

بهینه سازی فرایند پاربولینگ رقم تیسبا با استفاده از روش سطح پاسخ

عاصفه لطیفی^{۱*} و پردیس رضائی^۲

^{۱*} استادیار پژوهش، موسسه تحقیقات برنج کشور، معاونت مازندران. سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، آمل - ایران. دانشجو
^۲ 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 این رو با فرایندهای مناسب پس از برداشت مانند پاربولینگ (نیم‌پز کردن) امکان بهبود این خصوصیات وجود دارد. نیم‌پز کردن فرایند آبی و حرارتی شلتوک پیش از تبدیل و شامل سه مرحله اصلی: خیساندن، بخاردهی و خشک کردن است. این عملیات سبب بهبود خصوصیات تبدیل از جمله افزایش راندمان برنج سالم، کاهش درصد گچی دانه و بهبود پخت به دلیل کاهش چسبندگی می‌شود. در روش‌های متداول نیم‌پز کردن، 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 گرفته قبلی از سه دامنه مشخص دمای خیساندن، زمان خیساندن و زمان بخاردهی در روش سطح پاسخ به ترتیب شامل ۵۰ تا ۷۰ درجه سلسیوس، ۴ تا ۸ ساعت و ۵ تا ۱۵ دقیقه استفاده شد تا خروجی‌های مهم شامل راندمان برنج سالم، میزان سفیدی و سختی برنج بیشترین و درصد گچی و سرسوخستگی کمترین باشد. در اثر فرایند پاربولینگ راندمان برنج سالم، سختی دانه خام و سرسوخستگی بیشتر و سفیدی دانه و میزان گچی کمتر به دست آمد. بر این اساس شرایط بهینه نیم‌پز کردن برای رقم پرمحصول تیسبا دمای خیساندن ۶۱ درجه سلسیوس به مدت ۵ ساعت و زمان بخاردهی ۷ دقیقه تعیین شد.

واژه‌های کلیدی: برنج، نیم‌پز کردن، روش سطح پاسخ، خصوصیات کیفی

مقدمه

ترمیم ترک‌های ریز در سطح برنج به دلیل ژلاتینه شدن 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 پاربولینگ 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

یکی از اهداف علم اصلاح نژاد معرفی ارقام پرمحصول می‌باشد. برخی از ارقام پرمحصول برنج مانند رقم تیسبا، با عملکرد بالا در مزرعه ممکن است سر شکستگی یا درصد گچی بالایی نیز داشته باشند. در این صورت، با فرایندهای مناسب پس از برداشت امکان بهبود این خصوصیات وجود دارد. یکی از این فرایندها پاربولینگ 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 خشک کردن. خیساندن معمولاً در آبی با دماهای مختلف به مدت چند ساعت صورت می‌گیرد و بعد شلتوک به مدت چند دقیقه بخاردهی می‌شود. سپس مراحل خشک کردن و تبدیل را طی می‌کند. این عملیات سبب

بیشترین اهمیت را در پاسخ‌ها دارد. یوسف و همکاران (Yousaf, et al., 2017). از روش سطح پاسخ برای بهینه کردن فرایند پاروبیلینگ 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 به دست آوردند.

تقی نژاد و برنر (Taghinezhad and Brenner, 2016) و تقی نژاد و همکاران، (Taghinezhad, et al., 2015) با استفاده از روش سطح پاسخ بهترین شرایط پاروبیلینگ 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 به دست 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 طولیل‌شدن دانه را دارد.

در این پروژه قرار است محدوده دقیق فرایند پاروبیلینگ با روش آماری سطح پاسخ برای رقم تیسرا تعیین شود به نحوی که همه خصوصیات مهم با هم بهینه شوند، یعنی راندمان برنج سالم بیشترین میزان باشد و میزان زردی رنگ و سرسوخستگی افزایش چندانی نیابد.

مواد و روش‌ها

شلتوک رقم پرمحصول تیسرا به میزان ۳۰۰ گرم برای هر آزمایش تهیه و با ۱/۵ برابر آب (Marshall, et al., 1993) با دمای لازم مخلوط شد. برای اجرای فرایند پاروبیلینگ، 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

(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 پاروبیل 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 پاروبیلینگ اشاره کردند. سیواکاماسانداری و همکاران (Sivakamasundari, et al., 2020) اثر دوروش پاروبیلینگ را بر شاخص‌های تبدیل، کیفی و اندیس گلاسیمی ۵ رقم با آمیلوزهای متفاوت بررسی کردند و گزارش دادند راندمان برنج سالم و سختی ارقام در اثر پاروبیلینگ افزایش و شاخص گلاسیمی و میزان مواد جامد خروجی در آنها کاهش می‌یابد.

در روش‌های عادی پاروبیلینگ 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 به وجود 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 خروجی‌های مهم مانند راندمان برنج سالم و میزان سفیدی دانه 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 پاروبیلینگ بررسی کردند و نشان دادند از بین فاکتورهای مورد بررسی دمای خیساندن

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 نزدیک تر 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.

$$\text{درصد دانه گچی} = \frac{\text{وزن دانه گچی}}{5} \times 20$$

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 دانه سرسوخته به وزن کل، درصد دانه سرسوخته محاسبه شد.

$$\text{درصد دانه سرسوخته} = \frac{\text{وزن دانه سرسوخته}}{5} \times 20$$

تحلیل آماری

دامنه تغییرات برای هر سه متغیر ورودی پاربول شامل دمای خیساندن، زمان خیساندن و زمان بخاردهی به نرم افزار دیزاین اکسپرت^۱ و طرح آماری روش سطح پاسخ^۲ 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 رابطه 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.

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 پاربولینگ در طرح مرکب مرکزی با ۲۰ آزمایش و ۶ تکرار در نقطه مرکزی مطابق جدول ۲ در قسمت بحث و نتایج اعمال شد.

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

بعد از اعمال فرایند پاربولینگ، شلتوک تا روز بعد در محیط آزمایشگاه استراحت داده شد و در مرحله آخر با خشک‌کن ممرت با دمای ۴۰ درجه 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).

$$\text{راندمان برنج سالم} = \frac{\text{وزن برنج سفید سالم}}{\text{وزن شلتوک}} \times 100$$

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 بر حسب 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: درجه سفیدی بادستگاه سفیدی سنج (whiteness tester C-100 kett) این دستگاه

² RSM

¹ Design Expert₁₁

جدول ۱- متغیرهای مستقل و مقادیر کدشده و اصلی

Table 1- Independent variable and their coded and uncoded value

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

در کل تیمارهای پارابول 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 پارابول به دلیل افزایش زردی کاهش یافت (از صفر تا ۲۲ درصد). میزان خالداری یا سرسوختگی به دلیل فرایند حرارتی در پارابول افزایش یافت (از ۲۰ تا ۱۲۰ درصد). این نتایج منطبق بر تحقیقات صورت گرفته بر پارابول 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 پارابولینگ 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 تجزیه واریانس تعیین شد تا مدل مناسب برای هر پاسخ به دست آید. نتایج تجزیه واریانس در جدول ۳ آمده است. شاخص P value برای تعیین آستانه‌ی معناداری متغیرها به کار می‌رود. $P \text{ value} < 0.05$ نشان دهنده‌ی متغیرهای معنادار و $P \text{ value} > 0.05$ نشان دهنده‌ی معنادار نبودن متغیرها است. ضرایب رگرسیونی نیز بر اساس بهترین برازش در جدول نوشته شد.

معنی‌داری ضریب‌های مدل با استفاده از تجزیه واریانس^۱ برای هر پاسخ تعیین شد. کفایت مدل با استفاده از آزمون فقدان برازش^۲ و ضریب‌های تبیین^۳ 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 گزینه بهینه سازی در نرم افزار، پاسخ‌ها بر اساس اهمیت درجه‌بندی شدند و تعیین شد متغیرهای ورودی پارابول 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 به دست 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 نمونه شاهد آمده است.

³ R², adjust R²¹ ANOVA² Lack of fit

جدول ۲- طراحی آزمایش و نتایج مربوطه
Table 2 – experimental design and results

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

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

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

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

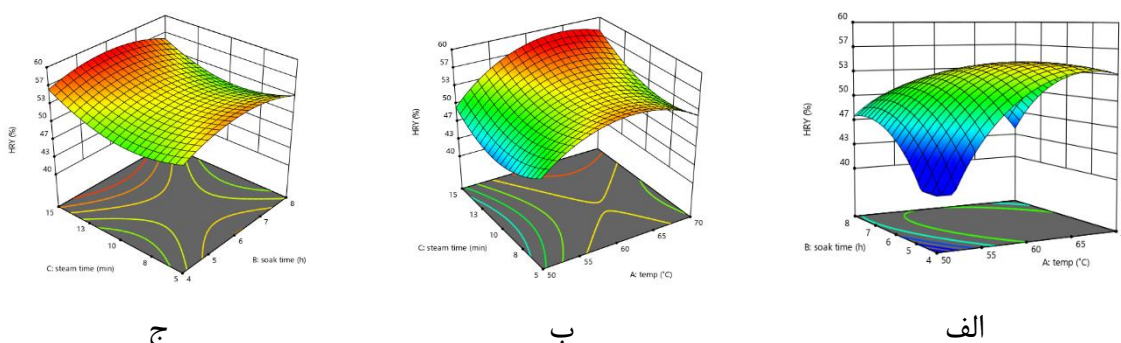
دمای خیساندن، زمان خیساندن و زمان بخاردهی را بر شش پاسخ نشان می‌دهد.

شکل ۱ اثر دوگانه 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 به دست 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.

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 بی‌معناست. 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



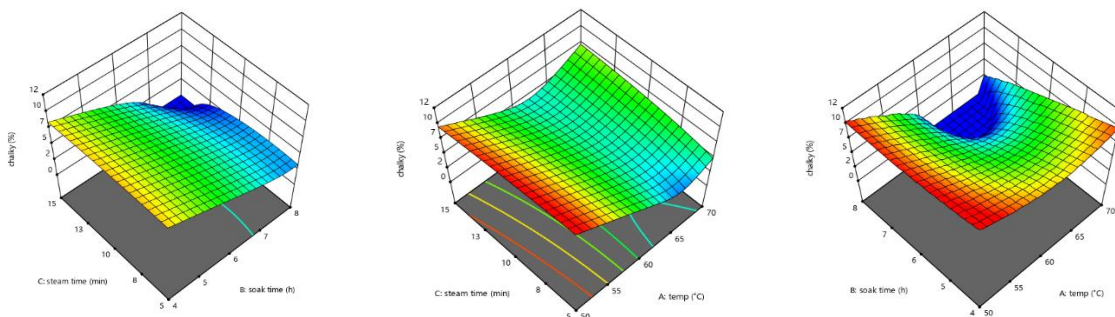
شکل ۱- نمودار سطح پاسخ دمای خیساندن و زمان خیساندن (الف)، دمای خیساندن و زمان بخاردهی (ب)، زمان خیساندن و زمان بخاردهی بر راندمان برنج سالم (ج)

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.

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، 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 به دست آمده است. در دماهای بالای خیساندن، با افزایش زمان خیساندن درصد گچی نیز کاهش می‌یابد (تا ۸۰ درصد). دمای خیساندن کمتر از ۵۵

بهینه سازی فرایند پاربولینگ رقم تیسبا با استفاده از روش سطح پاسخ



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

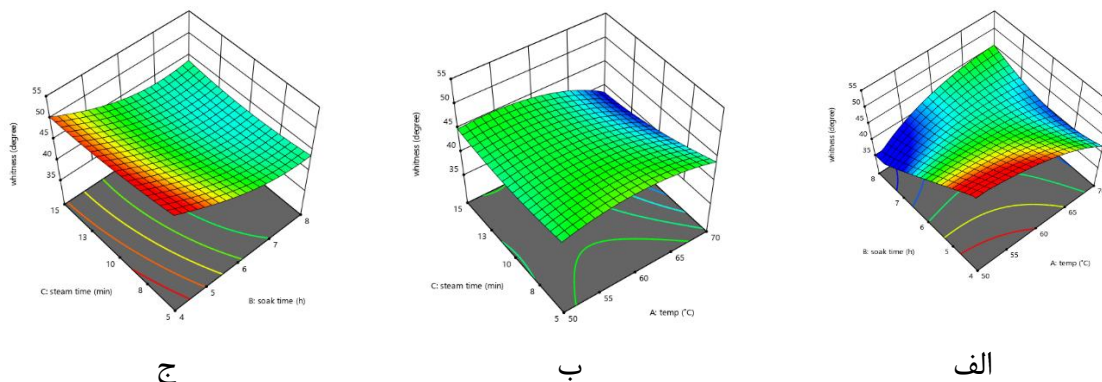
Figure 2- response surface plots of soaking temp. and time (a), soaking temp. and steam time (b), soaking and steam time (c), on chakly rice.

شکل ب، اثر دما مهم تر از اثر زمان بخاردهی است. در شکل ج مشاهده می شود که در هر دو حالت زمان خیساندن و زمان بخاردهی بالا میزان سرسوختگی بیشتری ایجاد می شود.

شکل ۵، اثر دوگانه سه پارامتر را بر سختی دانه نشان می دهد. مطابق شکل الف، اثر زمان خیساندن بیشتر از اثر دمای خیساندن است و با افزایش زمان خیساندن سختی دانه افزایش می یابد (تا ۲۲ درصد). مطابق شکل ب، تغییرات سختی دانه با تغییرات دما و زمان بخاردهی زیاد محسوس نیست. در شکل ج مشاهده می شود که بین دو زمان خیساندن و زمان بخاردهی اثر زمان خیساندن محسوس است و با افزایش آن، سختی زیاد می شود. تقی نژاد و همکاران (Taghinezhad *et al.*, 2015) نیز به افزایش سختی در اثر پاربولینگ و شدت فرایند اشاره کرده اند.

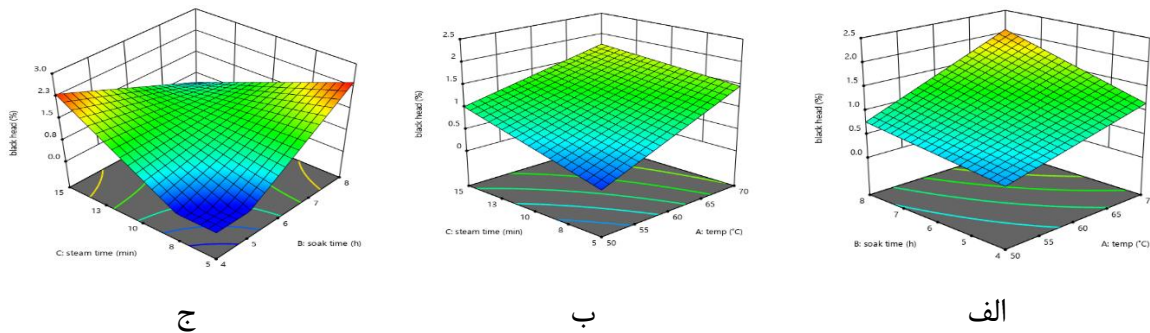
شکل ۳، اثر دوگانه سه پارامتر را بر سفیدی دانه نشان می دهد. مطابق شکل الف، اثر دمای خیساندن و زمان خیساندن مشهود است. با افزایش هر دو عامل، میزان سفیدی کاهش یافته است. مطابق شکل ب، اثر دما مشهود است و زمان بخاردهی نقش کمتری دارد. مطابق شکل ج، اثر زمان خیساندن بیشتر از اثر زمان بخاردهی است. با افزایش زمان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

شکل ۴ اثر دوگانه سه پارامتر را بر درصد سرسوختگی دانه نشان می دهد. 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



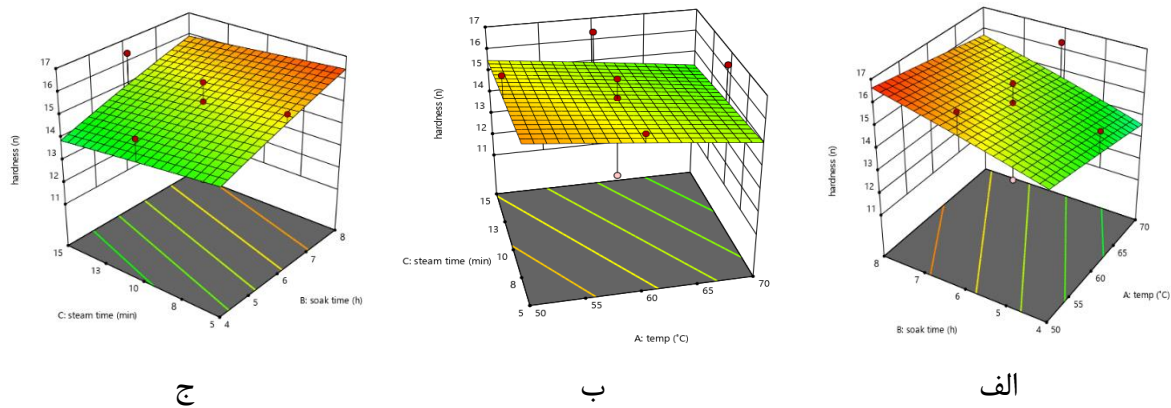
شکل ۳- نمودار سطح پاسخ دمای خیساندن و زمان خیساندن (الف)، دمای خیساندن و زمان بخاردهی (ب)، زمان خیساندن و زمان بخاردهی بر سفیدی دانه (ج)

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



شکل ۴- 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.



شکل ۵- 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.

همه اهداف را برآورده کند، نه فقط رسیدن به مقدار مطلوبیت عدد یک یا صد درصد. در نهایت فرآیند با توجه به اهداف در نظر گرفته شده و اهمیت آنها برای پاسخ‌ها بهینه‌سازی می‌شود. هدف‌های مورد نظر در این فرآیند دستیابی به پیشینه‌شدن 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 در نظر 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

بهینه‌سازی فرایند

از آنجا که کیفیت محصول نهایی و اقتصاد فرآیند مستقیماً تحت تأثیر مرحله 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 مطلوب بودن 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

سفیدی، سختی و سرسوختگی در نظر گرفته شد. نتیجه بهینه سازی فرآیند در جدول ۴ آمده است. مطابق این جدول فرایند بهینه پاربوiling رقم تیسرا 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 پیش بینی شده، یک بار دیگر فرایند پاربوiling با دما و زمان بهینه تکرار شد و نتایج جدید در جدول ۴ آمده است. همان طور که دیده می شود، مقادیر آزمایشگاهی بسیار به مقادیر پیش بینی شده نرم افزار نزدیک هستند. فقط در مورد صفت گچی بودن حتی کمتر از مقدار پیش بینی شده به دست آمد.

جدول ۴- نتایج حاصل از بهینه سازی پارامترها

Table 4- Optimization parameter

مطلوبیت desirability	سختی Hard ness	%سرسوخته Black head	سفیدی Whit ness	%گچی chalky	%راندمان سالم HRV	زمان بخاردهی steamtime (min)	زمان خیساندن soaktime (h)	دمای خیساندن Soaktem. °C
	Max. 3	Min. 3	Max. 3	Min. 4	Max. 5			
0.68	15	0.45	48.4	6.8	54.3	7	5	61
	14.5	0.5	46	4	54	7	5	61

درجه اهمیت
Importance degree
مقادیر پیش بینی شده
Predicted value
مقادیر آزمایشگاهی
Experimental value

دانه، زمان خیساندن مهم تر 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 نقطه بهینه ای از فرایند را نشان داد تا در دمای خیساندن ۶۱ درجه سلسیوس با زمان خیساندن ۵ ساعت و زمان بخاردهی ۷ دقیقه بهترین نتایج به دست آید به طوری که راندمان برنج سالم، سفیدی و سختی بیشترین میزان و گچی و سرسوختگی کمترین مقدار باشند.

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 مهم تر بود و با افزایش آن سختی افزایش یافت. زمان خیساندن و زمان بخاردهی اثر متفاوتی بر ویژگی ها داشتند. در راندمان سالم، زمان بخاردهی تاثیرگذارتر بود و با افزایش آن راندمان زیاد شد. در گچی، سفیدی و سختی

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 parboiled 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., Brijis, 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.
- Marshall, 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 II: 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 Behrooz 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. doi: 10.4172/jrr.1000101
- 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. doi: 10.1111/1750-3841.14347
- 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. Effect 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. *Int. J. Food Eng.* 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, 13 pages.
- 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.

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

