

## بررسی جذب رطوبت و تغییرات خواص فیزیکی ارقام برنج در فرآیند خیساندن

\* مهدی کاشانی نژاد<sup>۱</sup>، دانیال چابرا<sup>۲</sup> و شاهین رفیعی<sup>۳</sup>

استادیار گروه علوم و صنایع غذایی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، دانش‌آموخته کارشناسی گروه علوم و صنایع غذایی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، استادیار گروه مکانیک ماشین‌های کشاورزی دانشگاه تهران

تاریخ دریافت: ۸۶/۳/۱۲؛ تاریخ پذیرش: ۸۶/۸/۲۲

### چکیده

در این تحقیق رفتار جذب آب سه رقم برنج فجر، شفق و ندا در ۶ دمای مختلف (۲۵، ۳۰، ۴۰، ۵۰، ۶۰ و ۷۰ درجه سانتی‌گراد) با در نظر گرفتن تغییرات وزن در طول زمان بررسی شد. خصوصیات فیزیکی (ابعاد، میانگین قطر هندسی و ضریب کرویت)، دانسیته توده‌ای، دانسیته دانه‌ای و میزان تخلخل ارقام مختلف برنج نیز به صورت تابعی از درجه حرارت در محدوده دمای ۷۰-۲۵ درجه سانتی‌گراد تعیین گردید. نتایج این تحقیق نشان داد درجه حرارت عامل مهمی در فرآیند خیساندن برنج می‌باشد به گونه‌ای که هرچه درجه حرارت خیساندن بیشتر باشد زمان فرآیند کوتاه‌تر می‌شود. دماهای بالاتر منجر به نرم شدن و انبساط دانه می‌گردد. سرعت جذب آب در مراحل اولیه شدید بوده و به تدریج کندتر شده و در نهایت به سمت رطوبت تعادلی یا اشباع پیش می‌رود. خصوصیات فیزیکی دانه‌های برنج (طول، عرض، ارتفاع، حجم و ضریب کرویت) تابع فرآیند خیساندن می‌باشند و دمای خیساندن تأثیر قابل توجهی بر آنها دارند. علاوه بر این روابط ریاضی بین خصوصیات فیزیکی و درجه حرارت فرآیند خیساندن برای ارقام مختلف برنج به دست آمد. دانسیته توده‌ای، دانسیته دانه‌ای و میزان تخلخل ارقام مختلف برنج با تغییر دمای خیساندن به صورت غیرخطی تغییر کرد. دانسیته توده‌ای ارقام مختلف برنج در دمای ۴۰ درجه سانتی‌گراد به حداقل و در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد به حداکثر می‌رسد. دانسیته توده‌ای ارقام فجر، ندا و شفق به ترتیب در محدوده ۷۶۸/۴-۷۳۲/۹، ۷۷۷/۹-۷۲۰/۴ و ۷۸۸-۷۰۵/۶ کیلوگرم بر مترمکعب تغییر کرد. دانسیته دانه‌ای ارقام مختلف برنج در دمای خیساندن ۴۰ درجه سانتی‌گراد به حداکثر و در ۷۰ درجه سانتی‌گراد به حداقل می‌رسد. دانسیته دانه‌ای ارقام فجر، ندا و شفق به ترتیب در محدوده ۱۲۴۵/۱-۱۲۳۰/۱، ۱۳۶۲/۴-۱۲۸۵/۱ و ۱۳۸۹/۵-۱۲۲۹/۷ کیلوگرم بر مترمکعب تغییر کرد. تغییرات تخلخل در ارقام مختلف برنج تقریباً روند مشابهی دارد و پس از افزایش در دمای ۴۰ درجه سانتی‌گراد، روند نزولی طی کرده و در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد به حداقل می‌رسد. میزان تخلخل ارقام فجر، ندا و شفق به ترتیب در محدوده ۵۱/۶-۴۲/۷ و ۴۴/۰-۴۱/۴ درصد تغییر کرد.

واژه‌های کلیدی: برنج، خیساندن، جذب آب، خصوصیات فیزیکی، دانسیته، تخلخل

## مقدمه

برنج یکی از مهمترین محصولات کشاورزی دنیاست و بعد از گندم جایگاه دوم را از نظر تولید سالانه به خود اختصاص می‌دهد و غذای اصلی نیمی از مردم دنیا را تشکیل می‌دهد. مبدأ اولیه برنج از قاره آسیا و از کشور هندوستان بوده و همچنین کشت برنج دیم از حدود پنج هزار سال قبل از میلاد مسیح رایج بوده است (چابرا و همکاران، ۲۰۰۶). تولید برنج در دنیا که ۹۰ درصد آن در آسیا صورت می‌گیرد، از مقدار ۵۲۰ میلیون تن در سال ۱۹۹۰، به ۶۰۵ میلیون تن در سال ۲۰۰۴ رسیده است. تولید ایران نیز از میزان ۱/۳ میلیون تن در سال ۱۹۸۰ به ۳/۴ میلیون تن در سال ۲۰۰۴ رسیده است (FAOSTAT، ۲۰۰۵).

نوع و مقدار ترکیبات مواد تشکیل‌دهنده برنج، خصوصیات کیفی برنج را تعیین می‌کنند. بدین ترتیب توجه به این امر ضروری است که تغییر در ترکیبات برنج بر خصوصیات کیفی آن تأثیر خواهد گذاشت (تجددی‌طلب و شرفی، ۱۹۹۷). به‌طور کلی میزان ترکیبات برنج شامل آب (۱۵-۱۴ درصد)، نشاسته و قندها (۷۳-۷۰ درصد)، مواد ازته (۳-۲ درصد)، چربی‌ها (۲-۱ درصد)، سلولز (۳-۱ درصد) و سایر مواد (۵-۴ درصد) می‌باشد (رشیدی، ۲۰۰۰). در میان غلات، شکل ظاهری برنج و درصد شکستگی آن عامل بسیار مهمی از نظر بازاریابی آن است. با توجه به این که درصد شکستگی دانه‌های برنج در حین فرآوری ارتباط مستقیمی با میزان رطوبت آن در طول مدت فرآیند دارد از این رو سعی می‌شود تا این مقدار در حدود مشخصی حفظ شود (چابرا و کاشانی‌نژاد، ۲۰۰۶).

فرآوری برنج یک عملیات مهم در بسیاری از مناطق دنیاست. اکثر روش‌های فرآوری شامل پخت می‌باشد که در آن نشاسته برنج به فرم ژلاتینی تبدیل می‌شود. قبل از فرآوری لازم است فرآیندهای هیدروترمالی مثل خیساندن بر روی برنج اعمال گردد (یه و همکاران، ۱۹۹۲). به‌عنوان مثال، خیساندن اولین مرحله در فرآیند نیم‌پز کردن برنج

است که پس از بخاردهی و خشک کردن انجام می‌شود. همچنین، قبل از پخت لازم است برنج خیسانده شود تا دانه‌های آن به اندازه کافی نرم شوند و جذب آب توسط نشاسته در حین پخت بهتر صورت گیرد. در حین فرآیند خیساندن آب به درون دانه برنج نفوذ کرده و بخشی از ترکیبات آن خارج می‌شود. هر دو فرآیند تابعی از زمان و درجه حرارت می‌باشند (چیانگ و یه، ۲۰۰۲). معمولاً ترکیبات خارج شده در حین خیساندن شامل قندها، پروتئین‌های محلول و ترکیبات لیپیدی متصل نشده با نشاسته می‌باشند (چن و همکاران، ۱۹۹۲). خیساندن فرآیند کندی است که با نفوذ آب به درون دانه برنج کنترل می‌شود (بلو و همکاران، ۲۰۰۴). از این‌رو خیساندن در دمای محیط احتمال افزایش فعالیت‌های میکروبی و اثرات نامطلوب بر رنگ، مزه و بوی محصول را به‌همراه دارد. خیساندن در آب گرم یکی از روش‌های متداول برای کاهش زمان فرآیند است چون افزایش دما شدت جذب آب را افزایش می‌دهد. البته باید دقت داشت که درجه حرارت خیساندن کمتر از دمای ژلاتینه شدن نشاسته باشد تا شکستن دانه برنج و خروج مواد جامد محلول به حداقل برسد (لو و میکوس، ۱۹۸۰).

تاکنون مطالعات متعددی توسط محققین مختلف بر روی فرآیند جذب آب برنج انجام شده است. به‌عنوان مثال، کاشانی‌نژاد و همکاران (۲۰۰۷) فرآیند جذب آب برنج رقم طارم را مدل‌سازی نمودند و نتیجه گرفتند مدل پیچ‌به‌ترین معادله برای پیشگویی رفتار جذب آب برنج است. همچنین، با افزایش دمای خیساندن مقدار جذب آب افزایش و زمان خیساندن کوتاه شد. مقدار ضریب نفوذ مؤثر آب در حین فرآیند خیساندن برنج در محدوده دمایی (۷۰-۲۵ درجه سانتی‌گراد) آزمایش شده  $5/58 \times 10^{-11}$  تا  $3/57 \times 10^{-11}$  مترمربع و انرژی فعال‌سازی  $34/17$  کیلوژول بود. علاوه بر این ارتباط بین ضریب نفوذ و درجه حرارت به‌خوبی توسط معادله آرنیوس بیان گردید (کاشانی‌نژاد و همکاران، ۲۰۰۷).

نشده است، در این پژوهش سعی گردید رفتار جذب آب سه رقم پرمحصول برنج کشور (فجر، شفق و ندا) در ۶ دمای مختلف (۲۵، ۳۰، ۴۰، ۵۰، ۶۰ و ۷۰ درجه سانتی‌گراد) با در نظر گرفتن تغییرات وزن در طول زمان بررسی شود. به علاوه خصوصیات فیزیکی (ابعاد، میانگین قطر هندسی و ضریب کرویت)، دانسیته توده‌ای، دانسیته دانه‌ای و میزان تخلخل ارقام مختلف برنج نیز به صورت تابعی از درجه حرارت در محدوده دمای ۲۵-۷۰ درجه سانتی‌گراد تعیین گردید.

### مواد و روش‌ها

**آماده سازی:** در این تحقیق نمونه‌های ندا، فجر و شفق که از انواع رایج و پرمحصول برنج هستند، از یکی از شالیکوبی‌های معتبر شهر بابل تهیه شدند. این واریته‌ها در سطح وسیعی در شمال ایران کشت می‌شوند و جزء دسته‌ای از انواع پرمحصول هستند که از کیفیت خوراکی بهتری برخوردار هستند. قبل از انجام آزمایش، مواد خارجی و دانه‌های شکسته جدا شده و با غربال کردن دانه‌هایی با اندازه یکنواخت تهیه شد. مقدار رطوبت اولیه دانه‌ها با استفاده از آون هوای داغ در دمای  $2 \pm 103$  درجه سانتی‌گراد تا رسیدن به وزن ثابت تعیین گردید (AOAC, 2000).

**اندازه‌گیری دانسیته توده‌ای، دانسیته دانه‌ای و تخلخل:** دانسیته توده‌ای، دانه‌ای و تخلخل ارقام مختلف برنج قبل و بعد از شرایط مختلف خیساندن اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری دانسیته توده‌ای از ظرف استوانه‌ای با حجم مشخص (نیم لیتر) استفاده شد. پس از پر کردن ظرف موردنظر با نمونه‌های برنج، سطح آن با استفاده از یک تیغه فلزی و با حرکات زیگزاگ کاملاً صاف شد. با تعیین وزن نمونه و تقسیم وزن بر حجم، دانسیته توده‌ای محاسبه گردید (کاشانی‌نژاد و همکاران، ۲۰۰۶).

دانسیته دانه‌ای نسبت وزن به حجم دانه می‌باشد که به روش حجم‌سنجی تولوئن با استفاده از پیکنومتر تعیین گردید (محسنین، ۱۹۸۰). تخلخل بیانگر میزان فضای

آرومریت و همکاران (۲۰۰۶) استفاده از فشارهای بسیار بالا (تا حد ۶۰۰ مگا پاسکال) را بر سنتیک جذب آب در حین خیساندن برنج بررسی نمودند. آنها تغییرات ابعاد و مقدار رطوبت را به صورت تابعی از درجه حرارت، فشار و زمان خیساندن تعیین نمودند. نتایج نشان داد که ابعاد ارتباط مثبتی با این سه پارامتر دارند اگرچه میزان افزایش حجم زیاد نبود. همچنین میزان جذب آب و رطوبت تعادلی با افزایش فشار و دما افزایش یافت (آرومریت و همکاران، ۲۰۰۶).

بلو و همکاران (۲۰۰۴) فرآیند خیساندن شلتوک و برنج سفید را در دمای ۲۵-۶۵ درجه سانتی‌گراد بررسی نموده و مقدار ضریب نفوذ مؤثر را با استفاده از قانون دوم فیک محاسبه کردند. با افزایش درجه حرارت و زمان خیساندن مقدار خروج مواد جامد محلول افزایش یافت. همچنین، میزان جذب آب در برنج خیسانده شده در محلول NaOH و  $Na_2CO_3$  بیشتر از برنج خیسانده شده در آب معمولی بود.

البرت و همکاران (۲۰۰۱) سرعت جذب آب یک رقم برنج محلی را در دماهای بالا و پایین درجه حرارت ژلاتینه شدن آن بررسی نموده و با مقایسه داده‌های به‌دست آمده نتیجه گرفتند که فرآیند نیم‌پز شدن در دماهای پایین‌تر از ۷۷ درجه سانتی‌گراد در اثر واکنش نشاسته و در بالاتر از آن در اثر پدیده انتشار محدود می‌شود.

برنج یکی از مهمترین مواد خوراکی مردم ما محسوب می‌شود و معمولاً چند بار در هفته از آن استفاده می‌کنند. برای افزایش کیفیت پخت آن، معمولاً به مدت چند ساعت در آب خیسانده می‌شود درحالی‌که اطلاع کافی درباره شرایط مناسب خیساندن وجود ندارد. میزان جذب رطوبت برنج به عوامل مهمی از قبیل دما، زمان و رقم برنج وابسته است. به علاوه خصوصیات فیزیکی برنج نیز تابع پارامترهای مذکور می‌باشند. از این رو، با توجه به این که عملیات خیساندن برنج به صورت کاملاً غیرعلمی انجام می‌شود و تاکنون اطلاعاتی درباره ارقام مهم کشور ارائه

خالی بین دانه‌های برنج می‌باشد که تابع مقدار دانسیته توده‌ای و دانسیته دانه‌ای است که توسط رابطه ۱ تعیین گردید (محسنین، ۱۹۸۰):

$$\varepsilon = \frac{\rho_k - \rho_b}{\rho_k} \times 100 \quad (1)$$

که در این رابطه  $\rho_b$  دانسیته توده‌ای ( $\text{kg/m}^3$ )،  $\rho_k$  دانسیته دانه‌ای ( $\text{kg/m}^3$ ) و  $\varepsilon$  میزان تخلخل (درصد) است.

**اندازه‌گیری ابعاد و حجم:** برای اندازه‌گیری ابعاد، ۱۰۰ دانه سالم برنج از هر رقم به صورت تصادفی انتخاب و شماره‌گذاری شدند. برای هر یک از دانه‌های برنج سه بعد اصلی یعنی طول، عرض و ارتفاع با استفاده از کولیس دیجیتال (Mitutoyo, 500-351) با دقت ۰/۰۰۱ میلی‌متر تعیین شد. قطر میانگین هندسی و ضریب کرویت ارقام مختلف برنج با استفاده از روابط ۲ و ۳ محاسبه گردید (محسنین، ۱۹۸۰):

$$D = (LWH)^{\frac{1}{3}} \quad (2)$$

$$\phi = \frac{(LWH)^{\frac{1}{3}}}{L} \times 100 \quad (3)$$

که در این روابط L: طول (mm)، W: عرض (mm)، H: ارتفاع (mm)، D: میانگین قطر هندسی (mm) و  $\phi$  ضریب کرویت است.

برای تعیین حجم، ۵۰ عدد دانه برنج انتخاب و به روش پیکنومتر و تولوئن حجم آنها تعیین گردید. میانگین حجم دانه‌های برنج با تقسیم حجم کل بر تعداد دانه‌های برنج به دست آمد (بلو و همکاران، ۲۰۰۴).

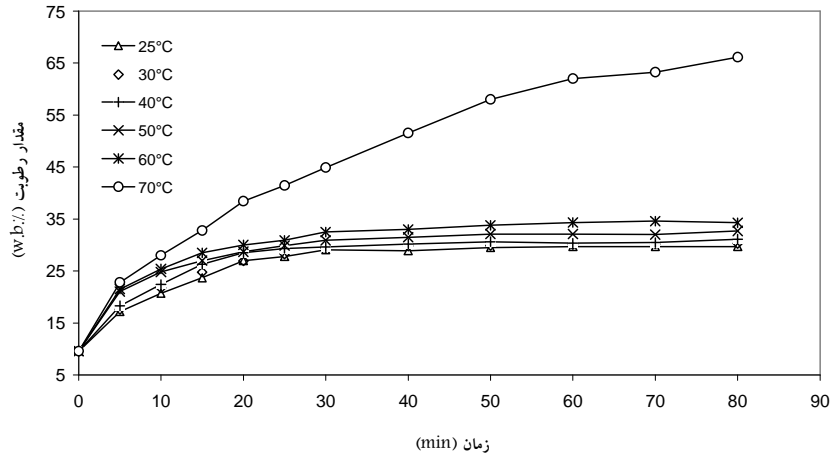
**فرآیند خیساندن:** برای انجام فرآیند خیساندن تقریباً ۱۰ گرم برنج از ارقام مختلف در ۲۰۰ میلی‌لیتر آب مقطر در ۶ دمای مختلف (۲۵، ۳۰، ۴۰، ۵۰، ۶۰ و ۷۰ درجه سانتی‌گراد) قرار داده شد. برای کنترل دمای نمونه‌ها همراه با آب مقطر در یک حمام آب با کنترل دمای  $\pm 0.5$  درجه سانتی‌گراد قرار گرفت. نمونه‌های برنج خیسانده شده در هر دما در فواصل زمانی مختلف از آب خارج شده و پس از حذف آب اضافی توسط دستمال کاغذی و با استفاده از یک ترازوی دیجیتال با دقت ۰/۰۰۱ گرم توزین شدند. با

توجه به اختلاف وزن نمونه‌ها قبل و بعد از خیساندن مقدار آب جذب شده و مقدار رطوبت نمونه‌های برنج در حین فرآیند محاسبه گردید (کاشانی‌نژاد و همکاران، ۲۰۰۷).

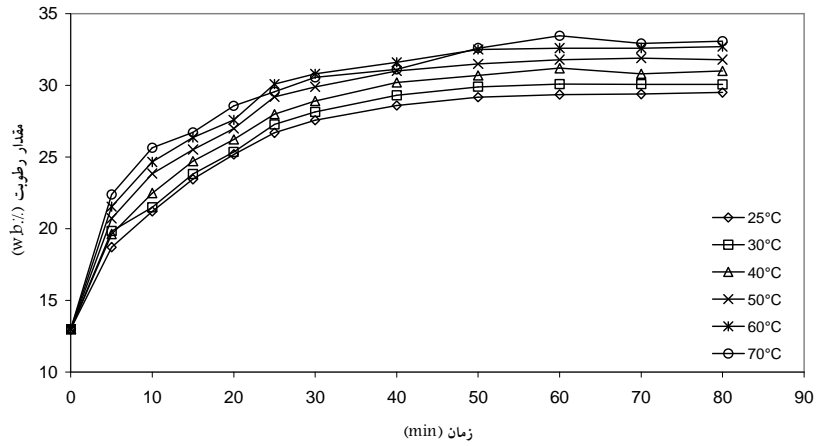
**تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها:** به منظور کاهش خطا کلیه آزمایش‌ها ۵ بار تکرار گردید و اعداد گزارش شده میانگین ۵ تکرار می‌باشند. تأثیر درجه حرارت و رقم بر میزان جذب آب برنج توسط روش آنالیز واریانس (ANOVA) در قالب طرح کاملاً تصادفی تعیین گردید و میانگین‌ها با استفاده از روش دانکن در سطح معنی‌دار ۵ درصد توسط نرم‌افزار آماری SAS مقایسه گردیدند. بهترین روابط ریاضی بین دمای خیساندن و خصوصیات فیزیکی (ابعاد، حجم، ضریب کرویت، دانسیته توده‌ای، دانسیته دانه‌ای و تخلخل) ارقام مختلف برنج با استفاده از آنالیز رگرسیون به کمک نرم‌افزار آماری SAS تعیین گردید. برای انتخاب مدل مناسب از پارامترهای آماری همچون ضریب تعیین ( $R^2$ )، میانگین مربعات خطا (MSE) و میزان پراکندگی باقی‌مانده استفاده شد. ملاک انتخاب بهترین مدل، بالا بودن ضریب تعیین و پایین بودن میانگین مربعات خطا بود.

## بحث و نتایج

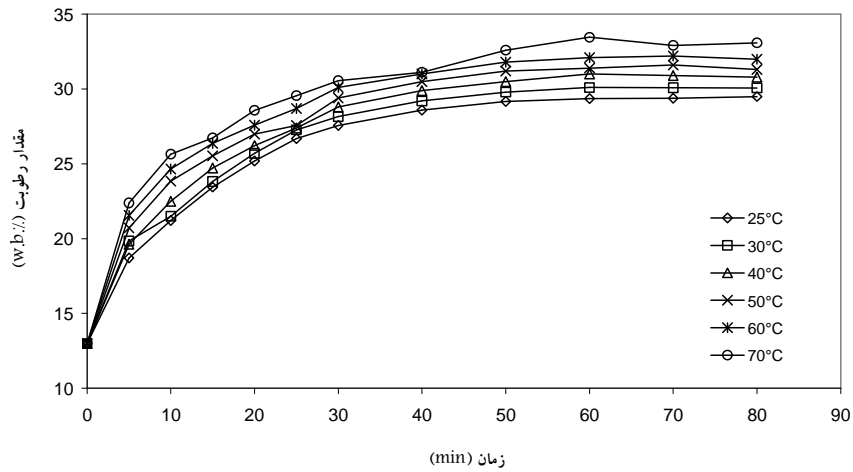
**جذب آب:** در حین فرآیند خیساندن، نمونه‌های مخلف برنج مقادیر متفاوتی آب جذب نمودند. شکل‌های ۱، ۲ و ۳ به ترتیب میزان جذب آب ارقام فجر، ندا و شفق را در درجه حرارت‌های مختلف نشان می‌دهد. همان‌گونه که مشاهده می‌شود کلیه منحنی‌ها روند مشابهی از خود نشان می‌دهند که بیانگر فرآیند انتشار در دماهای پایین‌تر از نقطه زلاتینه شدن محصول است. سرعت جذب آب در مراحل اولیه شدید می‌باشد که به تدریج کندتر شده و در انتها به سمت رطوبت تعادلی یا اشباع پیش می‌رود. محققین مختلف نیز روند مشابهی را برای شرایط مشابه گزارش کردند (باندیوپادیا و روی، ۱۹۷۸؛ بلو و همکاران، ۲۰۰۴؛ کاشانی‌نژاد و همکاران، ۲۰۰۷).



شکل ۱- تأثیر دما و زمان فرآیند خیساندن بر میزان جذب آب در رقم فجر.



شکل ۲- تأثیر دما و زمان فرآیند خیساندن بر میزان جذب آب در رقم ندا.



شکل ۳- تأثیر دما و زمان فرآیند خیساندن بر میزان جذب آب در رقم شفق.

اثر زمان خیساندن بر جذب آب برنج: شکل‌های ۱، ۲ و ۳ نشان می‌دهند که در ارقام مختلف برنج با گذشت زمان خیساندن مقدار جذب آب افزایش می‌یابد. تجزیه و تحلیل آماری نشان داد که تأثیر زمان خیساندن بر میزان جذب آب ارقام مختلف برنج معنی‌دار می‌باشد ( $P < 0.01$ ). در حین ۲۰ دقیقه اول فرآیند خیساندن مقدار رطوبت ارقام مختلف برنج به سرعت افزایش یافت که ممکن است ناشی از وجود شکاف در سطح برنج و ترک‌های داخلی باشد که در فرآیند شالی‌کوبی و آسیاب کردن به وجود آمده است. محققین مختلفی گزارش کرده‌اند که در حین فرآوری ارقام مختلف برنج، شکاف‌هایی به میزان کم و بیش به وجود می‌آید (تاکوچی و همکاران، ۱۹۹۷؛ هوریگان و همکاران، ۱۹۹۹؛ اوگاوا و همکاران، ۲۰۰۲؛ کاشانی‌نژاد و همکاران، ۲۰۰۷). 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 مشابهی دارد. در نهایت جذب آب برنج کند و به مرحله رطوبت اشباع یا تعادلی می‌رسد.

**تأثیر درجه حرارت خیساندن بر جذب آب برنج:** با توجه به شکل‌های ۱، ۲ و ۳ مشاهده می‌شود که در یک زمان مشخص میزان جذب آب برنج با افزایش دمای خیساندن افزایش می‌یابد. تجزیه و تحلیل آماری نشان داد که تأثیر درجه حرارت خیساندن بر میزان جذب آب ارقام مختلف برنج معنی‌دار می‌باشد ( $P < 0.01$ ). این افزایش ناشی از تغییرات در مقاومت دانه به انتشار رطوبت می‌باشد. درجه حرارت‌های بالاتر منجر به نرم شدن و انبساط دانه می‌گردد. نرم شدن دانه در اثر افزایش درجه حرارت خیساندن برای دانه سویا (سینگ و کولشرستا، ۱۹۸۷)، نخود (هانگ و همکاران، ۱۹۹۳)، لوبیای قلو‌ه‌ای (ابوغنام و مک‌کنا، ۱۹۹۷)، گندم (ماسکان، ۲۰۰۲)، شلتوک و برنج آسیاب شده (میا و همکاران، ۲۰۰۲؛ سوبهاگیا و همکاران، ۱۹۹۴) و برنج رقم طارم (کاشانی‌نژاد و

همکاران، ۲۰۰۷) نیز گزارش شده است. هرچه درجه حرارت خیساندن به دمای ژلاتینه شدن نزدیک‌تر باشد میزان جذب آب بیشتر خواهد بود. تاکوچی و همکاران (۱۹۹۷) نیز گزارش کردند که میزان ژلاتینه شدن دانه‌های برنج در محدوده ۶۰ تا ۷۰ درجه سانتی‌گراد به تدریج افزایش می‌یابد و در دمای ۸۰ درجه سانتی‌گراد به اشباع می‌رسد. همچنین یاماموتو در سال ۱۹۹۵ گزارش کرد که جذب آب برنج پخته شده در دماهای مختلف در زمان‌های متفاوتی به تعادل می‌رسد چون دمای ژلاتینه شدن ارقام مختلف متفاوت است.

با توجه به موارد فوق کاملاً آشکار است که درجه حرارت بر میزان جذب آب برنج مؤثر است. از این رو استفاده از درجه حرارت‌های بالاتر روشی کارآمد در کوتاه کردن زمان لازم برای رسیدن به رطوبت تعادلی در فرآیند خیساندن می‌باشد.

#### **تأثیر فرآیند خیساندن بر ابعاد و حجم دانه‌های برنج:**

جدول‌های ۱، ۲ و ۳ به ترتیب ابعاد (طول، عرض و ارتفاع)، میانگین قطر هندسی، ضریب کرویت و حجم ارقام برنج فجر، ندا و شفق را در دماهای مختلف فرآیند خیساندن نشان می‌دهد. همان‌گونه که در این جدول‌های مشاهده می‌شود تأثیر درجه حرارت خیساندن بر پارامترهای فیزیکی ارقام مختلف برنج معنی‌دار می‌باشد ( $P < 0.01$ ). همان‌گونه که نتایج جداول نشان می‌دهد در ارقام ندا و شفق تغییرات طول، عرض، ارتفاع و میانگین قطر هندسی از نوع تابع درجه دوم نزولی می‌باشد به طوری که با افزایش درجه حرارت خیساندن تا دمای ۵۰ درجه سانتی‌گراد کاهش و پس از آن افزایش می‌یابد در حالی که در رقم فجر روند تغییرات تقریباً افزایشی است. تاکنون درباره تأثیر دمای فرآیند خیساندن بر خصوصیات فیزیکی برنج نتایجی گزارش نشده است اما محققین مختلف تأثیر زمان فرآیند خیساندن را بر ابعاد برنج بررسی کرده‌اند. آرومریت و همکاران (۲۰۰۶) گزارش کردند با افزایش زمان خیساندن نسبت طول و قطر برنج افزایش می‌یابد که این تغییرات در مراحل اولیه خیساندن

شدیدتر است و تغییرات طول نسبت به قطر بیشتر است. محققین دیگری نیز روند مشابهی را در حین پخت یا نیم‌پز کردن برنج گزارش کرده‌اند (باتاچاریا، ۱۹۸۵؛ هوریگان و همکاران، ۱۹۹۹؛ سوبهاگیا و همکاران، ۱۹۹۴). تغییر ابعاد برنج در حین فرآیند خیساندن ناشی از دو مکانیسم می‌باشد. مکانیسم اصلی، تورم گرانول‌های نشاسته موجود در سلول‌های اندوسپرم است و مکانیسم دیگر ناشی از پر شدن شکاف‌های موجود در دانه برنج به‌علت نفوذ آب در آنها می‌باشد (آرومریت و همکاران، ۲۰۰۶). روابط ریاضی زیر ارتباط بین خصوصیات فیزیکی و درجه حرارت فرآیند خیساندن را برای ارقام مختلف برنج نشان می‌دهد:

شده‌تر است و تغییرات طول نسبت به قطر بیشتر است. محققین دیگری نیز روند مشابهی را در حین پخت یا نیم‌پز کردن برنج گزارش کرده‌اند (باتاچاریا، ۱۹۸۵؛ هوریگان و همکاران، ۱۹۹۹؛ سوبهاگیا و همکاران، ۱۹۹۴). تغییر ابعاد برنج در حین فرآیند خیساندن ناشی از دو مکانیسم می‌باشد. مکانیسم اصلی، تورم گرانول‌های

#### رقم فجر

- طول :  $L = 0.00004T^3 - 0.0065T^2 + 0.3037T + 3.6571, R^2 = 0.94$  (۴)  
 عرض :  $W = 0.000005T^3 - 0.0006T^2 + 0.0281T + 1.3696, R^2 = 0.99$  (۵)  
 ارتفاع :  $H = 0.00001T^3 - 0.0013T^2 + 0.0568T + 1.1923, R^2 = 0.98$  (۶)  
 میانگین قطر هندسی :  $D = 0.00001T^3 - 0.0014T^2 + 0.0602T + 2.2348, R^2 = 0.97$  (۷)  
 ضریب کرویت :  $\phi = 0.00006T^3 - 0.0081T^2 + 0.3872T + 31.529, R^2 = 0.76$  (۸)

#### رقم شفق

- طول :  $L = 0.0009T^2 - 0.075T + 9.3923, R^2 = 0.86$  (۹)  
 عرض :  $W = 0.00007T^2 - 0.0068T + 1.976, R^2 = 0.96$  (۱۰)  
 ارتفاع :  $H = 0.00009T^2 - 0.0077T + 2.0941, R^2 = 0.89$  (۱۱)  
 میانگین قطر هندسی :  $D = 0.0002T^2 - 0.0181T + 3.3887, R^2 = 0.87$  (۱۲)  
 ضریب کرویت :  $\phi = -0.0027T^2 + 0.2513T + 33.374, R^2 = 0.91$  (۱۳)

#### رقم ندا

- طول :  $L = 0.0009T^2 - 0.0836T + 9.9336, R^2 = 0.99$  (۱۴)  
 عرض :  $W = 0.0002T^2 - 0.0144T + 2.1316, R^2 = 0.91$  (۱۵)  
 ارتفاع :  $H = 0.0001T^2 - 0.014T + 2.3437, R^2 = 0.83$  (۱۶)  
 میانگین قطر هندسی :  $D = 0.0003T^2 - 0.0261T + 3.6559, R^2 = 0.94$  (۱۷)  
 ضریب کرویت :  $\phi = -0.0018T^2 + 0.1725T + 34.104, R^2 = 0.95$  (۱۸)

جدول ۱- تأثیر دمای فرآیند خیساندن بر ابعاد و حجم برنج رقم فجر.

دما (درجه سانتی‌گراد)	طول (mm)	عرض (mm)	ارتفاع (mm)	حجم (cm <sup>3</sup> )	ضریب کرویت	قطر میانگین هندسی (mm)
اولیه	۷/۶۵±۰/۱۱ <sup>h*</sup>	۱/۷۰±۰/۰۶ <sup>k</sup>	۱/۸۷±۰/۳۳ <sup>j</sup>	۰/۰۱۳±۰/۰۰۴ <sup>f</sup>	۳۷/۸۹±۰/۸۵ <sup>bcd</sup>	۲/۸۹±۰/۱۲ <sup>i</sup>
۲۵	۷/۹۱±۰/۱۱ <sup>fg</sup>	۱/۷۵±۰/۰۸ <sup>j</sup>	۱/۹۵±۰/۴۴ <sup>fgh</sup>	۰/۰۱۷±۰/۰۰۲ <sup>cde</sup>	۳۶/۹۰±۰/۷۶ <sup>g</sup>	۳/۰۲±۰/۱۱ <sup>def</sup>
۳۰	۸/۱۳±۰/۱۱ <sup>cde</sup>	۱/۷۷±۰/۰۸ <sup>i</sup>	۱/۹۸±۰/۴۳ <sup>cde</sup>	۰/۰۱۶±۰/۰۰۳ <sup>de</sup>	۳۷/۶۳±۰/۶۸ <sup>def</sup>	۳/۰۵±۰/۰۸ <sup>cde</sup>
۴۰	۸/۳۶±۰/۱۳ <sup>abc</sup>	۱/۷۸±۰/۱۰ <sup>hi</sup>	۱/۹۹±۰/۴۳ <sup>cde</sup>	۰/۰۱۷±۰/۰۰۴ <sup>de</sup>	۳۷/۳۰±۰/۴۸ <sup>fg</sup>	۳/۰۹±۰/۱۳ <sup>cde</sup>
۵۰	۸/۱۶±۰/۱۳ <sup>cde</sup>	۱/۷۹±۰/۰۸ <sup>fgh</sup>	۱/۹۹±۰/۵۰ <sup>cde</sup>	۰/۰۱۷±۰/۰۰۳ <sup>de</sup>	۳۷/۹۶±۰/۹۶ <sup>bcd</sup>	۳/۰۷±۰/۰۹ <sup>cde</sup>
۶۰	۸/۲۴±۰/۱۳ <sup>bcd</sup>	۱/۸۰±۰/۰۸ <sup>efg</sup>	۱/۹۸±۰/۴۵ <sup>cde</sup>	۰/۰۱۷±۰/۰۰۳ <sup>de</sup>	۳۷/۶۶±۰/۷۲ <sup>def</sup>	۳/۰۸±۰/۱۱ <sup>cde</sup>
۷۰	۸/۴۵±۰/۱۲ <sup>ab</sup>	۱/۸۷±۰/۰۷ <sup>a</sup>	۲/۰۹±۰/۴۵ <sup>a</sup>	۰/۰۲۰±۰/۰۰۵ <sup>a</sup>	۳۸/۳۵±۰/۶۶ <sup>abc</sup>	۳/۲۱±۰/۱۳ <sup>a</sup>

\* : میانگین‌های با حروف مشابه در سطح ۰/۰۵ معنی‌دار نمی‌باشند.

جدول ۲- تأثیر دمای فرآیند خیساندن بر ابعاد و حجم برنج رقم ندا.

دما (درجه سانتی‌گراد)	طول (mm)	عرض (mm)	ارتفاع (mm)	حجم (cm <sup>3</sup> )	ضریب کرویت	قطر میانگین هندسی (mm)
اولیه	۷/۹۹±۰/۱۲ <sup>efg*</sup>	۱/۷۷±۰/۱۰ <sup>i</sup>	۱/۹۴±۰/۲۲ <sup>ghi</sup>	۰/۰۱۶±۰/۰۰۳ <sup>e</sup>	۳۷/۷۴±۱/۵۸ <sup>cde</sup>	۳/۰۱±۰/۲۱ <sup>fgh</sup>
۲۵	۸/۴۱±۰/۱۶ <sup>abc</sup>	۱/۸۸±۰/۰۵ <sup>a</sup>	۲/۱۰±۰/۱۱ <sup>a</sup>	۰/۰۱۹±۰/۰۰۴ <sup>abc</sup>	۳۷/۳۳±۱/۰۳ <sup>fg</sup>	۳/۲۰±۰/۳۲ <sup>a</sup>
۳۰	۸/۲۵±۰/۰۸ <sup>bcd</sup>	۱/۸۲±۰/۰۸ <sup>c</sup>	۲/۰۳±۰/۳۲ <sup>bc</sup>	۰/۰۱۷±۰/۰۰۶ <sup>de</sup>	۳۷/۶۲±۰/۹۶ <sup>def</sup>	۳/۱۰±۰/۱۷ <sup>cde</sup>
۴۰	۸/۰۷±۰/۲۱ <sup>def</sup>	۱/۸۰±۰/۰۹ <sup>def</sup>	۱/۹۹±۰/۲۳ <sup>cde</sup>	۰/۰۱۹±۰/۰۰۲ <sup>abc</sup>	۳۸/۰۷±۱/۸۵ <sup>bcd</sup>	۳/۰۶±۰/۱۳ <sup>cde</sup>
۵۰	۸/۰۳±۰/۱۳ <sup>efg</sup>	۱/۸۰±۰/۰۳ <sup>efg</sup>	۲/۰۱±۰/۴۲ <sup>bcd</sup>	۰/۰۱۹±۰/۰۰۳ <sup>abc</sup>	۳۸/۳۷±۱/۳۲ <sup>abc</sup>	۳/۰۷±۰/۲۸ <sup>cde</sup>
۶۰	۸/۲۵±۰/۱۵ <sup>bcd</sup>	۱/۸۲±۰/۰۸ <sup>cd</sup>	۲/۰۲±۰/۴۵ <sup>bcd</sup>	۰/۰۲۰±۰/۰۰۲ <sup>ab</sup>	۳۷/۸۷±۰/۹۸ <sup>bcd</sup>	۳/۱۱±۰/۱۳ <sup>bcd</sup>
۷۰	۸/۵۸±۰/۱۱ <sup>a</sup>	۱/۸۷±۰/۱۱ <sup>a</sup>	۲/۰۵±۰/۳۴ <sup>ab</sup>	۰/۰۱۹±۰/۰۰۴ <sup>abc</sup>	۳۷/۳۹±۱/۲۶ <sup>efg</sup>	۳/۲۰±۰/۱۸ <sup>a</sup>

\*: میانگین‌های با حروف مشابه در سطح ۰/۰۵ معنی‌دار نمی‌باشند.

جدول ۳- تأثیر دمای فرآیند خیساندن بر ابعاد و حجم برنج رقم شفق.

دما (درجه سانتی‌گراد)	طول (mm)	عرض (mm)	ارتفاع (mm)	حجم (cm <sup>3</sup> )	ضریب کرویت	قطر میانگین هندسی (mm)
اولیه	۷/۷۰±۰/۱۰ <sup>h*</sup>	۱/۷۸±۰/۰۵ <sup>hi</sup>	۱/۹۰±۰/۳۰ <sup>ij</sup>	۰/۰۱۴±۰/۰۰۳ <sup>f</sup>	۳۸/۰۴±۱/۱۲ <sup>bcd</sup>	۳/۰۱±۰/۴۱ <sup>fgh</sup>
۲۵	۸/۱۵±۰/۱۳ <sup>cde</sup>	۱/۸۵±۰/۰۶ <sup>b</sup>	۱/۹۷±۰/۳۸ <sup>def</sup>	۰/۰۱۸±۰/۰۰۹ <sup>bcd</sup>	۳۷/۹۶±۱/۲۳ <sup>bcd</sup>	۲/۹۹±۰/۲۱ <sup>gh</sup>
۳۰	۷/۸۲±۰/۱۲ <sup>fg</sup>	۱/۸۴±۰/۱۰ <sup>b</sup>	۱/۹۳±۰/۳۹ <sup>hi</sup>	۰/۰۱۸±۰/۰۰۱ <sup>cd</sup>	۳۸/۶۴±۰/۵۶ <sup>abc</sup>	۲/۹۹±۰/۰۹ <sup>h</sup>
۴۰	۷/۷۷±۰/۱۲ <sup>gh</sup>	۱/۸۲±۰/۰۹ <sup>cd</sup>	۱/۹۳±۰/۵۰ <sup>hi</sup>	۰/۰۱۹±۰/۰۰۲ <sup>bcd</sup>	۳۸/۹۹±۰/۹۵ <sup>a</sup>	۳/۰۲±۰/۱۳ <sup>efg</sup>
۵۰	۷/۷۸±۰/۱۳ <sup>gh</sup>	۱/۸۱±۰/۱۱ <sup>cde</sup>	۱/۹۴±۰/۴۶ <sup>hi</sup>	۰/۰۱۸±۰/۰۰۳ <sup>abc</sup>	۳۹/۱۲±۱/۰۱ <sup>a</sup>	۳/۰۱±۰/۱۰ <sup>fgh</sup>
۶۰	۸/۱۵±۰/۱۲ <sup>cde</sup>	۱/۸۳±۰/۰۹ <sup>c</sup>	۱/۹۷±۰/۵۰ <sup>def</sup>	۰/۰۱۸±۰/۰۰۲ <sup>bcd</sup>	۳۹/۱۴±۰/۵۷ <sup>a</sup>	۳/۰۹±۰/۱۱ <sup>cde</sup>
۷۰	۸/۳۳±۰/۱۳ <sup>abc</sup>	۱/۸۵±۰/۱۱ <sup>b</sup>	۲/۰۱±۰/۴۶ <sup>bcd</sup>	۰/۰۱۹±۰/۰۰۴ <sup>abc</sup>	۳۷/۷۳±۱/۱۱ <sup>cde</sup>	۳/۱۴±۰/۱۳ <sup>abc</sup>

\*: میانگین‌های با حروف مشابه در سطح ۰/۰۵ معنی‌دار نمی‌باشند.

خیساندن برابر  $۷۶۸/۴ \text{ kg/m}^3$  بوده است که در طی خیساندن در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد به  $\text{kg/m}^3$  رسیده و سپس تا دمای ۴۰ درجه سانتی‌گراد به  $۶۷۰/۷ \text{ kg/m}^3$  رسیده و دوباره از دمای فوق تا دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد به  $۶۴۰/۳ \text{ kg/m}^3$  کاهش یافته است و دوباره از دمای فوق تا دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد به  $۷۳۲/۹ \text{ kg/m}^3$  رسیده است. دانسیته توده‌ای رقم شفق قبل از خیساندن برابر  $۷۷۷/۹ \text{ kg/m}^3$  بوده است که در طی خیساندن در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد به  $۷۰۴/۳ \text{ kg/m}^3$  رسیده و سپس تا دمای ۴۰ درجه سانتی‌گراد به  $۶۹۹/۶ \text{ kg/m}^3$  کاهش یافته است. دوباره از دمای فوق تا دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد به  $۷۲۰/۴ \text{ kg/m}^3$  رسیده است. دانسیته توده‌ای رقم ندا قبل از خیساندن برابر  $۷۸۸ \text{ kg/m}^3$  بوده است که در طی خیساندن در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد به  $۶۸۲/۱ \text{ kg/m}^3$

تأثیر فرآیند خیساندن بر دانسیته توده‌ای ارقام برنج: شکل ۴ تأثیر دمای خیساندن بر دانسیته توده‌ای ارقام فجر، ندا و شفق را نشان می‌دهد. تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها نشان داد که در هر سه رقم تأثیر درجه حرارت خیساندن بر دانسیته توده‌ای معنی‌دار است ( $P < ۰/۰۱$ ). همان‌گونه که در شکل ۴ مشاهده می‌شود، روند تغییرات دانسیته توده‌ای ارقام مختلف برنج با افزایش دمای خیساندن از نوع تابع درجه دوم نزولی می‌باشد به طوری که با افزایش دمای خیساندن مقدار دانسیته توده‌ای کاهش می‌یابد و در محدوده ۴۰-۵۰ درجه سانتی‌گراد به حداقل می‌رسد و پس از آن افزایش می‌یابد. در فرآیند خیساندن برنج رقم طارم نیز روند مشابهی گزارش شده است (کاشانی‌نژاد و همکاران، ۲۰۰۷). دانسیته توده‌ای رقم فجر قبل از



گزارش شده است. معادله‌های ۲۱-۱۹ ارتباط بین دانسیته توده‌ای و درجه حرارت خیساندن را برای ارقام مختلف برنج نشان می‌دهند:

**تأثیر فرآیند خیساندن بر دانسیته دانه‌ای ارقام برنج: تأثیر**  
دمای فرآیند خیساندن بر دانسیته دانه‌ای ارقام فجر، ندا و شفق در شکل ۵ دیده می‌شود. تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها نشان داد تأثیر درجه حرارت خیساندن بر دانسیته دانه‌ای هر سه رقم برنج معنی‌دار است ( $P < 0.01$ ). همان‌گونه که در شکل مذکور دیده می‌شود روند تغییرات دانسیته دانه‌ای ارقام برنج بخصوص فجر و ندا و تا حدودی رقم شفق با افزایش دمای خیساندن از نوع تابع درجه دوم صعودی می‌باشد به طوری که با افزایش دمای خیساندن مقدار دانسیته دانه‌ای افزایش می‌یابد و در محدوده دمای ۴۰ درجه سانتی‌گراد به حداکثر می‌رسد و پس از آن کاهش می‌یابد.

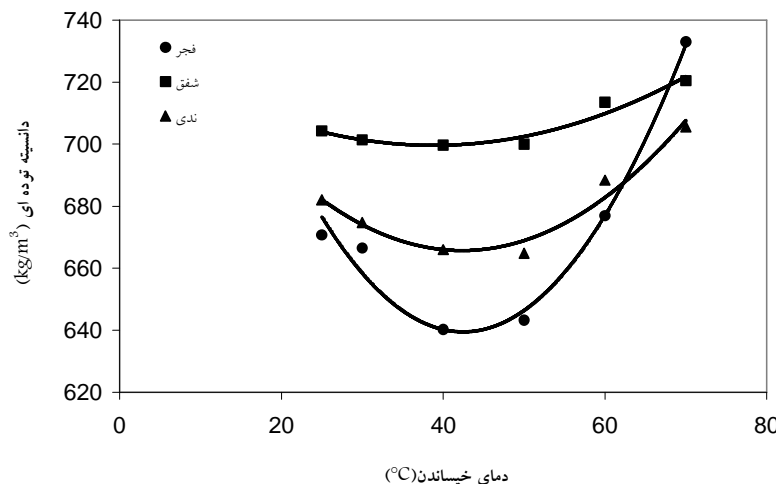
رسیده و سپس تا دمای ۴۰ درجه سانتی‌گراد به  $666 \text{ kg/m}^3$  کاهش یافته است و دوباره از دمای فوق تا دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد این مقدار به  $705/6 \text{ kg/m}^3$  رسیده است.

کاهش دانسیته توده‌ای ارقام مختلف برنج با افزایش دمای خیساندن تا محدوده ۴۰ درجه سانتی‌گراد حاکی از آن است که تغییرات وزن دانه برنج در اثر جذب آب نسبت به تغییرات حجم آن کمتر است و بعد از دمای ۴۰ درجه سانتی‌گراد این روند معکوس می‌گردد. دانسیته توده‌ای نمونه‌های خیسانده شده در دماهای مختلف نسبت به دانسیته توده‌ای نمونه‌ها قبل از فرآیند خیساندن کمتر بود. بدین ترتیب فرآیند خیساندن به‌طور کلی منجر به کاهش دانسیته توده‌ای برنج می‌گردد. محققین دیگر نیز مشاهده کردند که دانسیته توده‌ای تابع مقدار رطوبت است به طوری که برای سویا (دشپانده و همکاران، ۱۹۹۳)، عدس (کارمن، ۱۹۹۶) و آفتابگردان (گوپتا و داس، ۱۹۹۷) ارتباط خطی منفی بین دانسیته توده‌ای و رطوبت

$$\text{رقم فجر: } \rho_b = 0.1218T^2 - 10.34T + 858.93, R^2 = 0.98 \quad (19)$$

$$\text{رقم شفق: } \rho_b = 0.0228T^2 - 1.7676T + 733.89, R^2 = 0.94 \quad (20)$$

$$\text{رقم ندا: } \rho_b = 0.0547T^2 - 4.6287T + 763.63, R^2 = 0.95 \quad (21)$$



شکل ۴- تأثیر دمای فرآیند خیساندن بر دانسیته توده‌ای ارقام مختلف برنج.

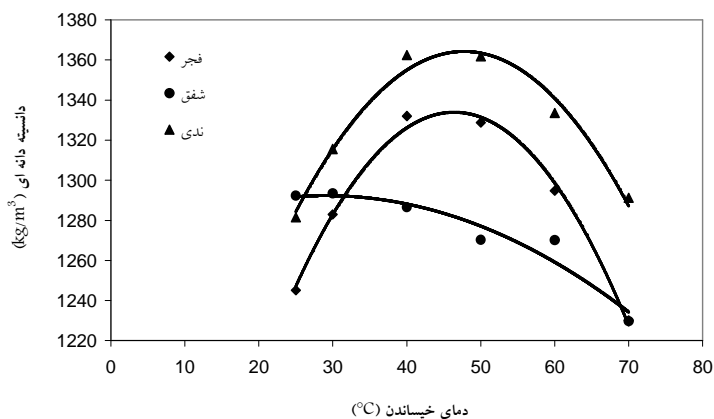
سپس با روندی کاهشی در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد به  $1229/7 \text{ kg/m}^3$  رسید. افزایش دانسیته دانه‌ای ارقام برنج با افزایش دمای خیس‌اندن تا محدوده ۴۰ درجه سانتی‌گراد حاکی از آن است که تغییرات وزن دانه برنج در اثر جذب آب نسبت به تغییرات حجم آن بیشتر است و از محدوده ۴۰ تا ۷۰ درجه سانتی‌گراد این تغییرات معکوس است. با توجه به نتایج بالا مشاهده می‌شود که دانسیته دانه‌ای نمونه‌های خیس‌انده شده در دماهای مختلف نسبت به دانسیته دانه‌ای نمونه‌ها قبل از فرآیند خیس‌اندن کمتر بود. بدین ترتیب فرآیند خیس‌اندن منجر به کاهش دانسیته دانه‌ای (همانند دانسیته توده‌ای) دانه‌های برنج می‌گردد. دشیپانده و همکاران (۱۹۹۳) مشاهده کردند با افزایش مقدار رطوبت، دانسیته دانه‌ای سویا به صورت خطی کاهش می‌یابد. معادله‌های ۲۲-۲۴ ارتباط بین دانسیته دانه‌ای و درجه حرارت خیس‌اندن ارقام مختلف برنج را نشان می‌دهد.

در فرآیند خیس‌اندن برنج رقم طارم نیز روند مشابهی مشاهده شده است (کاشانی‌نژاد و همکاران، ۲۰۰۷). دانسیته دانه‌ای رقم فجر قبل از خیس‌اندن برابر  $1355/7 \text{ kg/m}^3$  بوده است که در طی خیس‌اندن در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد به  $1245/1 \text{ kg/m}^3$  رسیده و سپس تا دمای ۴۰ درجه سانتی‌گراد به  $1332 \text{ kg/m}^3$  افزایش یافته است. دوباره از دمای ۴۰ تا ۷۰ درجه سانتی‌گراد به  $1330/1 \text{ kg/m}^3$  کاهش یافته است. دانسیته دانه‌ای رقم ندا قبل از خیس‌اندن  $1374/7 \text{ kg/m}^3$  بوده که در طی خیس‌اندن در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد به  $1281/5 \text{ kg/m}^3$  رسیده و سپس با افزایش تا دما ۴۰ درجه سانتی‌گراد به  $1362/4 \text{ kg/m}^3$  افزایش یافته و دوباره از دمای ۴۰ تا دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد به  $1291/2 \text{ kg/m}^3$  کاهش یافته است. دانسیته دانه‌ای رقم شفق در ابتدا و قبل از خیس‌اندن برابر  $1389/5 \text{ kg/m}^3$  بوده است که در طی خیس‌اندن در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد به  $1292/3 \text{ kg/m}^3$  رسیده و

$$\text{رقم فجر: } \rho_k = -0.1902T^2 + 17.642T + 924.86, R^2 = 0.99 \quad (22)$$

$$\text{رقم شفق: } \rho_k = -0.0346T^2 + 2.0063T + 1263.2, R^2 = 0.93 \quad (23)$$

$$\text{رقم ندا: } \rho_k = -0.1551T^2 + 14.804T + 1011, R^2 = 0.98 \quad (24)$$



شکل ۵- تأثیر دمای فرآیند خیس‌اندن بر دانسیته دانه‌ای ارقام مختلف برنج.

و شفق را نشان می‌دهد. تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها نشان داد تأثیر درجه حرارت خیس‌اندن بر درصد تخلخل هر سه

تأثیر فرآیند خیس‌اندن بر میزان تخلخل ارقام برنج: شکل ۶ دمای فرآیند خیس‌اندن بر درصد تخلخل ارقام فجر، ندا

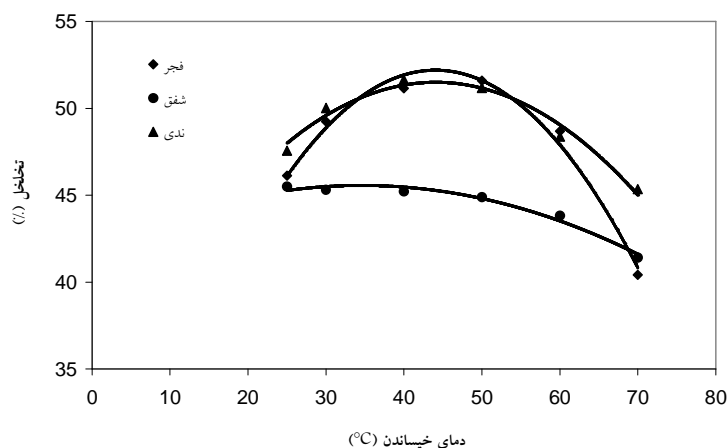
کاهش یافته است. میزان تخلخل در رقم شفق قبل از خیساندن ۴۴ درصد بود که در طی خیساندن با روندی کاهشی تا دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد به ۴۱/۴ درصد رسیده است. از آنجا که تخلخل تابع دانسیته توده‌ای و دانه‌ای می‌باشد، روند صعودی و نزولی آن نیز تابع تغییر این دو پارامتر می‌باشد. به همین دلیل تا دمای ۴۰ درجه سانتی‌گراد روندی صعودی و پس از آن روندی نزولی دارند. با توجه به نتایج بالا، میزان تخلخل نمونه‌های خیسانده شده در دماهای مختلف نسبت به تخلخل نمونه‌ها قبل از خیساندن بیشتر بوده است. بدین ترتیب فرآیند خیساندن منجر به افزایش میزان تخلخل ارقام مختلف برنج می‌گردد. محققین دیگر نیز مشاهده کردند که میزان تخلخل تابع مقدار رطوبت است به طوری که برای عدس (کارمن، ۱۹۹۶) و آفتابگردان (گوپتا و داس، ۱۹۹۷) ارتباط خطی مثبتی بین میزان تخلخل و رطوبت گزارش شده است. معادله‌های ۲۷-۲۵ ارتباط بین درصد تخلخل و درجه حرارت ارقام مختلف برنج را نشان می‌دهند.

رقم برنج معنی‌دار است ( $P < 0.01$ ). همان‌گونه که در این شکل دیده می‌شود روند تغییرات درصد تخلخل ارقام برنج با افزایش دمای خیساندن از نوع تابع درجه دوم صعودی است به طوری که با افزایش دمای خیساندن درصد تخلخل افزایش یافته و در محدوده ۴۰ درجه سانتی‌گراد به حداکثر می‌رسد و پس از آن کاهش می‌یابد. در فرآیند خیساندن برنج رقم طارم نیز روند مشابهی گزارش شده است (کاشانی‌نژاد و همکاران، ۲۰۰۷). میزان تخلخل برنج رقم فجر قبل از خیساندن برابر ۴۳/۳ درصد بوده که در طی فرآیند خیساندن در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد تخلخل به ۴۶/۱ درصد رسید. سپس تا دمای ۴۰ درجه سانتی‌گراد با روندی افزایشی این میزان به ۵۶/۱ درصد رسید. دوباره از دمای ۴۰ تا دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد به ۴۰/۴ درصد کاهش یافت. میزان تخلخل برنج رقم ندا قبل از فرآیند خیساندن ۴۲/۷ درصد بوده که در طی خیساندن در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد به ۴۷/۶ درصد رسید. سپس تا دمای ۴۰ درجه سانتی‌گراد میزان تخلخل به ۵۱/۶ درصد افزایش یافته و دوباره از دمای ۴۰ تا دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد، مقدار آن به ۴۵/۳ درصد

$$\text{رقم فجر: } \varepsilon = -0.0169T^2 + 1.4842T + 19.535, R^2 = 0.98 \quad (25)$$

$$\text{رقم شفق: } \varepsilon = -0.0031T^2 + 0.2175T + 41.809, R^2 = 0.98 \quad (26)$$

$$\text{رقم ندا: } \varepsilon = -0.0097T^2 + 0.8503T + 32.775, R^2 = 0.96 \quad (27)$$



شکل ۶- تأثیر دمای فرآیند خیساندن بر میزان تخلخل ارقام مختلف برنج.

## نتیجه گیری

بر اساس این پژوهش موارد زیر را می توان نتیجه گیری نمود:

۱- درجه حرارت عامل مهمی در فرآیند خیساندن برنج می باشد به گونه ای که هرچه درجه حرارت خیساندن بیشتر باشد زمان فرآیند کوتاه تر خواهد شد.

۲- میزان رطوبت نهایی دانه های برنج با افزایش زمان فرآیند خیساندن، بیشتر خواهد شد.

۳- خصوصیات فیزیکی دانه های برنج (طول، عرض، ارتفاع، حجم و ضریب کرویت) تابع فرآیند خیساندن می باشد و دمای خیساندن تأثیر قابل توجهی بر آنها دارند.

۴- دانسیته توده ای ارقام مختلف برنج در دمای خیساندن

۴۰ درجه سانتی گراد به حداقل و در دمای خیساندن ۷۰ درجه سانتی گراد به حداکثر مقدار می رسد.

۵- دانسیته دانه ای ارقام مختلف برنج در دمای خیساندن ۴۰ درجه سانتی گراد به حداکثر و در ۷۰ درجه سانتی گراد به حداقل می رسد.

۶- تغییرات تخلخل در ارقام مختلف برنج تقریباً روند مشابهی دارد و پس از افزایش در دمای ۴۰ درجه سانتی گراد، روند نزولی طی کرده و در دمای ۷۰ درجه سانتی گراد به حداقل می رسد.

## منابع

1. AbuGhannam, N., and McKenna, B. 1997. Hydration kinetics of red kidney beans (*Phaseolus vulgaris* L.). Journal of Food Science, 62 (3), 520-523.
2. Ahromrit, A., Ledward, D.A., and Niranjana, K. 2006. High pressure induced water uptake characteristics of Thai glutinous rice. Journal of Food Engineering, 72 (3), 225-233.
3. AOAC. 2000. Official Methods of Analysis; Association of Official Analytical Chemists: Washington, DC, USA.
4. Bandyopadhyay, S., and Roy, N.C. 1978. A semi-empirical correlation for prediction of hydration characteristics of paddy during parboiling. Journal of Food Technology, 13, 91-98.
5. Bello, M., Tolaba, M.P., and Suarez, C. 2004. Factors affecting water uptake of rice grain during soaking. Lebensmittel-wissenschaft und- Technologie. 37, 811-816.
6. Bhattacharya, K.R. 1985. Parboiling of rice. In B. O. Juliano (Ed.), Rice: Chemistry and technology. Minnesota: The American Association of Cereal Chemists, Inc.
7. Carman, K. 1996. Some physical properties of lentil seeds. Journal of Agricultural Engineering Research, 63, 87-92.
8. Chabra, D., and Kashaninejad, M. 2006. Management of rice wastes decreasing. Proceeding of the First National Rice Symposium, Amol, Iran.
9. Chabra, D., Kashaninejad, M., and Rafiee, S. 2006. Study and comparison of waste contents in different rice dryers. Proceeding of the First National Rice Symposium, Amol, Iran.
10. Chen, J.J., Lu, S., and Lii, C.Y. 1999. Effect of milling on the physicochemical characteristics of waxy rice in Taiwan. Cereal Chemistry, 76: 796- 799.
11. Chiang, P.Y., and Yeh, A.I. 2002. Effect of soaking on wet-milling of rice. Journal of Cereal Science, 35: 85-94.
12. Deshpande, S.D., Bal. S., and Ojha, T.P. 1993. Physical properties of soybean. Journal of Agricultural Engineering Research, 56, 89-98.
13. Elbert, G., Tolaba, M.P., and Suarez, C. 2001. Model application: hydration and gelatinization during rice parboiling. Drying Technology, 19 (3&4), 571-581.
14. FAOSTAT. 2005. Rice Production. Available from [http:// www.faostat.org](http://www.faostat.org).
15. Gupta, R.K., and Das, S.K. 1997. Physical properties of sunflower seeds. Journal of Agricultural Engineering Research, 66, 1-8.
16. 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.

17. Hung, T.V., Liu, L.H., Black, R.G., and Trehwella, M.A. 1993. Water absorption in chickpea (*C. arietinum*) and field pea (*P. sativum*) cultivars using the Peleg model. *Journal of Food Science*, 58(4), 848- 852.
18. 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, 1383-1390.
19. Kashaninejad, M., Mortazavi, A., Safekordi, A., and Tabil, L.G., 2006. Some physical properties of pistachio (*Pistacia vera L.*) nut and its kernel. *Journal of Food Engineering*, 72, 30-38.
20. Luh, B.S., and Mickus, R.R. 1980. Parboiled rice. In: *Rice: production and utilization*. AVI Publishing Co., Inc., West Port, CT, USA.
21. Maskan, M. 2002. Effect of processing on hydration kinetics of three wheat products of the same variety. *Journal of Food Engineering*, 52(4), 337- 341.
22. Miah, M.A, Haque, K., 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 and Technology*, 37(5), 527- 537.
23. Mohsenin, N.N. 1980. *Physical Properties of Plants and Animal Materials*. New York: Gordon and Breach Science Publishers, NW.
24. 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.
25. Rashidi, H. 2000. *Rice By-Products*. Rice Research Institute, Amol, Iran.
26. Singh, B.P.N., and Kulshrestha, S.P. 1987. Kinetics of water sorption by soybean and pigeon pea grains. *Journal of Food Science*, 52(6), 1538- 1541, 1544.
27. Sowbhagya, C. M., Ramesh, B. S., and Ali, S. Z. 1994. Hydration, swelling and solubility behavior of rice in relation of other physicochemical properties. *Journal of Science Food and Agriculture*, 64(1), 1-7.
28. Tajadodialab, K., and Sharafi, N. 1997. Parboiling and its effect on waste decrease and quality promotion of rice. Rice Research Institute, Rasht, Iran
29. 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.
30. Yamamoto, A. 1995. Physicochemical properties of rice steeped in hot or warm water. *Journal of Food Science*, 60(6), 1307-1312.
31. Yeh, A.I., Hsin, W.H., and Shen, J.S. 1992. Moisture diffusion and gelatinization in extruded rice noodles. *Food Extrusion Science and Technology*, 7: 189-199.

## **Study of water absorption and physical properties changes of rice varieties during soaking process**

**\* M. Kashaninejad<sup>1</sup>, D. Chabra<sup>2</sup> and Sh. Rafiee<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Assistant Prof., Dept. of Food Sciences and Technology, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Iran, <sup>2</sup>B.Sc. graduated student Dept. of Food Sciences and Technology, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Iran, <sup>3</sup>Assistant Prof., Dept. of Agricultural Machineries Mechanics, Tehran University, Iran

---

---

### **Abstract**

In this study, water absorption behavior of three varieties of rice (Fajr, Neda and Shafagh) was determined at 25, 30, 40, 50, 60 and 70°C by recording the weight increase in grain with respect to time. Physical properties (dimensions, geometric mean diameter, volume and sphericity), bulk density, kernel density and porosity of rice varieties were also evaluated as a function of soaking temperature in the range of 25–70°C. The results showed that the soaking temperature had great effect on the soaking behavior of rice varieties. We found that the water absorption increased when the soaking temperature increased from 25 to 70°C and the soaking time decreased with increase in soaking temperature. There is rapid water uptake initially, which is followed by a slower rate in the later stages and comes to equilibrium or saturation moisture content. Physical properties (dimensions, geometric mean diameter, volume and sphericity) of rice varieties are soaking temperature dependent and relationships between physical properties and their corresponding soaking temperatures were determined. Bulk density, kernel density and porosity of rice varieties changed non linearly with soaking temperature. The bulk density of rice was found to decrease to less value at soaking temperature of 40°C and increase from there to maximum value at soaking temperature of 70°C. The bulk density of Fajr, Neda and Shafagh varieties changed from 732.6 to 768.4, from 720.4 to 777.9 and from 705.6 to 788 kg/m<sup>3</sup>, respectively. The kernel density of rice was found to increase to maximum value at soaking temperature of 40°C and decrease from there to minimum value at soaking temperature of 70°C. The kernel density of Fajr, Neda and Shafagh varieties changed from 1230.1 to 1245.1, from 1285.1 to 1362.4 and from 1229.7 to 1389.5 kg/m<sup>3</sup>, respectively. Porosity changes of rice varieties followed a similar pattern during soaking process and after increasing at soaking temperature of 40°C, decreased to minimum value at soaking temperature of 70°C. The porosity of Fajr, Neda and Shafagh varieties changed from 43.3 to 56.1, from 42.7 to 51.6 and from 41.4 to 44.0%, respectively.

**Keywords:** Rice; Soaking; Water absorption; Physical properties; Density; Porosity.

---

\* Corresponding Author; Email: kashani@gau.ac.ir@gmail.com