

## اثر امواج فراصوت بر خصوصیات رئولوژی و پروتئین برنج نیم‌پخت شده

زهرا حمزوی<sup>۱</sup>، سید مهدی نصیری<sup>۲</sup>، داریوش زارع<sup>۳</sup>، محبوبه فضایی<sup>۴</sup>

<sup>۱</sup> دانشجوی کارشناسی ارشد، بخش مهندسی بیوسیستم، دانشگاه شیراز (danoush.h.72@gmail.com)

<sup>۲</sup> دانشیار بخش مهندسی بیوسیستم، دانشگاه شیراز ([nasiri@shirazu.ac.ir](mailto:nasiri@shirazu.ac.ir))

<sup>۳</sup> استاد بخش مهندسی بیوسیستم، دانشگاه شیراز ([dzare@shirazu.ac.ir](mailto:dzare@shirazu.ac.ir))

<sup>۴</sup> استادیار بخش علوم و مهندسی صنایع غذایی، دانشگاه شیراز ([fazaeli@shirazu.ac.ir](mailto:fazaeli@shirazu.ac.ir))

### چکیده

اثر امواج فراصوت در جذب رطوبت، گرانروی ظاهری و میزان پروتئین دو رقم شلتوک در فرآیند نیم‌پخت کردن مورد مطالعه قرار گرفت. شلتوک‌ها به مدت ۱۵، ۳۰ و ۴۵ دقیقه در سه دمای ۵۰، ۶۰ و ۷۰ درجه سلسیوس و تحت فرکانس‌های صفر، ۲۰، ۲۵ و ۳۰ کیلوهرتز خیسانده شدند و به مدت ۱۵ دقیقه بخاردهی شد و سپس در دمای ۳۸ درجه سلسیوس در آن خشک شدند. با افزایش زمان، دما و فرکانس امواج فراصوت رطوبت و درصد پروتئین دانه‌ها در هر دو رقم افزایش یافت. بیشترین رطوبت در سطوح بالای عامل‌های اصلی آزمایش محاسبه شد. مقدار پروتئین در تیمار ۴۵ دقیقه، دمای ۷۰ درجه و فرکانس ۳۰ کیلوهرتز برای رقم فجر ۱۶/۳ درصد و برای رقم لنجان ۱۷/۵۹ درصد در تیمار ۳۰ دقیقه، دمای ۷۰ درجه و فرکانس ۲۵ کیلوهرتز بود. گرانروی ظاهری حریه برنج نیم‌پخت شده نسبت به شاهد برای هر دو رقم کاهش یافته بود اما روند مشابهی نداشت. برای رقم لنجان که لعاب زیادی هنگام پخت ایجاد می‌کند این روش نیم‌پخت کردن بهبود می‌کند. در کل نیم‌پخت کردن با کمک امواج فراصوت مدت زمان خیساندن و فرآیند جذب آب برای ژلاتینه شدن را کاهش داد. این روش می‌تواند در تولید برنج با نشاسته غیر قابل هضم مورد نیاز افراد دیابتی استفاده شود که نیاز به ادامه پژوهش دارد.

کلمات کلیدی:

امواج فراصوت، برنج، نیم‌پخت کردن

\*نویسنده مسئول: [nasiri@shirazu.ac.ir](mailto:nasiri@shirazu.ac.ir)

## اثر امواج فراصوت بر خصوصیات رئولوژی و پروتئین برنج نیم‌پخت شده

مقدمه

برنج (*Oryza sativa* L.) از خانواده گرامینه گیاهی یک ساله و قدیمی‌ترین گیاهی است که برای استفاده از دانه آن کاشته شده است. بر اساس اطلاعات منتشر شده از سوی سازمان خواربار و کشاورزی ملل متحد در سال ۲۰۱۷ میزان تولید شلتوک در جهان حدود ۵۰۶/۳ میلیون تن و در ایران حدود ۳/۱ میلیون تن گزارش شده است [۱۹].

علیرغم دشواری‌های موجود در تولید برنج، متاسفانه حجم قابل توجهی از آن به دلایل مختلف از مرحله کاشت تا مرحله مصرف به هدر می‌رود. 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 می‌شوند [۷]. بنابراین کاهش ضایعات در این مرحله، نقش بسیار مؤثری در افزایش تولید جهانی و افزایش بهره‌وری خواهد داشت. در میان انواع مختلف ضایعات در فرآیند تولید برنج، ضایعات و افت‌های تبدیل از اساسی‌ترین آن‌ها به شمار می‌آیند. شکست برنج شاخص‌ترین افت تبدیل در ایران به شمار می‌رود. با توجه به حجم بالای تولید این محصول در ایران، زیان مالی ناشی از شکست برنج رقم قابل توجهی را در پی دارد. محققان راهکارهای مختلفی برای کاهش ضایعات فرآوری برنج ارائه کرده‌اند که یکی از مهمترین آن‌ها نیم‌پخت کردن شلتوک است.

نیم‌پخت کردن یکی از روش‌های آبی-حرارتی شامل خیساندن، بخاردهی و خشک کردن 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 [۱۴]. این فرآیند 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 [۳۷، ۴۰].

خیساندن اولین مرحله در فرآیند نیم‌پخت کردن برنج است که در اثر آن آب به داخل دانه برنج نفوذ کرده و بخشی از ترکیبات آن خارج می‌شود و فرایند کندی است [۱۵]. این فرآیند به طور عمده یک عمل انتشار به شمار می‌آید که در اثر نفوذ آب، دانه متورم می‌شود. باید توجه داشت که خیساندن در محیط احتمال افزایش فعالیت‌های میکروبی و اثرات نامطلوب بر رنگ، مزه و بو محصول دارد. خیساندن در آب گرم یکی از روش‌های متداول برای کاهش زمان مرحله خیساندن است، زیرا با افزایش دما شدت جذب آب نشاسته در حین پخت نیز افزایش می‌یابد.

زمان بالای فرآیند خیساندن و از دست رفتن مواد تغذیه‌ای مفید آن‌ها یکی از مشکلات اصلی صنایع غذایی مرتبط با آن است. به همین دلیل در سال‌های اخیر با توجه به پیشرفت فناوری استفاده از روش‌های نوین در بهبود کیفیت و کاهش زمان فرآیندهای مواد غذایی مورد کاربرد قرار گرفته‌اند. یکی از این روش‌های نوین استفاده از فرآیند فراصوت قدرتی است [۴].

امواج فراصوت قدرتی با توانی بیش از ۱ وات بر سانتی‌متر مربع و کمتر از ۱۰۰ کیلوهرتز به دلیل اثرات مکانیکی، شیمیایی و بیوشیمیایی که در مواد غذایی ایجاد می‌کند می‌تواند فرآیندهایی مثل جذب

آب و فیلتراسیون، استخراج، امولسیون کردن، همگن سازی و تغییر در ویسکوزیته را بهبود داده و تسهیل بخشند [۸، ۱۸]. امواج فراصوت در فرکانس بیش از ۲۰ کیلوهرتز قرار دارند که از طریق سنجش تأثیر متقابل بین طول موج و ماده، اطلاعاتی در مورد خواص ماده به دست می‌آید. این دسته از امواج فراصوت از طریق ایجاد نیروهای برشی شدید و اعمال فشار و دما قادر به ایجاد تغییر در ویژگی‌های مواد هستند. براساس تحقیق انجام شده امواج فراصوت میزان جذب آب برنج را بهبود داده و در نتیجه موجب بهبود طعم برنج پخته شده می‌گردد [۱۲]. افزایش زمان فراصوت حلالیت نشاسته گندم در آب و به عبارتی جذب آب توسط نشاسته را افزایش داد [۶]. در حبوبات هم روند مشابهی مشاهده شد [۳۹]. با توجه به اهمیت کاهش زمان خیساندن و حفظ ارزش تغذیه‌ای برنج نیم پخت شده، در این مطالعه اثر فرآیند فراصوت قدرتی و خیساندن تحت شرایط دمایی کنترل شده بعنوان یک پیش تیمار بر میزان پروتئین دو رقم پرمحصول برنج کشور (فجر و لنجان) که به ترتیب از نوع دانه بلند و دانه متوسط هستند مورد بررسی قرار گرفت.

#### مواد و روش‌ها

##### تهیه نمونه

در این پژوهش از دو رقم رایج در استان فارس به نام‌های فجر (دانه بلند) و لنجان (دانه متوسط) استفاده شد. هر دو رقم در آبان ماه سال ۱۳۹۷ از کارخانه شالیکوبی نیلوفر خریداری شدند. رطوبت اولیه هر دو رقم با روش استاندارد وزنی برای رقم فجر ۱۰/۵۴ و برای رقم لنجان ۱۲/۸۳ درصد بر مبنای تر محاسبه شد. نمونه‌ها بعد از مخلوط شدن در بسته‌های نایلونی ۴ کیلوگرمی در دمای ۴ درجه سلسیوس در یخچال نگهداری شدند تا رطوبت اولیه آن‌ها تغییر نکند [۱].

##### شرایط آزمایش

در این تحقیق از دو روش خیساندن معمولی و خیساندن همراه با فراصوت، بخاردهی در فشار اتمسفر و خشک کردن در آون به منظور نیم پخت کردن استفاده شد. پیش از عملیات خیساندن کیسه‌ها از یخچال خارج شدند و بعد از تمیز کردن به مدت ۱۲ ساعت در دمای محیط قرار گرفتند تا به تعادل دمایی برسند. برای هر نمونه مقدار ۵۰۰ گرم نمونه به طور تصادفی و از قسمت‌های مختلف برداشته شد. خیساندن معمولی: نمونه‌ها در مدت ۱۵، ۳۰ و ۴۵ دقیقه در دماهای ۵۰، ۶۰ و ۷۰ درجه سلسیوس خیسانده شدند. سامانه‌ای الکتریکی ساخته شد که با استفاده از دیمر، سنسور دما و هیتر دما را ثابت نگهدارد.

خیساندن با امواج فراصوت: در این روش نمونه‌ها به مدت ۱۵، ۳۰ و ۴۵ دقیقه در دماهای ۵۰، ۶۰ و ۷۰ درجه سلسیوس و در فرکانس ۲۰، ۲۵ و ۳۰ کیلوهرتز و با توان ۱۰۰ درصد خیسانده شدند. برای این کار از دستگاه Ultrasound Generation مدل W300 (ساخت کشور چین) استفاده شد. بعد از مرحله خیساندن تمامی نمونه‌ها به مدت ۱۵ دقیقه بخاردهی شدند [۵]. بعد از بخاردهی نمونه‌ها به صورت لایه

نازک بر روی ظروف آلومینیومی سوراخ دار درون آون با دمای میانگین ۳۸ درجه سلسیوس خشک شدند [۳۱].

#### تعیین رطوبت

برای اندازه‌گیری رطوبت شلتوک در هر مرحله نمونه‌ای ۱۰ گرمی از شلتوک به طور تصادفی از قسمت‌های مختلف آن انتخاب شد و به مدت ۲۴ ساعت درون آون با درجه حرارت ۱۰۵ درجه سلسیوس قرار داده شد [۳۰]. نمونه‌ها بعد از خشک شدن با استفاده از ترازوی AND مدل GF-600 (ساخت کشور ژاپن) با دقت  $\pm 0.001$  گرم و بیشینه توزین ۶۰۰ گرم توزین شد. محتوای رطوبتی دانه‌ها به روش استاندارد وزنی با استفاده از رابطه ۱ بر مبنای ماده تر تعیین شد [۱۳].

$$MC_{wb} = \frac{m_w - m_d}{m_w} \quad (1)$$

که در این رابطه  $MC_{wb}$  محتوای رطوبتی بر مبنای تر،  $m_w$  جرم شلتوک نمونه اولیه (g) و  $m_d$  جرم ماده خشک شلتوک (g) است.

#### تعیین گرانروی ظاهری

شلتوک‌ها مطابق با شرایط شرح داده شده قبلی نیم‌پخت شده، پوست‌گیری و برنج حاصل شده با آسیاب به آرد تبدیل شد و به کمک یک الک مش ۵۰۰ جداولی شد. برای تعیین گرانروی ظاهری از دستگاه تحلیل سریع گرانروی<sup>۱</sup> مدل RVA-StarchMaster2 (ساخت شرکت Pereten کشور سوئد) استفاده شد. به این منظور ۴ گرم آرد برنج، به ۲۵ میلی‌لیتر آب مقطر اضافه شد. سپس در ظرف آلومینیومی کوچک مخصوص دستگاه ریخته شد و به وسیله پره دستگاه کمی هم زده شد و پس از آن ظرف در محفظه دستگاه قرار گرفت. سرعت چرخش پدال در ۱۰ ثانیه اول ۹۶۰ دور در دقیقه و در ادامه ۱۶۰ دور در دقیقه تنظیم شد. برای بررسی خصوصیات خمیری شدن، نمونه‌ها ابتدا به مدت ۲ دقیقه در دمای ۵۰ درجه سلسیوس بهم زده شد، سپس با سرعت ثابت ۲ درجه سلسیوس بر ثانیه به دمای ۹۵ درجه سلسیوس افزایش دما داده شد و نمونه ۳ دقیقه در همین دما باقی ماند. سپس با نرخ مشابه قبل تا دمای ۵۰ درجه سلسیوس خنک و به مدت ۵ دقیقه در این دما باقی ماند [۳۵، ۹]. اطلاعاتی مثل نقطه اوج گرانروی، افت گرانروی، گرانروی نهایی و گرانروی برگشت از نمودار دستگاه تحلیل سریع گرانروی قابل استخراج است [۲۶].

#### تعیین میزان پروتئین

۰/۵ گرم نمونه و نصف قرص کاتالیزور کجلدال (محتوی ۱۵۰ میلی گرم سولفات مس و ۱۵۰ میلی گرم سلنیم و ۱۵ میلی لیتر اسید سولفوریک غلیظ با ملایمت درون فلاسک حرارت داده شد. این عمل تا روشن شدن رنگ محلول ادامه داشت. سپس محلول فلاسک دیگری به عنوان شاهد انتخاب و به استثناء نمونه، مقدار نصف قرص کاتالیزور در کجلدال و ۱۵ میلی لیتر اسید سولفوریک غلیظ به آن افزوده شد. سایر مراحل برای فلاسک شاهد به همان صورت فلاسک نمونه انجام گرفت. سپس ۱۵ میلی لیتر اسید

<sup>1</sup> Rapid visco analyser

بوریک ۴ درصد با چهار قطره شناساگر میتل رد در یک ارلن مایر ریخته شد و عمل تقطیر انجام پذیرفت. پس از تقطیر، محلول حاصل با اسید کلریدریک ۰/۰۲ نرمال تیتر و درصد پروتئین نمونه از رابطه ۲ محاسبه شد.

$$P = (V_2 - V_1) \times N \times F \times \frac{14}{W} \times 1000 \quad (2)$$

که در آن P درصد پروتئین،  $V_1$  و  $V_2$  به ترتیب حجم اسید مصرف شده برای شاهد و نمونه بر حسب میلی لیتر، N نرمالیت اسید کلریدریک مصرفی، F مصرف تبدیل ازت به پروتئین که برای برنج ۹۵/۵ انتخاب گردید و W وزن نمونه بر حسب گرم است [۲].

### تحلیل آماری

در این پژوهش از روش سطح پاسخ به وسیله نرم افزار Design expert استفاده شد. آزمون‌ها حداقل در سه تکرار انجام شده و سپس میانگین و انحراف معیار داده به دست آمد. مقایسه میانگین داده‌ها با پس آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد انجام شد و برای رسم نمودارها از نرم افزار Excel استفاده شد.

### تحلیل نتایج

#### رطوبت

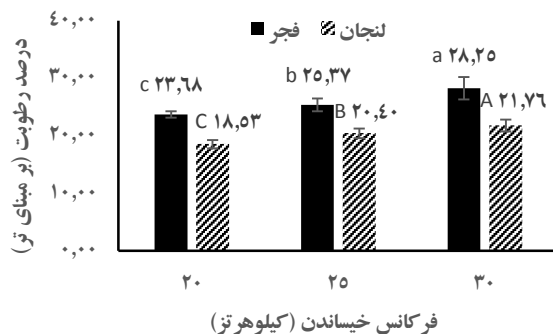
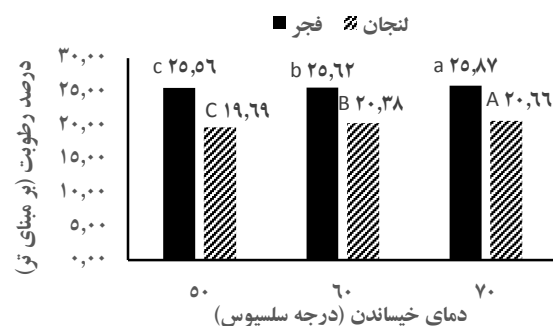
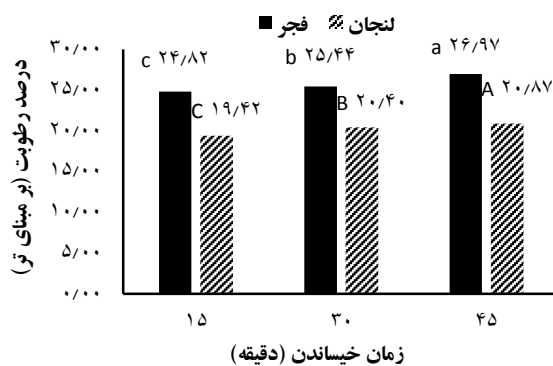
بررسی آماری نتایج رطوبت بعد از خیساندن در جدول ۱ نشان می‌دهد که اثر فرکانس، دما، زمان و رقم بر محتوای رطوبت در سطح احتمال ۰/۰۵ معنادار بود، اما اثرهای متقابل آن‌ها معنادار نبود. نتایج نشان داد با ثابت نگهداشتن بقیه شرایط با افزایش فرکانس، زمان و دما درصد رطوبت افزایش یافت. درصد جذب رطوبت در دو رقم متفاوت بود و رقم فجر رطوبت بیشتری را نسبت به رقم لنجان جذب کرد.

جدول ۱- آزمون ضرایب مدل رگرسیون

رطوبت بعد از خیساندن		درجه آزادی	منبع تغییر
احتمال P	ضریب مدل		
</۰۰۰۱	۴/۷۸	۴	مدل
</۰۰۰۱	۰/۲۰	۱	فرکانس (کیلو هرتز)
۰/۰۰۰۱	۰/۰۹	۱	زمان (دقیقه)
۰/۰۴۹	۰/۰۴	۱	دما (سلسیوس)
</۰۰۰۱	-۰/۲۸	۱	رقم
۰/۷۹۷۶			عدم برازش
۰/۹۴۴۱			R <sup>2</sup>
۰/۹۳۷۷			Adj-R <sup>2</sup>
۱/۷۷			CV%

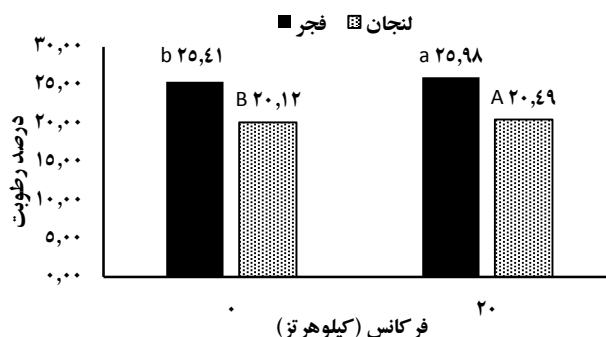
R<sup>2</sup> ضریب تبیین، Adj-R<sup>2</sup> ضریب تبیین تنظیم شده، CV ضریب تغییرات

طبق شکل ۱ بیشترین جذب رطوبت برای هر دو رقم در سطوح بالای عامل‌ها یعنی زمان ۴۵ دقیقه، فرکانس ۳۰ کیلوهرتز و دمای ۷۰ درجه سلسیوس اتفاق افتاده است. محققین مختلفی گزارش کرده‌اند که در حین فرآوری ارقام مختلف برنج، شکاف‌هایی به میزان کم و بیش بوجود می‌آید. این شکاف‌ها میزان نفوذ آب را افزایش می‌دهند که با افزایش درجه حرارت میزان نفوذ افزایش می‌یابد. پس از گذشت ۲۰ دقیقه اول با توجه به درجه حرارت خیساندن و رقم برنج سرعت جذب آب در دانه‌های برنج به تدریج کاهش می‌یابد که البته در همه موارد کم و بیش روند مشابه دارد. در نهایت جذب آب برنج کند و به مرحله رطوبت اشباع یا تعادلی می‌رسد [۲۲، ۲۴، ۳۲، ۳۸]. شیب جذب رطوبت شلتوک تا زمان ۴۵ دقیقه افزایشی و بعد از آن صفر می‌شود. افزایش میزان ژلاتینه شدن نشاسته موجود در دانه را دلیل کند شدن جذب آب مطرح کردند [۲۹].



شکل ۱- رطوبت بعد از خیساندن در شرایط مختلف  
(حروف بزرگ و کوچک متفاوت اختلاف معنادار در سطح احتمال ۵ درصد نشان می‌دهد)

ایجاد پیوندهای هیدروژنی بین مولکول‌های آب و جایگاه‌های اتصال ایجاد شده منجر به افزایش بیشتر جذب آب در نمونه‌های تیمار شده با فراصوت می‌گردد. استفاده از تیمار فراصوت میزان رطوبت اولیه را افزایش می‌دهد، به گونه‌ای که با افزایش فرکانس فراصوت و زمان در معرض قرارگیری امواج این فاکتور افزایش می‌یابد (شکل ۲). قانون نیریزی و همکاران [۶] نشان دادند که جذب آب با افزایش زمان خیساندن و توان فراصوت ارتباط مستقیم دارد. امواج فراصوت عمل جذب آب را برای مولکول‌های ماده ساده تر می‌کنند [۹].



شکل ۲- درصد رطوبت در فرکانس‌های صفر و ۲۰ کیلوهرتز  
(حروف بزرگ و کوچک متفاوت اختلاف معنادار در سطح احتمال ۵ درصد نشان می‌دهد)

با تشکیل حباب‌های کاویتاسیونی توسط امواج فراصوت در یک محیط مایع و از هم پاشیدن شدید این حباب‌ها در برخورد با سطح جامد (دانه‌های تحت اعمال تیمار فراصوت) و تأثیر مکانیکی امواج فراصوت با شکستن دیواره سلولی، مقاومت نفوذی لایه‌های مرزی سطح جامد را کاهش داده و موجب افزایش انتقال جرم می‌شود. در نتیجه میزان محتوای رطوبت اولیه افزایش می‌یابد. این پدیده در تیمارهای با فرکانس بالاتر دارای شدت بیشتری بوده و موجب از هم گسیختگی ساختمان مولکول‌های بزرگ می‌شود که منجر به تولید جایگاه‌های اتصال آب بیشتری خواهد شد [۶]. امواج فراصوت روند مشابهی را برای هر دو رقم ایجاد کرده است.

مقایسه میزان پروتئین برنج نیم‌پخت شده و نشده

همانطور که در جدول ۷ نشان داده شده است نیم‌پخت کردن باعث افزایش درصد پروتئین شده است. اعمال امواج فراصوت در رقم فجر باعث افزایش بیشتر درصد پروتئین شده است.

در پژوهش‌های پیشین نشان داده شده است که نیم‌پخت کردن باعث افزایش درصد پروتئین برنج می‌شود [۱۶، ۳۶]. همچنین گزارش شده است که با افزایش زمان تابش امواج فراصوت درصد پروتئین افزایش معناداری پیدا می‌کند [۱۰]. تشکیل پیوندهای دی‌سولفید در حین نیم‌پخت کردن باعث افزایش

درصد پروتئین شلتوک می‌شود [۱۷]. پروتئین در انتشار آب نشاسته نقش داشته و تورم گرانول را در هنگام ژلاتینه شدن کنترل می‌کند. از این رو با زیاد شدن میزان پروتئین میزان جذب آب و در نتیجه ژلاتینه شدن افزایش یافته که باعث پر شدن ترک‌ها و افزایش عملکرد شلتوک می‌شود [۳۳].

جدول ۷- نتایج آزمایش درصد پرتئین

رقم	فرکانس (کیلو هرتز)	زمان (دقیقه)	دما (درجه سلسیوس)	پروتئین خام (درصد)
لنجان	۰	۰	۰	۱۶/۱۴
فجر	۰	۰	۰	۱۳/۸۰
لنجان	۳۰	۴۵	۷۰	۱۶/۲۳
لنجان	۲۵	۳۰	۷۰	۱۶/۵۳
فجر	۰	۴۵	۷۰	۱۵/۱۷
لنجان	۰	۳۰	۷۰	۱۷/۵۹
لنجان	۰	۴۵	۷۰	۱۶/۶۸
فجر	۳۰	۴۵	۷۰	۱۶/۳۸

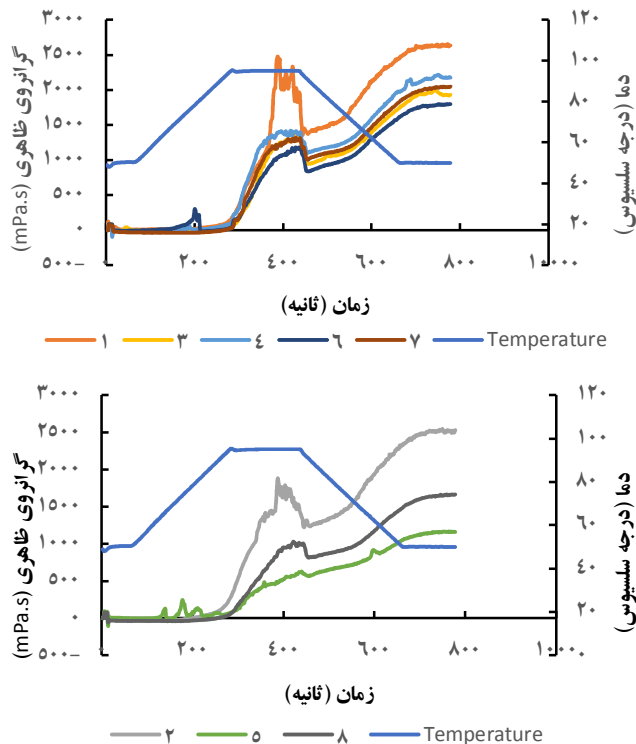
مقایسه گرانروی برنج نیم‌پخت شده و نشده

با توجه به شکل ۳ گرانروی نمونه‌های نیم‌پخت شده کاهش پیدا کرده‌اند که این موضوع در نمونه‌هایی فراصوت کمتر بوده است و این نشان‌دهنده آن است که ساختار آن تغییر کمتری داشته است. مجذوبی و همکاران [۸] بیان کردند فراصوت می‌تواند در ساختار نشاسته تغییراتی ایجاد کند و همچنین بیان کردند که با افزایش زمان فرآیند اعمال فراصوت، گرانروی کاهش می‌یابد. ژلاتینه شدن باعث فعل و انفعالات بین مولکول‌های پلیمر ضعیف شده می‌شود و در نتیجه موجب از بین رفتن شبکه پلیمر می‌شود که به دنبال آن گرانروی کاهش می‌یابد. نکته مهمی که در مطالعات نشان داده شده این است که فرآیند فراصوت بدون تغییر ساختار شیمیایی زنجیره‌های پلیمری گرانروی را کاهش می‌دهد [۲۵].

گرانروی با افزایش درجه حرارت کاهش پیدا می‌کند ولی در اینجا افزایش درجه حرارت باعث ژلاتینه شدن نشاسته برنج و در نتیجه افزایش گرانروی می‌شود. با کاهش یافتن درجه حرارت میزان ژلاتینه شدن و در نتیجه گرانروی کاهش یافت. در انتها به دلیل سرد شدن مواد سفت شده و گرانروی آن‌ها افزایش یافته است [۲۰، ۲۳]. مشاهده شده است با اعمال تیمار فراصوت کاهش محسوسی در گرانروی نشاسته بوجود می‌آید [۳، ۲۷].

روش نیم‌پخت کردن خصوصیات رئولوژیک برنج را در دو رقم دچار تغییر نمود. این تغییرات در راستای کاهش گرانروی حریره تهیه شده از آرد حاصل از برنج تولید شده در تیمارهای نیم‌پخت شده بود. بنابراین در صورتی که هدف کاهش لعاب این دو رقم در حین پخت باشد نیم‌پخت کردن شلتوک پس از برداشت قابل توصیه می‌باشد [۱۱]. با نیم‌پخت کردن و افزایش میزان ژلاتینه شدن، میزان نشاسته مقاوم به هضم افزایش می‌یابد [۲۸، ۳۴]. محصول حاوی این نشاسته برای افراد دیابتی مناسب بوده و هیچ مشکلی از لحاظ افزایش قند خون ایجاد نمی‌کند [۲۱].





شماره	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸
رقم	لنجان	فجر	لنجان	لنجان	فجر	لنجان	لنجان	فجر
فرکانس	۰	۰	۳۰	۲۵	۰	۰	۰	۰
زمان	۰	۰	۴۵	۴۰	۴۵	۳۰	۴۵	۴۵
دما	۰	۰	۷۰	۷۰	۷۰	۷۰	۷۰	۷۰

شکل ۳- خروجی دستگاه سنجش گرانی

### نتیجه‌گیری

این مطالعه نشان داد امواج فراصوت در میزان جذب رطوبت در زمان یکسان نسبت به روش خیساندن معمولی اثر گذار بوده است. با توجه به مقدار رطوبت بیشتر جذب شده عمل ژلاتینه شدن نیز افزایش یافت که در نتیجه آن می‌تواند زمان خیساندن را کاهش دهد. این روش همچنین افزایش پروتئین برنج نیم‌پخت شده را به دنبال داشت. برای ارقام پرلعاب محلی چون لنجان این روش نیم‌پخت کردن می‌تواند از ایجاد لعاب زیاد در زمان پخت جلوگیری نماید.

### مراجع:

- امیری چایچان، ر.، خوش تقاضا، م.، منتظر، غ.، مینایی، س. و علیزاده، م. ۱۳۸۸. تخمین ضریب تبدیل شلتوک با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی در خشک‌کن بستر سیال. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، ۴۸: ۲۹۹-۲۸۵.

۲. بی‌نام. ۱۳۹۳. غلات و حبوبات-اندازه‌گیری میزان نیتروژن و محاسبه مقدار پروتئین خام- روش کج‌دال. مؤسسه‌ی استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، شماره ۱۹۰۵۲.
۳. جمال‌آبادی، م. و صارم‌نژاد، س. ۱۳۹۵. بررسی ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی نشاسته گندم تیمار شده با امواج فراصوت. *مجله علوم و صنایع غذایی*، ۵۳ (۱۳): ۱۲۷-۱۳۶.
۴. رنجبری، ع.، کاشانی‌نژاد، م.، اعلمی، م. و خمیری، م. ۱۳۸۹. تأثیر پیش تیمار فراصوت بر ویژگی‌های جذب آب نخود در فرآیند خیساندن. *مجله الکترونیک فرآوری و نگهداری مواد غذایی*، ۲: ۱۰۵-۹۱.
۵. صفررضوی‌زاده، ن. و نصیری، س.م. (۱۳۹۷). ارزیابی خصوصیات فیزیکی و مکانیکی دو رقم شلتوک نیم‌پخت به روش خیساندن چندمرحله‌ای. دومین همایش بین‌المللی پژوهش‌های کاربردی در علوم کشاورزی، منابع طبیعی و محیط زیست. همدان، دانشگاه بوعلی سینا.
۶. قانون‌نیریزی، ح.، ابونجمی، م. و موحد، س. ۱۳۹۵. تأثیر پیش تیمار فراصوت در خیساندن بر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی دو رقم برنج ایرانی. *مجله مهندسی بیوسیستم ایران*، ۴۷: ۱۳۸-۱۲۷.
۷. قنبریان، د.، ولایی، م.، قاسمی‌ورنامخواستی، م. و آقاگل‌زاده، ح.ر. ۱۳۹۶. بررسی تأثیر پارابولینگ برنج به وسیله امواج میکروویو بر ضریب تبدیل و درصد برنج سالم. *مهندسی بیوسیستم ایران*، ۴۸(۲): ۲۹۹-۳۰۴.
۸. مجدوبی، م.، سیف‌زاده، ن.، فرحناکی، ع. و بدیعی، ف. ۱۳۹۳. اثر امواج فراصوت بر خواص فیزیکوشیمیایی نشاسته گندم، *مجله علوم و تکنولوژی پلیمر*، ۲۷(۱): ۱۵-۲۳.
۹. مجدوبی، م.، رادی، م.، فرحناکی، ع.، جمالیان، ج.، تانگ‌دانگ، ت. و مصباحی، غ. ۱۳۸۹. خواص فیزیکوشیمیایی نشاسته گندم پیش ژلاتینه شده تولید شده به روش خشک کن دو غلطکی. *مجله بین‌المللی علوم و فناوری کشاورزی*، ۱۳: ۲۰۲-۱۹۳.
۱۰. مخبری، ر.، رضایی، آ.، کردنا بیج، ع. (۱۳۹۴). افزایش تولید بتا-کاروتن و گلیسرول در کشت سلولی *Dunaliella salina* توسط امواج فراصوت. *سلول و بافت*، ۶(۳): ۴۰۸-۳۹۷.
۱۱. نصیری، س. م.، بزرگر مروتی، م. و آسایی، ه. ۱۳۹۲. خصوصیات رئولوژی دو رقم برنج محلی نیم‌پخت شده. *بیست‌ویکمین کنگره ملی علوم و صنایع غذایی ایران*. شیراز، ایران.
12. Anonymous. 2010. Development of an Induction heated Rice Cooker Using Ultrasonic Waves. database on noteworthy contributions for science and technology. <https://dbnst.nii.ac.jp/english/detail/1827> (accessed 2018).
13. ASAE Standard. 2001. Moisture measurement-unground grain and seeds. American Society of Agricultural Engineers, 567-568.
14. 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.
15. Bello, M., Tolaba, M. P. and Suarez, C. (2004). Factors affecting water uptake of rice grain during soaking. *LWT - Food Science and Technology*, 37(8): 811-816.
16. Buggenhout, J., Brijs, K. and Delcour, J. A. 2013. Impact of processing conditions on the extractability and molecular weight distribution of proteins in parboiled brown rice. *Journal of Cereal Science*, 58(1): 8-14.
17. Derycke, V., Veraverbeke, W. S., Vandeputte, G. E., De Man, W., Hosney, R. C. and Delcour, J. A. 2005. Impact of proteins on pasting and cooking properties of nonparboiled and parboiled rice. *Cereal Chemistry*, 82(4): 468-474.

18. Dolatowski, Z. J., Stadnik, J. and Stasiak, D. 2007. Applications of ultrasound in food technology. *Acta Scientiarum Polonorum Technologia Alimentaria*, 6(3): 88-99.
19. FAO. 2018. World food situation, FAO cereal supply and demand brief.
20. Fitzgerald, M. A., Martin, M., Ward, R. M., Park, W. D. and Shead, H. J. 2003. Viscosity of rice flour: A rheological and biological study. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 51(8): 2295-2299.
21. Gelencsér, T., Juhász, R., Hódsági, M., Gergely, S. Z. and Salgó, A. 2008. Comparative study of native and resistant starches. *Acta Alimentaria*, 37(2): 255-270.
22. Horigane, A. K., Toyoshima, H., Hemmi, H., Engelaar, W. M. H. G., Okubo, A. and Nagata, T. 1999. Internal Hollows in Cooked Rice Grains (*Oryza sativa* cv. Koshihikari) Observed by NMR Micro Imaging. *Journal of Food Science*, 64(1): 1-5.
23. Jagtap, P. S., Subramanian, R. and Singh, V. 2008. Influence of soaking on crushing strength of raw and parboiled rice. *International Journal of Food Properties*, 11(1): 127-136.
24. Kashaninejad, M., Maghsoudlou, Y., Rafiee, S. and 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.
25. Lida, Y., Tuziuti, T., Yasui, K., Towata, A. and Kozuka, T. 2008. Control of viscosity in starch and polysaccharide solutions with ultrasound after gelatinization. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 9(2): 140-146.
26. Liu, Q. 2005. Understanding starches and their role in foods. *Food Carbohydrates: Chemistry, Physical Properties and Applications*, 30: 309-355.
27. Luo, Z., Fu, X., He, X., Luo, F., Gao, Q. and Yu, S. 2008. Effect of ultrasonic treatment on the physicochemical properties of maize starches differing in amylose content. *Starch-Stärke*, 60(11): 646-653.
28. Marlatt, K. L., White, U. A., Beyl, R.A., Peterson, C.M., Martin, C.K., Marco, M.L., Keenan, M.J., Martin, R.J., Aryana, K.J. and Ravussin, E. 2018. Role of resistant starch on diabetes risk factors in people with prediabetes: Design, conduct, and baseline results of the STARCH trial. *Contemporary clinical trials*, 65: 99-108.
29. Miah, M.K., Haque, A., Douglass, M. P. and Clarke, B. 2002. Parboiling of rice. Part I: Effect of hot soaking time on quality of milled rice. *International Journal of Food Science & Technology*, 37(5): 527-537.
30. Mohapatra, D. and Srinivasa Rao, P. 2005. A thin layer drying model of parboiled wheat. *Journal of Food Engineering*, 66(4): 513-518.
31. Nassiri, S. M. and Etesami, S. M. 2011. The best method for rough rice drying based on operational energy and head rice yield quality. *Journal of Agricultural Machinery Science*, 7(4): 339-345.
32. Ogawa, Y., Kuensting, H., Nakao, H. and Sugiyama, J. 2002. Three dimensional lipid distribution of a brown rice kernel. *Journal of Food Science*, 67(7): 2596-2599.
33. Oli, P., Ward, R., Adhikari, B. and Torley, P. 2014. Parboiled rice: understanding from a materials science approach. *Journal of Food Engineering*, 124: 173-183.
34. Puspitowati, S. and Driscoll, R.H. 2007. Effect of degree of gelatinisation on the rheology and rehydration kinetics of instant rice produced by freeze drying. *International Journal of Food Properties*, 10(3): 445-453.
35. Rao, S. R. and Juliano, B. O. 197). Effect of parboiling on some physicochemical properties of rice. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 18(2): 289-294.
36. Sareepuang, K., Siriamornpun, S., Wiset, L. and Meeso, N. 2008. Effect of soaking temperature on physical, chemical and cooking properties of parboiled fragrant rice. *World Journal of Agricultural Sciences*, 4(4): 409-415.
37. Siebenmorgen, T. and Qin, G. 2005. Relating rice kernel breaking force distributions to milling quality. *Transactions-American Society of Agricultural Engineers*, 48(1): 223.
38. Takeuchi, S., Maeda, M., Gomi, Y., Fukuoka, M. and Watanabe, H. 1997. The change of moisture distribution in a rice grain during boiling as observed by NMR Imaging. *Journal of Food Engineering*, 33(3-4): 281-297.
39. Yildirim, A. and Oner, M. D. 2015. Electrical Conductivity, Water Absorption, Leaching and Color Change of Chickpea (*Cicer Arietinum* L.) During Soaking with Ultrasound Treatment. *International Journal of Food Properties*, 18(6): 1359-1372.



سیزدهمین کنگره ملی مهندسی مکانیک  
بیوسیستم و مکانیزاسیون ایران  
(مکانیک بیوسیستم ۱۴۰۰)  
۲۴-۲۶ شهریور ۱۴۰۰



- 
40. Zhang, Q., Yang, W. and 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.

## Effect of ultrasound waves on rheological and protein content of parboiled rice

Zahra Hamzavi<sup>1</sup>, Seyed Mehdi Nassiri<sup>2\*</sup>, Dariush Zare<sup>3</sup> and Mahboobeh Fazaeli<sup>4</sup>

1. Department of Biosystems Engineering Department, Shiraz University, Shiraz, Iran

2. Department of Biosystems Engineering Department, Shiraz University, Shiraz, Iran

3. Department of Biosystems Engineering Department, Shiraz University, Shiraz, Iran

4. Department of Food Science and Engineering, Shiraz University, Shiraz, Iran

### Abstract

Effect of ultrasound waves on moisture uptake, apparent viscosity and protein content of two parboiled rice cultivars were studied. Paddy were soaked for 15, 30 and 45 min at 50, 60 and 70 oC temperature under 20, 25 and 30 kHz frequency, steamed for 15 min and dried at 38 oC. The outmost moisture uptake took placed at higher levels of experiment main factors. Maximum protein for Lenjan and Fajr cultivars were measured 16.3 and 17.59, respectively at 45 min, 70 oC and 30 kHz, and 30 min, 70 oC and 25 kHz correspondingly. Apparent viscosity of parboiled rice flour was decreased with respect to control but followed different trends for both cultivars. This is a suitable rice kernel processing for those cultivars like Lenjan with a high amount of soluble solids during cooking, for preventing solid leaching production while cooking. Overall, parboiling with ultrasound waves reduced soaking duration for required moisture uptake. This method might be suitable for indigestible rice starch for those suffering from diabetic issues and that needs more studies.

**Key words:** Parboiling, Rice, Ultrasound waves

\*Corresponding author

E-mail: nasiri@shirazu.ac.ir