نشریه ماشین‌های کشاورزی
جلد ۳، شماره ۱، نیمسال اول ۱۳۹۲، ص ۴۷-۴۱

Journal of Agricultural Machinery
Vol. 3, No. 1, Spring - Summer 2013, p. 41-47

مطالعه آزمایشگاهی حساسیت دو رقم میوه توت‌فرنگی (*Fragaria x ananassa*) به کوفتگی

سعیدعلی عسگریان نجف آبادی[1*]- حمیدرضا قاسم زاده[2]- محمد مقدم[3]

تاریخ دریافت: ۹۰/۷/۲۷
تاریخ پذیرش: ۹۱/۴/۱۱

چکیده

در تحقیق حاضر حساسیت دو رقم میوه توت‌فرنگی (*Fragaria x ananassa*) سلوا و گاویتا به کوفتگی به‌صورت آزمایشگاهی مطالعه شد. میوه‌ها به صورت تک تک در معرض نیروهای ضربه‌ای و فشاری قرار گرفتند. ضربه با استفاده از روش سقوط از ارتفاع از پیش تعیین شده و پاندول اعمال شد. حجم کوفتگی به عنوان شاخص آسیب‌دیدگی مورد ارزیابی قرار گرفت. در هر دو نوع ضربه شدت کوفتگی به عنوان تابعی از انرژی ضربه افزایش یافت. در سطوح انرژی مشابه میوه‌های سقوط کرده نسبت به میوه‌های قرار گرفته در معرض ضربه به وسیله ضربه زن پاندولی حجم کوفتگی بیشتری را از خود نشان دادند. چهار برابر شدن انرژی ضربه (از ۰/۰۲۲ به ۰/۰۸۲ ژول) موجب سه برابر شدن حجم کوفتگی (از ۴۶ به ۱۳۴/۵ میلی‌متر مکعب) شد. با افزایش ارتفاع سقوط از ۱۸ سانتی‌متر (۰/۰۲۶ ژول) به ۵۴ سانتی‌متر (۰/۰۷۹ ژول) حجم کوفتگی ۳۵ درصد افزایش یافت. شدت کوفتگی ناشی از نیروی فشاری نسبت به دو آزمون دیگر بیشتر بود. دو برابر کردن زمان بارگذاری از ۲ ثانیه به ۴ ثانیه اختلاف معنی‌داری در میزان کوفتگی را نشان نداد. اگرچه در تمام آزمون‌ها رقم گاویتا نسبت به سلوا حساسیت بیشتری به کوفتگی نشان داد ولی تنها در آزمون ضربه به وسیله ضربه زن پاندولی اثر فاکتور رقم معنی‌دار شد.

واژه های کلیدی: توت‌فرنگی، سقوط، ضربه، فشار، کوفتگی

مقدمه

صدمات مکانیکی در حین فرآیندهای برداشت و پس از برداشت موجب تغییرات مرفولوژیکی و فیزیولوژیکی محصولات شده و کیفیت آن‌ها را کاهش می‌دهد (Shewfelt, 1998). این صدمات به عنوان معمول‌ترین و شدیدترین عیوب محصولات کشاورزی شناخته می‌شوند و اساساً به واسطه ایجاد تغییرات نامطلوب در خصوصیات کیفی (قهوه‌ای شدن رنگ پوست و گوشت میوه و از بین رفتن رایحه و طعم) و واکنش‌های منجر به فساد داخلی دارای اثرات اقتصادی نامطلوب هستند (Castillo, 1992).

محققان دو نوع مختلف از عوامل ایجاد کننده صدمات مکانیکی را در حین فرآیند پس از برداشت ذکر کرده اند: الف) ضربات وارده در حین برداشت، انتخاب، فرآوری و انتقال و ب) بارهای فشاری وارده در خطوط بسته‌بندی و انبارسازی (Bollen *et al.*, 1995). مهمترین نوع صدمات مکانیکی کوفتگی می‌باشد که از متداول‌ترین تلفات پس از برداشت نیز محسوب می‌شود. تاکنون عوامل متعددی به عنوان فاکتورهای تأثیرگذار بر حساسیت میوه به کوفتگی و چگونگی پاسخ میوه به تنش‌های مکانیکی شناخته شده‌اند که از جمله آن‌ها می‌توان به رقم و نحوه تولید میوه، روش‌های برداشت، فرآوری و انتقال، چگونگی استفاده از ماشین‌آلات در حین عملیات پس از برداشت، مرحله بلوغ میوه در زمان برداشت، فاصله زمانی بین برداشت میوه و قرارگیری در معرض عوامل ایجاد کننده کوفتگی، دمای داخلی میوه، اندازه و سفتی میوه و حتی مساحت محل قرار گرفته در معرض تنش‌های مکانیکی اشاره کرد (Ericsson and Tahir, 1996; Thiagu *et al.*, 1993; Hung and Prussia, 1989).

تاکنون مطالعات مربوط به کوفتگی بیشتر بر روی محصولاتی همچون سیب (Golacki *et al.*, 2009; Zarifneshat *et al.*, 2010)، هلو (Ahmadi *et al.*, 2010) و گلابی (Chen *et al.*, 1986) متمرکز بوده است. اما میوه توت‌فرنگی (Fragaria x ananassa) به لحاظ صدمات مکانیکی و حساسیت به کوفتگی کمتر مورد بررسی قرار گرفته است.

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی مکانیزاسیون کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز
(*- نویسنده مسئول Email: sa_ir_al@yahoo.com)
۲- استاد مهندسی ماشین‌های کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز
۳- استاد مهندسی زراعت و اصلاح نبات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز

توت‌فرنگی (*Fragaria x ananassa*) به واسطه نرمی، آسیب‌پذیری بالا نسبت به صدمات مکانیکی، آهنگ تنفس بالا و حساسیت به آلودگی‌های قارچی میوه‌ای فوق العاده فساد پذیر می‌باشد (Dennis, 1978; Kader, 1999). بنابراین توت فرنگی‌های تازه دارای عمر محدود پس از برداشت بوده و تنها برای مدت زمان بسیار محدود دارای قابلیت انبارداری می باشند.

عملیات برداشت و پس از برداشت توت‌فرنگی مورد مصرف برای تازه خوری به شکل دستی صورت می‌گیرد و تنها میوه مورد استفاده در فرآوری و تولید محصولات جانبی ممکن است با استفاده از ماشین برداشت شود (Ferreira *et al.*, 2008). مزیت انجام شدن دستی مراحل ذکر شده کاهش دفعات حمل و نقل و جابه‌جایی محصول می‌باشد. از طرف دیگر در سیستم برداشت دستی اهمیت و مسئولیت بیشتری متوجه برداشت کننده می‌باشد (Sherman, 1988) و اگر میوه بر اساس یک استاندارد صحیح برداشت نشود از بازارپسندی محصول کاسته خواهد شد (Maynard *et al.*, 1988). در حال حاضر عملیات برداشت منشأ اصلی صدمات مکانیکی وارده به توت‌فرنگی می‌باشد (Ferreira *et al.*, 2008). میزان تلفات محصول برداشت شده توسط کارگر بی‌دقت و کارگر دارای آموزش کافی به‌ترتیب ۳۳/۷ و ۱۴/۴درصد گزارش شده است (Mitchell *et al.*, 1964). هر یک از سه عامل ضربه، فشار و لرزش ممکن است موجب ایجاد کوفتگی در محصول شوند (Brusewitz *et al.*, 1991).

پارامترهایی مانند اندازه، رقم و مرحله رسیدگی بر پاسخ میوه توت‌فرنگی به فشار تأثیرگذار هستند (Jamieson *et al.*, 2002). گزارش شده است که توت‌فرنگی‌های کوچک نسبت به توت‌فرنگی‌های متوسط و بزرگ در مقابل فشار سفت‌تر و مقاوم‌تر می‌باشند (Ourecky and Bourne, 1968). میوه‌های رسیده توت‌فرنگی نسبت به میوه‌های صورتی نرم‌تر است (Doving and Mage, 2002) ولی اختلاف معنی‌داری در میزان سفتی میوه‌های رسیده و بیش از حد رسیده مشاهده نشده است (Ourecky and Bourne, 1968).

اهداف تحقیق حاضر شامل موارد زیر می‌باشد:

مطالعه عوامل اصلی ایجاد کننده کوفتگی در حین فرآیند برداشت و پس از برداشت.

بررسی اثرات فاکتورهای رقم و شدت نیروهای وارده بر میزان کوفتگی مشاهده شده در میوه.

مواد و روش‌ها

در این مطالعه دو رقم توت‌فرنگی سلوا و گاویتا به‌ترتیب با متوسط جرم تقریبی ۰/۳۷۲ ± ۱۴/۸۸ و ۰/۶۰۳ ± ۱۵/۱۷ گرم، متوسط قطر ۰/۳۵۲ ± ۲۸/۳۶ و ۰/۲۸۷ ± ۲۷/۲۰ میلی‌متر و چگالی حقیقی متوسط ۵/۲۰۶ ± ۹۷۲/۸۸۰ و ۵۱/۰۲۴ ± ۱۰۰۱/۴۹۲ مورد استفاده قرار گرفت. این دو رقم از ارقام تجاری متداول در ایران می‌باشند. نمونه‌های مورد نیاز در برهه های زمانی مختلف بسته به زمان‌بندی آزمایشات و در ماه‌های اردیبهشت و خرداد تهیه شدند. محل تولید هر دو رقم توت‌فرنگی گلخانه‌ای در روستای جانقور از توابع شهر تبریز بود. نمونه‌های مورد نیاز در مرحله رسیدگی کامل و بلافاصله قبل از هر آزمایش برداشت و با احتیاط به آزمایشگاه حمل شدند. نمونه‌ها در آزمایشگاه به صورت چشمی بررسی و میوه‌های دارای آسیب اولیه و نیز مواد خارجی کنار گذاشته شدند. همه آزمایشات قبل از ظهر انجام شد.

محتوای رطوبتی اولیه توت‌فرنگی‌های تازه با استفاده از روش آون تعیین شد. برای به‌دست آوردن جرم خشک، نمونه‌های ۲۰ گرمی در چهار تکرار به مدت ۲۴ ساعت درون آون با دمای ۲ ±۷۵ درجه سانتیگراد قرار داده شدند (Doymaz, 2007). برای اندازه‌گیری وزن نمونه‌ها قبل و بعد از قرارگیری در آون، از ترازوی دیجیتالی با دقت ۰/۰۰۱ گرم استفاده شد. محتوای رطوبتی اولیه برای دو رقم سلوا و گاویتا به ترتیب ۹۱/۰۷ و ۹۳/۱۶ درصد (بر اساس وزن خشک) تعیین شد. آزمون‌های ضربه و فشار در دمای اتاق (۲۳ تا ۲۴ درجه سانتی‌گراد) و رطوبت طبیعی محصول انجام گرفت. رطوبت نسبی محیط در هنگام انجام آزمایشات ۵۶ درصد بود.

آزمون ضربه با استفاده از ضربه‌زن پاندولی

برای انجام این آزمون از دستگاه ضربه‌زن پاندولی استفاده شد. میوه‌ها به‌وسیله یک گلوله فولادی (با قطر ۲۰ میلی‌متر و جرم ۳۳/۶۳ گرم) تحت ضربه قرار گرفتند. میوه‌ها به صورت تک تک درون کیسه توری آویزان شده از نقطه آویزان شدن گلوله قرار داده می‌شدند. به‌منظور کنترل ضربه وارده توسط گلوله به میوه از یک تکیه گاه چوبی تعبیه شده در پشت میوه ها استفاده شد (شکل ۱).

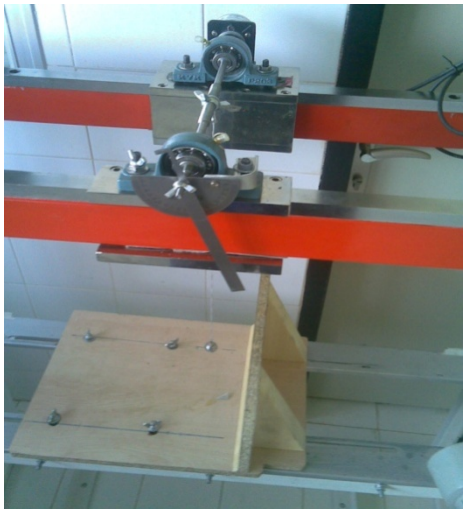
میزان انرژی وارده به میوه‌ها با استفاده از رابطه (۱) تخمین زده شد.

$$E = mgh \qquad (۱)$$

که در این رابطه m و g به‌ترتیب جرم گلوله بر حسب گرم و شتاب گرانشی بر حسب متر بر مجذور ثانیه می‌باشد. h اختلاف ارتفاع میوه و گلوله قبل از رها شدن است که با استفاده از رابطه (۲) تعیین می‌شود.

$$h = r - r\cos\theta \qquad (۲)$$

در این رابطه r طول ریسمان نگه‌دارنده گلوله بر حسب سانتی‌متر و θ زاویه‌ی رهاسازی گلوله بر حسب درجه می‌باشد.



شکل ۱- ضربه‌زن پاندولی

Fig.1. Pendulum impactor

به‌منظور تعیین انرژی ضربه اولیه ایجاد کننده آسیب در میوه‌ها (آستانه تحمل) آزمون‌های اولیه انجام شد. این آزمون‌ها در شرایط مشابه با آزمون‌های اصلی و به تعداد ۳۰ دفعه انجام گرفت. سطوح انرژی ضربه به گونه‌ای تعیین شد که پایین‌ترین سطح انرژی برابر آستانه تحمل میوه باشد. دو سطح دیگر انرژی به شکلی انتخاب شدند که موجب آسیب شدید در میوه نشوند (میوه تمایل به از هم گسیختگی پیدا نکند). سطوح هر یک از فاکتورهای آزمون ضربه در جدول ۱ آورده شده است.

آزمون سقوط

برای انجام آزمون سقوط از دستگاهی شامل یک صفحه‌ی آهنی صلب با ابعاد ۲۵ × ۳۵ سانتی‌متر و به وزن تقریبی ۱۲ کیلوگرم، میله عمودی پیچ شده روی صفحه، متر نصب شده روی میله عمودی و یک شاخص ارتفاع افقی نصب شده بر روی میله عمودی استفاده شد

شکل ۲- دستگاه تست سقوط

Fig.2. Drop test apparatus

با توجه به فراوانی جرمی دو رقم توت‌فرنگی تحت آزمایش توت‌فرنگی‌های دارای جرم تقریبی ۱۵ گرم برای آزمون سقوط انتخاب شدند. به‌منظور مطالعه حساسیت میوه توت‌فرنگی نسبت به شکل‌های مختلف ضربه سطوح انرژی در آزمون سقوط تقریباً مشابه با سطوح انرژی در آزمون ضربه در نظر گرفته شد. برای امتناع از حرکت چرخشی میوه‌ها در لحظه رهاسازی آنها به‌وسیله نوار چسب به ریسمان متصل و از روی شاخص ارتفاع بر روی صفحه سقوط رها می‌شدند. ارتفاع سقوط از مرکز میوه در نظر گرفته شد. میوه‌ها پس از برخورد با صفحه و قبل از برخورد دوباره با دست گرفته می‌شدند. برای مشخص شدن محل برخورد میوه با صفحه سقوط پودر سفید رنگی بر روی صفحه پاشیده شد (Ferreira *et al*., 2008). سطوح هر یک از فاکتورهای آزمون سقوط در جدول ۲ آورده شده است.

جدول ۱- سطوح فاکتورهای آزمون ضربه

Table 1- The levels of impact test factors

فاکتور Factor	سطوح Levels
رقم Variety	سلوا (Selva) گاویتا (Gaviota)
انرژی ضربه Impact energy	0.022 ژول (30 درجه) (0.022 Joule- 30 Degree) 0.049 ژول (45 درجه) (0.049 Joule- 45 Degree) 0.082 ژول (60 درجه) (0.082 Joule- 60 Degree)

جدول ۲- سطوح فاکتورهای آزمون سقوط

Table 2- The levels of drop test factors

فاکتور Factor	سطوح Levels
رقم Variety	سلوا (Selva) گاویتا (Gaviota)
انرژی سقوط Drop energy	0.026 ژول (18 سانتی‌متر) (0.026 Joule- 18 Centimeter) 0.049 ژول (34 سانتی‌متر) (0.049 Joule- 34 Centimeter) 0.079 ژول(54 سانتی‌متر) (0.079 Joule- 54 Centimeter)

آزمون فشار

آزمون فشار با استفاده از دستگاه ساخته شده در گروه مهندسی ماشین‌های کشاورزی دانشگاه تبریز انجام شد (شکل). برای انجام آزمون میوه‌ها بر روی صفحه صلب دستگاه قرار گرفته و بارگذاری با استفاده از وزنه‌های آویزان شده با ریسمان نایلونی از درون لوله راهنمای دستگاه صورت گرفت. در انتهای وزنه‌ها پروب با انتهای محدب به قطر ۱۵ میلی‌متر متصل شده بود.

با توجه به آزمون‌های اولیه میزان بار ایجاد کننده آستانه آسیب در میوه‌ها تعیین شد. به منظور مطالعه اثر مدت زمان بارگذاری این عامل نیز در سطوح فاکتور میزان بارگذاری دخالت داده شد. با توجه به آسیب‌دیدگی مشاهده شده در زمان های بارگذاری مختلف و عدم تمایل به از هم گسیختگی میوه دو زمان بارگذاری ۲ و ۴ ثانیه انتخاب شد. سطوح هر یک از فاکتورهای آزمون فشار در جدول ۳ آورده شده است.

برآورد میزان کوفتگی

حجم کوفتگی به عنوان شاخص آسیب‌دیدگی مورد ارزیابی قرار گرفت. پس از انجام آزمون‌ها، به منظور ارزیابی کوفتگی میوه‌ها به مدت ۲۴ ساعت در آنکوباتور با دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی ۹۵ درصد نگهداری شدند. پس از پایان دوره نگهداری عرض کوفتگی (w) در دو راستای عمود بر هم اندازه‌گیری و از آن‌ها میانگین‌گیری شد. سپس میوه‌ها از وسط ناحیه کوفتگی برش داده شدند و عمق کوفتگی (d) تعیین شد. اندازه‌گیری‌ها به وسیله کولیس دیجیتالی با دقت ۰/۰۱ میلی‌متر صورت گرفت. حجم کوفتگی با فرض مخروطی بودن شکل کوفتگی با استفاده از رابطه (۳) محاسبه شد (Ferreira *et al*., 2008).

شکل ۳- دستگاه آزمون فشار

Fig. 3. Compression test apparatus

$$V = \frac{1}{3}\left(\pi \left[\frac{d}{2}\right]^2 W\right) \quad (۳)$$

تحلیل آماری

همه آزمون‌ها به‌صورت فاکتوریل بر مبنای بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار انجام شد. برای تحلیل داده‌های به‌دست آمده از نرم‌افزار SPSS16 استفاده شد. مقایسه میانگین بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد انجام گرفت.

نتایج و بحث

آزمون ضربه

نتایج حاصل از تجزیه واریانس اختلاف معنی‌دار در حجم کوفتگی را نشان داد و اثرات مربوط به هر دو فاکتور انرژی ضربه و رقم معنی‌دار شدند (جدول ۴). از طرفی اثر متقابل دو فاکتور معنی‌دار نشد و بنابراین این دو فاکتور به‌صورت مستقل از هم عمل کرده و اثرگذاری فاکتور دیگر را تحت تأثیر قرار نداده‌اند.

مقایسه میانگین سطوح فاکتور انرژی ضربه بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌دار بین هر سه سطح انرژی را نشان داد (جدول ۵). مقادیر متوسط کوفتگی برای دو رقم سلوا و گاویتا به‌ترتیب برابر ۸۴/۵۲ و ۱۰۲/۰۵ میلی‌متر مکعب به‌دست آمد. با توجه به معنی‌داری اثر فاکتور رقم و نیز متوسط کوفتگی به‌دست آمده برای هر رقم می‌توان گفت که رقم گاویتا در مقابل صدمات آسیب‌پذیرتر می‌باشد و در مقایسه با رقم سلوا به میزان ۲۰ درصد آسیب بیشتر از خود نشان داده است.

چهار برابر شدن انرژی ضربه (از ۰/۰۲۲ به ۰/۰۸۲ ژول) موجب سه برابر شدن حجم کوفتگی (از ۴۶ به ۱۳۴/۵ میلی‌متر مکعب) شده است.

جدول ۳- سطوح فاکتورهای آزمون فشار

Table 3- The levels of compression test factors

فاکتور Factor	سطوح Levels
رقم Variety	سلوا (Selva) گاویتا (Gaviota)
میزان بارگذاری Loading amount	3.339 نیوتن- 2 ثانیه (3.339 Newton- 2 Second) 3.339 نیوتن- 4 ثانیه (3.339 Newton- 4 Second) 3.968 نیوتن- 2 ثانیه (3.968 Newton- 2 Second)

جدول ٤- تجزیه واریانس آزمون ضربه

Table 4- The variance analysis of impact test

منبع Source	درجات آزادی Degrees of freedom	میانگین مربعات Mean squares
رقم Variety	1	0.159**
انرژی ضربه	2	2.171**
Energy انرژی× رقم	2	0.073
Energy Variety × خطا Error	114	0.031

** معنی‌دار در سطح ۱ درصد، داده ها نرمال شده‌اند.

** Significant at 1%

جدول ۵- مقایسه میانگین سطوح فاکتور انرژی ضربه با آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد

Table 5- Mean comparison of impact energy factor levels using Duncan test (p= 5%)

سطوح فاکتور انرژی ضربه Levels of impact energy factor	متوسط کوفتگی Average of bruising (mm^3)
0.022 ژول (30°) (0.022 Joule- 30 degree)	48.205a
0.049 ژول (45°) (0.049 Joule- 45 Degree)	83.143b
0.082 ژول (60°) (0.082 Joule- 60 Degree)	148.520c

حروف لاتین مشابه نشان‌دهنده عدم معنی‌داری اختلاف در سطح یک درصد می‌باشد.

آزمون سقوط

نتایج تجزیه واریانس اختلاف معنی‌دار بین تیمارها را نشان داد. چون اثر فاکتور رقم معنی‌دار نشده است، معنی‌داری اختلاف بین تیمارها را تنها می‌توان به اثرگذاری متفاوت سطوح ارتفاع سقوط مربوط دانست (جدول ۶).

نتایج مربوط به مقایسه میانگین سطوح فاکتور ارتفاع سقوط بر اساس آزمون دانکن در جدول ۷ نشان داده شده است. بر اساس نتایج به‌دست آمده دو سطح ابتدایی ارتفاع (۱۸ و ۳۴ سانتی‌متر) فاقد اختلاف معنی‌دار می‌باشند و تنها سطح ابتدایی سوم با دو سطح دیگر دارای اختلاف معنی‌دار می‌باشد و با افزایش ارتفاع سقوط از ۱۸ سانتی‌متر (۰/۰۲۶ ژول) به ۵۴ سانتی‌متر (۰/۰۷۹ ژول) حجم کوفتگی ۳۵ درصد افزایش یافت.

Schoorl (1974) گزارش کرده است که در انتقال توت‌فرنگی میزان کوفتگی میوه با افزایش ارتفاع و تعداد سقوط بالا می‌رود. در این مطالعه توت‌فرنگی‌ها به مسافت ۱۶۰۰ کیلومتر در ۶ مرحله انتقال داده شده‌اند و آسیب ۶۶ تا ۹۹ درصدی برای توت‌فرنگی‌های نیمه رنگ گرفته و رسیده گزارش شده است.

مقایسه میزان کوفتگی برای آزمون‌های ضربه و سقوط حساسیت بیشتر توت‌فرنگی نسبت به سقوط را نشان داد. به عنوان مثال برای سطح انرژی ۰/۰۴۹ ژول کوفتگی ناشی از سقوط در رقم گاویتا و سلوا به ترتیب ۳/۰۵ و ۳/۳۴ برابر کوفتگی ایجاد شده در اثر ضربه بود. به نظر می‌رسد حساسیت بیشتر توت‌فرنگی نسبت به سقوط به ساختار بافت توت‌فرنگی مربوط باشد که برای روشن شدن موضوع به مطالعه ساختاری بافت توت‌فرنگی نیاز می‌باشد.

Ferreira *et al*. (2008) در مطالعه‌ای بر روی حساسیت میوه توت‌فرنگی در مقابل صدمات نتایج مشابه با نتایج مطالعه حاضر را گزارش کرده‌اند.

جدول ٦- تجزیه واریانس آزمون سقوط

Table 6- The variance analysis of drop test

منبع Source	درجات آزادی Degrees of freedom	میانگین مربعات Mean squares
رقم Variety	1	17157
ارتفاع سقوط	2	68720**
Height drop ارتفاع × رقم	2	227
Height ×Variety خطا Error	114	8023

** معنی‌دار در سطح یک درصد

** Significant at 1%

جدول ۷- مقایسه میانگین سطوح فاکتور ارتفاع سقوط با آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد

Table 7- Mean comparison of drop height factor levels using Duncan test (p= 5%)

سطوح فاکتور ارتفاع سقوط Levels of drop height factor	متوسط کوفتگی Average of bruising (mm^3)
0.026 ژول (18 cm) (0.026 Joule- 18 Centimeter)	214.10a
0.049 ژول (34 cm) (0.049 Joule- 34 Centimeter)	241.40a
0.079 ژول (54 cm) (0.079 Joule- 54 Centimeter)	295.54b

حروف لاتین مشابه نشان‌دهنده عدم اختلاف معنی‌دار در سطح یک درصد می‌باشد.

آزمون فشار

تجزیه واریانس داده‌ها اختلاف معنی‌دار در عملکرد تیمارها را نشان داد و تنها اثر فاکتور میزان بارگذاری در آزمایش معنی‌دار شد (جدول ۸). مقایسه میانگین سطوح فاکتور فشار تنها اختلاف معنی‌دار بین دو سطح ابتدایی و انتهایی را نشان داد. عدم معنی‌دار شدن اختلاف سطوح اول (۳/۳۳۹ نیوتن- ۲ ثانیه) و دوم (۳/۳۳۹ نیوتن- ۴ ثانیه) نشان داد که افزایش ۲ ثانیه‌ای در زمان بارگذاری بر روی میزان کوفتگی اثر معنی‌داری نداشته است (جدول ۹).

Holt and Schoorl (1982) همبستگی قوی بین حجم کوفتگی و انرژی جذب شده برای ضربه و فشار شبه ایستایی وارده به دو رقم توت‌فرنگی Redlands Earlisweet و Redlands Crimson به‌دست آوردند. آن‌ها گزارش کرده‌اند که بافت توت‌فرنگی در مقابل فشار آسان‌تر از ضربه دچار کوفتگی می‌شود. برای میزان انرژی مشابه حجم کوفتگی ناشی از فشار تقریباً ۴۰ درصد بالاتر بوده است.

آسیب‌های ناشی از ضربه و فشار ممکن است با ساختار دیواره سلولی در ارتباط باشد. ضربات باعث شکست پیوندهای درون سلولی یا گسستگی سلول‌ها می‌شود، در حالی‌که فشردگی تحت بار ثابت دیواره سلولی ویسکوالاستیکی را تحت تأثیر قرار می‌دهد که موجب ترکیدن سلول تحت فشارهای بالا می‌شود. این رفتار حجم کوفتگی کمتر میوه در اثر اعمال ضربه را توجیه می‌کند. کوفتگی‌های ناشی از فشردگی معمولاً در راستای نیرو ایجاد و به صورت خطی از سلول‌ها نمایان می‌شوند که دیواره سلولی خم و شکسته شده که اجازه می‌دهد محتوای سلولی خارج شود (Vincent, 1990). تحت بار استاتیک، میکروفیبریل‌های موجی راست شده و نسبت به یکدیگر می‌لغزند در حالی که ضربه باعث راست شدن میکروفیبریل‌ها و گسیختن آن‌ها می‌شود (Holt and Schoorl, 1976; 1982). بنابراین، چون انرژی بیشتری برای شکستن میکروفیبریل‌ها در حین ضربه مصرف می‌شود کوفتگی ایجاد شده در مقایسه با بار فشاری کمتر است (Holt and Schoorl, 1976).

جدول ۸- تجزیه واریانس آزمون فشار

Table 8- The variance analysis of compression test

منبع Source	درجات آزادی Degrees of freedom	میانگین مربعات Mean squares
رقم Variety	1	24397
فشار Pressure	2	155340**
فشار × رقم ×Variety Pressure	2	14501
خطا Error	114	27263

** معنی‌دار در سطح یک درصد

** Significant at 1%

نتیجه‌گیری

مقایسه کوفتگی ناشی از سه عامل مورد مطالعه نشان داد که عامل ضربه نسبت به دو عامل دیگر آسیب کمتری به محصول وارد آورده است. برای هر سه عامل با افزایش میزان انرژی وارده و فشار میزان کوفتگی توت‌فرنگی افزایش پیدا کرد. به غیر از عامل ضربه برای دو عامل دیگر فاکتور رقم میوه تأثیری در آسیب مشاهده شده نداشته است. علت این عدم تأثیرگذاری ممکن است مشابهت‌های بافتی دو رقم باشد و یا اینکه دو عامل فشار و سقوط واقعاً تحت تأثیر فاکتور رقم نمی‌باشد.

با توجه به مشاهدات به نظر می‌رسد که در حین فرآیند برداشت و پس‌از برداشت و در طراحی تجهیزات باید توجه ویژه‌ای به عامل فشار شود. خصوصاً در مورد ظروف مزرعه‌ای مورد استفاده برای برداشت و نیز بسته‌بندی‌های مورد استفاده برای ارائه محصول به بازار عامل فشار دارای پتانسیل آسیب رسانی بالایی می‌باشد.

جدول ۹- مقایسه میانگین سطوح فاکتور فشار با آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد

Table 9- Mean comparison of compression factor levels using Duncan test (p= 5%)

سطوح فاکتور فشار Levels of pressure factor	متوسط کوفتگی Average of bruising (mm^3)
3.339 نیوتن-2 ثانیه (3.339 Newton- 2 Second)	329.45a
3.339 نیوتن-4 ثانیه (3.339 Newton- 4 Second)	385.98ab
3.968 نیوتن-2 ثانیه (3.968 Newton- 2 Second)	453.91b

حروف لاتین مشابه نشان دهنده عدم اختلاف معنی‌دار در سطح یک درصد می باشد.

منابع

1. Ahmadi, E., H. R. Ghassemzadeh, M. Sadeghi, M. Moghaddam, and S. Z. Neshat. 2010. The effect of

impact and fruit properties on the bruising of peach. Journal of Food Engineering, 97 (1): 110-117.
2. Bollen, A., I. M. Woodhead, and B. T. Dela Rue. 1995. Compression forces and damage in the postharvest handling system. ASAE, Guanajuato, Mexico: 168- 175.
3. Brusewitz, G. H., T. G. Mccollum, and X. Zhang. 1991. Impact bruise resistance of peaches. Transactions of the ASAE 34: 962-965.
4. Castillo, S. 1992. Study of the distribution, visibility and physical properties of citrus tree and its influence in the design collection of robotic systems. Ph.D. Dissertation, University of Politécnica, Valencia.(In Spanish).
5. Chen, P., M. Ruiz, F. Lu, and A. A. Kader. 1986. Study of impact and compression damage on Asian pears. Transactions of the ASAE 30 (4):1193-1197.
6. Dennis, C. 1978. Post-harvest spoilage of strawberries. ARC Res, Rev 4 (2): 38-42.
7. Doving, A., and F. Mage. 2002. Methods to testing strawberry fruit firmness. Acta Horticulturae Scandinavia, 52: 43-45.
8. Doymaz, I. 2007. Influence of pretreatment solution on the drying of sour cherry. Journal of Food Engineering, 78 (2): 591-596.
9. Ericsson, N. A., and I. I. Tahir. 1996. Studies on apple bruising: II. The effects of fruit characteristics, harvest date and precooling on bruise susceptibility of three apple cultivars. Acta Agriculturae Scandinavica, Section B - Soil and Plant Science, 46 (4): 214-217.
10. Ferreira, M. D., S. A. Sargent, J. K. Brecht, and C. K. Chandler. 2008. Strawberry fruit resistance to simulated handling. Scientia Agricola. 65:490-495.
11. Golacki, K., G. Bobin, and Z. Stropek. 2009. Bruise resistance of apples (melrose variety). TEKA Kom. Mot. Roln.-OLPAN, 9: 40-47.
12. Holt, J. E., and D. Schoorl. 1976. Bruising and energy dissipation in apples. Journal of Texture Studies, 7: 411-432.
13. Holt, J. E., and D. Schoorl. 1982. Starwberry bruising and energy dissipation. Journal of Texture Studies, 13 (3): 349-357.
14. Hung, Y. C., and S. E. Prussia. 1989. Effect of maturity and storage time on the bruise susceptibility of peaches (Cv. Red Globe). Transactions of the ASAE, 32:1377-1382.
15. Jamieson, A. R., C. F. Forney, J. Richards, and K. U. K. G. Nicholas. 2002. Strawberry fruit characteristics that contribute to postharvest post-harvest quality. Acta Horticulturae, 567: 723-726.
16. Kader, A. A. 1999. Fruit maturity, ripening, and quality relationships. Acta Horticulturae, 485: 203-208.
17. Maynard, D. N., M. Sherman, and G. J. Hochmuth. 1988. Strawberry production guide for Florida: Florida Cooperative Extension Service, Institute of Food and Agricultural Sciences, University of Florida.
18. Mitchell, F. G., E. C. Maxie, and A. S. Greathe. 1964. Handling strawberries for fresh market. Davis: University of California, 16p.
19. Ourecky, D. K., and M. C. Bourne. 1968. Measurement of strawberry texture with an instron machine. Proceedings of the American Society for Horticultural Science, 93: 317-325.
20. Schoorl, D. 1974. Packaging of and mechanical damage to fruit. Master of Agricultural Science Thesis, Department of Agriculture, University of Queensland.
21. Sherman, M. 1988. Harvesting and handling. In: G. J. Hochmuth (ed), Strawberry production guide for Florida. Gainesville: Florida Cooperative Extension Service-University of Florida, 14-17. (Circular, 142C).
22. Shewfelt, R. L. 1998. Stress physiology: A cellular approach to quality. In R. L. Shewfelt and S. E. Prussia (ed). Postharvest Handling. Academic Press Inc., San Diego, CA: 257-276.
23. Thiagu, R., N. Chand, and K. V. R. Ramana. 1993. Evolution of mechanical characteristics of tomatoes of two varieties during ripening. Journal of the Science of Food and Agriculture, 62 (2):175-183.
24. Vincent, J. F. V. 1990. Fracture properties of plants. In: Callow, J. A. (Ed.) Advances in botanical research: London: Academic Press. cap.17: 235-287.
25. Zarifneshat, Z., H. R. Ghassemzadeh, M. H. Abbaspour-Fard, M. Sadeghi, E. Ahmadi, A. Javadi, and M. T. Shervani-Tabar. 2010. Effect of impact level and fruit properties on Golden Delicious apple bruising. American Journal of Agricultural and Biological Sciences, 5 (2): 114-121.