

اثر ارتعاشات شبیه سازی شده حمل و نقل بر روی کاهش وزن میوه زردآلو

فیض الله شهبازی

دانشیار مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه لرستان، ایران

تاریخچه مقاله	چکیده
دریافت: ۱۳۹۴/۰۷/۱۸ پذیرش نهایی: ۱۳۹۵/۰۷/۲۳	حمل و نقل نامناسب محصولات کشاورزی باعث ایجاد آسیب‌های مکانیکی بر روی آن‌ها می‌شود. شکل آسیب بستگی به خواص فیزیکی و مکانیکی محصول و نوع بار وارد شده. ارتعاشات ایجاد شده هنگام حمل و نقل باعث تکان خوردن محصول و برخورد آن با سطوح اجزا ماشین حمل کننده و دیگر قسمت‌ها می‌شود و در نتیجه باعث تغییر شکل بافت‌های آن و ایجاد صدمه می‌گردد. در این مطالعه اثرات فرکانس ارتعاش (۵، ۷/۵، ۱۰، ۱۲/۵ Hz)، زمان ارتعاش (۱۵ و ۳۰ دقیقه) و موقعیت قرارگیری داخل مخزن (پایین، وسط و بالا) در شتاب ثابت ۰/۷ g بر روی میزان صدمات وارد شده به میوه زردآلو مورد مطالعه قرار گرفت. ابتدا یک دستگاه شبیه ساز ارتعاشات در آزمایشگاه طراحی و ساخته شد و با استفاده از آن ارتعاشات حمل و نقل بر روی میوه‌ها شبیه سازی و اثر پارامترهای مختلف بر روی میزان صدمات بررسی شد. میزان صدمه بر مبنای اختلاف بین میزان کاهش وزن میوه‌های ارتعاش داده شده با تیمارهای شاهد، بر حسب درصد در نظر گرفته شد. نتایج آنالیز داده‌ها نشان داد که اثرات فرکانس 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 ۱۰ Hz و مدت زمان ۳۰ دقیقه بیشترین صدمات را وارد کرده بودند. میزان صدمات وارده به میوه‌های واقع در لایه‌های بالایی مخزن به طور معنی داری بیشتر از لایه‌های وسطی و زیرین بود.
عده دار مکاتبات Email: shahbazi.f@lu.ac.ir	

مقدمه

طعم در دنیا مشهور است، به طوری که تقاضای جهانی برای مصرف این محصول در سال‌های اخیر رو به افزایش بوده است؛ بنابراین زردآلو می‌تواند جایگاه مناسبی در صادرات محصولات کشاورزی کشور داشته باشد. مهمترین مشکل زردآلو رطوبت زیاد و مقاومت کم در پوسته در مقایسه با سایر میوه‌ها است. این عوامل باعث گردیده‌اند که این محصول حساسیت زیادی در برابر

زردآلو^۱ یکی از با ارزش ترین میوه‌های تولید کشور ایران است. میزان تولید زردآلو در ایران حدود ۴۶۰ هزار تن است که ایران را در رتبه دوم از لحاظ تولید این محصول در جهان بعد از کشور ترکیه قرار داده است (۲). زردآلوی ایران از نظر کیفیت و کمیت، رنگ و

شهبازی: اثر ارتعاشات شبیه سازی شده حمل و نقل...

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 را که با آن‌ها در تماس هستند نیز به خطر خواهند انداخت. با شناخت خواص میوه می‌توان حالت‌هایی را که در آن‌ها آسیب میوه رخ می‌دهد، ارزیابی کرد و به طور تقریبی وقوع یا عدم وقوع آسیب را پیش‌بینی نمود 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 حد خستگی برسد؛ زیرا بافت‌های بیولوژیکی میوه در اثر بارهای تکراری نرم می‌شوند و از مقاومت آن‌ها کاسته می‌شود و در نتیجه صدمه می‌بینند (۲۷). 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 تعلیق وسیله)، شرایط جاده، سرعت حرکت وسیله نقلیه، نوع بسته‌بندی میوه‌ها و روش چیدن و موقعیت بسته‌ها یا میوه در داخل مخزن وسیله، دارد (۱۷).

در برخی از میوه‌ها مانند سیب و گلابی که دارای قسمت گوشتی ضخیم هستند، آسیب‌های مکانیکی معمولاً به صورت ظاهری و به حالت کوفتگی و یا تغییر شکل و رنگ بافت‌های خارجی می‌باشد و به راحتی قابل مشاهده و اندازه‌گیری است؛ اما در برخی دیگر مانند زردآلو به دلیل داشتن قسمت گوشتی نازک و داشتن

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 و بافت گوشتی و قشر داخلی، آلودگی میکروبی و فساد آن و همچنین ایجاد طعم بد شود (۶)؛ لذا با شناخت صدمات وارده به زردآلو هنگام حمل و نقل و برنامه‌ریزی در جهت کاهش صدمات، می‌توان برای آن جایگاه صادراتی مناسبی در نظر گرفت.

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 بسته‌بندی باید به صورتی انجام گیرند که آسیب کمتری به آن‌ها وارد شود. از بین محصولات کشاورزی، میوه‌ها 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 فرآیند، حدود ۳۰ تا ۴۰ درصد، تخمین زده می‌شود (۴). 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 وارد شده (بار استاتیک، دینامیک و نوسانی) دارد (۲۷). اگر وسیله حمل‌کننده مناسب نباشد، هنگام حمل و نقل باعث تکان خوردن شدید میوه و برخورد آن با سطوح ماشین حمل‌کننده و یا دیگر میوه‌ها می‌گردد و در نتیجه باعث تغییر شکل بافت‌های آن می‌شود. اگر این تغییر

داشته‌اند. هینسچ و همکاران^۶ (۱۱)، گزارش کرده‌اند که هنگام حمل گوجه فرنگی 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 تعلیق کامیون بادی باشد، فرکانس کمتر از ۳/۵ Hz به گوجه‌ها وارد می‌شود. اسلاگتر و همکاران^۷ (۲۸)، گزارش کرده‌اند که هنگام حمل میوه گلایی با کامیون، فرکانس‌های ۳/۵، ۹، ۱۸/۵ و ۴۰ Hz دارای بیشترین فراوانی بوده‌اند؛ آن‌ها همچنین گزارش کرده‌اند که شتاب‌های ۰/۵، ۰/۶۷ و ۰/۷۵ g دارای بیشترین فراوانی بوده‌اند. نتیجه تحقیقات سینگ و ایکسو^۸ (۲۶)، نشان داده است که هنگام حمل میوه سیب، بسته به نوع سیستم تعلیق کامیون، نوع بسته‌بندی میوه، روش چیدن بسته‌ها کنار هم و ارتفاع بسته‌ها داخل مخزن کامیون، ممکن است تا ۸۰ درصد میوه‌ها صدمه ببینند. تایم و همکاران^۹ (۳۰) 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. بررسی اثر ارتعاشات شبیه‌سازی شده حمل و نقل بر روی صدمات مربوط به کاهش مدول الاستیسیته هلو نشان داده است 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 (۲۰). میزان متوسط ضایعات میوه‌ها در فرآیند حمل و نقل بین ۳۰ تا ۴۰ درصد گزارش شده است (۲). نتایج به دست آمده از اندازه‌گیری و آنالیز ارتعاشات عمودی حمل و نقل جاده‌ای در ایران نشان

هسته سخت، تشخیص آسیب‌های مکانیکی غالباً مشکل است و آسیب‌های مکانیکی ناشی از حمل و نقل اکثراً به صورت نهانی و لهدگی قسمت گوشت میوه بروز می‌کند؛ چنان‌که ممکن است میوه در ظاهر سالم باشد، ولی بافت داخلی آن کاملاً صدمه دیده و نرم شده باشد. از جمله نتایج این صدمات می‌توان به افزایش تنفس، تولید اتیلن و کاهش وزن میوه اشاره کرد (۹ و ۱۴).

در مورد بررسی صدمات میوه‌ها در اثر ارتعاشات فرآیند حمل و نقل، مطالعاتی انجام گرفته که اکثراً در کشورهای پیشرفته بوده است و در ادامه به تعدادی از آن‌ها اشاره می‌شود. ابراین و همکاران^۱ (۱۹) گزارش کرده‌اند که شتاب ارتعاشات حمل میوه در لایه‌های زیرین برابر ۰/۲۲g در لایه‌های میانی ۰/۴۰ و در لایه‌های بالایی ۰/۸۱g است. ابراین و فریدلی^۲ (۱۷) بیان کرده‌اند که ارتعاشات ایجاد شده توسط حمل و نقل میوه با کامیون‌های دارای سیستم تعلیق مکانیکی (فتری) دارای شتابی در حدود ۰/۴g بر روی شاسی کامیون و حدود ۱g در بالاترین نقطه مخزن است. چیسون و ابراین^۳ (۸) خصوصیات ارتعاشی میوه پرتقال هنگام حمل و نقل را در شرایط آزمایشگاه با ارتعاش دهنده مکانیکی مورد مطالعه قرار داده و گزارش کرده‌اند که وقتی میوه‌ها داخل جعبه‌ای به ابعاد ۶۰×۶۰×۶۰ سانتیمتر قرار دارند، ۲ تا ۳ ردیف بالایی میوه هنگامی که شتاب ارتعاش به حدود ۰/۷g برسد، ناپایدار می‌شوند و تک تک میوه‌ها به طور آزادانه به طور قائم و دورانی حرکت می‌کنند. محسنین^۴ (۱۵) اثر فرکانس، شتاب و دوره (زمان) ارتعاش بر مقدار صدمات میوه‌ها هنگام حمل و نقل را موثر دانسته است. آرمسترونک و همکاران^۵ (۳) گزارش کرده‌اند که هنگام حمل میوه سیب در داخل جعبه‌های چوبی فرکانس‌های ۶ تا ۹ Hz بیشترین مقدار فراوانی را

6- Hinsch *et al.*
7- Slaughter *et al.*
8- Singh and Xu
9- Timm *et al.*

1- O'Brien *et al.*
2- O'Brien and Fridley
3- Chesson and O'Brien
4- Mohsenin
5- Armstrong *et al.*

موقعیت قرارگیری میوه زردآلو داخل مخزن بر روی میزان کاهش وزن میوه است.

مواد و روش‌ها

در این تحقیق صدمات وارده به میوه زردآلو در اثر ارتعاشات شبیه سازی شده مورد مطالعه قرار گرفت. نمونه میوه‌های مورد مطالعه از زردآلوی رقم شاهرودی از باغات حومه خرم آباد در اواخر اردیبهشت ماه ۱۳۹۳ تهیه و با احتیاط کامل به محل آزمایش انتقال یافتند تا صدمه نبینند. نمونه‌ها در طی آزمایش در دمای ۵ درجه سانتی‌گراد و رطوبت ۹۰-۸۵ درصد نگهداری شدند. برخی خواص فیزیکی (ظاهری) نمونه میوه‌های مورد مطالعه شامل ابعاد متوسط: طول، عرض و ضخامت با استفاده از کولیس دیجیتال با دقت ۰/۰۱ میلی‌متر اندازه‌گیری شد.

برای شبیه‌سازی ارتعاشات، دستگاه شبیه ساز ارتعاشات، آزمایشگاهی طراحی و ساخته شد. شکل ۱، شماتیک و عکس دستگاه مورد نظر را نشان می‌دهد. با توجه به شکل، مشاهده می‌شود که 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 دور متغیر در خلاف جهت هم می‌چرخند. 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 فنری نگهداری می‌شوند. یک سر تیرک‌ها از بالا و پایین به دو فنر (فنرهای بالایی و پایینی) و سر دیگر آن‌ها به صورت لولایی به تیرک‌های عمودی وصل شده است. به موتور الکتریکی یک دستگاه مبدل برق^۳ (تنظیم کننده دور موتور)، وصل گردیده است که با استفاده از آن

داده است که فرکانس‌های بین ۵ تا ۱۵ Hz و شتاب‌های ۰/۳ تا ۰/۷ g دارای بیشترین فراوانی بوده‌اند (۱۰). مطالعات مشابه‌ای در مورد سایر محصولات از جمله: هلو (۱۹ و ۲۰)، گلابی (۷، ۱۸ و ۲۸)، گوجه (۱۱ و ۲۱)، انگور و توت فرنگی (۱۰) و تخم مرغ (۵) گزارش شده است.

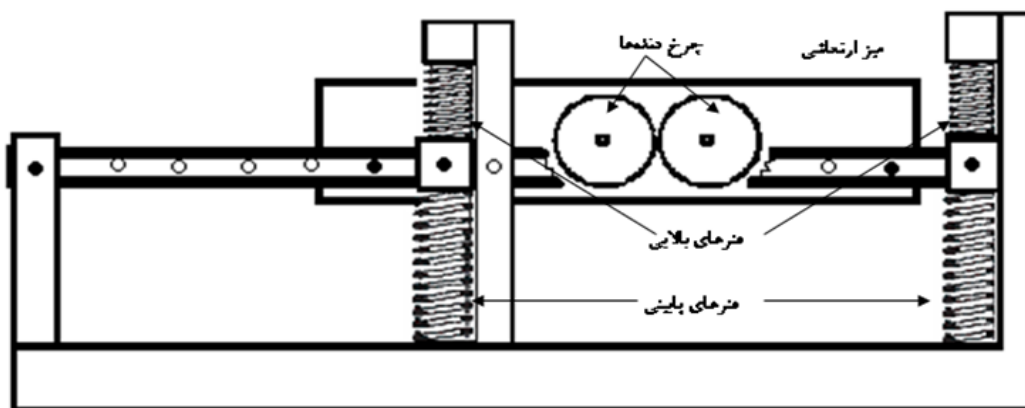
تقی زاده مقدم و همکاران^۱ (۲۹) تاثیر فرکانس و شتاب ارتعاش بر آسیب‌های وارده به میوه کیوی در اثر ارتعاشات شبیه سازی شده حمل و نقل را بررسی نموده و نتیجه‌گیری کرده‌اند که با افزایش فرکانس و شتاب ارتعاش میزان آسیب‌های مکانیکی وارده به میوه‌ها افزایش یافته است.

در مطالعه‌ای توسط شهبازی و محمدزاده^۲ (۲۳) در مورد ارتعاشات شبیه سازی شده حمل و نقل بر روی درصد جوجه درآوری تخم مرغ آن‌ها نتیجه‌گیری کرده‌اند که میزان صدمه وارده به تخم مرغ‌ها در لایه‌های بالایی بیشتر از لایه‌های زیرین و وسطی بوده است. شهبازی و همکاران (۲۴) اثر ارتعاشات شبیه سازی شده حمل و نقل را بر روی میزان کاهش مدول الاستیسته هندوانه بررسی نموده و گزارش کرده‌اند که ارتعاشات با فرکانس ۷/۵ Hz، شتاب ۰/۷ g و مدت زمان ۶۰ دقیقه بیشترین صدمه را وارد کرده است.

طبق بررسی‌های انجام گرفته تاکنون تحقیقی در مورد بررسی صدمات وارده به زردآلو در فرآیند حمل و نقل گزارش نشده است. با توجه به اهمیت محصول زردآلو 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 هدف از این طرح بررسی اثر پارامترهای ارتعاش (فرکانس و زمان ارتعاش) شبیه سازی شده حمل و نقل و

1- Taghizade-Moghaddam *et al.*
2- Shabzazi and Mohamadzadeh

3- Inverter



شکل (۱) شماتیک دستگاه شبیه ساز ارتعاشات .

Figure(1) schematic representation of vibration simulator

پس از طراحی دستگاه، میوه‌های زرد آلو تحت ارتعاش قرار گرفتند و اثر پارامترهای مختلف بر میزان صدمات آن‌ها بررسی شد. این پارامترها عبارت بودند از: فرکانس ارتعاش (چهار سطح)، موقعیت قرارگیری میوه‌ها داخل مخزن (سه سطح) و زمان ارتعاش (دو سطح). اثر پارامترهای مذکور به صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی و با سه تکرار بر روی نمونه میوه‌ها مورد مطالعه قرار گرفت. عمل ارتعاش دهی همه نمونه‌ها در شتاب ثابت برابر $0.7g$ انجام گرفت. با توجه به این که با تغییر فرکانس شتاب نیز تغییر می‌کند، شتاب ارتعاش برای شتاب دستگاه در اندازه مورد نظر ($0.7g$)

دور موتور تغییر می‌کند و در اندازه مورد نظر تنظیم می‌شود. با تغییر دور موتور، دور چرخ دنده‌ها و در نتیجه سرعت زاویه‌ای وزنه‌ها تغییر می‌کند و میز در جهت عمودی به ارتعاش در می‌آید. فرکانس دستگاه بر حسب Hz، از تقسیم تعداد دور چرخ دنده‌ها بر حسب rpm، که توسط مبدل اندازه‌گیری می‌شود بر 60 S، 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 بر روی تیرک‌های افقی استفاده می‌شود.

درصد کاهش وزن میوه‌ها در نظر گرفته شده و اندازه گیری شد. برای این کار از مقایسه میزان کاهش وزن نمونه‌های مورد آزمایش و نمونه‌های شاهد از همان نوع میوه که هیچ گونه فرآیند ارتعاش دهی بر روی آن‌ها انجام نشده بود استفاده شد.

برای این کار از توده میوه‌های مورد مطالعه به صورت تصادفی نمونه‌هایی (پنج جعبه) به عنوان تیمار شاهد انتخاب و هیچ گونه فرآیندی بر روی آن‌ها انجام نشد. پس از آن که تیمارهای مختلف ارتعاش داده شدند (برای هر تیمار سه جعبه)، نمونه‌های شاهد و ارتعاش داده شده به مدت ۹۶ ساعت در شرایط یکسان نگهداری (دمای ۵ درجه سانتی گراد و رطوبت ۹۰-۸۵ درصد) و میزان کاهش وزن آن‌ها اندازه گیری شد. برای اندازه گیری میزان صدمه از مقایسه میزان کاهش وزن بین نمونه‌های شاهد و نمونه‌های مورد آزمایش، به صورت درصد استفاده شد. وزن میوه‌ها با ترازوی دیجیتال با دقت ۰/۰۱ گرم اندازه گیری گردید.

نتایج و بحث

جدول (۱) خصوصیات نمونه میوه‌های زردآلوی مورد مطالعه را نشان می‌دهد. در جدول (۲)، نتایج تحلیل واریانس داده‌های مربوط به درصد کاهش وزن میوه‌ها در اثر اعمال ارتعاش ارائه شده است. با توجه به جدول مشاهده می‌شود که اثر هر سه عامل: فرکانس ارتعاش، موقعیت داخل مخزن و زمان ارتعاش بر روی میزان صدمات وارده به میوه‌ها (کاهش وزن) در سطح یک درصد معنی دار بوده است. همچنین اثرات متقابل فرکانس ارتعاش و موقعیت داخل مخزن و فرکانس ارتعاش و زمان ارتعاش در سطح پنج درصد بر روی این فاکتور معنی دار بوده است. اثرات متقابل موقعیت داخل مخزن و زمان ارتعاش و اثر متقابل هر سه عامل بر روی میزان صدمات معنی دار نیست. با توجه به داده‌های جدول (۲) مشاهده می‌شود که زمان ارتعاش بیشترین

در حالت‌های مختلف آزمایش از تغییرات اندازه وزنه‌ها، خارج از مرکزی وزنه‌ها و تغییر موقعیت عرضی قرارگیری میز بر روی تیرک‌های افقی استفاده می‌شد. شتاب $0.7g$ به این دلیل انتخاب شد که نتایج به دست آمده از اندازه‌گیری و آنالیز ارتعاشات حمل و نقل جاده-ای در ایران نشان داده است که شتاب‌های ارتعاش با میانگین $0.7g$ دارای بیشترین فراوانی هستند (۲۵). هنگام ارتعاش دهی نمونه‌ها شتاب ارتعاش دستگاه توسط یک دستگاه ارتعاش سنج مدل VB-8213 ساخت شرکت لوترون اندازه‌گیری و کنترل می‌شد. مدت زمان ارتعاش دو سطح ۱۵ و ۳۰ دقیقه در نظر گرفته شد، که زمان ۱۵ دقیقه می‌تواند نماینده حمل میوه در مسافت‌های متوسط و کمتر از ۱۰۰۰ کیلومتر و ۳۰ دقیقه نماینده مسافت‌های طولانی و بیشتر از ۱۰۰۰ کیلومتر باشد (۱۰ و ۱۱). انتخاب فرکانس‌های ارتعاش (۵، ۷/۵، ۱۰ و $12/5\text{ Hz}$) نیز بر اساس نتایج مطالعات قبلی صورت گرفت (۲۵). برای ارتعاش دهی میوه‌ها سعی شد که در حد امکان شرایط واقعی حمل و نقل اعمال شود. در عمل اکثراً برای حمل میوه‌های زردآلو از جعبه‌های پلاستیکی با ابعاد $32 \times 22 \times 14$ سانتی‌متر استفاده می‌شود که تا ارتفاع ۱۰۰ سانتی‌متر در داخل مخزن کامیون روی هم چیده می‌شوند. در این طرح نیز میوه‌های مورد مطالعه در جعبه‌های قرارگرفته در سه ارتفاع (موقعیت) به ترتیب با فاصله ۲۰، ۶۰ و ۱۰۰ سانتی‌متر از کف روی میز ارتعاشی می‌گرفتند و در زمان و فرکانس مورد نظر تحت ارتعاش واقع می‌شدند.

در میوه زردآلو به دلیل هسته دار بودن، صدمات مکانیکی به گوشت میوه وارد می‌شود و صدمه به گوشت میوه باعث افزایش تولید اتیلن و تنفس و خسارت ناشی از کم کردن وزن در اثر تنفس و از دادن آب (فیزیولوژیکی) می‌شود (۱۴)؛ بنابراین یکی از مهم‌ترین پارامترهایی که نشان دهنده صدمات نهانی است، کاهش وزن میوه در اثر افزایش فعالیت تنفسی و از دست دادن آب است (۱۴). در این تحقیق نیز میزان صدمه به صورت

جدول (۱) برخی خصوصیات فیزیکی نمونه میوه‌های زردآلو مورد مطالعه.

Table (1) Some physical properties of tested apricot fruits.

SD*	Minimum	Maximum	Mean	physical property
2.03	32.43	39.30	36.09	طول (میلی‌متر) Length (mm)
1.64	31.63	37.28	34.59	عرض (میلی‌متر) Width (mm)
1.91	27.12	34.93	30.48	ضخامت (میلی‌متر) Thickness (mm)
12.35	108.95	169.97	139.02	جرم (گرم) Mass (g)

*- Standard deviation.

جدول (۲) نتایج تحلیل واریانس داده‌های مربوط به کاهش وزن میوه زردآلو در اثر ارتعاش.

Table (2) The results of variance analysis of apricot fruits weight loss due to vibration

F	میانگین مربعات (Mean square)	مجموع مربعات (Sum square)	درجه آزادی (Degree of freedom)	منابع تغییرات (Source of variance)
60.953**	67.714	203.141	3	فرکانس ارتعاش (F) (Vibration frequency)
127.271**	141.386	282.772	2	موقعیت داخل مخزن (P) (Position in the bin)
4.086*	4.359	271.235	6	F × P
140.185**	155.732	155.732	1	زمان ارتعاش (T) (Vibration time)
7.018*	7.797	23.390	3	F × T
0.825 ^{ns}	0.916	1.832	2	P × T
2.506 ^{ns}	2.784	16.270	6	F × P × T
	1.111	53.323	48	خطا (Error)

** - معنی‌دار در سطح یک درصد، * - معنی‌دار در سطح پنج درصد و ^{ns} - عدم وجود اختلاف معنی‌دار

**Significant at 1% probability level, *significant at 0.5% probability level, ns: not significant

تأثیر را بر روی میزان کاهش وزن میوه‌ها داشته است (F=۱۴۰/۱۸۵) و بعد از آن بیشترین تأثیر به ترتیب مربوط به موقعیت داخل مخزن (F=۱۲۷/۲۷۱) و فرکانس ارتعاش (F=۶۰/۹۵۳) بوده است. جدول (۳) نتیجه مقایسه میانگین‌ها در آزمون چند دامنه‌ای دانکن را نشان می‌دهد. در این جدول میانگین‌های درصد کاهش وزن میوه‌های زردآلو در اثر ارتعاشات وارده، در سطح پنج درصد مقایسه شده‌اند (Alpha = 0.05). با توجه به جدول مقایسه میانگین‌ها (جدول ۳) مشاهده می‌شود که بیشترین کاهش وزن (۱۴/۳۵۸٪) مربوط به فرکانس ۱۰ Hz است و بین میانگین کاهش وزن در این فرکانس با دیگر فرکانس‌های اعمال شده اختلاف معنی‌دار وجود دارد. داده‌های جدول (۳) نشان می‌دهند که با افزایش

فرکانس ارتعاش از ۵ به ۱۰ Hz میزان صدمات وارده افزایش یافته است؛ اما با افزایش فرکانس از ۱۰ به ۱۲/۵ Hz کاهش یافته است. این موضوع نشان می‌دهد که بافت میوه زردآلو به ارتعاش با فرکانس در محدوده ۱۰ Hz حساسیت دارد و در این فرکانس بیشترین صدمه را دیده است. با توجه به این که هر ماده با توجه به خواص آن دارای یک محدوده فرکانس (فرکانس طبیعی) است که اگر در معرض آن قرار گیرد باعث می‌شود که حالت تشدید و بی وزنی پیش آید و در نتیجه بافت‌های آن صدمه ببیند؛ لذا این محدوده فرکانسی در مورد میوه زردآلو می‌تواند در حدود ۱۰ Hz باشد. بنابراین باید ساختار سیستم تعلیق وسیله حمل کننده میوه زردآلو و یا نحوه بسته بندی میوه طوری باشد که از ایجاد فرکانس

شتاب وارده افزایش می یابد و در نتیجه شدت بر خورد اجزاء داخلی به هم و به دیواره مخزن افزایش می یابد که نتیجه آن افزایش صدمات است. در این مطالعه مشاهده شد که میوه هایی که در لایه های بالایی مخزن قرار گرفته بودند (ارتفاع ۱۰۰ cm)، هنگام ایجاد ارتعاش ناپایدار می شدند و به طور آزاد و قائم و به حالت دورانی حرکت می کردند و هنگامی که ارتعاش دستگاه در g ۰/۷ تنظیم می شد، شتاب در لایه های بالایی نزدیک به $1/1g$ بود که با ارتعاش سنج اندازه گیری شد.

شکل (۲) اثر متقابل فرکانس ارتعاش و موقعیت قرارگیری میوه داخل مخزن بر روی درصد کاهش وزن میوه ها را نشان می دهد. در این شکل کمترین مقدار میزان کاهش وزن برابر $6/08\%$ است که در فرکانس ارتعاش 5 Hz و بر روی میوه هایی که در لایه های پایینی مخزن قرار گرفته اند، رخ داده است. همچنین در حالت ترکیب فرکانس 5 Hz و لایه وسطی مخزن میزان صدمه کمتر از 10% بوده و برابر $9/72\%$ است. در حالت ترکیب فرکانس $7/5\text{ Hz}$ و لایه های پایینی مخزن نیز میزان صدمه کمتر از 10% و برابر $8/86\%$ است (شکل ۲). بیشترین مقدار میزان کاهش وزن در شکل (۲) برابر $16/63\%$ است که در فرکانس 10 Hz و بر روی میوه هایی که در لایه های بالایی مخزن قرار گرفته اند، رخ داده است و این موضوع نشان می دهد که در حالتی که ساختار سیستم تعلیق وسیله حمل کننده مناسب نباشد، باید از چیدن میوه ها در ارتفاع بالاتر از 80 سانتی متر جلوگیری شود و بهترین حالت برای حمل میوه زردآلو پایین بودن فرکانس ارتعاش (در حدود 5 Hz) و نبودن ارتفاع قرارگیری میوه ها در بیشتر از 60 سانتی متر است. با توجه به این که اصلاح ساختار سیستم تعلیق کامیون ها برای کاهش ارتعاش امکان پذیر نیست، لذا پیشنهاد می شود که تحقیقاتی در مورد یافتن بسته بندی مناسب برای حمل زردآلو انجام شود تا هنگام حمل و نقل فرکانس ارتعاش وارده به میوه ها را به کمتر از 5 Hz کاهش دهد.

ارتعاش در حدود 10 Hz جلوگیری شود. موارد مشابه ای در این مورد توسط فیسچر و همکاران^۱ (۱۰)، در مورد توت فرنگی و انگور بیان شده است. آن ها بیان داشته اند که حساس ترین فرکانس برای این دو میوه فرکانس های $5-10\text{ Hz}$ است و بیشترین صدمه به انگور در فرکانس ها $7-10\text{ Hz}$ و در مورد توت فرنگی در $5-7/5\text{ Hz}$ رخ داده است. این حدود فرکانس ارتعاش را برای بافت و پوست هندوانه، توسط شهبازی و همکاران^۲ (۲۵) به ترتیب برابر $7/5\text{ Hz}$ و 13 Hz گزارش شده است.

با توجه به جدول مقایسه میانگین ها (جدول ۳) مشاهده می شود که بین میانگین صدمات وارده به میوه ها در سطوح مختلف موقعیت داخل مخزن اختلاف معنی دار وجود دارد (در سطح پنج در صد) و میانگین ها در سه گروه a, b, c تقسیم بندی شده اند: کمترین کاهش وزن بر روی میوه هایی رخ داده است که در لایه های پایینی قرار گرفته اند. میانگین کاهش وزن میوه هایی که در لایه های پایینی قرار گرفته اند برابر $9/282\%$ بوده است؛ در حالی که در لایه های وسطی میزان کاهش وزن به اندازه $1/3$ برابر، نسبت به لایه های پایینی افزایش یافته است و از $9/282\%$ به $12/074\%$ رسیده است. در لایه های بالایی بیشترین صدمه دیدگی رخ داده است و این ارتفاع قرار دهی، بحرانی ترین از لحاظ کاهش میزان وزن میوه ها بوده است. صدمه ناشی از کاهش وزن در این قسمت برابر $14/117\%$ می باشد که نسبت به لایه های پایینی در حدود $1/5$ برابر و نسبت به لایه های وسطی حدود $1/2$ برابر، افزایش یافته است. سایر محققان نیز افزایش میزان صدمات وارده به محصول (میوه) در اثر ارتعاشات را در لایه های بالایی نسبت به لایه های زیرین و وسطی گزارش کرده اند (۱۰، ۱۶، ۱۹، ۲۰، ۲۸ و ۳۲) آن ها دلیل این موضوع را به این صورت بیان داشته اند که با افزایش ارتفاع قرارگیری محصول داخل مخزن، هنگامی که محصول تحت ارتعاش قرار می گیرد، میزان و قدرت

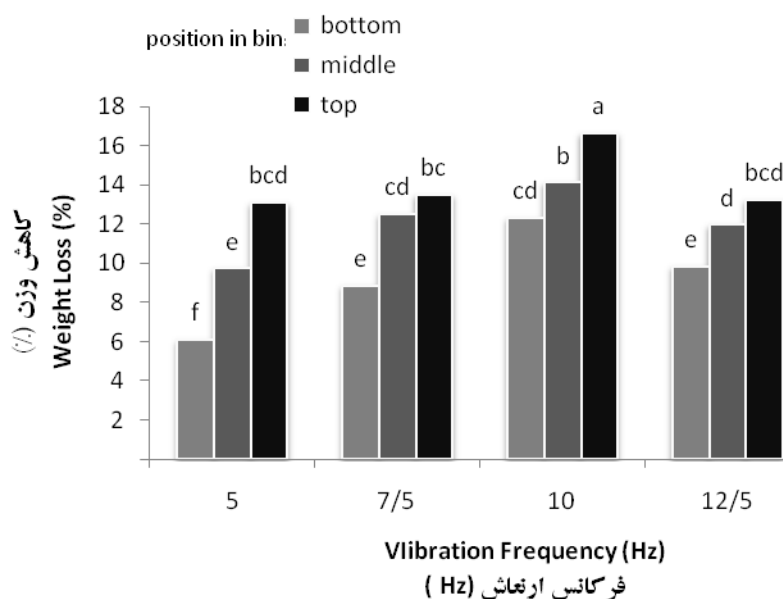
جدول (۳) مقایسه میانگین درصد کاهش وزن میوه زردآلو در هر یک از متغیرهای غیره وابسته بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن.

Table (3) Duncan's multiple range tests of the mean comparison of apricot fruit weight loss values for different independent variables.

متغیر وابسته (کاهش وزن (%)) (Dependent variable (weight loss,%))	متغیر غیره وابسته (Independent variable)
	فرکانس ارتعاش (Hz) Vibration frequency (Hz)
9.63 c	5
11.62 b	7.5
14.38 a	10
11.68 b	12.5
	موقعیت داخل مخزن Positions in bin
9.28 c	Bottom پایین
12.07 b	Middle وسط
14.12 a	Top بالا

اعداد با حروف مشترک دارای اختلاف معنی دار ($P < 0.05$) نمی‌باشند.

Numbers followed by the same letter are not significantly different ($P < 0.05$)



شکل (۲) اثر متقابل فرکانس ارتعاش و موقعیت قرارگیری داخل مخزن بر روی میزان کاهش وزن میوه زردآلو.

Figure (2) Interaction effects of vibration frequency and fruit position in bin on the apricot fruit weight loss

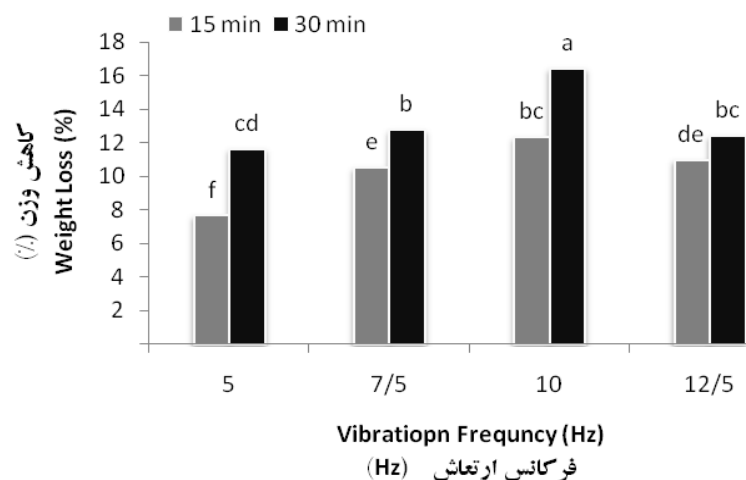
محققان (۱۳، ۱۵ و ۲۲) است که گزارش کرده‌اند با افزایش زمان ارتعاش، میزان صدمه ناشی از ارتعاشات افزایش می‌یابد. میزان کاهش وزن میوه‌ها با ثابت بودن زمان، در فرکانس ۱۰ Hz بیشتر از سایر فرکانس‌ها است. بیشترین و کمترین درصد کاهش وزن میوه زردآلو در شکل (۳) به

در شکل (۳) اثرات متقابل فرکانس و زمان ارتعاش بر روی درصد کاهش وزن میوه زردآلو نشان داده شده است. با توجه به شکل مشاهده می‌شود که با ثابت بودن فرکانس و افزایش زمان ارتعاش، میزان صدمه وارده به میوه‌ها افزایش یافته است. این نتیجه مشابه نتایج گزارش شده توسط سایر

شهبازی: اثر ارتعاشات شبیه سازی شده حمل و نقل...

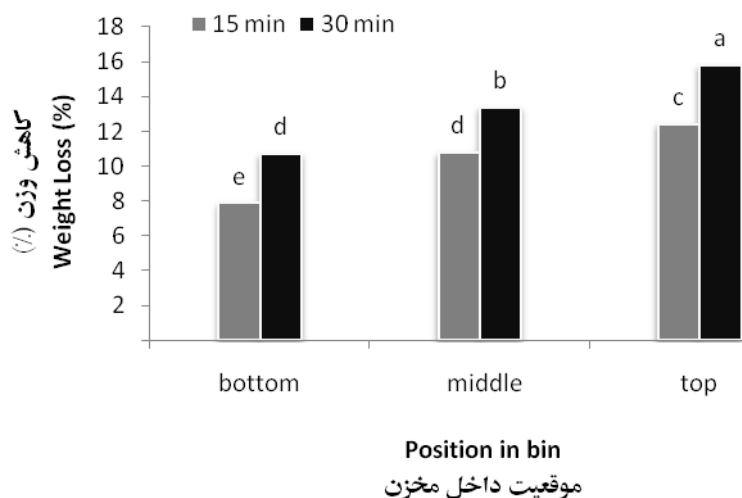
افزایش یافته است. در در موقعیت پایین مخزن. درصد کاهش وزن از ۷/۸۶ به ۱۰/۶۹٪ افزایش یافته است. با توجه به این که با افزایش ارتفاع قرارگیری محصول داخل مخزن شتاب ارتعاش افزایش می یابد و با افزایش شتاب ارتعاش، میزان صدمه نیز به طور شدید افزایش می یابد، و در نتیجه میزان صدمه زمانی زیاد است که شتاب بالا با زمان طولانی همراه باشد. نتایج مشابهی در این مورد توسط سایر محققان گزارش شده است (۸، ۱۸، ۱۹ و ۲۰). دلیل افزایش صدمه با افزایش شتاب را به این صورت می توان بیان کرد که با توجه به آن که شتاب ارتعاش بر روی میزان نیرو و قدرت ارتعاش، اثر می گذارد و هرچه شتاب بیشتر باشد، قدرت و شدت نیروی وارد شده 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 بافت های میوه و افزایش صدمات می شود. هنگامی که شتاب بالا با زمان طولانی نیز ترکیب شود، مدت زمان و تکرار نیروهای وارد شده بر میوه افزایش می یابد و باعث می شود که حالت بار گذاری و بار برداری، مکرر تکرار و در نتیجه سبب تسلیم بافت های میوه شود.

ترتیب برابر ۱۶/۴۱ و ۷/۶۴٪ است که به ترتیب مربوط به ترکیب فرکانس ۱۰ Hz با زمان ۳۰ دقیقه و فرکانس ۵ Hz با زمان ۱۵ دقیقه است. میانگین درصد کاهش وزن در فرکانس ۱۰ Hz و در زمان های ارتعاش ۱۵ و ۳۰ دقیقه به ترتیب برابر ۱۲/۳۰ و ۱۶/۴۱٪ است که نشان می دهد که میزان صدمه در این فرکانس با افزایش دو برابری زمان ارتعاش به اندازه ۱/۴ برابر افزایش یافته است. این نتیجه نشان می دهد که اگر فرکانس ارتعاش حمل و نقل نزدیک به ۱۰ Hz باشد، میوه زردآلو در زمان کوتاه تری (مسافت کوتاه حمل)، صدمه می بیند؛ اما اگر فرکانس ارتعاش در این محدوده نباشد، می توان میوه را در مسافت طولانی تری بدون این که صدمه بیشتری ببیند، حمل کرد در شکل (۴) اثر متقابل موقعیت قرارگیری میوه داخل مخزن و زمان ارتعاش بر روی درصد کاهش وزن میوه زردآلو نشان داده شده است. مقایسه میانگین های اثرات دو گانه 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 درصد کاهش وزن میوه ها با افزایش موقعیت قرارگیری میوه داخل مخزن و زمان افزایش یافته است. در موقعیت قرارگیری بالای مخزن درصد کاهش وزن با افزایش زمان از ۱۵ به ۳۰ دقیقه از ۱۲/۴۲ به ۱۵/۸۰٪



شکل (۳) اثر متقابل فرکانس و زمان ارتعاش بر روی میزان کاهش وزن میوه زردآلو.

Figure(3) Interaction effects of vibration frequency and vibration duration on the apricot fruit weight loss



شکل (4) اثر متقابل موقعیت قرارگیری میوه داخل مخزن و زمان ارتعاش بر روی کاهش وزن میوه زردآلو.
Figure(4) Interaction effects of fruit position in bin and vibration duration on the apricot fruit weight loss

(مسافت حمل میوه) میزان صدمات افزایش می‌یابد. ارتفاع قرارگیری میوه داخل مخزن بر روی میزان صدمه تاثیر می‌گذارد، از این رو هنگام حمل و نقل باید از چیدن بیش از حد بسته های میوه زردآلو روی هم جلوگیری شود. اگر میوه زردآلو با کامیون‌های متداول و با بسته بندی موجود حمل شود، نمی‌توان بر روی صادرات آن به کشورهای دور سرمایه گذاری کرد؛ لذا پیشنهاد می‌شود برای توسعه صادرات تحقیقاتی در مورد بسته بندی میوه زردآلو انجام گیرد و بهترین بسته بندی از لحاظ ماده تشکیل دهنده بسته، تعداد میوه داخل بسته و نحوه چیدن بسته‌ها داخل مخزن، مشخص شود.

نتیجه گیری

نتایج این طرح نشان داد که حمل و نقل و ارتعاشات ناشی از آن بر روی میزان صدمه میوه زردآلو (درصد کاهش وزن) موثر است. اثرات فرکانس ارتعاش، زمان ارتعاش و موقعیت قرارگیری محصول داخل مخزن در سطح یک درصد بر روی میزان صدمات معنی‌دار بود. بافت میوه زردآلو به ارتعاشات با فرکانس در حدود 10Hz حساسیت دارد و اگر ارتعاش وسیله حمل کننده با مشخصات بالا مطابقت داشته باشد، باعث تخریب بافت می‌شود؛ بنابراین این سیستم تعلیق وسیله حمل کننده یا نوع بسته بندی باید طوری باشد که از ایجاد ارتعاش با محدوده فوق جلوگیری شود. با افزایش زمان ارتعاش

منابع

1. Acican, T., Alibas, k., and Ozelkok, I. S. 2006. Mechanical damage to apples during transport in wooden crates. *Biosystems Engineering*, 96: 239-248.
2. Anonymous, 2015. Agriculture Database of FAO-STAT. Available on the <http://FAOSTAT.FAO.ORG>.

3. Armstrong, P. R., Stone, M.L., and Brusewitz, G.H. 1977. Nondestructive acoustic and compression measurements of watermelon for internal damage detection. *Applied Engineering in Agriculture*, 13(5): 641-645.
4. Barchi, G.L., Berardinelli, A., Guarnieri, A., Ragni, L. and Totaro Fila, C. 2002. Damage to loquasts by vibration-simulating intra-state transport. *Biosystems Engineering*, 82: 305-312.
5. Berardinelli, A., Donati, V., Giunchi, A., Guarnieri, A., and Ragni, L. 2003. Effects of sinusoidal vibrations on quality indices of shell eggs. *Biosystems Engineering*, 86 (3), 347-353.
6. Botondi, R., De Santis, D., Bellincontro, A., Vizovitis, K., and Mencarelli, F. 2003. Influence of ethylene inhibition by 1-methylcyclopropene on apricot quality, volatile production, and glycosidase activity of low- and high-aroma varieties of apricots. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, 51, 1189–1200.
7. Ceponis, M. J., and Butterfield, J.E. 1974. Retail and consumer losses of western pears in metropolitan New York. *Horticulture Science*, 9(5): 447–448.
8. Chesson, J.H., and O'Brien, M. 1971. Analysis of mechanical vibration of fruit during transportation. *Transactions of the ASAE*, 14: 222-224.
9. De Martino, G., Massantini, R., Botondi, R. and Mencarelli, F. 2002. Temperature affects impact injury on apricot fruit. *Postharvest Biology and Technology*, 21, 331–339.
10. Fischer, D., Craig, W., and Ashby, B.H. 1990. Reducing transportation damage to grapes and strawberries. *Journal of Food Distribution Research*, 21: 193-202.
11. Hinsch, R.T., Slaughter, D.C., Craig, W.L. and Thompson, J.F. 1993. Vibration of fresh fruits and vegetables during refrigerated truck transport. *Transactions of the ASAE*, 36: 1039-1042.
12. 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. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 31:297-308.
13. Laurenti, R., Fabbro, I.M. and Cren, E.C. 2002. Mechanical effect of periodical loading of vegetative materials. Paper No: 02-PH-052. *AgEng2002 World Conference*. 30 June–4 July 2002. Budapest, Hungary.
14. Martinez-Romero, D., Serrano, M., Carbonell, A., Burgos, L., Riquelme, F and Valero, D. 2002. Effects of postharvest putrescine treatment on extending shelf life and reducing mechanical damage in apricot. *Journal of Food Science*, 67(5), 1706-1712.
15. Mohsenin, N. N. 1978. *Physical Properties of Food and Agricultural Materials*. 2nd Revised and Update Edition. Gordon and Breach Science Publishers. New York.

16. Nicolai, B.M. and Tijsknes, E. 2007. Impact damage of apples during transport and handling. *Postharvest Biology and Ttechnology*, 45:157-167.
17. O'Brien M, and Fridley, R.B. (1970). Measurement of vibrations related to harvesting and handling of fruits and vegetables. *Transaction of the ASAE*, 13(6): 870- 873.
18. O'Brien, M. and Guillou, R. 1969. An in-transit vibration simulator for fruit-handling studies. *Transactions of the ASAE*, 12: 94-97.
19. 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. *Transactions of the ASAE*, 12: 452-455.
20. Ogut, H., Peker, A., and 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.
21. Olorunda, A.O. and 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.
22. Schulte-Pason, N.L., Timm, E.J., Brown, G.K., Marshall, D.E. and Burton, C.L. 1990. Apple damage assessment during interstate transportation. *Applied Engineering in Agriculture*, 6: 753–758.
23. Shahbazi, F and Mohamadzadeh, S. Effects of simulated transport vibration on the hatchability of eggs. *Iranian Journal of Biosystems Engineering*, 40(1): 15-25. (In Persian).
24. Shahbazi, F., Rajabipour, A., Mohtasebi, S and Rafie, Sh. 2008. Effects of transport vibrations on modulus of elasticity watermelon, variety crimson sweet. *Iranian Journal of Biosystems Engineering*, 40(1): 15-25. (In Persian).
25. Shahbazi.F., Rjabipour, A., Mohtasebi, S.S and Rafie, S. 2010. Simulated in-transit vibration damage to watermelons. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 12: 23-34.
26. Singh, S.P, and Xu, M. 1993. Bruising in apples as a function of truck vibration and packaging. *Applied Engineering in Agriculture*, 9: 455-460.
27. Sitkei, G. 1986. *Mechanics of Agricultural Materials*. Elsevier, Amesterdam.
28. Slaughter, D.C., Hinsch, R.T. and Thompson, J.F. 1993. Assessment of vibration injury to Bartlett pears. *Transactions of the ASAE*, 36: 1043-1047.
29. Taghizade-Moghaddam, Gh., Tabatabaee-Koloor, R., Hashemi, J and Shahbazi, F. 2013. Investigation on the Effect of Frequency and Acceleration on Damage to Kiwi Fruit in Simulated Road Transport Vibrations. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 14(3):1-14. (In Persian).

30. Timm, E. J., Bollen, A.F., Dela Rue, B.T. and Woodhead, I.M. 1998. Apple damage and compressive forces in bulk bins during orchard transport. *Applied Engineering in Agriculture*, 14(2):165-172.
31. 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: Model building and validation of DEM to predict bruise damage of apples. *Postharvest Biology and Technology*, 41:85–91.
32. Zhou, R., Shuqiang,S., Liping, Y. and Yunfei, L. 2007. Effect of transport vibration levels on mechanical damage and physiological responses of huanghua pears (*Pyrus pyrifolia* Nakai, cv. Huanghua). *Postharvest Biology and Technology*, 46: 20-28.