



ارزیابی برخی خواص مکانیکی دو واریته خرمالو در مراحل مختلف رسیدگی به منظور بهینه‌سازی سامانه‌های پس از برداشت

حسین غفاری ستوبادی^{۱*}، حسین حسن‌پور کهنمویی^۲، نعمان مرغوب^۲ و خسرو محمدی قرمزگلی^۱

تاریخ دریافت: ۹۸/۶/۱۱ تاریخ پذیرش: ۹۸/۱۰/۱۶

^۱ استادیار گروه مهندسی بیوسیستم، دانشگاه تبریز

^۲ دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، گروه مهندسی بیوسیستم، دانشگاه تبریز

*مسئول مکاتبه: Email: Ghaffari@tabrizu.ac.ir

چکیده

زمینه مطالعاتی: تعیین خواص انواع محصولات کشاورزی برای استفاده در طراحی و بهینه‌سازی ماشین‌ها و سامانه‌های پس از برداشت در راستای کاهش ضایعات و افزایش ماندگاری، کیفیت و توان رقابت با محصولات خارجی، امری ضروری است. امروزه به دلیل نیاز روز افزون کشور و به منظور حفظ سلامت جامعه استفاده از میوه تازه و با کیفیت مناسب ضروری به نظر می‌رسد. از طرفی سالانه در صد بالایی از محصولات میوه‌ای به دلیل وجود آسیب‌های مکانیکی تلف می‌شوند و یا کیفیت آن‌ها کاهش می‌یابد. هدف: در این مطالعه برخی خواص مکانیکی مشارکت‌کننده در آسیب مکانیکی شامل انرژی نفوذ، نیروی نفوذ و ضریب برجهندگی میوه خرمالو تعیین شدند. روش کار: در این پژوهش آزمایش‌هایی جهت تعیین این خواص مکانیکی دو رقم میوه خرمالو به نام‌های *D. Kaki* و *D. Virginiana* در سه زمان برداشت (نارس، نیمه رسیده و رسیده) و سه سرعت بارگذاری ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌متر بر دقیقه با استفاده از دستگاه آزمون بافت انجام شد و برای به‌دست آوردن ضریب برجهندگی که می‌تواند معیاری برای تعیین میزان کوفتگی خرمالو باشد، از روش صوتی ابداعی استفاده شد. بدین منظور میوه‌های خرمالو از سه ارتفاع ۱۰، ۲۰ و ۳۰ سانتی متری بر روی صفحه صلب دستگاه به صورت آزاد رها شدند. **نتایج:** میانگین نیروی مورد نیاز برای نفوذ کردن به رقم *D. virginiana* بیشتر از رقم *D. Kaki* بود و با افزایش سرعت بارگذاری میانگین نیروی مورد نیاز برای نفوذ به هر دو رقم خرمالو افزایش یافت. با افزایش رسیدگی محصول میانگین انرژی نفوذ کاهش و با افزایش سرعت بارگذاری میانگین نیروی نفوذی افزایش یافت. تفاوت مقادیر میانگین ضریب برجهندگی میوه‌های خرمالو که از سه ارتفاع متفاوت رها شده بودند، در هر سه زمان برداشت و برای هر دو رقم در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. از آنجایی که ضریب برجهندگی معیاری از کوفتگی می‌باشد بنابراین ضریب برجهندگی کوچک‌تر بیانگر انرژی جذب شده بیشتر توسط میوه و احتمال صدمه کوفتگی بیشتر است. زمانی که خرمالو به صورت نارس و یا حداقل نیمه رسیده (بلوغ تجاری) روانه بازار شود، صدمات مکانیکی به‌طور قابل توجهی کاهش می‌یابد.

واژگان کلیدی: انرژی نفوذ، خرمالو، صدمه مکانیکی، ضریب برجهندگی، نیروی نفوذ

مقدمه

خرمالو با نام علمی *Diospyros* از خانواده *Ebenaceae* بوده و در اصل بومی کشور چین و ژاپن می‌باشد. خرمالو یک محصول فصلی است و برای این‌که بتوان آن را طی چندین ماه نگهداری کرد، باید میوه را در سردخانه قرار داد تا در ماه‌های مختلف روانه بازار یا خطوط فرآوری گردد. از طرفی در اثر نگهداری در انبار، ویژگی‌های مختلف میوه تغییر می‌کند (ساوادا و همکاران ۱۹۹۲). بر اساس آمار سازمان خوار و بار و کشاورزی جهان (فائو) در سال ۲۰۱۷ سطح زیر کشت خرمالو در ایران ۱۶۹۲ هکتار، مقدار تولید آن ۲۴۳۲۶ تن و متوسط عملکرد آن برابر ۱۴/۳ تن در هکتار بوده است که ایران را در رتبه یازدهم تولید این محصول در دنیا قرار داده است (بی نام ۲۰۱۷). سه رقم مهم و موجود خرمالو در ایران عبارتند از: *D. Lotus* و *D. Virginiana* و *D. Kaki*. برخی از این ارقام کاملاً کروی و در برخی دیگر نسبتاً کشیده هستند. بخش گوشت‌دار خرمالو حاوی مقادیر زیادی مواد قندی، تانن و ویتامین می‌باشد. رنگ ارقام مختلف از نارنجی و زرد روشن تا نارنجی و قرمز تیره متفاوت بوده و قطر آن‌ها با توجه به نوع رقم بین دو تا هشت سانتی‌متر است. میوه خرمالو بر اساس مقدار تانن محلول در هذگام بلوغ فیزیولوژیکی به دو گونه گس‌و غیر گس تقسیم‌بندی می‌شود (حزباوی و مینایی ۱۳۸۹ و خادمی و همکاران ۱۳۹۴). این میوه سرشار از مواد مغذی مانند ویتامین C (۷۰ میلی‌گرم در ۱۰۰ گرم گوشت میوه)، کلسیم (۹ میلی‌گرم در ۱۰۰ گرم گوشت میوه) و آهن (۰/۲ گرم در ۱۰۰ گرم گوشت میوه) است. همچنین این میوه از لحاظ ترکیبات فنولی و اثرات تاننی و آنتی‌اکسیدانی بسیار غنی می‌باشد (سلمانی زاده جوپاری و همکاران ۱۳۹۴). از عصاره برگ خرمالو به‌عنوان عامل‌های کمپلکس‌کننده و پایدارکننده در تهیه

نانوذرات با خاصیت ضدباکتریایی استفاده می‌شود (رستمی ورتونی و همکاران ۱۳۹۷). شناخت ویژگی‌های محصولات کشاورزی امکان طراحی ماشین‌های جدید و بهینه‌سازی فرآیندهای صنعتی با مشخصات کیفی اصلاح شده، جهت کاهش ضایعات و افزایش بهره‌وری را فراهم می‌سازد (توکلی هشتجین ۱۳۸۲). اولین گام در تدوین استانداردهای کیفی در محصولات کشاورزی و باغی و نیز بهبود خطوط مختلف فرآوری این محصولات، مطالعه و تعیین خواص متنوع این محصولات و تغییرات آن‌ها در اثر عوامل گوناگون است (محسنین ۱۹۸۶). افزایش آگاهی در مورد ارزیابی کیفیت محصول موجب ایجاد انگیزه در خصوص توسعه ماشین‌های درجه‌بندی و کاربرد خواص مکانیکی در این زمینه شده است (ساریگ ۱۹۹۴). امروزه به دلیل نیاز روز افزون کشور و به‌منظور حفظ سلامت جامعه استفاده از میوه تازه و با کیفیت مناسب ضروری به نظر می‌رسد. از طرفی سالانه در صد بالایی از محصولات میوه‌ای به دلیل وجود آسیب‌های مکانیکی تلف می‌شوند و یا کیفیت آن‌ها کاهش می‌یابد. این کاهش کیفی که کاهش کمی تولید محصول را در بازار مصرف به‌دنبال دارد، می‌تواند از طریق جلوگیری از بروز این نوع آسیب‌ها با شناخت بهتر عوامل و موقعیت‌های وقوع آن‌ها جبران شود. خرمالو در مسیر انتقال از باغ به مراکز فرآوری یا فروش، تحت عملیاتی چون برداشت، بسته‌بندی، درجه‌بندی، ذخیره‌سازی و حمل و نقل قرار می‌گیرد. طی این مراحل بارهای استاتیکی و دینامیکی متعددی بر تک تک خرمالوها وارد شده که منجر به آسیب و کوفتگی آن می‌شود (لویس و همکاران ۲۰۰۷). در این ارتباط، نیروهای دینامیکی به مراتب کوفتگی بیشتری را ایجاد می‌کنند (محسنین ۱۹۸۶) و ضربه یکی از بارهای دینامیکی است که در اثر سقوط بر روی سطوح متفاوت و یا برخورد با خرمالوهای دیگر روی می‌دهد. چندین محقق تلاش نمودند تا آسیب به محصول را با

مناسب انبارداری آن را مورد مطالعه قرار داده و تیمار آب گرم ۴۵ درجه سانتی‌گراد در زمان‌های ۳۰ و ۴۵ دقیقه و آب گرم ۵۰ درجه سانتی‌گراد در زمان ۲۰ دقیقه برای افزایش عمر پس از برداشت خرمالوی رقم کرج پیشنهاد نمودند. همچنین اثر تیمار پس از برداشت آب گرم بر کاهش سرمازدگی ناشی از انبار سرد در میوه خرمالو رقم کرج مورد بررسی قرار گرفت. به‌طور کلی استفاده از آب ۵۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۱۰ و ۲۰ دقیقه و همچنین آب ۵۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ده دقیقه بهترین تیمارها برای حفظ کیفیت میوه خرمالو رقم کرج و کاهش علائم سرمازدگی در آن شناخته شدند (باقری و همکاران ۱۳۹۵).

چندین روش جهت ارزیابی بافت محصولات کشاورزی ارایه شده است که این روش‌ها به دو دسته عمده مخرب (از قبیل استفاده از نفوذ سنج و آزمون پنچری) و غیر مخرب (استفاده از NIR و روش‌های نوری، روش‌های ارتعاش - آکوستیک و ...) تقسیم بندی می‌شود (فتحی‌زاده و همکاران ۲۰۲۰). در سال‌های گذشته محققان از روش ارتعاش - آکوستیک جهت اندازه‌گیری خواص سیب، کیوی، زردآلو، گوجه‌فرنگی، خربزه، هندوانه، گلابی، هلو و آواکادو استفاده کرده‌اند (تانیاواکی و ساکورای ۲۰۱۰؛ کادوواکی و همکاران ۲۰۱۲؛ خوشنام و همکاران ۲۰۱۵ و ژانگ و همکاران ۲۰۱۸).

با بررسی منابع صورت گرفته، مشخص گردید که اثر زمان برداشت و نوع وارپته و سرعت بارگذاری روی برخی خواص مکانیکی دو رقم خرمالو *D.Kaki* و *D.virginiana* و همچنین ضریب برجهندگی مورد مطالعه قرار نگرفته است. لذا در این تحقیق ضریب برجهندگی و برخی خواص مکانیکی در سه زمان برداشت (نارس، نیمه رسیده و رسیده) در سه سرعت بارگذاری مورد بررسی قرار گرفت.

پارامترهای مکانیکی همانند نیرو (بروسوتیز^۱ و همکاران ۱۹۹۱)، ارتفاع سقوط (بولن ۱۹۹۳)، سرعت و شتاب ضربه (سایمی و همکاران ۱۹۸۷؛ زاپ و همکاران ۱۹۹۰ و پانگ و همکاران ۱۹۹۴) و انرژی جذب شده (بروسوتیز و همکاران ۱۹۹۱؛ بولن و همکاران ۲۰۰۱ و جری موپاس^۲ و همکاران ۲۰۰۷) مرتبط سازند. همچنین چندین پژوهشگر عوامل مرتبط با آسیب سوراخ شدن به هنگام جابه‌جایی، برداشت مکانیزه گوجه‌فرنگی و درجه‌بندی آن بررسی نمودند (آلنده و همکاران ۲۰۰۴؛ دزمت و همکاران ۲۰۰۲ و ۲۰۰۳ و ۲۰۰۴a,b).

هر چند تحقیقات زیادی در دنیا در زمینه تعیین خواص مکانیکی محصولات کشاورزی صورت گرفته است، اما مطالعه در زمینه خواص مکانیکی میوه خرمالو بسیار محدود بوده است. برخی خواص فیزیکی و مکانیکی رقم خرمندی میوه خرمالو توسط صافی یاری و همکاران (۱۳۹۲) مورد مطالعه قرار گرفت. حزباوی و همکاران (۱۳۸۷) به مطالعه رفتار فیزیکی و مکانیکی خرمالو رقم ژاپنی *D.Kaki* پرداخته و نشان دادند که به جز تغییر شکل، در سایر ویژگی‌های مکانیکی (از جمله میانگین نیرو و انرژی شکست و چغرمگی) اختلاف معنی‌داری بین خرمالوهای سفت و نرم وجود داشت که ناشی از متفاوت بودن بافت میوه نارس و رسیده است. آلتونتاس و همکاران (۲۰۱۱) با مطالعه برخی خواص مکانیکی خرمالو رقم *D.Kaki* نشان دادند که نیروی مورد نیاز جهت سوراخ کردن میوه خرمالو در جهت عرضی بیشتر از جهت طولی می‌باشد. آلتونتاس و همکاران (۲۰۱۳) با بررسی خواص فیزیکی، مکانیکی و شیمیایی میوه ازگیل رسیده‌گی، نتیجه گرفتند که در طول دوره رسیدگی محصول، میانگین قطر هندسی، کرویت و مساحت سطح تصویرشده افزایش و چگالی ظاهری، نیرو و انرژی شکست کاهش یافت. خادمی و همکاران (۱۳۹۴) رفتار فیزیولوژیکی پس از برداشت ارقام خرمالوی تولیدشده در منطقه کرج در پاسخ به تیمار آب‌گرم و نیز دمای

مواد و روش‌ها

در این مطالعه، دو رقم خرمالوی *Diospyros kaki* و *Diospyros virginiana* در شهریور و مهر ماه در سه زمان برداشت به فاصله یک ماه از باغ‌های استان آذربایجان شرقی تهیه و بلافاصله به آزمایشگاه خواص بیوفیزیکی و مکانیکی محصولات کشاورزی دانشگاه تبریز منتقل گردید. ده نمونه میوه خرمالو به صورت تصادفی انتخاب شده و میزان رطوبت اولیه خرمالوها با استفاده از آون و به روش استاندارد و بر پایه تر تعیین شد (بی نام، ۲۰۱۷). برای به دست آوردن پارامترهای مکانیکی در آزمون نفوذ شامل انرژی نفوذ و نیروی نفوذ از دستگاه آزمون بافت شرکت هانسفیلد H5KS مجهز به

لودسل HTE-5000 و پروب مگنس تیلور به قطر ۸ میلی‌متر (سانچز و همکاران ۲۰۱۵) استفاده شد (شکل ۱). این دستگاه به یک رایانه متصل بوده و به کمک نرم‌افزار مربوطه، تنظیمات آزمایش اعمال می‌شود و نمودار نیرو - تغییر شکل برای هر آزمایش ثبت می‌گردد. متغیرهای مورد مطالعه شامل سرعت در سه سطح (۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌متر بر دقیقه)، رقم در دو نوع (*Diospyros kaki* و *Diospyros virginiana*) و زمان برداشت در سه سطح (نارس، نیمه رسیده و رسیده) بود. انرژی نفوذ شامل سطح زیر منحنی نیرو - تغییر شکل بوده و نیروی نفوذ عبارت از میزان نیروی لازم جهت ایجاد یک سوراخ بر روی نمونه می‌باشد (آزمون پنچری).

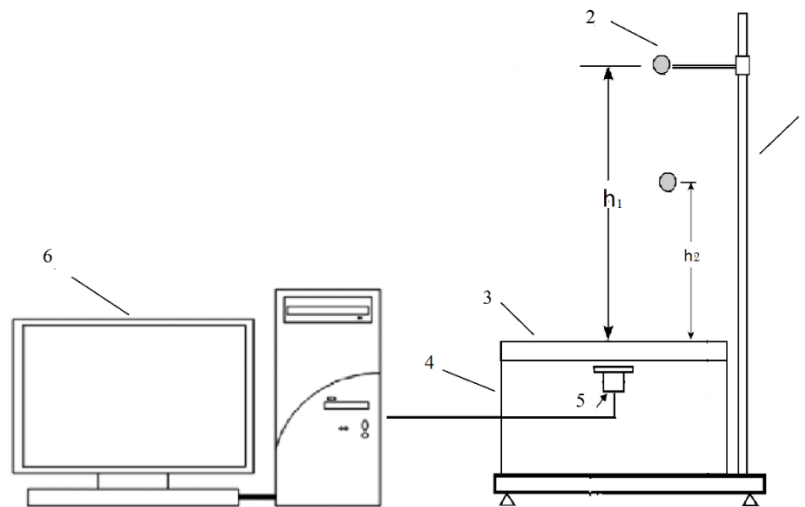


شکل ۱- دستگاه هانسفیلد (سمت چپ)، نحوه انجام آزمایش‌ها (سمت راست)

Figure 1-Hounsfield Fruit Texture Analyzer (left), Experiments procedure (right)

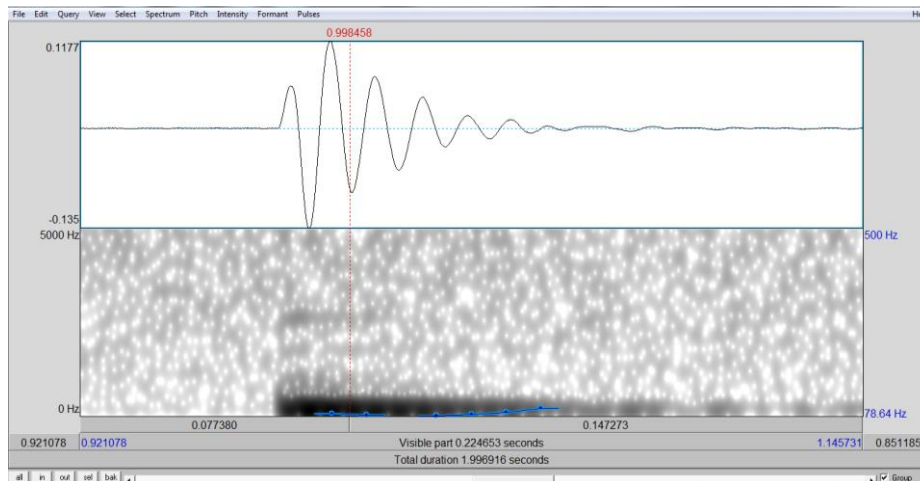
برخورد می‌کرد زمان $t=0$ برای آن در نظر گرفته شد. میوه پس از برخورد به صفحه صلب تا ارتفاع h_2 بالا رفته و سپس به سمت صفحه صلب برمی‌گشت. نرم‌افزار *Praat* صدای حاصل از برخورد میوه خرمالو که توسط حسگر صوتی دریافت شده بود به صورت منحنی دامنه-زمان نشان می‌داد. از آنجایی که هنگام برخورد شدت صدا زیاد است بنابراین موج حاصله، دارای دامنه بیشتری است. از این رو فاصله زمانی بین دو قله موج حاصله که ناشی از برخورد اول و دوم میوه خرمالو بود به عنوان زمان t در نظر گرفته شد.

به منظور تعیین ضریب برجهنگی که معیاری برای تعیین میزان کوفتگی خرمالو می‌باشد از دستگاه ابداعی شکل ۲ استفاده شد. این دستگاه شامل یک محفظه که داخل آن یک حسگر صوتی (میکروفون) نصب شده و روی محفظه یک صفحه صلب آهنی به ضخامت ۳۰ میلی‌متر قرار داشت، بود. محفظه کاملاً از لحاظ صوتی عایق‌بندی شده بود. خروجی حسگر صوتی (میکروفون) به کارت صوتی یک کامپیوتر منتقل شد. میوه خرمالو از سه ارتفاع ۱۰، ۲۰، و ۳۰ سانتی متری بر روی صفحه صلب دستگاه رها شدند. هنگامی که میوه خرمالو به صفحه صلب



شکل ۲- طرح‌واره سیستم ابداعی برای اندازه‌گیری ضریب برجهندگی: ۱) ستون سقوط، ۲) میوه، ۳) صفحه صلب، ۴) محفظه صوتی، ۵) سنسور صوتی، ۶) رایانه

Figure 2-Schematic of invented system for resilience coefficient measurement: 1) Drop column, 2) Fruit, 3) Rigid plate, 4) Acoustic chamber, 5) Acoustic sensor, 6) Computer



شکل ۳- نمونه‌ای از منحنی دامنه-زمان به دست آمده از نرم‌افزار Praat

Figure 3-An example of the amplitude- time curve obtained from Praat software

است.

نتایج و بحث

جدول ۱ خلاصه تجزیه واریانس نیروی نفوذ را نشان می‌دهد. اثرهای اصلی رقم، زمان برداشت و سرعت بارگذاری و همچنین اثر دوگانه رقم در زمان برداشت در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد و اثرهای دوگانه دیگر و نیز اثر سه‌گانه رقم در زمان برداشت در سرعت بارگذاری معنی‌دار نبود. در حالت کلی مقادیر میانگین

برای محاسبه ارتفاع بازگشت از رابطه ۱ استفاده شد که در آن t_1 نصف فاصله زمانی بین دو قله ابتدایی (t) است. ضریب برجهندگی (e) با استفاده از رابطه ۲ محاسبه گردید (دینر و همکاران ۱۹۷۹).

$$h_2 = \frac{gt_1^2}{2} \quad [1]$$

$$e = \left(\frac{h_2}{h_1}\right)^2 \quad [2]$$

که در روابط فوق

h_1 - ارتفاع سقوط اولیه

h_2 - ارتفاع بازگشت

شدن اثر متقابل رقم در زمان برداشت، رفتار متفاوت نیروی نفوذ خرماها در زمان‌های مختلف برداشت می‌باشد.

نیروی نفوذ برای دو رقم، در سه زمان برداشت و نیز در سه سرعت بارگذاری متفاوت، در سطح احتمال یک درصد تفاوت معنی‌داری با یکدیگر دارند. علت معنی‌دار

جدول ۱- خلاصه تجزیه واریانس نیروی پنچری

Table 1-Summary of analysis of variance of punching force				
source	DF	Type III SS	F value	Pr > F
Variety (v)	1	252.49	16.05*	0.0002
Harvesting time (t)	2	1429.43	45.43*	<0.0001
Loading speed (s)	2	189.38	6.02*	0.0044
v*t	2	1254.53	39.87*	<0.0001
v*s	2	1.54	0.05 ^{ns}	0.9523
t*s	4	25.51	0.41 ^{ns}	0.8040
v*t*s	4	35.21	0.56 ^{ns}	0.6930
Error	54	849.57	-	-

*: is significant at 1% probability level, ns: is not significant

شود، صدمات مکانیکی تا حدود نصف کاهش می‌یابد. آلتوناس و همکاران (۲۰۱۱) و کندیر و همکاران (۲۰۰۹) نتایج مشابهی برای میوه خرما با رقم *Harbiye* گزارش نمودند. جدول ۲ نشان داد که با افزایش سرعت بارگذاری از ۵۰ تا ۲۰۰ میلی متر بر دقیقه، میانگین نیروی مورد نیاز برای سوراخ کردن میوه خرما از ۱۴/۵۴ نیوتن به ۱۸/۵۱ نیوتن افزایش یافت. مناف دل‌ستان و همکاران (۱۳۹۴) با ارزیابی خواص بافتی و رنگ میوه گیلان در طی رسیدن نتیجه گرفتند که سفتی میوه گیلان از مرحله نارس تا مرحله رسیدگی کامل، کاهش یافت. این کاهش سفتی بافت در طی رسیدن ناشی از افزایش حجم و وزن میوه در مدت رسیدن و فعالیت آنزیم‌های پکتولیتیک در مراحل آخر رسیدگی میوه است. همچنین کاهش میزان پروتوپکتین و انحلال آن در طی رسیدن و افزایش پکتین کل نیز در کاهش سفتی مؤثر است (موزتیک و همکاران ۲۰۰۴).

جدول ۲ مقادیر میانگین نیروی نفوذ را به ترتیب برای دو رقم، در سه زمان برداشت و در سه سرعت بارگذاری نشان می‌دهد. مقایسه میانگین در سطح احتمال ۵ درصد با آزمون دانکن انجام شده است. جدول ۲ نشان می‌دهد که دو رقم خرما *D.Kaki* و *D.virginiana* در آزمون دانکن کاملاً به دو گروه a و b تقسیم شده و میانگین نیروی مورد نیاز برای نفوذ به رقم *D.virginiana* (۱۸/۴ نیوتن) به میزان ۲۶ درصد بیشتر از رقم *D.Kaki* (۱۴/۶۶ نیوتن) بود که نشانگر سفت‌تر بودن رقم *D.virginiana* است. میانگین محتوای رطوبتی تریپایه رقم *D.virginiana* در مرحله رسیدگی نیز پایین‌تر از رقم *D.Kaki* بود. صفی یاری و همکاران (۱۳۹۱) میانگین نیروی گسیختگی میوه خرما را ۱۷/۷۶ نیوتن گزارش نمودند که در محدوده میانگین نیروی نفوذ دو رقم مورد مطالعه در این پژوهش است. جدول ۲ نشان داد که میانگین نیروی مورد نیاز برای نفوذ به میوه خرما با پروب مگنس تیلور برای برداشت اول (نرسیده) تقریباً دو برابر برداشت سوم (رسیده) بود. بنابراین زمانی که خرما به صورت نرسیده و یا حداقل نیمه رسیده (بلوغ تجاری) روانه بازار

جدول ۲- میانگین نیروی پنچری برای دو واریته در سه زمان برداشت و سه سرعت بارگذاری

Table 2-Mean value of punching force for two varieties at three harvesting time and three loading speeds

	Variety		Harvesting time			Loading speed (mm/min)		
	D. Virginiana	D. Kaki	Immature	Semi- mature	Mature	50	100	200
Mean value of punching force	18.40 ^a	14.66 ^b	22.47 ^a	15.38 ^b	11.74 ^c	14.54 ^a	16.55 ^{ab}	18.51 ^a

For each variety, maturity stage and loading speeds, letters show significant differences.

جدول ۳ خلاصه تجزیه واریانس انرژی نفوذ را نشان می‌دهد. همان‌طور که از این جدول مشخص است، اثر اصلی زمان برداشت و هم‌چنین اثر دوگانه رقم در زمان برداشت در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد.

جدول ۳- خلاصه تجزیه واریانس انرژی پنچری

Table 3-Summary of analysis of variance of punching energy

source	DF	Type III SS	F value	Pr > F
Variety (v)	1	580.21	3.82 ^{ns}	0.0558
Harvesting time (t)	2	16120.07	53.09*	<0.001
Loading speed (s)	2	532.33	1.75 ^{ns}	0.1830
v*t	2	7304.77	24.06*	<0.0001
v*s	2	8.27	0.03 ^{ns}	0.9732
t*s	4	85.74	0.14 ^{ns}	0.9661
v*t*s	4	908.52	1.50 ^{ns}	0.2163
error	54	8198.83	-	-

*: is significant at 1% probability level, ns: is not significant

که با افزایش رسیدگی محصول، میانگین انرژی نفوذ به میوه خرمالو با پروب مگنس تیلور کاهش یافت. میانگین انرژی نفوذ به میوه خرمالو برای برداشت اول (نارس) نزدیک به سه برابر برداشت سوم (رسیده) بود. آلتونتاس و همکاران (۲۰۱۳) نتایج مشابهی برای میوه ازگیل گزارش نمودند و نتیجه گرفتند که میانگین انرژی نفوذ به میوه ازگیل در مرحله رسیدگی فیزیولوژیکی و در مرحله رسیدگی کامل به ترتیب برابر ۱۲۷/۹ و ۱۲/۶ نیوتن میلی‌متر بود. هم‌چنین جدول ۴ نشان داد که با افزایش سرعت بارگذاری از ۵۰ به ۲۰۰ میلی‌متر بر دقیقه، میانگین انرژی نفوذ افزایش یافت. بنابراین در هنگام درجه‌بندی محصول، هرچه میوه خرمالو در سامانه درجه‌بندی با سرعت بیشتری حرکت کند انرژی نفوذ بیشتری به آن وارد شده و احتمال آسیب به محصول افزایش می‌یابد.

جدول ۴ مقادیر میانگین انرژی نفوذ را به ترتیب برای دو رقم، در سه زمان برداشت و در سه سرعت بارگذاری نشان می‌دهد. این مقایسه میانگین در سطح احتمال پنج درصد با آزمون دانکن انجام شده است. جدول ۴ نشان می‌دهد که دو رقم خرمالوی *D.Kaki* و *D.virginiana* با این‌که هر دو در یک گروه قرار دارند، میانگین انرژی نفوذ به رقم *D.virginiana* بیشتر از رقم *D.Kaki* است و این به معنی سفت‌تر بودن رقم *D.virginiana* در حالت کلی می‌باشد. دزمت و همکاران (۲۰۰۳) در تحقیقی مقدار انرژی ضربه‌ای لازم جهت ایجاد آسیب سوراخی در دو واریته *Blitz* و *Tradiro* گوجه‌فرنگی مورد بررسی قرار دادند. نتایج حاصل نشان داد که واریته *Blitz* آسان‌تر از واریته *Tradiro* سوراخ می‌شود. انرژی ضربه‌ای برای سوراخ شدن واریته *Blitz* در محدوده ۴۹/۵ تا ۷۹/۶ نیوتن میلی‌متر برای واریته *Tradiro* در محدوده ۷۶/۹ تا ۱۱۰/۰ نیوتن میلی‌متر قرار داشت. جدول ۴ نشان داد

جدول ۴- میانگین انرژی پنچری برای دو واریته در سه زمان برداشت و سه سرعت بارگذاری

Table 4-Mean value of punching energy for two varieties at three harvesting time and three loading speeds

	Variety		Harvesting time			Loading speed (mm/min)		
	D. Virginiana	D. Kaki	Immature	Semi- mature	Mature	50	100	200
Mean value of punching force	44.26 ^a	38.59 ^a	59.67 ^a	41.60 ^b	23.02 ^c	38 ^a	41.63 ^a	44.65 ^a

For each variety, maturity stage and loading speeds, letters show significant differences.

شده در محصول و به تبع آن انرژی جذب شده افزایش می‌یابد. با افزایش انرژی جذب شده ارتفاع برگشت محصول کاهش و در نتیجه با توجه به رابطه ۲ میزان ضریب برجهندگی نیز کاهش می‌یابد. به‌طور مشابه، فنگ و همکاران (۲۰۱۷) نتیجه گرفتند با افزایش ارتفاع سقوط، ضریب برجهندگی سیب‌زمینی کاهش یافت. با کاهش میزان ضریب برجهندگی، مقدار انرژی جذب شده در محصول افزایش و در نتیجه احتمال صدمه مکانیکی بیشتر می‌شود.

جدول ۵ نشان می‌دهد که تفاوت مقادیر میانگین ضریب برجهندگی میوه خرمالو که از سه ارتفاع متفاوت ۱۰، ۲۰ و ۳۰ سانتی‌متر رها شده‌اند، در هر سه زمان برداشت و برای هر دو رقم در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار است. هم‌چنین در هر سه زمان برداشت و برای هر دو رقم میوه خرمالو، با افزایش ارتفاع سقوط از ۱۰ سانتی‌متر به ۳۰ سانتی‌متر، مقدار میانگین ضریب برجهندگی نزدیک به ۵۰ درصد کاهش نشان داد. با افزایش ارتفاع سقوط، سرعت برخورد افزایش یافته (وانگ و همکاران ۲۰۱۵) و در نتیجه تغییر شکل ایجاد

جدول ۵- میانگین ضریب برجهندگی

Table 5-Mean value of the coefficient of resilience

		Drop Height: 10 cm	Drop Height: 20 cm	Drop Height: 30 cm
D. Virginiana	Immature*	0.00434 ^a	0.00311 ^b	0.00253 ^c
	Semi- mature*	0.00452 ^a	0.00323 ^b	0.00261 ^c
	Mature*	0.00400 ^a	0.00290 ^b	0.002375 ^c
D. Kaki	Immature*	0.00436 ^a	0.00314 ^b	0.00249 ^c
	Semi- mature*	0.00418 ^a	0.00298 ^b	0.00245 ^c
	Mature*	0.003975 ^a	0.002775 ^b	0.00230 ^c

The comparison of mean values for each raw is with Duncan test at 5% probability level. *: is significant at 1% probability level.

منابع مورد استفاده

- توکل هشتجین ت، ۱۳۸۲. مکانیک محصولات کشاورزی. ترجمه. انتشارات خدمات فرهنگی سالکان. تهران.
- حزباوی ع، مینایی س، قبادیان ب و کاظمی ش، ۱۳۸۷. مطالعه رفتار میوه خرمالو تحت بارگذاری. پنجمین کنگره ملی مهندسی ماشین‌های کشاورزی و مکانیزاسیون. مشهد.
- حزباوی ع، مینایی س، ۱۳۸۹. تهیه و بررسی ویژگی‌های کیفی برگه خرمالو. علوم و صنایع غذایی ایران، شماره ۲۶، صفحه‌های ۶۵-۷۲.
- خادمی ا، زمانی ن، مستوفی ی، کلانتری س ورسولی م، ۱۳۹۴. رفتار فیزیولوژیکی میوه خرمالو، رقم کرج، در پاسخ به تیمار پس از برداشت آب گرم و دمای انبارداری. علوم و صنایع غذایی ایران، شماره ۲۸، صفحه‌های ۱۳-۲۶.
- رستمی ورتونی ا، مستعان‌زاده ح، مرشدی فرع و طاهری کفرانی ا، ۱۳۹۷. تهیه نانوذرات CuO با استفاده از عصاره برگ گیاهان گردو و خرمالو و بررسی خواص ضد باکتریایی آن‌ها. شیمی کاربردی، سال سیزدهم، شماره ۴۷، صفحه‌های ۲۲۳-۲۳۶.

- صفی یاری ح، رحمانیان ح، سلمانی زاده ف و زمردیان ع، ۱۳۹۲. برخی خواص فیزیکی و مکانیکی میوه خرمالو رقم خرمندی. نوآوری در علوم و فناوری غذایی، سال پنجم، شماره ۱۸، صفحه‌های ۶۷-۷۳.
- مناف دلستان ف، اسمعیلی م و تیموری بک م، ۱۳۹۴. ارزیابی خواص بافتی و رنگ میوه گیلاس وارسته سیاه مشهد در طی رسیدن. پژوهش‌های صنایع غذایی، سال بیست و پنجم، شماره ۳، صفحه‌های ۳۷۹-۳۸۹.
- Allende A, Desmet M, Vanstreels E, Verlinden BE, Nicolaï BM. 2004. Micromechanical and geometrical properties of tomato skin related to differences in puncture injury susceptibility. *Postharvest Biology and Technology* 34: 131-141.
- Altuntas E, Cangi R, Kaya C. 2011. Physical and chemical properties of persimmon fruit. *Int Agrophys* 25: 89-92.
- Altuntaş E, Gül EN, Bayram M. 2013. The physical, chemical and mechanical properties of medlar (*Mespilus germanica* L.) during physiological maturity and ripening period. *JAFAG* (2013) 30 (1): 33-40.
- ASABE. 2017. *Moisture Measurement-Unground Grain and Seeds*. St. Joseph, MI: ASABE.
- Bollen A. 1993. Apple-apple impact evaluation using an instrumented sphere. *Journal of Agricultural Engineering Research* 2: 1-14.
- Bollen AF, Cox NR, Dela Rue BT, Painter DJ. 2001. PH—Postharvest Technology: A Descriptor for Damage Susceptibility of a Population of Produce. *Journal of Agricultural Engineering Research* 78: 391-395.
- Brusewitz G, McCollum T, Zhang X. 1991. Impact bruise resistance of peaches. *Transactions of the ASAE (USA)*.
- Candir EE, Ozdemir AE, Kaplankiran M, Toplu C. 2009. Physico-chemical changes during growth of persimmon fruits in the East Mediterranean climate region. *Scientia Horticulturae* 121: 42-48.
- Desmet M, Lammertyn J, Verlinden BE, Nicolaï BM. 2002. Mechanical properties of tomatoes as related to puncture injury susceptibility. *Journal of Texture Studies* 33: 415-429.
- Desmet M, Lammertyn J, Scheerlinck N, Verlinden BE, Nicolaï BM. 2003. Determination of puncture injury susceptibility of tomatoes. *Postharvest biology and technology* 27: 293-303.
- Desmet M, Hertog M, Verlinden B, De Baerdemaeker J, Nicolaï B. 2004a. Instrumented sphere prediction of tomato stem-puncture injury. *Postharvest biology and technology* 34: 81-92.
- Desmet M, Lammertyn J, Verlinden B, Darius P, Nicolaï B. 2004b. The relative influence of stem and fruit properties on stem puncture injury in tomatoes. *Postharvest biology and technology* 33: 101-109.
- Diener R, Elliott K, Nesselroad P, Ingle M, Adams R, Blizzard S. 1979. Bruise energy of peaches and apples. *Transactions of the ASAE* 22: 287-0290.
- Fathizadeh Z, Aboonajmi M, Beygi SRH. 2020. Nondestructive firmness prediction of apple fruit using acoustic vibration response. *Scientia Horticulturae* 262:109073
- Feng B, Sun W, Shi L, Sun B, Zhang T, Wu J. 2017. Determination of restitution coefficient of potato tubers collision in harvest and analysis of its influence factors. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering* 33:50-57.
- Jarimopas B, Singh SP, Sayasoonthorn S, Singh J. 2007. Comparison of package cushioning materials to protect post-harvest impact damage to apples. *Packaging Technology and Science* 20: 315-324.
- Kadowaki M, Nagashima S, Akimoto H, Sakurai N. 2012. Detection of Core Rot Symptom of Japanese Pear by a Nondestructive Resonant Method. *Journal of the Japanese Society for Horticultural Science* 81:327-331.
- Khoshnam F, Namjoo M, Golbakhshi H. 2015. Acoustic Testing for Melon Fruit Ripeness Evaluation during Different Stages of Ripening. *Agriculturae Conspectus Scientificus (ACS)* 80:197-204
- Lewis R, Yoxall A, Canty LA, Romo ER. 2007. Development of engineering design tools to help reduce apple bruising. *Journal of Food Engineering* 83: 356-365.
- Mohsenin NN. 1986. *Physical properties of plant and animal materials*: Gordon and Breach Science Publishers.

- Mozetič B, Trebše P, Simčič M, Hribar J. 2004. Changes of anthocyanins and hydroxycinnamic acids affecting the skin colour during maturation of sweet cherries (*Prunus avium* L.). *LWT-Food Science and Technology* 37: 123-128.
- Pang D, Studman C, Banks N. 1994. Apple bruising thresholds for an instrumented sphere. *Transactions of the ASAE* 37: 893-897.
- Sanchís E, Mateos M, Pérez-Gago, M. 2015. Effect of maturity stage at processing and antioxidant treatments on the physico-chemical, sensory and nutritional quality of fresh-cut 'Rojo Brillante' persimmon. *Postharvest Biology and Technology* 105; 34-44.
- Sarig Y. 1991. Review: Impact loading associated with agricultural products. *International journal of impact engineering* 11: 251-275.
- Sawada T, Seo Y, Morishima H, Imou K, Kawagoe Y. 1992. Studies on Storage and Ripening of Kiwifruit (Part 1). *Journal of the Japanese Society of Agricultural Machinery* 54: 61-67.
- Siyami S, Brown G, Burgess G, Gerrish J, Tennes B, Burton C, Zapp H. 1987. Apple impact bruise prediction models. *Trans. ASAE* 31: 1038-1046.
- Taniwaki M, Sakurai N. 2010. Evaluation of the Internal Quality of Agricultural Products using Acoustic Vibration Techniques. *Journal of the Japanese Society for Horticultural Science* 79:113-128.
- Wang L, Zhou W, Ding Z, Li X, Zhang C. 2015. Experimental determination of parameter effects on the coefficient of restitution of differently shaped maize in three-dimensions. *Powder Technology* 284: 187-194.
- Zapp H, Ehlert S, Brown G, Armstrong P, Sober S. 1990. Advanced instrumented sphere (IS) for impact measurements. *Transactions of the ASAE* 33: 955-960.
- Zhang W, Lv Z, Xiong S. 2018. Nondestructive quality evaluation of agro-products using acoustic vibration methods—A review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 58:2386-2397.

Evaluation of some mechanical properties of two varieties persimmon in order to improve post-harvest systems at different ripening stages

H Ghaffari Setoubadi^{1*}, H Hasanpour Kahnayui², N Marghoub² and Kh Mohammadi Ghermezgoli¹

Received: January 6, 2020 Accepted: January 6, 2020

¹Assistant Professor, Department of Biosystems Engineering, University of Tabriz, Tabriz, Iran

²MSc Graduated Student, Department of Biosystems Engineering, University of Tabriz, Tabriz, Iran

*Corresponding author: Ghaffari@tabrizu.ac.ir

Introduction: Fruit and vegetables are an important component of the human diet and consumers usually expect such products to have premium quality. The texture is a major quality attribute that influences consumer acceptance, shelf life, resistance, and transportability. Also, the quality of fruits and vegetables can be determined by their external and internal characteristics. Recognition of agricultural product characteristics may help to design new machines, industrial processes to reduce the damages (Tavakkoli hashtjin, 2003).

The first step in the codification of qualitative standards for the agricultural product is the recognition of different properties and different modifications of these products caused by various factors (Mohsenin 1986). Persimmon (*Diospyros*) is a member of *Ebenaceae* family and originated from China and Japan. *D. Lotus*, *D. Virginiana* and *D. Kaki* are three important persimmon cultivars in Iran. According to the FAO statistics, the Iran persimmon harvested area was about 1692 ha in 2017. In this year Iran produced about 24326 tons of persimmon (with an average yield of 14.3 ton/ha) which ranked 11th in the world. Although many researchers conducted some investigations on the mechanical properties of agricultural products, but studies on persimmon mechanical properties have been very limited. Hezbavi et al. (2008) studied the physical and mechanical responses of Japanese cultivar of persimmon (*D. Kaki*) and reported that there was a significant difference in all mechanical properties between soft and stiff persimmon, except fruit deformation. Altuntas et al (2013) determined the physical, mechanical and chemical properties of medlar during physiological maturity and ripening period. The physical properties such as geometric mean diameter, sphericity, bulk and true densities, porosity, projected area and color characteristics were measured during physiological maturity and ripening period of medlar. Mechanical properties such as rupture force, deformation and rupture energy and chemical properties (total soluble solid content, titratable acidity and pH) of medlar fruit were determined. The results of Altuntas et al. (2010) have shown that the correlation coefficients between the physical parameters of persimmon fruits were significant. The coefficient of static friction was greater on plywood as compared to the chipboard and galvanized metal surfaces. They reported that the required force for punching persimmons along the Y-axis was higher than along the X-axis. Review of literature showed that the effect of harvesting time, cultivar and loading speed of *D. Kaki* and *D. virginiana* persimmon cultivars on some mechanical properties and coefficient of restitution of persimmon have not been studied. Therefore, in this research, some mechanical properties of two persimmon cultivars (*D. Kaki* and *D. virginiana*) at three harvests time (immature, semi-mature and mature) and coefficient of restitution were studied.

Material and methods: In this study, some tests were conducted to determine these mechanical properties of two persimmon varieties *D. Virginiana* and *D. Kaki* at the three harvest times with three different loading speeds of 50, 100 and 200 mm/min using fruit texture analyzer and to obtain resilience coefficient used an invented device equipped with sonic sensor, so that it can be used as a criteria for bruising damage. The persimmon fruits (*D. Kaki* and *D. virginiana*) at three harvest times

were provided from gardens of East Azarbaijan province. Then, the samples were transferred to the biophysical and mechanical lab of university of Tabriz. The moisture content of fruits was determined by the standard method (ASAE 1998). The acoustic test was used to determine the resilience coefficient that is a criterion for determining persimmon bruising damage. For this purpose, persimmons were dropped from three heights 10, 20 and 30 cm on the plate equipped with an acoustic sensor located underneath that plate. The amplitude-time curve was obtained using Praat software for each drop test. According to this curve, rebound time (the time required for the first and second peaks of curve) was determined.

Results and discussion: According to the results, the main effects of variety, harvesting time and speed of loading and also interaction of variety*harvesting time were significant at the probability level of 1% and the other interactions were not significant. It means, in general, as expected, the mean values of puncture force for the two varieties, at three harvesting times and in three different loading speeds, had a significant effect at the probability level of 1%. The reason for the significance of interaction of variety*harvesting time is the behavior of puncture force at different times of harvesting persimmons. The results showed that the required mean value of puncture force in *D. Virginiana* variety was greater than *D. Kaki* variety and the average force required to punch the persimmon fruit, with Magness Taylor probe for the first harvesting time (immature stage) is nearly doubled compared with the third harvesting (mature stage). It shows that if persimmon has been marketed in the immature stage or in semi-mature stage, mechanical damage can be decreased to one-half value. By increasing the loading speed, the average force required to punch the persimmon increased. The average energy required to punch of persimmon fruit, using Magness Taylor probe for the first harvesting time (immature stage) is nearly doubled in comparison with the second harvesting time (semi-mature stage) and nearly tripled in comparison with the third harvesting time (mature stage). By increasing the loading speeds, the average energy required to punch the persimmon fruit increased and also the same results were obtained for three harvesting stages. It can be concluded that, for example, during sorting operation, whatever Persimmon move at a slower speed, minimum energy can cause mechanical damage. When the product getting ripe the mean value of puncture energy decreased and by increasing loading speeds the mean value of puncture force increased. The difference between mean values of resilience coefficients of fruits released from different heights at the three different harvest times for both two varieties was significant at the probability level of 1%.

Keywords: Resilience coefficient, Mechanical damage, Persimmon, Puncture energy, Puncture force