

تعیین خواص رئولوژیکی دو رقم سیبزمینی طی دوره انبارمانی در انبار فنی و غیر فنی

رویا فرهادی^۱، امیرحسین افکاری سیاح^{۲*}، احمد موسی پور گرجی^۳ و بهاره جمشیدی^۴

۱- دانش آموخته دکتری رشته مهندسی مکانیک بیوسیستم، گروه مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

۲- دانشیار گروه مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

۳- استادیار مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران

۴- استادیار مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۲/۳۰؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۷/۱۸

چکیده

به منظور تأمین مستمر مواد خام برای مصارف خانگی و صنعتی، ذخیره سیبزمینی بسیار ضروری است. به دلیل تغییرات ساختاری (بافتی) و به دنبال آن تغییر در ویژگی‌های مکانیکی غده‌ها در دوره ذخیره‌سازی و تأثیر آن بر کیفیت محصول، اطلاع از ویژگی‌های مکانیکی غده‌های سیبزمینی در کنار عوامل دیگر، تلفات و در نتیجه زیان‌های اقتصادی را تا حدودی کاهش می‌دهد. در این پژوهش دو ژنوتیپ سیبزمینی (آگریا و کلون ۸-۹+۳۹۷) در دو انبار فنی و غیر فنی در شهرستان اردبیل به مدت سه ماه ذخیره شدند. از آزمون فشاری محوری برای اندازه‌گیری تأثیر رقم، دمای ذخیره‌سازی و مدت زمان ذخیره‌سازی بر ضریب کشسانی، نیروی شکست و انرژی شکست و از آزمون نفوذ برای اندازه‌گیری سفتی و انرژی نفوذ استفاده شد. اندازه‌گیری‌ها به صورت ماهانه بود و نتایج نهایی بعد از دوره ذخیره‌سازی گزارش شد. نتایج بررسی‌ها نشان می‌دهد که رقم، دمای ذخیره‌سازی و مدت زمان ذخیره‌سازی بر تمام ویژگی‌های مکانیکی در هر دو نمونه تأثیر معنی‌داری دارند. با افزایش مدت زمان ذخیره‌سازی ضریب کشسانی، نیروی شکست، انرژی شکست، سفتی و انرژی نفوذ در انبارهای فنی، نسبت به انبارهای غیر فنی، کاهش کمتری داشته‌اند که این اختلاف از لحاظ آماری معنی‌دار است ($p < 0/05$). نشان داده شده است که نمونه آگریا نسبت به نمونه کلون، به دلیل بافت سفت‌تر، دارای ضریب کشسانی و استحکام بالاتر و در نتیجه دارای دوره انبارداری طولانی‌تری است.

واژه‌های کلیدی

آزمون فشاری محوری، آزمون نفوذ، ذخیره‌سازی، سفتی بافت، سیبزمینی

مقدمه

ایجاد می‌کند که نتیجه آن تغییر ویژگی‌های کیفی محصول نهایی است (Spychalla & Desborough, 1990). تغییر در خواص مکانیکی سیبزمینی را می‌توان یکی از مهم‌ترین عوامل مؤثر بر کیفیت این محصول برشمرد. بافت و ویژگی کیفی کلیدی است که در صنایع غذایی برای ارزیابی کیفیت و پذیرش محصول استفاده می‌شود.

سیبزمینی (*Solanum tuberosum* L.) از جمله محصولات زراعی است که با توجه به تقاضای همیشگی برای مصرف آن، ذخیره‌سازی برای تازه‌خوری و نیز در صنعت فرآوری ضروری است. ذخیره‌سازی و نگهداری سیبزمینی پس از برداشت، تغییرات گسترده‌ای در ترکیبات شیمیایی آن

سببزمینی، خواص پلیمرهای دیواره سلولی، مقدار نشاسته در سلول‌های سببزمینی، و شکل و اندازه دانه‌های نشاسته بر استحکام بافت سببزمینی مؤثر هستند (Linehan & Hughes, 1969). آزمون‌های مکانیکی مانند بارگذاری محوری (Thybo & Berg, 2002; Alvarez & Canet, 1998) و آزمون کششی (Alvarez & Canet, 1998) و آزمون نفوذ یا پانچ (Morales *et al.*, 1992) برای ارزیابی پارامترهای مکانیکی بافت سببزمینی خام به کار گرفته شده‌اند. آزمون بارگذاری محوری به طور گسترده برای ارزیابی رفتار مکانیکی بافت سببزمینی استفاده شده و روشی است معمولی برای ارزیابی خواص مکانیکی مواد غذایی در زمان شکست (Brusewitz *et al.*, 1989). رابطه بین فشار سلولی داخلی و ضریب کشسانی ظاهری برای این بافت‌ها به خوبی شناخته شده است (Gil, 1991; Canet, 1980). بن‌تینی و همکاران (Bentini *et al.*, 2009) اثر رقم و مدت زمان نگهداری را بر خواص فیزیکی- مکانیکی سببزمینی ارزیابی کردند. آزمون‌های فشرده سازی شبه استاتیک روی غده‌ها برای تعیین خواص مکانیکی در شکست و نمونه‌های استوانه‌ای برای ارزیابی ضریب کشسانی و نسبت پواسون اجرا شد. نتایج آزمون، خواص مکانیکی مختلفی را برای دو نمونه مورد مطالعه ارائه داد، اما برای هر دو نمونه دیده شد که ضریب کشسانی با افزایش تعداد روزهای ذخیره‌سازی کاهش یافته است. سولومن و جیندال (Solomon & Jindal, 2007)، تغییرات مدل سازی در خواص رئولوژیکی سببزمینی را در دوره ذخیره‌سازی در شرایط ثابت و متغیر مطالعه کردند و به این نتیجه رسیدند که با افزایش مدت زمان نگهداری، هم در شرایط ذخیره‌سازی ثابت و هم متغیر، ضریب کشسانی مماس و پارامترهای کشش و ویسکوزیته در آزمون خزش به جز ویسکوزیته مربوط به جریان نیوتونی در هر دو وضعیت ثابت و متغیر کاهش معنی‌داری دارد. کائور و همکاران (Kaur *et al.*, 2002)

سفتی (استحکام) بافت یکی از مهم‌ترین پارامترهای میوه و سبزی است که اغلب برای تعیین شادابی مواد غذایی در نظر گرفته می‌شود (Konopacka & Plochanski, 2004). اندازه‌گیری خواص مکانیکی و بافتی می‌تواند اطلاعات کاملی از رفتار مواد غذایی به هنگام حمل و نقل، ذخیره‌سازی، و فرآوری فراهم کند. نشان داده شده است که بیشتر تغییرات بافت سببزمینی‌های ذخیره شده در شرایط کنترل شده، به رقم، دمای ذخیره‌سازی و مدت زمان ذخیره‌سازی بستگی دارد (Bentini *et al.*, 2009; Kazami *et al.*, 2000). ذخیره‌سازی سببزمینی در دمای پایین (۱۰-۷ درجه سلسیوس برای مصرف خوراکی و ۴-۳ درجه سلسیوس برای سببزمینی بذری) به دلیل تنفس حداقل و بالا رفتن دوره خواب غده، همراه با رطوبت نسبی کافی (بیشتر از ۸۵ درصد) باعث حفظ کیفیت غده می‌شود، اما حتی اگر در این شرایط مدت زمان ذخیره‌سازی طولانی باشد، می‌تواند سبب تغییرات زیادی در خواص مکانیکی غده‌ها شود. این خواص را می‌توان با مقایسه برخی ویژگی‌های فیزیولوژیکی مانند فشار تورگر سلولی با ضریب کشسانی مرتبط دانست (Mohsenin, 1986). سال‌ها طیف گسترده‌ای از آزمون‌های ابزاری صنعت برای ارزیابی بافت مواد غذایی به کار گرفته شده و برای بهبود ابزارها و روش‌های اندازه‌گیری برای برآورد معنی‌دار خواص بافتی تلاش‌های زیادی شده است (Zdunek *et al.*, 2010; Oraguzie *et al.*, 2009). مقاومت سببزمینی نسبت به نیروی اعمال شده، به بافت آن بستگی دارد (Nourian & Ramaswamy, 2003; Kaur *et al.*, 2007). این ویژگی ضروری در سببزمینی (خام و فرآوری شده) نشان دهنده عملکرد ساختاری در بافت سببزمینی است (Abu-Ghannam & Crowley, 2006). هنگامی که نیرویی به ساختار سببزمینی اعمال می‌شود، شکست یا پارگی در شبکه‌ای از سلول‌های متصل به هم در نقطه مقاومت کمینه رخ می‌دهد. ریز ساختار مغز (جسم)

تقسیم شدند، یک قسمت به انبار غیر فنی با دمای متغیر بین ۱۰ تا ۱۵ درجه سلسیوس با رطوبت نسبی ۸۰ تا ۹۰ درصد و قسمت دیگر به انبار فنی با دمای ثابت ۷ درجه سلسیوس و رطوبت نسبی ۹۵ درصد منتقل شد. به دلیل کوتاه بودن دوره خواب (۴۵ روزه) و تغییرات فیزیولوژیکی سریع نمونه کلون ۸-۳۹۷۰۰۹، نمونه‌ها به مدت سه ماه (بدون احتساب دوره کیورینگ) همراه برای بررسی خواص مکانیکی تحت آزمون‌های فشاری محوری و نفوذ (پانچ) برای اندازه‌گیری پارامترهای مکانیکی در ۵ تکرار در آزمایشگاه خواص بیوفیزیک گروه مهندسی بیوسیستم دانشگاه محقق اردبیلی آزمایش شدند.

اندازه‌گیری میزان نشاسته و درصد رطوبت

قبل از آغاز آزمایش‌ها، نمونه‌ها برای اندازه‌گیری میزان نشاسته و درصد رطوبت به آزمایشگاه فرستاده شدند. میزان نشاسته نمونه‌ها مطابق روش نودا (Noda et al., 2004) و درصد رطوبت به روش (Bu-Contreras & Rao, 2001) در ۵ تکرار اندازه‌گیری شد.

آزمون فشاری محوری

غده‌ها، پس از بیرون آوردن از انبار، شسته و پوست‌گیری شدند. با نمونه‌گیر استوانه‌ای، قطعات استوانه‌ای به قطر و ارتفاع ۲۵×۲۵ میلی‌متر در جهت محورهای x، y و z، از قسمت داخلی سیبزمینی بریده شدند. ارتفاع نمونه باید کمتر یا برابر با قطر آن باشد و گرنه بازدهی و قابلیت اطمینان آزمون‌های فشاری، به دلیل خم شدن نمونه، کاهش می‌یابد (Shaw & Young, 1988). آزمون فشاری محوری روی قطعات استوانه‌ای با استفاده از دستگاه آزمایش کشش- فشار مدل STM-20 اعمال شد. این دستگاه مجهز به حسگر BONGSHIN مدل DBBP-100 با ظرفیت ۱۰۰ کیلوگرم نیرو و دو صفحه موازی (یک فک ثابت و یک فک متحرک) بود. سرعت بارگذاری معادل ۵۰ میلی‌متر بر دقیقه انتخاب شد و هر آزمایش در پنج تکرار در دمای اتاق اجرا شد. نمونه‌ها تحت بارگذاری قرار داده

رفتار تنش آسای^۱ سه رقم سیبزمینی مختلف را بررسی کردند و نشان دادند که غده با ضریب کشسانی بالاتر دارای درجات بالاتر سفتی است. مکانیسم تغییراتی که در دوره ذخیره‌سازی اتفاق می‌افتد در دماهای بالاتر نسبت به دماهای پایین‌تر متفاوت است (Nourian et al., 2003; Bourne, 1982). ذخیره‌سازی سرد سیبزمینی ممکن است مانع از اتلاف وزن، فساد و توسعه جوانه‌زنی شود، اما به دلیل فعالیت‌های فیزیولوژیکی و تجمع قند کاهنده و تغییر نشاسته، همچنان تغییرات کیفیت را به دنبال دارد (Nourian et al., 2003; Bourne, 1982) مشخص است که تغییرات خواص مکانیکی سیبزمینی در دوره ذخیره‌سازی تا چه حد بر کیفیت این محصول تأثیر دارد. بنابراین، تعیین میزان این تغییرات با روش‌های موجود می‌تواند کمک شایانی به صنعت فرآوری سیبزمینی کند. هدف از این مطالعه تعیین اثر رقم، مدت زمان انبارمانی و دمای ذخیره‌سازی بر خواص مکانیکی سیبزمینی است.

مواد و روش‌ها

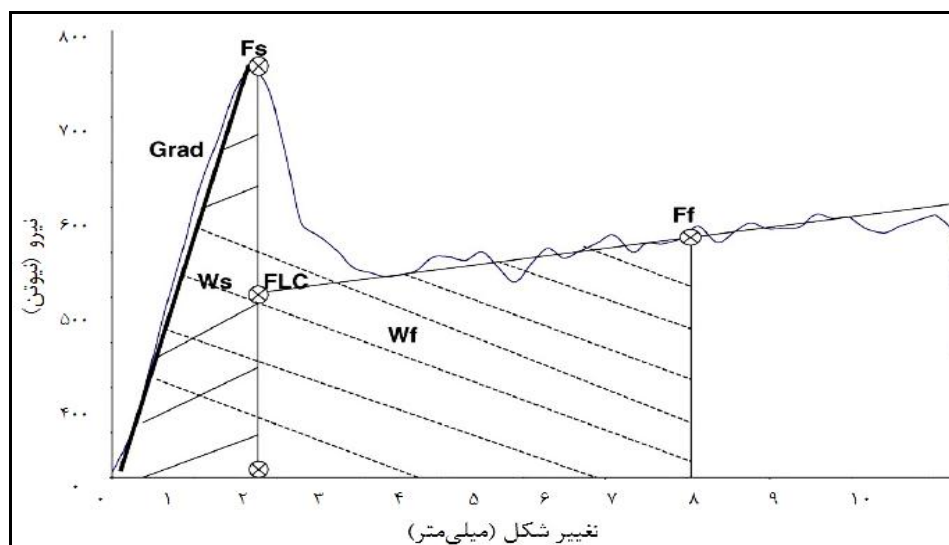
چهارصد عدد سیبزمینی از دو نمونه مورد مطالعه در اواسط اردیبهشت و در شرایط یکسان در ایستگاه تحقیقات کشاورزی آلاروق شهرستان اردبیل کشت و محصول آن در نیمه دوم مهر ماه برداشت شد. این دو رقم آگریا و ژنوتیپ کلون ۸-۳۹۷۰۰۹ حاصل انتخاب از میان ۲۶ جمعیت اصلاحی دریافتی از مرکز تحقیقات بین‌المللی سیبزمینی (CIP) در سال ۱۳۸۳ و ۱۰ سال تحقیق در موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر و مراکز تحقیقاتی تابعه هستند. غده‌های سالم با اندازه‌های مختلف، پس از برداشت به مدت دو هفته در دمای اتاق (حدود ۲۰-۱۵ درجه سلسیوس) همراه با تهویه طبیعی برای طی دوره کیورینگ قرار داده شدند. این دو نمونه از نظر کیفی و مدت زمان انبارمانی و نوع مصرف (تازه خوری یا استفاده در صنعت فرآوری) متفاوت‌اند. نمونه‌ها به دو قسمت

قبل از آزمایش، قسمتی از پوست نمونه برداشته شد. در جهت موازی با محور طولی نمونه، سوراخ‌هایی با پروب ایجاد شد. پس از نفوذ پروب به عمق ۸ میلی‌متری نمونه، آزمون متوقف شد. همزمان بانفوذ، منحنی نیرو-تغییر شکل نیز با نرم‌افزار مربوط رسم می‌شد که از این نمودار طبق شکل (۱)، پنج پارامتر به دست آمد: نیروی پانچ کامل (Fs)، نیروی شکستگی گوشت نمونه (Ff)، تغییر شکل (D)، کار مرتبط با Fs، و Wf کار مرتبط با Ff؛ روش محاسبه این پارامترها در جدول (۱) تعریف شده است (Mehinagic et al., 2003). نمودار دقیقاً به دست آمده از تحقیق است فقط پارامترهای استخراج شده از این نمودار بر طبق مقاله (Mehinagic et al., 2003) است.

شدند و تا زمان شکست کامل، روی آنها بارگذاری ادامه یافت. همزمان، منحنی نیرو-تغییر شکل نیز با نرم‌افزار مربوط رسم می‌شد. با توجه به منحنی‌های نیرو-تغییر شکل مقادیر نیرو و تنش منجر به شکست FC (بیشترین مقدار نیرو (نیوتن)، انرژی شکست در واحد حجم Uc (میلی ژول بر سانتی‌متر مکعب) و ضریب کشسانی Ec (مگاپاسکال) اندازه‌گیری شد.

آزمون نفوذ (پانچ)

به منظور تعیین سفتی نمونه‌ها، از آزمون مکانیکی نفوذ (پانچ) و از پروب مگنس-تیلور استفاده شد. در این آزمون، برای پانچ نمونه‌ها یک پروب به قطر ۱۱ میلی‌متر به کار گرفته شد که با سرعت ۵۰ میلی‌متر بر دقیقه با دستگاه آزمون کشش- فشار مدل STM-20 به حرکت در می‌آمد.



شکل ۱- منحنی نیرو-تغییر شکل طی آزمون نفوذ بر سیب‌زمینی بدون پوست

جدول ۱- تعیین پارامترهای آزمون پانچ

پارامتر	روش محاسبه
F_s (نیوتن)	حداکثر نیرو (نیوتن) در منحنی که برای شکست پوست یا مغز نمونه (بافت داخلی) به کار می‌رود
F_f (نیوتن)	نیروی اندازه‌گیری شده در ۸ میلی‌متر تغییر شکل (نیوتن)
D (میلی‌متر)	تغییر شکل مربوط به F_s (میلی‌متر)
W_s (نیوتن میلی‌متر)	مساحت زیر منحنی از ۰ تا D (میلی‌ژول)
W_f (نیوتن میلی‌متر)	مساحت زیر منحنی بین ۰ تا ۸ میلی‌متر (میلی‌ژول)

تجزیه و تحلیل آماری

آزمایش‌ها در ۵ تکرار و به صورت فاکتوریل و در قالب طرح کاملاً تصادفی به اجرا در آمد. تجزیه و تحلیل آماری نتایج برای بررسی تأثیر فاکتورهای مستقل نوع انبار (فنی و غیر فنی)، مدت زمان انبارداری (۰، ۱، ۲ و ۳ ماه)، و رقم سیبزمینی (آگریا و کلون) بر پارامترهای اندازه‌گیری شده از طریق آنالیز واریانس و مقایسه میانگین‌ها به روش دانکن و در سطح اطمینان ۹۵ درصد صورت گرفت. برای آنالیز آماری از نرم‌افزار SPSS 16.0 و برای رسم نمودارها از نرم‌افزار Excel 2010 استفاده شد.

نتایج و بحث

درصد نشاسته و رطوبت

میانگین داده‌های مربوط به مقدار نشاسته و درصد رطوبت در جدول (۲) آمده است. دیده می‌شود که میزان نشاسته

و درصد رطوبت در هر دو نمونه سیبزمینی و در هر دو نوع انبار در دوره انبارمانی کاهش یافته است. غلظت نشاسته در غده‌های ذخیره شده در دماهای پایین به طور قابل توجه پایین‌تر از غلظت نشاسته در غده‌های ذخیره شده در دماهای بالاتر است. این تغییرات می‌تواند به این دلیل باشد که غده‌های سیبزمینی در دوره ذخیره‌سازی بر اثر تغییرات فیزیولوژیکی ناشی از تنفس دچار تغییر در ترکیبات خود می‌شوند. قرار گرفتن در معرض دمای پایین در طولانی مدت می‌تواند باعث تبدیل نشاسته سیبزمینی به قند کاهنده شود. مقدار نشاسته نیز به علت هیدرولیز شدن با آنزیم‌های تخریب نشاسته کاهش می‌یابد. کاهش مقدار رطوبت نیز می‌تواند به دلیل اتلاف آب به هنگام تعرق و تغییرات فیزیولوژیکی از جمله بافت‌های ساختاری نمونه در دوره نگهداری باشد.

جدول ۲- میانگین میزان نشاسته و درصد رطوبت نمونه‌های سیبزمینی در دو انبار فنی و غیر فنی

پارامتر	رقم	نمونه‌های تازه	انبار غیر فنی		انبار فنی		
			ماه اول	ماه دوم	ماه سوم	ماه اول	
نشاسته (درصد)	آگریا	۱۵/۷۹±۱/۴۸	۱۵/۰۳±۱/۶۵	۱۴/۳۲±۱/۱۲	۱۴/۰۱±۰/۹۶	۱۵/۱۶±۱/۳۵	۱۴/۲۲±۰/۴۷
	کلون	۱۵/۸۶±۱/۵۴	۱۴/۹۰±۱/۳۲	۱۳/۷۷±۰/۷۵	۱۳/۴۸±۱/۰۴	۱۴/۱۲±۱/۰۳	۱۳/۳۰±۲/۱۹
رطوبت (درصد)	آگریا	۸۳/۲۲±۴/۶۷	۸۱/۱۴±۵/۶۰	۷۸/۷۶±۴/۰۸	۷۲/۳۲±۱/۶۸	۸۲/۴۷±۶/۱۳	۸۱/۱۲±۷/۲۵
	کلون	۸۱/۹۶±۵/۰۴	۷۸/۵۳±۳/۲۲	۷۱/۶۵±۵/۹۳	۶۸/۸۴±۲/۰۸	۷۹/۸۹±۳/۴۲	۷۶/۲۹±۱/۶۵

آزمون فشاری - محوری

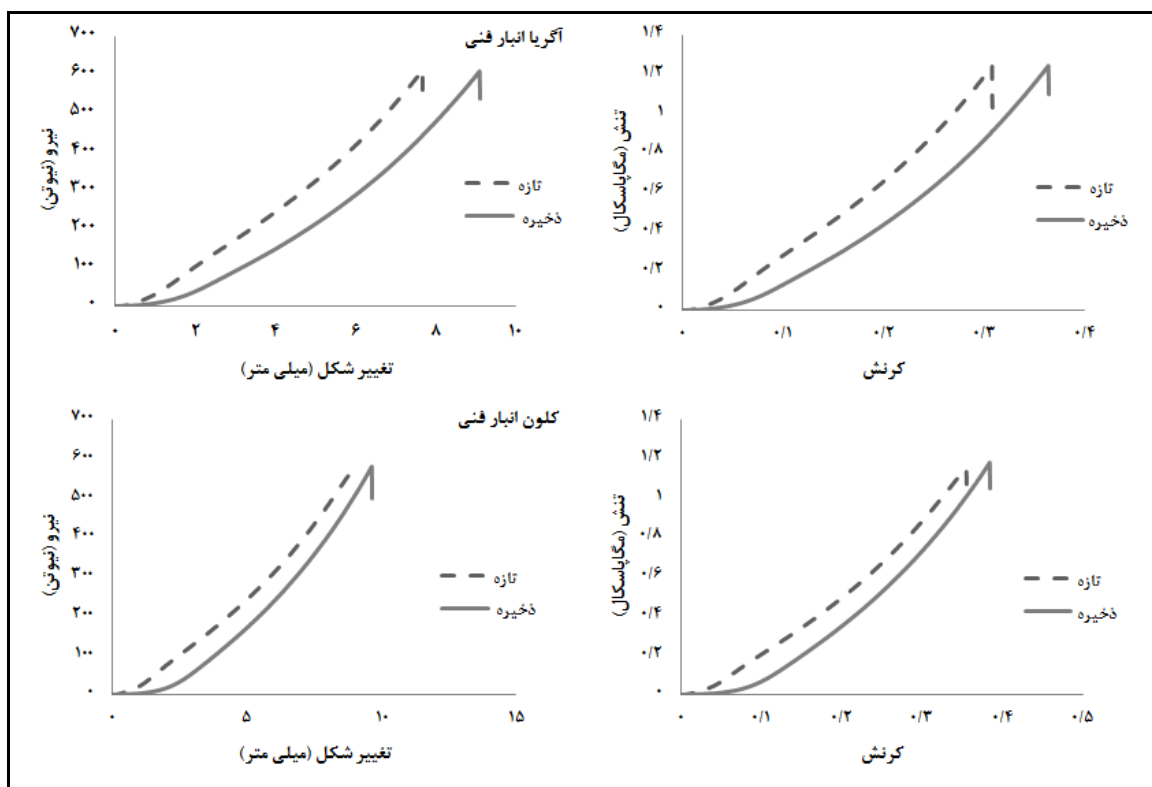
شکل‌های (۲) و (۳)، منحنی نیرو- تغییر شکل نمونه‌های استوانه‌ای سیبزمینی‌های تازه و ذخیره شده رقم آگریا (مشابه ژنوتیپ کلون) در انبار فنی و غیر فنی در آزمون فشاری محوری است که بین دو صفحه موازی فشرده شده‌اند. مشاهده می‌شود که در نمونه‌های تازه، رابطه نیرو با تغییر شکل تقریباً به صورت خطی تغییر کرده است که

این نشان دهنده خاصیت کشسانی نمونه تازه است. اما در نمونه‌های ذخیره شده، نمودار به صورت یک منحنی در زیر نمونه‌های تازه است. برای بررسی دقیق‌تر این امر مدول تانژانت اولیه، مدول سکانت و مدول تانژانت نمونه‌ها با توجه به شکل (۴) از نمودارهای تنش- کرنش آنها به دست آمد که در شکل‌های (۲) و (۳) نشان داده شده است. میانگین نتایج به دست آمده از این بررسی در جدول (۳)

تولید آب سلولی به واسطه تنفس در غده‌ها رخ می‌دهد (Alvarez & Canet, 1998; Brusewitz *et al.*, 1989; Gao *et al.*, 1989).

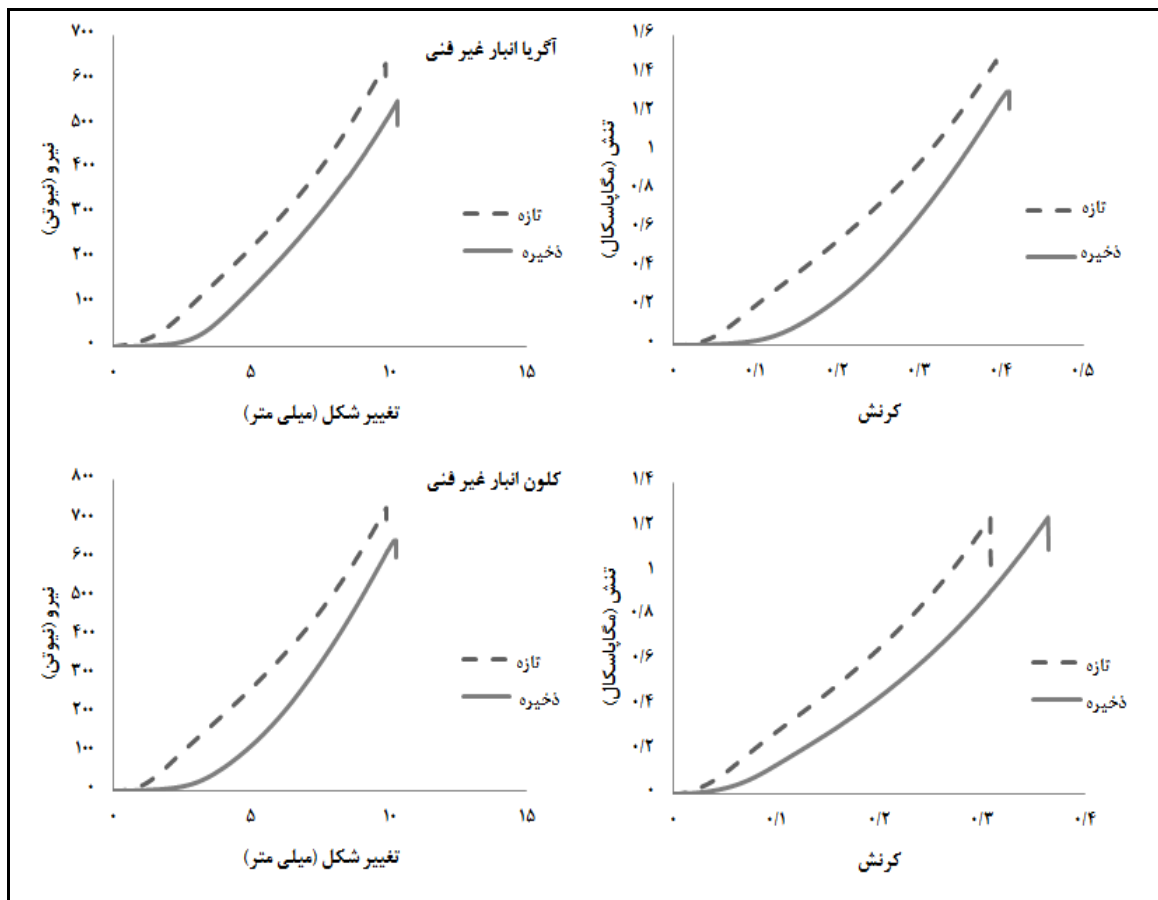
با توجه به داده‌های جدول (۲) و (۳) می‌توان گفت با کاهش مقدار رطوبت نمونه‌ها، پارامترهای آزمون فشاری محوری نیز کاهش پیدا کرده است. در انبار فنی، نسبت به انبار غیر فنی، دمای پایین باعث تجمع قند بیشتر شده اما اتلاف آب سلولی و تبخیر و تنفس و جوانه‌زنی کمتر است در نتیجه کاهش ضریب کشسانی و استحکام نمونه‌ها، در انبار فنی نسبت به انبار غیر فنی، شیب کندتری دارد. اما در نمونه‌های تازه به دلیل رطوبت بالا و کم بودن تغییرات فشار تورگر، که تأثیر مستقیم بر دیواره سلولی و لایه میانی بافت می‌گذارد، تراکم‌پذیری کمتر و خواص رئولوژیکی بهبود یافته و در نتیجه استحکام نمونه‌ها نسبت به نمونه‌های ذخیره شده بیشتر است (Solomon & Jindal, 2007).

آورده شده است. در این جدول، مقدار مدول تانژانت اولیه، مدول سکانت و مدول تانژانت در هر دو نمونه سیب‌زمینی در دوره انبارمانی کاهش پیدا کرده است و از آنجا که محسنین (Mohsenin, 1986) مدول سکانت را به‌عنوان ضریب کشسانی معرفی می‌کند و مقدار ضریب کشسانی ظاهری بیانگر سفتی بافت است (Kheiralipour *et al.*, 2008)، کاهش آن نشان دهنده نرم شدن بافت و کاهش استحکام نمونه‌هاست. با توجه به جدول (۳)، کاهش ضریب کشسانی بعد از دوره انبارمانی در هر دو نوع انبار برای هر دو نمونه سیب‌زمینی مشاهده شده است. این تغییر رفتار می‌تواند به دلیل تغییرات ساختاری نمونه‌های ذخیره شده و در نتیجه تغییرات استحکام نمونه باشد. این عمل می‌تواند به این دلیل باشد که در دوره ذخیره‌سازی، خواص مکانیکی غده‌های ذخیره شده تحت تأثیر تغییرات فیزیولوژیکی اجزای ساختاری بافت (دیواره سلولی و لایه میانی) قرار می‌گیرد که در اثر اتلاف آب سلولی با تبخیر، و

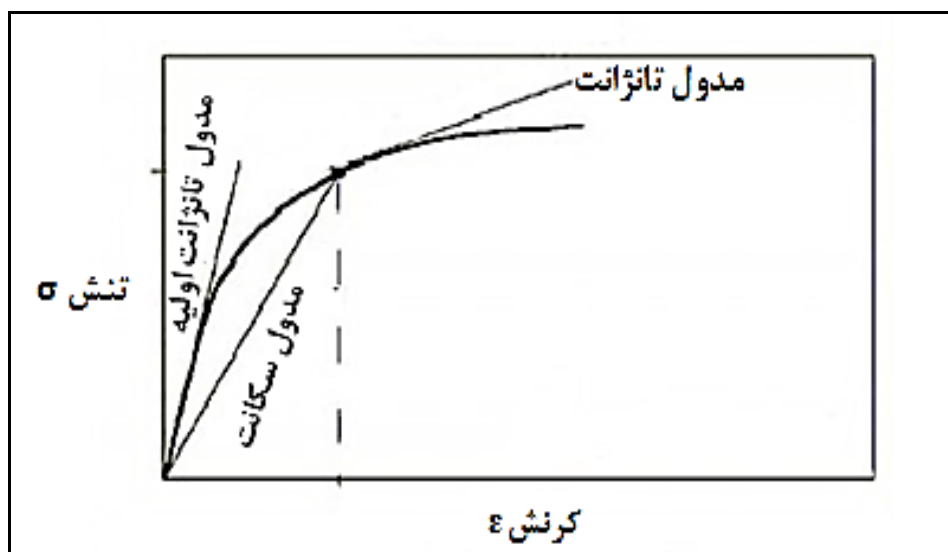


شکل ۲- الف) منحنی نیرو-تغییر شکل و ب) منحنی تنش-گرنش سیب‌زمینی‌های تازه و ذخیره شده در انبار فنی

تعیین خواص رئولوژیکی دو رقم سیب زمینی...



شکل ۳- الف) منحنی نیرو-تغییر شکل و ب) منحنی تنش-کرنش سیب زمینی های تازه و ذخیره شده در انبار غیر فنی



شکل ۴- مدول تانژانت اولیه، مدول سکانت و مدول تانژانت

جدول ۳- نتایج مقادیر میانگین مؤلفه‌های استحکامی دو نمونه سیب‌زمینی در دوره انبارمانی از طریق آزمون فشاری محوری

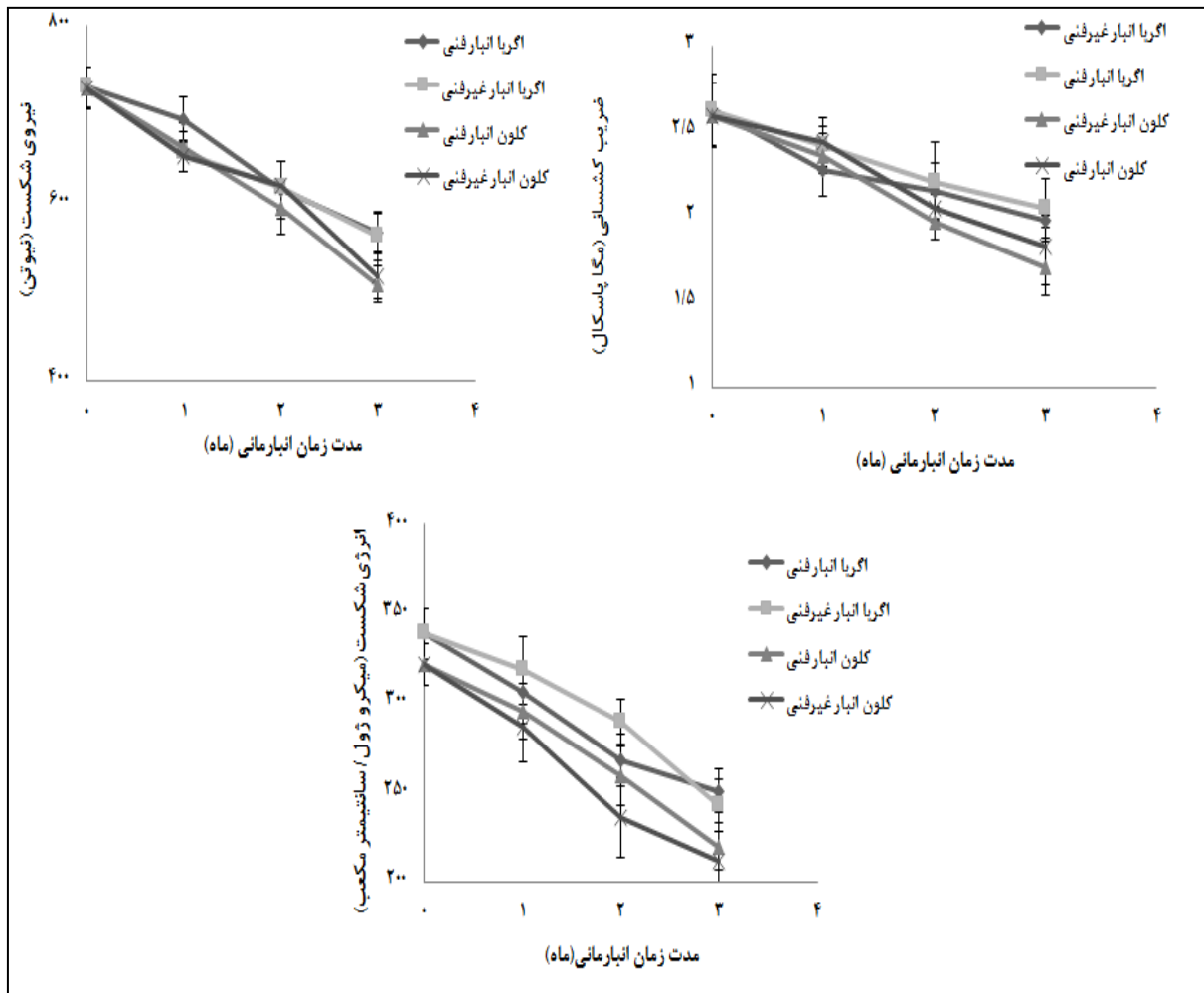
میانگین مدول‌های اندازه‌گیری شده			
مدول تانزانت (مگاپاسکال)	مدول سکانت (مگاپاسکال)	مدول تانزانت اولیه (مگاپاسکال)	رقم
۳/۱ ± ۰/۵۳ ^a	۰/۱۵ ± ۲/۶۲ ^a	۰/۲۸ ± ۱/۸۵ ^a	آگریا
۳/۰۸ ± ۰/۲۶ ^a	۲/۵۹ ± ۰/۱۷ ^a	۱/۷۰ ± ۰/۰۹ ^a	کلون
۲/۸۰ ± ۰/۱۶ ^c	۱/۹۷ ± ۰/۲۱ ^c	۱/۰۷ ± ۰/۰۷ ^c	آگریا
۲/۴۸ ± ۰/۳۲ ^d	۱/۶۹ ± ۰/۱۳ ^e	۰/۲۸ ± ۰/۹۹ ^d	کلون
۲/۹۵ ± ۰/۶۵ ^b	۲/۰۲ ± ۰/۳۲ ^b	۱/۳۳ ± ۰/۱۱ ^b	آگریا
۲/۸۰ ± ۰/۴۸ ^c	۱/۸۲ ± ۰/۲۴ ^d	۱/۰۳ ± ۰/۲۴ ^{cd}	کلون

در هر ستون، میانگین‌هایی که در حرف لاتین مشترک نیستند بر اساس آزمون چند دامنه دانکن در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار هستند.

به قند در انبار فنی بیشتر است اما ذخیره‌سازی غده‌های سیب‌زمینی در دمای پایین می‌تواند نتایج مثبتی از جمله میزان تنفس پایین، آرام‌سازی پیری فیزیولوژیکی، مهار جوانه‌زنی، کاهش میزان تبخیر آب و کاهش پاتوژن میکروبی را به همراه داشته باشد (Burton, 1989) که این عوامل برخلاف تبدیل نشاسته به قند، سرعت نرم شدن بافت را کاهش می‌دهند. زمانی که کاهش مقدار رطوبت کمتر است (اتلاف آب کمتر است) فشار تورگر سلول‌ها مانع از نرم‌تر شدن بافت غده در انبار فنی نسبت به انبار غیر فنی می‌شود. اما از آنجا که نیروی شکست نیز رابطه‌ای نزدیک با سفتی نمونه دارد مشاهده می‌شود که در دوره ذخیره‌سازی با کاهش سفتی، مقدار این نیرو نیز کاهش می‌یابد. کاهش انرژی شکست نیز به این علت است که به هنگام ذخیره‌سازی، مقدار رطوبت در انبار فنی ۶ و ۱۰ درصد و در انبار غیر فنی ۱۰ و ۱۶ درصد به ترتیب برای رقم آگریا و ژنوتیپ کلون کاهش پیدا می‌کند، در نتیجه این اتلاف رطوبت، نمونه‌ها چروکیده می‌شوند (Niklas, 1989). این امر باعث افت قابل توجه فشار تورم سلولی تورگر می‌شود و در نتیجه انرژی مورد نیاز برای تغییر شکل در محصولات ذخیره شده نسبت به محصولات تازه کمتر است (Laza et al., 2001). شدت این تغییرات در نمونه کلون به دلیل بافت نرم‌تر، در آگریا بیشتر است (شکل ۵).

شکل (۴) تغییرات پارامترهای به دست آمده از آزمون فشاری محوری را نسبت به مدت زمان انبارمانی نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود پارامترهای ضریب کشسانی (Ec)، نیروی شکست (Fc)، و انرژی شکست در واحد حجم (Uc) در هر دو نمونه سیب‌زمینی طی دوره ذخیره‌سازی هم در انبار فنی و هم در انبار غیر فنی کاهش یافته است. این کاهش به دلیل تغییرات ساختاری سیب‌زمینی در دوره ذخیره‌سازی است. در دوره ذخیره‌سازی، مقدار نشاسته در انبار فنی ۱۴ و ۱۹ درصد و در انبار غیر فنی ۱۱ و ۱۵ درصد به ترتیب برای رقم آگریا و ژنوتیپ کلون کاهش پیدا می‌کند و از آنجایی که نشاسته نقش مهمی در ویژگی‌های نهایی سیب‌زمینی دارد، ضریب کشسانی تحت تأثیر تورم نشاسته قرار می‌گیرد، بافت سیب‌زمینی نرم‌تر می‌شود (Alvarez & Canet, 1998; Gao et al., 1989; Brusewitz et al., 1989) و این امر باعث کاهش ضریب کشسانی می‌شود (Kaur et al., 2007; Bu-Contreras & Rao, 2001) در نتیجه شکل پذیری در هر دو نمونه افزایش می‌یابد (Bentini et al., 2009). اما طبق شکل (۵) مشاهده می‌شود که میزان این تغییر در دماهای پایین کمتر است این امر را می‌توان اینگونه توجیه کرد که با توجه به ارتباط ضریب کشسانی با میزان نشاسته، هرچند میزان کاهش نشاسته و تبدیل آن

تعیین خواص رئولوژیکی دو رقم سیب زمینی...



شکل ۵- تغییرات ضریب کشسانی، نیروی شکست و انرژی شکست

اثر متقابل دما و مدت زمان ذخیره‌سازی و اثر متقابل رقم، دما و مدت زمان ذخیره‌سازی بر ضریب کشسانی و نیروی شکست در سطح یک درصد معنی‌دار است و بر انرژی شکست معنی‌دار نیست. مشاهده می‌شود که اثر دما بر نمونه‌ها به‌طور معنی‌داری بر خواص مکانیکی آنها تأثیر می‌گذارد به‌طوری که با کاهش دمای نگهداری، این اثر کمتر و در رقم آگریا از ژنوتیپ کلون کمتر است. همچنین مشاهده می‌شود که در انبار فنی و انبار غیر فنی، گذشت زمان به‌طور معنی‌داری بر خواص استحکامی غده‌ها مؤثر است و سبب کاهش آن می‌شود؛ در هر دو نمونه سیب زمینی این کاهش مشاهده می‌شود اما تأثیر آن به‌طور معنی‌داری در ژنوتیپ کلون از در رقم آگریا بیشتر است.

برای بررسی تأثیر رقم، دمای ذخیره‌سازی و طول دوره ذخیره‌سازی بر پارامترهای به دست آمده در آزمون فشاری محوری از آنالیز واریانس در جدول (۴) و در ادامه برای مقایسه میانگین‌ها از آزمون دانکن استفاده شد که در جدول (۵) آورده شده است. از نتایج تجزیه واریانس مشاهده می‌شود که اثر رقم و مدت زمان ذخیره‌سازی بر سه پارامتر به دست آمده از آزمون فشاری محوری در سطح یک درصد معنی‌دار است و فقط اثر دما بر انرژی شکست معنی‌دار نیست. همچنین، اثر متقابل رقم و دما فقط بر انرژی شکست معنی‌دار است. اثر متقابل رقم و زمان بر ضریب کشسانی و نیروی شکست در سطح ۵ درصد معنی‌دار است و بر انرژی شکست معنی‌دار نیست.

جدول ۴- تجزیه واریانس اثر رقم، دمای ذخیره‌سازی و مدت زمان ذخیره‌سازی بر ضریب کشسانی، نیروی شکست و انرژی شکست

میانگین مربعات (MS)			درجه آزادی	منبع تغییرات
U _c	F _c	E _c		
۶۶۳۵۸/۵۵**	۶۹۴۶۵/۸۳**	۰/۶۰**	۱	رقم
۱۵۸۵/۷۵ ^{ns}	۳۱۴۴۱/۰۷**	۰/۲۸**	۱	دما
۱۷۵۶۹/۷۶**	۵۵۶۵۹/۱۷**	۱/۱۳**	۳	مدت زمان
۹۷۶۳/۴۵**	۵۳۵/۶۸ ^{ns}	۰/۰۰۵ ^{ns}	۱	رقم×دما
۱۴۸۶/۱۹ ^{ns}	۶۳۶۰/۰۷*	۰/۰۳۷*	۳	رقم×مدت زمان
۲۵۰/۲۴ ^{ns}	۵۲۳۸/۹۹**	۰/۰۱۳**	۳	دما×مدت زمان
۵۸۳/۲۹ ^{ns}	۱۳۳۴/۵۹**	۰/۰۰۳**	۳	رقم×دما×مدت زمان

* و ** به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد، ^{ns} غیر معنی‌دار

از ذخیره‌سازی، این مقادیر کاهش معنی‌داری هم در انبار غیر فنی و هم در انبار فنی نشان می‌دهند که این کاهش می‌تواند به دلیل افزایش شکل پذیری و نرم شدن بافت به دلیل اتلاف آب و تغییر در ترکیبات و تا حدی ناشی از تخریب نشاسته و تبدیل آن به قندهای کاهنده در هر دو نمونه سیب‌زمینی و در نتیجه کاهش ضریب کشسانی آنها دانست (Nourian *et al.*, 2003). این نتایج با یافته‌های ویسمر و همکاران و بنتینی و همکاران (Wismer *et al.*, 2009) و بنتینی *et al.*, 2009) همخوانی دارد که می‌گویند در دوره ذخیره‌سازی، غشای سلولی سلول‌های سیب‌زمینی به احتمال زیاد تحت اختلالات ساختاری قرار می‌گیرد به طوری که آماسیدگی و تنش اعمال شده بر سطح مقطع سلولی کاهش می‌یابد و در نتیجه ضریب کشسانی نیز کاهش خواهد یافت (Niklas, 1989). این کاهش در انبار غیر فنی بیشتر مشاهده شده است. روندی مشابه ضریب کشسانی، برای نیرو و انرژی شکست در هر دو نمونه مشاهده می‌شود که این نتایج نشان دهنده سفت‌تر بودن بافت سیب‌زمینی رقم آگریا نسبت به بافت سیب‌زمینی ژنوتیپ کلون است. مشاهده می‌شود که بعد از دوره انبارمانی، بافت ژنوتیپ کلون نرم‌تر از بافت رقم آگریا شده و استحکام خود را از دست داده است. این نتایج با نتایج به دست آمده از تحقیقات آلوارز و کانت (Alvarez & Canet, 1998) همخوانی دارد.

نتایج حاصل از مقایسه میانگین اثر رقم، دما و مدت زمان ذخیره‌سازی بر هر یک از پارامترهای مکانیکی در جدول (۵) آمده است که این نتایج نشان می‌دهد میانگین ضریب کشسانی و نیرو و انرژی شکست در رقم آگریا بیشتر از میانگین ضریب کشسانی و نیرو و انرژی شکست در ژنوتیپ کلون است این دلیلی بر سفت‌تر بودن بافت رقم آگریا است؛ زیرا بالا بودن ضریب کشسانی (Kheiralipour *et al.*, 2002; Kaur *et al.*, 2002; Canet, 2008; و نیرو و انرژی شکست، (Gil, 1991; 1980) نشان‌دهنده سفت بودن بافت و ماندگاری بهتر است. با توجه به نتایج جدول (۵)، مقدار ضریب کشسانی سیب‌زمینی‌های نگهداری شده در دمای بالاتر نسبت به سیب‌زمینی‌های نگهداری شده در دمای کمتر، کاهش نسبتاً بیشتری دارد و این کاهش معنی‌دار است. این نتایج با نتایج حاصل از تحقیقات سولومن و جیندال (Solomon & Jindal, 2007) همخوانی دارد. با توجه به داده‌های میانگین نشان داده شده در جدول (۵) مشاهده می‌شود که بعد از ذخیره‌سازی، ضریب کشسانی و نیرو و انرژی شکست هر سه کاهش می‌یابد که این امر به دلیل تغییرات ساختاری غده‌ها و نرم‌تر شدن آنها بعد از این دوره است. در جدول (۵) همچنین مشاهده می‌شود مقدار ضریب کشسانی رقم آگریا (۲/۶۲ مگاپاسکال) در ابتدا هرچند بیشتر از ضریب کشسانی ژنوتیپ کلون (۲/۵۹ مگاپاسکال) است اما تفاوت معنی‌داری ندارند اما بعد

جدول ۵- مقادیر میانگین خواص اندازه گیری شده آزمون فشاری محوری با استفاده از آزمون دانکن

میانگین پارامترهای اندازه گیری شده آزمون فشاری محوری			رقم	زمان
U_C (میلی ژول بر سانتی متر مکعب)	F_C (نیوتن)	E_C (مگاپاسکال)		
$338/74^a \pm 14/21$	$730/55^a \pm 22/65$	$2/62^a \pm 0/21$	آگریا	قبل از انبار
$321/50^b \pm 11/45$	$729/08^a \pm 24/06$	$2/59^a \pm 0/19$	کلون	
$250/51^c \pm 12/19$	$566/80^b \pm 21/12$	$1/97^b \pm 0/04$	آگریا	بعد از انبار غیرفنی
$219/68^d \pm 13/22$	$508/48^d \pm 20/83$	$1/69^d \pm 0/16$	کلون	
$242/58^c \pm 14/43$	$562/15^b \pm 27/34$	$2/02^b \pm 0/17$	آگریا	بعد از انبار فنی
$211/92^d \pm 16/34$	$517/95^c \pm 26/15$	$1/82^c \pm 0/22$	کلون	

در هر ستون، میانگین‌هایی که در حرف لاتین مشترک نیستند بر اساس آزمون چند دامنه دانکن در سطح احتمال ۵ درصد معنی دار هستند.

آزمون نفوذ (پانچ)

سازی در جدول (۶) آمده است. همان طور که مشاهده

نتایج حاصل از آنالیز واریانس داده‌های مربوط به پانچ می شود اثر رقم و دما و مدت زمان ذخیره سازی بر تمام نمونه‌های سیب زمینی در هر دو نوع انبار در دوره ذخیره پارامترها به خصوص نیرو و انرژی پانچ معنی دار است.

جدول ۶- تأثیر رقم، دما و مدت زمان انبارمانی بر پارامترهای، F_s (نیوتن)، D (میلی متر)، W_s و W_f (میلی ژول) و F_f (نیوتن)

میانگین مربعات (MS)					درجه آزادی	منبع تغییرات
F_f	W_f	W_s	D	F_s		
$356/76^{**}$	$16/33 \times 10^{-2}^{**}$	$6/04 \times 10^{-2}^{**}$	$130/70^{**}$	$99/79^{**}$	۱	رقم
$886/92^{**}$	$6/46 \times 10^{-2}^{**}$	$4/26 \times 10^{-2}^{**}$	$113/99^{**}$	$8/56^{**}$	۱	دما
$2209/39^{**}$	$2/87 \times 10^{-4}^{**}$	$3/21 \times 10^{-2}^{**}$	$314/77^{**}$	$1135/60^{**}$	۳	زمان
$74/19^{**}$	$2/01 \times 10^{-4}^{**}$	$8/9 \times 10^{-2}^{**}$	$35/38^{**}$	$601/18^{**}$	۱	رقم × دما
$3389/03^{**}$	$1/89 \times 10^{-4}^{**}$	$0/98 \times 10^{-2}^{ns}$	$8/69^{**}$	$545/11^{**}$	۳	رقم × زمان
$978/37^{**}$	$3/06 \times 10^{-4}^{**}$	$13/76 \times 10^{-2}^{**}$	$11/02^{**}$	$502/34^{**}$	۳	دما × زمان
$921/21^{**}$	$1/87 \times 10^{-4}^{ns}$	$9/18 \times 10^{-2}^{**}$	$76/70^{**}$	$15/20^{**}$	۳	رقم × دما × مدت زمان انبارمانی

* و ** به ترتیب معنی دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد، ns غیر معنی دار

ژنوتیپ کلون (و دلیل آن بالا بودن مقدار نشاسته و مواد جامد بالاتر رقم آگریا و در نتیجه سفت تر بودن بافت آن نسبت به ژنوتیپ کلون است) این اختلاف قبل از دوره ذخیره سازی معنی دار نیست ولی طی دوره ذخیره سازی، معنی دار می شود و روند کاهش طی می کند که در ژنوتیپ کلون این تغییر رفتار شدیدتر است. این روند کاهش می تواند به این علت باشد که در دوره ذخیره سازی به علت اتلاف آب غده‌ها و تبدیل نشاسته به قندهای کاهنده، بافت

اثر متقابل سه فاکتور رقم، دما و مدت زمان ذخیره سازی بر تمام پارامترهای به دست آمده، به جز W_f ، تأثیر معنی داری را نشان می دهد. اثر متقابل دو به دو فاکتورها بر پارامترها تأثیر قابل توجهی نشان می دهد به جز اثر متقابل رقم و زمان بر W_s . میانگین پارامترهای اندازه گیری شده آزمون پانچ در جدول (۷) آمده است.

همان طور که از این جدول مشخص است، با اینکه میانگین مقادیر نیرو و انرژی برای رقم آگریا بیشتر است تا برای

غده‌ها نرم‌تر می‌شود و سفتی نمونه نیز کاهش می‌یابد و نیرو و انرژی پانچ آنها نیز بعد از این دوره کاهش می‌یابد. این کاهش در انبار غیر فنی بیشتر است تا در انبار فنی. در انبار غیر فنی، نسبت به انبار فنی، ذخیره‌سازی همراه است با اتلاف آب بیشتر، تنفس و تبخیر بیشتر، و پیری فیزیولوژیکی زودتر اما تبدیل نشاسته به قند کمتر و در نتیجه بافت نرم‌تر. کاهش سفتی بعد از دوره انبارمانی نیز در سیب‌زمینی (Morales *et al.*, 1992) و سایر محصولات کشاورزی مثل سیب (Harker *et al.*, 2002)، انار (Zaki *et al.*, 2015)، گوجه فرنگی (Thiagu *et al.*, 2006) و Desmet *et al.*, 2002; Lien, *et al.*, 2009) گزارش شده است. در مورد پارامترهای W_f ، F_f ، D و F_s که با سفتی نمونه در ارتباط هستند مشاهده شده است که این مقادیر نیز بعد از دوره ذخیره‌سازی در هر دو نمونه به‌خصوص در ژنوتیپ کلون کاهش یافته‌اند.

جدول ۷- مقادیر میانگین پارامترهای اندازه‌گیری شده تست پانچ با استفاده از آزمون دانکن

میانگین پارامترهای اندازه‌گیری شده					رقم	زمان
W_f	F_f	W_s	D	F_s		
۲۳۱۱/۳۲±۲۱/۱۲ ^a	۱۳۷/۶۴±۲/۳۸ ^a	۱۹۲۹/۳۲±۱۰/۱۱ ^a	۳۲/۰۳±۱/۰۳ ^a	۱۴۶/۳۳±۲/۳۳ ^a	آگریا	قبل از انبار
۲۰۳۷/۸۰±۱۹/۳۲ ^b	۱۱۵/۹۹±۴/۴۰ ^b	۱۳۷۸/۳۱±۱۲/۳۲ ^c	۳۰/۸۷±۱/۱۴ ^a	۱۳۹/۷۴±۲/۲۶ ^a	کلون	
۱۵۳۳/۷۷±۱۹/۷۶ ^c	۱۰۸/۷۰±۳/۳۳ ^c	۱۴۳۴/۳۰±۱۰/۵۶ ^b	۲۵/۸۹±۰/۹۹ ^b	۱۱۲/۲۷±۱/۸۹ ^b	آگریا	بعد از انبار فنی
۱۳۴۰/۲۶±۲۲/۰۵ ^c	۷۰/۵۳±۲/۶۵ ^c	۷۳۳/۸۸±۱۴/۰۹ ^c	۱۸/۶۲±۲/۲۳ ^d	۱۰۲/۱۲±۱/۵۶ ^b	کلون	
۱۴۴۷/۷۷±۱۷/۴۳ ^d	۷۸/۶۹±۳/۰۹ ^d	۱۱۴۵/۰۸±۱۳/۸۷ ^d	۱۸/۸۹±۱/۴۰ ^d	۱۰۶/۱۲±۱/۷۷ ^b	آگریا	بعد از انبار غیرفنی
۱۳۱۸/۵۹±۲۰/۹۴ ^f	۶۷/۳۱±۱/۸۷ ^e	۵۷۹/۳۰±۱۵/۸ ^f	۲۰/۹۲±۱/۰۵ ^e	۹۳/۰۱±۱/۴۲ ^c	کلون	

در هر ستون، میانگین‌هایی که در حرف لاتین مشترک نیستند بر اساس آزمون چند دامنه دانکن در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار هستند.

اگبلور و اسکانون (Agblor & Scanlon, 1998) همسوست که می‌گویند جهت‌گیری سلولی نسبت به جهت بارگذاری تأثیر قابل توجهی به ترتیب بر احتمال پارگی، محل پارگی، و جهت پارگی دیواره سلولی دارد و اختلاف در مقاومت مکانیکی تحت تأثیر عواملی از جمله، ساختارهای مختلف سلول‌های سیب‌زمینی (اندازه و شکل سلول‌ها) و توزیع ماده خشک است؛ در مورد مقادیر انرژی نفوذ، نتایج تحقیق با نتایج تحقیقات سادوسکا (Sadowskaa *et al.*, 2008) همخوانی ندارد اما با نتایج تحقیقات اگبلور و اسکانون (Agblor & Scanlon, 1998) همسوست که به ترتیب می‌گویند نیرو و انرژی نفوذ در سوراخ‌های موازی با محور طولی به دلیل توزیع ماده خشک و ضخامت دیواره سلولی، بیشتر از سوراخ‌های عمود بر محور طولی نمونه است. بیشترین نیروی و انرژی پانچ

این نتایج با نتایج تحقیقات میناجیک و همکاران (Mehinagic *et al.*, 2004) و هارکر و همکاران (Harker *et al.*, 2002) همخوانی دارد. از میان ویژگی‌های مکانیکی، عامل سفتی به‌عنوان شاخص کیفی آزمایش نفوذی مطرح است و این شاخص به نیرو و انرژی پانچ وابسته است. تحقیقات نشان داده است که مقادیر پارامترهای اندازه‌گیری شده تست پانچ برای سوراخ‌های عمود بر محور طولی غده نسبت به سوراخ‌های موازی با محور طولی غده متفاوت است. این تفاوت را می‌توان به‌واسطه شکل نامتقارن سلول‌ها و ضخامت‌های مختلف دیواره‌های سلولی غده‌ها دانست (Agblor & Scanlon, 1998). نتایج به دست آمده در این تحقیق با نتایج تحقیقات سادوسکا و همکاران (Sadowskaa *et al.*, 2008)، بروس (Bruce, 2003)، بلشچاک و همکاران (Blaszczak *et al.*, 2004) و

روند کاهش طی کرده‌اند. دلیل این روند کاهش ممکن است اتلاف آب غده‌ها در دوره ذخیره‌سازی باشد که بافت غده‌ها نرم‌تر می‌شود و سفتی و مقاومت مکانیکی آن نیز کاهش می‌یابد. در انبارهای فنی، نسبت به انبارهای غیر فنی به دلیل اتلاف آب کمتر، این پارامترها کاهش کمتری داشته‌اند. دوره انبارداری رقم آگریا نسبت به ژنوتیپ کلون به دلیل بافت سفت‌تر طولانی‌تر است بنابراین ژنوتیپ کلون به دلیل تغییرات سریع ترکیبات آن و تأثیر مستقیم این تغییرات بر بافت و ویژگی‌های بافتی، برای ذخیره‌سازی مناسب نیست و برای مصرف تازه خوری مناسب‌تر است. با توجه به نتایج به دست آمده از این تحقیق می‌توان چنین گفت هرچند ذخیره کردن سیب‌زمینی برای در دسترس بودن این محصول لازم است اما این امر بر خواص مکانیکی از جمله سفتی و استحکام آن که یکی از پارامترهای مهم در بازار پسندی این محصول است تأثیر زیادی دارد و میزان این تأثیر به رقم سیب‌زمینی، شرایط ذخیره‌سازی از جمله مدت زمان، دما، رطوبت نسبی، شرایط محیطی و غیره بستگی دارد.

پیشنهاد می‌شود برای طولانی‌تر شدن سن فیزیولوژیکی سیب‌زمینی (شامل پنج مرحله از مرحله جوانی تا مرحله پیری)، این محصول در شرایط انبار فنی (سرد) نگهداری شود زیرا در این شرایط فاصله بین مراحل پنج‌گانه طولانی‌تر خواهد شد و از سه ماه ممکن است تا ۹ ماه طول بکشد.

برای رقم آگریای تازه به ترتیب ۱۴۶/۳۳ نیوتن و ۱۹۲۹/۳۲ میلی ژول و کمترین نیرو و انرژی پانچ برای ژنوتیپ کلون ذخیره شده در انبار غیرفنی به ترتیب ۷۲/۶۷ نیوتن و ۵۰۰/۳۵ میلی ژول به دست آمده است که از دلایل آن توزیع ماده خشک، برای بارگذاری، و تغییرات ساختاری غده‌ها را در دوره ذخیره سازی می‌توان نام برد.

نتیجه‌گیری

اثر رقم، دما، و مدت زمان ذخیره‌سازی بر اکثر پارامترهای مکانیکی به دست آمده از آزمون‌های فشاری محوری و پانچ در غده‌های سیب‌زمینی ذخیره شده در دو انبار فنی و غیر فنی معنی‌دار است. با افزایش مدت زمان ذخیره‌سازی، ضریب کشسانی تحت تاثیر قرار می‌گیرد و دلیل آن تغییرات فیزیولوژیکی اجزای ساختاری بافت‌ها (دیواره سلولی و لایه میانی) در اثر اتلاف آب سلولی با تبخیر و تولید آب سلولی بر اثر تنفس در غده‌هاست. بنابراین، در نمونه‌های تازه به دلیل رطوبت بالا، تراکم‌پذیری کمتر است و در نتیجه استحکام نمونه‌ها نسبت به نمونه‌های ذخیره شده بالاتر و در نتیجه ضریب کشسانی آنها نیز بالاتر است. ضریب کشسانی و سفتی تحت تأثیر میزان نشاسته نیز هست که در این دو نمونه سیب‌زمینی، به دلیل تبدیل نشاسته به قند در دوره ذخیره‌سازی، ضریب کشسانی و سفتی نیز بالطبع کاهش یافته است. نیروی شکست، انرژی شکست و انرژی نفوذ در دوره ذخیره‌سازی

مراجع

- Abu-Ghannam, N. and Crowley, H. 2006. The effect of low temperature blanching on the texture of whole processed new potatoes. *Journal of Food Engineering*. 74(3): 335–344.
- Agblor, A. and Scanlon, M.G. 1998. Effects of blanching conditions on the mechanical properties of french fry strips. *American Journal of Potato Research*. 75(6): 245–255.
- Alvarez, M. D. and Canet, W. 1998. Rheological characterization of fresh and cooked potato tissue (cv. Monalisa). *European Food Research and Technology*. 207(1): 44–65.
- Bentini, M., Caprara, C. and Martelli, R. 2009. Physico-mechanical properties of potato tubers during cold storage. *Journal Bio Systems Engineering*. 104(1): 25–32.

- Blaszczak, W., Sadowska, J., Fornal, J., Vacek, J., Flis, B. and Zagorski-Ostojka, W. 2004. The influence of cooking and microwave heating on microstructure and mechanical properties of GM potato. *Nahrung/Food*. 48(3): 169–176.
- Bourne, M. C. 1982. *Food Texture and Viscosity*. Academic Press, NY. 19-22.
- Bruce, D. M. 2003. Mathematical modeling of the cellular mechanics of plants. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London B: Biological Sciences*. 358(1437): 1437-1444.
- Brusewitz, G. H., Pitt, R. E. and Gao, Q. 1989. Effects of storage time and static preloading on the rheology of potato tissue. *Journal of Texture Studies*. 20(3): 267–284.
- Bu-Contreras, R. and Rao, M. A. 2001. Influence of heating conditions and starch on the storage modulus of Russet Burbank and Yukon Gold potatoes. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 81(15): 1504-1511.
- Burton, W. G. 1989. Longman Scientific and Technical Book. New York, Wiley.
- Canet, W. 1980. Study of the influence of thermal treatments of blanching, freezing and thawing on the texture and structure of potato (*Solanum tuberosum*, L.). Ph.D. Thesis, Universidad Politécnica de Madrid, Madrid.
- Desmet, M., Lammertyn, J., Verlinden, B. E. and Nicolai, B. M. 2002. Mechanical properties of tomatoes as related to puncture injury susceptibility. *Journal of Texture Studies*. 33(5): 415-429.
- Gao, Q., Pitt, R. E. and Bartsch, J. A. 1989. Elastic–plastic constitutive relations of the cell walls of apple and potato parenchyma. *Journal of Rheology*. 33(2): 233–256.
- Gil, M. J. 1991. Study of the effect of friction, sample size and strain rates in uniaxial compression tests of solid foods. Ph.D. Thesis, Polytechnic University of Madrid, Madrid
- Harker, F. R., Maindonald, J., Murray, S. H., Gunson, F. A, Hallett, I. C. and Walker, S. B. 2002. Sensory interpretation of instrumental measurements texture of apple fruit. *Postharvest Biology and Technology*. 24(3): 225-239.
- Kaur, L., Singh, J., Singh, N. and Ezekiel, R. 2007. Textural and pasting properties of potatoes (*Solanum tuberosum* L.) as affected by storage temperature. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 87(3): 520–526.
- Kaur, L., Singh, N., Sodhi, N. S. and Gujral, H. S. 2002. Some properties of potatoes and their starches I cooking, textural and rheological properties of potatoes. *Food Chemistry*. 79(2): 177–181.
- Kazami, D., Tsuchiya, T., Kobayashi, Y. and Ogura, N. 2000. Effect of storage temperature on quality of potato tubers. *Journal of the Japanese Society for Food Science and Technology – Nippon Shokuhin Kagaku Kagaku Kaishi*. 47(11): 851–856.
- Kheiralipour, K., Tabataeefar, H., Rafiee, S., Sharifi, M., Jafari, A. and Rajabipour, A. 2008. Some physical and hydrodynamic properties of two varieties of apple (*Malus domestica Borkh* L). *International Agrophysics*. 22(3): 225-229.
- Konopacka, D. and Plochanski, W. J. 2004. Effect of storage conditions on the relationship between apple firmness and texture acceptability. *Postharvest Biology and Technology*. 32 (2): 205–211.
- Laza, M., Scanlon, M. G. and Mazza, G. 2001. The effect of tuber preheating, temperature and storage time on the mechanical properties of potatoes. *Food Research International*. 34(8): 659–667.
- Lien, C. C., Ay, C. and Ting, C. H. 2009. Non-destructive impact test for assessment of tomato maturity. *Journal of Food Engineering*. 91(3): 402-407.
- Linehan, D. J. and Hughes, J. C. 1969. Texture of cooked potatoes. I. Introduction. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 20(2): 110–112.
- Magness, J. R. and Taylor, G. F. 1925. An improved type of pressure tester for the determination of fruit maturity. Washington, D.C. Department Circular 350, U. S. Department of Agriculture.

- Mehinagic, E., Royer, G. and Symoneaux, R. 2004. Prediction of the sensory quality of apples by physical measurements. *Postharvest Biology and Technology*. 34(3): 257–269.
- Mehinagic, E., Royer, G., Bertrand, D., Symoneaux, R., Laurens, F. and Jourjon, F. 2003. Relationship between sensory analysis, penetrometry and visible–NIR spectroscopy of apples belonging to different cultivars. *Journal of the Food Quality and Preference*. 14(5-6): 473–484.
- Mohsenin, N. N. 1986. *Physical Properties of Plant and Animal Materials*. Gordon and Breach Science Publishers, New York.
- Morales, A., Bourne, A. and Shomer, M. C. 1992. Cultivar, specific gravity and location in tuber affect puncture force of raw potatoes. *Journal of Food Science*. 57(6): 1353-1356.
- Niklas, K. J. 1989. Mechanical behavior of plant tissues as inferred from the theory of pressurized cellular solids. *American Journal of Botany*. 76(6): 929-937.
- Noda, T., Tsuda, S., Mori, M., Takigawa, S., Matsuura-Endo, C., Saito, K., Mangalika, W.H.A., Hanaoka, A., Suzuki, Y. and Yamauchi, H. 2004. The effect of harvest dates on the starch properties of various potato cultivars. *Journal of Food Chemistry*. 86(1): 119–125.
- Nourian, F., Ramaswamy, H. S. and Kushalappa, A. C. 2003. Kinetics of quality changes associated with potatoes stored at different temperatures. *LWT-Food Science and Technology*. 36(1): 49-65.
- Oraguzie, N., Alspach, P., Volz, R., Whitworth, C., Ranatunga, C., Weskett, R. and Harker, R. 2009. Postharvest assessment of fruit quality parameters in apple using both instruments and an expert panel. *Postharvest Biology and Technology*. 52 (3): 279–287.
- Sadowskaa, J., Fornal, J. and Zgorska, K. 2008. The distribution of mechanical resistance in potato tuber tissues. *Postharvest Biology and Technology*. 48(1): 70–76.
- Scanlon, M. G. and Long, A. F. 1995. Fracture strengths of potato tissue under compression and tension at two rates of loading. *Food Research International*. 28(4): 397-402.
- Shaw, M. C. and Young, E. 1988. Rubber elasticity and fracture. *Journal of Engineering Materials and Technology*. 110(3): 258–265.
- Solomon, W. K. and Jindal, V. K. 2007. Modeling changes in rheological properties of potatoes during storage under constant and variable conditions. *Swiss Society of Food Science and Technology*. 40(1): 170–178.
- Spychalla, N. P. and Desborough, S. L. 1990. Fatty acids, membrane permeability, and sugars of stored potato tubers. *Plant Physiology*. 94(3): 1207–1213.
- Thiagu, R., Chand, N. K.V. and Ramana, R. 2006. Evolution of mechanical characteristics of tomatoes of two varieties during ripening. *Journal of Food Science and Agriculture*. 62 (2): 175-183.
- Thybo, A. K. and Berg, V. D. F. 2002. Full uniaxial compression curves for predicting sensory texture quality of cooked potatoes. *Journal of Texture Studies*. 33(2): 119-134.
- Wismer, W. V., Worthing, W. M., Yada, R. Y. and Marangoni, A. G. 1998. Membrane lipid dynamics and lipid peroxidation in the early stages of low-temperature sweetening in tubers of *Solanum tuberosum*. *Physiologia Plantarum*. 102(3): 396–410.
- Zaki Dizaji, H., Minaei, S., Tavakkoli, H. T. and Mokhtari Dizaji, M. 2015. Study the evaluation quality of pomegranate fruit by ultrasound transmission. *Journal of Agricultural Engineering*. 38 (1): 43-57. (in Persian)
- Zdunek, A., Cybulsk, J., Konopacka, D. and Rutkowski, K. 2010. New contact acoustic emission detector for texture evaluation of apples. *Journal of Food Engineering*. 99 (1): 83–91.



Determination of the Rheological Properties of two Potato Varieties under Conventional and Cold Storage Conditions

R. Farhadi, A.M. Afkari- Sayyah* , A. Mosapour-Gorji and B. Jamshidi

* Corresponding author: Associate Professor, Department of Biosystem Engineering, Faculty of Agricultural and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran.

Email: acafkari@gmail.com

Received: 20 May 2018, Accepted: 10 October 2018

Storage of potato is essential for the continuous supply of raw materials for domestic and industrial use. Due to structural changes (tissue) and followed by changes in the mechanical properties of the tubers during storage and its impact on product quality, the information of the mechanical properties of potato tubers reduces losses and economic losses partly along with other factors. In this research two potato genotype (Agria and Clone 397009-8) were stored in two technical and non-technical storage for three months in Ardebil. The uniaxial compression test was used to measure the effect of variety, storage temperature and storage duration on elastic modulus, failure force and failure energy, and penetration test to measure hardness and penetration energy. Measurement was done weekly and the final results were reported after the storage period. The results showed that cultivar, storage temperature and storage duration have a significant effect on all mechanical properties in both cultivars. With increase storage time, the elastic modulus, failure force, failure energy, hardness and penetration energy in technical storage were lower than non-technical storage, which this difference was statistically significant ($P < 0.05$). The results showed that cultivar Agria has a higher elastic coefficient and rigidity than Clone genotype because of rigid texture and as a result, the storage period is longer.

KeyWords: Hardness of the tissue, Penetration test, Potato, Storage, Uniaxial compression test