

## تأثیر پیش تیمار فراصوت بر ویژگی‌های کیفی ورقه‌های نازک هلو (رقم آلبرتا)

ابوالفضل آخوندزاده یامچی<sup>۱</sup>، رضا یگانه<sup>۲\*</sup> و احمد کوچک‌زاده<sup>۳</sup>

### چکیده

هلو یکی از مهم‌ترین محصولات باغی ایران است که دارای ضایعات پس از برداشت زیادی می‌باشد. یکی از راه‌های کاهش ضایعات پس از برداشت فرآوری محصول است. استفاده از امواج فراصوت به‌عنوان پیش تیمار نوین در خشک کردن مواد غذایی چندین سال است که مورد توجه قرار گرفته است. هدف از این تحقیق بررسی تأثیر پیش تیمار فراصوت با توان بالا بر روند خشک شدن برگه‌های هلو و کیفیت آن می‌باشد. به این منظور تأثیر امواج فراصوت با توان ۷۰ وات و بسامد ۲۸ کیلوهرتز و خیساندن در آب مقطر در سه سطح ۱۰، ۲۰، و ۶۰ دقیقه با دو دمای ۶۵ و ۱۰۵ درجه سلسیوس انجام شد. نتایج نشان داد، استفاده از امواج فراصوت به‌عنوان یک پیش تیمار قبل از خشک کردن، زمان خشک شدن را کاهش می‌دهد. علاوه بر این باعث کاهش نیروی لازم برای برش و لهیدگی نمونه‌ها گشته و اثر منفی بر رنگ نمونه‌ها نداشته است. بنابراین با نتایج به دست آمده می‌توان استنباط کرد که استفاده از امواج فراصوت در خشک کردن برگه‌های هلو، کاهش هزینه، کاهش مصرف انرژی و افزایش کیفیت را به دنبال خواهد داشت.

**واژه‌های کلیدی:** برش، خشک کردن، رنگ، فراصوت، فشار، هلو.

ارجاع: آخوندزاده یامچی ا. یگانه ر. و کوچک‌زاده ا. ۱۳۹۸. تأثیر پیش تیمار فراصوت بر ویژگی‌های کیفی ورقه‌های نازک هلو (رقم آلبرتا). نشریه پژوهش‌های مکانیک ماشین‌های کشاورزی. ۸ (۱): ۳۷-۴۷.

۱- دانشجوی دکتری گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه.

۲- استادیار گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ایلام.

۳- استادیار گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ایلام.

\* نویسنده مسئول: [r.yeganeh@ilam.ac.ir](mailto:r.yeganeh@ilam.ac.ir)

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۳/۰۸

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۱۲/۱۱

## مقدمه

امروزه در دنیا میوه هلو یکی از محصولات مهم تجاری در صنعت باغبانی بوده و ایران یکی از مهم‌ترین کشورهای تولیدکننده هلو در دنیا به‌شمار می‌آید. بخش عمده‌ی هلو تولیدی ایران به مصرف تازه خوری می‌رسد، اما مشکلاتی مانند فسادپذیری زیاد و عمر کوتاه پس از برداشت از عوامل محدودکننده در بازار رسانی هلو است (Ghorbani *et al.*, 2013). ضایعات محصول به‌طور کلی بسیار قابل توجه بوده و تا مرحله برداشت بیش از ۳۴٪ و پس از برداشت تا ۲۸٪/۳ در نوسان است. یکی از راه‌های کاهش ضایعات پس از برداشت، فرآوری محصول است (Khoshkhoy *et al.*, 2008). میزان رطوبت بالا در میوه‌ها، نقش مهمی در ذخیره‌سازی آن‌ها ایفا می‌کند. کاهش رطوبت یا خشک کردن از طریق انتقال هم‌زمان جرم و حرارت به‌طور گسترده برای افزایش ماندگاری، تسهیل حمل‌ونقل، حفظ کیفیت و کاهش افت پس از برداشت محصولات کشاورزی به‌منظور تولید میوه‌ها و سبزی‌های خشک مورد استفاده قرار می‌گیرد (Ghorbani *et al.*, 2013). خشک کردن مواد غذایی و به‌ویژه میوه‌ها به روش‌های مختلفی مانند خشک کردن در آفتاب، خشک کردن با هوای داغ و خشک کردن با اشعه ماکروویو امکان‌پذیر است (Vahideh *et al.*, 2008). استفاده از جریان هوای گرم از قدیمی‌ترین و متداول‌ترین روش‌های حرارتی در خشک کردن میوه‌ها و سبزی‌ها محسوب می‌شود. در روش جریان هوای گرم، انتقال جرم و حرارت همراه با تغییر فاز صورت می‌گیرد؛ بنابراین از نظر مصرف انرژی روشی بسیار پرهزینه است (Schultz *et al.*, 2007). خشک کردن با هوا محبوب‌ترین روش خشک کردن در صنایع غذایی ولی متأسفانه گران‌قیمت است (Nowacka *et al.*, 2012). با توجه به افزایش روزافزون جمعیت جهانی و کاهش منابع انرژی تجدید ناپذیر، تلاش برای به‌کارگیری فناوری‌های نو و غیرمخرب، به‌منظور بالا بردن کیفیت زندگی بشر به یکی از مهم‌ترین دغدغه‌های ذهنی دانشمندان و پژوهشگران تبدیل شده است. صرفه‌جویی در مصرف انرژی، بالا بردن کیفیت محصول تولیدی، افزایش نرخ و کاهش مدت‌زمان انجام فرایندها از پارامترهای مورد توجه در به‌کارگیری فناوری‌های نو محسوب می‌شوند. از گذشته، روش‌های گوناگونی به‌منظور خشک کردن مواد غذایی مورد استفاده

قرار گرفته که از جمله‌ی آن‌ها می‌توان به خشک کردن در زیر نور آفتاب، خشک کردن با جریان هوای داغ، خشک کردن انجمادی و غیره اشاره نمود. در اغلب این روش‌ها به‌دلیل حرارت ایجادشده در طول فرایند، کیفیت محصول دچار آسیب جدی می‌شود. در روش انجمادی نیز اگرچه آسیب کم‌تری به کیفیت وارد می‌شود، اما روشی پرهزینه است (Gallego quarez *et al.*, 2007). استفاده از عملیات پیش تیمار می‌تواند منجر به کاهش آب بافتی و سهولت انتقال جرم هنگام خشک کردن با هوا شود (Vahideh *et al.*, 2008). روش‌های پیش تیمار مختلفی در خشک کردن مواد غذایی مورد استفاده قرار می‌گیرد. استفاده از امواج فراصوت به‌عنوان پیش تیمار نوین در خشک کردن مواد غذایی چندین سال است که مورد توجه قرار گرفته است (Eshraghi *et al.*, 2012). اعمال پیش تیمار قبل از خشک کردن، با استفاده از امواج فراصوت شامل غوطه‌ور کردن مواد غذایی در آب یا در یک فاز آبی هایپرتونیک است. استفاده از امواج فراصوت به‌عنوان مکمل روش کلاسیک خشک کردن با هوای داغ، سبب افزایش ضریب نفوذ رطوبت و کاهش زمان فرایند خشک کردن می‌شود (Shahidi *et al.*, 2011). استفاده از پیش تیمار فراصوت به‌دلیل کاهش زمان خشک شدن، کاهش هزینه‌های تولید محصول خشک را به دنبال دارد (Ortuno *et al.*, 2010). برای خشک کردن مواد غذایی گوناگون، در ابتدا بایستی اطلاعاتی در زمینه خصوصیات بافتی و مقدار رطوبت آن‌ها به دست آورد (Okos *et al.*, 1992). به‌کارگیری امواج فراصوت از سال‌های پیش از جنگ جهانی دوم با بررسی قابلیت استفاده از آن در فرایندهایی همچون تمیز کردن سطوح و عصاره‌گیری آغاز شده و تاکنون ادامه دارد (Mason, 2003). در دهه‌های اخیر استفاده از امواج فراصوت در صنایع غذایی رشد قابل‌ملاحظه‌ای داشته است. از کاربردهای این امواج در این حوزه می‌توان به کیفیت‌سنجی، پایش فرایندها، کف‌زدایی، گاز زدایی، عصاره‌گیری، خشک کردن و غیره اشاره نمود (Chemat *et al.*, 2011). نتایج تحقیقات محققان بر روی فرایند خشک شدن برخی از میوه‌ها و سبزی‌ها به کمک امواج فراصوت نشان داده است که این امواج به‌دلیل تغییراتی که در لایه‌های مرزی، میزان تراکم و ضریب انتشار مواد ایجاد می‌کنند؛ تأثیر قابل‌ملاحظه‌ای

سیب در دماهای پایین، تنها با یک تأثیر خفیف در کیفیت محصول خشک شده استفاده کرد.

ررسی تأثیر استفاده از پیش‌ تیمار فراصوت در آب مقطر و خشک کردن همرفتی 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 (Correra et al., 2016).

در این پژوهش تأثیر پیش‌ تیمار فراصوت و خیساندن در کاهش زمان خشک شدن هلو رقم آلبرتا بررسی شد. همچنین اثر پیش‌ تیمار فراصوت و دمای خشک شدن بر روی پارامترهای تغییرات رنگ، نیروی برشی و فشاری مورد مطالعه قرار گرفت.

## مواد و روش‌ها

### تهیه و نگهداری نمونه‌ها

عملیات برداشت هلو به صورت دستی و کاملاً تصادفی از درختان موجود در باغ‌های شندآباد شهرستان شبستر استان آذربایجان شرقی، انجام گرفت. تمامی نمونه‌های برداشت شده به صورت تصادفی انتخاب شدند به صورتی که میوه‌ها سالم و عاری از هرگونه آفت بودند. جهت جلوگیری از فاسدشدن میوه‌ها به دلیل فسادپذیری زیاد هلو در طول آزمایش‌ها، میوه‌ها در یخچال با دمای ۴ درجه سلسیوس (Ojnordi et al., 2012) نگهداری شدند. نمونه‌های مورد آزمایش، ۲ ساعت قبل از شروع آزمایش به دلیل تعادل دمایی با محیط به آزمایشگاه منتقل می‌شدند (Eshraghi et al., 2012). میوه‌های هلوی مورد آزمایش به صورت افقی به ضخامت ۵ میلی‌متر برش داده شدند. رطوبت سطحی نمونه‌های برش خورده با کاغذ جاذب رطوبت گرفته شد (shahidi et al., 2011).

### اندازه‌گیری در صد رطوبت اولیه

درصد رطوبت اولیه نمونه‌ها براساس استاندارد ASABE و به روش توزین محاسبه شد (ASABE, 2006). به این منظور برگه‌های هلو با دمای ۱۰۳ درجه سلسیوس و به مدت ۲۴ ساعت، خشک شدند. درصد رطوبت اولیه برگه‌های هلو بر پایه‌ی تر با استفاده از معادله (۱) محاسبه شد (Ozteki & Martinov, 2007). آزمایش در چهار تکرار انجام شد و مقدار میانگین به عنوان درصد رطوبت اولیه مورد استفاده قرار گرفت.

در افزایش سرعت پدیده‌ی انتقال جرم و حرارت دارند. از سوی دیگر امواج فراصوت قادرند بدون افزایش دمای قابل توجه، به خروج رطوبت از مواد کمک نمایند (Jambrak et al., 2007). فناوری‌های جدید خشک کردن امروزه با هدف به دست آوردن کیفیت خوب از محصول با هزینه متوسط است که التراسونیک یک جایگزین غیرحرارتی کارآمد است (Nowacka et al., 2012). همچنین در این روش نسبت به روش‌های دیگر خشک کردن، مواد غذایی آسیب کمتری می‌بینند (Shahidi et al., 2011). محققان زیادی در زمینه استفاده از امواج فراصوت در فرایند خشک کردن محصولات کشاورزی کار کرده‌اند از جمله (Dujmic et al., 2013) تأثیر فراصوت با شدت بالا به عنوان پیش‌ تیمار بر طول مدت خشک کردن و ویژگی‌های بافت برش گلابی با دامنه متفاوت خشک کردن با مادون قرمز را بررسی کردند. نتایج به دست آمده نشان داد استفاده از فراصوت با دامنه‌های مختلف در کوتاه شدن زمان خشک شدن برش گلابی تأثیر دارد. افزایش شدت امواج فراصوت منجر به کاهش در سختی نمونه‌های خشک شده بود. کشش نمونه برای همه دامنه‌های فراصوت در مقایسه با نمونه‌های پیش‌ تیمار نشده کاهش یافته بود.

مطالعه (Babagoltabar et al., 2013) اثر به کارگیری امواج فراصوت بر نرخ فرایند خشک شدن و زمان لازم برای رسیدن برگ چای به رطوبت مطلوب در شرایط انبارداری نشان داد که امواج فراصوت روی زمان لازم برای خشک شدن، محتوای رطوبتی و نرخ خشک شدن برگ تازه‌ی چای در سطح احتمال ۵ درصد اثر معنی دار داشت. تشدید خشک کردن سیب با توجه به افزایش امواج فراصوت نشان داد که امواج فراصوت تأثیر مثبتی بر روی خشک شدن همرفتی و سینتیک خشک شدن داشته و زمان خشک شدن کاهش یافت (Kowalski & powelovski, 2015).

براساس مطالعه (Santacatalina et al., 2016) تأثیر کاربرد توان امواج فراصوت در خشک کردن سیب در دمای پایین بررسی و بیان گردید که هر چه سطح توان امواج فراصوت بالاتر می‌رود، زمان خشک شدن کمتر می‌گردد و به دلیل معنی دار نبودن تأثیر پیش‌ تیمار امواج فراصوت بر روی پارامترهای کیفی می‌توان از آن به عنوان یک روش غیرحرارتی تشدیدکننده برای خشک کردن میوه‌ها مانند

تبدیل شدند. محتوای رطوبتی برگه‌های هلو در هر لحظه به کمک معادله (۲) محاسبه شد (Kouchakzdeh & Shafeei, 2010) و برای تعیین میزان نرخ خشک شدن برگه‌های هلو از معادله (۳) استفاده گردید (Doymaz, 2014).

$$MR = \frac{M_t - M_e}{M_0 - M_e} \quad (2)$$

$$DR = \frac{M_{t+dt} - M_t}{\Delta t} \quad (3)$$

که در آن‌ها MR محتوای رطوبتی،  $M_t$  مقدار رطوبت برگه‌های هلو در لحظه  $t$  (گرم آب بر گرم ماده خشک)،  $M_0$  رطوبت اولیه (گرم آب بر گرم ماده خشک)،  $M_e$  رطوبت تعادلی (گرم آب بر گرم ماده خشک)، DR نرخ خشک شدن (گرم آب بر گرم ماده‌ی خشک در دقیقه)،  $M_{t+dt}$  مقدار رطوبت در لحظه  $t+dt$  (گرم آب بر گرم ماده خشک) و  $\Delta t$  فاصله زمانی خشک شدن (دقیقه) می‌باشد.

### اندازه‌گیری رنگ

به‌منظور بررسی رنگ نمونه‌ها، از هر تیمار در هر سه حالت تر، خشک‌شده در دمای ۶۵ و ۱۰۵ درجه سلسیوس، ۳ قطعه برگه هلو به‌صورت تصادفی انتخاب و به‌وسیله سامانه رنگ‌سنج مدل RGB-1002 ساخت شرکت لترون تایوان اندازه‌گیری شد. برای تبدیل فضای رنگی RGB به‌دست آمده به  $L^*a^*b^*$  از معادله‌های (۴)، (۵)، (۶) و (۷) استفاده شد (Ebrahimi et al., 2012).

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.607 & 0.174 & 0.200 \\ 0.299 & 0.587 & 0.114 \\ 0.000 & 0.066 & 1.116 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} \quad (4)$$

$$L^* = 116 \left( \sqrt[3]{\frac{Y}{Y_0}} \right) - 16 \quad (5)$$

$$a^* = 500 \left( \sqrt[3]{\frac{X}{X_0}} - \sqrt[3]{\frac{Y}{Y_0}} \right) \quad (6)$$

$$b^* = 200 \left( \sqrt[3]{\frac{Y}{Y_0}} - \sqrt[3]{\frac{Z}{Z_0}} \right) \quad (7)$$

برای محاسبه میزان تغییرات رنگ نمونه‌ها از معادله (۸) استفاده شد (Sahin & Sumnu, 2006).

$$\Delta E = [(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2]^{1/2} \quad (8)$$

در این رابطه  $\Delta E$  تغییرات رنگ،  $\Delta L^*$  اختلاف روشنایی،  $\Delta a^*$  اختلاف قرمزی/سبزی و  $\Delta b^*$  اختلاف زردی/آبی را نشان می‌دهند.

$$U_{w,b} = \frac{M_0 - M_f}{M_0} \times 100 \quad (1)$$

که در آن  $M_0$  وزن اولیه‌ی برگه‌های هلو بر حسب گرم،  $M_f$  وزن نهایی برگه‌های هلو بر حسب گرم،  $U_{w,b}$  رطوبت اولیه بر پایه‌ی تر بر حسب درصد می‌باشد.

### تیمار فراصوت

نمونه‌های تهیه‌شده به ضخامت ۰/۵ سانتی‌متر در کف مخزن حمام فراصوت مدل Parsonic 2600S ساخت ایران و حجم ۲/۶ لیتر قرار داده شدند. سپس محفظه حمام به‌آرامی با آب مقطر پر شد. با راه‌اندازی حمام فراصوت، برگه‌ها در سه سطح زمانی ۱۰، ۲۰ و ۶۰ دقیقه و در دمای ثابت ۳۰ درجه سلسیوس، تحت تأثیر امواج فراصوت قرار گرفتند. فرکانس و شدت میدان مورد استفاده در این آزمایش به‌ترتیب ۲۸ کیلوهرتز و ۷۰ وات بود. برگه‌های پیش‌تیمار به‌وسیله خیساندن در آب مقطر نیز در سه سطح زمانی ۱۰، ۲۰ و ۶۰ دقیقه در داخل بشر حاوی آب مقطر غوطه‌ور شدند. پس از موج دهی و خیساندن در آب مقطر، برگه‌ها را از مخزن حمام و آب مقطر خارج ساخته، رطوبت سطحی آن به کمک کاغذ جاذب رطوبت حذف و دوباره نمونه‌ها توزین شدند. آزمایش در چهار تکرار برای هر یک از زمان‌های موج دهی و خیساندن در آب مقطر انجام شد.

### خشک‌کردن

برای خشک‌کردن نمونه‌ها از یک خشک‌کن آزمایشگاهی مدل Memmert UNE500 ساخت کشور آلمان مجهز به کنترل‌کننده دما استفاده شد. ورقه‌های هلو پس از اعمال فراصوت با قرارگیری بر روی سینی خشک‌کن در طبقه وسط خشک‌کن قرار گرفتند. از یک ترازوی دیجیتال مدل AND-GF6100 ساخت آمریکا با دقت ۰/۰۱ گرم برای وزن کردن نمونه‌ها طی فرآیند خشک شدن استفاده شد. یک ساعت قبل از قرار دادن نمونه‌ها در آون، دمای آون تنظیم شد. پیش از قرار دادن نمونه‌ها در خشک‌کن، وزن اولیه آن‌ها اندازه‌گیری شد. خشک‌کردن تا رسیدن نمونه‌ها به رطوبت ۱۰٪ بر پایه‌تر انجام شد. توزین نمونه‌ها در بازه‌های زمانی بیست دقیقه صورت گرفت. به‌منظور مقایسه دقیق‌تر تیمارها با یکدیگر و رسم نمودارهای خشک شدن، مقادیر درصد رطوبت به محتوای رطوبتی

## آزمون‌های برش و فشار

به‌منظور انجام آزمون‌های برشی و فشار از یک سامانه آزمون چندکاره مدل Zowick Line z0.5 TH ساخت شرکت زوئیک رول کشور آلمان استفاده شد. برای برقراری تعادل دمایی با محیط و کاهش دادن اثر دما بر روی آزمایش‌ها یک ساعت قبل از شروع آزمایش روشن شد. نمونه‌ها تحت بارگذاری عمودی براساس استاندارد ASTM D 790-03 در دمای اتاق با سرعت بارگذاری ۲۰ میلی‌متر بر دقیقه قرار گرفتند. برای آزمون برش از تیغه لبه صاف به ضخامت ۱/۴ میلی‌متر و زاویه تیغه ۳۰ درجه براساس استاندارد DIN 53294 و با سرعت بارگذاری ۲۰ میلی‌متر بر دقیقه اندازه‌گیری شد.

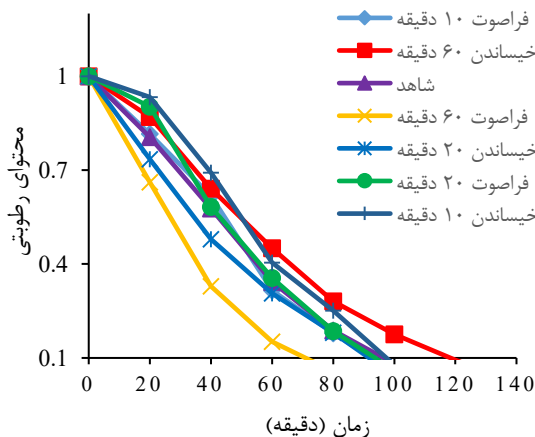
## تجزیه و تحلیل داده‌ها

داده‌های حاصل، در قالب آزمایش فاکتوریل به‌صورت طرح کاملاً تصادفی توسط نرم‌افزار SPSS 21 مورد تجزیه و تحلیل آماری قرار گرفتند. پس از تجزیه واریانس، میانگین‌های اثر پیش‌تیمارها و دما بر ویژگی‌های موردبررسی با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح  $\alpha = 0.05$  مورد مقایسه قرار گرفتند. برای رسم نمودارها نیز از نرم‌افزار Excel 2013 استفاده شد.

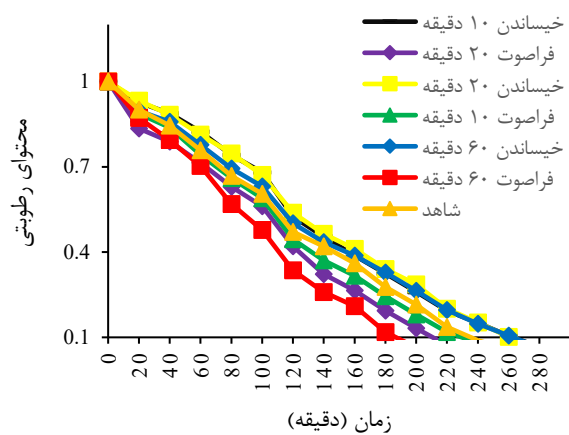
## نتایج و بحث

## تأثیر امواج فراصوت محتوای رطوبتی

تغییرات محتوای رطوبتی برگ‌های هلو در دماهای خشک شدن (a) ۱۰۵ و (b) ۶۵ درجه سلسیوس، نسبت به زمان خشک‌شدن در شکل ۱ نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود با اعمال امواج فراصوت زمان خشک شدن نمونه‌ها کمتر می‌شود و این کاهش زمان با مدت‌زمان تیمار رابطه عکس دارد. امواج فراصوت در اثر پدیده کاویتاسیون با انقباض و انبساط‌های سریع سبب ایجاد میکرو کانال‌هایی جهت سهولت انتقال جرم طی خشک‌کردن توسط هوای داغ می‌گردد (Fernandes et al., 2008) در تیمار خیساندن نمونه‌ها در آب مقطر، زمان خشک شدن به‌دلیل بالا رفتن در صد رطوبت افزایش یافته است. مقایسه نمودارهای (a) و (b) در تیمارهای مشابه تأثیر دمای خشک شدن مشهود می‌باشد. با افزایش دما زمان خشک شدن به‌دلیل افزایش نرخ تبخیر کاهش می‌یابد.



(b)



(a)

شکل ۱- تغییرات محتوای رطوبتی نسبت به زمان در خشک شدن (a) با دمای ۱۰۵ و (b) با دمای ۶۵

۱۰ در صد بر پایه‌تر را کاهش می‌دهد. خیساندن در آب مقطر نیز به‌دلیل بالا بردن درصد رطوبت نمونه‌ها باعث افزایش زمان خشک شدن به نسبت زمان غوطه‌وری می‌شود (جدول ۱).

نتایج تحلیل واریانس نشان داد که افزایش زمان موج دهی، دما و برهم‌کنش تیمار فراصوت و دمای خشک‌کردن بر زمان خشک شدن در سطح ۱ درصد اثر معنی‌دار است. به‌بیان‌دیگر افزایش زمان فراصوت و دمای خشک‌کردن و اثر متقابل آن‌ها زمان خشک شدن و رسیدن به رطوبت

جدول ۱- نتایج تجزیه واریانس تأثیر پیش تیمار و دما بر محتوای رطوبتی

F	میانگین مربعات	درجه آزادی	منبع تغییرات
۵۳/۰۳**	۰/۰۰۵	۶	پیش تیمار
۱۳۳/۱۹**	۰/۰۱۳	۱	دما
۶/۸۹**	۶/۸۱۰ × ۴-۱۰	۶	پیش تیمار × دما
	۹/۸۹۱ × ۵-۱۰	۲۸	خطا
		۴۱	مجموع

\*\* بیانگر معنی‌داری در سطح احتمال ۱ درصد هست.

## نرخ خشک شدن

نتایج تحلیل واریانس نشان داد که تیمارهای فراصوت، دمای خشک کردن و اثر متقابل آن‌ها در سطح ۱ درصد اثر معنی‌دار است. به صورتی که سرعت از دست دادن رطوبت، با مدت‌زمان تیمار فراصوت و افزایش دمای خشک کردن دارای رابطه مستقیمی می‌باشد (جدول ۲). شکل ۲ نتایج آزمون دانکن برای مقایسه میانگین آهنگ خشک شدن برگه‌های هلو تا رسیدن به رطوبت ۱۰ درصد را نشان می‌دهد. با توجه به نتایج در نمونه‌های تحت تیمار مورد مطالعه، کمترین نرخ خشک شدن متعلق به نمونه‌های خیس‌اندن در آب مقطر و شاهد و بیشترین آهنگ خشک شدن را نمونه‌های تحت تیمار فراصوت ۲۰ و ۶۰ دقیقه دارا می‌باشند. با توجه به نتایج آزمایش‌های

مشابه، امواج فراصوت هنگام عبور از بافت نمونه‌ها کانال‌های بسیار ریزی را در دیواره‌ی سلولی ایجاد کرده‌اند (Fernandes et al., 2008)، در نتیجه با کاهش مقاومت داخلی در برابر انتشار رطوبت، شرایط برای خروج سریع‌تر رطوبت در طول فرایند خشک کردن فراهم گردید، بنابراین باگذشت زمان مشخص از فرایند خشک شدن، مقدار رطوبت خارج شده از نمونه تحت تیمار فراصوت بیشتر از نمونه‌های شاهد و خیس‌انده شده می‌باشد. در مقایسه تأثیر دمای خشک شدن بر روی میانگین نرخ خشک شدن نمونه‌ها مشاهده می‌شود افزایش دما باعث افزایش نرخ خشک شدن در تمام نمونه‌ها که دلیل آن نیز افزایش سرعت تبخیر رطوبت نمونه می‌باشد.

جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس اثر پیش تیمار و دما بر نرخ خشک شدن

F	میانگین مربعات	درجه آزادی	منبع تغییرات
۳۱/۹۷۰**	۰/۰۰۰۲	۶	پیش تیمار
۲۳۱۰/۳۰**	۰/۰۱۷۵	۱	دما
۴/۶۷۰**	۳/۵۳۵۰ × ۵-۱۰	۶	پیش تیمار × دما
	۷/۵۶۰ × ۶-۱۰	۲۸	خطا
		۴۱	مجموع

\*\* بیانگر معنی‌داری در سطح احتمال ۱ درصد هست.

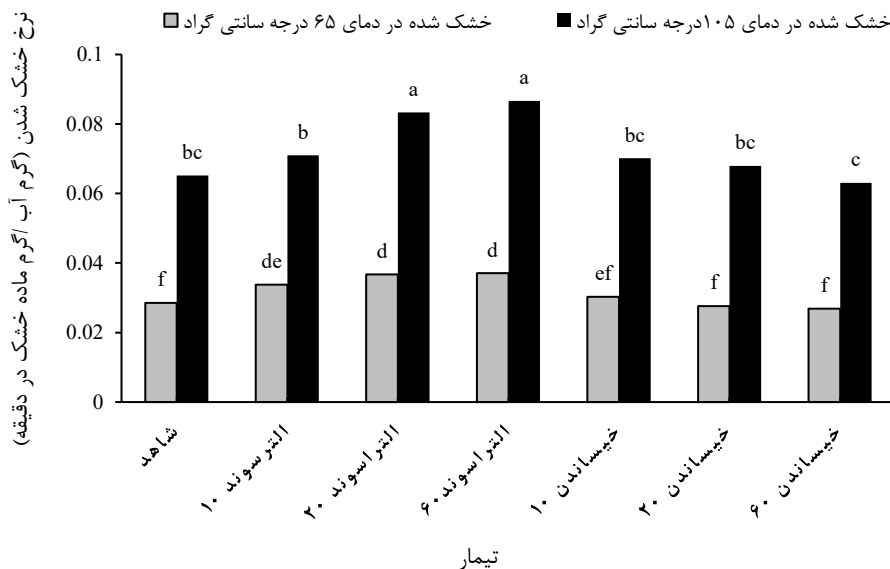
شکل ۲ نتایج آزمون دانکن برای مقایسه میانگین آهنگ خشک شدن برگه‌های هلو را تا رسیدن به رطوبت ۱۰ درصد بر پایه‌ی تر را نشان می‌دهد. با توجه به نتایج در نمونه‌های تحت تیمار مورد مطالعه، کمترین نرخ خشک شدن متعلق به نمونه‌های خیس‌اندن در آب مقطر و شاهد است. بیشترین آهنگ خشک شدن را نمونه‌های تحت تیمار فراصوت ۲۰ و ۶۰ دقیقه دارا می‌باشند. با توجه به نتایج آزمایش‌های مشابه، امواج فراصوت هنگام عبور از بافت نمونه‌ها کانال‌های بسیار ریزی را در دیواره‌ی سلولی

ایجاد کرده‌اند (Fernandes et al., 2008)، در نتیجه با کاهش مقاومت داخلی در برابر انتشار رطوبت، شرایط برای خروج سریع‌تر رطوبت در طول فرایند خشک کردن فراهم گردید، بنابراین باگذشت زمان مشخص از فرایند خشک شدن، مقدار رطوبت خارج شده از نمونه تحت تیمار فراصوت بیشتر از نمونه‌های شاهد و خیس‌انده شده می‌باشد. در مقایسه تأثیر دمای خشک شدن بر روی میانگین نرخ خشک شدن نمونه‌ها همان‌طور که مشاهده می‌شود افزایش دما باعث افزایش نرخ خشک شدن در

### رنگ سنجی

با توجه به شکل ۳ تأثیر تیمار فراصوت، خیساندن و مدت‌زمان اعمال آن‌ها بر تغییرات رنگ نمونه‌ها معنی‌دار نیست. اختلاف شاخص تغییرات رنگ ( $\Delta E$ ) با نمونه شاهد ناشی از انجام واکنش‌های شیمیایی رنگ‌زا مثل واکنش می‌بارد بین قندها و پروتئین‌ها و تشکیل ملانوییدین‌ها است (Krokida *et al.*, 2000). عدم تأثیرگذاری امواج فراصوت در تغییرات رنگ هلو ناشی از عدم تأثیرگذاری امواج فراصوت بر واکنش‌های شیمیایی است و بیشتر به‌صورت فیزیکی و تخریب دیواره‌های سلولی در بافت داخلی هلو می‌باشد.

تمام نمونه‌ها می‌شود. دلیل آن نیز افزایش سرعت تبخیر رطوبت نمونه می‌باشد. در بررسی تأثیر متقابل تیمار و دمای خشک شدن مشاهده می‌شود که بیشترین نرخ خشک شدن در تیمار فراصوت ۶۰ دقیقه و دمای خشک شدن ۱۰۵ درجه سلسیوس و کمترین مقدار نرخ خشک شدن متعلق به نمونه‌های خیساندن و دمای ۶۵ درجه سلسیوس می‌باشد دلیل آن افزایش میزان رطوبت به‌دلیل خیساندن و کم شدن آهنگ تبخیر به‌دلیل دمای پایین خشک شدن است.



شکل ۲- میانگین نرخ خشک شدن برگه‌های هلو

در شکل ۴ تأثیر پیش تیمار و دمای خشک کردن بر تغییر شکل ناشی از بارگذاری در آزمون فشار نشان داده شده است. با افزایش مدت‌زمان تیمار فراصوت، به‌دلیل به وجود آمدن حفره‌ها و میکرو کانال‌های ریز در بافت محصول و متخلخل شدن نمونه‌ها تغییر شکل ناشی از تیمار افزایش می‌یابد. در طی مرحله خشک کردن با افزایش دمای خشک کردن میزان تغییر شکل نمونه‌ها به‌دلیل کاهش رطوبت و نسبت مواد جامد نمونه‌ها سفت‌تر شده و نسبت به تغییر شکل مقاومت بیشتری نشان می‌دهند. در مقایسه دو دمای خشک کردن ۶۵ و ۱۰۵ درجه سلسیوس، در دمای ۱۰۵ درجه سلسیوس، خشک شدن سطح‌رویی نمونه‌ها به علت دمای بالا و اجازه ندادن به خروج رطوبت

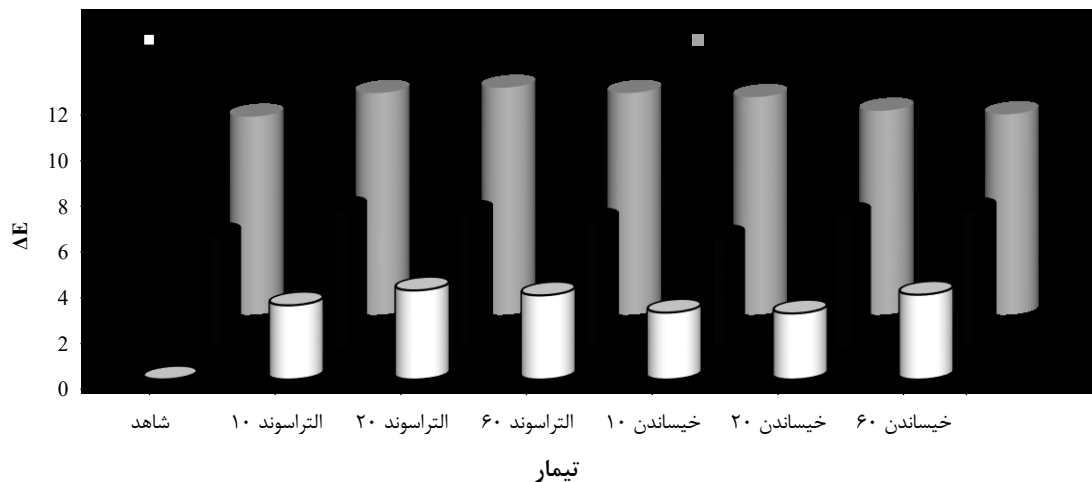
دمای خشک کردن تأثیر معنی‌داری بر روی تغییر رنگ نمونه‌ها داشت به‌طوری‌که افزایش دمای خشک کردن، افزایش میزان تغییرات رنگی را به همراه داشت. این رفتار ناشی از اثرگذاری بالای دما است که در انجام تغییرات شیمیایی منجر به تغییر رنگ می‌شود (Shahidi *et al.*, 2011).

### آزمون برش و فشار

نتایج تحلیل واریانس تغییر شکل ناشی از بارگذاری در آزمون فشار نشان داد که اعمال پیش تیمار، تغییر دمای خشک کردن و اثر متقابل آن‌ها بر روی تغییر شکل نمونه‌ها در سطح ۱ درصد معنی‌دار می‌باشد (جدول ۳).

سلسیوس فرصت بیشتری برای خروج رطوبت داخلی وجود داشته و نمونه‌ها نسبت به تغییر شکل مقاومت کمتری از خود نشان داده و مطلوب‌ترند.

داخلی، سطح نمونه‌ها سخت شده و حالت صلبی به خود گرفته و باعث مقاومت نسبت به تغییر شکل می‌شود. درحالی‌که در نمونه‌های خشک‌شده در دمای ۶۵ درجه

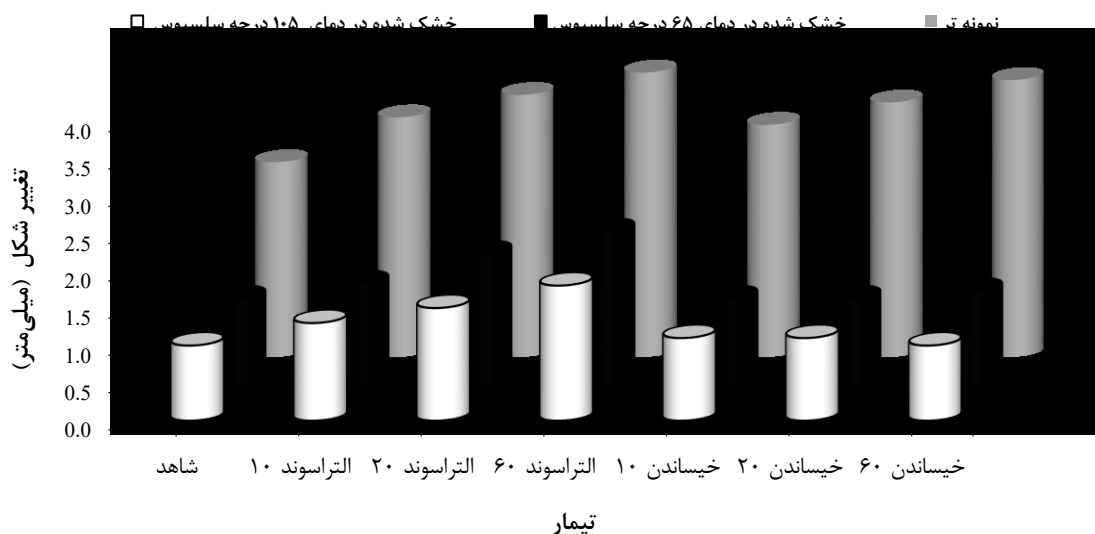


شکل ۳- تغییرات رنگ نمونه‌های هلو در تیمارهای مختلف

جدول ۳- نتایج تجزیه واریانس تأثیر پیش تیمار و دما بر تغییر شکل آزمون فشار

F	میانگین مربعات	درجه آزادی	منبع تغییرات
۱۲۳/۰۲**	۰/۱۸	۶	پیش تیمار
۴۲۶۰/۵۵**	۶/۳۹	۲	دما
۱۷۷/۹۶**	۰/۲۷	۱۲	پیش تیمار × دما
	۰/۰۰۱	۱۰	خطا
		۳۰	مجموع

\*\* بیانگر معنی‌داری در سطح احتمال ۱ درصد هست.



شکل ۴- تغییر شکل نمونه‌های هلو در تیمارهای مختلف در اثر آزمون فشار



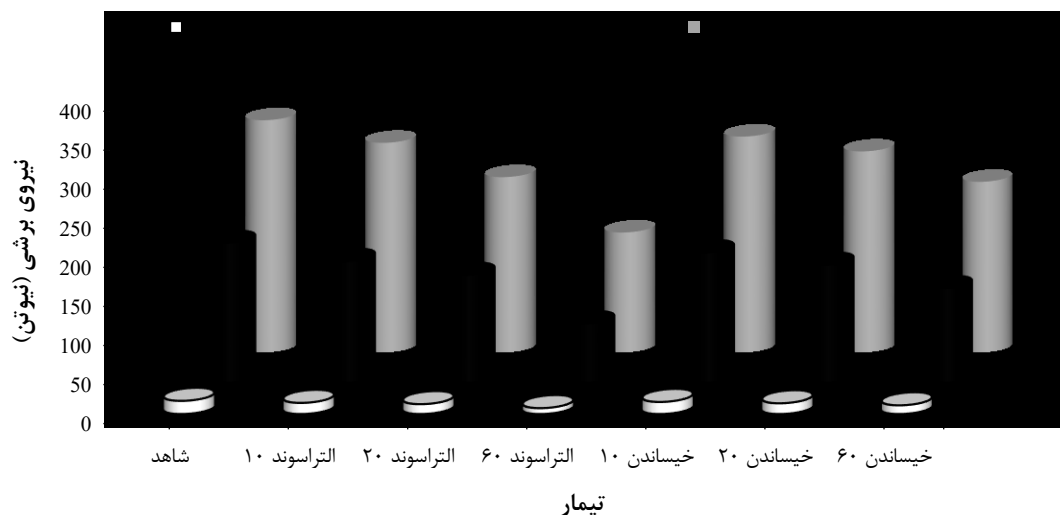
ایجاد ریز کانال‌ها، متخلخل شدن و شکست دیواره سلولی در پیش‌تیمار فراصوت است. در نمونه‌های خشک‌شده نیروی برشی مانند حالت تر می‌باشد، ولی در مقایسه تأثیر دما بر روی یک تیمار مشخص، با افزایش دما نیروی برشی افزایش می‌یابد، برای نمونه خشک‌شده در دمای ۶۵ درجه سلسیوس به نسبت خشک‌شده در دمای ۱۰۵ درجه سلسیوس نیروی کمتری نیاز می‌باشد که ناشی از تنش حرارتی شدیدتر وارد به سطح نمونه‌ها به دلیل دمای بالاتر و از دست دادن رطوبت سطحی و سفت شدن سطح نمونه‌ها است.

نتایج تحلیل واریانس تأثیر پیش‌تیمار، دما و اثر متقابل آن‌ها بر نیروی لازم برای برش نمونه‌ها در سطح ۱ درصد معنی‌دار گردید (جدول ۴). شکل ۵ نتایج آزمون دانکن برای مقایسه میانگین نیروی برشی لازم برای برش نمونه‌های تحت پیش‌تیمار قرار گرفته و خشک‌شده را نشان می‌دهد. براساس شکل ۵ نیروی برشی با میزان رطوبت نمونه‌ها رابطه عکس دارد. در حالت تر نیروی برشی با افزایش مدت‌زمان پیش‌تیمار فراصوت و خیساندن نسبت به نمونه شاهد روند نزولی داشته که دلیل آن افزایش در صد رطوبت به‌وسیله غوطه‌وری در آب مقطر و

جدول ۴- نتایج تجزیه واریانس تأثیر پیش‌تیمار و دما نیروی برشی

F	میانگین مربعات	درجه آزادی	منبع تغییرات
۲۱۵/۷۸**	$۲/۴۴ \times ۱۰^{-۶}$	۶	پیش‌تیمار
۵۹۳۲/۶۱**	$۶/۱۵ \times ۱۰^{-۵}$	۲	دما
۹۷/۴۳**	$۶ \times ۱۰^{-۱}$	۱۲	پیش‌تیمار × دما
	$۸ \times ۱۰^{-۱}$	۱۰	خطا
		۳۰	مجموع

\*\* بیانگر معنی‌داری در سطح احتمال ۱ درصد هست.



شکل ۵- نیروی لازم برای برش نمونه‌های هلو در تیمارهای مختلف در اثر آزمون برش

رطوبت نمونه باعث افزایش مدت‌زمان خشک شدن می‌شود. نرخ خشک شدن با مدت‌زمان پیش‌تیمار فراصوت رابطه مستقیم داشته و با افزایش زمان پیش‌تیمار نرخ خشک شدن نمونه‌ها افزایش یافت. در تیمار خیساندن در آب به دلیل افزایش رطوبت نرخ خشک شدن کاهش یافته و با افزایش مدت غوطه‌وری نرخ خشک شدن کمتر می‌شود.

### نتیجه‌گیری

براساس نتایج حاصل از این آزمایش استفاده از امواج فراصوت به‌عنوان یک پیش‌تیمار قبل از خشک کردن، باعث کاهش زمان خشک شدن می‌شود. مدت‌زمان پیش‌تیمار فراصوت با کاهش زمان خشک شدن رابطه مستقیم دارد. تیمار خیساندن در آب مقطر به دلیل بالا بردن درصد

- artificial neural networks. *International Journal of Food Engineering*, 8(4): 1-18.
8. Eshraghi, E. Maghsoudlo, Y. Kashani Nejad, M. Beiraghi Tosi, Sh. and Aalami, M. 2012. Studying the Effect of Ultrasound Pre-treatment on drying Kiwi fruit sheets. *Iranian Food Science and Technology Research Journal*, 7(4): 273-279. (In Farsi).
  9. Fernandes, F. A. N. Jr, F. E. L. and Rodrigues, S. 2008. Ultrasound as pre-treatment for drying of pineapple. *Ultrasonics Sonochemistry*, 15: 1049-1054.
  10. Gallego-Juárez, J. A. Riera, E. De la Fuente Blanco, S. Rodríguez-Corral, G. Acosta-Aparicio, V. M. and Blanco, A. 2007. Application of high-power ultrasound for dehydration of vegetables: Processes and Devices. *Drying Technology*, 25: 1893.
  11. Ghorbani, R. Dehghannya, J. Seiiedlou-Heris, S. S. and Ghanbarzadeh, B. 2013. Modeling Shrinkage During Drying of Plums Pretreated with Ultrasound and Osmotic Dehydration. *Journal of Agricultural Mechanization*, 1(1):11-24. (In Farsi).
  12. Jambrak, A. R. Mason, T. J. Paniwnyk, L. and Lelas, V. 2007. Accelerated drying of button mushrooms, Brussels sprouts and cauliflower by applying power ultrasound and its rehydration properties. *Journal of Food Engineering*, 81: 88.
  13. Kowalski, S. J. and Pawłowski, A. 2015. Intensification of apple drying due to ultrasound enhancement. *Journal of Food Engineering*, 156: 1-9.
  14. Khoshkhoy, M. Geregorian, V. Tafzili, A. and Khaligi, A. 2008. Determine the status quo and provide solutions for the quantitative and qualitative improvement of essential native fruits (peaches, apricots, cherries, plums) in Iran. *Journal of Constructive Research in Agriculture and Horticulture*, 81: 190-181. (In Farsi).
  15. Kouchakzadeh, A. and Shafeei, S. 2010. Modeling of microwave-convective drying of pistachios. *Energy conversion and management*, 51.
  16. Krokida, M. K. Kiranoudis, C. T. Maroulis, Z. B. and Marinos-kouris, D. 2000. Effect of pretreatment on color of dehydrated products. *Drying Technology*, 18(6): 1238-1250.
  17. Mason, T. J. 2003. Sonochemistry and sonoprocessing: The link, the trends and (probably) the future. *Ultrasonics Sonochemistry*, 10: 175.
  18. Nowacka, M. Wiktor, A. Śledź, M. Jurek, N. and Witrowa-Rajchert, D. 2012. Drying of ultrasound pretreated apple and its selected physical properties. *Journal of Food Engineering*, 113: 427.
- همچنین بررسی‌ها نشان داد که امواج فراصوت بر روی تغییر رنگ نمونه‌ها به دلیل ماهیت فیزیکی این امواج تأثیر سوئی نداشته و تیره شدن رنگ نمونه‌ها بعد از خشک شدن ناشی از اثرگذاری زیاد دما در انجام تغییرات شیمیایی می‌باشد. در بررسی آزمون‌های برش و فشار پیش تیمار فراصوت به دلیل ایجاد میکرو کانال‌ها در بافت نمونه‌ها باعث کاهش نیروی لازم به منظور برش و فشار و در واقع عمل خوردن می‌گردد، وجود میکرو کانال‌ها نیز باعث اسفنجی شدن و جلوگیری از سفتی بیش از حد برگه‌های هلو شده و کیفیت محصول را بالا می‌برد.
- بنابراین با نتایج به دست آمده می‌توان استنباط کرد که استفاده از امواج فراصوت در خشک کردن برگه‌های هلو، کاهش هزینه، کاهش مصرف انرژی و افزایش کیفیت را به دنبال خواهد داشت.

#### منابع

1. ASABE. 2006. Moisture measurement: grain and seeds, ASABE Standard S352.2.FEB03, American Society of Agricultural and Biological Engineers, St Joseph, MI 49085-9659, USA.
2. Babagoltabar, R. 2013. The effect of ultrasound on the drying rate of tea leaves. M.Sc. dissertation. University of Ilam, Ilam. (In Farsi).
3. Chemat, F. Huma, Z. E. and Khan, M. K. 2011. Applications of ultrasound in food technology: Processing, preservation and extraction. *Ultrasonics Sonochemistry*, 18: 813.
4. Corrêa, J. L. G. Rasia, M. C. Garcia-Perez, J. V. Mulet, A. de Jesus Junqueira, J. R. and Cárcel, J. A. 2016. Use of Ultrasound in the Distilled Water Pretreatment and Convective Drying of Pineapple. In *Drying and Energy Technologies Springer International Publishing*, 71-87.
5. Doymaz, I. 2014. Suitability of Thin-Layer Drying Models for Infrared Drying of Peach Slices. *Journal of Food Processing and Preservation*, 38(6): 2232-2239.
6. Dujmić, F. Brnčić, M. Karlović, S. Bosiljkov, T. Ježek, D. Tripalo, B. and Mofardin, I. 2013. Ultrasound-Assisted Infrared Drying of Pear Slices: Textural Issues. *Journal of Food Process Engineering*, 36(3): 397-406.
7. Ebrahimi, E. Mollazade, K. and Arefi, A. 2012. An expert system for classification of potato tubers using image processing and

19. Ojnordi, S. javanmard, M. and asadolahi, S. V. 2012. Effect of Formulation of Edible Coating Based on Whey Protein containing Zataria multiflora Bioess Extract on the Shelf Life of Peach (*Prunus Persica* cv. Anjiri). Iranian Food Science and Technology Research Journal, 8(3): 337-348. (In Farsi).
20. Okos, M. R. Narsimhan, G. Singh, R. K. and Weitnaier, A. C. 1992. Food dehydration In: Heldman, D.R and Lund, D.B. Editors, Handbook of food engineering, New York: Marcel Dekker Inc.
21. Ortuño, C. Pérez-Munuera, I. Puig, A. Riera, E. and Garcia-Perez, J. V. 2010. Influence of power ultrasound application on mass transport and microstructure of orange peel during hot air drying. Physics Procedia, 3: 153.
22. Öztekin, S. and Martinov, M. 2007. Medicinal and Aromatic Crops: Harvesting, Drying, and Processing (1th ed). USA: CRC Press.
23. Sahin, S. and Sumnu, S. G. 2006. Physical properties of foods. Springer Science & Business Media. 267 p.
24. Santacatalina, J. V. Contreras, M. Simal, S. Cárcel, J. A. and Garcia-Perez, J. V. 2016. Impact of applied ultrasonic power on the low temperature drying of apple. Ultrasonics sonochemistry, 28: 100.
25. Schultz, E. L. Mazzuco, M. M. Machado, R. A. F. Bolzan, A. Quadri, M. B. and Quadri, M. G. N. 2007. Effect of pre-treatments on drying, density and shrinkage of apple slices. Journal of Food Engineering, 78: 1103.
26. Shahidi, F. Mohebi, M. Nowshad, M. Precautions, A. and Fathi, M. 2011. The effect of pre-treatment of osmotic and ultrasound on some qualitative characteristics of dried banana by hot air. Iranian Journal of Food Science and Technology, 7: 272-263. (In Farsi).
27. Vahideh, R. R. N. Narendra, J. and Gabriel, F. 2008. Effect of osmotic predehydration on drying characteristics of banana Fruits. Journal of Food Technology, 28: 269.

