکن است در یک خصوصیت بهبود ایجاد شود اما در خصوصیت دیگر تغییرات منفی زیادی به‌وجود آید. استفاده از طراحی آزمایش به روش سطح پاسخ این امکان را فراهم می‌سازد تا با آزمایش‌های محدود به نتیجه دلخواه و تعیین نقاط بهینه رسید. با روش سطح پاسخ شرایط فرایند شامل دمای خیساندن، زمان خیساندن و مدت زمان بخاردهی می‌تواند به شکلی تعیین شود تا خروجی های مهم مانند راندمان برنج سالم و میزان سفیدی دانهٔ خام بیشترین و درصد گچی کمترین باشد.

روش سطح پاسخ روشی محاسباتی است که در تحقیقات بهینه‌سازی فرآیندهای مواد غذایی مختلف استفاده می‌شود. این روش با صرفه است و برای جلوگیری از اجرای تعداد زیاد آزمایش برای دست‌یافتن به بهترین پاسخ است و سبب صرفه جویی در مصرف زمان، انرژی و هزینه آزمایش‌ها می‌شود (Youssefi, *et al.*, 2009; Nanvakenari, *et al.*, 2021).

اسمیت و همکاران (Smith, *et al.*, 2021) تاثیر خشک‌کردن با ماکروویو را بر برنج پاربویلینگ بررسی کردند و نشان دادند از بین فاکتورهای مورد بررسی دمای خیساندن بیشترین اهمیت را در پاسخ‌ها دارد. یوسف و همکاران (Yousaf, *et al.*, 2017). از روش سطح پاسخ برای بهینه کردن فرایند پاربویلینگ بر یک رقم هندی استفاده کردند و بهترین پاسخ برای بالاترین راندمان برنج سالم و کمترین شدت رنگ را در دمای خیساندن ۷۰ درجه سلسیوس به مدت ۱۵۰ دقیقه و بخاردهی ۷ دقیقه به‌دست آوردند.

تقی نژاد و برنر (Taghinezhad and Brenner, 2016) و تقی‌نژاد و همکاران، (Taghinezhad, *et al.*, 2015) با استفاده از روش سطح پاسخ بهترین شرایط پاربویلینگ رقم فجر برای داشتن بالاترین راندمان برنج سالم و کمترین رنگ را بررسی کردند و دمای ۶۵ درجه سلسیوس به مدت ۳ ساعت و زمان بخاردهی ۵ دقیقه را به‌دست آوردند. نانواکناری و همکاران (Nanvakenari *et al.*, 2021) تاثیر خشک‌کن بستر سیال با رژیم‌های مختلف سیال‌سازی و دماهای مختلف را بر فاکتورهای تبدیل و کیفی برنج با روش سطح پاسخ بررسی کردند و گزارش دادند دمای ۵۲ درجه سلسیوس (تا رسیدن به رطوبت ۱۸ درصد) با سیستم استراحت‌دهی و رژیم سیالیت ۳/۱ متر بر ثانیه بالاترین راندمان برنج سفید سالم، سفیدی رنگ و نسبت طویل‌شدن دانه را دارد.

در این پروژه قرار است محدودهٔ دقیق فرایند پاربویلینگ با روش آماری سطح پاسخ برای رقم تیسا تعیین شود به نحوی که همهٔ خصوصیات مهم با هم بهینه شوند، یعنی راندمان برنج سالم بیشترین میزان باشد و میزان زردی رنگ و سرسوختگی افزایش چندانی نیابد.

مواد و روش‌ها

شلتوک رقم پرمحصول تیسا به میزان ۳۰۰ گرم برای هر آزمایش تهیه و با ۱/۵ برابر آب (Marshal, *et al.*, 1993) با دمای لازم مخلوط شد. برای اجرای فرایند پاربویلینگ، با توجه به نتایج کارهای صورت گرفته قبلی و مرور منابع (Latifi, 2013; Latifi, and Alizade, 2014; Taghinezhad, *et al.*, 2015; Sabori, 2015)، از دامنه دمای خیساندن ۵۰ تا ۷۰ درجه سلسیوس و زمان خیساندن ۴ تا

۸ ساعت با بن ماری درجه‌دار ممرت استفاده شد و زمان بخاردهی از ۵ تا ۱۵ دقیقه در فشار اتمسفر در نظر گرفته شد. شرایط تیمارهای پاربویلینگ در طرح مرکب مرکزی با ۲۰ آزمایش و ۶ تکرار در نقطهٔ مرکزی مطابق جدول ۲ در قسمت بحث و نتایج اعمال شد.

نتایج تیمارشاهد هم که نمونه غیر پاربویلینگ بوده است و شلتوک آن در دمای ۴۰ درجه سلسیوس تا رطوبت ۱۱ درصد خشک و سپس تبدیل شد صرفا در جدول برای مقایسهٔ کلی با تیمارهای پاربویلینگ آورده شده است و جزء برنامه آماری روش سطح پاسخ نبوده است.

بعد از اعمال فرایند پاربویلینگ، شلتوک تا روز بعد در محیط آزمایشگاه استراحت داده شد و در مرحلهٔ آخر با خشک‌کن ممرت با دمای ۴۰ درجهٔ سلسیوس تا رسیدن به رطوبت ۱۱ درصد بر پایه تر (رطوبت سنج Kett) خشک شد. شلتوک خشک شده با دستگاه‌های تبدیل آزمایشگاهی (Satake Engineering Co., Ltd., Japan) شامل پوست‌کن غلتک لاستیکی و سفیدکن سایشی، به برنج سفید تبدیل و پس از آن آزمون‌های کیفی برنج به شرح زیر اندازه‌گیری شد.

راندمان برنج سفید سالم: وزن برنج سفید سالم (دارای طول بیش از سه چهارم طول برنج کامل) به وزن شلتوک بر حسب درصد ارزیابی شد (Soponronnarit, *et al.*, 2008).

$$\text{راندمان‌برنج‌سالم} = \frac{\text{وزن‌برنج‌سفیدسالم}}{\text{وزن‌شلتوک}} \times ۱۰۰$$

سختی برنج خام: ده دانه برنج سفید انتخاب و در زیر دستگاه سختی‌سنج (Lutron FG-5020, Taiwan) قرار داده شد. نیروی حداکثر در لحظه شکست به عنوان سختی برحسب نیوتن معروف به روش سه نقطه ای یا خمشی با پروب گوه ای شکل با سرعت ۱۵ میلی‌متر بر دقیقه ثبت شد (Lu and Siebenmorgen, 1995).

درجه سفیدی: درجهٔ سفیدی بادستگاه سفیدی سنج (whiteness tester C-100 kett) سنجیده شد. این دستگاه درجه سفیدی جسم استاندارد (نوعی سنگ سرامیکی سفید) را ۸۷/۳ نشان می دهد. دیگر نمونه‌ها سفیدی کمتر از این مقدار خواهند داشت. هر چه عدد خوانده شده به سفیدی جسم استاندارد نزدیک‌تر باشد نمونه سفیدتر است.

درصد دانه گچی: از ۵ گرم برنج سفید سالم دانه‌هایی که بیش از نصف سطح آنها به رنگ مات و آردی دیده شد به عنوان دانه گچی جدا گردید. از تقسیم کردن وزن دانه گچی به وزن کل، درصد دانه گچی محاسبه شد.

$$\text{درصددانه‌گچی} = \frac{\text{وزن‌دانه‌گچی}}{5} \times ۲۰$$

درصد دانه سرسوخته: از ۵ گرم برنج سفید سالم دانه‌هایی که نقاط سیاه در نوک یا سطح دارند جدا و وزن شدند. از تقسیم وزن دانهٔ سرسوخته به وزن کل، درصد دانه سرسوخته محاسبه شد.

$$\text{درصددانه‌سرسوخته} = \frac{\text{وزن‌دانه‌سرسوخته}}{5} \times ۲۰$$

تحلیل آماری

دامنهٔ تغییرات برای هر سه متغیر ورودی پاربویل شامل دمای خیساندن، زمان خیساندن و زمان بخاردهی به نرم افزار دیزاین اکسپرت[1] و طرح آماری روش سطح پاسخ[2] داده شد و ۲۰ آزمایش با ۱۴ آزمایش اصلی و ۶ تکرار در نقطه مرکزی طراحی شد (جدول ۲).

نرم افزار برای هر متغیر ورودی ۵ سطح تعیین کرده است که در جدول ۱ نمایش داده شده است.

بعد از اجرای آزمایش‌ها مطابق برنامه، نتایج پاسخ‌ها که شامل راندمان برنج سالم، سختی دانه، سفیدی دانه، درصد گچی و سرسوخته بود وارد نرم افزار شد و مدل مناسب برازش داده شد. مدل چندجمله‌ای درجه دو که برای پاسخ‌ها تعیین شد مطابق رابطهٔ زیر است:

$$Y = \beta_0 + \sum_{i=1}^{k} \beta_i X_i + \sum_{i=1}^{k} \beta_{ii} X_i^2 + \sum_{i=j}^{K-1} \sum_{j=i+1}^{k} \beta_{ij} X_i X_j$$

در این رابطه، β_0 بیان کننده ضریب ثابت، β_i ضریب خطی، β_{ii} ضریب درجه دو، β_{ij} ضریب متقابل است.

[1] Design Expert$_{11}$

[2] RSM

جدول۱- متغیرهای مستقل و مقادیر کدشده و اصلی

Table 1- Independent variable and their coded and uncoded value

متغیر مستقل Independent variable	واحد unit	نماد ریاضی symbol	مقادیرکد شده Coded value				
			+1.68	+1	0	-1	-1.68
دمای خیساندن Soaking temp.	سلسیوس ℃	A	70	66	60	54	50
زمان خیساندن Soaking time	ساعت hour	B	8	7.2	6	4.8	4
زمان بخاردهی Steaming time	دقیقه min	C	15	13	10	7	5

معنی‌داری ضریب‌های مدل با استفاده از تجزیهٔ واریانس[1] برای هر پاسخ تعیین شد. کفایت مدل با استفاده از آزمون فقدان برازش[2] و ضریب‌های تبیین[3] بررسی گردید. هرچه مقدار ضریب‌های تبیین به یک نزدیک تر باشد، مدل به بهترین وجه ممکن داده‌ها را پیش بینی می‌کند. معادله‌های نهایی فقط برای پاسخ‌هایی نوشته می‌شود که مدل آن معنی‌دار و فقدان برازش بی‌معنا باشد.

منحنی‌های سه بعدی سطح پاسخ برای تعیین اهمیت هر عامل بر پاسخ رسم شد. با گزینهٔ بهینه سازی در نرم افزار، پاسخ‌ها بر اساس اهمیت درجه‌بندی شدند و تعیین شد متغیرهای ورودی پاربویل چگونه باشند تا بالاترین راندمان برنج سالم، بیشترین سختی و میزان سفیدی و کمترین مقدار گچی و سرسوختگی را داشته باشند. پس از آن در نقطه بهینه آزمایش دوباره تکرار شد تا نتایج واقعی به‌دست آمده با نتایج پیش‌بینی شده مقایسه شود.

نتایج و بحث

برای بررسی اثر متغیرهای انتخاب شده بر مقادیر پاسخ، ۲۰ آزمایش با روش سنترال کامپوزیت طراحی شد. آزمایش‌های طراحی شده و مقادیر پاسخ آن‌ها در جدول ۲ ارائه شده است. در سطر آخر جدول نتیجه نمونهٔ شاهد آمده است.

در کل تیمارهای پاربویل نسبت به نمونه شاهد، راندمان برنج سالم بیشتر (از ۲۵ تا ۶۶ درصد) و سختی دانه بیشتری (از ۱۲ تا ۶۰ درصد) داشتند. درصد گچی کمتر شده بود (از صفر تا ۷۸ درصد). سفیدی دانه نیز با فرایند پاربویل به دلیل افزایش زردی کاهش یافت (از صفر تا ۲۲ درصد). میزان خالداری یا سرسوختگی به دلیل فرایند حرارتی در پاربویل افزایش یافت (از ۲۰ تا ۱۲۰ درصد). این نتایج منطبق بر تحقیقات صورت‌گرفته بر پاربویل برنج بوده است (Lamberts, *et al*., 2006; Kar, *et al*., 1999; Islam, *et al*., 2002; Bello, *et al*., 2006; Latifi and Alizade, 2014).

رابطه فرآیند پاربویلینگ و شش پاسخ مربوط توسط روش سطح پاسخ به روش طرح مرکب مرکزی مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. مدل های قابل قبول از طریق تجزیهٔ واریانس تعیین شد تا مدل مناسب برای هر پاسخ به‌دست آید. نتایج تجزیهٔ واریانس در جدول ۳ آمده است. شاخص P value برای تعیین آستانه‌ی معناداری متغیرها به کار می‌رود. P value <۰/۰۵ نشان دهنده‌ی متغیرهای معنادار و P value>۰/۰۵ نشان دهنده‌ی معنادار نبودن متغیرها است. ضرایب رگرسیونی نیز بر اساس بهترین برازش در جدول نوشته شد.

[1] ANOVA
[2] Lack of fit
[3] R^2 , adjust R^2

جدول۲- طراحی آزمایش و نتایج مربوطه
Table 2 – experimental design and results

متغیرهای مستقل Independent variable				متغیرهای وابسته (پاسخ) dependent variable				
ردیف No	دماخیساندن Soak tem. ℃	زمان خیساندن Soak time (h)	زمان‌بخاردهی Steam time (min)	٪راندمان سالم HRY	سختی دانه Hardness (N)	٪گچی chalkiness	سفیدی whitness	٪سرسوخته blackhead
1	50	6	10	43.60	16.76	10	43.6	0.8
2	54	4.8	7	48.36	15.92	9.4	51.2	0.4
3	54	7.2	7	54.47	16.33	8	40.4	1.2
4	54	4.8	13	51.73	14.87	8.4	50.5	1.2
5	54	7.2	13	53	15.99	7.8	41.4	0.8
6	60	4	10	52.71	15.24	8.8	50.6	0.8
7	60	8	10	50.26	15.53	2	43	1.6
8	60	6	5	56.03	15.96	5.8	46.5	0.08
9	60	6	10	54.76	14.65	6	46	0.6
10	60	6	10	51.11	13.88	3.2	42	1.2
11	60	6	10	56.92	11.81	4.6	46.5	1.2
12	60	6	10	57.25	16.16	6	41.9	1.2
13	60	6	10	53.90	15.09	7.2	45.7	1
14	60	6	10	51.89	15.33	5.2	54.4	0.8
15	60	6	15	57.81	16.37	4.4	43.5	1.2
16	66	7.2	13	55.26	15.80	2.4	43.6	1.2
17	66	7.2	7	50.59	16.78	2.4	44.7	2.4
18	66	4.8	13	55.25	12.96	7.6	44.4	2
19	66	4.8	7	54.53	13.78	6.2	46.9	0.8
20	70	6	10	53.66	16.32	6.7	39.5	1.6
نمونه شاهد Control sample	-	-	-	34.78	10.48	9.2	51.4	0.02

جدول ۳- نتایج تجزیهٔ واریانس تاثیر پاربویلینگ بر پاسخ ها
Table 3- analysis of variance for response surface models

منبع تغییرات	راندمان سالم HRY		سختی hardness		گچی chalkiness		سفیدی whitness		سرسوخته blackhead	
	ضریب رگرسیون coefficent	P value	ضریب رگرسیون coefficent	P value	ضریب رگرسیون coefficent	P value	ضریب رگرسیون coefficent	P value	ضریب رگرسیون coefficent	P value
A دماخیساندن Soak temp.	+13727.9	0.029	-35.84	0.344	-181.91	0.000	+5180.4	0.065	+0.0369	0.006
B زمان‌خیساندن Soaktime	-462.74	0.933	+328.92	0.092	-59.87	0.000	-1.92	0.000	+1.005	0.066
C زمان بخاردهی Steamtime	+6400.5	0.264	-41.69	0.578	-51.07	0.547	-988.43	0.161	+0.9896	0.095
AB	-11443.7	0.136	-	-	-1.99	0.289	+1902.3	0.002	+0.0070	0.687
AC	+4145.4	0.570	-	-	+0.99	0.191	-153.12	0.439	-0.0028	0.687
BC	-663.04	0.927	-	-	-0.29	0.936	+694.70	0.481	-0.1272	0.002
A^2	-14305.41	0.021	-	-	+1.44	0.000	-132.99	0.089	-	-
B^2	-7944.8	0.162	-	-	+11.39	0.116	+4743.8	0.023	-	-
C^2	+8969.05	0.119	-	-	-0.45	0.679	+234.93	0.426	-	-
نوع مدل برازش داده Fit model	درجه دو quadratic		خطی linear		درجه دو quadratic		درجه دو quadratic		اثر متقابل Interaction effect	
معناداری مدل P value of model	0.070^{ns}		0.255^{ns}		0.00^{**}		0.001^{**}		0.005^{**}	
فقدان‌برازش Lac of fit	0.709^{ns}		0.673^{ns}		0.79^{ns}		0.925^{ns}		0.178^{ns}	
R^2	0.706		0.218		0.918		0.887		0.710	
Adj R^2	0.442		0.071		0.845		0.785		0.577	

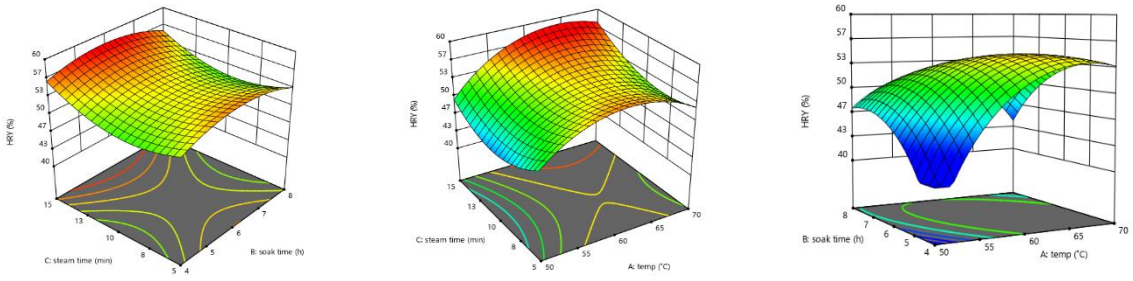
ns از لحاظ آماری بی معنا است. ** به احتمال ۹۹٪ معنادار است.

مطابق جدول ۳ ، فقط R^2 و Adjusted-R^2 در پیش‌بینی مدل سه پاسخ گچی، سفیدی و سرسوخته عدد بالایی دارند و مدل درجه دو برای گچی و سفیدی و مدل اثرهای متقابل برای سرسوخته معنادار و فقدان برازش آنها هم بی‌معنا ست. معادله‌های ریاضی فقط برای مدل‌های معنادار و فقدان برازش بی‌معنا نوشته می‌شود. می‌توان با نوشتن آنها میزان این سه پاسخ را با توجه به سه متغیر دمای خیساندن، زمان خیساندن و زمان بخاردهی پیش‌بینی کرد. اما از آنجائیکه هدف از اجرای این پروژه بهینه‌سازی فرایند است و از این رو از نوشتن معادله‌های ریاضی صرف نظر می‌شود.

تجزیه و تحلیل فرایند

تجزیه و تحلیل فرایند با استفاده از نمودار سه بعدی صورت گرفته است که میزان تاثیر سه پارامتر ورودی شامل دمای خیساندن، زمان خیساندن و زمان بخاردهی را بر شش پاسخ نشان می‌دهد.

شکل ۱ اثر دوگانهٔ سه پارامتر را بر راندمان برنج سالم نشان می‌دهد. مطابق شکل الف، دمای بالا با زمان خیساندن زیاد و دمای پایین با زمان خیساندن کم، هر دو، اثر منفی بر راندمان برنج سالم دارند و سبب کاهش آن می‌شوند. بهترین یا بالاترین راندمان در نقاط میانه است. مطابق شکل ب، بالاترین راندمان سالم در دمای ۶۰ تا ۶۵ درجه سلسیوس با زمان بخاردهی بالای ۱۳ دقیقه به‌دست آمده است. مطابق شکل ج، که اثر دو زمان خیساندن و بخاردهی را نشان می‌دهد، بالاترین راندمان سالم صرف نظر از زمان خیساندن به زمان بخاردهی بالای ۱۳ دقیقه تعلق دارد. محققان دیگر (Smith, *et al.*, 2021; Taghinezhad, *et al.*, 2015) هم بر افزایش راندمان در اثر افزایش زمان بخاردهی اشاره کرده‌اند.

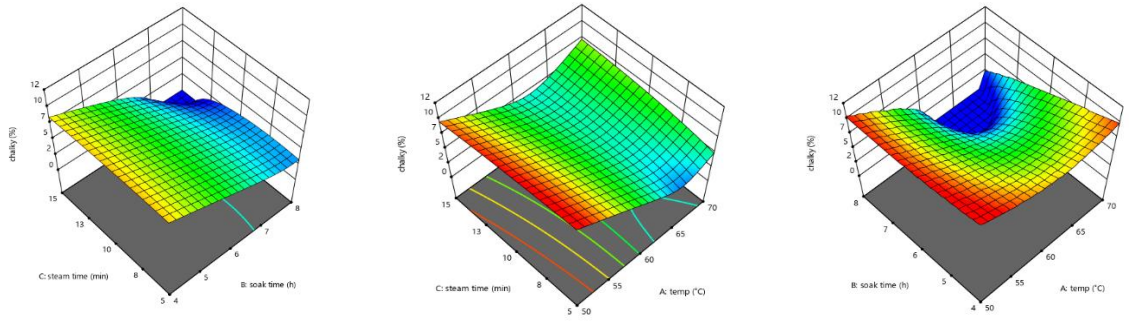


الف ب ج

شکل ۱- نمودار سطح پاسخ دمای خیساندن و زمان خیساندن (الف)، دمای خیساندن و زمان بخاردهی (ب)، زمان خیساندن و زمان بخاردهی بر راندمان برنج سالم (ج)

Figure 1- response surface plots of soaking temp. and time (a), soaking temp. and steam time (b), soaking and steam time (c), on head rice yield.

شکل ۲، اثر دوگانه سه پارامتر را بر درصد گچی دانه نشان می‌دهد. مطابق شکل الف، در دماهای پایین خیساندن زمان خیساندن تاثیر چندانی بر گچی دانه ندارد و بالاترین میزان گچی در دماهای پایین خیساندن به‌دست آمده است. در دماهای بالای خیساندن، با افزایش زمان خیساندن درصد گچی نیز کاهش می‌یابد (تا ۸۰ درصد). دمای خیساندن کمتر از ۵۵ درجه سلسیوس هیچ تاثیری بر کاهش گچی ندارد. در شکل ب مشاهده می‌شود که اثر دمای خیساندن مهم‌تر از اثر زمان بخاردهی است. با افزایش دمای خیساندن، صرف نظر از زمان بخاردهی، میزان گچی کاهش یافته است. مطابق شکل ج، اثر زمان خیساندن بر گچی دانه مهم‌تر از اثر زمان بخاردهی است. با افزایش زمان خیساندن گچی کاهش می‌یابد.



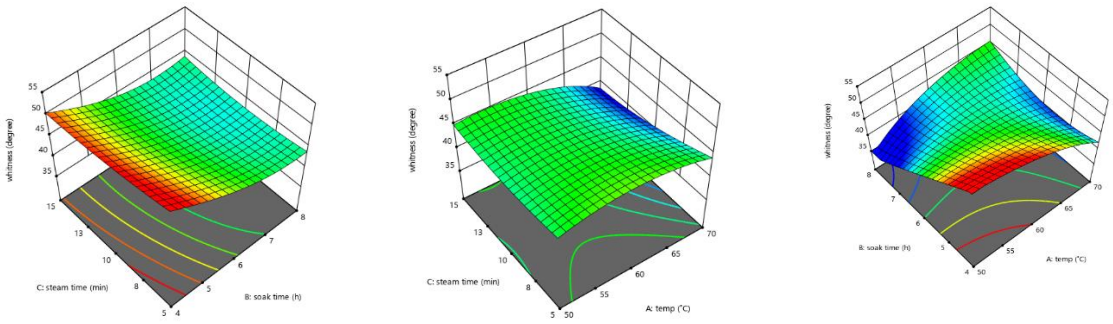
شکل ۲- نمودار سطح پاسخ دمای خیساندن و زمان خیساندن (الف)، دمای خیساندن و زمان بخاردهی (ب)، زمان خیساندن و زمان بخاردهی بر درصدگچی دانه (ج)

Figure 2- response surface plots of soaking temp. and time (a), soaking temp. and steam time (b), soaking and steam time (c), on chalky rice.

شکل ۳ ، اثر دوگانهٔ سه پارامتر را بر سفیدی دانه نشان می‌دهد. مطابق شکل الف، اثر دمای خیساندن و زمان خیساندن مشهود است. با افزایش هر دو عامل، میزان سفیدی کاهش یافته است. مطابق شکل ب، اثر دما مشهود است و زمان بخاردهی نقش کمتری دارد. مطابق شکل ج، اثر زمان خیساندن بیشتر از اثر زمان بخاردهی است. با افزایش زمان خیساندن سفیدی کاهش یافته است. محققان دیگر هم افزایش رنگ و زردی دانه را در اثر شدت بخاردهی و فرایند پاربویلینگ بیان داشته‌اند (Taghinezhad, *et al.*, 2016; Yousaf, *et al.*, 2017).

شکل ۴ اثر دوگانهٔ سه پارامتر را بر درصد سرسوختگی دانه نشان می‌دهد. مطابق شکل الف، با افزایش دمای خیساندن میزان سرسوختگی افزایش یافته و در دماهای بالا با افزایش زمان خیساندن میزان سرسوختگی زیادتر شده است. مطابق شکل ب، اثر دما مهم‌تر از اثرزمان بخاردهی است. در شکل ج مشاهده می‌شود که در هردو حالت زمان خیساندن و زمان بخاردهی بالا میزان سرسوختگی بیشتری ایجاد می‌شود.

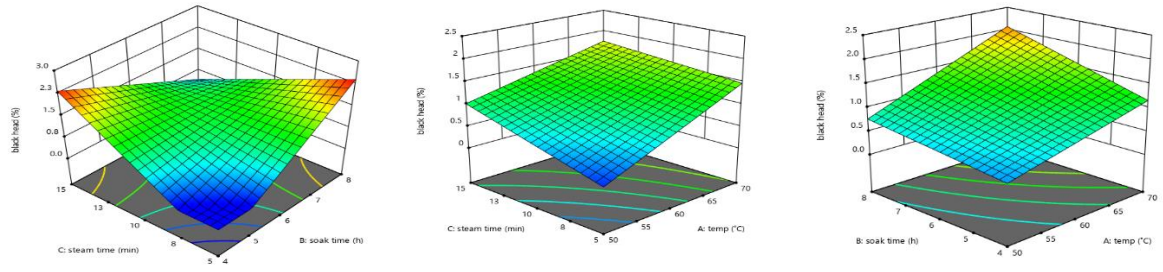
شکل ۵، اثر دوگانهٔ سه پارامتر را بر سختی دانه نشان می‌دهد.مطابق شکل الف، اثر زمان خیساندن بیشتر از اثردمای خیساندن است و با افزایش زمان خیساندن سختی دانه افزایش می‌یابد (تا ۲۲ درصد). مطابق شکل ب، تغییرات سختی دانه با تغییرات دما و زمان بخاردهی زیاد محسوس نیست. در شکل ج مشاهده می‌شود که بین دو زمان خیساندن و زمان بخاردهی اثر زمان خیساندن محسوس است و با افزایش آن، سختی زیاد می‌شود. تقی نژاد و همکاران (Taghinezhad *et al.*, 2015) نیز به افزایش سختی در اثر پاربویلینگ و شدت فرایند اشاره کرده‌اند.



الف ب ج

شکل ۳- نمودار سطح پاسخ دمای خیساندن و زمان خیساندن (الف)، دمای خیساندن و زمان بخاردهی (ب)، زمان خیساندن و زمان بخاردهی بر سفیدی دانه (ج)

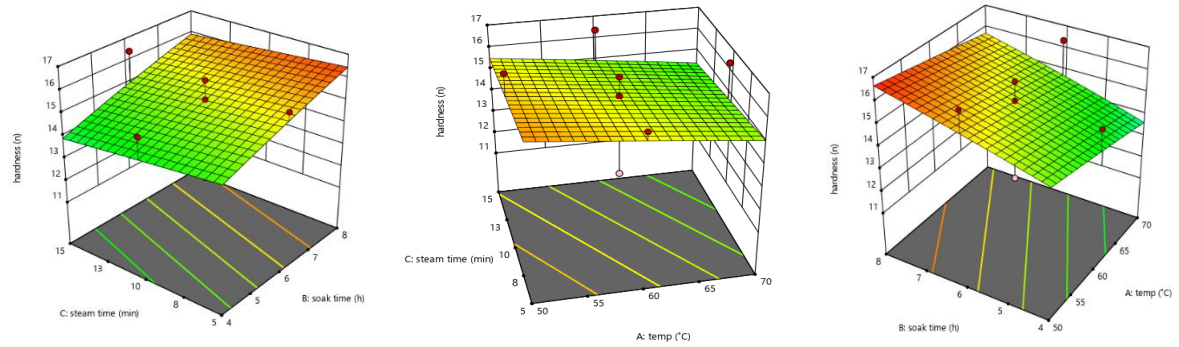
Figure 3- response surface plots of soaking temp. and time (a), soaking temp. and steam time (b), soaking and steam time (c), on whitness.



الف ب ج

شکل ٤- نمودار سطح پاسخ دمای خیساندن و زمان خیساندن (الف)، دمای خیساندن و زمان بخاردهی (ب)، زمان خیساندن و زمان بخاردهی بر سرسوختگی دانه (ج)

Figure 4- response surface plots of soaking temp. and time (a), soaking temp. and steam time (b), soaking and steam time (c), on black head.



الف ب ج

شکل ٥- نمودار سطح پاسخ دمای خیساندن و زمان خیساندن (الف)، دمای خیساندن و زمان بخاردهی (ب)، زمان خیساندن و زمان بخاردهی بر سختی دانه (ج)

Figure 5- response surface plots of soaking temp. and time (a), soaking temp. and steam time (b), soaking and steam time (c), on hardness.

بهینه‌سازی فرایند

از آنجا که کیفیت محصول نهایی و اقتصاد فرآیند مستقیماً تحت تأثیر مرحلهٔ بهینه‌سازی قرار دارد، بهینه‌سازی باید در مراحل طراحی فرآیند در نظر گرفته شود. بهینه‌سازی فرآیند به طور جداگانه و تک پاسخ می‌تواند تأثیرات مخربی بر دیگر پاسخ‌ها داشته باشد. خوشبختانه، چندین پاسخ می‌تواند به طور همزمان با استفاده از روش سطح پاسخ و میزان مطلوب‌بودن بهینه شود. تابع مطلوبیت یک تابع هدف است که برای بهینه‌سازی پاسخ‌ها به کار برده می‌شود و مقدار آن بین صفر تا یک است و هرچه به یک نزدیک‌تر باشد مطلوبیت بالاتر است (Nanvakenari, *et al.*, 2022). هدف اصلی هر فرآیند بهینه‌شده یافتن مجموعه‌ای مناسب از شرایط است که بتواند همهٔ اهداف را برآورده کند، نه فقط رسیدن به مقدار مطلوبیت عدد یک یا صددرصد. در نهایت فرآیند با توجه به اهداف در نظرگرفته شده و اهمیت آنها برای پاسخ‌ها بهینه‌سازی می‌شود.

هدف‌های مورد نظر در این فرآیند دستیابی به بیشینه‌شدن راندمان برنج سالم، سفیدی و سختی دانه و کمینه‌شدن گچی و سرسوختگی است. برای رسیدن به شرایط بهینه، دمای خیساندن، زمان خیساندن و زمان بخاردهی در محدوده شرایط آزمایشگاهی درنظر گرفته شد. در نرم‌افزار طراحی آزمایش اهمیت خروجی‌ها قابل تنظیم و بین ۱ تا ۵ متغیر است. برای بهینه‌سازی از اهمیت‌های مختلفی برای خروجی‌ها استفاده شد و به ترتیب اولویت، اهمیت ۵ برای راندمان برنج سالم، ۴ برای گچی‌بودن و ۳ برای شاخص

سفیدی، سختی و سرسوختگی در نظر گرفته شد. نتیجهٔ بهینه-سازی فرآیند در جدول ۴ آمده است. مطابق این جدول فرایند بهینه پاربویلینگ رقم تیسا در دمای خیساندن ۶۱ درجه سلسیوس، با زمان خیساندن ۵ ساعت و زمان بخاردهی ۷ دقیقه با میزان مطلوبیت کلی ۶۸ درصد انتخاب شد. برای آزمایش کردن مقادیر پیش‌بینی‌شده، یک بار دیگر فرایند پاربویلینگ با دما و زمان بهینه تکرار شد و نتایج جدید در جدول۴ آمده است. همان‌طور که دیده می‌شود، مقادیر آزمایشگاهی بسیار به مقادیر پیش‌بینی شدهٔ نرم‌افزار نزدیک هستند. فقط در مورد صفت گچی‌بودن حتی کمتر از مقدار پیش‌بینی شده به‌دست آمد.

جدول ٤- نتایج حاصل از بهینه‌سازی پارامترها

Table 4- Optimization parameter

	دمای خیساندن Soaktem. °C	زمان خیساندن soaktime (h)	زمان بخاردهی steamtime (min)	٪راندمان سالم HRY	٪گچی chalky	سفیدی Whit ness	٪سرسوخته Black head	سختی Hard ness	مطلوبیت desirability
درجه اهمیت Importance degree				Max. 5	Min. 4	Max. 3	Min. 3	Max. 3	
مقادیر پیش‌بینی‌شده Predicted value	61	5	7	54.3	6.8	48.4	0.45	15	0.68
مقادیرآزمایشگاهی Experimental value	61	5	7	54	4	46	0.5	14.5	

نتیجه گیری

به طور کلی در چهار پاسخ مورد بررسی، دمای خیساندن اثرگذارتر بود. با افزایش دما، ویژگی راندمان سالم و سرسوختگی زیاد و گچی و سفیدی کم شد. اما در تغییرات سختی دانه، زمان خیساندن مهم‌تر بود و با افزایش آن سختی افزایش یافت. زمان خیساندن و زمان بخاردهی اثر متفاوتی بر ویژگی‌ها داشتند. در راندمان سالم، زمان بخاردهی تاثیرگذارتر بود و با افزایش آن راندمان زیاد شد. در گچی، سفیدی و سختی دانه، زمان خیساندن مهم‌تر بود. گچی و سفیدی با افزایش آن کاهش اما سختی دانه با افزایش آن افزایش یافت. برای میزان سرسوختگی هر دو زمان مهم بودند با افزایش آنها زیاد شد.

اما روش سطح پاسخ نقطهٔ بهینه‌ای از فرایند را نشان داد تا در دمای خیساندن ۶۱ درجه سلسیوس با زمان خیساندن ۵ ساعت و زمان بخاردهی ۷ دقیقه بهترین نتایج به‌دست آید به طوری که راندمان برنج سالم، سفیدی و سختی بیشترین میزان و گچی و سرسوختگی کمترین مقدار باشند.

تعارض منافع

نویسندگاه تعارض منافع نداشته‌اند.

منابع

Adhikaritanayake, T.B. and Noomhorm, A. (1998). Effect of continuous steaming on parboiled rice quality. *Food Engineering*. 36, 135-143.

Bello, M., Baeza, R. and Tolaba, M.P. (2006). Quality characteristics of milled and cooker rice affected by hydrothermal treatment. *Food Engineering*. 72, 124-133.

Islam, M.R., Roy, P., Shimizu, N. and Kimura, T. (2002). Effect of processing conditions on physical properties of parboil rice. *Food Science Technology Research*. 8(2), 106-112.

Kar, N., jain, R.K. and Srivastav, P.P. (1999). Parboiling of dehusked rice. *Food Engineering*. 39, 17-22.

Lamberts, L., Brijs, K., Mohamed, R., Verhelst, N. and Delcour, J.A. (2006). Impact of browning reactions and bran pigments on color of parboiled rice. *Agricultural and Food Chemistry*. 54, 9924-9929.

Latifi, A. (2013). Effect of parboiling on quality characteristics of Iranian rice. Deputy of Rice Research Institute of Iran- Amol. Research Report N. 42169. (in persian)

Latifi, A. and Alizade, M.R. (2014). Effect of parboiling on qualities and milling of Iranian rice. *Journal of Agriculture Engineering Research*. 15 (2), 77-88. (in persian)

Lu, R. and T.J.Siebenmorgen. (1995). Correlation of head rice yield to selected physical and mechanical properties of rice kernels. *Transactions of the* ASAE, 38(3), 889-894.

Marshal, W.E., Wadsworth, J.A., Verma, L.R. and Velupillai, L. (1993). Determining the degree of gelatinization in parboiled rice. *Cereal Chemistry*. 70(2), 226-230.

Miah, M.A.K., Hague, A., Douglass, M.P. and Clarke, B. (2002). Par boiling of rice part ∏: effect of hot soaking time on the degree of starch gelatinization. *Food Science and Technology*. 37, 539-545.

Nanvakenari, S., Movagharnejad, K. And Latifi, A. (2021). Evaluating the fluidized-bed drying of rice using response surface methodology and artificial neural network. LWT - *Food Science and Technology* 147, 111589.

Nanvakenari, S., Movagharnejad, K. And Latifi, A. (2022). Multi-objective optimization of hybrid microwave-fluidized bed drying conditions of rice using response surface methodology. *Journal of Stored Products Research.* 97, 101956.

Nasirahmadi, A., Emadi, B., Abbaspour-fard, M.H. and Aghagolzade, H. (2013). Influence of Moisture Content, Variety and Parboiling on Milling Quality of Rice Grains. *Rice Science.* 21(2), 116−122.

Nasirahmadi, A., Abbaspour-fard, M.H., Emadi, B., and Behroozi Khazaei, N. (2014). Modelling and analysis of compressive strength properties of parboiled paddy. *International Agrophysics*, 28, 73-83.

Oyedele, O. and Adeoti, O. (2013). Investigation into the Optimum Moisture Content and Parboiling Time for Milling Igbemo Rice. *Rice Research.* 1(1), 1-3.

Pal, P., Singh, N., Kaur, P. and Kaur, A. (2018). Effect of Parboiling on Phenolic, Protein, and Pasting Properties of Rice from Different Paddy Varieties. *Food Science.* Vol. 00, Iss. 0.1-11.

Sabori, S. (2015). Effect of parboiling on chemistry, cooking and nutrition characteristics of Iranian rice. Rice Research Institute of Iran- Rasht. Research Report N. 50158. (in persian)

Sivakamasundari, S. K., Moses, J. A. And Anandharamakrishnan, C. (2020). Efect of parboiling methods on the physicochemical characteristics and glycemic index of rice varieties. *Journal of Food Measurement and Characterization*. 14, 3122–3137.

Smith, D., Atungulu, G. G. And Mauromoustakos, A. (2021). Processing parameters for one pass drying of high moisture parboiled rough rice with 915 MHz microwaves. *Transactions of the* ASABE. 64(1), 299-312.

Soponronnarit, S., Chiawwet, M., Prachayawarakorn, S., Tungtrakul, P. and Taechapairoj, C. (2008). Comparative study of physicochemical properties of accelerated and naturally aged rice. *Food Engineering*. 85, 268- 276.

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. *International Journal of Food Engineering.* 11(4), 547–556.

Taghinezhad, E. And Brenner, T. (2016). Mathematical modeling of starch gelatinization and some quality properties of parboiled rice based on parboiling indicators using RSM. *Journal of Food Process Engineering*, 1-8.

Yousaf, K., Kunjie, C., Cairong, C., Abbas, A., Huang, Y., Arslan, C. And Xuejin, Z. (2017). The Optimization and Mathematical Modeling of Quality Attributes of Parboiled Rice Using a Response Surface Method. Journal of Food Quality. Article ID 5960743.

Youssefi, S., Emam-Djomeh, Z., & Mousavi, S. M. (2009). Comparison of artificial neural network (ANN) and response surface methodology (RSM) in the prediction of quality parameters of spray-dried pomegranate juice. *Drying Technology*, 27(7–8), 910–917.

Food Engineering Research/Vol.25/No. 79/ Autumn& Winter 2026/P:185-196

Journal Home page: https://fooder.areeo.ac.ir

Original Research

Optimization parboiling of Tisa variety using response surface method

Asefeh Latifi*, Pardis Ramzani

***Corresponding Author:** Associate Professor, Rice research institute of Iran, Mazandaran branch, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Amol, Iran.
Email: asefeh59@yahoo.com
Received: 25 August 2025 **Accepted**: 14 December 2025
http://doi: 10.22092/fooder.2026.370536.1431

Abstract

Tisa is a high yielding rice that its broken and chalky properties is more than local rice. Proper postharvest methods like parboiling can improve these properties. Parboiling is a hydrothermal process including three steps: soaking, steaming and drying. Parboiling can improve milling properties of rice, increasing head rice yield, decreasing chalkiness and improving cooking properties because of reduction stickiness of rice. Response surface method (RSM) is a mathematical method to determine the input parameter based on previous work include soaking temperature (from 50 to 70 ˚C), soaking time (from 4 to 8 h) and steaming time (from 5 to 15 min) to get the best results. The best output is maximum Head rice Yield (HRY), whiteness and hardness and minimum chalky and blackhead. The optimization process for parboiling of Tisa were determined soaking temperature of 61˚C, soaking time 5h and steaming time of 7 min.

Key words: Parboil, Rice, RSM, Quality Parameter

© 2026,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/). Which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.