



مدل سازی خشک شدن پسته با استفاده از پیش تیمار امواج فراصوت

ابوالفضل آخوندزاده^۱، هوشنگ محبوب ینگجه^۲، فاروق شریفیان^۳

^۱دانشجوی دکتری مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشگاه ارومیه؛ a.akhoundzadeh@urmia.ac.ir

^۲دانشجوی دکتری مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشگاه ارومیه؛ h.mahboub@urmia.ac.ir

^۳استادیار گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشگاه ارومیه؛ f.sharifian@urmia.ac.ir

چکیده

سنتیک خشک کردن پسته رقم فندقی در دمای ۱۰۵ درجه سلسیوس با اعمال پیش تیمار فراصوت در چهار سطح ۱۰، ۲۰، ۴۰ و ۶۰ دقیقه و خیساندن در آب مقطر به مدت ۱۰، ۲۰، ۴۰ و ۶۰ دقیقه انجام شد. مقدار ضریب نفوذ مؤثر رطوبت با استفاده از قانون دوم فیک، محاسبه و فرآیند خشک کردن به وسیله معادلات ریاضی، مدل سازی گردید. نتایج نشان داد که با افزایش مدت پیش تیمار فراصوت، زمان لازم برای خشک شدن، نرخ خشک شدن و ضریب نفوذ مؤثر افزایش و با افزایش مدت زمان پیش تیمار خیساندن در آب مقطر کاهش می یابند. بهترین مدل ها برای نمونه تحت پیش تیمار فراصوت به مدت ۶۰ دقیقه به ترتیب میدلی، پیچ و پارابولیک با ضریب تبیین ۰/۹۹۶۴۵، ۰/۹۹۴۹۳ و ۰/۹۹۴۱۵، مجذور میانگین مربعات خطا ۰/۰۳۰۱۶/۰۳۲۶۰، ۰/۰۳۶۱۵ و ۰/۰۲۴۷۹۳، ۰/۰۱۲۷۳۳ و ۰/۰۲۲۸۷۴ بودند.

کلمات کلیدی: پسته، خشک کردن، فراصوت، زمان خیساندن، ضریب نفوذ.

modeling of drying pistachio using ultrasound wave pre-treatment

Abolfazl Akhoundzadeh¹, Houshang Mahboub Yangeje², Farogh Sharifian³

¹PhD student of Mechanical Engineering of Biosystem, Urmia University, a.akhoundzadeh@urmia.ac.ir

²PhD student of Mechanical Engineering of Biosystem, Urmia University, h.mahboub@urmia.ac.ir

³Assistant Professor, Department of Mechanical Engineering of Biosystem, Urmia university, f.sharifian@urmia.ac.ir

ABSTRACT

pistachio (Fandoghi variety) drying kinetics was performed at 105 °C with ultrasound pre-treatment at 10, 20, 40 and 60 minutes, and soaking in distilled water for 10, 20, 40 and 60 minutes. The effective diffusivity coefficient of moisture was calculated using the Fick's second law. The drying process was modeled by mathematical equations. The results showed that by increasing the pre-treatment time, the time required for drying, drying rate and effective diffusivity coefficient increased and with increasing the pre-treatment in distilled water time was reduced. The best models for pre-treatment ultrasound samples for 60 minutes Respectively Midlli, Page and Parabolic, coefficient of determination (R^2), 0.99645, 0.99493 and 0.99415, root mean square error (RMSE), 0.03260, 0.03016 and 0.03615 and reduced chi-square (χ^2), 0.0024793, 0.0012733 and 0.0022874.

Keywords: Pistachio, Drying, Ultrasound, Soaking time, Diffusivity Coefficient.



پسته یکی از تولیدات مهم کشورهای ایران، آمریکا، ترکیه و سوریه می‌باشد. آخرین آمار سازمان خواروبار جهانی (FAO) نشان می‌دهد. ایران در سال ۲۰۱۶ در حدود ۳۱۵۱۵۱ تن پسته تولید کرده است (FAO., 2016). یکی از مهم‌ترین مراحل پس از برداشت و فرآوری پسته، فرآیند خشک کردن آن است (Zomorodian., 2008). خشک کردن محصولات کشاورزی همواره یکی از قدیمی‌ترین و بهترین روش‌های ذخیره مواد غذایی بوده است (Yaldiz et al., 2001). افزایش تقاضای مصرف‌کنندگان باعث توسعه و بهبود فناوری‌های نگهداری غذا شده است. از دیدگاه صنعتی، خشک کردن گسترده‌ترین روش برای نگهداری مواد غذایی است. از آنجایی که فرآیندهای خشک کردن مکانیسم متمرکز بر انرژی دارند، با بهینه‌سازی فرآیند می‌توانیم کاهش هزینه داشته باشیم (Fernandes et al., 2008). نیاز فراوان به تولید محصولات باکیفیت بالا منجر به ترکیب روش‌های خشک کردن قدیمی با منابع انرژی غیرحرارتی شده است. در این میان انرژی فراصوت به دلیل قابلیت انجام در دمای محیط و حفظ خصوصیات اصلی و کیفیت محصولات بسیار توصیه شده است (Simal et al., 1998). بیشترین خصوصیات مربوط به فراصوت مربوط به خاصیت کاویتاسیون آن است. امواج فراصوت در اثر پدیده کاویتاسیون باعث ایجاد یک سری انقباض و انبساط‌های سریع در ماده می‌شود که شبیه فشردن و رها کردن یک اسفنج است. تأثیر اسفنجی باعث خروج آب از ماتریکس جامد و از طرف دیگر سبب ایجاد میکرو کانال‌هایی جهت سهولت انتقال جرم طی خشک کردن توسط هوای داغ می‌گردد (Fernandes et al., 2008). امواج فراصوت ضمن تشکیل لوله‌های مویین برای خروج آب از محصول و کاهش میزان پخش آب و خروج آن از لایه‌های سطحی تا حدودی باعث تغییر شکل مواد جامد متخلخل نظیر انواع میوه‌ها می‌گردد (Blanco et al., 2006). کاربرد امواج فراصوت در صنایع غذایی در دهه‌های اخیر رواج پیدا نموده است اما بیشتر مطالعات بر میزان تأثیر این امواج در خشک کردن به روش اسمز بوده و تعداد کمی مطالعه موردی درباره تأثیر روش فوق به‌طور مستقیم در فرآیند خشک کردن انجام گرفته است (Cárcel et al., 2007). در روش استفاده از امواج فراصوت به‌عنوان یک پیش مرحله قبل از فرآیند اصلی خشک کردن، محصول و یا برش‌های آن در آب قرار گرفته تا امکان موج دهی به وجود آید. مهم‌ترین مزیت این روش در کاربرد آن در دمای معمولی و آسیب نرساندن به بافت محصول می‌باشد (Mason., 1988). مدل‌های شبیه‌سازی، نقش مهمی در خشک کردن و بهبود آن ایفا می‌نمایند (Burin & Luyben., 1980). باید فرآیند خشک کردن محصولات مختلف کشاورزی را مدل‌سازی نمود تا بتوان بر اساس الگوی به‌دست آمده از مدل، روند خشک کردن محصول را پیش‌بینی نمود. هدف از ارائه مدل خشک کردن محصولات کشاورزی، پیش‌بینی نحوه خشک کردن محصولات می‌باشد (Akanbi & Oludemi., 2004). آزوبل و همکاران به مطالعه سینیتیک خشک شدن میوه موز به کمک امواج فراصوت با فرکانس ۲۵ کیلوهرتز و توان ۴۸۷۰ وات بر مترمربع در سه سطح زمانی ۱۰، ۲۰ و ۳۰ دقیقه پرداختند. نتایج تحقیقات آن‌ها نشان داد که افزایش زمان اعمال فراصوت سبب افزایش قابلیت انتشار رطوبت شده است (Azoubel et al., 2010). کوالسکی و پاولوفسکی تشدید خشک کردن سیب با توجه به افزایش امواج فراصوت را بررسی کردند. نتایج حاصل نشان داد که امواج فراصوت تأثیر مثبتی بر روی خشک شدن همرفتی و سنتیک خشک شدن داشته و زمان خشک شدن از ۲۳۵ دقیقه برای خشک شدن همرفتی به ۱۶۰ دقیقه برای خشک کردن به کمک امواج فراصوت همرفتی کاهش یافت (Kowalski & Pawlowski., 2015). کوررا و همکاران تأثیر استفاده از پیش تیمار فراصوت در آب مقطر و خشک کردن همرفتی را بررسی کردند. خشک کردن با و بدون فراصوت شدن با استفاده از شبیه‌سازی سنتیک مدل انتشار؛ انجام شد. نتایج نشان داد که پیش تیمار، استفاده از دمای خشک کردن بالا و استفاده از فراصوت در طول خشک شدن به روند خشک شدن شتاب می‌دهد و خشک شدن در دماهای بالاتر با استفاده از امواج فراصوت سریع‌تر می‌باشد (Corrêa et al., 2016).

۲- مواد و روش‌ها

آماده‌سازی نمونه

پسته رقم فندقی به‌عنوان نمونه مورد آزمایش انتخاب شده است. پسته تر پس از تهیه به‌صورت کاملاً دستی پوست‌گیری و کاملاً تمیز و مواد زائد آن جدا شد. برای تعیین رطوبت اولیه پسته، سه نمونه ۲۰ گرمی در آون در دمای 103 ± 2 درجه سلسیوس به مدت ۲۴ ساعت قرار داده شد



یازدهمین کنگره ملی مهندسی مکانیک بیوسیستم و مکانیزاسیون ایران



و بعد از بیرون آوردن نمونه، بلافاصله نمونه‌ها را وزن کرده و وزن ثانویه آن‌ها به دست آمد و رطوبت اولیه مغز پسته بر مبنای وزن خشک محاسبه گردید (Kashaninejad & Tabil., 2009).

پیش تیمار فراصوت

برای اعمال تیمار فراصوت بر روی نمونه‌ها از یک دستگاه حمام فراصوت مدل Parsonic 2600S با فرکانس ۲۸ کیلوهرتز و توان ۷۰ وات استفاده شد. مخزن دستگاه با دو لیتر آب مقطر پر شد، سپس پس از رسیدن دمای آب مقطر به ۳۰ درجه سلسیوس ۵۰ گرم از نمونه‌ها در داخل حمام قرار گرفت. تیمار فراصوت و خیساندن در آب مقطر در پنج تکرار و چهار زمان ۱۰، ۲۰، ۴۰ و ۶۰ دقیقه بر روی نمونه‌ها اعمال گردید. وزن نمونه‌ها با یک ترازوی دیجیتالی مدل AND-GF- 6100، اندازه‌گیری شد، سپس نمونه در درون آون مدل Memmert UNE500 با دمای ۱۰۵ درجه سلسیوس قرار گرفتند. در طول فرایند خشک شدن وزن نمونه‌ها هر ۱۰ دقیقه تا رسیدن به وزن ثابت اندازه‌گیری شد و میزان کاهش متوسط وزن محاسبه گردید.

مدل‌سازی ریاضی منحنی‌های خشک‌کردن

نسبت رطوبت و آهنگ خشک‌کردن پیسته با استفاده از معادله (۱) و (۲) محاسبه گردید (Doymaz., 2012).

$$MR = \frac{m_e - m_t}{m_0 - m_t} \quad (1)$$

$$DR = \frac{M_{t+dt} - M_t}{\Delta t} \quad (2)$$

m_t مقدار رطوبت در زمان t ، m_0 مقدار رطوبت اولیه، m_e مقدار رطوبت تعادلی، M_t مقدار رطوبت در لحظه t ، M_{t+dt} مقدار رطوبت در زمان $t+dt$ و Δt فاصله زمانی بین دو رطوبت متوالی بر حسب دقیقه می‌باشد.

مدل‌های مورد استفاده به منظور مدل‌سازی ریاضی در جدول (۱) نشان داده شده است. مدل‌های رگرسیونی تغییرات رطوبت در طی خشک‌کردن جهت به دست آوردن مقادیر ضرایب ثابت این مدل‌های توصیفی $(k \cdot n + c \cdot b \cdot a)$ با استفاده از داده‌های آزمایشگاهی مربوط به سینتیک خشک‌کردن پیسته به کمک ابزار برازش منحنی در نرم‌افزار StatGraphics Plus v5 برآورد گردید. در این تحقیق برای انتخاب مناسب‌ترین مدل توصیف‌کننده سینتیک خشک‌کردن پیسته، ضریب همبستگی، R^2 ریشه‌ی میانگین مربعات خطا، RMSE و کای اسکور χ^2 مابین داده‌های تجربی و نتایج پیش‌بینی شده توسط هر مدل، محاسبه و با مدل‌های دیگر، مورد مقایسه قرار گرفت. این معیارها توسط معادلات (۳) و (۴) زیر محاسبه شدند (Doymaz., 2012).

$$\chi^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (MR_{exp,i} - MR_{pre,i})^2}{N - Z} \quad (3)$$

$$RMSE = \left[\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (MR_{pre,i} - MR_{exp,i})^2 \right]^{1/2} \quad (4)$$

در این معادلات، $MR_{exp,i}$ رطوبت پیسته‌ها مشاهده شده در i امین اندازه‌گیری، $MR_{pre,i}$ رطوبت پیسته‌ها پیش‌بینی شده از مدل در i امین اندازه‌گیری، N تعداد مشاهدات (داده‌ها) و Z تعداد ضرایب ثابت به کار رفته در هر مدل می‌باشد. برای سنجش بهترین مدل جهت پیش‌بینی نحوه‌ی خشک شدن پیسته هر سه معیار $RMSE$ ، R^2 و χ^2 مورد ارزیابی قرار گرفت. در نهایت، مدل مناسب خشک‌کردن با حداکثر همبستگی R^2 و حداقل χ^2 و $RMSE$ به عنوان مدل مناسب برای توصیف سینتیک خشک‌کردن پیسته انتخاب شد (Doymaz., 2012).



جدول ۱- مدل‌های ریاضی اعمال شده به منحنی خشک کردن.

Table 1. Mathematical models applied to the drying curves.

model name	model	Reference
Lewis	$MR = \exp(-kt)$	Roberts et al. (2008)
Page	$MR = \exp(-kt^n)$	Ojediran and Raji (2010)
Henderson and Pabis	$MR = a \exp(-kt)$	Erbay and Icier (2010)
Logarithmic	$MR = a \exp(-kt) + c$	Wang et al. (2007)
Midilli et al	$MR = a \exp(-kt^n) + bt$	Al-Muhtasab et al. (2010)
Parabolic	$MR = a + bt + ct^2$	Sharma and Prasad (2004)
Two-term	$MR = a \exp(-k_0t) + b \exp(-k_1t)$	Zielinska and Markowski (2010)
Two-term exponential	$MR = a \exp(-kt) + (1 - a) \exp(-kat)$	Sharaf-Eldeen et al. (1980)
Diffusion approximation	$MR = a \exp(-kt) + (1 - a) \exp(-kbt)$	Artnaseaw et al. (2010)

ضریب انتشار

انتشار مؤثر یک ویژگی مهم در مدل‌سازی فرآیند خشک کردن مواد غذایی و دیگر مواد است که تابع درجه حرارت و رطوبت مواد می‌باشد. معادله‌ی انتشاری قانون دوم فیک بر انتشار جرم در طی دوره‌ی سرعت نزولی خشک کردن محصولات کشاورزی دلالت دارد. برای به کار بردن قانون فیک فرض می‌گردد که فرآورده‌ی غذایی تک‌بعدی است، رطوبت اولیه‌ی یکنواختی دارد و دارای حرکت درونی رطوبت به‌مانند مقاومت اصلی در برابر انتقال رطوبت است. دانه‌های پسته کروی بوده و شعاع میانگین آن‌ها اندازه‌گیری شد. دلیل به‌کارگیری فرض کروی پسته داده‌های پیرسون و همکاران است (Pearson & Studer., 1994). مقادیر میانگین نیم قطر بزرگ (a) نیم قطر متوسط (b) و نیم قطر کوچک (c) برای پسته را به ترتیب ۹/۹۲۵، ۷/۵۳ و ۶/۷۵ میلی‌متر می‌باشد. با توجه به فرمول محسین ضریب رطوبت طبق رابطه زیر محاسبه گردید (Mohsenin., 1986).

$$\Phi = \frac{(abc)^{\frac{1}{3}}}{a} = \frac{(8.895 \times 5.345 \times 6.505)^{\frac{1}{3}}}{8.895} = 0.76027 \quad (5)$$

پس از محاسبه شعاع هندسی، ضریب نفوذ مؤثر رطوبت از حل معادله فیک برای اجسام کروی با استفاده از معادله‌های (6)، (7) و (8) به دست آمد (Doymaz., 2012).

$$MR = \frac{6}{\pi^2} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n^2} \exp\left(-n^2 \pi^2 \frac{D_{eff} t}{r^2}\right) \quad (6)$$

$$\ln(MR) = \ln\left(\frac{6}{\pi^2}\right) - \left(\frac{\pi^2 D_{eff} t}{r^2}\right) \quad (7)$$

$$k = \frac{\pi^2 D_{eff}}{r^2} \quad (8)$$

MR میزان رطوبت پسته بر مبنای خشک، r شعاع دانه پسته و D_{eff} ضریب نفوذ مؤثر می‌باشد.

شکل (۱) سینیتیک خشک شدن پسته بر مبنای خشک را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌گردد، مدت زمان خشک شدن با افزایش مدت‌زمان پیش تیمار فراصوت کاهش می‌یابد. افزایش زمان پیش تیمار باعث ایجاد میکرو کانال‌های بیشتر در بافت پسته شده و رطوبت میان بافتی با آهنگ و سرعت بیشتری در زمان کمتری تبخیر شود. شکل (۲) نشان‌دهنده تأثیر پیش تیمارها بر نرخ خشک شدن پسته می‌باشد. افزایش مدت‌زمان پیش تیمار فراصوت به علت کمک به خروج رطوبت محتوی پسته باعث افزایش نرخ خشک شدن پسته گردید.

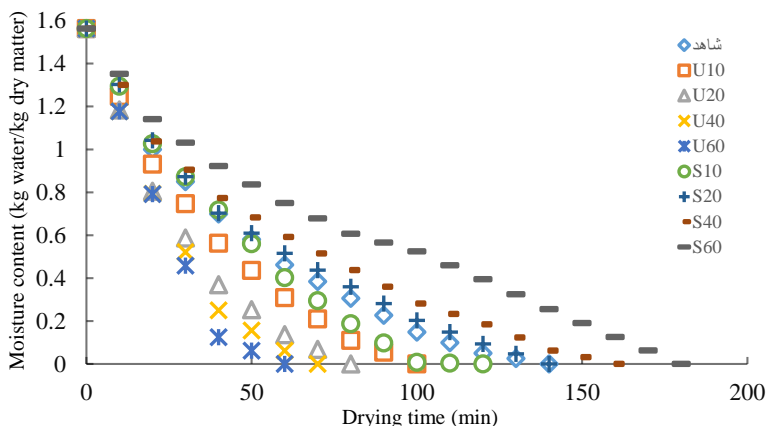


Fig 1. Drying curves of pistachio at different ultrasound pre-treatments.

شکل ۱- منحنی خشک کردن پسته در پیش تیمارهای مختلف فراصوت.

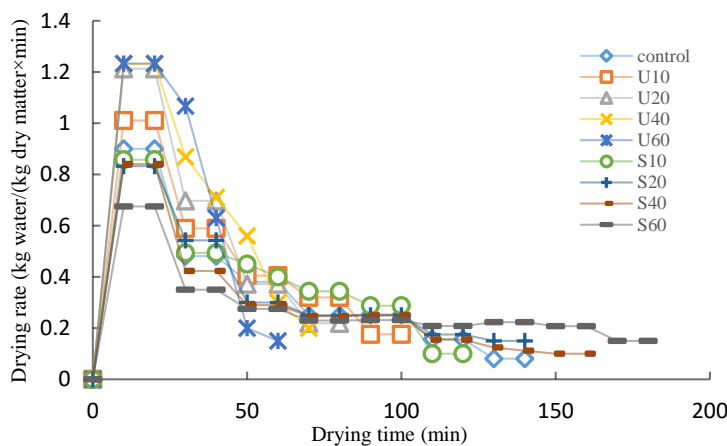


Fig2. Drying rate curves of pistachio at different ultrasound pre-treatments.

شکل ۲- منحنی نرخ خشک کردن پسته در پیش تیمارهای مختلف فراصوت.

تجزیه و تحلیل رگرسیون غیرخطی بر اساس نه مدل خشک کردن برای نمونه پیش تیمار شده با فراصوت به مدت ۶۰ دقیقه انجام شد جدول (۱). بهترین مدل‌های ریاضی برازش شده با داده‌های تجربی بر اساس حداکثر R^2 و حداقل χ^2 و RMSE انتخاب شدند. تجزیه و تحلیل آماری انجام شده بر روی مدل‌های خشک کردن در جدول (۲) خلاصه شده است. برای خشک کردن پسته، مدل‌های میدلی و همکاران، پیچ و پارابولیک به‌عنوان بهترین مدل‌ها انتخاب گردیدند.



یازدهمین کنگره ملی مهندسی مکانیک بیوسیستم و مکانیزاسیون ایران



شکل (۳) داده‌های تجربی را با داده‌های پیش‌بینی شده در سه مدل انتخابی مقایسه می‌کند. محتوای رطوبت پیش‌بینی شده با استفاده از مدل‌ها و مقادیر محتوای رطوبت تجربی در امتداد یک خط مستقیم می‌باشند، که نشان‌دهنده مناسب بودن این مدل‌ها در توصیف ویژگی‌های خشک شدن پسته می‌باشد.

جدول ۲- مقادیر آماری تحلیل مدل خشک شدن برای خشک کردن پسته.

Table2. Statistical values of drying model analysis for drying of pistachio.

model	Model constants and coefficients	R ²	χ^2	RMSE
Lewis	k=0.04292	0.95619	0.0076444	0.08095
Page	k=0.00650 n=1.56953	0.99493	0.0012733	0.03016
Henderson and Pabis	k=0.04508 a=1.05877	0.96102	0.0097955	0.08365
Logarithmic	k=0.02590 a=1.35115 c=-0.32590	0.98908	0.0042860	0.04949
Midilli et al	k=0.00794 a=0.99340 b=-0.00072 n=1.48239	0.99645	0.0024793	0.03260
Parabolic	a=1.02494 b=-0.03209 c=0.00025	0.99415	0.0022874	0.03615
Two-term	a=1.53698 b=-0.51096 k0=0.02414 k1=0.00414	0.98946	0.0073588	0.05616
Two-term exponential	k=0.06724 a=2.04514	0.99000	0.0025121	0.04236
Diffusion approximation	k=0.01472 a=17.64180 b=0.92791	0.98912	0.0042703	0.04940

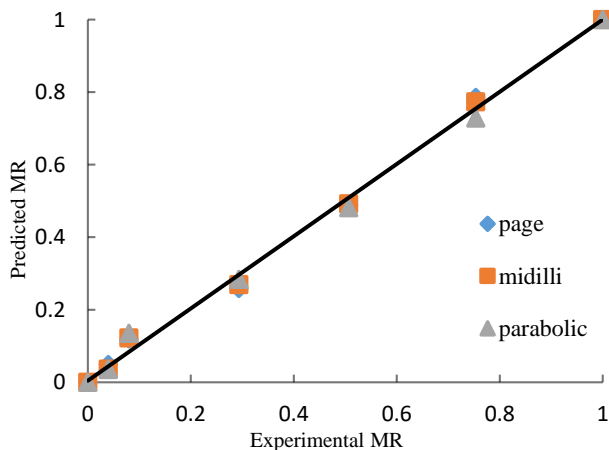


Fig3. Comparison of experimental and predicted moisture ratio values using Page, Midilli and Parabolic models

شکل ۳- مقایسه مقادیر رطوبت تجربی و پیش‌بینی شده با استفاده از مدل‌های پیچ، میدلی و پارابولیک.



مقادیر تعیین شده از ضریب نفوذ مؤثر در شکل (۴) نشان داده شده است. همان طور که انتظار می‌رود انتشار رطوبت مؤثر با افزایش مدت زمان پیش تیمار فراصوت، افزایش می‌یابد. نمونه پیش تیمار فراصوت و خیساندن در آب مقطر به مدت ۶۰ دقیقه به ترتیب با $9/746 \times 10^{-7}$ و $2/464 \times 10^{-8}$ مترمربع بر ثانیه دارای بیشترین و کمترین ضریب مؤثر رطوبت بودند.

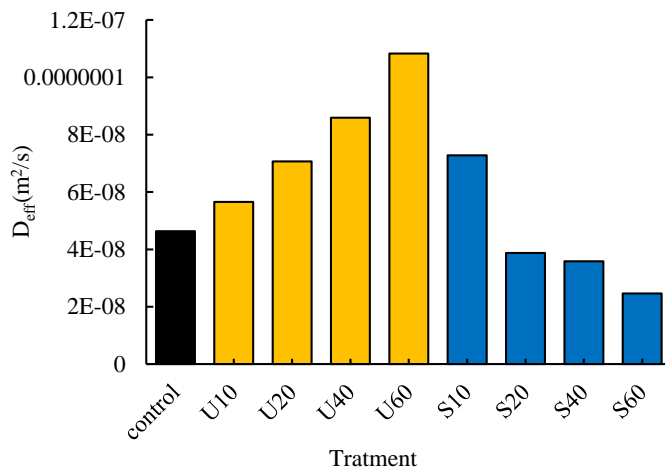


Fig4. Variation of effective moisture diffusivity for pistachios in different ultrasound pretreatments.

جدول ۴- اختلاف انتشار رطوبت مؤثر برای پسته در پیش تیمارهای متفاوت فراصوت.

۴- نتیجه‌گیری

در این تحقیق، تأثیر تیمار فراصوت روی ویژگی‌های خشک‌کردن پسته، مورد بررسی قرار گرفت. افزایش زمان تیمار، سبب کاهش زمان خشک‌کردن و بالا رفتن آهنگ خشک‌کردن و انتشار مؤثر گردید به گونه‌ای که پسته تیمار شده به مدت ۶۰ دقیقه دارای کم‌ترین زمان خشک‌کردن بود. بعد از آنالیز آماری مدل، نتایج، نشان داد که در بین مدل‌های دینامیکی مورد برازش، مدل‌های میدلی، پیچ و پارابولیک به دلیل داشتن حداکثر R^2 و حداقل χ^2 و RMSE به عنوان بهترین مدل برای خشک‌کردن پسته‌های تیمار شده با فراصوت انتخاب گردید. انتشار رطوبت مؤثر برای پسته‌های تیمار شده با فراصوت و خیساندن در آب مقطر به مدت ۶۰-۱۰ دقیقه در دامنه‌ی $9/746 \times 10^{-7}$ - $2/464 \times 10^{-8}$ مترمربع بر ثانیه ارزیابی گردید.

۵- مراجع

- 1- Akanbi, C. T., & Oludemi, F. O. (2004). Effect of processing and packaging on the lycopene content of tomato products. *International Journal of Food Properties*, 7(1), 139-152.
- 2- Ala'a, H., Al-Harashseh, M., Hararah, M., & Magee, T. R. A. (2010). Drying characteristics and quality change of unutilized-protein rich-tomato pomace with and without osmotic pre-treatment. *Industrial Crops and Products*, 31(1), 171-177.
- 3- Artnaseaw, A., Theerakulpisut, S., & Benjapiyaporn, C. (2010). Development of a vacuum heat pump dryer for drying chilli. *Biosystems engineering*, 105(1), 130-138.
- 4- Azoubel, P. M., Baima, M. D. A. M., da Rocha Amorim, M., & Oliveira, S. S. B. (2010). Effect of ultrasound on banana cv Pacovan drying kinetics. *Journal of Food Engineering*, 97(2), 194-198.
- 5- Bruin, S. and Luyben, K. 1980. Drying of food materials, Ch. 6 in *Advances in Drying*, A. S. Mujumdar, (ed.) Hemisphere Publishing Co., New York, NY pp155-215. (McGraw-Hill Co, US).
- 6- Cárcel, J. A., Benedito, J., Rosselló, C., & Mulet, A. (2007). Influence of ultrasound intensity on mass transfer in apple immersed in a sucrose solution. *Journal of food engineering*, 78(2), 472-479.
- 7- Corrêa, J. L. G., Rasia, M. C., Garcia-Perez, J. V., Mulet, A., de Jesus Junqueira, J. R., & Cárcel, J. A. (2016). Use of ultrasound in the distilled water pretreatment and convective drying of pineapple. In *Drying and energy technologies* (pp. 71-87). Springer, Cham.



- 8- De la Fuente-Blanco, S., De Sarabia, E. R. F., Acosta-Aparicio, V. M., Blanco-Blanco, A., & Gallego-Juárez, J. A. (2006). Food drying process by power ultrasound. *Ultrasonics*, 44, e523-e527.
- 9- Doymaz, İ. (2012). Drying of pomegranate seeds using infrared radiation. *Food Science and Biotechnology*, 21(5), 1269-1275.
- 10- Erbay, Z., & Icier, F. (2010). Thin-layer drying behaviors of olive leaves (*Olea europaea* L.). *Journal of Food Process Engineering*, 33(2), 287-308.
- 11- F. A. O., (2016) "Statistics". Available at: www.FAO.org.
- 12- Fernandes, F. A., Gallão, M. I., & Rodrigues, S. (2008). Effect of osmotic dehydration and ultrasound pre-treatment on cell structure: melon dehydration. *LWT-Food Science and Technology*, 41(4), 604-610.
- 13- Fernandes, F. A., Gallão, M. I., & Rodrigues, S. (2008). Effect of osmotic dehydration and ultrasound pre-treatment on cell structure: melon dehydration. *LWT-Food Science and Technology*, 41(4), 604-610.
- 14- Kashaninejad, M., & Tabil, L. G. (2009). Resistance of bulk pistachio nuts (Ohadi variety) to airflow. *Journal of Food Engineering*, 90(1), 104-109.
- 15- Kowalski, S. J., & Pawłowski, A. (2015). Intensification of apple drying due to ultrasound enhancement. *Journal of Food Engineering*, 156, 1-9.
- 16- Mason, T. J. 1988. Power ultrasound in food processing – the way forward. In M. J.W. Povey & T. J. Mason (Eds.), *Ultrasounds in food processing* (pp. 104-124). Glasgow: Blackie Academic and Professional.
- 17- Mohsenin, N. N. (1970). Physical properties of plant and animal materials. Vol. 1. Structure, physical characteristics and mechanical properties. *Physical properties of plant and animal materials*. Vol. 1. Structure, physical characteristics and mechanical properties., 1.
- 18- Ojediran, J. O., & Raji, A. O. (2010). Thin layer drying of millet and effect of temperature on drying characteristics. *International Food Research Journal*, 17(4).
- 19- Pearson, T. C., Slaughter, D. C., & Studer, H. E. (1994). Physical properties of pistachio nuts. *Transactions of the ASAE*, 37(3), 913-918.
- 20- Roberts, J. S., Kidd, D. R., & Padilla-Zakour, O. (2008). Drying kinetics of grape seeds. *Journal of Food Engineering*, 89(4), 460-465.
- 21- Sharaf-Eldeen O, Blaisdell YI, Spagna G. (1980). A model for ear corn drying. *Trans. ASAE* 23: 1261-1271.
- 22- Sharma, G. P., & Prasad, S. (2004). Effective moisture diffusivity of garlic cloves undergoing microwave-convective drying. *Journal of Food Engineering*, 65(4), 609-617.
- 23- Simal, S., Benedito, J., Sánchez, E. S., & Rosselló, C. (1998). Use of ultrasound to increase mass transport rates during osmotic dehydration. *Journal of Food Engineering*, 36(3), 323-336.
- 24- Wang, Z., Sun, J., Liao, X., Chen, F., Zhao, G., Wu, J., & Hu, X. (2007). Mathematical modeling on hot air drying of thin layer apple pomace. *Food Research International*, 40(1), 39-46.
- 25- Yaldiz, O., Ertekin, C., & Uzun, H. I. (2001). Mathematical modeling of thin layer solar drying of sultana grapes. *Energy*, 26(5), 457-465.
- 26- Zielinska, M., & Markowski, M. (2010). Air drying characteristics and moisture diffusivity of carrots. *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification*, 49(2), 212-218.
- 27- Zomorodian, A. (2008). *Drying of Seeds (Theory and Practical Principles)*. Second Press. Author: Pabis. Agricultural Sciences Publications. Tehran. 444 Pages.