نشریه ماشین‌های کشاورزی
جلد ۶، شماره ۱، نیمسال اول ۱۳۹۵، ص ۲۰۰-۱۸۸

Journal of Agricultural Machinery
Vol. 6, No. 1, Spring - Summer 2016, p. 188-200

ارزیابی انبارمانی سیب گلاب با روش‌های صوتی و نفوذسنجی

محمدرضا بیاتی[۱]- علی رجبی پور[۲]*- حسین مبلی[۳]- افشین ایوانی[۴]- فوزان بدیعی[۵]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۰۹/۰۵
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۱۱/۱۳

چکیده

ارزیابی مدت انبارداری سیب گلاب در چهار گروه شامل سیب‌های سالم و بدون پوشش، سیب‌های سالم و پوشش‌دار با متیل سلولز، سیب‌های ضربه خورده و بدون پوشش و سیب‌های ضربه خورده و پوشش‌دار در طی ده هفته در سردخانه‌ای با دمای ۲ درجه‌ی سلسیوس و ۸۵ درصد رطوبت نسبی (بر پایه‌ی تر) با دو روش غیرمخرب صوتی و مخرب نفوذسنجی مطالعه گردید. پارامترهای صوتی شامل فرکانس طبیعی، شاخص سفتی و ضریب الاستیسیته با ثبت سیگنال‌های صوتی حاصل از ضربه‌ی غیر مخرب یک ضربه‌زن پاندولی توسط میکروفون دستگاه صداسنج و سپس تبدیل آن از حوزه‌ی زمان به حوزه‌ی فرکانس به‌دست آمدند. اندازه‌گیری‌های آزمون نفوذ نیز با استفاده از دستگاه بافت‌سنج و نرم افزار آن انجام گرفت. آزمون‌های مورد اشاره هر هفته صورت می‌پذیرفت. با استفاده از آزمون دانکن در سطح ۵٪ معنی‌دار بودن نتایج مشخص گردید. نتایج نشان داد که پارامترهای صوتی و نفوذسنجی در طی دوره‌ی انبارداری کاهش یافته‌اند. هم‌چنین در یک دوره‌ی انبارداری ثابت، پارامترهای صوتی (فرکانس طبیعی، شاخص سفتی و ضریب الاستیسیته) و سفتی در سیب‌های سالم و پوشش‌دار در مقایسه با سیب‌های ضربه خورده و بدون پوشش به‌ترتیب ۱۴/۲۶٪، ۱۴/۱۱٪، ۱۴٪ و ۴۰/۲٪ افزایش نشان داده‌اند. همبستگی بین پارامترهای صوتی و نفوذسنجی نیز نشان داد که همبستگی بین پارامترهای صوتی در هر یک از چهار گروه سیب‌ها بیش‌تر از همبستگی بین این پارامترها و پارامتر نفوذسنجی است.

واژه‌های کلیدی: آزمون آکوستیک، آزمون نفوذ، آزمون‌های غیرمخرب، بافت‌سنجی، سیب گلاب

مقدمه

سفتی[۶] یکی از خصوصیات داخلی میوه است که در طول انبارداری تغییر می‌کند (Gómez *et al.*, 2005). در پژوهشی از روش صوتی برای تشخیص رقم‌های مختلف سیب استفاده شد. طیف سیگنال ثبت شده به‌وسیله‌ی یک میکروفون ناشی از ضربه‌ی یک چکش سبک به سیب مورد ارزیابی قرار گرفت و با شناسایی ویژگی حاصل از طیف‌های مورد نظر، واریته‌های سیب تشخیص داده شدند (Tiplica *et al.*, 2010). در تحقیقی دیگر ارتباط بین سفتی به‌دست آمده از دو روش آزمون صوتی و آزمون مگنس تیلور[۷] برای دو دو رقم سیب[۸] به‌دست آمد. در این تحقیق معلوم شد نوع رقم و زمان انبارداری بر هم‌بستگی بین این دو اندازه‌گیری تأثیر دارد (Molina-Delgado *et al.*, 2009). در مطالعه‌ای، هم‌زمان با آزمون نفوذ، از انتشار امواج صوتی برای مشاهده‌ی تغییرات کیفیت بافت سیب استفاده شد. این بررسی در طول زمان ماندگاری سیب‌ها بود که در آن سفتی و تغییرات آن تعیین شد. در این بررسی معلوم گردید، پارامترهای صوتی و از جمله انرژی صوتی نسبت به تغییرات فیزیولوژیکی سیب‌ها در طول زمان ماندگاری در انبار، نسبت به پارامترهای مکانیکی تعیین کیفیت سیب، حساس‌ترند (Zdunek *et al.*, 2006). در تحقیقی دیگر با عنوان این‌که بافت سیب سرچشمه از صفت‌های آناتومیک دیواره‌ی سلولی آن دارد، در یک روش ترکیبی صوتی– مکانیکی، ضمن اعمال فشار به سیب، تغییرات بافت آن از طریق امواج صوتی بررسی شد (Costa *et al.*, 2011). در پژوهشی

۱- دانشجوی سابق دکتری، گروه مهندسی ماشین‌های کشاورزی، دانشکده‌ی مهندسی و فناوری کشاورزی، دانشگاه تهران، تهران، ایران
۲- استاد، گروه مهندسی ماشین‌های کشاورزی، دانشکده‌ی مهندسی و فناوری کشاورزی، دانشگاه تهران، تهران، ایران
(*- نویسنده‌ی مسئول: Email: arajabi@ut.ac.ir)
۳- استاد، گروه مهندسی ماشین‌های کشاورزی، دانشکده‌ی مهندسی و فناوری کشاورزی، دانشگاه تهران، تهران، ایران
۴- استادیار پژوهش، موسسه‌ی تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران
۵- دانشیار پژوهش، موسسه‌ی تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران

6- Firmness
7- Magness taylor
8- Royal gala and golden smoothee

دیگر، پژوهشگران دریافتند که با وجود آسیب‌های داخلی در سیب، استفاده از روش صوتی برای تعیین سفتی، غیر قابل اعتماد می‌شود، اما می‌توان از این روش برای نمایش وجود آسیب‌های داخلی میوه استفاده کرد. وجود آسیب‌های داخلی و اندازه و موقعیت آن‌ها بر روی تعداد نقاط اوج در طیف فرکانس عبوری از سیب‌ها در آزمون صوتی تأثیرگذار است (Chen *et al.*, 1995). میزان بلوغ و رسیدگی سیب‌ها[1] در طول فصل رشد و در طی هشت ماه انبارداری در سردخانه با دو روش نفوذسنجی و صوتی ارزیابی شد. در این مطالعه معلوم شد که برای تعیین سفتی میوه‌های نارس، روش نفوذسنجی و برای میوه‌های رسیده، روش اندازه‌گیری پاسخ ضربه‌ی صوتی ایده‌آل است (Duprat *et al.*, 1997). طی تحقیقی از روش ضربه‌ی صوتی برای تعیین رسیدگی سیب‌های گلدن دلیشس در طی فصل رشد و در طی هشت ماه انبارداری در سردخانه استفاده کردند. نتایج آزمون‌های آن‌ها، کاهش ضریب الاستیسیته و سفتی را در طول مدت انبارداری نشان داد (De Belie *et al*., 2000). در پژوهشی دیگر نیز کاهش سفتی و فرکانس طبیعی برای سیب‌های[2] انبار شده در سردخانه‌ای با دمای یک درجه‌ی سلسیوس و رطوبت نسبی ۹۵ درصد گزارش شد. آن‌ها هم‌چنین دریافتند که هم‌بستگی بین پارامترهای صوتی و نفوذسنجی بر حسب نوع رقم و تازگی سیب‌ها تفاوت می‌کند (Duprat *et al.*, 1997). در تحقیقی دیگر دو حسگر غیر مخرب، یکی براساس اصل "پاسخ ضربه‌ی صوتی[3]" و دیگری براساس "ضربه‌ی یک جسم سبک[4]" برای ارزیابی کیفی تعدادی سیب و گوجه‌فرنگی و نیز تعیین سفتی و هم‌بستگی بین آن‌ها در طی فرآیند انبارداری مقایسه شدند. نتایج این محققین نیز کاهش سفتی را در هر دو محصول و با هر دو روش تأیید کرد (De Ketelaere *et al.*, 2006). کاهش سفتی سیب‌ها در تحقیقی دیگر نیز تأیید شد. در این تحقیق سه واریته‌ی سیب در سه مرحله از رسیدگی و در سه زمان مختلف از دوره‌ی انبارداری و با سه روش: حسی، نفوذ و صوتی مورد ارزیابی قرار گرفت. یافته‌های این محققین هم‌چنین معلوم کرد که شاخص سفتی به‌طور معنی‌داری با سفتی بافت سیب مرتبط است (Mehinagic *et al.*, 2006).

از فرکانس تشدید در یک آزمون صوتی برای پیش‌بینی سفتی، تعیین محتوی جامد محلول[5] دو رقم سیب[6] بر روی درخت و در طول عمر مفید سیب‌ها استفاده شد. نتایج آزمایش، پتانسیل حسگرهای آزمون غیر مخرب صوتی را برای پیش‌بینی پارامترهای میوه و تعیین زمان برداشت مطلوب و تعیین کیفیت میوه قابل قبول نشان دادند. (Zude *et al.*, 2006). چند محقق، فرآیند رسیدگی[7] تعدادی میوه و سبزی و از جمله فرآیند رسیدگی سیب را با روش صوتی بررسی کردند. یافته‌های این محققین نشان داد که روش صوتی، روشی غیرمخرب و بسیار دقیق برای اندازه‌گیری میزان سفتی میوه‌ها و سبزی‌ها است. از نتیجه‌ی این آزمون و اندازه‌گیری‌های هم‌زمان شرایط محیطی شامل درجه حرارت و رطوبت نسبی در طول رسیدگی میوه، برای تعیین مدلی برای پیش‌بینی زمان برداشت محصولات مورد آزمون استفاده شد (Felföldi *et al.*, 2010). با توجه به این‌که مهم‌ترین نمایشگر کیفیت میوه سفتی می‌باشد، که وابستگی زیادی با مدول الاستیسیته دارد، در پژوهشی، تغییرات خصوصیت‌های ارتعاشی سیب، شامل مد و فرکانس طبیعی که ناشی از تغییر خصوصیت‌های میوه (مدول الاستیسیته، ضریب پوآسون، چگالی و حجم) می‌باشد، به‌وسیله‌ی روش اجزای محدود آنالیز مودال بررسی شد. نتایج تحقیق نشان داد که فرکانس طبیعی با افزایش مدول الاستیسیته، افزایش و با اضافه شدن چگالی کاهش می‌یابد (Mirzaei *et al.*, 2013). در پژوهشی با استفاده از معنی‌دار نمودن برخی از قانون‌های صوتی و ارتعاشی بر مبنای تکنیک‌های اندازه‌گیری غیرمخرب که بر پایه‌ی واکنش‌های صوتی و فراصوتی بنا شده‌اند، کیفیت داخلی هندوانه با ساخت یک سامانه‌ی صوتی سنجیده شد. یکی از عیب‌های استفاده از سیستم‌های مبتنی بر اصول ضربه و ارتعاش، خطای وارد شده به سیستم در اثر صدای محیط است که به‌طور کامل فیلتر نخواهد شد. این ایراد در سیستم‌هایی که در محدوده‌ی فرکانسی فراصوت ساخته شده‌اند تقریباً از بین می‌رود. نتایج و اطلاعات به‌دست آمده از این تحقیق نشان داد که دستگاه، قابلیت تعیین کیفیت داخلی هندوانه و سایر میوه‌های هم‌خانواده را دارا می‌باشد (Saadatinia *et al.*, 2011). در تحقیقی دیگر برای تعیین رسیدگی دو رقم خربزه (زرد ایوانکی و سوسکی سبز)، از سیستم غیر مخرب پاسخ ضربه‌ی صوتی استفاده شد. در این سیستم از یک پاندول برای تحریک میوه و از یک سیستم ثبت سیگنال‌های صوتی برای ثبت و تحلیل سیگنال‌ها استفاده شد. آزمون‌های حسی و صوتی در پنج مرحله از مراحل رسیدگی خربزه‌ها انجام شد و نتایج آزمون‌ها نشان داد که در طی فرآیند رسیدگی میوه‌ها، مواد جامد محلول افزایش و در همین زمان فرکانس تشدید و مدول الاستیک برای هر دو رقم کاهش داشته‌اند (Khoshnam *et al.*, 2012). در پژوهشی دیگر، روش غیر مخرب ضربه برای تعیین سفتی بافت کیوی مورد ارزیابی قرار گرفت. در این تحقیق از یک لودسل[8] متصل به صفحه‌ی آلومینیومی به‌عنوان ابزار ضربه استفاده شد. شاخص مگنس تیلور به‌عنوان آزمون مخرب مبنا

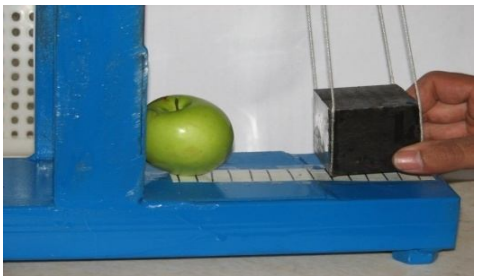
1- Golden delicious
2- Jonalgold apples
3- Acoustic impulse response
4- Low mass impact
5- Soluble Solid Content (SSC)
6- Golden delicious and idared

7- Rippening
8- Load cell

برای بیان سفتی بافت انتخاب گردید. نتایج پژوهش نشان داد که ارتفاع، تأثیر معنی‌داری بر نتایج آزمون ضربه دارد و سفتی بافت در آزمون نفوذ در طول زمان نگه‌داری کاهش می‌یابد (Javadi *et al.*, 2012). سیب گلاب یکی از ارقام خوش عطر و خوش طعم سیب می‌باشد که در عین حال بسیار حساس بوده و دوره‌ی ماندگاری آن پس از برداشت بسیار کوتاه است (Hadian-Deljou and Sarikhani, 2012). لذا هدف از انجام تحقیق حاضر، بررسی ماندگاری سیب گلاب، پس از برداشت در سردخانه و تأثیر پوشش متیل سلولز[1] بر ماندگاری آن در دو حالت سیب‌های سالم و ضربه خورده بود. روش بررسی در این تحقیق، ارزیابی سفتی سیب‌ها با دو روش مخرب نفوذ و روش غیرمخرب صوتی بود.

مواد و روش‌ها

پس از تهیه‌ی سیب‌های گلاب "کهنز" از یکی از باغ‌های شهرستان کرج و انتقال آن‌ها به موسسه‌ی تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی کرج، تعداد ۲۴۰ عدد از آن‌ها انتخاب شدند. نیمی از سیب‌ها توسط دستگاه ضربه‌زن با ضربه‌ی مشخص و کنترل شده (حدود ۱۰ نیوتن) دچار آسیب شدند. در مرحله‌ی بعد نیمی از سیب‌های هر دو گروه (سیب‌های سالم و سیب‌های ضربه خورده) با متیل سلولز پوشش داده شدند. به این ترتیب چهار گروه سیب، مشخص و شماره‌گذاری گردیدند: سیب‌های سالم و بدون پوشش (س ب)، سیب‌های سالم و پوشش‌دار (س پ)، سیب‌های ضربه خورده و بدون پوشش (ض ب)، سیب‌های ضربه خورده و پوشش‌دار (ض پ). دستگاه ضربه‌زن متشکل از یک مکعب فولادی به جرم یک کیلوگرم بود که به‌صورت پاندولی عمل می‌کند (شکل ۱).



شکل ۱– دستگاه ضربه‌زن پاندولی جهت اعمال ضربه‌های کنترل شده برای تخریب بافت سیب

Fig.1. Pendulum impactor for applying controlled impacts for apple tissue destruction

پوشش متیل سلولز یک پوشش خوراکی است که پس از آماده شدن، با فرو بردن یک یک سیب‌ها در درجه حرارت محیط، در آن، سیب‌های پوشش‌دار آماده شدند. پس از آماده شدن سیب‌ها در چهار گروه مورد اشاره، آن‌ها در سردخانه‌ای با دمای دو درجه‌ی سلسیوس و رطوبت نسبی ۸۵ درصد قرار داده شدند. سیب‌های شماره‌گذاری شده در چهار گروه به‌طور هفته‌ای و در طول ۱۰ هفته انبارداری تحت آزمون‌های صوتی و نفوذ قرار گرفتند (ISIRI[2], 1991).

آزمون صوتی

تعیین پارامترهای صوتی

برای انجام آزمون صوتی از یک دستگاه صداسنج مدل B&K2270 ساخت دانمارک ۲۰۰۹ استفاده شد.

شکل ۲– دستگاه صداسنج جهت ثبت سیگنال‌های ناشی از ضربه‌های غیر مخرب به سیب‌ها

Fig.2. Sound analyzer to record signals from non-destructive impacts to apples

این دستگاه شامل یک میکروفون می‌باشد و در یک سمت میوه قرار می‌گیرد. در طرف مقابل توسط دستگاه ضربه‌زن، ضربه‌های غیر مخرب و برای تحریک میوه و ایجاد موج‌های عبوری، به هر سیب وارد شد. سیگنال خروجی از هر سیب در طرف مقابل توسط میکروفون دریافت و در حافظه‌ی دستگاه صداسنج ثبت می‌شد. تعداد ضربه‌های غیرمخرب وارد شده به هر سیب در فاصله‌ی ۱۲۰ درجه از هم در روی قطر استوایی[3] میوه انجام شد (Tiplica *et al.*, 2010). در هر نقطه سه ضربه و در مجموع، نه ضربه به هر سیب اعمال گردید. طیف‌های ذخیره شده در دستگاه صداسنج با نرم افزار FFT analyzer تجزیه و تحلیل و در کامپیوتر از حوزه‌ی زمان به حوزه‌ی فرکانس تبدیل شدند. از مشخصه‌های این موج‌ها برای ارزیابی بعضی از پارامترهای صوتی سیب‌ها (فرکانس طبیعی یا فرکانس غالب[4]، شاخص سفتی[5] و ضریب الاستیسیته[6]) استفاده گردید. فرکانس طبیعی

1- Methylcellulose

2- Institute of Standards and Industrial Research of Iran
3- Equatorial diameter
4- Natural or dominant frequency
5- Firmness index
6- Coefficient of elasticity

هر سیب از روی نمودارهای فرکانس- دامنه تعیین شد. برای این منظور از اولین فرکانس با بزرگ‌ترین دامنه استفاده گردید و این فرکانس با عنوان "فرکانس طبیعی یا غالب" برای سیب مورد آزمون ثبت گردید. برای تعیین سایر پارامترهای صوتی از رابطه‌های زیر استفاده گردید (Cherng *et al.,* 2003):

$$FI = f^2 . m^{2/3} \quad (۱)$$

در این رابطه، FI شاخص سفتی، f فرکانس طبیعی (هرتز) و m جرم میوه (کیلوگرم) می‌باشد. شاخص سفتی یکی از معیارهای تعیین سفتی میوه است.

شاخص بعدی، ضریب الاستیسیته (مدول یانگ) میوه است که وضعیت ارتعاشی میوه‌ی تحت آزمایش را در برابر ضربه‌ی غیرمخرب نشان می‌دهد (Gomez *et al.,* 2005):

$$EI = f^2 . m^{2/3} . \rho^{1/3} \quad (۲)$$

در این رابطه، EI ضریب الاستیسیته و ρ جرم حجمی میوه (گرم بر سانتی‌متر مکعب) است.

برای تعیین جرم میوه‌ها از ترازویی با دقت ۰/۰۱ گرم استفاده شد.

آزمون نفوذ

برای انجام آزمون نفوذ از یک دستگاه بافت‌سنج[1] مدل Hounsfield-H5KS استفاده شد (شکل ۳).

شکل ۳- دستگاه بافت‌سنج برای اندازه‌گیری بافت میوه با روش مخرب

Fig.3. Texture analyzer for determination of texture of fruit with destructive method

در این آزمون مخرب تمامی سیب‌ها با یک پروب به قطر ۶/۴ میلی‌متر و با سرعت ۲۰ میلی‌متر بر دقیقه سوراخ شدند. قبل از آزمون، پوست میوه‌ها در محل ایجاد سوراخ، با چاقوی تیز برداشته شد (Gómez *et al.,* 2005). پس از انجام آزمون، نمودارهای نیرو- تغییر شکل مربوط به هر سیب رسم گردید و از آن‌ها نیروی شکست و تنش مربوط تعیین گردید. میانگین تنش سیب‌ها در هر هفته تعیین و نمودار آن در طول دوره‌ی ۱۰ هفته‌ای انبارداری رسم گردید. داده‌های به‌دست آمده از آزمایش‌ها توسط نرم افزارهای "اکسل ۲۰۰۷" و "اس‌پی‌اس اس۱۶" در قالب آزمایش فاکتوریل با طرح پایه‌ی کاملاً تصادفی مورد تجزیه و تحلیل آماری قرار گرفتند و برای مقایسه‌ی میانگین‌ها از آزمون چند دامنه‌ای دانکن استفاده شد.

نتایج و بحث

جدول ۱ نتایج تجزیه‌ی واریانس اثر متغیرهای مستقل شامل: اثر پوشش، ضربه و زمان و هم‌چنین اثرهای متقابل آن‌ها بر متغیرهای وابسته شامل فرکانس طبیعی، شاخص سفتی و ضریب الاستیسیته و سفتی نفوذ را در سیب‌های مورد آزمون نشان می‌دهد. اثرهای پوشش و زمان در سطح ۵٪ بر تمامی متغیرهای وابسته معنی‌دار شد. اما اثر ضربه و اثرهای متقابل بر متغیرهای وابسته معنی‌دار نشد.

در جدول ۲ نتایج مقایسه‌ی میانگین‌های متغیرهای وابسته شامل فرکانس طبیعی، شاخص سفتی، ضریب الاستیسیته و سفتی، نسبت به زمان‌های مختلف، توسط آزمون دانکن در سطح ۵٪ ارائه شده است. مقادیر جدول نشان‌دهنده‌ی اختلاف معنی‌دار بین متغیرهای وابسته در سطوح مختلف مدت انبارداری است. با ادامه‌ی زمان انبارداری تمام پارامترهای اندازه‌گیری شده تغییر کرده و کاهش یافته‌اند. در این میان اگرچه شاخص‌های صوتی در چهار هفته‌ی آخر زمان انبارداری تغییر معنی‌داری نداشته‌اند اما روند کاهش این شاخص‌ها ادامه یافته است. هم‌چنین در این مدت سفتی بافت نیز تا آخرین هفته‌ی نگه‌داری به‌طور مداوم کاهش داشته است، اما این کاهش در چهار هفته‌ی پایانی در سردخانه معنی‌دار نبوده است. با توجه به داده‌های به‌دست آمده از جدول مقایسه‌ی میانگین‌ها (جدول ۲)، مقادیر فرکانس طبیعی، شاخص سفتی، ضریب الاستیسیته و سفتی بافت به‌ترتیب، به میزان ۶۱٪، ۵۸٪، ۵۸٪ و ۶۳٪ در طول ۱۰ هفته نگه‌داری در سردخانه کاهش داشته‌اند.

کاهش مقادیر ذکر شده در انتهای هفته‌ی ششم که پایان تغییرات معنی‌دار متغیرهای ذکر شده بود به‌ترتیب ۵۵٪، ۴۳٪، ۴۳٪ و ۳۴٪ اندازه‌گیری شدند. با توجه به مطالب گفته شده می‌توان به این نتیجه رسید که برای جلوگیری از افت بیش‌تر کیفیت سیب‌های گلاب، بهتر است آن‌ها را حداکثر تا شش هفته در سردخانه نگه داشت و بعد از آن به مصرف مورد نظر رساند و دیگر این‌که، چون درصد تغییرات پارامترهای صوتی (فرکانس، شاخص سفتی و ضریب الاستیسیته) نسبت به درصد تغییرات پارامتر نفوذسنجی (سفتی بافت) در این مدت بیش‌تر است، این پارامترها، شاخص بهتری برای بررسی و ارزیابی کیفی سیب‌های گلاب در طول نگه‌داری در سردخانه می‌باشند. در مورد کاهش سفتی در مدت انبارداری محققین دیگر نیز در مورد سیب (Masoudi *et al.,* 2007; Zdunec *et al.,* 2008; Molina-Delgado *et al.,* 2009 and Felfoldi and Zsom-Muha, 2010)، گوآوا (Barriga- Telez *et al.,* 2011) و خربزه

1- Texture analyzer

(Taniwaki *et al.*, 2010) به نتایج مشابه دست یافته بودند.

جدول ۱- تجزیه‌ی واریانس متغیرهای اندازه‌گیری شده

Table 1- Analysis of variance of measured variables

منابع تغییرات Sources of variations	درجه‌ی آزادی Degree of freedom	F-value / مقدار F فرکانس طبیعی Natural frequency	شاخص سفتی Firmness index	ضریب الاستیسیته Coefficient of elasticity	سفتی بافت Penetration firmness
پوشش Coating	1	9.074*	16.522*	16.654*	40.216*
ضربه Impact	1	0.446ns	3.892ns	2.781ns	1.391ns
زمان Time	9	44.093*	55.728*	58.225*	6.709*
پوشش× ضربه Impact × Coating	1	3.487ns	3.110ns	2.779ns	2.836ns
پوشش× زمان Time × Coating	9	0.543ns	0.375ns	0.453ns	0.380ns
ضربه× زمان Time × Impact	9	0.395ns	0.548ns	0.605ns	0.150ns
پوشش× ضربه× زمان Time×Impact×Coating	9	0.410ns	0.722ns	0.660ns	0.350ns
خطا Error	200				
کل Total					
ضریب تغییرات، ٪ Coefficient of variation, %	239	18.72	36.12	36.59	49.43

* Significant at level 5% — *معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪

جدول ۲- مقایسه‌ی میانگین متغیرهای اندازه‌گیری شده تحت تأثیر مدت انبارداری

Table 2- Mean comparison of measured variables affected by storage duration

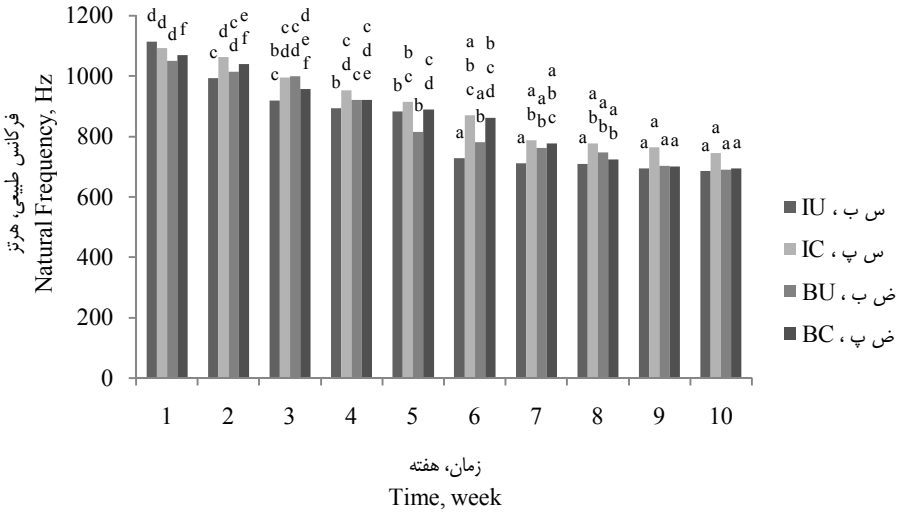
زمان Time (week)	فرکانس Frequency (Hz)	شاخص سفتی Firmness Index ($Hz^2.g^{2/3}$)	ضریب الاستیسیته Coefficient of elasticity $Hz^2.g^{2/3}(g.cm^{-3})^{1/3}$	سفتی بافت Firmness (N mm^{-2})
1	1.8100E3^{e}	2.1018E5^{f}	2.0429E6^{f}	0.2724^{f}
2	1.0266E3^{e}	1.9001E5^{e}	1.8624E6^{e}	0.2135^{e}
3	9.6692E2^{d}	1.5887E5^{d}	1.5369E6^{d}	0.2085^{de}
4	9.2133E2^{cd}	1.4673E5^{cd}	1.4362E6^{cd}	0.2022^{cde}
5	8.7533E2^{c}	1.3835E5^{c}	1.3538E6^{c}	0.1883^{cde}
6	8.1004E2^{b}	1.2000E5^{b}	1.1649E6^{b}	0.1789^{bcde}
7	7.5904E2^{ab}	1.0506E5^{ab}	1.0096E6^{a}	0.1499^{abcd}
8	7.3921E2^{a}	9.7162E4^{a}	9.2796E5^{a}	0.1426^{abc}
9	7.1550E2^{a}	9.1568E4^{a}	9.7667E5^{a}	0.1204^{ab}
10	7.0350E2^{a}	8.8760E4^{a}	8.5326E5^{a}	0.09560^{a}

اختلاف میانگین‌های با حروف مشترک در هر ستون از نظر آماری معنی‌دار نمی‌باشد.

In each column means with the same letter have not significant differences

همان‌گونه که از شکل‌های ۴، ۵ و ۶ براساس آزمون دانکن مشاهده می‌شود، بین شاخص‌های صوتی در گروه‌های چهارگانه‌ی

سیب‌ها در طول زمان انبارداری تفاوت معنی‌داری وجود دارد. اما در چهار هفته‌ی پایانی زمان انبارداری تفاوت معنی‌داری بین این شاخص‌ها در گروه‌های مختلف مشاهده نمی‌شود. روند تغییرات در تمامی شاخص‌ها کاهشی است. این کاهش در چهار هفته‌ی آخر، علی‌رغم معنی‌دار نشدن هم‌چنان ادامه داشته است. بیش‌ترین مقادیر این شاخص‌ها در تمامی گروه‌ها و در تمام طول مدت انبارداری مربوط به گروه سیب‌های سالم و پوشش‌دار است. به‌طور کلی تیمارهای ضربه خورده و عدم پوشش سیب‌ها در طول ۱۰ هفته انبارداری از عامل‌های کم‌تر شدن پارامترهای صوتی نسبت به تیمارهای سالم و با پوشش بوده است. به‌طوری‌که پارامترهای صوتی سیب‌های سالم و پوشش‌دار شامل: شاخص سفتی، فرکانس طبیعی و ضریب الاستیسیته به‌ترتیب به اندازه‌ی ۱۴/۱۱، ۱۴/۲۶ و ۱۴ درصد نسبت به سیب‌های ضربه خورده و بدون پوشش در مدت انبارداری افزایش داشته‌اند. بر طبق تحلیل آماری، اثر ضربه معنی‌دار نشده است اما اثر پوشش معنی‌دار شده است و حتی در سیب‌های ضربه خورده، پوشش در حفظ پارامترهای کیفی و کیفیت سیب‌ها مؤثر بوده است. در واقع پارامترهای صوتی تیمارهای پوشش‌دار، در طول دوره‌ی انبارداری دچار افت کم‌تر شده‌اند که این خود کمک به حفظ کیفیت سیب‌های پوشش‌دار نسبت به سیب‌های بدون پوشش شده است.



س ب (سالم و بدون پوشش)، س پ (سالم و پوشش‌دار)، ض ب (ضربه خورده و بدون پوشش)، ض پ (ضربه خورده و پوشش‌دار)
IU (Intact and uncoated), IC (Intact and coated), BU (Bruised and uncoated), BC (Bruised and coated)

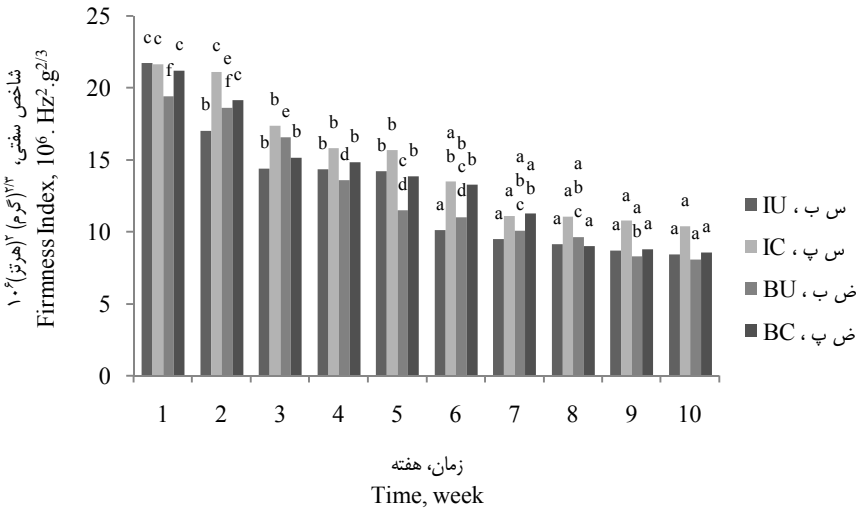
شکل ٤- تغییرات فرکانس طبیعی سیب‌ها در مدت انبارداری

اختلاف میانگین‌های با حروف مشترک در هر گروه از سیب‌ها اختلاف معنی‌دار ندارند.

Fig.4. Natural frequency changes with storage duration
In each group of apples means with the same letter have not significant differences.

محققان رابطه‌ی نزدیک خواص مکانیکی مواد بیولوژیک با ریزساختار این مواد را تأیید نموده‌اند. علاوه بر ساختار دیواره‌ی سلولی، فشار تورژسانس[1] نیز اثر مهمی بر سفتی و مقاومت بافت دارد. در میوه‌ها با از دست رفتن آب، فشار تورژسانس کاهش یافته و در نتیجه بافت پژمرده می‌شود. با کاهش کیفیت درونی میوه در فرآیند انبارداری، به مرور شاخص سفتی که ملاکی از سفتی میوه‌ها به شمار می‌رود کاهش می‌یابد. از طرفی نرم شدن بافت در طی انبارداری میوه، باعث کاهش مدول الاستیسیته که نقش مهمی در تعیین خواص رئولوژیکی مواد ویسکوالاستیک دارد، می‌شود (Nabizadeh and Esmaiili, 2010) نتایج تحقیق حاضر با نتایج Duprat و همکاران (1997)، Mehinagic و همکاران (2006)، Masoudi و همکاران (2007) و نیز Nabizadeh و Esmaiili (2010) در مورد مدول الاستیسیته‌ی سیب مطابقت دارد. هم‌چنین De Belie و همکاران (2000) نتایج مشابهی را در مورد گلابی گزارش نموده‌اند.

1- Turgor pressure

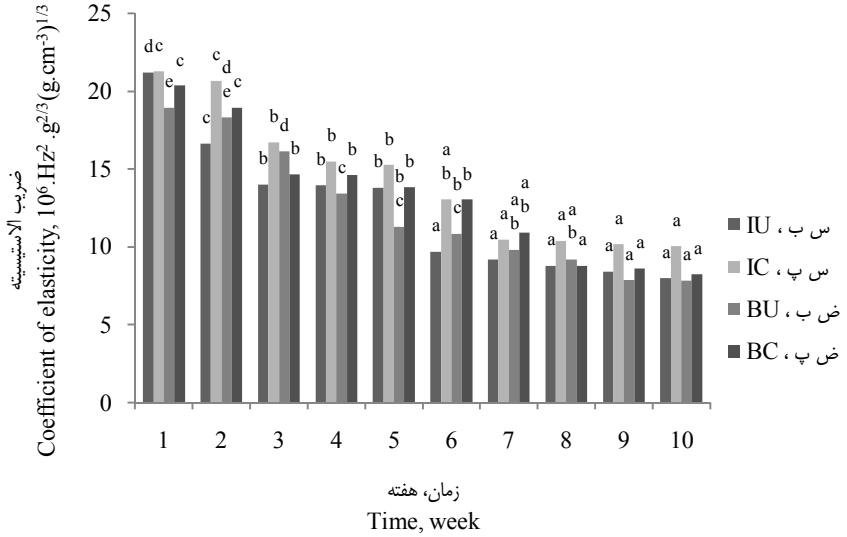


س ب (سالم و بدون پوشش)، س پ (سالم و پوشش‌دار)، ض ب (ضربه خورده و بدون پوشش)، ض پ (ضربه خورده و پوشش‌دار)
IU (Intact and uncoated), IC (Intact and coated), BU (Bruised and uncoated), BC (Bruised and coated)

شکل ۵– تغییرات شاخص سفتی در مدت انبارداری

اختلاف میانگین‌های با حروف مشترک در هر گروه از سیب‌ها اختلاف معنی‌دار ندارند.

Fig.5. Firmness index changes with storage duration
In each group of apples means with the same letter have not significant differences.

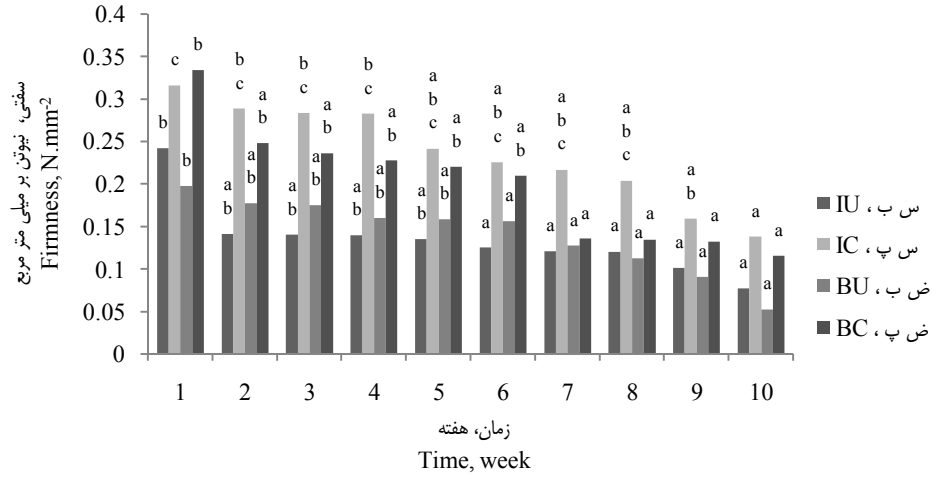


س ب (سالم و بدون پوشش)، س پ (سالم و پوشش‌دار)، ض ب (ضربه خورده و بدون پوشش)، ض پ (ضربه خورده و پوشش‌دار)
IU (Intact and uncoated), IC (Intact and coated), BU (Bruised and uncoated), BC (Bruised and coated)

شکل ٦– تغییرات ضریب الاستیسیته در مدت انبارداری

اختلاف میانگین‌های با حروف مشترک در هرگروه از سیب‌ها اختلاف معنی‌دار ندارند.

Fig.6. Coefficient of elasticity changes with storage duration
In each group of apples means with the same letter have not significant differences.



س ب (سالم و بدون پوشش)، س پ (سالم و پوشش‌دار)، ض ب (ضربه خورده و بدون پوشش)، ض پ (ضربه خورده و پوشش‌دار)
IU (Intact and uncoated), IC (Intact and coated), BU (Bruised and uncoated), BC (Bruised and coated)

شکل ۷- تغییرات سفتی بافت در مدت انبارداری

اختلاف میانگین‌های با حروف مشترک در هر گروه از سیب‌ها اختلاف معنی‌دار ندارند.

Fig.7. Penetration firmness changes with storage duration
In each group of apples means with the same letter have not significant differences.

در آزمون مخرب نفوذ نیز روند تغییرات، مشابه با آزمون غیرمخرب صوتی بود (شکل ۷). همان‌طور که مشاهده می‌شود، در این آزمون مقادیر سفتی با مدت انبارداری روند کاهشی دارند و پوشش‌دار بودن سیب‌ها و سالم بودن آن‌ها عامل بیش‌تر بودن مقاومت به نفوذ در تمامی گروه‌های سیب‌ها است. این حالت در تمام هفته‌های نگه‌داری سیب‌ها در سردخانه علی‌رغم کاهشی بودن آن در تمامی گروه‌ها ادامه داشته است. در این آزمایش هم پوشش باعث حفظ سفتی بیش‌تر سیب‌ها نسبت به بقیه‌ی گروه‌ها و در نتیجه حفظ بهتر خصوصیات کیفی سیب‌ها شده است. پوشش در سیب‌های سالم به‌طور متوسط باعث بهبود ۴۰/۲ درصدی سفتی نسبت به سیب‌های ضربه خورده‌ی بدون پوشش شده است. در یک تحقیق نیز محققین ضمن بررسی بر روی بافت هفت رقم سیب از طریق یک روش صوتی دریافتند که هم‌بستگی بالایی بین بافت سیب‌ها و پارامترهای صوتی وجود دارد و این روش، پیش‌بینی بهتری را از وضعیت بافت سیب به دست می دهد. یافته‌های ایشان هم‌چنین کاهش پارامترهای کیفی سیب‌ها و از جمله نیروی نفوذ را در طول زمان انبارداری نشان داد (Zdunek *et al.*, 2010). یافته‌های پژوهش حاضر در مورد کاهش نیروی نفوذ با نتایج این محققین هم‌خوانی دارد.

نتایج آزمون‌های این تحقیق در شکل‌های ۴، ۵، ۶ و ۷ هم‌چنین نشان می‌دهد شیب سیر نزولی داده‌های مربوط به پارامترهای صوتی، در آزمون غیر مخرب صوتی و به‌خصوص شاخص‌سفتی و ضریب الاستیسیته از شیب مربوط به سیر نزولی داده‌ها، در آزمون نفوذ بیش‌تر است که می‌تواند عاملی برای تشخیص بهتر تغییرات پارامترهای رسیدگی و از جمله سفتی در طول دوره‌ی پس از برداشت میوه باشد.

در جدول ۳، ضریب‌های هم‌بستگی بین پارامترهای صوتی با هم، در آزمون غیرمخرب صوتی و هم‌چنین هم‌بستگی بین این پارامترها با پارامتر نفوذسنجی در آزمون مخرب نفوذ در دو گروه سیب‌های سالم و پوشش‌دار و سیب‌های ضربه خورده‌ی بدون پوشش آورده شده است. به‌طور کلی هم‌بستگی بین پارامترهای صوتی با هم، بیش از هم‌بستگی این پارامترها با پارامتر نفوذسنجی در هر دو گروه سیب‌ها می‌باشد. نتایج این جدول‌ها هم‌چنین نشان می‌دهند که بزرگ‌ترین هم‌بستگی‌ها بین شاخص سفتی و ضریب الاستیسیته با مقدار ۰/۹۹۹ و کم‌ترین هم‌بستگی بین شاخص سفتی و شاخص نفوذسنجی به میزان ۰/۸۶۵ می‌باشد.

نتیجه‌گیری

به‌طور کلی نتایج زیر را می‌توان از این تحقیق به‌دست آورد:

۱- در مدت ده هفته زمان نگه‌داری سیب‌های گلاب در چهار گروه سالم و بدون پوشش متیل سلولز، سالم پوشش‌دار، ضربه خورده‌ی بدون پوشش و ضربه خورده‌ی پوشش‌دار در سردخانه، تمام پارامترهای اندازه‌گیری شده شامل: فرکانس طبیعی، شاخص سفتی، ضریب الاستیسیته و سفتی بافت از خود کاهش نشان دادند. معنی‌دار شدن این کاهش‌ها تا هفته‌ی هشتم بود و بعد از آن علی‌رغم معنی‌دار

نبودن، کاهش هم‌چنان ادامه داشت.

۲- پارامترهای صوتی اندازه‌گیری شده (فرکانس، شاخص سفتی و ضریب الاستیسیته) در سیب‌های سالم و پوشش‌دار نسبت به سیب‌های ضربه خورده و بدون پوشش به‌طور متوسط ۱۴٪ افزایش نشان دادند.

جدول ۳- ضرایب هم‌بستگی بین پارامترهای اندازه‌گیری شده در دو گروه سیب‌ها. الف: سیب‌های ضربه خورده و بدون پوشش ب: سیب‌های سالم و پوشش‌دار

Table 3- Correlation coefficients between measured variables in two groups of apples. A: Bruised and uncoated apples and B: Intact and coated apples

A:

	فرکانس طبیعی Natural frequency (Hz)	شاخص سفتی Firmness index (Hz^2 $g^{2/3}$)	ضریب الاستیسیته Coefficient of elasticity, Hz^2 $g^{2/3}(g\ cm^{-3})^{1/3}$	سفتی بافت Penetration firmness ($N\ mm^{-2}$)
فرکانس طبیعی Natural frequency (Hz)	1			
شاخص سفتی Firmness index (Hz^2 $g^{2/3}$)	0.988	1		
ضریب الاستیسیته Coefficient of elasticity, Hz^2 $g^{2/3}(g\ cm^{-3})^{1/3}$	0.989	0.999	1	
سفتی بافت Penetration firmness ($N\ mm^{-2}$)	0.875	0.865	0.868	1

B:

	فرکانس طبیعی Natural frequency (Hz)	شاخص سفتی Firmness index (Hz^2 $g^{2/3}$)	ضریب الاستیسیته Coefficient of elasticity, Hz^2 $g^{2/3}(g\ cm^{-3})^{1/3}$	سفتی بافت Penetration firmness ($N\ mm^{-2}$)
فرکانس طبیعی Natural frequency (Hz)	1			
شاخص سفتی Firmness index ($Hz^2.g^{2/3}$)	0.991	1		
ضریب الاستیسیته Coefficient of elasticity, $Hz^2.g^{2/3}(g.cm^{-3})^{1/3}$	0.99	0.999	1	
سفتی بافت Penetration firmness ($N\ mm^{-2}$)	0.941	0.904	0.899	1

۳- هم‌چنین این سیب‌ها در آزمون نفوذ نسبت به سیب‌های مورد اشاره از سفتی بیش از ۴۰٪ برخوردار بودند.

۴- با توجه به محسوس‌تر بودن تغییرات پارامترهای صوتی، به‌خصوص پارامترهای شاخص سفتی و ضریب الاستیسیته به علت شیب بیش‌تر سیر نزولی آن‌ها نسبت به سفتی بافت، می‌توان از این آزمون‌ها برای بررسی دقیق‌تر تغییرات سفتی در سیب‌های مورد آزمون، در مدت زمان انبارداری استفاده کرد.

۵- هم‌بستگی بین پارامترهای صوتی بیش‌تر از هم‌بستگی بین این پارامترها با پارامتر نفوذ بود.

سپاس‌گزاری

مجریان تحقیق حاضر و نویسندگان این مقاله، بدین وسیله از همکاری صمیمانه‌ی موسسه‌ی تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی کرج، در فراهم آوردن امکانات اجرایی و آزمایشگاهی این تحقیق سپاس‌گزاری می‌نمایند.

References

1. Barriga-Te´llez, L. M., M. G. Garnica-Romo, J. I. Aranda-Sa´nchez, G. A. Correa, M. C. Bartolome´-Camacho, and H. E. Martı´nez-Flores. 2011. Nondestructive tests for measuring the firmness of guava fruit stored and treated with methyl jasmonate and calcium chloride. International Journal of Food Science and Technology 46: 1310-1315.
2. Chen, H., F. Duprat, M. Grotte, D. Loonis, and E. Pietri. 1995. Influence of the apple deffect on the frequency response spectra during nondestructive acoustic sensing of fruit firmness. International Agrophysics 9: 143-151.
3. Cherng, A. P., and F. Ouyang. 2003. A firmness index for fruits of ellipsoidal shape. Biosystems Engineering 86 (1): 35-44.
4. Costa, F., L. Cappellin, S. Longhi, W. Guerra, P. Magnago, D. Porro, C. Soukoulis, S. Salvi, R. Velasco, F. Biasioli, and F. Gasperi. 2011. Assessment of apple (Malus domestica Borkh.) fruit texture by a combined acoustic-mechanical profiling strategy. Postharvest Biology and Technology 61 (1): 21-28.
5. De Belie, N., S. Schotte, P. Coucke, and J. De Baerdemaeker. 2000. Development of an automated monitoring device to quantify changes in firmness of apples during storage. Postharvest Biology and Technology 18: 1-8.
6. De Ketelaere, B., M. S. Howarth, L. Crezee, J. Lammertyn, K. Viaene, I. Bulens, and J. De Baerdemaeker. 2006. Postharvest firmness changes as measured by acoustic and low-mass impact devices: a comparison of techniques. Postharvest Biology and Technology 41: 275-284.
7. Duprat, F., M. Grotte, E. Pietri, and D. Loonis. 1997. The acoustic impulse response method for measuring the overall firmness of fruit. Journal of Agricultural Enjineering Research 66: 251-259.
8. Felföldi, J., and V. Zsom-Muha. 2010. Investigation of ripening process of fruit and vegetable samples by acoustic method. ISHS Acta Horticulture 858: 393-398.
9. Gómez, A. H., A. G. Pereira, W. Jun, and H. Yong. 2005. Acoustic testing for peach fruit ripeness evaluation during peach storage stage. Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias 14 (2): 28-34.
10. Gómez, A. H., J. Wang, and A. G. Pereira. 2005. Impulse response of pear fruit and its relation to Magness-Taylor firmness during storage. Postharvest Biology and Technology 35: 209-215.
11. Hadian-Deljou, M., and H. Sarikhani. 2012. Effect of salicylic acid on maintaining post-harvest quality of apple cv. "Golabe-Kohanz". Journal of Crops Improvement 14 (2): 71-82. (In Farsi).
12. Institute of Standards and Industrial Research of Iran (ISIRI). 1991. Code of practice of for cold storage of apples. 1st Revision, 4th Edition, ISIRI number 946. (In Farsi).
13. Javadi, S., S. M. Nassiri, A. Jafari, and A. Salehi. 2012. Determination of texture of Kiwifruit using impact nondestructive method. The 7th National Coference on Agricultural Machinery Enginnering and Mechanization, Shiraz, Iran. (In Farsi).
14. Khoshnam, F., H. Mobli, S. R. Hassan Beygi, A. Rajabipour, Sh. Rafiee, and A. Eyvani. 2012. Melon ripeness detection using non-destructive acoustic impulse response. Journal of Agricultural Engineering Research 13 (3). (In Farsi).
15. Masoudi, M., A. Tabatabaeefar, and A. M. Borghaee. 2007. Determination of storage effect on mechanical properties of apples using the uniaxial compression test. Canadian Biosystems Engineering 49 (3): 29-33.
16. Mehinagic, E., G. Royer, R. Symoneaux, and F. Jourjan. 2006. Relationship between apple sensory attribute and instrumental parameter of texture. Journal of Fruit and Omamental Plant Research 14 (2): 25-37.
17. Mirzaei, R., S. Minaei, and M. H. Khoshtagaza. 2013. Investigation of apple characteristics using Finite Element Modal analysis. Journal of Agricultural Machinery 3 (1): 48-57.
18. Molina-Delgado, D., S. Alegre, P. Barreiro, C. Valero, M. Ruiz-Altisent, and I. Recasens. 2009. Addressing potential sources of variation in several non-destructive techniques for measuring firmness in apples. Biosystems Engineering 104: 33-46.
19. Molina-Delgado, D., S. Alegre, J. Puy, and I. Recasens. 2009. Relationship between acoustic firmness and Magness Taylor firmness in Royal Gala and Golden Smoothee apples. Food Science and Technology International 31-40.
20. Nabizadeh, F., and M. Esmaiili. 2010. Changes on Texture of Golden Delicious Apple during Storage in

a Commercial Cooling Room Affected by Harvesting Date. Journal of Food Research 20 (2): 33-43. (In Farsi).
21. Saadatinia, M., B. Emadi, and H. Sadrnia. 2011. Design, development andevaluation of system for determination of watermelon maturity on the base of acoustic ecitation. The 1st National Conference in Agricultural Mechnization and New Technologies, Ahvaz, Iran. (In Farsi).
22. Taniwaki, M., M. Tohrob, and N. Sakurai. 2010. Measurement of ripening speed and determination of the optimum ripeness of melons by a nondestructive acoustic vibration method. Postharvest Biology and Technology 56: 101-103.
23. Tiplica, T., P. Vandewalle, S. Verron, C. Grémy-Gros, and E. Mehinagic. 2010. Identification of apple varieties using acoustic measurements. International Metrology Conference CAFMET Cairo, Egypt.
24. Zdunek, A., J. Cybulska, D. Konopacka, and K. Rutkowski. 2010. New contact acoustic emission detector for texture evaluation of apples. Journal of Food Engineering 99: 83-91.
25. Zdunek, A., and R. Ranachowski. 2006. Acoustic emission in puncture test of apples during shelf-life. Electronic Journal of Polish Agricultural Universities 9 (4).
26. Zude, M., B. Herold, J. M. Roger, V. Bellon Maurel, and S. Landahl. 2006. Non-destructive tests on the prediction of apple fruit flesh firmness and soluble solids content on tree and in shelf life. Journal of Food Engineering 77 (2): 254-260.
27. Zdunek A., L. Frankevych, K. Konstankiewicz, and Z. Ranachowski. 2008. Comparison of puncture test, acoustic emission and spatial-temporal speckle correlation technique as methods for apple quality evaluation. Acta Agrophysica 11 (1): 303-315.

Journal of Agricultural Machinery
Vol. 6, No. 1, Spring - Summer 2016, p. 188-200

نشریه ماشین‌های کشاورزی
جلد ۶، شماره ۱، نیمسال اول ۱۳۹۵، ص ۲۰۰-۱۸۸

Storability evaluation of Golab apple with acoustic and penetration methods

M. R. Bayati[1]- A. Rajabipour[2*]- H. Mobli[3]- A. Eyvani[4]- F. Badii[5]

Received: 26-11-2013
Accepted: 02-02-2014

Introduction: Apple fruit (*Mauls domestica* Borkh, Rosaceae) after citrus fruits, grape and banana, is the fourth important fruit in the world and is considered the most important fruit of temperate regions. In terms of trade volume, Iran is fourth producer and 17th exporter in the world. Among Iranian cultivars of apple fruit, known as "Golab apple". Golab apple is one of the fragrant and tasty varieties and meanwhile is very sensitive and also its period of the postharvest shelf life is very short. In a study, the firmness of pear fruit during 4 weeks of storage was monitored using non-destructive impulse response (I-R) and destructive Magness-Taylor (M-T) puncture tests. The results of this study showed that the dominant frequency, stiffness coefficient and elasticity coefficient as a function of time could be expressed as a decreasing linear function (Gómez *et al.,* 2005). Tiplica *et al.,* (2010), showed that acoustic measurement can be a useful tool to discriminate different apple batches with a low error rate. Starting from the spectrum of the signal recorded by a microphone after the impact of a small hammer on the fruit, 18 key features were identified and used for the classification of apples belonging to 10 different varieties. The study aimed to evaluate apple firmness measured using both the penetrometer and acoustic methods. The methodologies were applied to Royal Gaya and Golden Smoothee apples harvested from 12 different orchards in Catalonia (Spain), on six different dates, and over three seasons. The results obtained showed a noticeable correlation between Magness Taylor firmness and acoustic measurements in Royal Gala, but no correlation was found for Golden Smoothee. In this study, also, acoustic measurements seemed to be a good tool for evaluating changes in tissue firmness during long-term storage (Molina-Delgado *et al.,* 2009). In another study, it was presented a novel approach based on the simultaneous profiling of the mechanical and acoustic response of the flesh tissue to compression, using a texture analyzer coupled with an acoustic device. The methodology was applied to a 86 different apple cultivars, measured after two months postharvest cold storage and characterised by 16 acoustic and mechanical parameters. The results demonstrate the good performance of our combined acoustic-mechanical strategy in measuring apple crispness as it is perceived by human senses (costa *et al*, 2011). Hence, present study was about postharvest durability evaluation of this apple in cold storage and effect of methylcellulose coating on durability of this sensitive apple for both intact and damaged ones.

Materials and Methods: After obtaining Golab apples, from one of the gardens of Karaj (Alborz province, Iran), 240 of them were selected. Our aim in this study was to evaluate the firmness of apples with two methods: penetration (destructive) and acoustic (non destructive). The tests were performed in Agricultural Engineering Research Institute in Karaj. Firmness is one of the fruit characteristics that changes during storage. In present study, this characteristic of the apple fruit was assessed by two mentioned methods. Half of the apples were damaged with identified and controlled impact. In the next stage, another half of apples in both groups (the intact apples and the bruised apples) were coated with methylcellulose. Effect storage on apple in four groups, including: Intact and uncoated apples, intact and coated (with methylcellulose) apples, bruised and uncoated apples and bruised and coated apples during about ten weeks of cold storage at 2˚C and 85% RH was studied by the acoustic and the penetration tests. Acoustic parameters including: natural frequency, firmness index, elasticity coefficient were measured by recording audio signals resulting from non destructive impacts of a pendulum using a sound analyzer microphone and then the conversion of those parameters were performed from the time domain to the frequency domain by the corresponding formulas and software. Penetration test measurements were performed using a texture analyzer and its software. The tests were carried out every week. Statistical analysis of the results was carried out using Excel 2007 and SPSS 16 software and the significance of

1- Former Ph. D. Student of Agricultural Machinery Mechanics, University of Tehran, Tehran, Iran
2- Professor, Department of Agricultural Machinery Engineering, University of Tehran, Tehran, Iran
3- Professor, Department of Agricultural Machinery Engineering, University of Tehran, Tehran, Iran
4- Research Assistant Professor, Agricultural Engineering Research Institute (AERI), Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran
5- Research Associate Professor, Agricultural Engineering Research Institute (AERI), Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran
(*- Corresponding Author Email: arajabi@ut.ac.ir)

the results was determined using Duncan's test at the 5% confidence level.

Results and Discussion: Analysis of variance showed effect of independent variables including: effects of coating, impact and time and also interaction effects on dependent variables including: natural frequency, acoustic index and modulus of elasticity and penetration index on the tested apples. Effects of coating and time were significant at the 5% confidence levelon all dependent variables. But the impact and interaction effect were not significant on dependent variables (Table 1). In general, bruise and lack of coating on the apples during the 10 weeks of storage, were reduced acoustic parameters. In the penetration test, changes were similar to acoustic test (Table 2). In this test, all curves have downward trend and combination of independent variables: coated and intact apples were reasons of more penetration resistance of apples in all of the groups. The condition was continued until the end of storage time, despite of the downwards slopped curves in all groups. In penetration test, coated apples keep more firmness than other groups (groups of apples without coating) and thus the apple's quality would stay better, too (Fig.7).

Conclusions: In general, the following results were obtained from this research: The results showed that the acoustic and penetration parameter were decreased during 10 weeks of storage. Reduction of these parameters continued until the end of storage period, but this reduction was significant only up to eighth week. Also at this time, the acoustic parameters (natural frequency, firmness index, elasticity coefficient) and penetration firmness in intact and coated apples were 14.26%, 4.11%, 14% and 40% respectively higher compared to other apples. Due to the more tangible acoustic parameters changes, especially acoustic index and modulus of elasticity (having the more slope than the penetration firmness). One could use acoustic tests for more accurate evaluation of apples firmness and quality changes. Finding correlation between acoustic parameters and penetration parameter showed that, correlation between acoustic parameters in each case is greater than correlation between these parameters with penetration parameter.

Keywords: Acoustic test, Golab apple, Non destructive tests, Texture analyzer