



## تأثیر خشک کردن ترکیبی هوای گرم-فروسرخ و مایکروویو بر برخی از ویژگی‌های کیفی برنج نیم‌جوش

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

۱. استادیار، رشته مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی مغان، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل  
۲. استادیار، گروه مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل

(تاریخ دریافت: 95/11/9، تاریخ بازنگری: 95/11/30، تاریخ پذیرش: 95/12/16)

### چکیده

خشک کردن یکی از مهم‌ترین مراحل در فرایند تبدیل برنج می‌باشد. در تحقیق حاضر به بررسی تأثیر دو شیوه خشک کردن متناوب و پیوسته، بر برخی ویژگی‌های کیفی شلتوک، رقم فجر، پرداخته شد. خشک کردن متناوب در دو مرحله با یک زمان استراحت بین مراحل خشک کردن با استفاده از یک خشک‌کن ترکیبی هوای گرم-فروسرخ در مرحله اول از رطوبت 35 به 23% و مایکروویو در مرحله دوم از رطوبت 23 به 13% انجام گردید. درحالی‌که روش خشک کردن پیوسته، توسط خشک‌کن هوای گرم - فروسرخ برای کاهش رطوبت شلتوک از محتوای رطوبت 35 به 13% بر پایه تر اجرا شد. آزمایش‌ها در دمای خشک کردن 40، 50 و 60 °C، شدت تابش فروسرخ 0/32 و 0/249 W/cm<sup>2</sup>، توان مایکروویو 100، 200 و 300 W و دوره استراحت دهی به مدت 8 برابر زمان خشک کردن، یعنی مرحله اول، اجرا گردید. بعد از خشک کردن، ویژگی‌های کیفی تحت بررسی برنج نیم‌جوش یعنی راندمان برنج سالم، رنگ و نیروی سفتی، و نیز زمان خشک کردن مورد اندازه‌گیری قرار گرفت. نتایج نشان داد که تأثیر شیوه خشک کردن، دمای هوا، شدت تابش و توان مایکروویو بر ویژگی‌های کیفی تحت بررسی برنج نیم‌جوش معنی‌دار (p<0/05) بود. راندمان برنج سالم و مقدار روشنایی برنج نیم‌جوش در استفاده از روش متناوب، به‌طور معنی‌داری بالاتر از روش دیگر خشک کردن بوده است. بالاترین راندمان برنج سالم (76/55%) و روشنایی (62/17) به ترتیب در دمای هوای خشک کردن 60 °C (تیمار 200 W-0/32 W/cm<sup>2</sup>) و 40 °C (تیمار 100 W-0/32 W/cm<sup>2</sup>) به دست آمد. اما بیشترین زمان خشک کردن، ارزش رنگ و نیروی سفتی توسط روش خشک کردن پیوسته به ترتیب 61/04 min، 19/63 و 227/3 N به دست آمد. در نتیجه، شیوه خشک کردن متناوب یک روش مناسب و قابل پیشنهاد برای برنج نیم‌جوش رقم فجر است.

واژه‌های کلیدی: برنج نیم‌جوش، پیوسته، خشک کن، مایکروویو، متناوب، هوای گرم-فروسرخ.

## 1- مقدمه

برنج از محصولاتی به‌شمار می‌رود که شکل ظاهری و درصد شکستگی در آن عامل مهمی است. چنان‌چه برنجی قبل از عملیات تبدیل، تحت فرایند هیدروگرمایی قرار گیرد، این فرایند را نیم‌جوش کردن برنج گویند. نیم‌جوش کردن روی برنج خام (شلتوک) و یا برنج قهوه‌ای (بدون پوست) صورت می‌گیرد و از سه مرحله غوطه‌وری، بخاردهی و خشک‌کردن تشکیل شده است [1].

خشک‌کردن، یکی از مهم‌ترین مراحل در فرایند نیم‌جوش شدن است که در جهت کاهش رطوبت اضافی محصول صورت می‌گیرد. کاهش رطوبت، موجب اختلاف رطوبت و دمای در لایه‌های درونی دانه طی خشک‌کردن گشته و در نتیجه سبب ایجاد دو نوع تنش داخلی (تنش رطوبتی و گرمایی) می‌گردد [2]. برای کاهش این تنش‌ها، می‌بایست خشک‌کردن دارای مرحله استراحت‌دهی باشد. فرایند استراحت‌دهی فرصت انتقال رطوبت از مرکز به سطح دانه را داده و منجر به کاهش اختلاف رطوبتی در داخل دانه می‌شود. حذف اختلاف رطوبتی ایجادشده طی خشک‌کردن در مرحله قبل در اثر استراحت‌دهی شده و بر نرخ خشک‌کردن در مرحله بعدی تأثیر می‌گذارد و به دنبال آن کیفیت محصول نهایی بهبود می‌یابد [3]. تاکنون روش‌های مختلف خشک‌کردن برای برنج نیم‌جوش از قبیل خورشیدی، هوای گرم، خلّائی، بخار گرم و بستر سیال استفاده شده است [4]. از معایب اصلی خشک‌کردن با هوای گرم، راندمان پایین انرژی و زمان طولانی خشک‌کردن است. بنابراین برای کاهش زمان خشک‌کردن و به دنبال آن کاهش کیفیت محصولات خشک‌شده استفاده از امواج فرسوخ و مایکروویو برای خشک‌کردن مواد پیشنهاد گردیده است [5]. اشعه فرسوخ با سرعت بالاتری جذب پوسته محصول شده و سبب ایجاد حرارت می‌گردد. روش خشک‌کردن فرسوخ نسبت به همرفتی، راندمان بالاتری داشته و کیفیت محصولات خشک‌شده با این روش در مقایسه با روش هوای گرم بهتر می‌باشد [6]. هم‌چنین مایکروویو یک روش سریع با مصرف پایین انرژی در مقایسه با روش خشک‌کردن توسط هوای گرم می‌باشد. نتایج تحقیقات نشان داده که انرژی مایکروویو باید در مرحله انتهایی خشک‌کردن محصولات، با محتوای رطوبتی

پایین، استفاده شود [7]. خشک‌کردن محصولات مختلف کشاورزی از جمله، شلتوک (غیر نیم‌جوش) [8]، چارچ دکمه‌ای [9]، برش‌های بادمجان [10]، توت [11]، سیب‌زمینی [12]، تفاله‌ی انگور [13] و کدوخلوایی [14] در یک خشک‌کن ترکیبی هوای گرم-فرسوخ تاکنون توسط محققین مورد بررسی قرار گرفت. هم‌چنین ترکیب خشک‌کردن مایکروویو با هوای گرم توسط برخی محققان برای خشک‌کردن میوه‌ها و سبزی‌هایی مانند سیب [15]، انگور [16]، موز [3]، فلفل قرمز [17]، گوجه‌فرنگی [18]، سیر [19] و سویای پخته‌شده [20] بحث شده است. بنابراین در کنار روش‌های اشاره‌شده، به نظر می‌رسد استفاده از روش‌های ترکیبی خشک‌کردن هوای گرم-فرسوخ و مایکروویو به همراه استراحت‌دهی، می‌تواند روش مناسبی و جدیدی برای خشک‌کردن محصولات کشاورزی به‌ویژه برنج نیم‌جوش به صورت لایه نازک باشد که به‌کارگیری آن در راستای اجرای این تحقیق مورد بررسی قرار گرفت.

در تحقیقی صادقی و همکاران، اثر فرایندهای خشک‌کردن متناوب و پیوسته را بر ترک‌خوردگی ارقام هاشمی و کوهسار مورد بررسی قرار داده‌اند. آن‌ها پیشنهاد داده‌اند با اجرای عملیات استراحت‌دهی مناسب می‌توان زمان خشک‌کردن و شاخص ترک را به‌طور قابل ملاحظه‌ای کاهش داد [21]. در پژوهشی دیگر، اثر شرایط مختلف خشک شدن و استراحت‌دهی بر شاخص سفید شدگی دو رقم برنج شفق (دانه بلند) و سازندگی (دانه متوسط) در یک روش خشک‌کردن دومرحله‌ای مورد مطالعه قرار گرفت [22]. نتایج نشان داد که برای رقم‌های سازندگی و شفق به‌منظور دستیابی به بیش‌ترین درجه سفیدی جرمی، به‌ترتیب برای 240 و 200 min استراحت‌دهی و بیش‌ترین درجه سفیدی نوری، به‌ترتیب برای 160 و 240 min عملیات استراحت‌دهی توصیه می‌گردد. البرت و همکاران، تأثیر شرایط خشک‌کردن را بر راندمان برنج سالم و شاخص قهوه‌ای شدن برنج نیم‌جوش مورد بررسی قرار دادند و به این نتیجه رسیدند که تأثیر دما بر راندمان برنج سالم منفی بوده درحالی‌که تأثیر زمان استراحت‌دهی بر آن مثبت نشان داده شد. هم‌چنین نتایج نشان داد که شاخص قهوه‌ای شدن برنج نیم‌جوش با افزایش دمای هوا و زمان استراحت‌دهی افزایش یافت [23]. محققان با بررسی تأثیر دما بر

به دست آمد. میانگین رطوبت اولیه شلتوک 11% (w.b) بود.

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

در این رابطه، M.C. درصد رطوبت نمونه‌ها بر پایه تر (w.b) است.  $m_1$  جرم اولیه نمونه (g) و  $m_2$  جرم نهایی نمونه (g) است. برای توزین نمونه‌ها از ترازوی دیجیتال AND GF-600 ساخت کشور ژاپن با دقت  $\pm 0/001$  g استفاده شد. همچنین اجاق آزمایشگاهی Memmert D06836 ساخت کشور آلمان با دقت  $\pm 1^\circ \text{C}$  مورد استفاده قرار گرفت.

## 2-2- فرایند نیم‌جوش و خشک‌کردن شلتوک

فرایند نیم‌جوش شامل سه مرحله غوطه‌وری، بخاردهی و خشک‌کردن است. تجهیزات مورد نیاز برای غوطه‌وری شامل مخزن و سامانه کنترل دما می‌باشد. سامانه کنترل دمای آب، برای ثابت نگه داشتن دمای آب (با دقت  $\pm 0/5^\circ \text{C}$ )، طی غوطه‌وری شلتوک مورد استفاده قرار می‌گرفت. این سامانه از یک حسگر دمای روکش‌دار LM35D (روکش استیل با قطر 6 mm)، سامانه کنترلی نوع تناسبی، پمپ آب، دمنده، گرم‌کن و مخزن تشکیل شده است (شکل 1). پمپ آب مدل GC 100 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 استفاده می‌گردید. نمونه‌ها درون نمونه‌گیر قرار گرفته و دمای آب درون مخزن در تمام مدت غوطه‌وری ثابت بوده است. جهت تکمیل فرایند نیم‌جوش کردن، 2 h بعد از غوطه‌وری [27]، مرحله بخاردهی (در فشار محیط و دمای  $96^\circ \text{C}$ ) اجرا شد. بررسی پژوهش‌ها نشان داد که غوطه‌وری در دمای  $65^\circ \text{C}$  به مدت 180 min و بخاردهی در فشار اتمسفر به مدت 4 min از شرایط بهینه غوطه‌وری و بخاردهی شلتوک رقم فجر می‌باشد [25]. بنابراین در پژوهش حاضر، دمای غوطه‌وری  $65^\circ \text{C}$  به مدت 180 min و زمان 4 min برای نیم‌جوش کردن انتخاب شد.

بعد از اعمال فرایند بخاردهی، نمونه‌های شلتوک به دو روش مطابق شکل (2) خشک شدند:

نرخ خشک‌کردن در 1000 ثانیه اول، به شدت کاهش می‌یابد و دلیل آن را تبخیر سریع رطوبت و نبود فرصت کافی برای جایگزینی رطوبت از لایه‌های داخلی به سطح بیان کردند. آن‌ها دلیل افزایش نرخ رطوبت در مرحله دوم خشک‌کردن را حذف اختلاف رطوبتی در داخل دانه در مدت‌زمان استراحت دهی بیان کردند و به این نتیجه رسیدند که استراحت دهی تأثیر بسیاری بر عملکرد خشک‌کن دارد، درحالی‌که سرعت هوا، تأثیر قابل ملاحظه‌ای بر فرایند خشک‌کردن ندارد [3]. تاکنون پژوهش‌های بسیاری در زمینه تأثیر استراحت دهی بر نرخ خشک‌کردن، زمان خشک‌کردن و مصرف انرژی فرایند، مورد مطالعه قرار گرفته است [17-19, 24].

با توجه به بررسی منابع صورت گرفته و بر اساس یافته‌های محققان، می‌توان بیان کرد که تاکنون هیچ تحقیقی به منظور خشک‌کردن شلتوک نیم‌جوش به روش دوم مرحله‌ای و ترکیبی (از روش ترکیبی جریان هوای گرم-فروسرخ در مرحله اول و از روش مایکروویو در مرحله دوم) صورت نگرفته است. بنابراین در تحقیق حاضر، شلتوک نیم‌جوش ابتدا در خشک‌کن ترکیبی هوای گرم-فروسرخ تا رسیدن به رطوبت بحرانی خشک گردید و سپس نمونه‌ها بعد از استراحت دهی، وارد مایکروویو شده و تا رسیدن به رطوبت نهایی خشک شد و تأثیر روش‌های مختلف خشک‌کردن یعنی روش پیوسته و متناوب، بر زمان خشک‌کردن، راندمان برنج سالم، رنگ و نیروی سفتی محصول خشک‌شده، مورد بررسی قرار گرفت.

## 2- مواد و روش‌ها

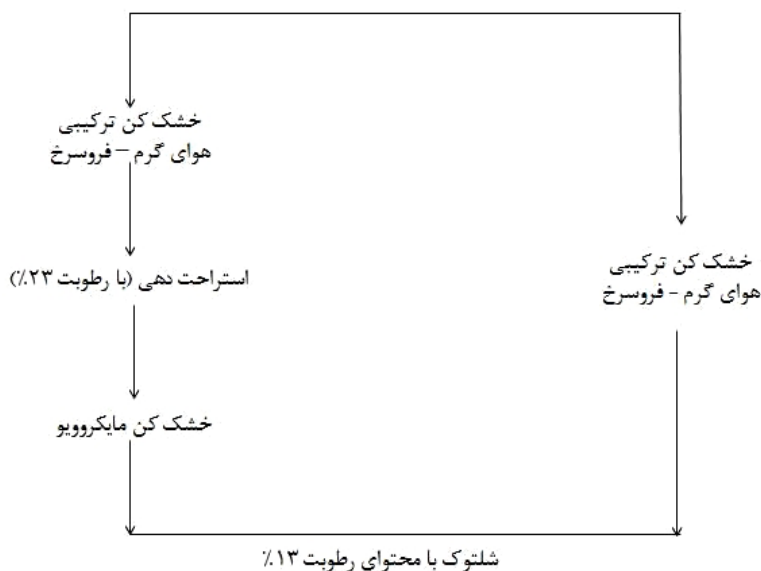
### 2-1- تهیه نمونه‌ها و اندازه‌گیری میزان رطوبت

شلتوک رقم فجر دارای راندمان تبدیل پایینی است [25]. به همین دلیل، با توجه به اهمیت کاهش ضایعات، این رقم برای اجرای تحقیق در نظر گرفته شد. شلتوک رقم فجر دارای وزن هزار دانه  $21/6 \pm 1/2$  g می‌باشد و برای تعداد 100 دانه میانگین طول، عرض و ضخامت به ترتیب  $10/6 \pm 0/6$ ،  $2/1 \pm 0/1$  و  $2 \pm 0/1$  mm گزارش شده است [24]. در تمامی آزمایش‌ها برای تعیین میزان رطوبت شلتوک، نمونه‌های 10 g به مدت 24 h در اجاق آزمایشگاهی دمای  $130^\circ \text{C}$  قرار داده شد [26] و میزان رطوبت نمونه‌های شلتوک از معادله (1)



شکل (۱) سامانه غوطه‌وری شلتوک، (۱) نمونه‌گیر، (۲) همزن، (۳) سامانه کنترل دما، (۴) دمنده، (۵) گرم‌کن و (۶) شیر آب

شلتوک نیم جوش با محتوای رطوبت  
٪۳۵



شکل (۲) روش‌های مختلف خشک کردن برنج نیم‌جوش

در مرحله اول در محدوده رطوبت ذکرشده در حدود ۲۳٪ پیشنهاد شده است [27, 29]. سپس نمونه‌ها به مدت ۸ برابر زمان خشک کردن مرحله اول، برای استراحت دهی، درون کیسه‌های پلاستیکی ضخیم زیپ-کیپ قرار دادند و پس از خارج کردن هوای درون کیسه، درب آن‌ها محکم بسته شد، به‌گونه‌ای که امکان هیچ‌گونه تبادل هوایی بین دانه‌های برنج درون کیسه و محیط بیرون وجود نداشته باشد. بعد از پایان زمان استراحت دهی، نمونه‌ها در مرحله دوم خشک کردن توسط خشک‌کن مایکروویو، در سه سطح توان ۱۰۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ وات، تا رسیدن به رطوبت نهایی در حدود (w.b.) ۱۳٪، خشک کردند.

(۱) روش پیوسته: در این روش از خشک‌کن ترکیبی هوای گرم-فروسرخ، در سه سطح دمایی ۴۰، ۵۰ و ۶۰ °C و دو سطح شدت تابش لامپ فرسرخ ۰/۳۲ و ۰/۲۴۹ W/cm<sup>۲</sup> با سرعت هوای ورودی ۱ m/s تا رسیدن به رطوبت نهایی ۱۳٪، بر پایه تر، استفاده شد [28].  
(۲) روش متناوب: در این روش از خشک کردن دومرحله‌ای که در مرحله اول نمونه‌ها توسط خشک‌کن ترکیبی هوای گرم-فروسرخ در سه سطح دمایی ۴۰، ۵۰ و ۶۰ °C، دو سطح توان فرسرخ ۰/۳۲ و ۰/۲۴۹ W/cm<sup>۲</sup> با سرعت هوای ورودی ۱ m/s تا رسیدن به رطوبت بحرانی، حدود (w.b.) ۲۳٪، خشک گردید (شکل ۳). در مطالعات گذشته نیز میزان رطوبت نهایی

در هر آزمایش 200g نمونه به صورت لایه نازک با ضخامت 3 تا 5 mm مطابق شکل (3) بر روی سینی سوراخ‌دار  $28 \times 22$  سانتی‌متر قرار می‌گرفت. به منظور ثبت وزن طی خشک‌کردن به روش هوای گرم-فروسرخ، ترازوی دیجیتال AND GF-600 ساخت کشور ژاپن با دقت  $\pm 0/001$  g، با قابلیت اتصال به کامپیوتر در قسمت پایینی خشک‌کن قرار گرفته و تغییرات وزن در هر دو دقیقه ثبت می‌گردید. قابل ذکر است که برای کاهش خطا ناشی از روشن بودن فن، چند ثانیه قبل از سنجش و ثبت وزن، فن خشک‌کن خاموش می‌شد. در طول انجام آزمایش‌ها دمای محیط بین  $20 \pm 5^\circ\text{C}$  و رطوبت نسبی هوا  $5 \pm 22\%$  بود.

### 2-5- میزان رنگ و روشنی برنج

برای اندازه‌گیری میزان رنگ و روشنی ( $L^*$ ) کل دانه‌های آسیاب شده از رنگ‌سنج ساخت شرکت Reston کشور آمریکا مدل 4510 استفاده شد که مؤلفه‌های رنگ  $a^*$  (سبزی -) به قرمزی (+) و  $b^*$  (آبی -) به زردی (+) با استفاده از رنگ‌سنج اندازه‌گیری گردید. با به‌کارگیری این ضرایب، ضریب رنگ برنج نیم‌جوش توسط رابطه (2) به دست آمد [31].

$$\text{Chroma} = \sqrt{a^{*2} + b^{*2}} \quad (2)$$

### 2-3- عملیات تبدیل

عملیات تبدیل بر شلتوک نیم‌جوش، شامل مرحله پوست‌کنی، سفید کردن و بوجاری بوده است. پوست‌کنی با استفاده از دستگاه پوست‌کن SATAKE مدل TKH ساخت کشور ژاپن، عملیات سفید کردن با سفید کن سایشی SATAKE مدل TM ساخت کشور ژاپن و بوجاری توسط دستگاه جداساز دانه‌های سالم SENSEWEALTH مدل FQS-13X20 ساخت کشور چین انجام شد. در مرحله بوجاری دانه‌های سالم، یعنی دانه‌هایی با بیش از 0/75 برابر طول دانه کامل، از دانه‌های غیرسالم جدا شدند.

### 2-6- اندازه‌گیری سفتی برنج نیم‌جوش

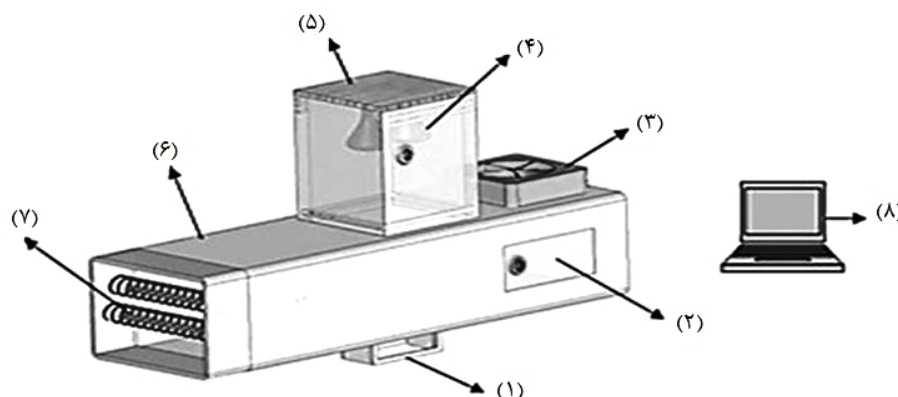
سفتی برنج نیم‌جوش، توسط دستگاه آزمون مواد مدل H50 K-S, Hounsfield ساخت کشور انگلستان انجام شد. برای اجرای آزمون، نمونه‌ها بر یک صفحه مسطح قرار گرفته و توسط میله متحرک به قطر 12 میلی‌متر و متصل به لودسل 500N، تحت فشار قرار می‌گرفت. سرعت حرکت میله،  $1\text{mm/min}$  انتخاب شد [32]. اولین نیرو برای شکست برنج به‌عنوان سفتی نمونه ثبت گردید. هر آزمایش در 6 تکرار صورت گرفت و میانگین نیروها گزارش شده است [31, 32].

### 2-4- راندمان برنج سالم نیم‌جوش

بعد از سفید کردن شلتوک، تمام دانه‌های شکسته از دانه‌های سالم توسط جداکننده خارج از مرکز مدل FQS-13X20، Sensewealth ساخت کشور چین، جدا شدند. راندمان برنج

### 2-7- آنالیز آماری

کلیه آزمایش‌ها، در قالب طرح کاملاً تصادفی به صورت فاکتوریل با دو روش خشک‌کردن، (الف) خشک‌کردن پیوسته توسط



شکل (3) خشک‌کن ترکیبی هوای گرم-فروسرخ. اجزا تشکیل‌دهنده این خشک‌کن عبارت‌اند از: (1) ترازوی دیجیتال، (2) کنترل سرعت هوا، (3) دمنده و الکتروموتور، (4) لامپ‌های فرسرخ، (5) محفظه لامپ، (6) محفظه خشک‌کن، (7) گرم‌کننده هوا و (8) کامپیوتر برای ثبت داده‌ها.

به ترتیب مربوط به دمای  $40^{\circ}\text{C}$  (تیمار  $100\text{ W}-0/232\text{ W}/\text{cm}^2$ ) و دمای  $60^{\circ}\text{C}$  (تیمار  $300\text{ W}-0/249\text{ W}/\text{cm}^2$ ) به دست آمد. زیرا با افزایش دمای خشک کردن، شدت سطح تابش و توان میکروویو، نرخ خروج رطوبت از دانه به دلیل افزایش تبخیر سطحی بیشتر شده و در نتیجه موجب انتقال سریع تر رطوبت از مرکز به سطح دانه می‌گردد.

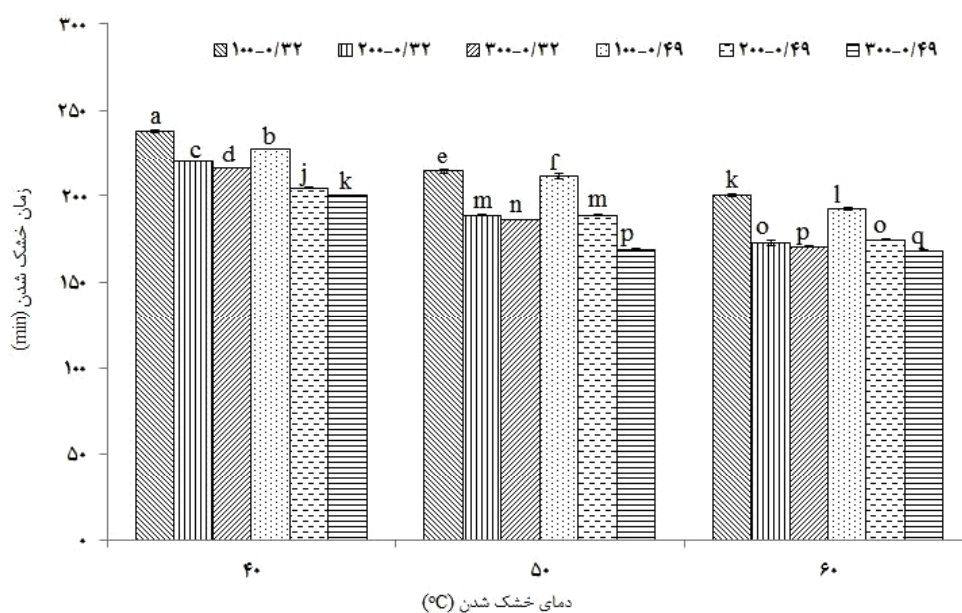
شکل (5)، زمان فرایند خشک کردن شلتوک نیم‌جوش با روش متناوب را بدون احتساب زمان استراحت دهی، در مقایسه با روش خشک کردن پیوسته نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود در روش پیوسته با افزایش دما از  $40^{\circ}\text{C}$  به  $60^{\circ}\text{C}$ ، زمان خشک کردن برای شدت‌های تابش  $0/32$  و  $0/249\text{ W}/\text{cm}^2$  به ترتیب  $7/9$  و  $11/6\%$  کاهش یافت. همچنین با افزایش شدت تابش فرسوخ از  $0/32$  به  $0/49\text{ W}/\text{cm}^2$ ، زمان خشک شدن شلتوک در دمای  $60^{\circ}\text{C}$  به مقدار  $6/9\%$ ، در دمای  $50^{\circ}\text{C}$  به میزان  $4/6\%$  و در دمای  $40^{\circ}\text{C}$  به میزان  $3/01\%$  کاهش می‌یابد. افزایش شدت تابش اشعه فرسوخ سبب افزایش دمای خشک کردن شده و از طرف دیگر سبب افزایش ظرفیت جذب رطوبت هوا، به دلیل اختلاف دما بین هوا و محصول می‌شود و در نتیجه محصول سریع تر گرم شده و موجب تبخیر بهتر آب از آن می‌گردد. بنابراین زمان

خشک‌کن ترکیبی هوای گرم-فروسرخ و (ب) خشک کردن متناوب توسط خشک‌کن ترکیبی هوای گرم-فروسرخ در مرحله اول و خشک‌کن میکروویو در مرحله دوم، سه سطح دمای هوای گرم، دو سطح تابش لامپ فرسوخ و سه سطح توان میکروویو با 3 تکرار اجرا شد. رسم نمودارها با نرم‌افزار Excel (2010) و تجزیه واریانس یا تحلیل آماری با نرم‌افزار SPSS Statistics 17.0 و مقایسه میانگین‌ها با آزمون دانکن انجام گرفت.

### 3- نتایج و بحث

#### 3-1- زمان خشک کردن

زمان کل فرایند خشک کردن شلتوک نیم‌جوش یعنی مجموع زمان خشک کردن طی دو مرحله به همراه زمان استراحت دهی، با سطوح مختلف دمای خشک کردن، سطح تابش لامپ و توان میکروویو در شکل (4) نشان داده شده است. مطابق شکل (4)، زمان خشک کردن با افزایش دمای خشک‌کن از  $40^{\circ}\text{C}$  به  $60^{\circ}\text{C}$ ، شدت سطح تابش از  $0/32$  به  $0/49\text{ W}/\text{cm}^2$  و توان میکروویو از 100 به 300 W به‌طور معنی‌داری ( $p < 0/05$ ) کاهش یافت. به‌طوری که بیش‌ترین و کم‌ترین زمان خشک کردن یعنی  $238/22$  و  $168/56\text{ min}$



شکل (4) تغییرات کل زمان خشک کردن دانه با دماهای مختلف خشک کردن با احتساب زمان استراحت دهی در روش متناوب

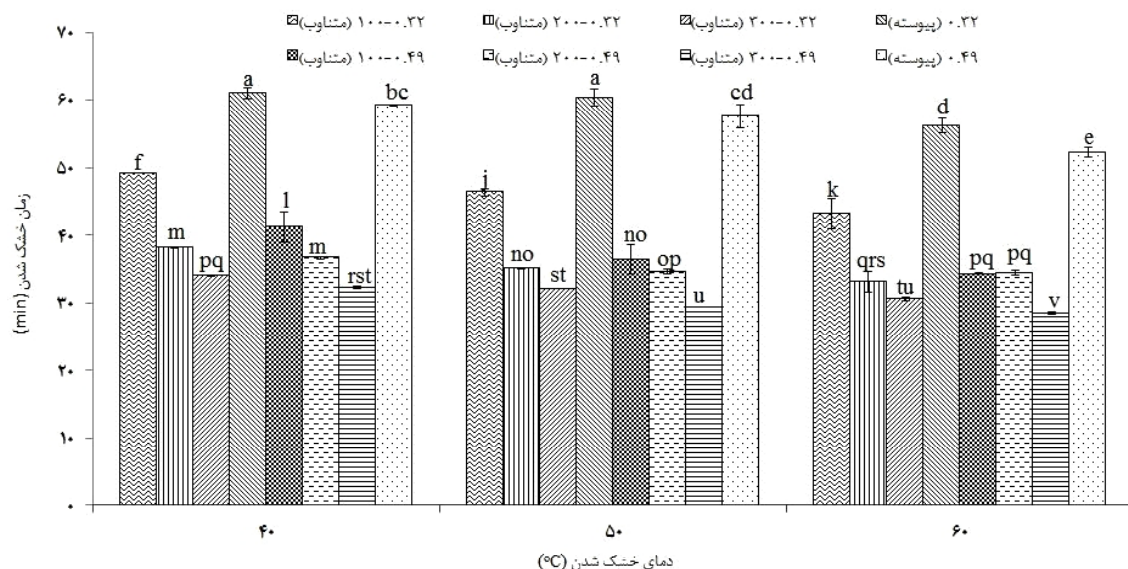
دانه به سطح آن انتقال می‌یابد. رطوبت بخش‌های نزدیک به سطح دانه افزایش یافته و در مرحله بعدی خشک‌کردن، انتقال رطوبت از سطح دانه به محیط با سرعت بیش‌تری انجام‌شده در نتیجه زمان خشک‌کردن دانه کاهش می‌یابد. این موضوع از نظر صرفه‌جویی انرژی در کارخانه‌های تبدیل انرژی حائز اهمیت به‌سزایی است. هم‌چنین این نتایج با گزارش‌های منتشر شده توسط صادقی و همکاران مطابقت دارد [21]. آن‌ها با بررسی روش‌های متناوب و پیوسته بر خشک‌کردن شلتوک ارقام هاشمی و کوهسار بیان کرده‌اند که زمان خشک‌کردن دانه در فرایند خشک‌کردن متناوب نسبت به نوع پیوسته طی افزایش دما، کاهش معنی‌داری داشته است.

### 3-2- راندمان برنج سالم

شکل (6) راندمان برنج سالم طی خشک‌کردن با روش پیوسته و متناوب را در دمای خشک‌کردن و توان‌های مختلف مایکروویو نشان می‌دهد. که مطابق آن در روش خشک‌کردن پیوسته با سطح تابش  $0/32$  و  $0/49$  W/cm<sup>2</sup>، طی افزایش دمای خشک‌کن، راندمان برنج سالم به‌ترتیب افزایش و کاهش یافت اما بیش‌ترین راندمان برنج سالم مربوط به دمای  $60^\circ\text{C}$  و سطح تابش  $0/32$  W/cm<sup>2</sup> بوده است. راندمان برنج سالم حاصل از روش خشک‌کردن متناوب یعنی  $62/72$  تا  $76/55$ ٪، در تمامی سطوح، بالاتر از راندمان برنج حاصل از خشک‌کردن

خشک شدن کاهش مییابد [33]. این نتایج با گزارش‌های سایر محققان سازگار است [10, 28]. بولانگ و همکاران، یک خشک‌کن ترکیبی فروسرخ-هوای گرم را در مقایسه با خشک‌کن فروسرخ به‌تنهایی و هوای گرم به‌تنهایی برای خشک‌کردن برنج مورد بررسی قرار داده‌اند. نتایج به‌دست‌آمده حاکی از کاهش زمان خشک شدن و کاهش انرژی مصرفی در خشک‌کن ترکیبی نسبت به سامانه‌های انفرادی فروسرخ و هوای گرم بود [28].

در روش متناوب، با افزایش دما، شدت تابش لامپ فروسرخ و توان مایکروویو، زمان خشک‌کردن به‌طور معنی‌داری ( $p < 0/05$ ) کاهش یافت. هم‌چنین زمان خشک‌کردن ( $28/56$  تا  $49/27$  min) در روش متناوب به‌طور معنی‌داری ( $p < 0/05$ ) کم‌تر از زمان خشک‌کردن در روش پیوسته ( $52/33$  تا  $61/04$  min) بوده است. کم‌ترین و بیش‌ترین زمان خشک‌کردن یعنی  $28/56$  و  $61/04$  min به‌ترتیب مربوط به دمای  $60^\circ\text{C}$  ( $0/49$ - $300$ ) و دمای  $40^\circ\text{C}$  ( $0/32$  پیوسته) می‌باشد. همان‌طور که روش متناوب با استراحت دهی همراه بوده است و طی استراحت دهی، گرادیان رطوبتی درون شلتوک از بین رفته و موجب یکنواخت شدن رطوبت درون‌دانه گردید. در نتیجه طی مرحله بعدی خشک‌کردن، رطوبت با نرخ بیش‌تری از سطح دانه تبخیر شده و زمان خشک‌کردن دانه کاهش یافت. به عبارت دیگر طی استراحت دهی، رطوبت از بخش مرکزی



شکل (5) تأثیر دو روش (متناوب و پیوسته) و پارامترهای مختلف خشک‌کردن بر زمان خشک‌کردن شلتوک نیم‌جوش

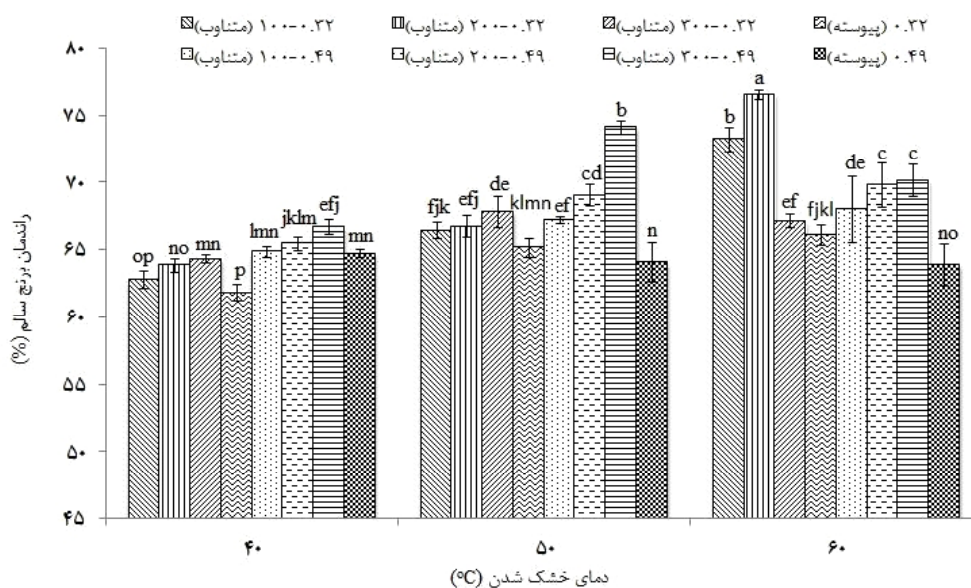


در روش خشک کردن متناوب برای تیمار 300-0/32 و برای خشک کردن پیوسته در سطح تابش  $0/49 \text{ W/cm}^2$  با افزایش دما، مقدار راندمان برنج سالم کاهش یافت. البرت و همکاران در مورد برنج نیم‌جوش به چنین نتیجه مشابهی رسیدند و گزارش کردند که دمای هوای خشک کردن دارای تأثیر منفی بر راندمان برنج سالم هست [23].

### 3-3- رنگ برنج نیم‌جوش

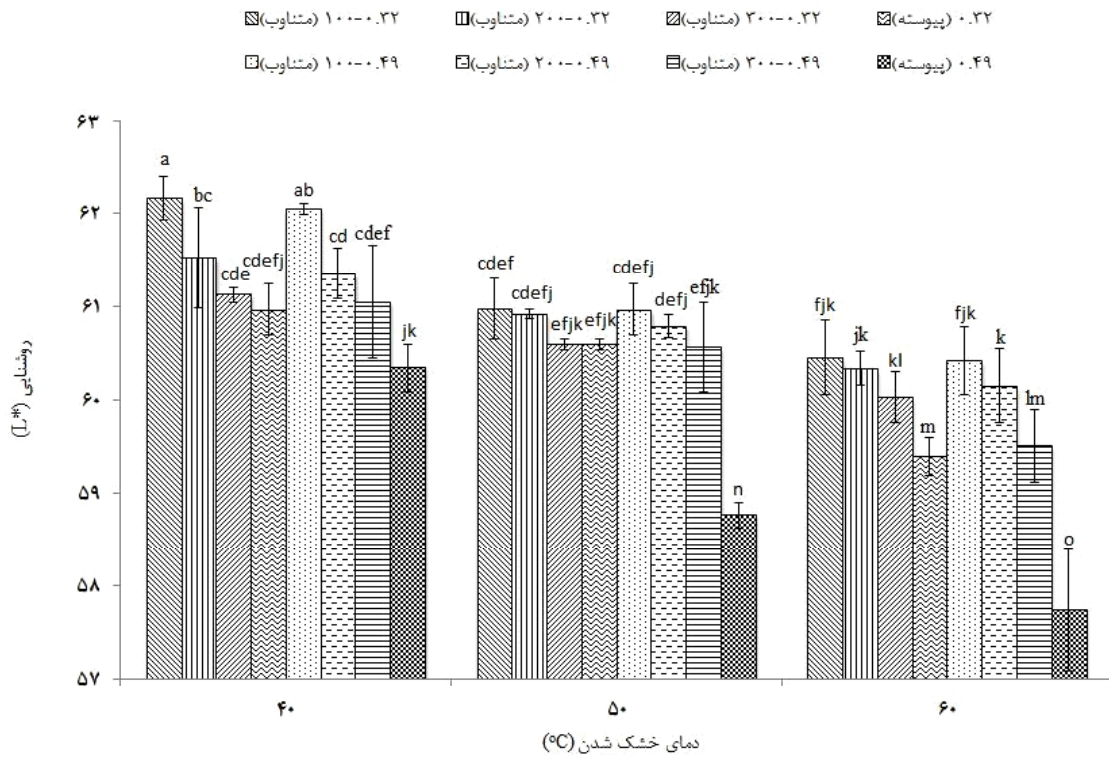
تولید برنج نیم‌جوش سفید، یکی از اهداف کلی نیم‌جوش شدن است. روند تغییرات روشنایی و ارزش رنگ برنج نیم‌جوش برای خشک کردن پیوسته و متناوب به ترتیب در شکل‌های (7) و (8) نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود تأثیر روش خشک کردن بر مقدار روشنایی و ارزش رنگ معنی‌دار ( $p < 0/05$ ) بوده است. مقدار روشنی و ارزش رنگ برای خشک کردن به روش متناوب از 62/17 به 59/51 و از 18/08 به 19/23 به ترتیب کاهش و افزایش یافت؛ اما مقدار روشنی و ارزش رنگ برنج طی خشک کردن به روش پیوسته، به ترتیب از 60/96 تا 57/74 و 18/69 تا 19/63 بوده است. میزان روشنایی و ارزش رنگ در خشک کردن به روش متناوب نسبت به روش پیوسته به‌طور معنی‌داری ( $p < 0/05$ ) به ترتیب بیشتر و کمتر است. در خشک کردن پیوسته، تأثیر سطوح تابش لامپ و دمای

پیوسته به میزان 61/8 تا 66/06٪ بوده است. زیرا خشک کردن متناوب با استراحت دهی همراه بوده است و طی استراحت دهی گرادیان رطوبتی محصول از کاهش یافته و تنش کم‌تری درون دانه ایجاد شده و در نتیجه موجب افزایش راندمان برنج سالم می‌گردد. این نتایج با گزارش منتشر شده توسط یانگ و همکاران سازگار است [5]. آن‌ها بیان کرده‌اند که عملکرد برنج سالم برای ارقام Cypress و M202 به دلیل ایجاد گرادیان رطوبتی بالا درون دانه به‌طور معنی‌داری کاهش یافت. نتایج تحقیقات نشان می‌دهد که استفاده از روش خشک کردن چندمرحله‌ای نسبت به خشک کردن پیوسته موجب افزایش معنی‌دار بازده تبدیل برنج می‌گردد [22، 34]. هم‌چنین در منابع گزارش شده است که خشک کردن طی دو یا سه مرحله و استفاده از عمل متعادل‌سازی رطوبتی باعث افزایش شاخص عملکرد برنج سالم تولیدی می‌شود [21]. در خشک کردن به روش پیوسته، رطوبت سطحی شلتوک با سرعت کاهش یافته و به دلیل انتقال آب از بخش‌های داخلی دانه به سطح آن، لایه‌های بیرونی چروکیده و منقبض می‌شود و در فرایند تبدیل، انبساط ناشی از فشار درونی دانه با رطوبت‌های مختلف باعث افزایش شکستگی می‌گردد [22]. نتایج تحقیقات تجدیدی طلب نشان داد که خشک کردن یک مرحله‌ای کم‌ترین درصد برنج سالم و سه مرحله‌ای بیش‌ترین درصد برنج سالم را داشته است [22].

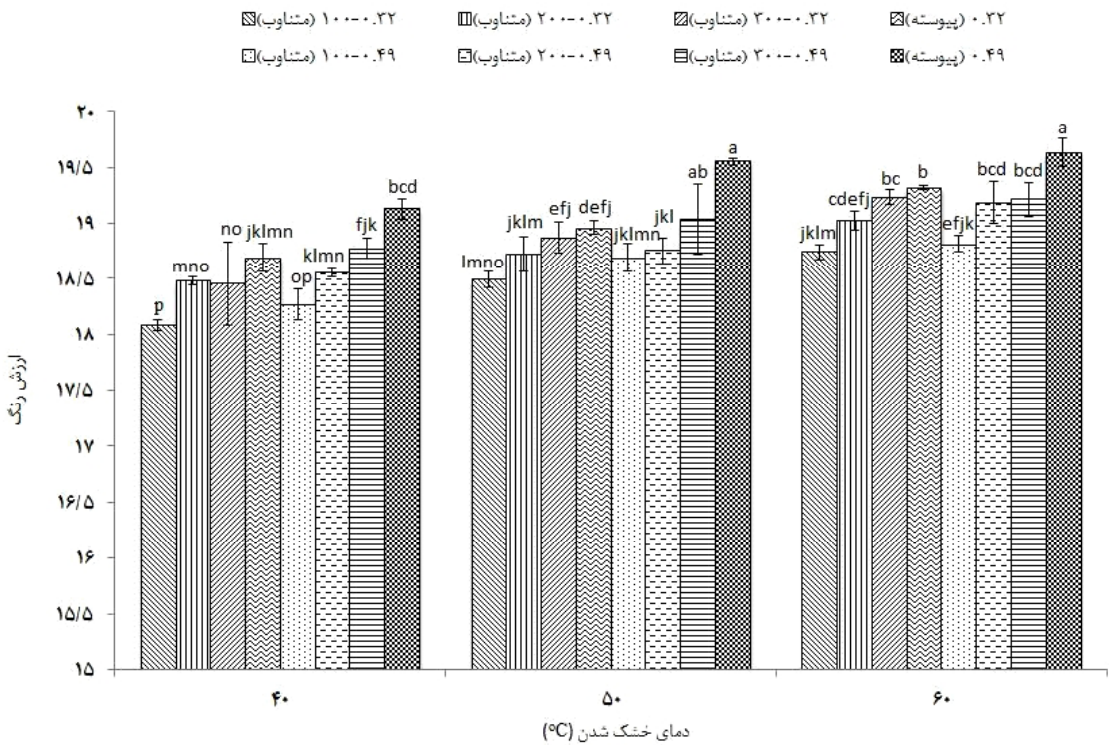


شکل (6) تأثیر دو روش (متناوب و پیوسته) و پارامترهای مختلف خشک کردن بر راندمان برنج سالم





شکل (7) تأثیر دو روش (متناوب و پیوسته) و پارامترهای مختلف خشک کردن بر مقدار روشنایی برنج نیم جوش



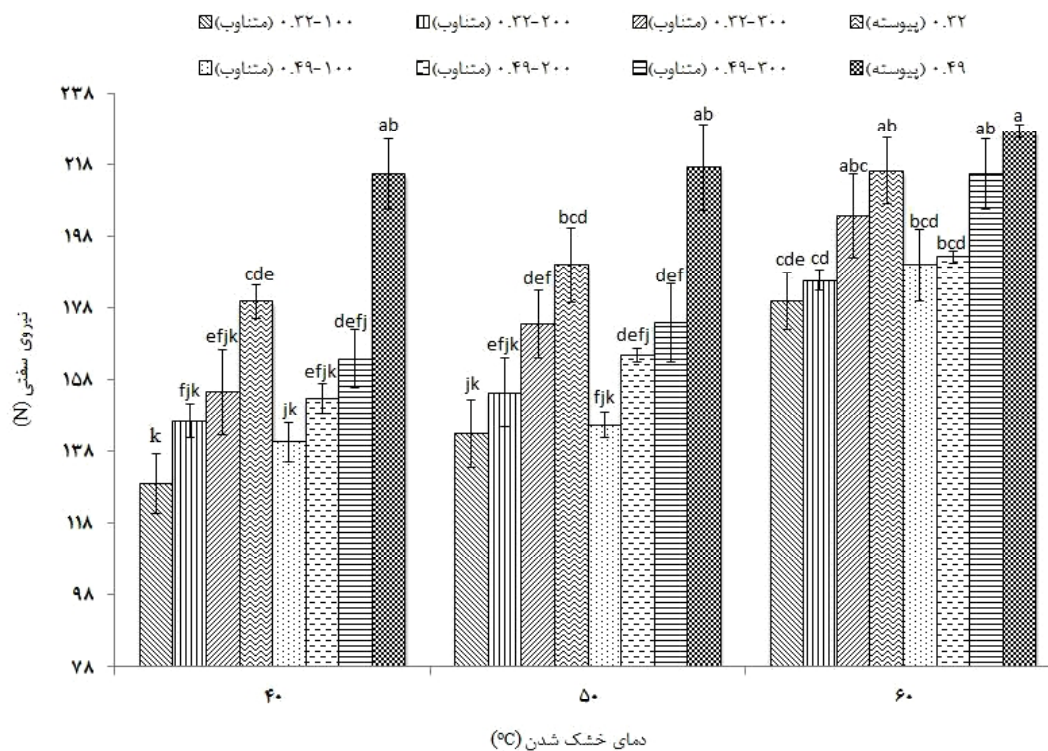
شکل (8) تأثیر دو روش (متناوب و پیوسته) و پارامترهای مختلف خشک کردن بر مقدار ارزش رنگ برنج نیم جوش

ترکیبات غیر گلیسریدی نظیر فسفات یدها و رنگ‌دانه‌های موجود به‌ویژه کلروفیل و گزانتوفیل می‌باشد. افزایش دما باعث افزایش آهنگ واکنش‌های قهوه‌ای شدن مایلارد و تولید رنگ‌دانه‌های تیره می‌شود [40, 41]. تغییر در رنگ‌دانه‌ها می‌تواند به علت تأثیر حرارت بر روی ترکیبات حساس به حرارت از قبیل کربوهیدرات، پروتئین و ویتامین باشد که همین امر موجب تغییر رنگ در طول فرایند خشک‌کردن می‌شود [40, 42, 43]. یوسفیان و همکاران نیز طی تحقیقات خود به نتایج مشابهی در رابطه با افزایش تغییرات رنگ در اثر افزایش دمای خشک‌کردن رسیدند [26]. ارسال و اوزجان نیز در تحقیقی بر روی تکه‌های لفل خشک شده با استفاده از هوای گرم، کاهش مقدار  $L^*$  را با افزایش دمای خشک‌کن گزارش داده‌اند [27].

### 3-4- نیروی سفتی برنج نیم‌جوش

شکل (9)، تأثیر شدت تابش لامپ فروسرخ و توان میکروویو با سطوح مختلف دمای فرایند را برای دو روش خشک‌کردن

خشک‌کن بر مقدار روشنایی و ارزش رنگ معنی‌دار ( $p < 0/05$ ) بود. همچنین در روش متناوب، سطوح تابش و توان میکروویو بر مقدار روشنایی و ارزش رنگ، اثر معنی‌داری ( $p < 0/05$ ) داشت. بیش‌ترین (62/17) و کم‌ترین (57/74) مقدار روشنایی به‌ترتیب مربوط به دمای  $40^\circ\text{C}$  (تیمار 100-0/32 (متناوب)) و دمای  $60^\circ\text{C}$  (تیمار 0/49 (پیوسته)) می‌باشد. همچنین بیش‌ترین مقدار ارزش رنگ معادل 19/63 در دمای  $60^\circ\text{C}$  و سطح تابش  $0/49\text{ W/cm}^2$  (روش پیوسته) و کم‌ترین مقدار ارزش رنگ معادل 18/08 در دمای  $40^\circ\text{C}$  و تیمار 100-0/32 (متناوب) مشاهده گردید. این نشان می‌دهد که شرایط مناسب از نظر رنگ، برای تولید برنج نیم‌جوش سفید در دمای پایین خشک‌کردن و سطوح پایین تابش لامپ فروسرخ و توان میکروویو، اتفاق می‌افتد. نتایج این تحقیق با گزارش‌های منتشرشده توسط دیگر محققان مطابقت دارد [35-39]. با توجه به نتایج، دلایل تیره شدن رنگ در دمای بالا، واکنش‌های قهوه‌ای شدن، تجزیه پروتئین‌ها، افزایش مقدار فسفات یدهای فاقد قابلیت جذب آب، افزایش مقدار گوگرد و تأثیر دما بر سایر



شکل (9) تأثیر دو روش (متناوب و پیوسته) و پارامترهای مختلف خشک‌کردن بر مقدار نیروی سفتی برنج نیم‌جوش

پیوسته و متناوب، نشان می‌دهد. مطابق شکل (9)، در هر دو روش خشک‌کردن با افزایش سطح تابش، توان مایکروویو و دمای خشک‌کردن، مقدار نیروی سفتی به‌طور معنی‌داری ( $p < 0/05$ ) افزایش می‌یابد. هم‌چنین روش خشک‌کردن بر مقدار نیروی شکست برنج نیم‌جوش تأثیر معنی‌داری ( $p < 0/05$ ) داشت. نیروی سفتی برنج نیم‌جوش خشک‌شده به روش پیوسته (180 تا 227 N)، به‌طور معنی‌داری ( $p < 0/05$ ) بیش‌تر از نمونه خشک‌شده به روش متناوب (129 تا 215 N) می‌باشد.

#### 4- نتیجه‌گیری

نتایج این مطالعه نشان داد که خشک‌کردن متناوب (با استراحت دهی) نسبت به خشک‌کردن پیوسته (بدون استراحت دهی) برای شلتوک نیم‌جوش رقم فجر، می‌تواند سبب کاهش زمان خشک‌کردن از 28/56 تا 49/27 min، ارزش رنگ از 18/08 به 19/23 و نیروی سفتی از 129 تا 215 N و افزایش راندمان برنج سالم از 62/72 تا 76/55٪ و روشنایی از 62/17 به 59/51 برنج نیم‌جوش گردد. بنابراین با توجه به ضایعات بالای برنج کشور استفاده از خشک‌کن متناوب (خشک‌کن ترکیبی هوای گرم-فروسرخ در مرحله اول و خشک‌کن مایکروویو در مرحله دوم) برای برنج نیم‌جوش می‌تواند ضمن کاهش عملیات خشک‌کردن تا حدود زیادی موجب افزایش راندمان برنج سالم و میزان افزایش تولید این محصول استراتژیک می‌شود. در راستای تکمیل این تحقیق پیشنهاد می‌گردد که در آینده نزدیک، تحقیقات گسترده‌ای به‌منظور بررسی روش‌های دیگر خشک‌کردن و تأثیر آن بر ویژگی‌های کیفی برنج نیم‌جوش ایرانی (از جمله ارزش غذایی) صورت گیرد.

#### تشکر و قدردانی

از دانشگاه محقق اردبیلی، در تأمین بودجه برای اجرای طرح با عنوان "ارزیابی سینتیک و راندمان خشک‌کردن برنج سالم نیم‌جوش در خشک‌کن ترکیبی مادون‌فرمز- هوای گرم و مایکروویو" و شماره 1486 تشکر و قدردانی می‌شود.

همان‌طور که نشان داده شد، در روش پیوسته با افزایش دما از 40 به 60 °C، نیروی سفتی برنج برای شدت‌های تابش 0/32 و 0/249 W/cm<sup>2</sup> به‌ترتیب 20/3 و 5/6٪ افزایش یافت. اما در روش متناوب با افزایش دما از 40 به 60 °C، نیروی سفتی برنج برای شدت تابش 0/32 و توان مایکروویو 100، 200 و 300 W به‌ترتیب 39/5، 26/7 و 31/9٪ و برای شدت تابش 0/249 W/cm<sup>2</sup> و توان مایکروویو 100، 200 و 300 W به‌ترتیب 35/1، 25/9 و 31/5٪ افزایش یافت. سخت‌ترین دانه مربوط به شرایط خشک‌کردن با دمای 60 °C و سطح تابش 0/49 W/cm<sup>2</sup> (خشک‌کن پیوسته) بوده است. نتایج این تحقیق با گزارش‌های دیگر محققان سازگار است [31، 32، 44].

سطح بالای تابش لامپ، توان بالای مایکروویو و دمای بالای خشک‌کردن، موجب حرکت سریع رطوبت در دانه و ایجاد تنش خمشی در مغز دانه می‌گردد در نتیجه نیروی شکست برنج افزایش می‌یابد. هم‌چنین استفاده از خشک‌کن پیوسته، موجب تنش حرارتی شدیدتری در دانه شده و به دلیل نداشتن فرصت کافی در تبخیر رطوبت از سطح دانه و همین‌طور آب میان‌بافتی، نیروی شکست در این تیمار خشک‌شده بیش‌تر خواهد بود [44]. هم‌چنین سخت شدن دانه‌ها به دلیل متراکم شدن نشاسته اندوسپرم می‌باشد [45]. مقدار سختی به شدت ژلاتینه‌شدن نشاسته بستگی دارد [42، 46، 47]. همان‌طور

#### منابع

- mathematical simulation of stresses within a corn kernel during drying. *Drying Technol.*, 18, 887-906.
- [3] Foroughi-Dahr, M., Golmohammadi, M., Pourjamshidian, R., Rajabi-Hamaneh, M., Hashemi, S. (2015). [1] Bhattacharya, K.R. (2011). *Effect of parboiling on rice quality*, in *Rice Quality*, K.R. Bhattacharya, Editor. 2011, Woodhead Publishing. p. 247-297.
- [2] Jia, C. C., Sun, D. W., Cao, C. W. (2000). Mathe-

- on Drying Kinetics and Physical Properties of Potato Chips. *Drying Technol.: An Inter. J.*, 31, 24-31.
- [13] Sui, Y., Yang, J., Ye, Q., Li, H., Wang, H. (2014). Infrared, Convective, and Sequential Infrared and Convective Drying of Wine Grape Pomace. *Drying Technol.: An Inter. J.*, 32, 686-694.
- [14] Hosseini Ghaboos, S.H., Seyedian Ardabili, S.M., Kashaninejad, M., Asadi, G., Alami, M. (2016). Mass transfer kinetics of combined infrared - hot air drying of Pumpkin. *J. Food Tech. Nutr.*, 13, 5-16.
- [15] Askari, G.R., Emamjomeh, Z., Ebrahimzadeh mosavi, S.M. (2006). Effect of combined coating and microwave assisted hot - air drying on the texture, microstructure and rehydration characteristics of apple slices. *Food Sci. Technol. Int.*, 12, 39-46.
- [16] Dehbooreh, R., Esmaili, M. (2009). Evaluation of Microwave and Convective Finish Drying Parameters and Drying Effects on Color of Dried Grapes. *Iran. Food Sci. Technol. Res. J.*, 5, 108-122.
- [17] Dong, R., Lu, Z., Liu, Z., Koide, S., Cao, W. (2010). Effect of drying and tempering on rice fissuring analysed by integrating intra-kernel moisture distribution. *J. Food Eng.*, 97, 161-167.
- [18] Golmohammadi, M., Rajabi-Hamane, M., Hashemi, S.J. (2012). Optimization of drying-tempering periods in a paddy rice dryer. *Drying Technol.*, 30, 106-113.
- [19] Cihan, A., Kahveci, K., Hacıhafizoğlu, O. (2007). Modelling of intermittent drying of thin layer rough rice. *J. Food Eng.*, 79, 293-298.
- [20] Rao, P.S., Bal, S., Goswami, T. (2007). Modelling and optimization of drying variables in thin layer drying of parboiled paddy. *J. Food Eng.*, 78, 480-487.
- [21] Sadeghi, M., Mireei, S.A. (2016). Rough rice stress fissuring with respect to conditions of drying and tempering processes. *Biosyst. Eng. Iran.*, 47, 277-268.
- On the characteristics of thin-layer drying models for intermittent drying of rough rice. *Chem. Eng. Commun.*, 202, 1024-1035.
- [4] Swasdisevi, T., Sriariyakula, W., Tia, W., Soponronarit, S. (2010). Effect of pre-steaming on production of partially-parboiled rice using hot-air fluidization technique. *J. Food Eng.*, 96, 455-462.
- [5] Li, Y., Xu, S.-Y., Da-Wen, S. (2007). Preparation of garlic powder with high allicin content by using combined microwave-vacuum and vacuum drying as well as microencapsulation. *J. Food Eng.*, 83, 76-83.
- [6] Ratti, C., Mujumdar, A.S. (1995). *Infrared Drying in, Mujumdar. Handbook of industrial drying: New York.*
- [7] Maskan, M. (2000). Microwave/air and microwave finish drying of banana. *J. Food Eng.*, 44, 71-78.
- [8] Zare, D., Naderi, H., Jafari, A. (2011). Predict the moisture content, drying time, necessary force to rupture of paddy grains using neural network in combined dryer infrared - hot air. *7<sup>th</sup> Congr. Agric. Mach. Eng. Mechaniz.*, University Shiraz.
- [9] Salehi, F., Kashaninejad, M., Sadeghi Mahoonak, A., Ziaifar, A.M. (2017). Kinetics Modeling of Thin-Layer Drying of Button Mushroom in Combined Infrared-Hot Air Dryer. *J. Food Sci. Technol.*, 13, 99-109.
- [10] Salehi, F., Kashaninejad, M., Asadi, A. (2016). Investigation of Mass Transfer Kinetics in Combined Infrared-Hot Air Dryer for Eggplant slices. *Food Innov. Tech.*, 7, 53-60.
- [11] Puente-Díaza, L., Ah-Hen, K., Vega-Gálvez, A., Lemus-Mondaca, R., Scala, K.D. (2013). Combined Infrared-Convective Drying of Murta (*Ugni molinae Turcz*) Berries: Kinetic Modeling and Quality Assessment. *Drying Technol.: An Inter. J.*, 31, 329-338.
- [12] Supmoon, N., Noomhorm, A. (2013). Influence of Combined Hot Air Impingement and Infrared Drying

- [32] Miah, M.A.K., Haque, A., Douglass, M.P., Clarke, B. (2002a). Parboiling of rice. Part I: Effect of hot soaking time on quality of milled rice. *Int. J. Food Sci. Tech.*, 37, 527-537.
- [33] Doymaz, I., M., P. (2003). The thin-layer drying characteristics of corn. *J. Food Eng.*, 60, 125-130.
- [34] Zirjani, L., Tavakolipour, H. (2010). Product study of banana chip using microwave-hot air combination. *Food Sci. Tech.*, 6, 58-67.
- [35] Alibas, I. (2007). Microwave, air and combined microwave-air-drying parameters pumpkin slice. *J. Food Sci. Tech.*, 8, 1445-1455.
- [36] Ayse, S. (2011). Microwave drying characteristics of coriander (*Coriandrum sativum* L.) leaves. *Energy Convers. Manage.*, 2, 1449-1453.
- [37] Doymaz, I., Tugrul, N., Pala, M. (2006). Drying characteristics of dill and parsley leaves. *J. Food Eng.*, 3, 559-565.
- [38] Islam, M.R., Roy, P., Shimizu, N., Kimura, T. (2002). Effect of processing conditions on physical properties of parboiled rice. *Food Sci. Tech. Res.*, 8, 106-112.
- [39] Jiao, A., Xu, X., Jin, Z. (2014). Modelling of dehydration-rehydration of instant rice in combined microwave-hot air drying. *Food Bioprod. Process.*, 92, 259-265.
- [40] Lamberts, L., Brijs, K.M.R., Verhelst, N., Delcour, J.A. (2006). Impact of browning reactions and bran pigments on color of parboiled rice. *J. Agric. Food Chem.*, 54, 9924-9929.
- [41] Lamberts, L., Rombouts, I., Brijs, K., Gebruers, K., Delcour, J. (2008). Impact of parboiling conditions on Maillard precursors and indicators in long-grain rice cultivars. *Food Chem.*, 110, 916-922.
- [42] Sareepuang, K., Siriamornpun, S., Wiset, L., Meeso, N. (2008). Effect of soaking temperature on
- [22] Nasrnia, E., Sadeghi, M., Masoumi, A.A. (2012). Effect of Various Drying and Tempering Conditions on Whiteness Index of Rice in a Two-Stage Drying Method. *Iran. Food Sci. Tech. Res. J.*, 8, 40-48.
- [23] Elbert, G., Tolaba, M.P., Suárez, C. (2001). Effects of drying conditions on head rice yield and browning index of parboiled rice. *J. Food Eng.*, 47, 37-41.
- [24] Nishiyama, Y., Cao, W., Li, B. (2006). Grain intermittent drying characteristics analyzed by a simplified model. *J. Food Eng.*, 76, 272-279.
- [25] Taghinezhad, E., Khoshtaghaza, M.H., Minaei, S., 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.
- [26] AOAC. (1995). *Official Methods of Analysis*, 16<sup>th</sup> edn. Arlington, VA, USA: Association of Official Analytical Chemists.
- [27] Soponronnarit, S., Nathakaranakule, A., Jirajindalert, A., Taechapiroj, C. (2006). Parboiling brown rice using super heated steam fluidization technique. *J. Food Eng.*, 75, 423-432.
- [28] Bualuang, O., Tirawanichakul, Y., Tirawanichakul, S. (2013). Comparative Study between Hot Air and Infrared Drying of Parboiled Rice: Kinetics and Qualities Aspects. *J. Food Process. Preserv.*, 37, 1119-1132.
- [29] Igathinathane, C., Chattopadhyay, P. (2002). PH—Postharvest Technology: Development of an Accelerated Tempering Process for drying Parboiled Paddy. *Biosys. Eng.*, 83, 97-105.
- [30] Bello, M., Baeza, R., Tolaba, M.P. (2006). Quality characteristics of milled and cooked rice affected by hydrothermal treatment. *J. Food Eng.*, 72, 124-133.
- [31] Islam, M.R., Shimizu, N., Kimura, T. (2004). Energy requirement in parboiling and its relationship to some important quality indicators. *J. Food Eng.*, 63, 433-439.

physical, chemical and cooking properties of parboiled Fragrant rice. *World J. Agric. Sci.*, 4, 409-415.

[43] Lamberts, L., De Bie, E., Vandeputte, G.E., Veraverbeke, W.S., Derycke, V., De Man, W., Delcour, J.A. (2007). Effect of milling on colour and nutritional properties of rice. *Food Chem.*, 100, 1496-1503.

[44] Mahfeli, M., Behzadian, H., Abolhasani, M., Zomorodian, A. (2014). Comparison of two drying method on Head Rice yield for Hashemi Cultivar. *The 8<sup>th</sup> national congress on Agric. Machin. Eng. (Biosys.) & Mechaniz.*, Ferdowsi university of Mashhad, Iran.

[45] Ayamdoo, J.A., Demuyakor, B., Dogbe, W., 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.

[46] Islam, M.R., Shimizu, N., Kimura, T. (2001). Quality Evaluation of Parboiled Rice with Physical Properties. *Food Sci. Technol. Res.*, 7, 57-63.

[47] Parnsakhorn, S., Noomhorm, A. (2008). Changes in physicochemical properties of parboiled brown rice during heat treatment. *Manuscript FP 08 009. Vol. X.*