DOI: 10.22059/ijbse.2019.265901.665099 مهندسی بیوسیستم ایران، دوره ۵۰، شماره ۲، تابستان ۱۳۹۸ (ص ۴۷۴-۴۶۳)

Microwave Radiations Replacement Instead of Steam to Paddy Parboiling

SEYED MEHDI NASSIRI[1*], MOTAHAREH ABDIRAD[2], DARIUSH ZARE[1], MOHAMMAD AMIN NEMATOLLAHI[3], NASER SAFAR RAZAVIZADEH[4]

1. Associate professor, Biosystems Engineering Department, Shiraz University, Shiraz, Iran
2. Graduate M.Sc. student, Biosystems Engineering Department, Shiraz University, Shiraz, Iran
3. Assistant professor, Biosystems Engineering Department, Shiraz University, Shiraz, Iran
4. Ph.D. student, Biosystems Engineering Department, Shiraz University, Shiraz, Iran

(Received: Sep. 29, 2018- Revised: Jan. 25, 2019- Accepted: Feb. 13, 2019)

ABSTRACT

The effect of using microwaves instead of steaming in parboiling step on mechnial properties of two paddy variety such as breakage strength and healthy rice yield were studied. Paddy samples were soaked in hot water at 50, 60 and 70°C for two hours and then exposed to microwave radiation for 15, 30, 45, 60, 75 and 90 seconds at the output power of 800 Watts. Sample were divided into two categories, one steamed at atmospheric pressure for 15 minutes and another was not. Finally, all the samples were dried at 35 °C. An increasing trend for breakage strength and healthy rice yield (for both paddy varieties) was observed when microwave exposure duration was increased. This increase was significantly different in treatments with microwave duration greater than 30 s as compared to control. The highest kernel bending strength and healthy rice yield in 90 s microwave treatment and soaking temperature of 70 ° C for Fajr and Lanjan varieties were 24.7 MPa and 70.7%, and 20.8 MPa and 75.5%, respectively. There was no significant difference between breakage strength and healthy rice yield of steamed samples for 15 minutes and non-steamed microwave treatment for both varieties. According to these results, the impact of microwave on parboiling process was acceptable and can be replaced by steaming.

Keywords: Microwave radiation, Breakage strength, Healthy rice yield, Parboiling, Rice

*Corresponding Author's Email: nasiri@shirazu.ac.ir

امکان جایگزینی امواج مایکروویو به جای بخاردهی برای نیم‌پخت کردن شلتوک

سید مهدی نصیری*[۱]، مطهره عبدی راد[۲]، داریوش زارع[۱]، محمد امین نعمت‌الهی[۳]، ناصر صفر رضوی‌زاده[۴]

۱. دانشیار، بخش مهندسی بیوسیستم، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران

۲. دانشجوی سابق کارشناسی ارشد، بخش مهندسی بیوسیستم، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران

۳. استادیار، بخش مهندسی بیوسیستم، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران

۴. دانشجوی دکترا، بخش مهندسی بیوسیستم، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۷/۷- تاریخ بازنگری: ۱۳۹۷/۱۱/۵- تاریخ تصویب: ۱۳۹۷/۱۱/۲۴)

چکیده

اثر امواج مایکروویو جایگزین بخاردهی در فرآیند نیم‌پخت‌کردن بر خصوصیات مکانیکی دو رقم شلتوک نیم‌پخت شده از جمله مقاومت به شکست و عملکرد برنج سالم مورد مطالعه قرار گرفت. شلتوک‌ها به مدت دو ساعت در سه دمای ۵۰، ۶۰ و ۷۰ درجه سلسیوس خیسانده شد و به مدت ۱۵, ۳۰، ۴۵، ۶۰، ۷۵ و ۹۰ ثانیه در معرض امواج مایکروویو با توان ۸۰۰ وات قرار گرفت. نمونه‌ها در دو سطح صفر و ۱۵ دقیقه بخاردهی شد و در دمای ۳۵ درجه سلسیوس خشک شد. با افزایش مدت زمان ماکروویو مقاومت به شکست دانه‌ها و عملکرد برنج سالم برای هر دو رقم افزایش یافت. این افزایش در تیمارهای با مدت زمان مایکروویو بیشتر از ۳۰ ثانیه نسبت به شاهد تغییر معنی‌داری داشت. بیشترین استحکام خمشی و عملکرد برنج سالم در تیمار ۹۰ ثانیه مایکروویو و دمای خیساندن ۷۰ درجه سلسیوس برای رقم فجر و لنجان به ترتیب ۲۴/۷ مگاپاسکال و ۷۰/۷ درصد، و ۲۰/۸ مگاپاسکال و ۷۵/۵ درصد بود. بین مقاومت به شکست دانه‌ها، و عملکرد برنج سالم نمونه‌های بخاردهی شده به مدت ۱۵ دقیقه و تیمار مایکروویو بدون بخاردهی برای هر دو رقم تفاوت معنی‌دار مشاهده نشد. نتایج این مطالعه نشان داد امواج مایکروویو تأثیر قابل قبولی در فرآیند نیم‌پخت‌کردن داشته و می‌تواند جایگزین بخاردهی شود.

واژه های کلیدی: امواج مایکروویو، مقاومت به شکست، عملکرد برنج سالم، نیم‌پخت کردن، برنج

مقدمه

برنج (*Oryza sativa* L.) از خانواده گرامینه ، گیاه یک ساله و موطن اصلی آن اندونزی است. قدیمی‌ترین گیاهی است که برای استفاده از دانه آن کشت داده می‌شود و یکی از اقلام پر مصرف مواد غذایی در ایران و جهان است. این محصول کشاورزی، غذای بیش از نیمی از مردم جهان را تامین می کند (Courtois *et al.*, 2010). علی‌رغم دشواری‌های موجود در تولید برنج، متأسفانه حجم قابل توجهی از آن به دلایل مختلف از مرحله کاشت تا مرحله مصرف به هدر می‌رود. در کشورهای در حال توسعه حدود ۳۰ تا ۴۰ درصد از کل محصول تولیدی کشاورزی در مراحل مختلف فرآوری شامل کوبیدن، خشک کردن، نگهداری، حمل و نقل، و تبدیل دچار ضایعات می شود (Bayat, 2004). جلوگیری از ضایعات برنج از زمان تولید تا مصرف یک روش منطقی برای افزایش تولید است. مطالعات نشان می‌دهد که شکستگی برنج در حین فرآوری به تعداد ترک‌های اولیه در دانه بستگی دارد. نیم‌پخت‌کردن شلتوک موجب پر شدن ترک‌ها و سخت شدن دانه‌ها می‌شود. با این حال گزارش شده است که خرد شدن دانه‌های برنج به نحوه‌ی فرآوری و نوع تجهیزات مورد استفاده نیز بستگی دارد. افزایش ضریب تبدیل برنج سالم و کاهش ضایعات ناشی از شکست برنج با انتخاب روش صحیح نیم‌پخت کردن توسط محققین گزارش شده است (Lamberts *et al.*, 2008; Manful *et al.*, 2009).

نیم‌پخت‌کردن یکی از روش‌های آبی- حرارتی شامل خیساندن، بخاردهی و خشک‌کردن است. برنج نیم‌پخت شده به علت انتقال محتویات سبوس (ویتامین و مواد معدنی) به داخل آندوسپرم در طول فرآیند، از برنج نیم‌پخت نشده دارای ارزش غذایی بالاتری است (Bhattacharya, 2004). این فرآیند با ژلاتینه‌کردن نشاسته برنج و حذف و پر کردن ترک‌های دانه باعث افزایش سختی و مقاومت دانه‌ها به تنش‌های اعمال شده در حین عملیات شالیکوبی می‌شود و در نتیجه درصد شکستگی به شدت

* نویسنده مسئول: nasiri@shirazu.ac.ir

کاهش می‌یابد (Zhang *et al*., 2005; Siebenmorgen and Qin, 2005). نیم‌پخت‌کردن برنج رقم فجر در شرایط مختلف خیساندن و بخاردهی نشان داد که خیساندن در دمای ۷۵ درجه سلسیوس باعث ایجاد مقاومت به شکست بیشتر در دانه برنج می‌شود که دلیل آن ژلاتینه شدن بهتر نشاسته برنج در این دما است (Taghinezhad *et al*., 2015). تاثیر دمای خیساندن (۲۵، ۵۰ و ۷۵ درجه سلسیوس) و زمان بخادهی (۱۰، ۱۵ و ۲۰ دقیقه) بر ضریب تبدیل و درصد عملکرد برنج سالم در دو رقم طارم و فجر در استان مازندران نشان داد افزایش زمان بخاردهی باعث افزایش ضریب تبدیل و درصد برنج سالم در هر رقم می‌شود (Nasirahmadi *et al*., 2011). علی‌رغم مزایای فراوان، عملیات نیم‌پخت کردن مرسوم معایبی از جمله صرف انرژی و هزینه‌ی بالا، تغییر در بو و رنگ دانه‌ی برنج (زرد شدن) را به همراه دارد که بیشتر به مرحله‌ی بخاردهی آن مربوط می‌شود (Malek, 2012).

امواج مایکروویو بخشی از طیف الکترومغناطیسی هستند که دارای فرکانس حدود ۳۰۰ تا ۳۰۰ هزار مگاهرتز است و بین امواج دی‌الکتریک و مادون قرمز واقع شده‌اند (Zhongdong *et al*., 2005). هر چند بیش از نیم قرن از استفاده از امواج ماکروویو جهت مصارف خانگی گذشته است اما مصارف صنعتی این امواج تنها محدود به سال‌های اخیر است (Vadivambal and Jayas, 2007). در روش حرارت‌دهی معمولی گرم شدن مواد با انتقال گرما از نقاط گرم به نقاط سرد صورت می‌گیرد که منتهی به افزایش تدریجی دما می‌شود. در روش حرارت دهی با ماکروویو با تغییرات سریع جهت میدان مغناطیسی نوسانات لرزشی شدیدی در مولکول‌های دو قطبی و یون‌ها ایجاد می‌شود که با برخورد این مولکول‌ها به یکدیگر دمای ماده غذایی با سرعت زیادی افزایش پیدا می‌کند. از طرفی گرم شدن سریع ماده غذایی از بخش‌های درونی آن طی فرایند حرارتی با مایکروویو خود عامل مؤثری در جهت کاهش اتلاف انرژی و زمان فرایند است (Bilbao-Saniz *et al*., 2007). بررسی اثر انرژی مایکروویو بر خواص چهار رقم برنج اسپانیایی نشان داد که افزایش زمان حرارت‌دهی برنج با مایکروویو میزان سختی آن را افزایش می‌دهد (Marzal *et al*., 2005). همچنین اثر مایکروویو در دو سطح توان و سه زمان نشان داد که بیشترین سختی برنج مربوط به بالاترین سطح توان و بیشترین زمان در سه مرحله تکرار فرآیند بود (Le and Songsermpuang, 2014). ویژگی‌های مثبت استفاده از مایکروویو در روش نیم‌پخت کردن باعث تسریع فرآیند ژلاتینه شدن نشاسته برنج و کاهش زمان خشک کردن و پایداری نشاسته برنج می‌شود (Kaasova *et al*., 2001). درصد شکستگی برنج پس از فرآیند نیم‌پخت کردن با استفاده از امواج مایکروویو به میزان قابل توجهی کاهش و میزان از دست دادن مواد مغذی برنج حین فرآیند تبدیل نیز کاهش می‌یابد (Kamil, 2001).

در این پژوهش اثر امواج مایکروویو جایگزین حرارت مستقیم در مرحله بخاردهی بر ژلاتینه شدن نشاسته و کاهش تنش‌های ناشی از حرارت مستقیم در مرحله بخاردهی وارده بر دانه برنج با بررسی مقاومت به شکست شلتوک نیم پخت شده مورد مطالعه قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

آماده سازی نمونه

دو رقم رایج شلتوک در سطح استان فارس به نام‌های فجر (دانه بلند) و لنجان (دانه متوسط) برای پژوهش استفاده شد. رقم فجر در فصل برداشت شلتوک از منطقه‌ی ممسنی استان فارس در مهرماه سال ۱۳۹۳ و رقم لنجان از منطقه‌ی کوشکک استان فارس در آبان ماه ۱۳۹۳ تهیه شد. رطوبت اولیه‌ی دو رقم شلتوک با روش استاندارد وزنی محاسبه گردید. کلیه آزمایش‌ها با محتوای رطوبت اولیه برای رقم فجر ۱۰/۶ درصد و برای رقم لنجان ۱۰/۴ درصد (مبنای تر)، پیش از انجام عملیات نیم‌پخت کردن انجام شد (Soponronnarit *et al*., 2006). نمونه‌های تهیه شده تا زمان انجام آزمایش‌ها در بسته‌های پلاستیکی زیپ‌دار ضد آب در دمای ۴ درجه سلسیوس در یخچال نگهداری شدند تا رطوبت اولیه‌ی شلتوک‌ها ثابت و متعادل بماند (Nassiri *et al*., 2014).

شرایط آزمایش

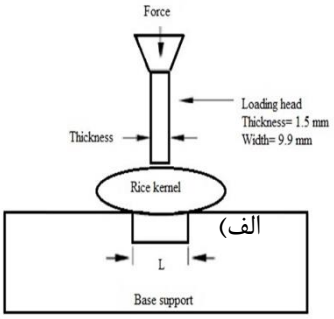
برای نیم‌پخت کردن یک مرحله به فرآیند اضافه شد بدین صورت که پس از خیساندن، شلتوک تحت امواج مایکروویو قرار گرفت. پیش از انجام عملیات خیساندن مقدار مورد نیاز شلتوک برای آزمایش‌ها از یخچال خارج و تمیز شد و به مدت ۱۲ ساعت در هوای محیط قرار داده شد تا به تعادل دما با محیط برسد. سپس شلتوک ۱۲۰ دقیقه در آب گرم با دماهای مختلف ۵۰ و ۶۰ و ۷۰ درجه سلسیوس قرار گرفت. به منظور حفظ دمای خیساندن طی این مدت زمان، نمونه همراه با ظرف حاوی آب در آون با دمای‌های ثابت پیش گفته نگهداری شد. پس از عملیات خیساندن، نمونه شلتوک تحت امواج ماکروویو در یک مایکروویو خانگی (شرکت SAMSUNG) با توان حداکثر ۸۰۰ وات قرار گرفت. تیمار ماکروویو در سطوح مختلف بازه زمانی ۱۵، ۳۰، ۴۵، ۶۰، ۷۵ و ۹۰ ثانیه انجام شد. سپس برای هر بازه زمانی مایکروویو دو نمونه ۵۰۰ گرمی تهیه شد. یک نمونه ۵۰۰ گرمی به مدت ۱۵ دقیقه در معرض بخار با فشار اتمسفر قرار گرفت و نمونه دیگر

۵۰۰ گرمی بخاردهی نشد. برای خشک‌کردن همه نمونه‌ها (ماکروویو شده با بخاردهی و بدون بخاردهی) از خشک‌کن هوای گرم با بستر ثابت (در دمای ۳۵ درجه سانتی‌گراد) استفاده شد (Nassiri and Etesami, 2016). در هر تیمار نمونه‌های نیم‌پخت شده بر روی سبد مخصوص قرار داده شد و وارد خشک‌کن گردید و تا رسیدن به محتوای رطوبت نهایی ۱±۱۰ درصد (مبنای تر) خشک شدند. مقدار محتوای رطوبتی هر دو رقم با مقدار گزارش شده در پژوهش‌های پیشین با مقدار ۱۱ درصد (مبنای تر) هم‌خوانی داشت (Nassiri *et al*., 2014). برای تعیین اثر تیمارهای اعمال شده، نمونه نیم پخت نشده به عنوان تیمار شاهد در نظر گرفته شد.

برای پوست‌گیری شلتوک از یک دستگاه پوست‌کن آزمایشگاهی از نوع غلتک لاستیکی Satake (مدل THU-35A، ساخت ژاپن) موجود در آزمایشگاه کارخانه نیلوفر فارس استفاده شد. عملیات سفید کردن برنج قهوه‌ای با یک دستگاه صیقل دهنده‌ی دانه ساخت شرکت Kett ژاپن انجام شد.

خصوصیات مکانیکی

اندازه‌گیری خواص مکانیکی با استفاده از دستگاه اینستران (STM – 20 SANTAM، ساخت ایران) با فک سه نقطه‌ای صورت گرفت، شکل ۱ (Lu and Siebenmorgen., 1995; Zhang *et al*., 2005; Nassiri and Behzadian, 2014). طبق تحقیقات انجام شده در بین خصوصیات مکانیکی، مقاومت کششی و خمشی عملکرد برنج سالم را بهتر پیش‌بینی می‌کنند. بارسنج دستگاه ساخت شرکت BONGSHIN کشور کره مدل DBBP-50 با ظرفیت بار ۵۰ کیلوگرم بود. تعداد ۴۰ عدد دانه شلتوک به طور تصادفی انتخاب و به صورت دستی پوست‌گیری شد. بارگذاری بر روی دانه برنج توسط فک تیغه‌ای دستگاه اعمال گردید. سرعت بارگذاری ۰/۵ میلی متر بر ثانیه انتخاب شد (Siebenmorgen and Qin, 2005). ثبت و ذخیره داده‌های خروجی به‌وسیله نرم افزار دستگاه صورت گرفت.



شکل ۱. الف) طرح‌واره فک استفاده شده در آزمون سه نقطه‌ای (خمشی) ب) تصویر دستگاه اینستران

بیشینه نیروی شکست دانه از روی نمودار نیرو- تغییر شکل قرائت شد. تنش بیشینه خمشی دانه از رابطه ۱ محاسبه شد (Nassiri *et al*., 2014).

$$\sigma = \frac{FLC}{4I} \quad \text{(رابطه ۱)}$$

که σ تنش خمشی (مگاپاسکال)، F بیشینه نیروی خمشی (نیوتن)، L فاصله بین دو تکیه‌گاه (میلی‌متر)، C فاصله محور خنثی از لایه خارجی دانه (میلی‌متر) و I ممان اینرسی (توان چهارم میلی‌متر) می‌باشد. مقدار C برابر نصف ضخامت دانه می‌باشد و مقدار I را با فرض بیضی بودن شکل سطح مقطع عرضی دانه برنج، از رابطه ۲ محاسبه می‌شود:

$$I = 0.049\, wt^3 \quad \text{(رابطه ۲)}$$

که w عرض دانه و t ضخامت آن برحسب میلی‌متر است. بین دو تکیه‌گاه با توجه به طول ارقام آزمایش ۲/۴ میلی‌متر در نظر گرفته شد (Nassiri and Behzadian, 2014). در نهایت رابطه‌ی ۳ مورد استفاده قرار گرفت:

$$\sigma = \frac{FL}{0.4\, wt^2} \quad \text{(رابطه ۳)}$$

عملکرد برنج سالم بر حسب درصد وزنی دانه‌های برنج سالم آسیاب شده به شلتوک اولیه، محاسبه شد. جداسازی دانه‌های خرده و سالم به صورت دستی انجام گرفت (Thompson *et al*., 1990; Yadav and Jinda, 2007).

تحلیل آماری

داده‌های به‌دست آمده با آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملا تصادفی شامل عوامل دمای خیساندن (سه سطح)، زمان مایکروویو (شش سطح) و زمان بخاردهی (دو سطح) و صفت‌های استحکام خمشی و عملکرد برنج سالم با سه تکرار واکاوی (تجزیه و تحلیل) شد. مقایسه میانگین صفت‌ها با آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد به کمک نرم‌افزار SPSS (نسخه ۲۱) مورد مقایسه قرار گرفت.

نتایج و بحث

استحکام خمشی دانه‌های برنج برای هر دو رقم متاثر از عوامل دمای خیساندن، زمان مایکروویو و زمان بخاردهی بر برنج نیم‌پخت شده مورد واکاوی قرار گرفت. برای هر دو رقم اثر متقابل دمای خیساندن و زمان مایکروویو در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار بود در حالی که سایر اثرهای متقابل دوگانه و سه‌گانه معنی‌دار نبود (جدول ۱). میانگین استحکام خمشی نمونه شاهد برای رقم فجر ۱۸/۴ مگاپاسکال و برای لنجان ۱۴/۴ مگاپاسکال بود.

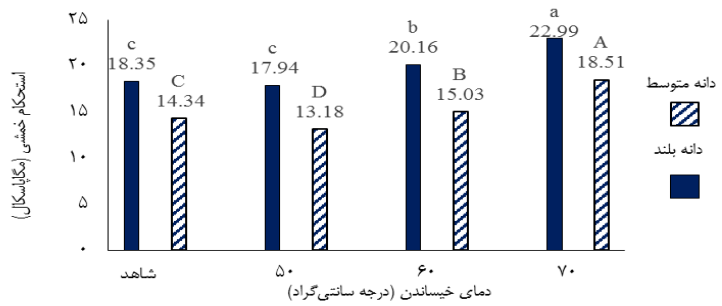
جدول ۱- مقدار F حاصل از تجزیه واریانس استحکام خمشی و درصد عملکرد برنج رقم‌های لنجان (دانه متوسط) و فجر (دانه بلند)

منبع تغییرات	درجه آزادی	استحکام خمشی		درصد عملکرد برنج سالم	
		لنجان	فجر	لنجان	فجر
دمای خیساندن	۲	۸۴۱/۶*	۷۴۲/۶*	۱۷۱/۴*	۱۷۳/۹*
زمان مایکروویو	۵	۱۰۵/۸*	۱۰۴/۶*	۱۸/۴*	۱۶/۲*
زمان بخاردهی	۱	۱۴/۵*	۲۲/۷*	۱۲/۲*	۱۲/۳*
دمای خیساندن × زمان مایکروویو	۱۰	۴/۵*	۳/۵*	۱/۶ns	۱/۶ns
دمای خیساندن × زمان بخاردهی	۲	۰/۸ns	۱/۲ns	۰/۳ns	۰/۳ns
زمان مایکروویو × زمان بخارهی	۵	۰/۵ns	۰/۲ns	۱/۷ns	۱/۷ns
دمای خیساندن × زمان مایکروویو × زمان بخارهی	۱۰	۰/۵ns	۰/۸ns	۱/۳ns	۱/۳ns
خطا	۱۴۴۳	–	–	–	–
کل	۱۴۷۸	–	–	–	–

* وجود اختلاف معنی‌دار و ns عدم وجود اختلاف معنی‌دار در آزمون دانکن با سطح احتمال ۵ درصد است.

شکل ۲ افزایش استحکام خمشی را با افزایش دمای خیساندن برای هر دو رقم نشان می‌دهد که این افزایش در دمای ۶۰ و ۷۰ درجه سلسیوس قابل توجه است. مقایسه میانگین نمونه‌های تحت تیمار خیساندن با نمونه‌های شاهد نشان داد که مقاومت به شکست نمونه‌های تیمار شده افزایش قابل ملاحظه‌ای داشته است. در طول خیساندن، دانه برنج آب جذب می‌کند و نشاسته داخل برنج متورم می‌شود، افزایش دمای خیساندن میزان جذب رطوبت و سرعت جذب آن توسط نشاسته را افزایش می‌دهد (Kashaninejad *et al*., 2007; Perez *et al*., 2012).

افزایش مقاومت به شکست دانه‌های نیم‌پخت شده نسبت به دانه‌های خام به دلیل ژلاتینه شدن و متراکم شدن اندوسپرم نشاسته در دانه است (Islam *et al*., 2001, 2002, 2004; Bhattacharya, 2004; Jagtap *et al*., 2008; Ayamdoo *et al*., 2013). استحکام خمشی نمونه‌های خیسانده شده در دمای ۷۰ درجه سلسیوس افزایش ۲۸/۷ درصدی برای رقم فجر و ۳۰/۳ درصدی برای رقم لنجان در مقایسه با نمونه‌ی شاهد را نشان می دهد. درصد افزایش استحکام خمشی برای رقم لنجان بیش از رقم فجر بود که با نتایج پژوهش دیگر مشابهت داشت (Nasiiri *et al*., 2014).

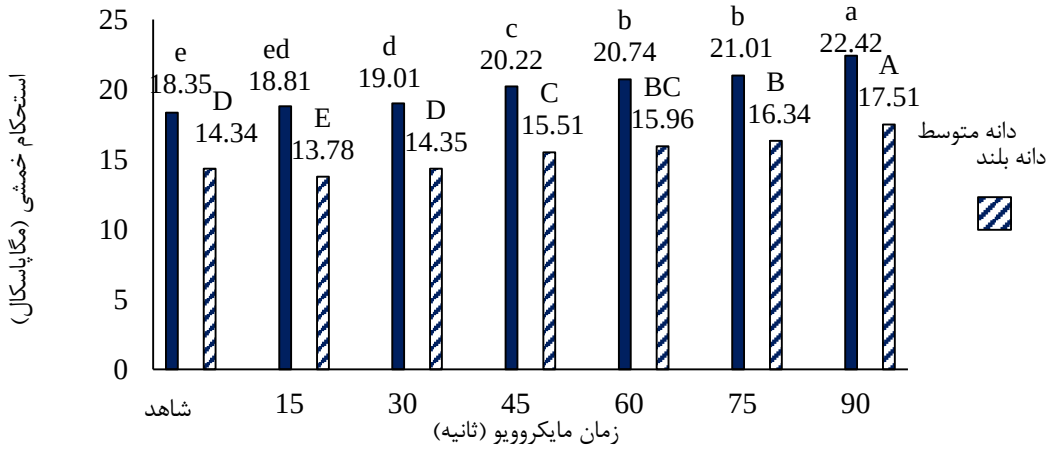


شکل ۲- استحکام خمشی در دماهای مختلف خیساندن

در تحقیقات پیشین با نیم‌پخت کردن برنج رقم فجر در شرایط مختلف خیساندن و بخاردهی، به این نتیجه رسیدند که خیساندن در دمای ۷۵ درجه سلسیوس باعث ایجاد مقاومت به شکست بیشتر در دانه برنج می‌شود که دلیل آن ژلاتینه شدن بهتر نشاسته برنج در این دما است (Taghinezhad *et al*., 2015). در دمای ۵۰ درجه سلسیوس مقاومت به شکست دانه برنج نیم‌پخت شده نسبت به نمونه شاهد کاهش نشان داد، این کاهش به دلیل فراهم نشدن شرایط لازم برای ژلاتینه شدن نشاسته بوده است که منجر به افزایش ترک شده است. نیم‌پخت کردن با دما و زمان نامناسب برای خیساندن ضمن افزایش ترک‌های سطحی در دانه، مقاومت آن را نیز کاهش می‌دهد (Nassiri *et al*., 2014).

با افزایش زمان قرارگیری در معرض امواج مایکروویو، مقاومت به شکست دانه‌های برنج افزایش یافت (شکل ۳). انرژی مایکروویو مولکول‌های آب درون ماده‌ی غذایی را مرتعش نموده و گرما تولید می‌کند. در اثر این گرما دانه‌ی برنج ژلاتینه می‌شود. تحقیقات گذشته نیز اثر مثبت امواج مایکروویو را بر سختی و مقاومت دانه برنج را گزارش کرده‌اند. بررسی اثر انرژی مایکروویو بر خواص چهار رقم برنج اسپانیایی نشان داد که افزایش زمان حرارت‌دهی برنج با مایکروویو میزان سختی آن افزایش می‌یابد (Marzal *et al*., 2005). همچنین اثر مایکروویو در دو سطح توان و سه زمان نشان داد که بیشترین سختی برنج مربوط به بالاترین سطح توان و بیشترین زمان در سه مرحله تکرار فرآیند بود (Le and Songsermpuang, 2014).

بیشترین استحکام خمشی در زمان ۹۰ ثانیه حاصل شد. در هر دو رقم استحکام خمشی با افزایش زمان ماکروویو نسبت به نمونه شاهد به صورت معنی‌داری افزایش یافت که این موضوع به همگنی بیشتر و فشردگی ساختار دانه به علت ژلاتینه شدن نشاسته مربوط است (Buggenhout *et al*., 2013). مطابق شکل برای رقم لنجان در مدت زمان ۱۵ ثانیه به علت کم بودن زمان حرارت‌دهی با مایکروویو و توزیع غیریکنواخت رطوبت و حرارت در داخل و سطح دانه برنج تنش فشاری در سطح دانه افزایش یافته و باعث کاهش استحکام آن شده است (Le and Songsermpong, 2014).

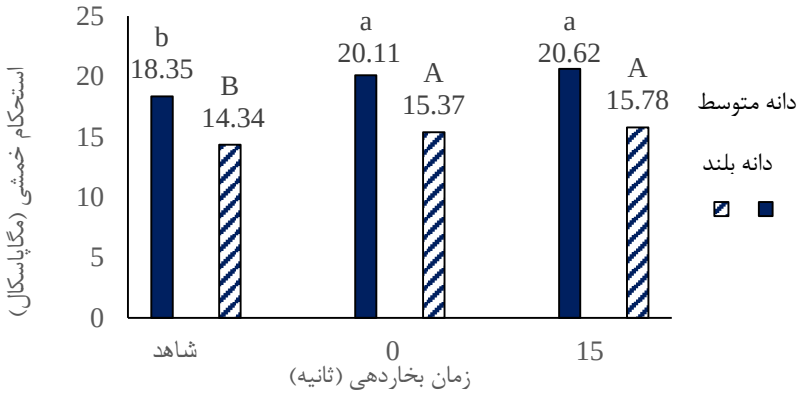


شکل ۳- استحکام خمشی در زمان‌های مختلف مایکروویو

ادامه فرآیند نیم‌پخت‌کردن با بخاردهی موجب افزایش معنی‌دار استحکام خمشی دانه برنج نسبت به نمونه شاهد (نیم‌پخت نشده) شده است، به‌طوری که با انجام بخاردهی به مدت ۱۵ دقیقه، مقاومت به شکست در رقم فجر ۱۲/۴ درصد و در رقم لنجان ۱۰ درصد نسبت به نمونه شاهد افزایش یافته است (شکل ۴). محققان میزان سختی دانه برنج در شرایط مختلف خیساندن و در رطوبت‌های مختلف مورد بررسی قرار دادند و به نتیجه رسیدند که سختی دانه برنج به شرایط نیم‌پخت کردن، میزان رطوبت و ژلاتینه شدن نشاسته بستگی دارد (Islam *et al*., 2001; Sareepuang *et al*., 2008; Parnsakhorn *et al*., 2008; Taghizade *et al*., 2015). نمونه‌هایی که بخاردهی شدند نسبت به نمونه شاهد مقاومت به شکست بیشتری از خود نشان داده است. با افزایش مدت زمان بخاردهی استحکام خمشی به دلیل ژلاتینه شدن بهتر نشاسته و اثر چسبندگی افزایش یافته است. درواقع خیساندن باعث تسهیل در هیدراتاسیون یکنواخت دانه برنج شده و پس از آن می‌بایست به منظور انبساط غیرقابل برگشت و به‌هم پیوستن گرانول‌های نشاسته، حرارت فراهم شود. بهترین منبع برای تولید این حرارت بخار است، با افزایش دوره بخاردهی نسبت به حالتی از نیم‌پخت کردن که فقط خیسانده می‌شود (بخاردهی در صفر دقیقه) استحکام خمشی بیشتری

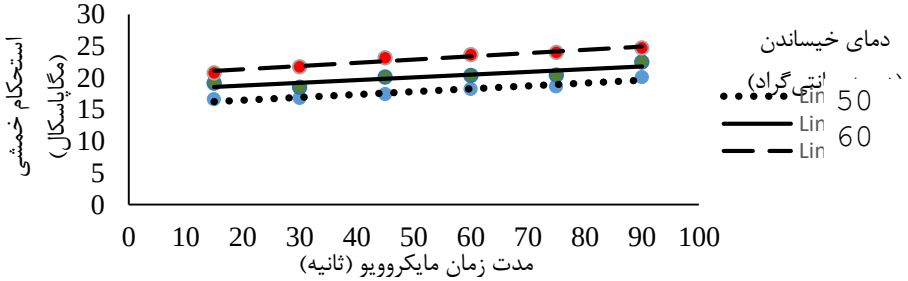
نشان می‌دهد (Mahfeli *et al.*, 2014; Safarrazavizadeh, 2016).

مقایسه میانگین استحکام خمشی برنج نیم‌پخت شده با بخاردهی و بدون بخاردهی (۰ و ۱۵ دقیقه) اختلاف معنی‌داری را نشان نداد (شکل ۴). به عبارت دیگر افزایش استحکام خمشی حاصل از نیم‌پخت کردن برنج مستقل از مرحله بخاردهی بود. در واقع مقاومت به شکست نمونه‌هایی که فقط در معرض امواج مایکروویو بودند نسبت به آن‌هایی که علاوه بر مایکروویو به مدت ۱۵ دقیقه بخاردهی شدند، تفاوت معنی‌داری نداشتند. مارشال و همکاران دریافتند که تورم ساختار گرانولی سیستم‌های نشاسته در آب طی فرآیند حرارت‌دهی با مایکروویو تفاوتی با نمونه‌های حرارت دیده به روش معمولی با میزان حرارت دهی یکسان وجود نداشته است. بنابراین میزان ژلاتینه شدن مطلوب در نشاسته در مرحله‌ی قبل (مایکروویو) حاصل شده و بخاردهی فقط تکمیل ژلاتینه شدن را در پی داشت، که اثر قابل توجهی بر مقاومت به شکست دانه برنج نداشته است. به‌علاوه برای رسیدن به بالاترین عملکرد برنج نیاز به ژلاتینه شدن کامل نشاسته نیست (Marshal *et al.*, 1993). نیم‌پخت کردن به وسیله امواج مایکروویو باعث تغییراتی در مکانیزم ژلاتینه شدن می‌شود (Palav and Seetharaman, 2007)، فرآیند ژلاتینه شدن را تسریع می‌کند و در نهایت افزایش پایداری نشاسته و افزایش مقاومت ساختار نشاسته را به دنبال دارد (Kaasova *et al.*, 2001; Emami *et al.*, 2012).

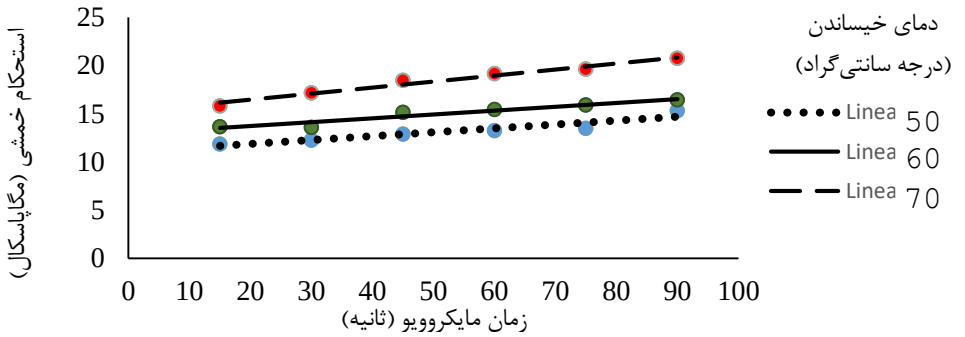


شکل ۴- استحکام خمشی در مدت زمان بخاردهی

بر اساس نمودار شکل ۵ و ۶ در هر سه دمای خیساندن، افزایش زمان مایکروویو استحکام خمشی دانه‌های برنج رقم فجر را افزایش داده است، که این روند صعودی در دمای ۷۰ درجه سلسیوس دارای شیب بیشتری نسبت به بقیه دماها است، به عبارت دیگر اثر امواج مایکروویو بر مقاومت به شکست دانه‌های برنج که در این دما خیسانده شدند بیشتر بوده است. این اثر متقابل در تجزیه واریانس معنی‌دار بود ($p<0.05$). از آنجا که افزایش دمای خیساندن میزان و سرعت جذب رطوبت توسط نشاسته را افزایش می‌دهد (Kashaninejad *et al.*, 2007; Perez *et al.*, 2012)، و میزان ژلاتینه شدن نشاسته نیز وابسته به میزان رطوبت موجود در دانه و مقدار حرارت جذب شده توسط مولکول‌های آب موجود در نشاسته است، بنابراین اثر متقابل دمای خیساندن و مدت زمان مایکروویو کاملا منطقی است. محتوای رطوبت اندازه‌گیری شده نمونه‌ها پس از خیساندن در دماهای مختلف نشان می‌دهد با افزایش دمای خیساندن محتوای رطوبت هر دو رقم افزایش معنی‌داری یافت (شکل ۷).

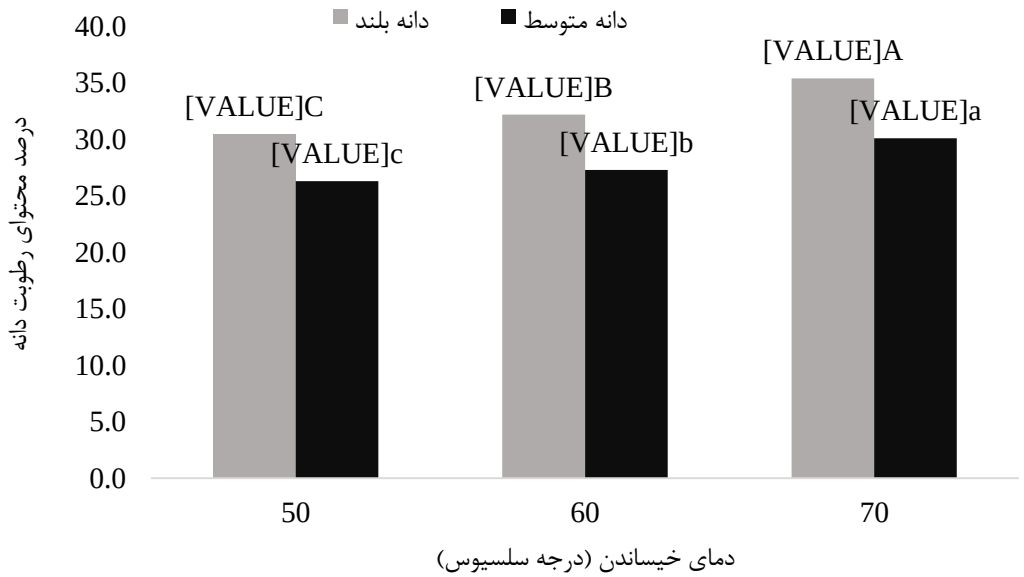


شکل ۵ - استحکام خمشی نسبت به اثر دمای خیساندن و مدت زمان مایکروویو در رقم فجر



شکل ۶- استحکام خمشی نسبت به اثر دمای خیساندن و مدت زمان مایکروویو در رقم لنجان

شرایط خیساندن و حرارت‌دهی بر میزان تورم گرانول‌های نشاسته و درجه‌ی ژلاتینه شدن آن تأثیر زیادی دارد، در طول خیساندن دانه برنج آب جذب می‌کند و گرانول‌های نشاسته داخل دانه برنج متورم می‌شود، و هنگامی که گرانول‌های متورم‌شده نشاسته تحت حرارت قرار می‌گیرند (در دمای ژلاتینه شدن نشاسته یا بیشتر) نظم ساختاری آن‌ها به‌طور برگشت‌ناپذیری تخریب می‌شود و ساختار ریزتر و هماهنگ‌تری نسبت به ساختار اولیه‌ی مولکول‌های نشاسته به وجود می‌آید (Derycke *et al.*, 2005; Delcour and Hoseney, 2010).



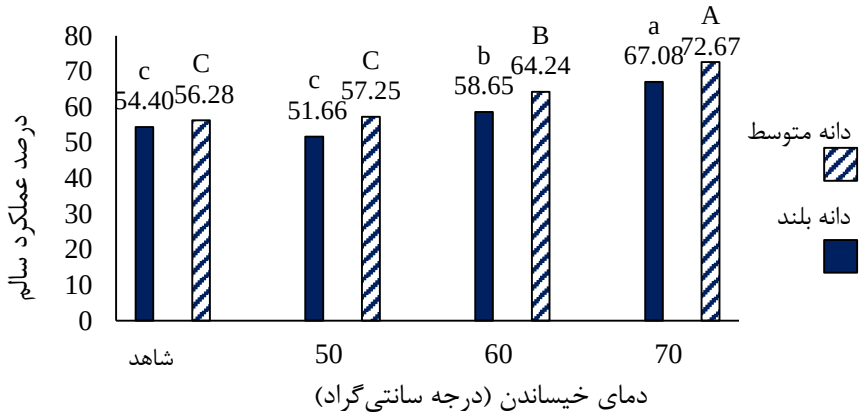
شکل ۷- تغییر محتوای رطوبتی دانه‌ها پس از خیساندن در دماهای مختلف

با در نظر گرفتن اثر متقابل دمای خیساندن و مدت زمان مایکروویو، بیشترین استحکام خمشی در بیشترین زمان مایکروویو (۹۰ ثانیه) و دمای خیساندن ۷۰ درجه سلسیوس برای رقم فجر و لنجان به ترتیب ۲۴/۷ مگاپاسکال و ۲۰/۸ مگاپاسکال بود.

بررسی عملکرد برنج سالم در شرایط مختلف نیم‌پخت کردن

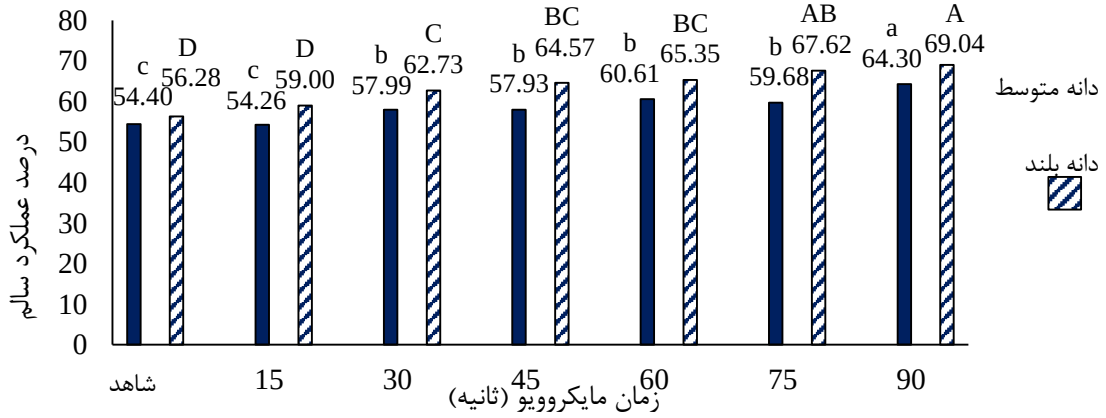
بررسی نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌های مربوط به درصد عملکرد برنج سالم در تیمارهای مختلف (دمای خیساندن، زمان مایکروویو و زمان بخاردهی) به ترتیب برای رقم‌های فجر و لنجان نشان داد که اثر دمای خیساندن، زمان مایکروویو و زمان بخاردهی در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌دار، و اثر متقابل عامل‌های دوتایی و سه تایی اختلاف معنی‌داری نداشتند. براساس نمودار شکل ۸ افزایش دمای خیساندن باعث افزایش درصد عملکرد برنج سالم در هر دو رقم (فجر و لنجان) شد. در دمای ۵۰ درجه سلسیوس درصد عملکرد برنج سالم برای هر دو رقم نسبت به نمونه‌ی شاهد تفاوت معنی‌داری نداشت، اما در دمای ۷۰ درجه سلسیوس رقم فجر با ۶۷/۱ درصد و رقم دانه متوسط با ۷۲/۷ درصد بیشترین عملکرد برنج سالم را داشته است. افزایش عملکرد در دمای ۷۰ درجه سلسیوس از ۶۰ درجه سلسیوس بیشتر بود. افزایش درصد عملکرد برنج سالم با زیاد شدن مدت زمان خیساندن می‌تواند به دلیل هیدراتاسیون و هم‌چنین ژلاتینه شدن

دانه‌های برنج باشد که نتیجه آن تجزیه ساختمان مولکولی و پر شدن فضای خالی بین دانه ها توسط مولکول باز شده نشاسته و پروتئین است که چسبندگی بین مواد زیاد می‌شود و ساختاری قوی تری را برای برنج به‌جا می‌گذارد (Miah *et al.*, 2002; Safarrazavizadeh, 2016). همچنین گزارش شده است که تورم دانه برنج هنگام ژلاتینه شدن و سپس کاهش اندازه آن پس از خشک شدن پیوند بین دانه و پوسته را سست کرده و در نهایت جداسازی دانه از پوسته را راحت‌تر می‌کند (Ayamdoo *et al.*, 2013).



شکل ۸- عملکرد برنج سالم در دماهای مختلف خیساندن

مطابق شکل ۹ عملکرد برنج نیم‌پخت شده با استفاده از امواج مایکروویو نسبت به نمونه نیم‌پخت نشده (شاهد) افزایش یافته است (Sangdao *et al.*, 2008). عملکرد برنج سالم نمونه‌ی شاهد برای رقم فجر ۵۴/۴ و برای رقم لنجان ۵۶/۳ درصد محاسبه شد. نمونه‌های فرآوری شده با ماکروویو با مدت زمان ۹۰ ثانیه بیشترین عملکرد را نسبت به سایر زمان‌ها فرآوری شده به خود اختصاص داده است. عملکرد برنج سالم در زمان ۹۰ ثانیه در رقم فجر ۱۸/۲ درصد و رقم لنجان ۲۲/۷ درصد نسبت به نمونه نیم‌پخت نشده افزایش یافته است. روند افزایش عملکرد برنج سالم با افزایش مدت زمان حرارت‌دهی با مایکروویو رابطه مستقیم داشت. این روند نشان داد حرارت حاصل از امواج ماکروویو به ژلاتینه شدن نشاسته داخل دانه‌ها کمک کرده است و در نهایت مقاومت دانه‌ها را افزایش داده است (Juliano, 1985; Le and Songsermpong, 2014; Perez *et al.*, 2012; Sridhar and Manohar, 2003; Soponronnarit *et al.*, 2006). بیشترین عملکرد برنج سالم در بیشترین زمان مایکروویو (۹۰ ثانیه) و دمای خیساندن ۷۰ درجه سلسیوس برای رقم فجر و لنجان به ترتیب ۷۰/۷ درصد و ۷۵/۵ درصد بود.

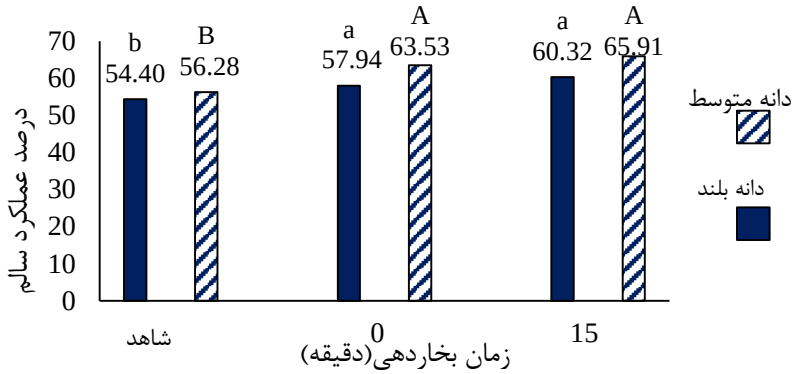


شکل ۹- عملکرد برنج سالم در زمان‌های مختلف مایکروویو

قرار دادن شلتوک تحت امواج مایکروویو در دو سطح توان ۱۰۰۰ و ۲۰۰۰ وات و سه زمان ۲۳، ۳۲ و ۴۱ ثانیه و طی سه بار تکرار نشان داد که بیشترین عملکرد برنج سالم در توان ۲۰۰۰ وات حاصل شد و در هر کدام از سطوح توان با افزایش زمان

مایکروویو عملکرد افزایش یافت. آن دسته از شلتوک‌ها که سه بار حرارت‌دهی شدند بیشترین درصد عملکرد را داشتند (Le and Songsermpong, 2014). همچنین بیشترین درصد عملکرد برنج سالم در دمای ۶۰ درجه سلسیوس، توان ۹۰۰ وات و مدت گرمادهی ۲ دقیقه گزارش شده است که از پایین ترین سطح عامل دما و مدت زمان گرمادهی و بیشترین سطح عامل توان ماکروویو در پژوهش بوده است (Ghanbarian *et al.*, 2017). نتایج پژوهش حاضر با توان ۸۰۰ وات و مدت زمان ۹۰ ثانیه گرمادهی مطابقت مناسبی با پژوهش قبلی داشته است و تفاوت سطح دما را شاید بتوان به ارقام مورد پژوهش نسبت داد.

خیساندن و ماکروویو بدون بخاردهی (صفر دقیقه) اثر معنی‌داری بر عملکرد برنج سالم برای هر دو رقم داشت (شکل ۱۰). گرچه بخاردهی به مدت ۱۵ دقیقه در عملکرد برنج سالم به مقدار ۳/۸ درصد و ۴/۱ درصد به ترتیب برای ارقام لنجان و فجر به علت افزایش درجه ژلاتینه شدن (Kar *et al.*, 1999; Soponronnarit *et al.*, 2006)، افزایش ایجاد کرد، اما نسبت به عدم بخاردهی تغییر معنی‌داری ایجاد ننمود. این موضوع نشان داد حرارت حاصل از امواج ماکروویو در ادامه فرآیند خیساندن به ژلاتینه شدن نشاسته دانه‌های شلتوک کمک کرده است. مقایسه ساختار گرانولی سیستم‌های نشاسته در آب طی فرایند حرارت‌دهی با مایکروویو نشان داد که تفاوتی بین میزان تورم نمونه‌های حرارت دیده با مایکروویو در مقایسه با نمونه‌های حرارت دیده به روش معمولی با میزان حرارت‌دهی یکسان وجود ندارد (Zylema *et al.*, 1985). همچنین گزارش شده است که برای رسیدن به بالاترین عملکرد برنج نیاز به ژلاتینه شدن کامل نشاسته نیست (Marshal *et al.*, 1993). بر این اساس فرآیند ماکروویو با زمان کم می‌تواند جایگزین مناسبی برای حرارت‌دهی به کمک بخار باشد.



شکل ۱۰- عملکرد برنج سالم متناسب با مدت زمان بخاردهی

نتیجه‌گیری کلی

نتایج این پژوهش را می‌توان به صورت زیر بیان کرد:

برای نیم‌پخت کردن ارقام برنج فارس (فجر و لنجان)، شلتوک باید در دمای بیشتر از ۵۰ درجه سلسیوس خیسانده شود تا بتواند تأثیر مثبتی در بهبود کیفیت برنج داشته باشد.

امواج مایکروویو به خوبی به ژلاتینه شدن نشاسته کمک می‌کند و موجب تسریع و تسهیل فرآیند نیم‌پخت کردن شد.

نیم پخت کردن با مایکروویو باعث افزایش مقاومت به شکست دانه و افزایش عملکرد برنج سالم نسبت به برنج خام (نیم‌پخت نشده) شد.

با توجه به نبود تفاوت معنی‌دار بین نمونه‌های بخاردهی شده و نشده، می‌توان نتیجه گرفت که اثر مایکروویو در نیم‌پخت‌کردن قابل توجه بوده است.

REFERENCES

Ayamdoo, A., Demuyakor, B., Dogbe, W., Owusu, R., & Ofosu, M. (2013). Effect of varying parboiling conditions on physical qualities of Jasmine 85 and Nerica 14 rice varieties. *American Journal Food Technology*, 8, 31-42.

Bayat, F. (2004). Loss of crops at different stages and strategies to deal with it. In: *The first national conference on prevention of waste*. Tehran. Iran. (In Farsi)

Bhattacharya, K. R. (2004). In E. T. Champagne (Ed.), *Rice: Chemistry and technology* (3rd Ed). (pp. 329–404). USA: The American Association of Cereal Chemists, Inc.

Bilbao-Sainz, C., Butler, M., Weaver, T., & Bent, J. (2007). Wheat starch gelatinization under microwave irradiation and conduction heating. *Carbohydrate Polymers*, 69, 224-232.

Buggenhout, J., Brijs, K., Cellus, I., & Delcour, J. A. (2013). The breakage susceptibility of raw and parboiled rice: A review. *Journal of Food Engineering*, 117, 304-315.

Courtois, F., Faessel, M., & Bonazzi, C. (2010).

Assessing breakage and cracks of parboiled rice kernels by image analysis techniques. *Food Control*, 21(4), 567-572.

Delcour, J., & Hoseney, R. C. (2010). Principles of cereal science and technology authors provide insight into the current state of cereal processing. *Cereal Foods World*, 55(1), 21-22.

Derycke, V., Vandeputte, G. E., Vermeylen, R., De Man, W., Goderis, B., Koch, M. H. J., & Delcour, J. A. (2005). Starch gelatinization and amylose–lipid interactions during rice parboiling investigated by temperature resolved wide angle X-ray scattering and differential scanning calorimetry. *Journal of Cereal Science*, 42(3), 334-343.

Emami, S., Perera, A., Meda, V., & Tyler, R. T. (2012). Effect of microwave treatment on starch digestibility and physico-chemical properties of three barley types. *Food and Bioprocess Technology*, 5(6), 2266-2274.

Ghanbarian, D., Valaei, M., Ghasemi-Varnamkhasti, M., Aghagolzadeh, H. R. (2017). Study on the effect of parboiled rice by microwave on recovery coefficient and percentage of head rice yield. Iran Biosytems Engineering, 48(2), 299-304. (In Farsi)

Islam, M. R., Shimizu, N., & Kimura, T. (2001). Quality Evaluation of Parboiled Rice with Physical Properties. *Food Science and Technology Research*, 7(1), 57-63.

Islam, M. R., Roy, P., Shimizu, N., & Kimura, T. (2002). Effect of Processing Conditions on Physical Properties of Parboiled Rice. *Food Science and Technology Research*, 8(2), 106-112.

Islam, M. R., Shimizu, N., & Kimura, T. (2004). Energy requirement in parboiling and its relationship to some important quality indicators. *Journal of Food Engineering*, 63(4), 433-439.

Jagtap, P. S., Subramanian, R., & Singh, V. (2008). Influence of soaking on crushing strength of raw and parboiled rice. *International Journal of Food Properties*, 11(1), 127-136.

Juliano, B. O. (1985). Criteria and teats for rice grain qualities. In B.O. Juliano (Ed.), *Rice: Chemistry and technology* (2nd ed). (pp. 443-524). St. Paul, MN, USA: American association of cereal chemists.

Kaasova, J., Kadlec, P., Bubnik, Z., & Pour, V. (2001). Microwave treatment of rice. *Czech Journal of Food Sciences*, 19(2), 62-66.

Kamil, M. M. (2001). Physico-chemical characteristics of egyption jasmine rice as affected by under-pressure and microwave parboiling methods. *Mansoura Journal of Agricultural Science*, 26(12), 7853- 7868.

Kar, N., Jain, R., & Srivastav, P. (1999). Parboiling of dehusked rice. *Journal of Food Engineering*, 39(1), 17-22.

Kashaninejad, M., Maghsoudlou, Y., Rafiee, S., & Khomeiri, M. (2007). Study of hydration kinetics and density changes of rice (Tarom Mahali) during hydrothermal processing. *Journal of Food Engineering*, 79(4), 1383-1390.

Lamberts, L., Rombouts, I., Brijs, K., Gebruers, K., Delcour, J .A. (2008). Impact of parboiling conditions on maillard precursors and indicators in long-grain rice cultivars. *Food Chemistry*, 110(4), 916-922.

Le, Q. T., & Songsermpong, S. (2014). Head rice yield, pasting property and correlations of accelerated paddy rice aging properties by microwave heating conditions. *International Food Research Journal*, 21(2), 703-712.

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

Mahfeli, M., Ghanbari, F., Nassiri, S. M. (2014). Steaming time and drying temperature effect on broking force of parboiling rice. In: 8th National Congress of Biosystem Engineering and Mechanization in Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad. Mashhad, Iran. (In Farsi)

Malek, M. M. (2012). Undercooked rice. Internal Monthly Agricultural Organization of Golestan province, 128, 4.

Manful, J., Abbey, L., Coker, R. (2009). Effects of artisanal parboiling methods on milling yield and cooked rice textural characteristics. *Journal of Food Quality*, 32(6), 725-734.

Marshal, W., Wadsworth, J., Verma, L., & Velupillai, L. (1993). Determining the degree of gelatinization in parboiled rice: comparison of a subjective and an objective method. *Cereal Chemistry*, 70(2), 226-230.

Marzal, A., Osca, J. M., Castell, V., Martínez, J., Benedito, C., Balbastre, J. V., & Sánchez-Hernández, D. (2005). Effect of microwave energy on grain quality of four Spanish rice varieties. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 3(3), 310-318.

Miah, M., Haque, A., Douglass, M. P., & Clarke, B. (2002). Parboiling of rice. Part II: Effect of hot soaking time on the degree of starch gelatinization. *International Journal of Food Science and Technology*, 37(5), 539-545.

Nasirahmadi, A., Abaspoor, M. H., Aghagolzade, H. (2011). Effect of steaming time and soaking temperature of parboiling head rice yield of rice.In: 5th Regional Conference of Agricultural Research. Kordestan. Iran. (In Farsi)

Nassiri, S. M., Behzadian, H. (2014). Brittle failure point of two Iranian rice cultivars. In*:* 12th International Conference on Energy and Mechanization in Agriculture, Nevshehir, Turkey.

Nassiri, S. M., Etesami, S. M. (2016). Estimation of head rice yield by measuring the bending strength of kernels after drying by different drying methods. *AgEngInt. CIGR Journal*, 18, 368-377.

Nassiri, S. M., Shirzadifar, A. Shojaie, J. (2014). Effect of parboiling on failure strength of rice kernel. In: 8th national Congress of Biosystem Engineering and Mechanization in Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad. Mashhad, Iran. (In Farsi)

Palav, T., & Seetharaman, K. (2007). Impact of microwave heating on the physico-chemical properties of a starch–water model system. *Carbohydrate Polymers*, 67(4), 596-604.

Parnsakhorn, S., & Noomhorm, A. (2008). Changes in physicochemical properties of parboiled brown rice during heat treatment. Agricultural Engineering International: *CIGR Journal*.

Perez, J. H., Tanaka, F., & Uchino, T. (2012). Modeling of mass transfer and initiation of hygroscopically induced cracks in rice grains in a thermally controlled soaking condition: With dependency of diffusion coefficient to moisture content and temperature–A 3D finite element approach. *Journal of Food Engineering*, 111(3), 519-527.

Safarrazavizadeh, N. (2016). Evaluation of some physical and mechanical characteristics of two parboiled rough rice cultivars in multi-stage soaking. Published MS Thesis, Shiraz University, Shiraz. (In Farsi)

Sangdao, C., Songsermpong, S., & Krairiksh, M. (2008). Performance of a continuous fluidized bed microwave paddy drying system using applicators with perpendicular slots on a concentric cylindrical cavity. *In International Symposium on Antennas and Propagation* (pp. 27-30)

Sareepuang, K., Siriamornpun, S., Wiset, L., & Meeso, N. (2008). Effect of soaking temperature on physical, chemical and cooking properties of parboiled fragrant rice. *World Journal of Agricultural Sciences*, 4(4), 409-415.

Siebenmorgen, T., & Qin, G. (2005). Relating rice kernel breaking force distributions to milling quality. *Transactions of the ASAE*, 48(1), 223.

Soponronnarit, S., Nathakaranakule, A., Jirajindalert, A., & Taechapairoj, C. (2006). Parboiling brown rice using super heated steam fluidization technique. *Journal of Food Engineering*, 75(3), 423-432.

Sridhar, B., & Manohar, B. (2003). Hydration kinetics and energy analysis of parboiling Indica paddy. *Biosystems Engineering*, 85(2), 173-183.

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

Thompson, J. F., Knutson, J., & Jenkins, B. (1990). Analysis of variability in rice milling appraisals. *Applied Engineering in Agriculture*. 6 (2), 194-198

Vadivambal, R., and Jayas. D. S. (2007). Changes in quality of microwave – treated agricultural products-a review. *Biosystems Engineering*, 98, 1-16.

Yadav, B. K., & Jindal, V. K. (2007). Water uptake and solid loss during cooking of milled rice (*Oryza sativa* L.) in relation to its physicochemical properties. *Journal of Food Engineering*, 80(1), 46-54.

Zhang, Q., Yang, W., & Sun, Z. (2005). Mechanical properties of sound and fissured rice kernels and their implications for rice breakage. *Journal of Food Engineering*, 68(1), 65-72.

Zhongdong, L., Peng, L., and Kennedy, J. F. (2005). The technology of molecular manipulation and modification assisted by microwaves as applied to starch granules. *Carbohydrate Polymers*, 61, 374-378.

Zylema, B. J., Grider, J. A., Gordon, J., and Davis, E. A. (1985). Model wheat starch systems heated by microwave irradation and conductin with equalized heatingtimes. *Cereal Chemistry*, 62, 447-453.