



## بررسی تأثیر فرکانس و شتاب بر آسیب‌های میوه کیوی در ارتعاشات شبیه‌سازی شده حمل و نقل جاده‌ای

قدیر تقی‌زاده مقدم\*، رضا طباطبایی کلور، جعفر هاشمی و فیض‌اله شهبازی\*\*

\* نگارنده مسئول، نشانی: دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، گروه مکانیک ماشین‌های کشاورزی، ص. پ. ۵۷۸، تلفن: ۰۹۱۱۹۱۵۳۴۴۰، پیام‌نگار: ghadir\_taghizadeh@yahoo.com  
\*\* به‌ترتیب: دانشجوی کارشناسی ارشد؛ استادیاران گروه مکانیک ماشین‌های کشاورزی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری؛ و استادیار گروه مکانیک ماشین‌های کشاورزی، دانشکده کشاورزی دانشگاه لرستان  
تاریخ دریافت: ۹۱/۱/۲۶؛ تاریخ پذیرش: ۹۲/۳/۲۵

### چکیده

ضایعات محصولات کشاورزی موجب کاهش عرضه بازار و افزایش نیاز به واردات می‌شود که از این طریق بر اقتصاد کشور ضربه وارد می‌آید. ضربات مکانیکی عامل مؤثر و اصلی در تلفات پس از برداشت محصول شناخته شده‌اند. در این تحقیق، تأثیر فرکانس و شتاب ارتعاش بر آسیب‌های وارد شده به میوه کیوی در حین حمل و نقل جاده‌ای بررسی شده است. از آزمایش فاکتوریل (شتاب ۲ × فرکانس ۲) در قالب طرح آماری کاملاً تصادفی با سه تکرار استفاده گردید. میزان آسیب بر مبنای درصد تعداد کل میوه‌های آسیب دیده و درصد تعداد میوه‌های آسیب دیده با عمق لهیدگی بیشتر از دو میلی‌متر (آسیب بحرانی) است. فرکانس‌های ۷/۵ و ۱۳ هرتز و شتاب‌های ۰/۳ و ۰/۷ شتاب زمین، برای آزمایش انتخاب شدند. آنالیز داده‌ها نشان می‌دهد که اثر فرکانس و شتاب ارتعاش بر کل صدمات وارده معنی‌دار هستند ( $P < 0.01$ ). اثر فرکانس ارتعاش بر درصد کل میوه‌های صدمه دیده با عمق کوفتگی بیشتر از دو میلی‌متر معنی‌دار است ( $P < 0.05$ ) ولی شتاب ارتعاش معنی‌دار نیست. با افزایش فرکانس و شتاب ارتعاش، میزان آسیب‌های مکانیکی وارده به میوه‌های کیوی افزایش می‌یابد. بیشترین میانگین کل میوه‌های آسیب دیده و میوه‌های با آسیب‌دیدگی بیشتر از دو میلی‌متر، در فرکانس ۱۳ هرتز و شتاب ارتعاش ۰/۷ شتاب زمین و به ترتیب برابر ۴۰/۳ و ۳۰/۷۱ درصد به دست آمده است.

### واژه‌های کلیدی

آسیب مکانیکی، حمل و نقل جاده‌ای، شتاب ارتعاش، فرکانس ارتعاش، میوه کیوی

### مقدمه

شده و از این طریق به اقتصاد کشور ضربه وارد می‌کند

(Anon, 2005).

کیوی از جمله محصولات کشاورزی است که در سال‌های اخیر در کشورمان رشد فزاینده‌ای داشته است. ایران از نظر تولید این محصول، از مقام هفتم اکنون بعد از ایتالیا و نیوزیلند به مقام سوم جهان دست یافته است. در حال حاضر این میوه در سه استان مازندران، گلستان و

از دیدگاه فائو، هر گونه تغییر در کیفیت محصول کشاورزی که باعث شود آن محصول غیر قابل خوردن، غیر قابل گوارش یا غیر بهداشتی شود به طوری که برای انسان غیر قابل مصرف شود، ضایعه یا آسیب تلقی می‌شود. افزایش ضایعات به محصولات کشاورزی موجب کاهش میزان عرضه و افزایش نیاز به واردات آن محصولات

ارتعاش تولید شده به هنگام حمل و نقل دو مولفه عمودی و افقی دارد که محققان فقط این دو مولفه را اندازه گیری و گزارش کرده اند. مولفه افقی در مقایسه با مولفه عمودی ناچیز و قابل چشم پوشی است، همه محققان برای شبیه سازی ارتعاشات روی میوه ها، مولفه عمودی را در نظر گرفته و اعمال کرده اند (O'Brien *et al.*, 1969; O'Brien & Guillou, 1969; O'Brien & Fridley, 1970; Fischer *et al.*, 1990; Hinsch *et al.*, 1993; Oguet *et al.*, 1999; Barchi *et al.*, 2002; Van Zeebroeck *et al.*, 2006; Shahbazi *et al.*, 2008; Shahbazi *et al.*, 2010).

گزارش شده که شتاب ارتعاشات حمل میوه در لایه های زیرین ۰/۲۲، در لایه های میانی ۰/۴۰ و در لایه های بالایی ۰/۸۱ شتاب زمین<sup>۱</sup> است (O'Brien *et al.*, 1969). همچنین ارتعاشات ایجاد شده به هنگام حمل و نقل میوه با کامیون های دارای سیستم تعلیق مکانیکی (فتری)، دارای شتابی در حدود ۰/۴ شتاب زمین روی شاسی کامیون و شتابی برابر شتاب زمین، در بالاترین نقطه مخزن گزارش شده است (O'Brien & Fridley, 1970).

خصوصیات ارتعاشی میوه پرتقال هنگام حمل و نقل در شرایط آزمایشگاهی با ارتعاش دهنده مکانیکی بررسی و نتیجه گیری شد که وقتی میوه ها داخل جعبه ای به ابعاد ۶۰×۶۰×۶۰ سانتی متر قرار دارند، ۲ تا ۳ ردیف بالایی میوه با رسیدن شتاب ارتعاش به حدود ۰/۷ شتاب زمین، ناپایدار شده و تک تک میوه ها آزادانه به طور قائم و دورانی حرکت می کنند (Chesson & O'Brien, 1971).

هنگام حمل و نقل میوه ها، شتاب های ۰/۲۵ تا ۰/۵۰ شتاب زمین بیشترین فراوانی را دارند. همچنین فرکانس های ۲، ۷، ۱۰، ۱۵ و ۲۰ هرتز، بیشتر از همه رخ می دهند و از بین آن ها فرکانس های ۷ و ۱۵ هرتز

گیلان در حاشیه دریای خزر کشت می شود و هر ساله سطح کشت آن افزایش می یابد (Anon, 2005).

مواد کشاورزی بر خلاف مواد مهندسی، بافت هایی زنده هستند که پس از برداشت از درخت یا بوته، همچنان به حیات خود ادامه می دهند. بنابراین فرایندهای پس از برداشت مانند حمل و نقل و بسته بندی باید به صورتی باشد که آسیب کمتری به آن ها وارد شود. از بین محصولات کشاورزی، میوه و سبزی از کالاهایی هستند که به دلیل مقاومت کم پوسته و رطوبت بالایشان، در برابر آسیب های مکانیکی که هنگام فرآوری به آن ها وارد می شود حساسیت بسیار بالا دارند. بنابراین برای پایین آوردن هر چه بیشتر ضایعات، نیاز به مدیریت صحیح پس از برداشت و فنون مناسب حمل و نقل و نگهداری دارند (Barchi *et al.*, 2002).

ضایعات بعد از برداشت میوه ها در اثر آسیب های مکانیکی، با توجه به کیفیت فرآیند، حدود ۳۰ تا ۴۰ درصد تخمین زده می شود (Barchi *et al.*, 2002). مطالعات مشابهی در مورد سایر میوه ها از جمله: هلو (O'Brien & Guillou, 1969; Olorunda & Tung, 1985)، زردآلو (O'Brien & Fridley, 1970; Van Zeebroeck *et al.*, 2006) (Hinsch *et al.*, 1993; گوجه)، انگور و توت فرنگی (Slaughter *et al.*, 1993) گزارش شده است. (Holt & Schoorl *et al.*, 1985)

نوع آسیب هایی که در حمل و نقل به میوه وارد می شود به خصوصیات ارتعاش (فرکانس، شتاب و زمان ارتعاش) وارده به میوه بستگی دارد که خود این پارامتر نیز به نوع میوه (خصوصیات ارتعاشی میوه)، نوع وسیله حمل کننده (خصوصیات سیستم تعلیق وسیله)، شرایط جاده، سرعت حرکت وسیله نقلیه، نوع بسته بندی میوه، روش چیدن و موقعیت بسته ها یا میوه در داخل مخزن وسیله بستگی دارد (O'Brien & Fridley, 1970).

بررسی تأثیر فرکانس و شتاب بر آسیب‌های میوه...

حقیقی اثر معنی‌دار نداشته و نیز فاکتورهای زمان انبارداری، اندازه میوه و رقم محصول بر خواص مکانیکی اندازه‌گیری شده تأثیر معنی‌داری دارند (Mirzai-Moghaddam *et al.*, 2007).

بررسی اثر فرکانس ارتعاش، شتاب ارتعاش، مدت زمان ارتعاش و موقعیت قرارگیری محصول داخل مخزن (به عنوان منابع تغییرات) روی میزان آسیب‌های وارده بر هندوانه و نتایج آنالیزها نشان می‌دهد که این تأثیرات در سطح یک درصد معنی‌دار هستند. ارتعاشات با فرکانس ۷/۵ هرتز، شتاب ۰/۷ شتاب زمین و مدت زمان ۶۰ دقیقه بیشترین آسیب‌ها را وارد کرده‌اند. میزان آسیب‌های وارده بر هندوانه‌های واقع در لایه‌های بالایی مخزن بیشتر از هندوانه‌های واقع در لایه‌های زیرین و میانی است (Shahbazi *et al.*, 2008, 2010).

هدف این تحقیق، بررسی اثر فرکانس و شتاب ارتعاش ناشی از حمل و نقل جاده‌ای بر آسیب‌های مکانیکی میوه کیوی است تا از این طریق دلایل تلفات میوه به هنگام حمل و نقل شناخته و راهکارهای کاهش آن ارائه شود.

### مواد و روش‌ها

این تحقیق دارای ۲ مرحله عملی است. مرحله اول، که تعیین برخی خواص فیزیکی میوه کیوی است، در آزمایشگاه پس از برداشت دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری و مرحله دوم، که قسمت اصلی تحقیق را شامل می‌شود، در آزمایشگاه پس از برداشت دانشکده بیوسیستم پردیس کشاورزی کرج اجرا شده است. میوه‌های کیوی مورد استفاده در این تحقیق (رقم هایوارد) از باغی در شهرستان آمل در اواسط پاییز ۱۳۸۹ تهیه و بلافاصله به آزمایشگاه انتقال داده شدند و میوه‌های خراب و آسیب دیده جدا شدند. رقم هایوارد کیوی در حال حاضر در ایران و سایر نقاط جهان بیش از سایر ارقام کشت می‌شود (Anon, 2005, 2009).

بیشترین فراوانی را دارند (Timm *et al.*, 1996). بررسی اثر ارتعاشات شبیه‌سازی شده حمل و نقل روی آسیب‌های مربوط به کاهش مدول الاستیسیته هلو نشان می‌دهد که با افزایش فرکانس ارتعاش و ارتفاع قرارگیری میوه داخل مخزن، مدول الاستیسیته کاهش می‌یابد. در این بررسی مشخص شده که کمترین تغییرات مدول الاستیسیته مربوط به زمانی است که از جعبه‌های کاغذی برای حمل میوه استفاده می‌شود (Oguet *et al.*, 1999).

کوفتگی میوه به طور قابل توجهی باعث کاهش کیفیت میوه و ارزش بازار می‌شود. کوفتگی، میوه را بیشتر در معرض عوامل نامطلوب، از جمله عوامل بیماری‌زا، قرار می‌دهد که دلیل آن نرم بودن بافت میوه است. احمدی (Ahmadi, 2012) دو مدل پیش‌بینی کوفتگی برای میوه‌های کیوی (با اندازه‌گیری انرژی جذب شده) با استفاده از تجزیه و تحلیل رگرسیون خطی چندگانه به دست آورد. میوه‌های کیوی با استفاده از یک آونگ در حال بارگذاری پویا در سه سطح از ضربه قرار گرفتند. اثر معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد از سختی‌های صوتی، دما و شعاع انحنای دست آمد.

تعیین رسیدگی مهم‌ترین قسمت در ارزیابی کیفیت درونی میوه‌هاست که به چند عامل مانند میزان مواد جامد انحلال‌پذیر، سفتی و pH بستگی دارد. طیف‌سنجی مادون قرمز، روشی سریع و غیر مخرب است و مهم‌ترین مزیت آن اندازه‌گیری چند پارامتر کیفی با اجرای یک آزمایش است. گزارش شده که با کمک روش طیف‌سنجی مرئی و مادون قرمز نزدیک می‌توان میزان مواد جامد انحلال‌پذیر و pH کیوی را به صورت غیر مخرب پیش‌بینی کرد (Moghimi *et al.*, 2007).

اندازه، رقم و زمان انبارداری بر خواص میوه‌های کیوی در طول انباردانی مؤثر هستند. رقم و اندازه میوه بر مشخصه‌های قطر معادل هندسی و درجه کرویت اثر معنی‌دار دارند ولی فاکتورهای مذکور بر جرم مخصوص

برای اندازه‌گیری چگالی توده، یک استوانه خالی با حجم مشخص پر از میوه کیوی شد. از تقسیم جرم توده بر حجم توده، چگالی توده به دست آمد (رابطه ۶).

$$P_b = M_b / V_b \quad (۶)$$

درصد تخلخل توده، با استفاده از چگالی توده و چگالی جامد از رابطه ۷ محاسبه شد.

$$\varepsilon = (1 - (P_b / P_t)) \times 100 \quad (۷)$$

در روابط ۱ تا ۷ علائم به صورت زیر می‌باشد:

$P_t$  = چگالی جامد بر حسب گرم بر سانتی‌متر مکعب؛  
 $P_b$  = چگالی توده بر حسب گرم بر سانتی‌متر مکعب؛  
 $\emptyset$  = ضریب کرویت (بدون بعد)؛  $M_t$  = جرم جامد بر حسب گرم؛  $M_b$  = جرم توده بر حسب گرم؛  $V_t$  = حجم جامد بر حسب سانتی‌متر مکعب؛  $V_b$  = حجم توده بر حسب سانتی‌متر مکعب؛  $a$  = طول بر حسب میلی‌متر؛  $b$  = عرض بر حسب میلی‌متر؛  $c$  = ضخامت بر حسب میلی‌متر؛  $D_g$  = قطر میانگین هندسی بر حسب میلی‌متر؛  $D_a$  = قطر میانگین حسابی بر حسب میلی‌متر؛  $S$  = مساحت سطح بر حسب سانتی‌متر مربع؛ و  $\varepsilon$  = تخلخل بر حسب درصد.

مقدار رطوبت میوه بر پایه تر با روش استاندارد هوای گرم آون در ۷۵ درجه سلسیوس محاسبه گردید. رطوبت اولیه میوه کیوی برابر با ۸۹/۷۵ درصد بر پایه تر به دست آمد. برای معرفی میوه کیوی، برخی خواص فیزیکی آن با روش‌های ارائه شده توسط محسنین (Mohsenin, 1978) محاسبه شد.

با استفاده از کولیس (با دقت اندازه‌گیری ۰/۰۵ میلی‌متر) طول، عرض و ضخامت میوه کیوی اندازه‌گیری شد. خواص فیزیکی میوه کیوی با استفاده از روابط ۱ تا ۷ محاسبه شد. جدول ۱، میانگین این خصوصیات را نشان می‌دهد.

$$D_a = (a + b + c) / 3 \quad (۱)$$

$$D_g = (a b c)^{1/3} \quad (۲)$$

$$\emptyset = (D_g / a) \times 100 \quad (۳)$$

$$S = \pi D_g^2 \quad (۴)$$

به منظور محاسبه حجم میوه برای تعیین چگالی میوه یا چگالی جامد از روش جابه‌جایی مایع (آب) استفاده می‌شود.

$$P_t = M_t / V_t \quad (۵)$$

جدول ۱- خواص فیزیکی نمونه‌های کیوی مورد آزمایش (اندازه یکسان و کوچک)

متغیر	جرم (گرم)	طول (میلی‌متر)	عرض (میلی‌متر)	ضخامت (میلی‌متر)	میانگین حسابی قطر (میلی‌متر)	میانگین هندسی قطر (میلی‌متر)
میانگین	۵۳/۰۵	۴۶/۵۸	۴۲/۰۶	۳۷/۷۳	۴۲/۹۲	۴۲/۵۵
انحراف معیار	۶/۶۹	۴/۴۷	۱/۹۲	۲/۵۶	۱/۹	۱/۸۸
ضریب تغییرات	۱۲/۶	۹/۵۹	۴/۵۷	۶/۷۸	۴/۴۳	۴/۴۱
متغیر	ضریب کرویت	مساحت سطح (سانتی‌متر مربع)	حجم جامد (سانتی‌متر مکعب)	چگالی توده (گرم بر سانتی‌متر مکعب)	چگالی جامد (گرم بر سانتی‌متر مکعب)	تخلخل (درصد)
میانگین	۸۶/۹۷	۵۶/۹۹	۶۷/۷	۰/۶۲۷	۱/۰۰۷	۳۷/۴۳
انحراف معیار	۴/۵۲	۵/۰۵	۶/۳۴	۰/۰۰۵	۰/۰۰۷	۰/۴۴۸
ضریب تغییرات	۵/۲	۸/۸۶	۹/۳۶	۰/۷۵	۰/۷۲	۱/۲

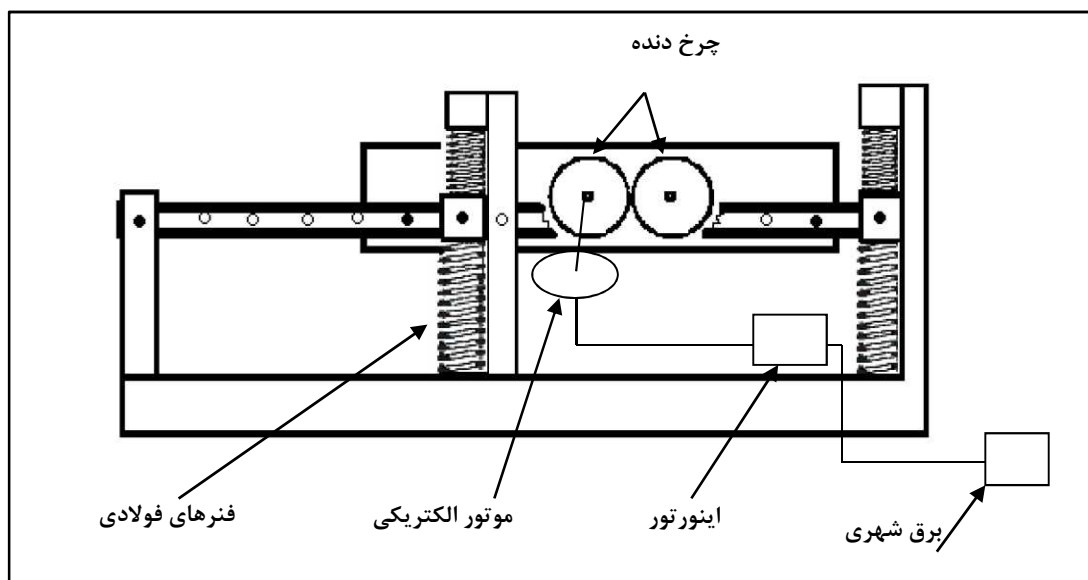
می‌چرخند. روی محور چرخ دنده‌ها دو وزنه به صورت خارج از مرکز قرار گرفته‌اند که وزن و میزان خارج از مرکزی آن‌ها قابل تنظیم است. میز ارتعاشی روی دو تیرک افقی قرار گرفته است. تیرک‌ها با یک پیکربندی فنری نگهداری می‌شوند. یک سر تیرک‌ها از بالا و پایین به دو فنر و سر دیگر آن‌ها به صورت لولا به تیرک‌های عمودی وصل شده است. اینورتر متصل به موتور الکتریکی، دور موتور را تنظیم می‌کند. با تغییر دور موتور، دور چرخ دنده‌ها و در نتیجه سرعت زاویه‌ای وزنه‌ها تغییر می‌کند و میز به ارتعاش در می‌آید.

فرکانس دستگاه بر حسب هرتز، از تقسیم تعداد دور چرخ دنده‌ها بر حسب دور در دقیقه، بر ۶۰ ثانیه، به دست می‌آید. برای تنظیم شتاب دستگاه در اندازه مورد نظر از تغییرات اندازه وزنه‌ها، خارج از مرکزی وزنه‌ها و تغییر موقعیت عرضی قرارگیری میز روی تیرک‌های افقی استفاده می‌شود.

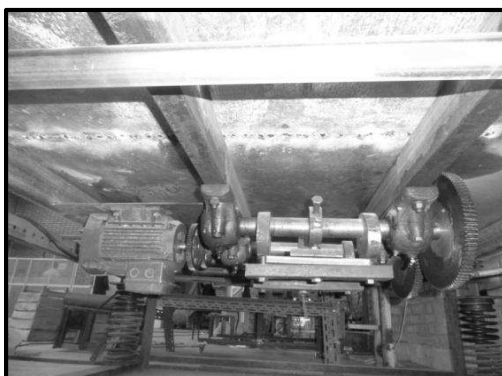
جدول ۲ پارامترهای تحت آزمایش را نشان می‌دهد که عبارت‌اند از: فرکانس ارتعاش<sup>۱</sup> و شتاب ارتعاش<sup>۲</sup>.

برای اجرای طرح، ابتدا ارتعاشات وارده به میوه، هنگام حمل و نقل در جاده اندازه‌گیری شد. میانگین فرکانس‌های دو مورد از پراکندگی‌های دارای بیشترین درصد، برای شبیه‌سازی ارتعاش در آزمایشگاه انتخاب شدند: ۷/۴۹ و ۱۳/۰۳ هرتز (که در این مطالعه، ۷/۵ و ۱۳ هرتز به ترتیب در نظر گرفته شدند). میانگین شتاب‌های دو مورد از پراکندگی‌های دارای بیشترین درصد، برای شبیه‌سازی ارتعاش در آزمایشگاه انتخاب شدند: ۰/۳۱ و ۰/۷۱ (که در این مطالعه به ترتیب ۰/۳ و ۰/۷ شتاب زمین، در نظر گرفته شدند).

برای شبیه‌سازی ارتعاشات اندازه‌گیری شده به هنگام حمل و نقل، دستگاه شبیه‌ساز ارتعاشات آزمایشگاهی طراحی و ساخته شد (Shahbazi et al., 2008, 2010). شکل ۱ نمای شماتیک و شکل ۲ نمای واقعی دستگاه شبیه‌ساز ارتعاشات جاده‌ای را نشان می‌دهد. این دستگاه شامل یک میز ارتعاشی است که به آن دو عدد چرخ دنده وصل شده است. این چرخ دنده‌ها با یک موتور الکتریکی با سرعت ۳۰۰۰ دور در دقیقه، در خلاف جهت هم



شکل ۱- نمای دستگاه شبیه‌ساز ارتعاشات جاده‌ای



(ب)



(الف)

شکل ۲- الف) نمای روبه روی دستگاه شبیه‌ساز ارتعاشات جاده‌ای به همراه جعبه مورد استفاده در تحقیق و  
ب) نمای زیرین دستگاه شبیه‌ساز ارتعاشات

جدول ۲- پارامترهای تحت آزمایش

سطوح متغیر		متغیر مورد مطالعه
$F_2 = 13$	$F_1 = 7/5$	فرکانس ارتعاش (هرتز)
$A_2 = 0/7$	$A_1 = 0/3$	شتاب ارتعاش (شتاب زمین)

زمان از باغ چیده شده‌اند و همچنین کل میوه‌ها در دمای آزمایشگاه (۲۵ درجه سلسیوس)، نگهداری شدند. برای ارتعاش‌دهی، کیوی‌ها داخل جعبه چوبی به ابعاد  $35 \times 40 \times 29$  سانتی‌متر که به میز ارتعاشی دستگاه وصل شده بود قرار داده شدند و سعی می‌شد در حد امکان شرایطی مانند حمل در داخل مخزن کامیون فراهم شود از جمله نحوه چیدن کیوی‌ها. بعد از اجرای آزمایش، میوه‌ها به مدت ۲۴ ساعت در آزمایشگاه نگهداری شدند. سپس پوست تمام میوه‌ها را کنده و له‌شدگی زیر پوست (عمق کوفتگی)، به کمک کولیس دیجیتالی با دقت  $0/01$  اندازه‌گیری شد.

### نتایج و بحث

#### تأثیر فرکانس و شتاب ارتعاش بر عمق لهیدگی میوه کیوی

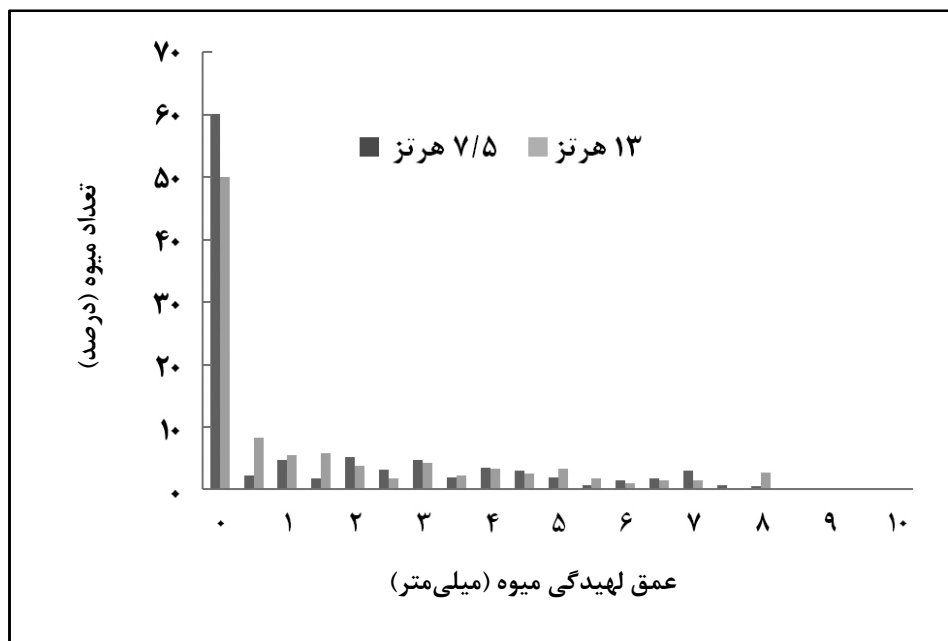
شکل‌های ۳ و ۴، نمودارهای میله‌ای عمق لهیدگی میوه‌های کیوی را پس از آزمایش، در چهار تیمار نشان می‌دهد. در این نمودارها، محور افقی، عمق لهیدگی میوه‌ها بر حسب میلی‌متر و محور عمودی، تعداد میوه‌ها

اثر پارامترهای مذکور به صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح آماری کاملاً تصادفی و با سه تکرار نمونه کیوی‌ها مورد مطالعه قرار گرفت. کل تیمارهای مورد مطالعه  $2 \times 2 \times 3$  عدد بود. متغیرهای وابسته عبارت‌اند از درصد تعداد کل میوه‌های آسیب دیده و درصد تعداد میوه‌های آسیب دیده با عمق لهیدگی بیش از دو میلی‌متر (عمق لهیدگی بیش از دو میلی‌متر، حالت بحرانی در نظر گرفته شده است). میانگین آسیب‌های وارده بر اساس تیمارهای مختلف، با آزمون چند دامنه‌ای دانکن با هم مقایسه شدند. داده‌ها نیز با نرم‌افزارهای Excel 2007 و Spss 18 آنالیز شدند.

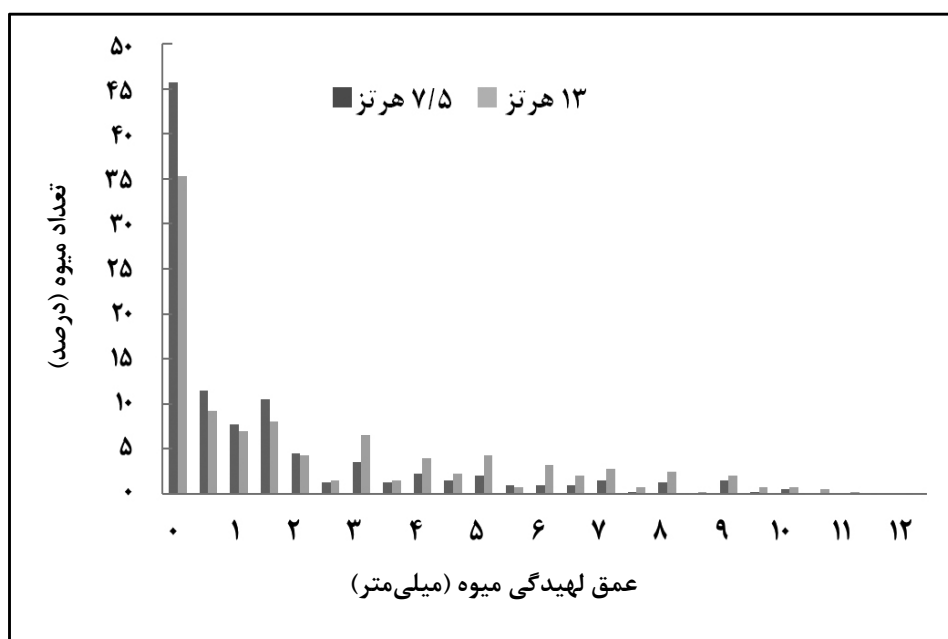
سعی شده که سایر عوامل تأثیرگذار بر میزان ضایعات، ثابت در نظر گرفته شوند، برای مثال مدت زمان ارتعاش، برای همه تیمارها، ثابت و ۶۰ دقیقه در نظر گرفته شده است. زمان ۶۰ دقیقه نماینده مسافت‌های طولانی و بیشتر از ۱۵۰۰ کیلومتر است (Olorunda & Tung, 1985; Acican *et al.*, 2006). میوه‌ها در اندازه یکسان و کوچک و ارتفاع توده میوه درون جعبه، ۳۴ سانتی‌متر در نظر گرفته شده است. تمام میوه‌ها در یک

بررسی تأثیر فرکانس و شتاب بر آسیب‌های میوه...

بر حسب درصد را نشان می‌دهد. شتاب ارتعاش در شکل فرکانس‌های ۷/۵ و ۱۳ هرتز هستند. مقایسه عددی این ۳ و ۴ به ترتیب ۰/۳ و ۰/۷ شتاب زمین است و هر دو در نمودارها در جدول ۳ آمده است.



شکل ۳- نمودار میله‌ای عمق لهیدگی میوه‌های کیوی در شتاب ارتعاشی ۰/۳ شتاب زمین



شکل ۴- نمودار میله‌ای عمق لهیدگی میوه‌های کیوی در شتاب ارتعاشی ۰/۷ شتاب زمین

صدمه دیده و بحرانی در حالت اول، بیشتر از حالت دوم شده است.

داده‌های جدول ۳، نیز با نتایج به دست آمده از شکل‌های ۳ و ۴ مطابقت دارد.

درصد تعداد کل میوه‌های آسیب دیده، میوه‌های با آسیب‌دیدگی بیشتر از دو میلی‌متر و میوه‌های با آسیب‌دیدگی کمتر از دو میلی‌متر در فرکانس ۷/۵ هرتز و شتاب ۰/۳ شتاب زمین به ترتیب، ۳۸/۸، ۲۶/۵ و ۱۲/۳ شده است در حالی که این مقادیر در فرکانس ۱۳ هرتز و شتاب ۰/۳ شتاب زمین به ترتیب، ۵۰، ۲۸/۲۵ و ۲۱/۷۵ شده است.

درصد تعداد کل میوه‌های آسیب دیده، میوه‌های با آسیب‌دیدگی بیشتر از دو میلی‌متر و میوه‌های با آسیب‌دیدگی کمتر از دو میلی‌متر، در فرکانس ۷/۵ هرتز و شتاب ۰/۷ شتاب زمین به ترتیب، ۵۴/۲۵، ۲۲ و ۳۲/۲۵ شده در حالی که این مقادیر در فرکانس ۱۳ هرتز و شتاب ۰/۷ شتاب زمین، ۶۴/۵، ۳۷ و ۲۷/۵ شده است.

با ثابت بودن فرکانس و افزایش شتاب، میزان صدمات کل و بحرانی افزایش یافته به طوری که در فرکانس ۱۳ هرتز، با افزایش شتاب ارتعاش از ۰/۳ به ۰/۷ شتاب زمین، درصد تعداد کل میوه‌های صدمه دیده و بحرانی، از ۵۰ و ۲۸/۲۵ به ۶۴/۵ و ۳۷ رسیده است.

با افزایش فرکانس و شتاب ارتعاش به طور همزمان، میزان صدمات کل و بحرانی نیز افزایش یافته به طوری که این مقادیر در فرکانس ۷/۵ هرتز و شتاب ارتعاش ۰/۳ شتاب زمین، به ترتیب، ۳۸/۸ و ۲۶/۵ درصد و در فرکانس ۱۳ هرتز و شتاب ارتعاش ۰/۷ شتاب زمین به ترتیب، ۶۴/۵ و ۳۷ درصد شده است.

با توجه به شکل‌های ۳ و ۴، می‌توان نتایج زیر را به دست آورد:

- میزان کل میوه‌های سالم در فرکانس ۷/۵ هرتز و شتاب ۰/۳ شتاب زمین، بیشتر از کل میوه‌های سالم در فرکانس ۱۳ هرتز و شتاب ۰/۳ شتاب زمین است. همین نتیجه برای میوه‌های سالم در فرکانس ۷/۵ هرتز و شتاب ۰/۷ شتاب زمین، نسبت به میوه‌های سالم در فرکانس ۱۳ هرتز و شتاب ۰/۷ شتاب زمین دیده می‌شود (عمق لهیدگی صفر میلی‌متر، که نشان‌دهنده میوه‌های سالم و بدون آسیب‌دیدگی است).

- تعداد کل میوه‌های آسیب دیده و میوه‌های با آسیب‌دیدگی بحرانی (بیشتر از دو میلی‌متر)، در فرکانس ۱۳ هرتز و شتاب ۰/۳ شتاب زمین، بیشتر است تا در فرکانس ۷/۵ هرتز و شتاب ۰/۳ شتاب زمین؛ و در فرکانس ۱۳ هرتز و شتاب ۰/۷ شتاب زمین، بیشتر است تا در فرکانس ۷/۵ هرتز و شتاب ۰/۷ شتاب زمین (فشرده‌گی نمودار در حالت‌های اول بیشتر از حالت‌های دوم شده است).

- ماکزیمم عمق لهیدگی میوه‌ها در فرکانس ۱۳ هرتز و شتاب ۰/۳ شتاب زمین، ۹ میلی‌متر ولی در فرکانس ۷/۵ هرتز و شتاب ۰/۳ شتاب زمین، ۸ میلی‌متر شده است، یعنی در حالت اول، بیشتر از حالت دوم بود و همچنین این مقدار در فرکانس ۱۳ هرتز و شتاب ۰/۷ شتاب زمین، ۱۱ میلی‌متر و در فرکانس ۷/۵ هرتز و شتاب ۰/۷ شتاب زمین، ۱۰ میلی‌متر شده است.

با مقایسه دو نمودار با هم نیز، می‌توان نتایج مشابهی را استنباط کرد. برای نمونه، ماکزیمم عمق لهیدگی میوه‌ها در فرکانس ۱۳ هرتز و شتاب ۰/۷ شتاب زمین، ۱۱ میلی‌متر و در فرکانس ۱۳ هرتز و شتاب ۰/۳ شتاب زمین، ۹ میلی‌متر شده است و همچنین تعداد میوه‌های سالم در حالت اول، کمتر از حالت دوم و تعداد کل میوه‌های



جدول ۳- مقایسه آسیب وارده به میوه‌های کیوی در شتاب ارتعاش ۰/۳ و ۰/۷ شتاب زمین (فرکانس‌های ۷/۵ و ۱۳ هرتز)

شتاب ارتعاش (شتاب زمین)	فرکانس ارتعاش (هرتز)	تعداد میوه‌های با آسیب دیدگی بیشتر از دو میلی‌متر (بحرانی)	تعداد کل میوه‌های آسیب دیده
۰/۳	۷/۵	۱۰۶/۴۰۰ (درصد ۲۶/۵)	۱۶۰/۴۰۰ (درصد ۳۸/۸)
۰/۳	۱۳	۱۱۳/۴۰۰ (درصد ۲۸/۲۵)	۲۰۰/۴۰۰ (درصد ۵۰)
۰/۷	۷/۵	۸۸/۴۰۰ (درصد ۲۲)	۲۱۷/۴۰۰ (درصد ۵۴/۲۵)
۰/۷	۱۳	۱۴۸/۴۰۰ (درصد ۳۷)	۲۵۸/۴۰۰ (درصد ۶۴/۵)

### نتایج آزمون فاکتوریل

ماکزیمم و مینیمم تعداد کل میوه‌های صدمه دیده در فرکانس ۷/۵ هرتز، به ترتیب ۵۴/۲۵ و ۳۲/۸ درصد و این مقادیر برای فرکانس ۱۳ هرتز، ۶۴/۵ و ۴۵/۵ درصد است. همچنین حداکثر و حداقل تعداد کل میوه‌های با آسیب دیدگی بیشتر از دو میلی‌متر، در فرکانس ۷/۵ هرتز، ۳۱ و ۱۸/۷ درصد و این مقادیر برای فرکانس ۱۳ هرتز، ۳۷ و ۲۳/۰۹ درصد شده است.

حداکثر و حداقل تعداد کل میوه‌های صدمه دیده در شتاب ارتعاش ۰/۳ شتاب زمین، ۵۰ و ۳۲/۸ درصد و این مقادیر برای شتاب ۰/۷ شتاب زمین، ۶۴/۵ و ۴۳/۹ درصد شده است و همچنین حداکثر و حداقل تعداد کل میوه‌های با آسیب دیدگی بیشتر از دو میلی‌متر در شتاب ۰/۳ شتاب زمین، ۳۱ و ۲۳/۰۹ درصد و این مقادیر برای شتاب ۰/۷ شتاب زمین، ۳۷ و ۱۸/۷ درصد شده است.

جدول ۴، نتایج تجزیه واریانس داده‌های مربوط به اثر فرکانس و شتاب ارتعاش را بر آسیب‌های میوه کیوی (میانگین مربعات) نشان می‌دهد. با توجه به داده‌های این جدول، نتایج آنالیزها نشان می‌دهد که اثر فرکانس و شتاب ارتعاش در سطح ۱ درصد بر میزان کل آسیب‌ها معنی‌دار است. فرکانس ارتعاش در سطح ۵ درصد بر تعداد میوه‌های با آسیب دیدگی بیشتر از دو میلی‌متر معنی‌دار است ولی شتاب ارتعاش بر این متغیر وابسته، معنی‌دار نیست.

تأثیر متقابل فرکانس و شتاب ارتعاش بر آسیب دیدگی‌های کل در سطح ۱ درصد و بر تعداد میوه‌های با آسیب دیدگی بیشتر از دو میلی‌متر، در سطح ۵ درصد معنی‌دار است.

جدول ۴- نتایج تجزیه واریانس داده‌های مربوط به اثر فرکانس و شتاب ارتعاش بر آسیب‌های میوه کیوی (میانگین مربعات)

میانگین مربعات (MS)			
منبع تغییرات	درجه آزادی	تعداد کل میوه‌های آسیب دیده (درصد)	تعداد میوه‌های با آسیب دیدگی بیشتر از دو میلی‌متر (درصد)
فرکانس	۱	۴۰/۳۲۳ **	۶۴/۵۸۹ *
شتاب	۱	۵۳۹/۶۱۸ **	۳/۵۸۶ <sup>ns</sup>
فرکانس × شتاب	۱	۰/۲ **	۱۱۲/۶۰۸ *
خطا	۸	۱۳/۳۰۵	۱۱/۳۷۱

\*\* معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد، \* معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد، ns نبود اختلاف معنی‌دار

وجود می‌آید، آسیب‌های مکانیکی به میوه افزایش می‌یابد (O'Brien *et al.*, 1969; O'Brien & Guillou, 1969; Chesson & O'Brien, 1971; Van Zeebroeck *et al.*, 2006; Shahbazi *et al.*, 2008; Shahbazi *et al.*, 2010).

دلیل افزایش آسیب با افزایش شتاب این است که شتاب ارتعاش روی میزان نیرو و قدرت ارتعاش اثر می‌گذارد و هر چه شتاب بیشتر باشد قدرت و شدت نیروی وارده نیز زیاد می‌شود، از این‌رو هنگام حمل و نقل میوه اگر شتاب ارتعاشی زیاد باشد، اندازه و شدت نیروهای عمل‌کننده روی میوه که به صورت نیروهای متناوب است، افزایش می‌یابد و در نتیجه باعث تخریب بافت‌های میوه و افزایش آسیب‌ها می‌شود.

جدول ۵، مقایسه میانگین اثر متقابل فرکانس و شتاب ارتعاش روی درصد کل میوه‌های آسیب دیده و درصد میوه‌های با آسیب دیدگی بیشتر از دو میلی‌متر را بر اساس آزمون دانکن، در سطح پنج درصد نشان می‌دهد. با توجه به داده‌های این جدول، با ثابت ماندن فرکانس ارتعاش و بزرگ‌تر شدن شتاب، آسیب‌های مکانیکی افزایش می‌یابد. در فرکانس ارتعاشی ۷/۵ هرتز با بزرگ‌تر شدن شتاب از ۰/۳ به ۰/۷ شتاب زمین، میانگین آسیب‌ها از ۴۰/۳ درصد به ۴۵/۵۴ درصد رسیده است. این مقدار در فرکانس ارتعاشی ۱۳ هرتز از ۴۱/۳ درصد در شتاب ۰/۳ شتاب زمین، به ۵۷/۵۱ درصد در شتاب ۰/۷ شتاب زمین رسید. با توجه به یافته‌های فوق، می‌توان نتیجه گرفت که با افزایش شتاب ارتعاش که در سیستم حمل و نقل به

جدول ۵- مقایسه میانگین اثر متقابل فرکانس و شتاب روی متغیرهای وابسته بر اساس آزمون دانکن

آسیب‌دیدگی کل (درصد)		آسیب‌دیدگی بیشتر از دو میلی‌متر (درصد)		شتاب ارتعاش (شتاب زمین) فرکانس ارتعاش (هرتز)
۰/۷	۰/۳	۰/۷	۰/۳	
۴۵/۵۴ <sup>a</sup>	۴۰/۳ <sup>a</sup>	۲۱/۴۵ <sup>a</sup>	۲۲/۳ <sup>a</sup>	۷/۵
۵۷/۵۱ <sup>b</sup>	۴۱/۳ <sup>a</sup>	۳۰/۷۱ <sup>b</sup>	۲۲/۳۴ <sup>a</sup>	۱۳

در هر ستون میانگین‌های دارای حرف مشترک از نظر آزمون دانکن در سطح ۵ درصد، اختلاف معنی‌داری ندارند.

با توجه به یافته‌های فوق، می‌توان نتیجه گرفت که با افزایش فرکانس ارتعاش، آسیب‌های کل و بحرانی افزایش می‌یابد. این نتیجه با گزارش‌های شهبازی و همکاران (Shahbazi *et al.*, 2008, 2010)، مطابقت دارد که می‌گویند، میزان آسیب وارده به پوست هندوانه در فرکانس ۱۳ هرتز بیشتر است تا در فرکانس ۷/۵ هرتز. اگات و همکاران (Oguet *et al.*, 1999)، گزارش داده‌اند که با افزایش فرکانس ارتعاش، مدول الاستیسیته میوه هلو، کاهش می‌یابد. ولی فیشر و

با توجه به داده‌های جدول ۵، در شتاب ۰/۳ شتاب زمین، افزایش فرکانس تأثیر چندانی بر میزان آسیب‌های کل ندارد. ولی در شتاب ۰/۷ شتاب زمین، میزان آسیب‌ها از ۴۵/۵۴ درصد در فرکانس ۷/۵ هرتز به ۵۷/۵۱ درصد در فرکانس ۱۳ هرتز می‌رسد. در شتاب ارتعاش ۰/۳ شتاب زمین و با افزایش فرکانس از ۷/۵ به ۱۳ هرتز، میانگین آسیب‌های بحرانی اختلاف معنی‌دار ندارند. ولی در شتاب ارتعاش ۰/۷ شتاب زمین و با افزایش فرکانس، میانگین آسیب‌های بحرانی از ۲۱/۴۵ به ۳۰/۷۱ درصد می‌رسد.

میوه‌های صدمه دیده با عمق کوفتگی بیشتر از دو میلی‌متر معنی‌دار است ( $P < 0.05$ ) ولی شتاب ارتعاش معنی‌دار نیست.

با افزایش شتاب ارتعاش، میزان آسیب‌ها به طور قابل توجهی افزایش می‌یابد و آسیب زمانی زیاد است که شتاب بالا با فرکانس زیاد همراه باشد.

با افزایش فرکانس و شتاب ارتعاش به طور همزمان، میزان آسیب‌های مکانیکی وارده به میوه‌های کیوی افزایش می‌یابد. به طوری که بیشترین میانگین کل میوه‌های صدمه دیده و میوه‌های با آسیب‌دیدگی بیشتر از دو میلی‌متر در فرکانس ۱۳ هرتز و شتاب ارتعاش ۰/۷ و شتاب زمین و به ترتیب برابر ۴۰/۳ و ۳۰/۷۱ درصد است.

پیشنهاد می‌شود از وسایل نقلیه‌ای استفاده شود که کمترین شتاب و فرکانس ارتعاش را به جعبه‌ها و به تبع آن به میوه‌ها وارد کنند تا از این طریق تلفات میوه‌ها کاهش پیدا کند.

میوه کیوی را می‌توان یک محصول مهم و استراتژیک در ایران تلقی کرد به شرطی که برای صادرات آن به کشورهای دور سرمایه‌گذاری شود و این هدف تنها با برنامه‌ریزی‌های درست و مدیریت صحیح پس از برداشت و بسته‌بندی‌های مدرن و استفاده از یافته‌های تحقیقاتی امکان‌پذیر خواهد شد.

همکاران (Fischer *et al.*, 1990)، در مورد توت‌فرنگی و انگور و همچنین شهبازی و همکاران (Shahbazi *et al.*, 2008, 2010)، در مورد بافت هندوانه به این نتیجه رسیده‌اند که این میوه‌ها به فرکانس‌های پایین‌تر حساسیت بیشتری نشان می‌دهند و آسیب‌های بیشتری می‌بینند که علت این قضیه را نرمی بیش از اندازه این میوه‌ها می‌دانند.

افزایش فرکانس و شتاب به طور همزمان، میزان آسیب‌های کل و بحرانی افزایش می‌یابد به طوری که کمترین میانگین کل میوه‌های صدمه دیده و میوه‌های با آسیب‌دیدگی بیشتر از دو میلی‌متر، در فرکانس ۷/۵ هرتز و شتاب ارتعاش ۰/۳ و شتاب زمین و به ترتیب برابر ۴۰/۳ و ۲۲/۳ درصد و بیشترین این مقادیر، در فرکانس ۱۳ هرتز و شتاب ارتعاش ۰/۷ و شتاب زمین و به ترتیب برابر ۵۷/۵۱ و ۳۰/۷۱ درصد شده است.

## نتیجه‌گیری

در حمل و نقل جاده‌ای، با افزایش فرکانس و شتاب ارتعاش، آسیب‌های مکانیکی (کوفتگی) میوه‌ها افزایش می‌یابد. آنالیز داده‌ها نشان می‌دهد که اثر فرکانس و شتاب ارتعاش بر کل آسیب‌های وارده معنی‌دار هستند ( $P < 0.01$ ). اثر فرکانس ارتعاش بر درصد کل

## قدردانی

از دکتر سعید محتسبی، مدیر محترم گروه مکانیک ماشین‌های کشاورزی دانشکده بیوسیستم پردیس کرج که نهایت همکاری را به اینجانب مبذول داشتند، تشکر می‌کنم.

## مراجع

Acican, T., Alibas, K. and Ozelkok, I. S. 2006. Mechanical damage to apples during transport in wooden crates. *Biosyst. Eng.* 96(2): 239-248.

- Ahmadi, E. 2012. Bruise susceptibilities of kiwifruit as affected by impact and fruit properties. Res. Agric. Eng. 58, 107-113.
- Anon. 2005. Annual Statistics. Horticultural Report. FAO. Italy.
- Anon. 2009. Identity Card of Picture of Kiwifruits. Ministry of Jihad-e-Agriculture of Iran. (in Farsi)
- Barchi, G. L., Berardinelli, A., Guarnieri, A., Ragni, L. and Totaro Fila, C. 2002. Damage to loquasts by vibration-simulating intra-state transport. Biosyst. Eng. 82, 305-312.
- Chesson, J. H. and O'Brien, M. 1971. Analysis of mechanical vibration of fruit during transportation. T. ASAE. 14, 222-224.
- Fischer, D., Craig, W. and Ashby, B. H. 1990. Reducing transportation damage to grapes and strawberries. J. Food Dist. Res. 21, 193-202.
- Hinsch, R. T., Slaughter, D. C., Craig, W. L. and Thompson, J. F. 1993. Vibration of fresh fruits and vegetables during refrigerated truck transport. T. ASAE. 36, 1039-1042.
- Holt, J. E. and Schoorl, D. 1985. A theoretical and experimental analysis of the effect of suspension and road profile on bruising in multilayered apple packs. J. Agric. Eng. Res. 31, 297-308
- Mirzai-Moghaddam, H., Tavakoli-Hashjin T., Minai, S. and Faghihnasiri, M. 2007. Evaluation of effects of size and variety and time storage on qualitative properties of kiwi fruit. J. Sci. Food Tech. Iran. 4, 19-26. (in Farsi)
- Moghimi, A., Aghkhani, M. H., Sazgarnia, A. and Sarmad, M. 2007. Nondestructive evaluation of internal quality characteristics of kiwifruit by Vis/NIR spectroscopy. J. Hortic. Sci. 22(2): 113-121. (in Farsi)
- Mohsenin, N. N. 1978. Physical Properties of Food and Agricultural Materials. 2<sup>nd</sup> Revised and Update Edition. Gordon and Breach Science Pub. New York.
- O'Brien, M. and Fridley, R. B. 1970. Measurement of vibrations related to harvesting and handling of fruits and vegetables. T. ASAE. 13(6): 870-873.
- O'Brien, M. and Guillou, R. 1969. An in-transit vibration simulator for fruit-handling studies. T. ASAE. 12, 94-97
- O'Brien, M., Pearl, R. C., Vilas Jr, E. P. and Driesbach, R. L. 1969. The magnitude and effect of in-transit vibration damage of fruits and vegetables on processing quality and yield. T. ASAE. 12, 452-455.
- Oguet, H., Peker, A. and Aydin, C. 1999. Simulated transit studies on peaches: effects of container cushion materials and vibration on elasticity modulus. Agric. Mech. Asia Afr. Lat. Am. 30, 59-62.
- Olorunda, A. O. and Tung, M. A. 1985. Simulated transit studies on tomatoes: effects of compressive load, container, vibration and maturity on mechanical damage. J. Food Tech. 20, 669-678.
- Shahbazi, F., Rajabipour, A., Mohtasebi, S. and Rafie, Sh. 2008. Effects of transport vibrations on modulus of elasticity watermelon, variety crimson sweet. Iranian J. Biosyst. Eng. 40(1): 15-25. (in Farsi)
- Shahbazi, F., Rrjabipour, A., Mohtasebi, S. and Rafie, Sh. 2010. Simulated in-transit vibration damage to watermelons. J. Agric. Sci. Tech. 12, 23-34.

- Slaughter, D. C., Hinsch, R. T. and Thompson, J. F. 1993. Assessment of vibration injury to Bartlett pears. T. ASAE. 36, 1043-1047.
- Timm, E. J., Brown, G. K. and Armstrong, P. R. 1996. Apple damage in bulk bins during semi-trailer transport. Appl. Eng. Agric. 12, 369-377.
- Van Zeebroeck, M., Tijskens, E., Dintwa, E., Kafashan, J., Loodts, J., De Baerdemaeker, J. and Ramon, H. 2006. The discrete element method (DEM) to simulate fruit impact damage during transport and handling: Case study of vibration damage during apple bulk transport. Postharvest Biol. Tech. 41(1): 92-100.

## **Investigation on the Effect of Frequency and Acceleration on Damage to Kiwi Fruit in Simulated Road Transport Vibrations**

**Gh. Taghizade-Moghaddam<sup>\*</sup>, R. Tabatabaee-Koloor, J. Hashemi and F. Shahbazi**

<sup>\*</sup> Corresponding Author: M. Sc. Student of Agricultural Machinery, Sari University of Agricultural Sciences and Natural Resources, P. O. Box: 578, Mazandaran, Iran. Email: ghadir\_taghizadeh@yahoo.com

Received: 14 April 2012, Accepted: 15 June 2013

The losses of agricultural products decrease the market share and increase the need for imports, factors that can damage the national economy. Mechanical damage is a major factor in loss after harvest. This study examined the effect of vibration frequency and acceleration on damage to kiwi fruit during road transport. A factorial test (2 frequency  $\times$  2 acceleration) in a completely randomized design with three replications was used. The rate of damage was the percentage of damaged fruit and the percentage of fruit bruised to a depth of greater than 2 mm (critical damage). Vibration frequencies of 7.5 and 13 Hz and accelerations of 0.3 and 0.7 g were selected for test. Analysis of the data indicated that the effect of frequency and acceleration was significant for the percentage of total damaged fruit ( $p < 0.01$ ). The effect of frequency was significant for the percentage of bruised fruit ( $p < 0.05$ ), but the effect of acceleration was not significant. Increasing the frequency and acceleration increased the mechanical damage to the kiwi fruit. The maximum average of total damaged fruits and fruits with a bruise depth greater than 2 mm were 40.3 and 30.71, respectively, at a frequency of 13 Hz and acceleration of 0.7 g.

**Key words:** Kiwifruit, Mechanical damage, Road transport, Vibration acceleration, Vibration frequency