بررسی اثر دما، زمان و سرعت جریان هوای برشته کردن بر خصوصیات مکانیکی بافتی مغزهای پسته برشته شده

تکتم محمدی مقدم*[۱]، سیدمحمد علی رضوی[۲]، آمنه سازگارنیا[۳]، مسعود تقی زاده[۲]،

۱- دانشجوی دکتری مهندسی صنایع غذایی دانشگاه فردوسی مشهد، Mohammadimoghaddam@yahoo.com
۲- عضو هیئت علمی گروه علوم و صنایع غذایی دانشگاه فردوسی مشهد
۳- عضو هیئت علمی گروه فیزیک پزشکی دانشگاه علوم پزشکی مشهد

چکیده

برشته کردن یکی از متداول ترین اشکال فراوری دانه های پسته بوده و هدف از آن افزایش پذیرش کلی فراورده است. تغییرات شیمیایی که طی برشته کردن و خشک نمودن رخ می دهند، منجر به تولید عطر و طعم و آروما و تغییرات بافتی می شوند. در این تحقیق اثر دما (۹۰، ۱۲۰ و ۱۵۰ درجه سانتی گراد)، زمان (۲۰، ۳۵ و ۵۰ دقیقه) و سرعت جریان هوای (۰/۵m/s، ۱/۵ و ۲/۵) برشته کردن بر خصوصیات بافتی (نقطه شکست، سختی، انرژی فشاری و مدول الاستیسیته ظاهری) مغز دانه های پسته مورد بررسی قرار گرفت. افزایش دمای برشته کردن باعث کاهش نقطه شکست، سختی و انرژی فشاری مغز دانه های پسته شد ($P<0.05$). افزایش زمان و سرعت جریان هوای برشته کردن اثر معنی داری بر نقطه شکست، سختی و انرژی فشاری نشان نداد ($P>0.05$). افزایش دما، زمان و سرعت جریان هوای برشته کردن باعث کاهش مدول الاستیسیته ظاهری شد ($P<0.05$). اثر متقابل سه فاکتور مورد بررسی (دما، زمان و سرعت جریان هوای برشته کردن) اثر معنی دار بر نقطه شکست نشان داد ($P<0.05$). نقطه شکست، سختی، انرژی فشاری و مدول الاستیسیته ظاهری دانه های پسته برشته به ترتیب در دامنه ۸۲ N-۲۵/۵۴، ۸۲/۷۶ N – ۳۷/۵۹، ۲۸۰/۷۳ N.s – ۱۰۱/۱۸ و ۴۷ N/s – ۲۱/۲۲ قرار داشتند.

کلمات کلیدی: آزمون فشاری، پسته، خواص بافتی

مقدمه

در حال حاضر پسته یکی از محبوب ترین و گران بهاترین آجیل ها در بین مردم کشورهای مختلف با ارزش غذایی و شفابخشی بسیار عالی است. ارزش غذایی، خوشمزگی، هضم راحت و کالری بالا از ویژگی هایی است که آن را در میان اکثر میوه ها برتر ساخته است. به علاوه انواع ویتامین ها و موادمعدنی در پسته به حد قابل ملاحظه ای وجود دارد (مقصودی، ۱۳۸۹). مغز پسته منبع خوبی از چربی (۶۰ ٪-۵۰ ٪) بوده و حاوی اسیدهای چرب غیر اشباع و ضروری (اسید اولئیک، لینولئیک و لینولنیک) برای انسان می باشد. این

محصول در صنعت شیرینی پزی، تنقلات، بستنی سازی و ...کاربرد فراوانی دارد (Kashaninejad *et al*. 2006). بر اساس آمار سازمان خواربار و کشاورزی ملل متحد FAO، ایران در سال ۲۰۰۹، با تولید ۲۵۵۰۰۰ تن بیشترین میزان تولید پسته در جهان را دارا بوده است و به استناد برخی آمار بیش از نیمی از تولید و صادرات پسته دنیا را در اختیار ایران قرار دارد (Pangan, 2011; FAO, 2013). در حدود ۴۰ درصد صادرات کشاورزی و حدود ۵ درصد صادرات غیرنفتی ایران مربوط به پسته است (Pangan, 2011). بنابراین پسته نقش بسزایی در اقتصاد ملی اعم از کشاورزی، صنعتی و تجاری ایفا می کند. متأسفانه شرایط نامناسب جوی طی سال های اخیر، آفت زدگی و وجود سم آفلاتوکسین، عدم کنترل در زمینه بسته‌بندی، نگهداری و صادرات پسته باعث شده است که در شش ماه نخست امسال، پسته در میان ده محصول برتر صادرات غیرنفتی هم نباشد (Pangan, 2011). به کارگیری روش های نوین و مناسب جهت افزایش کیفیت پسته، بهبود زمان ماندگاری و بسته بندی مناسب نقش مهمی را در بالا بردن میزان صادرات پسته کشور ایفا خواهد کرد.

برشته کردن یکی از متداول ترین شکل های فرآوری دانه های پسته بوده و هدف از آن افزایش پذیرش کلی فراورده است. این فرایند باعث تغییر و بهبود معنی دار عطر و طعم، بافت و ظاهر دانه ها می شود. فراورده های حاصل نسبت به آجیل های خام بسیار خوشمزه تر و لذیذتر می باشند. از طرفی برشته کردن باعث غیر فعال نمودن آنزیم های مخرب مواد مغذی شده و میکروارگانیسم های نامطلوب و آلوده کننده های مواد غذایی را نیز از بین می برد. تغییرات شیمیایی که در طی برشته کردن و خشک نمودن رخ می دهند، منجر به تولید عطر و طعم و آروما و تغییرات بافتی، تشکیل رنگ و اکسیداسیون لیپیدها می شود. برشته کردن باعث بهبود کیفیت بافتی دانه ها می شود. برشته نمودن دانه های آجیلی در دماهای پایین منجر به نفوذ تدریجی گرما در مغز، بدون سوختگی در سطح دانه خواهد شد در نتیجه باعث کاهش رطوبت و افزایش تردی مغز می شود. استفاده از ترکیب های دما – زمان نامناسب منجر به کاهش کیفیت فراورده، کاهش زمان ماندگاری و از دست دادن عطر و طعم فندق خواهد شد (Ozdemir, 2001). با توجه به اینکه پسته هم مانند فندق در گروه دانه ها قرار دارد؛ به نظر می رسد تغییرات مشابه فندق، در مورد پسته هم مشاهده شود. طعم و بافت (تردی و شکنندگی) پارامترهایی هستند که معمولا در صنعت کنترل نمی شوند در حالی که از دید مصرف کننده، شاخص های مهمی هستند، لذا اثر برشته کردن بر این پارامترها نیز باید مورد بررسی قرار گیرد (Ozdemir, 2001).

برخی از محققان اثر پارامترهای مختلف برشته کردن را بر خصوصیات بافتی دانه ها مورد بررسی قرار داده اند. Kita and Figiel (۲۰۰۶) اثر برشته کردن در هوای داغ و روغن را بر بافت گردو مورد بررسی قرار دادند. نتایج بررسی ها نشان داد خصوصیات مکانیکی گردو به دما و زمان برشته کردن وابسته است. با افزایش دما و زمان برشته کردن و همچنین با کاهش میزان رطوبت، میزان سختی کاهش پیدا کرد. استفاده از هوای داغ و روغن جهت برشته کردن، اثر معنی داری بر بافت گردو نداشت. Kahyaoglu and Kaya (۲۰۰۶) اثر دما و زمان برشته کردن را بر خصوصیات بافتی کنجد مورد بررسی قرار دادند. نتایج بررسی ها نشان داد با افزایش دما و زمان برشته کردن نیروی شکست و سختی دانه های کنجد کاهش پیدا می کند. Nikzadeh and Sedaghat (۲۰۰۸) اثر دمای برشته

کردن را بر تغییرات رطوبت، بافت و خصوصیات حسی پسته واریته اوحدی مورد بررسی قرار دادند. با افزایش دمای برشته کردن میزان رطوبت، سختی و نیروی شکست به طور معنی داری کاهش پیدا کردند. علاوه بر این استفاده از دمای بالای برشته کردن منجر به کاهش سفتی بافت شد. نتایج نشان داد بین ویژگی های حسی و دستگاهی همبستگی معنی داری وجود دارد.

Shakerardekani و همکاران (۲۰۱۱) اثر شرایط مختلف برشته کردن (۱۹۰–۹۰ درجه سانتی گراد و زمان ۶۵–۵ دقیقه) را بر سختی پسته کامل و پودر شده با روش سطح پاسخ مورد بررسی قرار دادند. نتایج تحقیق نشان داد با افزایش دما و زمان برشته کردن میزان سختی کاهش پیدا می کند. نتایج حاصل از روش سطح پاسخ نشان داد سختی می تواند جهت کنترل فرایند برشته کردن به کار برده شود. تاکنون هیچ تحقیقی مبنی بر بررسی همزمان سه فاکتور دما، زمان و سرعت جریان هوای برشته کردن بر خصوصیات بافتی پسته برشته شده منتشر نشده است. بنابراین هدف از این تحقیق بررسی دما، زمان و سرعت جریان هوای برشته کردن بر خصوصیات بافتی مغزهای پسته برشته شده (سختی، نیروی شکست، انرژی فشاری و مدول الاستیسیته ظاهری) بوده است.

مواد و روش ها

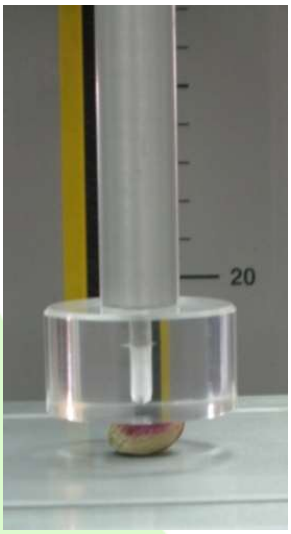
مواد اولیه شامل پسته خشک واریته فندقی (اوحدی) که در شهریور ۱۳۹۱ از یکی از تولید کننده های خشکبار مشهد خریداری شد؛ نمک طعام خوراکی با درجه خلوص ۹۹/۹ درصد و آب بودند. نسبت درصد وزنی مغز به دانه پسته ها ۶۶٪ و میانگین رطوبت آن ها ۲/۹ درصد بود. در ابتدا ناخالصی های موجود در پسته ها شامل دانه های شکسته، پوک و نارس به روش دستی حذف شده، سپس نمونه ها تا زمان اعمال فرایند در یخچال نگهداری شدند. قبل از انجام فرایند، نمونه ها از یخچال خارج شده و دمای آن ها به درجه حرارت محیط رسانیده شد. برای برشته کردن نمونه ها ابتدا محلول ۲۰٪ نمک طعام تهیه شد. برای آماده سازی هر نمونه ۱ کیلوگرم پسته به مدت ۲۰ دقیقه در ۵ لیتر محلول آب نمک قرار گرفت (Goktas Seyhan,2003). در طی این مدت نمونه ها با به آرامی و با سرعت یکنواخت هم زده می شدند. در مرحله بعد، نمونه ها آب کشی شدند تا آب نمک اضافه آن ها خارج شود. سپس خشک کردن پسته ها با فیلتر پارچه ای به مدت ۱۰ دقیقه انجام گرفت. برشته کردن پسته ها در دما (۹۰، ۱۲۰ و ۱۵۰ درجه سانتی گراد)، زمان (۲۰، ۳۵ و ۵۰ دقیقه) و سرعت های مختلف جریان هوا (۰/۵ m/s، ۱/۵ و ۲/۵) انجام گرفت. برشته کردن نمونه ها توسط توسط آون CFS400 ساخت شرکت فن آزما گستر تهران انجام گرفت. این آون به سیستم کنترل سرعت جریان هوا مجهز شده بود. بعد از برشته کردن نمونه ها تا دمای محیط (۲±۲۰ درجه سانتی گراد) سرد شدند. سپس در پلاستیک های پلی اتیلنی بسته بندی شده و تا زمان انجام آزمایشات نگهداری شدند.

برای انجام آزمون فشاری از دستگاه بافت سنج QTS, CNS Farnell Com., U.K. استفاده شد. پروب استوانه ای شکل به قطر ۳۵ میلیمتر، با سرعت ۳۰ mm/min و عمق نفوذ ۲ میلیمتر مورد استفاده قرار گرفت. شکل ۱ (الف و ب) دستگاه بافت سنج، پروب

مورد استفاده و نحوه قرارگیری نمونه ها را نشان می دهد. دانه های پسته از قسمت تعادل (بعد ضخامت) مورد آزمون فشاری قرار گرفتند. برای تعیین سرعت و عمق نفوذ مورد استفاده، آزمون های ابتدایی انجام گرفت. برای این منظور سرعت های مختلف mm/min ۱۰ تا mm/min ۱۰۰ و عمق های نفوذ ۱ تا ۵ میلیمتر استفاده شد. سپس منحنی مقدار سختی نمونه ها در سرعت ها و عمق های نفوذ مختلف رسم گردید. سرعت و عمق نفوذی که در آن سختی به صورت خطی و مستقل از عمق و سرعت بود به عنوان سرعت و عمق نفوذ بهینه انتخاب گردید. خروجی های به دست آمده توسط دستگاه بافت سنج به صورت نیرو – زمان می باشد. بنابراین واحد پارامترهای مکانیکی بافتی هم بر اساس نیوتن و ثانیه محاسبه شده است. پارامترهای مکانیکی بافتی به دست آمده شامل نیروی شکست[۱]، سختی[۲]، مدول الاستیسیته ظاهری[۳] و انرژی فشاری[۴] بودند. شکل ۲ شماتیک منحنی به دست آمده توسط بافت سنج را نشان می دهد. همانطور که در شکل مشاهده می شود، نیروی شکست[N] مقدار نیرو در شروع شکست می باشد که این نیرو طبق تعریف نرم افزار دستگاه کاهش بیش از ۵ درصد در مقدار نیرو در طی آزمون است. سختی[N] حداکثر نیرو در تغییر شکل نهایی (هدف) در منحنی نیرو – زمان است. مدول الاستیسیته ظاهری[N/s] نسبت نیرو به زمان در محدوده الاستیک می باشد. انرژی فشاری [N.s] سطح زیر منحنی نیرو – زمان می باشد که بیانگر مقدار کار لازم برای تغییر شکل است. انرژی فشاری نشان دهنده میزان قدرت پیوندهای بین ملکولی در ماده است (Razavi and Edalatian, 2012).

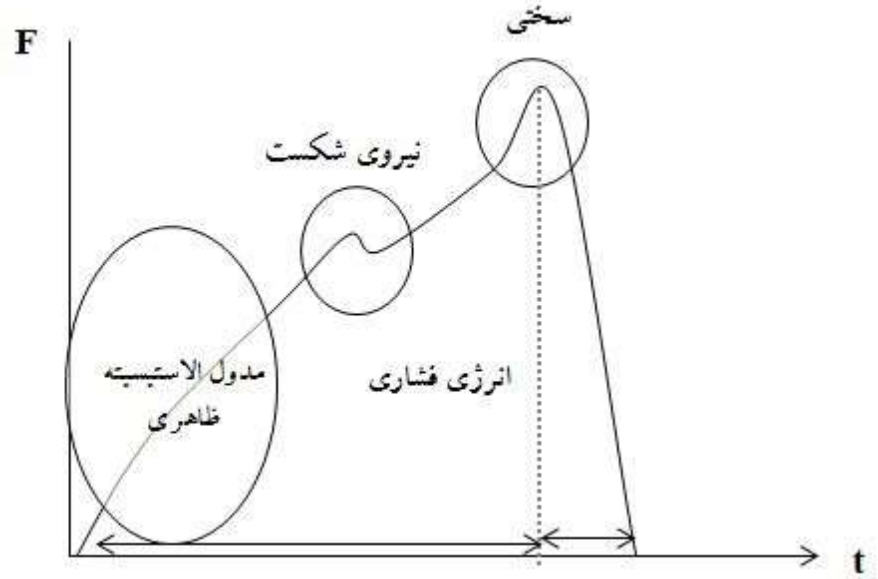
در این تحقیق داده ها با استفاده از طرح کاملاً تصادفی با آرایش فاکتوریل مورد تجزیه و تحلیل آماری قرار گرفتند. خصوصیات بافتی در چهار تکرار انجام شدند. جهت تعیین روابط بین پارامترهای مختلف، نرم افزار Minitab (Version 16) مورد استفاده قرار گرفت. برای تعیین اثر سه گانه متقابل بین پارامترهای مکانیکی بافتی، نرم افزار StataSE (Version 10, Texas, USA) به کار گرفته شد. میانگین تکرارها توسط نرم افزار MSTATC (Version 1.42, Michigan State university) در قالب آزمون چند دامنه ای دانکن و در سطح آماری ۵٪ مورد مقایسه قرار گرفتند.

1 - Fracture force
2 - Hardness
3 - Apparent modulus of elasticity
4 - Compression energy



(الف) (ب)

شکل ۱. الف) دستگاه بافت سنج و ب) پروب مورد استفاده جهت اندازه گیری خصوصیات بافتی مغز پسته برشته شده



شکل ۲. منحنی نیرو – زمان به دست آمده از دستگاه بافت سنج.

نتایج و بحث

جدول ۱ نتایج آنالیز واریانس خصوصیات مکانیکی بافتی مغزهای پسته برشته شده را نشان می دهد. اثر دما، زمان و سرعت جریان هوای برشته کردن و اثر متقابل سه گانه آن ها به ترتیب در جدول های ۲ و ۳ آورده شده است.

۱- نیروی شکست

آنالیز واریانس نشان داد اثر دمای برشته کردن بر نیروی شکست معنی دار است ($P<0/05$) (جدول ۱). همانطور که در جدول ۲ مشاهده می شود، افزایش دمای برشته کردن باعث کاهش نیروی شکست شده است. افزایش دمای برشته کردن از ۹۰ درجه سانتی گراد تا ۱۲۰ درجه سانتی گراد باعث کاهش نیروی شکست به میزان ۱۹/۳٪ شد. استفاده از دمای ۱۵۰ درجه سانتی گراد میزان نیروی شکست را ۴۱/۵٪ کاهش داد. طی فرایند برشته کردن، دانه های پسته شکننده می شوندکه این ویژگی یکی از خصوصیات فراورده های برشته شده است (Vincent,2004). اثر زمان و سرعت جریان هوای برشته کردن بر نیروی شکست معنی دار نبود ($P>0/05$). اما برهم کنش سه گانه دما، زمان و سرعت جریان هوای برشته کردن بر نیروی شکست معنی دار بود ($P<0/05$)(جدول های ۱ و ۳). رابطه رگرسیونی (رابطه ۱) توانست اثر همزمان دما، زمان و سرعت جریان هوای برشته کردن را بر نیروی شکست (F_F) به خوبی توضیح دهد (R^2 =۰/۹۸۱۴). در این رابطه T دما، t زمان وv سرعت جریان هوای برشته کردن می باشد.

رابطه ۱ نشان می دهد اثر زمان و سرعت جریان هوای برشته کردن بر نیروی شکست غیرخطی است. برهم کنش سرعت جریان هوای برشته کردن با زمان برشته کردن مثبت و با دمای برشته کردن منفی است. بر هم کنش دما و زمان هم بر نیروی شکست منفی می باشد. اثر زمان و سرعت جریان هوای برشته کردن به صورت درجه دوم و خطی است. همانطور که در رابطه ۱ مشاهده می شود اثر خطی سرعت جریان هوای برشته کردن بر نیروی شکست بیشتر از سایر موارد بوده است.

نیروی شکست مغزهای برشته شده در دما، زمان و سرعت های جریان هوای مختلف، در دامنه N ۸۲-۲۵/۵۴ قرار داشت. این نتایج مشابه نتایج Saklar *et al* (۱۹۹۹) برای برشته کردن دانه های فندق در دما، زمان و سرعت جریان های هوای مختلف، Dogan, and Cronin (۲۰۰۴) برای برشته کردن دانه های فندق در دما و زمان های مختلف و Nikzadeh, and Sedaghat, (۲۰۰۸) برای برشته کردن دانه های پسته در دماهای مختلف می باشد. این محققان گزارش دادند طی برشته کردن دانه ها نیروی شکست کاهش پیدا می کند.

۲- سختی

یکی از پارامترهای مهم که باید طی فرایند برشته کردن کنترل شود؛ سختی است. سختی مغزهای برشته شده در دما، زمان و سرعت های جریان هوای مختلف، در دامنه N ۸۲/۷۶ – ۳۷/۵۹ قرار داشت. جدول ۲ اثر شرایط مختلف برشته کردن را بر سختی مغزهای پسته نشان می دهد. افزایش دمای برشته کردن باعث کاهش سختی نمونه ها شد که نشان دهنده کاهش در قدرت دانه ها می باشد. با افزایش سرعت جریان هوای برشته کردن تا m/s ۱/۵ مقدار سختی افزایش پیدا کرد، در حالی که مقدار آن با افزایش سرعت جریان هوای برشته کردن از ۱/۵m/sتا m/s ۲/۵ کاهش پیدا کرد. اما این تغییرات معنی دار نبود (P>0/05). افزایش زمان برشته کردن تا ۳۵ دقیقه باعث افزایش سختی دانه ها شد؛ در حالیکه مقدار آن با افزایش دما از ۳۵ دقیقه تا ۵۰ دقیقه کاهش پیدا کرد(P>0/05) (جدول ۲). اثر همزمان دما، زمان و سرعت جریان هوای برشته کردن بر سختی نمونه های پسته معنی دار نبود(P>0/05) (جدول های ۱ و ۳). کاهش در میزان سختی نمونه ها به علت دمای بالای برشته کردن توسط محققان دیگر هم گزارش شده است (Kita and Figiel,2006 برای گردو، Nikzadeh, and Sedaghat,2008 و Shakerardekani *et al* 2011 برای پسته). برشته کردن دانه های آجیلی منجر به نفوذ تدریجی گرما در مغز و در نتیجه باعث کاهش رطوبت و سختی و افزایش تردی مغز می شود.

۳- مدول الاستیسیته ظاهری

شیب ناحیه خطی (ابتدایی) منحنی نیرو – زمان نشان دهنده مدول الاستیک یا مدول یانگ می باشد. این مدول قبل از ایجاد هر گونه شکست اندازه گیری می شود و وابسته به میزان سفتی نمونه می باشد (Shieh *et al*. 2004). دما، زمان و سرعت جریان هوای برشته کردن بر مدول الاستیسیته ظاهری مغزهای پسته اثر معنی دار داشتند (P<0/05). مقدار مدول الاستیسیته ظاهری نمونه ها در دامنه N/s ۴۷ – ۲۱/۲۲ قرار داشت. جدول ۲ اثر شرایط مختلف برشته کردن را بر مدول الاستیسیته ظاهری نمونه های پسته نشان می دهد. اثر همزمان دما، زمان و سرعت جریان هوای برشته کردن بر مدول الاستیسیته ظاهری نمونه ها معنی دار نبود (P>0/05) (جدول های ۱ و ۳). Nikzadeh and Sedaghat (۲۰۰۸) گزارش دادند سفتی مغزهای پسته برشته شده، با افزایش دمای برشته کردن کاهش پیدا می کند.

۴- انرژی فشاری

جدول ۲ اثر شرایط مختلف برشته کردن را بر انرژی فشاری مغزهای پسته نشان می دهد. اثر دمای برشته کردن بر انرژی فشاری مغزهای پسته معنی دار بود (P<0/05). مقدار انرژی فشاری مغزهای پسته در دامنه N.s ۲۸۰/۷۳ – ۱۰۱/۱۸ قرار داشت.

همانطور که در جدول ۲ مشاهده می شود بین دمای برشته کردن و انرژی فشاری رابطه معکوس وجود دارد. با افزایش سرعت جریان هوای برشته کردن تا ۱/۵ m/s انرژی فشاری افزایش پیدا کرد، در حالی که این مقدار با افزایش سرعت جریان هوای برشته کردن از ۱/۵ m/s تا ۲/۵ m/s کاهش یافت. اما این تغییرات معنی دار نبود ($P>0/05$). افزایش زمان برشته کردن تا ۳۵ دقیقه باعث افزایش انرژی فشاری شد در حالیکه این مقدار با افزایش زمان از ۳۵ دقیقه تا ۵۰ دقیقه کاهش پیدا کرد ($P>0/05$). برهم کنش سه گانه بین دما، زمان و سرعت جریان هوای برشته کردن بر انرژی فشاری دانه ها معنی دار نبود ($P>0/05$) (جدول های ۱ و ۳).

نتیجه گیری کلی

افزایش دمای برشته کردن از ۹۰ تا ۱۵۰ درجه سانتی گراد باعث کاهش نقطه شکست (۴۱/۵٪)، سختی (۳۹/۶٪) و انرژی فشاری (۴۴/۵٪) مغز دانه های پسته شد. افزایش دما، زمان و سرعت جریان هوای برشته کردن به ترتیب ۳۹/۶٪، ۱۴/۸٪ و ۱۳/۸٪ مدول الاستیسیته ظاهری را کاهش داد.

جدول ۱. نتایج آنالیز واریانس مغز پسته برشته شده.

ویژگی بافتی	منابع تغییرات	درجه آزادی	مجموع مربعات متوالی	مجموع مربعات تعدیل شده	میانگین مربعات تعدیل شده	F	P
(N) نیروی شکست	دما	۲	۱۴۴۶۸/۷	۱۲۸۴۳/۹	۶۴۲۱/۹	۳۶/۲۵	۰/۰۰۰
	زمان	۲	۹۰۷/۶	۸۲۷/۴	۴۱۳/۷	۲/۳۴	۰/۱۰۵
	سرعت جریان هوا	۲	۵۲۷/۴	۵۴۶/۴	۲۷۳/۲	۱/۵۴	۰/۲۲۲
	سرعت جریان هوا × زمان × دما	۸	۵۸۴۰/۳	۴۰۵۸/۳	۵۰۷/۳	۲/۸۶	۰/۰۰۹
(N) سختی	دما	۲	۱۵۱۵۶/۹۶	۱۴۱۸۱/۵۷	۷۰۹۰/۷۸	۹۴/۶۵	۰/۰۰۰
	زمان	۲	۷۲/۷۳	۶۸/۰۵	۳۴/۰۳	۰/۴۵	۰/۶۳۷
	سرعت جریان هوا	۲	۳۱۱/۶۹	۲۶۲/۸۱	۱۳۱/۴۰	۱/۷۵	۰/۱۸۱
	سرعت جریان هوا × زمان × دما	۸	۳۲۷/۵۷	۳۲۷/۵۷	۴۰/۹۵	۰/۵۵	۰/۸۱۷
مدول الاستیسیته ظاهری (N/s)	دما	۲	۳۸۲۸/۱۱	۳۵۲۶/۵۱	۱۷۶۳/۲۵	۳۹/۶۱	۰/۰۰۰
	زمان	۲	۵۳۰/۶۷	۴۹۰/۳۴	۲۴۵/۱۷	۵/۵۱	۰/۰۰۶
	سرعت جریان هوا	۲	۴۹۲/۵۵	۴۷۳/۱۴	۲۳۶/۵۷	۵/۳۱	۰/۰۰۷
	سرعت جریان هوا × زمان × دما	۸	۲۴۹/۳۰	۲۴۹/۳۰	۳۱/۱۶	۰/۷۰	۰/۶۹۰
(N.s) انرژی فشاری	دما	۲	۱۷۲۸۰۷/۳	۱۵۹۰۳۴/۵	۷۹۵۱۷/۳	۸۰/۶۹	۰/۰۰۰
	زمان	۲	۲۰۲۳/۸	۲۴۸۷/۰	۱۲۴۳/۵	۱/۲۶	۰/۲۹۰
	سرعت جریان هوا	۲	۴۴۶۱/۱	۳۰۴۶/۹	۱۵۲۳/۵	۱/۵۵	۰/۲۲۱
	سرعت جریان هوا × زمان × دما	۸	۸۸۲۷/۳	۸۸۲۷/۳	۱۱۰۳/۱	۱/۱۲	۰/۳۶۳

جدول ۲. اثر دما، زمان و سرعت جریان هوای برشته کردن بر خصوصیات بافتی مغز پسته برشته شده.

پارامتر بافتی	دما (°C)			زمان (min)			سرعت جریان هوا (m/s)		
	۹۰	۱۲۰	۱۵۰	۲۰	۳۵	۵۰	۰/۵	۱/۵	۲/۵
نیروی شکست(N)	^{a}۷۱/۹۵±۱۳/۴۹	۵۸/۰۴±۱۲/۹۳	^{c}۴۲/۱۰±۱۲/۳۵	^{ns*}۵۵/۲۲±۱۳/۴۹	^{ns}۶۱/۷۵±۱۲/۹۳	^{ns}۵۵/۱۲±۱۲/۳۵	^{ns}۵۵/۹۳±۱۳/۱۲	^{ns}۶۰/۸۲±۱۲/۱۵	^{ns}۵۵/۳۴±۱۳/۴۹
سختی(N)	^{a}۷۸/۱۵±۸/۷۸	^{b}۶۶/۴۷±۸/۴۱	^{c}۴۷/۲۲±۸/۰۳	^{ns}۶۴/۳۸±۸/۷۷	^{ns}۶۴/۷۲±۸/۴۱	^{ns}۶۲/۷۳±۸/۰۳	^{ns}۶۳/۸۴±۸/۵۳	^{ns}۶۶/۱۲±۷/۹۰	^{ns}۶۱/۸۸±۸/۷۷
مدول الاستیسیته ظاهری(N/s)	^{a}۳۹/۸۰±۶/۷۶	^{b}۳۱/۱۳±۶/۴۸	^{c}۲۴/۰۹±۶/۱۹	^{a}۳۵/۱۳±۶/۷۶	^{b}۲۹/۹۶±۶/۴۸	^{b}۲۹/۹۴±۶/۱۹	^{a}۳۲/۸۸±۶/۵۸	^{a}۳۳/۷۹±۶/۰۹	^{b}۲۸/۳۵±۶/۷۶
انرژی فشاری(N.s)	^{a}۲۳۵/۶۱±۳۱/۸۳	^{b}۱۸۸/۸۴±۳۰/۵۱	^{c}۱۳۰/۸۰±۲۹/۱۳	^{ns}۱۸۳/۸۷±۳۱/۸۳	^{ns}۱۹۲/۰۸±۳۰/۵۱	^{ns}۱۷۹/۲۹±۲۹/۱۳	^{ns}۱۸۷/۹۲±۳۰/۹۵	^{ns}۱۹۰/۶۳±۲۸/۶۶	^{ns}۱۷۶/۷۰±۳۱/۸۳

^{ns*} : معنی دار نیست.

جدول ۳. برهم کنش سه گانه دما، زمان و سرعت جریان هوای برشته کردن بر خصوصیات بافتی مغز پسته برشته شده.

دما (°C)	زمان (min)	سرعت جریان هوا (m/s)	نیروی شکست (N)	سختی (N)	مدول الاستیسیته ظاهری (N/s)	انرژی فشاری (N.s)
۹۰	۲۰	۰/۵	^{ab}۴۴/۹۰	۷۶/۹۵	۳۷/۶۵	۲۳۰/۵۵
۹۰	۲۰	۱/۵	^{ab}۷۱/۲۹	۷۱/۷۰	۴۷	۱۷۱/۶۰
۹۰	۲۰	۲/۵	^{a}۷۳/۰۳	۷۳/۵۹	۳۸/۰۷	۲۴۰/۳۲
۹۰	۳۵	۰/۵	^{a}۷۵/۴۸	۷۷/۵۰	۳۹/۹۴	۲۳۲/۵۶
۹۰	۳۵	۱/۵	^{a}۸۱/۹۸	۸۲/۷۶	۴۳/۲۷	۲۸۰/۷۳
۹۰	۳۵	۲/۵	^{a}۷۷/۷۷	۷۹/۲۱	۳۸/۵۰	۲۴۲/۷۰
۹۰	۵۰	۰/۵	^{a}۷۸/۱۵	۸۰/۴۲	۴۱/۵۹	۲۴۳/۰۹
۹۰	۵۰	۱/۵	^{ab}۶۴/۹۶	۸۰/۴۲	۴۱/۳۹	۲۴۷/۲۸
۹۰	۵۰	۲/۵	^{a}۸۰/۰۰	۸۰/۷۶	۳۰/۷۸	۲۳۱/۶۵
۱۲۰	۲۰	۰/۵	^{a}۷۶/۹۰	۸۱/۲۸	۴۰/۱۰	۲۵۳/۹۸
۱۲۰	۲۰	۱/۵	^{ab}۵۹/۰۵	۶۳/۹۳	۴۱/۳۷	۱۹۹/۰۶
۱۲۰	۲۰	۲/۵	^{ab}۴۶/۴۵	۷۳/۲۷	۳۶/۶۳	۱۹۴/۷۵
۱۲۰	۳۵	۰/۵	^{ab}۶۰/۳۸	۶۱/۹۱	۳۱/۶۰	۱۸۸/۸۰
۱۲۰	۳۵	۱/۵	^{ab}۶۵/۸۶	۶۸/۰۶	۲۴/۹۸	۱۸۹/۳۱
۱۲۰	۳۵	۲/۵	^{ab}۵۶/۱۳	۶۳/۱۳	۲۱/۷۶	۱۶۶/۹۰
۱۲۰	۵۰	۰/۵	^{ab}۴۱/۳۵	۵۹/۸۶	۲۸/۹۲	۱۵۴/۶۸
۱۲۰	۵۰	۱/۵	^{ab}۵۹/۵۵	۶۹/۸۶	۳۳/۱۵	۲۰۰/۵۲
۱۲۰	۵۰	۲/۵	^{ab}۵۶/۶۸	۵۶/۹۷	۲۱/۶۸	۱۵۱/۵۱
۱۵۰	۲۰	۰/۵	^{ab}۴۶/۵۹	۴۸/۰۴	۲۸/۸۹	۱۲۷/۵۲
۱۵۰	۲۰	۱/۵	^{ab}۳۵/۶۱	۴۳/۵۲	۲۲/۱۹	۱۱۹/۹۸
۱۵۰	۲۰	۲/۵	^{ab}۴۳/۱۴	۴۷/۱۷	۲۴/۲۵	۱۱۷/۱۰
۱۵۰	۳۵	۰/۵	^{ab}۴۰/۰۵	۴۴/۹۷	۲۳/۷۲	۱۲۵/۱۳
۱۵۰	۳۵	۱/۵	^{ab}۵۸/۷۲	۵۹/۶۹	۲۳/۶۱	۱۵۸/۳۶
۱۵۰	۳۵	۲/۵	^{ab}۳۹/۳۳	۴۵/۲۶	۲۲/۲۸	۱۴۴/۲۱
۱۵۰	۵۰	۰/۵	^{ab}۳۹/۵۷	۴۳/۶۲	۲۳/۵۴	۱۳۴/۹۲
۱۵۰	۵۰	۱/۵	^{ab}۵۰/۳۲	۵۵/۱۰	۲۷/۱۵	۱۴۸/۸۰
۱۵۰	۵۰	۲/۵	^{b}۲۵/۵۴	۳۷/۵۹	۲۱/۲۲	۱۰۱/۱۸

منابع

۱. مقصودی، ش.، ۱۳۸۹، پسته (کشاورزی، صنعت، تغذیه و درمان)، نشرعلم کشاورزی ایران.

2. Dogan, D.A. and K. Cronin. 2004. The thermal kinetics of texture change and the analysis of texture variability for raw and roasted hazelnuts. International Journal of Food Science and Technology 39: 371-383.
3. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). 2013. Available at: http://www.fao.org
4. Goktas Seyhan, F. 2003. Effect of soaking on salting and moisture uptake of pistachio nuts (Pistachia vera L.) from Turkiye. GIDA 28 (4): 395-400.
5. Kahyaoglu, T. and S. Kaya. 2006. Modelling of moisture, color and texture changes in sesame seeds during the conventional roasting. Journal of Food Engineering 75 (2): 167-177.
6. Kashaninejad, M., A. Mortazavi, A. Safekordi, and L.G. Tabil. 2005. Some physical properties of pistachio (Pistachio vera L.) nut and its kernel. Journal of Food Engineering 72 (1), 30–38.
7. Kita A. and A. Figiel. 2006. The effect of roasting on the texture of walnuts. Acta Agrophysica 7 (1): 87-97.
8. Nikzadeh, V. and N. Sedaghat. 2008. Physical and sensory changes in pistachio nuts as affected by roasting temperature and storage. American-Eurasian Journal of Agricultural & Environmental Science 4 (4): 478-483.
9. Ozdemir, M. 2001. Mathematical analysis of color changes and chemical parameters of roasted hazelnuts, Ph.D Thesis.
10. Pangan. 2011. available at: http://pangan12.blogfa.com/post-558.aspx.
11. Razavi, S.M.A., and M.R. Edalatian, 2012, Effect of moisture content and compression axis on physical and mechanical properties of pistachio kernel, International Journal of Food Properties 15, 507-517.
12. Saklar, S., S. Ungan, and S. Katnas. 1999. Instrumental crispness and crunchiness of roasted hazelnuts and correlations with sensory assessment. Journal of Food Science 64: 1015-1019.
13. Shakerardekani, A., R. Karim, H. Mohd Ghazali, and N. L. Chin. 2011. Effect of roasting conditions on hardness, moisture content and colour of pistachio kernels. International Food Research Journal 18: 723-729.
14. Shieh, C.J., C.Y. Chang, and C.S. Chen. 2004. Improving the texture of fried food. In: Kilcast D (ed) Texture in food. vol. 2. solid foods. CRC Press. New York. Chapter 21.
15. Vincent, J.F.V. 2004. Application of fracture mechanics to the texture of food. Engineering Failure Analysis 11: 695-704.

The effect of temperature, time and air velocity of roasting on textural properties of roasted pistachio kernels

Toktam Mohammadi Moghaddam[*1], Seyed M.A. Razavi[2], Ameneh Sazgarnia[3], Masoud Taghizadeh[2]

1- PhD student of Food engineering, Ferdowsi University of Mashhad
Mohammadimoghaddam@yahoo.com
2- Department of Food Science and Technology, Ferdowsi University of Mashhad
3- Department of Medical Physics, Faculty of Medicine, Mashhad University of Medical Sciences

Abstract

Roasting is one of the common shapes of nut's processing and the purpose of this process is increasing the total acceptability of products. This process cause to change and significant improvement on odor and flavor, texture and appearance of nuts and increase the total acceptability of products. The aim of this study was the effect of hot air roasting temperatures (90, 120 and 150°C), times (20, 35 and 50 min) and velocities (0.5, 1.5 and 2.5 m/s) on textural attributes (fracture force, hardness, apparent modulus of elasticity and compression energy) of pistachio kernels. Increasing the temperature of roasting decreased the fracture force, texture and compression energy ($P<0.05$). To increase the time and velocity of roasting didn't show significant effects on fracture force, texture and compression energy ($P>0.05$). Increasing the temperature, time and air velocity of roasting decreased the apparent modulus of elasticity ($P<0.05$). The triple interactions between three factors (temperature, time and air velocity of roasting) showed significant effects on fracture force ($P<0.05$). Fracture force, hardness, apparent modulus of elasticity and compression energy were in the rang 25.54-82 N, 37.59-82.76 N, 101.18-280.73 N.s and 21.22-47 N/s, respectively.

Keywords: Compression test; Pistachio; Textural properties.