بهینه‌سازی فرایند نیم‌پخت کردن شلتوک با کمک امواج مایکروویو

سید مهدی نصیری[1*]، مطهره عبدی راد[2]، ناصر صفر رضوی زاده[3]

۱- عضو هیات علمی بخش مهندسی بیوسیستم، دانشگاه شیراز

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد، بخش مهندسی بیوسیستم، دانشگاه شیراز

۳- دانشجوی سابق کارشناسی ارشد، بخش مهندسی بیوسیستم، دانشگاه شیراز

* ایمیل نویسنده مسئول: nasiri@shirazu.ac.ir

چکیده

استفاده از امواج مایکروویو به عنوان منبع انرژی در زمینه تولید نشاسته اصلاح شده رو به افزایش است چون می‌تواند مقدار زیادی گرما در مدت زمانی کوتاه تولید کند. 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 خصوصیات مکانیکی شلتوک نیم پخت شده مورد مطالعه قرار گرفت. . این فرایند روی دو رقم برنج بومی استان فارس، فجر (دانه بلند) و لنجان (دانه متوسط) انجام داده شد و مقاومت به شکست دانه اندازه‌گیری شد. برای نیم‌پخت کردن ابتدا شلتوک‌ها به مدت دو ساعت در سه سطح دمای ۵۰، ۶۰ و ۷۰ درجه سانتی‌گراد خیسانده شد و با توان ۸۰۰ وات در مدت زمان‌های ۱۵, ۳۰، ۴۵، ۶۰، ۷۵ و ۹۰ ثانیه در معرض امواج مایکروویو قرار گرفت. سپس تیمارها به دو دسته تقسیم شده و یک دسته به مدت ۱۵ دقیقه بخاردهی شدند. دسته دیگر بخار دهی نشدند. در نهایت نمونه‌ها در دمای ۳۵ درجه سانتی‌گراد خشک شدند. نتایج نشان داد که مقاومت دانه‌ها به تنش برای هر دو رقم نسبت به برنج خام به‌طور مطلوب و معنی داری افزایش یافت. اثر بخاردهی به مدت ۱۵ دقیقه بر مقاومت به شکست دانه ها نسبت به عدم بخاردهی تفاوت معنی‌داری نشان نداد. با توجه به این نتیجه و مطالعات گذشته که تفاوت معنی داری بین بخاردهی و عدم بخار دهی نشان داد بیانگر این بود که امواج مایکروویو تاثیر قابل قبولی در فرایند نیم پخت کردن داشته و قابلیت جایگزین کردن مرحله بخاردهی در فرایند نیم‌پخت کردن را دارا می باشد.

واژه‌های کلیدی: امواج مایکروویو، برنج ،مقاومت به شکست، نیم‌پخت کردن

مقدمه

برنج (*Oryza sativa* L.) از خانواده گرامینه ، گیاه یک ساله و موطن اصلی آن اندونزی می‌باشد. قدیمی‌ترین گیاهی است که برای استفاده از دانه آن کشت داده می‌شود و یکی از اقلام پر مصرف مواد غذایی در ایران و جهان می باشد. این محصول کشاورزی، غذای بیش از نیمی از مردم جهان را تامین می کند (Courtois *et al*., 2010).

علیرغم دشواری های موجود در تولید برنج، متأسفانه حجم قابل توجهی از آن به دلایل مختلف از مرحله کاشت تا مرحله مصرف به هدر می رود. ضایعات پس از برداشت محصولات کشاورزی شامل کوبیدن، خشک کردن، نگهداری، حمل و نقل و تبدیل در کشورهای در حال توسعه در حدود ۳۰ تا ۴۰ درصد از کل محصول تولیدی را شامل می شوند (بیات، ۱۳۸۳). جلوگیری از ضایعات برنج از زمان تولید تا مصرف یک روش منطقی برای افزایش تولید است. مطالعات نشان می دهد که شکستگی برنج در حین فرآوری به تعداد ترک‌های اولیه در دانه بستگی دارد. نیم‌پخت کردن 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 نیم پخت کردن توسط محققین گزارش شده است (Lamberts *et al*., 2008; Manful *et al*., 2009).

نیم‌پخت کردن یکی از روش‌های آبی- حرارتی است که شامل خیساندن، بخاردهی و خشک‌کردن می‌باشد. برنج نیم‌پخت شده به علت انتقال محتویات سبوس (ویتامین و مواد معدنی) به داخل آندوسپرم در طول فرآیند، از برنج نیم پخت نشده دارای ارزش غذایی بالاتری است (Bhattacharya, 2004). این فرایند با ژلاتینه کردن 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 کاهش می‌یابد (Zhang *et al*., 2005; Siebenmorgen and Qin, 2005). نیم‌پخت کردن برنج رقم فجر در شرایط مختلف خیساندن و بخاردهی نشان داد که خیساندن در دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد باعث ایجاد مقاومت به شکست بیشتر در دانه برنج می‌شود که دلیل آن بهتر ژلاتینه شدن نشاسته برنج در این دما است (Taghinezhad *et al*, 2015). با بررسی تاثیر دمای خیساندن (۲۵، ۵۰ و ۷۵ درجه سانتی‌گراد) 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 این نتیجه حاصل شد که افزایش زمان بخاردهی باعث افزایش ضریب تبدیل و درصد برنج سالم در هر رقم می‌شود (نصیراحمدی و همکاران، ۱۳۹۰).

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 ۳۰۰۰۰۰ مگاهرتز می‌باشند و در طیف الکترومغناطیس 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 می‌باشد (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 می کند. از طرفی گرم شدن سریع ماده غذایی از بخش های 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 فرایند 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

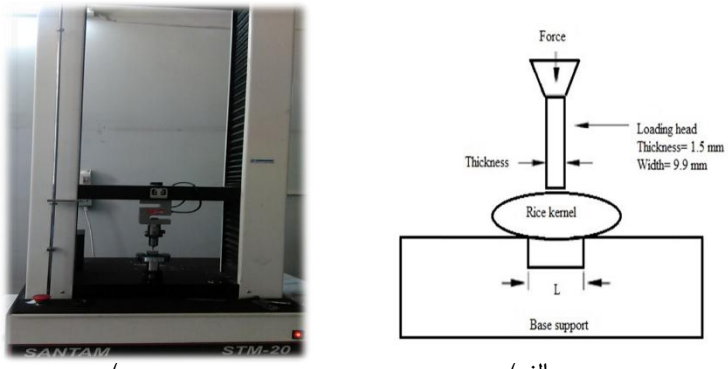
تحقیق حاضر بر روی دو رقم رایج شلتوک در سطح استان فارس به نام های فجر و لنجان انجام پذیرفت. رقم دانه بلند فجر در فصل برداشت شلتوک از منطقه‌ی ممسنی استان فارس در مهرماه سال ۱۳۹۳ و رقم دانه متوسط لنجان از منطقه‌ی کوشکک استان فارس و در آبان ماه ۱۳۹۳ تهیه شد. رطوبت اولیه‌ی دو رقم شلتوک با روش استاندارد وزنی محاسبه گردید. کلیه آزمایش‌ها با محتوای رطوبت اولیه برای رقم فجر ۱۰/۶۴ و برای رقم لنجان ۱۰/۳۶ درصد مبنای تر، پیش از انجام عملیات نیم‌پخت کردن انجام شد (Soponronnarit *et al*., 2006). محتوای رطوبت با روش وزنی تعیین شد. نمونه‌های تهیه شده تا زمان انجام آزمایش‌ها در بسته‌های نایلونی و در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد در یخچال نگهداری شدند تا رطوبت اولیه‌ی شلتوک ها ثابت بماند (نصیری و همکاران، ۱۳۹۲).

در این تحقیق به منظور فرآیند نیم پخت کردن، یک مرحله به فرآیند اضافه شد بدین صورت که پس از خیساندن، شلتوک تحت اشعه مایکروویو قرار گرفت. پیش از انجام عملیات خیساندن برای هر نمونه مقدار ۵۰۰ گرم شلتوک از یخچال خارج و تمیز شد و به مدت ۱۲ ساعت در هوای محیط قرار داده شد تا به تعادل دما برسد سپس نمونه ها ۱۲۰ دقیقه در حدود ۱ لیتر آب گرم با دماهای مختلف ۵۰ و ۶۰ و ۷۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفت. به منظور حفظ دمای خیساندن طی این مدت زمان، نمونه‌ها همراه با ظرف حاوی آب در آون با دمای ثابت نگهداری شد. پس از عملیات خیساندن، از هر نمونه‌ی خیسانده شده ۵۰۰ گرم وزن شد و وارد یک مایکروویو خانگی ساخت شرکت SAMSUNG با ظرفیت توان ۸۰۰ وات شد. هر نمونه در یک بازه‌های زمانی ۱۵، ۳۰، ۴۵، ۶۰، ۷۵ و ۹۰ ثانیه تحت اشعه مایکروویو قرار گرفت. دو نمونه برای هر بازه‌های زمانی مایکروویو شد، سپس از این دو نمونه یکی به مدت ۱۵ دقیقه در معرض بخار با فشار اتمسفر قرار گرفت و دیگری بخاردهی نشد. برای خشک کردن شلتوک از خشک‌کن هوای گرم با بستر ثابت (در دمای ۳۵ درجه سانتی‌گراد) استفاده شد (برزگر مروستی، ۱۳۹۲). در هر تیمار نمونه‌های نیم‌پخت شده بر روی سبد مخصوص قرار داده شد و وارد خشک‌کن گردید و تا رسیدن به محتوای رطوبت نهایی برای رقم فجر ۱±۱۰ درصد و برای رقم لنجان ۱±۹/۵ درصد (مبنای تر) خشک شدند. این دو مقدار رطوبت نهایی طی چندین پیش آزمایش انتخاب شد. مقدار محتوای رطوبتی هر دو رقم با مقدار گزارش شده توسط نصیری و همکاران (۱۳۹۲) با مقدار ۱۱ درصد (مبنای تر) تقریبا هم‌خوانی دارد.

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[1] با یک دستگاه صیقل دهنده‌ی دانه ساخت شرکت Kett ژاپن انجام شد.

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

[1]- Brown Rice



ب) الف)

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

بیشینه نیروی شکست دانه از روی نمودار نیرو– تغییر شکل قرائت شد. تنش بیشینه خمشی دانه از رابطه ۱ محاسبه شد (نصیری و همکاران، ۱۳۹۲).

$$\sigma = \frac{FLC}{4I} \qquad (۱)$$

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:

$$I = 0.049\ wt^3 \qquad (۲)$$

که w عرض دانه وt ضخامت آن برحسب میلی‌متر می‌باشد. در این تحقیق فاصله‌ی بین دو تکیه‌گاه ۲/۴ میلی‌متر در نظر گرفته شد. در نهایت رابطه‌ی ۳ مورد استفاده قرار گرفت:

$$\sigma = \frac{FL}{0.4\ wt^2} \qquad (۳)$$

داده‌های به‌دست آمده با آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملا تصادفی شامل عوامل دمای خیساندن، زمان مایکروویو و زمان بخاردهی و صفت استحکام خمشی، با سه تکرار تجزیه تحلیل شد. مقایسه میانگین صفات با پس‌آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد به کمک نرم‌افزار SPSS (نسخه ۲۱) مورد مقایسه قرار گرفت و نمودارها با نرم‌افزار EXCEL (نسخه ۲۰۱۳) ترسیم شد.

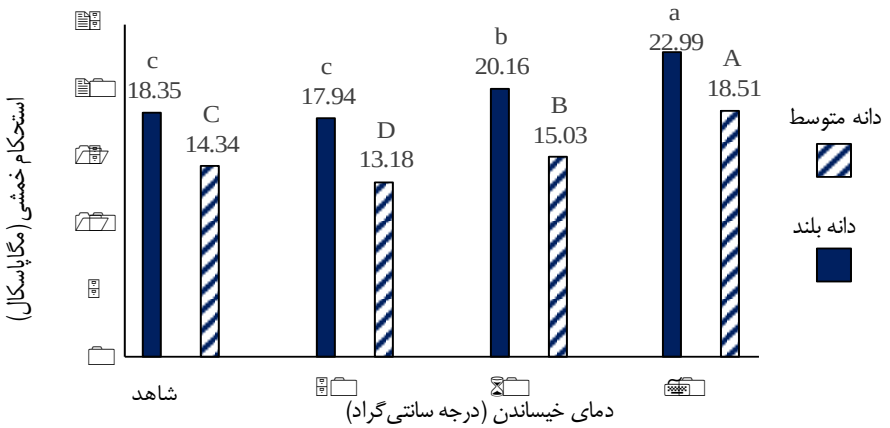
نتایج و بحث

بررسی استحکام خمشی در شرایط مختلف نیم‌پخت کردن

یکی از اصلی‌ترین فواید نیم‌پخت کردن برنج، کاهش میزان شکستگی دانه‌ها در طول مراحل آسیابانی است (Bhattacharya 2004; Delcour and Hoseney, 2010). نتایج معنی داری (در سطح احتمال ۵ درصد) از تجزیه واریانس داده های حاصل از بررسی استحکام خمشی دانه های برنج در هردو رقم و در هر سه تیمار دمای خیساندن، زمان مایکروویو و زمان بخاردهی بر برنج نیم‌پخت شده حاصل شد. اختلاف معنی دار در اثر متقابل دمای خیساندن و زمان مایکروویو نیز مشاهده شد در حالی که اثرات متقابل دوتایی و سه‌تایی دیگر بی معنی بودند. میانگین استحکام خمشی نمونه شاهد برای رقم فجر ۱۸/۳۵ و برای لنجان ۱۴/۳۴ مگاپاسکال بود.

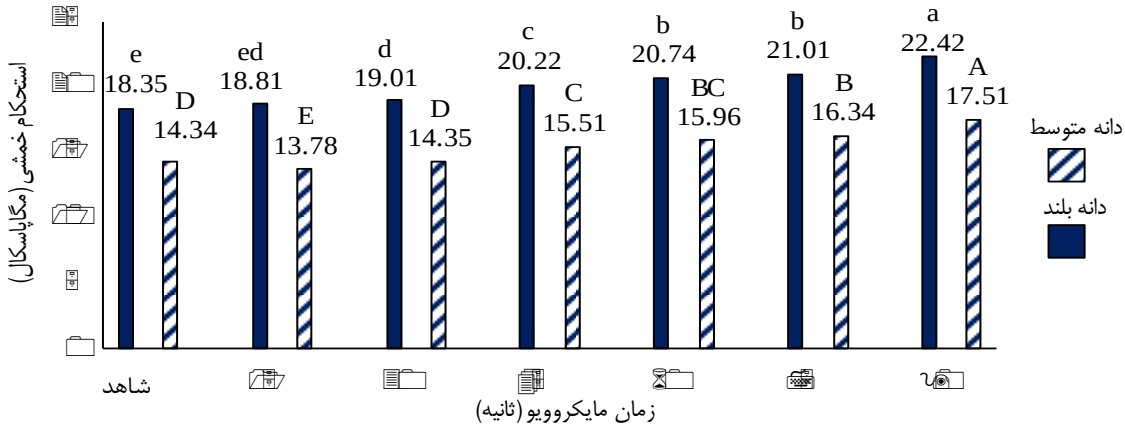
شکل ۲، افزایش استحکام خمشی را با افزایش دمای خیساندن برای هر دو رقم نشان می‌دهد که این افزایش در دمای ۶۰ و ۷۰ درجه‌ی سانتی‌گراد بیشتر قابل توجه است. مقایسه میانگین نمونه‌های تحت تیمار خیساندن با نمونه‌های شاهد (نیم‌پخت نشده) نشان داد که مقاومت به شکست نمونه‌های تیمار شده نسبت به نمونه‌های خام بیشتر است. در طول خیساندن، دانه برنج آب جذب می‌کند و گرانول‌های نشاسته داخل برنج متورم می‌شود، و 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 (Ayamdoo *et al*., 2013; Bhattacharya, 2004; Islam *et al*., 2001, 2002, 2004; Jagtap *et al*., 2008). داده های حاصل از بررسی استحکام خمشی نمونه‌های خیسانده شده در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد افزایش ۲۸/۷ درصدی برای رقم فجر و ۳۰/۳ درصدی برای رقم لنجان در مقایسه با نمونه ی شاهد را نشان می دهد، درصد افزایش استحکام خمشی برای رقم لنجان بیش از رقم فجر است (نصیری و همکاران، ۱۳۹۲).

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 سانتی‌گراد باعث ایجاد مقاومت به شکست بیشتر در دانه برنج می‌شود که دلیل آن بهتر ژلاتینه شدن نشاسته برنج در این دما است (Taghinezhad *et al*., 2015). در دمای ۵۰ درجه سانتی‌گراد 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 (نصیری و همکاران، ۱۳۹۲).



شکل ۲- استحکام خمشی در دماهای مختلف خیساندن

شکل ۳ اثر مدت زمان قرارگیری دانه برنج در معرض امواج مایکروویو را بر استحکام خمشی نشان می دهد. با افزایش زمان مایکروویو مقاومت به شکست دانه های برنج افزایش یافته است. به کمک انرژی مایکروویو در روش نیم پخت کردن با امواج مایکروویو، مولکول‌های آب درون ماده‌ی غذایی مرتعش شده، گرما تولید می‌شود و در اثر این گرما دانه‌ی برنج ژلاتینه می‌گردد. 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 فرایند بود (Le and Songsermpuang, 2014)

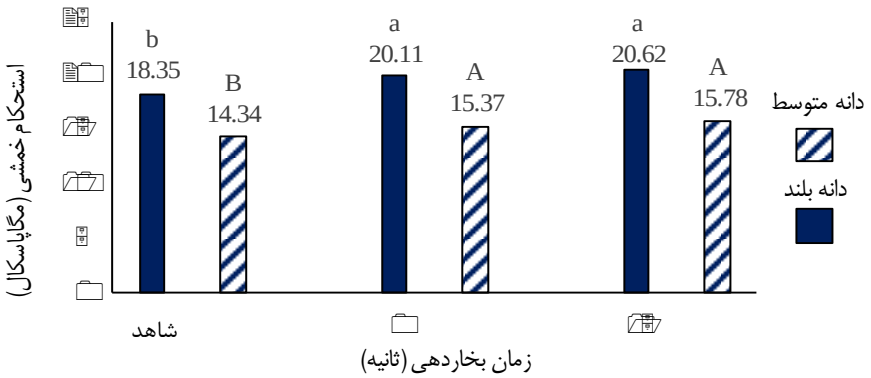


شکل ۳- استحکام خمشی در زمان‌های مختلف مایکروویو

در این پژوهش بیشترین استحکام خمشی در زمان ۹۰ ثانیه وجود داشت که در ارقام فجر و لنجان به ترتیب ۲۲/۴۲ و ۱۷/۵۱ مگاپاسکال است. در رقم فجر استحکام خمشی در همه زمان ها نسبت به نمونه شاهد به صورت معنی داری افزایش یافته است که این به دلیل افزایش پیوند دی‌سولفید در پروتئین گزارش شده است (Chrastil, 1990). اما در رقم لنجان زمان ۱۵ ثانیه نسبت به

نمونه شاهد کاهش یافته است. ممکن است این کاهش به دلیل کم بودن زمان حرارت دهی با مایکروویو باشد که باعث توزیع غیریکنواخت رطوبت و حرارت در داخل و سطح دانه برنج شده که موجب ایجاد تنش فشاری در سطح دانه می‌شود (Le and Songsermpong, 2013).

شکل ۴ افزایش استحکام خمشی نمونه‌های نیم‌پخت شده در هر دو رقم نسبت به نمونه نیم‌پخت نشده در شرایط مختلف بخاردهی (۰ و ۱۵ دقیقه) را نشان می‌دهد. نیم‌پخت کردن با اختلاف معنی‌داری موجب افزایش استحکام خمشی در دانه برنج نسبت به نمونه شاهد (نیم‌پخت نشده) شده است (Taghizade *et al.*, 2015)، به‌طوری که با انجام بخاردهی به مدت ۱۵ دقیقه، مقاومت به شکست در رقم فجر ۱۲/۳۷ درصد و در رقم لنجان ۱۰ درصد نسبت به نمونه شاهد افزایش یافته است. محققان زیادی میزان سختی دانه برنج در شرایط مختلف خیساندن و در رطوبت های 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 (Sareepuang *et al.*, 2008; Parnsakhorn *et al.*, 2008; Islam *et al.*, 2001). نمونه‌هایی که بخاردهی شدند نسبت به نمونه شاهد مقاومت به شکست بیشتری از خود نشان داده است (صفررضوی زاده، ۱۳۹۴). با افزایش مدت زمان بخاردهی استحکام خمشی افزایش می یابد، به دلیل اینکه در مدت زمان خیساندن فرایند ژلاتینه شدن به فضای داخلی گرانول نشاسته نفوذ پیدا کرده و اثر پیوستگی را افزایش می دهد، اما ساختار دانه با فرایند تکمیلی بخاردهی حالت مستحکم‌تری پیدا می کند. 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 نیم پخت کردن که فقط خیسانده می‌شود (بخاردهی در صفر دقیقه) استحکام خمشی بیشتری نشان می‌دهد (محفلی و همکاران، ۱۳۹۲).

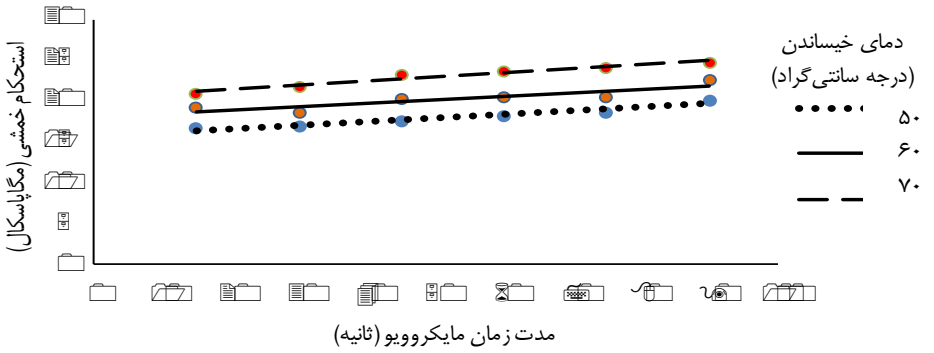


شکل ٤- استحکام خمشی در مدت زمان بخاردهی

مقایسه میانگین استحکام خمشی برنج نیم‌پخت شده با بخاردهی و بدون بخاردهی (۰ و ۱۵ دقیقه)، اختلاف معنی‌داری نشان نداد. به عبارتی در این پژوهش 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. مقایسه ساختار گرانولی سیستم‌های نشاسته در آب طی فرایند حرارت دهی با مایکروویو

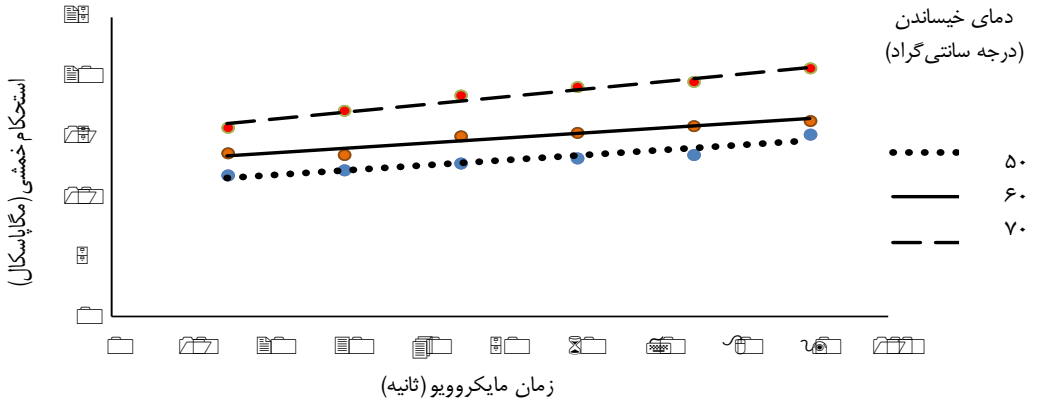
نشان داد تفاوتی بین میزان تورم نمونه‌های حرارت دیده با مایکروویو با نمونه‌های حرارت دیده به روش معمولی با میزان حرارت دهی یکسان وجود ندارد. بنابراین میزان ژلاتینه شدن مطلوب در نشاسته در مرحله‌ی قبل (مایکروویو) حاصل شده و بخاردهی فقط تکمیل ژلاتینه شدن را در پی داشت، که اثر معنی داری بر مقاومت به شکست دانه برنج نداشته است و به‌علاوه برای رسیدن به بالاترین عملکرد برنج نیاز به ژلاتینه شدن کامل نشاسته نیست (Marshal *et al*., 1993). امواج مایکروویو موجب تغییراتی در مکانیزم ژلاتینه شدن می‌شود (Palav and Seetharaman, 2007) که در صورت استفاده بهینه و ایجاد شرایط مناسب موجب افزایش مقاومت ساختار نشاسته آن می‌شوند (Emami *et al*., 2012). نیم‌پخت کردن به وسیله امواج مایکروویو باعث تسریع فرایند ژلاتینه شدن و درنهایت افزایش پایداری نشاسته برنج می‌شود (Kassova *et al*., 2001).

همان‌طور که در نمودارهای شکل ۵ و ۶ مشاهده می‌شود، اثر متقابل دو تیمار دمای خیساندن و زمان مایکروویو بر روی استحکام خمشی برنج نیم‌پخت شده برای هر دو رقم فجر و لنجان معنی‌دار شده است. نمودارهای ۵ و ۶ اثرات متقابل این دو تیمار را به ترتیب برای ارقام فجر و لنجان را نشان می دهد که در هر دو رقم با افزایش دمای خیساندن استحکام دانه برنج افزایش یافته است. این افزایش در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد بیش از سایر دماها است. طبق نمودار ۵ 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 سانتی‌گراد دارای شیب بیشتری نسبت به بقیه دماها است، به عبارت دیگر اثر امواج مایکروویو بر مقاومت به شکست برنج‌هایی که در این دما خیسانده شدند بیشتر بوده است. از آنجایی افزایش دمای خیساندن میزان جذب رطوبت و سرعت جذب آن توسط نشاسته را افزایش می‌دهد (Kashaninejad *et al*., 2007; Perez *et al*., 2012) و میزان ژلاتینه شدن نشاسته نیز به میزان رطوبت موجود در آن و میزان حرارت جذب شده توسط مولکول‌های آب موجود در نشاسته وابسته است، بنابراین اثر متقابل دمای خیساندن و زمان مایکروویو کاملا منطقی است.



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

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 به‌وجود آید (Delcour and Hoseney, 2010; Derycke *et al*, 2005).



شکل ٦- استحکام خمشی نسبت به اثر دمای خیساندن و زمان مایکروویو در رقم لنجان

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 سانتی‌گراد بود.

نتیجه گیری

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 سانتی‌گراد 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 فرایند نیم‌پخت کردن می‌شود.
- نیم پخت کردن با مایکروویو باعث افزایش مقاومت به شکست دانه نسبت به برنج خام (نیم‌پخت نشده) شد.
- با توجه به اینکه تفاوت معنی داری بین نمونه های بخاردهی شده و نشده مشاهده نشد نتیجه گیری شد که اثر ماکروویو قابل توجه بوده است.

منابع

برزگر مروستی، م. ۱۳۹۲. بهینه‌سازی، ارزیابی و کیفیت‌سنجی فرآیند خشک کردن یک محصول کروی در خشک‌کن ترکیبی مادون قرمز هوای گرم با بستر ارتعاشی مطالعه موردی: نخود فرنگی. پایان‌نامه کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک ماشین‌های کشاورزی. دانشگاه شیراز.

بیات، ف. ۱۳۸۳. عوامل اتلاف محصولات کشاورزی در مراحل گوناگون و راه‌کارهای مقابله با آن، اولین همایش روش‌های پیشگیری از اتلاف منابع ملی. تهران، ایران.

صفر رضوی‌زاده، ن.، ۱۳۹۴. ارزیابی خصوصیات فیزیکی و مکانیکی دو رقم شلتوک نیم‌پخت به روش خیساندن چند مرحله‌ای. پایان‌نامه کارشناسی ارشد مهندسی بیوسیستم. دانشگاه شیراز.

محفلی، م.، قنبری، ف.، نصیری، س. م. ۱۳۹۲. تأثیر مدت زمان بخاردهی و دمای هوای خشک‌کن بر نیروی شکست شلتوک نیم‌پخت (پاربویل) شده. هشتمین کنگره‌ی ملی مهندسی ماشین‌های کشاورزی (بیوسیستم) و مکانیزاسیون. مشهد، ایران.

نصیر احمدی، ا.، عمادی، ب.، عباس پور، م.ح.، آقاگل زاده، ح. ۱۳۹۰. تاثیر زمان بخاردهی و دمای خیساندن در فرآیند پاربویلینگ بر ضریب تبدیل و درصد برنج سالم ارقام مازندران. پنجمین همایش منطقه‌ای یافته‌های پژوهشی کشاورزی (غرب کشور). کردستان، ایران.

نصیری، س. م.، شیرزادی فر، ع. م.، شجاعی،ج. ۱۳۹۲. اثر نیم‌پخت کردن بر مقاومت شکست دانه‌ی برنج. هشتمین کنگره ملی مهندسی ماشین‌های کشاورزی (بیوسیستم) و مکانیزاسیون. دانشگاه فردوسی مشهد، ایران.

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.

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., and Bent, J., 2007. Wheat starch gelatinization under microwave irradiation and conduction heating. Carbohydrate Polymers, 69: 224-232.

Chrastil, J. 1990. Protein-starch interactions in rice grains. Influence of storage on oryzenin and starch. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 38: 1804-1809.

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.

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.

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.

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.

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.

Marshall, 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.

Nassiri, S. M., Behzadian, H. 2014. Brittle failure point of two Iranian rice cultivars. 12th Internatonal Conference on Energy and Mechanization in Agriculture.

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.

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.

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.

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.