



تأثیر پیش تیمار فراصوت بر ویژگی‌های جذب آب نخود در فرآیند خیساندن

*عباس رنجبری^۱، مهدی کاشانی‌نژاد^۲، مهران اعلمی^۳ و مرتضی خمیری^۲

^۱دانش‌آموخته کارشناسی ارشد گروه علوم و صنایع غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، آدانشیار گروه علوم و صنایع غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، آستادیار گروه علوم و صنایع غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

تاریخ دریافت: ۱۳۸۹/۰۴؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۰/۰۴

چکیده

در این پژوهش تأثیر پیش تیمار فراصوت بر خیساندن نخود مورد مطالعه قرار گرفت. مدل سازی جذب آب دانه‌ها با استفاده از روابط ریاضی انجام گرفت. تأثیر پارامترهای توان فراصوت (۴۰، ۷۰ و ۱۰۰ وات)، زمان در تابش (۳ و ۱۰ دقیقه) و دماهای (۲۵، ۳۰، ۴۰، ۵۰ و ۶۰ درجه سانتی‌گراد) بر فاکتورهای محتوی رطوبتی اولیه و نهایی طی زمان (۱۰ ساعت) مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که پیش تیمار فراصوت به طور مؤثری می‌تواند زمان خیساندن نخود را کاهش دهد. با افزایش توان فراصوت، زمان در معرض قرارگیری فراصوت و دما، مدت زمان خیساندن دانه‌ها تا رسیدن به محتوای رطوبت اشباع نسبت به دانه‌های تحت تیمار قرار نگرفته، کاهش یافت و دارای تفاوت معنی دار بود ($P < 0/05$). مدل پلگ برای توصیف رفتار جذب آب نخود به کار برده شد. با افزایش دما از ۲۵ به ۶۰ درجه سانتی‌گراد ضریب نرخ ثابت k_1 پلگ دارای روند کاهشی از $10^{-3} \times 10/8$ تا $10^{-3} \times 0/99$ (درصد / ساعت) و ضریب نرخ ثابت k_2 پلگ دارای روند افزایشی از $10^{-3} \times 6/33$ تا $10^{-3} \times 9/85$ (درصد /) بود.

واژه‌های کلیدی: فراصوت، خیساندن، مدل پلگ، نخود

* مسئول مکاتبه: abbasranjbari@yahoo.com

مقدمه

نخود (*Phaseolus Volgaris*) به عنوان منبعی مهم و غنی از پروتئین حبوبات محسوب می شود. روش های معمول فرآوری حبوبات شامل تمیز کردن، درجه بندی از نظر اندازه، پوست کنی، لپه کردن، خیساندن و تیمار حرارتی (پخت) می باشد. خیساندن دانه ها بخشی جداناپذیر از عملیات هایی مانند پختن، جوانه زنی و تخمیر می باشد که معمولاً در فرآیند کنسرو کردن حبوبات صورت می پذیرد. خیساندن، فرآیند کندی است که با نفوذ آب به درون دانه کنترل می شود و از این رو خیساندن در محیط، احتمال افزایش فعالیت های میکروبی و اثرات نامطلوب بر رنگ، مزه و بو محصول را به همراه دارد. خیساندن در آب گرم یکی از روش های متداول برای کاهش زمان مرحله خیساندن است، زیرا با افزایش دمای شدت جذب آب نیز افزایش می یابد. البته باید دقت داشت که درجه حرارت خیساندن کمتر از دما ژلاتینه شدن نشاسته باشد، تا شکستن دانه حبوبات و خروج مواد جامد محلول به حداقل برسد [۱]. این فرآیند به طور عمده یک عمل انتشار^۱ به شمار می آید که در اثر نفوذ آب، دانه متورم می شود. آب به داخل دانه آنقدر نفوذ می کند، تا این که فشار بخار آب در داخل دانه از فشار بخار آب جذب شده کمتر شود و هنگامی جریان آب متوقف می شود که شرایط تعادل به وجود آید. خیساندن حبوبات معمولاً برای کاهش زمان پخت و افزایش وزن آب کشی قبل از عملیات پخت و کنسرو کردن ضروری می باشد [۳].

تورهان و همکاران [۲۳] با استفاده از مدل ریاضی پلگ جذب آب نخود را در طی فرآیند خیساندن بررسی نمودند و دریافتند مدل ارائه شده توسط پلگ می تواند سینتیک جذب آب نخود را در طی دماهای مختلف پیش بینی نماید. آن ها جذب آب نخود را در محدوده دماهای ۲۰ تا ۱۰۰ درجه سانتی گراد بررسی نمودند و پی بردند که بهترین رطوبت جذب شده توسط نخود در دمای ۴۰ درجه سانتی گراد خواهد بود. همچنین جذب آب در سویا، لوبیا چشم بلبلی و بادام زمینی در دماهای متفاوتی با استفاده از مدل پلگ توسط سوپاده و اُکپا [۲۱] مورد بررسی قرار گرفت. این پژوهشگران نشان دادند که ضریب k_1 پلگ در دماهای مختلف، گوناگون خواهد بود، این در حالی بود که ضریب k_2 پلگ به نسبت تحت تأثیر نبوده و تغییرات محسوسی نخواهد داشت. ضریب k_2 می تواند به عنوان یک فاکتور در جذب آب محسوب گردد. هرچه مقدار k_2 کمتر باشد، جذب آب بیشتری رخ خواهد داد. میزان جذب آب در لوبیا بیشترین و در بادام زمینی کمترین بود. در پژوهشی دیگر از یلداگرد و

همکاران [۲۵] تأثیرات نیروهای مختلف فراصوت (نیروی وارده ۲۰-۹۰ درصد از ۶۱۰ W)، و در زمان‌های مختلف (۵، ۱۰ و ۱۵ دقیقه) در معرض قرارگیری امواج را روی دانه جو، برای تعیین شرایط بهینه برای تسریع کردن جوانه‌زنی مورد پژوهش و بررسی قرار دادند. نتایج آن‌ها نشان داد که فرایند فراصوت در جذب آب و جوانه‌زنی، مؤثر می‌باشد و مدت زمان جوانه‌زنی را ۳۰-۴۵ درصد کاهش داد. آن‌ها بیان کردند که افزایش درصد جوانه‌زنی با کاهش مدت زمان جوانه‌زنی در دانه‌های تحت تیمار فراصوت قرار گرفته، همراه است و نتیجه عمل فراصوت می‌باشد که منجر به پیشرفت و توسعه فرایند جذب آب هم‌زمان با خرد و متلاشی کردن پوسته می‌شود.

زمان بالای فرآیند خیس‌اندن حبوبات 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 تکنولوژی، استفاده از روش‌های نوین در بهبود کیفیت و کاهش زمان فرایندهای مواد غذایی مورد کاربرد قرار گرفته‌اند. یکی از این روش‌های نوین استفاده از فرآیند فراصوت می‌باشد. امواج فراصوت در فرکانس بیش از ۱۸ کیلوهرتز قرار دارند و در دو محدوده فراصوت با شدت بالا (قوی) در فرکانس ۱۰۰-۱۸ کیلوهرتز، و فراصوت با شدت پایین (ضعیف) در فرکانس ۱۰۰ کیلوهرتز الی ۱۰ مگاهرتز^۱ وجود دارند. در فراصوت قوی توان به‌کار گرفته شده بالا می‌باشد و برای فرآوری مواد غذایی در فرایندهایی مانند هموژنیزه کردن، استریل کردن، حرارت دادن، امولسیفیه کردن، مهار فعالیت آنزیم‌ها و میکروب‌ها، اکسیداسیون و... مورد استفاده می‌باشد. در فراصوت ضعیف که به این تکنیک غیر مخرب^۲ نیز می‌گویند، توان به‌کار رفته پایین می‌باشد و در تشخیص مواد غذایی و آنالیز آن‌ها استفاده می‌شود. امواج فراصوت دارای کاربردهای گوناگون در فرکانس‌های مختلف می‌باشند [۹، ۱۲، ۱۳]. کاربرد فرایند فراصوت در این پژوهش از این جهت اهمیت دارد که با توجه به تأثیری که این امواج بر روی دیواره سلولی و بافت خواهند داشت می‌تواند به‌طور قابل ملاحظه‌ای زمان جذب آب را کاهش دهد و دارای برتری‌هایی مانند صرفه جویی در زمان و هزینه‌ها باشد. اهمیت این پژوهش، یافتن راه‌حلی برای کاهش مدت زمان خیس‌اندن دانه حبوبات است و این کاهش زمان از نقطه نظر صنعتی نیز بسیار مورد توجه می‌باشد. در این پژوهش اثر فرایند فراصوت به‌عنوان یک پیش تیمار برای به‌کارگیری در طول مرحله خیس‌اندن دانه نخود بررسی می‌شود.

1- MHz

2- Non-destructive

مواد و روش‌ها

آماده‌سازی نمونه‌ها: نمونه‌های نخود، (واریته آرمان) از مرکز تحقیقات کشاورزی استان گلستان، شهر گرگان در سال ۸۷-۸۸ تهیه شد. قبل از انجام آزمایش، مواد خارجی و دانه‌های شکسته جدا شده و دانه‌هایی با اندازه یکنواخت تهیه شدند. مقدار رطوبت اولیه با استفاده از آون هوای داغ (WNB 14, Memmert GmbH Co، آلمان) در دمای 103 ± 2 درجه سانتی‌گراد تا رسیدن به وزن ثابت تعیین گردید [۲].

روش اعمال پیش تیمار فراصوت: برای اعمال تیمار فراصوت وجود محیط آبی ضروری می‌باشد. سپس نمونه‌ها در معرض امواج فراصوت با توان‌ها و مدت زمان متفاوت در معرض امواج قرار گرفتند. درجه تنظیم سیکل دستگاه فراصوت دارای پروب، بر روی عدد یک تنظیم شد. ابتدا ۱۰۰ گرم نمونه نخود با استفاده از ترازوی دیجیتال وزن گردید و درون یک بشر حاوی ۲۵۰ میلی‌لیتر آب مقطر ریخته شد و یک سانتی‌متر از نوک پروب دستگاه فراصوت (UP 200 H، آلمان)، مدل (S₁₄) درون آب قرار گرفت. فرکانس و حداکثر توان دستگاه فراصوت مورد استفاده به ترتیب ۲۴ کیلوهرتز و ۶۰۰ وات بر مترمکعب بود. سپس توان دستگاه فراصوت روی توان موردنظر ۴۰، ۷۰ و ۱۰۰ درصد از کل توان دستگاه تنظیم گردید و از زمان روشن کردن دستگاه با زمان‌سنج، به مدت زمان‌های ۳ و ۱۰ دقیقه تحت امواج مافوق صوت قرار گرفتند. بعد از آن دانه‌های نخود را از بشر خارج کرده و بر روی دستمال کاغذی، رطوبت سطحی آن‌ها گرفته شد. اختلاف محتوای رطوبتی دانه‌ها قبل و بعد از پیش تیمار فراصوت اندازه‌گیری شد [۲۵].

فرآیند خیساندن: برای انجام فرآیند خیساندن از نمونه نخودهایی که رطوبت سطحی آن‌ها گرفته شده بود، ۱۵ نمونه ۵ گرمی وزن گردید و هر ۵ گرم درون لیوان‌های کوچکی که حاوی ۵۰ میلی‌لیتر آب مقطر بود ریخته شد و همه نمونه‌ها به‌طور هم‌زمان در داخل حمام آب گرم، در دماهای مختلف آزمایش ۲۵، ۳۰، ۴۰، ۵۰ و ۶۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شد. نمونه‌های ۵ گرمی نخود خیسانده شده در هر دما، ابتدا در پنج ساعت اول هر نیم ساعت و در پنج ساعت دوم هر یک ساعت از داخل حمام آب گرم خارج گردیدند و پس از حذف آب اضافی توسط دستمال کاغذی و با استفاده از یک ترازوی دیجیتال (TE313S, Sartorius، آلمان) با دقت ۰/۰۰۱ گرم توزین شدند. تمامی تیمارها در سه تکرار انجام گرفت. با توجه به اختلاف وزن نمونه‌ها قبل و بعد از خیساندن مقدار آب جذب شده و مقدار رطوبت نمونه‌های لوبیا در حین فرآیند محاسبه گردید.

$$wb(\%) = \frac{(w_2 - w_1)}{w_1} \times 100 \quad \text{رابطه (۱):}$$

W_2 : وزن نمونه بعد از خیساندن

W_1 : وزن نمونه قبل از خیساندن

تجزیه تحلیل آماری داده‌ها و مدل‌سازی ریاضی منحنی جذب آب: تمامی آزمایش‌ها در سه تکرار انجام شده و نتایج به دست آمده با استفاده از روش آنالیز واریانس (ANOVA) تک‌دامنه‌ای در سطح احتمال (P < ۰/۰۵) و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. روابط بین محتوی رطوبت لحظه‌ای دانه‌ها و زمان غوطه‌وری آن‌ها در آب توسط مدل‌های مختلفی بیان می‌شود. معادله پلگ مدل تجربی غیرتوانی مشهوری می‌باشد و تعدادی از پارامترهای آن در سینتیک جذب آب بسیار مهم می‌باشند [۵، ۱۵، ۲۳]. مدل ارائه شده توسط پلگ به شرح زیر بیان می‌شود:

$$M_t = M_0 \pm \frac{t}{k_1 + k_2 t} \quad \text{رابطه (۲):}$$

با بازنویسی این معادله می‌توان آن را به شکل رابطه رگرسیونی خطی زیر تبدیل نمود:

$$\frac{t}{M_t - M_0} = K_1 + K_2 t \quad \text{رابطه (۳):}$$

$M_{(t)}$: مقدار رطوبت لحظه‌ای (در زمان t) پس از غوطه‌وری بر حسب درصد (وزن خشک)

M_0 : مقدار رطوبت اولیه مواد بر حسب درصد (وزن خشک)

t: زمان غوطه‌وری (ساعت)

K_1 : ثابت شدت جذب آب پلگ (درصد / ساعت)

K_2 : ثابت ظرفیت پلگ (درصد / ۱)

با معلوم بودن رطوبت اولیه، رطوبت لحظه‌ای و زمان غوطه‌وری ضرایب مدل پلگ توسط نرم‌افزار EXCEL به دست آمدند.

نتایج و بحث

اثر پیش تیمار فراصوت بر محتوای رطوبتی اولیه: نتایج آنالیز واریانس و مقایسه میانگین‌ها نشان داد که اثرات متقابل فاکتورهای توان و زمان بر محتوی رطوبت اولیه معنی‌دار بود ($P < 0/05$). همچنین، مقایسه میانگین‌ها نشان داد که بین تیمارها با افزایش توان و زمان و نیز بین تیمارهای مختلف و نمونه شاهد در سطح ۵ درصد تفاوت معنی‌دار وجود داشت (جدول ۱). بیش‌ترین میزان محتوی رطوبت اولیه برای نمونه نخود ۳۲/۸۷ درصد بر حسب وزن مرطوب، مربوط به تیمار ۱۰۰ وات ۱۰ دقیقه بود که نسبت به تیمار ۴۰ وات ۳ دقیقه دارای اختلاف ۱۳ درصد بیش‌تری بود.

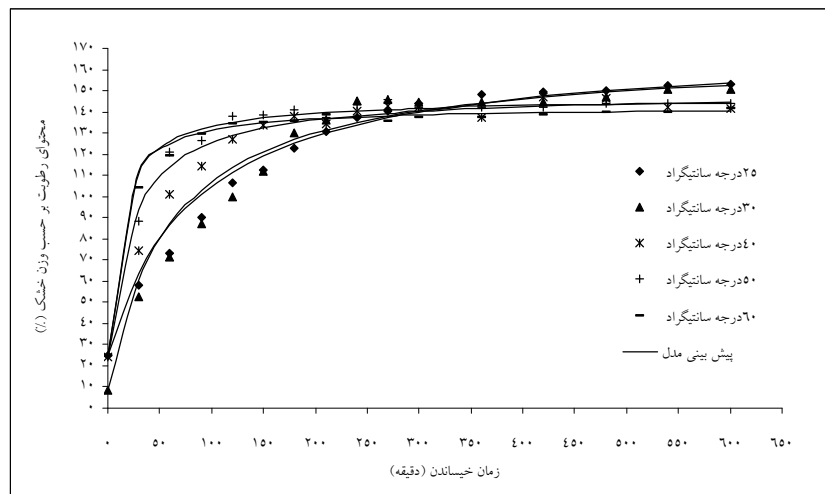
جدول ۱- تاثیر پارامترهای توان فراصوت، زمان تیمار فراصوت بر محتوا رطوبت اولیه.

توان فراصوت	زمان تابش امواج (دقیقه)	محتوای رطوبت بر حسب وزن مرطوب (درصد)
۴۰	۳	۱۹/۷۵±۰/۵۶ ^د
۷۰	۳	۲۳/۲۷±۰/۸۰ ^ز
۱۰۰	۳	۲۳/۵۷±۰/۱۱۶ ^ز
۴۰	۱۰	۲۷/۶۱±۰/۰۷۸ ^ب
۷۰	۱۰	۲۸/۰۹±۰/۸۳۸ ^ب
۱۰۰	۱۰	۳۲/۸۷±۰/۸۳۸ ^ا
شاهد		۷/۷۵±۰/۰۴۶ ^ع

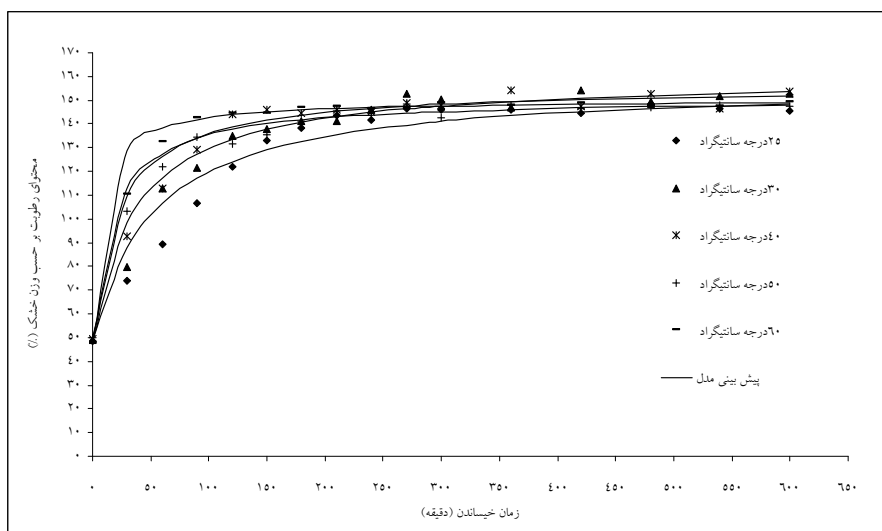
حروف مشابه در هر ستون نشان‌دهنده عدم اختلاف معنی‌داری در سطح ۵ درصد است.

در حقیقت در مرحله پیش‌تیمار نخودها توسط دستگاه فراصوت، تشکیل حباب‌های کائیتاسیونی 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 محتوی رطوبت اولیه افزایش می‌یابد. که این پدیده در تیمارهای با توان بالاتر دارای شدت بیش‌تری می‌باشد [۴]. همچنین امواج فراصوت می‌توانند موجب از هم‌گسیختگی ساختمان مولکول‌های بزرگ گردند که در نتیجه آن جایگاه‌های اتصال آب بیش‌تری تولید خواهد شد. ایجاد پیوندهای هیدروژنی بین مولکول‌های آب و جایگاه‌های اتصال ایجاد شده منجر به افزایش

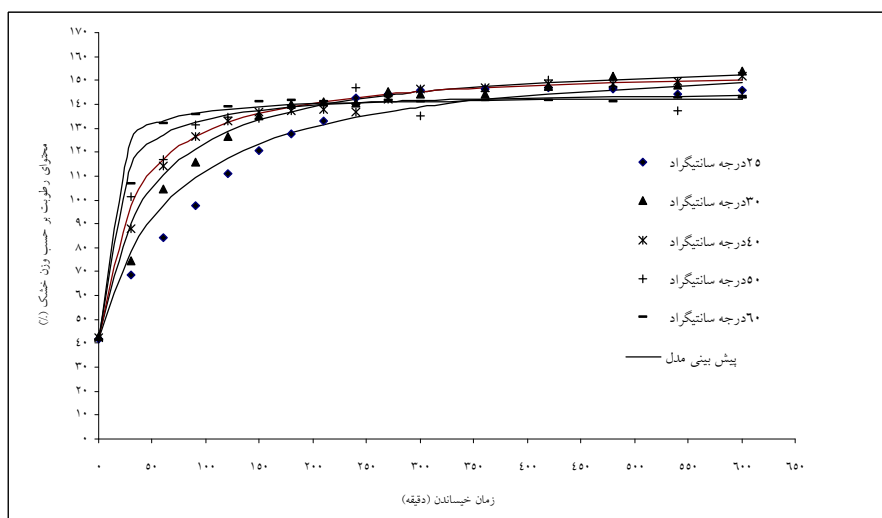
بیشتر جذب آب در نمونه‌های تیمار شده با فراصوت گردد [۱۶ و ۲۳]. پیش‌تیمار فراصوت به‌طور معنی‌داری میزان رطوبت اولیه را افزایش می‌دهد، به‌گونه‌ای که با افزایش توان فراصوت و زمان در معرض قرارگیری امواج این فاکتور افزایش می‌یابد. علاوه بر این، پیش‌تیمار فراصوت نخودها قبل از مرحله خیساندن دارای برتری‌هایی مانند افزایش قابلیت انعطاف‌پذیری و پلاستیسیته روکش (پوشش) دانه‌ها و کاهش تأثیر منفی پوسته سخت بیرونی بر جذب آب در هنگام عملیات خیساندن گردد [۲۵]. سینتیک جذب آب نخود در حین فرآیند خیساندن: اگرچه محتوی رطوبتی اولیه نمونه‌های نخود تحت تیمار فراصوت قرار گرفته متفاوت بود، اما بیش‌تر نمودارها روند مشابهی از جذب آب را نشان می‌دهند (شکل‌های ۱، ۲، ۳). میزان جذب آب دانه‌ها به‌شدت تحت تأثیر دمای خیساندن می‌باشد. با افزایش دمای خیساندن، شدت جذب آب افزایش و زمان جذب آب دانه‌ها کاهش می‌یابد که به‌دلیل افزایش سرعت انتشار می‌باشد. در طی این مرحله آب به آرامی به درون دانه‌های نخود انتشار می‌یابد و سرانجام محتوی رطوبت به‌میزان ثابتی می‌رسد. در خلال ۲۰۰-۵ دقیقه اول غوطه‌وری نخود، اثر فاکتور زمان غوطه‌وری معنی‌دار بوده که خود این اثر نیز وابسته به دمای خیساندن می‌باشد.



شکل ۱- مقایسه منحنی جذب آب براساس داده‌های آزمایشگاهی و مدل پلگ در توان ۴۰ وات و ۳ دقیقه تابش امواج فراصوت توسط دانه‌های نخود.



شکل ۲- مقایسه منحنی جذب آب براساس داده‌های آزمایشگاهی و مدل پلگ در توان ۱۰۰ وات و ۱۰ دقیقه تابش امواج فراصوت توسط دانه‌های نخود.



شکل ۳- مقایسه منحنی جذب آب براساس داده‌های آزمایشگاهی و مدل پلگ در توان ۷۰ وات و ۱۰ دقیقه تابش امواج فراصوت توسط دانه‌های نخود.

به طور کلی شدت جذب آب در ابتدای عملیات سریع و با گذشت زمان کند گشته و میزان خروج مواد جامد محلول نخود نیز افزایش می‌یابد. خروج مواد جامد محلول در مسیر معکوس جذب آب می‌تواند به عنوان عاملی مقاوم در برابر جذب آب باشد [۱]. پژوهش‌گران مختلف نیز روند مشابهی را برای شرایط مشابه گزارش کرده‌اند [۸]. از دلایل دیگر میزان جذب آب، اختلاف محتوی رطوبت در زمان اشباع و در زمان اعمال تیمار خیساندن می‌باشد که این اختلاف، نیروی محرک جذب آب نامیده می‌شود. دلیل این پدیده اختلاف در غلظت مواد جامد و نیروی اسمزی می‌باشد که باعث جذب آب به داخل دانه می‌شود. همزمان با جذب آب، مقداری از مواد جامد دانه نیز به آب خیساندن وارد می‌شود که تحت عنوان میزان اتلاف مواد جامد نامیده می‌شود. عامل این امر نیز پدیده انتشار می‌باشد. با پیشروی فرآیند جذب، محتوی رطوبت افزایش می‌یابد، با پیشرفت زمان نیروی محرک و در نهایت میزان جذب کاهش می‌یابد. وقتی که دانه‌ها به محتوی رطوبت تعادلی^۱ رسیدند فرآیند جذب آب متوقف می‌شود [۱۷].

بررسی نمودارهای جذب آب در دماهای مختلف نشان می‌دهد که با افزایش دما از ۲۵ به ۶۰ درجه سانتی‌گراد شیب نمودار افزایش یافته و در زمان سریع‌تری به رطوبت اشباع خواهد رسید. این افزایش ناشی از تغییرات در مقاومت دانه به انتشار رطوبت می‌باشد. دماهای بالاتر دارای همبستگی نزدیکی با پدیده ژلاتینه شدن نشاسته می‌باشند و منجر به انبساط و نرم شدن دانه خواهند شد، در نتیجه منافذ و شکاف‌های بیش‌تری باز شده و راه‌های انتقال و عبور آب به درون دانه افزایش می‌یابد. نرم شدن دانه در اثر افزایش درجه حرارت خیساندن در مورد دانه سویا [۲۰]، نخود [۶]، لوبیا قرمز [۱]، برنج رقم طارم [۷]، گندم [۱۱] و برای برنج آسیاب نشده و برنج آسیاب شده [۱۴] نیز گزارش شده است. با توجه به موارد فوق کاملاً مشخص است که درجه حرارت بر میزان جذب آب مؤثر است و زمان به تعادل رسیدن محتوای رطوبت نهایی وابسته به دما می‌باشد. بیش‌ترین میزان از جذب آب در سطوح مختلف دمایی دارای تفاوت معنی‌دار نمی‌باشد، اما خیساندن در دماهای بالاتر، شدت جذب آب را افزایش داده و زمان مورد نیاز برای رسیدن به بیش‌ترین محتوی رطوبتی کاهش می‌یابد.

نتایج به‌طور مشخصی نشان می‌دهد که زمان رسیدن محتوی رطوبت تعادلی ۵۶-۵۲ درصد در دانه‌های فراصوت شده (۳ ساعت) در مقایسه با دانه‌های فراصوت نشده (۶ ساعت) در فاصله زمانی ثابت خیلی کم‌تر اتفاق افتاد. نتایج آنالیز واریانس و مقایسه میانگین‌ها نشان داد که اثر فاکتور توان

1- Equilibrium moisture

دستگاه فراصوت، زمان در معرض قرارگیری فراصوت و دماهای مختلف سطوح خیساندن بر میزان محتوا رطوبتی در حین فرآیند خیساندن معنی‌دار بود ($P < 0/05$). مقایسه میانگین‌ها نشان داد که با افزایش توان فراصوت، زمان در معرض قرارگیری فراصوت و دماهای خیساندن بین تیمارهای مختلف و نمونه شاهد، در سطح ۵ درصد تفاوت معنی‌دار وجود خواهد داشت.

مدل‌سازی منحنی جذب آب نخود: داده‌های جذب آب نمونه‌های نخود تحت شرایط آزمایشگاهی با معادله پلگ که یک مدل تجربی می‌باشد برازش مناسبی داشت و این مدل رفتار جذب آب دانه‌ها را به‌طور مناسبی توضیح داد و بنابراین مدل پلگ می‌تواند برای تخمین محتوی رطوبت دانه نخود در شرایط آزمایشی معین، به‌کار برده شود. ثابت میزان جذب آب پلگ (k_1) و ثابت ظرفیت جذب آب پلگ (k_2) و پارامترهای آماری همچون ضریب تعیین (R^2) در تیمارهای مختلف آزمایشی در جدول ۲ آورده شده است. ضریب نرخ ثابت k_1 دارای روند کاهشی از $9/07 \times 10^{-2}$ تا $0/56 \times 10^{-2}$ (درصد / ساعت) با افزایش دما از ۲۵ به ۶۰ درجه سانتی‌گراد بود. ضریب نرخ ثابت k_1 میزان جذب آب را در مراحل اولیه فرایند جذب نشان می‌دهد. کاهش مقدار ضریب k_1 با افزایش دما، افزایش میزان جذب آب در دماهای بالاتر را نشان می‌دهد [۱۵]. این مشاهدات با مطالعات قبلی برای لوبیا، نخودفرنگی و دانه‌های غلات مختلف مطابقت داشت [۲۱، ۶، ۱، ۲۳، ۱۷].

جدول ۲- نتایج آماری برازش داده‌های آزمایشگاهی به مدل پلگ برای دانه نخود.

ضریب تعیین (درصد)	$K_1 \times 10^{-2}$	$K_2 \times 10^{-2}$	دما (درجه سانتی‌گراد)	زمان (دقیقه)	توان فراصوت (وات بر متر مکعب)
۰/۹۸۸	۹/۴۱	۶/۸۱	۲۵	۳	۴۰
۰/۹۹۲	۸/۸۲	۶/۷۲	۲۵	۳	۷۰
۰/۹۹۴	۸/۳۴	۶/۷۴	۲۵	۳	۱۰۰
۰/۹۹۰	۱۰/۸	۷/۸۱	۲۵	۱۰	۴۰
۰/۹۹۳	۹/۷۳	۸/۴۵	۲۵	۱۰	۷۰
۰/۹۹۵	۸/۱۴	۹/۲۳	۲۵	۱۰	۱۰۰
۰/۹۹۰	۸/۴۴	۶/۳۳	۲۵	۰	۰
۰/۹۹۵	۶/۹۵	۷/۴۱	۳۰	۳	۴۰
۰/۹۹۷	۶/۰۱	۷/۴۲	۳۰	۳	۷۰

عباس رنجبری و همکاران

ادامه جدول ۲-

ضریب تعیین (درصد)	$K_1 \times 10^{-3}$	$K_2 \times 10^{-3}$	دما (درجه سانتی گراد)	زمان (دقیقه)	توان فراصوت (وات بر متر مکعب)
۰/۹۹۷	۵/۳۳	۷/۴۴	۳۰	۳	۱۰۰
۰/۹۹۵	۷/۳۳	۸/۳۵	۳۰	۱۰	۴۰
۰/۹۹۷	۶/۳۴	۸/۵۴	۳۰	۱۰	۷۰
۰/۹۹۸	۵/۶۳	۹/۰۲	۳۰	۱۰	۱۰۰
۰/۹۹۵	۶/۴۲	۶/۳۵	۳۰	۰	۰
۰/۹۹۹	۳/۲۳	۸/۰۲	۴۰	۳	۴۰
۰/۹۹۹	۲/۸۵	۷/۹۶	۴۰	۳	۷۰
۰/۹۹۹	۲/۵۴	۸/۲۸	۴۰	۳	۱۰۰
۰/۹۹۹	۳/۸۶	۸/۸۴	۴۰	۱۰	۴۰
۰/۹۹۹	۴/۶۶	۸/۸۱	۴۰	۱۰	۷۰
۰/۹۹۹	۳/۶۹	۹/۴۴	۴۰	۱۰	۱۰۰
۰/۹۹۹	۴/۱۳	۶/۵۴	۴۰	۰	۰
۰/۹۹۹	۱/۷۱	۸/۲۴	۵۰	۳	۴۰
۰/۹۹۹	۲/۰۱	۸/۱۰	۵۰	۳	۷۰
۰/۹۹۹	۱/۹۲	۸/۳۱	۵۰	۳	۱۰۰
۰/۹۹۹	۳/۲۳	۸/۹۲	۵۰	۱۰	۴۰
۰/۹۹۹	۳/۱۲	۹/۶۶	۵۰	۱۰	۷۰
۰/۹۹۹	۳/۰۱	۹/۹۰	۵۰	۱۰	۱۰۰
۰/۹۹۹	۱/۴۲	۷/۴۳	۵۰	۰	۰
۰/۹۹۹	۱/۵۲	۸/۵۶	۶۰	۳	۴۰
۰/۹۹۹	۰/۹۹	۸/۳۷	۶۰	۳	۷۰
۰/۹۹۹	۱/۳۵	۸/۲۴	۶۰	۳	۱۰۰
۰/۹۹۹	۱/۸۵	۹/۶۷	۶۰	۱۰	۴۰
۰/۹۹۹	۱/۱۴	۹/۸۵	۶۰	۱۰	۷۰
۰/۹۹۹	۱/۳۷	۹/۸۳	۶۰	۱۰	۱۰۰
۰/۹۹۹	۱/۶۶	۷/۴۱	۶۰	۰	۰

ضریب نرخ ثابت k_2 با افزایش دما از ۲۵ به ۶۰ درجه سانتی‌گراد، دارای روند افزایشی از $۱۰^{-۳} \times ۶/۳۳$ تا $۱۰^{-۳} \times ۹/۸۵$ بود. کاهش ظرفیت جذب آب با افزایش درجه حرارت، نشان‌دهنده رابطه معکوس ضریب ثابت k_2 پلگ و ظرفیت جذب آب مواد غذایی می‌باشد که با نتایج دیگر پژوهشگران [۲۱] مطابقت داشت. تأثیر درجه حرارت بر ظرفیت جذب آب مواد غذایی به‌خصوص ثابت k_2 بسته به نوع ماده غذایی و خروج مواد جامد محلول در حین فرآیند خیساندن در محاسبه محتوی رطوبت ماده غذایی مطرح می‌باشد [۱، ۱۸ و ۲۳] که می‌تواند به‌دلیل افزایش پلاستیسیته سلول‌های دانه در دماهای بالا باشد. بنابراین دانه‌ها در دماهای بالاتر دارای ظرفیت جذب آب بیشتری می‌باشند. روند مشابهی برای نخود [۱۸ و ۲۳]، سویا [۲۳]، لوبیا قرمز [۱]، دانه گل همیشه بهار [۱۷] و فرآورده‌های گندمی [۱۱] مشاهده شده است.

نتیجه‌گیری

براساس این پژوهش نتایج زیر را می‌توان نتیجه‌گیری نمود:

- ۱- استفاده از امواج فراصوت به‌عنوان پیش تیمار، زمان فرآیند خیساندن را کاهش می‌دهد. همچنین، پیش تیمار فراصوت به‌طور معنی‌داری میزان رطوبت اولیه را افزایش می‌دهد.
- ۲- درجه حرارت عامل مهمی در فرآیند خیساندن می‌باشد، به‌طوری‌که هرچه درجه حرارت خیساندن بیش‌تر باشد، زمان فرآیند خیساندن کوتاه‌تر خواهد شد.
- ۳- بررسی رفتار جذب آب دانه‌ها طی فرآیند خیساندن نشان داد که محتوی رطوبت در مرحله ابتدایی به‌سرعت افزایش یافت. بعد از آن، میزان جذب آب کند و آرام شد تا زمانی‌که به محتوی رطوبت تعادلی یا نقطه اشباع رسید و سرانجام محتوی رطوبت ثابتی رسید.
- ۴- پیش‌بینی محتوی رطوبت جذب شده دانه نخود در طی زمان غوطه‌وری در آب با دماهای مختلف توسط مدل پلگ قابل قبول بودند.
- ۵- ضریب نرخ ثابت k_1 با افزایش دما دارای روند کاهشی و ضریب نرخ ثابت k_2 با افزایش دما، دارای روند افزایشی است.

منابع

1. Abu-Ghannam, N., and McKenna, B. 1997. Hydration kinetics of kidney beans (*Phaseolus vulgaris* L.). *Journal of Food Science*, 62, 520-523.
2. AOAC. 2006. *Official methods of analysis* (18th ed.) Washington, DC: Association of Official Analytical Chemists.
3. Askari aslizade, A. 2005. *Technology of Cereals, Legume, Fruits, Vegetables Postharvelt*. Yvarian Press. First Edition.
4. Breitbach, M., Bathen, D., and Schmidt-Traub, H. 2002. Desorption of a fixedbed adsorber by ultrasound, *Ultrasonics*, 40, 679-682.
5. Cunningham, S.E., Mcminn, W.A., Magee, M., and Richardson, P.S. 2008. Effect of processing conditions on the water absorption and texture kinetics of potato. *Journal of Food Engineering*, 84, 214-223.
6. Hung, T.V., Liu, L.H., Black, R.G., and Trewhella, M.A. 1993. Water absorption in chickpea (*C. Arietinum*) and field pea (p. *Sativum*) cultivars using the Peleg model. *Journal of Food Science*, 58, 848-852.
7. Kashaninejad, M., Maghsoudlou, Y., Rafiee, Sh., 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.
8. Kitamura, Y., Yamada, K., and Yumoto, T. 1990. The initial absorption of water and the manifestation of physiological activities by barley kernels. *Monatsschr. Brauwiss*, 43 (6): 216-220.
9. Leadley, C., and Williams, A. 2002. *Power ultrasound-current and potential applications for Food processing*, Review No 32, Campden and Chorleywood Food Research Association.
10. Malleshi, N.G., and Desikachar, H.S.R. 2004. Studies on comparative malting characteristics of some tropical cereals and millets. *Journal of institute of brewing*, 92, 174-176.
11. 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.
12. Mason, T.J. 1998. Power Ultrasound in Food Processing-The Way Forward, in *Food Processing Handbook*, pp: 215-216. J.G. Brennan, WILEY-VCH Verlag GmbH and Co. KGaA, Weinheim.
13. McClements, J. 1995. Advances in the application of ultrasound in food analysis and processing. *Trends in Food Science Technology*, 6, 293-299.
14. Miah, M.A.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 and Technology*, 37, 527-537.
15. Peleg, M. 1988. An empirical model for the description of moisture sorption curves. *Journal of Food Science*, 53, 1216-1219.

16. Povey, M.J.W., and Mason, T.J. 1998. *Ultrasound in Food Processing*. Blackie Academic and Professional: London.
17. Resio, A.C., Aguerre, R.J., and Constatino, S. 2006. Hydration kinetics of amaranth grain. *Journal of Food engineering*, 72, 247-253.
18. Sayar, S., Turhan, M., and Gunasekaran, S. 2001. Analysis of chickpea soaking by simultaneous water transfer and water-starch reaction. *Journal of Food engineering*, 50, 91-98.
19. Silva, C.A.B., Bates, R.P., and Deng, J.C. 1981. Influence of soaking and cooking upon the softening and eating quality of black beans (*Phaseolus lwlgaris*). *Journal Food Science*, 46, 3716-1725.
20. Singh, B.P.N., and Kulshrestha, S.P. 1987. Kinetics of water sorption by soybean and pigeonpea grains. *Journal of Food Science*, 52, 1538-1541.
21. Sopade, P.A., and Obekpa, J.A. 1990. Modelling water absorption in soybean, cowpea and peanuts at three temperatures using Peleg's equation. *Journal Food Science*, 55, 1084-1087.
22. Suslick, K.S. 1994. The Chemistry of Ultrasound. *Encyclopedia Britannica: Chicago*, pp. 138-155.
23. Toma, M., Vinatoru, M., Paniwnyk, L., and On, T.J. 2001. Investigation of the effects of ultrasound on vegetal tissues during solvent extraction. *Ultrasound. Sonochem*, 8, 137-142.
24. Turhan, M., Sayar, S., and asekaran, S. 2002. Application of Peleg model to study water absorption in chickpea during soaking. *Journal of Food Engineering*, 53, 153-159.
25. Villamiel, M., De Jong, P. 2009, Influence of High-Intensity Ultrasound and Heat Treatment in Continuous Flow on Fat, Proteins, and Native Enzymes of Milk, *Food Processing Handbook*, ed. J.G. Brennan, WILEY-VCH Verlag GmbH and. KGaA, Weinheim.
26. Yaldagard, M., Mortazavi, A., and Tabatabaie F. 2008. Application of Ultrasonic Waves as a Priming Technique for Accelerating and Enhancing the Germination of Barley seed. *Journal of Institute of Brewing*, 114, 14-21.

Effect of ultrasound pretreatment on water absorption characteristic of pea during steeping process

* **A. Ranjbari¹, M. Kashaninejad², M. Alami³ and M. Khomeiri²**

¹M.Sc. Graduated, Dept. of Food Sciences and Technology, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, ²Associate Prof., Dept. of Food Sciences and Technology, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources,

³Assistant Prof., Dept. of Food Sciences and Technology, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

Received: 2010-06; Accepted: 2011-06

Abstract

In this study the influence of ultrasound pre-treatment on water absorption kinetics of chickpea seed was investigated. The chickpea seeds were exposed to ultrasonic irradiation at vibration amplitude setting 40%, 70% and 100% of nominal power for 3 and 10 min at 24 kHz. Water absorption characteristics and moisture content at five different soaking temperatures (25, 30, 40, 50 and 60°C) and various soaking times up to 10 h were studied. The soaking rates of treated samples were compared with untreated seeds. Peleg's model was used to describe the hydration kinetics of chickpea seeds during soaking process at different temperatures by weight gain method. Ultrasound treatment was very effective in water uptake of seeds and was observed that ultrasound pre-treatment could decrease the soaking time by up to 4 h. The Peleg constant K_1 decreased from 10.8×10^{-3} to $0.99 \times 10^{-3} \text{ h } \%^{-1}$ with increasing temperature from 25 to 60°C and constant K_2 increased linearly from $6.72 \times 10^{-3} \%^{-1}$ to $9.9 \times 10^{-3} \%^{-1}$ with increasing the temperature.

Keywords: Ultrasound pre-treatment; Soaking; Peleg model; Chickpea

* Corresponding author Email: abbsranjbari@yahoo.com

