

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

تکتم محمدی مقدم<sup>۱</sup>، سید محمد علی رضوی<sup>۲\*</sup>، مسعود تقی زاده<sup>۳</sup>، آمنه سازگارنیا<sup>۴</sup>

۱- دانش آموخته دکتری مهندسی علوم و صنایع غذایی دانشگاه فردوسی مشهد و استادیار گروه علوم و صنایع غذایی دانشکده علوم پزشکی نیشابور

۲- استادیار گروه علوم و صنایع غذایی دانشگاه فردوسی مشهد

۳- استادیار گروه علوم و صنایع غذایی دانشگاه فردوسی مشهد

۴- دانشیار گروه فیزیک پزشکی دانشگاه علوم پزشکی مشهد

### چکیده

برشته کردن یکی از متداول ترین شکل های فراوری دانه های پسته بوده و هدف از آن افزایش پذیرش کلی فراورده است. در این تحقیق اثر دما (۹۰، ۱۲۰ و ۱۵۰ درجه سانتی گراد)، زمان (۲۰، ۳۵ و ۵۰ دقیقه) و سرعت جریان هوای برشته کردن (۰/۵، ۱/۵ و ۲/۵) بر خصوصیات بافتی (نقطه شکست، سختی، انرژی فشاری و مدول الاستیسیته ظاهری) و رفتار رهایی تنش مغزهای پسته مورد بررسی قرار گرفت. افزایش دمای برشته کردن باعث کاهش نقطه شکست (از ۷۱/۹۵N تا ۴۲/۱۰N)، سختی (از ۷۸/۱۵N تا ۴۷/۲۲N) و انرژی فشاری (از ۲۳۵/۶۱ J تا ۱۳۰/۸۰ J) مغز دانه های پسته شد ( $P < 0.01$ ). 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 ( $P < 0.01$ ). اثر متقابل سه فاکتور مورد بررسی (دما، زمان و سرعت جریان هوای برشته کردن) اثر معنی دار بر نقطه شکست نشان داد ( $P < 0.01$ ). رابطه رگرسیونی نشان داد اثر خطی سرعت جریان هوای برشته کردن بر نیروی شکست بیشتر از سایر موارد می باشد. نقطه شکست، سختی، انرژی فشاری و مدول الاستیسیته ظاهری دانه های پسته برشته به ترتیب در دامنه ۸۲ N - ۲۵/۵۴، ۳۷/۵۹ - ۸۲/۷۶ N، ۱۰۱/۱۸ - ۲۸۰/۷۳ J، ۲۱/۲۲ - ۴۷ N.m<sup>-1</sup> قرار داشتند. نتایج آزمون رهایی تنش نشان داد مغزهای پسته برشته شده دارای رفتار ویسکوالاستیک جامد هستند.

کلید واژگان: آزمون فشاری، آزمون رهایی تنش، پسته، خواص بافتی

\* مسئول مکاتبات: s.razavi@um.ac.ir

## ۱- مقدمه

در حال حاضر پسته یکی از محبوب ترین و گران بهاترین آجیل ها در بین مردم کشورهای مختلف با ارزش غذایی و شفا بخشی 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 مواد معدنی در پسته به حد قابل ملاحظه ای وجود دارد [۱]. مغز پسته منبع خوبی از چربی (۶۰٪-۵۰٪) بوده و حاوی اسیدهای چرب غیراشباع و ضروری (اسید اولئیک، لینولئیک و لینولنیک) برای انسان می باشد. این محصول در صنعت شیرینی پزی، تنقلات، بستنی سازی و ... کاربرد فراوانی دارد [۲]. متأسفانه شرایط نامناسب جوی طی سال های اخیر، آفت زدگی و وجود سم آفلاتوکسین، نگرش سستی حاکم بر کشاورزی و فقر در باغداری مکانیزه، عدم کنترل در زمینه بسته بندی، نگهداری و صادرات پسته باعث شده، ایران که تا ۵ سال پیش مقام اول جهان را داشت، هم اکنون مقام دوم را پس از آمریکا دارد [۳]. 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 فرآورده است. این فرایند باعث تغییر و بهبود معنی دار عطر و طعم، بافت و ظاهر دانه ها می شود. فرآورده های حاصل نسبت به آجیل های خام بسیار خوشمزه تر و لذیذتر می باشند. 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 فرآورده، کاهش زمان ماندگاری و از دست دادن عطر و طعم خواهد شد [۴]. بنابراین پیش بینی شرایط برشته کردن و بررسی تغییرات شاخص های کیفی در طی فرآوری و نگهداری ضروری است. از نظر مصرف کنندگان بافت ماده غذایی اهمیت زیادی دارد. بسیاری از آزمون های بافتی دستگاهی با نتایج آزمون های حسی محصولات ارتباط دارند و می توانند برای پیشگویی میزان پذیرش

مصرف کنندگان به کار روند. این اندازه گیری ها می توانند بر اندازه گیری های حسی ارجحیت داشته باشند؛ زیرا به آسانی انجام می گیرند. همچنین باعث کاهش نوسانات در ارتباط با قضاوت های حسی می شوند [۵، ۶]. برخی از محققان اثر پارامترهای مختلف برشته کردن را بر خصوصیات بافتی دانه ها مورد بررسی قرار داده اند. کیتا و فیگیل<sup>۱</sup> (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. کایاگلو و کایا<sup>۲</sup> (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 و کنجدها بافت تردتری پیدا می کنند. مدل کینتیکی مرتبه صفر<sup>۳</sup> به خوبی توانست جهت توضیح کاهش میزان سختی و نیروی شکست دانه های کنجد به کار رود. نیک زاده و صداقت<sup>۴</sup> (۲۰۰۸) اثر دمای برشته کردن (۹۰، ۱۲۰ و ۱۵۰ درجه سانتی گراد) را بر بافت و خصوصیات حسی پسته واریته اوحدی مورد بررسی قرار دادند. با افزایش دمای برشته کردن میزان سختی (از ۷۶/۷۳ N تا ۵۱/۳۶ N) و نیروی شکست (از ۵/۸۳ N تا ۳۴/۲۴ N) 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. شاکر اردکانی<sup>۵</sup> و همکاران (۲۰۱۱) اثر شرایط مختلف برشته کردن (۹۰-۱۹۰ درجه سانتی گراد و زمان ۵-۶۵ 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

1. Kita and Figiel
2. Kahyaoglu and Kaya
3. The zero-order kinetic model
4. Nikzadeh and Sedaghat
5. Shakerardekani

نمونه ها به آرامی و با سرعت یکنواخت هم زده می شدند. در مرحله بعد، نمونه ها آب کشتی 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، ۱/۵ و ۲/۵) انجام گرفت [۹]. برشته کردن نمونه ها 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 ( $20 \pm 2$  درجه سانتی گراد) سرد شدند. سپس بسته بندی شده و تا زمان انجام آزمایش ها نگهداری شدند.

برای انجام آزمون فشاری از دستگاه بافت سنج<sup>۷</sup> استفاده شد. پروب استوانه ای شکل به قطر ۳۵ میلیمتر، با سرعت  $1 \text{ mm.min}^{-1}$  و عمق نفوذ ۲ میلیمتر مورد استفاده قرار گرفت. شکل ۱ دستگاه بافت سنج و پروب به کار رفته جهت آزمون فشاری 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  $1 \text{ mm.min}^{-1}$  تا  $10 \text{ mm.min}^{-1}$  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. پارامترهای مکانیکی بافتی به دست آمده شامل نیروی شکست<sup>۸</sup>، سختی<sup>۹</sup>، مدول الاستیسیته ظاهری<sup>۱۰</sup> و انرژی فشاری<sup>۱۱</sup> بودند. 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  $[\text{N.m}^{-1}]$

کنترل فرایند برشته کردن به کار برده شود. میزان سختی دانه های پسته برشته در دامنه  $N \text{ } 91/91 - 26/31$  قرار داشت. یگانه و تریسترام<sup>۶</sup> (۲۰۱۳) برشته کردن پسته (واریته احمدآقایی) توسط هوای داغ (دمای ۱۱۰ تا ۱۶۰ درجه سانتی گراد و زمان ۳۰-۵ دقیقه) را با برشته کردن در روغن مورد مقایسه قرار دادند. در فرایند برشته کردن در روغن داغ، نیروی شکست مغزهای پسته برشته از ۲۰۰۸ نیوتن برای پسته خام تا ۷۸۰، ۸۶۰ و ۷۵۰ نیوتن کاهش پیدا کرد؛ سپس مقدار آن به ۹۳۰، ۱۴۶۰، ۱۹۳۰ و ۲۱۳۰ نیوتن در ۱۴۰، ۱۶۰، ۱۷۰ و ۱۸۰ درجه سانتی گراد افزایش یافت. نتایج مشابهی برای برشته کردن در هوای داغ مشاهده شد.

بررسی منابع نشان داد در اکثر تحقیقات انجام شده فقط اثر دما و زمان برشته کردن بر خصوصیات پسته مورد بررسی قرار گرفته است. اما 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 (سختی، نیروی شکست، انرژی فشاری و مدول الاستیسیته ظاهری) و رفتار رهایی تنش مغزهای پسته بوده است.

## ۲- مواد و روش ها

مواد اولیه شامل پسته خشک واریته فندق (اوحدی) که در شهریور ۱۳۹۱ از یکی از تولیدکننده 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 [۱۲]. در طی این مدت

7. QTS, CNS Farnell Com., U.K.

8. Fracture force

9. Hardness

10. Apparent modulus of elasticity

11. Compression energy

6. Yeganeh and Trystram

کاهش یافته و به سمت صفر میل می کند [۱۳]. برای انجام آزمون رهایی تنش، پروب استوانه ای شکل به قطر ۳۵ میلیمتر، با سرعت  $40 \text{ mm.min}^{-1}$ ، به مدت ۲۰۰ ثانیه و در عمق نفوذ ۰/۲ میلیمتر به مغزهای پسته نیرو وارد می کرد. برای توصیف رفتار رهایی تنش و تعیین ویژگیهای ویسکوالاستیک مغزهای پسته برشته از مدل پلگ<sup>۱۳</sup> بر اساس روابط ذیل استفاده شد [۱۴]:

$$y(t) = \frac{F_0 - F(t)}{F_0} \quad (\text{رابطه ۱})$$

$$y(t) = \frac{abt}{1+bt} \quad (\text{رابطه ۲})$$

در رابطه بالا  $t$  زمان آزمون،  $F_0$  نیرو در زمان صفر،  $F(t)$  نیرو در زمان مشخص  $a$  و  $b$  ثابت های مدل هستند.

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 ۰/۰۵ مورد مقایسه قرار گرفتند. جهت برآزش داده های رهایی تنش نرم افزار CurveExpert<sup>۱۴</sup> مورد استفاده قرار گرفت.

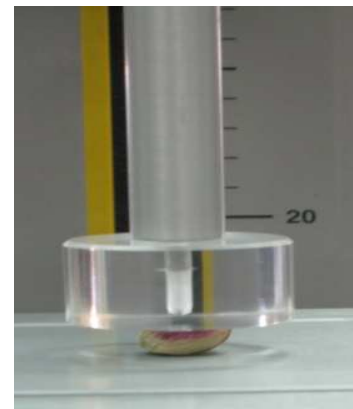
### ۳- نتایج و بحث

اثر دما، زمان و سرعت جریان هوای برشته کردن و اثر متقابل سه گانه آن ها بر خصوصیات بافتی مغز پسته در جدول ۱ آورده شده است.

نسبت نیرو به زمان در محدوده الاستیک می باشد. انرژی فشاری [J] 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 [۱۳].



(الف)



(ب)

شکل ۱ الف) دستگاه بافت سنج و ب) پروب مورد استفاده جهت

اندازه گیری خصوصیات بافتی مغز پسته برشته شده.

جهت بررسی خصوصیات ویسکوالاستیک<sup>۱۳</sup> مغزهای پسته برشته، آزمون رهایی تنش انجام گرفت. در این آزمون نمونه تحت یک تغییر شکل سریع و معین قرار می گیرد. سپس مقدار تنش به عنوان تابعی از زمان در یک تغییر شکل ثابت اندازه گیری می شود. طی این آزمون مقدار تنش مواد ویسکوالاستیک با زمان

13. Peleg  
14. A comprehensive curve fitting system for Windows, version 1.4

12. Viscoelastic

جدول ۱ برهم کنش سه گانه دما، زمان و سرعت جریان هوای برشته کردن بر خصوصیات بافتی مغز پسته..

دما (°C)	زمان (min)	سرعت جریان هوا (m/s)	نیروی شکست (N)	سختی (N)	مدول ظاهری الاستیسیته (N.m <sup>-1</sup> )	انرژی فشاری (J)
۹۰	۲۰	۰/۵	۴۴/۹۰±۱۱/۱۲	۷۷/۹۵±۷/۶۸	۳۷/۶۵±۵/۶۲	۲۳۰/۵۵±۲۸/۲۲
۹۰	۲۰	۱/۵	۷۱/۲۹±۱۱/۱۳	۷۱/۷۰±۷/۴۲	۴۷/۰۰±۶/۵۴	۱۷۱/۶۰±۲۶/۲۹
۹۰	۲۰	۲/۵	۷۳/۰۲±۱۳/۱۰	۷۳/۵۹±۸/۳۲	۳۸/۰۷±۶/۴۷	۲۴۰/۳۲±۲۹/۳۰
۹۰	۳۵	۰/۵	۷۵/۴۸±۱۲/۱۲	۷۷/۵۰±۷/۵۹	۳۹/۹۴±۵/۹۸	۲۳۲/۵۶±۲۷/۹۸
۹۰	۳۵	۱/۵	۸۱/۹۸±۱۳/۵۰	۸۲/۷۶±۸/۲۱	۴۳/۲۷±۵/۷۸	۲۸۰/۷۳±۳۰/۱۲
۹۰	۳۵	۲/۵	۷۷/۷۷±۱۲/۰۰	۷۹/۲۱±۷/۶۸	۳۸/۵۰±۶/۹۹	۲۴۲/۷۰±۳۱/۲۵
۹۰	۵۰	۰/۵	۷۸/۱۵±۱۳/۱۱	۸۰/۴۲±۷/۵۹	۴۱/۵۹±۶/۶۸	۲۴۳/۰۹±۲۹/۵۶
۹۰	۵۰	۱/۵	۶۴/۹۶±۱۲/۵۴	۸۰/۴۲±۷/۵۵	۴۱/۳۹±۵/۳۵	۲۴۷/۲۸±۲۸/۶۸
۹۰	۵۰	۲/۵	۸۰/۰۰±۱۲/۶۹	۸۰/۷۶±۸/۱۲	۳۰/۷۸±۵/۷۸	۲۳۱/۶۵±۲۹/۳۶
۱۲۰	۲۰	۰/۵	۷۶/۹۰±۱۳/۱۲	۸۱/۲۸±۸/۲۶	۴۰/۱۰±۶/۳۲	۲۵۳/۹۸±۲۷/۳۲
۱۲۰	۲۰	۱/۵	۵۹/۰۵±۱۲/۵۴	۶۳/۹۲±۸/۳۲	۴۱/۳۷±۵/۵۴	۱۹۹/۰۶±۲۷/۴۵
۱۲۰	۲۰	۲/۵	۴۶/۴۵±۱۳/۱۰	۷۳/۲۷±۷/۴۵	۳۶/۶۳±۶/۵۵	۱۹۴/۷۵±۲۷/۵۶
۱۲۰	۳۵	۰/۵	۶۰/۳۸±۱۲/۴۵	۶۱/۹۱±۸/۷۵	۳۱/۶۰±۷/۶۵	۱۸۸/۸۰±۲۸/۶۷
۱۲۰	۳۵	۱/۵	۶۵/۸۶±۱۳/۲۵	۶۸/۰۶±۷/۸۰	۲۴/۹۸±۷/۳۲	۱۸۹/۳۱±۳۰/۲۹
۱۲۰	۳۵	۲/۵	۵۶/۱۳±۱۲/۳۵	۶۳/۱۲±۷/۵۳	۲۱/۷۶±۵/۶۶	۱۶۶/۹۰±۲۹/۹۶
۱۲۰	۵۰	۰/۵	۴۱/۳۵±۱۲/۵۷	۵۹/۸۶±۷/۴۵	۲۸/۹۲±۶/۳۵	۱۵۴/۶۸±۲۹/۶۸
۱۲۰	۵۰	۱/۵	۵۹/۵۴±۱۳/۱۱	۶۹/۸۶±۷/۲۵	۳۳/۱۵±۵/۴۵	۲۰۰/۵۲±۲۹/۷۲
۱۲۰	۵۰	۲/۵	۵۶/۶۸±۱۲/۴۵	۵۷/۹۷±۸/۳۲	۲۱/۶۸±۶/۶۳	۱۵۱/۵۱±۳۰/۶۰
۱۵۰	۲۰	۰/۵	۴۶/۵۹±۱۲/۱۹	۴۸/۰۴±۷/۶۵	۲۸/۸۹±۶/۲۴	۱۲۷/۵۲±۲۷/۴۶
۱۵۰	۲۰	۱/۵	۳۵/۶۱±۱۳/۰۴	۴۳/۵۲±۷/۵۴	۲۲/۱۸±۵/۲۲	۱۱۹/۹۸±۲۵/۶۳
۱۵۰	۲۰	۲/۵	۴۳/۱۴±۱۲/۲۱	۴۷/۱۷±۸/۶۶	۲۴/۲۵±۶/۳۵	۱۱۷/۱۰±۲۹/۴۵
۱۵۰	۳۵	۰/۵	۴۰/۰۵±۱۳/۰۶	۴۴/۹۷±۷/۵۴	۲۳/۷۲±۵/۶۵	۱۲۵/۱۳±۲۹/۶۵
۱۵۰	۳۵	۱/۵	۵۸/۷۲±۱۳/۱۲	۵۹/۶۹±۷/۲۱	۲۳/۶۱±۵/۳۲	۱۵۸/۳۶±۲۷/۸۹
۱۵۰	۳۵	۲/۵	۳۹/۳۳±۱۲/۸۷	۴۵/۲۶±۷/۲۳	۲۲/۲۸±۷/۴۵	۱۴۴/۲۱±۲۸/۵۴
۱۵۰	۵۰	۰/۵	۳۹/۵۷±۱۲/۵۶	۴۳/۶۲±۸/۰۰	۲۳/۵۴±۶/۵۵	۱۳۴/۹۲±۲۹/۳۲
۱۵۰	۵۰	۱/۵	۵۰/۳۲±۱۳/۱۳	۵۵/۱۰±۶/۹۵	۲۷/۱۵±۶/۴۴	۱۴۸/۸۰±۳۰/۰۰
۱۵۰	۵۰	۲/۵	۲۵/۵۴±۱۲/۲۵	۳۷/۵۹±۶/۷۵	۲۱/۲۲±۷/۵۴	۱۰۱/۱۸±۲۹/۲۳

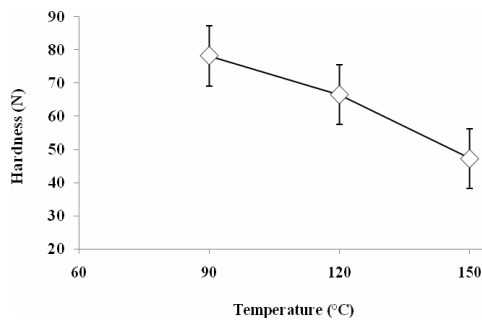
## ۳-۱- نیروی شکست

آنالیز واریانس نشان داد اثر دمای برشته کردن بر نیروی شکست معنی دار است ( $P < 0.01$ ). همانطور که در شکل ۲ مشاهده می شود، افزایش دمای برشته کردن باعث کاهش نیروی شکست

شده است. طی فرایند برشته کردن، دانه های پسته شکننده می شوند که این ویژگی یکی از خصوصیات فراورده های برشته شده است [۱۵]. 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

## ۳-۲- 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  $82/76 \text{ N} - 37/59$  قرار داشت. جدول ۱ 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 (شکل ۳).



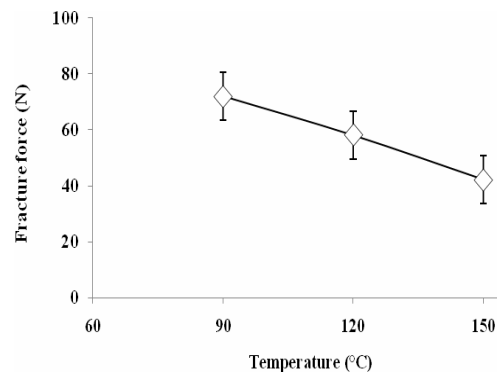
شکل ۳ اثر دمای برشته کردن بر سختی مغزهای پسته.

با افزایش سرعت جریان هوای برشته کردن تا  $1/5 \text{ m/s}$  مقدار سختی افزایش پیدا کرد، در حالی که مقدار آن با افزایش سرعت جریان هوای برشته کردن از  $1/5 \text{ m/s}$  تا  $2/5 \text{ m/s}$  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 ( $P > 0.05$ ). اثر همزمان دما، زمان و سرعت جریان هوای برشته کردن بر سختی نمونه های پسته معنی دار نبود ( $P > 0.05$ ) (جدول ۱). 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. کاهش در میزان سختی نمونه ها به علت دمای بالای برشته کردن توسط محققان دیگر هم گزارش شده است [۷، ۹، ۱۰].

شکست معنی دار بود ( $P < 0.01$ ) (جدول ۱). رابطه رگرسیونی (رابطه ۳) توانست اثر همزمان دما، زمان و سرعت جریان هوای برشته کردن را بر نیروی شکست ( $F_F$ ) به خوبی توضیح دهد ( $R^2 = 0.9814$ ). در این رابطه  $T$  دما،  $t$  زمان و  $v$  سرعت جریان هوای برشته کردن می باشد.

$$F_F = 0/35T + 2/99t + 30/7v - 0/01Tt - 0/14Tv + 0/05tv - 0/03t^2 - 5/21v^2, \\ (R^2 = 0/9814)$$

رابطه ۳ 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. برهم 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 ۳ مشاهده می شود اثر خطی سرعت جریان هوای برشته کردن - به علت ضریب بالای آن - 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  $82 \text{ N} - 25/54$  قرار داشت. این نتایج مشابه نتایج ساکلار<sup>۱۵</sup> و همکاران (۱۹۹۹) برای برشته کردن دانه های فندق در دما، زمان و سرعت جریان های هوای مختلف، دوگان و کرونین<sup>۱۶</sup> (۲۰۰۴) برای برشته کردن دانه های فندق در دما و زمان های مختلف و نیک زاده و صداقت (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.

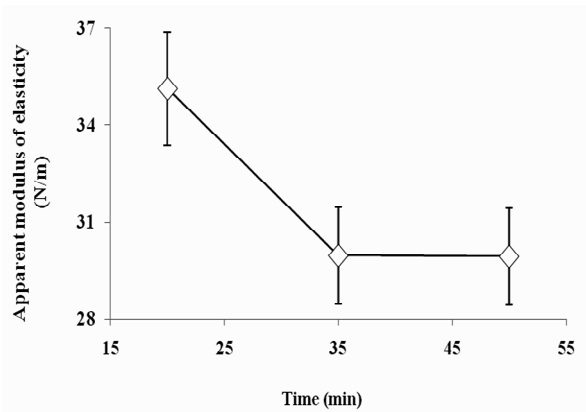


شکل ۲ اثر دمای برشته کردن بر نیروی شکست مغزهای پسته.

15. Saklar  
16. Dogan, and Cronin

## ۳-۳- مدول الاستیسیته ظاهری

شیب ناحیه خطی (ابتدایی) منحنی نیرو - زمان نشان دهنده مدول ظاهری الاستیک می باشد. این مدول قبل از ایجاد هر گونه شکست اندازه گیری می شود و وابسته به میزان سفتی نمونه می باشد [۱۸]. افزایش دما و سرعت جریان هوای برشته کردن باعث کاهش مدول الاستیسیته ظاهری مغزهای پسته شد ( $P < 0.01$ ) (شکل های ۴ و ۵).

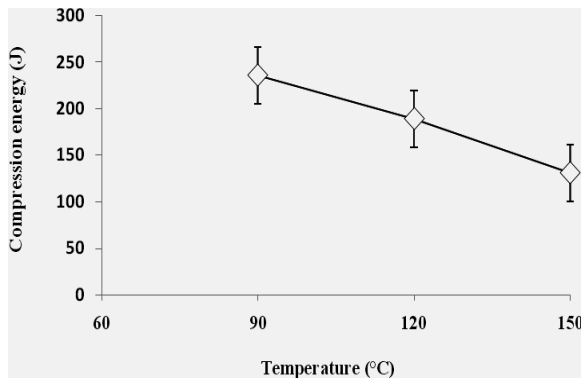


شکل ۶ اثر زمان برشته کردن برمدول الاستیسیته ظاهری مغزهای پسته.

مقدار مدول الاستیسیته ظاهری نمونه ها در دامنه  $47 \text{ N.m}^{-1}$  -  $21/22$  قرار داشت. اثر همزمان دما، زمان و سرعت جریان هوای برشته کردن بر مدول الاستیسیته ظاهری نمونه ها معنی دار نبود ( $P > 0.05$ ) (جدول ۱).

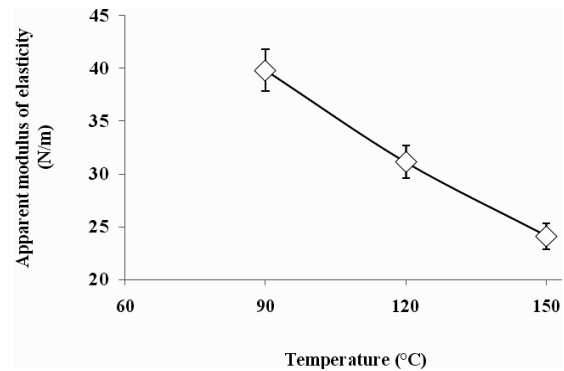
## ۴-۳- انرژی فشاری

شکل ۷ اثر دمای برشته کردن را بر انرژی فشاری مغزهای پسته نشان می دهد.

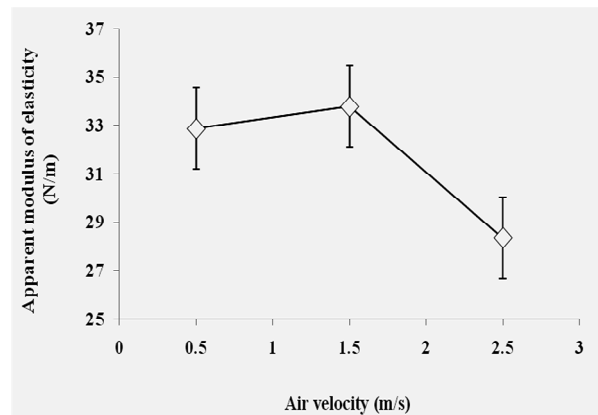


شکل ۷ اثر دمای برشته کردن بر انرژی فشاری مغزهای پسته.

همانطور که ملاحظه می گردد با افزایش دمای برشته کردن انرژی فشاری کاهش پیدا می کند. مقدار انرژی فشاری مغزهای پسته در دامنه  $280/73 \text{ J} - 101/18$  قرار داشت. با افزایش سرعت جریان هوای برشته کردن تا  $1/5 \text{ m/s}$  انرژی فشاری افزایش پیدا کرد، در حالی که این مقدار با افزایش سرعت جریان هوای برشته کردن از  $1/5 \text{ m/s}$  تا  $2/5 \text{ m/s}$  کاهش یافت. اما این تغییرات



شکل ۴ اثر دمای برشته کردن برمدول الاستیسیته ظاهری مغزهای پسته.



شکل ۵ اثر سرعت جریان هوای برشته کردن برمدول الاستیسیته ظاهری مغزهای پسته.

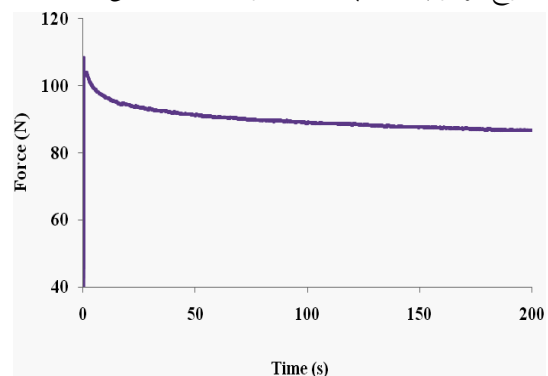
افزایش زمان برشته کردن از ۲۰ تا ۳۵ دقیقه باعث کاهش مدول الاستیسیته ظاهری مغزهای پسته شد؛ در حالی که افزایش زمان برشته کردن از ۳۵ تا ۵۰ دقیقه میزان آن را تغییر چندانی نداد (شکل ۶).

جهت بررسی رفتار ویسکوالاستیک مغزهای پسته برشته از مدل پلگ (رابطه ۱) استفاده شد. مدل پلگ توانست جهت توصیف رفتار رهایی تنش مغزهای پسته برشته به کار رود ( $R \geq 0.85$ ). جدول ۲ پارامترهای مدل پلگ را برای مغزهای پسته برشته تحت شرایط مختلف نشان می دهد. در این مدل، پارامتر  $a$  بزرگی و میزان کاهش استرس را نشان می دهد. اگر  $a$  صفر باشد، ماده هیچ وقت به حالت رهایی<sup>۲۲</sup> نمی رسد (مواد جامد مانند لاستیک). اگر  $a$  برابر یک باشد ماده به حالت رهایی می رسد و تابع زمان است (مایعات) و اگر مقدار  $a$  بین صفر و یک باشد، ماده ویسکوالاستیک است. همانطور که در جدول ۲ مشاهده می شود، مقدار پارامتر  $a$  برای مغزهای پسته برشته در دامنه صفر و یک قرار دارد که نشان دهنده ویسکوالاستیک بودن مغزهای پسته برشته است. افزایش دما، زمان و سرعت جریان هوای برشته کردن بر میزان این ثابت اثر معنی داری نشان نداد ( $P > 0.05$ ). مقدار پارامتر  $a$  مغزهای پسته برشته در دامنه  $0.72 - 0.08$  قرار داشت. پارامتر  $b$  در مدل پلگ سرعت کاهش<sup>۲۳</sup> را نشان می دهد. اگر  $b$  صفر باشد ماده هیچ وقت به رهایی نمی رسد. اگر مقدار  $b$  کوچک باشد سرعت رهایی کم است و اگر مقدار آن زیاد باشد به این معناست که سرعت رهایی بالا است (ماده ویسکوز). افزایش زمان و سرعت جریان هوای برشته کردن بر میزان این ثابت اثر معنی داری نشان نداد ( $P > 0.05$ ). افزایش دمای برشته کردن از  $90^\circ\text{C}$  تا  $120^\circ\text{C}$  مقدار آن را افزایش داد ( $P < 0.05$ )، اما با افزایش دما از  $120^\circ\text{C}$  تا  $150^\circ\text{C}$  مقدار این ثابت کاهش پیدا کرد ( $P < 0.05$ ). مقدار پارامتر  $b$  مغزهای پسته برشته در دامنه  $0.47 t^{-1} - 0.03$  قرار داشت. با توجه به کوچک بودن مقدار پارامترهای  $a$  و  $b$  این می توان گفت رفتار ویسکوالاستیک مغزهای پسته برشته به ماده ویسکوالاستیک جامد نزدیک است.

معنی دار نبود ( $P > 0.05$ ). افزایش زمان برشته کردن تا ۳۵ دقیقه باعث افزایش انرژی فشاری شد. در حالی که 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 ۱).

## ۴- آزمون رهایی تنش

شکل ۸ نمونه ای از منحنی نیرو - زمان آزمون رهایی تنش مغز پسته برشته شده را نشان می دهد. همانطور که مشاهده می شود رفتار وابسته به زمان در مغزهای پسته وجود دارد که نشان دهنده ویسکوالاستیک<sup>۱۷</sup> بودن نمونه ها می باشد. همچنین مشاهده می شود پس از گذشت زمان، مقدار نیرو به حالت تعادل می رسد که نشان دهنده وجود رفتار الاستیک<sup>۱۸</sup> (ناشی از استرس نهایی یا باقی مانده<sup>۱۹</sup>) است. شلف و محسنین<sup>۲۰</sup> (۱۹۹۱) گزارش دادند طی فرایند بارگذاری - باربرداری خاصیت پلاستیک دانه ها به تدریج کاهش یافته و رفتار آن مشابه مواد الاستیک می شود. علاوه بر این دانه هایی که دارای رطوبت کمتری هستند، بیشتر رفتار الاستیک دارند و دانه های با رطوبت بالاتر از خود رفتار الاستیک - پلاستیک<sup>۲۱</sup> نشان می دهند [۲۰، ۲۱]. همچنین طی فرایند بارگذاری - باربرداری دانه های خشک تر سریع تر از انواع مرطوب رفتار پلاستیک خود را از دست می دهند [۲۲].



شکل ۸ منحنی نیرو - زمان آزمون رهایی تنش مغزهای پسته برشته شده.

17. Viscoelastic
18. Elastic
19. Residual stress
20. Shelef L., Mohsenin
21. Elastic-plastic

22. Relax
23. Decay rate



جدول ۲ اثر دما، زمان و سرعت جریان هوای برشته کردن بر ثابت های مدل پلگ.

دما (°C)	زمان (min)	سرعت جریان هوا (m/s)	a	b (t <sup>-1</sup> )	R
۹۰	۲۰	۰/۵	۰/۱۹	۰/۰۷	۰/۹۸
۹۰	۲۰	۱/۵	۰/۴۳	۰/۱۵	۰/۹۷
۹۰	۲۰	۲/۵	۰/۲۸	۰/۱۸	۰/۹۰
۹۰	۳۵	۰/۵	۰/۴۷	۰/۲۴	۰/۹۰
۹۰	۳۵	۱/۵	۰/۲۲	۰/۲۹	۰/۹۶
۹۰	۳۵	۲/۵	۰/۰۸	۰/۰۳	۰/۹۶
۹۰	۵۰	۰/۵	۰/۲۹	۰/۱۳	۰/۹۵
۹۰	۵۰	۱/۵	۰/۳۳	۰/۰۶	۰/۹۴
۹۰	۵۰	۲/۵	۰/۵۳	۰/۳۵	۰/۸۹
۱۲۰	۲۰	۰/۵	۰/۴۲	۰/۲۴	۰/۹۱
۱۲۰	۲۰	۱/۵	۰/۳۰	۰/۱۹	۰/۹۶
۱۲۰	۲۰	۲/۵	۰/۳۳	۰/۰۶	۰/۹۶
۱۲۰	۳۵	۰/۵	۰/۲۶	۰/۴۲	۰/۸۵
۱۲۰	۳۵	۱/۵	۰/۳۸	۰/۱۹	۰/۸۵
۱۲۰	۳۵	۲/۵	۰/۱۴	۰/۱۵	۰/۹۴
۱۲۰	۵۰	۰/۵	۰/۷۲	۰/۴۷	۰/۸۶
۱۲۰	۵۰	۱/۵	۰/۴۸	۰/۱۴	۰/۸۸
۱۲۰	۵۰	۲/۵	۰/۲۶	۰/۴۲	۰/۸۵
۱۲۰	۲۰	۰/۵	۰/۲۳	۰/۰۳	۰/۹۱
۱۵۰	۲۰	۱/۵	۰/۵۴	۰/۱۱	۰/۹۰
۱۵۰	۲۰	۲/۵	۰/۲۰	۰/۰۶	۰/۹۷
۱۵۰	۳۵	۰/۵	۰/۱۴	۰/۱۱	۰/۹۲
۱۵۰	۳۵	۱/۵	۰/۲۶	۰/۰۸	۰/۹۸
۱۵۰	۳۵	۲/۵	۰/۲۵	۰/۱۰	۰/۹۲
۱۵۰	۵۰	۰/۵	۰/۱۳	۰/۱۱	۰/۹۴
۱۵۰	۵۰	۱/۵	۰/۳۱	۰/۰۹	۰/۹۵
۱۵۰	۵۰	۲/۵	۰/۴۲	۰/۲۶	۰/۸۹

استفاده کردند. نتایج بررسی ها نشان داد دانه های نخود دارای رفتار ویسکوالاستیک هستند و مدل ماکسول به عنوان بهترین مدل جهت توضیح رفتار رهایی تنش آن ها شناخته شد. با افزایش تعداد بارگذاری رفتار الاستیک در دانه ها بیشتر شد. در نتیجه برای رسیدن به یک تغییر شکل ثابت نیروی بیشتری نیاز بود. در تمام رطوبت ها و بارگذاری ها، در سرعت های نسبی پایین و در ابتدای به کارگیری نیرو، پراکندگی عمده ای در بافت دانه های نخود مشاهده شد.

### ۵- نتیجه گیری

در این تحقیق اثر دما، زمان و سرعت جریان هوای برشته کردن بر خصوصیات مکانیکی و رفتار رهایی تنش مغزهای پسته مورد بررسی قرار گرفت. نتایج آزمون مکانیکی بافتی نشان داد افزایش دمای برشته کردن باعث کاهش نیروی شکست می شود. رابطه رگرسیونی نشان داد 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 بود. برهم کنش دما و زمان بر نیروی شکست منفی و اثر زمان و سرعت جریان هوای برشته کردن به صورت درجه دوم و خطی بود. اثر خطی سرعت جریان هوای برشته کردن بر نیروی شکست بیشتر از سایر موارد بود. افزایش دمای برشته کردن باعث کاهش سختی نمونه ها شد که نشان دهنده کاهش در استحکام دانه ها می باشد. بین دمای برشته کردن و انرژی فشاری رابطه معکوس مشاهده شد. نتایج آزمون رهایی تنش نشان داد مغزهای پسته برشته شده دارای رفتار ویسکوالاستیک جامد می باشند. با توجه به ارتباط خصوصیات بافتی دستگاهی با خواص حسی، نتایج به دست آمده در این تحقیق می تواند برای پیشگویی خصوصیات بافتی مغزهای پسته برشته شده و تعیین شرایط بهینه برشته کردن پسته کاربرد داشته باشد.

### ۶- منابع

[1] Maghsudi, Sh. 2010. Pistachio (agricultural, industry, nutrition and treatment). Iran Agricultural Science Publishing Inc., Iran (In Farsi ).

خزائی و مان (۲۰۰۵) اثر رطوبت (۱۸ - ۶۷ درصد) و تعداد بارگذاری (۱ تا ۹ سیکل بارگذاری) را بر رفتار رهایی تنش نخود مورد بررسی قرار دادند. این محققان از مدل های ماکسول، ماکسول تعمیم یافته، پلگ و ناسینویچ برای بررسی رفتار نخودها

- [13] Razavi, S.M.A., and Edalatian, M.R., 2012, Effect of moisture content and compression axis on physical and mechanical properties of pistachio kernel, *International Journal of Food Properties*, 15, 507-517.
- [14] Gamero, M., Fizman, S.M., and L. Duran, 1993. Stress Relaxation of Fruit Gels. Evaluation of Models and Effects of Composition., *Journal of Food Science*. 58 (5), 1125-1128.
- [15] Vincent, J.F.V. 2004. Application of fracture mechanics to the texture of food. *Engineering Failure Analysis*, 11, 695-704.
- [16] Saklar, S., Ugan, S. and S. Katnas. 1999. Instrumental crispness and crunchiness of roasted hazelnuts and correlations with sensory assessment. *Journal of Food Science*, 64, 1015-1019.
- [17] 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.
- [18] Shieh, C.J., Chang, C.Y., 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.
- [19] Shelef L., and N.N., Mohsenin 1967. Evaluation of the modulus of elasticity of wheat grains. *Cereal Chemistry*, 44, 392-402.
- [20] Pappas, G., Skinner, G.E., and V.N.M., Rao 1988. Effect of imposed strain and moisture content on some viscoelastic characteristic of cowpeas. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 39, 209-219.
- [21] Bargale, P.C., and J.M. Irudayaraj, 1995. Mechanical strength and rheological behaviour of barley kernels. *International Journal of Food Science & Technology*, 30, 609-623.
- [22] Khazae, J., and D.D., Mann, 2005. Effects of moisture content and number of loadings on force relaxation behaviour of chickpea kernels. *International Agrophysics*, 19, 305-313.
- [2] Kashaninejad, M., Mortazavi, A., Safekordi, A. 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.
- [3] Pangan. 2011. available at, <http://pangan12.blogfa.com/post-558.aspx>.
- [4] Ozdemir, M. 2001. Mathematical analysis of color changes and chemical parameters of roasted hazelnuts, Ph.D Thesis.
- [5] Abbott, J.A., 1999. Quality measurement of fruits and vegetables. *Postharvest Biology and Technology*, 15, 207-225.
- [6] Sato, A., and M. Yamada. 2003. Berry texture of table, wine, and dual-purpose grape cultivars quantified. *HortScience* 38,578-581.
- [7] Kita A. and A. Figiel. A. 2006. The effect of roasting on the texture of walnuts. *Acta Agrophysica*, 7 (1), 87-97.
- [8] 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.
- [9] 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.
- [10] Shakerardekani, A., Karim, R., Mohd Ghazali, H. 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.
- [11] Yeganeh, R., and G., Trystram, 2013. Intensification of pistachio by deep frying. *Quality Assurance and Safety of Crops & Foods*, 5 (2), 131-139.
- [12] 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.

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

Mohammadi-Moghaddam, T. <sup>1</sup>, Razavi, S. M. A. <sup>2\*</sup>, Taghizadeh, M. <sup>3</sup>, Sazgarnia, A. <sup>4</sup>

1. Graduated PhD student of Food Engineering, Ferdowsi University of Mashhad and Assistant Professor, Department of Food Science and Technology, Neyshabur University of Medical Sciences
2. Professor, Department of Food Science and Technology, Ferdowsi University of Mashhad
3. Assistant Professor, Department of Food Science and Technology, Ferdowsi University of Mashhad
4. Associate Professor, Department of Medical Physics, Mashhad University of Medical Sciences

Roasting is the common shape of pistachio nuts processing and the purpose of this process is to increase the total acceptability of products. The aim of this study was the effects of hot air roasting temperatures (90, 120 and 150°C), times (20, 35 and 50 min) and air velocities (0.5, 1.5 and 2.5 m/s) on textural attributes (fracture force, hardness, apparent modulus of elasticity and compression energy) and stress relaxation behavior of pistachio kernels. Increasing the temperature of roasting decreased the fracture force (from 71.95 N to 43.10 N), hardness (from 78.15 N to 47.22 N) and compression energy (from 235.61 J to 130.80 J) of pistachio kernels ( $P < 0.01$ ). To increase the time and air velocity of roasting didn't show significant effects on fracture force, hardness and compression energy ( $P > 0.05$ ). Increasing the temperature, time and air velocity of roasting decreased the apparent modulus of elasticity ( $P < 0.01$ ). The triple interactions between three factors (temperature, time and air velocity of roasting) showed significant effects on fracture force ( $P < 0.01$ ). The regression equation showed that the linear effect of air velocity on fracture force is higher than other parameters. Fracture force, hardness, apparent modulus of elasticity and compression energy were at the range 25.54-82 N, 37.59-82.76 N, 101.18-280.73 J and 21.22-47 N/m, respectively. The results of stress relaxation test showed the roasted pistachio kernels have solid-viscoelastic behavior.

**Keywords:** Compression test, Stress relaxation test, Pistachio, Textural properties.

---

\* Corresponding Author E-Mail Address: s.razavi@um.ac.ir