مهندسی بیوسیستم ایران، دوره ۴۹، شماره ۲، تابستان ۱۳۹۷ (ص ۲۶۸-۲۶۱) DOI: 10.22059/ijbse.2017.238908.664973

امکان‌سنجی استفاده از اشعه مادون قرمز در پوست‌گیری مغز فندق به روش خشک

علی‌ماشاءاله کرمانی[1*]، جلال اسکندری[2]، شهریار کوراوند[3]

۱. استادیار، گروه فنی کشاورزی، پردیس ابوریحان دانشگاه تهران، تهران

۲. دانش‌آموخته کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک بیوسیستم، پردیس ابوریحان دانشگاه تهران، تهران

۳. استادیار، گروه فنی کشاورزی، دانشگاه تهران، پردیس ابوریحان، تهران

(تاریخ دریافت: ۹/ ۵/ ۱۳۹۶- تاریخ بازنگری: ۱۳/ ۸/ ۱۳۹۶- تاریخ تصویب: ۲۴/ ۸/ ۱۳۹۶)

چکیده

در این تحقیق، حذف پوست قهوه‌ای روی مغز فندق با استفاده از تابش‌دهی اشعه مادون قرمز مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفت. برای این کار تأثیر پارامترهای توان لامپ مادون قرمز در سه سطح ۸۰۰، ۱۲۰۰ و ۱۶۰۰ وات، مدت زمان تابش-دهی در سه سطح ۲، ۳ و ۴ دقیقه و رطوبت اولیه مغز فندق در چهار سطح ۴، ۶، ۸ و ۱۰ درصد بر پایه تر برای رسیدن به بیشترین میزان درصد سُست شدن پوست قهوه‌ای روی مغز، انجام شد. آزمایش‌ها به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار انجام شد. برای تعیین میزان درصد سُست شدن پوست قهوه‌ای از تکنیک پردازش تصویر استفاده شد. نتایج نشان داد افزایش توان مادون قرمز و مدت زمان تابش‌دهی به طور معنی‌داری ($p < 0.05$) باعث افزایش میزان درصد سُست شدن پوست شد و افزایش رطوبت اولیه مغز فندق به طور معنی‌داری ($p < 0.05$) بر کاهش میزان درصد سست شدن پوست گردید. اثرات متقابل هر سه پارامتر مورد بررسی، اثر معنی‌داری ($p < 0.05$) در سست شدن پوست نشان داد. مناسب‌ترین پارامترهای واحد مادون قرمز در توان تابشی ۱۶۰۰ وات، مدت زمان تابش‌دهی ۳ دقیقه و رطوبت اولیه مغز فندق ۴ درصد تعیین شد.

واژه‌های کلیدی: پوست‌گیری خشک، مغز فندق، مادون قرمز، پردازش تصویر

مقدمه

فندق در سطح تجاری بیشتر در ترکیه، ایتالیا، جمهوری آذربایجان، گرجستان، اسپانیا و ایالات متحده و در ایران در مناطق الموت قزوین و اشکورات رودسر گیلان تولید می‌شود. ترکیه با تولید تقریباً ۷۵ درصد از فندق جهان، بزرگ‌ترین تولیدکننده این میوه در بین کشورهای جهان می‌باشد. کشور ایران با توجه به تنوع آب و هوایی می‌تواند به یکی از کشورهای تولید کننده عمده فندق تبدیل شود. مناطق فندق کاری در ایران عبارتند از گیلان، زنجان، اردبیل (مغان)، قزوین، گرگان، مازندران و قم. یکی از عملیات مهم و مورد نیاز برای تولید محصول فرآوری شده یک میوه، با شرایط مطلوب برای استفاده‌های صنعتی، پوست‌گیری[1] است (Rivella, 1983). مغز فندق کاربرد زیادی در صنایع غذایی و شکلات‌سازی دارد. مغز فندق تحت فرآیندهای مانند برشته کردن، سفید کردن و اسلایس کردن قرار می‌گیرد (Koksal *et al.*, 2006). اهداف مختلفی از برشته کردن فندق وجود دارد، که یکی از آن‌ها کاهش چسبندگی پوست قهوه‌ی نازک به مغز به منظور جدا کردن آن از روی مغز می‌باشد (Ozdemir & Devres, 1999; Fallico *et al.*, 2003). پوست پوششی[2] مغز غنی از آنتی‌اکسیدان‌های فنولیکی طبیعی است (Shahidi *et al.*, 2007)، اما به دلیل تلخ کردن مزه، فرآورده‌های خود و همچنین تغییر رنگ برخی از محصولات غذایی مانند نان، بستنی و پنیر مورد نیاز برای مصرف کنندگان بسیار ناخوشایند و نامطلوب است (Di Matteo *et al.*, 2012). مغزی که پوست آن جدا شده باشد با رنگ سفید یکنواختی که خواهد داشت موجب بازار پسندتر شدن محصول و افزایش بهره‌وری می‌شود.

پوست‌گیری یکی از بخش‌های مهم در صنعت فرآوری میوه‌ها می‌باشد که با روش‌های سنتی، مکانیکی، شیمیایی و حرارتی انجام می‌گیرد (Kaleoglu *et al.*, 2004). سالانه مقدار زیادی محصول خشکبار به علت نبود امکانات ذخیره‌سازی و روش‌های فرآوری ساده از دست می‌رود (Ogunwole, 2013). به طور کلی، روش‌های پوست‌گیری مغز میوه‌های درختی به دو

* نویسنده مسئول: amkermani@ut.ac.ir

1. Peeling

2. Seed coat

دسته روش تر[1] و روش خشک[2] تقسیم می شود. در حال حاضر، استفاده از آب قلیایی گرم و بخار آب به عنوان روش مرطوب و استفاده از هوای گرم به عنوان روش خشک، دو روش مرسوم در صنعت پوست‌گیری فندق هستند. جدا کردن پوست به روش آب قلیایی یکی از قدیمی‌ترین روش مورد استفاده در صنایع غذایی است. در این روش از یک محلول قلیایی در دمای بالا ۱۰۰-۹۰ درجه سلسیوس برای یک دوره زمانی معین استفاده می‌شود (Garrote *et al.*,1994; Bayindirli *et al.*, 1996). با توجه به این‌که مغز فندق روغن بالایی دارد، واکنش شیمیایی نمک‌های قلیایی مورد استفاده در محلول پوست‌گیری با روغن موجب به وجود آمدن عطر و طعم ناخوشایند (صابونی) در نمونه پوست‌گیری می‌شود (Di Matteo *et al.*, 2012). همچنین فاضلاب تولید شده از آب قلیایی گرم در اثر لایه برداری، دارای شوری بالا و بارهای آلی سنگین است، که باعث بالا رفتن بیش از حد pH (<۱۳) فاضلاب منتشر شده به محیط زیست شده، در نتیجه اثرات منفی قابل توجهی بر آن می‌گذارد (Das & Barringer, 2006; Li *et al.*, 2014b). توجه به کمبود انرژی، راندمان بالای مصرف آب، مدیریت فاضلاب‌ها، به حداقل رساندن آلودگی‌های شیمیایی و کیفیت محصول فرآوری شده از عوامل مهم در انتخاب شرایط سیستم های فرآوری مواد غذایی هستند (Roy *et al.*, 2009).

کاربرد مادون قرمز در زمینه فرآیندهای حرارتی محصولات کشاورزی در سال‌های اخیر موضوع پژوهش بسیاری از محققان بوده است و همچنان نتایج و کاربردهای جدیدتری از کاربرد این فناوری در این عرصه ارائه شده است. انتقال مستقیم حرارت به محصول، بدون تلفات حرارتی، پخش یکپارچه حرارت، کاهش زمان، کیفیت خوب محصول نهایی (Dostie *et al.*, 1989). از مهم‌ترین دلایل استفاده از واحدهای تابش‌دهی اشعه مادون قرمز هستند. تحقیقات زیادی در خصوص تأثیر استفاده از بکارگیری فناوری مادون قرمز بر پوست‌گیری به روش خشک میوه‌جات و سبزیجات شامل گوجه فرنگی (Li, 2012; Li *et al.*, 2014a; Pan *et al.*, 2009, 2011, 2015; Rock *et al.*, 2012)، هلو سنگی (Li *et al.*, 2014b) و عناب (Wang *et al.*, 2016) برای جایگزینی روش‌های شیمیایی انجام شده است.

از عمده مشکلات صنعتی بعد از برداشت محصولات خشکباری ایران، کمبود و عدم دسترسی به سیستم‌های فرآوری برای جدا کردن پوست از مغز آن می باشد، که این امر موجب می‌شود سالانه خسارت‌های زیادی در این بخش متوجه کشاورزان و بالطبع اقتصاد ملی گردد. بنابراین هدف این تحقیق بررسی اثر پارامتر و متغیرهای های کاری حرارت‌دهی به روش مادون قرمز بر فرآیند پوست‌گیری مغز فندق و در نتیجه توسعه روش پوست‌گیری خشک برای این محصول است.

مواد و روش‌ها

واحد تابش اشعه مادون قرمز

برای بررسی کاربرد حرارت‌دهی مادون قرمز در پوست‌گیری مغز فندق از دستگاه خشک‌کن مادون قرمز (شکل ۱) استفاده شد (Shamsa, 2011). در این دستگاه از منبع ساطع کننده الکتریکی مادون قرمز لوله‌ای کوارتز[3] بوده دارای توان ۱۷۰۰ وات، به طول ۷۰ سانتی‌متر با محدوده طول موج ساطع شده ۲/۲-۳/۲ µm استفاده شد. برای جلوگیری از هدر رفتن انرژی تابشی مادون قرمز و منعکس کردن آن بر روی محصول و یکنواخت کردن گرمای تولید شده در نمونه‌ها جنس داخلی بدنه محفظه از استیل ساخته شده است. تابش‌دهی اشعه مادون قرمز به صورت یک طرفه از سمت بالا و به طور مداوم انجام شد.

تهیه و آماده‌سازی فندق

برای انجام آزمایش‌ها، حدود ۳ کیلوگرم فندق رقم گرد محلی محصول سال ۱۳۹۵ از باغات منطقه الموت واقع در استان قزوین تهیه گردید. با استفاده از یک دستگاه فندق‌شکن محلی مغز فندق تهیه شده به آزمایشگاه انتقال یافت. رطوبت اولیه نمونه با استفاده از اجاق آزمایشگاهی در دمای ۲± ۱۰۳ درجه سلسیوس به مدت ۶ ساعت تعیین شد (Kermani, 2012). متوسط رطوبت اولیه نمونه‌های آزمایشی ۴ درصد بر پایه تر بود. سطوح رطوبت‌های اولیه بالاتر (۶، ۸ و ۱۰ درصد) انتخاب شده مورد نیاز برای آزمایش‌ها با افزودن آب مقطر به نمونه اولیه تهیه شد. مقدار آب افزوده شده برای تهیه سطوح مورد نظر از رابطه ۱ محاسبه شد.

$$W = W_d\left(\frac{M_f - M_i}{100 - M_i}\right) \quad \text{(رابطه ۱)}$$

که در آن: W جرم آب مقطر مورد نیاز برای سطح رطوبت بالاتر، W_d جرم نمونه فندق اولیه خشک، M_i درصد رطوبت اولیه نمونه (۴ درصد)، و M_f درصد رطوبت نهایی مورد نظر است.

مقدار آب مقطر محاسبه شده به نمونه افزوده شده و نمونه‌ها در ظروف پلاستیکی در بسته به مدت ۴۸ ساعت در یخچال با دمای ۴ درجه سلسیوس قرار گرفت تا رطوبت به طور یکنواخت در بین نمونه‌ها پخش شود.

1. Wet method
2. Dry method
3. Quartz tube infrared emitter

شکل ۱. محفظه و ساطع کننده امواج مادون قرمز و نمونه آزمایشی حرارت‌دهی شده.

روش انجام آزمایش

به منظور ارزیابی عملکرد تابش‌دهی مادون قرمز برای سُست کردن پوست فندق آزمایش‌هایی انجام شد. پارامترهای کاری مؤثر این روش عبارتند از: توان منبع مادون قرمز، مدت زمان تابش‌دهی و رطوبت اولیه محصول. در همه آزمایش‌ها، فاصله بین منبع مادون قرمز از سطح نمونه فندق تحت آزمایش ۱۰ سانتی‌متر ثابت بود. اثرات توان منبع مادون قرمز در سه سطح ۸۰۰، ۱۲۰۰ و ۱۶۰۰ وات، مدت زمان تابش‌دهی در سه سطح ۲، ۳ و ۴ دقیقه و محتوای رطوبت اولیه نمونه فندق در چهار سطح ۴، ۶، ۸ و ۱۰ درصد بر درصد سُست شدن پوست مورد بررسی قرار گرفت. برای ایجاد سطوح مختلف توان منبع مادون قرمز یک دستگاه دیمر در مسیر برق شهری ورودی استفاده شد. با استفاده از دو دستگاه مولتی متر مدل GDM-396 ساخت شرکت GW INSTEK کشور تایوان، شدت جریان و اختلاف پتانسیل مصرفی منبع مادون قرمز اندازه‌گیری و با تغییر ولوم دیمر توان مصرفی منبع مادون قرمز تنظیم شد. زمان‌های حرارت دهی مورد نیاز آزمایش توسط یک دستگاه کورنومتر کنترل می‌شد. آزمایش‌ها به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار انجام گردید. پس از خارج کردن نمونه‌ها از واحد تابش‌دهی، به منظور توسعه ترک‌های روی پوست و کاهش هر چه بیشتر چسبندگی پوست به مغز با دمش هوای خنک یک شوک حرارتی به نمونه‌ها اعمال گردید. به منظور این‌که امواج تابشی ساطع شده از لامپ مادون قرمز و منعکس شده از طرف بدنه داخلی محفظه به طور یکسان به نمونه‌ها برخورد کند در هر آزمایش تعداد چهار عدد فندق با اندازه و شکل هندسی تقریباً یکسان به طور خطی با فاصله از هم مورد آزمایش قرار گرفت و نمونه‌ها به طور یکنواخت تابش-دهی می‌شد. برای ارزیابی اثر حرارت‌دهی مادون قرمز بر سُست شدن و ایجاد ترک بر روی فندق با استفاده از تکنیک پردازش تصویر استفاده شد. شاخص درصد سُست شدن پوست فندق از نسبت مساحت سطح سفید فندق به مساحت کل سطح مغز فندق برآورد گردید.

روش پردازش تصویر[1]

برای تعیین درصد سُست شدن پوست فندق از طریق پردازش تصویر، از نمونه‌ها توسط دوربین دیجیتال (Canon, Power shot G12, 10 Megapixels, USB connection) مستقر بر روی محفظه عکس‌برداری با ابعاد ۴۵ cm× ۴۵× ۴۵، دارای چهار عدد لامپ زنون سفید رنگ با مشخصات (32 W, 2630 lux) عکس تهیه شد. فاصله لنز دوربین تا سطح محصول ۲۵ cm بود. مدت زمان لازم برای ثبت هر عکس ۱۰ ثانیه بود. تصاویر ذخیره شده توسط الگوریتم تعریف شده با استفاده از نرم افزار MATLAB R2015b مورد پردازش و آنالیز قرار گرفت. شکل ۲ الگوریتم پیشنهادی و مراحل انجام فرآیند پردازش تصویر را نشان می‌دهد. مساحت کل فندق و مساحت سطح ترک خورده در تصویر از طریق خواص رنگی متفاوت محاسبه شد.

طرح آماری و روش بررسی نتایج

داده‌های حاصل از آزمایش‌ها به صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS مورد تجزیه قرار گرفت. مقایسهٔ میانگین‌ها به روش آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح ۵٪ انجام شد.

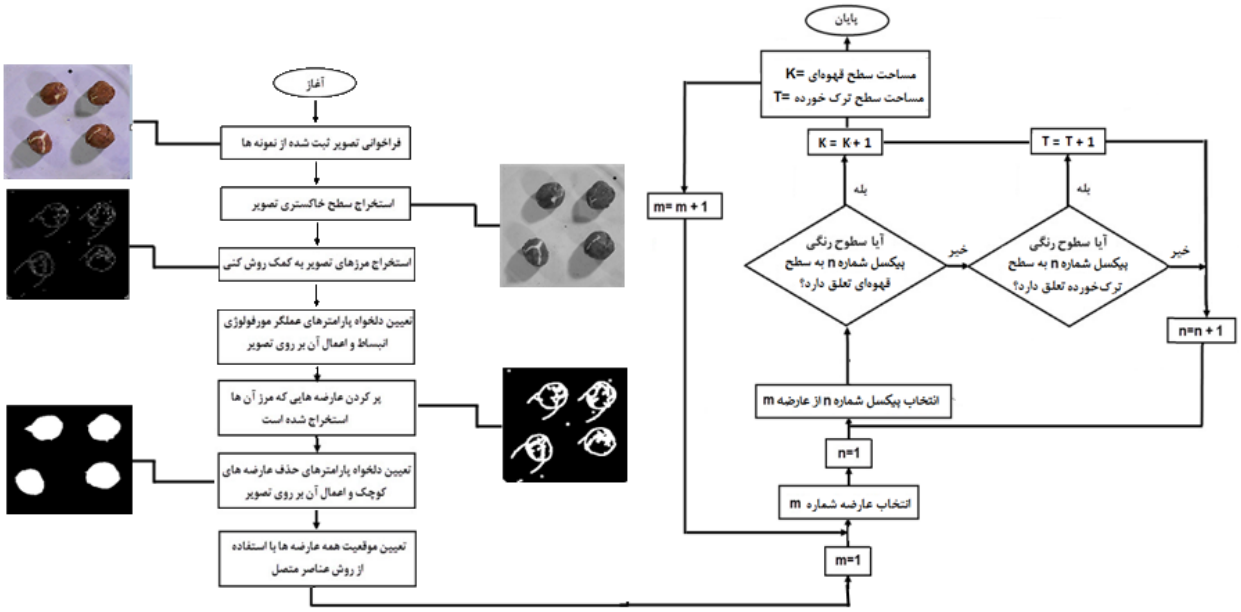
نتایج و بحث

اثر پارامترهای فرآیند تابش‌دهی بر درصد سُست شدن پوست

اثر پارامترهای فرآیند تابش‌دهی مادون قرمز شامل توان مادون قرمز، مدت زمان تابش‌دهی و رطوبت اولیه مغز فندق بر درصد سُست‌شدن پوست مغز فندق توسط تجزیه واریانس داده‌های درصد سُست‌شدن مورد بررسی قرار گرفت. نتایج (جدول ۱) نشان می‌دهد که اثرات ساده و متقابل تمام پارامترهای کاری

1. Image processing method

سامانه تابش‌دهی مادون قرمز بسیار معنی‌دار ($p<0.01$) بود. بر اساس مقادیر میانگین مربعات مشخص می‌گردد که اثر مدت زمان و توان مصرفی لامپ بیشترین اثر را بر درصد سست‌شدن پوست قهوه‌ای روی مغز فندق دارد. این یافته ها با نتایج تحقیقات قبلی که بر روی پوست‌گیری محصولات مختلف با تابش‌دهی مادون قرمز شامل گوجه فرنگی (Pan *et al*., 2009; Li *et al*., 2014a)، هلو سنگی (Li *et al*., 2014b) و عناب (Wang *et al*., 2016) مطابقت دارد.



شکل ۲. الگوریتم پردازش تصویر بکار رفته برای تعیین اندازه سطح پوست قهوه‌ای و ترک‌خورده و سفید فندق.

جدول ۱. نتایج تجزیه واریانس اثر پارامترهای تابش‌دهی مادون قرمز بر درصد سُست‌شدن پوست مغز فندق

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات (MS)
توان لامپ مادون قرمز (A)	۲	۴۴۵/۶۰**
زمان تابش‌دهی (B)	۲	۶۱۶/۱۵**
رطوبت اولیه فندق (C)	۳	۱۳۰/۴۱**
A×B	۴	۸۹/۴۸**
A×C	۶	۱۱/۶۸**
B×C	۶	۱۷/۳۴**
A×B×C	۱۲	۱۰/۷۲**
خطا	۷۲	۲/۲۹
ضریب تغییرات (C. V.)	%۲۴/۱۴	

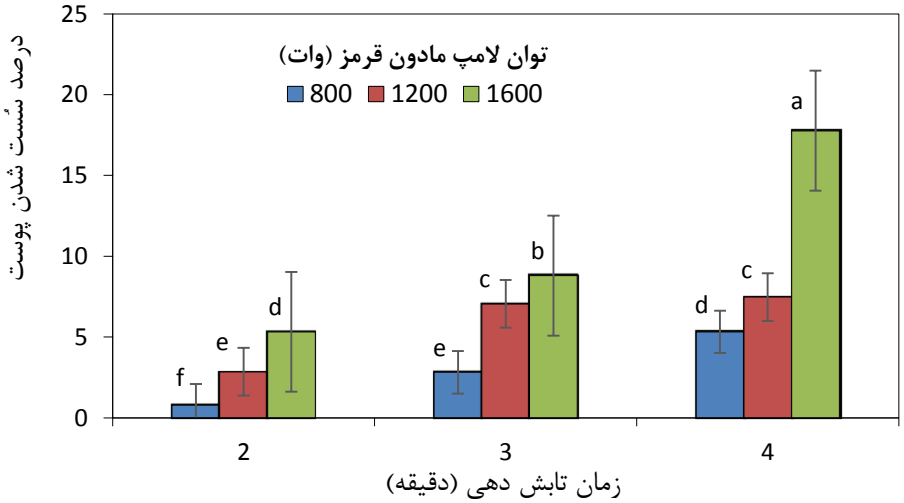
** معنی‌دار در سطح احتمال ۱٪.

بررسی اثر پارامترهای عملیاتی تابش‌دهی مادون قرمز

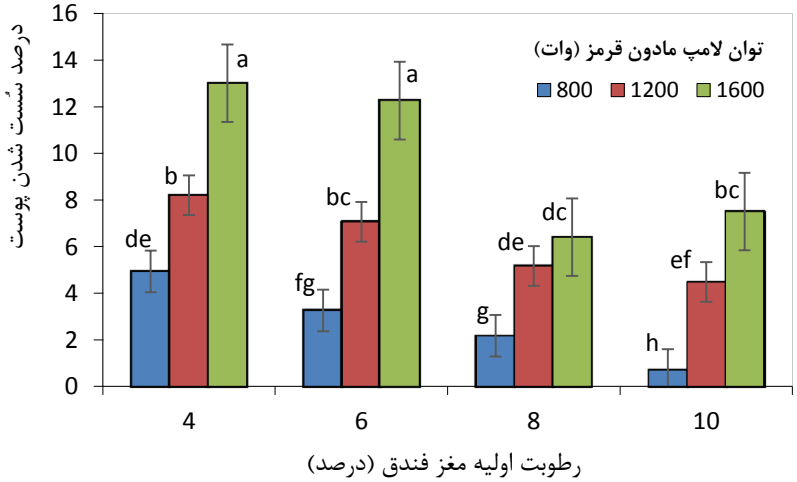
شکل ۳ نتایج مقایسه میانگین‌های اثر متقابل دو عامل توان مادون قرمز و مدت زمان تابش‌دهی بر روی میانگین درصد سُست شدن پوست فندق را نشان می‌دهد. مشاهده می‌شود که با افزایش توان مادون قرمز و مدت زمان تابش‌دهی میانگین درصد سُست شدن پوست مغز فندق افزایش می‌یابد. توان بیشتر و مدت زمان طولانی‌تر تابش‌دهی مادون قرمز منجر به تخریب بیشتر بافت داخلی پوست قهوه‌ای مغز فندق می‌شود که در نتیجهٔ آن منجر به کاهش بیشتر چسبندگی پوست به مغز و سُست‌شدن بیشتر می‌شود (Wang *et al*., 2016) . علاوه بر آن حرارت امواج مادون قرمز می‌تواند منجر به جدایی دیوارهٔ سلولی و ایجاد فضاهای بیشتر در پوست می‌گردد (Saklar *et al*., 2001). بیشترین میانگین سُست‌شدن پوست، ۱۷/۷۷ درصد در توان ۱۶۰۰ وات و مدت زمان ۴ دقیقه اتفاق افتاد و کم‌ترین مقدار آن ۰/۷۸ درصد در توان ۸۰۰ وات و مدت زمان ۲ دقیقه حاصل شد. نتایج حاصله با تحقیق وانگ و همکاران در پوست-گیری عناب با استفاده از اشعه مادون قرمز مطابقت دارد (Wang *et al*., 2016). با این که بیشترین میانگین سُست‌شدن

پوست در توان ۱۶۰۰ وات و مدت زمان ۴ دقیقه اتفاق افتاد، لکن به دلیل ایجاد تغییر رنگ نمونه پوست‌گیری شده و مشاهده حالت سوختگی در نمونه‌ها بهترین ترکیب سطح توان مادون قرمز و مدت زمان تابش‌دهی به ترتیب ۱۶۰۰ وات و ۳ دقیقه با میانگین درصد سُست شدن ۸/۸ درصد گزارش می‌شود.

شکل ۴ نتایج مقایسه میانگین‌های اثر متقابل دو عامل توان لامپ مادون قرمز و رطوبت اولیه مغز فندق برای عملیات پوست‌گیری بر درصد سُست شدن پوست را نشان می‌دهد. سُست‌شدن پوست مغز فندق برای رطوبت‌های بالاتر از ۶٪ شدیداً کاهش یافته که در نتیجه قابلیت جدا کردن پوست کاهش می‌یابد. بیشترین میانگین سُست شدن پوست، ۱۳/۰۱ درصد در توان ۱۶۰۰ وات و رطوبت اولیه ۴ درصد اتفاق افتاد و کم‌ترین مقدار آن ۰/۷ درصد در توان ۸۰۰ وات و رطوبت اولیه ۱۰درصد حاصل شد. به نظر می‌رسد با افزایش رطوبت میزان چسبندگی پوست به مغز افزایش یافته و در نتیجه موجب کاهش سُست شدن پوست شده است.



شکل ۳. مقایسه میانگین اثر متقابل توان مادون قرمز و مدت زمان تابش دهی بر سُست‌شدن پوست (میانگین‌های دارای حرف مشابه اختلاف معنی‌داری با هم ندارند).



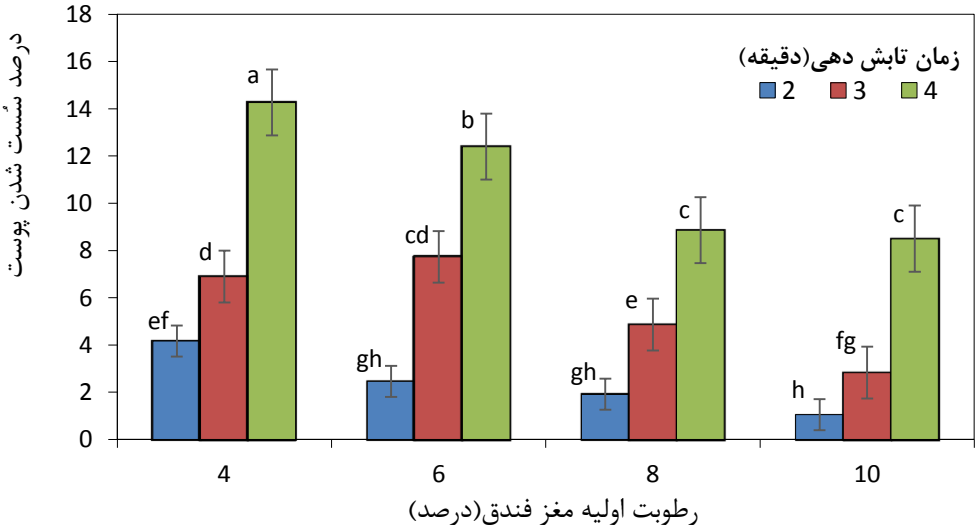
شکل ۴. مقایسه میانگین اثر متقابل توان مادون قرمز و رطوبت اولیه مغز فندق بر سُست شدن پوست (میانگین دارای حروف مشابه بر اساس آزمون دانکن اختلاف معنی‌داری ندارند).

شکل ۵ نتایج مقایسه میانگین‌های اثر متقابل دو عامل مدت زمان تابش‌دهی و رطوبت اولیه مغز فندق بر میانگین درصد سُست شدن پوست را نشان می‌دهد. مشاهده می‌شود که برای تمام رطوبت‌های اولیه، افزایش مدت زمان تابش‌دهی موجب افزایش میانگین درصد سُست‌شدن پوست شده و با افزایش رطوبت اولیه فندق درصد سست شدن پوست آن کاهش می‌یابد. بیشترین میانگین سُست شدن پوست به میزان ۱۴/۲۷ درصد در ترکیب رطوبت اولیه ۴ درصد و مدت زمان ۴ دقیقه، و کم‌ترین مقدار آن ۱/۰۵ درصد در ترکیب رطوبت اولیه ۱۰ درصد و مدت زمان تابش‌دهی ۲ دقیقه حاصل شد. با این که با

افزایش مدت زمان تابش‌دهی سُست شدن پوست افزایش می‌یابد ولی موجب ایجاد سوختگی روی مغز و کاهش کیفیت فندق می‌شود، به همین دلیل در این تحقیق بهینه ترین مدت زمان تابش مادون قرمز روی فندق سه دقیقه گزارش می‌شود. لی و همکاران (Li, *et al.*, 2014b) معتقد بودند با افزایش مدت زمان تابش‌دهی، بافت‌های درونی پوست محصول تخریب می‌شود و همین امر موجب کاهش چسبندگی[1] پوست و ترد شدن آن می‌شود، که با نتایج به دست آمده در این تحقیق مطابقت دارد.

1. Adhesion

نتایج آزمون مقایسه میانگین اثرات متقابل سه گانه پارامترهای واحد مادون قرمز (جدول ۳) نشان می‌دهدکه بالاترین درصد سُست شدن پوست در رطوبت ۴٪ با توان مادون قرمز ۱۶۰۰ وات به مدت زمان تابش‌دهی ۳ و ۴ دقیقه حاصل شد. لیکن به دلیل ایجاد سوختگی در نمونه‌ها و کاهش کیفیت ظاهری محصول، نهایتاً ترکیب توان لامپ مادون قرمز ۱۶۰۰ وات، مدت زمان تابش‌دهی ۳ دقیقه و رطوبت اولیه ۴ درصد با ۱۷/۶ درصد سُست شدن پوست قهوه‌ای مغز به عنوان بهینه‌ترین حالت ممکن از لحاظ سُست شدن پوست پیشنهاد می‌شود.



شکل ۵. مقایسه میانگین اثر متقابل مدت زمان تابش‌دهی و رطوبت اولیه مغز فندق بر درصد سُست شدن (میانگین با یک حرف مشابه اختلاف معنی‌داری با هم ندارند).

جدول ۲. نتایج آزمون مقایسه میانگین اثر متقابل سه گانه توان مادون قرمز، مدت زمان تابش‌دهی و رطوبت اولیه مغز فندق بر درصد سُست‌شدن پوست قهوه‌ای

مدت زمان تابش‌دهی (دقیقه)	رطوبت اولیه (درصد)	توان مادون قرمز		
		۸۰۰ (وات)	۱۲۰۰ (وات)	۱۶۰۰ (وات)
		متوسط درصد سُست‌شدن پوست مغز		
۲	۴	۰/۷ pq	۴/۶ ijklmn	۷/۲۳ efghi
	۶	۰ q	۳/۸ klmno	۳/۶ klmno
	۸	۰ q	۱/۹۳ nopq	۳/۸ klmno
	۱۰	۰ q	۱/۰۶ opq	۲/۱ nopq
۳	۴	۵/۱ hijklm	۸/۷ defg	۱۷/۶ b
	۶	۳/۹ klmno	۷/۷ efgh	۱۱/۶ c
	۸	۲/۳ mnopq	۶/۳ fghijk	۶ ghijk
	۱۰	۰ q	۵/۵ hijkl	۳ lmnop
۴	۴	۹/۰۳ cdef	۱۱/۳ cd	۲۲/۵۰ a
	۶	۵/۹ ghijkl	۹/۷ cde	۲۱/۶ a
	۸	۴/۲۶ jklmn	۷/۳ efgh	۹/۴ cde
	۱۰	۲/۱ nopq	۶/۹ efghij	۹/۳ cde

مقادیر میانگین با یک حرف مشابه اختلاف معنی‌داری با هم ندارند.

نتیجه گیری

به منظور امکان‌سنجی پوست‌گیری مغز فندق به روش خشک به روش تابش‌دهی مادون قرمز، پارامترهای مؤثر مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفت. اثر پارامترهای واحد مادون قرمز شامل توان مادون قرمز، مدت زمان تابش‌دهی و رطوبت اولیه مغز فندق بر درصد سُست شدن پوست مغز فندق بسیار معنی‌داری (در سطح احتمال یک درصد) بود. استفاده از فندق با رطوبت اولیه بالاتر درصد سُست‌شدن پوست را کاهش می‌دهد. با افزایش توان مادون قرمز و مدت زمان تابش‌دهی میانگین درصد سُست‌شدن پوست مغز فندق افزایش یافت. با این حال توان مادون قرمز بالا در مدت زمان تابش‌دهی بالا موجب ایجاد سوختگی و کاهش کیفیت ظاهری مغز گردید. نهایتاً ترکیب توان لامپ ۱۶۰۰ وات، مدت زمان تابش دهی ۳ دقیقه و رطوبت اولیه ۴ درصد با ۱۷/۶ درصد سُست شدن پوست مغز به عنوان بهینه‌ترین حالت ممکن از لحاظ سُست‌شدن پوست توصیه شد. مشاهدات نشان داد که کیفیت مغز سفید شده به طور قابل ملاحظه‌ای خوب و مناسب است، لکن برای مستند کردن آن بایستی بررسی ویژگی‌های بافتی و شیمیایی محصول انجام پذیرد.

REFERENCES

Das, D. J., & Barringer, S. A. (2006). Potassium hydroxide replacement for lye (sodium hydroxide) in tomato peeling. *Journal of Food Processing and Preservation*, 30(1), 15-19.

Di Matteo, M., Albanese, D., & Liguori, L. (2012). Alternative method for hazelnuts peeling. *Food and Bioprocess Technology*, 5(4), 1416-1421.

Dostie, M., Seguin, J. N., Maure, D., Ton-That, Q. A., & Chatingy, R. (1989). Preliminary measurements on the drying of thick porous materials by combinations of intermittent infrared and continuous convection heating. *In Drying 89, (edited by* Mujumdar, A. S., *&* Roques, M. A.*) pp.* 513–520, *New York, Hemisphere.*

Fallico, B., Arena, E., & Zappala, M. (2003). Roasting of hazelnuts. Role of oil in colour development and hydroxymethylfurfural formation. *Food Chemistry*, 81(4), 569-573.

Garrote, R. L., Coutaz, V. R., Silva, E. R., & Bertone, R. A. (1994). Determining process conditions for chemical peeling of asparagus. *LWT-Food Science and Technology*, 27(1), 19-22.

Kaleoglu, M., Bayindirli, L., & Bayindirli, A. (2004). Lye peeling of Tombul hazelnuts and effect of peeling on quality. *Trans IChemE, Part C, Food and Bioproducts Processing*, 82(C3), 201–206.

Kermani, Ali M. (2012). Evaluation of some physical and mechanical properties of hazelnut. *Innovation in Food Science and Technology*, 4(3), 69-78.

Koksal, A. I., Artik, N., Simsek, A., & Gunes, N. (2006). Nutrient composition of hazelnut (*Corylus avellana L.*) varieties cultivated in Turkey. *Food Chemistry*, 99(3), 509-515.

Li, X. (2012). A study of infrared heating technology for tomato peeling: Process characterization and modeling. University of California, Davis.

Li, X., Pan, Z., Atungulu, G. G., Zheng, X., Wood, D., Delwiche, M., & McHugh, T. H. (2014a). Peeling of tomatoes using novel infrared radiation heating technology. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 21, 123-130.

Li, X., Zhang, A., Atungulu, G. G., Delwiche, M., Milczarek, R., Wood, D., & Pan, Z. (2014b). Effects of infrared radiation heating on peeling performance and quality attributes of clingstone peaches. *LWT-Food Science and Technology*, 55(1), 34-42.

Ogunwole, O. A. (2013). Design, fabrication and testing of a (manually and electrically operated) roasted groundnut decorticating machine. *Food Science and Quality Management*, 14, 1-11.

Ozdemir, M., & Devres, Y. O. (1999). The thin layer drying characteristics of hazelnuts during roasting. *Journal of Food Engineering*, 42(4), 225-233.

Pan, Z., Li, X., Bingol, G., McHugh, T. H., & Atungulu, G. G. (2009). Development of infrared radiation heating method for sustainable tomato peeling. *Applied Engineering in Agriculture*, 25(6), 935-941.

Pan, Z., Li, X., Khir, R., El-Mashad, H. M., Atungulu, G. G., McHugh, T. H., Delwiche, M. (2015). A pilot scale electrical infrared dry-peeling system for tomatoes: Design and performance evaluation. *Biosystems Engineering*, 137, 1-8.

Pan, Z., Li, X., Yong, W., Atungulu, G. G., Mchugh, T., & Delwiche, M. (2011). Development of infrared heating technology for tomato peeling. *In the 11th International Congress on Engineering and Food (ICEF)*, 22-26 May 2011, Athens, Greece.

Rivella, F. (1983). The hazelnut quality in connection with its processing in the confectionary industry. *Proceedings of the Convegno Internazionale sul Nocciolo*, 22-24 September 1983, pp. 127–134, Italy: Avellino.

Rock, C., Yang, W., Goodrich-Schneider, R., & Feng, H. (2012). Conventional and alternative methods for tomato peeling. *Food Engineering Reviews*, 4(1), 1-15.

Roy, P., Nei, D., Orikasa, T., Xu, Q., Okadome, H., Nakamura, N., & Shiina, T. (2009). A review of life cycle assessment (LCA) on some food products. *Journal of Food Engineering*, 90(1), 1-10.

Saklar, S., Katnas, S., & Ungan, S. (2001). Determination of optimum hazelnut roasting

infrared dryer. Master of Science Thesis in Mechanics of Agricultural Machinery, Department of Agrotechnology, College of Aburaihan, University of Tehran, Tehran, Iran.

Wang, B., Venkitasamy, C., Zhang, F., Zhao, L., Khir, R., & Pan, Z. (2016). Feasibility of jujube peeling using novel infrared radiation heating technology. *LWT-Food Science and Technology*, 69, 458-467.

conditions. *International Journal of Food Science & Technology*, 36(3), 271-281

Shahidi, F., Alasalvar, C., & Liyana-Pathirana, C. M. (2007). Antioxidant activities and phytochemicals in hazelnut (*Corylus avellana L.*) and hazelnut byproducts. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 55(4), 1212–1220.

Shamsa, A. (2011). Construction and evaluation an