تأثیر شرایط و دمای خشک‌کردن روی کیفیت میوه فندق (*Corylus avellana*)

داود هاشم‌آبادی*[۱]، بهزاد کاویانی[۱]، سارا خیاطی بابایی[۲]، زهرا یوسفی[۳]

۱- دانشیار، گروه باغبانی، واحد رشت، دانشگاه آزاد اسلامی، رشت، ایران

۲- کارشناسی ارشد، گروه باغبانی، واحد رشت، دانشگاه آزاد اسلامی، رشت، ایران

۳- استادیار، گروه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی گیلان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، رشت، ایران

* نویسنده مسئول: davoodhashemabadi@yahoo.com

دریافت مقاله: ۱۴۰۰/۷/۲۸، پذیرش مقاله: ۱۴۰۰/۹/۲۸

چکیده

میوه یا مغز فندق ارزش غذایی و دارویی دارد و به صورت خام یا بوداده مصرف می‌شود. رقم فندق مورد استفاده در پژوهش حاضر، رقم گرد اشکورات بود. برای تعیین بهترین درجه حرارت خشک‌کردن فندق، یک آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با دو فاکتور دمای هوای خشک‌کن در سه سطح (۴۰، ۵۰ و ۶۰ درجه سانتی‌گراد) و نوع میوه در دو سطح (با پوست و بدون پوست) در سه تکرار اجرا شد. خشک کردن میوه‌ها با دستگاه خشک‌کن آزمایشگاهی به صورت لایه نازک انجام شد. برای محاسبه انرژی ویژه موردنیاز برای خشک‌کردن فندق در هر تیمار از رابطه کار الکتریکی در خشک‌کن (کار هیتر + کار فن) استفاده شد. از روش‌های استاندارد مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران برای اندازه‌گیری پراکسید و اسیدیته روغن فندق استفاده شد. نتایج نشان داد که اثر متقابل نوع میوه و دما بر درصد روغن میوه معنی‌دار نشد ولی سایر صفات تحت‌تأثیر اثر متقابل تیمارها قرار گرفتند. بالاترین درصد پروتئین (۱۳/۶۲ درصد)، در فندق‌های برشته‌شده در دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد و با پوست به دست آمد. بالاترین و پایین‌ترین درصد اسیدیته روغن (۰/۲۸ و ۰/۱۱ درصد)، به ترتیب در فندق‌های برشته‌شده در دمای ۵۰ درجه سانتی‌گراد با و بدون پوست به ثبت گردید. مقدار عددی پراکسید (۸/۲۵ و ۱/۳۰)، به ترتیب در فندق‌های برشته‌شده در دمای ۴۰ و ۶۰ درجه سانتی‌گراد با پوست به دست آمد. در مجموع، دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد مناسب‌ترین دما برای خشک‌کردن میوه فندق بود و باعث ارتقای اغلب ویژگی‌های فیزیولوژیک و چشایی شد.

واژه‌های کلیدی: خشکبار، فندق بوداده، روغن فندق، پروتئین فندق

مقدمه

فندق یا فندق معمولی (*Corylus avellana*) از خانواده Corylaceae، درختچه‌ای به ارتفاع تقریبی ۲ تا ۷ متر است و بومی اروپا، آسیای صغیر، قفقاز و ایران می‌باشد. فندق گیاهی یک پایه است و دارای میوه فندقه با دو نوع گل نر و ماده با گل‌آذین سنبله می‌باشد که در پاییز ظاهر می‌شوند (۱). مهم‌ترین منطقه تولید فندق در ایران، ناحیه اشکورات رحیم‌آباد در استان گیلان است که حدود ۶۰ درصد تولید فندق کشور را شامل می‌شود. مهم‌ترین تولیدکننده فندق جهان (با داشتن ۷۱ درصد سطح زیر کشت و ۶۰ درصد تولید)، ترکیه است و ایران در رتبه ششم قرار دارد. مغز فندق در حدود ۲۰ درصد پروتئین (حاوی هر ۲۰ اسید آمینه ضروری) و ۶۰ درصد روغن دارد که با بو و طعم مطلوب به دلیل حضور مقادیر بسیار بالای اسید اولئیک و اسید لینولئیک به مصرف تغذیه، عطرسازی و نقاشی می‌رسد. مغز فندق همچنین سرشار از عناصر معدنی به ویژه فسفر، آهن، کلسیم، روی، منیزیم، منگنز و پتاسیم و مواد آلی از جمله کربوهیدرات‌ها، پروتئین‌ها، چربی‌های غیراشباع و ویتامین‌ها (به ویژه گروه B و ویتامین‌های A، C و E) و آنتی‌اکسیدان‌های فنولیک است (۱). میوه فندق در حالت تازه از پوشش سبز رنگی پوشیده شده است که به تدریج پس از خشک‌شدن از آن جدا می‌شود. هسته بذر فندق

خوراکی است و می‌توان آن را به صورت خام یا پخته مصرف کرد. بذر میوه، پوستی بسیار نازک و به رنگ قهوه‌ای تیره دارد که پیش از مصرف یا پخت و پز، آن را جدا می‌کنند.

عدم وجود صنایع تبدیلی برای فرآوری محصولات باغی باعث می‌شود که کشاورزان محصول خود را به صورت خام و با نازل‌ترین قیمت بفروشند. فرآیند خشک‌کردن به دلیل افزایش عمر، کاهش وزن و حجم و سهولت حمل و نقل و انبارداری محصولات باغی مورد توجه است. در گذشته از انرژی‌های غیرکنترل‌شده طبیعی همچون آفتاب و باد و در حال حاضر از دستگاه‌های جدید قابل کنترل برای خشک‌کردن محصولات استفاده می‌شود. فرآیند خشک‌کردن علی‌رغم ظاهر ساده، به دلیل عدم کاهش کیفیت محصول نیاز به دانش و کنترل دقیق دارد. هدف نهایی فرآیند خشک‌کردن محصولات کشاورزی، کاهش ضایعات و افزایش ماندگاری محصول است (۲).

آجیلی‌های درختی حاوی میزان بالایی از روغن و اسید چرب هستند که آنها را مستعد فساد اکسیداتیو و تخریب سریع می‌کنند. علی‌رغم اهمیت جهانی آجیل‌ها، اطلاعات محدودی راجع به شرایط نگهداری آنها وجود دارد. شرایط نگهداری، تأثیر بسیار زیادی روی کیفیت و ماندگاری آجیلی‌های درختی دارد. شرایط نگهداری هر گونه آجیلی درختی به دلیل تفاوت در میزان و ترکیب روغن و اسید چرب متفاوت است. عموماً آجیلی‌های با سطوح بالای اسیدهای چرب غیراشباع با یک پیوند اشباع‌نشده باثبات‌تر از آجیلی‌های با سطوح بالای اسیدهای چرب غیراشباع با چند پیوند اشباع‌نشده هستند (۳). میزان رطوبت، میزان روغن، ترکیب اسید چرب و فسادپذیری، به عنوان پارامترهای اصلی تعیین کیفیت آجیلی‌های درختی در نظر گرفته می‌شوند (۳، ۴). طیف دمایی بین ۴ تا ۱۵ درجه سانتی‌گراد، غلظت اکسیژن کمتر از ۲/۵ درصد، میزان رطوبت پوسته حدود ۲/۵ درصد، رطوبت نسبی حدود ۴۰ تا ۶۰ درصد و شرایط تاریکی، شرایط بهینه برای نگهداری آجیلی‌های درختی است (۳). زمان برداشت، نوع رقم و نوع نگهداری آنها به صورت با پوست و بدون پوست نیز در این ارتباط مؤثر هستند. استفاده از ارقام مناسب برای اصلاح نیز حائز اهمیت است (۵).

همانند سایر آجیلی‌ها، برشته‌کردن یکی از شکل‌های عمومی پردازش فندق است. میوه فندق به دلیل داشتن آب زیاد به سرعت بعد از برداشت فاسد می‌شود، بنابراین بلافاصله بعد از برداشت باید خشک شود. برشته‌کردن به طور قابل‌توجهی طعم، رنگ، بافت و ظاهر آجیلی‌ها را تغییر می‌دهد. محصول منتج‌شده در مقایسه با آجیلی خام، خوشمزه، منحصر به فرد و لذت‌بخش است. برشته‌کردن یا بودادن، همچنین باعث از بین رفتن هسته مغز فندق می‌شود و باعث غیرفعال کردن آنزیم‌هایی که سرعت آسیب به مواد مغذی را تسریع می‌کنند و میکروارگانیسم‌های نامطلوب و آلودگی‌های غذایی می‌گردد. به دلیل اصلاح کیفیت محصولات برشته‌شده فندق، درک این تغییرات فیزیکی، بیوشیمیایی و میکروبی در طی برشته‌کردن ضروری است. خشک‌کردن یکی از این مراحل است که در طی عملیات برشته‌کردن اتفاق می‌افتد و با تغییر بافت میوه همراه است. خشک‌کردن / برشته‌کردن غذاها به حرارت و خصوصیات انتقال جرم محصولی که در حال خشک‌شدن است بستگی دارد (۶). آگاهی از دما و توزیع رطوبت در محصول برای طراحی تجهیزات و مراحل، کنترل کیفیت و انتخاب ذخیره مناسب و عملیات فرآوری و جابجایی، حیاتی است. خشک‌کردن لایه نازک به دلیل آسانی استفاده و فقدان داده‌های موردنیاز در مدل‌های پیچیده تئوریک کاربرد گسترده‌ای دارد. مدل‌های خشک‌کردن لایه نازک در سه طبقه تئوریک، نیمه- تئوریک و تجربی قرار می‌گیرند. طبقات تئوریک و نیمه- تئوریک بر اساس قانون دوم انتشار فیک[1] طراحی شده‌اند. مدل تجربی، ارتباطی مستقیم بین میزان متوسط رطوبت و زمان خشک‌کردن برقرار می‌کند (۷).

استفاده از شش دما (۳۰، ۴۰، ۵۰، ۶۰، ۷۰ و ۸۰ درجه سانتی‌گراد) برای خشک‌کردن ارقام نگرت[2] و پائوتت[3] فندق به دو شکل با پوست و بدون پوست نشان داد که دمای بهینه

[1] Fick's laws
[2] Negret
[3] Pauetet

بین ۴۰ تا ۵۰ درجه سانتی‌گراد می‌باشد و دماهای بالاتر، اکسیداسیون روغن فندق را افزایش داد (۸). برشته‌کردن فندق در دمای بالا همراه با زمان بیشتر، مانع از اکسیداسیون زیاد روغن شد (۹). استفاده از دمای بالا برای برشته‌کردن پسته باعث کاهش کیفیت آن و عدم پذیرش مصرف‌کننده‌ها گردید (۱۰). در دو رقم پسته (کله‌قوچی و فندقی) افزایش دمای خشک‌کردن تا ۹۰ درجه سانتی‌گراد، زمان موردنیاز برای خشک‌کردن را ۳۷ درصد کاهش و عدد پراکسید را تا ۰/۵۵ میلی‌اکی‌والان بر کیلوگرم افزایش داد. نتایج آزمون حسی نشان داد که مصرف‌کنندگان، پسته‌های خشک‌شده در دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد را ترجیح می‌دهند (۱۱). خشک‌کردن بادام زمینی سبب کاهش چمشگیر میزان اکسیداسیون روغن آن شد (۱۲). روش‌های غیرتخریبی مانند استفاده از اسپکتروسکوپی مرئی، رزونانس مغناطیسی و اشعه ایکس جایگزین‌های مناسبی برای بررسی پارامترهای کیفی درونی به دلیل سریع‌تر بودن، ساده‌تر بودن و ارزان‌تر بودن از روش‌های تخریبی هستند (۴).

اگرچه برشته‌کردن یک مرحله ضروری پردازش آجیلی‌ها و دانه‌های روغنی است، گزارش‌های کمی راجع به تغییرات فیزیکی و بیوشیمیایی که در طی برشته‌کردن یعنی خشک‌کردن، تشکیل بوی خوش، توسعه رنگ و بافت، اکسیداسیون لیپید و کاهش مواد مغذی اتفاق می‌افتد، وجود دارد (۶، ۷، ۱۳). از آنجایی که خشک‌کردن احتمالاً مهم‌ترین تغییر در طی برشته‌کردن است، از این رو، هدف از پژوهش حاضر، تعیین بهترین دمای خشک‌کردن فندق به منظور دست‌یابی به رطوبت مناسب در محدوده ۵ تا ۶ درصد بر پایه وزن خشک و ویژگی‌های کیفی فندق خشک‌شده در دماهای مختلف می‌باشد.

مواد و روش‌ها

۱) نمونه گیاهی: فندق (*Corylus avellana*) رقم گرد اشکورات مورد استفاده قرار گرفت. میوه فندق از منطقه رحیم‌آباد اشکورات استان گیلان در مرداد ماه (زمان رسیدن میوه) تهیه شد. پس از جداکردن میوه‌های پوک، ترک‌خورده، دارای نشانه‌های آفت و بیماری و پوست سبز، فندق‌های سالم در پلاستیک دربسته قرار گرفتند و به آزمایشگاه منتقل شدند.

۲) محل انجام آزمایش: خشک‌کردن فندق‌ها به وسیله دستگاه خشک‌کن آزمایشگاهی مؤسسه فنی و مهندسی کشاورزی کشور، اندازه‌گیری درصد روغن و پروتئین در آزمایشگاه مؤسسه برنج کشور، اندازه‌گیری درصد اسیدیته و عدد پراکسید در آزمایشگاه روغن‌کشی کارخانه لویه رودبار و آزمون چشایی در مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان گیلان انجام شد.

۳) طرح آزمایشی و تیمارها: این پژوهش به‌صورت فاکتوریل با دو فاکتور؛ دمای هوای خشک‌کن در سه سطح ۴۰، ۵۰ و ۶۰ درجه سانتی‌گراد و نوع میوه در دو سطح با پوست و بدون پوست، در قالب طرح پایه کاملاً تصادفی با ۶ تیمار (۳ × ۲) و سه تکرار انجام شد.

۴) صفات اندازه‌گیری‌شده: زمان خشک‌شدن، انرژی موردنیاز برای خشک‌شدن، درصد اسیدیته، درصد پروتئین، درصد روغن، درصد پراکسید، ظاهر پوست، سفتی، شیرینی، طعم برشته‌شدن، تغییر طعم (ترشیدگی) و مقبولیت کلی مورد ارزیابی قرار گرفت.

خشک‌کردن میوه‌ها با دستگاه خشک‌کن آزمایشگاهی به صورت لایه نازک انجام شد. سرعت جابجایی هوای گرم در این دستگاه، یک متر بر ثانیه است. تغییرات دمای ورودی به وسیله دماسنج دیجیتال آتبین مدل AT400-K با دقت یک درجه سانتی‌گراد تنظیم و ثبت شد. همچنین تغییرات وزن با دقت یک گرم و دمای خروجی با دقت ۰/۱ درجه سانتی‌گراد به صورت خودکار توسط سیستم جمع‌آوری داده‌ها، در بازه‌های زمانی ۳۰ دقیقه‌ای از خشک‌کن به کامپیوتر منتقل شد. ثبت وزن تا وقتی ادامه داشت که رقم ثبت‌شده سه بار پی در پی ثابت گردید. با استفاده از یک بادسنج سیم داغ ساخت شرکت TESTO آلمان، سرعت جابجایی هوای گرم در خروجی هوای خشک‌کن‌ها اندازه‌گیری شد و تنظیمات لازم به وسیله کاهنده دورفن اعمال گردید. برای هر تیمار آزمایشی، ۱۵۰۰ گرم فندق در نظر گرفته شد.

برای محاسبه انرژی ویژه موردنیاز برای خشک‌کردن هر کیلوگرم فندق در هر تیمار از رابطه کار الکتریکی در خشک‌کن (کار هیتر + کار فن) استفاده شد. ابتدا با استفاده از یک آمپرمتر مقدار جریان عبوری از سیستم در زمان روشن‌بودن هیتر اندازه‌گیری شد و با در نظر گرفتن زمان‌های فعال‌بودن هیتر در محدوده زمانی خشک‌کردن، مقدار کار الکتریکی بر حسب کیلووات ساعت از رابطه زیر به دست آمد.

رابطه (۱) $$W = V \times I \times h$$

که در آن؛ W: کار الکتریکی، V: ولتاژ برق شهر، I: شدت جریان الکتریکی و h: زمان است. برای اندازه‌گیری کار الکتریکی فن در خشک‌کن نیز از رابطه فوق استفاده شد. ابتدا شدت جریان مصرفی اندازه‌گیری شد. زمان، مدت زمان روشن‌بودن فن (زمان خشک‌شدن هر تیمار) در نظر گرفته شد. کار الکتریکی برای هر تیمار از مجموع دو کار ذکر شده به دست آمد. با توجه به وزن اولیه فندق و وزن آب تبخیرشده در تیمار، مقدار انرژی ویژه موردنیاز برای خشک‌کردن یک کیلوگرم فندق بر حسب کیلووات ساعت بر هر کیلوگرم آب در هر تیمار به دست آمد.

برای استخراج و تعیین درصد روغن میوه‌ها از دستگاه سوکسله[1] با حلال هگزان استفاده شد. به این منظور، بعد از خشک‌شدن نمونه‌ها مقدار ۲ گرم از هر نمونه به وسیله دستگاه خردکن آزمایشگاهی خرد گردید و در کاغذ صافی گذاشته شد. سپس با قرار دادن کاغذ صافی حاوی فندق خردشده در داخل دستگاه سوکسله، روغن آن با حرارت‌دادن حلال هگزان جدا گردید و پس از آن با اندازه‌گیری مجدد وزن نمونه، مقدار روغن نمونه تعیین شد.

برای اندازه‌گیری مقدار پروتئین نمونه‌ها از روش کجلدال[2] (کلدال) استفاده شد. در این روش، هر نمونه به وسیله اسید سولفوریک غلیظ و به کمک برخی کاتالیزورها مانند سولفات مس و سولفات پتاسیم سوزانده شد تا نیتروژن آن به سولفات آمونیوم تبدیل شود، سپس سولفات آمونیوم به آمونیاک آزاد تبدیل شد و در نهایت میزان نیتروژن در آن بر اساس فرمول زیر محاسبه گردید.

رابطه (۲) $$\text{میزان نیتروژن} = \frac{\text{حجم اسید مصرفی} \times \text{نرمالیته اسید} \times 14 \times 100}{\text{وزن نمونه بر حسب گرم} \times 1000}$$

از روش استاندارد شماره ۴۱۷۹ مؤسسه استاندارد[3] و تحقیقات صنعتی ایران برای اندازه‌گیری پراکسید روغن فندق استفاده شد. ابتدا ۵ گرم نمونه روغن در ارلن مایر ۲۵۰ میلی‌لیتری ریخته شد و ۳۰ میلی‌لیتر حلال پراکسید (محلول اسید استیک کلروفرم) به آن افزوده گردید و به هم زده شد تا روغن در حلال حل شود. سپس، ۰/۵ میلی‌لیتر محلول یدید پتاسیم اشباع به آن اضافه شد و به خوبی به هم زده شد و در تاریکی نگهداری گردید. بعد از گذشت یک دقیقه، ۳۰ میلی‌لیتر آب مقطر و ۰/۵ میلی‌لیتر چسب نشاسته به محلول افزوده شد. اگر محلول بعد از افزودن چسب نشاسته تغییر رنگ نداد عدد پراکسید صفر است و اگر تغییر رنگ داد، محلول تا از بین رفتن رنگ تیره و رسیدن به رنگ زرد با تیوسولفات سدیم ۰/۱ نرمال تیتر می‌شود تا بی‌رنگ گردد. عدد پراکسید توسط رابطه زیر محاسبه گردید.

رابطه (۳) $$\text{میزان پراکسید روغن} = \frac{\text{حجم مصرفی تیو سولفات سدیم} \times 0.1 \times 1000}{\text{وزن روغن}}$$

برای تعیین درصد اسیدیته روغن فندق از استاندارد شماره ۴۱۷۸ مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران استفاده شد. از یک ارلن مایر ۲۵۰ میلی‌لیتری، ۲۰ میلی‌لیتر الکل و ۲۰ میلی‌لیتر کلروفرم ریخته شد و با معرف فنل‌فتالئین خنثی گردید. مقدار ۱۰ گرم روغن فندق وزن شد و به این محلول افزوده گردید و تکان داده شد تا روغن حل گردد. سپس، با سود ۰/۱ نرمال تیتر شد تا رنگ صورتی کم‌رنگ نمایان شود. درصد اسیدیته از فرمول زیر به دست آمد.

رابطه (۴) $$\text{درصد اسیدیته روغن} = \frac{0.0282 \times 100 \times V}{W}$$

که در آن؛ V: حجم سود مصرفی و W: وزن نمونه است.

[1] Soxhlet
[2] Kjeldahl
[3] http://standard.isiri.gov.ir/

برای تعیین درصد مطلوبیت طعم نمونه‌های فندق و وضعیت ظاهری آنها، آزمون چشایی (جدول ۱) با حضور مصرف‌کنندگان فندق بر اساس آزمون سنجش علاقه‌مندی پنج مرحله‌ای انجام شد.

جدول ۱- ویژگی‌های حسی مورد استفاده برای تعیین درصد مطلوبیت میوه‌های فندق (*Corylus avellana*)

Table 1- Sensory Characters used for determination of hazelnut (*Corylus avellana*) fruits suitability

ویژگی	عالی	خوب	متوسط	نامطلوب	بسیار نامطلوب
ظاهر پوست، سفتی، شیرینی، طعم برشته‌شدن، ترشیدگی و مقبولیت کلی	۵	۴	۳	۲	۱

میانگین‌های داده‌شده از ۱۰ می‌باشند.

۵) تجزیه و تحلیل آماری: تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS و مقایسه میانگین داده‌ها با استفاده از روش دانکن[1] در سطح معنی‌داری ۰/۰۵ انجام شد. برای تجزیه و تحلیل آماری داده‌های آزمون چشایی از نرم‌افزار SPSS استفاده شد.

نتایج و بحث

۱) اثر دمای خشک‌کردن فندق با پوست و بدون پوست روی صفات فیزیولوژیک: در پژوهش حاضر، اثر متقابل نوع میوه و دما روی درصد روغن میوه معنی‌دار نشد ولی سایر صفات تحت‌تأثیر اثر متقابل تیمارها قرار گرفتند (جدول ۱). بر اساس نتایج تجزیه واریانس (جدول ۱)، زمان و انرژی خشک‌شدن، اسیدیته، پراکسید و درصد پروتیین میوه فندق به طور معنی‌داری ($P < 0.01$) تحت‌تأثیر اثر متقابل نوع میوه و دمای برشته‌کردن قرار گرفت.

بر اساس نتایج تجزیه مقایسه میانگین (جدول ۲)، با افزایش دما، زمان خشک‌شدن فندق کاهش یافت، به طوری که فندق‌های خشک‌شده با پوست در دمای ۴۰ درجه سانتی‌گراد بیشترین زمان و فندق‌های خشک‌شده بدون پوست در دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد کمترین زمان را برای خشک‌شدن نیاز داشتند. فرآیند کاهش رطوبت زمانی متوقف شد که محتوای رطوبت نمونه در فندق‌های با پوست به ۵ تا ۶ درصد و در فندق‌های بدون پوست به ۲ تا ۳ درصد رسید. به دلیل وجود پوسته سخت در فندق، تبخیر آب دیرتر اتفاق افتاد. در نتیجه، فندق‌های با پوست در مدت زمان طولانی‌تری نسبت به فندق‌های بدون پوست خشک می‌شوند.

در پژوهش حاضر از دمای ثابت برای خشک‌کردن فندق با پوست و بدون پوست استفاده شد. بسیاری از محققان از دمای هوای خشک‌کردن ثابت استفاده کرده‌اند و معتقدند که میزان خشک‌کردن، مهم‌ترین فاکتور در این ارتباط است (۶، ۱۴ و ۱۷). برخی مطالعات نشان داد که افزایش دما، زمان خشک‌شدن را کاهش می‌دهد (۱۱، ۱۸). مطالعه روی دو رقم پسته (کله‌قوچی و فندقی) نشان داد که با افزایش دما از ۶۰ به ۹۰ درجه سانتی‌گراد، زمان خشک‌شدن حدود ۳۷ درصد کاهش می‌یابد (۱۱). دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد طی ۱۴ ساعت و دمای ۴۰ درجه سانتی‌گراد طی ۳۹ ساعت باعث خشک‌شدن میوه سبز زیتون می‌شود (۱۹).

فندق‌های با پوستی که در دمای ۴۰ درجه سانتی‌گراد خشک شدند، بیشترین انرژی و فندق‌های بدون پوستی که در دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد خشک شدند، کمترین انرژی را برای خشک‌شدن مصرف کردند (جدول ۲). انرژی موردنیاز برای خشک‌کردن فندق‌های بدون پوست در دمای ۵۰ درجه سانتی‌گراد نیز کم بود. در یک مطالعه، انرژی فعال‌سازی برای انتشار رطوبت برای میزان رطوبت اولیه ۱۲/۳۰، ۶/۱۴ و ۲/۲۱ بر اساس وزن خشک، به ترتیب ۲۷۰۳، ۲۲۸۹ و ۲۰۳۰ کیلوژول در هر کیلوگرم بود (۷).

[1] Duncan

بر اساس نتایج مقایسه میانگین (جدول ۲)، بیشترین و کمترین درصد اسیدیته روغن فندق، به ترتیب مربوط به فندق‌های با پوست و بدون پوست خشک‌شده در دمای ۵۰ درجه سانتی‌گراد بود. هر چه درصد اسیدیته روغن فندق پایین‌تر باشد، کیفیت فندق بالاتر است. نوع رقم، زمان برداشت میوه و طریقه خشک‌کردن از عوامل مؤثر روی درصد اسیدیته‌ی روغن هستند. با افزایش دمای هوای خشک‌کن، درصد اسیدیته روغن فندق رقم پائوتت با پوست ثابت می‌ماند، در حالی که در رقم نگرت با پوست این درصد در دمای بالاتر از ۵۰ درجه سانتی‌گراد افزایش می‌یابد (۸).

نتایج مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که در فندق‌های خشک‌شده با پوست، عدد پراکسید با افزایش دما کاهش یافت. در فندق‌های بدون پوست، عدد پراکسید با افزایش دما تغییر قابل‌توجهی نکرد. بیشترین و کمترین عدد پراکسید، به ترتیب مربوط به فندق‌های با پوست خشک‌شده در دمای ۴۰ و ۶۰ درجه سانتی‌گراد بود (جدول ۲). به طور کلی، با افزایش زمان حرارت‌دهی، عدد پراکسید افزایش می‌یابد و با افزایش دما بر سرعت شکست پراکسیدها افزوده می‌شود و علی‌رغم اکسیداسیون شدیدتر، اعداد پراکسید کمتری به دست می‌آید. اکسیداسیون چربی‌ها مربوط به اسیدهای چرب غیراشباع نیز می‌باشد، به طوری که هر چه میزان غیراشباعی اسیدهای چرب بیشتر باشد میزان اکسیداسیون لیپید بیشتر است و مقدار عدد پراکسید که محصول اولیه اکسیداسیون است، بیشتر خواهد بود. از آنجایی که دمای بالا موجب کاهش اسید چرب غیراشباع می‌شود (۲۰)، با افزایش دما مقدار عدد پراکسید فندق‌های خشک‌شده کاهش می‌یابد. نمونه‌های گیاهی که دارای اسید پالمتیک و اسید اولئیک بیشتری هستند در برابر اکسیداسیون پایداری بالاتری دارند، در حالی که نمونه‌های با اسید لینولئیک حساسیت بیشتری به اکسیداسیون دارند (۲۱). در بین اسیدهای چرب موجود، اسید اولئیک فراوان‌ترین اسید چرب در روغن فندق است (۱۴، ۲۲).

در فندق‌های با پوست، با افزایش دما از ۴۰ به ۶۰ درجه سانتی‌گراد، میزان پروتئین افزایش یافت ولی در فندق‌های بدون پوست از نظر آماری تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد. با این وصف، بیشترین و کمترین مقدار پروتئین، به ترتیب در فندق‌های با پوست و بدون پوستی که در دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد خشک شده بودند، ثبت شد، اگرچه تفاوت‌ها بسیار ناچیز بود (جدول ۲). میزان پروتئین با عدد پراکسید نسبت عکس داشت. برخی اسیدهای آمینه تشکیل‌دهنده پروتئین‌ها خاصیت آنتی‌اکسیدانی نیز دارند. بنابراین، با حضور این اسیدهای آمینه، اکسیداسیون و عدد پراکسید کاهش می‌یابد (۹). تغییرات دمای خشک‌کردن در محدوده ۵۰ تا ۷۰ درجه سانتی‌گراد در ذرت (۲۳) و ۴۰ تا ۷۰ درجه سانتی‌گراد در پسته رقم عباس‌علی (۲۴)، اثر معنی‌داری روی تغییر پروتئین میوه نداشت. تغییرات دما در طی خشک‌کردن، اثر معنی‌داری روی میوه پسته نداشت (۱۱).

جدول ۲- تجزیه واریانس اثر تیمارهای مختلف (نوع میوه و دما) روی ویژگی‌های فیزیولوژیک و چشایی میوه فندق (*Corylus avellana*)

Table 2- Analysis of variance of the effect of different treatments (fruit type and temperature) on physiological and taste parameters of hazelnut (*Corylus avellana*) fruit

						میانگین مربعات								
منابع تغییرات	درجه آزادی	زمان خشک‌شدن	انرژی خشک‌شدن	درصد اسیدیته روغن	پراکسید	درصد پروتئین	درصد روغن	ظاهر پوست	سفتی	شیرینی	طعم برشته-شدن	تغییر طعم (ترشیدگی)	مقبولیت کلی
نوع میوه	۱	۶۷۵۱/۸۷**	۹۰۸۱۲۷۰**	۷۴/۴۰**	۳۱/۰۲**	۵۸/۹۹**	۱۰/۰۹**	۰/۰۶۵**	۰/۱۱۱**	۰/۵۲۶*	۰/۰۲۸^{ns}	۰/۵۴۶**	۰/۰۲۹^{ns}
دما	۲	۱۶۳/۰۶*	۱۳۱۱۰۰**	۵/۰۷*	۱۶/۶۹*	۱/۲۲^{ns}	۰/۱۵^{ns}	۰/۳۱۳**	۰/۰۰۴۹^{ns}	۰/۰۰۰۲۷^{ns}	۴/۰۰**	۰/۴۱۸*	۰/۰۱۲^{ns}
دما × نوع میوه	۲	۶۲/۱۴**	۵۰۹۴۰**	۲۰/۸۸**	۱۱/۴۶**	۸/۴۷**	۳/۵۳^{ns}	۰/۰۴۴۸**	۰/۶۵۴**	۰/۲۹۶*	۰/۰۸۴*	۰/۴۹۵**	۰/۰۴۶۹*
خطا	۱۲	۰/۳۱	۳۱۷۱/۳۷	۰/۰۰۰۵	۱/۶۲	۰/۰۶	۱۴/۳۳	۰/۰۰۲۵	۰/۰۰۹۵	۰/۰۷۶	۰/۰۲۱	۰/۰۵۵	۰/۰۱۳
ضریب تغییرات (٪)	-	۴/۰۰	۳۴/۵۸	۱۲/۹۷	۳۳/۶۵	۱/۹۶	۵/۲۸	۰/۴۳	۰/۹۰	۲/۶۴	۱/۴۵	۲/۸۵	۱/۱۰

ns، * و ** به‌ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد

جدول ۳- مقایسه میانگین اثر تیمارهای مختلف (نوع میوه و دما) روی ویژگی‌های فیزیولوژیک و چشایی میوه فندق (*Corylus avellana*)

Table 3- Mean comparison of the effect of different treatments (fruit type and temperature) on physiological and taste parameters of hazelnut (*Corylus avellana*) fruit

دما (درجه سانتی‌گراد)	نوع میوه	زمان خشک‌شدن (h)	انرژی خشک‌شدن (Kj/Kg)	درصد اسیدیته روغن	پراکسید (mEq/Kg)	درصد پروتئین	ظاهر پوست	سفتی	شیرینی	طعم برشته-شدن	تغییر طعم (ترشیدگی)	مقبولیت کلی
۴۰	با پوست	۲۹/۷۵^{a}	۱۰۵۴۴۰^{a}	۰/۲۳^{b}	۸/۲۵^{a}	۱۳/۰۶^{b}	۴/۰۸^{b}	۴/۰۱^{a}	۳/۵۷^{b}	۳/۲۵^{b}	۲/۶۶^{cd}	۳/۶۳^{b}
۵۰	با پوست	۲۵/۰۰^{b}	۹۱۴۵۰^{a}	۰/۲۸^{a}	۶/۸۵^{a}	۱۲/۸۳^{bc}	۳/۹۲^{c}	۳/۶۷^{c}	۳/۷۵^{b}	۳/۰۸^{b}	۲/۸۳^{cd}	۳/۶۶^{b}
۶۰	با پوست	۲۰/۲۵^{c}	۷۸۴۳۵^{c}	۰/۱۵^{c}	۱/۳۰^{b}	۱۳/۶۲^{a}	۴/۱۶^{a}	۴/۱۶^{a}	۳/۸۲^{b}	۳/۲۵^{b}	۲/۹۳^{bc}	۳/۷۵^{ab}
۴۰	بدون پوست	۴/۳۰^{d}	۱۵۱۹۱^{d}	۰/۱۲^{c}	۱/۳۰^{b}	۱۲/۲۴^{d}	۳/۹۳^{c}	۳/۵۰^{d}	۳/۵۰^{b}	۳/۷۵^{a}	۳/۱۶^{ab}	۳/۶۶^{b}
۵۰	بدون پوست	۳/۰۰^{e}	۱۱۱۹۸^{e}	۰/۱۱^{c}	۳/۶۵^{b}	۱۲/۴۸^{dc}	۳/۸۳^{d}	۴/۰۱^{a}	۳/۵۰^{b}	۳/۹۱^{a}	۲/۵۸^{d}	۳/۸۳^{a}
۶۰	بدون پوست	۲/۱۲^{e}	۸۹۳۶^{e}	۰/۱۵^{c}	۱/۴۰^{b}	۱۲/۰۸^{d}	۳/۸۴^{d}	۴/۰۷^{a}	۴/۱۱^{a}	۳/۹۱^{a}	۳/۳۳^{a}	۳/۶۶^{b}

حروف مشترک هر ستون، عدم وجود اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد توسط آزمون دانکن را نشان می‌دهد.

۲) اثر دمای خشک‌کردن فندق با پوست و بدون پوست روی صفات چشایی: بر اساس نتایج تجزیه واریانس (جدول ۱)، ظاهر پوست، سفتی و تغییر طعم میوه فندق ($P < 0.01$) و نیز شیرینی، طعم برشته‌شدن و مقبولیت ($P < 0.05$) به طور معنی‌داری تحت‌تأثیر اثر متقابل نوع میوه و دما قرار گرفتند. در مقایسه کلی بین صفات کیفی فندق‌های با پوست و بدون پوست در آزمون چشایی، فندق‌های بدون پوست امتیاز بیشتری نسبت به فندق‌های با پوست کسب کردند که این موضوع می‌تواند به دلیل دریافت بهتر و بیشتر انرژی گرمایی فندق‌های بدون پوست در نتیجه از دست رفتن آب بیشتر از این فندق‌ها و خشک‌شدن بهتر نسبت به فندق‌های با پوست باشد.

بر اساس نتایج تجزیه مقایسه میانگین (جدول ۲) آزمون چشایی، فندق‌های با پوستی که در دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد خشک شدند از نظر ظاهر پوست، سفتی و مقبولیت کلی امتیاز بیشتری کسب کردند اما در مورد شیرینی و ترشیدگی فندق‌های بدون پوست در دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد از نظر طعم برشته‌شدن فندق‌های بدون پوست در همه دماها برتری معنی‌داری داشتند. اثر متقابل مقدار دما و نوع میوه بر میانگین امتیازات صفات حسی آشکار کرد که فندق‌های خشک‌شده در دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد در چهار صفت ترشیدگی، برشته‌شدن، شیرینی و سفتی امتیاز بیشتری نسبت به سایرین کسب کردند، اگرچه سفتی فندق‌های خشک‌شده در دمای ۵۰ درجه سانتی‌گراد تقریباً مشابه فندق‌های خشک‌شده در دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد بود. فندق‌های خشک‌شده در دمای ۴۰ درجه سانتی‌گراد ظاهر پوست بهتری نسبت به فندق‌های خشک‌شده در دمای ۵۰ و ۶۰ درجه سانتی‌گراد داشتند. مقبولیت کلی فندق‌های بدون پوست خشک‌شده در دمای ۵۰ درجه سانتی‌گراد بیشتر از مقبولیت کلی فندق‌های خشک‌شده در دمای ۴۰ و ۶۰ درجه سانتی‌گراد بود.

در دمای بالای برشته‌کردن، واکنش قهوه‌ای‌شدن غیرآنزیمی که بین گروه کربونیل یک قند احیایی با گروه آمین بدون بار آزاد اسید آمینه یا پروتئین با از دست رفتن یک مول آب اتفاق می‌افتد، مطلوب است (۶). این واکنش با تشکیل رنگ و بوی خوش همراه است (۲۵). از آنجایی‌که ترکیب‌های عامل بوی خوش، فرار هستند و در طی برشته‌شدن از دست می‌روند، برخی از این مواد خشک می‌توانند با واکنش قهوه‌ای‌شدن غیرآنزیمی به ویژه در دمای بالا مشارکت کنند (۶). مطالعه روی پسته رقم اوحدی نشان داد که درجه حرارت بر میزان خندان‌بودن، سفتی و پذیرش کلی آنها اثر معنی‌داری داشت، اما بر میزان شیرینی، وضعیت ظاهری، تندی و برشته‌بودن اثر معنی‌داری نداشت. با افزایش درجه حرارت، میزان خندان‌بودن افزایش یافت و پسته‌هایی که در دماهای ۲۵ و ۴۰ درجه سانتی‌گراد خشک شده بودند سفت‌تر از پسته‌های خشک‌شده در دماهای ۵۰ و ۷۰ درجه سانتی‌گراد بودند. پذیرش کلی پسته‌های خشک‌شده در دمای ۴۰ درجه سانتی‌گراد بیشتر از بقیه بود (۲۶). دماهای بالای برشته‌کردن، کیفیت روغن پسته و پذیرش کلی آنها را کاهش داد (۱۰). برگه‌های سیب گلابی که در دمای ۱۲۰ درجه سانتی‌گراد خشک شده بودند، تردتر از برگه‌های خشک‌شده در دماهای ۸۰ و ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد بودند (۲). بیش از ۸۰ درصد از مصرف‌کنندگان، زیتون‌های سبز خشک‌شده در دمای ۵۰ درجه سانتی‌گراد را به زیتون‌های خشک‌شده در دمای ۴۰ درجه سانتی‌گراد ترجیح دادند (۱۹).

نتیجه‌گیری

برشته‌کردن (بودادن) یکی از مهم‌ترین مراحل فرآوری آجیل از جمله فندق است و بهینه‌سازی آن باعث بهبود کیفیت محصول نهایی و مقبولیت و پذیرش کلی بیشتر مصرف‌کنندگان می‌شود. خشک‌کردن یکی از مهم‌ترین تغییراتی است که در طی برشته‌کردن آجیل اتفاق می‌افتد. پژوهش حاضر نشان داد که در فندق‌های با پوست و بدون پوست، با افزایش دما، زمان خشک‌شدن و انرژی مورد نیاز برای خشک‌شدن کاهش می‌یابد. در فندق‌های خشک‌شده با پوست، عدد پراکسید با افزایش دما کاهش پیدا می‌کند، در حالی که در فندق‌های خشک‌شده بدون پوست تغییر معنی-

داری روی نمی‌دهد. مقبولیت کلی فندق‌های با پوست خشک‌شده در دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد و فندق‌های بدون پوست خشک‌شده در دمای ۵۰ درجه سانتی‌گراد از بقیه فندق‌ها بیشتر است.

References

1- Gholami Dashtaki T. Hazelnut is an Unknown Gem of Iran. Publication of Agriculture Science of Iran. 2011. [In Persian]

2- Karimi S, Khoshtaghaza MH. Drying of apple slice by halogen dryer. Journal of Food Science and Technology. 2014;11 (44): 167-175. [In Persian]

3- Gama T, Wallace HM, Trueman SJ, Hosseini-Bai S. Quality and shelf life of tree nuts: A review. Scientia Horticulturae. 2018; 242 (19):116-126.

4- Buthelezi NMD, Tesfay SZ, Ncama K, Magwaza LS. Destructive and non-destructive techniques used for quality evaluation of nuts: A review. Scientia Horticulturae. 2019;247 (15): 138-146.

5- Bujdoso G, Cseke K. The Persian (English) walnut (*Juglans regia* L.) assortment of Hungary: Nut characteristics and origin. Scientia Horticulturae. 2021;283:110035.

6- zdemir M, Devres YO. The thin layer drying characteristics of hazelnuts during roasting. Journal of Food Engineering. 1999; 42:225-233.

7- Özdemir M, Seyhan FG, Bodurb AÖ, Devres YO. Effect of initial moisture content on the thin layer drying characteristics of hazelnuts during roasting. Drying Technology. 2000;18 (7):1465-1479.

8- Lopez A, Pique MT, Boatella J, Parcersa J, Romero A, Ferra A, Garci J. Influence of drying conditions on the hazelnut quality. I. Lipid oxidation, drying technology. An International Journal. 1997;15 (3-4):965-977.

9- Thais MFS, Vieira-Marisa AB, Regitanod A. Canola oil thermal oxidation during oven test and microwave heating. LWT-Food Science and Technology. 2001;34 (4):215-221.

10- Nikzadeh V, Sedaghat N. Effects of roasting temperature, formulation and storage time on quality characteristics of pistachio oil and its organoleptic properties. Journal of Food Science and Industries of Iran. 2010;6 (3):45-54. [In Persian]

11- Gazor HR, Minaee S. Influence of temperature and air velocity on drying time and quality parameters of pistachio (*Pistacia vera* L.). Journal of Agricultural Engineering Research. 2002;3 (11):73-90. [In Persian]

12- Radfar R, Fatemi H, Sahari M. An investigation on the proper roasting conditions for prevention of hazelnut and peanut oil oxidation. Iranian Journal of Agriculture Science. 2003;34 (1):199-205. [In Persian]

13- Wang J, Xi YS. Drying characteristics and drying quality of carrot using a two-stage microwave process. Journal of Food Engineering. 2005;68:505-511.

14- Karataş S, Battalbey FM. Determination of moisture diffusivity of pistachio nut meat during drying. Lebensmittel Wissesschaft und Technologie. 1991;24:484-487.

15- Lebert A, Bimbenet JJ. Drying curves-A general process for their representation. In: Mujumdar A.S., and Filkova I., Drying'91. Washington DC, USA: Hemisphere. 1991; 181-190.

16- Ece MC, Cihan A. A liquid dilution model for drying rough rice. Transactions of American Society of Agricultural Engineers. 1993;36:837-840.

17- Demirtaş C, Ayhan T, Kaygusuz K. Drying behavior of hazelnuts. Journal of the Science of Food and Agriculture. 1998; 76:559-564.

18- Gholami Pourshokouhi M, Rashidi M. The effect of temperature, air movement speed and preparation method on the drying process of red seedless grapes. Food Science and Industries Journal. 2009;6 (2):13-21. [In Persian]

19- Öngen G, Sargin S, Tetik D, Köse T. Hot air drying of green table olives. Food Technology and Biotechnology. 2005;43 (2):181-187.

20- Kimber D, Mc Gregor DI. *Brassica* oilseeds production and utilization. 2nd Edition, CAB International, Cambridge, UK. 1995.

21- Anwar F, Bhanger MI, Kazi TG. Relationship between rancimat and active oxygen method values at varying temperatures for several oils and fats. Journal of the American Oil Chemists' Society. 2003;80 (2): 151-154.

22- Alasalvar C, Shahidi F, Ohshima T, Wanasundara U, Yurttas HC, Liyanapathirana CM, Rodrigues FB. Turkish Tombul hazelnut (*Corylus avellana* L.). 2. Lipid characteristics and oxidative stability. Journal of Agriculture and Food Chemistry. 2003; 51:3797-3805.

23- Omidi T, Vosoughi M, Hamidi Esfahani Z. Optimization of corn silo dryer parameters. Proceedings of the Ninth National Congress of Food Industries of Iran, Tehran. 1996. [In Persian]

24- Tavakkolipour H. Optimization of pistachio drying and storage methods. Ph.D. Thesis, Islamic Azad University, Science and Research Campus, Tehran, Iran. 2000. [In Persian]

25- Jinap SW, Wan-Rosli WI, Russly AR, Nordin LM. Effect of roasting time and temperature on volatile component profile during nib roasting of cocoa beans (*Theobroma cacao*). Journal of the Science of Food and Agriculture. 1998;77:441-448.

26- Kashaninejad M, Mortazavi SA, Seif Kordi AA, Maghsoudloo Y. The effect of drying variables on the quality characteristics of pistachio cultivar Ouhadi. Agriculture Science Journal. 2005;36 (5):1075-1085. [In Persian]

Vol.1/No.2/Autumn 2021/Pages 33-44 https://www.qafj.iauk.ac.ir

Influence of Drying Conditions and Temperature on Hazelnuts (*Corylus Avellana*) Fruit Quality

Davood Hashemabadi[*1], Behzad Kaviani[1], Sara Khayyati Babaei[2], Zahra Yousefi[3]
1-Associate Professor, Department of Horticultural Science, Rasht Branch, Islamic Azad University, Rasht, Iran
2-M.S, Department of Horticultural Science, Rasht Branch, Islamic Azad University, Rasht, Iran
3-Assistant professor, Agricultural Engineering Research Group, Guilan Agricultural and Natural Resource Research and Education Center (AREEO), Rahst, Iran
* Corresponding Author: davoodhashemabadi@yahoo.com
Received: 20/10/2021, Accepted: 19/12/2021

Abstract
Hazelnut fruit or kernel has nutritional and medicinal value and is consumed raw or roasted. Used hazelnut was Gerd-e-Eshkevarat. To determine the best drying temperature for hazelnuts, a factorial experiment in a completely randomized design with two factors; dryer air temperature in three levels (40, 50 and 60˚C) and fruit type in two levels (with and without skin) in three replications was applied. Fruits were dried in a thin layer with a laboratory dryer. To determine the specialized energy required for drying hazelnut in each treatment, an electrical work equation in the dryer (heater work + fan work) was used. Peroxide and acidity of hazelnut oil were measured by the standard institute and Iran industrial research methods. The results showed that the interaction effect of fruit type and the temperature was not significant on fruit oil percentage, but other traits were influenced by the interaction effect of treatments. The highest percentage of protein (13.62%) was obtained in roasted hazelnuts with 60˚C and with skin. The highest and lowest percentages of oil acidity (0.28 and 0.11%) were recorded in roasted hazelnuts with 50˚C with and without skin, respectively. Peroxide numeral value (8.25 and 1.30) was obtained in roasted hazelnuts with 40 and 60˚C with skin, respectively. Overall, 60˚C was the most suitable temperature for drying hazelnut fruit which resulted to enhance most physiologic and taste traits.

Keywords: Nuts, Roasted Hazelnut, Hazelnut Oil, Hazelnut Protein