یازدهمین کنگره ملی مهندسی مکانیک
بیوسیستم و مکانیزاسیون ایران

تأثیر انرژی ضربه و انبارمانی بر خواص مکانیکی پوست و گوشت سیب‌زمینی

صفورا نیک آرا[۱]، ابراهیم احمدی[۲]، علی علوی نیا[۳]

[۱]دانشجوی دکترای گروه مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی دانشگاه بوعلی سینا همدان؛ Email: safoura.nikara@gmail.com
[۲]دانشیار گروه مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی دانشگاه بوعلی سینا همدان؛ Email: eahmadi@basu.ac.ir
[۳] دانشیار گروه مکانیک، دانشکده فنی و مهندسی دانشگاه بوعلی سینا همدان؛ Email: alavi495@basu.ac.ir

چکیده

انرژی ضربه وارد شده به سیب‌زمینی در حین عملیات جابجایی، حمل‌ونقل، درجه‌بندی و انبارمانی اتفاق می‌افتد. ضربه باعث ایجاد شکست بافت می‌شود که باعث افت کیفیت سیب‌زمینی خواهد شد. در این تحقیق از آزمون های کششی و فشاری برای بررسی خواص مکانیکی پوست و گوشت سیب‌زمینی رقم سانته استفاده شد. در آزمایش انجام شده، قبل از شروع دوره انبارمانی (هفته‌های صفر، ۲، ۴، ۶، ۸، ۱۰، ۱۲، ۱۴ و ۱۶)، آزمون ضربه در سطوح انرژی شاهد، ۰/۰۳۲، ۰/۱۸۵ و ۰/۳۳۵ ژول روی سیب‌زمینی‌ها صورت گرفت. نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر عوامل زمان انبارمانی و شدت ضربه بر تنش تسلیم، مدول الاستیسیته و تانژانت مدول پوست و گوشت سیب‌زمینی در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار می‌باشد. با افزایش زمان انبارمانی و انرژی ضربه، تنش تسلیم نمونه‌های ضربه نخورده به‌طور معنی‌داری افزایش می‌یابد. در صورتی که این روند با افزایش زمان انبارمانی و انرژی ضربه، رو به کاهش می‌باشد. مدول الاستیسیته و تانژانت مدول پوست و گوشت سیب‌زمینی در اثر گذشت زمان انبارمانی و افزایش شدت ضربه به طور معنی‌داری در حال کاهش بود. این نتایج می‌تواند اطلاعات ارزشمندی را برای بهینه نمودن و طراحی ماشین‌ها در در جهت افزایش کیفیت و ارزش اقتصادی محصول سیب‌زمینی فراهم آورد.

کلمات کلیدی: انرژی ضربه، انبارمانی، خواص مکانیکی، سیب‌زمینی.

Effect of Impact Energy and Storage time on Mechanical properties of Potato Peel and Flesh

Safoura Nikara[1]; Ebrahim Ahmadi[1]; Ali Alavi Nia[2]
Author's affiliations, Email
[1] Department of Biosystem Engineering, Faculty of Agriculture, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran;
Email: safoura.nikara@gmail.com , Email: eahmadi@basu.ac.ir
[2] Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran;
Email: alavi495@basu.ac.ir

ABSTRACT

Impact energy of potato could occur during handling, transportation, sorting and storage processes. The action of impact forces is manifested in the rupture of tissue that causes lower the quality of potato. In this research tensile and compression, tests were used to investigate the mechanical behavior of potato peel and flesh cultivar, 'Sante'. In the experiment before start of a 16-week period of the storage time (0, 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14 and 16 weeks), the impact test (control, 0.032, 0.185 and 0.335 J), for potatoes was done. The results of this research are illustrated that the effect of impact levels and storage times on yield stress, decreasing modulus of elasticity and tangent modulus of potato tissue were significant ($P < 0.05$). With increasing impact energy and storage time, yield stress, decreasing modulus of elasticity and tangent modulus for impacted samples decreased significantly. The changes of mechanical properties of non-impacted potato tissue during storage included increasing yield stress, decreasing modulus of elasticity and tangent modulus.

۱- صفورا نیک آرا، Email: safoura.nikara@gmail.com

These results can provide valuable information for optimizing and designing of pressing machines, which is important for the development of the food industry.

Keywords: Impact energy, Storage time, Mechanical properties, Potato.

۱- مقدمه

سیب‌زمینی از نظر اقتصادی بعد از گندم و برنج، یک محصول استراتژیک و با عملکرد بالا در بخش کشاورزی است که علاوه بر مصارف صنعتی در بسیاری از کشورها به‌عنوان غذای اصلی محسوب می‌شود. این محصول دارای محتوای رطوبت بالا و منابع غذایی فراوان از جمله نشاسته، پروتئین، ویتامین C، مواد معدنی، فیبر و آنتی‌اکسیدان می‌باشد (Al-Weshahy et al., 2013). سطح زیر کشت سیب‌زمینی در جهان ۱۹ میلیون هکتار است و در حال حاضر بیش از ۳۸۰ میلیون تن سیب‌زمینی در سراسر جهان تولید می‌شود. سطح زیر کشت این محصول در ایران ۱۵۹ هزار هکتار و تولید سالانه آن ۴/۷ میلیون تن می‌باشد (FAO, 2014). از جمله تحقیقاتی که باید درباره سیب‌زمینی اجرا شود، بررسی خواص فیزیکی و مکانیکی آن به منظور کاهش صدمات در مراحل مختلف کشاورزی می‌باشد. به همین منظور، یک بررسی کامل از منابع موجود انجام گرفته و عدم وجود مطالعه مورد نظر در خصوص رفتار مکانیکی پوست و گوشت سیب‌زمینی توضیح داده خواهد شد.

در طی مراحل برداشت و پس از برداشت، نیروهای خارجی از نوع استاتیکی و دینامیکی به‌دفعات به محصول وارد می‌شود. هنگامی که این نیروها از حد تحمل بافت بیشتر باشند باعث ایجاد صدمات مکانیکی در محصول خواهند شد. ضربات مکانیکی به‌عنوان عامل اصلی در تلفات برداشت و پس از برداشت سیب‌زمینی شناخته شده است (Mohsenin, 1986; Bajema & Hyde, 1998). بر همین اساس، در تحقیق حاضر بر بار دینامیکی به شکل ضربه تمرکز شده است. سطوح مختلف تنش وارد شده به سیب‌زمینی در حین برداشت، جابجایی و حمل‌ونقل باعث افت کیفیت محصول خواهد شد که میزان این تغییرات به شدت ضربه و خواص مکانیکی بافت بستگی دارد (Konstankiewicz et al., 2001; Danila, 2015). ضربه‌های مکانیکی که منجر به این صدمات می‌شوند در اثر برخورد غده‌ها با اجزای ثابت و متحرک ماشین‌ها، سنگ، کلوخ و یا یکدیگر باعث کاهش ارزش اقتصادی محصول می‌گردد. حساسیت به صدمه، با عوامل متعددی همچون فاصله سقوط محصول، انرژی ضربه و ویژگی فیزیکی محل ضربه روی محصول و میزان رسیدگی محصول در ارتباط می‌باشد (Bentini et al., 2006). Praeger et al. (2013) با استفاده از یک وسیله کروی الکترونیکی به‌جای سیب‌زمینی میزان ضربه‌های مکانیکی وارد شده در شرایط مختلف سقوط غده از ارتفاع‌های مختلف روی سطوح فولاد و پی‌وی‌سی و همچنین، حرکت روی نوار نقاله در سرعت‌های متفاوت را بررسی کردند. عامل مؤثر دیگر در کیفیت سیب‌زمینی انبارمانی می‌باشد. انبارمانی سیب‌زمینی برای تأمین مصارف خوراکی و صنعتی ضروری است ولی طی نگهداری در انبار، فرآیندهای بیولوژیکی مانند تنفس و از دست دادن رطوبت باعث تغییر در خواص رئولوژیکی محصول خواهد شد. غده‌ها در طول مدت نگهداری تا حدی دچار کاهش وزن خواهند شد. در بین ارقام سیب‌زمینی آگریا مقاوم‌ترین رقم برای نگهداری طولانی‌مدت است و سانته و مارفونا از نظر انبارمانی بحرانی‌ترین وضعیت را دارا می‌باشند (Afshari et al., 2008).

در آزمون‌های محوری بارگذاری روی کل محصول و یا بخشی از آن انجام می‌شود. خواص مکانیکی پوست، گوشت، هسته میوه‌ها و دانه سبزی‌ها به صورت مجزا قابل بررسی می‌باشد (Canet et al., 2007; Shirmohammadi et al., 2013). نتایج آزمون‌های محوری معمولاً به صورت یک نمودار نیرو- تغییر شکل در مدت‌زمان بارگذاری نشان داده می‌شود. با استفاده از نمودار نیرو- تغییر شکل و با توجه به ابعاد نمونه قبل و بعد از آزمون محوری، تنش و کرنش محاسبه می‌شود و نمودار تنش- کرنش به‌دست خواهد آمد. در بخش الاستیک، مدول الاستیسیته به عنوان پارامتر اصلی ماده است و حد الاستیک با توجه به تنش تسلیم تعریف می‌شود. همچنین، برای بیان رفتار پلاستیک ماده بعد از نقطه تسلیم، از تانژانت مدول استفاده می‌شود (Mohsenin, 1986; Celik, 2017). پژوهش‌های متعددی در زمینه اندازه‌گیری و تأثیر عوامل مختلف بر تغییرات خواص مکانیکی سیب‌زمینی وجود دارد. Canet et al. (2007) رفتار مکانیکی نمونه‌های سیب‌زمینی را در آزمون فشاری بررسی کردند. آن‌ها مشاهده کردند که بیشترین نرخ جابجایی در نمونه‌هایی با کمترین تنش شکست رخ می‌دهد. با افزایش نرخ جابجایی در نمونه، چقرمگی کاهش می‌یابد. Bentini et al. (2009) اثرات رقم و مدت‌زمان نگهداری را بر خواص مکانیکی غده‌های سیب‌زمینی بررسی نمودند. غده‌ها در شرایط دمایی ۴/۵ درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی ۸۰ درصد به مدت ۲۴۰ روز نگهداری شدند. نتایج نشان داد که تنش شکست و مدول الاستیسیته طی مدت نگهداری کاهش می‌یابد. Solomon & Jindal (2007) گزارش کردند که تغییرات خواص مکانیکی از جمله تانژانت مدول و استحکام بافت سیب‌زمینی به انبارمانی بستگی دارد. Laza et al. (2001) گزارش کردند که نگهداری سیب‌زمینی در انبار به مدت ۶ ماه باعث کاهش چقرمگی بافت در آزمون فشاری می‌شود.

تغییرات خواص بافت محصول پس از اعمال ضربه قابل توجه است. همچنین، تأثیر مدت زمان انبارمانی بر تغییرات خواص مکانیکی قابل

بررسی می‌باشد و تاکنون درباره ارتباط این عوامل با آسیب ضربه در بافت سیب‌زمینی تحقیقات اندکی صورت گرفته است. در این تحقیق، بیشترین تمرکز بر تغییرات خواص مکانیکی که در مدت انبارمانی اتفاق می‌افتد خواهد بود. به منظور مطالعه اثر ضربه ناشی از ماشین‌های برداشت و تجهیزات پس از برداشت از روش‌های تجربی استفاده شده است. در واقع هدف از این پژوهش، مطالعه رفتار مکانیکی بافت سیب‌زمینی در آزمون ضربه متأثر از زمان انبارمانی می‌باشد.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- تهیه محصول و آماده‌سازی نمونه‌ها

در این پژوهش، رقم سانته به‌عنوان یکی از ارقام حساس سیب‌زمینی از نظر انبارمانی مورد مطالعه قرار گرفت. برداشت غده‌های هم شکل و هم اندازه سیب‌زمینی به روش دستی و بدون ضربه مکانیکی از نقاط مختلف یک مزرعه تحقیقاتی در جنوب ایران (′۲۷ °۳۲ شمالی و ′۲۱ °۴۸ شرقی) انجام شد، سپس سیب‌زمینی‌ها به صورت ردیفی با پوشش فوم در داخل جعبه‌های پلاستیکی چیده شدند. سپس جعبه‌های پلاستیکی به آزمایشگاه رئولوژی و خواص مکانیکی گروه مهندسی بیوسیستم دانشگاه بوعلی‌سینای همدان با دمای ۰/۵ ± ۲۰ درجه سانتی‌گراد منتقل گردیدند و به منظور هم‌دما شدن با محیط آزمایشگاه به مدت ۲۴ ساعت در این دما نگهداری شدند.

۲-۲- روش آزمایش

ابتدا آزمون ضربه روی غده‌ها اجرا شده سپس دوره انبارمانی سیب‌زمینی‌ها در محیط یخچال با دمای ۰/۵ ± ۵ درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی ۸۵ درصد به مدت ۱۶ هفته آغاز می‌گردد (Bentini et al., 2009). در هفته صفر (شاهد)، قبل از شروع انبارمانی و طی مدت زمان انبارمانی در فاصله‌های دو هفته‌ای (۲، ۴، ۶، ۸، ۱۰، ۱۲، ۱۴ و ۱۶ هفته) سیب‌زمینی‌ها از یخچال خارج شدند و پس از هم‌دما شدن با محیط آزمایشگاه، آزمون‌های تجربی روی هر غده انجام گرفت (Strehmel et al., 2010). آزمون ضربه برای تعداد ۱۴۴ سیب‌زمینی انجام شد. بر اساس پژوهش انجام شده توسط Van Canneyt et al. (2003) در فرآیندهای مزرعه‌ای، بیشترین نیروی ضربه به ناحیه استوایی غده سیب‌زمینی وارد می‌شود. به همین دلیل در این تحقیق، محل اعمال ضربه بر روی ناحیه استوایی سیب‌زمینی انتخاب شد. برای انجام آزمون ضربه از دستگاه پاندول استفاده شد (Abedi & Ahmadi, 2014). انرژی‌های ضربه به‌کار رفته در آزمایش اول که در جدول ۱ نشان داده شده، عبارت است از شاهد که در آن هیچ ضربه‌ای به غده‌ها وارد نشد، انرژی ضربه ۱ که ضربه‌ای کمتر از نقطه تسلیم داشت و انرژی‌های ضربه ۲ و ۳ که به ترتیب، با توجه به فرآیندهای حمل‌ونقل و جابجایی محصول سیب‌زمینی در نظر گرفته شد. آزمون ضربه در هر سطح انرژی برای ۳۶ غده سیب‌زمینی تکرار شد. لازم به ذکر است که در آزمایش دوم پس از هر ۲ هفته انبارمانی، سطوح انرژی شاهد، ۱ و ۳ مطابق جدول ۱ در آزمون ضربه اعمال گردید.

جدول۱- سطوح مختلف ضربه اعمال شده بر روی سیب‌زمینی‌ها

Table 1. The various impact levels experimented on potatoes.

	Impact energy (J)	Peak contact force (N)
Control	0	0
Level 1	0.032 ± 0.002*	32.60 ± 3.7
Level 2	0.185 ± 0.008	90.04 ± 7.9
Level 3	0.335 ± 0.020	127.78 ± 13.2

* Mean values with standard deviation are given

۲-۳- آزمون های کششی و فشاری

برای انجام آزمون فشاری در فاصله‌های دو هفته‌ای از انبارمانی از هر غده سیب‌زمینی ضربه نخورده (۳ تکرار برای هر نمونه) یک نمونه به شکل مکعب مستطیل (۱۰ × ۱۰ × ۱۵ میلی‌متر) در محل ضربه به فاصله ۱ میلی‌متر زیر پوست با استفاده از یک تیغه کاتر ۳۰ درجه بریده شد. هر نمونه به‌طور عمودی روی فک ثابت دستگاه قرار داده شده و به‌وسیله یک فک متحرک با انتهای دایره‌ای شکل و کاملاً تخت به شعاع ۷۵ میلی‌متر در دمای آزمایشگاه (۰/۵ ± ۲۰ درجه سانتی‌گراد) تحت فشار قرار گرفت (شکل ۱- الف). دستگاه آزمون مواد با مقدار پیش نیروی ۰/۵ نیوتن و

سرعت ۲۰۰ میلی‌متر بر دقیقه برای رسیدن به این پیش نیرو تنظیم شد. آزمون با سرعت ۲۵ میلی‌متر بر دقیقه انجام شد، به‌طوری که در ۳۰ درصد نیروی بیشینه متوقف گردد (ASAE standard, 2012). خواص مکانیکی پوست سیب‌زمینی از طریق آزمون کششی و با استفاده از دستگاه آزمون مواد تعیین شد. بدین منظور، در فاصله‌های دو هفته‌ای از انبارمانی از هر غده سیب‌زمینی ضربه نخورده (۳ تکرار برای هر نمونه) یک نوار از پوست سیب‌زمینی به طول ۶۰ میلی‌متر، عرض ۱۰ میلی‌متر و ضخامت ۱ میلی‌متر با استفاده از یک تیغه کاتر ۳۰ درجه بریده شد (Alamar et al., 2008). روش آزمون به این صورت بود که نمونه پوست بین دو فک کششی دستگاه قرار داده شد. فک پایینی ثابت و فک بالایی متحرک با فاصله ۴۰ میلی‌متر بین دو فک در نظر گرفته شد (شکل ۱- ب). میزان پیش نیرو ۰/۰۵ نیوتن و سرعت رسیدن به آن ۳۰۰ میلی‌متر بر دقیقه تنظیم گردید. آزمون با سرعت ۵۰ میلی‌متر بر دقیقه انجام شد (ASTM Standards, 2015).

Figure 1. (a) Compression test on cube sample of potato flesh at impact location, (b) Tensile test on the strip of potato peel at impact location

شکل ۱- (الف) آزمون فشاری روی نمونه مکعب مستطیل از بافت محل ضربه سیب‌زمینی، (ب) آزمون کششی روی نوار بریده شده از پوست محل ضربه سیب‌زمینی

با استفاده از نمودار نیرو- تغییر شکل و ابعاد نمونه قبل و بعد از آزمون، مدول الاستیسیته، تنش و کرنش مهندسی و حقیقی در آزمون‌های فشاری و کششی از رابطه‌های ۱، ۲ و ۳ به‌دست آمد (Mohsenin, 1986; Bentini et al., 2009; Shirmohammadi et al., 2013).

$$E = \frac{\sigma_e}{\varepsilon_e} = \frac{F/A}{\Delta L/L} \quad (۱)$$

$$\sigma_t = \sigma_e(1 + \varepsilon_e) \quad (۲)$$

$$\varepsilon_t = ln(1 + \varepsilon_e) \quad (۳)$$

F: نیروی فشاری (N)

A: سطح مقطع نمونه (mm^2)

L: طول نمونه (mm)

σ_e: تنش مهندسی (MPa)

ε_e: کرنش مهندسی

E: مدول الاستیسیته (MPa)

σ_t: تنش حقیقی (MPa)

ε_t: کرنش حقیقی

در ناحیه الاستیک، مدول الاستیسیته به صورت شیب خط گذرنده از مبدأ و نقطه تسلیم در نمودار تنش- کرنش حقیقی تعیین شد. شکست مواد بیولوژیکی در تنش تسلیم اتفاق می‌افتد جایی که ترک خوردن اولیه دیواره سلولی در اثر بارگذاری محوری آغاز می‌شود و در آن نقطه، افزایش تغییر شکل باعث کاهش یا ثابت ماندن مقدار نیرو خواهد شد. ناحیه پلاستیک بعد از نقطه تسلیم بیولوژیکی اتفاق می‌افتد و باعث ایجاد شکست در بافت ماده می‌شود. تانژانت مدول به صورت شیب خط مماس بر یک نقطه از ناحیه پلاستیک نمودار تنش- کرنش حقیقی محاسبه شد برای آزمون-های فشاری و کششی که به ترتیب روی گوشت و پوست سیب‌زمینی انجام شد، نمودار تنش- کرنش حقیقی، مدول الاستیسیته، تنش تسلیم و تانژانت مدول به‌دست آمد (شکل‌های ۲ و ۳) (Celik, 2017).

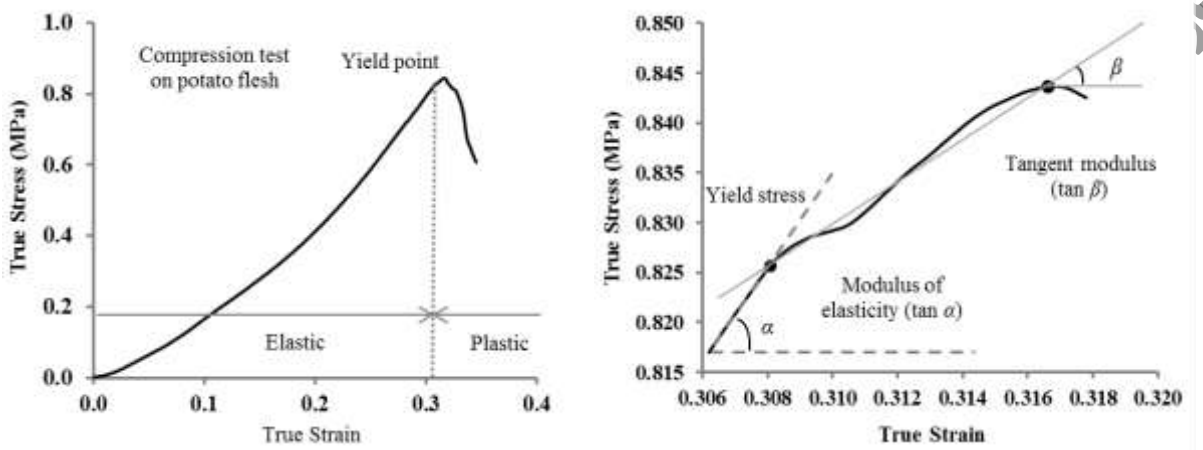

Figure 2. True stress- strain curve in compression test for potato flesh.

شکل ۲- نمودار تنش- کرنش حقیقی در آزمون فشاری گوشت سیب‌زمینی

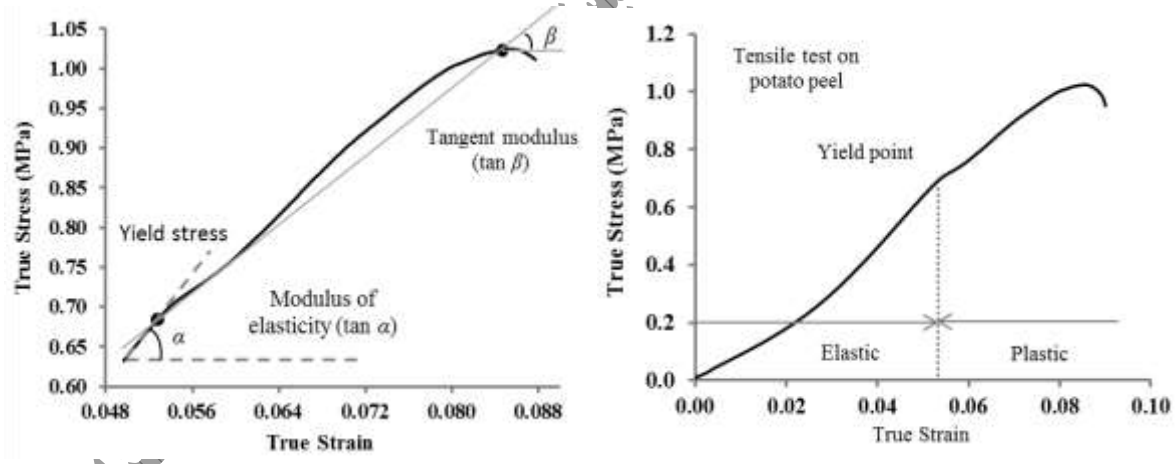

Figure 3. True stress- strain curve in tensile test for potato peel.

شکل ۳- نمودار تنش- کرنش حقیقی در آزمون کششی پوست سیب‌زمینی

۴-۲- تحلیل آماری

تجزیه واریانس نتایج به صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار با استفاده از نرم‌افزار اس‌پی‌اس‌اس انجام شد. متغیرهای مستقل شامل دوره‌های زمانی انبارمانی (۹ دوره به فاصله دو هفته)، سطوح ضربه (شاهد، سطح ۱، سطح ۲ و سطح ۳) در نظر گرفته شد. همچنین، مقایسه میانگین داده‌ها از طریق آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد به‌دست آمد.

۳- نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس اثر عوامل زمان انبارمانی (درجه آزادی ۸)، انرژی ضربه (درجه آزادی ۳) بر تنش تسلیم، مدول الاستیسیته و تانژانت مدول پوست و گوشت سیب‌زمینی در جدول ۲ آمده است. بر اساس این نتایج، برای تنش تسلیم، مدول الاستیسیته و تانژانت مدول پوست و گوشت سیب‌زمینی، اثرات اصلی زمان انبارمانی و انرژی ضربه و اثر متقابل آن‌ها در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار شد. روند تغییرات تنش تسلیم، مدول الاستیسیته و تانژانت مدول پوست و گوشت سیب‌زمینی برای سطوح مختلف ضربه، طی زمان انبارمانی در شکل‌های ۴، ۵ و ۶ قابل مشاهده می‌باشد.

جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس تنش تسلیم، مدول الاستیسیته و تانژانت مدول پوست و گوشت سیب‌زمینی متأثر از زمان انبارمانی و انرژی ضربه

Table 2. Analysis of variance (ANOVA) for yield stress, modulus of elasticity and tangent modulus of potato peel and flesh affected by storage time and impact level.

Sources	df	Sources mean-square					
		Flesh			Peel		
		Yield stress (MPa)	Modulus of elasticity (MPa)	Tangent modulus (MPa)	Yield stress (MPa)	Modulus of elasticity (MPa)	Tangent modulus (MPa)
Storage time	8	0.039*	0.612*	0.352*	0.024*	0.937*	0.605*
Impact level	3	0.215*	15.85*	12.53*	0.183*	18.56*	16.02*
Interactions	24	0.01*	0.327*	0.218*	0.008*	0.721*	0.521*

* Significant at $P < 0.05$

با توجه به نتایج به‌دست آمده از آزمون‌های فشاری و کششی، تنش تسلیم بیولوژیکی پوست و گوشت سیب‌زمینی‌های ضربه نخورده طی مدت انبارمانی به‌طور معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد افزایش داشت. این روند افزایشی در مدت ۱۶ هفته برای پوست از ۰/۷۱۹ تا ۰/۸۷۹ مگاپاسکال و برای گوشت از ۰/۹۷۸ تا ۱/۰۶۴ مگاپاسکال به‌دست آمد. در صورتی‌که این روند با افزایش زمان انبارمانی و انرژی ضربه، رو به کاهش می‌باشد (شکل ۴). مدول الاستیسیته و تانژانت مدول پوست و گوشت سیب‌زمینی در اثر گذشت زمان انبارمانی و افزایش شدت ضربه به طور معنی‌داری کاهش داشت (سطح احتمال ۵ درصد) (شکل‌های ۵ و ۶). با گذشت زمان انبارمانی، مدول الاستیسیته سیب‌زمینی برای پوست از ۱۲/۵۸۱ تا ۸/۰۶۶ مگاپاسکال و برای گوشت از ۵/۵۱۰ تا ۲/۳۴۲ مگاپاسکال متغیر بود. تغییرات متابولیکی سیب‌زمینی در مدت انبارمانی بر خواص مکانیکی بافت مؤثر می‌باشد. روند کاهشی مدول الاستیسیته باعث می‌شود که با یک تنش معین، کرنش بافت افزایش یابد. در نتیجه، با توجه به افزایش تنش تسلیم، با گذشت زمان انبارمانی و کاهش محتوای رطوبت بافت، مقاومت بافت سیب‌زمینی افزایش پیدا می‌کند. با گسترش تغییر شکل در ساختار بافت در اثر وارد شدن ضربه شدیدتر، در نتیجه تنش تسلیم، مدول الاستیسیته و تانژانت مدول بافت کاهش می‌یابد. به‌طور کلی تغییرات فیزیولوژیکی و فعالیت تنفسی بافت سیب‌زمینی ضربه‌خورده باعث گسترش آسیب و فساد در بافت و در نتیجه کاهش مقاومت شکست خواهد شد. بنابراین، به علت افزایش شدت ضربه، آسیب ایجاد شده در بافت سیب‌زمینی بیشتر خواهد بود در نتیجه از مقاومت بافت کاسته شده و به دنبال آن نیرو، مدول الاستیسیته و تانژانت مدول پس از گذشت ۸ هفته کاهش می‌یابد (Strehmel et al., 2010). در نتایج به‌دست آمده توسط سایر محققان نیز این تغییرات برای خواص مکانیکی بافت سیب‌زمینی طی مدت انبارمانی مشاهده شده است. کاهش مدول الاستیسیته و افزایش تنش تسلیم و انرژی شکست بافت سیب‌زمینی در مدت انبارمانی توسط Gibson et al. (2010) و Alvarez & Canet (2000) گزارش شده است. Bentini et al. (2009) بیان کردند که مدول الاستیسیته و نیروی تسلیم بافت سیب‌زمینی در مدت ۱۸۰ روز انبارمانی به ترتیب، کاهش و افزایش داشت. در شکل ۶، کاهش تانژانت مدول پوست و گوشت سیب‌زمینی به نوعی پاسخ پلاستیک بافت را توصیف می‌کند، به‌طوری که با گذشت زمان انبارمانی بافت سیب‌زمینی نسبت به کرنش پلاستیک واکنش ضعیف‌تری نشان خواهد داد. Solomon & Jindal (2007) نیز گزارش کردند که مدول الاستیسیته و تانژانت مدول بافت سیب‌زمینی طی ۱۶ هفته انبارمانی کاهش داشت.

یازدهمین کنگره ملی مهندسی مکانیک بیوسیستم و مکانیزاسیون ایران

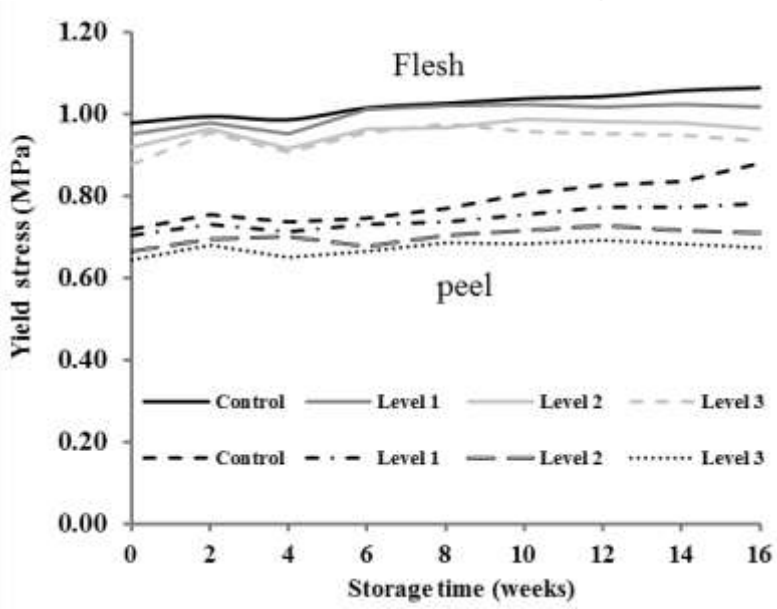

Figure 4. Yield stress of potato peel and flesh affected by storage time and impact level.

شکل ۴- تغییرات تنش تسلیم بیولوژیکی پوست و گوشت سیب‌زمینی در سطوح ضربه طی مدت انبارمانی

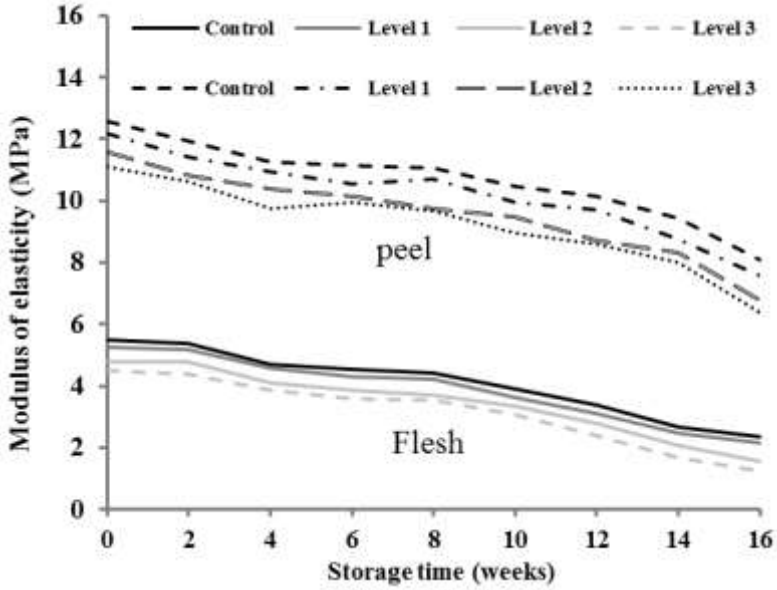

Figure 5. Modulus of elasticity of potato peel and flesh affected by storage time and impact level.

شکل ۵- تغییرات مدول الاستیسیته پوست و گوشت سیب‌زمینی در سطوح ضربه طی مدت انبارمانی

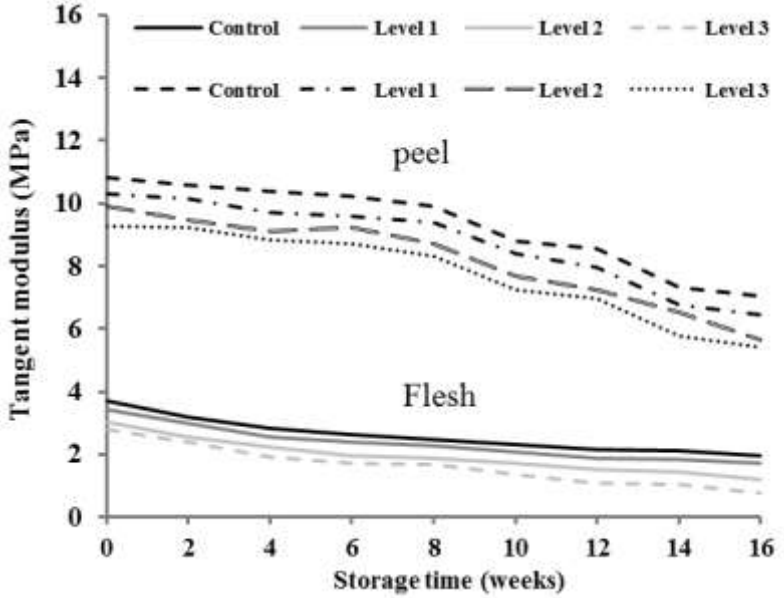

Figure 6. Tangent modulus of potato peel and flesh affected by storage time and impact level.

شکل ۶- تغییرات تانژانت مدول پوست و گوشت سیب‌زمینی در سطوح ضربه طی مدت انبارمانی

۴- نتیجه‌گیری

نتایج این تحقیق، شامل آزمون‌های فشاری و کششی نشان داد، عواملی مانند زمان انبارمانی، شدت ضربه بر تنش تسلیم، مدول الاستیسیته و تانژانت مدول پوست و گوشت سیب‌زمینی در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار است. بررسی‌ها نشان داد، با افزایش زمان انبارمانی و انرژی ضربه، تنش تسلیم نمونه‌های ضربه نخورده به‌طور معنی‌داری افزایش می‌یابد. در صورتی‌که این روند با افزایش زمان انبارمانی و انرژی ضربه، رو به کاهش می‌باشد. مدول الاستیسیته و تانژانت مدول پوست و گوشت سیب‌زمینی در اثر گذشت زمان انبارمانی و افزایش شدت ضربه به طور معنی‌داری در حال کاهش بود. با توجه به اهمیت محصول انبارمانی و فرآیند پس از برداشت سیب‌زمینی، می‌توان اثر این پارامترها را بر کاهش آسیب ناشی از ضربات احتمالی بررسی نمود و نتایج را جهت طراحی و ساخت تجهیزات درجه‌بندی و حمل‌ونقل این محصول پس از گذشت دوره انبارمانی به‌کار برد. نتایج این پژوهش در جهت افزایش کیفیت و ارزش اقتصادی محصول سیب‌زمینی مؤثر خواهد بود.

۵- تقدیر و تشکر

از کلیه عزیزانی که در خصوص انجام مراحل تحقیق حاضر و آماده‌سازی دستگاه ها و روش ها ما را یاری نمودند نهایت تقدیر و تشکر را داریم.

۶- مراجع

Abedi, G. h. & Ahmadi, E. (2014). Impact and fruit properties affect 'Red Delicious' apple susceptibility to bruising. *International Journal of Fruit Science*, *00*:1-17.

Afshari, H., Minaei, S., Almasi, M. & Abdolmaleki, P. (2008). Determination of damage of potato under dynamic loading. *Journal of Sciences and Food Industry*, *5*(2): 69-79. (Persian)

Alamar, M. C., Vanstreels, E., Oey, M. L., Molto, E. & Nicolai, B. M. (2008). Micromechanical behavior of apple tissue in tensile and compression tests: storage conditions and cultivar effect. *Journal of Food Engineering*, *86*:324-333.

Alvarez, M. D. & Canet, W. (2000). Storage time effect on the rheology of refrigerated potato tissue (cv. Monalisa). *European Food Research and Technology*, *212*(1): 48-56.

Al-Weshahy, A., El-Nokety, M., Bakhete, M. & Rao, V. (2013). Effect of storage on antioxidant activity of freeze-dried potato peels. *Food Research International*, *50*: 507-512.

ASAE standard (2012). Compression Test of Food Materials of Convex Shape. ASAE S368.4 DEC2000.

ASTM Standards (2015). Standard Test Method for Wound Closure Strength of Tissue Adhesives and Sealants. ASTM F2458- 05.

Bajema, R. W. & Hyde G. M. (1998). Instrumented pendulum for impact characterization of whole fruit and vegetable specimens. *Transactions of the ASAE, 41*(5): 1399-1405.
Bentini, M. Caprara, C. & Martelli, R. (2006). Harvesting damage to potato tubers by analysis of impacts recorded with an instrumented sphere. *Biosystems Engineering, 94*(1): 75-85.
Bentini, M., Caprara, C. & Martelli, R. (2009). Physico-mechanical properties of potato tubers during cold storage. *Biosystems Engineering, 104*: 25-32.
Canet, W., Alvarez, M. D. & Gil, M. J. (2007). Fracture behaviour of potato samples (cv. Desiree) under uniaxial compression. *Journal of Food Engineering, 82*(4): 427-435.
Celik, H. K. (2017). Determination of bruise susceptibility of pears (Ankara variety) to impact load by means of FEM-based explicit dynamics simulation. *Postharvest Biology and Technology, 128*: 83-97.
Danila, D.M. (2015). Assessing the potato impact response using a pendulum controlled and designed by computer. Bulletin of the Transilvania University of Braşov. Series II: Forestry, Wood Industry. *Agricultural Food Engineering, 8*(57): 65-70.
FAOSTAT. 2014. http://fao.org/faostat/en
Gibson, L. J., Ashby, M. F. & Harley, B. A. (2010). Cellular materials in nature and medicine. Cambridge, UK: Cambridge University Press.
Konstankiewicz, K., Pawlak, K. & Zdunek, A. (2001). Influence of structural parameters of potato tuber cells on their mechanical properties. *International Agrophysics, 15*: 243-246.
Laza, M., Scanlon, M. G. & Mazza, G. (2001). The effect of tuber pre-heating temperature and storage time on the mechanical properties of potatoes. *Food Research International, 34*: 659-667.
Mohsenin, N. N. (1986). Physical characteristics: Physical properties of plant and animal materials. New York, Gordon and Breach Science Publishers.
Shirmohammadi, M., Yarlagadda, P. K., YuanTong G., Gudimetla, P. & Kosse, V. (2013). Tensile properties of pumpkin peel and flesh tissue and review of current testing methods. *Transactions of the ASABE, 56*(4): 1521-1527.
Strehmel, N., Praeger, U., Konig, C., Fehrle, I., Erban, A., Geyer, M., Kopka, J. & Van Dongen, J. T. (2010). Time course effects on primary metabolism of potato (Solanum tuberosum) tuber tissue after mechanical impact. *Postharvest Biology and Technology, 56*: 109-116.
Solomon, W. K. & Jindal, V. K. (2007). Modeling changes in rheological properties of potatoes during storage under constant and variable conditions. *LWT - Food Science and Technology, 40*: 170-178.
Van Canneyt, T., Tijskens, E., Ramon, H., Verschoore, R. & Sonck, B. (2003). Characterisation of a potato-shaped instrumented device. *Biosystems Engineering, 86*(3): 275-285.

یازدهمین کنگره ملی مهندسی مکانیک بیوسیستم و ماشین های کشاورزی و مکانیزاسیون ایران