نشریه ماشین‌های کشاورزی
جلد ۵، شماره ۱، نیمسال اول ۱۳۹۴، ص ۱۳۳-۱۲۲

Journal of Agricultural Machinery
Vol. 5, No. 1, Spring - Summer 2015, p. 122-133

بررسی تأثیر ارتفاع سقوط و سطح برخورد بر کوفتگی سیب‌های صادراتی

داوود قنبریان[1*]- منیژه شیروانی[2]- مهدی قاسمی ورنامخواستی[3]- حسین گلستانیان[4]

تاریخ دریافت: ۹۲/۲/۲۴
تاریخ پذیرش: ۹۲/۷/۲۱

چکیده

علی‌رغم جایگاه ممتاز جهانی ایران در تولید سیب درختی، متأسفانه پتانسیل صادرات این محصول نامناسب است. در این میان به‌نظر می‌رسد یکی از مهم‌ترین علل کاهش کیفیت ارقام سیب ایران آسیب کوفتگی وارد به این محصول است. در این پژوهش برخی از عوامل مؤثر بر این مسأله مورد ارزیابی قرار گرفته است. به این منظور آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با ۷۲ تیمار، شامل ترکیب عامل رقم در سه سطح (گلدن دلیشز، رد دلیشز و گرانی اسمیت)، عامل نوع سطح برخورد در چهار سطح (مقوای تک لایه موج‌دار روی پلاستیک فشرده، چوب، تسمه روی ورق استیل و سیب) و عامل ارتفاع سقوط در شش سطح (۵، ۱۵، ۲۵، ۳۵، ۴۵ و ۵۵ سانتی‌متر) با ۴ تکرار انجام شد. حداکثر ارتفاع مجاز سقوط سیب‌ها به‌همراه مدل‌های تخمین میزان کوفتگی نیز ارائه شد. نتایج تجزیه واریانس نشان داد سطح و حجم کوفتگی نسبت به کلیه عوامل آزمایشی در سطح ۱ درصد واکنش معنی‌داری دارد. آزمون مقایسه میانگین‌ها نشان داد که رقم گرانی اسمیت با داشتن بافتی سفت‌تر نسبت به دو رقم دیگر آسیب‌پذیری کمتری دارد. بر مبنای نتایج حاصل از این پژوهش حداکثر ارتفاع مجاز سقوط برای رقم رد دلیشز، گلدن دلیشز و گرانی اسمیت به‌ترتیب ۱۲، ۱۵ و ۲۰ سانتی‌متر به‌دست آمد. همچنین تأثیر نوع رقم سیب بر پارامترهای مختلف معنی‌دار شد. براساس یافته‌های این پژوهش، در برخورد سیب با سیب، میزان کوفتگی ایجاد شده در سیب متحرک کمتر از سیب ساکن است.

واژه‌های کلیدی: ارتفاع سقوط، سطح برخورد، سیب درختی، کوفتگی

مقدمه

سیب یکی از مستعدترین میوه‌جات در پذیرش آسیب‌های مکانیکی است و در مراحل مختلف عملیات پس از برداشت، به‌وسیله میوه‌های مجاور خود و سطوحی که روی آن‌ها می‌افتد دچار آسیب می‌شود. در دهه‌ی اخیر با افزایش میزان تولید سیب درختی در کشور، جایگاه ایران از نظر صادرات این محصول در رتبه‌ی بیست و نهم جهانی قرار گرفته است. نکته قابل توجه این است که ایران در تولید سیب درختی، در رتبه‌ی چهارم جهانی قرار دارد (FAO, 2007). تمامی این واقعیات نشان می‌دهد که در مسائل بعد از تولید سیب درختی مانند جمع‌آوری، بسته بندی، انبارداری، حمل و نقل، فرآوری، بازاررسانی و صادرات کمتر توجه شده است و باید در این زمینه برنامه‌ریزی‌های اساسی به‌منظور کاهش هرچه بیشتر تلفات، از طریق طراحی و بهینه‌سازی در کلیه موارد پس از برداشت، انجام شود. بر این اساس شناسایی عوامل مؤثر بر وقوع صدمات مکانیکی در این محصول می‌تواند به کاهش ضایعات و افزایش صادرات در این بخش منجر شود. عامل اصلی اتلاف کیفی میوه سیب، آسیب کوفتگی گزارش شده است (Pang *et al.*, 1992). تاکنون پژوهش‌های بسیاری در زمینه بررسی عوامل مؤثر بر آسیب کوفتگی در میوه سیب انجام شده است. در بررسی اثر ارتفاع سقوط و وزن محصول بر حجم کوفتگی، افزایش خطی حجم کوفتگی با افزایش ارتفاع سقوط و وزن سیب‌ها گزارش شد (Abound, 2006). در پژوهش دیگری محققین سطح کوفتگی سیب درختی را تحت تأثیر ارتفاع سقوط و جنس سطح برخورد گزارش کردند (Tabatabaeikolur *et al.*, 2012). تأثیر رقم محصول بر کوفتگی سیب نیز توسط برخی از پژوهشگران مورد بررسی قرار گرفت. در این پژوهش‌ها فاکتورهای داخلی بافت سیب از جمله میزان مقاومت و قابلیت ارتجاعی دیواره سلولی و چگونگی پیوندهای درون سلولی به‌عنوان مهم‌ترین دلایل تفاوت در قابلیت کوفتگی ارقام مختلف سیب اعلام شدند (Ragni and Berardinelli, 2001; Pang *et al.*, 1996). محققین بسیاری نیز به بررسی تأثیر دما بر حجم کوفتگی سیب درختی پرداختند. نتایج

۱ و ۳- استادیار و عضو هیأت علمی گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد
(*- نویسنده مسئول: Email: ghanbarian-d@agr.sku.ac.ir)
۲- دانشجوی کارشناسی ارشد مکانیک ماشین‌های کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد
۴- دانشیار و عضو هیأت علمی گروه مکانیک، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه شهرکرد

Archive of SID
www.SID.ir

نشان داد حجم کوفتگی با افزایش دمای محصول کاهش می‌یابد. این پژوهشگران کاهش مدول الاستیسیته در نتیجه‌ی افزایش دما را به‌عنوان علت اصلی این پدیده گزارش کردند (Shekarbeigi *et al.*, 2012; Zarifneshat *et al.*, 2010; Van Zeebroeck *et al.*, 2007). در پژوهش دیگری لهیدگی موضعی سیب رقم رد دلیشز مورد شبیه‌سازی قرار گرفت. مدل شبیه‌سازی شده می‌توانست میزان لهیدگی سیب در بارگذاری‌های شبه استاتیکی را با دقت خوبی تعیین نماید (Sadrnia *et al.*, 2011). اخیراً نیز پژوهشی در مورد تأثیر ارتفاع سقوط بر میزان کوفتگی ارقام مختلف سیب درختی گزارش شده است (Stropek and Golacki, 2013). براساس یافته‌های این پژوهشگران، سرعت ۰/۲۵ متر بر ثانیه حداکثر سرعتی بود که منجر به کوفتگی ماندگار در ارقام مختلف سیب شد. احمدی و همکاران (۲۰۱۰) قبلاً تحقیق مشابهی را در مورد هلو انجام و گزارش کرده بودند. به‌طور کلی، علی‌رغم این‌که تحقیقات مختلفی بر روی کوفتگی سیب و عوامل مؤثر بر آن انجام پذیرفته (Diener *et al.*, 1979; Brusewitz and Bartsch, 1989; Lang, 1994; Bollen *et al.*, 1999; Lewis *et al.*, 2007)، برخی از موارد حائز اهمیت هنوز مورد بررسی قرار نگرفته و از طرف دیگر پراکندگی داده‌ها، مقایسه و تفسیر آن‌ها را مشکل کرده است. به‌عنوان مثال اگرچه این سطح سیب است که توسط خریدار قابل رؤیت بوده و مورد ارزیابی قرار گرفته و در انتخاب و خرید مؤثر است، ارتباط بین سطح و حجم کوفتگی و تخمین حجم از روی سطح قابل رؤیت کوفتگی مورد بررسی قرار نگرفته است. لذا در این پژوهش تأثیر ارتفاع سقوط، جنس سطح برخورد و رقم سیب بر روی سطح و حجم کوفتگی مورد بررسی قرار خواهد گرفت و حداکثر ارتفاع سقوط مجاز سیب‌های مورد مطالعه به‌همراه مدل‌های تخمین سطح و حجم کوفتگی ارائه خواهد شد.

مواد و روش‌ها

در این تحقیق از سه رقم سیب درختی که از ارقام صادراتی سیب‌های تولیدی در کشور می‌باشند، به نام‌های گلدن دلیشز، رد دلیشز و گرانی اسمیت استفاده شد. به‌جهت اطمینان از تازگی سیب‌ها و عدم وجود هرگونه آسیب مکانیکی در طی فرآیند برداشت تا انتقال به فروشگاه، ارقام مورد استفاده به‌طور مستقیم از یکی از باغ‌های نمونه سیب درختی شهر بلداجی از توابع استان چهارمحال و بختیاری در اوایل مهر ماه سال ۱۳۹۱ تهیه شدند. براساس تجربه باغداران منطقه، سیب‌ها در مراحل اولیه رسیدگی و آماده ارائه به بازار بودند. همچنین به‌منظور جلوگیری از اعمال ضربه و نیرو و ایجاد کوفتگی در طی انتقال به آزمایشگاه در بین نمونه‌ها از خرده‌های کاغذ و پوشال استفاده شد. از آنجایی که میوه سیب در روزهای اولیه پس از برداشت بیشترین آسیب‌پذیری مکانیکی را دارد و با گذشت زمان حساسیت به کوفتگی در آن کاهش می‌یابد (Garcia *et al.*, 1995)، سیب‌ها پس از برداشت بلافاصله به آزمایشگاه منتقل شدند و تمامی آزمایش‌ها در طول ۱۰ روز اول پس از برداشت انجام شد.

در این پژوهش به‌منظور تعیین عوامل مؤثر بر کوفتگی سیب تحت بارگذاری ضربه‌ای، از آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با ۷۲ تیمار در هر تکرار، شامل ترکیب سه عامل رقم، سطح برخورد و ارتفاع سقوط با ۴ تکرار استفاده شد. عامل رقم در سه سطح (گلدن دلیشز، رد دلیشز و گرانی اسمیت)، عامل نوع سطح برخورد در چهار سطح (مقوای تک لایه موج‌دار روی پلاستیک فشرده، چوب، تسمه روی ورق استیل و سیب) و عامل ارتفاع سقوط در شش سطح (۵، ۱۵، ۲۵، ۳۵، ۴۵ و ۵۵ سانتی‌متر) در نظر گرفته شدند. در مجموع ۲۸۸ عدد سیب درختی (از هر رقم ۹۶ عدد) نیاز بود. طبق استاندارد مربوط به درجه‌بندی سیب‌های درختی، کوفتگی‌هایی با مساحت ۱۰۰ mm^2 به بالا موجب کاهش کیفیت محصول و خروج آن از دسته‌بندی کیفی می‌شود (Lewis *et al.*, 2007; Lewis *et al.*, 2008). این مقدار به‌عنوان حد مجاز جهت تشخیص سیب‌های سالم از ناسالم مورد استفاده قرار می‌گیرد. در این پژوهش به جهت بررسی دقیق میزان حداکثر ارتفاع مجاز سقوط برای ارقام مورد مطالعه، دامنه ۵ تا ۵۵ سانتی‌متر انتخاب شد چرا که طبق تحقیقات قبلی در بررسی ارتفاع‌های سقوط ۵ تا۱۲۰ سانتی‌متر حداکثر کوفتگی مجاز سیب‌ها (۱۰۰ mm^2) برای جنس‌های مختلف سطح برخورد در ارتفاع‌های سقوط زیر ۴۰ سانتی‌متر گزارش شده بود (Lewis *et al.*, 2007; Golacki *et al.*, 2009).

تهیه میز تست ضربه

در اغلب تحقیقاتی که برای اندازه‌گیری مقاومت ضربه‌ای و بررسی کوفتگی محصولات کشاورزی انجام می‌پذیرد از دستگاه تست آونگی استفاده می‌شود. اگرچه کنترل نقطه برخورد و ضربه در این روش دقیق‌تر است اما در این پژوهش از تکنیک تست سقوط استفاده شد. چرا که به‌نظر می‌رسید این تکنیک، شبیه‌سازی واقع بینانه‌تری از آنچه در واقعیت برای محصول اتفاق می‌افتد را به تصویر می‌کشد (Lewis *et al.*, 2007; Golack *et al.*, 2009; Celik *et al.*, 2011; Saracoglu *et al.*, 2011).

به‌منظور بارگذاری ضربه‌ای سیب‌ها با استفاده از تکنیک تست سقوط، میز تست سقوط تهیه شد. این میز با ساختمانی ساده در ابعاد ۳۰×۴۰×۸۰ سانتی‌متر و با قابلیت تعویض سطح روی میز، به‌منظور بررسی عامل جنس سطح برخورد در میزان کوفتگی سیب، ساخته شد. در طی انجام آزمایش‌ها برای تعیین محل دقیق کوفتگی، سطح میز تست ضربه با گواش رنگ‌آمیزی شد تا محل برخورد سیب با سطح، روی پوست سیب مشخص باشد. پس از برخورد سیب‌ها، با دست از جهش سیب و برخورد مجدد آن جلوگیری شد.

Archive of SID

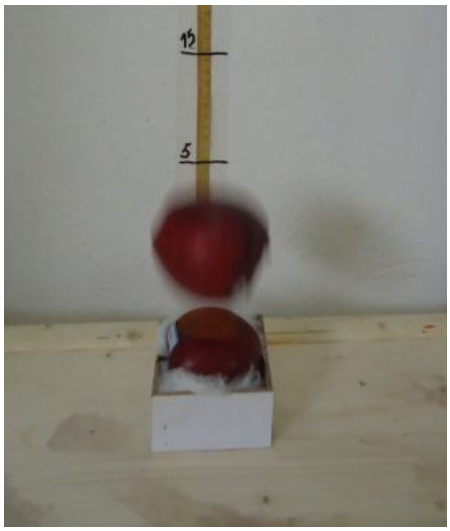
www.SID.ir

انجام آزمایش‌ها

در مجموع ۲۸۸ عدد سیب (از هر واریته ۹۶ عدد) به‌صورت تصادفی از بین کلیه سیب‌ها انتخاب شد. از آنجایی که سیب‌های بزرگتر انرژی بیشتری را جذب می‌کنند به‌منظور حذف اثر جرم روی کوفتگی ایجاد شده، نمونه‌ها از میان سیب‌هایی با وزن ۱۵۰ تا ۱۹۰ گرم به‌صورت کاملاً تصادفی انتخاب شدند. در هر تکرار سعی شد سیب‌هایی مشابه انتخاب شود تا نتایج حاصل مستقل از هندسه سیب باشند. همچنین برای حذف اثر موقعیت ضربه بر میزان کوفتگی، با انجام تست‌های اولیه سعی شد تا سیب‌ها از موقعیت گونه مورد ضربه قرار بگیرند. علت انتخاب گونه سیب به‌عنوان موقعیت بارگذاری از بین سه موضع شانه بالایی، گونه و شانه پایینی سیب در واقع اثر مستقیم اندازه شعاع انحنای سیب در نقطه تماس با عامل بارگذاری، بر روی حجم کوفتگی ایجاد شده بود. از آنجایی که گونه سیب در مقایسه با دو موضع دیگر دارای بیشترین میانگین شعاع انحنا است، میزان کوفتگی ایجاد شده در یک سطح انرژی ثابت در گونه بیش از دو موضع دیگر بود و در واقع افزایش شعاع انحنا موجب افزایش حجم کوفتگی ایجاد شده در سیب می‌شود (Brown and Segerlind, 1975; Siyami *et al.*,1988; Lewis *et al.*, 2007). بنابراین می‌توان نتایج حاصل از بررسی کوفتگی موضعی در گونه سیب را با ضریب اطمینان مناسبی در رابطه با شانه بالایی و پایینی سیب نیز به‌کار برد. در ادامه به‌منظور بررسی برخورد سیب با سیب، سیب ساکن مورد نظر به‌کمک یک قاب نگهدارنده چوبی به‌گونه‌ای که محور سردم آن به موازات سطح میز تست ضربه بود، قرار گرفت. قاب چوبی به سطح میز چسب شد و در هر تکرار فضای خالی بین قاب و سیب با پنبه پر شد تا سیب مورد نظر کاملاً فیکس شود. سپس گونه سیب ساکن با گواش رنگ‌آمیزی شد تا محل دقیق برخورد سیب رها شده کاملاً مشخص باشد (شکل ۱).

در هر تکرار به‌منظور بررسی و مقایسه کوفتگی ایجاد شده در سیب‌های ساکن و متحرک، برای حذف اثر جرم بر روی میزان کوفتگی ایجاد شده، سیب‌های ساکن نیز از میان سیب‌هایی با وزن ۱۵۰ تا ۱۹۰ گرم و تا حد امکان مشابه سیب متحرک انتخاب شدند.

از آنجایی که دمای محیط عاملی مؤثر در میزان کوفتگی ایجاد شده در میوه سیب می‌باشد (Hertog *et al.*, 2004)، به‌منظور حذف اثر دما در حجم کوفتگی ایجاد شده کلیه آزمایش‌ها در دمای ۲۰ الی ۲۲ درجه سلسیوس انجام شدند (Lewis *et al.*, 2008). به‌منظور نگه داشتن دما در دامنه انتخابی مذکور، هنگام انجام کلیه آزمایش‌ها دماسنجی در محیط آزمایشگاه در محل انجام آزمایش‌ها تعبیه شد. برای برقراری تعادل دمایی فوق، از سیستم گرمایشی آزمایشگاه و تهویه و پنجره‌ها استفاده شد.



شکل ۱– قاب نگهدارنده سیب ساکن روی میز تست ضربه در برخورد سیب با سیب

Fig.1. Frame holder apple without moving on the table in impact test

پس از انجام آزمایش‌ها تست سقوط به‌دلیل این که کوفتگی بلافاصله پس از برخورد قابل مشاهده نبود، سیب‌ها به مدت ۲۴ الی ۴۸ ساعت جهت پیدایش لک کوفتگی در محیط آزمایشگاه نگهداری شدند (Lewis *et al.*, 2007; Wilson, 2003). به‌دلیل این که در ارتفاعات سقوط در حد بحرانی یا کمتر، ضایعه از روی پوست قابل مشاهده نبود با یک تیزبر پوست سیب در محل ضربه برداشته شد و بافت کوفته شده از نمونه جدا شد. سپس به‌کمک یک کولیس دیجیتال Mitutoyo با دقت ۰/۰۱ میلی‌متر مقادیر قطر بزرگ و قطر کوچک سطح کوفتگی اندازه‌گیری شد و با ایجاد برشی عمود بر سطح و در مرکز کوفتگی، عمق کوفتگی نیز اندازه‌گیری شد. در اندازه‌گیری عمق کوفتگی، میزان عمق از سطح بالایی کوفتگی (d_t) به‌دلیل پایین بودن مقادیر ارتفاع سقوط صفر بود و عمق کوفتگی ($d_b - d_t$)، به‌صورت میانگین عمق کامل کوفتگی (d_b) وارد محاسبات شد. سطح کوفتگی به‌کمک رابطه (۱) و حجم کوفتگی با استفاده از روش ضخامت کوفتگی به‌عنوان بهترین و دقیق‌ترین روش برآورد حجم کوفتگی (رابطه ۲) محاسبه شدند (Mohsenin, 1986).

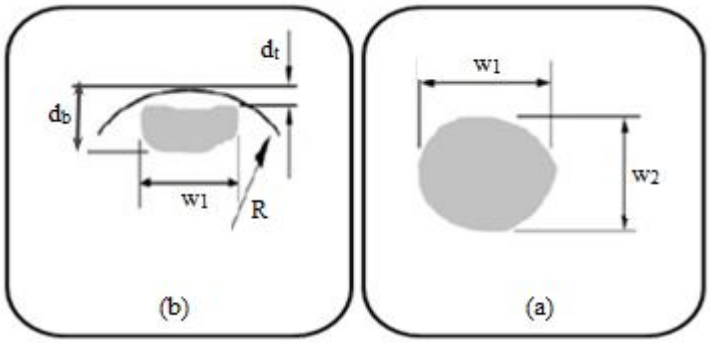
$$S=\pi\frac{w_1 w_2}{4} \qquad (۱)$$

$$V=\frac{\pi(d_b-d_t)}{24}(3w_1 w_2+4(d_b-d_t)^2) \qquad (۲)$$

پارامترهای به‌کار رفته در رابطه‌های (۱) و (۲) در شکل ۲ نشان داده شده است.

Archive of SID

www.SID.ir



شکل ۲– (a) نما از بالای سطح کوفتگی، (b) برش عمودی نمای جانبی سطح کوفتگی (Dobrzanski *et al.,* 2006)

Fig.2. (a) Top view of bruised area, (b) Cross-sectional views of the bruised area

عملیات آماده‌سازی اولیه داده‌ها و محاسبات مقدماتی توسط نرم افزار Excel ver.2010 و تجزیه و تحلیل آماری نتایج توسط نرم افزار SPSS ver.20 انجام پذیرفت. همچنین به‌منظور مقایسه میانگین‌ها و سطوح اثرات اصلی و متقابل متغیرها از آزمون چند دامنه‌ای دانکن استفاده شد.

نتایج و بحث

بررسی تأثیر رقم، جنس سطح برخورد و ارتفاع سقوط بر سطح و حجم کوفتگی

نتایج تجزیه واریانس مربوط به بررسی رقم، جنس سطح برخورد و ارتفاع سقوط همراه با اثرات متقابل آن‌ها بر روی سطح و حجم کوفتگی سیب در جدول ۱ آمده است.

جدول ۱– تجزیه واریانس مربوط به عوامل اصلی و اثرات متقابل آن‌ها بر میزان سطح و حجم کوفتگی سیب‌ها

Table 1- ANOVA of main factors and their interaction effects on bruise area and volume of apples

منبع تغییر Source of variation	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean of square	
		حجم کوفتگی Bruise volume (mm^3)	مساحت کوفتگی Bruise area (mm^2)
رقم Variety (A)	2	6138721.441**	206201.004**
جنس سطح برخورد Type of level collision (B)	3	11380000.000**	635305.179**
ارتفاع سقوط Drop height (C)	5	13950000.000**	723750.019**
رقم × جنس سطح برخورد B×A	6	464211.080**	13907.523**
رقم × ارتفاع سقوط C×A	10	558575.627**	7755.627**
جنس سطح برخورد × ارتفاع سقوط C×B	15	982281.022**	27574.214**
رقم × جنس سطح برخورد × ارتفاع سقوط C× B ×A	30	190668.070ns	3264.111ns
خطا Error	216	9381.524	391.243
کل Total	288		

** معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد، ns غیرمعنی‌دار

** Significant at 1% of probability levels, ns Non. Significant

www.SID.ir

جدول ۲- نتایج مقایسه میانگین‌های سطح و حجم کوفتگی برای سه رقم سیب مورد مطالعه

Table 2- The results of compared volume and area bruising for three varieties of apples

رقم سیب Variety of apple	مساحت کوفتگی Bruise area (mm^2)	حجم کوفتگی Bruise volume (mm^3)
گلدن دلیشز Golden Delicious	190.93[b]	608.63[b]
رد دلیشز Red Delicious	242.28[c]	933.75[c]
گرانی اسمیت Granny Smith	149.78[a]	435.69[a]

میانگین‌های با علامت یکسان در هر ستون در سطح ۵ درصد تفاوت معنی‌داری ندارند (آزمون چند دامنه‌ای دانکن)

Means with the same symbol are not significantly different at 5% level according to Duncan's multiple range test

همان‌گونه که مشاهده می‌شود، سطح و حجم کوفتگی نسبت به کلیه عوامل آزمایشی واکنش معنی‌دار دارد. مطابق جدول اثر رقم، جنس سطح برخورد، ارتفاع سقوط و اثرات متقابل رقم و جنس سطح برخورد، رقم و ارتفاع سقوط و جنس سطح برخورد و ارتفاع سقوط در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار شده است. اما اثر سه‌گانه رقم، نوع سطح برخورد و ارتفاع سقوط بر میزان سطح و حجم کوفتگی معنی‌دار نشده است.

جدول ۲ مقایسه میانگین‌های سطح و حجم کوفتگی را برای سه رقم سیب مورد مطالعه به روش دانکن نشان می‌دهند.

همان‌گونه که مشاهده می‌شود اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد در میان سطح و حجم کوفتگی سه رقم سیب مورد مطالعه وجود دارد. مطابق نتایج به‌دست آمده رقم رد دلیشز مستعد آسیب کوفتگی بیشتری است. در حالی‌که رقم گرانی اسمیت در میان سه رقم سیب مورد مطالعه در برابر بارهای خارجی مقاوم‌تر بوده و در نتیجه کوفتگی کمتری را تجربه می‌کند. این نتیجه با نتایج حاصل از گزارش (Masoudi *et al.*, 2007) که میزان الاستیسیته، تنش تسلیم و انرژی تسلیم را در سه رقم سیب مورد نظر اندازه‌گیری کرده‌اند در تطابق کامل می‌باشد.

نتایج مقایسه میانگین‌های سطح و حجم کوفتگی برای چهار جنس سطح برخورد مورد استفاده در بارگذاری‌های ضربه‌ای سیب‌های مورد مطالعه به روش دانکن در جدول ۳ آمده است. مطابق نتایج در میان میانگین‌های سطح و حجم کوفتگی ایجاد شده در برخورد با هر یک از سطوح تست ضربه اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد وجود دارد.

جدول ۳- نتایج مقایسه میانگین‌های سطح و حجم کوفتگی برای چهار جنس سطح برخورد

Table 3- The results of compared volume and area bruising for four type of collision

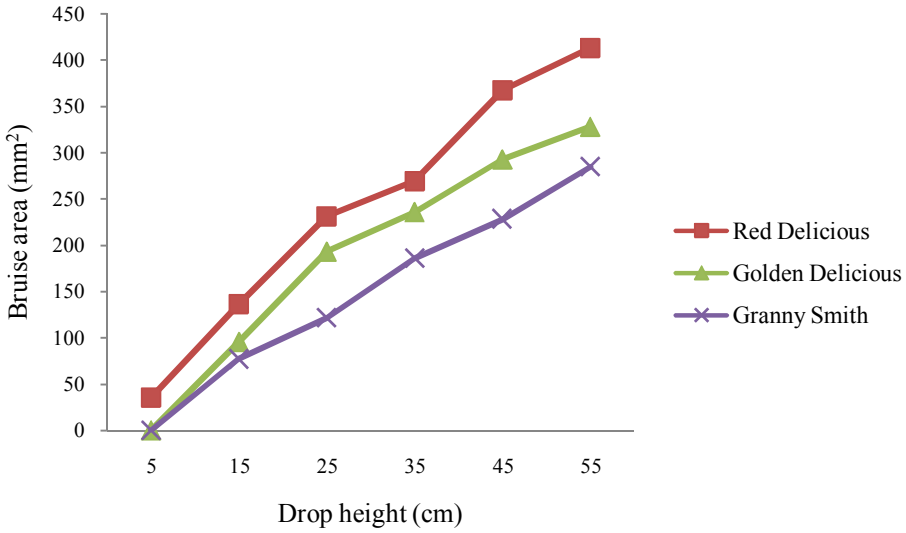
جنس سطح برخورد Type of level collision	مساحت کوفتگی Bruise area (mm^2)	حجم کوفتگی Bruise volume (mm^3)
چوب Wood	251.55[c]	946.79[c]
مقوا روی پلاستیک فشرده Cardboard on plastic	103.30[a]	151.15[a]
تسمه روی ورق استیل Rubber on steel	295.91[d]	1049.58[d]
سیب Apple	126.57[b]	389.90[b]

مطابق جدول ۳ سطح و حجم کوفتگی ایجاد شده به‌ترتیب برای تسمه، چوب، سیب و مقوا دارای بیشترین مقدار بوده که با توجه به مقادیر مدول الاستیسیته سطوح تست ضربه قابل توجیه است. در واقع نتایج به‌وضوح نشان می‌دهد که سطوحی با میزان مدول الاستیسیته کمتر و در نتیجه ظرفیت جذب انرژی بالاتر اجازه کوفتگی کمتری به سیب می‌دهند. اگرچه جنس تسمه مدول الاستیسیته کمتری نسبت به سطح چوبی و سیب ساکن دارد اما در رابطه با سطوح مرکب مانند تسمه قرار گرفته بر روی ورق استیل و مقوا بر روی پلاستیک فشرده مدول الاستیسیته سطح زیرین نیز در میزان آسیب‌دیدگی سیب مؤثر واقع شده است و کوفتگی ایجاد شده نتیجه تأثیر جنس هر دو سطح می‌باشد.

مقایسه میانگین اثرات متقابل برهمکنش رقم سیب و ارتفاع سقوط بر میزان سطح و حجم کوفتگی به‌ترتیب در شکل‌های ۳ و ۴ آمده است.

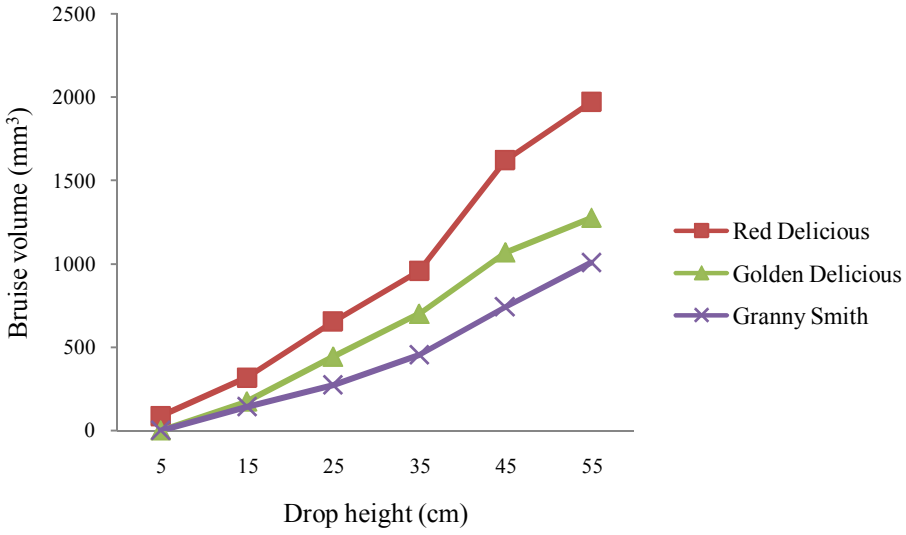
Archive of SID

www.SID.ir



شکل ۳– میانگین‌های اثر متقابل رقم و ارتفاع سقوط بر سطح کوفتگی

Fig.3. Means of interaction between varieties and drop height on bruising area



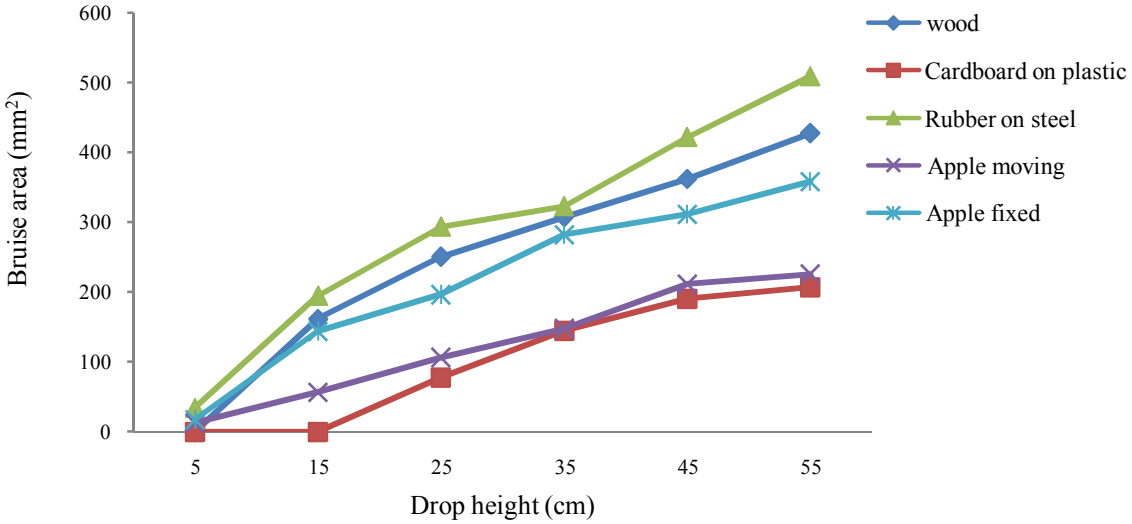
شکل ٤– میانگین‌های اثر متقابل رقم و ارتفاع سقوط بر حجم کوفتگی

Fig.4. Means of interaction between varieties and drop height on bruising volume

مطابق با شکل‌های ۳ و ۴ در هر سه رقم سیب مورد مطالعه با افزایش ارتفاع سقوط میزان سطح و حجم کوفتگی نیز افزایش می‌یابد. بر اساس استاندارد ASABE در رابطه با درجه‌بندی سیب درختی، کوفتگی‌هایی با مساحت بیشتر از ۱۰۰ میلی‌متر مربع به‌عنوان حد آستانه جهت تشخیص ارتفاع سقوط سیب‌های مورد مطالعه در نظر گرفته شد. بر این مبنا، مطابق شکل ۳ حداکثر ارتفاع سقوط مجاز برای رقم رد دلیشز ۱۲ cm، برای رقم گرانی اسمیت ۲۰ cm و برای رقم گلدن دلیشز ۱۵ cm می‌باشد.

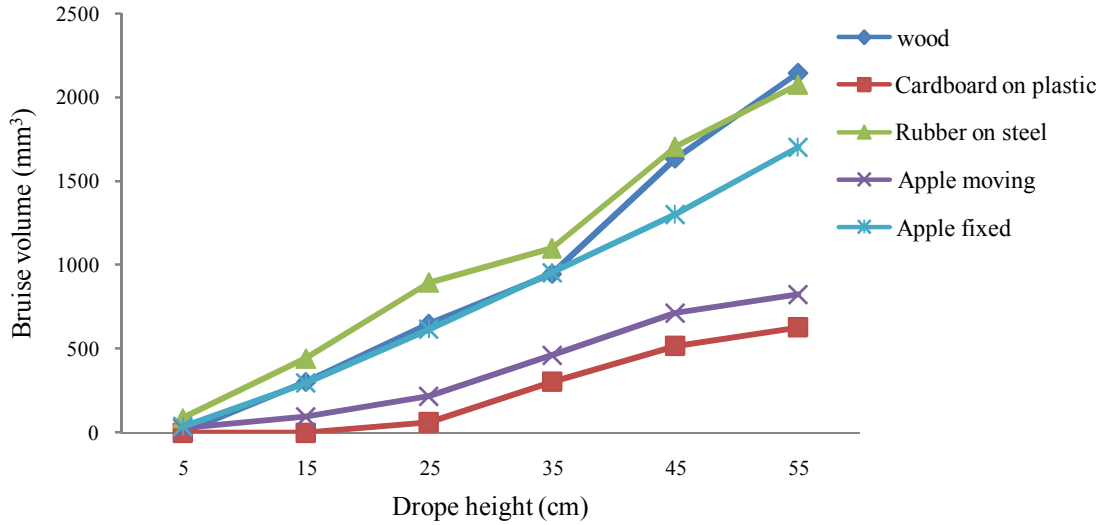
بر مبنای نتایج فوق می‌توان این‌گونه نتیجه گرفت که وابستگی کوفتگی سیب به رقم محصول ناشی از متفاوت بودن خواص مکانیکی ارقام مختلف آن می‌باشد. پژوهشگران بسیاری (Ragni 2005; and Berardinelli, 2001; Pang *et al*., 1996; Bollen, Afkari-Sayah *et al*., 2008) نیز در گزارش‌های خود رقم محصول را عاملی مؤثر در میزان کوفتگی سیب اعلام نمودند.

www.SID.ir



شکل ۵– میانگین‌های اثر متقابل ارتفاع سقوط و جنس سطح برخورد بر سطح کوفتگی

Fig.5. Means of interaction between drop height and type of level collision on bruising volume



شکل٦– میانگین‌های اثر متقابل ارتفاع سقوط و جنس سطح برخورد بر حجم کوفتگی

Fig.6. Means of interaction between drop height and type of level collision on bruising area

مقایسه میانگین‌های اثرات متقابل برهمکنش جنس سطح برخورد و ارتفاع سقوط بر میزان سطح و حجم کوفتگی به‌ترتیب در شکل‌های ۵ و ۶ آمده است. همان‌طور که در نمودارها مشاهده می‌شود، در هر چهار جنس سطح برخورد با افزایش ارتفاع سقوط میزان سطح و حجم کوفتگی نیز افزایش می‌یابد. بیشترین میزان کوفتگی در استفاده از تسمه روی ورق استیل و کمترین میزان کوفتگی برای سطح مقوایی روی پلاستیک فشرده به‌دست آمده است. همچنین در برخورد سیب با سیب، سیب ساکن (سطح برخورد) نسبت به سیب متحرک دچار کوفتگی بیشتری شده است.

مطابق شکل ۶ حداکثر ارتفاع سقوط مجاز برای جنس تسمه بر روی ورق استیل ۹ cm و برای جنس مقوا بر روی پلاستیک فشرده ۲۹ cm می‌باشد. همچنین برای جنس چوب در ارتفاع ۱۲ cm میزان سطح کوفتگی به ۱۰۰ mm^2 می‌رسد و حداکثر ارتفاع سقوط مجاز در برخورد سیب با سیب ۲۵ cm می‌باشد. براساس یافته‌های این پژوهش، استفاده از جنس مقوا به‌جای چوب در سطح برخورد میزان کوفتگی را کاهش می‌دهد. بنابراین چنانچه از پوشش‌های نرم با قابلیت ضربه‌گیری و جذب انرژی بیشتر بر روی سطوح سخت مانند فولاد و چوب استفاده شود میزان کوفتگی به‌طور قابل ملاحظه‌ای

www.SID.ir

کاهش می‌یابد. نتایج پژوهش (Dobrzanski *et al*., 2006) نیز نشان داد که استفاده از پوشش فوم مخصوص در جعبه‌ها در مراحل مختلف پس از برداشت ۳۵ تا ۴۰ درصد آسیب کوفتگی را کاهش می‌دهد.

این اطلاعات می‌بایست در طراحی ماشین‌های برداشت، سورتینگ، بسته‌بندی و خطوط فرآوری به‌منظور کاهش ضایعات و در راستای افزایش کیفیت سیب‌ها مورد توجه واقع شوند. برای مثال در تنظیم ارتفاع سقوط سیب بر روی نوار نقاله‌های انتقال در فرآیندهای سورتینگ و بسته‌بندی رعایت نکات فوق به‌منظور جلوگیری از بروز آسیب پنهان کوفتگی، امری لازم و ضروری می‌باشد. به‌طور کلی در کلیه سیستم‌های برداشت و پس از برداشت چنانچه از سطوح سخت و بدون پوشش استفاده می‌شود بایستی ارتفاع سقوط را به حدی کم کرد که سطح کوفتگی از میزان مجاز فراتر نرود.

تعیین مدل‌های ریاضی برای تخمین سطح کوفتگی سیب‌ها

مطابق با نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل آماری بررسی کوفتگی موضعی سیب‌های مورد مطالعه، مشاهده شد که با افزایش میزان ارتفاع سقوط میزان کوفتگی نیز افزایش می‌یابد. چگونگی این افزایش و در نتیجه تعیین آستانه ارتفاع سقوط سیب‌ها وابسته به جنس سطح برخورد می‌باشد. بنابراین ارائه مدل‌های ریاضی به‌منظور تخمین میزان کوفتگی ایجاد شده در برخورد با جنس‌های مختلف روابطی مفید برای طراحی سیستم‌های اندازه‌بندی، انتقال، فرآوری و بسته‌بندی سیب‌های صادراتی ایران در راستای افزایش کیفیت و کاهش ضایعات محصول، فراهم می‌آورد. در این پژوهش محاسبات مربوط به ارائه مدل‌های تخمین سطح و حجم کوفتگی سه رقم سیب صادراتی مورد مطالعه، توسط نرم افزار Excel ver.2010 انجام شد. به‌منظور پیش‌بینی میزان سطح کوفتگی سیب‌ها بر مبنای ارتفاع سقوط، برای هر سه رقم سیب مورد مطالعه در میان مدل‌های رگرسیونی خطی، لگاریتمی و چند جمله‌ای، رگرسیون چند جمله‌ای با داشتن بالاترین ضریب تبیین به‌صورت رابطه (۳) انتخاب شد. در جدول‌های ۴، ۵ و ۶ مقادیر ضرایب ثابت این رابطه برای پیش‌بینی میزان سطح کوفتگی سیب در برخورد با چوب، مقوا روی پلاستیک فشرده، تسمه روی ورق استیل و سیب برای سه رقم سیب مورد آزمایش ارائه شده است.

$$A = ah^2+bh+c \qquad (۳)$$

جدول ٤– مقادیر ضرایب ثابت برای پیش‌بینی میزان سطح کوفتگی سیب رقم گلدن دلیشز بر مبنای ارتفاع سقوط

Table 4- Constant coefficient values for the prediction of area bruising Golden Delicious apple on the drop height

جنس سطح برخورد Type of level collision	a	b	c	R^2
چوب Wood	-0.0011	1.5169	-65.579	0.966
مقوا روی پلاستیک فشرده Cardboard on plastic	0.0040	0.6526	-50.037	0.934
تسمه روی ورق استیل Rubber on steel	-0.0012	1.6131	-57.380	0.964
سیب ساکن Apple fixed	-0.0009	1.0753	-59.072	0.993
سیب متحرک Apple moving	-0.0007	0.7971	-43.912	0.993

جدول ٥– مقادیر ضرایب ثابت برای پیش‌بینی میزان سطح کوفتگی سیب رقم رد دلیشز بر مبنای ارتفاع سقوط

Table 5- Constant coefficient values for the prediction of area bruising Red Delicious apple on the drop height

جنس سطح برخورد Type of level collision	a	b	c	R^2
چوب Wood	-0.0012	1.7146	-63.470	0.977
مقوا روی پلاستیک فشرده Cardboard on plastic	-0.0060	0.8398	-63.799	0.925
تسمه روی ورق استیل Rubber on steel	-0.0005	1.2493	53.017	0.980
سیب ساکن Apple fixed	0.0006	0.4822	33.438	0.961
سیب متحرک Apple moving	0.0004	0.3744	24.126	0.959

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ٦- مقادیر ضرایب ثابت برای پیش‌بینی میزان سطح کوفتگی سیب رقم گرانی اسمیت بر مبنای ارتفاع سقوط

Table 6- Constant coefficient values for the prediction of area bruising Granny Smith apple on the drop height

جنس سطح برخورد Type of level collision	a	b	c	R^2
چوب Wood	-0.0001	1.2205	-43.808	0.982
مقوا روی پلاستیک فشرده Cardboard on plastic	0.0006	0.1301	-23.779	0.899
تسمه روی ورق استیل Rubber on steel	-0.0003	0.9414	-18.611	0.946
سیب ساکن Apple fixed	0.0003	0.6349	-45.375	0.966
سیب متحرک Apple moving	-0.0002	0.4627	-33.421	0.968

تعیین مدل‌های ریاضی برای تخمین حجم کوفتگی سیب‌ها

برای هر سه رقم سیب مورد مطالعه در میان مدل‌های رگرسیونی موجود، رگرسیون چند جمله‌ای با داشتن بالاترین ضریب تبیین به‌صورت رابطه (۴) به‌منظور پیش‌بینی مقدار حجم کوفتگی سیب‌ها بر مبنای میزان ارتفاع سقوط انتخاب شد. در جدول‌های ۷، ۸ و ۹ مقادیر ضرایب ثابت این رابطه برای پیش‌بینی میزان حجم کوفتگی سیب در برخورد با چوب، مقوا روی پلاستیک فشرده، تسمه روی ورق استیل و سیب برای سه رقم سیب مورد مطالعه ارائه شده است.

$$V = ah^2+Ah+c \quad (۴)$$

جدول۷- مقادیر ضرایب ثابت برای پیش‌بینی میزان حجم کوفتگی سیب رقم گلدن دلیشز بر مبنای ارتفاع سقوط

Table 7- Constant coefficient values for the prediction of volume bruising Golden Delicious apple on the drop height

جنس سطح برخورد Type of level collision	a	b	c	R^2
چوب Wood	0.00029	2.3846	-147.590	0.995
مقوا روی پلاستیک فشرده Cardboard on plastic	0.00150	0.1748	-35.894	0.970
تسمه روی ورق استیل Rubber on steel	0.00310	2.7840	-122.820	0.974
سیب ساکن Apple fixed	-0.00170	2.5060	-162.900	0.968
سیب متحرک Apple moving	0.00130	1.8837	-121.990	0.968

جدول ۸- مقادیر ضرایب ثابت برای پیش‌بینی میزان حجم کوفتگی سیب رقم رد دلیشز بر مبنای ارتفاع سقوط

Table 8- Constant coefficient values for the prediction of volume bruising Red Delicious apple on the drop height

جنس سطح برخورد Type of level collision	a	b	c	R^2
چوب Wood	0.0106	0.1792	37.248	0.983
مقوا روی پلاستیک فشرده Cardboard on plastic	0.0019	0.7838	-99.116	0.955
تسمه روی ورق استیل Rubber on steel	-0.0026	5.7706	-63.631	0.978
سیب ساکن Apple fixed	0.0050	0.9079	16.781	0.978
سیب متحرک Apple moving	0.0037	0.6831	12.310	0.978

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ۹- مقادیر ضرایب ثابت برای پیش‌بینی میزان حجم کوفتگی سیب رقم گرانی اسمیت بر مبنای ارتفاع سقوط

Table 9- Constant coefficient values for the prediction of volume bruising Granny Smith apple on the drop height

جنس سطح برخورد Type of level collision	a	b	c	R^2
چوب Wood	0.0015	1.6249	-49.794	0.984
مقوا روی پلاستیک فشرده Cardboard on plastic	0.0023	-0.2257	-14.080	0.953
تسمه روی ورق استیل Rubber on steel	0.0023	1.1583	-35.891	0.984
سیب ساکن Apple fixed	0.0019	0.4459	60.024	0.968
سیب متحرک Apple moving	0.0014	0.4433	-45.018	0.968

همچنین به‌منظور پیش‌بینی میزان حجم کوفتگی سیب‌ها به‌کمک مقدار سطح قابل شهود کوفتگی، برای هر سه رقم سیب مورد مطالعه در میان مدل‌های رگرسیونی موجود، رابطه (۵) با داشتن بیشترین ضریب تبیین انتخاب شد. در جدول ۱۰ مقادیر ضرایب ثابت این رابطه برای پیش‌بینی میزان حجم کوفتگی سه رقم سیب مورد آزمایش ارائه شده است.

$$V = aA^2+bA+c \qquad (۵)$$

جدول ۱۰- مقادیر ضرایب ثابت برای پیش‌بینی میزان حجم کوفتگی سیب بر مبنای سطح قابل شهود کوفتگی

Table 10- Constant coefficient values for the prediction of volume bruising based on the area of intuition bruising

رقم Variety	a	b	c	R^2
گلدن دلیشز Golden Delicious	0.0082	0.7341	4.7345	0.987
رد دلیشز Red Delicious	0.0038	2.7330	-68.818	0.902
گرانی اسمیت Granny Smith	0.0053	1.6958	-12.895	0.962

نتیجه‌گیری

در بررسی عوامل رقم، جنس سطح برخورد و ارتفاع سقوط بر میزان سطح و حجم کوفتگی سیب‌های صادراتی ایران (گلدن دلیشز، رد دلیشز و گرانی اسمیت) نتایج نشان داد که اثر رقم، جنس سطح برخورد، ارتفاع سقوط و اثرات متقابل رقم و جنس سطح برخورد، رقم و ارتفاع سقوط و جنس سطح برخورد و ارتفاع سقوط در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار است. همچنین نتایج نشان داد که اثرات متقابل سه‌گانه رقم، جنس سطح برخورد و ارتفاع سقوط بر میزان سطح و حجم کوفتگی معنی‌دار نیست. بر مبنای نتایج حاصل از این پژوهش حداکثر ارتفاع سقوط مجاز برای تسمه بر روی ورق استیل ۹ cm، برای مقوا بر روی پلاستیک فشرده ۲۹ cm، برای جنس چوب ۱۲ cm و در برخورد سیب با سیب ۲۵ cm می‌باشد. مقایسه میانگین اثرات متقابل برهمکنش رقم سیب و ارتفاع سقوط بر میزان سطح کوفتگی سیب‌های مورد مطالعه نیز نشان داد که حداکثر ارتفاع سقوط مجاز برای رقم رد دلیشز ۱۲ cm، برای رقم گرانی اسمیت ۲۰ cm و برای رقم گلدن دلیشز ۱۵ cm است. همچنین نتایج مقایسه میانگین سطح و حجم کوفتگی سه رقم سیب مورد مطالعه نشان داد که در برخورد سیب با سیب، میزان کوفتگی ایجاد شده در سیب ساکن بیشتر از سیب متحرک می‌باشد.

منابع

1. Abound, A. J. 2006. Study on factors affecting apple bruises under drop loading. New Trends in Agricultural Engineering: 876-887. The 14th. Annual Conference of the Misr Society of Agricultural Engineering.
2. Afkari-Sayah, A., M. Esmaeilian, S. Minaei, and A. Pirayesh. 2008. The influence of mechanical loads on the damage applied to apples after storage stage. Food Science and Technology 5: 37-44. (In Farsi).
3. Ahmadi, E., H. R. Ghassemzadeh, M. Sadeghi, M. Moghaddam, and S. Zarif-Neshat. 2010. The effect of impact and fruit properties on the bruising of peach. Journal of Food Engineering 97: 110-117.

Archive of SID

www.SID.ir

4. Bollen, A. F., H. X. Nguyen, and B. T. Dela Rue. 1999. Comparison of methods for estimating the bruise volume of apples. Journal of Agricultural Engineering Research 74: 325-330.
5. Bollen, A. F. 2005. Major factors causing variation in bruise susceptibility of apples (*Malus domestica*) grown in New Zealand. Journal of Crop and Horticultural Science 33: 201-210.
6. Brown, G. K., and L. J. Segerlind. 1975. Location probabilities of surface injuries for some mechanical harvested apples. Transactions of American Society Agricultural Engineers 18: 57-61.
7. Brusewitz, G. H., and J. A. Bartsch. 1989. Impact parameters related to post harvest bruising of apples. Transactions of American Society Agricultural Engineers 32: 953-957.
8. Celik, H. K., E. W. A. Rennie, and I. Akinci. 2011. Deformation behaviour simulation of an apple under drop case by finite element method. Journal of Food Engineering 104: 293-298.
9. Diener, R. G., K. C. Elliott, P. E. Nesselroad, M. Ingle, R. E. Adams, and S. H. Blizzard. 1979. Bruise energy of peaches and apples. Transactions of American Society Agricultural Engineers 22: 287-290.
10. Dobrzanski, B., J. Rabcewicz, and R. Rybczynski. 2006. Handling of Apple. Center of excellence agrophysics, Polish Academy of Science, Lublin, pp 233.
11. FAO. 2007. Food and Agriculture Organization Statistics. Available from: FAOSTAT. www.fao.org.
12. Garcia, J. L., M. Ruiz-Altisent, and P. Barreiro. 1995. Factors influencing mechanical properties and bruise susceptibility of apples and pears. Journal of Agricultural Engineering Research 61: 11-18.
13. Golacki, K., G. Bobin, and Z. Stropek. 2009. Bruise resistance of apples (*Melrose variety*). Teka Komisji Motoryzacji Energetyki Rolnictwa 9: 40-47.
14. Hertog, M. L., R. Ben-Arie, E. Roth, and B. M. Nicola. 2004. Humidity and temperature effects on invasive and noninvasive firmness measures. Postharvest Biology and Technology 33: 79-91.
15. Lang, Z. 1994. The influence of mass and velocity on the maximum allowable impactenergy of apples. Journal of Agricultural Engineering Research 57: 213-216.
16. Lewis, R., A. Yoxall, L. A. Canty, and E. Reina Roma. 2007. Development of engineering design tools to help reduce apple bruising. Journal of Food Engineering 83: 356-365.
17. Lewis, R., A. Yoxall, M. B. Marshal, and L. A. Canty. 2008. Characterizing pressure and bruising in apple fruit. Wear 264: 37-46.
18. Masoudi, H., A. Tabatabaeefar, and A. M. Borghaee. 2007. Determination of storage effect on mechanical properties of apples using the uniaxial compression test. Canadian Biosystems Engineering 49: 29-33.
19. Mohsenin, N. N. 1986. Physical properties of plant and animal materials. Gordon Breach Science Publisher, New York.
20. Pang, W., C. J. Studman, and G. T. Ward. 1992. Bruising damage in apple-to-apple impact. Journal of Agricultural Engineering Research 52: 229-240.
21. Pang, D. W., C. J. Studman, N. H. Banks, and P. H. Baas. 1996. Rapid assessment of the susceptibility of apples to bruising. Journal of Agriculture Engineers 64: 37-48.
22. Ragni, L., and A. Berardinelli. 2001. Mechanical behavior of apples and damage during sorting and packaging. Journal of Agriculture Engineers 78: 273-279.
23. Sadrnia, H., B. Emadi, A. Rajabipour, and J. Micker. 2011. Computerized simulation of local damage for Red Delicious apple. Iranian Journal of Biosystem Engineering 42: 69-78.
24. Saracoglu, T., N. Ucer, and C. Ozarslan. 2011. Engineering properties and susceptibility to bruising damage of Table Olive (*Olea europaea*) Fruit. Agriculture and Biology 13: 801-805.
25. Shekarbeigi, S., A. H. Afkari-Sayyah, H. Shayeghi-Moghanloo, and A. A. Shokuhian. 2011. Effect of temperature and padding surface on apple bruise volume due to impact and its prediction by artificial neural network. Journal of Food Science and Technology 8: 85-94. (In Farsi).
26. Siyami, S., G. K. Brown, G. J. Burgess, J. B. Gerrish, B. R. Tennes, C. L. Burton, and R. H. Zapp. 1988. Apple impact bruises prediction models. Transactions of American Society Agricultural Engineers 31: 1038-1046.
27. Stropek, Z., and K. Gołacki. 2013. The effect of drop height on bruising of selected apple varieties. Postharvest Biology and Technology 85: 167-172.
28. Tabatabaeikolur, R., A. Koluri, S. Hashemi, and R. Hadipour. 2012. Study on the drop height, conveyor motion speed and impact surface type on the bruising area and volume for Goden Delicious apple. Agricultural Machinery Journal 2: 19-27.
29. Van Zeebroeck, M., V. Van linden, P. Darius, B. Ketelaere, H. Ramon, and E. Tijskens. 2007. The

Archive of SID

www.SID.ir

effect of fruit factors on the bruise susceptibility of apples. Postharvest Biology and Technology 46: 10-19.
30. Wilson, K. 2003. Harvesting and handling of apples. Factsheet, Queen's printer for Ontario, Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs.
31. Zarifneshat, S., H. R. Ghassemzadeh, M. Sadeghi, M. H. Abbaspour-Fard, 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: 114-121.

Archive of SID

www.SID.ir