

## اثر ضربه ناشی از سقوط بر کوفتگی میوه انار

محمد محمدشفیق<sup>۱</sup> - علی رجیبی پور<sup>۲\*</sup> - حسین مبللی<sup>۲</sup> - مجید خانعلی<sup>۳</sup>

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۰۹/۱۸

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۰۳/۲۵

### چکیده

فرآیند انتقال میوه‌ها از باغ تا فروشگاه بسیار پیچیده می‌باشد که در نتیجه میوه در معرض انواع مختلف بارهای استاتیکی و دینامیکی قرار می‌گیرد که آسیب و کوفتگی می‌تواند نتیجه این رخداد باشد. سطح و حجم کوفتگی به‌عنوان مهمترین پارامترها، جهت ارزیابی آسیب وارده به میوه در مراحل برداشت و پس از برداشت می‌باشد. با توجه به محدودیت‌های روش‌های آزمون متعارف کوفتگی (ASTM D3332) استاندارد روش‌های آزمون برای آسیب‌پذیر بودن شوک‌های مکانیکی محصولات، روش و طرز کار برای تعیین مرز کوفتگی برای میوه انار با وفق دادن آزمون‌های سقوط آزاد محقق شد. آزمون‌های سقوط آزاد با چندین ارتفاع سقوط بر روی میوه انار رقم ملس ساوه انجام شد. شتاب و سرعت وارد شده به میوه به سبب ضربه‌ی ناشی از سقوط در طول تماس در ارتفاعات سقوط مختلف به‌دست آمد و حدود کوفتگی ناشی از سقوط میوه‌ی انار در سطوح کوفتگی مختلف با ترکیب آزمون‌ها و آنالیزهای تئوری تعیین شد. ارتفاع سقوط بحرانی انار در سطح کوفتگی معین مشخص شد و رابطه خطی بین ارتفاع سقوط و حجم کوفتگی برای انار ملس ساوه به‌دست آمد. همچنین نشان داده شد حتی اگر سرعت ضربه‌ی ناشی از سقوط به صفر برسد، میوه می‌تواند کوفته شود در صورتی که شتاب ضربه از یک مقدار معین (شتاب بحرانی) تجاوز کند.

واژه‌های کلیدی: آزمون سقوط، انار، ضربه، کوفتگی

### مقدمه

سایر میوه‌ها، به علت دارا بودن مقدار زیادی آب در معرض فساد قرار دارد. در حال حاضر کوفتگی و لهیدگی<sup>۷</sup> میوه انار و پوسیدگی<sup>۸</sup> ناشی از آن یکی از مهمترین مشکلات پس از برداشت و مانع عمده بازاریابی و صادرات میوه انار محسوب می‌گردد (Shakeri and Dehghani, 2008). ساخت و توسعه سامانه ماشین‌های کشاورزی و غذایی به‌طور مستقیم یا غیرمستقیم وابسته به خواص بیولوژیکی محصول و یا مواد ساختمانی آنها می‌باشد. از این‌رو، تحقیق در مورد خواص مواد غذایی و محصولات کشاورزی مانند میوه و سبزی ضروری و مهم است (Celik et al., 2011).

برای محصولات ویسکوالاستیک مانند میوه، بیشترین صدمه مکانیکی صرفاً به‌صورت چند تکه شدن یا شکافته شدن محصول نمی‌باشد، بلکه به‌صورت کوفتگی موضعی ناشی از ضربه سقوط در طی برداشت، جابه‌جایی، بسته‌بندی و حمل و نقل می‌باشد. کوفتگی عامل اصلی کاهش کیفیت میوه تازه است که می‌تواند به سبب ضربه یا فشردگی آهسته میوه در برابر اجسام دیگر در طی جابه‌جایی، درجه‌بندی، بسته‌بندی و حمل و نقل صورت گیرد، اما مطالعات انجام شده در حوزه سامانه‌های جابه‌جایی نشان می‌دهد که اکثر

انار با نام علمی *Punica granatum*<sup>۴</sup> از خانواده پونیکاسه<sup>۵</sup> می‌باشد که نام لاتین آن پوم‌گرانات<sup>۶</sup> به معنی سیب دانه‌دار یا سیب با هسته‌های زیاد مشتق شده است (Holland et al., Akbarpour et al., 2009). امروزه انار به‌صورت طبیعی (وحشی) در آسیای مرکزی، ایران، ترکمنستان و شمال هند دیده و انار بومی این مناطق در نظر گرفته می‌شود. در حال حاضر کشت محصول انار در کشورهای دیگر از جمله اسپانیا، تونس، ترکیه، چین، روسیه و ایالت متحده آمریکا گسترش یافته است (Hasnaoui et al., 2011). میوه انار همانند

۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد گروه مهندسی ماشین‌های کشاورزی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج

۲- استاد گروه مهندسی ماشین‌های کشاورزی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج

(\*- نویسنده مسئول: (Email: arajabi@ut.ac.ir)

۳- استادیار گروه مهندسی ماشین‌های کشاورزی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج

4- *Punica Granatum*

5- *Punicaseae*

6- *Pomegranate*

7- Crush

8- Decay

میوه به‌عنوان آستانه کوفتگی رسم شد.

در مطالعه دیگری، رابطه بین سطح کوفتگی سیب‌های ضربه خورده در مقابل سطوح بالشتکی مختلف مورد آزمایش قرار گرفت و شتاب بیشینه در حین سقوط سیب‌ها روی سطوح مشابه توسط این سامانه ثبت گردید و آستانه پتانسیل مرز کوفتگی برای نشان دادن سطح کوفتگی بحرانی سیب‌ها ارائه شد (Baritelle and Hyde, 1994; Pang *et al.*, 2001). همچنین این وسیله به منظور ارزیابی ضربات وارده به محصول سیب در طی فرآیند بسته‌بندی و ویژگی‌های سطوح ضربه ایجاد شده به سبب اجزا جابه‌جا کننده بسته استفاده گردید (Hyde, 1997; Hyde *et al.*, 1992). سطح و حجم کوفتگی تحت تأثیر طبقه‌بندی، توزیع و ساخت بسته‌بندی برای میوه قرار دارد. گسترش روش‌های مهندسی برای کنترل کوفتگی موضعی میوه امری ضروری می‌باشد.

به‌دلیل اهمیت و جایگاه صادراتی محصول انار در ایران و اینکه در حال حاضر مطالعه‌ای بر روی کوفتگی میوه‌ی انار انجام نشده است، این موضوع به نوبه خود در ایران و صادرات جهانی مهم و جدید می‌باشد. اهداف تحقیق حاضر به‌دست آوردن سطح و حجم کوفتگی در آزمون سقوط و مقایسه مقاومت به کوفتگی در ارتفاعات مختلف و به‌کارگیری روشی برای تعیین مرز آسیب ناشی از سقوط در روشن ساختن محدودیت‌های روش‌های آزمون مرز آسیب متعارف بود. همچنین در این تحقیق علاوه بر تعیین حدود کوفتگی این میوه، به‌وسیله سوار کردن صفحه‌ی ضربه بر روی چهار راهنمای خطی و صفر کردن نیروهای جابه‌جایی افقی، سرعت و شتاب ضربه‌ی میوه در راستای کاملاً عمودی برای تعیین مرز آسیب ناشی از سقوط محاسبه گردید.

#### محاسبات تئوری پارامترهای پایه ضربه ناشی از سقوط برای میوه

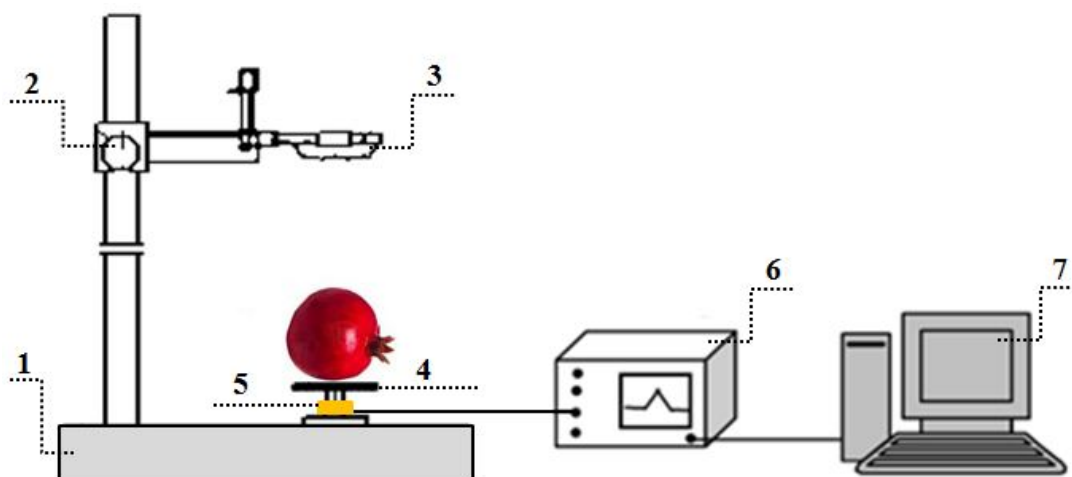
با توجه به محدودیت‌های روش‌های متعارف آزمون (ASTM D3332) و خواص ویسکوالاستیکی میوه، روش و طرزکار تعیین تخریب و مرزهای کوفتگی ناشی از سقوط برای میوه با وفق دادن آزمون‌های سقوط آزاد پیشنهاد شد (Lu and Wang, 2007). محدودیت اصلی آزمون‌های سقوط آزاد این است که علاوه بر تفاوت در مقادیر حجم کوفتگی میوه‌ها، تغییر شتاب ضربه‌ی برخورد در یک ارتفاع مشابه غیر ممکن است. از این رو در این تحقیق، آزمون‌های سقوط آزاد و آنالیزهای تئوری برای تعیین تخریب و حد کوفتگی ترکیب گردید. برای تعیین تخریب ناشی از سقوط و حد کوفتگی میوه، آنالیز و محاسبه پارامترهای پایه تئوری ضربه ناشی از سقوط امری مهم می‌باشد. هنگامی که دو شیء به هم برخورد می‌کنند، انرژی جنبشی آنها به نیروهایی تبدیل می‌شود که باعث تغییر شکل آنها می‌شود.

کوفتگی‌هایی که رخ می‌دهد نتیجه‌ی ضربه در مقابل سطوح مختلف می‌باشد. تحقیقات موجود در ارتباط با کوفتگی ناشی از ضربه بیش از چهار دهه است که انجام می‌گیرد (Van Zeebroeck *et al.*, 2007) و این ناشی از عمل نسبتاً پیچیده‌ی این پدیده است. کوفتگی نظر بسیاری از محققان را به‌عنوان یکی از مهمترین عوامل میزان ضایعات، خسارات و کاهش کیفیت میوه تازه به خود جلب کرده است (Dadashpour, 2012). برای کنترل صحیح کوفتگی ناشی از ضربه و ساخت مناسب بالشتک<sup>۱</sup> بسته‌بندی برای میوه، به‌دست آوردن آستانه<sup>۲</sup> دینامیکی برای کوفتگی ناشی از ضربه ضروری می‌باشد.

مفهوم مرز آسیب<sup>۳</sup> (حدود آسیب) اولین بار در ساخت یک سامانه بسته‌بندی معرفی و پیشنهاد شد (Newton, 1968). برای سامانه بسته‌بندی تحت تحریک شوک در طول حمل و نقل و جابه‌جایی، با شتاب بحرانی ضربه‌ی شوک به‌عنوان محور عمودی و تغییر سرعت ضربه‌ی شوک به‌عنوان محور افقی، مرز آسیب را در صفحه به منطقه سالم و آسیب دیده تقسیم می‌کند. وقتی دامنه‌ی شتاب ضربه یا تغییر سرعت ضربه به محصول کمتر از شتاب و سرعت بحرانی آن باشد، محصول سالم است، در غیر این صورت محصول صدمه خواهد دید. این تئوری اساس ساخت بالشتک‌های بسته‌بندی مدرن می‌باشد. سال‌های قبل، این تئوری توسط انجمن آزمون و مواد آمریکا<sup>۴</sup> (ASTM) در ASTM D3332 که مربوط به روش‌های آزمون استاندارد برای تخریب محصولات ناشی از شوک مکانیکی با استفاده از ماشین‌های شوک می‌باشد، ثبت شده بود. پس از آن، روش‌هایی به منظور تشریح سامانه‌ها، روش‌ها و کاربردهای مرز آسیب محصولات ارائه شدند (Caletka *et al.*, 1990; Goff and Pierce, 1969). در سال‌های اخیر، مفهوم حد آسیب ناشی از خستگی<sup>۵</sup> پیشنهاد شده است (Burgess, 1996). به عبارت دیگر، آسیب محصول فقط بر حسب شتاب و سرعت بحرانی تعریف نمی‌شود، بلکه براساس تعداد ضربه‌ها نیز بیان می‌شود.

در یک مطالعه، منحنی‌های آستانه کوفتگی میوه در آزمون‌های جابه‌جایی محصول مورد بررسی قرار گرفت (Schulte Pason *et al.*, 1990). در این مطالعه به‌وسیله یک نوع کره تجهیز شده<sup>۶</sup> که دامنه ضربه و زمان وقوع ضربه را نشان می‌دهد، تغییرات شتاب در مقابل زمان در طی هر ضربه ضبط گردید. آزمون‌های سقوط میوه برای این سامانه روی سطوح بالشتکی مختلف انجام شد و منحنی‌های تغییر سرعت در مقابل شتاب بیشینه برای نشان دادن درصدی از کوفتگی

- 1- Cushion
- 2- Threshold
- 3- Damage boundary
- 4 American Society for Testing and Materials
- 5- Fatigue damage boundary
- 6- Instrumented sphere



شکل ۱- سامانه اندازه‌گیری ضربه: (۱) شاسی، (۲) پایه مدرج، (۳) نگهدارنده میوه، (۴) صفحه آلومینیومی، (۵) حسگر نیرو، (۶) اسیلوسکوپ، (۷) سامانه تحویل داده

Fig.1. Impact measuring equipment: 1- Base frame, 2- Height adjuster, 3- Fruit holder, 4- Aluminum plate, 5- Force sensor, 6- Oscilloscope and 7- Acquisition system

سقوط (m) می‌باشد.

ضریب ارتجاع<sup>۴</sup> به صورت زیر تعیین گردید (Idah et al., 2007; (Mohsenin, 1986):

$$e = \frac{v_{after}}{v_{drop}} = \left(\frac{h_{after}}{h_{drop}}\right)^2 \quad (5)$$

یا  $h_{after}$  یا  $h_{rebound}$  ارتفاع بازگشت و  $v_{after}$  سرعت پس از برخورد می‌باشد.

### مواد و روش‌ها

#### سامانه اندازه‌گیری ضربه ناشی از سقوط

در شکل ۲ سامانه اندازه‌گیری نیروی ضربه ناشی از سقوط نمونه‌ها نشان داده شده است.

شاسی این وسیله از قاب‌های فولادی ساخته شده است که می‌تواند با اهرم دوگانه بالا و پایین شود. به منظور تغییر ارتفاع سقوط، میله عمودی مدرج با ارتفاع یک متر استفاده شد. پایه مدرج شامل نگهدارنده میوه بود که اجازه می‌دهد تا میوه قرار داده شده در آن به سبب نیروی وزن سقوط کند. صفحه‌ی آلومینیومی مربعی شکل با طول ضلع ۱۶ سانتی‌متر و ضخامت ۲/۵ میلی‌متر به‌عنوان سطح ضربه‌گیر از طریق یک محور انگشتی بر روی حسگر نیرو قرار می‌گیرد. حسگر نیرو از نوع پیزوالکتریک می‌باشد که مشخصات آن در جدول ۱ بیان شده است. با وارد آمدن ضربه، انگشتی صفحه‌ی آلومینیومی به‌وسیله راهنمای خطی و بوشن‌های ساچمه‌ای به سطح حسگر نیرو در جهت عمودی ضربه وارد می‌کند. پس از اعمال نیروی

اگر جسم جامد الاستیک به جرم  $m$  (kg) با سرعت  $v_{drop}$  ( $m s^{-1}$ ) قبل از ضربه و سپس با سرعت  $v_{after}$  بعد از ضربه در حال حرکت باشد و  $F(t)$  (N) نیروی وارده بر سطح تخت ضربه‌گیر در خلال زمان‌های  $t_0$  و  $t_1$  (s) که به ترتیب، زمان شروع و خاتمه‌ی ضربه می‌باشند (Rajabipour, 2011; Stropek and Golacki, 2013)، در این صورت:

$$mv_{drop} \pm mv_{after} = \int_{t_0}^{t_1} F(t) dt \quad (1)$$

با در نظر گرفتن نمونه‌ها به صورت کروی و صرف‌نظر از مقاومت هوا و ارتعاشات داخلی نمونه‌ها و با این فرض که همگی وزن نمونه‌ها در معرض نیروی ضربه قرار گیرد، آنالیزهای جنبشی ممکن با در نظر گرفتن مشخصه‌های ضربه ناشی از سقوط میوه، انجام شد (Mohsenin et al., 1978).

نیروی ضربه<sup>۱</sup> ( $F$ )، شتاب<sup>۲</sup> ( $a$ ) و سرعت<sup>۳</sup> ( $v$ ) در طول تماس عبارتند از (Lu and Wang, 2007):

$$a = g - \frac{F}{m} \quad (2)$$

$$v = v_{drop} + \int_{t_0}^{t_1} a dt \quad (3)$$

$$v_{drop} = \sqrt{2gh_{drop}} \quad (4)$$

که  $m$  جرم میوه (kg)،  $g$  = شتاب گرانش ( $m s^{-2}$ ) و  $h_{drop}$  ارتفاع

- 1- Impact force
- 2- Acceleration
- 3- Velocity

4- Coefficient of restitution

ضربه، سیگنال‌های ولتاژ خروجی از حسگر نیرو توسط اسیلوسکوپ نمایش داده و در رایانه ثبت می‌شوند.

جدول ۱- مشخصات حسگر نیروی پیزوالکتریک

Table 1- Specifications of piezoelectric force sensor

مشخصات Specification	ضریب پیوست الکترومکانیکی Electro-mechanical coupling factor ( $K_p$ )	ضریب کرنش پیزوالکتریک Piezoelectric strain coefficient $d_{33}$ ( $10^{-12}$ C/N)	ظرفیت الکتریکی Electric capacity C (nF)	ولتاژ خروجی Output voltage (V)	جریان Current (mA)
18*23*0.1	$\geq 0.60$	$\geq 600$	100±15%	$\geq 5$	5

### آزمون‌های ضربه‌ی ناشی از سقوط

متناسب با شدت ضربه تولید می‌کند. برای ثبت ولتاژ تولیدی از حسگر پیزوالکتریک و مدت زمان ضربه، اسیلوسکوپ به کار برده شد. برای نمایش بهتر ولتاژ خروجی و مدت زمان ضربه، اسیلوسکوپ روی دقت اندازه‌گیری  $1/25M \text{ sample sec}^{-1}$  تنظیم شد. داده‌ها با فرمت فایل Excel به رایانه منتقل شدند. پس از پردازش داده‌ها مطابق شکل ۳ ولتاژهای ماکزیمم ثبت شدند و پس از کالیبراسیون ولتاژ به نیرو برای هر ضربه، نیروهای تماسی بیشینه یادداشت شدند. به دلیل در دسترس نبودن میدل پیزوالکتریک از حسگر نیروی پیزوالکتریک استفاده شد. در نتیجه برای کالیبراسیون نیرو، ولتاژ ناشی از ضربه یک نمونه جسم کروی کاملاً الاستیک به وزن ۵۰g از ارتفاع سقوط ۶۰ سانتی‌متر در سه تکرار یادداشت گردید. سرعت نمونه در لحظه برخورد مطابق رابطه (۴) به دست آمد و از آن جایی که ارتفاع قبل از برخورد و پس از برخورد آن تفاوت چندانی با هم نداشت (یعنی در رابطه (۵)،  $e$  تقریباً برابر یک شد)، پس سرعت در لحظه جدا شدن از صفحه با سرعت در لحظه برخورد برابر است. دوربین دیجیتال ( Samsung, ES55, Korea) با مشخصات ۳۰ فریم بر ثانیه و تنظیم کردن پس زمینه برای تعیین ارتفاع بازگشت ( $h_{after}$ ) استفاده شد. طول زمان برخورد به این صورت حساب شد که برای هر ضربه ۴۰۰۰ داده ولتاژ در طول مدت ۵۰۰ میلی ثانیه ثبت می‌شد. یعنی در هر میلی ثانیه هشت داده ولتاژ داشتیم. با تقسیم تعداد داده‌ها در طول زمان برخورد بر هشت، زمان تماس جسم با صفحه ضربه‌گیر تعیین گردید. در نتیجه با به دست آوردن طول زمان برخورد، متوسط نیروی وارده بر نمونه با استفاده از رابطه (۱) مشخص شد ( $F_{average}$ ). برای به دست آوردن نیروی ماکزیمم، نیروی متوسط به دست آمده را با توجه به شکل ۳-۱ به عنوان مرکز سطح مثلث در نظر گرفته و چون فاصله مرکز سطح مثلث از قاعده یک دوم ارتفاع مثلث است، نیروی ماکزیمم دو برابر نیروی متوسط می‌باشد.

$$\text{ارتفاع مرکز سطح} = \frac{\text{مساحت مثلث}}{\text{قاعده مثلث}} = \frac{\frac{1}{2}h \cdot b}{b} = \frac{1}{2}h$$

در نتیجه ماکزیمم نیرو

$$\underline{\underline{F_{max} = F_{average} * 2}}$$

تمامی آزمایشات در پاییز سال ۱۳۹۱ در گروه مهندسی ماشین‌های کشاورزی دانشکده کشاورزی دانشگاه تهران صورت پذیرفت. انارهای رقم ملس ساوه بعد از برداشت و قرار گرفتن درون بالشک فومی با احتیاط به محل آزمایشگاه منتقل شدند. انارهای حاوی کوفتگی یا آسیب‌های قابل رؤیت حذف شدند. در ادامه تعدادی انار به عنوان نمونه آزمایش انتخاب گردید. در ابتدا مشخصه‌های فیزیکی هر انار اندازه‌گیری و ثبت گردید. جرم نمونه‌ها از ۳۰۰ تا ۳۲۰ گرم متغیر بود. تفاوت وزن هر گروه از نمونه‌هایی که در یک ارتفاع آزمون به کار برده شدند در حدود ۵ گرم بود.

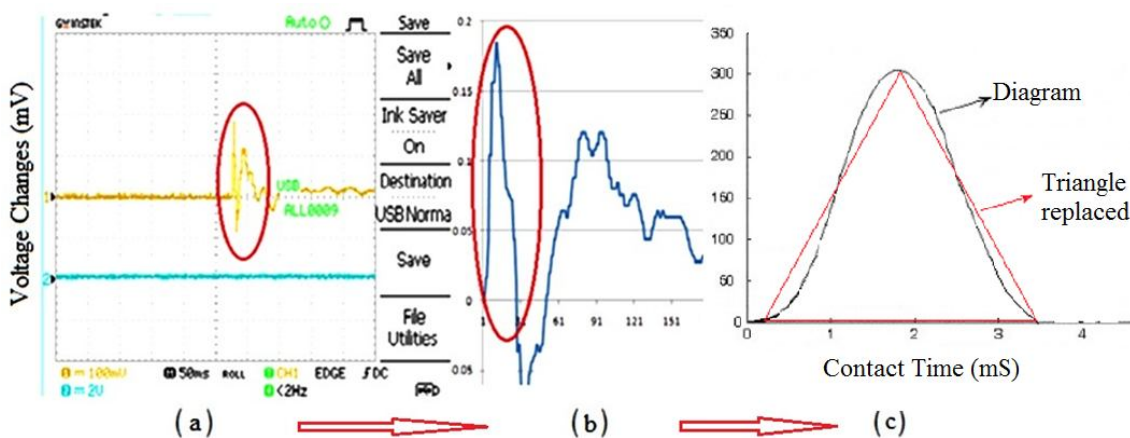
سفتی نمونه‌ها در دمای محیط ( $21^{\circ}C$ ) با دستگاه آزمون کشش فشار یونیورسال<sup>۱</sup> انجام شد. یکی از فک‌های این دستگاه ثابت است و فک دیگر به صورت عمودی حرکت می‌کند. به این صورت که پلانژری استوانه‌ای به قطر ۸ میلی‌متر بر فک بالایی سوار شده و با سرعت ۱۰۰ میلی‌متر بر دقیقه به سمت پایین حرکت می‌کند (Nanda et al., 2001). آزمون سفتی میوه‌ها به صورت دو ماکزیمم نیرو در طول ۱۰ میلی‌متر نفوذ کردن از دو راستای متفاوت روی ناحیه گونه‌ی میوه برای هر نمونه انجام شد. سفتی میوه‌ها با تقسیم مقدار میانگین دو ماکزیمم نیرو بر سطح مقطع سوراخ‌کن استوانه‌ای محاسبه گردید. آزمایش‌ها در ده تکرار صورت گرفت که سفتی نمونه‌ها بین ۱/۱۰ و ۱/۵۷ مگاپاسکال بود.

آزمون‌های ضربه‌ی سقوط برای مجموعه ارتفاعات سقوط (۶، ۷، ۱۰، ۱۵، ۳۰ و ۶۰ سانتی‌متر) انجام شد. سه نمونه برای هر ارتفاع سقوط به کار برده شد و هر نمونه از دو ناحیه مورد ضربه واقع شد. برای کنترل و شناسایی ناحیه ضربه خورده به میوه در اثر سقوط بر روی صفحه‌ی ضربه‌گیر، صفحه‌ی ضربه‌گیر به مقداری پودر گچ آغشته گردید. برای جلوگیری از ضربه دوم به سبب برگشت نمونه از صفحه ضربه‌گیر و سقوط دوباره نمونه با دست گرفته شد. پس از سقوط نمونه روی صفحه ضربه‌گیر حسگر پیزوالکتریک از خود ولتاژی

1- STM-5 Universal Testing Machine (SANTAM, Design CO. LTD., England)

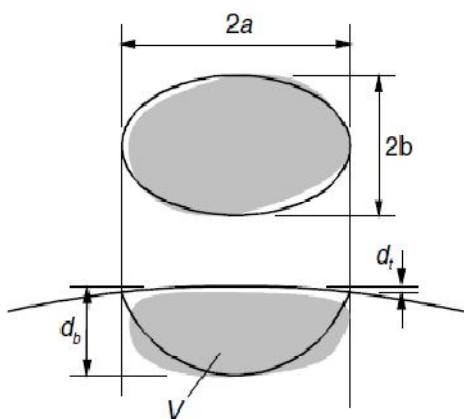
میوه‌ها، ارتباط داده و در نتیجه شتاب و سرعت آن با توجه به روابط (۲) تا (۴) محاسبه می‌شوند.

پس از به‌دست آوردن نیروی ماکزیمم جسم (الاستیک) و تناسب دادن آن با ولتاژ بیشینه در آن برخورد، ولتاژهای بیشینه میوه‌های ضربه خورده را با تناسب به نیروی ماکزیمم ضربه ناشی از سقوط



شکل ۲- پاسخ ولتاژی گرفته شده از اسیلوسکوپ (a) و نحوه پردازش آن (b, c)

Fig.2. Voltage response getting from oscilloscope (a) and method of their process (b, c)



شکل ۳- روش سطح بیضوی برای تعیین کوفتگی (Mohsenin, 1970)

Fig.3. Elliptical thickness method for bruise determination (Mohsenin, 1970)

نمونه‌ها پس از آزمون به مدت ۴۸ ساعت در دمای محیط نگهداری شدند تا رنگ پدیدگی آریل‌های انار نمایان شود که در شکل ۱ نحوه تعیین کوفتگی نشان داده شده است. سطح کوفتگی ( $A_b$ ) و حجم کوفتگی ( $V_b$ ) به‌ترتیب با استفاده از روابط (۶) و (۷) قابل محاسبه می‌باشند (Lewis *et al.*, 2007):

$$A_b = \pi ab \quad (6)$$

$$V_b = \frac{\pi(d_b - d_t)}{24} (12ab + 4(d_b - d_t)^2) \quad (7)$$

که  $2a$  عرض کوفتگی در راستای محور بزرگتر ( $d_b$ , mm)،  $2b$  عرض کوفتگی در راستای محور کوچکتر و  $(d_b - d_t)$  عمق کوفتگی می‌باشد. عمق کوفتگی به‌وسیله کولیس بعد از بردن عمودی انار در راستای بزرگترین عرض در ناحیه کوفتگی اندازه‌گیری شد.

### جدول ۲- مقادیر میانگین پارامترهای ولتاژ و زمان مستخرج از دستگاه

Table 2- The mean values of voltage and time parameters derived from device

نمونه Sample	ارتفاع Height (cm)	ولتاژ ماکزیمم Max voltage (mV)	زمان تماس Time contact (ms)
نمونه پیمایش Calibration sample	60	92.00±4.00**	3.38±0.14**
	6	165.32±18.48*	4.23±0.10**
	7	176.00±16.00*	4.17±0.14**
محصول (انار) Product (Pomegranate)	10	216.00±13.86**	4.08±0.07**
	15	261.34±9.24**	4.00±0.10**
	30	389.34±18.48**	3.96±0.07**
	60	544.00±32.00**	3.92±0.07**

\*\* معنی‌دار در سطح خطای ۰/۰۱؛ \* معنی‌دار در سطح خطای ۰/۰۵

\*\* significant on the level of 1%; \* significant on the level of 5%

## نتایج و بحث

سقوط، متوسط ولتاژ سنسور پیزوالکتریک افزایش پیدا کرد و زمان تماس محصول با سطح ضربه گیر کاهش یافت. با توجه به روابط (۱) تا (۵) نیرو، شتاب و سرعت با استفاده از ولتاژ و زمان‌های برخورد به دست آمده و جدولی مطابق جدول ۳ به صورت مقادیر میانگین ارائه شد.

در جدول ۲ مقایسه میانگین و انحراف معیار اثر پارامترهای اندازه‌گیری شده (ولتاژ و زمان نشان داده شده است) که برای نمونه کالیبره در ارتفاع ۶۰ سانتی‌متر و برای نمونه‌های انار در شش ارتفاع و سه تکرار آمده است. همان‌گونه که در جدول ۲ مشاهده می‌شود با افزایش ارتفاع

جدول ۳- میانگین مشخصه‌های تعیین‌کننده حد کوفتگی‌های ناشی از سقوط  
Table 3- The mean of specifications determinant dropping bruises boundary

ارتفاع Height (cm)	نیروی بیشینه Max force (N)	شتاب بیشینه Max acceleration (m s <sup>-2</sup> )	سرعت قبل از برخورد Velocity before contact (m s <sup>-1</sup> )	سرعت پس از برخورد Rebound velocity (m s <sup>-1</sup> )
6	365.41**	1204.96**	1.085**	0.594**
7	388.99*	1283.53*	1.172**	0.626*
10	477.39**	1578.23**	1.401**	0.767**
15	577.59**	1912.20**	1.715**	0.940*
30	860.48**	2855.20**	2.426**	1.172**
60	1202.32**	3994.65**	3.431**	1.329**

\*\* معنی‌دار در سطح خطای ۰/۰۱؛ \* معنی‌دار در سطح خطای ۰/۰۵  
\*\* significant on the level of 1%; \* significant on the level of 5%

## جدول ۴- نتایج مقایسه میانگین سطح و حجم کوفتگی انار ملس ساوه

Table 4- The mean comparison results of bruise area and bruise volume for Malas-e-Saveh pomegranate

ارتفاع Height (cm)	سطح کوفتگی Bruise area (mm <sup>2</sup> )	حداکثر Max	حداقل Min	حجم کوفتگی Bruise volume (mm <sup>3</sup> )	حداکثر Max	حداقل Min
6	92.28±7.48*	102.78	88.69	97.07±10.12*	108.66	90.02
7	141.14±11.75**	153.84	130.63	156.99±14.60**	173.56	146.04
10	239.51±14.97**	256.71	229.46	340.66±26.56*	366.96	313.85
15	312.81±8.26**	322.00	306.00	876.53±22.04**	900.71	857.58
30	472.76±38.86**	509.20	431.86	2481.90±186.96**	2694.14	2341.58
60	890.38±60.02**	954.91	836.21	4936.59±297.29**	5239.05	4644.75

\*\* معنی‌دار در سطح خطای ۰/۰۱؛ \* معنی‌دار در سطح خطای ۰/۰۵  
\*\* significant on the level of 1%; \* significant on the level of 5%

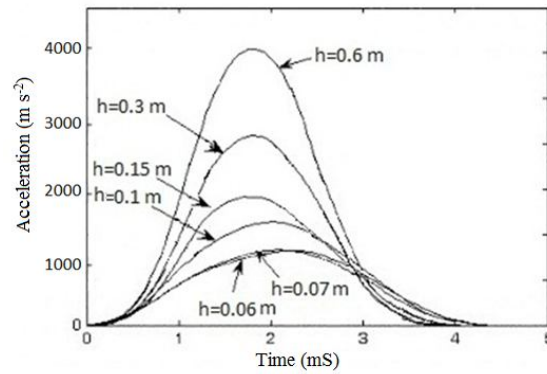
وابسته‌ی نیرو در سطح برخورد می‌باشد. نمونه منحنی‌های شتاب ضربه‌ی سقوط در مقابل زمان در شش ارتفاع سقوط (h) در شکل ۵ نشان داده شده است. ارتفاع سقوط به‌طور قابل ملاحظه‌ای بر شتاب ضربه تأثیر داشت. با افزایش ارتفاع سقوط، تغییر بیشتر در سرعت نمونه در فاصله زمانی ثابت ایجاد شد، که منتج به افزایش شتاب بیشینه گردید.

شکل ۶ تغییر سرعت ضربه‌ی سقوط در طول تماس را با استفاده از رابطه (۳) نشان می‌دهد. نتایج نشان داد که سرعت‌ها در شروع تماس و سرعت‌های برگشت نمونه‌ها با افزایش ارتفاع سقوط افزایش یافت. بعد از اینکه سرعت ضربه به مقدار حداقل رسید، نمونه‌ها شروع به بازگشت کردند که بازگشت کامل یا اندکی در تغییر شکل ناشی از ضربه صورت گرفت.

در جدول ۳ نیروی بیشینه، شتاب بیشینه و سرعت، نماینده ارتفاع سقوط متناسب با جرم نمونه انار می‌باشند که با افزایش ارتفاع سقوط افزایش پیدا کردند. جدول ۴ نتایج مقایسه میانگین سطح و حجم کوفتگی را برای ارتفاعات سقوط مختلف نمایش داده و مقادیر انحراف معیار، بیشترین و کمترین مقدار را در خود جای داده است.

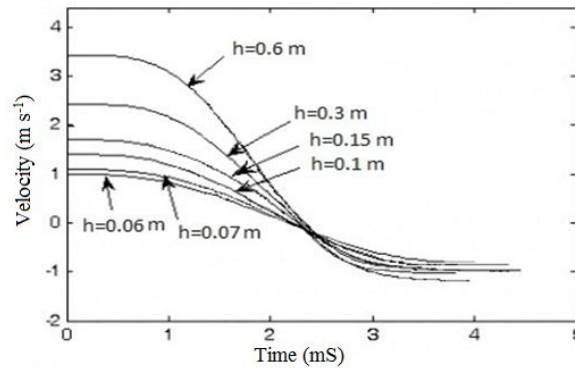
در جدول ۴ نیز سطح و حجم کوفتگی با افزایش ارتفاع افزایش یافت که این نشان‌دهنده‌ی تأثیرگذاری سه فاکتور نیرو، شتاب و سرعت بر میزان کوفتگی می‌باشد. آستانه صنعتی برای کوفتگی‌ها (۱۰۰ میلی‌متر مربع) نشان داد که ارتفاع سقوط ۶ سانتی‌متر به دلیل ایجاد کردن سطح کوفتگی کمتر از آستانه صنعتی به‌عنوان ارتفاع سقوط بحرانی (h<sub>c</sub>) برای کوفتگی می‌باشد (Lewis et al., 2007).

نیرو با توجه به معادله  $F = ma$  به شتاب و جرم بستگی دارد و چون جرم انارهای مورد آزمون در محدوده ثابتی بود، شتاب تنها



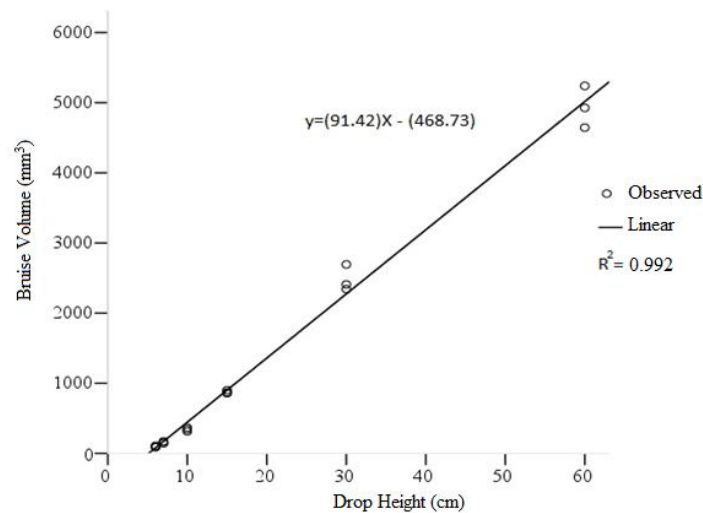
شکل ۴- شتاب ضربه‌ی سقوط در برابر زمان برای انار ملس ساوه در ارتفاعات سقوط مختلف

Fig.4. Dropping impact acceleration versus time curves for Malas-e-Saveh pomegranates at various drop heights



شکل ۵- سرعت‌های ضربه‌ی سقوط در برابر زمان برای انار ملس ساوه در ارتفاعات سقوط مختلف

Fig.5. Dropping impact velocities versus time curves for Malas-e-Saveh pomegranates at various drop heights



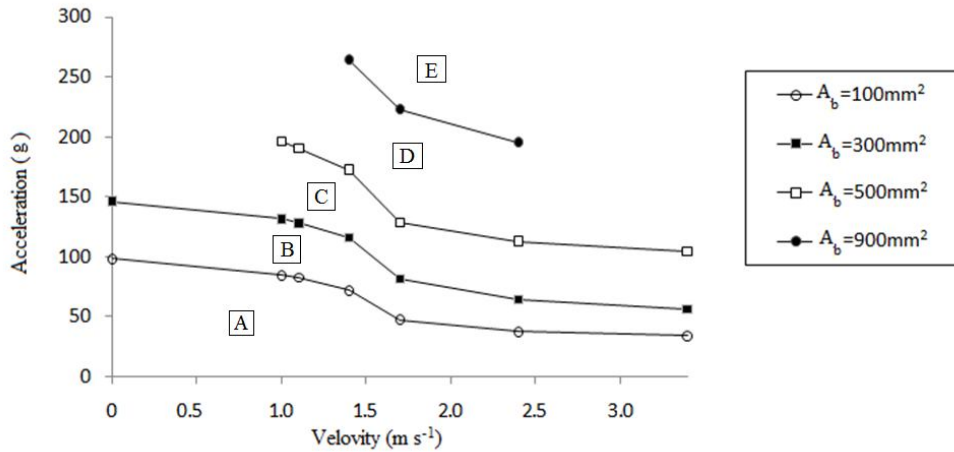
شکل ۶- رابطه بین ارتفاع سقوط و حجم کوفتگی برای انار ملس ساوه

Fig.6. Relationship between drop height and bruise volume for Malas-e-Saveh pomegranate

همانطور که در شکل ۶ مشاهده می‌شود، رابطه خطی بین ارتفاع سقوط و حجم کوفتگی برای انار ملس ساوه به دست آمد که مقادیر

کوفتگی رخ نمی‌دهد (سطح کوفتگی کمتر از ۱۰۰ میلی‌متر مربع قابل چشم پوشی است)، اما در منطقه B کوفتگی شروع به رخ دادن روی انار ملس ساوه می‌کند. به‌طور مشابه، در نقاط منحنی شتاب-سرعت به‌ترتیب سطح کوفتگی انارها در نواحی C، D و E بزرگتر شدند.

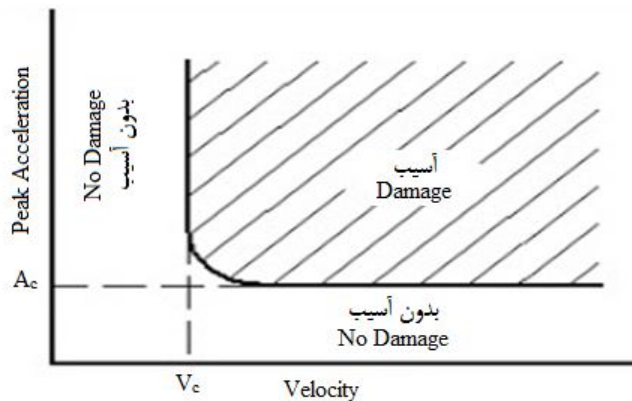
ثابت و  $R^2$  در شکل نشان داده شده است. مرزهای کوفتگی ناشی از سقوط، از کوفتگی‌های حقیقی انارهای ملس ساوه تعیین شده بودند. شکل ۷ حد کوفتگی بحرانی و حدود کوفتگی مختلف (سطح کوفتگی) را نشان می‌دهد. در منطقه A،



شکل ۷- حدود کوفتگی ناشی از سقوط انار ملس ساوه  
 Fig.7. Dropping bruise boundaries of Malas-e-Saveh pomegranate

آسیبی رخ نمی‌دهد، بدون اینکه بیشینه شتاب ضربه در نظر گرفته شود. خط افقی، شتاب بحرانی ( $A_c$ )، نشان‌دهنده شتاب که اگر سرعت از  $V_c$  تجاوز کند نمونه صدمه خواهد دید.

واضح است که تفاوت‌های آشکاری بین حدود کوفتگی ناشی از سقوط انارها و حد آسیب متعارف محصولات وجود داشت (همانطور که در شکل ۸ نشان داده شده است). برای حد آسیب متعارف، خط عمودی، سرعت بحرانی ( $V_c$ )، نشان‌دهنده تغییر سرعتی که زیر آن



شکل ۸- حد آسیب ناشی از سقوط متعارف محصولات (Lu and Wang, 2007)  
 Fig.8. Conventional dropping damage boundary of products (Lu and Wang, 2007)

به صفر برسد، میوه هنوز می‌تواند کوفته شود اگر شتابش از مقدار معین تجاوز کند. نتایج مشابه‌ای برای سیب رقم گالا<sup>۱</sup> به‌دست آمد و

در زمان مشابه، برای محصول متعارف، فقط یک مرز آسیب در یک شرایط شوک وجود دارد. اگرچه، برای میوه، تغییر ارتفاع سقوط (سرعت) منجر به تغییر میزان کوفتگی خواهد شد. علاوه بر این برای میوه همانطور که در شکل ۸ نشان داده شده است، حتی اگر سرعت

1- Gala apple



میوه می‌تواند با ترکیب آزمون‌های سقوط آزاد و آنالیزهای تئوری مشخص شوند. با افزایش ارتفاع سقوط، در سرعت نمونه در فاصله زمانی ثابت تغییر بیشتری ایجاد شد، که منتج به افزایش شتاب بیشینه محصول گردید. علاوه بر این، ارتفاع سقوط بحرانی انار برابر ۶ سانتی‌متر برای آستانه صنعتی کوفتگی‌ها مشخص شد و رابطه خطی بین ارتفاع سقوط و حجم کوفتگی برای انار ملس ساوه به‌دست آمد. سری‌های حدود کوفتگی می‌تواند برای مقادیر کوفتگی مختلف (سطح کوفتگی) به‌دست آید، یعنی اینکه، خط واصلی از سطوح کوفتگی مشخص، می‌تواند روی صفحه سرعت-شتاب کشیده شود. این نمودار منطقه بدون کوفتگی را برای شتاب و سرعت معین، مشخص کرد و نشان داده شد که برای محصولات ویسکوالاستیک مانند میوه، حتی اگر تغییر سرعت به صفر برسد، میوه می‌تواند کوفته شود اگر شتاب از حد معین تجاوز کند.

این قاعده کلی بیان شد که کوفتگی میوه به‌طور مستمر در تغییر فرآیند است (از کوچک به بزرگ در طول ضربه ناشی از سقوط)، که مربوط به شتاب ضربه و تغییرات سرعت است (Lu and Wang, 2007).

### نتیجه‌گیری

در این تحقیق مقادیر کوفتگی میوه اندازه‌گیری شد و مفهوم مرز کوفتگی برای میوه انار به کار برده شد. به دلیل محدودیت‌های استفاده از روش‌های آزمون متعارف در آزمون محصولات ویسکوالاستیک طبیعی مانند میوه، آزمون‌های سقوط آزاد برای تعیین میزان تخریب و حدود کوفتگی به سبب سقوط برای انار ملس ساوه در ارتفاعات سقوط مختلف وفق داده شد. سطح و حجم کوفتگی و حدود کوفتگی انارها در این آزمون‌ها تعیین شد و با آنالیزهای تئوری مقایسه شدند. نتایج نشان داد که شتاب و سرعت ضربه‌ی ناشی از سقوط و حد کوفتگی

### References

1. Akbarpour, V., J. Milani, and K. Hemmati. 2009. Mechanical property of pomegranate seeds aspect by moisture content. *American Eurasian Journal of Agricultural and Environmental Sciences* 6: 447-453.
2. Baritelle, A. R., and G. M. Hyde. 2001. Commodity conditioning to reduce impact bruising. *Postharvest Biology and Technology* 21: 331-339.
3. Burgess, G. 1996. Effects of fatigue on fragility testing and the damage boundary curve. *Journal of Testing and Evaluation* 24: 419-424.
4. Celik, H. K., A. E. W. Rennie, and I. Akinci. 2011. Deformation behavior simulation of an Apple under Drop Case by Finite Element Method. *Journal of Food Engineering* 104: 293-298.
5. Dadashpour, A. 2012. Application of sorting dependent criterias in determination of volume and area bruising of "Golab-Kohanz" apple in iran. *Genetika* 44: 177-187.
6. Goff, J. W., and S. R. Pierce. 1969. A procedure for determining damage boundary. *Shock Vibration Bull* 14: 741-757.
7. Hasnaoui, N., R. Jbir, M. Mars, M. Trifi, A. Kamal-Eldin, P. Melgarejo, and F. Hernandez. 2011. Organic acids, sugars and anthocyanin content in juices of tunisian pomegranate fruits. *International Journal of Food Properties* 14: 741-757.
8. Holland, D., K. Hatib, and I. Bar-Ya'akov. 2009. Pomegranate: botany, horticulture, breeding. *Horticultural Reviews* 35: 127-192.
9. Hyde, G. M. 1997. Potato impact damage thresholds. *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers* 40: 705-709.
10. Hyde, G. M., G. K. Brown, E. J. Timm, and W. Zhang. 1992. Instrumented sphere evaluation of potato packing line impacts. *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers* 35: 65-69.
11. Idah, P. A., E. S. A. Ajisegiri, and M. G. Yisa. 2007. An assessment of impact damage to fresh tomato fruits. *Assumption University Journal of Technology* 10: 271-275.
12. Lewis, R., A. Yoxall, L. A. Canty, and E. Reina Romo. 2007. Development of engineering design tools to help reduce apple bruising. *Journal of Food Engineering* 83: 356-365.
13. Lu, L. X., and Z. W. Wang. 2007. Dropping bruise fragility and bruise boundary of apple fruit. *Transactions of the American Society of Agricultural and Biological Engineers* 50: 1323-1329.
14. Mohsenin, N. N. 1986. *Physical Properties of Plant and Animal Materials*. Gordon and Breach Science Publishers. New York.
15. Mohsenin, N. N., V. K. Jindal, and A. N. Manor. 1978. Mechanics of impact of a falling fruit on a cushion surface. *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers* 21: 594-600.
16. Nanda, S., D. V. Sudhakar Rao, and S. Krishnamurthy. 2001. Effects of shrink film wrapping and storage

- temperature on the shelf life and quality of pomegranate fruits cv. Ganesh. *Postharvest Biology and Technology* 22: 61-69.
17. Newton, R. E. 1968. *Fragility assessment theory and practice*. Monterey, California.: Monterey Research Laboratory.
  18. Pang, W., C. J. Studman, and G. T. Ward. 1994. Apple bruising thresholds for an instrumented sphere. *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers* 37: 893-897.
  19. Rajabipour, A. 2011. *Physical and mechanical properties of food products and agricultural materials*. Mandegar Publications.
  20. Schulte Pason, N. L., E. J. Timm, and G. K. Brown, eds. 1990. *Apple, peach, and pear impact damage thresholds: American Society of Agricultural Engineers Paper No. 906002*. St. Joseph, Mich.: ASAE.
  21. Shakeri, M., and F. Dehghani. 2008. Study and comparison eleven varieties of Yazd province commercial pomegranates. *Journal of Research and Development in Agronomy and Horticulture* 1: 131-142. (in Farsi).
  22. Stropek, Z., and K. Gołacki. 2013. The effect of drop height on bruising of selected apple varieties. *Postharvest Biology and Technology* 85: 167-172.
  23. Van Zeebroeck, M., V. Van Linden, P. Darius, B. De Ketelaere, H. Ramon, and E. Tijskens. 2007. The effect of fruit factors on the bruise susceptibility of apples. *Postharvest Biology and Technology* 46: 10-19.

## The effect of dropping impact on bruising pomegranate fruit

M. Mohammad Shafie<sup>1</sup>- A. Rajabipour<sup>2\*</sup>- H. Mobli<sup>2</sup>- M. Khanali<sup>3</sup>

Received: 09-12-2013

Accepted: 15-06-2014

**Introduction:** The pomegranate journey from orchard to supermarket is very complex and pomegranates are subjected to the variety of static and dynamic loads that could result in this damage and bruise occurring. Bruise area and bruise volume are the most important parameters to evaluate fruit damage occurred in harvest and postharvest stages. The bruising is defined as damage to fruit flesh usually with no abrasion of the peel. The two different types of dynamic loading which can physically cause fruit bruising are impact and vibration. The impact and vibration loadings may occur during picking or sorting as the pomegranates are dropped into storage bins and during transportation. The focus of this work was on the impact loading as this appeared to be the most prevalent. In view of the limitations of conventional testing methods (ASTM D3332 Standard Test Methods for Mechanical Shock Fragility of Products), the method and procedure for determining dropping bruise boundary of fruit were also established by adapting free-fall dropping tests.

**Materials and Methods:** After the 'Malas-e-Saveh' pomegranates had been selected, they were numbered, and the weight and dimension of each sample were measured and recorded. Firmness in cheek region of each fruit was also measured. Fruit firmness was determined by measuring the maximum force during perforating the sample to a depth of 10 mm at a velocity of 100 mm min<sup>-1</sup> with an 8 mm diameter cylindrical penetrometer mounted onto a STM-5 Universal Testing Machine (SANTAM, Design CO. LTD., England). Free-fall dropping tests with a series of drop heights (6, 7, 10, 15, 30 and 60 cm) were conducted on fresh 'Malas-e-Saveh' pomegranates. Three samples were used for each dropping height, and each sample was subjected to impact on two different positions. Before the test was started, it was necessary to control the sample's drop position. The cheek of sample was placed on the fruit holder. An aluminum plate mounted on upper part of the piezoelectric force sensor was the dropping impact surface of the device. After dropping impact, the sample was caught by hand to prevent a second impact due to sample rebound. After impact, the samples were stored at room temperature for 48h, during which time bruise tissues and arils turned brown. The bruise area and bruise volume of each sample were calculated according to equations (1 and 2).

**Results and Discussion:** Dropping impact acceleration versus time curves for the typical samples at ten drop heights are shown in figure 5. Drop height notably affected the impact acceleration. The peak force increased while contact times decreased with increasing drop height, which resulted in an increase of peak acceleration. Figure 6 shows the dropping impact velocity change during contact by theoretical calculation. The results showed that the velocities at the beginning of contact and the rebound velocities of the samples increased with increasing the drop height. Critical drop height of pomegranate in certain bruise area was determined and linear relationship between drop height and bruise volume for 'Malas-e-Saveh' pomegranates were obtained. It is clear that there were obvious differences between dropping bruise boundaries of pomegranates and the conventional damage boundary of products (as shown in figure 9). For the conventional damage boundary, the vertical line, critical velocity ( $V_c$ ), represents the velocity change below which no damage occurs, regardless of the peak pulse acceleration. The horizontal line, critical acceleration ( $A_c$ ), represents the acceleration at which the product will be damaged if velocity exceeds  $V_c$ . At the same time, for a conventional product, there is only one damage boundary at one shock condition. However, for fruit, a change in drop height (velocity) will lead to a change in bruise ratio. A series of bruise boundaries can be determined for different bruise ratios. Moreover, even if the velocity approaches zero, the fruit can still be bruised if its acceleration exceeds a certain value. These relationships provide an effective basis to predict and control drop bruising, which may be achieved through the design of reasonable cushioning packaging for fruit.

**Conclusions:** This research applied the concept of dropping bruise for pomegranate fruits. Because of the limitations in using conventional testing methods to test product of a viscoelastic nature, such as fruit, free fall dropping tests were adapted to determine dropping bruise fragility and bruise boundary for 'Malas-e-Saveh'

1, 2 & 3- Master of Science, Professor & Assistant Professor respectively, Department of Agricultural Machinery Engineering, Faculty of Agricultural Engineering and Technology, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran

(\*- Corresponding Author Email: arajabi@ut.ac.ir)

pomegranates at different drop heights. For viscoelastic products such as fruit, even if the dropping impact velocity approached zero, the fruit could be bruised as long as the impact acceleration exceeded a certain value (critical acceleration). A series of bruise boundaries can be established for different levels of bruise ratios, i.e., a contour of constant bruise ratio can be drawn on the velocity acceleration plane.

**Keywords:** Bruise, Dropping test, Impact, Pomegranate