

## اثر ارتعاشات حمل و نقل بر روی مدول الاستیسیته هندوانه رقم کریمسون سوئیت

فیض‌اله شهبازی<sup>۱</sup>، علی رجبی پور\*<sup>۲</sup>، سید سعید محتسبی<sup>۳</sup> و شاهین رفیعی<sup>۴</sup>

۱، ۲، ۳، ۴، دانشجوی سابق دکتری و دانشیاران، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران

(تاریخ دریافت: ۸۶/۱۰/۱۱ - تاریخ تصویب: ۸۷/۸/۱)

### چکیده

ارتعاشات ناشی از حمل و نقل اثر زیادی بر روی میزان صدمات محصولات کشاورزی خصوصاً میوه‌ها و محصولات جالیزی دارد. مدول الاستیسیته یکی از مهمترین خواص مکانیکی میوه‌ها است که تغییرات آن می‌تواند مشخص کننده میزان صدمه وارده به محصول در طی حمل و نقل باشد. در این مطالعه اثرات فرکانس ارتعاش، شتاب ارتعاش، مدت زمان ارتعاش و موقعیت قرارگیری محصول داخل مخزن، بر روی میزان صدمات وارده بر هندوانه مورد مطالعه قرار گرفت. ابتدا میزان فراوانی فرکانس و شتاب ارتعاش در طی حمل و نقل با کامیون در جاده اندازه‌گیری شد. سپس با استفاده از یک دستگاه شبیه ساز ارتعاشات در آزمایشگاه، ارتعاشات حمل و نقل شبیه‌سازی و اثر پارامترهای مختلف بر روی میزان صدمات بررسی شد. میزان صدمه بر مبنای اختلاف بین مدول الاستیسیته هندوانه قبل و بعد از ارتعاش، بر حسب درصد در نظر گرفته شد. با توجه به نتایج به دست آمده از اندازه‌گیری و آنالیز ارتعاشات حمل و نقل، فرکانسهای بین ۵-۱۰ Hz و ۱۵-۱۰ Hz دارای بیشترین فراوانی بودند و میانگین فرکانس‌های این دامنه‌ها به ترتیب برابر با ۷/۵ Hz و ۱۳ Hz بود. همچنین شتاب‌های بین ۰/۲۵-۰/۵ g و ۰/۷۵-۰/۵ g، بیشترین فراوانی را داشتند و میانگین شتاب‌های این دامنه‌ها به ترتیب ۰/۳ g و ۰/۷ g بود که همین میانگینهای فرکانس و شتاب برای شبیه‌سازی ارتعاش در نظر گرفته شدند. مدت زمان ارتعاش برابر ۳۰ و ۶۰ دقیقه در نظر گرفته شد و میزان صدمات در لایه‌های بالایی، میانی و پایینی هندوانه در داخل مخزن اندازه‌گیری شد. نتایج آنالیز داده‌ها نشان داد که اثرات فرکانس ارتعاش، شتاب ارتعاش، زمان ارتعاش و موقعیت قرارگیری محصول داخل مخزن، که به عنوان منابع تغییرات در نظر گرفته شدند، در سطح یک درصد بر روی میزان صدمات معنی‌دار است. ارتعاشات با فرکانس ۷/۵ Hz، شتاب ۰/۷ g و مدت زمان ۶۰ دقیقه بیشترین صدمات را وارد کرده‌اند. میزان صدمات وارده بر هندوانه‌های واقع در لایه‌های بالایی مخزن بیشتر از لایه‌های زیرین و وسطی است.

**واژه‌های کلیدی:** هندوانه، فرکانس ارتعاش، شتاب ارتعاش، حمل و نقل، صدمات، مدول الاستیسیته

### مقدمه

فرآیند، حدود ۳۰ تا ۴۰ درصد، تخمین زده می‌شود (Barchi et al., 2002). تلاش و هزینه زیادی صرف افزایش عملکرد محصول می‌شود، اما سود حاصل از افزایش تولید، با کاربرد عملیات نامناسب پس از برداشت که نتیجه آن افزایش ضایعات محصول است، به مخاطره می‌افتد. حمل و نقل نامناسب میوه‌ها باعث ایجاد آسیب‌های مکانیکی بر روی آنها می‌شود. شکل آسیب بستگی به ساختمان فیزیکی و بیولوژیکی محصول و نوع بار وارده (بار استاتیک، دینامیک و نوسانی) دارد (Sitkei, 1986). اگر وسیله حمل کننده مناسب نباشد، هنگام حمل و نقل باعث تکان خوردن شدید میوه و برخورد آن با سطوح ماشین حمل کننده و یا دیگر میوه‌ها شده و در نتیجه باعث تغییر شکل بافتهای آن می‌شود. اگر این تغییر شکل از حد تسلیم بیولوژیکی تجاوز کند، بافت در مدت کوتاهی تغییر رنگ داده و فاسد می‌شود و بدین ترتیب مواد کاملاً از بین خواهند رفت. محصولات فاسد شده در هنگام نگهداری در انبار، مواد سالمی که با آنها در تماس هستند را نیز به خطر خواهند انداخت.

مواد کشاورزی برخلاف مواد مهندسی، بافت‌های زنده‌ای هستند که پس از برداشت به حیات خود ادامه می‌دهند. بنابراین فرآیندهای پس از برداشت مانند حمل و نقل و بسته بندی باید به صورتی انجام گیرند که آسیب کمتری به آنها وارد شود. از بین محصولات کشاورزی، میوه‌ها و سبزیجات کالاهایی هستند که به دلیل داشتن مقاومت کم در پوسته و رطوبت بالا، دارای حساسیت بسیار بالا در برابر آسیب‌های مکانیکی هستند که هنگام فرآوری به آنها وارد می‌شود. بنابراین به منظور به حداقل رساندن ضایعات، نیاز به مدیریت صحیح پس از برداشت و فنون مناسب حمل و نقل و نگهداری دارند. مقدار ضایعات بعد از برداشت میوه‌ها در اثر صدمات مکانیکی با توجه به کیفیت

\* نویسنده مسئول  
تلفن: ۰۲۶۱-۲۸۰۸۱۳۸  
E-mail: arajabi@ut.ac.ir

در بخش میوه و جالیز است. میزان تولید هندوانه در ایران حدود ۲/۲ میلیون تن است که ایران را در رتبه سوم از لحاظ تولید این محصول در جهان بعد از کشورهای چین و ترکیه قرار داده است (FAO, 2005). با توجه به شرایط مناسب اراضی کشور برای کشت این محصول، روند تولید آن در طی سال‌های اخیر رو به افزایش بوده است (Statistic and Information office of Agricultural Jahad Ministry, 2004). همچنین تقاضای جهانی برای مصرف این محصول در سال‌های اخیر رو به افزایش بوده است (Diezma et al., 2004). بنابراین هندوانه می‌تواند جایگاه مناسبی در صادرات محصولات کشاورزی کشور داشته باشد. بزرگترین مشکل هندوانه در امر صادرات، بزرگی آن از لحاظ وزن، حجم و رطوبت زیاد، در مقایسه با سایر میوه‌ها است. این عوامل باعث گردیده‌اند که این محصول حساسیت زیادی در برابر صدمات ناشی از فرآیندهای پس از برداشت و مخصوصاً حمل و نقل داشته باشد. لذا معمولاً هنگام حمل و نقل صدمات زیادی به آن وارد می‌شود که ممکن است باعث کاهش سفتی، ترک خوردگی و حتی شکافتن پوست، باریک شدن بافت گوشتی و قشر داخلی و فساد آن و همچنین ایجاد طعم بد شود. حساسیت هندوانه به صدمات باعث گردیده که اغلب مصرف این محصول محلی و منطقه‌ای باشد و برنامه ریزی دقیقی برای صادرات آن وجود نداشته باشد. آمار سازمان FAO، نیز نشان می‌دهد که در سال ۲۰۰۳، فقط دو درصد تولید جهانی هندوانه صادر گردیده است. لذا با شناخت صدمات وارده هنگام حمل و نقل این محصول و برنامه‌ریزی در جهت کاهش صدمات می‌توان برای آن جایگاه صادراتی مناسبی در نظر گرفت. در مورد بررسی صدمات میوه‌ها در اثر ارتعاشات فرآیند حمل و نقل، مطالعاتی انجام گرفته که اکثراً در کشورهای پیشرفته بوده است. در ادامه به تعدادی از آنها اشاره می‌شود.

O'Brien et al (۱۹۶۹) گزارش کرده‌اند که شتاب ارتعاشات حمل میوه در لایه‌های زیرین برابر ۰/۲۲ در لایه‌های میانی ۰/۴۰ و در لایه‌های بالایی ۰/۸۱ g است. O'Brien & Fridley (۱۹۷۰) بیان داشته‌اند که ارتعاشات ایجاد شده توسط حمل و نقل میوه با کامیون‌های دارای سیستم تعلیق مکانیکی (فنری)، دارای شتابی در حدود ۰/۴ بر روی شاسی کامیون و حدود ۱g در بالاترین نقطه مخزن است. Chesson & O'Brien (۱۹۷۱)، خصوصیات ارتعاشی میوه پرتقال هنگام حمل و نقل را در شرایط آزمایشگاهی با ارتعاش دهنده مکانیکی مورد مطالعه قرار دادند و نتیجه‌گیری کرده‌اند هنگامی که میوه‌ها داخل جعبه‌ای به ابعاد ۶۰×۶۰×۶۰ سانتی‌متر قرار دارند، ۲ تا ۳ ردیف بالایی میوه هنگامی که شتاب ارتعاش به حدود ۰/۷ g برسد

با شناخت خواص میوه می‌توان حالتی را که در آنها آسیب میوه رخ می‌دهد، ارزیابی کرد و به طور تقریبی وقوع یا عدم وقوع آسیب را پیش‌بینی کرد و راهکارهای جلوگیری از آن را به کار برد. نیروهای استاتیکی در اثر وزن میوه‌ها و نیروهای دینامیکی در اثر ارتعاشات حاصل از وسیله حمل‌کننده که به میوه وارد می‌شود، به وجود می‌آیند. نیروهای دینامیکی ناشی از شتاب عمودی وسیله حمل‌کننده باعث می‌شوند که میوه‌ها با اجسام ثابت و یا با هم برخورد کنند و حالت بارگذاری و باربرداری متناوب صورت گیرد و بدین صورت نیروهای تناوبی به میوه‌ها وارد شوند. وجود نیروهای تکراری حتی کوچکتر از حد تسلیم باعث می‌شود که میوه بعد از مدت کوتاهی به این حد خستگی برسد، زیرا بافت‌های بیولوژیکی میوه در اثر بارهای تکراری نرم می‌شوند و از مقاومت آنها کاسته می‌شود و در نتیجه صدمه می‌بینند (Sitkei, 1986). نوع صدمه‌ای که در این حالت به میوه وارد می‌شود بستگی به خصوصیات ارتعاش (فرکانس، شتاب و زمان ارتعاش) وارده به میوه دارد که خود این پارامتر نیز بستگی به نوع میوه (خصوصیات ارتعاشی میوه)، نوع وسیله حمل‌کننده (خصوصیات سیستم فربندی وسیله)، شرایط جاده، سرعت حرکت وسیله نقلیه، نوع بسته بندی میوه‌ها و روش چیدن و موقعیت بسته‌ها یا میوه در داخل مخزن وسیله، دارد (O'Brien & Fridley, 1970). در برخی از میوه‌ها مانند سیب و گلابی، آسیب‌های مکانیکی معمولاً به صورت ظاهری و به حالت کوفتنگی و یا تغییر شکل و رنگ بافت‌های خارجی بوده و به راحتی قابل مشاهده و اندازه‌گیری است. اما در برخی محصولات دیگر مانند هندوانه به دلیل داشتن پوست ضخیم سطح آن، تشخیص آسیب‌های مکانیکی غالباً بسیار مشکل است و آسیب‌های مکانیکی ناشی از حمل و نقل اکثراً به صورت نهانی و لهدیگی بافت قرمز و نرم داخلی آن بروز می‌کند که در ظاهر ممکن است میوه سالم باشد ولی بافت داخلی آن کاملاً صدمه دیده و نرم شده باشد (Armstrong et al., 1977; Martin, 1996). ارتعاشاتی که هنگام حمل و نقل تولید می‌شود دارای دو مولفه عمودی و افقی است که محققان مختلف این دو مولفه را اندازه‌گیری و گزارش نموده‌اند که مولفه افقی در مقایسه با مولفه عمودی ناچیز بوده و قابل چشم‌پوشی است و همه آنها برای شبیه‌سازی ارتعاشات بر روی میوه‌ها مولفه عمودی را در نظر گرفته و اعمال کرده‌اند (Barchi et al., 2002; Fischer et al., 1990; Hirsch et al., 1993; Laurenti et al., 2002; O'Brien & Fridley, 1970; O'Brien & Guillou, 1969; O'Brien et al., 1969; Ogut et al., 1999; Olorunda & Tung, 1985).

هندوانه یکی از ارزش‌ترین میوه‌های تولید کشور ایران است. این محصول پس از سیب درختی دومین محصول کشور

مطالعات مشابهی در مورد سایر میوه‌ها از جمله: هلو (O'Brien & Guillou, 1969; Olorunda & Tung, 1985; Van (O'Brien & Fridley, 1970; زردآلو (Zeebroeck et al., 2006) (Hinsch et al., 1993; Ogut ، گوجه (Slaughter et al., 1993) (Holt & Schoorl, 1985) ، انگور و توت فرنگی (et al., 1999) گزارش شده است.

طبق بررسی‌های انجام گرفته تاکنون تحقیقی در مورد بررسی صدمات وارده به هندوانه در فرآیند حمل و نقل گزارش نشده است. با توجه به اهمیت محصول هندوانه، لازم است که برنامه ریزی دقیقی در جهت بررسی صدمات وارده به این محصول در هنگام حمل و نقل و شناسایی عوامل صدمه دیدگی آن و راهکارهای بر طرف کردن آنها مشخص و ارائه شوند. به طور کلی اهداف این تحقیق عبارتند از: اندازه‌گیری و آنالیز ارتعاشات ایجاد شده در طی فرآیند حمل و نقل هندوانه. شبیه‌سازی ارتعاشات ایجاد شده در شرایط آزمایشگاه با استفاده از دستگاه شبیه ساز ارتعاشات. بررسی اثر پارامترهای ارتعاشات (فرکانس، شتاب و زمان ارتعاش) و موقعیت قرارگیری محصول داخل مخزن بر روی میزان صدمات وارده به هندوانه.

### مواد و روش‌ها

در این تحقیق صدمات وارده به میوه هندوانه در اثر ارتعاشات ناشی از حمل و نقل جاده‌ای مورد مطالعه قرار گرفت. برای اجرای طرح، ابتدا ارتعاشات وارده به هندوانه هنگام حمل و نقل در جاده اندازه‌گیری شد. شکل ۱، شماتیک اجزاء سیستم اندازه‌گیری ارتعاشات را نشان می‌دهد که شامل: یک دستگاه ارتعاش سنج (اندازه‌گیری، ثبت و تبدیل داده‌ها)، کامپیوتر کیفی و اینورتر است. دستگاه ارتعاش سنج شامل یک دستگاه ارتعاش سنج X-Viber، ساخت شرکتی با همین نام در کشور سوئیس است. این دستگاه دارای یک عدد حسگر ارتعاش سنج پیزوالکتریک است که در محل مورد نظر نصب می‌گردد و داده‌های ارتعاشی نقطه مورد نظر را به دستگاه اصلی (ارتعاش سنج) می‌فرستد، ارتعاش سنج، داده‌های ارسالی از حسگر را بر اساس برنامه‌ای که در نرم افزار آن (نرم افزار X-Trend تولید شرکت سازنده دستگاه)، پیش بینی شده به کامپیوتر ارسال می‌کند و کامپیوتر نیز داده‌ها را در محل تعریف شده ذخیره می‌کند. کامپیوتر و دستگاه ارتعاش سنج توسط یک دستگاه اینورتر که برق باطری (۱۲ یا ۲۴ ولت)، را به برق ۲۲۰ ولت تبدیل می‌کند، تغذیه می‌شوند. دستگاه با خصوصیات ذکر شده در بالا، برای اندازه‌گیری ارتعاشات کامیون‌های متداول برای حمل هندوانه در کشور استفاده شد.

نایابدار می‌شوند و تک تک میوه‌ها به طور آزادانه به طور قائم و دورانی حرکت می‌کنند. Ceponis & Butterfield (۱۹۷۴)، میزان ضایعات ناشی از صدمات حمل و نقل گلابی را چهار درصد گزارش کرده‌اند. Mohsenin (۱۹۷۸) اثر فرکانس، شتاب و دوره (زمان) ارتعاش بر مقدار صدمات میوه‌ها هنگام حمل و نقل را موثر دانسته است.

Armstrong et al (۱۹۹۲) گزارش کرده‌اند که هنگام حمل میوه سیب داخل جعبه‌های چوبی، فرکانسهای ۶ تا ۹ Hz بیشترین مقدار فراوانی را داشته‌اند. Slaughter et al (۱۹۹۳)، صدمات ناشی از حمل و نقل گلابی را مورد مطالعه قرار داده و گزارش کرده‌اند که این محصول هنگامی که فرکانس ارتعاش حمل و نقل بین ۳/۷ Hz تا ۱۸/۵ Hz باشد، آسیب می‌بیند. Hinsch et al (۱۹۹۳)، گزارش کرده‌اند که هنگام حمل گوجه‌فرنگی با کامیون‌های دارای فنرهای فولادی، فرکانس ارتعاش وارده به گوجه‌ها بالاتر از ۳/۵ Hz است که باعث صدمه دیدگی آنها می‌شود، در صورتی که اگر سیستم فنربندی کامیون بادی باشد، فرکانس کمتر از ۳/۵ Hz به گوجه‌ها وارد می‌شود. Slaughter et al (۱۹۹۳)، گزارش کرده‌اند که هنگام حمل میوه گلابی با کامیون، فرکانسهای ۳/۵، ۹، ۱۸/۵ و ۴۰ Hz دارای بیشترین فراوانی بوده‌اند. همچنین آنها گزارش کرده‌اند که شتاب‌های ۰/۵، ۰/۶۷ و ۰/۷۵ g دارای بیشترین فراوانی بوده‌اند. Singh & Xu (۱۹۹۳)، گزارش کرده‌اند که هنگام حمل میوه سیب با کامیون، بسته به نوع سیستم فنربندی کامیون، نوع بسته‌بندی میوه، روش چیدن بسته‌ها کنار هم و ارتفاع بسته‌ها داخل مخزن کامیون، ممکن است تا ۸۰ درصد میوه‌ها صدمه ببینند.

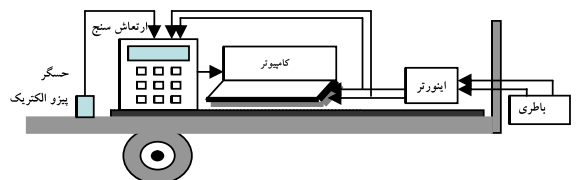
Timm et al (۱۹۹۸) گزارش کرده‌اند که هنگام حمل و نقل میوه‌ها شتاب‌های ۰/۲۵ تا ۰/۵۰ g دارای بیشترین فراوانی بوده‌اند. همچنین آنها گزارش کرده‌اند که فرکانسهای ۲، ۷، ۱۰، ۱۵ و ۲۰ Hz، بیشتر از همه رخ داده‌اند و از بین آنها نیز فرکانسهای ۷ و ۱۵ Hz دارای بیشترین فراوانی بوده‌اند. Ogut et al (۱۹۹۹)، اثر ارتعاشات شبیه‌سازی شده حمل و نقل بر روی صدمات مربوط به کاهش مدول الاستیسیته هلو را مورد مطالعه قرار داده و گزارش کرده‌اند که با افزایش فرکانس ارتعاش و ارتفاع قرارگیری میوه داخل مخزن، مدول الاستیسیته هلو کاهش می‌یابد. همچنین در این مطالعه کمترین تغییرات مدول الاستیسیته مربوط به زمانی بوده است که از جعبه‌های کاغذی برای حمل میوه استفاده شده است. Barchi et al (۲۰۰۲)، میزان ضایعات میوه‌ها در فرآیند حمل و نقل را بین ۳۰ تا ۴۰ درصد گزارش کرده‌اند.

مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند. پراکندگی فرکانسهای ارتعاش به صورت درصد، با دامنه (گام) ۵ Hz در نظر گرفته شد و درصد فرکانسهای بین ۰ تا ۵ Hz، ۵ تا ۱۰ Hz، ۱۰ تا ۱۵ Hz تا ۲۰ Hz و... قرار داشتند مشخص و میانگین فرکانسهای دو مورد از پراکندگیها که دارای بیشترین درصد بودند، برای شبیهسازی ارتعاش در آزمایشگاه انتخاب شدند که عبارت بودند از ۷/۴۹ و ۱۳/۰۳ Hz، که در این مطالعه، ۷/۵ و ۱۳ Hz، برای شبیهسازی در نظر گرفته شدند. همچنین پراکندگی شتابهای ارتعاش نیز به صورت درصد و با گام  $0.25g$  در نظر گرفته شد و درصد شتابهای ارتعاش که بین ۰ تا  $0.25g$  تا  $0.5g$ ،  $0.5g$  تا  $0.75g$  و ... قرار داشتند، مشخص و میانگین شتابهای دو مورد از پراکندگیها، که دارای بیشترین درصد بودند. برای شبیهسازی ارتعاش در آزمایشگاه انتخاب شدند که عبارت بودند از  $0.31g$  و  $0.71g$  و در این مطالعه،  $0.30g$  و  $0.70g$  برای شبیهسازی در نظر گرفته شدند.

برای شبیهسازی ارتعاشات اندازهگیری شده در طی حمل و نقل، دستگاه شبیه ساز ارتعاشات، آزمایشگاهی طراحی و ساخته شد. شکل ۲، این دستگاه را نشان می دهد. این دستگاه شامل یک میز ارتعاشی است که به آن دو عدد چرخ دنده وصل شده است و این چرخ دندهها توسط یک موتور الکتریکی با سرعت ۳۰۰۰ دور در دقیقه، در خلاف جهت هم می چرخند. بر روی محور چرخ دندهها دو عدد وزنه به صورت خارج از مرکز قرار گرفته است که وزن و میزان خارج از مرکزی آنها قابل تنظیم است. میز ارتعاشی بر روی دو تیرک افقی قرار گرفته است. تیرکها توسط یک پیکربندی فنی نگهداری می شوند. یک سر تیرکها از بالا و پایین به دو فنر و سر دیگر آنها به صورت لولایی به تیرکهای عمودی وصل شده است. به موتور الکتریکی یک دستگاه اینورتر وصل شده است که با استفاده از آن دور موتور تنظیم می شود. با تغییر دور موتور، دور چرخ دندهها و در نتیجه سرعت زاویه ای وزنهها تغییر می کند و میز به ارتعاش در می آید. فرکانس دستگاه بر حسب Hz، از تقسیم تعداد دور چرخ دندهها بر حسب rpm، که توسط اینورتر اندازهگیری می شود بر s، به دست می آید. برای تنظیم شتاب دستگاه در اندازه مورد نظر از تغییرات اندازه وزنهها، خارج از مرکزی وزنهها و تغییر موقعیت عرضی قرارگیری میز بر روی تیرکهای افقی استفاده می شود.

پس از طراحی دستگاه، هندوانهها تحت ارتعاش قرار گرفتند و اثر پارامترهای مختلف بر میزان صدمات آنها بررسی شد.

در کشور ما، هندوانه به صورت توده ای و در مخزن، توسط سه نوع وسیله نقلیه حمل می شود که عبارتند از: و انتهای باری، خاورهای شش چرخ و کامیونهای شش یا ده چرخ. طبق بررسیهایی که انجام شد، بیشترین تعداد وسایل حمل کننده برای مسافت های دور را نوع کامیونهای شش چرخ که به کامیون تک معروف هستند، تشکیل می دهند. لذا در این طرح نیز ارتعاشات داخل مخزن این نوع کامیونها هنگام حمل هندوانه، اندازه گیری شد. برای این کار، حسگر به قسمت های جلو، وسط و عقب کف مخزن کامیون نصب شد و توسط آن ارتعاشات جاده اندازه گیری و ثبت گردید. اندازه گیری ارتعاشات جاده به صورت تصادفی<sup>۱</sup> و به طور تقریبی با فاصله هر ۳۰ ثانیه یک بار انجام گرفت. اندازه گیری ارتعاشات جاده هنگام حمل هندوانه از خوزستان که یکی از مهمترین قطبهای تولید این محصول در کشور می باشد، به یکی از عمده ترین بازارهای مصرف آن (تهران)، صورت گرفت. وسایل نقلیه مورد آزمایش به صورت تصادفی و از بین کامیونهای حامل هندوانه انتخاب شدند. برای این کار از سه کامیون (تک) با عمرهای مختلف (۳، ۵ و ۶ سال)، استفاده شد. داده های اصلی برای آنالیز به صورت میانگین داده های اندازه گیری شده هر سه کامیون و میانگین قسمت های عقب، وسط و جلو کامیون، در نظر گرفته شد.



شکل ۱- طرحواره قسمت های مختلف سیستم اندازه گیری ارتعاشات جاده هنگام حمل و نقل

با استفاده از نرم افزارهای X-Trend و اکسل، داده های اندازه گیری شده در طی حمل و نقل، تجزیه و تحلیل شدند. با توجه به این که خصوصیات ارتعاشی هر نقطه به صورت جا به جایی و شتاب توسط ارتعاش سنج ها ثبت می گردید و از طرفی هنگام تحلیل ارتعاشات از فرکانس و شتاب استفاده شد، در این مطالعه با استفاده از رابطه بین فرکانس، شتاب و جا به جایی که در ارتعاشات وجود دارد، با استفاده از یک برنامه ساده در نرم افزار اکسل، فرکانس هر نقطه نیز از روی شتاب و جا به جایی آن نقطه محاسبه شد. بعد از این مرحله، شتابهای اندازه گیری شده و فرکانسهای محاسبه شده از لحاظ درصد پراکندگی

2.  $g = 9.81 \text{ m/s}^2$

1. Random

$$D_e = (abc)^{1/3} \quad (۱)$$

$$D_e / a = \text{ضریب کرویت} \quad (۲)$$

جدول ۱- پارامترهای تحت آزمایش برای بررسی اثر ارتعاشات بر روی مدول الاستیسیته هندوانه

متغیر مورد مطالعه	سطوح متغییر
فرکانس ارتعاش (Hz)	$F_1 = (۷/۵)$ و $F_2 = (۱۳)$
شتاب ارتعاش (g)	$A_1 = (۰/۳)$ و $A_2 = (۰/۷)$
زمان ارتعاش (min)	$T_1 = (۳۰)$ و $T_2 = (۶۰)$
موقعیت قرارگیری هندوانه‌ها داخل مخزن	بالا، وسط و پایین



شکل ۲- دستگاه شبیه ساز ارتعاشات جاده

برای تعیین جرم از ترازوی دیجیتال با دقت ۵ گرم استفاده شد. حجم هندوانه‌ها، براساس نیروی وارده بر اجسام شناور درون آب به دست آمد (Mohsenin, 1978). در میوه هندوانه صدمات وارده اکثراً به صورت نهانی است و در ظاهر ممکن است میوه سالم باشد ولی در نهان بافتهای آن صدمه دیده و نرم شده باشند (Martin, 1996). یکی از مهمترین پارامترهایی که نشان دهنده صدمات نهانی است، مدول الاستیسیته می‌باشد زیرا مدول الاستیسیته یکی از مهمترین خصوصیات میوه‌ها است و میزان تغییرات و کاهش آن نشان دهنده میزان صدمات نهانی وارده به محصول خصوصاً هنگام حمل و نقل است (Hinsch et al., 1993; O'Brien & Fridley, 1970; Sadrnia, 2007; Zohadie, 1982). در این تحقیق برای اندازه‌گیری میزان صدمات وارده به هندوانه از مقایسه مدول الاستیسیته قبل و بعد از آزمون استفاده شد. برای این کار از توده هندوانه مورد مطالعه به صورت تصادفی نمونه‌هایی به عنوان تیمار شاهد انتخاب و هیچ گونه فرآیندی بر روی آنها انجام نمی‌گرفت. پس از آن که تیمارهای مختلف ارتعاش داده می‌شدند، نمونه‌های شاهد و ارتعاش داده شده به مدت ۲۴ ساعت در شرایط یکسان نگهداری و مدول الاستیسیته آنها اندازه‌گیری شد. میزان اختلاف (کاهش) مدول الاستیسیته بین نمونه‌های شاهد و نمونه‌های مورد آزمایش، به صورت درصد به عنوان میزان صدمه در نظر

جدول ۱، پارامترهای مورد تحت آزمایش را نشان می‌دهد. این پارامترها عبارتند از: فرکانس ارتعاش، شتاب ارتعاش، مدت زمان ارتعاش، محل قرار گیری هندوانه‌ها داخل مخزن. اثر پارامترهای مذکور به صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح آماری بلوکهای کامل تصادفی و با سه تکرار بر روی نمونه هندوانه‌ها، مورد مطالعه قرار گرفت. کل تیمارهای مورد مطالعه  $(۳ \times ۳ \times ۲ \times ۲)$ ، ۷۲ عدد بود. برای هر تیمار، ۲۰ عدد هندوانه انتخاب و آزمایش شد. میانگین صدمات بر اساس تیمارهای مختلف بوسیله آزمون چند دامنه‌ای دانکن با هم مقایسه شدند. سطوح فرکانس و شتاب عبارت بودند از میانگین دو مورد از پراکنندگی‌های فرکانس و شتاب ارتعاش که دارای بیشترین درصد فراوانی بودند. مدت زمان ارتعاش دو سطح: ۳۰ و ۶۰ دقیقه در نظر گرفته شد، که زمان ۳۰ دقیقه می‌تواند نماینده حمل میوه در مسافت‌های متوسط و در حدود ۱۰۰۰ کیلومتر و ۶۰ دقیقه نماینده مسافت‌های طولانی و بیشتر از ۱۵۰۰ کیلومتر باشد (Acican et al., 2006; Olorunda & Tung, 1985). موقعیت (ارتفاع) قرارگیری هندوانه در مخزن نیز در سه سطح: لایه‌های زیرین، لایه‌های وسطی و لایه‌های بالایی، در نظر گرفته شد و اثر ارتفاع محصول داخل مخزن بر روی میزان صدمات بررسی گردید. برای ارتعاش‌دهی، هندوانه‌های داخل یک جعبه چوبی با ابعاد ۵۰ در ۵۰ و ارتفاع ۱۲۰ سانتی‌متر که به میز ارتعاشی دستگاه وصل شده بود قرار می‌گرفتند و سعی می‌شد در حد امکان شرایطی مانند حمل در داخل مخزن کامیون از جمله نحوه چیدن هندوانه‌ها و قراردادی پوشال بین هندوانه‌ها فراهم شود. در این تحقیق آزمایشات بر روی رقم هندوانه کریمسون سوئیت انجام گرفت. زیرا این رقم در حال حاضر در ایران و سایر نقاط جهان دارای بالاترین سطح زیر کشت است (FAO, 2005; Sadrnia, 2007; USDA, 1978). نمونه‌ها از مزارع نظرآباد کرج در اواخر تیر ماه ۱۳۸۶ تهیه و با احتیاط کامل به محل آزمایش انتقال یافتند که صدمه نبینند. نمونه‌ها در طی آزمایش در دمای ۵ درجه سانتی‌گراد و رطوبت ۹۰-۸۵ درصد نگهداری شدند. خواص فیزیکی هندوانه‌ها شامل، ابعاد هندسی، حجم و جرم متوسط اندازه‌گیری شد و سپس ضریب کرویت، چگالی و میانگین هندسی قطرها محاسبه گردید. ابعاد هندسی هندوانه‌ها در سه جهت عمود بر هم  $a$ ،  $b$  و  $c$  تعیین شدند، که به ترتیب بزرگترین قطر، بزرگترین قطر عمود بر  $a$  و بزرگترین قطر عمود بر  $b$  می‌باشند. ابعاد فوق به کمک کولیس با عرض دهانه حداکثر ۵۰۰ میلی‌متر اندازه‌گیری شد. مقادیر میانگین هندسی قطرها ( $D_e$ ) و ضریب کرویت از روابط زیر استخراج گردید (Mohsenin, 1978):

توجه به جدول‌های ۲ و ۳، مشاهده می‌شود که ۹۷٪ فرکانسها و شتاب‌های اندازه‌گیری شده به ترتیب کمتر از ۴۰ Hz و ۲ g هستند. مقدار حداکثر داده‌های اندازه‌گیری شده برای فرکانس ارتعاش برابر ۶۵/۳۶ Hz و میانگین فرکانسها نیز برابر ۱۵/۴۷ Hz بود. حداکثر شتاب اندازه‌گیری شده برابر ۳/۲۱ g و میانگین شتابها نیز ۱/۵ g بود. نتایج به دست آمده از آنالیز فرکانس و شتاب ارتعاش در این مطالعه نزدیک به نتایج گزارش شده از اندازه‌گیری و آنالیز ارتعاشات حمل و نقل میوه در کامیون توسط: O'Brien & Fridley (۱۹۶۹)، O'Brien et al. (۱۹۷۰)، Slaughter et al. (۱۹۹۲)، Hirsch et al. (۱۹۹۳)، et al. (۱۹۹۳) و Timm et al. (۱۹۹۸) است.

پس از ارتعاش‌دهی تیمارهای مختلف هندوانه، میزان صدمات وارده اندازه‌گیری شد که عبارت بود از کاهش مدول الاستیسیته بافت قرمز و پوست هندوانه. نتایج آنالیز داده‌ها، نشان داد که میانگین کاهش مدول الاستیسیته بافت و پوست هندوانه‌های مورد آزمایش به ترتیب برابر ۴۰/۰۰٪ و ۲۹/۷۵٪ بود که به ترتیب کمترین و بیشترین مقدار آن برای بافت برابر ۱۲/۵۲٪ و ۸۵/۰۸٪ و برای پوست برابر ۶/۹۱٪ و ۷۳/۳۳٪ بود. جدول ۵، نتایج تجزیه واریانس داده‌ها (میانگین مربعات) را نشان می‌دهد.

جدول ۶، مقایسه میانگین‌های درصد کاهش مدول الاستیسیته بافت و پوست هندوانه در موقعیت‌های مختلف قرارگیری میوه در داخل مخزن بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن را نشان می‌دهد. مشاهده می‌شود که اختلاف بین میانگین درصد کاهش مدول بافت میوه‌های قرارگرفته در لایه‌های بالایی با لایه‌های وسطی و زیرین معنی‌دار است (در سطح پنج درصد). در مورد پوست، میانگین کاهش مدول در هر سه لایه با هم اختلاف معنی‌دار دارد. مشاهده می‌شود که میزان صدمه در لایه‌های بالایی در هر دو حالت بافت و پوست، بیشتر از لایه‌های زیرین و وسطی است و با افزایش ارتفاع قرارگیری میوه داخل مخزن، میزان صدمه نیز افزایش یافته است. این نتیجه مشابه نتایج گزارش شده توسط، O'Brien et al. (۱۹۶۹)، Mohsenin (۱۹۷۸)، Ogut et al. (۱۹۹۹) و Nicolai & Tijssens (۲۰۰۷) است.

در این مطالعه مشاهده شد که هندوانه‌هایی که در لایه‌های بالایی مخزن قرار گرفته بودند (ارتفاع ۱۲۰ cm)، هنگام ایجاد ارتعاش ناپایدار می‌شدند و به طور آزاد و قائم و به حالت دورانی حرکت می‌کردند و هنگامی که ارتعاش دستگاه در ۰/۳ تنظیم می‌شد، شتاب در لایه‌های بالایی نزدیک به ۱/۲ g بود که با ارتعاش سنج اندازه‌گیری شد.

گرفته شد (Erdogan et al., 2003; Olorunda & Tung, 1985; Zohadie, 1982) با توجه به این که میوه هندوانه از قسمت‌های مختلفی از جمله بافت قرمز و پوست (سبز و سفید)، تشکیل شده است که هر یک دارای خصوصیات خاصی هستند و تغییرات خواص آنها نسبت به هم می‌تواند متفاوت باشد، در این طرح، مدول الاستیسیته بافت قرمز و پوست اندازه‌گیری و مقایسه شد. برای اندازه‌گیری مدول الاستیسیته بافت قرمز، نمونه‌های استوانه‌ای به قطر ۲۵ و طول ۲۰ میلی‌متر و برای پوست نیز نمونه‌های استوانه‌ای به قطر ۱۴ و طول ۸ میلی‌متر انتخاب گردید (Chen et al., 1996; Martin, 1996; Masodi, 2004; Sadrnia, 2007)، برای تهیه نمونه‌ها، از نمونه‌گیرهای استوانه‌ای فلزی که به سه نظام دریل دستی بسته می‌شدند استفاده شد (Sadrnia, 2007). از هر نمونه هندوانه از بافت قرمز و پوست، چهار نمونه تهیه شد و توسط دستگاه تست فشار و کشش ساخت شرکت سننام ایران، تحت بارگذاری فشاری تک محوری قرار داده شدند و با استفاده از نرم افزار تولیدی شرکت سازنده دستگاه، نمودار نیرو - تغییر شکل برای هر یک ترسیم گردید. سرعت بارگذاری تمام نمونه‌ها بر اساس استاندارد تعیین خواص مکانیکی بافت مواد غذایی انجمن مهندسان کشاورزی آمریکا (۲)، ۲۵ میلی‌متر بر دقیقه انتخاب گردید. مدول الاستیسیته برای هر نمونه از روی نمودار نیرو - تغییر شکل با استفاده از نرم افزار سننام، محاسبه گردید. تجزیه و تحلیل آماری نتایج با استفاده از نرم افزارهای: SPSS و MSTATC، صورت گرفت.

## نتایج و بحث

جدول ۲، برخی از خواص فیزیکی و مکانیکی نمونه هندوانه‌های مورد آزمایش را نشان می‌دهد. با توجه به نتایج به دست آمده از اندازه‌گیری و آنالیز ارتعاشات جاده در مخزن کامیونها هنگام حمل میوه هندوانه، بیشترین مقدار فراوانی فرکانس برابر با ۳۳/۲۰٪ بود که در دامنه فرکانس ۱۰-۵ Hz رخ داده است و بعد از آن دومین مقدار مربوط به دامنه ۱۵-۱۰ Hz با فراوانی ۳۰/۱۷٪ بود (جدول ۳). بنابراین، این دو دامنه دارای بیشترین فراوانی فرکانس ارتعاش بودند که به ترتیب میانگین فرکانسهای اندازه‌گیری شده در این دامنه‌ها برابر با ۷/۴۹ Hz و ۱۳/۰۳ Hz است. جدول ۴، نتایج آنالیز شتاب‌های اندازه‌گیری شده را نشان می‌دهد. با توجه به داده‌های این جدول، مشاهده می‌شود که دامنه‌های شتاب ۰/۵-۰/۲۵ g و ۰/۷۵-۰/۵۰ g دارای بیشترین درصد فراوانی هستند که میزان فراوانی این دو دامنه به ترتیب برابر ۳۵/۰۶٪ و ۲۳/۵۹٪ است و میانگین شتاب‌های اندازه‌گیری شده در این دامنه‌ها به ترتیب برابر با ۰/۳۱ g و ۰/۷۱ g است. با

بیشتری به فرکانسهای پایین دارند و هنگامی که این فرکانسها با شتاب (جا به جایی) بیشتر ترکیب شوند، باعث می‌شود که میوه انرژی بیشتری را از ارتعاش دریافت نموده و حالت تشدید و بی وزنی پیش آید و در نتیجه بافت آن صدمه ببیند. این موضوع توسط Fischer et al. (۱۹۹۰)، در مورد توت‌فرنگی و انگور بیان شده است. آنها بیان داشته‌اند که حساس‌ترین فرکانس برای این دو میوه فرکانس‌های ۵-۱۰ Hz است و بیشترین صدمه به انگور در فرکانس‌های ۷-۱۰ Hz و در مورد توت‌فرنگی در ۵-۷/۵ Hz رخ داده است. در مورد پوست هندوانه بیشترین صدمه در فرکانس ۱۳ Hz رخ داده است که میانگین صدمه وارده در فرکانس ۷/۵ Hz برابر ۲۰/۶۹٪ و در ۱۳ Hz برابر ۳۸/۸۱٪ است که نشان دهنده این موضوع است با افزایش فرکانس و شتاب، میزان صدمه پوست افزایش یافته است. کمترین و بیشترین درصد کاهش مدول پوست به ترتیب برابر ۱۴/۳۶ و ۵۱/۲۳٪ است که به ترتیب مربوط به ترکیبات فرکانس ۷/۵ Hz با شتاب ۰/۳ g و فرکانس ۱۳ Hz با شتاب ۰/۷ g است.

شکل ۳، اثرات متقابل فرکانس و شتاب ارتعاش بر روی درصد کاهش مدول الاستیسیته هندوانه در آزمون دانکن چند دامنه‌ای را نشان می‌دهد. با توجه به شکل مشاهده می‌شود که در هر دو حالت بافت و پوست، در هر فرکانس با افزایش شتاب ارتعاش، میزان کاهش مدول الاستیسیته افزایش یافته است و صدمه وارده به بافت میوه شدیدتر از پوست آن است. میزان صدمه وارده به بافت میوه در فرکانس ۷/۵ Hz، بیشتر از فرکانس ۱۳ Hz است. میانگین صدمه وارده به بافت در فرکانس ۷/۵ Hz برابر ۵۱/۷۹٪ و در ۱۳ Hz برابر ۳۶/۲۲٪ است. کمترین درصد کاهش مدول بافت برابر ۲۲/۹۵٪ است که در ترکیب فرکانس ۱۳ Hz با شتاب ۰/۳ g رخ داده است و بیشترین مقدار برابر ۶۵/۹۵٪ است که مربوط به ترکیب فرکانس ۷/۵ Hz با شتاب ۰/۷ g است که نشان دهنده این موضوع است که بافت هندوانه حساسیت بیشتری به فرکانسهای پایین و شتاب دارد و سیستم تعلیق وسیله حمل کننده باید طوری باشد که از ایجاد فرکانسهای پایین هنگام حمل هندوانه جلوگیری شود. دلیل این امر را به این صورت می‌توان بیان کرد که مواد نرم حساسیت

جدول ۲- برخی از خواص فیزیکی و مکانیکی نمونه هندوانه‌های مورد آزمایش

متغیر	خواص فیزیکی			خواص مکانیکی		
	جرم (g)	حجم (cm <sup>3</sup> )	چگالی (g/cm <sup>3</sup> )	ضریب کروییت هندسی قطرها (mm <sup>-1</sup> )	مدول الاستیسیته بافت (MPa)	مدول الاستیسیته پوست (MPa)
میانگین	۵۹۰۲/۸۵	۶۸۶۸/۱۵	۰/۸۵۹	۰/۹۲۵۳	۲۱۳/۹۱	۲/۶۳۴۱
انحراف معیار (SD)	۵۶۰/۴۱	۴۵۶/۸	۰/۰۱۶	۰/۰۳۹	۸/۹۷	۰/۱۲۳
ضریب تغییرات (CV%)	۱۱/۲۷	۱۰/۴۲	۰/۹۷	۳/۱۰	۵/۱۹	۱/۲۳

جدول ۳- فراوانی فرکانس ارتعاشات اندازه‌گیری شده در دامنه‌های مختلف (%)

موقعیت اندازه‌گیری	دامنه (رنج) فرکانس Hz							
	۰-۵ Hz	۵-۱۰ Hz	۱۰-۱۵ Hz	۱۵-۲۰ Hz	۲۰-۲۵ Hz	۲۵-۳۰ Hz	۳۰-۴۰ Hz	>۴۰ Hz
جلو	فراوانی فرکانس ارتعاش (%)							
	(میانگین فرکانسهای اندازه‌گیری شده در دامنه)							
	۶/۲۲	۳۴/۱۹	۲۶/۴۹	۱۵/۳۶	۸/۳۰	۴/۱۸	۳/۰۷	۲/۱۹
	(۳/۳۰ Hz)	(۷/۴۰ Hz)	(۱۳/۰۲ Hz)	(۱۸/۳۰ Hz)	(۲۲/۴۹ Hz)	(۲۶/۱۶ Hz)	(۳۴/۷۲ Hz)	-
	۴/۱۹	۲۳/۱۲	۳۴/۰۲	۱۱/۲۳	۷/۱۲	۴/۱۳	۳/۱۸	۳/۰۲
(۲/۲۲ Hz)	(۷/۹۹ Hz)	(۱۴/۰۱ Hz)	(۱۷/۴۲ Hz)	(۲۳/۱۸ Hz)	(۲۷/۱۲ Hz)	(۳۷/۹۲ Hz)	-	
وسط	۸/۴۷	۳۲/۲۹	۳۰/۱۰	۱۲/۱۱	۶/۷۹	۵/۰۹	۲/۲۲	۴/۱۲
	(۴/۰۱ Hz)	(۷/۱۰ Hz)	(۱۲/۱۵ Hz)	(۲۱/۱۷ Hz)	(۲۴/۰۲ Hz)	(۲۸/۰۷ Hz)	(۳۵/۱۸ Hz)	-
	۶/۲۹	۳۳/۲۰	۳۰/۱۷	۱۲/۹	۷/۴۰	۴/۴۶	۲/۸۲	۳/۱۱
	(۳/۱۸ Hz)	(۷/۴۹ Hz)	(۱۳/۰۳ Hz)	(۱۷/۵۵ Hz)	(۲۳/۲۳ Hz)	(۲۷/۱۱ Hz)	(۳۵/۹۴ Hz)	-
	۳/۱۸	۳۳/۲۰	۳۰/۱۷	۱۲/۹	۷/۴۰	۴/۴۶	۲/۸۲	۳/۱۱
(۳/۱۸ Hz)	(۷/۴۹ Hz)	(۱۳/۰۳ Hz)	(۱۷/۵۵ Hz)	(۲۳/۲۳ Hz)	(۲۷/۱۱ Hz)	(۳۵/۹۴ Hz)	-	

در شکل ۴، اثرات متقابل فرکانس و زمان ارتعاش بر روی درصد کاهش مدول الاستیسیته هندوانه نشان داده شده است. با توجه به شکل مشاهده می‌شود که با ثابت بودن فرکانس و افزایش زمان ارتعاش، میزان درصد کاهش مدول الاستیسیته بافت و پوست هندوانه افزایش یافته است. این نتیجه مشابه

نتایج گزارش شده توسط Mohsenin (۱۹۷۸) و Schulte et al. (۱۹۹۰) است که گزارش کرده‌اند با افزایش زمان ارتعاش، میزان صدمه ناشی از ارتعاشات افزایش می‌یابد. میزان صدمه وارده به بافت با ثابت بودن زمان، در فرکانس ۷/۵ Hz بیشتر از ۱۳ Hz است. بیشترین و کمترین درصد کاهش مدول الاستیسیته بافت

جدول ۴- فراوانی شتاب ارتعاشات اندازه‌گیری شده در دامنه‌های مختلف (%)

موقعیت اندازه‌گیری	دامنه (رنج) شتاب g							
	>۲ g	۱/۵۰-۲ g	۱/۲۵-۱/۵۰ g	۱-۱/۲۵g	۰/۷۵-۱g	۰/۵-۰/۷۵ g	۰/۲۵-۰/۵ g	۰-۰/۲۵g
	فراوانی شتاب (%)							
	میانگین شتاب‌های اندازه‌گیری شده در دامنه							
جلو	٪۲/۱۲	٪۴/۲۳	٪۲/۷۶	٪۵/۱۹	٪۱۰/۲۴	٪۲۰/۱۶	٪۳۲/۴۳	٪۲۱/۸۲
	-	(۱/۷۲ g)	(۱/۲۹ g)	(۱/۰۸ g)	(۰/۸۳ g)	(۰/۶۸ g)	(۰/۲۵ g)	(۰/۱۵ g)
وسط	٪۲/۵۵	٪۴/۰۷	٪۵/۰۳	٪۴/۴۷	٪۱۱/۵۱	٪۲۳/۱۳	٪۳۵/۵۸	٪۱۳/۶۶
	-	(۱/۷۱ g)	(۱/۳۴ g)	(۱/۱۲ g)	(۰/۸۴ g)	(۰/۷۲ g)	(۰/۲۷ g)	(۰/۱۷ g)
عقب	٪۳/۱۷	٪۳/۲۵	٪۴/۳۰	٪۵/۷۹	٪۹/۷۵	٪۲۷/۴۹	٪۳۷/۱۸	٪۸/۴۷
	-	(۱/۸۶ g)	(۱/۳۷ g)	(۱/۱۸ g)	(۰/۸۸ g)	(۰/۷۳ g)	(۰/۴۲ g)	(۰/۱۸ g)
میانگین	٪۲/۶۱	٪۳/۸۵	٪۴/۱۳	٪۵/۱۵	٪۱۰/۵۰	٪۲۳/۵۹	٪۳۵/۰۶	٪۱۵/۱۹
	-	(۱/۷۷ g)	(۱/۳۰ g)	(۱/۱۲ g)	(۰/۸۵ g)	(۰/۷۱ g)	(۰/۳۱ g)	(۰/۱۶ g)

جدول ۵- نتایج تجزیه واریانس داده‌های مربوط به اثر پارامترهای مختلف بر کاهش مدول الاستیسیته هندوانه (میانگین مربعات)

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات (MS)	
		کاهش مدول الاستیسیته بافت	کاهش مدول الاستیسیته پوست
	(%)	(%)	
بلوک	۲	۳۳۹/۷۷**	۲۲۵/۰۶**
فرکانس ارتعاش (F)	۱	۱۴۳۶۴/۱۱**	۵۹۱۲/۲۳**
شتاب ارتعاش (A)	۱	۱۳۵۴۸/۲۰**	۶۳۲۱/۹۹**
F×A	۱	۱۴/۳۹ <sup>ns</sup>	۶۶۵/۸۴**
زمان ارتعاش (T)	۱	۵۵۴۶/۰۸**	۳۴۰۵/۴۷**
F×T	۱	۲۳/۲۹ <sup>ns</sup>	۴/۸۰ <sup>ns</sup>
A×T	۱	۲/۴۵ <sup>ns</sup>	۱۰۹/۱۱**
F×A×T	۱	۶۰۴/۰**	۲۸/۷۴ <sup>ns</sup>
موقعیت داخل مخزن (P)	۲	۸۵۱/۶۰**	۱۶۷/۵۳**
F×P	۲	۱۲۲/۵۸ <sup>ns</sup>	۹/۴۷ <sup>ns</sup>
A×P	۲	۳۱/۷۸ <sup>ns</sup>	۱۵/۳۸ <sup>ns</sup>
F×A×P	۲	۸۰/۱۸ <sup>ns</sup>	۱/۸۱ <sup>ns</sup>
T×P	۲	۳۹/۲۵ <sup>ns</sup>	۱۱/۱۷ <sup>ns</sup>
F×T×P	۲	۱۲۲/۹۷*	۲۵/۹۴ <sup>ns</sup>
A×T×P	۲	۴۵/۸۸ <sup>ns</sup>	۶/۵۶ <sup>ns</sup>
F×A×T×P	۲	۵۲/۱۳ <sup>ns</sup>	۱۳/۳۷ <sup>ns</sup>
خطا	۴۶	۵۲/۵۰	۱۲/۴۳

\*\* معنی‌دار در سطح یک درصد \* معنی‌دار در سطح پنج درصد ns عدم وجود اختلاف معنی‌دار

جدول ۶- مقایسه میانگین‌های درصد کاهش مدول الاستیسیته بافت و پوست هندوانه در موقعیت‌های مختلف قرارگیری میوه در داخل مخزن بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن

موقعیت قرار گیری میوه داخل مخزن	کاهش مدول الاستیسیته (%)	
	بافت	پوست
بالا	۵۰/۵۵ a	۲۲/۳۶ a
وسط	۴۲/۵۶ b	۲۹/۸۱ b
پایین	۳۸/۹۰ b	۲۷/۰۸ c

میانگین‌هایی که دارای حرف مشترک هستند، اختلاف معنی‌دار در سطح پنج درصد با هم ندارند.

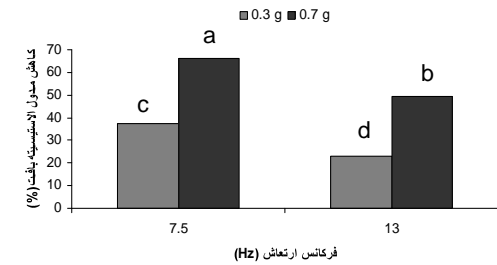
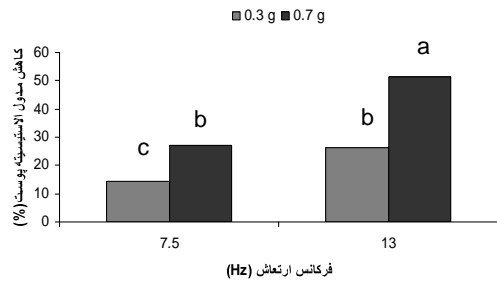
به ترتیب برابر ۶۱/۱۳ و ۲۸/۰۱ است که به ترتیب مربوط به ترکیب فرکانس ۷/۵ Hz با زمان ۶۰ دقیقه و فرکانس ۱۳ Hz، با زمان ۳۰ دقیقه است. این نتیجه نشان می‌دهد که اگر فرکانس ارتعاش حمل و نقل نزدیک به ۷/۵ Hz باشد، در زمان کوتاه تری



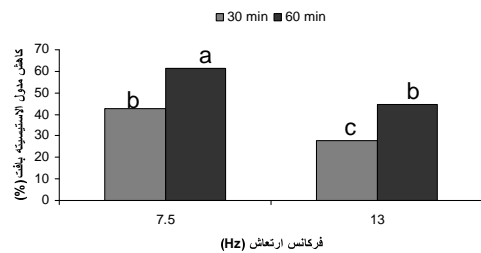
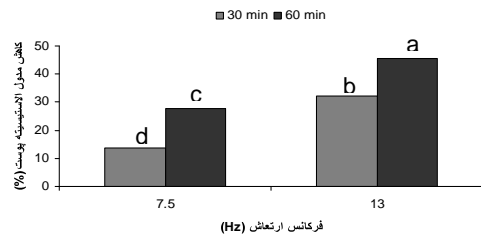
افزایش زمان از ۳۰ به ۶۰ دقیقه از ۴۸/۷۶ به ۶۶/۶۸٪ و مدول بافت از ۳۱/۰۱ به ۴۷/۲۳٪ افزایش یافته است. در شتاب  $g$  ۰/۳ نیز، درصد کاهش مدول بافت از ۲۱/۹۶ به ۳۸/۸۸ و مدول پوست از ۱۴/۷۳ به ۲۶/۰۳٪ افزایش یافته است.

متوسط کاهش مدول بافت در شتاب  $g$  ۰/۷ برابر ۵۷/۷۳٪ و در شتاب  $g$  ۰/۳ برابر ۳۰/۲۸٪ است و در مورد پوست نیز به ترتیب برابر ۳۹/۱۲ و ۲۰/۳۸٪ است. در مورد بافت نسبت صدمه شتاب  $g$  ۰/۷ به  $g$  ۰/۳ برابر ۱/۹۱ و در مورد پوست ۱/۹۱ است. که نشان دهنده این موضوع است، با افزایش شتاب ارتعاش میزان صدمه به طور شدید افزایش می یابد و این صدمه زمانی زیاد است که شتاب بالا با زمان طولانی همراه باشد. این نتیجه مشابه نتایج گزارش شده توسط O'Brien & Guillo (۱۹۶۹) و Chesson & O'Brien (۱۹۷۱) و O'Brien et al. (۱۹۶۹) است. دلیل افزایش صدمه با افزایش شتاب را به این صورت می توان بیان کرد که با توجه به این که شتاب ارتعاش بر روی میزان نیرو و قدرت ارتعاش اثر می گذارد و هرچه شتاب بیشتر باشد قدرت و شدت نیروی وارده نیز زیاد می شود، از این رو هنگام حمل میوه اگر شتاب ارتعاش زیاد باشد اندازه و شدت نیروهای عمل کننده بر روی میوه که به صورت نیروهای تکراری است افزایش می یابد و در نتیجه باعث تخریب بافتهای میوه و افزایش صدمات می شود. هنگامی که شتاب بالا با زمان طولانی نیز ترکیب شود، مدت زمان و تکرار نیروهای وارده بر میوه افزایش می یابد و باعث می شود که حالت بار گذاری و بار برداری مکرر تکرار و در نتیجه سبب تسلیم بافتهای میوه شود.

شکل ۶، اثرات دوگانه فرکانس و موقعیت قرارگیری هندوانه داخل مخزن بر روی درصد کاهش مدول الاستیسیته هندوانه را نشان می دهد. مشاهده می شود که در هر دو حالت بافت و پوست، با ثابت بودن فرکانس، میزان صدمه وارده به هندوانه های لایه های بالایی بیشتر از لایه های میانی و پایینی است. نتایج مشابه برای اثرات متقابل شتاب و زمان ارتعاش با موقعیت قرارگیری هندوانه داخل مخزن به دست آمد. مقایسه میانگین های اثرات دوگانه در این شکل با استفاده از آزمون چند دامنه ای دانکن در سطح پنج درصد صورت گرفته است. کمترین درصد کاهش مدول بافت هندوانه برابر ۳۳/۴۴٪ است که در لایه های زیرین و در فرکانس ۱۳ Hz، رخ داده است. بیشترین مقدار برابر ۶۰/۵۲٪ است که مربوط به لایه های بالایی و در فرکانس ۷/۵ Hz است. در مورد پوست هندوانه نیز کمترین و بیشترین مقدار کاهش مدول برابر ۱۸/۷۴ و ۴۱/۷۴٪ است که به ترتیب مربوط به لایه های زیرین در فرکانس ۷/۵ Hz

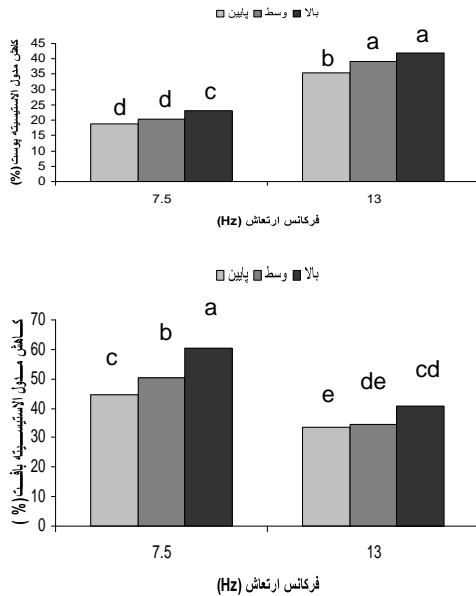


شکل ۳- اثر متقابل فرکانس و شتاب ارتعاش بر روی درصد کاهش مدول الاستیسیته هندوانه

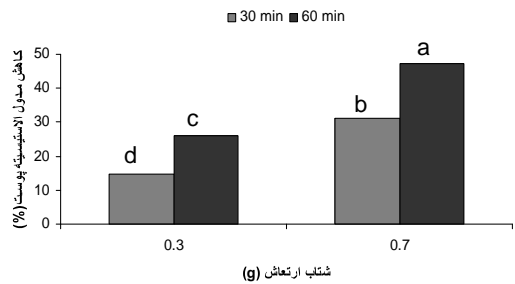


شکل ۴- اثر متقابل فرکانس و زمان ارتعاش بر روی درصد کاهش مدول الاستیسیته هندوانه

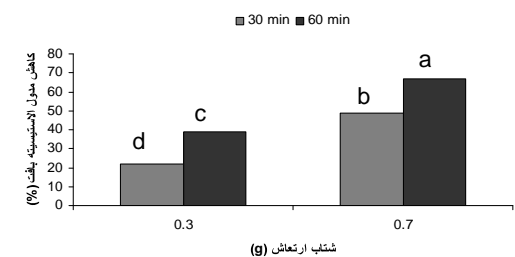
در شکل ۵، اثر متقابل شتاب و زمان ارتعاش بر روی درصد کاهش مدول الاستیسیته هندوانه نشان داده شده است. مقایسه میانگینهای اثرات دو گانه شتاب و زمان ارتعاش در این شکل با استفاده از آزمون چند دامنه ای دانکن در سطح پنج درصد صورت گرفته است. با توجه به شکل مشاهده می شود که در هر دو حالت بافت و پوست هندوانه، درصد کاهش مدول با افزایش شتاب و زمان افزایش یافته است، اما اثرات بر روی بافت شدیدتر از پوست است. در شتاب  $g$  ۰/۷، درصد کاهش مدول بافت با



شکل ۶- اثر متقابل فرکانس و موقعیت هندوانه داخل مخزن بر روی درصد کاهش مدول الاستیسیته



شکل ۵- اثر متقابل شتاب و زمان ارتعاش بر روی درصد کاهش مدول الاستیسیته هندوانه



میوه ممکن است در ظاهر سالم باشد ولی بافت داخلی آن صدمه دیده و نرم شده باشد. بافت هندوانه به ارتعاشات با فرکانس ۷/۵ Hz و شتاب ۰/۷ g، حساسیت دارد و اگر ارتعاش وسیله حمل کننده با مشخصات بالا مطابقت داشته باشد، باعث تخریب بافت می شود. ارتفاع قرارگیری میوه داخل مخزن بر روی میزان صدمه تاثیر می گذارد، از این رو هنگام حمل، باید از چیدن بیش از حد هندوانه روی هم جلوگیری شود. اگر هندوانه با کامیونهای متداول و به صورت توده‌ای در شرایط فعلی حمل شود، نمی توان بر روی صادرات آن به کشورهای دور سرمایه گذاری کرد، لذا پیشنهاد می شود جهت توسعه صادرات تحقیقاتی در مورد بسته بندی هندوانه انجام گیرد و بهترین بسته بندی از لحاظ ماده تشکیل دهنده بسته، تعداد هندوانه‌ها داخل بسته و نحوه چیدن بسته‌ها داخل مخزن، مشخص شود.

لایه‌های بالایی و فرکانس ۱۳ Hz است. نتایج این قسمت مشابه نتایج گزارش شده توسط Ogut et al. (۱۹۹۹)، در مورد اثر موقعیت میوه داخل مخزن بر تغییرات مدول الاستیسیته میوه هلو است.

#### نتیجه گیری

به طور خلاصه از مطالب بیان شده می توان نتایج زیر را بیان کرد:

نتایج این مطالعه نشان داد که کامیون‌های متداول در کشور که برای حمل هندوانه و سایر میوه‌ها استفاده می شوند، دارای ارتعاشات عمودی هستند که فرکانسهای ۵-۱۰ Hz و ۱۵-۱۰ Hz و شتاب‌های ۰/۲۵-۰/۵ g و ۰/۱۵-۰/۷۵ g، دارای بیشترین پراکندگی هستند. میزان ارتعاشات در قسمت‌های عقب و بالای مخزن کامیون بیشتر از سایر نقاط است. میزان صدمه وارده به بافت هندوانه بیشتر از پوست آن است و

#### REFERENCES

Acican, T., Alibas, K. & Ozelkok, I. S. (2006). Mechanical damage to apples during transport in wooden crates. *Biosystems Engineering*, 96, 239-248.

American Society of Agricultural Engineering (ASAE). (2003). Compression test of food material of convex shape. ASAE standard no: S368.4 DEC00.

Armstrong, P. R., Stone, M. L. & Brusewitz, G. H. (1977). Nondestructive acoustic and compression measurements of watermelon for internal damage detection. *Applied Engineering in Agriculture*, 13(5), 641-645

Barchi, G. L., Berardinelli, A., Guarnieri, A., Ragni, L. & Totaro Fila, C. (2002). Damage to loquasts by vibration-simulating intra-state transport. *Biosystems Engineering*, 82, 305-312.

Ceponis M.J., & Butterfield J.E. (1974). Retail and consumer losses of western pears in metropolitan New York. *Hort. Sci*, 9(5), 447-448.

- Chen, H., De Baerdemaeker, J., & V. Bellon,. (1996). Finite element study of the melon for nondestructive sensing of firmness. *Transactions of the ASAE*, 39(3), 1057-1065.
- Chesson, J.H. & M. O'Brien. (1971). Analysis of mechanical vibration of fruit during transportation. *Transactions of the ASAE*, 14, 222-224.
- Diezma-Iglesias B., M. Ruiz-Altisent, & P. Barreiro. (2004). Detection of internal quality in seedless watermelon by acoustic impulse response. *Biosystems Engineering*, 88(2), 221-230.
- Erdogan, D. Guner, M. Dursun, E & I. Gezer. (2003). Mechanical harvesting of apricots. *Biosystem Engineering*, 85(1),19-28.
- Fischer, D., Craig, W. & Ashby, B.H. 1990. Reducing transportation damage to grapes and strawberries. *Journal of Food Distribution Research*, 21, 193-202
- Food & Agriculture Organization of the United Nations (FAO). <http://www.fao.org>. Copyright 2005.
- Hinsch, R.T., Slaughter, D.C., Craig, W.L. & Thompson, J.F. (1993). Vibration of fresh fruits and vegetables during refrigerated truck transport. *Transactions of the ASAE*, 36, 1039-1042.
- Holt, J.E, & 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
- Laurenti, R., Fabbro, I.M. & Cren, E.C. (2002). *Mechanical effect of periodical loading of vegetative materials*. Paper No: 02-PH-052. Ag Eng 2002 World Conference. 30June-4July2002. Budapest, Hungary.
- Martin. C. (1996). Quality assurance for melons. *Perishables handling newsletter*. Issue No:85
- Masodi, H. (1383). *Measurment of change of Mechanical properties of three varieties of export apple during storage*. MSc thesis. Agrilcutre Faculty. University of Tehran. (In Farsi)
- Mohsenin, N. N. (1978). *Physical Properties of Food and Agricultural Materials*. 2nd Revised and Update Edition. Gordon and Breach Science Publishers. New York.
- Nicolai, B.M. & Tijsknes, E. (2007). Impact damage of apples during transport and handling. *Postharvest biology and technology*. 45,157-167
- O'Brien M, & Fridley, R.B. (1970). Measurement of vibrations related to harvesting and handling of fruits and vegetables. *Transactions of the ASAE*, 13 (6), 870- 873.
- O'Brien, M. & Guillou, R. (1969). An in-transit vibration simulator for fruit-handling studies. *Transactions of the ASAE*, 12, 94-97.
- O'Brien, M., Pearl, R.C., Vilas Jr, E.P. & Driesbach, R. L. (1969). The magnitude and effect of in-transit vibration damage of fruits and vegetables on processing quality and yield. *Transactions of the ASAE*, 12, 452-455.
- Ogut, H., Peker, A. & Aydin, C. 1999. Simulated transit studies on peaches: effects of container cushion materials and vibration on elasticity modulus. *Agricultural Mechanization in Asia, Africa and Latin America*, 30, 59-62.
- Olorunda, A.O. & Tung, M.A. (1985). Simulated transit studies on tomatoes: effects of compressive load, container, vibration and maturity on mechanical damage. *Journal of Food Technology*, 20, 669-678.
- Sadrnia, H. (2007). *Mechanical properties of watermelon and three dimensions analysis of stress distribution, Using LPM*. Ph. D. thesis. Agricultural Faculty, University of Tehran.
- Schulte-Pason, N.L., Timm, E.J., Brown, G.K., Marshall, D.E. & Burton, C.L. (1990b). Apple damage assessment during interstate transportation. *Applied Engineering in Agriculture*, 6, 753-758
- Singh, S.P, & Xu, M. (1993). Bruising in apples as a function of truck vibration and packaging. *Applied Engineering in Agriculture*, 9, 455-460.
- Sitkei, G. (1986). *Mechanics of Agricultural Materials*. Elsevier, Amsterdam.
- Slaughter, D.C., Hinsch R.T. & Thompson, J.F. (1993). Assessment of vibration injury to Bartlett pears. *Transactions of the ASAE*, 36, 1043-1047
- Statistic and Information office of Agricultural Jahad Minstery. (2004). *Agricultural statistic letter*, v2.
- Timm, E.J., Brown, G.K. & Armstrong, P.R. (1996). Apple damage in bulk bins during semi-trailer transport. *Applied Engineering in Agriculture*, 12, 369-377
- United States Department of Agriculture (USDA). (1978). *United States Standards for Grades of Watermelons*. Washington, D. C.
- Van Zeebroeck, M., Tijskens, E., Dintwa, E., Kafashan, J., Loodts, J., De Baerdemaeker, J., & Ramon, H. (2006). 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.
- Vergano, P.J., Testin, R.F. & Nevall, W.C. (1991). Peach bruising Susceptibility to impact, vibration and compression abuse. *Transactions of the ASAE*, 34, 2110-2116.
- Zohadie, B. M. (1982). Elasticity of Malaysian papaya as a design criterion for prevention of damage during transportation. *Pertanika*, 5 (2), 178-183.