

مقایسه ویژگی‌های کیفی برگه خرمالو خشک شده به دو روش هوای داغ و مادون قرمز

عاطفه فرهمند^۱، سیده فاطمه موسوی بایگی^۲، مسعود تقی زاده^{۳*}، امین ضیافروری^۴

تاریخ دریافت ۱۳۹۲/۱۲/۱۰

تاریخ پذیرش ۱۳۹۳/۰۴/۰۸

چکیده

در این پژوهش تاثیر خشک کردن مادون قرمز و هوای داغ (۵۰، ۶۰ و ۷۰ درجه سانتی‌گراد) بر برخی از ویژگی‌های کیفی برگه خرمالو (۵mm) از جمله بازجذب آب، مولفه‌های رنگ، چروکیدگی، بافت و خواص حسی ارزیابی شد. نمونه‌ها تا رطوبت نهایی $\pm 1.0\%$ (برحسب وزن مرطوب) خشک شدند. نتایج نشان داد استفاده از مادون قرمز در مقایسه با هوای داغ در دماهای ۵۰، ۶۰ و ۷۰ درجه سانتی‌گراد به ترتیب باعث کاهش 30.66% و 38.22% و 38.22% زمان خشک کردن گردید. علاوه بر این برش‌های خشک شده با هوای داغ (۶۰ درجه سانتی‌گراد) و مادون قرمز (۷۰ درجه سانتی‌گراد)، دارای بیشترین میزان بازجذب آب بودند. میان شاخص L نمونه‌های خشک شده با مادون قرمز اختلاف معنی‌دار مشاهده شد ($p < 0.05$) و بالاترین شاخص L مربوط به نمونه خشک شده در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد بود. کمترین میزان چروکیدگی در نمونه خشک شده در دمای ۵۰ درجه سانتی‌گراد مادون قرمز بود. نتایج ارزیابی حسی نیز نشان داد نمونه‌های خشک شده با مادون قرمز از مقبولیت بالاتری برخوردار بودند.

واژه‌های کلیدی: مادون قرمز، خرمالو، خشک کردن، ویژگی‌های کیفی، پردازش تصویر

مقدمه

متمرکز می‌گردد، بنابراین با افزایش فشار بخار در این منطقه، رطوبت به سمت لایه‌های بیرونی که فشار بخار کمتری دارند، منتقل می‌شود. از این رو مشکلات مربوط به هدایت گرمایی و خشک شدن پوسته کاهش می‌یابد (Sandu, 1986). همچنین عمق نفوذ به ترکیبات، ساختار ماده و طول موج اشعه بستگی دارد. هنگامی که ماده در معرض اشعه قرار گیرد انرژی امواج الکترومغناطیسی بصورت مستقیم و بدون اتلاف انرژی، جذب می‌گردد (Pan et al., 2008). در خشک کردن با مادون قرمز، لایه سطحی و قسمت‌های داخلی به شدت گرم شده و در نتیجه باعث افزایش سرعت انتقال جرم و حرارت می‌گردد (Hebbar & Ramesh, 2005). روش خشک کردن به کمک مادون قرمز، به خصوص برای میوه‌هایی با رطوبت بالا، مناسب است. علی‌رغم اینکه مواد خشک نسبت به طول موج بلند (بیش از ۳ میکرومتر) کاملاً نفوذ پذیرند، اما این طول موج تقریباً بصورت کامل توسط مواد مرطوب جذب می‌گردد (Ruiz Celma et al., 2009). خشک کردن لایه‌های نازک در اشعه مادون قرمز دور (FIR) (۱۰۰-۲۵ میکرومتر) کارایی بیشتری دارد، در حالی که اشعه مادون قرمز نزدیک (NIR) (۰.۷۵-۳ میکرومتر) برای خشک کردن قسمت‌های ضخیم‌تر مناسب می‌باشد (Nowak & Lewicki, 2004). استفاده از تکنولوژی تابش مادون قرمز در خشک کردن محصولات کشاورزی نسبت به روش جابجایی هوای داغ، دارای چندین مزیت از جمله کاهش زمان خشک شدن، کاهش مصرف انرژی، کیفیت بالاتر

خشک کردن یکی از قدیمی‌ترین روش‌های نگهداری مواد غذایی محسوب می‌گردد که از طریق کاهش رطوبت محصول، می‌تواند سرعت رشد میکروبی و یا واکنش‌های شیمیایی ناخواسته از جمله قهوه‌ای شدن آنزیمی را کاهش دهد (Gowen et al., 2008). از طرفی به دلیل کاهش حجم و وزن محصول، عملیات بسته‌بندی، انتقال و انبارداری با سهولت بیشتری انجام می‌گیرد (Orikasa et al., 2014). هرچند استفاده از هوای داغ، رایج‌ترین روش خشک کردن انواع میوه محسوب می‌گردد اما بسیاری از تحقیقات نشان می‌دهد خشک کردن هوای داغ به علت نیاز به دما و زمان طولانی، ویژگی‌های کیفی محصول نهایی از جمله طعم، رنگ، ارزش غذایی و بافت را تخریب می‌نماید (Abano et al., 2011).

یکی از راه‌های کوتاه کردن مدت زمان خشک شدن و جلوگیری از مشکلات انتقال حرارت بصورت جابجایی، فراهم کردن حرارت و گرما توسط تابش مادون قرمز می‌باشد. در روش خشک کردن با منبع تابشی، گرما درون ماده تولید شده و در منطقه‌ای با رطوبت بیشتر

۱، ۲ و ۳- به ترتیب دانشجویان کارشناسی ارشد و استادیار گروه علوم و صنایع

غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد.

۴- دانشجوی دکتری، گروه مهندسی مکانیک، دانشگاه فردوسی مشهد

(Email: mtahizadeh@um.ac.ir

*) نویسنده مسئول:

که M_1 : وزن اولیه برش های خرمالو، M_2 : وزن نهایی برش ها، X_1 : رطوبت اولیه و X_2 : رطوبت نهایی برگه ها می باشد.

روش ها

خشک کردن با هوای داغ: خشک کردن برش های خرمالو توسط خشک کن غیرمداوم کابینتی با جریان هوای داغ (ساخت شرکت طب سروش) مجهز به سه سینی مشبک فلزی انجام پذیرفت (شکل ۱). در این خشک کن هوای داغ از قسمت مرکزی با سرعت ثابت ۱/۵ متر بر ثانیه دمیده می شد. دستگاه حدود ۲۰ دقیقه قبل از شروع آزمون و به منظور ایجاد شرایط پایدار، روشن شده و سپس سینی حاوی برگه ها به صورت یک لایه نازک داخل خشک کن قرار گرفت. دماهای مورد استفاده شامل ۵۰، ۶۰ و ۷۰ درجه سانتی گراد بود.

خشک کردن با مادون قرمز: برای این منظور از یک خشک کن آزمایشگاهی مادون قرمز استفاده شد (شکل ۲). تابش بوسیله ی یک لامپ مادون قرمز گازی با المان فلزی (شرکت اویت، چین) با توان خروجی ۱۳۰۰ وات انجام شد. لامپ بالای سطح نمونه ها بصورت عمودی و در فاصله ۲۰ سانتی متر تعبیه شده بود. به منظور جابجایی هوا و خروج رطوبت از داخل محفظه خشک کن، از یک فن مکشی استفاده شد و دو دریچه در بالای فن مکنده ایجاد گردید. در این خشک کن شدت تابش لامپ توسط یک مدار دیمر قابل تغییر بود. در این تحقیق و برای رسیدن به دماهای ۵۰، ۶۰ و ۷۰ درجه سانتی گراد، قبل از قرار دادن نمونه های اصلی، دمای مرکز نمونه ها با استفاده از یک ترموکوپل نوع k با اندازه نوک ۱mm ارزیابی گردید و از آنجایی که تابش متناوب لامپ مادون قرمز، پارامتر کنترل کننده ی دمای برگه بود، بعد از ایجاد شرایط پایدار دمایی نمونه های اصلی خشک شدند. در این روش نیز مطابق با فرمول (۱) وزن لازم برای رسیدن به رطوبت ۱۰٪ تعیین گردید. پس از خشک کردن، نمونه ها داخل بسته های پلی اتیلنی بسته بندی و تا انجام آزمون ها در دمای ۴ درجه سانتی گراد نگهداری شدند.

تعیین میزان باز جذب آب: قابلیت جذب آب مجدد، به کمک غوطه وری در آب مقطر با دمای ۲۵ درجه سانتی گراد، طی ۲ ساعت انجام شد (Eshraghi et al., 2012). نسبت نمونه به آب مقطر ۱:۱۰ انتخاب گردید و برگه ها پس از ۲ ساعت از آب خارج شدند. در ادامه رطوبت سطحی نمونه ها توسط کاغذ جاذب رطوبت گرفته شد و نمونه ها وزن گردیدند. قابلیت جذب آب نمونه های خشک شده از فرمول (۲) محاسبه گردید (Lerici & Mastro, 1988):

$$RR = \frac{W_r}{W_d} \quad (2)$$

که در این فرمول:

RR: قابلیت جذب آب، یا نسبت مقدار آب جذب شده در محصول

محصول نهایی و ایجاد دمای یکنواخت داخل محصول است (Sharma et al., 2005, Nowak & Lewicki, 2004).

خرمالو (*Diospyros kaki L.*) معمولاً در مناطق گرمسیری جهان رشد می کند و سرشار از ترکیبات زیست فعال از جمله پلی فنل، کاروتنوئید، فیبر و مواد معدنی است (Jang et al., 2011). بر اساس آمار سازمان خواربار و کشاورزی، تولید خرمالو در ایران طی سال ۲۰۱۰ برابر ۲۱۰۰ تن بوده که از این نظر، ایران در جایگاه دهم قرار دارد (FAO, 2010). از آنجایی که خرمالوی تازه، میوه ای با زمان ماندگاری کوتاه است لذا می توان از طریق فرآوری و به خصوص تهیه برگه، زمان ماندگاری و ارزش افزوده آن را افزایش داد.

در بررسی منابع مشخص گردید استفاده از مادون قرمز در اکثر موارد به منظور مدل سازی و یا بررسی کیفیت خشک شدن محصولاتی نظیر هلو (Wang & Sheng, 2006)، هویج و سیر (Baysalet al., 2003)، پیاز (Wang, 2002)، سیب (Togrul, 2005)، موز (Pan et al., 2008) و انگور بی هسته (Caglalet al., 2009) استفاده شده است اما تاکنون در هیچ پژوهشی اثر مادون قرمز بر ویژگی های کیفی برگه خرمالو ارزیابی نشده است.

هدف از این پژوهش، بکارگیری دو روش هوای داغ و مادون قرمز به منظور خشک کردن خرمالو و همچنین مقایسه این دو روش از نظر زمان فرآیند و اثر آنها بر میزان باز جذب آب، مولفه های رنگی، چروکیدگی، بافت و ویژگی های حسی برگه خرمالو بود.

مواد و روش ها

مواد

میوه خرمالو وارپته کاکای با درجه رسیدگی و رنگ یکسان، از بازار محلی در شهر مشهد خریداری و سپس تا زمان انجام آزمون ها داخل یخچال با دمای ۴ درجه سانتی گراد نگهداری شد. به منظور رسیدن به دمای اتاق، میوه ها ۲ ساعت قبل از برش زدن از یخچال خارج شدند. نمونه ها با استفاده از دستگاه کاتر (مدل DOMGL ۱۹۵، شرکت بلوگنا ایتالیا) از مقطع عرضی و با ضخامت ۵ میلی متر برش زده شد. رطوبت اولیه نمونه ها به کمک قرار دادن در آون تحت خلا با دمای ۶۰ درجه سانتی گراد طی ۷۲ ساعت تعیین گردید که بطور میانگین برابر با $1 \pm 78/2\%$ بر مبنای وزن مرطوب بود. به منظور تعیین زمان قطع فرآیند خشک کردن، ابتدا برگه هایی که دارای وزن مشابه بودند، انتخاب شده و در داخل خشک کن قرار گرفتند. سپس برای بررسی تغییرات رطوبت طی خشک کردن با هوای داغ هر ۱۰ دقیقه و در خشک کن مادون قرمز هر ۵ دقیقه، نمونه ها وزن شدند. وزن نهایی برش ها برای رسیدن به رطوبت نهایی $1 \pm 10\%$ (Hazbavi & Minaei, 2010) به کمک فرمول (۱) تعیین گردید:

$$M_1 (1 - X_1) = M_2 (1 - X_2) \quad (1)$$

(Afshari-Jouybari & Farahnaky, 2011).

چروکیدگی: درصد تغییرات حجم ناشی از چروکیدگی نمونه‌ها با اندازه گیری تغییرات حجم برگه نسبتبه حجم اولیه به روش جابجایی مایع با استفاده از تولوئن و فرمول (۳) محاسبه گردید (Razavi & Akbari, 2006).

$$\%S = \frac{V_0 - V_d}{V_0} \times 100 \quad (3)$$

که S درصد چروکیدگی محصول، V_0 و V_d به ترتیب حجم نمونه بعد و قبل از خشک کردن می‌باشد.

ارزیابی بافت: بافت نمونه‌ها بوسیله اندازه‌گیری میزان تنش در بیشینه نیرو، ارزیابی شد که برای حصول آن از روش سوراخ کردن^۱ استفاده شد (Thompson et al., 1982). تنش در بیشینه نیرو با سختی برگه‌های خرمالو مرتبط است. برای انجام آزمون از دستگاه بافت سنج^۲ (مدل TA/XT/Plus، آمریکا) با پروب استوانه‌ای به قطر میلی‌متر و سرعت ثابت ۱/۵ میلی‌متر بر ثانیه استفاده شد. سختی برگه‌های خرمالو توسط روش سوراخ کردن ارزیابی شد. میزان تنش بر حسب مگاپاسکال از معادله زیر به دست آمد:

$$\sigma = \frac{F}{A} \times 10^6 \quad (4)$$

در فرمول بالا σ میزان تنش (پاسکال)، F نیروی مورد نیاز جهت نفوذ (نیوتن)، A سطح (متر مربع) را نشان می‌دهد.

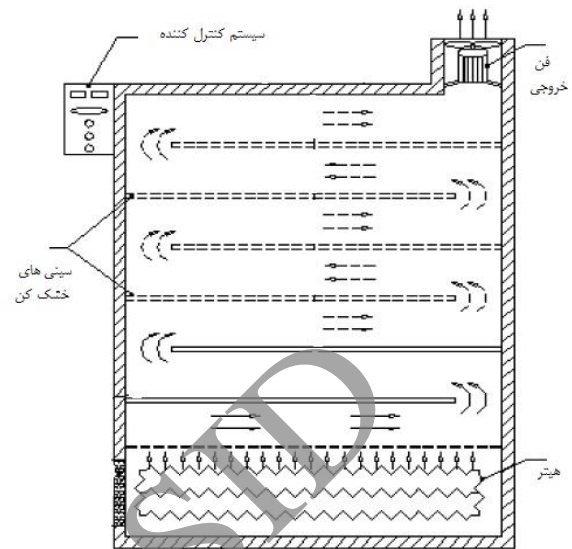
ارزیابی حسی برگه‌ها: ارزیابی حسی برگه‌ها توسط یک گروه ارزیاب متشکل از ۱۰ نفر متخصصان صنایع غذایی انجام پذیرفت. کلیه ارزیابی‌ها به روش تک‌چشایی و با روش امتیازبندی هدونیک پنج نقطه‌ای صورت گرفت و نظر ارزیاب‌ها در مورد رنگ، طعم، بافت، چروکیدگی و پذیرش کلی محصول مطرح گردید.

تجزیه و تحلیل داده‌ها: به منظور بررسی دو روش خشک کردن با هوای داغ و مادون قرمز بر ویژگی‌های کیفی برگه خرمالو در سطوح‌مادی (۵۰، ۶۰ و ۷۰ درجه‌سانتی‌گراد) با استفاده از طرح کاملاً تصادفی و در قالب فاکتوریل انجام شد و میانگین‌ها با استفاده از آزمون دانکن در سطح معنی‌داری ($p < 0.05$) مقایسه شدند. نتایج بدست آمده با استفاده از نرم افزار SPSS (نسخه ۱۶) آنالیز و برای رسم اشکال از نرم افزار اکسل ۲۰۱۰ استفاده شد. نتایج آنالیز واریانس و ضریب تغییرات آزمون‌های مختلف، در جداول ۱ و ۲ نشان داده شده است.

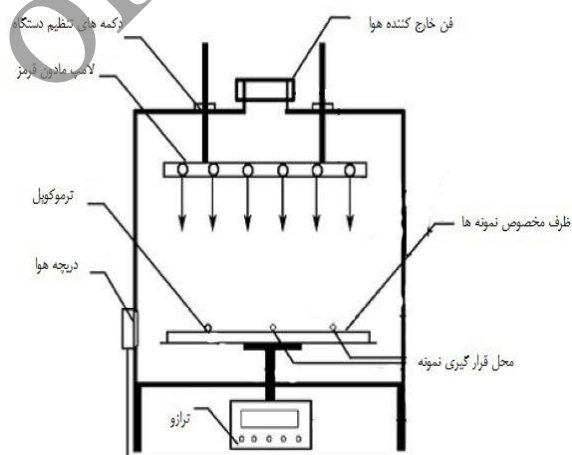
نتایج و بحث زمان خشک کردن

بررسی منحنی زمان خشک کردن نشان داد که سرعت خشک شدن برگه‌ها در خشک کن مادون قرمز بیشتر از هوای داغ بود بطوری که

به مقدار وزن اولیه W_r : وزن نهایی نمونه پس از جذب آب (gr) و W_d : وزن برگه قبل از جذب آب (gr)



شکل ۱- خشک کن کابینتی هوای داغ



شکل ۲- خشک کن آزمایشگاهی مادون قرمز

تصویرگری و پردازش تصویر: به منظور تعیین مولفه‌های رنگی، نمونه‌ها داخل محفظه‌ای به رنگ مشکی و با ابعاد ۰/۵ (عرض) × ۰/۵ (طول) × ۰/۸ متر (ارتفاع) قرار گرفتند که از لامپ‌های فلوروسنت برای نورپردازی آن استفاده شده بود. تصویرگیری با استفاده از دوربین Canon مدل EOS 1000D انجام گرفت که از طریق پورت USB به رایانه متصل بود. زاویه میان محور لنز دوربین با سطح نمونه و سطح نمونه با منبع نور به ترتیب برابر ۹۰ و ۴۵ درجه بود. تصاویر دیجیتال در قالب JPEG ذخیره و سپس با استفاده از نرم‌افزار فتوشاپ (نسخه ۱۲) مولفه‌های رنگی تعیین گردید

¹ Puncture test

² Texture Analyzer

با افزایش زمان تابش اشعه مادون قرمز (افزایش دمای برگه‌ها) میزان بازجذب آب توسط برگه های خرمالو نیز کاهش یافت به طوری که نمونه خشک شده با دمای 50°C توسط مادون قرمز کمترین میزان بازجذب آب را نشان داد. همچنین میان بازجذب آب نمونه‌های مادون قرمز با احتمال ۹۵٪ اختلاف آماری معنی‌داری وجود داشت. در نمونه خشک شده با دمای 50°C توسط مادون قرمز، به علت افزایش زمان قرارگیری در برابر اشعه، پوسته سختی در سطح برگه شکل می‌گیرد که منجر به کاهش ورود آب به داخل برگه طی فرآیند بازجذب آب می‌گردد. نتایج بدست آمده توسط Shih و همکاران (۲۰۰۸) نشان داد طی خشک کردن توت فرنگی با مادون قرمز، برگه‌ها به سرعت گرم شده و بخار آب، دیواره‌های سلولی را منبسط کرد و در نتیجه حفرات بزرگی درون محصول شکل گرفت این در حالی است که در روش هوای داغ، دما به تدریج از دمای محیط به دمای خشک کردن رسید و رطوبت آزاد شده از برگه‌ها، باعث ایجاد فشار بخار اطراف محصول شد که باعث کاهش سرعت تبخیر گردید. این نتایج با گزارش سایر محققان نیز مطابقت دارد (NimmolSandhu *et al.*, 2007 & Parhawk, 2002).

بررسی شاخص‌های رنگ برگه‌ها

رنگ ویژگی مهمی در مواد غذایی است که بر ظاهر و مشتری پسندی محصول تاثیر می‌گذارد (Esehaghbeygiet *et al.*, 2014). جدول (۳) اثر دما و روش خشک کردن را بر رنگ های خرمالو نشان می‌دهد. نتایج آنالیز واریانس نشان‌دهنده اثر معنی‌دار دمای خشک کردن بر مولفه L^* رنگ (شاخص روشنایی) می‌باشد ($p < 0.01$) به صورتی که در روش مادون قرمز، با افزایش دمای برگه این شاخص نیز افزایش می‌یابد.

میانگین زمان خشک شدن برای رسیدن به رطوبت نهایی در دماهای 50°C و 60°C و 70°C مادون قرمز برابر با ۱۹۳، ۱۷۲ و ۱۳۹ دقیقه تعیین گردید در حالیکه این مقادیر برای هوای داغ به ترتیب ۳۶۰، ۲۴۸ و ۲۲۵ دقیقه بود. به عبارتی با استفاده از روش مادون قرمز، زمان خشک شدن در سه سطح دمایی به ترتیب ۴۶/۳۹٪، ۳۰/۶۶٪ و ۳۸/۲۲٪ کاهش یافت (شکل ۳). نتایج آنالیز واریانس نیز نشان داد که روش خشک کردن با احتمال ۹۹٪ بیشترین تاثیر را بر زمان خشک کردن داشت. بنظر می‌رسد دلیل این امر این است که امواج مادون قرمز می‌توانند بصورت مستقیم و بدون گرم کردن محیط اطراف، توسط برش میوه جذب شوند و به همین دلیل انتقال حرارت و در نتیجه رطوبت، با سرعت بیشتری انجام گیرد.

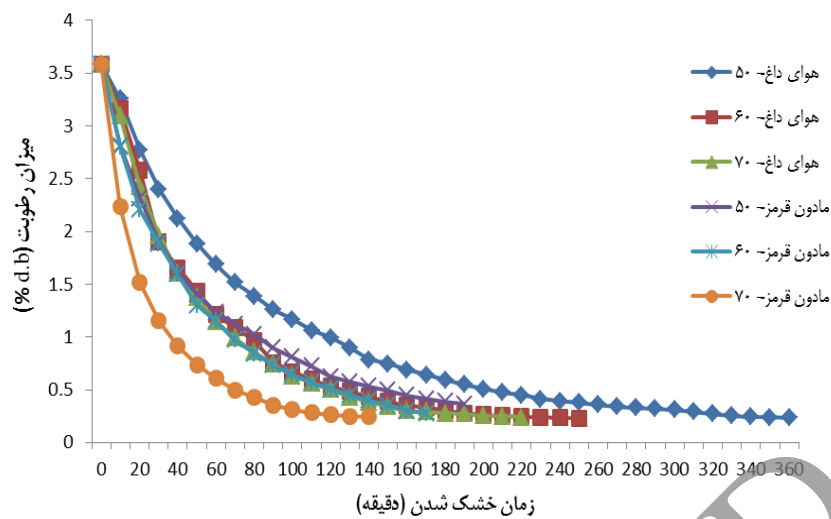
تاثیر مادون قرمز و هوای داغ بر بازجذب

بازجذب می‌تواند معیاری برای ارزیابی صدمات ناشی از خشک کردن و یا تیمارهای قبل از خشک کردن باشد. ظرفیت بازجذب آب، بطور معنی‌داری تحت تاثیر ویژگی‌های بافتی محصول قرار می‌گیرد. بازجذب ضعیف، نتیجه فروپاشی ساختمان داخلی است (Al-Khuseibiet *et al.*, 2005). روش‌های مختلف خشک کردن نیز بر تراکم ساختار و بافت اثرگذار است (Dewiet *et al.*, 2011). نتایج آنالیز واریانس نشان داد جذب آب مجدد برگه‌ها به طور معنی‌داری تابع روش خشک کردن است ($p < 0.01$). همانطور که در شکل (۴) مشاهده می‌گردد، بالاترین میزان بازجذب مربوط به برگه‌ی خشک شده در دمای 60°C هوای داغ است که به استثنای نمونه ی خشک شده در دمای 70°C مادون قرمز، با سایر نمونه‌ها دارای اختلاف آماری معنی‌دار می‌باشد ($p < 0.01$). به عبارت دیگر در روش هوای داغ، اعمال دماهایی فراتر از 60°C ، اثر معکوس بر بازجذب برگه‌ها داشت که احتمالاً ناشی از تخریب روزنه و حفرات موجود در ساختار محصول می‌باشد. نتایج مشابهی توسط سایر محققان گزارش شده است (Cunningham *et al.*, 2008 Doymaz 2012).

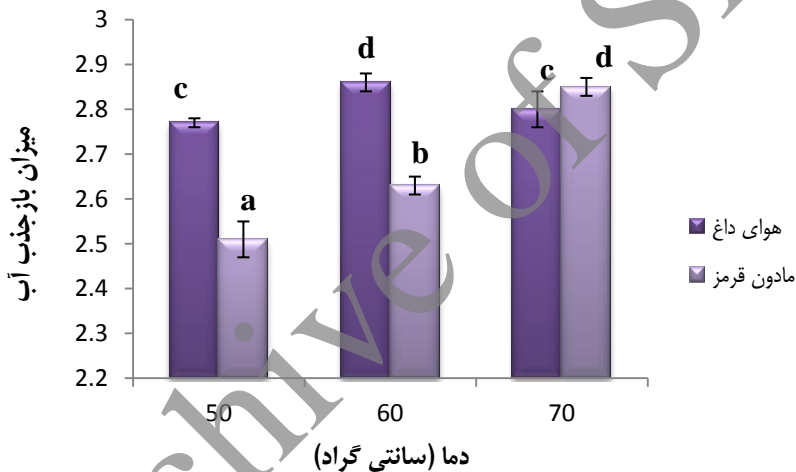
جدول ۱ - نتایج آنالیز واریانس (ANOVA) آزمون های برگه خرمالو

میانگین مربعات					بازجذب آب	زمان خشک کردن	درجه آزادی	منابع تغییرات
بافت	b*	a*	L*	چروکیدگی				
۰/۴۴۷**	۴/۵ ^{ns}	۶۸/۰۵۶*	۲۰/۰۵۶*	۳۷/۵۲۷**	۰/۰۹۵**	۵۳۹۰۱**	۱	روش خشک کردن
۰/۱۹۶*	۵/۳۸۹*	۱۱۰/۰۵۶**	۴۶/۵**	۴۸/۷۵۵**	۰/۰۵۳*	۱۴۲۶۳**	۲	دما
۰/۷۱۸*	۶۷/۱۶۷**	۱۱/۷۲۲**	۳۴/۷۲۲**	۲/۵۴۰*	۰/۰۴۳*	۴۱۸۹**	۲	روش خشک کردن × دما
۰/۰۱۵	۱/۳۳۳	۰/۶۱۱	۰/۸۳۳	۰/۱۹۶	۰/۰۰۰۳۷	۹	۱۲	خطای آزمایشی

** معنادار در سطح یک درصد * معنادار در سطح پنج درصد ns = غیر معنی دار



شکل ۳- تغییرات میزان رطوبت طی دو روش مختلف خشک کردن



شکل ۴- تاثیر دما و روش خشک کردن بر میزان بازجذب برگه‌ها

احتمال ۹۹٪ دما بیشترین اثر معنی دار را بر این مولفه رنگی داشت. خرمالو حاوی ترکیبات زیست‌فعال فراوان از جمله پلی‌فنل و رنگدانه‌های کاروتنوئیدی می‌باشد (Jang *et al.*, 2011). رنگدانه بتاکاروتن عامل اصلی ایجاد رنگ قرمز تا نارنجی خرمالو است. اکسیداسیون یا تجزیه این رنگدانه و هم چنین تغییرات ایزومری (سیس یا ترانس) نقش موثری در کاهش قرمزی محصول نهایی خواهد داشت بطوری که این شاخص در مورد برگه‌ی خشک شده در مادون قرمز ۷۰°C، به کمترین میزان خود (۱۲/۳۳) رسید. این نتایج با پژوهش صورت گرفته توسط Ihns و همکاران (۲۰۱۱) که بر روی زردآلو انجام شد، مطابقت دارد.

هر چند در روش هوای داغ با افزایش دما از ۵۰ به ۶۰°C مولفه *L نیز افزایش می‌یابد اما با افزایش دما تا ۷۰°C این شاخص از ۵۷/۳۳ به ۵۶/۶۷ کاهش می‌یابد که با نتایج پژوهش Abano و همکاران (۲۰۱۱) مطابقت دارد. دامنه تغییرات *L در برگه‌های خشک شده با مادون قرمز بالاتر از هوای داغ بود به طوری که برگه خشک شده توسط مادون قرمز با دمای ۷۰°C، نسبت به سایر نمونه‌ها روشن تر بود. افزایش شاخص *L برگه‌های موز در روش مادون قرمز توسط Pan و همکاران (۲۰۰۸) نیز گزارش شد. با افزایش دما از ۵۰ به ۷۰°C، مولفه *a (شاخص قرمزی) در هر دو روش کاهش یافت و کمترین میزان آن مربوط به نمونه خشک شده در مادون قرمز ۷۰°C بود. نتایج تجزیه واریانس نشان داد با

جدول ۲- مقایسه ضریب تغییرات آزمون ها

آزمون	ضریب تغییرات (%CV)
زمان خشک کردن	۱/۳۴
بازجذب آب	۰/۶۹
چروکیدگی	۱/۱۹
L*	۱/۵۹
a*	۴/۱۲
b*	۲/۳۹
بافت	۷/۲۲

قابلیت غیرفعال سازی آنزیمها را دارا است (Sawai *et al.*, 2003). در مورد برگه های خشک شده با هوای داغ، کمترین شاخص b^* مربوط به دمای 70°C می باشد. قند فراوان موجود در خرمالو، شرایط را برای انجام واکنش های قهوه ای شدن فراهم می کند و قرار گرفتن در دمای بالا به تسریع این واکنش کمک می کند. به عبارتی در این نمونه، بیشترین میزان واکنش های قهوه ای شدن رخ داده است. تغییرات شاخص های رنگی (شکل های ۵ و ۶) نشان می دهد که شاخص زردی (b_2-b_1) و روشنایی نسبت به نمونه تازه (L_2-L_1) به ترتیب در روش هوای داغ و مادون قرمز دارای بیشترین تغییرات بوده است.

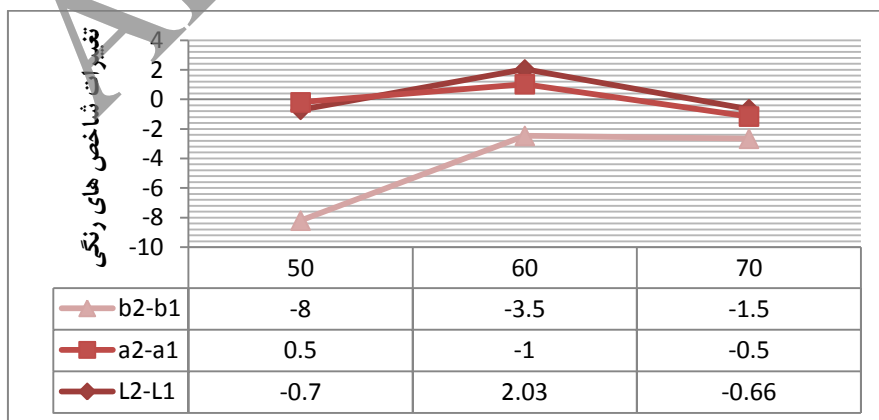
بررسی میزان چروکیدگی: تغییرات شکل و کاهش حجم در اکثر موارد از نظر مصرف کننده یک ویژگی منفی به شمار می آید. طی فرآیند خشک کردن، چروکیدگی غیریکنواخت باعث ایجاد ترک های سطحی در محصول شده که منجر به ایجاد فشارهای نامتعادل و شکست مواد می گردد (Mayor & Sereno, 2004). نتایج آنالیز واریانس نیز نشان داد که دما بر چروکیدگی برگه های خرمالو دارای اثر معنی دار می باشد ($p < 0.01$). با افزایش دما از 50°C به 70°C چروکیدگی نمونه های خشک شده در هر دو روش نیز افزایش یافت (شکل ۷).

با توجه به جدول ۳، نتایج بررسی داده ها نشان داد میانموله b^* (شاخص زردی) نمونه های خشک شده توسط مادون قرمز، با احتمال ۹۵٪ اختلاف معنی داری مشاهده گردید. همچنین با احتمال ۹۹٪ اثر متقابل روش خشک کردن با دما، بیشترین تاثیر را بر شاخص زردی نمونه ها داشت (جدول ۱). روند تغییرات در دو روش هوای داغ و مادون قرمز نیز متفاوت بود بطوری که با افزایش دما از 50°C تا 70°C در این دو روش، شاخص b^* به ترتیب کاهش و افزایش یافت. افزایش شاخص زردی در نمونه های خشک شده توسط مادون قرمز مشابه با نتایج حاصل از پژوهش Simal و همکاران (۲۰۰۵) بود. علت این پدیده احتمالاً ناشی از کاهش وقوع واکنش های قهوه ای شدن آنزیمی با افزایش مدت زمان تابش اشعه مادون قرمز می باشد؛ زیرا این اشعه

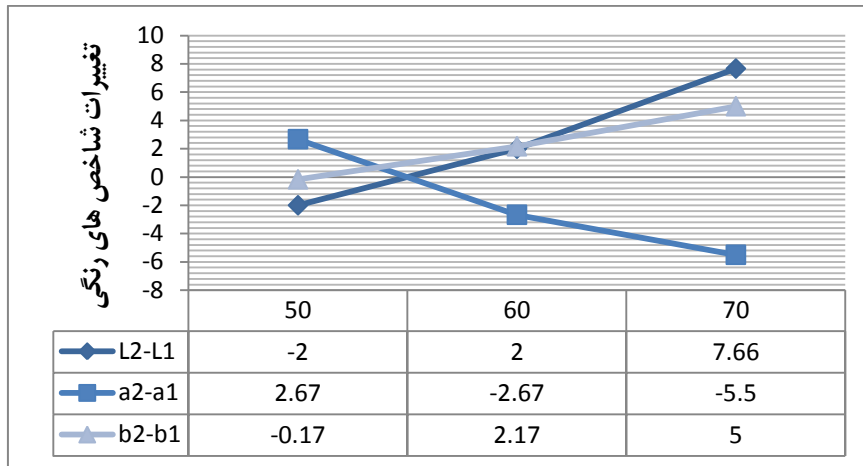
جدول ۳- تاثیر دما و روش خشک کردن بر مولفه های رنگی برگه ها

مادون قرمز			هوای داغ			L*
70°C	60°C	50°C	70°C	60°C	50°C	
$64/33 \pm 1/15^d$	$56/67 \pm 0/51^{bc}$	$54/67 \pm 0/58^a$	$56/67 \pm 0/58^{bc}$	$57/33 \pm 1/53^c$	$55/33 \pm 0/58^{ab}$	L*
$12/33 \pm 0/58^a$	18 ± 1^b	$20/67 \pm 0/58^c$	$17/67 \pm 1/15^b$	$18/67 \pm 0/58^b$	$26/33 \pm 0/58^d$	a*
$53/33 \pm 1/92^d$	$47/67 \pm 0/58^b$	$45/33 \pm 0/58^a$	$45/33 \pm 1/53^a$	$47/33 \pm 0/58^{ab}$	$50/67 \pm 0/58^c$	b*

میانگین \pm انحراف استاندارد در هر ستون میانگین های دارا ایزروفشتر کبها لحاظ مارا با اختلاف معنی دار ندارند ($p < 0.05$).



شکل ۵ - تاثیر دمای خشک کن هوای داغ بر تغییرات شاخص های رنگ

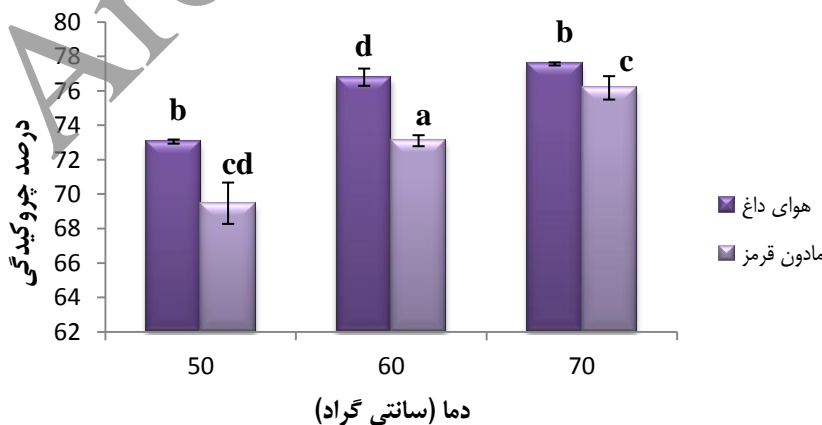


شکل ۶- تاثیر دمای ایجاد شده در برگه‌ها توسط مادون قرمز بر تغییرات شاخص‌های رنگ

شکل (۸) میزان تنش برگه‌های خرمالو در برابر بیشینه نیرو را در سه دمای متفاوت نشان می‌دهد. همانطور که در شکل نیز مشخص است، در روش هوای داغ با افزایش دما، میزان نیروی لازم برای نفوذ پروب به داخل برگه‌ها کاهش یافت. اثر متقابل دما و روش خشک کردن، بیشترین تاثیر معنی‌دار را بر بافت برگه‌های خرمالو داشت ($p < 0.01$). عبارتی حذف آب به همراه کاهش فشار درونی، باعث کاهش حجم بافت سلولی و نرم تر شدن آن می‌گردد (Igual, 2003; Ramos et al., 2011) و همکاران (۲۰۱۱) نتایج مشابهی را برای برگه‌های خرمالو گزارش کردند. از طرفی برگه‌های خشک شده در هوای داغ با دمای ۵۰ و ۶۰°C، بافت سفت‌تری در مقایسه با نمونه‌های مشابه مادون قرمز داشتند که این موضوع به دلیل چروکیدگی کمتر، تخلخل و روزه‌های درشت‌تر ایجاد شده توسط اشعه مادون قرمز است. روند تغییرات بافت نمونه‌های خشک شده توسط مادون قرمز یکسان نبود.

با افزایش دما در روش هوای داغ، میزان حرارت انتقال یافته به داخل محصول افزایش و میزان رطوبت محصول کاهش می‌یابد در نتیجه به دلیل تنش‌های کششی که در ساختار سلولی اتفاق می‌افتد، چروکیدگی نیز تشدید می‌گردد. این نتایج با پژوهشی که توسط Abasi و همکاران (۲۰۰۹) انجام شد، تطابق دارد. در مورد نمونه‌های مادون قرمز، این پدیده ناشی از اختلاف دمای زیاد بین قسمت‌های داخلی و محیط خارجی نمونه است زیرا اشعه مادون قرمز بدون گرم کردن هوای اطراف به سطح محصول منتقل می‌شود، سپس به داخل محصول نفوذ کرده و حرارت را انتقال می‌دهد (Khiret et al., 2011). میزان چروکیدگی نمونه‌های خشک شده به روش مادون قرمز در هر سه سطح دمایی کمتر از نمونه‌های خشک شده به روش هوای داغ بود. Baysal و همکاران (۲۰۰۳) گزارش کردند چروکیدگی نمونه‌های سیر خشک شده به روش مادون قرمز کمتر از روش هوای داغ است.

بافت



شکل ۷- تاثیر دما و روش خشک کردن بر درصد چروکیدگی برگه‌ها

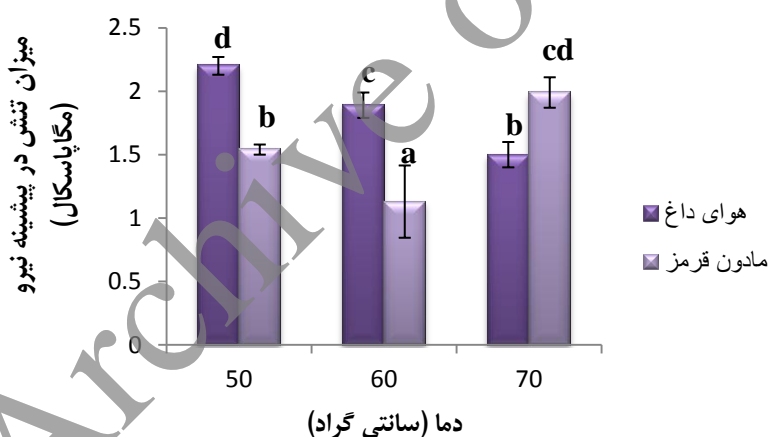
نتیجه گیری

نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد استفاده از اشعه مادون قرمز در شرایطی که دمای ۵۰°C را در محصول ایجاد کند، تاثیر مطلوبی بر بافت، چروکیدگی و شاخص لارنگ* داشت اما در شرایطی که نمونه طی مدت زمان طولانی در معرض اشعه مادون قرمز قرار می گرفت نه تنها این اثر مطلوب را نداشت بلکه در برخی از موارد از جمله رنگ، باعث افت کیفیت برگه ها شد. همچنین زمان خشک کردن، هنگام استفاده از مادون قرمز در مقایسه با هوای داغ در سه دمای ۵۰، ۶۰ و ۷۰°C به ترتیب ۴۶/۳۹٪، ۳۰/۶۶٪ و ۳۸/۲۲٪ کاهش یافت. از طرفی برگه های خشک شده با هوای داغ، باز جذب آب بالاتری نشان دادند. از آنجایی که اشعه مادون قرمز بدون گرم کردن هوای اطراف به سطح محصول منتقل می گردد به همین دلیل سرعت انتقال حرارت افزایش می یابد. همچنین ارزیابان حسی به برگه خشک شده توسط مادون قرمز با دمای ۵۰°C، بالاترین امتیاز را از نظر بافت، رنگ، چروکیدگی و پذیرش کلی دادند. به طور کلی نتایج حاکی از آن بود که استفاده از امواج مادون قرمز می تواند تاثیر مطلوبی بر خواص کیفی برگه خرمالو داشته باشد، هر چند این امر نیازمند پژوهش های بیشتر به خصوص در زمینه بهینه یابی شرایط خشک کردن می باشد.

با افزایش دما از ۵۰ به ۶۰°C، سختی بافت بطور معنی داری کاهش یافت ($p < 0.05$). علت این امر پدیده پف کردن است که طی تبخیر سریع رطوبت توسط اشعه مادون قرمز از داخل بافت رخ می دهد. این نتایج با پژوهش انجام شده توسط Nathakaranakule و همکاران (۲۰۱۰) مشابه بود. همانطور که در شکل (۸) مشخص است بافت نمونه خشک شده توسط مادون قرمز با دمای سطحی ۷۰°C، ناگهان تغییر کرده است که دلیل آن احتمالاً ناشی از ایجاد اختلاف دمای شدید میان برگه و محیط اطراف بود که به ایجاد ساختار متراکم و با استحکام بالا کمک کرده است.

ارزیابی حسی

جدول (۴) امتیاز ارزیاب های حسی به ویژگی های کیفی برگه ها را نشان می دهد. همانطور که در جدول نشان داده شده است، برگه خشک شده توسط مادون قرمز با دمای ۵۰°C دارای بالاترین مقبولیت از نظر بافت، رنگ، چروکیدگی و پذیرش کلی بود.



شکل ۸- تاثیر دما و روش خشک کردن بر بافت برگه ها

جدول ۴- نتایج ارزیابی حسی برگه های خرمالو به روش هدونیک ۵ نقطه ای

	مادون قرمز			هوای داغ			
	۷۰°C	۶۰°C	۵۰°C	۷۰°C	۶۰°C	۵۰°C	
بافت	۳/۲±۰/۲۹ ^{ab}	۳/۹±۰/۳۴ ^{bc}	۴/۵±۰/۱۶ ^c	۲/۷±۰/۴۷ ^a	۳/۹±۰/۲۸ ^{bc}	۲/۵±۰/۲۷ ^a	
رنگ	۳/۳±۰/۲۶ ^a	۳/۴±۰/۲۷ ^{ab}	۴/۷±۰/۲۱ ^c	۲/۶±۰/۳۱ ^a	۴/۲±۰/۲۹ ^{bc}	۳/۳±۰/۳۶ ^a	
چروکیدگی	۳/۲±۰/۲۹ ^{ab}	۳/۷±۰/۳۳ ^{abc}	۴/۲±۰/۲۵ ^c	۴/۱±۰/۲۸ ^{bc}	۳/۹±۰/۲۸ ^{bc}	۲/۹±۰/۳۴ ^a	
طعم	۳/۱±۰/۲۸ ^{ab}	۴/۲±۰/۳۳ ^c	۳/۹±۰/۳۳ ^{bc}	۲/۸±۰/۲۰ ^a	۳/۴±۰/۳۱ ^{abc}	۳/۷±۰/۲۶ ^{bc}	
پذیرش کلی	۳/۲±۰/۲۰ ^{ab}	۳/۶±۰/۲۷ ^{bc}	۴/۲±۰/۲۵ ^c	۲/۹±۰/۲۳ ^{ab}	۳/۵±۰/۲۳ ^b	۲/۷±۰/۲۲ ^a	

حروف a-c بیانگر درجه بندی دانکن است

- Abano, E.E., Ma, H., & Qu, W., 2011, Influence of Air Temperature on the Drying Kinetics and Quality of Tomato Slices. *Food Processing & Technology*, 2, 2-9.
- Abasi, S., Mousavi, S.M., Mohebi, M., & Kiani, S., 2009, Effect of Time and Temperature on Moisture Content, Shrinkage, and Rehydration of Dried Onion. *Iranian Journal of Chemical Engineering*, 6, 57-70.
- Afshari-Jouybari, H., & Farahnaky, A., 2011, Evaluation of Photoshop software potential for food colorimetry. *Journal of Food Engineering*, 106, 170-175.
- Afzal, T., Abe, T. & Hikida, Y., 1999, Energy and quality aspects during combined FIR- convective drying of barley. *Journal of food engineering*, 42, 177-182.
- Al-Khuseibi, M.K., Sablani, Sh.S. & Perera, C.O., 2005, Comparison of Water Blanching and High Hydrostatic Pressure Effects on Drying Kinetics and Quality of Potato. *Drying Technology*, 23, 2449-2461.
- Baysal, T., Icier, F., Ersus, S. & Yildiz, H., 2003, Effects of microwave and infrared drying on the quality of carrot and garlic. *Eurpen Food Research and Technology*, 218, 68-73.
- Baysal, T., Icier, F., Ersus, S. & Yildiz, H., 2003, Effects of microwave and infrared drying on the quality of carrot and garlic. *Eurpen Food Research and Technology*, 218, 68-73.
- Caglar, A., Togrul, I.T., & Togrul H., 2009, Moisture and thermal diffusivity of seedless grape under infrared drying. *Food Bio products Process*, 87, 292-300.
- Cunningham, S.E., McMinn, W.A.M., Magee, T.R.A., & Richardson, P.S., 2008, Experimental study of rehydration kinetics of potato cylinders. *Food Bioprod Process*, 86, 15-24.
- Dewi, R.S., Huda, N., & Ahmad, R., 2011, Changes in the physicochemical properties, microstructure and sensory characteristics of shark dendeng using different drying methods. *American Journal of Food Technology*, 6, 149-157.
- Doymaz, I., 2012, Evaluation of some thin-layer drying models of persimmon slices (*Diospyros kaki* L.). *Energy Conversion and Management*, 56, 199-205.
- Esehaghbeygi, A., Pirnazari, K., & Sadeghi, M., 2014, Quality assessment of electrohydrodynamic and microwave dehydrated banana slices. *LWT - Food Science and Technology*, 55, 565-571.
- Eshraghi, E., Maghsoudlo, Y., Kashaninejad, M., Beiraghi, 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, 273-279.
- FAO, 2010, FAO Statiscal Databases. www.faostat.fao.org, visited: 2012/04/15
- Gowen.A.A., Abu-Ghannam, N., Frias, J., & Oliveira, J., 2008, Modeling dehydration and rehydration of cooked soybeans subjected to combined microwave-hot-air drying. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 9, 129-137.
- Hazbavi, E., and Minaei, S. 2010. Making and investigation quality properties of dried persimmon slice. *Journal of food science & technology*, 7, 65-72.
- Igual, M., Luisa Castelló, M., Roda, E., & Dolores Ortola, M., 2011, Development of Hot-Air Dried Cut Persimmon. *International Journal of Food Engineering*, 7, DOI: 10.2202/1556-3758.2149.
- Ihns, R., Diamante, L.M., Savage, G. P., & Vanhanen, L., 2011, Effect of temperature on the drying characteristics, color, antioxidant and beta-carotene contents of two apricot varieties. *International Journal of Food Science and Technology*, 46, 275-283.
- Jang, I. C., oh, W.G., Ahn, G.H., Lee, J.H., & Lee, S.Ch, 2011, Antioxidant Activity of 4 Cultivars of Persimmon Fruit. *Food Science and Biotechnology*, 20, 71-77.
- Khair, R., Z. Pan, A. Salim, B.R. Hartsough, & S. Mohamed. 2011. Moisture diffusivity of rough rice under infrared radiation drying. *LWT - Food Science and Technology* 44: 1126-1132.
- Lerici, C.R & Mastro, D. 1988, Osmotic concentration in food processing in preconcentration and drying of food materials. S. Bruin (Editor) Elsevier Sci. Pub.co.
- Mayor, L., & Sereno, A.M., 2004, Modeling shrinkage during convective drying of food materials: a review. *Journal of Food Engineering*, 61, 373-386.
- Nathakaranakule, A., Jaiboon, P., & Soponronnarit, S., 2010, Far-infrared radiation assisted drying of longan fruit. *Journal of Food Engineering*, 100, 662-668.
- Nimmol, C., Devahastin, S., Swasdisevi, T., & Soponronnarit, S., 2007, Drying of banana slices using combined low-pressure superheated steam and far infra-red radiation. *Journal of Food Engineering*, 81, 624-633.
- Nowak, D., & Lewicki, P. P., 2004, Infrared drying of apple slices. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 5, 353-360.
- Orikasa, T., Koide, Sh., Okamoto, Sh., Imaizumi, T., Muramatsu, Y., Takeda, J.I., Shiina, T., & Tagawa, A., 2014, Impacts of hot air and vacuum drying on the quality attributes of kiwifruit slices. *Journal of Food Engineering*, 125, 51-58.
- Pan, Z., Shih, C., McHugh, T. H., & Hirschberg, E., 2008, Study of banana dehydration using sequential infrared radiation heating and freeze-drying. *LWT - Food Science and Technology*, 41, 1944-1951.

- Pan, Z., Shih, C., McHugh, T. H., & Hirschberg, E., 2008, Study of banana dehydration using sequential infrared radiation heating and freeze-drying. *LWT - Food Science and Technology*, 41, 1944-1951.
- Ramos, I.N., Brandão, T.R.S., & Silva, C.L.M., 2003, Structural Changes During Air Drying of Fruits and Vegetables. *Food Science and Technology*, 9, 201-206.
- Razavi, S.M.A., and Akbari, R. 2006. Biophysical properties of food and agricultural products. *Fedowski university of Mashhad press*, 44-47.
- Ruiz Celma, A., Cuadros, F., & López-Rodríguez, F., 2009, Characterisation of industrial tomato by-products from infrared drying process. *Food and Bioprocess Processing*, 87, 282-291.
- Sandhu, K.S., & Parhawk, B., 2002, Studies on the preparation of dehydrated potato cubes. *Journal of Food science and Technology*, 39, 594-602.
- Sandu, C., 1986, Infrared Radiative Drying in Food Engineering: A Process Analysis. *Biotechnology Progress*, 2: 109-119.
- Sawai, J., Sagara, K., Hashimoto, A., Igarashi, H., & Shimizu M., 2003, Inactivation characteristics shown by enzymes and bacteria treated with far-infrared radiative heating. *International Journal of Food science and Technology*, 38, 661-667.
- Sharma, G.P., Verma, R.C., & Pathare, P.B., 2005, Thin-layer infrared radiation drying of onion slices. *Journal of Food Engineering*, 67, 361-366.
- Shih, C., Pan, Z., McHugh, T., Wood, D., & Hirschberg, E., 2008, Sequential Infrared Radiation and Freeze- Drying Method for Producing Crispy Strawberries. *American Society of Agricultural and Biological Engineers*, 51, 205-216.
- Simal, S., Femenia, A., Carcel, J.A., & Rosello, C., 2005, Mathematical modelling of the drying curves of kiwifruits: influence of the ripening stage. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 85, 425-432.
- Thompson, R. L., Fleming, H. P., Hamann, D. D. & Monroe R. J., 1982, Method for determination of firmness of cucumber slices. *Texture Studies*, 13, 311-324.
- Togrul, H., 2005, Simple modeling of infrared drying of fresh apple slices. *Journal of Food Engineering*, 71, 311-323.
- Wang, J., & Sheng, K., 2006, Far-infrared and microwave drying of peach. *Food Science and Technology*, 39, 247-255.
- Wang, J., 2002, A single-layer model for far-infrared radiation drying of onion slices. *Drying Technology*, 20, 1941-1953.

Archive.org

Quality Characteristics of Persimmon Slices during Infrared and Hot-air Drying

A. Farahmand¹- S. F. Mousavi Baygi²- M. Taghizadeh*³- M. A. Ziafroughi⁴

Received:01-03-2014

Accepted:29-06-2014

Introduction: One of the most important aspects of food preservation is controlling the moisture of material such as fruits. Drying is considered as an important method to control bacteria safely using reduction of moisture. The hot air drying method has been widely adopted in manufacturing of conventional dried food. Nowadays, Infrared radiation (IR) has significant advantages over conventional drying. Among these advantages, higher drying rates giving significant energy savings and uniform temperature distribution giving a better quality of product. Therefore, it can be used as an energy saving drying method. Earlier attempts for applying infrared waves to drying of agricultural materials have been reported in the literatures, such as banana, onion, garlic, apple, corn, pomegranate seeds and peach. The persimmon (*Diospyros kaki*) is native to East Asia, most likely China. This fruit has very short shelf-life; it is due to the high soluble tannin content of the fruit during storage even at refrigerated conditions. The persimmon is mainly eaten fresh, but can be dried. During drying the tannin cells coagulate, so astringency is removed and the sugars in the fruit exude to the surface where they crystallize, thus producing a sweet, candied product. The objective of this study was to examine the drying behavior of the far infrared and hot-air drying of persimmon slices by comparing the physical quality.

Materials and methods: Persimmon (*Diospyros kaki*) used in this study was purchased from a local market (Khorasan Razavi, Mashhad). The whole samples were stored at 4°C. The initial moisture content of persimmon was found to be 78.2 kg H₂O/kg moisture. The samples were cut into 5mm slices using a cutting machine and were dried to 10% final moisture (wet basis).

- **Infrared dryer setup:** Infrared (IR) dryer used in this research was equipped with IR lamp (1300W). Persimmon slices were placed in a single layer on the drying tray and heated from one side. Thermocouples (Type K) were inserted at the center of persimmon slice. IR drying tests were conducted with final product temperatures controlled at 50°C, 60°C and 70°C.

- **Hot air dryer setup:** Persimmon slices were arranged in a single layer on the trays and dried in cabinet dryer at material temperatures of 50°C, 60°C and 70°C. Air velocity in the dryer was 1.5 m/s.

- **Quality evaluation:** Persimmon slice drying characteristics including rehydration ratio, color parameters, shrinkage, texture and sensory properties were investigated.

Results and Discussion: It is clear that the moisture content and drying rate decrease continuously with drying time. The drying rate was rapid during the initial period but it became very slow at the last stages of drying process. Persimmon slices dried with hot-air and infrared dryer at temperatures 60 and 70°C respectively, had a maximum rehydration ratio. In general, infrared drying showed significant effect on L value ($p < 0.05$) and slices dried in 70°C were found to have maximum L values (64.33). Due to the reduction of browning reactions by IR heating, b values of samples were reduced. The lowest content of shrinkage was observed in infrared dried samples at 50°C. Results of sensory evaluation showed that infrared dried samples are more acceptable and obtained higher score comparing to hot-air dried samples.

Conclusion: In conclusion, our results showed that the IR drying had much higher drying rate compared to the hot air drying. Its drying rate increased remarkably with increasing of the radiation intensity. Infrared drying of persimmon slices is an effective method of water removal. Drying with application of infrared energy is much faster than convective drying (under equivalent parameters). Besides, IR radiation did not cause any negative impact on characteristics and quality dried sample. Besides, IR drying methods dramatically reduced the drying temperature.

Keywords: Infrared, Persimmon, Drying, Quality Characteristics, Image Processing.

1, 2 and 3-MSc Students and Assistant Professor, Department of Food Science and Technology, Agriculture Faculty, Ferdowsi University of Mashhad.

4-PhD student, Department of Mechanic Engineering, Ferdowsi University of Mashhad.

(*-Corresponding Author Email: mtahizadeh@um.ac.ir)