

ارزیابی انبارمانی سیب گلاب با دو روش آکوستیکی و نفوذسنجی

محمد رضا بیاتی^۱ علی رجبی پور^{۱*} حسین مبلی^۱ افشین ایوانی^۲ فوژان بدیعی^۲

۱- به ترتیب دانشجوی دکتری و اساتید گروه مهندسی ماشین‌های کشاورزی دانشکده‌ی مهندسی و فناوری کشاورزی دانشگاه تهران، کرج، ایران arajabi@ut.ac.ir

۲- به ترتیب استادیار پژوهش بخش مهندسی مکانیک ماشین‌های کشاورزی و مکانیزاسیون و دانشیار پژوهش بخش مهندسی صنایع غذایی و فن‌آوری‌های پس از برداشت، موسسه‌ی تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، کرج، ایران

چکیده

اثر انبارداری سیب گلاب در چهار گروه سیب‌های سالم و بدون پوشش، سالم و پوشش‌دار، ضربه خورده و بدون پوشش و ضربه خورده و پوشش‌دار در طی ده هفته در سردخانه‌ای با درجه حرارت ۲ درجه‌ی سانتی‌گراد و ۸۵ درصد رطوبت با دو روش آکوستیکی و نفوذسنجی بررسی گردید. پارامترهای آکوستیک و نفوذسنجی شامل فرکانس طبیعی، شاخص سفتی، ضریب الاستیسیته و سفتی نفوذ اندازه‌گیری و ارزیابی شدند. کلیه‌ی نتایج حاصل با استفاده از نرم افزارهای "اکسل ۲۰۰۷" و "اس پی اس اس ۱۶" مورد مطالعه‌ی آماری قرار گرفت. با استفاده از آزمون دانکن در سطح ۵٪ معنی‌دار بودن نتایج بررسی گردید. نتایج نشان داد که پارامترهای آکوستیکی و نفوذسنجی در طی دوره‌ی انبارداری کاهش داشته اند هم‌چنین پارامترهای آکوستیکی و نفوذسنجی در سیب‌های سالم و پوشش‌دار در مقایسه با سیب‌های ضربه خورده و بدون پوشش به ترتیب و به‌طور متوسط ۱۴٪ و ۴۰٪ افزایش نشان دادند.

واژه‌های کلیدی: آزمون‌های غیر مخرب، بافت سنجی، سیب گلاب

مقدمه

سیب گلاب یکی از ارقام خوش عطر و خوش طعم سیب می‌باشد که در عین حال بسیار حساس است و دوره‌ی ماندگاری آن پس از برداشت بسیار کوتاه است. لذا تحقیق حاضر بر این مبنی استوار بود که ماندگاری این سیب، پس از برداشت در سردخانه مورد بررسی قرار گیرد و تاثیر پوشش متیل سلولز بر ماندگاری این سیب حساس در دو حالت سیب‌های سالم و ضربه خورده ارزیابی شود. روش بررسی در این تحقیق، ارزیابی سفتی سیب‌ها با دو روش مخرب نفوذسنجی و روش غیر مخرب آکوستیکی بود. آزمایش‌ها در موسسه‌ی تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی در کرج انجام گرفتند. داده‌های به‌دست آمده از آزمایش‌ها توسط نرم افزارهای "اکسل ۲۰۰۷" و "اس پی اس اس ۱۶" مورد تجزیه و تحلیل آماری قرار گرفتند.

سفتی^۱ یکی از خصوصیات داخلی میوه است که در طول انبارداری تغییر می کند (Gómez *et al.*, 2005). در پژوهشی با استفاده از اندازه‌گیری آکوستیکی برای تشخیص واریته‌های مختلف سیب استفاده شد. در این مطالعه طیف سیگنال ثبت شده به وسیله‌ی یک میکروفون ناشی از ضربه‌ی یک چکش سبک به سیب مورد ارزیابی قرار گرفت. و با شناسایی ۱۸ ویژگی از روی طیف‌های مورد نظر، واریته‌های سیب تشخیص داده شدند (Tiplica, *et al.* 2010). در پژوهشی دیگر ارتباط بین سفتی به دست آمده از دو روش آزمون آکوستیکی و آزمون مگنس تیلور^۲ در دو رقم سیب^۳ به دست آمد (Molina-Delgado, *et al.* 2009). در این تحقیق معلوم شد نوع رقم و زمان انبارداری بر روی همبستگی بین این دو اندازه‌گیری تاثیر دارد. در مطالعه‌ای، هم‌زمان با آزمون نفوذ، از انتشار امواج آکوستیک 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 آکوستیکی و از جمله انرژی آکوستیکی نسبت به تغییرات سیب‌ها در طول زمان ماندگاری در انبار، نسبت به پارامترهای مکانیکی تعیین کیفیت سیب، حساس ترند (Zdunek and Ranachowski, 2006). در تحقیقی دیگر با عنوان این که بافت سیب سرچشمه از صفات آناتومیک دیواره‌ی سلولی آن دارد، در یک روش ترکیبی آکوستیکی - مکانیکی، ضمن اعمال فشار به سیب، تغییرات بافت آن از طریق امواج آکوستیکی بررسی شد (Costa, *et al.* 2011). در پژوهشی دیگر، پژوهشگران دریافتند که با وجود آسیب‌های داخلی در سیب، استفاده از روش آکوستیکی برای تعیین سفتی، غیر قابل اعتماد می شود. 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 سیب-ها در آزمون آکوستیک تاثیر گذار است (Chen, *et al.* 1995). میزان بلوغ و رسیدگی سیب‌ها^۴ در طول فصل رشد و در طی ۸ ماه انبارداری در سردخانه با دو روش نفوذسنجی و آکوستیکی ارزیابی شد. در این مطالعه معلوم شد که برای تعیین سفتی میوه‌های نارس، روش نفوذسنجی و برای میوه‌های رسیده، روش (اندازه‌گیری پاسخ ضربه‌ی آکوستیک) ایده‌آل است (Duprat, *et al.*, 1997). از فرکانس تشدید در یک آزمون آکوستیک برای پیش‌بینی سفتی، تعیین محتوی جامد محلول^۵ دو رقم سیب^۶ بر روی درخت و در طول عمر مفید سیب‌ها استفاده شد. نتایج آزمایش، پتانسیل حس گره‌های آزمون غیر مخرب آکوستیکی را برای پیش-بینی پارامترهای میوه و تعیین زمان برداشت مطلوب و تعیین کیفیت میوه قابل قبول نشان دادند (Zude, *et al.*, 2006). چند

¹ Firmness

² Magness Taylor

³ Royal Gala and Golden Smoothee

⁴ Golden Delicious

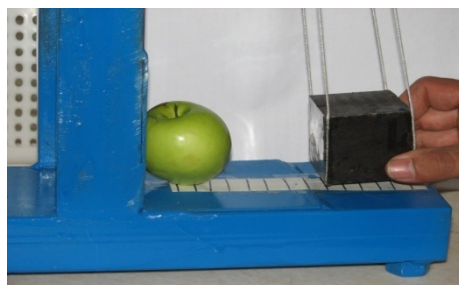
⁵ Soluble Solid Content (SSC)

⁶ Golden Delicious and Idred

محقق بر روی فرآیند رسیدگی^۱ تعدادی میوه و سبزی و از جمله سیب با روش آکوستیکی مطالعه‌ای صورت دادند و تکرارپذیری این روش را بررسی کردند. این محققین دریافتند این روش امکان بسیار خوب و دقیقی برای اندازه‌گیری سفتی است که تکرارپذیری آن نیز بر روی محصولات کشاورزی، غیر مخرب است. از نتیجه‌ی این آزمون و اندازه‌گیری‌های هم‌زمان شرایط محیطی شامل درجه حرارت و رطوبت نسبی در طول رسیدگی میوه، برای تعیین مدلی برای پیش بینی زمان برداشت محصولات مورد آزمون استفاده شد (Felföldi and Zsom-Muha, 2010).

مواد و روش‌ها

پس از تهیه‌ی سیب‌های گلاب که هنوز از یکی از باغ‌های شهرستان کرج، تعداد ۲۴۰ عدد از آن‌ها عدد انتخاب شدند. نیمی از سیب‌ها توسط دستگاه ضربه‌زن با ضربه‌ی مشخص و کنترل شده دچار آسیب شدند. در مرحله‌ی بعد نیمی از سیب‌های هر دو گروه (سیب‌های سالم و سیب‌های ضربه خورده) با متیل سلولز پوشش داده شدند. با این ترتیب چهار گروه سیب، مشخص و شماره گذاری 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 است که به صورت پاندولی عمل می‌کند.



شکل ۱. دستگاه ضربه‌زن پاندولی

پس از آماده شدن سیب‌ها در چهار گروه مورد اشاره، آن‌ها در سردخانه‌ای با دمای ۲ درجه‌ی سانتی‌گراد 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 سنجی قرار گرفتند.

آزمون آکوستیک

^۱ Rippening

تعیین پارامترهای آکوستیکی

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



شکل ۲. دستگاه صداسنج

این دستگاه شامل یک میکروفون می باشد و در یک سمت میوه قرار می گیرد. در طرف مقابل توسط دستگاه ضربه زن، ضربات غیر مخرب و برای تحریک میوه و ایجاد امواج عبوری به هر سیب وارد شد. سیگنال خروجی از هر سیب در طرف مقابل توسط میکروفون دریافت و در حافظه‌ی دستگاه صدا سنج ثبت می شد. تعداد ضربه‌های غیر مخرب وارد شده به هر سیب در فاصله‌ی ۱۲۰ درجه از هم در روی قطر استوایی^۱ میوه انجام شد (Tiplica, et al. 2010). در هر نقطه ۳ ضربه و در مجموع ۹ ضربه به هر سیب اعمال گردید. طیف‌های ذخیره شده در دستگاه صدا سنج با نرم افزار FFT analyzer تجزیه و تحلیل و در کامپیوتر از حوزه‌ی زمان به حوزه‌ی فرکانس تبدیل شدند. از مشخصه‌های این امواج برای ارزیابی بعضی از خصوصیات فیزیکی سیب‌ها و از جمله تعیین پارامترهای صوتی سیب‌ها استفاده گردید. فرکانس طبیعی هر سیب از روی نمودارهای فرکانس- دامنه تعیین شدند. برای این منظور از اولین فرکانس با بزرگ‌ترین دامنه استفاده گردید و این فرکانس با عنوان "فرکانس طبیعی یا غالب"^۲ سیب مورد آزمون ثبت گردید. برای تعیین سایر پارامترهای صوتی از رابطه‌های زیر استفاده گردید (Cherng and Ouyang, 2003):

$$FI = f^2 \cdot m^{2/3} \quad (1)$$

¹ Equatorial Diameter

² Natural or Dominant Frequency

در این رابطه، FI ، شاخص سفتی^۱ (آکوستیک)، f ، فرکانس غالب (هرتز) و m جرم میوه (کیلو گرم) می باشد. 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 می دهد:

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

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

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

آزمون نفوذ

برای انجام آزمون نفوذسنجی از دستگاه بافت سنج^۲ مدل Hounsfield-H5KS استفاده شد.



شکل ۳. دستگاه بافت سنج (اینستران)

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

¹ Firmness Index

² Texture Analyzer

هفته تعیین و نمودار آن در طول دوره‌ی ۱۰ هفته ای انبارداری رسم گردید. برای تحلیل داده‌ها از نرم افزار اس پی اس ۱۶ در قالب طرح بلوک کامل تصادفی استفاده گردید.

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 سنجی را در سبب‌های 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.

جدول ۱. تجزیه‌ی واریانس

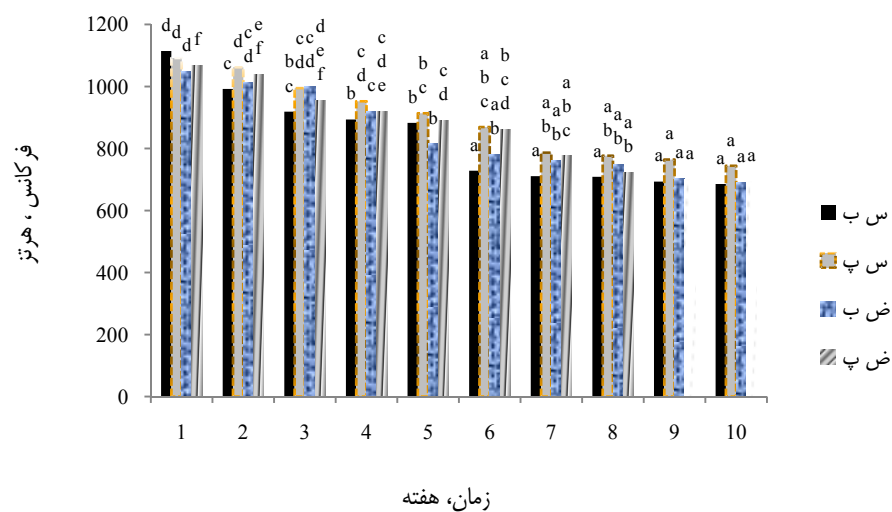
میانگین مربعات				درجه‌ی آزادی	منابع تغییر
سفتی نفوذ سنجی	ضریب الاستیسیته	شاخص سفتی	فرکانس		
۰/۱۹۱*	۱/۱۹۴E۱۲*	۱/۲۶۳E۱۰*	۹۰۳۶۵/۲۰۴*	۱	پوشش
۰/۰۰۷ ^{ns}	۱/۱۹۴E۱۱ ^{ns}	۲/۹۷۵E۹ ^{ns}	۴۴۴۶/۲۰۴ ^{ns}	۱	ضربه
۰/۰۳۲*	۴/۱۷۴E۱۲*	۴/۲۵۹E۱۰*	۴۳۹۱۰۸/۹۲۶*	۹	زمان
۰/۰۱۳ ^{ns}	۱/۹۹۲E۱۱ ^{ns}	۲/۳۷۷E۹ ^{ns}	۳۴۷۲۸/۲۰۴ ^{ns}	۹	پوشش*ضربه
۰/۰۰۲ ^{ns}	۳/۲۴۹E۱۰ ^{ns}	۲/۸۶۹E۸ ^{ns}	۵۴۰۸/۲۶۰ ^{ns}	۹	پوشش*زمان
۰/۰۰۱ ^{ns}	۴/۳۳۷E۱۰ ^{ns}	۴/۱۹۰E۸ ^{ns}	۳۹۲۹/۶۳۰ ^{ns}	۹	ضربه*زمان
۰/۰۰۲ ^{ns}	۴/۷۳۲E۱۰ ^{ns}	۵/۵۱۶E۸ ^{ns}	۴۰۸۱/۴۶۳ ^{ns}	۹	پوشش*ضربه*زمان

جدول ۲. مقایسه‌ی میانگین اثر زمان بر پارامترهای اندازه گیری شده

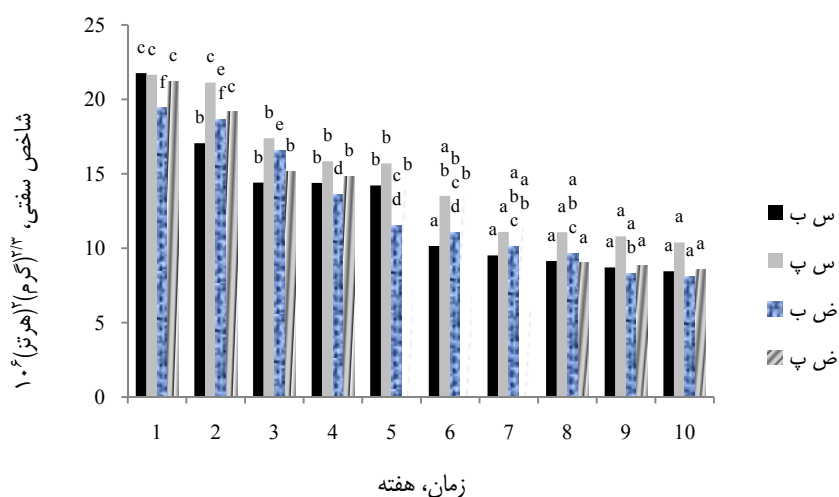
زمان، هفته	فرکانس، هرترز	شاخص سفتی، $(\text{گرم})^{2/3}$ (هرترز)	ضریب الاستیسیته، $(\text{سانتیمتر مکعب/گرم})^{2/3}$ (گرم) ^۲ (هرترز)	بافت سنجی، نیوتن بر میلی متر مربع
۱	۱/۰۸۱۰E۳ ^c	۲/۱۰۱۸E۵ ^f	۲/۰۴۲۹E۶ ^f	۰/۲۷۲۴ ^f
۲	۱/۰۲۶۶E۳ ^c	۱/۹۰۰۱E۵ ^e	۱/۸۶۲۴E۶ ^e	۰/۲۱۳۵ ^e
۳	۹/۶۶۹۲E۲ ^d	۱/۵۸۸۷E۵ ^d	۱/۵۳۶۹E۶ ^d	۰/۲۰۸۵ ^{de}
۴	۹/۲۱۳۳E۳ ^{cd}	۱/۴۶۷۳E۵ ^{cd}	۱/۴۳۶۲E۶ ^{cd}	۰/۲۰۲۲ ^{cde}
۵	۸/۷۵۳۳E۲ ^c	۱/۳۸۳۵E۵ ^c	۱/۳۵۳۸E۶ ^c	۰/۱۸۸۳ ^{cde}
۶	۸/۱۰۰۴E۲ ^b	۱/۲۰۰۰E۵ ^b	۱/۱۶۴۹E۶ ^b	۰/۱۷۸۹ ^{bcde}
۷	۷/۵۹۰۴E۲ ^{ab}	۱/۰۵۰۶E۵ ^{ab}	۱/۰۰۹۶E۶ ^a	۰/۱۴۹۹ ^{abcd}

۰/۱۴۲۶ ^{abc}	۹/۲۷۹۶E۵ ^a	۹/۷۱۶۲E۴ ^a	۷/۳۹۲۱E۳ ^a	۸
۰/۱۲۰۴ ^{ab}	۹/۷۶۶۷E۵ ^a	۹/۱۵۶۸E۴ ^a	۷/۱۵۵۰E۳ ^a	۹
۰/۰۹۵۶ ^a	۸/۵۳۲۶E۵ ^a	۸/۸۷۶۰E۴ ^a	۷/۰۳۵۰E۳ ^a	۱۰

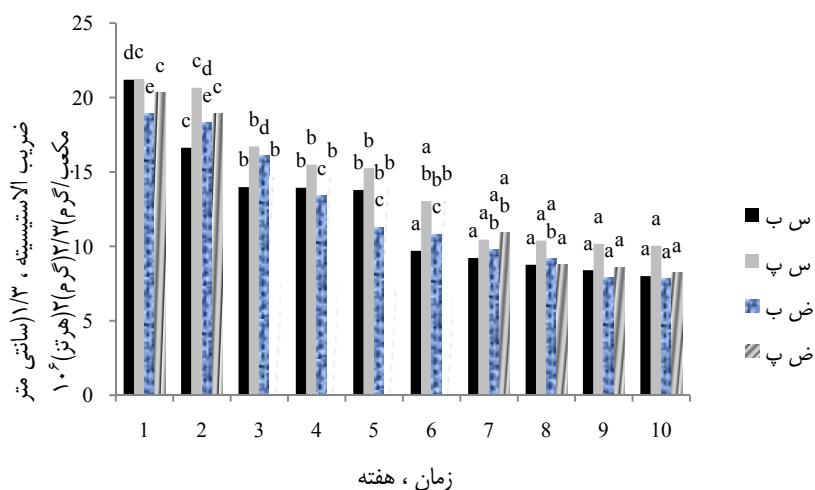
در جدول ۲ که مقایسه‌ی میانگین‌های متغیرهای وابسته (فرکانس طبیعی، شاخص سفتی، ضریب الاستیسیته و سفتی نفوذسنجی) نسبت به زمان‌های مختلف است و توسط آزمون دانکن در سطح ۵٪ انجام گرفته است، نشان دهنده‌ی اختلاف معنی دار متغیرهای وابسته در سطوح مختلف زمان انبارداری است. با ادامه‌ی زمان انبارداری تمام پارامترهای اندازه‌گیری شده تغییر کرده و کاهش یافته‌اند. در این میان اگر چه شاخص‌های آکوستیکی در سه هفته‌ی آخر زمان انبارداری تغییر معنی‌داری نداشته‌اند اما روند کاهش این شاخص‌ها ادامه یافته است. همچنین در این مدت سفتی حاصل از آزمون نفوذسنجی کاهش معنی‌دار خود را تا آخرین هفته نگهداری ادامه داده است.



شکل ۴. تغییرات فرکانس در طول زمان انبارداری



شکل ۵. تغییرات شاخص سفتی در طول زمان انبارداری



شکل ۶. تغییرات ضریب الاستیسیته در طول زمان انبارداری

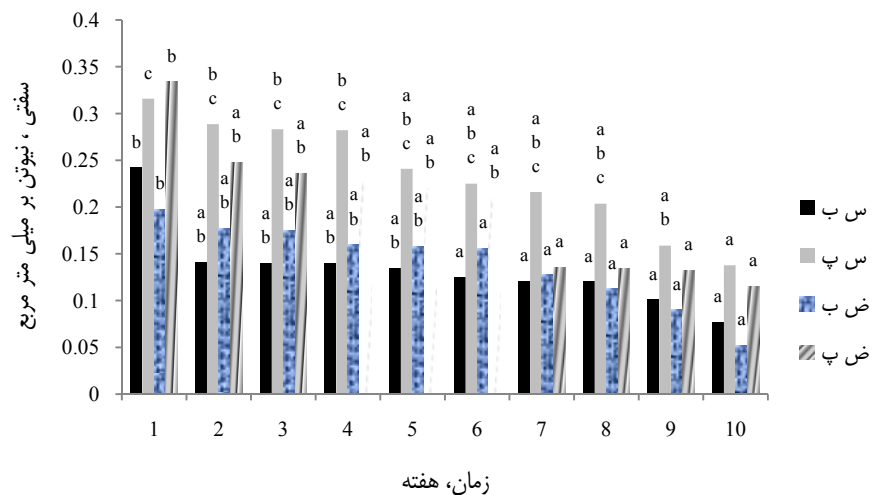
همان‌گونه که از شکل های ۴ ، ۵ و ۶ بر اساس آزمون دانکن مشاهده می شود، شاخص‌های آکوستیکی در گروه‌های چهار گانه‌ی سیب‌ها در طول زمان انبارداری و در هشت هفته‌ی اول تفاوت معنی‌داری وجود دارد. اما در دو هفته‌ی پایانی زمان انبارداری تفاوت معنی‌داری بین این شاخص‌ها در گروه‌های مختلف مشاهده نمی شود. روند تغییرات در تمامی شاخص‌ها کاهشی است. این کاهش در دو هفته‌ی آخر علی‌رغم معنی دار نشدن هم‌چنان ادامه داشته است. بیش‌ترین مقادیر این شاخص‌ها در تمامی گروه‌ها و در تمام طول مدت زمان انبارداری مربوط به گروه سیب‌های سالم و پوشش‌دار است. به‌طور کلی متغیرهای ضربه‌خوردگی و عدم

پوشش سیب‌ها در طول ۱۰ هفته انبارداری از عامل‌های کم‌تر شدن پارامترهای آکوستیکی نسبت به افزایش این شاخص‌ها با وجود متغیرهای سالم بودن و پوشش‌دار بودن سیب‌ها شده است. پارامترهای آکوستیکی سیب‌های سالم و پوشش‌دار شامل: شاخص سفتی، فرکانس طبیعی و ضریب الاستیسیته به ترتیب به اندازه‌ی ۱۴/۱۱، ۱۴/۲۶ و ۱۴ درصد در مدت انبارداری افزایش داشته‌اند. در تحقیقی از روش ضربه‌ی آکوستیکی برای تعیین رسیدگی سیب‌های گلدن دلشس در طی فصل رشد و در طی ۸ ماه انبارداری در سردخانه استفاده شد. نتایج این تحقیق، کاهش ضریب الاستیسیته و سفتی را در طول مدت انبارداری نشان داد (De Belie *et al.*, 2000). از نتایج پژوهشی دیگر، کاهش سفتی و فرکانس سیب‌های^۱ انبار شده در سردخانه‌ای با دمای یک درجه‌ی سانتی‌گراد و رطوبت نسبی ۹۵ درصد به دست آمد. نتایج تحقیق همچنین نشان داد که همبستگی بین پارامترهای آکوستیکی و نفوذسنجی بر حسب نوع وارسته و تازگی سیب‌ها فرق می‌کند (Duprat *et al.*, 1997). در تحقیقی دیگر دو حسگر غیر مخرب، یکی بر اساس اصل "پاسخ ضربه‌ی آکوستیک"^۲ و دیگری بر اساس "ضربه‌ی یک جسم سبک"^۳ را برای ارزیابی کیفی تعدادی سیب و گوجه‌فرنگی و نیز تعیین سفتی و همبستگی بین آن‌ها در طی فرایند انبارداری مقایسه نمودند. نتایج این محققین نیز کاهش سفتی را در هر دو محصول و با هر دو روش تایید کرد (De Ketelaere, *et al.* 2006). کاهش سفتی سیب‌ها در یک تحقیق دیگر نیز تایید شد. در این تحقیق سه وارسته‌ی سیب در سه مرحله از رسیدگی و در سه زمان مختلف از دوره‌ی انبارداری و با سه روش: حسی، نفوذسنجی و آکوستیکی مورد ارزیابی قرار گرفتند. یافته‌های این تحقیق همچنین معلوم کرد که شاخص آکوستیک به‌طور معنی‌داری با سفتی بافت سیب مرتبط است (Mehinagic *et al.*, 2006).

¹ Jonalgold apples

² Acoustic Impulse Response

³ Low Mass Impact



شکل ۷. تغییرات سفتی در طول زمان انبارداری

در آزمون مخرب نفوذسنجی نیز روند تغییرات رفتاری مشابه با آزمون غیر مخرب آکوستیکی داشتند (شکل ۷). در این آزمون تمام منحنی ها روند کاهشی دارند و ترکیب متغیرهای مستقل پوشش دار بودن سیبها و سالم بودن آنها عامل بیش تر بودن مقاومت به نفوذ در تمامی گروه های سیبها است. این حالت در تمام هفته های نگهداری سیبها در سردخانه علی رغم کاهشی بودن آن در تمامی گروهها ادامه داشته است. در این آزمایش هم، پوشش باعث حفظ سفتی بیش تر سیبها نسبت به بقیه ی گروه ها و در نتیجه حفظ بهتر خصوصیات کیفی سیبها شده است. پوشش در سیبهای سالم به طور متوسط باعث بهبود ۴۰/۲ درصدی سفتی نسبت به سیبهای ضربه خورده ی بدون پوشش شده است. در یک پژوهش نیز ضمن بررسی بر روی بافت هفت واریته ی سیب از طریق یک روش آکوستیکی معلوم شد که همبستگی بالایی بین بافت سیبها و پارامترهای آکوستیکی وجود دارد و این روش پیش بینی بهتری از وضعیت بافت سیب به دست می دهد. یافته های این پژوهش هم چنین کاهش پارامترهای کیفی سیبها و از جمله نیروی نفوذ را در طول زمان انبارداری نشان داد (Zdunek et al., 2010).

این آزمونها و نتایج آنها در این شکلها (۴، ۵، ۶ و ۷)، نشان می دهد شیب منحنی های مربوط به پارامترهای آکوستیکی، در آزمون غیر مخرب آکوستیکی و به خصوص شاخص سفتی و ضریب الاستیسیته از شیب این منحنی ها در آزمون نفوذسنجی بیش تر است که می تواند عاملی برای تشخیص بهتر تغییرات پارامترهای رسیدگی و از جمله سفتی در طول دوره ی پس از برداشت میوه باشد.

جدول ۳. ضرایب همبستگی بین پارامترهای اندازه گیری شده در دو گروه سیب های ضربه خورده ی بدون پوشش و سیبهای

سالم پوشش دار

س پ				ض ب			
بافت	ضریب	شاخص	فرکانس	بافت	ضریب	شاخص	فرکانس
سنجی	الاستیسیته	سفتی	طبیعی	سنجی	الاستیسیته	سفتی	طبیعی
فرکانس			۱	فرکانس			۱
طبیعی				طبیعی			
شاخص		۱	۰/۹۹	شاخص		۱	۰/۹۹
سفتی				سفتی			
ضریب		۱	۰/۹۹	ضریب		۱	۰/۹۹
الاستیسیته				الاستیسیته			
بافت سنجی	۱	۰/۹۰	۰/۹۴	بافت سنجی	۱	۰/۸۷	۰/۸۸

جدول (۳) ضریب‌های همبستگی بین پارامترهای آکوستیکی با هم در آزمون غیر مخرب آکوستیکی و هم‌چنین همبستگی بین این پارامترها با پارامتر نفوذسنجی در آزمون مخرب نفوذسنجی در دو گروه سیب‌های سالم و پوشش‌دار و سیب‌های ضربه خورده‌ی بدون پوشش آورده شده است. به‌طور کلی همبستگی بین پارامترهای آکوستیکی 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 ۰/۹۹ و کم‌ترین همبستگی بین شاخص سفتی و شاخص نفوذ سنجی به میزان ۰/۸۷ 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 سلولوز، سالم پوشش‌دار، ضربه خورده‌ی بدون پوشش و ضربه خورده‌ی پوشش‌دار در سردخانه، تمام پارامترهای اندازه‌گیری شده شامل: فرکانس طبیعی، شاخص آکوستیک، ضریب الاستیسیته و سفتی نفوذ سنجی 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- در میان چهار گروه سیب‌ها، سیب‌های سالم و پوشش‌دار به‌طور متوسط در آزمون‌های آکوستیکی نسبت به سیب‌های ضربه خورده‌ی بدون پوشش ۱۴٪ افزایش نشان دادند.

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

۴- با توجه به محسوس تر بودن تغییرات پارامترهای آکوستیکی به خصوص پارامترهای شاخص آکوستیک و ضریب الاستیسیته به علت شیب بیش تر منحنی های آن ها نسبت به سفتی نفوذ سنجی ،می توان از این آزمون ها برای بررسی دقیق تر تغییرات سفتی در سیب های مورد آزمون در مدت زمان انبارداری استفاده کرد..

۵- همبستگی بین پارامترهای آکوستیکی بیش تر از همبستگی بین این پارامتر ها با پارامتر نفوذ سنجی بود.

سیاس گزاری

از همکاری صمیمانه ی موسسه ی تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی کرج، در فراهم آوردن امکانات اجرایی و آزمایشگاهی این تحقیق سپاس گزاریم.

منابع

1. 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.
2. Cherg, A P., and F. Ouyang. 2003. A Firmness Index for Fruits of Ellipsoidal Shape. *Biosystems Engineering*. 86(1): 35-44.
3. 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.
4. 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.
5. De Ketelaere, B., M. S. Howarth, L. Crezee, J. Lammertyn, K. Viaene, I. Bulens, and J. D. 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.
6. 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 Engineering Research*. 66: 251 – 259.
7. Felföldi, J., and V. Zsom-Muha. 2010. Investigation of ripening process of fruit and vegetable samples by acoustic method. *ISHS Acta Horticulturae*. 858: 393-398.
8. 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.
9. 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(2): 209-215.
10. Mehinagic, E., G. Royer, R. Symoneaux, and F. Jourjon. 2006. Relationship between apple sensory attribute and instrumental parameters of texture. *Journal of Fruit and Ornamental Plant Research*. 14(2):25-37.
11. 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. *Biosystem Engineering*. 104:33-46.
12. 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.
13. 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.

14. Zdunek, A., and R. Ranachowski. 2006. Acoustic emission in puncture test of apples during shelf-life. *Electronic Journal of Polish Agricultural Universities (EJPAU)*.
15. 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.

Storability evaluation of “GOLAB” apple with two acoustic and penetration methods

Mohammad Reza Bayati¹ Ali Rajabipour^{1*} Hossein Mobli¹ Afshin Eyvani² Fojan Badii²

1- Phd Student and Professors of Department of Agricultural Machinery Engineering respectively, Tehran University, Karaj , Iran.
arajabi@ut.ac.ir

2- Research Assistant Professor and Research Associate Professor of Agricultural Engineering Research Institute respectively , Karaj , Iran.

Abstract

Effect storage of “GOLAB” apple in four groups: Intact and uncoated apples , intact and coated apples, bruised and uncoated apples and bruised and coated apples at 10 weeks of cold storage at 2°C and 85%RH was studied by acoustic nondestructive and penetration destructive tests. Acoustic and penetration parameters including: Natural frequency, firmness index, elasticity coefficient and also penetration firmness were measured and evaluated each week. Statistical analysis of the results was carried out using Excel 2007 and SPSS 16 softwares and using Duncan test at 5% level , significant results were studied. The results showed that the acoustic and penetration parameters were decreased during storage and acoustic parameters and firmness in intact and coated apples were 14% and 40% higher compared to other apples.

.Keywords: Golab apple, non destructive tests , texture analyzer