

## بررسی خواص مکانیکی میوه زردآلو تحت بارگذاری شبه استاتیکی و دینامیکی

ابراهیم احمدی<sup>۱\*</sup> - حسین باریکلو<sup>۲</sup>

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۰۹/۲۲

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۱۲/۰۵

### چکیده

اهمیت اطلاع از خواص فیزیکی و مکانیکی میوه‌ها در طراحی و بهینه‌سازی سیستم‌های مرتبط با تولید، فرآوری و بسته‌بندی این محصولات بر کسی پوشیده نیست. اهمیت میوه زردآلو و عدم اطلاعات در زمینه رفتار مکانیکی آن انگیزه این پژوهش می‌باشد. در این تحقیق میوه زردآلو رقم ضیاءالملکی جهت تعیین برخی از خواص فیزیکی و مکانیکی مورد آزمایش قرار گرفت. برای تعیین خواص مکانیکی از دستگاه آزمون محوری و برای تعیین سطوح انرژی ضربه از دستگاه پاندول استفاده شد. متغیرهای وابسته (سفتی آکوستیک، شعاع انحناء، مشخصه رنگی  $a^*$  و  $b^*$ ، درصد بریکس، نیروی نفوذ، کار نفوذ و تغییر شکل نفوذ) و مستقل (سه سطح انرژی ضربه، دو سطح دما و دو سطح رنگ) انتخاب و در قالب طرح فاکتوریل مورد تحلیل قرار گرفتند. اثرهای اصلی و متقابل این متغیرها مورد بررسی قرار گرفت. نتیجه تجزیه واریانس مربوط به داده‌های شعاع انحناء، مشخصه رنگی، سفتی آکوستیک، مدول الاستیک، درصد بریکس، نیروی نفوذ و تغییر شکل نفوذ در مورد اثرهای اصلی و متقابل در سطوح احتمال ۰/۰۵ و ۰/۰۱ درصد معنی‌دار شد. با توجه به نتایج تجزیه واریانس بین پارامترهای مستقل و وابسته اثر معنی‌داری به‌دست آورده شد. با افزایش انرژی ضربه، تغییر شکل نفوذ و نیروی نفوذ دمای ۳ درجه سلسیوس بیشتر از ۲۵ درجه سلسیوس شد. ناحیه قرمز رنگ نسبت به ناحیه زرد رنگ با افزایش انرژی ضربه تغییر شکل و نیروی نفوذ بیشتری نشان داد.

واژه‌های کلیدی: انرژی ضربه، پاندول، دما، رنگ، زردآلو

فهرست نمادها

### Nomenclature

شرح Explanation	نماد Symbol	واحد Unit
شعاع انحناء معادل The radius of equivalent curvature	R	m
شعاع قطبی Polar radius	$R_1$	m
شعاع استوایی Equatorial radius	$R_2$	m
سفتی آکوستیک The acoustic stiffness	S	$\text{Hz}^2 \text{kg}^{2/3}$
اولین فرکانس تشدید The first resonance frequency	f	Hz
جرم میوه Fruit mass	M	kg

### مقدمه

افزایش تقاضای روزافزون مصرف‌کنندگان برای استفاده از

میوه‌های تازه و سبزی‌های با کیفیت منجر به حرکتی مؤثر جهت بهبود کیفیت میوه‌ها و سبزی‌ها هم در صنعت غذا و هم در بازار میوه تازه گردیده است. کیفیت محصول عمدتاً شامل ویژگی‌های حسی میوه (ظاهر، بافت، مزه و بو)، ارزش غذایی، ترکیب‌های شیمیایی و عدم وجود نقص در ظاهر میوه می‌باشد که هر یک به‌عنوان موضوعی برای بسیاری از مطالعات قرار گرفته است (Abbott, 1999; Povey)

۱- دانشیار گروه مهندسی بیوسیستم دانشگاه بوعلی سینا همدان  
\* - نویسنده مسئول: (Email: eahmadi@basu.ac.ir)  
۲- دانشجوی دکترای گروه مهندسی بیوسیستم دانشگاه بوعلی سینا همدان

مورد مطالعه قرار دادند. باریج (۲۰۰۰) میوه آوآکادو را توسط دو صفحه موازی تحت بارگذاری شبه استاتیکی قرار داد و خواص مکانیکی آن را در فواصل زمانی متفاوت پس از برداشت مورد بررسی قرار داد. آیدین و اوزکان (۲۰۰۲) نیرو گسیختگی بنه را تحت بارگذاری شبه استاتیکی مورد مطالعه قرار دادند. آنها دریافتند که در اثر افزایش رطوبت مقاومت گسیختگی محصول کاهش می‌یابد. گانر و همکاران (۲۰۰۳) خواص مکانیکی فندق را تحت بارگذاری فشاری مورد مطالعه قرار دادند.

خصوصیاتی مانند رنگ، اندازه، شکل و ظاهر خارجی میوه‌ها و سبزی‌ها می‌توانند به‌عنوان ملاکی قابل توجه برای خرید توسط مصرف‌کنندگان به حساب آیند (Azodanlou et al., 2003). بر اثر برداشت، انتقال، بسته‌بندی و حمل‌ونقل میوه‌ها و سبزی‌ها، ضربه‌هایی به محصولات وارد می‌شود و صدمه‌هایی از جمله کوفتگی در میوه ایجاد می‌کنند که باعث از بین رفتن بازارپسندی میوه‌ها از سوی مصرف‌کنندگان می‌شود (Brusewitz and Bartsch, 1989). برای بیان کمیت صدمه وارد به میوه می‌توان از انرژی جذب‌شده استفاده کرد و می‌توان نشان داد که بیش‌ترین صدمه، ناشی از بیش‌ترین انرژی جذب شده است. وان زیبروک و همکاران (۲۰۰۷a) برای گوجه این فرضیه را بیان کردند که: بیش‌ترین انرژی جذب‌شده در گوجه، بیش‌ترین کوفتگی ایجادشده در اثر ضربه را نشان می‌دهد. دما به‌طور قابل ملاحظه‌ای روی عکس‌العمل بافت به صدمات مکانیکی وارده تأثیرگذار می‌باشد (Demartino et al., 2002). باریتل و هاید در سال (۲۰۰۱) نشان دادند که افزایش دمای برداشت سیب‌زمینی و گلابی باعث افزایش کرنش شکست بافت آن خواهد شد. درحالی‌که در سیب هیچ تأثیری دیده نشد. همچنین آن‌ها تعیین کردند که دما با تأثیر بر روی فشار ترگر سلول‌ها می‌تواند بر مقاومت بافت در مقابل کوفتگی تأثیر بگذارد.

ترکیب قندها، اسیدهای آلی و ترکیبات فرار مشخصه‌هایی هستند که همانند شکل و ظاهر میوه می‌توان به‌عنوان خصوصیات حساس میوه‌ها و سبزی‌ها به حساب آورد که با توجه به درصد بریکس می‌توان این مشخصه را مورد ارزیابی قرار داد. رنگ به تنهایی تخمینی خیلی خوب برای رسیدگی میوه‌ها می‌تواند باشد. عموماً اندازه‌گیری‌های رنگ براساس سیستم  $L^* a^* b^*$  است.  $L^*$  روشنایی را نشان می‌دهد و از ۰ (سیاه) تا ۱۰۰ (سفید) درجه‌بندی شده است.  $a^*$  نشان‌دهنده‌ی قسمت قرمز - سبز است و هنگامی که مثبت باشد درجه نشان‌دهنده مربوط به قرمز است و هنگامی که منفی باشد نشان‌دهنده‌ی سبز است.  $b^*$  مربوط به قسمت آبی - زرد است که هنگامی که مثبت باشد نشان‌دهنده‌ی زرد و منفی نشان‌دهنده‌ی آبی است (Petrisor et al., 2010).

مقادیر درجه‌بندی برای  $a^*$  و  $b^*$  از ۱۲۰- تا ۱۲۰+ است. اهمیت میوه زردآلو و عدم اطلاعات در زمینه رفتار مکانیکی آن انگیزه این

(and Wilkinson, 1980). شناخت ویژگی‌های مکانیکی میوه زردآلو از دو دیدگاه دارای اهمیت می‌باشد. از منظر مهندسی صنایع غذایی، این خواص را برای کنترل و بهینه‌سازی کیفیت میوه یا فرآوری آن مورد توجه قرار می‌دهد. از دیدگاه مهندسی ماشین‌های کشاورزی، دانستن این ویژگی‌ها علاوه بر آن که در طراحی و ساخت ماشین‌های برداشت و فرآوری مناسب ارقام مهم کشور اهمیت به‌سزایی دارد برای کاربرد صحیح و بهینه‌سازی ماشین‌های وارداتی و تطبیق‌پذیری آن‌ها با ویژگی‌های خاص ارقام اصلی کشور مهم است. در کلیه عملیات ماشینی این امکان وجود دارد که میوه در معرض صدمات مکانیکی قرار بگیرد. در اثر نیروهای وارده امکان دارد در میوه تغییر شکل الاستیک یا پلاستیک رخ دهد. اکثر محصول‌های کشاورزی ویسکوالاستیک هستند بنابراین رفتار بسیار پیچیده‌ای در برابر بارگذاری‌های متفاوت از خود نشان می‌دهند.

مطالعه خواص مکانیکی محصولات کشاورزی از دیرباز موضوع بحث و نقد محافل علمی بوده و توجه بسیاری از محققان را به خود جلب نموده است. مشخصه‌های فیزیکی و مکانیکی محصولات کشاورزی، مهم‌ترین پارامترها در طراحی ماشین‌ها و ادوات کشاورزی، سیستم‌های درجه‌بندی، انتقال، فرآوری و بسته‌بندی می‌باشند که توسط محققان مختلف برای بسیاری از محصول‌های کشاورزی تعیین شده‌اند. از جمله این تحقیقات می‌توان به تعیین خواص فیزیکی و مکانیکی بادام (Aydin and Ozcan, 2002)، فندق (Aydin, 2003) و آلو (Calisir et al., 2004)، خواص شیمیایی، فیزیکی و مکانیکی برخی از واریته‌های زردآلوهای ترکیه (Haciseferogullari et al., 2007)، برخی خواص فیزیکی هسته و مغز زردآلوی واریته حاجی اوغلو ترکیه (Gezer et al., 2002)، مشخصه‌های هندسی و ضریب اصطکاک میوه زردآلوی واریته‌های شمس، نخجوان، جهانگیری، سفید دماوند، شاهرود و قیسی (Jannatizadeh et al., 2008)، خواص فیزیکی مغز زردآلوی واریته سنتی سلماس (Fathollahzadeh et al., 2008) و خواص فیزیکی و مکانیکی میوه، هسته و مغز زردآلوی واریته اردوباد ایران (Hassan Beygi et al., 2009) اشاره کرد.

فیلیشر و همکاران (۱۹۶۵) وابستگی رفتار مکانیکی بعضی از میوه‌ها را (سیب، هلو، گلابی) به سرعت بارگذاری مورد مطالعه قرار دادند. هدف از انجام این کار تعیین رابطه بین سرعت بارگذاری و رفتار محصول می‌باشد. رایت و اسپلیتتر (۱۹۶۸) رفتار مکانیکی سیب‌زمینی شیرین را تحت بارگذاری‌های متفاوت مورد بررسی قرار دادند. اگرچه تعیین خواص مکانیکی محصولات کشاورزی تحت بارگذاری شبه استاتیکی بسیار مورد مطالعه بوده است ولی تعیین خواص مکانیکی در دماهای متفاوت کمتر مورد مطالعه قرار گرفته است. براگا و همکاران (۱۹۹۹) رفتار مکانیکی ماکامیا را تحت بارگذاری شبه استاتیکی با هدف تعیین فرآیند بهینه شکستن محصول

زیبروک و همکاران (۲۰۰۷ a, b) و احمدی و همکاران (۲۰۱۰) سفتی آکوستیک گوجه‌فرنگی، سیب و هلو را از طریق تحریک و پاسخ آکوستیک به‌دست آوردند. بدین منظور جرم میوه با استفاده از یک ترازوی دیجیتال (Lutron GM-300P, Resolution: 0.01 g) اندازه‌گیری شد. سپس میوه داخل فک نگه‌دارنده به فاصله چند میلی‌متر از میکروفن نوع (Standard, 8851/8852, Resolution: 0.1dB) با نرخ داده‌برداری ۰/۱ ثانیه قرار داده شد. با استفاده از آونگ مخصوص ضربه‌ای به طرف دیگر میوه بر روی خط استوایی زده شد. توسط نرم‌افزار مخصوص خود میکروفن، سیگنال‌های خارج‌شده از میکروفن ذخیره و مورد پردازش قرار گرفتند. از آنجایی که هدف به‌دست آوردن فرکانس‌های اصلی میوه زردآلو می‌باشد باید سیگنال‌ها از حوزه زمان به حوزه فرکانس تبدیل شود. جهت انتقال سیگنال صدای برخورد از حوزه زمان به حوزه فرکانس از تبدیل سریع فوریه (FFT) استفاده شد. سفتی آکوستیک میوه براساس پاسخ تحریک آکوستیک با استفاده از رابطه (۳) اندازه‌گیری شد (Diezma et al., 2006):

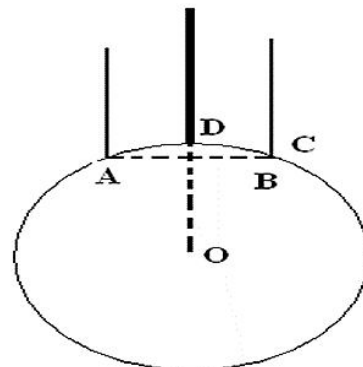
$$s = f^2 \cdot M^{2/3} \quad (3)$$

برای انجام آزمایش میوه‌ها در دو سطح دمایی ۳ و ۲۵ درجه سلسیوس نگهداری شدند. دو ناحیه از هر میوه (ناحیه قرمز و زرد) در سه سطح انرژی تحت ضربه قرار گرفت. برای هر کدام از این سطوح ۸ میوه انتخاب شد. به‌طور کلی ۹۶ میوه (۸ تعداد میوه برای هر سطح)  $3 \times 3 \times 2$  (سطح انرژی ضربه)  $2 \times 2$  (دو سطح رنگ قرمز و زرد)  $2$  (دمای ۲۵ و ۳ درجه سلسیوس) انتخاب شد. برای اندازه‌گیری سطوح انرژی ضربه و سرعت برخورد از پاندول مجهز به سنسور Piezotronics-208c02-PCB; Sensivity: 10/97 (MV/N) و شفت انکودر نوری (Autonics E5058, Resolution 0.018, Korea) استفاده شد (Barikloo and Ahmadi, 2013). زردآلو در روی سکوی نگه‌دارنده در ناحیه‌ای که شعاع انحنا و رنگ به‌دست آورده شده بود، قرار گرفت و با یک ضربه‌زن فلزی متصل به سنسور نیروسنج با شعاع انحنا ۲۵ میلی‌متر به آن ضربه زده شد. سطوح ضربه‌های به‌کار برده شده در جدول ۱ نشان داده شده است. سطح انرژی اول ناحیه‌ای است که در آن کوفتگی به‌راحتی قابل رؤیت نمی‌باشد ولی در دو سطح انرژی دیگر کوفتگی در اثر ضربه وارده بعد از مدت زمان معین قابل رؤیت می‌باشد. سطوح انرژی انتخاب‌شده برای آزمایش در طی برداشت‌های مکانیکی، دستی و حمل‌ونقل میوه زردآلو به‌دست آمد. قبل از انجام این آزمایش‌ها در محل اعمال ضربه، شعاع انحنا و سفتی آکوستیک با توجه به توضیح‌های ارائه‌شده محاسبه شد. برای تعیین انرژی نفوذ، نیروی نفوذ

تحقیق است. در این تحقیق میوه زردآلو رقم ضیاءالملکی جهت تعیین برخی از خواص فیزیکی و مکانیکی مورد آزمایش قرار گرفته شد. با انجام آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی اثر عوامل سطوح انرژی ضربه در سه سطح ضربه، دو سطح دمایی (۳ و ۲۵ درجه سلسیوس) و دو ناحیه رنگی (قرمز و زرد) بر سفتی آکوستیک، مشخصه رنگی  $a^*$  و  $b^*$  درصد بریکس، نیروی نفوذ، تغییر شکل نفوذ و کار نفوذ در میوه زردآلو تحت اثر نیروهای شبه استاتیکی مطالعه شد.

## مواد و روش‌ها

میوه زردآلوی انتخاب شده در آزمایش، وارپته ضیاءالملکی بود. برای انجام آزمایش تعداد معینی زردآلو از باغ آبشینه همدان در سال ۱۳۹۲ برداشت شد. جهت جلوگیری از هرگونه صدمه، میوه‌ها با دقت از درخت برداشت شده و در جعبه‌های پلاستیکی یک ردیفه، برای جلوگیری از وارد آمدن صدمه به زردآلو قرار گرفتند. سپس میوه‌های بسته‌بندی شده به سردخانه با دمای ۵ درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی ۸۵ درصد انتقال داده شد. برای انجام مراحل آزمایش میوه‌ها به مدت ۶ ساعت در دمای اتاق (۲۵-۲۰°C) نگهداری شدند. شعاع انحنا ناحیه‌ای از میوه که قرار بود تحت آزمون شبه استاتیکی قرار بگیرد با استفاده از دستگاه شعاع‌سنج (LG, Resolution: 0.01 mm) اندازه‌گیری شد (شکل ۱). اندازه‌گیری شعاع انحنا میوه با استفاده از رابطه (۱) که توسط محسنین (۱۹۸۶) ارائه گردیده است صورت گرفت.



شکل ۱- نمای کلی از اندازه‌گیری شعاع انحنا

Fig.1. General view of the curvature meter

$$RADIUS = \frac{(AC)^2}{8(BD)} + \frac{(BD)}{2} \quad (1)$$

$$R = \frac{(2R_1R_2)}{(R_1 + R_2)} \quad (2)$$

سفتی میوه، کمیت مهمی در تعیین کیفیت میوه‌هاست، وان

تحت آزمون شبه استاتیکی پنچری با دستگاه آزمون کشش - فشار و سرعت بارگذاری ۲۵ میلی‌متر بر دقیقه قرار گرفتند.

و تغییر شکل نفوذ، بعد از اعمال سه سطح انرژی ضربه در دو سطح دمایی ۳ و ۲۵ درجه سانتی‌گراد در دو ناحیه رنگی زرد و قرمز، میوه‌ها

### جدول ۱- سطوح انرژی ضربه استفاده شده برای زردآلو

Table 1- Different impact levels applied on the apricot

سطوح ضربه Impact levels	انرژی ضربه (ژول) Impact energy (J)		نیروی ضربه (نیوتن) Impact force (N)	
	میانگین Average	SD <sub>a</sub> (%)	میانگین Average	SD <sub>a</sub> (%)
سطح ۱ Level 1	0.029	1.4	20	22
سطح ۲ Level 2	0.073	3.5	35	24
سطح ۳ Level 3	0.18	3.2	55	17

a: درصد انحراف استاندارد متوسط

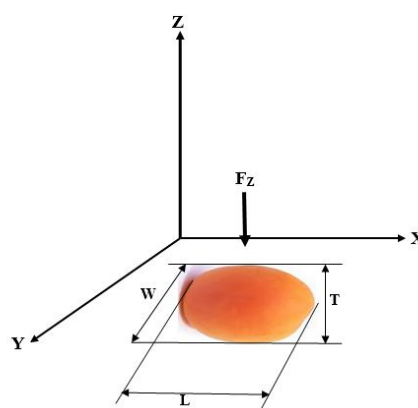
a: Standard deviation as percent of the average

مدول الاستیسیته میوه، انرژی و نیروی مورد نیاز برای نفوذ، میزان تغییر شکل نفوذ و اثرات متقابل و مستقل بین متغیرهای مستقل (دما، رنگ و سطوح انرژی ضربه) و وابسته (مدول الاستیک، شعاع انحناء، نیروی و انرژی نفوذ، تغییر شکل نفوذ، مشخصه رنگی  $a^*$  و  $b^*$  و درصد بریکس) می‌باشد. این آزمایش روی میوه کامل در سرعت بارگذاری ۲۵ میلی‌متر بر دقیقه و در دماهای ۳ و ۱۵ درجه سلسیوس انجام شد.

در این پژوهش با انجام آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی اثر عوامل سطوح انرژی ضربه در سه سطح ضربه، دو سطح دمایی (۳ و ۲۵ درجه سلسیوس) و دو ناحیه رنگی (قرمز و زرد) بر سفتی آکوستیک، شعاع انحناء، مشخصه رنگی  $a^*$  و  $b^*$ ، درصد بریکس، نیروی نفوذ، کار نفوذ و تغییر شکل نفوذ در میوه زردآلو تحت اثر نیروهای شبه‌استاتیک مطالعه شد. برای انجام این آزمایش‌ها از دستگاه آزمون کشش-فشار مواد بیولوژیک استفاده شد (شکل ۲). هدف از این آزمایش تعیین تغییرات نیرو و تغییر شکل، تعیین



A



B

شکل ۲- A- دستگاه آزمون کشش-فشار، B- شماتیکی از نمونه تحت بارگذاری

Fig.2. A: Universal testing machine; B: A schematic of the sample under loading

اثرهای متغیر مستقل به متغیرهای وابسته از آزمون فاکتوریل استفاده شد. میزان قند کاهنده با استفاده از استاندارد آب میوه‌ها - روش‌های آزمون شماره ۲۶۸۵ (موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران)

پس از آن که خواص مکانیکی هریک از محصولات تعیین شد اطلاعات به‌دست آمده توسط نرم‌افزار (SAS 19) نرمال‌سازی و برای تعیین واریانس خطا مورد آزمون قرار گرفته شد. همچنین برای تعیین

اصلی و برخی اثرات متقابل در سطح احتمال ۰/۰۱ معنی دار شد. همچنین با توجه به جدول تجزیه واریانس، داده‌های سفتی آکوستیک در اثرهای اصلی دما و انرژی ضربه و اثر متقابل انرژی ضربه و دما در سطح احتمال ۰/۰۱ معنی دار شد. برای مدول الاستیک اثرهای اصلی رنگ و انرژی ضربه به ترتیب در سطوح احتمالی ۰/۰۵ و ۰/۰۱ و اثر متقابل رنگ و انرژی ضربه در سطح احتمال ۰/۰۱ معنی دار شد. برای درصد بریکس اثر اصلی رنگ و انرژی ضربه به ترتیب در سطح احتمال ۰/۰۵ و ۰/۰۱ و اثر متقابل دما و رنگ در سطح احتمال ۰/۰۵ معنی دار شد. برای نیروی نفوذ، اثرهای متقابل رنگ و انرژی ضربه و دما و رنگ در سطح احتمال ۰/۰۱ معنی دار شد. با توجه به جدول تجزیه واریانس، نتیجه داده‌های تغییرشکل برای اثر اصلی رنگ و دما در سطح احتمال ۰/۰۱ و اثر متقابل رنگ و انرژی ضربه و انرژی ضربه و دما در سطح احتمال ۰/۰۱ معنی دار شد.

اندازه‌گیری شد. میزان مواد جامد محلول زردآلو برای هر سطح دمایی توسط رفرکترومتر چشمی (PAL-2) Model: 3820 (Resolution:  $\pm 0.1\%$  Brix) به دست آمد.

## نتایج و بحث

تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده توسط نرم‌افزار (SAS 19) انجام شد. برای آنالیز واریانس داده‌ها از قالب فاکتوریل چند متغیره (۳×۲×۲) استفاده شد: دو سطح دما (۳°C و ۲۵°C)، دو نوع رنگ (زرد و قرمز) و سه سطح انرژی ضربه. آزمون چند دامنه دانکن برای مقایسه میانگین داده‌ها انجام شد. نتایج تجزیه واریانس اثر عوامل رنگ، دما و انرژی ضربه بر خواص مشخصه رنگی  $a^*$  و  $b^*$ ، سفتی آکوستیک، مدول الاستیک، درصد بریکس، نیروی نفوذ، کار نفوذ و تغییرشکل نفوذ در جدول ۲ نشان داده شده‌اند. برای مشخصه رنگی، اثرهای

**جدول ۲-** تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر رنگ (C)، دما (T) و انرژی ضربه (E) بر مشخصه رنگی، سفتی آکوستیک، مدول الاستیسیته، درصد بریکس، نیروی نفوذ، کار نفوذ و تغییرشکل نفوذ میوه زردآلو

**Table 2-** Analysis of variance (mean square) for effects of color (C), temperature (T) and impact energy (E) on the characteristics of color, acoustic stiffness, elastic modulus, percent Brix, penetration force, penetration work, and penetration deformation apricot fruit

منابع تغییرات Source of variations	درجه آزادی Degree of freedom	منابع میانگین مربعات Sources mean-square						
		مشخصه رنگی $a^*$ و $b^*$ Color characteristic $a^*$ and $b^*$	سفتی آکوستیک Acoustic stiffness	مدول الاستیسیته Modulus of elasticity	درصد بریکس Brix Percentage	نیروی نفوذ Penetration force	کار نفوذ Penetration work	تغییرشکل نفوذ Penetration deformation
C	1	2725.9**	1.8	0.1*	23.7*	0.2	29.4	8.6**
T	1	1556.7**	347.2**	0.07	1.7	1.02	151.5	14.1**
E	2	96.6**	4.5**	0.1*	37.5**	2.8	3.2	3.1
C×E	2	36.5**	1.2	0.16**	13.8	9.8**	39.8	5.1**
T×C	1	57.9**	1.03	0.09	24.7*	8.1**	212.05	3.5
E×T	2	53.7**	8.4**	0.05	3.6	0.12	53.4	5.6**
T×C×E	2	8.3	14.9**	0.1*	4.6	4.5	7.5	1.7

\*\* اثر معنی‌داری در سطح احتمال ۰/۰۱ و \* اثر معنی‌داری در سطح احتمال ۰/۰۵.  
\*\*, \*: Significant at 1%, 5% of probability levels, respectively.

با توجه به جدول ۳، سفتی آکوستیک زردآلو در دمای ۳ درجه سلسیوس بیشتر از دمای ۲۵ درجه سلسیوس شد. به علت اینکه با کاهش دما، بافت زردآلو که ویسکوالاستیک است دچار منبسط شدن و سفت‌تر شدن قسمت ویسکوز می‌شود و با این تفسیر سفتی افزایش می‌یابد.

مقادیر میانگین و انحراف استاندارد خصوصیات مکانیکی (مدول الاستیسیته، نیروی نفوذ، تغییرشکل نفوذ، کار نفوذ، نیروی شکست، تغییرشکل شکست و کار شکست)، خواص شیمیایی (درصد بریکس) و رنگ که در این تحقیق به دست آمده‌اند در جدول ۳ آورده شده است.

**جدول ۳-** مقادیر میانگین و انحراف استاندارد متغیرهای وابسته برای میوه زردآلو

**Table 3-** The mean and standard deviation of the dependent variables for apricot fruit

زمان اندازه‌گیری Measurement time	خصوصیات اندازه‌گیری شده Properties measured	ناحیه قرمز در دمای ۳ درجه (a*) The red area 3 ° (a*)	ناحیه قرمز در دمای ۲۵ درجه (a*) The red area 25 ° (a*)	ناحیه زرد در دمای ۳ درجه (b*) The yellow area 3 ° (b*)	ناحیه زرد در دمای ۲۵ درجه (b*) The yellow area 25 ° (b*)	
قبل از ضربه Before impact	سفتی آکوستیک Acoustic stiffness	12.85±0.98	8.84±1.31	12.97±1.73	9.32±0.89	
	رنگ Color	28.97±5.40	1.95±1.37	40.47±5.40	12.78±1.97	
	درصد بریکس Brix percentage	-	19.6±2.5	-	17.3±1.3	
	نیروی نفوذ Penetration force	-	4.6±1.2	-	5.1±1.3	
	تغییر شکل نفوذ Penetration deformation	-	5.7±1.19	-	5.3±0.7	
	کار نفوذ Penetration work	-	17.4±6.6	-	16.9±4.2	
	نیروی شکست Breaking force	-	3.6±1.2	-	3.9±1.4	
	تغییر شکل شکست Breaking deformation	-	6.01±1.2	-	5.5±0.7	
	کار شکست Breaking work	-	18.4±6.6	-	18.1±4.7	
	مدول الاستیسیته Modulus of elasticity	-	0.85±0.35	-	0.9±0.2	
	بعد از ضربه After impact	درصد بریکس Brix percentage	20.69±3.1	21.7±2.5	20.7±2.5	19.4±2.7
		نیروی نفوذ Penetration force	4.50±1.50	3.7±1.10	4.02±1.01	4.46±1.08
تغییر شکل نفوذ Penetration deformation		7.5±1.6	6.4±1.4	6.8±0.8	6.2±1.2	
کار نفوذ Penetration work		19.69±7.3	13.7±4.7	14.9±3.6	15.3±3.2	
نیروی شکست Breaking force		3.7±1.2	2.9±0.7	3.2±1.1	3.7±0.9	
تغییر شکل شکست Breaking deformation		7.7±1.6	6.7±1.2	6.88±0.80	6.4±1.3	
کار شکست Breaking deformation		19.8±7.5	15.1±5.1	15.8±3.6	16.5±4.9	
مدول الاستیسیته Modulus of elasticity		0.59±0.20	0.61±0.20	0.66±0.27	0.84±0.30	

دیواره سلولی دارد. سفتی آکوستیک رابطه مستقیم با مدول الاستیسیته دارد ( Van Zeebroeck *et al.*, 2007b; Duprat *et al.*, 1997; Landahl *et al.*, 2004). بارتیل و هاید (۲۰۰۱) اثبات کردند که با کاهش ترگر، سفتی بافت کاهش می‌یابد و کاهش سفتی در سیب و سیب‌زمینی نتیجه‌اش در افزایش کرنش شکست و

اندازه‌گیری سفتی بافت میوه یک رویکرد مناسب برای نظارت بر نرم شدن میوه و پیش‌بینی خسارت ناشی از کوفتگی در طول برداشت و پس از برداشت است. سفتی آکوستیک وابسته به سختی اولیه و ارتباط مثبتی با سفتی مگنس تیلور دارد. عمدتاً اندازه‌گیری سفتی مکانیکی از بافت میوه‌ها بستگی به فشار ترگر و مقاومت مکانیکی

در ناحیه برخورد اعمال می‌شود. با افزایش فشار، بافت میوه زردآلو دچار آسیب کوفتگی بیشتری می‌شود که این آسیب ۲۴ ساعت بعد از ضربه کاملاً مشخص می‌باشد. به علت کوفتگی بیشتر در ناحیه برخورد، تغییر شکل کمتری در انرژی ضربه بالا برای رسیدن به نیروی نفوذ لازم است. با توجه با این که کاهش دما، بافت میوه را سفت‌تر می‌کند در یک سطح انرژی ضربه ثابت، میوه با دمای بافت بالاتر در اثر ضربه، انرژی بیشتری جذب می‌کند و موجب انتقال این انرژی جذب شده به درون بافت می‌شود که کوفتگی این ناحیه بیشتر شده و تغییر شکل کمتر برای نیروی نفوذ لازم است. با توجه به شکل‌های ۳ و ۴، تغییر شکل ناحیه قرمز بیشتر از ناحیه زرد بود که این بیانگر سفت‌تر بودن ناحیه قرمز و جذب انرژی کمتر این ناحیه می‌باشد. با افزایش رسیدگی میوه زردآلو مدول الاستیسیته کاهش می‌یابد و بافت آسیب بیشتری در برخوردهای مکانیکی می‌بیند. رسیدگی میوه با سفتی آکوستیک رابطه عکس و با مشخصه‌های رنگی  $a^*$  و  $b^*$  رابطه مستقیم دارد (Duprat *et al.*, 1997). با افزایش رسیدگی میوه، انرژی ضربه بیشتری جذب بافت میوه شده که یکی از بهترین فاکتورها برای تعیین رسیدگی میوه استفاده از مشخصه‌های رنگی  $a^*$  و  $b^*$  می‌باشد (Van linden *et al.*, 2007; Van Zeebroeck *et al.*, 2007a). مینیساتی و پاگلیا (۲۰۰۱) مقادیر مختلفی از پارامترهای رنگی  $L^*$  و  $b^*$  را برای سطوح مختلف رسیدگی زردآلو به دست آوردند.

#### بررسی اثر انرژی ضربه و دما در دو ناحیه رنگی زرد و قرمز بر تغییر شکل

با توجه به جدول ۲ بررسی اثر متقابل انرژی ضربه و رنگ در سطح ۰/۰۱ تفاوت معنی‌داری داشت. با توجه به شکل ۵ و ۶ می‌توان این نتیجه را گرفت که تغییر شکل نفوذ با افزایش انرژی ضربه روند کاهشی داشت. در ناحیه قرمز و دمای ۳ درجه سلسیوس با افزایش انرژی ضربه از ۰/۲۹ به ۰/۱۸ ژول، مقدار تغییر شکل نفوذ ۳۲ درصد و در دمای ۲۵ درجه سلسیوس ۳۸ درصد کاهش یافت. همچنین ناحیه زرد و دمای ۳ درجه سلسیوس با افزایش انرژی ضربه از ۰/۲۹ به ۰/۱۸ ژول، مقدار تغییر شکل نفوذ ۳۰ درصد و در دمای ۲۵ درجه سلسیوس ۳۵ درصد کاهش یافت. دما تأثیر زیادی در پاسخ بافت به آسیب‌های مکانیکی دارد. باریتلی و هاید (۲۰۰۱) نشان دادند که با افزایش دما، تغییر شکل نفوذ در بافت میوه سیب‌زمینی افزایش می‌یابد در حالی که در سیب این اثر مشاهده نشد. به هر حال دما می‌تواند با اثر بر فشار ترگر سلول، در مقاومت بافت به کوفتگی مؤثر باشد، به طوری که با افزایش نسبی ترگر میزان تغییر شکل شکست بافت کاهش می‌یابد (Baritelle and Hyde, 2001; Demartino *et al.*, 2002). می‌توان این‌گونه توضیح داد که با افزایش دما بافت میوه سفت‌تر و ویسکوزیته بافت افزایش می‌یابد. با افزایش سفتی بافت،

همچنین افزایش کشش بافت می‌باشد. رنگ یکی از مهم‌ترین فاکتورها در تعیین رسیدگی و کیفیت میوه است. با توجه به جدول ۳ این‌گونه می‌توان تفسیر کرد که با افزایش دما برای ناحیه رنگی قرمز از ۳ درجه به ۲۵ درجه سلسیوس میزان  $a^*$  و  $b^*$  کاهش می‌یابد. درصد بریکس یکی از مهم‌ترین روش‌ها برای تعیین میزان قند محلول در بافت میوه‌ها است. با اعمال ضربه در سه سطح انرژی به ناحیه قرمز و زرد در دو سطح دمایی ۳ و ۲۵ درجه سلسیوس و با توجه به جدول ۳ می‌توان دریافت که درصد بریکس ( $TSS^1$ ) ناحیه قرمز رنگ بیشتر از ناحیه زرد رنگ است. میزان  $TSS$  شاخص مهم کیفی است که رابطه‌ای مستقیم با کیفیت خوراکی میوه در زمان رسیدن دارد و مصرف‌کنندگان تمایل زیادی به میوه‌های رسیده با میزان  $TSS$  بالا دارند (Olanayan and Oje, 2002). میزان  $TSS$  به همراه سفتی بافت کاربرد گسترده‌ای در تعیین زمان برداشت و کیفیت پس از برداشت میوه در طول رسیدن میوه دارد و ارتباط نزدیکی با دیگر صفات دارند (Cicco *et al.*, 2007).

#### بررسی اثر دما، رنگ و سطوح انرژی ضربه بر خواص مکانیکی

جدول ۲ نتیجه تجزیه واریانس اثر فاکتورهای رنگ، دما و سطوح انرژی ضربه را بر میزان نیروی نفوذ، انرژی نفوذ و تغییر شکل نفوذ نشان می‌دهد. همه اثرهای اصلی و متقابل در سطح احتمال ۰/۰۱ برای مشخصه رنگی  $a^*$  و  $b^*$  معنی‌دار شد. برای نیروی نفوذ اثرهای متقابل رنگ و انرژی ضربه، دما و رنگ در سطح احتمال ۰/۰۱ معنی‌دار شد. با توجه به جدول تجزیه واریانس نتیجه داده‌های تغییر شکل برای اثر اصلی رنگ و دما در سطح احتمال ۰/۰۱ و اثر متقابل رنگ و انرژی ضربه، انرژی ضربه و دما در سطح احتمال ۰/۰۱ معنی‌دار شد.

#### بررسی اثر انرژی ضربه و رنگ در دو دمای ۳ و ۲۵ درجه بر تغییر شکل

با توجه به جدول ۲ اثر متقابل انرژی ضربه و رنگ در سطح ۰/۰۱ تفاوت معنی‌داری داشت. با توجه به مقایسه میانگین‌ها و شکل ۳ و ۴ می‌توان این نتیجه را گرفت که تغییر شکل نفوذ با افزایش انرژی ضربه روند کاهشی داشت. در دمای ۳ درجه سلسیوس و ناحیه قرمز با افزایش انرژی ضربه از ۰/۲۹ به ۰/۱۸ ژول، مقدار تغییر شکل نفوذ ۳۲ درصد و در ناحیه زرد ۳۰ درصد کاهش یافت. همچنین در دمای ۲۵ درجه سلسیوس و ناحیه قرمز با افزایش انرژی ضربه از ۰/۲۹ به ۰/۱۸ ژول، مقدار تغییر شکل نفوذ ۳۸ درصد و در ناحیه زرد ۳۵ درصد کاهش یافت. با افزایش انرژی ضربه فشار بیشتری به میوه

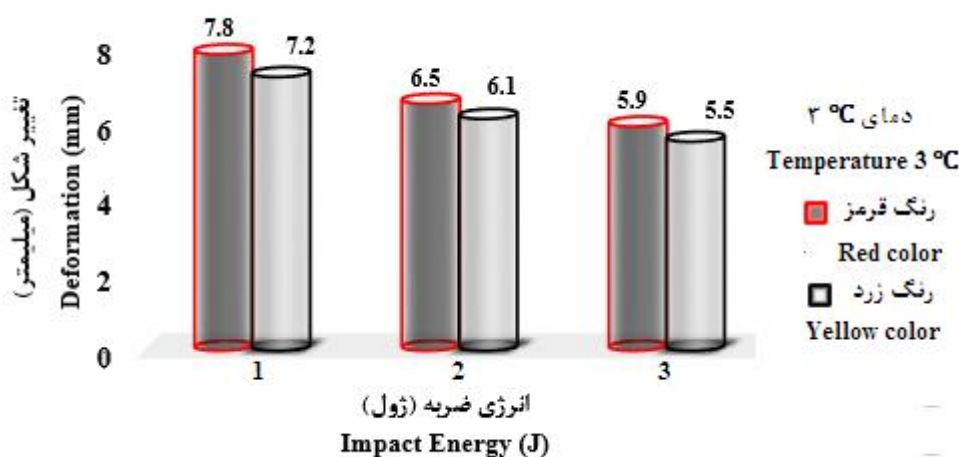
1- Total soluble solids

انرژی ضربه از ۰/۰۲۹ به ۰/۱۸ ژول، مقدار تغییر شکل نفوذ ۳۸ درصد و در ناحیه زرد ۲۹ درصد کاهش یافت. همچنین در دمای ۲۵ درجه سلسیوس و ناحیه قرمز با افزایش انرژی ضربه از ۰/۰۲۹ به ۰/۱۸ ژول، مقدار نیروی نفوذ ۴۰ درصد و در ناحیه زرد ۲۸ درصد کاهش یافت. نیروی نفوذ در ناحیه کوفتگی برای دمای ۳ درجه سلسیوس نسبت به دمای ۲۵ درجه سلسیوس بیشتر و برای ناحیه رنگی قرمز بیشتر از ناحیه زرد شد. مهم‌ترین علت را می‌توان سفت‌تر بودن بافت در ناحیه کوفته شده دانست. بافت سفت‌تر برای رسیدن به تغییر شکل نفوذ نیاز به نیروی نفوذ بیشتری داشت.

انرژی ضربه کمتری جذب شده و کوفتگی کمتری در بافت میوه ایجاد می‌شود. به علت سفت‌تر بودن بافت، تغییر شکل بیشتر نیاز است تا در بافت، نفوذ حاصل شود.

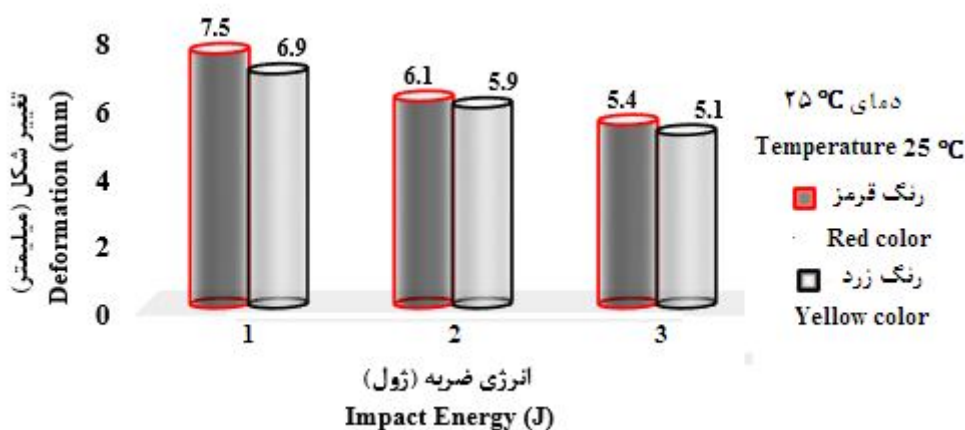
### بررسی اثر انرژی ضربه و رنگ در دمای ۳ و ۲۵ درجه سلسیوس بر نیروی نفوذ

با توجه به جدول ۲ بررسی اثر متقابل انرژی ضربه و رنگ در سطح ۰/۰۱ تفاوت معنی‌داری داشت. با توجه به شکل ۷ و ۸ می‌توان این نتیجه را گرفت که نیروی نفوذ با افزایش انرژی ضربه روند کاهشی داشت. در دمای ۳ درجه سلسیوس و ناحیه قرمز با افزایش



شکل ۳- اثر انرژی ضربه و رنگ در دمای ۳°C بر تغییر شکل

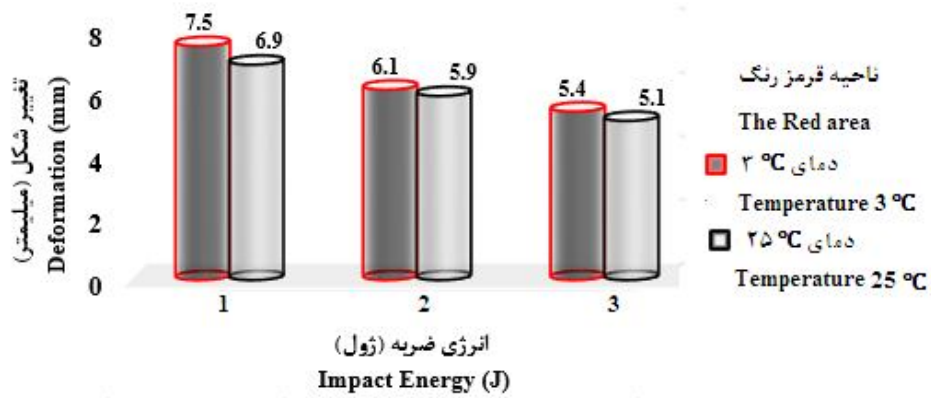
Fig.3. Effect of impact energy and color at 3°C on deformation



شکل ۴- اثر انرژی ضربه و رنگ در دمای ۲۵°C بر تغییر شکل

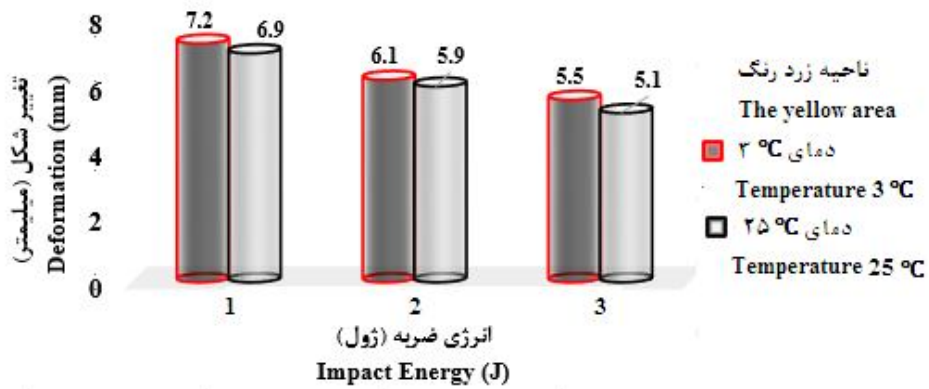
Fig.4. Effect of impact energy and color at 25°C on deformation





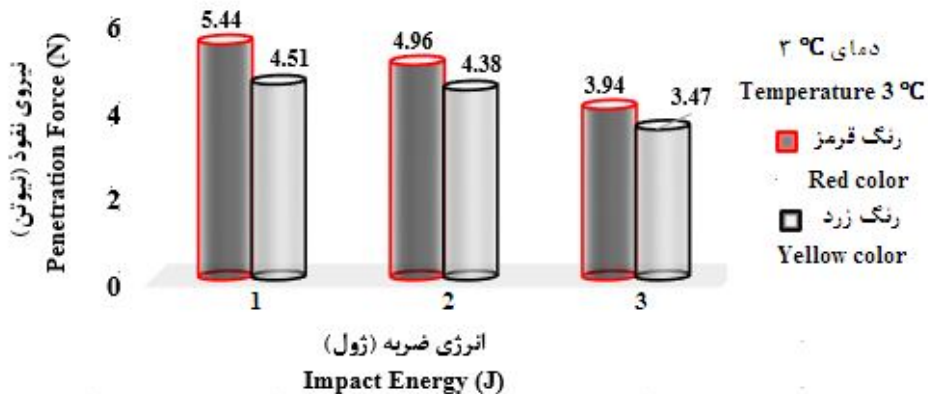
شکل ۵- اثر انرژی ضربه و دما در ناحیه قرمز رنگ بر تغییرشکل

Fig.5. Effect of impact energy and temperature in the red zone on the deformation



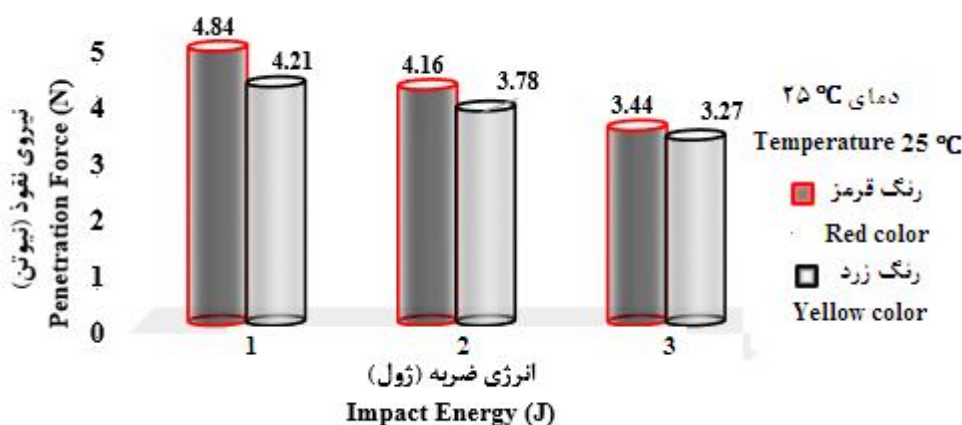
شکل ۶- اثر انرژی ضربه و دما در ناحیه زرد رنگ بر تغییرشکل

Fig.6. Effect of impact energy and temperature in the red zone on the deformation



شکل ۷- اثر انرژی ضربه و رنگ در دمای ۳°C بر نیروی نفوذ

Fig.7. Effect of impact energy and color at 3°C on penetration force



شکل ۸- اثر انرژی ضربه و رنگ در دمای ۲۵°C بر نیروی نفوذ  
 Fig.8. Effect of impact energy and color at 25°C on Penetration force

### نتیجه‌گیری

در این پژوهش خصوصیات مکانیکی (سفتی آکوستیک، مدول الاستیک، تغییر شکل نفوذ، نیروی نفوذ و انرژی نفوذ)، فیزیکی (رنگ و شعاع انحناء) و شیمیایی (درصد بریکس) در مرحله رسیدگی کامل مورد بررسی قرار گرفت. همچنین اثر سطوح مختلف انرژی ضربه دینامیکی، دو سطح دمایی ۳ و ۲۵ درجه سلسیوس و دو ناحیه رنگی قرمز و زرد بر تغییر شکل و نیروی نفوذ ارزیابی گردید. با توجه به جدول تجزیه واریانس، برخی از اثرهای اصلی (رنگ، انرژی ضربه و دما) و متقابل (رنگ - انرژی ضربه و دما - رنگ) برای داده‌های سفتی آکوستیک، مدول الاستیک، درصد بریکس، نیروی نفوذ و تغییر شکل نفوذ در سطوح احتمال ۰/۰۵ و ۰/۰۱ معنی‌دار شد.

نتایج اثرهای متقابل بر روی نیروی نفوذ و تغییر شکل را می‌توان به شکل زیر خلاصه کرد:

با افزایش سطوح انرژی ضربه در دو سطح دمایی ۳ و ۲۵ درجه سلسیوس و دو ناحیه قرمز و زرد، تغییر شکل نفوذ کاهش یافت. تغییر شکل نفوذ برای دمای ۳ درجه سلسیوس کمتر از ۲۵ درجه سلسیوس و برای ناحیه رنگی قرمز کمتر از ناحیه رنگی زرد شد. با افزایش سطوح انرژی ضربه در دو سطح دمایی ۳ و ۲۵ درجه سلسیوس و دو ناحیه قرمز و زرد، نیروی نفوذ کاهش یافت. نیروی نفوذ برای دمای ۳ درجه سلسیوس بیشتر از ۲۵ درجه سلسیوس و برای ناحیه رنگی قرمز بیشتر از ناحیه رنگی زرد شد.

### References

- Ahmadi, E., H. R. Ghassemzadeh, M. Sadeghi, M. Moghadam, and S. Zarif Neshat. 2010. The effect of impact properties and fruit properties on the bruising of peach. *Journal of Food Engineering* 97: 110-117.
- Abbott, J. A. 1999. Quality measurement of fruits and vegetables. *Postharvest Biology and Technology* 15: 207-225.
- Aydin, C., and M. Ozcan. 2002. Some physico-mechanic properties of terebinth (*Pistacia terebinthus* L.) fruits. *Journal of Food Engineering* 53: 97-101.
- Aydin, C. 2003. Physical properties of almond nut and kernel. *Journal of Food Engineering* 60: 315-320.
- Azodanlou, R., C. Darbellay, J. L. Luisier, J. C. Villettaz, and R. Amadò. 2003. Development of a model for quality assessment of tomatoes and apricots. *LWT- Food Science and Technology* 36: 223-233.
- Barikloo, H., and E. Ahmadi. 2013. Dynamic properties of golden delicious and red delicious apple under normal contact force models. *Journal of Texture Studies* 44: 409-417.
- Baritelle, A. L., and G. M. Hyde. 2001. Commodity conditioning to reduce impact bruising. *Postharvest Biology and Technology* 21: 331-339.
- Barych, E. A. 2000. Strength properties of Avocado pear. *Journal of Agricultural Engineering Research*

- 76: 389-397.
9. Braga, G. C., S. M. Couto, T. Hara, and G. T. P. A. Neto. 1999. Mechanical behavior of macadamia nut under compression loading. *Journal of Agricultural Engineering Research* 72: 239-245.
  10. Brusewitz, G. H., and J. A. Bartsch. 1989. Impact parameters related to postharvest bruising of apples. *Transactions of the ASAE* 32: 953-957.
  11. Calisir, S., H. Haciseferogullari, M. Ozcan, and D. Arslan. 2004. Some nutritional and technological properties of wild plum (*Prunus* spp.) fruits in Turkey. *Journal of Food Engineering* 66: 233-237.
  12. Cicco, N., B. Dichio, C. Xiloyannis, A. Sofo, V. Lattanzio, A. R. Ferguson, E. W. Hewett, F. A. Gunson, and C. N. Hale. 2007. Influence of calcium on the activity of enzymes involved in kiwifruit ripening. *Acta Horticulture* 753: 433-438.
  13. Demartino, G., R. Massantini, R. Botondi, and F. Mencarelli. 2002. Temperature affects impact injury on apricot fruit. *Postharvest Biology Technology* 25: 145-149.
  14. Diezma, B., C. Valero, F. J. Garcia-Ramos, and M. Ruiz-Altisent. 2006. Monitoring of firmness evolution of peaches during storage by combining acoustic and impact methods. *Journal of Food Engineering* 77: 926-935.
  15. 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.
  16. Fathollahzadeh, H., H. Mobli, B. Beheshti, A. Jafari, and A. M. Borghei. 2008. Effects of moisture content on some physical properties of apricot kernel (CV. Sonnati Salmas). *Agricultural Engineering International the CIGR Ejournal* 8: 1-14.
  17. Fletcher, S. W., N. N. Mohsenin, J. R. Hammerle, and L. D. Tukey. 1965. Mechanical behavior of selected fruits and vegetables under fast rates of loading. *Transactions of the ASAE* 8: 324-331.
  18. Gezer, I., H. Haciseferogulları, and F. Demir. 2002. Some physical properties of Hacıhaliloglu apricot pit and it's kernel. *Journal of Food Engineering* 56: 49-57.
  19. Guner, M., E. Dursun, and I. G. Dursun. 2003. Mechanical behavior of hazelnut under compression loading. *Biosystem Engineering* 85: 485-491.
  20. Haciseferogulları, H., I. Gezer, M. Ozcan, and B. M. Asma. 2007. Postharvest chemical and physical-mechanical properties of some apricot varieties cultivated in Turkey. *Journal of Food Engineering* 79: 364-373.
  21. Hassan Beygi, S. R., S. M. Ghaebi, and A. Arabhosseini. 2009. Some physico-mechanical properties of apricot fruit, pit and kernel of ordubad variety. *Agricultural Engineering International: the CIGR Ejournal*, Manuscript 1459, 9: 1-13.
  22. Jannatizadeh, A., M. Naderi Boldaji, R. Fatahi, M. Ghasemi Varnamkhasti, and A. Tabatabaeefar. 2008. Some postharvest physical properties of Iranian apricot (*Prunus armeniaca* L.) fruit. *International Journal of Agrophysics* 22: 125-131.
  23. Menesatti, P., and G. Paglia. 2001. Development of a drop damage index of fruit resistance to damage. *Journal Agricultural Engineering Research* 80: 1-12.
  24. Mohsenin, N. N. 1986. *Physical properties of plant and animal materials*. Gordon and Breach Science Publishers, New York.
  25. Landahl, S., W. B. Herppich, B. Herold, M. Geyer, and J. De Baerdemaeker. 2004. A comprehensive evaluation of the interactions between produce elasticity and water status. *European Journal of Horticultural Science* 69: 250-257.
  26. Olaniyan, A. M., and K. Oje. 2002. Some aspects of the mechanical properties of Shea nut. *Biosystems Engineering* 81: 413-420.
  27. Petrisor, C., G. L. Radu, V. Balan, and G. Campeanu. 2010. Rapid and non-destructive analytical techniques for measurement of apricot quality. *Romanian Biotechnological Letters* 15: 5213-5216.
  28. Povey, M. J. W., and J. M. Wilkinson. 1980. Application of ultrasonic pulse-echo techniques to egg-albumin quality testing a preliminary report. *British Poultry Science* 21: 489-495.
  29. Van Linden, V., B. Ketelaere, M. Desmet, and J. De Baerdemaeker. 2007. Determination of bruise susceptibility of tomato fruit by means of an instrumented pendulum. *Postharvest Biology and Technology* 40: 7-14.
  30. Van Zeebroeck, M., V. Van linden, P. Darius, B. De Ketelaere, H. Roman, and E. Tijskens. 2007a. The effect of fruit properties on the bruise susceptibility of tomatoes. *Postharvest Biology and Technology* 45: 168-175.

31. Van Zeebroeck, M., V. Van linden, P. Darius, B. De Ketelaere, H. Roman, and E. Tijskens. 2007b. The effect of fruit factors on the bruise susceptibility of apples. *Postharvest Biology and Technology* 46: 10-19.
32. Wright, F. S., and W. E. Splinter. 1968. Mechanical behavior of sweet potatoes under slow loading and impact loading. *Transactions of the ASAE* 12: 765-770.

## Mechanical property evaluation of apricot fruits under quasi-static and dynamic loading

E. Ahmadi<sup>1\*</sup> - H. Barikloo<sup>2</sup>

Received: 13-12-2013

Accepted: 24-02-2014

**Introduction:** Some forces and impacts that occur during transporting and handling can reduce the apricot quality. Bruise damage is a major cause of fruit quality loss. Bruises occur under dynamic and static loading when stress induced in the fruit exceeds the failure stress of the fruit tissue. Needless to say that physical and mechanical properties of fruits in the design and optimization of systems related to production, processing and packaging of the products are important. Harvesting, transport, packaging and transportation of fruits and vegetables, result in their bruising which can cause loss of marketability of the fruit by consumers. The term of 'absorbed energy' could be used to express the quantity of damage done on the fruit and the higher the absorbed energy, the higher the damage on the fruit. The object of this research was due to the importance of apricot fruit and lack of information about the mechanical behavior.

**Materials and Methods:** In this study, apricot fruit variety "Ziaolmolki" was examined to determine some physical and mechanical properties. In order to avoid any damage, the fruits were carefully harvested from trees and gathered in plastic boxes in a row, to prevent damage to the apricots. For determination of mechanical properties and levels of impact energy used test axial machine and pendulum device, respectively. Dependent variables (acoustics stiffness, radius of curvature, color characteristic  $a^*$  and  $b^*$ , Brix percentage, penetration force, penetration work and penetration deformation) and independent variables (impact energy in three levels, temperature and color in 2 levels each) were selected and analyzed by block designs with factorial structure. In the experimental design, the fruits were stored in two temperature levels, 3°C and 25°C. Two areas of any fruit (red and yellow areas) were subjected to 3 impact energy levels. For each of the 8 levels, 8 fruit samples were selected. Overall, 96 fruits {8 (number of fruit per level) × 3 (impact energy level) × 2 (both red and yellow) × 2 (at 25°C and 3°C)} was selected. In this study, using a factorial experiment in a completely randomized design, the effect of different factors (impact energy in 3 levels, temperature in 2 levels 3°C and 25°C and color in 2 levels red and yellow) on acoustic stiffness, radius of curvature, color characteristic  $a^*$  and  $b^*$ , percent Brix, penetration force, penetration work and penetration deformation in apricot under the quasi-static forces were studied. In order to conduct this experiment, the universal testing machine of biological materials was used. After the determination of mechanical properties of the products, the SAS statistical program (1.9) was applied to analyze and normalize the resulted data.

Factorial test also was used to determine the effects of independent variables on the dependent variables. Data analyses were performed using Statistical Package for the Social Sciences (SAS version 19.0). The variance analysis of the data was conducted in the form of multivariate factorial (2×2×3) design. The data were collected by three controlling factors: two temperature levels (3 and 20°C), two types of colour (Yellow and Red fruits) and three levels of impact energy. The Duncan's multiple range tests was used to compare the means. The values of reducible sugars were measured by the fruit juice standard - test methods No. 2685 (Institute of Standards and Industrial Research of Iran). The apricots TSS (total soluble solids) for each temperature level by Refractomete (Model: 3820 (PAL-2), Resolution: ± 0.1% Brix) were obtained.

**Results and Discussion:** Respectively, the main and interaction effects of these variables were examined. The results of analysis of variance showed that, the radius of curvature, color characteristic, acoustics stiffness, elastic modulus, percent Brix, penetration force and penetration deformation on main and interaction effects were significant at 5% and 1% probability level. According to the analysis of variance table between dependent and independent parameters, a significant effect was observed. Increasing impact energy, the penetration force and penetration deformation at 3°C was higher than at 25°C (Fig.3, 4, 7 and 8). Increasing impact energy, the red zone showed more penetration deformation and penetration force than the yellow zone (Fig.5 and 6). In a constant level of energy the higher the temperature of fruit tissue, the more energy is absorbed, due to this fact

1- Associate Professor, Department of Biosystem Engineering, Faculty of Agriculture, Bu-Ali Sina University, Hamedan

2- Ph.D Student, Department of Biosystem Engineering, Faculty of Agriculture, Bu-Ali Sina University, Hamedan  
(\*- Corresponding Author Email: eahmadi@basu.ac.ir)

that lower temperatures can increase stiffness of the fruit, and leads to transport of absorbed energy to inside the tissue and increase the fruit bruising and final results in less needed penetration force for fruit transformation. Apricot acoustic stiffness in the temperature of 3°C was higher than in the temperature 25°C (Table 3). Fruit stiffness and tissue viscosity increases with increasing temperature. With increasing tissue stiffness, the less impact energy is absorbed and less bruising in fruit tissue is created. Because of more tissue stiffness, in order to create penetration in fruit tissue the more transformation is needed.

**Conclusions:** The red zone showed a higher bruise susceptibility of ripe apricots. According to the analysis of variance table between dependent and independent parameters, a significant effect was observed. Increasing impact energy, the penetration force and penetration deformation at 3°C was higher than at 25°C. Increasing impact energy, the red zone showed more penetration deformation and penetration force than the yellow zone. Apricot acoustic stiffness in the temperature of 3 °C was higher than in the temperature 25°C.

**Keywords:** Apricots, Color, Impact energy, Pendulum, Temperature