

## بررسی تاثیر ارتفاع سقوط، سرعت حرکت نقاله و جنس سطح برخورد بر سطح و حجم کوفتگی سیب رقم گلدن دلشز

رضا طباطبائی کلور<sup>۱\*</sup> - علیرضا کلوری<sup>۲</sup> - سید جعفر هاشمی<sup>۳</sup> - رمضان هادی پور<sup>۴</sup>

تاریخ دریافت: ۹۰/۳/۲۸

تاریخ پذیرش: ۹۰/۱۱/۱۸

### چکیده

میوه سیب در مراحل مختلف برداشت تا عرضه به مشتری در معرض بارهای مختلف قرار می‌گیرد. کوفتگی به عنوان یکی از معیارهای مهم ارزیابی صدمه وارد شده به سیب همواره مورد توجه محققان بوده است. در این تحقیق برخی از عوامل موثر بر میزان سطح و حجم کوفتگی سیب از جمله ارتفاع سقوط، جنس سطح برخورد و سرعت حرکت خطی سیب بر روی نوار نقاله بررسی شد. تاثیر این عوامل بر کوفتگی سیب رقم "گلدن دلشز" با استفاده از طرح کاملاً تصادفی با آزمایش فاکتوریل در سه سطح ارتفاع سقوط (۱۰، ۲۰ و ۳۰) cm، سه سطح سرعت حرکت خطی ( $0.1, 0.05, 0.15$  m.s<sup>-1</sup>) و چهار سطح برخورد (چوبی، فولادی، پلاستیکی و کارتنی) در سه تکرار با مجموع ۱۰۸ تیمار مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. نتایج تجزیه واریانس نشان داد که تاثیر ارتفاع سقوط و جنس سطح برخورد بر روی سطح کوفتگی در سطح ۱ درصد معنی دار بود در حالی که حجم کوفتگی تنها تحت تاثیر جنس سطح برخورد قرار گرفت (دارای اختلاف معنی دار در سطح ۱ درصد). آزمون مقایسه میانگین‌ها نشان داد که تفاوت معنی داری بین سطوح مختلف ارتفاع سقوط بر سطح کوفتگی وجود دارد. علاوه بر تفاوت بین سطح کارتنی با سطوح فولادی، پلاستیکی و چوبی معنی دار است. از نظر تاثیر جنس سطح برخورد بر حجم کوفتگی، بین سطوح فولادی و چوبی با سطح کارتنی و پلاستیکی تفاوت معنی داری وجود دارد. بنابراین در طراحی سیستم‌های فراوری سیب بایستی عوامل ارتفاع سقوط و جنس سطح برخورد را مد نظر قرار داد.

واژه‌های کلیدی: ارتفاع سقوط، جنس سطح برخورد، سیب، صدمه مکانیکی

### مقدمه

سالیانه درصد قابل توجهی از میوه‌ها به دلایل مختلفی از جمله صدمات مکانیکی تلف می‌شوند. میوه‌ها از مرحله برداشت تا رسیدن به دست مشتری ممکن است فرایندهایی مانند چیدن، جابجائی، بسته‌بندی، درجه بندی، انبارداری و حمل و نقل را پشت سر بگذارند که در هر یک از این مراحل می‌توانند در معرض بارهای مختلف استاتیکی و دینامیکی قرار گرفته و صدمه ببینند. برای اغلب میوه‌ها از جمله سیب، کوفتگی متداول‌ترین نوع صدمه مکانیکی در فرایندهای پس از برداشت می‌باشد. این نوع صدمه نه تنها در ظاهر محصول از نظر مشتری پسندی یک عامل منفی محسوب می‌شود بلکه مکان مناسبی برای رشد و نمو عوامل فساد نیز می‌باشد (Van

Zeebroek et al., 2007). گرچه کوفتگی یک دغدغه نگران کننده است و باید به عنوان یک آسیب تلقی شود اما می‌توان با بکارگیری روش‌های مدیریتی مناسب آن را کنترل کرد (Wilson, 2003).

Baritelle and Hyde (2001) گزارش کردند که کاهش صدمه حاصل از کوفتگی در صنعت میوه و سبزی سالیانه میلیاردها دلار صرفه جوئی اقتصادی به همراه دارد. تلفات ناشی از کوفتگی سیب تازه برداشت شده در مراحل مختلف پس از برداشت در ژاپن ۱۷ درصد گزارش شد (Usuda, 2006).

Pang et al., 1992) عامل اصلی اتلاف کیفی میوه سیب را کوفتگی گزارش نموده اند که در اثر فشار سیب در مقابل یک سطح دیگر اتفاق می‌افتد اما تحقیق بر روی سیستم‌های جابجائی نشان داد که اغلب کوفتگی در نتیجه ضربه وارده در مقابل سطوح مختلف اتفاق می‌افتد. چالش محققان و متخصصان بخش صنعت کشاورزی توسعه روش‌ها و سیستم‌هایی برای به حداقل رساندن کوفتگی می‌باشد، چرا که ناحیه کوفته شده مکان مناسبی برای گسترش عوامل فساد

۱، ۲، ۳، ۴- به ترتیب استادیار، دانشجوی کارشناسی ارشد، استادیار و کارشناس گروه ماشین‌های کشاورزی، دانشکده مهندسی زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، مازندران، ایران

(\* - نویسنده مسئول: (Email: r\_tabatabaee@yahoo.com)

صدمات می‌توان حدود ۶۰۰ الی ۹۰۰ هزار یورو در طی یک سال زراعی صرفه جوئی کرد. در صنعت چنانچه حد آستانه کوفتگی میوه سیب از ۱۰۰ میلی متر مربع فراتر رود مورد پذیرش واقع نمی‌شود (Pang et al., 1994).

(Pang et al., 1992) با بررسی کوفتگی حاصل از برخورد دو سیب در اثر سقوط آزاد دریافتند که یکی از سیب‌ها بسیار بیشتر از دیگری صدمه می‌بیند و هر دو صدمه یکسانی نمی‌بینند. بعلاوه، یک رابطه غیر خطی بین سطح برخورد و جذب انرژی بدست آمد.

(Lu et al., 2010) با استفاده از یک فیلم حساس به فشار کوفتگی سیب را اندازه‌گیری کردند و به کمک آن روش‌هایی برای ارزیابی و پیش‌بینی کوفتگی در اثر بارگذاری ضربه ای بدست آوردند. نتایج آزمون‌های ضربه نشان داد که وقتی میوه از ارتفاع‌های مختلف (۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵، ۳۰ و ۳۵ سانتی متر) بر روی سطوح برخورد (فیبر دوجداره، لاستیکی و چوبی) سقوط می‌کند سطح و حجم کوفتگی را می‌توان بر مبنای نیروی ضربه با استفاده از مدل‌های رگرسیونی بدست آورد. ضریب همبستگی برای سطح و حجم کوفتگی به ترتیب ۰/۹۱ و ۰/۹۵ بدست آمد.

(Lewis et al., 2007) با استفاده از روش‌های عددی و تجربی اندازه کوفتگی در اثر سقوط از ارتفاع مشخص بر روی سطوح مختلف را تعیین کردند. نتایج نشان داد که حجم کوفتگی تقریباً متناسب با ارتفاع سقوط می‌باشد. بعلاوه در اثر سقوط بر روی سطوح سخت تر مثل فولاد و چوب که مدول الاستیسیته بیشتری دارند حجم کوفتگی افزایش می‌یابد.

(Lewis et al., 2008) از یک روش مافوق صوت برای مطالعه سطح کوفتگی و تنش‌های وارد به سیب تحت بارگذاری استاتیکی استفاده کردند. نتایج حاصل برای تشخیص آستانه بارگذاری و نیز تایید مدل اجزای محدود مورد استفاده قرار گرفت. نتایج نشان داد که نیروی ۳۵ N منجر به ایجاد سطح کوفتگی  $100 \text{ mm}^2$  می‌شود و نیروی بیشتر از این مقدار موجب می‌شود که از حد قابل قبول استاندارد صنایع فراتر رود.

در سال‌های اخیر مطالعاتی در خصوص استفاده از میوه الکترونیکی کروی شکل برای بررسی میزان ضربه وارده در سیستم‌های پس از برداشت سیب انجام گرفته است. (Herold et al., 1996) از یک میوه مصنوعی کروی شکل برای تشخیص منابع صدمه به میوه و سبزی‌های تازه در طول مراحل برداشت و جابجایی استفاده کردند. این کره قادر بود تمام بارهای وارده به میوه که بیش از حد آستانه مجاز می‌باشد را جمع‌آوری کند. بعلاوه (Tennes et al., 1990) از میوه الکترونیکی برای شناسایی سطوح بحرانی در جابجائی و حمل و نقل میوه و (Garcha-Ramos et al., 2003) and (2004) نیز از یک شتاب سنخ سه محوری درون یک پوشش پلاستیکی نرم و کروی شکل برای بررسی صدمه به سیب در خط

بیولوژیکی مثل قارچ‌ها، باکتری‌ها و غیره می‌باشد (Knee and Miller, 2002). محققان مختلف در سراسر دنیا عوامل مختلف ایجاد صدمه و روش‌های اندازه‌گیری آن برای میوه‌های مختلف از جمله سیب را مورد بررسی قرار داده اند اما پراکندگی داده‌ها، تفسیر و مقایسه آن‌ها را پیچیده کرده است. از سوی دیگر، شناسایی و اندازه‌گیری عوامل ایجاد کوفتگی در بهینه سازی فرایندها و ماشین‌ها کمک شایانی می‌کند.

(Caderek, 1982) تاثیر صدمه مکانیکی بر نگهداری سه رقم سیب را بررسی کرد. نتایج نشان داد که ۵۸ درصد سیب‌های صدمه دیده در درجه بندی پس از نگهداری در انبار سالم ماندند در حالیکه ۹۶ درصد سیب‌های صدمه ندیده طی شرایط مشابه انبارداری سالم ماندند.

(Chen and Yazdani, 1991) حجم کوفتگی سیب را با استفاده از روش سقوط از ارتفاع بر روی سطوح مختلف بدست آوردند. نتایج تحقیق آن‌ها نشان داد که هر چه انرژی جذب شده توسط سطح برخورد بیشتر باشد حجم کوفتگی کمتر است بطوریکه حجم کوفتگی ایجاد شده در سطح لاستیکی نسبت به سطح چوبی و فولادی به‌طور قابل ملاحظه‌ای کمتر بود.

(Menesatti and Pagila, 2001) یک شاخص برای صدمه حاصل از سقوط از ارتفاع بدست آوردند که حساسیت به کوفتگی سیب را نشان می‌داد و به عنوان جایگزینی برای فاکتور مقاومت کوفتگی (نسبت حجم کوفتگی به انرژی جذب شده) در نظر گرفته شد. این شاخص نشان دهنده حداکثر ارتفاع سقوط می‌باشد که در آن احتمال صدمه به محصول ۵ درصد می‌باشد. هدف این شاخص سهولت در کاربرد و درک آسان کوفتگی توسط تولید کنندگان می‌باشد. با همین توجیه (Bollen et al., 2001) و (Garsia-Ramos et al., 2002) از مدل‌های رگرسیونی برای توصیف احتمال کوفتگی در سیب استفاده کردند.

(Siyami et al., 1988) گزارش کردند که بین قطر کوفتگی اندازه‌گیری شده و تخمینی توسط نظریه الاستیک هرتز همبستگی ضعیفی وجود دارد. آن‌ها دریافتند که مدل‌های رگرسیونی خطی چند متغیره در مقایسه با مدل‌های تئوری برای تخمین میزان کوفتگی مناسب تر هستند و در عوض مدل‌های تئوری برای درک تاثیر عوامل مختلف مرتبط با صدمه حاصل از ضربه مفید تر هستند.

(Studman, 1997) نشان داد که تا حدود ۵۰ درصد تلفات در سیب می‌تواند ناشی از کوفتگی باشد. البته این مقدار به میزان آگاهی مشتری بستگی دارد و معمولاً در محدوده ۱۰-۲۰ درصد می‌باشد. در بلژیک (VanZeedroek et al., 2003) صدمه مکانیکی به سیب در مرحله درجه بندی را بررسی کردند و دریافتند که ۸ الی ۱۵ درصد تلفات بدلیل کوفتگی اتفاق می‌افتد. قیمت سیب‌های آسیب دیده حدود یک سوم سیب‌های سالم است و با کاهش ۱۰ درصد از

شکل ۱ ساخته شد. این دستگاه متشکل از بخش‌های شاسی، الکتروموتور و اینورتور کنترل دور، تسمه نقاله و جعبه دریافت میوه می‌باشد. الکتروموتور دارای قدرت ۰/۵ اسب بخار و ۱۲۰۰ دور در دقیقه می‌باشد که ابتدا توسط چرخ دنده و زنجیر دور آن به میزان یک چهارم کاهش می‌یابد و سپس بوسیله اینورتور با تغییر فرکانس دور مورد نظر تنظیم می‌شود. جعبه دریافت میوه، قابلیت تعویض جنس سطح برخورد و تنظیم در راستای افقی و عمودی از ۵ الی ۵۰ سانتی‌متر را دارا می‌باشد.

### نمونه

نمونه‌های سیب مورد آزمایش از رقم "گلدن دلشیز" انتخاب گردید که با توجه به روشنی پوست آن امکان مشاهده و تعیین ناحیه کوفته شده وجود دارد. تعداد ۱۰۸ عدد سیب دست چین شده و کاملاً سالم از این رقم جهت آزمایش انتخاب گردید. ابتدا جرم نمونه‌ها توسط یک ترازوی دیجیتال با دقت  $\pm 0/01$  اندازه‌گیری شد و در سه دسته وزنی تقسیم بندی گردید.

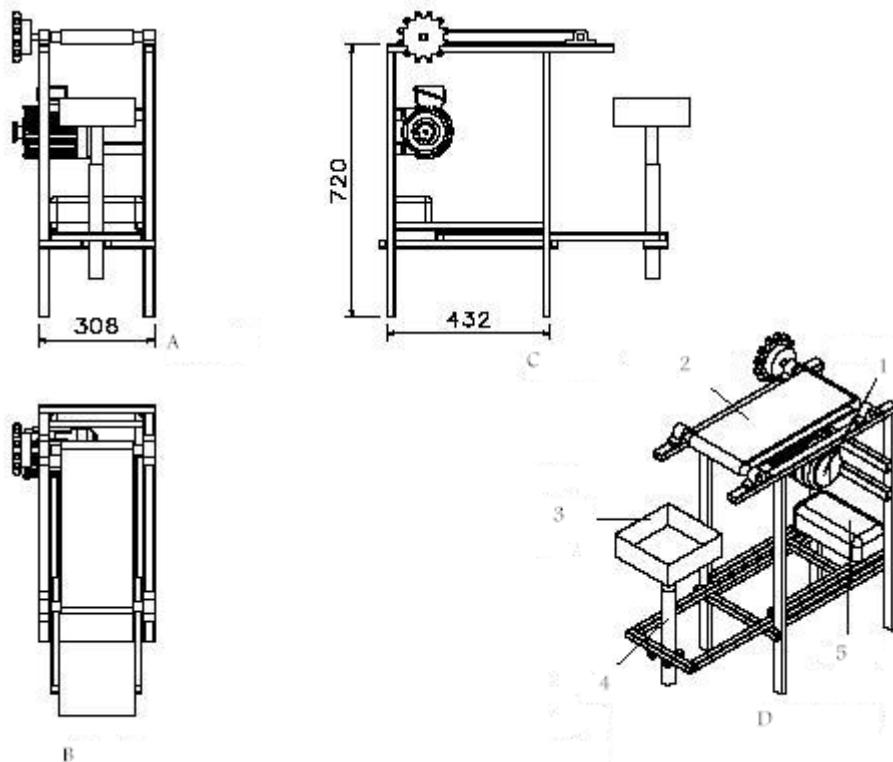
بسته بندی استفاده کردند.

به‌طور کلی، علی‌رغم اینکه تحقیقات مختلفی بر روی کوفتگی سیب و عوامل موثر بر آن انجام گرفته اما پیچیدگی و پراکندگی داده‌ها مقایسه و تفسیر آن‌ها را مشکل کرده است. از طرفی، با توجه به ضرورت بهینه سازی سیستم‌های برداشت و پس از برداشت سیب جهت به حداقل رساندن صدمات مکانیکی وارده، درک رفتار آن در اثر حرکت در دستگاه‌ها، سقوط از ارتفاع و برخورد با سطوح متفاوت بسیار اهمیت دارد. لذا مکانیزمی ساخته شد که بتواند شرایط ارتفاع سقوط، سرعت حرکت سیب و جنس سطح برخورد را در این سیستم‌ها شبیه سازی کند. بنابراین، در این تحقیق تاثیر ارتفاع سقوط، سرعت حرکت سیب بر روی نقاله و نیز نوع سطح برخورد بر روی سطح و حجم کوفتگی به عنوان معیارهای ارزیابی مورد بررسی قرار گرفت.

### مواد و روش‌ها

#### دستگاه آزمایشی

به منظور بررسی پارامترهای مختلف ارتفاع، سرعت سقوط و جنس سطح برخورد بر روی کوفتگی سیب دستگاه آزمایشی مطابق



شکل ۱- نماهای مختلف دستگاه آزمایشی (ابعاد بر حسب میلی‌متر می‌باشند): A: نمای روبرو، B: نمای بالا، C: نمای جانبی، D: نمای ایزومتریک، (۱) الکتروموتور؛ (۲) تسمه نقاله؛ (۳) جعبه دریافت میوه؛ (۴) میله تنظیم ارتفاع؛ (۵) اینورتور

Fig. 1- Different views of experimental set up (dimensions are in mm); A: front view, B: side view, C: top view; D: isometric view, (1) electromotor, (2) belt conveyor, (3) fruit receiver, (4) height adjusting rod, (5) inverter.

هنگام تکرار آزمایش مربوط به هر تیمار از هر دسته یک نمونه برای هر آزمایش انتخاب گردید. بعلاوه، ۲۰ نمونه تصادفی دیگر جهت اندازه‌گیری برخی خصوصیات فیزیکی انتخاب شد.

### روش آزمایش

قبل از شروع آزمایش تنظیمات لازم برای هر تیمار انجام گرفت. این تنظیمات شامل سرعت حرکت خطی تسمه، ارتفاع سقوط و جنس سطح برخورد میوه می باشد. سرعت حرکت خطی تسمه با استفاده از دستگاه کنترل دور الکتروموتور (اینورتور) و متناسب با سرعت مورد نیاز حرکت تسمه تنظیم شد. با استفاده از رابطه  $V=2\pi r f$  با تنظیم فرکانس در اینورتور می توان سرعت خطی تسمه را بدست آورد. با توجه به سرعت توصیه شده در محدوده ۰/۰۱ تا ۰/۲ متر بر ثانیه جهت انتقال میوه‌ها در سیستم‌های درجه‌بندی و بسته بندی (Bekker-Arkema et al., 1999)، آزمایش‌ها در سه سطح سرعت خطی تسمه نقاله ۰/۰۵، ۰/۱ و ۰/۱۵ متر بر ثانیه انجام شد. استفاده از نقاله این مزیت را دارد که سقوط سیب و نقطه برخورد آن با سطح برخورد کاملاً تصادفی بوده و به شرایط واقعی نزدیکتر می‌باشد. ارتفاع سقوط توسط یک میله عمودی با قابلیت تغییر ارتفاع جعبه دریافت میوه در ارتفاع موردنظر تنظیم شد. در بخش‌های مختلف دستگاه‌های بسته بندی و درجه‌بندی امکان سقوط سیب از ارتفاع ۵ الی ۳۰ سانتی متر وجود دارد (Lewis et al., 2008). بر این اساس، سه سطح ارتفاع سقوط (۱۰، ۲۰ و ۳۰ سانتی متر) در نظر گرفته شد. صفحه سقوط که در کف جعبه دریافت میوه قرار می گیرد قابل تعویض بوده و از چهار جنس مختلف (چوبی، فولادی، پلاستیکی و کارتنی) با ضخامت یکسان ۸ میلی‌متر انتخاب شد. خواص هر یک از مواد توسط (Lewis et al., 2007) مطابق جدول ۱ گزارش شده است.

### ارزیابی کوفتگی

جهت تعیین سطح و حجم کوفتگی پس از آزمایش، نمونه‌ها به مدت ۷۲ ساعت در شرایط دمای اتاق نگهداری شد تا اینکه آثار

کوفتگی به رنگ قهوه‌ای در نقطه برخورد ظاهر شد. کوفتگی در سیب ممکن است بلافاصله قابل مشاهده نباشد و بهتر است حداقل یک روز پس از ایجاد کوفتگی مورد ارزیابی قرار گیرد (Wilson, 2003). با توجه به مشاهده سطح کوفته شده و تصمیم‌گیری مبنی بر دایره‌ای و یا بیضوی بودن سطح کوفته شده، روش محاسبه سطح و حجم کوفتگی تعیین می‌شود. از آنجا که در این تحقیق مشاهدات عمدتاً سطح کوفتگی را بیضوی نشان می‌داد لذا بر این اساس محاسبات صورت گرفت. سطح و حجم کوفتگی از طریق برش طولی از مرکز ناحیه کوفته شده و اندازه‌گیری حداکثر قطرها و عمق کوفتگی مطابق شکل ۲ بدست آمد. سطح و حجم کوفتگی در نقطه برخورد توسط برخی محققان (Mohsenin, 1986; Bollen, et al., 2002; Lewis et al., 2008) با استفاده از روش "ضخامت کوفتگی بیضوی" محاسبه می‌شود. بر این اساس سطح و حجم کوفتگی از روابط زیر بدست می‌آید.

$$BA = \pi ab \quad (1)$$

$$BV = \frac{\pi(h-x)}{24} (12ab + 4(h-x)^2) \quad (2)$$

پارامترهای بکار رفته در فرمول‌های بالا در شکل ۲ نشان داده شده است.

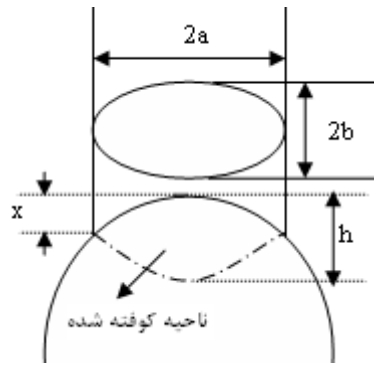
### تحلیل داده‌ها

داده‌های حاصل در قالب طرح کاملاً تصادفی با آزمایش فاکتوریل سه فاکتوری و در سه تکرار تجزیه و تحلیل شد. فاکتورها شامل سه سطح ارتفاع سقوط (۱۰، ۲۰ و ۳۰ سانتی‌متر)، سه سطح سرعت حرکت خطی تسمه نقاله (۰/۰۵، ۰/۱ و ۰/۱۵ متر بر ثانیه) و چهار جنس ماده سطح برخورد (چوب، فولاد، پلاستیک و کارتن) با ضخامت ۸ میلی‌متر می‌باشند. از نرم افزار SPSS جهت تجزیه و تحلیل داده‌ها و از نرم افزار excel برای رسم نمودارها استفاده شد.

جدول ۱- خواص مواد مورد استفاده در سطح برخورد

Table 1- Contact surface material properties

نسبت پواسن، $\nu$	مدول الاستیک، E (Gpa)	ضخامت (mm)	جنس ماده
Poison ratio	Elastic module (Gpa)	Thickness (mm)	Material
0.341	8.89	8	چوب Wood
0.3	200	8	فولاد Steel
0.5	0.1	8	پلاستیک Plastic
0.01	0.0026	8	کارتن Cardboard



شکل ۲- نمای بالا و مقطع عرضی در ناحیه کوفتگی سیب. نمادها مربوط به محاسبه سطح و حجم کوفتگی می باشند

Fig. 2- Top and cross-sectional views of the bruised area of apple. Symbols are related to bruise area and volume calculations

## نتایج و بحث

### سطح کوفتگی

نتایج تجزیه واریانس مربوط به بررسی ارتفاع سقوط، سرعت حرکت نقاله حامل سیب و جنس سطح برخورد همراه با اثرات متقابل آن‌ها بر روی سطح کوفتگی سیب در جدول ۲ آورده شده است. همانگونه که آشکار است تاثیر ارتفاع سقوط و جنس سطح برخورد بر روی سطح کوفتگی معنی دار است ( $P < 0.01$ ). بعلاوه، سرعت حرکت سیب و نیز اثرات متقابل عوامل مورد بررسی اثر معنی داری بر روی سطح کوفتگی ندارند.

(شکل ۳) تغییرات سطح کوفتگی در ارتفاع‌های مختلف را بر اساس آزمون مقایسه میانگین‌های دانکن نشان می دهد. بین سطح کوفتگی در سطوح مختلف ارتفاع سقوط (۱۰، ۲۰ و ۳۰ سانتیمتر) تفاوت معنی داری وجود دارد. همانگونه که مشاهده می شود با

کاهش ارتفاع، سطح کوفتگی نیز کمتر می شود. بر اساس رابطه ۱، سطح کوفتگی ارتباط مستقیم با طول و عرض سطح کوفته شده دارد که در این صورت می توان فرض نمود که با کمتر شدن ارتفاع سقوط جسم، سطح کمتری کوفته می شود. کاهش ارتفاع از ۳۰ به ۱۰ سانتیمتر سطح کوفتگی را به میزان ۲۸ درصد کاهش داد. (Lewis et al., 2007) به روش اجزای محدود نیز نتیجه مشابهی گزارش کردند که در آن کاهش ارتفاع سقوط از ۴۰ به ۲۰ سانتیمتر منجر به کاهش ۳۱ درصد در سطح کوفتگی گردید. بنابراین، در کلیه سیستم های برداشت و پس از برداشت چنانچه از سطوح سخت و بدون پوشش استفاده می شود بایستی ارتفاع سقوط را به حدی کم کرد که سطح کوفتگی از آستانه مجاز فراتر نرود. آستانه سطح کوفتگی برای سیب در صنعت  $100 \text{ mm}^2$  می باشد (Lewis et al., 2008).

جدول ۲- تجزیه واریانس مربوط به عوامل اصلی و اثرات متقابل آن‌ها بر روی سطح کوفتگی سیب رقم گلدن دلیشز

Table 2- ANOVA of main factors and their interaction effects on bruise area of 'Golden Delicious' apple.

مقدار F	میانگین مربعات	مجموع مربعات	درجه آزادی	منبع تغییر
F-value	Mean squares	Sum of squares	df	Source of variation
9.6649 **	24227.39	48454.78	2	ارتفاع سقوط (A) Drop height (A)
0.4659 ns	1167.93	2335.87	2	سرعت حرکت (B) Linear velocity (B)
0.07 ns	175.45	701.81	4	A×B
27.5089 **	68957.34	206872.01	3	جنس سطح برخورد (C) Contact material (C)
0.0989 ns	247.99	1487.97	6	A×C
0.0346 ns	86.68	502.06	6	B×C
0.0227 ns	56.93	683.18	12	A×B×C
	2506.73	180484.35	72	خطا Error
		441540.05	107	کل Total

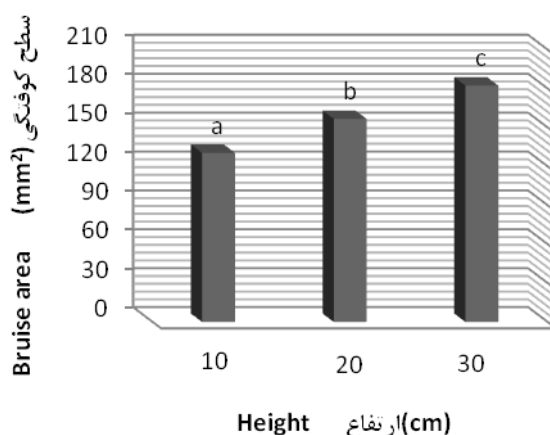
ضریب تغییرات = ۳۲٪

CV= 32%

شود میزان کوفتگی به‌طور قابل ملاحظه‌ای کاهش می‌یابد. استفاده از پوشش‌های نرم و انعطاف پذیر بر روی سطوح سخت مانند فولاد و چوب می‌تواند کمک شایانی به کاهش صدمه حاصل از کوفتگی کند. Dobrzanski et al., (2006) گزارش کردند که استفاده از پوشش فوم مخصوص در جعبه‌ها در مراحل مختلف پس از برداشت ۳۵ درصد تا ۴۰ درصد از صدمه کوفتگی را کاهش می‌دهد.

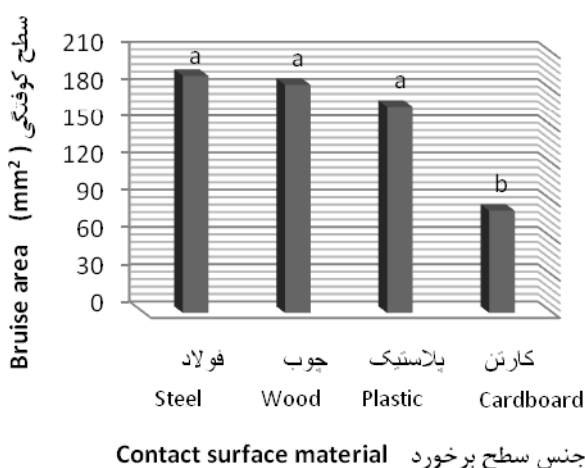
بطور کلی ارتفاع سقوط و جنس سطح برخورد به عنوان عوامل تاثیرگذار در سطح کوفتگی بایستی در سیستم‌های برداشت، جابجایی، درجه بندی و بسته بندی مد نظر قرار گرفته و به حداقل برسند. سطح کوفته شده پارامتر مهمی در مشتری پسندی سیب می‌باشد چرا که سطح بزرگتر لکه قهوه‌ای به راحتی قابل مشاهده است و تاثیر منفی بر نظر خریدار می‌گذارد.

با توجه به معنی دار بودن تاثیر جنس سطح برخورد بر سطح کوفتگی (جدول ۲)، نتایج مقایسه میانگین‌ها در شکل ۴ نشان داد که اختلاف معنی داری بین سطوح برخورد از جنس فولاد، چوب و پلاستیک وجود ندارد اما تفاوت جنس کارتنی با بقیه جنس‌های سطح برخورد معنی دار می‌باشد. همانگونه که دیده می‌شود کمترین میزان سطح کوفتگی در سطح کارتنی ( $82/3 \text{ mm}^2$ ) و بیشترین آن در سطح فولادی ( $191/9 \text{ mm}^2$ ) اتفاق می‌افتد. شکل ۴ نشان می‌دهد که فقط جنس کارتنی دارای سطح کوفتگی کمتر از حد آستانه مجاز می‌باشد. (Lewis et al., 2007) گزارش کردند که استفاده از جنس کارتنی و چوبی به جای فولاد در سطح برخورد میزان سطح کوفتگی را به ترتیب ۲۶ درصد و ۷ درصد کاهش داد. چنانچه از پوشش‌های نرم و با قابلیت ضربه‌گیری و جذب انرژی بیشتر استفاده



شکل ۳- تاثیر ارتفاع سقوط بر روی سطح کوفتگی سیب

Fig. 3- Effect of drop height on the apple bruising area



شکل ۴- تاثیر جنس سطح برخورد بر روی سطح کوفتگی سیب

Fig. 4- Effect of contact surface material on the apple bruising area

**حجم کوفتگی**

سطوح پلاستیکی و کارتنی معنی دار است. بعلاوه، سطوح پلاستیکی و کارتنی نیز با همدیگر تفاوت معنی داری دارند. (رابطه ۲) نشان می دهد که ارتباط عوامل موثر در محاسبه حجم کوفتگی پیچیده بوده و علاوه بر طول و عرض سطح برخورد عمق ناحیه کوفته شده و سطح انحنای نقطه برخورد نیز موثر هستند. با توجه به معنی دار نبودن تاثیر ارتفاع سقوط بر حجم کوفتگی، ممکن است عمق ناحیه کوفته شده لزوماً با افزایش ارتفاع افزایش نیابد.

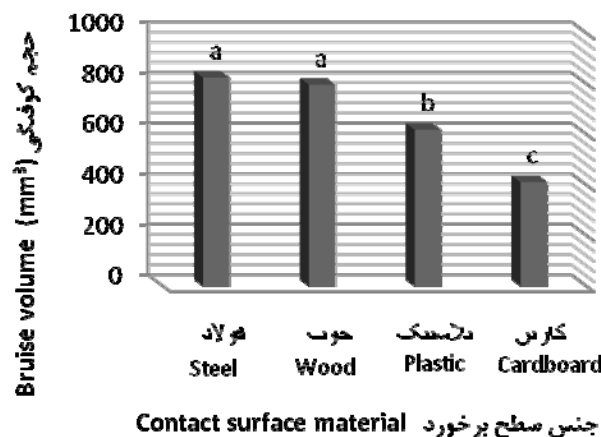
نتایج تجزیه واریانس داده‌ها در جدول ۳ نشان می دهد تنها عاملی که بر روی حجم کوفتگی تاثیر می گذارد جنس سطح برخورد است ( $P < 0.01$ ) و ارتفاع سقوط و سرعت حرکت نقاله و اثرات متقابل کلیه فاکتورها هیچ تاثیری بر روی حجم کوفتگی ندارند. نتایج مقایسه میانگین‌ها در (شکل ۵) نشان می دهد که بین سطوح برخورد فولادی و چوبی اختلاف معنی داری وجود ندارد اما تفاوت آن‌ها با

جدول ۳ - تجزیه واریانس مربوط به عوامل اصلی و اثرات متقابل آن‌ها بر روی حجم کوفتگی سیب رقم گلدن دلشیز  
Table 3- ANOVA of main factors and their interaction effects on bruise volume of 'Golden Delicious' apple.

منبع تغییر	درجه آزادی	مجموع مربعات	میانگین مربعات	مقدار F
Source of variation	df	Sum of squares	Mean squares	F-value
ارتفاع سقوط (A) Drop height (A)	2	179546.91	24227.39	2.0285 <sup>ns</sup>
سرعت حرکت (B) Linear velocity (B)	2	18192.39	1167.93	0.2055 <sup>ns</sup>
A×B	4	5402.77	175.45	0.0305 <sup>ns</sup>
جنس سطح برخورد (C) Contact material (C)	3	2950577.53	68957.34	22.2239 <sup>**</sup>
A×C	6	22642.72	247.99	0.0853 <sup>ns</sup>
B×C	6	1732.89	86.68	0.0065 <sup>ns</sup>
A×B×C	12	6284.57	56.93	0.0118 <sup>ns</sup>
خطا Error	72	3286383.21	2506.73	
کل Total	107	6370763.98		

ضریب تغییرات = ۳۱/۷۵٪

CV= 31.75%



شکل ۵- تاثیر جنس سطح برخورد بر روی حجم کوفتگی سیب

Fig. 5-Effect of contact surface material on the apple bruising volume

۲۸ درصد کاهش پیدا کرد و با سفت تر شدن جنس سطح برخورد، از کارتنی به فولادی، سطح کوفتگی حدود ۵۷ درصد افزایش یافت. حجم کوفتگی تنها تحت تاثیر جنس سطح برخورد قرار گرفت بطوریکه در سطوح کارتنی و فولادی به ترتیب کمترین و بیشترین مقدار حجم کوفتگی بدست آمد. از این رو بایستی در کلیه مراحل برداشت و پس از برداشت عواملی مانند ارتفاع سقوط سیب و جنس سطح ماده ای که برای جمع‌آوری و حمل و نقل سیب مورد استفاده قرار می‌گیرد را مد نظر قرار داد تا صدمه حاصل از کوفتگی به کمترین میزان خود برسد. بعلاوه، استفاده از جعبه‌های چوبی و فلزی و نقاله‌های فلزی کاملا محدود شود و یا از پوشش‌های نرم بر روی آن‌ها استفاده شود تا حداقل آسیب به محصول وارد شود.

### سپاسگزاری

از آقای دکتر غفار کیانی در کمک به تحلیل آماری داده‌ها و از زحمات دانشجویان کارشناسی خانم‌ها طراوت ضیائی پور و ندا تجری در آماده سازی نمونه‌ها، انجام آزمایش‌ها و اندازه‌گیری‌ها تشکر و قدردانی به‌عمل می‌آید.

حجم کوفتگی در سطح برخورد از جنس کارتن دارای کمترین مقدار ( $411/5 \text{ mm}^3$ ) و در سطح فولادی ( $824/7 \text{ mm}^3$ ) دارای بیشترین مقدار بدست آمد. با جایگزینی سطح برخورد کارتنی به جای فولادی حدود ۵۰ درصد و کارتن به جای پلاستیک ۳۳ درصد و پلاستیک به جای چوب ۲۳ درصد از میزان حجم کوفتگی کاسته شد. محققان آستانه مشخصی برای حجم کوفتگی ذکر نکرده اند. میانگین بدست آمده برای حجم کوفتگی در این تحقیق ( $660 \text{ mm}^3$ ) با مقدار بدست آمده ( $540 \text{ mm}^3$ ) از روش المان مجزا توسط (et al., 2007) (Lewis et al., VanZeebroeck) قابل مقایسه است. همچنین (2007) از پوشش لاستیک بر روی سطح فولادی استفاده کردند و متوسط حجم کوفتگی سیب را  $720 \text{ mm}^3$  گزارش نمودند.

### نتیجه گیری کلی

در این تحقیق تاثیر عواملی مانند ارتفاع سقوط، سرعت حرکت بر روی نقاله و جنس سطح برخورد بر روی سطح و حجم کوفتگی سیب مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج نشان داد که سرعت حرکت بر روی نقاله تاثیری بر سطح و حجم کوفتگی ندارد. سطح کوفتگی سیب تحت تاثیر ارتفاع سقوط و جنس سطح برخورد قرار گرفت بطوریکه با کاهش ارتفاع سقوط از ۳۰ به ۱۰ سانتی‌متر سطح کوفتگی به میزان

### منابع

- 1- Baritelle, A., and G.M. Hyde. 2001. Commodity conditioning to reduce impact bruising. *Postharvest Biology and Technology* 21: 331-339.
- 2- Bekker-Arkema, F.W., J. Debaerdemaeker, P. Amirante, and C.J. Studman. 1999. *CIGR Handbook of Agricultural Engineering. Volume IV, Agro-Processing Engineering*. St. Joseph MI 49085-9659 USA.
- 3- 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* 78: 325-330.
- 4- Bollen, A.F., N.R. Cox, B.T. Dela Rue, and D.J. Painter. 2001. A descriptor for damage susceptibility of a population of produce. *Journal of Agricultural Engineering Research* 78: 391-395.
- 5- Caderek, T. 1982. Apple storage as affected by mechanical damage. *Journal of American Horticultural Science*, 106: 38-42.
- 6- Chen, P., and R. Yazdani. 1991. Prediction of apple bruising due to impact on different surfaces. *Transactions of the ASAE* 34: 956-961.
- 7- Dobrzanski, B., J. Rabcewicz, and R. Rybczynski. 2006. Handling of apple. Center of excellence agrophysics, Polish Academy of Science, Poland, 20-006 Lublin.
- 8- Garcia-Ramos, F.J., P. Barreiro, J. Ortiz-Canavate, M. Ruiz-Altisent, J. Gil-Sierra, and I. Homer. 2002. A procedure for testing padding materials in fruit packing line using multiple logistic regressions. *Transactions of the ASAE* 45: 751-757.
- 9- Garcia-Ramos, F.J., J. Ortiz-Canavate, and M. Ruiz-Altisent. 2003. Reduction of mechanical damage to apples in a packaging line using mechanical device. *Applied Engineering Agriculture* 19, 703-707.
- 10- Garcia-Ramos, F.J., J. Ortiz-Canavate, and M. Ruiz-Altisent. 2004. Analysis of the factors implied in the fruit to fruit impacts on packaging lines. *Applied Engineering Agriculture*. 20, 671-675.
- 11- Herold, B., M. Geyer, and C.G. Studman. 1996. A pressure measuring sphere for monitoring handling of fruit and vegetables. *Computer and Electronic in Agriculture* 15: 73-88.
- 12- Knee, M., and A.R. Miller. 2002. Mechanical injury: Fruit quality and its biological basis. Sheffield



- Academic press, Sheffield, pp. 157-179.
- 13-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: 365-365.
  - 14-Lewis, R., A. Yoxall, M.B. Marshall, and L.A. Canty. 2008. Characterising pressure and bruising in apple fruit. *Wear* 264: 37-46.
  - 15-Lu, F., Y. Ishikawa, H. Kitazawa, and T. Satake. 2010. Measurement of impact pressure and bruising of apple fruit using pressure- sensitive film technique. *Journal of Food Engineering* 96: 614-620.
  - 16-Menesatti, P., and G. Pagila. 2001. Development of a drop damage index of fruit resistance to damage. *Journal of Agricultural Engineering Research* 80: 53-64.
  - 17-Mohsenin, N.N. 1986. *Physical properties of plant and animal materials*. Gordon and Breach Science Publishers, New York.
  - 18-Pang, D.W., C.G. Studman, and G.T. Ward. 1992. Bruising damage in apple to apple impact. *Journal of Agricultural Engineering Research* 52: 229-240.
  - 19-Pang, D.W., C.G., Studman, and N.H. Banks. 1994. Apple bruising thresholds for an instrumented sphere, *Transactions of the ASAE* 37(3): 893-897.
  - 20-Ragni, L., and A. Berardineli. 2001. Mechanical behaviour of apples and damage during sorting and packaging. *Journal of Agricultural Engineering Research* 78: 273-279.
  - 21-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 the ASAE* 31, 1038-1046.
  - 22-Studman, C.J., G.K. Tim, E.J. Schulte, and M.J. Vreede. 1997. Bruising on blush and non-blush sides in apple to apple impacts. *Transactions of the ASAE* 40: 269-276.
  - 23-Tennes, B.R., H.R. Zapp, D.E. Marshall, and P.R. Armstrong. 1990. Apple handling impact data acquisition and analysis with an instrumented sphere. *Journal of Agricultural Engineering Research* 47: 269-276.
  - 24-Usada, H. 2006. Basic study on development of transport simulation method and damage mechanism of fruit and vegetables. Ph.D Dissertation, University of Tsukuba, Japan (Abstract in English).
  - 25-Van Zeebroeck, M., E. Tijskens, P. Van Liedekerek, P. Deli, J. DeBaerdemaeker, and H. Ramon. 2003. Determination of dynamical behavior of biological materials during impact using a pendulum device. *J. Sound Vibration* 266:465-480.
  - 26-Van Zeebroeck, M., E. Tijskens, F. Dintwa, J. Kafashan, J. Loodts, J. DeBaerdemaeker, and H. Ramon. 2006a. The discrete element method (DEM) to simulate fruit impact damage during transport and handling: Case study of vibration damage during apple bulk transport. *Postharvest Biology and Technology* 41:92-100.
  - 27-Van Zeebroeck, M., E. Tijskens, F. Dintwa, J. Kafashan, J. Loodts, J. DeBaerdemaeker, and H. Ramon. 2006b. The discrete element method (DEM) to simulate fruit impact damage during transport and handling: Model building and validation of DEM to predict bruise damage of apples. *Postharvest Biology and Technology* 41:85-91.
  - 28-Van Zeebroeck, M., V. Van liden, P. Darius, B. De Ketelaere, H. Ramon, and E. Tijskens. 2007. The effects of fruit factors on the bruise susceptibility of apples. *Postharvest Biology and Technology*, 46:10-19.
  - 29-Wilson, K. 2003. *Harvesting and handling of apples*. Factsheet, Queen's printer for Ontario, Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs. pp. 223.