

## پیش‌بینی درجه ژلاتینیزه نشاسته و برخی خواص کیفی برنج نیم‌جوش (رقم شیروودی) طی بخاردهی فرآیند نیم‌جوش کردن

ابراهیم تقی نژاد<sup>۱\*</sup>، ولی رسولی شریانی<sup>۲</sup>

۱- استادیار دانشگاه محقق اردبیلی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی مغان، رشته مهندسی مکانیک ماشین‌های کشاورزی

۲- استادیار دانشگاه محقق اردبیلی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، گروه مهندسی بیوسیستم

(تاریخ دریافت: ۹۵/۰۹/۱۸ / تاریخ پذیرش: ۹۵/۱۱/۱۰)

### چکیده

شلتوک ایرانی (رقم شیروودی) راندمان تبدیل پایینی دارد. بنابراین فرآیند نیم‌جوش کردن برای بهبود کیفیت تبدیل آن استفاده شده است. در این مطالعه، شلتوک شیروودی در دمای  $65^{\circ}\text{C}$  برای ۱۸۰ دقیقه و در دمای  $96^{\circ}\text{C}$  برای ۲ تا ۱۰ دقیقه به ترتیب غوطه‌ور و بخاردهی شد. بعد از بخاردهی، نمونه‌ها در سایه (دمای  $27 \pm 1^{\circ}\text{C}$  و رطوبت نسبی  $5 \pm 20\%$ ) برای دستیابی به رطوبت نهایی (w.b.%)  $11 \pm 1$  خشک شده‌اند. در نهایت، تأثیر زمان‌های مختلف بخاردهی بر درجه ژلاتینیزه نشاسته و برخی از خواص کیفی برنج (راندمان برنج سالم، ارزش رنگ و نیروی شکست) مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که درجه ژلاتینیزه، ارزش رنگ و نیروی شکست به ترتیب از  $48/22$  تا  $76/68$ ،  $18$  تا  $18/92$  و از  $121/8$  تا  $222/5$  نیوتن طی بخاردهی به طور معنی‌داری ( $P < 0.05$ ) افزایش یافته‌اند. در مقابل، بالاترین راندمان برنج سالم در زمان بخاردهی ۴ دقیقه ( $66/5\%$ ) به دست آمد. رابطه خطی بین درصد ژلاتینیزه نشاسته برنج با ارزش رنگ ( $R^2 = 0/88$ ) و نیروی شکست ( $R^2 = 0/90$ )، مشاهده شد. همچنین داده‌های آزمایشگاهی به دست آمده برای ارزش رنگ و نیروی شکست (N) برنج نیم‌جوش توسط معادله‌ی چندجمله‌ای درجه سوم بر حسب زمان بخاردهی برازش گردید و درصد مناسب ژلاتینیزه نشاسته برنج برای دستیابی به بالاترین راندمان برنج سالم، مقدار  $66/5\%$  طی ۴ دقیقه بخاردهی به دست آمد.

کلید واژگان: بخاردهی، برنج نیم‌جوش، شلتوک شیروودی، کیفیت، ژلاتینیزه نشاسته

\* مسئول مکاتبات: e.taghinezhad@uma.ac.ir

## ۱- مقدمه

تیمار گرمایی بر روی شلتوک، قبل از فرآیند تبدیل<sup>۱</sup> را نیم‌جوش کردن شلتوک گویند که یک فرآیند هیدروگرمایی<sup>۲</sup> است و شامل سه مرحله غوطه‌وری<sup>۳</sup>، بخاردهی<sup>۴</sup> و خشک کردن می‌باشد. استفاده از روش نیم‌جوش کردن، به‌عنوان یک روش مفید، کاربردی و مطمئن برای حل مشکل شکستگی برنج است که تأثیر بسزایی در خودکفایی برنج دارد. نیم‌جوش کردن شلتوک منجر به افزایش میزان رطوبت شلتوک به ۳۵٪ (بر پایه تر) و در نتیجه نشاسته ژلاتینیزه می‌گردد [۱]. همچنین بخاردهی شلتوک، مؤثرترین راه ژلاتینیزه نشاسته برنج طی فرآیند نیم‌جوش کردن است که در آن نشاسته از شکل بلوره<sup>۵</sup> به یک حالت بی‌شکل تغییر می‌یابد. در نتیجه، ساختار چند وجهی ترکیبات دانه‌های نشاسته، به‌طور منظم به شکل متراکم تغییر یافته و مقاومت بیشتری در مرحله‌ی تبدیل خواهد داشت [۲، ۳]. بنابراین دلایل اصلی برای نیم‌جوش کردن شلتوک، ژلاتینیزه کردن نشاسته و تغییر خواص فیزیکی برنج (راندمان برنج سالم، رنگ و درجه آسیاب) طی فرآیند نیم‌جوش کردن و همچنین کاهش درصد شکستگی آن است [۴]. راندمان برنج سالم از مهم‌ترین بخش صنعت برنج است که مقدار آن بر افزایش ارزش اقتصادی برنج به دو تا سه برابر تأثیر گذار خواهد بود [۵]. بنابراین درصد ژلاتینیزه نشاسته برنج در فرآیند نیم‌جوش کردن از اهمیت بالایی برخوردار است و درصد ژلاتینیزه به وسیله‌ی دستگاه کالری‌متر تفاضلی (DSC<sup>۶</sup>) سنجیده می‌شود [۶].

فرآیند بخاردهی، می‌تواند در فشار اتمسفر (دمای ۱۰۰°C) یا تحت فشار (دمای بالای ۱۰۰°C) باشد و هر چه فشار و دما بالاتر باشد زمان بخاردهی کاهش می‌یابد. فرآیند بخاردهی باید به اندازه‌ای باشد که نشاسته‌ی دانه به‌طور کامل ژلاتینیزه گردد، در غیر این صورت، فقط سطح برنج ژلاتینیزه شده و در عمق آن نقطه گچی دیده می‌شود که بازارپسندی کمتری خواهد داشت. بنابراین گفته می‌شود که برنج به‌صورت جزئی نیم‌جوش شده

است [۷، ۸]. مقدار ژلاتینیزه نشاسته با برخی از خواص مکانیکی برنج و شرایط بخاردهی مرتبط است [۵]. با افزایش زمان بخاردهی از ۴۵ به ۷۵ دقیقه، میانگین نیروی شکست برنج نیم‌جوش از ۱۳/۱ به ۲۵/۳ نیوتن افزایش می‌یابد [۹]. همچنین سیف و همکاران (۲۰۰۴)، گزارش داده‌اند که مقدار نیروی کشش به زمان بخاردهی وابسته است. در گزارشی دیگر، ایسلام و همکاران (۲۰۰۴)، نشان داده‌اند که مقدار سختی برنج با افزایش زمان بخاردهی افزایش خواهد یافت [۱۰]. طی تحقیقی میاه و همکاران (۲۰۰۲)، تأثیر زمان غوطه‌وری بر مقدار ژلاتینیزه نشاسته را مورد بررسی قرار داده‌اند و نتیجه‌گیری کرده‌اند که با افزایش زمان غوطه‌وری

، مقدار ژلاتینیزه طی معادله خطی درجه سوم افزایش می‌یابد [۱۱]. تقی نژاد و همکاران (۲۰۱۶)، تأثیر شاخص‌های نیم‌جوش کردن (دمای غوطه‌وری و زمان بخاردهی) را بر خواص کیفی و گرمایی شلتوک رقم فجر با استفاده از روش سطح پاسخ مورد ارزیابی قرار داده‌اند. آن‌ها بیان کرده‌اند که با استفاده از مدل خطی درجه اول و دوم می‌توان خواص کیفی و گرمایی برنج نیم‌جوش رقم فجر را بر حسب تأثیر همزمان شاخص‌های نیم‌جوش کردن برازش کرد [۱۲]. تأثیر فشار بخاردهی بر خواص کیفی برنج نیم‌جوش به‌طور وسیعی مطالعه شده است [۱۳، ۱۴]. اما گزارش مرتبط با تأثیر شرایط هیدروگرمایی بر خواص کیفی برنج نیم‌جوش بسیار کم است [۱۱].

بررسی منابع مختلف نشان داد که تاکنون پژوهشی در خصوص پیش‌بینی مقدار ژلاتینیزه نشاسته و برخی از خواص کیفی برنج نیم‌جوش، فقط بر حسب زمان بخاردهی گزارش نشده است. همچنین درخصوص تأثیر خواص کیفی بر مقدار ژلاتینیزه نشاسته گزارشی منتشر نشده است. بنابراین در این تحقیق، مقدار ژلاتینیزه و برخی خواص کیفی مهم برنج نیم‌جوش از قبیل نیروی شکست، راندمان برنج سالم و ارزش رنگ برنج طی بخاردهی اندازه‌گیری شد. هدف از این مطالعه عبارت است از: (۱) تدوین رابطه ریاضی برای پیش‌بینی خواص کیفی برنج نیم‌جوش بر حسب مقدار ژلاتینیزه نشاسته (۲) تدوین رابطه ریاضی برای پیش‌بینی مقدار ژلاتینیزه و خواص کیفی برنج نیم‌جوش بر حسب زمان بخاردهی و (۳) تعیین مقدار بهینه‌ی ژلاتینیزه نشاسته

1. Milling
2. Hydrothermal
3. Soaking
4. Steaming
5. Crystal
6. Differential Scanning Calorimeter

بخاردهی، شلتوک روی نمونه‌گیر، در مسیر خروج بخار قرار گرفته و روی شلتوک نیز توسط محفظه‌ی فلزی، به طور کامل عایق‌بندی شد.



**Fig 1** System of paddy soaking  
(1: water valve, 2: Tank, 3: Basket, 5: Agitator and 6: System of temperature control)

بعد از بخاردهی مرحله‌ی خشک کردن صورت گرفت. برای خشک کردن، نمونه‌ها در شرایط محیطی (دمای  $27 \pm 1^\circ\text{C}$  و رطوبت نسبی  $50 \pm 2\%$ ) به مدت ۷۲ ساعت قرار گرفته‌اند [۱۹]. یک هفته بعد از خشک کردن، عملیات تبدیل شلتوک نیم‌جوش، در آزمایشگاه موسسه تحقیقات برنج کشور (آمل) انجام شد. عملیات تبدیل شامل مرحله‌ی پوست‌کنی (توسط دستگاه پوست‌کن، TKH, Satake, Japan) و سفید کردن (توسط دستگاه سفید کن، TM, Satake, Japan) بود.

برنج نیم‌جوش رقم شیروودی با توجه به بالاترین راندمان برنج سالم.

## ۲- مواد و روش‌ها

### ۲-۱- تهیه نمونه

به منظور اجرای تحقیق، شلتوک رقم شیروودی از مزرعه تحقیقاتی موسسه تحقیقات برنج کشور در آمل تهیه گردید. محققین با بررسی خواص کیفی سه رقم شلتوک طارم محلی، شیروودی و فجر، تحت تیمارهای مختلف نیم‌جوش کردن، نتیجه گرفته‌اند که تیمارهای نیم‌جوش کردن تأثیر معنی‌داری بر کاهش شکستگی رقم‌های شیروودی و فجر داشته است.

### ۲-۲- تجهیزات و شرایط نیم‌جوش کردن شلتوک

تجهیزات مورد نیاز برای غوطه‌وری مطابق شکل (۱)، شامل مخزن و سامانه کنترل دما می‌باشد. یک محفظه‌ی توری (نمونه‌گیر)، برای شناور کردن شلتوک در مخزن استفاده می‌شد. تقی نژاد و همکاران (۲۰۱۵)، تأثیر دماهای مختلف غوطه‌وری بر خواص کیفی برنج نیم‌جوش را مورد بررسی قرار داده‌اند. آن‌ها دمای غوطه‌وری  $65^\circ\text{C}$  را جهت حصول بالاترین خواص کیفی پیشنهاد کرده‌اند [۱]. بنابراین در این تحقیق، دمای غوطه‌وری  $65^\circ\text{C}$  در نظر گرفته شد.

جهت تکمیل فرآیند نیم‌جوش کردن، ۲ ساعت بعد از غوطه‌وری [۱۵]، مرحله بخاردهی و خشک کردن اجرا شد. فرآیند بخاردهی در ۵ سطح زمانی (۲، ۴، ۶، ۸ و ۱۰ دقیقه)، تحت فشار اتمسفر و دمای  $96^\circ\text{C}$  مطابق شکل (۲) صورت گرفت [۱۶-۱۸]. برای



**Fig 2** System of paddy steaming with showing of steaming temperature

## ۲-۳- اندازه‌گیری درصد ژلاتینه‌شدن نشاسته

### برنج<sup>۱</sup>

برای اندازه‌گیری درصد ژلاتینه‌شدن نشاسته برنج طی بخاردهی، از روش میاه و همکاران (۲۰۰۲) استفاده شد [۱۱]. اندازه‌گیری درصد ژلاتینه‌شدن نشاسته برنج، توسط دستگاه کالری‌متر تفاضلی (Micro- DSC<sup>2</sup> VIIEVO, Setaram, France)، با دقت  $0.02 \mu W / 0.02 \mu W$  در دانشگاه علوم و فناوری توکیو<sup>۳</sup> ژاپن (آزمایشگاه علوم و صنایع غذایی) در محدوده دمایی ۲۴ تا ۹۸ درجه سلسیوس با آهنگ  $1^\circ C/min$  اجرا گردید و مشخصات فنی دستگاه مطابق جدول (۱) است. درجه ژلاتینه‌شدن طبق رابطه‌ی (۱)، محاسبه شد [۲۰]:

$$SG(\%) = \left[ 1 - \frac{\Delta H}{\Delta H^*} \right] \times 100$$

در این معادله،  $\Delta H$  و  $\Delta H^*$  به ترتیب تغییرات آنتالپی نشاسته برنج طی ژلاتینه‌شدن و تغییرات آنتالپی نشاسته برنج خام (غیر ژلاتینه شده) را نشان می‌دهد.

**Table 1** Technical characteristic of differential scanning calorimeter machine

Range temperature	-45 to 120 °C
Temperature rate	0.001 to 2 °C/min
Accuracy	W $\mu$ 0.02 – 0.002
Cell	Capacity 1 ml
Weight	37.4 kg
Dimention	40×53×58 cm
Input power	50-60 HZ, 230 V

## ۲-۴- اندازه‌گیری خواص کیفی برنج نیم‌جوش

الف. راندمان برنج سالم نیم‌جوش<sup>۴</sup>: بعد از سفید کردن شلتوک، تمام دانه‌های شکسته از دانه‌های سالم توسط جداکننده‌ی گریز از مرکز (FQS-13X20, Sensewealth, China)، جدا شد و راندمان برنج سالم از تقسیم دانه‌های سفید شده سالم به کل شلتوک برحسب درصد به دست آمد [۹].

ب. میزان رنگ و روشنی برنج<sup>۵</sup>: برای اندازه‌گیری میزان رنگ و روشنی ( $L^*$ ) کل دانه‌های آسیاب شده از رنگ‌سنج (ساخت شرکت Reston کشور آمریکا مدل ۴۵۱۰) استفاده شد که مؤلفه‌های رنگ  $a^*$  (سبزی-) به قرمزی(+)) و  $b^*$  (آبی-) به زردی(+) با استفاده از رنگ‌سنج اندازه‌گیری گردید. با به‌کارگیری از این ضرایب می‌توان ضریب رنگ برنج نیم‌جوش را طی رابطه (۲) محاسبه کرد [۱۰].

$$Chroma = \sqrt{a^{*2} + b^{*2}}$$

ج. اندازه‌گیری خاصیت مکانیکی (نیروی شکست): نیروی شکست برنج توسط دستگاه آزمون مواد (H50 K-S, Hounsfield, England) انجام شد. برای اجرای آزمون، نمونه‌ها بر یک صفحه مسطح قرار گرفته و توسط میله‌ی متحرک به قطر ۱۲ میلی‌متر با اتصال به لودسل ۵۰۰ نیوتنی، تحت فشار قرار می‌گرفت. سرعت حرکت میله،  $1 \text{ mm/min}$  انتخاب شد [۱۱]. اولین نیرو برای شکست برنج به‌عنوان نیروی شکست (سفتی) ثبت گردید. هر آزمایش در ۶ تکرار صورت گرفت و میانگین نیروها گزارش شده است [۱۰، ۱۱].

## ۲-۵- روش تجزیه و تحلیل داده‌ها

تمامی طرح‌های مربوط به بررسی خواص گرمایی و کیفی برنج، در آزمایش فاکتوریل با ۳ تکرار در قالب طرح کاملاً تصادفی انجام شد. تجزیه واریانس یا تحلیل آماری با نرم‌افزار SPSS (Version 15; SPSS Inc., Chicago, IL, USA) و مقایسه میانگین‌ها با آزمون دانکن صورت گرفت. تدوین بهترین رابطه ریاضی بین مقدار ژلاتینیزه نشاسته برنج و خواص کیفی با زمان بخاردهی بر حسب خطای رگرسیونی ضریب تبیین ( $R^2$ ) توسط نرم‌افزار متلب (۲۰۱۱)<sup>۶</sup> انجام شد. مقادیر ضریب تبیین به صورت رابطه‌ی (۳) تعریف می‌شوند:

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (MR_{prei} - MR_{expi})^2}{\sum_{i=1}^N (\overline{MR_{prei}} - MR_{expi})^2}$$

5. Lightness and color value  
6. coefficient of determination ( $R^2$ )  
7. Matlab2011

1. Degree of starch gelatinization (DSG)  
2. Micro differential scanning calorimeter  
3.3 Tokyo university of marine science and technology (Japan)  
4. Head parboiled rice yield

خطای رگرسیونی ( $R^2 = 0.99$ )، بهترین برازش را بین مقادیر ژلاتینیزه نشاسته برنج ( $DSG$  (%)) و زمان بخاردهی ( $T$  (min)) داشته است. این نتایج با تحقیقات گزارش شده توسط تقی نژاد و همکاران (2015a) سازگار است [۲۳]. آن‌ها معادله چند جمله‌ای درجه سوم را برای برازش مقدار ژلاتینیزه بر حسب زمان غوطه‌وری، برای برنج رقم فجر پیشنهاد داده‌اند. بخاردهی برنج تحت تیمار گرمایی، موجب جذب آب توسط گرانول‌های نشاسته در برنج شده و در نتیجه گرانول‌های نشاسته به‌طور برگشت‌ناپذیر متورم و به وزن مولکولی پایین‌تر تبدیل می‌شود؛ در نتیجه منجر به کاهش آنتالپی ژلاتینیزه و افزایش مقدار ژلاتینیزه نشاسته می‌گردد. که این فرآیند به ترکیب تیمار دما-زمان طی بخاردهی بستگی دارد [۲۴، ۲۵]. مقدار ژلاتینیزه نشاسته برنج، شاخصی از شدت فرآیند نیم‌جوش کردن است [۲۰، ۲۶]. به‌عبارت‌دیگر، فرآیند نیم‌جوش کردن، مقدار ژلاتینیزه نشاسته را افزایش می‌دهد که متناسب با شدت تیمار گرمایی است [۱۱، ۱۸].

$$DSG = 0.1127 \times T^3 - 2.1331 \times T^2 + 15.18 \times T + 26.315$$

که  $DSG$  و  $T$  به ترتیب درصد ژلاتینیزه نشاسته برنج (%) و مقدار دمای غوطه‌وری ( $^{\circ}C$ ) است.

$X_{exp,i}$  و  $X_{pre,i}$  به ترتیب تعداد داده‌های آزمایشگاهی، تعداد متغیر در مدل، داده‌های مدل و نتایج آزمایشگاهی می‌باشد. کلیه آزمایش‌ها در سه تکرار انجام شد.

### ۳- نتایج و بحث

#### ۳-۱- ژلاتینیزه نشاسته برنج نیم‌جوش

آنتالپی و مقدار ژلاتینیزه نشاسته برنج، از مهم‌ترین خواص گرمایی برنج است که توسط دستگاه مایکرو کالری متر تفاضلی با نرخ گرمایی  $1^{\circ}C/min$  طی زمان‌های مختلف بخاردهی اندازه‌گیری شده‌اند و نتایج آن در جدول (۲) نشان داده شده است. مطابق جدول (۲) با افزایش زمان بخاردهی، مقادیر ژلاتینیزه نشاسته برنج (از  $26.45$  تا  $76.68$  (%)) و آنتالپی آن (از  $1.86$  تا  $0.59$  J/g) به طور معنی‌داری ( $P < 0.05$ ) به ترتیب افزایش و کاهش یافت. کمترین آنتالپی ژلاتینیزه ( $0.59$  J/g) و بیشترین مقدار ژلاتینیزه نشاسته ( $76.68$  (%)) در بالاترین زمان بخاردهی ( $10$  min) به دست آمد. این نتایج با مطالعات محققان قبلی که بیان کرده بودند، مقدار ژلاتینیزه نشاسته برنج با شدت تیمار نیم‌جوش کردن افزایش می‌یابد، سازگار است [۱۸، ۲۱، ۲۲].

مطابق رابطه (۴)، معادله چند جمله‌ای درجه سوم با کمترین

**Table 2** The effect of steaming time on starch gelatinization degree and enthalpy of parboiled rice

	Steaming time (min)					
	0	2	4	6	8	10
Gelatinization value (%)	26.45 <sup>a</sup>	48.22 <sup>b</sup>	60.59 <sup>c</sup>	64.47 <sup>c</sup>	68.38 <sup>cd</sup>	76.68 <sup>d</sup>
Enthalpy (J/g)	1.861 <sup>a</sup>	1.31 <sup>b</sup>	0.997 <sup>c</sup>	0.899 <sup>c</sup>	0.8 <sup>cd</sup>	0.59 <sup>d</sup>

\*\*Mean value with different letters indicate a significant difference ( $P < 0.05$ ).

کند. افزایش راندمان برنج سالم ممکن است به دلیل اتصال آزادانه پوسته شلتوک به دانه‌اش باشد، زیرا طی غوطه‌وری پوسته شلتوک از هم باز می‌شود. همچنین با ژلاتینیزه نشاسته برنج طی مرحله‌ی بخاردهی، ساختار محکم‌تری در دانه‌ها ایجاد می‌گردد، در نتیجه راندمان آسیاب بالا می‌رود [۳، ۱۰]. با افزایش زمان بخاردهی از ۴ به ۱۰ دقیقه، مقدار راندمان برنج سالم کاهش یافت. این کاهش راندمان برنج سالم، به دلیل تغییر شکل شدید دانه‌های غوطه‌ور شده در زمان‌های بالای بخاردهی یا به علت جذب رطوبت

#### ۳-۲- راندمان برنج سالم نیم‌جوش

روابط بین زمان بخاردهی، راندمان برنج سالم و درجه ژلاتینیزه نشاسته برنج نیم‌جوش در شکل (۳) نشان داده شده است. مقدار ژلاتینیزه نشاسته برنج به طور یکنواخت طی بخاردهی افزایش یافت و ماکزیمم راندمان برنج سالم ( $66.75$  (%)) در زمان بخاردهی ۴ دقیقه و مقدار ژلاتینیزه  $60.59$  (%)) به دست آمد. هیچ رابطه خطی بین مقدار ژلاتینیزه و راندمان برنج سالم مشاهده نشد. بنابراین مقدار ژلاتینیزه نمی‌تواند مقدار راندمان برنج سالم را پیش‌بینی

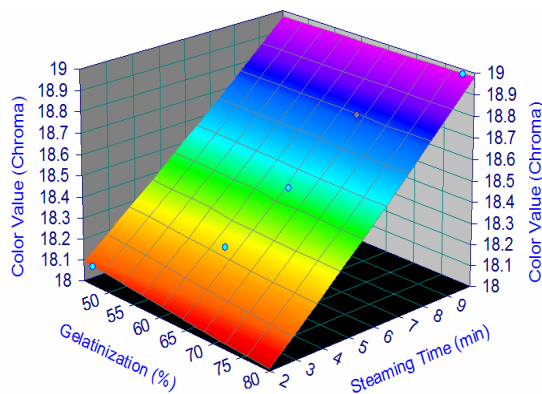
۷۶/۶۸٪، افزایش یافت. بهترین رابطه‌ی برازش شده به صورت معادله خطی مطابق رابطه‌ی (۵) می‌باشد.

$$CV = 0.0317 \times DSG + 16.499$$

که CV و DSG به ترتیب مقدار ارزش رنگ (کروما) و ژلاتینیزه نشاسته برنج (٪) است. با جایگذاری رابطه‌ی (۴) در رابطه‌ی (۵) می‌توان مقدار ارزش رنگ را بر حسب زمان بخاردهی (min) با معادله‌ی چندجمله‌ای درجه سوم به صورت رابطه‌ی (۶) تدوین کرد.

$$CV = 0.00357 \times T^3 - 0.0676 \times T^2 + 0.481 \times T + 17.333$$

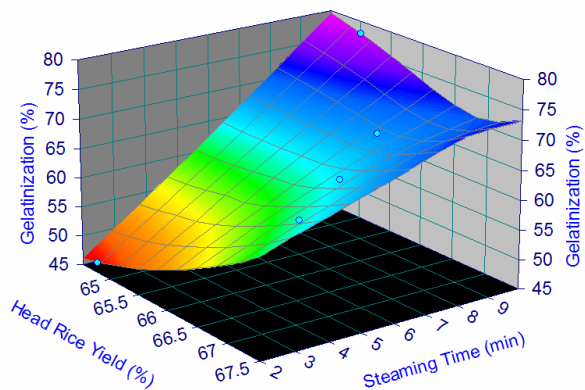
با افزایش زمان بخاردهی (۲ تا ۱۰ دقیقه)، ارزش رنگ به طور معنی‌داری ( $P < 0.05$ ) افزایش یافته است. این نشان می‌دهد که شرایط مناسب برای تولید برنج نیم‌جوش سفید در زمان بخاردهی پایین‌تر اتفاق می‌افتد. این نتایج با یافته‌های Islam و همکاران (۲۰۰۲)، سازگار است. آن‌ها مقدار ارزش رنگ برنج نیم‌جوش را بین ۱۷ تا ۲۱ در دمای غوطه‌وری ۸۰ تا ۱۰۰°C گزارش داده‌اند [۱۸].



**Fig 4** The interaction between color value and DSG of parboiled rice during steaming

زمان بخاردهی تأثیر اصلی بر رنگ برنج نیم‌جوش دارد [۳۰، ۳۱]. رنگ برنج یکی دیگر از شاخص‌های مهم کیفی برنج است که به‌طور مستقیم با ارزش بازار مرتبط است، اکثر مصرف‌کنندگان کشورهای جهان، برنج نیم‌جوش با رنگ تیره را نمی‌پذیرند [۳۲]. در خصوص تأثیر شرایط نیم‌جوش کردن بر ارزش رنگ و مقدار ژلاتینیزه گزارش زیادی منتشر شده است [۱۱، ۳۰، ۳۱]. پژوهشگران بسیاری رنگ برنج نیم‌جوش را اندازه‌گیری کرده‌اند [۳۰، ۳۲-۳۴]. آن‌ها گزارش داده‌اند که تغییرات رنگ طی نیم‌جوش کردن به دلیل قهوه‌ای شدن غیر آنزیمی ایجاد می‌شود و

اضافی و پخت برخی از دانه برنج می‌باشد [۹، ۱۰]. بنابراین زمان طولانی بخاردهی موجب کاهش راندمان آسیاب برنج سالم می‌گردد. زیرا با افزایش زمان بخاردهی، دانه برنج موجود در پوسته‌ی شلتوک آب اضافی جذب کرده و در نتیجه موجب پخته شدن دانه برنج می‌شود که در فرآیند تبدیل، دانه‌های پخته شده شکسته شده و وارد سیوس برنج خواهد شد. در نهایت زمان طولانی بخاردهی برای نیم‌جوش کردن مناسب نیست.



**Fig 3** The interaction between the head rice yield and DSG of parboiled rice during steaming

یکی از دلایل نیم‌جوش کردن، کم کردن شکستگی طی فرآیند تبدیل شلتوک به برنج سفید است. نتایج این تحقیق نشان داد که ماکزیم مقدار ژلاتینیزه جهت دستیابی به کمترین مقدار شکستگی برنج لازم نیست. محققان برای دستیابی به ماکزیم راندمان برنج سالم نیم‌جوش تجاری، مقدار ۴۰٪ ژلاتینیزه نشاسته را پیشنهاد داده‌اند [۱۱، ۲۷، ۲۸]. همچنین مقدار راندمان برنج سالم، در محدوده‌ی ۲۰ تا ۷۰٪ توسط محققین گزارش شده است که با نتایج این تحقیق مطابقت دارد [۲۹].

### ۳-۳- ارزش رنگ برنج نیم‌جوش

تولید برنج نیم‌جوش سفید، یکی از اهداف کلی نیم‌جوش کردن است. فرآیند نیم‌جوش کردن، دانه‌ها را بی‌رنگ کرده و مقدار ارزش رنگ را افزایش می‌دهد [۱۰]. تغییرات مقادیر ارزش رنگ بر حسب مقادیر ژلاتینیزه نشاسته برنج نیم‌جوش و زمان بخاردهی در شکل (۴) نشان داده شده است. ارزش رنگ برنج نیم‌جوش (از ۱۸ تا ۱۸/۹۲) به طور معنی‌دار ( $P < 0.05$ ) و خطی ( $R^2 = 0.88$ ) با افزایش مقدار ژلاتینیزه نشاسته برنج (از ۴۸/۲۲ تا

دانه‌ها طی فرآیند نیم‌جوش شدن، به دلیل متراکم شدن نشاسته اندوسپرم می‌باشد [۳]. مقدار سختی به شدت و شرایط نیم‌جوش کردن، میزان رطوبت بعد از خشک‌کردن و ژلاتینیزه نشاسته بستگی دارد [۳۱، ۳۲، ۳۶]. بنابراین ژلاتینیزه نشاسته در برنج نیم‌جوش، منجر به افزایش سختی دانه می‌گردد.

#### ۴- نتیجه‌گیری

مقدار ژلاتینیزه و آنتالپی ژلاتینیزه وابسته به زمان بخاردهی است. با افزایش زمان بخاردهی از ۲ تا ۱۰ دقیقه، مقدار ژلاتینیزه از ۴۸/۲۲ به ۷۶/۶۸٪ افزایش به طوری که آنتالپی ژلاتینیزه از ۱/۳۱ تا ۰/۵۹ J/g کاهش یافت. در حالی که ارزش رنگ (از ۱۸ تا ۱۸/۹۲) و نیروی شکست (از ۱۲۱/۸ تا ۲۲۲/۵ نیوتن) افزایش یافت. ارزش رنگ و نیروی شکست (سفتی) برنج به عنوان شاخص‌های کیفی برنج نیم‌جوش استفاده می‌شود. مقدار ژلاتینیزه برنج نیم‌جوش با ارزش رنگ و سفتی برنج مرتبط بوده و در نتیجه با شاخص کیفی برنج نیم‌جوش مرتبط است. این تحقیق نشان داد که می‌توان ارزش رنگ و سفتی برنج نیم‌جوش را می‌توان بر حسب زمان بخاردهی توسط معادله درجه سوم برازش کرد. مطابق نتایج به دست آمده، زمان بخاردهی ۴ دقیقه، بهترین زمان برای دستیابی به بالاترین راندمان برنج سالم (۶۶/۵٪) برنج نیم‌جوش رقم شیروودی است.

#### ۵- منابع

- [1] 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: 547-556.
- [2] Himmelsbach, D.S., Manful, J.T., and Coker, R.D. (2008). Changes in rice with variable temperature parboiling: Thermal and spectroscopic assessment. *Cereal Chemistry*, 85: 384 - 390.
- [3] 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. *International*

شرایط فرآوری، شدت تغییر رنگ را طی نیم‌جوش کردن تعیین می‌کند. از دلایل دیگر تغییر رنگ، نفوذ رنگ دانه‌های پوست طی غوطه‌وری به درون اندوسپرم می‌باشد [۲۱، ۳۱، ۳۵]. همچنین آزاد شدن شکر طی نیم‌جوش شدن، و واکنش آن با آمینواسید<sup>۱</sup> دانه، موجب تغییر رنگ دانه برنج می‌گردد [۱۱]. بنابراین زمان بخاردهی تأثیر بسیار زیادی بر کیفیت رنگ برنج نیم‌جوش دارد.

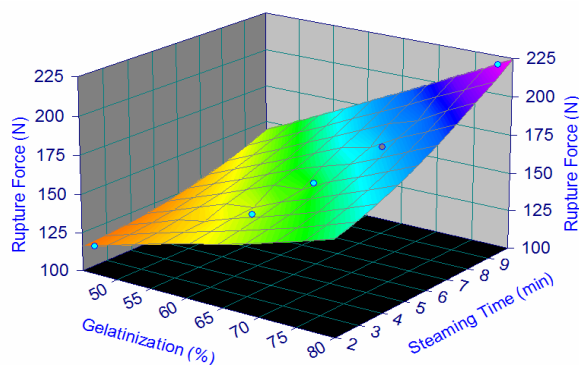
#### ۳-۴- نیروی شکست برنج نیم‌جوش

نیروی شکست (سفتی)، یکی از مهم‌ترین خواص مکانیکی برنج نیم‌جوش است طوری که با افزایش سفتی، میزان شکست طی فرآیند پوست‌کنی کاهش می‌یابد [۳۲]. تأثیر مقدار ژلاتینیزه بر نیروی شکست طی بخاردهی در شکل (۵)، نشان داده شده است. با افزایش زمان بخاردهی، مقدار سختی برنج نیم‌جوش افزایش (۱۲۱/۸ به ۲۲۲/۵ نیوتن) یافت. بین نیروی شکست (RF (N)) و مقدار ژلاتینیزه نشاسته برنج نیم‌جوش (DSG (%)) یک رابطه خطی مطابق رابطه‌ی (۳) برقرار بوده است.

$$RF = 3.1158 \times DSG - 39.145$$

که RF و DSG به ترتیب نیروی شکست (N) و درجه ژلاتینیزه (%) می‌باشند و ضریب تبیین ( $R^2$ ) این معادله برازش شده، برابر با ۰/۹۰ است. با توجه به رابطه‌ی (۴) و (۶) می‌توان مقدار نیروی شکست (RF (N)) را بر حسب زمان بخاردهی (T (min)) با معادله چندجمله‌ای درجه سوم مطابق رابطه‌ی (۷) برازش کرد.

$$RF = 0.351 \times T^3 - 6.646 \times T^2 + 47.298 \times T + 42.847$$



**Fig 5** The interaction between the rupture force and DSG of parboiled rice during steaming

افزایش زمان بخاردهی موجب افزایش نیروی شکست و به نوبه‌ی آن موجب افزایش مقدار ژلاتینیزه می‌گردد. در نتیجه موجب افزایش مقاومت به شکست دانه می‌شود. سخت شدن

1. Amino acids

- [14] Mohapatra, D. and Bal, S. (2006). Cooking quality and instrumental textural attributes of cooked rice for different milling fractions. *Journal of Food Engineering*, 73: 253-259.
- [15] Soponronnarit, S., Nathakaranakule, A., Jirajindalert, A., and Taechapiroj, C. (2006). Parboiling brown rice using super heated steam fluidization technique. *Journal of Food Engineering*, 75: 423-432.
- [16] Spencer, D. (1983). *Evaluation of the American rice mill parboiling plant at Setsan, Rangoon, Burma in Stone & Webster Engineering Corporation Boston, Massachusetts, U.S.A.* 1983.
- [17] Kar, N., Jain, R.K., and Srivastav, P.P. (1999). Parboiling of dehusked rice. *Journal of Food Engineering*, 39: 17-22.
- [18] Islam, M.R., Roy, P., Shimizu, N., and Kimura, T. (2002). Effect of processing conditions on physical properties of parboiled rice. *Food Science and Technology Research*, 8: 106-112.
- [19] 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. *International Food Research Journal* 18: 715-721.
- [20] Patindol, J., Newton, J., and Wang, Y.J. (2008). Functional properties as affected by laboratory-scale parboiling of rough rice and brown rice. *Journal of food Science*, 73: E370-7.
- [21]. Lamberts, L., Brijs, K.M.R., Verhelst, N., and Delcour, J.A. (2006). Impact of browning reactions and bran pigments on color of parboiled rice. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 54: 9924-9929.
- [22]. Manful, J.T., Grimm, C.C., Gayin, J., and Coker, R.D. (2008). Effect of variable parboiling on crystallinity of rice samples. *Cereal Chemistry*, 85: 92-95.
- [23] Taghinezhad, E., Khoshtaghaza, M.H., Suzuki, T., Minaei, S., and Brenner, T. (2015). Quantifying the relationship between degree of starch gelatinization of rice and moisture-electrical conductivity of paddy during soaking. *Journal of Food Process Engineering*, DOI: 10.1111/jfpe.12235.
- Journal of Scientific & Technology Research*, 2: 13-18.
- [4] Wu, D., Shu, Q., Wang, Z., and Xia, Y. (2002). Effect of gamma irradiation on starch viscosity and physicochemical properties of different rice. *Radiation Physics and Chemistry*, 65: 79-86.
- [5] Buggenhout, J., Brijs, K., Van Oevelen, J., and Delcour, J.A. (2014). Milling breakage susceptibility and mechanical properties of parboiled brown rice kernels. *LWT - Food Science and Technology*, 56: 1-10.
- [6] Chungcharoen, A. and Lund, D.B. (1987). Influence of solutes and water on rice starch gelatinization. *Cereal chemistry*, 64: 240-243.
- [7] Buggenhout, J., Brijs, K., Celus, I., and Delcour, J.A. (2013). The breakage susceptibility of raw and parboiled rice: A review. *Journal of Food Engineering*, 117: 304-315.
- [8] Delcour, J.A. and Hosney, R.C. (2010). Rice and Oat Processing. Principles of Cereal Science and Technology. St. Paul, MN, USA: AACC International, Inc, 149-160.
- [9] Bello, M., Baeza, R., and Tolaba, M.P. (2006). Quality characteristics of milled and cooked rice affected by hydrothermal treatment. *Journal of Food Engineering*, 72: 124-133.
- [10] Islam, M.R., Shimizu, N., and Kimura, T. (2004). Energy requirement in parboiling and its relationship to some important quality indicators. *Journal of Food Engineering*, 63: 433-439.
- [11] 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. *International Journal of Food Science & Technology*, 37: 539-545.
- [12] 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*, doi: 10.1111/jfpe.12483.
- [13] Champagne, E., B., Lyon, B., Min, B., Vinyard, B.T., and Bett, K.L. (1998). Effects of postharvest processing on texture profile analysis of cooked rice. *Cereal Chemistry*, 75: 181-186.



- [30] Elbert, G., Tolaba, M.P., and Suárez, C. (2001). Effects of drying conditions on head rice yield and browning index of parboiled rice. *Journal of Food Engineering*, 47: 37-41.
- [31] 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 Journal of Agricultural Sciences*, 4: 409-415.
- [32] Parnsakhorn, S. and Noomhorm, A. (2008). Changes in physicochemical properties of parboiled brown rice during heat treatment. *Agricultural Engineering International: the CIGR E-journal. Manuscript FP 08 009. Vol. X.*
- [33] Bhattacharya, S. (1996). Kinetics on colour changes in rice due to parboiling. *Journal of Food Engineering*, 29: 99-106.
- [34] Lv, B., Li, B., Chen, S., Chen, J., and Zhu, B. (2009). Comparison of color techniques to measure the color of parboiled rice. *Journal of Cereal Science*, 50: 262-265.
- [35] Lamberts, L., Rombouts, I., Brijns, K., Gebruers, K., and Delcour, J. (2008). Impact of parboiling conditions on Maillard precursors and indicators in long-grain rice cultivars. *Food chemistry* 110: 916-922.
- [36] Islam, M.R., Shimizu, N., and Kimura, T. (2001). Quality Evaluation of Parboiled Rice with Physical Properties. *Food Science and Technology Research*, 7: 57-63.
- [24] Saif, S.M.H., Suter, D.A., and Lan, Y. (2004). Effects of Processing Conditions and Environmental Exposure on the Tensile Properties of Parboiled Rice. *Biosystems Engineering*, 89: 321-330.
- [25] Takahashi, T., Miura, M., Ohisa, N., and Kobayashi, S. (2005). Modification of gelatinization properties of rice flour by heat-treatment. *Journal of the Society of Rheology*, 33: 81-85.
- [26] Oli, P., Ward, R., Adhikari, B., and Torley, P. (2014). Parboiled rice: Understanding from a materials science approach. *Journal of Food Engineering*, 124: 173-183.
- [27] Marshall, W.E., Wadsworth, J.I., Verma, L.R., and Velupillai, L. (1993). Determination the degree of gelatinization in parboiled rice: comparison of a subjective and an objective method. *Cereal chemistry*, 70: 226-230.
- [28] Miah, M.A.K., Haque, A., Douglass, M.P., and Clarke, B. (2002). Parboiling of rice. Part I: Effect of hot soaking time on quality of milled rice. *International Journal of Food Science & Technology*, 37: 527-537.
- [29] Schluterman, D.A. and Siebenmorgen, T.J. (2007). Relation rough rice moisture content reduction and temperature duration to head rice yield reduction. *American Society of Agricultural and Biological Engineers*, 50: 137-142.

## Prediction of Starch Gelatinization Degree and Some Quality Properties of Parboiled Rice (Shiroudi Cultivar) During Steaming of Parboiling Process

Taghinezhad, E.<sup>1\*</sup>, Vali Rasooli Sharabiani<sup>2</sup>

1. Moghan College of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran
2. Department of Biosystem Engineering, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Iran.

(Received: 2016/12/08 Accepted:2017/01/29)

Iranian paddy (Shiroudi cultivar) has poor milling yield. So, parboiling process has been used for improving its milling quality. In this study, Shiroudi paddy was soaked and steamed at 65°C for 180 min and at 96°C for 2 - 10 min, respectively. After steaming, samples were dried in the shade (27±1 °C temperature and 20±5% relative humidity) to achieve a final moisture content of 11±1% (w.b.). Final, the effect of various steaming times on degree of starch gelatinization (DSG) and some quality properties of rice (head rice yield, color value and rupture force) were investigated. Results show that the DSG, color value and rupture force increased significantly ( $P<0.05$ ) from 48.22 to 76.68%, from 18 to 18.92 and from 121.8 to 222.5 N during steaming, respectively. In contrast, steaming at 4 min gave the highest values of head rice yield (66.5%). Linear relations between DSG and color value ( $R^2=0.88$ ), and DSG and rupture force ( $R^2=0.90$ ) were observed. Also, a third order polynomial was fitted to experimental data obtained for color value and rupture force (N) of parboiled rice versus steaming time (min) and the suitable DSG of parboiled rice leading to the highest head rice yield was found to be 66.5%, obtained following 4 min of steaming.

**Keywords:** Steaming, Parboiled rice, Shiroudi paddy, Quality, Starch gelatinization

---

\* Corresponding Author E-Mail Address: e.taghinezhad@uma.ac.ir