

بررسی تأثیر برخی ویژگی‌های حمل و نقل جاده‌ای بر کوفتگی میوه هلو در یک سامانه شبیه‌ساز ارتعاشی

شعبان قوامی جولندان^{۱*} و رضا طباطبایی کلور^۲

چکیده

ارتعاش بوجود آمده توسط وسیله نقلیه در طول حمل و نقل جاده‌ای می‌تواند تأثیر مهمی بر روی میوه‌ها بگذارد. از طرفی به منظور جلوگیری از صدمات مکانیکی میوه‌ها، آگاهی نسبت به این تغییرات می‌تواند مهم‌ترین راه شناخت نوع ضایعات و یافتن روش‌های جلوگیری و کاهش آن باشد. در این پژوهش، چهار عامل مؤثر بر ایجاد کوفتگی ناشی از حمل و نقل جاده‌ای بر روی میوه هلو رقم آلبرتا در یک سامانه شبیه‌ساز جاده‌ای بررسی شد. تأثیر تیمارهای شتاب ارتعاش ($0/3\text{ g}$ و $0/5\text{ g}$)، بسامد ارتعاش (10 Hz و 12 Hz)، مدت زمان ارتعاش (15 min و 30 min) و نوع جعبه (چوبی و پلاستیکی) بر حجم، سطح و عمق کوفتگی در قالب آزمایش فاکتوریل بر پایه طرح کامل تصادفی در سه تکرار مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج نشان داد که حداکثر سطح کوفتگی مربوط به زمانی است که میوه تحت شتاب $0/5\text{ g}$ و بسامد 12 Hz قرار بگیرد و بیش‌ترین عمق و حجم کوفتگی زمانی ایجاد می‌شود بسامدهمین شرایط به مدت 30 دقیقه به میوه وارد شود. همچنین با افزایش بسامد، عمق و حجم کوفتگی افزایش پیدا می‌کند. میزان صدمات مکانیکی وارده به میوه‌های موجود در جعبه‌های چوبی بیش‌تر از جعبه‌های پلاستیکی است و با افزایش مسافت طی شده، کوفتگی میوه افزایش می‌یابد.

واژه‌های کلیدی: حمل و نقل، ارتعاشات جاده‌ای، کوفتگی، میوه هلو.

ارجاع: قوامی جولندان ش. و طباطبایی کلور ر. ۱۴۰۳. بررسی تأثیر برخی ویژگی‌های حمل و نقل جاده‌ای بر کوفتگی میوه هلو در یک سامانه شبیه‌ساز ارتعاشی. نشریه پژوهش‌های مکانیک ماشین‌های کشاورزی. ۳۴: ۹۹-۹۹. <https://dx.doi.org/10.22034/JRMAM.2025.14863.714>

۱- استادیار گروه مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز.
۲- دانشیار گروه مکانیک بیوسیستم، دانشکده مهندسی زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری.

* نویسنده مسئول: s.ghavami@scu.ac.ir

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۰/۲۹

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۵/۱۴

مقدمه

هلو یکی از محبوب‌ترین میوه‌ها در دنیا است که به دلیل ارزش غذایی، طعم خاص و ارزش افزوده بالا مورد توجه قرار گرفته است (Du *et al.*, 2020). حمل و نقل و جابجایی جزء اساسی از زنجیره تأمین است که ممکن است با صدمات مکانیکی حاصل از نیروهای استاتیکی و دینامیکی مانند ضربه، فشار و ارتعاش همراه باشد (Lipinska *et al.*, 2019). سالانه درصد بالایی از محصولات باغی به دلیل وجود آسیب‌های مکانیکی تلف می‌شوند یا کیفیت آنها کاهش می‌یابد. این کاهش کیفی که کاهش کمی تولید محصول را در بازار مصرف به دنبال دارد می‌تواند از طریق جلوگیری از بروز این نوع آسیب‌ها، و با شناخت بهتر عوامل و موقعیت‌های وقوع آنها جبران گردد. کاهش ضایعات در هر محصولی، باعث افزایش میزان عرضه محصول سالم در بازار می‌گردد و در نتیجه نیاز به تولید مازاد و مصرف نهاده بیشتر نیست. ضایعات از چند جنبه بر اقتصاد کشور ضربه وارد می‌کند، از جمله: میزان تولید را کاهش می‌دهد، نیاز به واردات را افزایش می‌دهد، و نهاده‌های لازم برای تولید را که به سختی تهیه می‌شوند، هدر می‌دهد (Hoshyar *et al.*, 1390). صدمه مکانیکی بر روی محصولات تازه، ارتباط نزدیکی با نیروهای ارتعاشی مختلف در طول حمل و نقل از مزرعه تا خرده فروشی دارد (Zhou *et al.*, 2017). برای اغلب میوه‌ها کوفتگی متداول‌ترین نوع صدمه مکانیکی در فرآیندهای پس از برداشت است. این نوع صدمه نه تنها در ظاهر محصول و از نظر مشتری پسندی یک عامل منفی محسوب می‌شود، بلکه مکان مناسبی برای رشد و نمو عوامل فساد نیز هست (Van Zeebroeck *et al.*, 2006). مقدار ضایعات بعد از برداشت میوه‌ها در اثر صدمات مکانیکی با توجه به کیفیت فرآیند حدود ۳۰ تا ۴۰ درصد تخمین زده می‌شود (Barchi *et al.*, 2002). در مطالعه‌ای که بر روی شبیه‌سازی صدمات وارده به سیب در طی حمل و نقل به روش اجزای مجزا انجام گرفت، به این نتیجه رسیدند که عمق کوفتگی در محصول با افزایش بسامد کاهش می‌یابد (Van Zeebroeck *et al.*, 2006). البته برخی محققین که بر روی هندوانه مطالعه کرده‌اند، نتیجه‌ای معکوس را به دست آورده و بیان داشتند که میزان صدمات وارده به محصول با افزایش بسامد و شتاب زیاد می‌شود. آنها دلیل این امر را این گونه بیان کردند که در بسامدها و شتاب-

های پائین‌تر ضربات وارد شده به محصول از پیوستگی کم‌تری نسبت به بسامد و شتاب‌های بالاتر برخوردار است و طبق قانون ضربه در بسامدهای پائین‌تر شدت ضربات بیش‌تر است و همین موضوع باعث ایجاد صدمات بیش‌تر می‌شود (Shahbazi *et al.*, 2009). در پژوهشی دیگر گزارش شد که استفاده از پوشش فوم مخصوص در جعبه‌ها در مراحل مختلف پس از برداشت ۳۵ درصد تا ۴۰ درصد از صدمه کوفتگی را کاهش می‌دهد (Dobrzanski *et al.*, 2006). در طی تحقیقی دیگر تأثیر شتاب و بسامد ارتعاش ناشی از حمل و نقل جاده‌ای بر روی صدمات مکانیکی میوه کیوی بررسی شد و دریافتند که اثر بسامد ارتعاش در سطح یک درصد بر روی میزان صدمات معنی‌دار است و با افزایش بسامد، میزان صدمات کل و صدمات بحرانی، افزایش یافته است. همچنین درصد تعداد کل میوه‌های صدمه دیده در شتاب ارتعاشی g ۰/۷، بیش‌تر از شتاب ارتعاشی g ۰/۳ است و درصد تعداد کل میوه‌های صدمه دیده با عمق لهیدگی بیش‌تر از دو میلی‌متر در شتاب ارتعاشی g ۰/۷، بیش‌تر از شتاب ارتعاشی g ۰/۳ است. آنها به این نتیجه رسیدند که در حمل و نقل جاده‌ای میوه، هرچه شتاب ارتعاشی که وسیله حمل و نقل ایجاد می‌کند بیش‌تر باشد، آسیب‌های کوفتگی میوه افزایش می‌یابد (Taghizadeh *et al.*, 2011). در پژوهشی دیگر خواص مکانیکی بافت گوجه‌فرنگی مورد اندازه‌گیری قرار گرفت. آنها در این مطالعه بافت ژل مانند داخلی را با بافت گوشتی آن مورد مقایسه قرار دادند و به این نتیجه رسیدند که تنش شکست، مدول الاستیسیته و انرژی در نقطه شکست در سطح پنج درصد معنی‌دار هستند (Zhigou *et al.*, 2012). در مطالعه‌ای دیگر با استفاده از یک فیلم حساس، فشار کوفتگی سیب را اندازه‌گیری کردند و به کمک آن روش‌هایی برای ارزیابی و پیش‌بینی کوفتگی در اثر بارگذاری ضربه‌ای به دست آوردند. نتایج آزمون‌های ضربه نشان داد که وقتی میوه از ارتفاع‌های مختلف (۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵، ۳۰ و ۳۵ سانتی‌متر) بر روی سطوح برخورد (فیبر دوجداره، لاستیکی و چوبی) سقوط می‌کند سطح و حجم کوفتگی را می‌توان بر مبنای نیروی ضربه با استفاده از مدل‌های رگرسیونی به دست آورد. ضریب همبستگی برای سطح و حجم کوفتگی به ترتیب ۰/۹۱ و ۰/۹۵ به دست آمد (Lu *et al.*, 2010). در پژوهشی دیگر اثر ارتعاشات شبیه‌سازی

بازدهی اقتصادی بالایی دارد و این امکان نیز وجود دارد که بتوانیم سالانه میلیون‌ها دلار ارز برای کشور به دست آوریم. ایران با تولید سالانه ۵۰۰ هزار تن هلو، ششمین تولیدکننده هلو در جهان است (Anonymous, 2022).

در بررسی منابع مشاهده شد که علیرغم این‌که محققان بر روی موضوع صدمات مکانیکی حاصل از ارتعاش بر روی میوه‌های مختلف کار کرده‌اند، اما تنها اثرات برخی از ویژگی‌ها را در نظر گرفته‌اند و هیچ‌کدام اثرات هم‌زمان بسامد، شتاب و زمان ارتعاش و نوع جعبه را بررسی نکرده‌اند. در این تحقیق سعی شده است تا با ترکیب ویژگی‌های مؤثر هم‌افزایی و اثرات متقابل ویژگی‌ها بر کوفتگی میوه هلو ارزیابی شود. لذا هدف این تحقیق، بررسی اثر شتاب ارتعاش در دو سطح (g ۰/۳ و g ۰/۵)، بسامد ارتعاش در دو سطح (۱۰ Hz و ۱۲ Hz)، مدت زمان ارتعاش در دو سطح (۱۵ دقیقه و ۳۰ دقیقه) و دو نوع جعبه (چوبی و پلاستیکی) بر روی صدمات وارد شده به میوه هلو در طول حمل و نقل جاده‌ای است، تا از این طریق عوامل مهم تلفات میوه در مدت حمل و نقل شناخته و راهکارهای کاهش ضایعات در این زمینه ارائه شود. میزان صدمات بر مبنای عمق کوفتگی، سطح کوفتگی و حجم کوفتگی میوه‌ها ارزیابی می‌شود.

مواد و روش‌ها

این پژوهش بر روی میوه هلو رقم آلبرتا انجام شد. این رقم از هلو در استان مازندران بیش‌تر از سایر ارقام کشت می‌شود. نمونه‌های هلو به روش دستی و با احتیاط کامل از یک باغ پنج ساله در منطقه کیایی ساری تهیه شد و بلافاصله به آزمایشگاه پس از برداشت دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری انتقال یافت. ابتدا خصوصیات فیزیکی محصول بر اساس روش‌های توصیه شده (Mohsenin, 1986) اندازه‌گیری شد و سپس نمونه‌ها جهت انجام آزمایش‌های ارتعاش بر روی دستگاه شبیه‌ساز قرار گرفتند. نتایج مربوط به خصوصیات فیزیکی هلو رقم آلبرتا در جدول ۱ آورده شده است. تیمارهای مورد نظر برای بررسی اثر ارتعاشات بر روی میزان کوفتگی هلو نیز در جدول ۲ بیان شده است. دستگاه شبیه‌ساز ارتعاش جاده‌ای (شکل ۱-الف) شامل یک میز ارتعاشی معلق بر روی چهار عدد فنر با ضریب سختی ثابت و یکسان است که به آن دو عدد چرخ دنده وصل شده است و این چرخ

شده حمل و نقل بر کیفیت میوه شلیل با پنج سطح، سه سطح دامنه، دو نوع جعبه، سه نوع جاذب بر روی ردیف‌های اول، دوم و سوم میوه مورد مطالعه قرار گرفت، نتایج نشان داد که جاذب‌ها در محدوده بسامدی ۵/۷ تا ۷/۵ و ۸/۹ هرتز به ترتیب، بیش‌ترین و کم‌ترین جذب ارتعاش را داشتند. میوه‌های ردیف اول، دوم و سوم به ترتیب در شتاب‌های ۰/۸، ۸/۴ و ۶ متر بر مجذور ثانیه کم‌ترین مقدار انتقال‌پذیری و بیش‌ترین میزان جذب ارتعاش داشتند، در نهایت پیشنهاد دادند برای حمل میوه از جعبه‌های کارتنی که درون آن‌ها جاذب‌های کاغذی قرار داده شده است، استفاده گردد و در هر جعبه، یک ردیف میوه بیش‌تر چیده نشود (Talebpoor et al., 2021). در مطالعه‌ای دیگر تأثیر بسامدهای ارتعاش شبیه‌سازی شده مختلف (۵، ۱۰ و ۱۵ هرتز) بر کیفیت پس از برداشت خرمالو بررسی شد. نتایج نشان داد که ارتعاش حمل و نقل به بدتر شدن کیفیت خرمالو در طول نگهداری می‌انجامد و در نتیجه کاهش وزن، pH و مواد جامد محلول کل را افزایش داد و میانگین هندسی قطر، مساحت سطح، حجم، سفتی و نیروی گسیختگی را کاهش داد. هم‌چنین دریافتند که لرزش با بسامد ۱۰ هرتز شدیدترین آسیب مکانیکی را در خرمالو ایجاد کرد (Mir & Shahbazi, 2022). در پژوهشی دیگر به آسیب مکانیکی گلابی تحت ارتعاش با در نظر گرفتن نوع بسته، سطح ارتعاش و مدت ارتعاش پرداخته شده است. نتایج نشان داد که ارتعاش منجر به کاهش آشکار سفتی گلابی می‌شود و سفتی گلابی با پنج نوع بسته‌بندی پس از لرزش ۹ درصد به ۲۶ درصد کاهش یافت. نوع بسته بندی تأثیر زیادی در آسیب مکانیکی گلابی داشت (Wang et al., 2022). در تحقیقی دیگر به بررسی اثرات ارتعاش در حمل و نقل بر ویژگی‌های دینامیکی و مکانیکی میوه طالبی و آسیب‌های وارد بر آن پرداخته شده است، نتایج حاکی از آن است که محدوده بسامدهای تشدید برای حمل و نقل طالبی مهم است و میوه‌ای با ظرفیت میرایی داخلی بالا به اندازه میوه‌ای با ظرفیت میرایی پایین در اثر ارتعاشات هیجان‌انگیز آسیب نمی‌بیند، حتی اگر بسامد طبیعی آن در محدوده تحریک قرار گیرد (Azam et al., 2022). هلو میوه‌ای اقتصادی تلقی می‌شود و در مقایسه با سایر محصولات کشاورزی که در شرایط آب و هوایی مشابه در کشور کشت می‌شوند، نیازهای کم‌تری را می‌طلبد و

برای ثبت شتاب از یک شتاب سنج دیجیتال (مدل VB-8203 ساخت تایوان) و ثبت بسامد از یک توان‌سنج با قابلیت اندازه‌گیری بسامد (مدل DW-6090 ساخت کره) استفاده شد. برای اجرای طرح، ابتدا ارتعاشات ایجاد شده در جاده توسط وانت بارها که در جابجایی میوه‌ها به طور گسترده‌ای استفاده می‌شوند اندازه‌گیری شد.

دنده‌ها توسط یک موتور برقی در خلاف جهت هم می‌چرخند. یک موتور سه حالتی نیروی لازم را تأمین می‌کند. پایه‌های میز توسط یک میراگر لاستیکی به زمین متصل می‌شوند. تنظیم دور موتور و بسامد ارتعاش با استفاده از یک مبدل بسامد (اینورتر مدل N700E ساخت کره) و تنظیم شتاب ارتعاش با استفاده از تغییر اندازه وزنه‌هایی که بر روی میز ارتعاشی قرار می‌گیرند انجام شد.

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی نمونه‌های هلو رقم آلبرتا

ویژگی	میانگین	انحراف معیار	ضریب تغییرات (%)
جرم (g)	۸۰/۳۴	۶/۶۸۳	۸/۳۱۸
طول (mm)	۵۵/۶۷۰	۱/۷۸۰	۳/۱۹۷
عرض (mm)	۵۳/۸۸۸	۱/۵۸۶	۲/۹۴۴
ضخامت (mm)	۵۱/۴۷۲	۲/۸۶۷	۵/۵۷۱
قطر حسابی	۵۳/۶۷۷	۱/۰۶۶	۱/۹۸۷
قطر هندسی	۵۳/۶۲۲	۱/۰۸۱	۲/۰۱۶
چگالی نسبی	۰/۹۹۳	۰/۰۱۶	۱/۷۰۸
ضریب کرویت (/)	۰/۹۶۴	۰/۰۴۴	۴/۶۰۷
حجم جامد (mm ³)	۸۰/۸۶۸	۶/۴۳۹	۷/۹۶۳
چگالی توده (g/mm ³)	۰/۹۹۳	۰/۰۱۶	۱/۷۰۸

بسامد ارتعاش، مدت زمان ارتعاش و نوع جعبه) با سه تکرار در قالب طرح کامل تصادفی صورت گرفت. در پایان هر آزمایش داده‌های اندازه‌گیری شده در نرم‌افزار Excel 2010 ثبت شده و برای تجزیه و تحلیل داده‌ها از نرم‌افزار SPSS ورژن ۱۶ و Minitab.v16.1.1 استفاده گردید.

جدول ۲- تیمارهای مورد نظر برای بررسی اثر ارتعاشات بر روی میزان کوفتگی هلو

متغیر مورد مطالعه	سطوح متغیر
فرکانس ارتعاش (Hz)	$F_1=10$ و $F_2=12$
شتاب ارتعاش (g)	$A_1=0/3$ و $A_2=0/5$
مدت زمان ارتعاش (min)	$t_1=15$ و $t_2=30$
نوع جعبه	پلاستیکی B_1 و چوبی B_2

روش آزمایش

تمام میوه‌ها بعد از برداشت از باغ و انتقال به آزمایشگاه، درون جعبه در یک ردیف چیده شده و بر روی میز ارتعاشی دستگاه قرار گرفتند. بسامد ارتعاش با استفاده از تنظیم دور موتور برقی توسط اینورتر و شتاب ارتعاشی

این روش توسط Shahbazi et al. (2009) نیز مورد استفاده قرار گرفته است. پراکندگی بسامدهای ارتعاش به صورت درصد، با دامنه (گام) ۵ هرتز، در نظر گرفته شد و درصد بسامدهایی که بین ۰ تا ۵ هرتز، ۵ تا ۱۰ هرتز، ۱۰ تا ۱۵ هرتز، ۱۵ تا ۲۰ هرتز و غیره قرار داشتند مشخص شد. سپس، میانگین بسامدهای دو مورد از پراکندگی‌ها که دارای بیشترین درصد بودند برای شبیه‌سازی ارتعاش در آزمایشگاه انتخاب شدند که عبارت بودند از ۱۰ و ۱۲ هرتز. پراکندگی شتاب‌های ارتعاش نیز به صورت درصد و با گام $g/0.25$ در نظر گرفته شد و درصد شتاب‌های ارتعاش که بین ۰ تا $g/0.25$ ، $g/0.25$ تا $g/0.5$ و $g/0.5$ تا $g/0.75$ 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 $g/0.3$ و $g/0.5$. از دیگر ویژگی‌های مورد مطالعه در این تحقیق مدت زمان ارتعاش و نوع بسته‌بندی میوه‌ها بوده که از دو مدت زمان ۱۵ و ۳۰ دقیقه و دو جعبه‌ی چوبی و پلاستیکی استفاده شد. آزمایش به صورت فاکتوریل (چهار فاکتوری 2×2 ، فاکتورهای شتاب ارتعاش،

حجم کوفتگی نیز با استفاده از شکل ۲ و روش ضخامت کوفتگی بیضوی (معادله (۱) و (۲)) محاسبه گردید (Tabatabaei et al., 2012).

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

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

BA برابر مساحت سطح کوفتگی و BV برابر حجم کوفتگی میوه هلو است.

نیز توسط تغییر اندازه وزنه‌های قرار گرفته روی میز ارتعاشی تنظیم گردید. در هنگام کار، شتاب دستگاه توسط ارتعاش‌سنج به طور پیوسته پایش گردید. بعد از انجام آزمایش، میوه‌ها به مدت ۷۲ ساعت در آزمایشگاه نگهداری شدند تا ارتعاش، تأثیر خود را روی نمونه‌ها نشان دهد. بعد از آن نقاط آسیب دیده که به رنگ قهوه‌ای و یا تیره شده بودند مشخص شدند (شکل ۱-ب). سپس طول، عرض و عمق کوفتگی میوه‌ها به وسیله کولیس رقمی با دقت ۰/۰۱ میلی‌متر اندازه‌گیری شد. سطح و

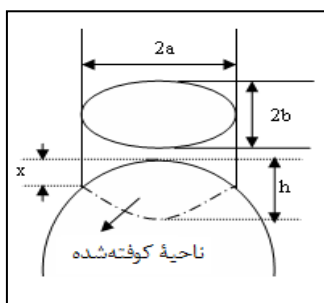


(ب)



(الف)

شکل ۱- (الف) دستگاه شبیه‌ساز ارتعاش جاده‌ای (ب) کوفتگی میوه هلو پس از انجام آزمایش



شکل ۲- نمای بالا و مقطع عرضی در ناحیه کوفتگی هلو (نمادها مربوط به محاسبه سطح و حجم کوفتگی هستند).

در سطح ۱ درصد و بر حجم کوفتگی در سطح ۵ درصد معنی‌دار است.

بررسی عوامل مؤثر بر حجم کوفتگی

بسامد ارتعاش رابطه مستقیمی با حجم کوفتگی دارد به طوری که در بسامد ارتعاش ۱۰ Hz بیشینه حجم کوفتگی ۵۱۰/۰۴ میلی‌متر مکعب و در بسامد ارتعاش ۱۲ Hz بیشینه حجم کوفتگی ۷۲۷/۴۸ میلی‌متر مکعب است. با افزایش بسامد ارتعاش حجم کوفتگی وارد شده به میوه افزایش می‌یابد. این نتیجه با نتایج به دست آمده توسط

نتایج و بحث

نتایج حاصل از تجزیه واریانس بسامد ارتعاش، شتاب ارتعاش، مدت زمان ارتعاش و نوع جعبه در جدول ۳ ارائه شده است. مطابق نتایج به دست آمد، بسامد ارتعاش بر عمق و حجم کوفتگی در سطح ۱ درصد، نوع جعبه بر عمق و حجم کوفتگی در سطح ۱ درصد، مدت زمان ارتعاش بر عمق و حجم کوفتگی در سطح ۱ درصد و بر سطح کوفتگی در سطح ۵ درصد معنی‌دار است. همچنین اثر متقابل شتاب و بسامد بر سطح کوفتگی در سطح ۵ درصد، اثر متقابل شتاب و بسامد و زمان بر عمق کوفتگی

می‌گردد که میوه بعد از مدتی به حد خستگی برسد، زیرا بافت‌های زیستی میوه در اثر بارهای تکراری نرم می‌شوند و از مقاومت آنها کاسته می‌شود و در نتیجه صدمه می‌بینند (Sitkei, 1986).

بررسی عوامل مؤثر بر سطح کوفتگی

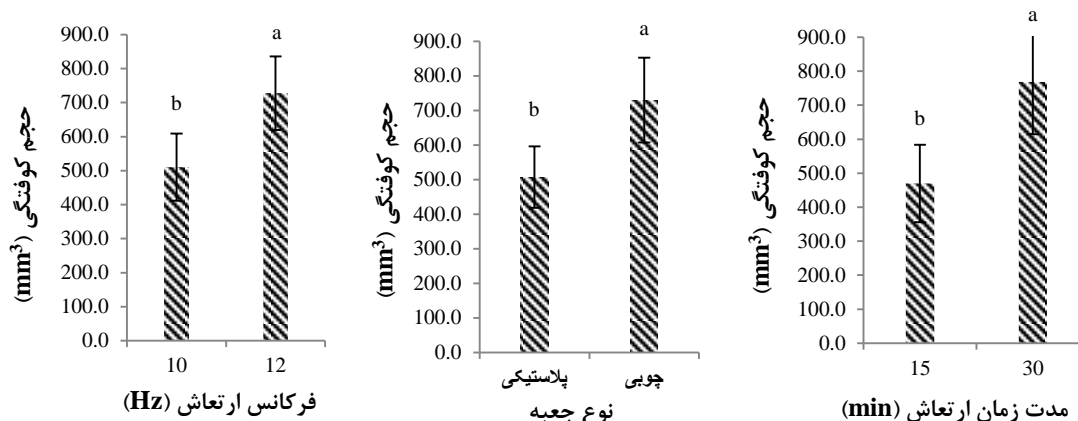
با توجه به شکل ۴، در مدت زمان ارتعاش ۱۵ دقیقه بیشینه سطح کوفتگی ۲۰۲/۷۲ میلی‌متر مربع و در مدت زمان ارتعاش ۳۰ دقیقه بیشینه سطح کوفتگی ۲۳۳/۷۷ میلی‌متر مربع بوده که بیان‌گر این است که با افزایش مدت زمان ارتعاش (افزایش مسافت طی شده) صدمه دیدگی در محصول افزایش یافته و باعث تلفات بیش‌تر محصول می‌شود. نتایج پژوهش (Chaiwong et al. 2021) بر روی میوه گواوا نشان داد که در مدت زمان ارتعاش ۳۰ دقیقه بیش‌ترین سطح کوفتگی در میوه ایجاد شد. هم‌چنین، این نتیجه مشابه نتایج به دست آمده توسط Mohsenin (1986) است که گزارش کرد در مسافت‌های طولانی‌تر بیش‌ترین درصد کاهش نیروی شکست اتفاق می‌افتد.

(Shahbazi et al. 2009) مطابقت دارد که گزارش کردند میزان صدمات وارده به پوست میوه هندوانه در فرکانس ۱۳ Hz بیش‌تر از میزان صدمات در بسامد ۷/۵ Hz است. در شکل ۳ بیشینه حجم کوفتگی میوه در جعبه پلاستیکی ۵۰۷/۳۵ میلی‌متر مکعب و بیشینه حجم کوفتگی در جعبه چوبی ۷۲۷/۴۸ میلی‌متر مکعب است. میزان حجم کوفتگی نیز همانند عمق و سطح کوفتگی در جعبه‌های چوبی بیش‌تر از جعبه‌های پلاستیکی است. هرچه انرژی جذب شده توسط سطح برخورد بیش‌تر باشد حجم کوفتگی کم‌تر است و در اینجا میزان انرژی جذب شده توسط جعبه‌های پلاستیکی بیش‌تر از جعبه‌های چوبی است. در پژوهشی (Fernando et al. 2018) نشان دادند که آسیب دیدگی سیب در جعبه‌های پلاستیکی کم‌تر از جعبه‌های چوبی است. با افزایش مدت زمان ارتعاش حجم کوفتگی در میوه افزایش پیدا می‌کند، به طوری که بیشینه حجم کوفتگی در مدت زمان ارتعاش ۱۵ دقیقه ۴۶۹/۳۹ میلی‌متر مکعب و بیشینه حجم کوفتگی در مدت زمان ۳۰ دقیقه ۷۶۸/۱۳ میلی‌متر مکعب است، زیرا زمانی که نیروهای تکراری، حتی کوچک‌تر از حد تسلیم، در مدت زمان طولانی به میوه وارد می‌شوند سبب

جدول ۳- تجزیه واریانس عوامل شتاب، بسامد، نوع جعبه و زمان ارتعاش بر عمق، سطح و حجم کوفتگی هلو

ویژگی‌ها	درجه آزادی	عمق کوفتگی (mm)	سطح کوفتگی (mm ²)	حجم کوفتگی (mm ³)
شتاب	۱	۰/۸۲۴ ^{ns}	۶۰/۱۷ ^{ns}	۱۷۸۶۶ ^{ns}
بسامد	۱	۲۱/۸۰۳ ^{xx}	۱۲۵۰ ^{ns}	۵۶۷۳۶۵ ^{xx}
جعبه	۱	۱۳/۲۶۲ ^{xx}	۶۷۶۱ ^{ns}	۵۹۵۸۰۴ ^{xx}
زمان	۱	۲۵/۰۷۱ ^{xx}	۱۱۵۷۲ ^{xx}	۱۰۷۰۹۸۱ ^{xx}
شتاب × بسامد	۱	۱/۳۴۳ ^{ns}	۸۴۹۸ ^{xx}	۳۳۹۹۵ ^{ns}
شتاب × جعبه	۱	۰/۰۱۲ ^{ns}	۱۵۷۸ ^{ns}	۲۱۲۰ ^{ns}
شتاب × زمان	۱	۰/۰۵۵ ^{ns}	۳۳۶۹ ^{ns}	۴۶۴۸۰ ^{ns}
بسامد × جعبه	۱	۰/۲۴۵ ^{ns}	۱۶۶ ^{ns}	۹۷۳ ^{ns}
بسامد × زمان	۱	۰/۴۸۹ ^{ns}	۱۸۷ ^{ns}	۲۶۷۹۸ ^{ns}
جعبه × زمان	۱	۰/۲۴۵ ^{ns}	۱۶۹۸ ^{ns}	۱۱۰۶۰ ^{ns}
شتاب × بسامد × جعبه	۱	۰/۹۴۹ ^{ns}	۱۹۵۴ ^{ns}	۶۸۲۷۲ ^{ns}
شتاب × بسامد × زمان	۱	۱۷/۰۰۵ ^{xx}	۱۱۸ ^{ns}	۴۳۹۷۲۸ ^x
شتاب × جعبه × زمان	۱	۳/۴۲۹ ^{ns}	۵۵۱ ^{ns}	۵۶۷۶۲ ^{ns}
بسامد × جعبه × زمان	۱	۱/۴۳۹ ^{ns}	۹۸۰ ^{ns}	۲۰۲۹۴ ^{ns}
شتاب × بسامد × جعبه × زمان	۱	۰/۰۴۸ ^{ns}	۳۲ ^{ns}	۱۷۹۳۹ ^{ns}
خطای آزمایش	۳۲	۱/۶۶۹	۱۶۷۳	۶۹۳۵۱
ضریب تغییرات		۱۶/۵۰۸	۷/۴۸۲	۲۴/۷۵۳

ns، * و ** به ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد و ۱ درصد است.



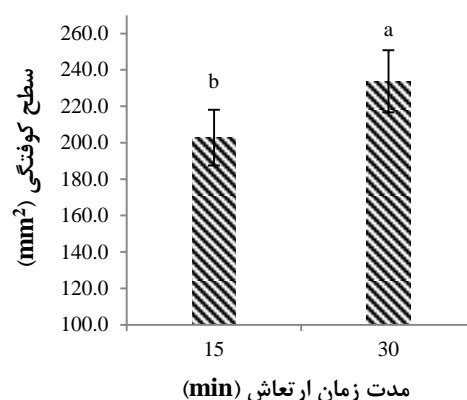
شکل ۳- تأثیر ویژگی‌های مستقل بر حجم کوفتگی

کوفتگی در نوع پلاستیکی آن ۴/۳۰ میلی‌متر و بیشینه عمق کوفتگی در جعبه چوبی ۵/۳۵ میلی‌متر است. میزان عمق کوفتگی میوه‌هایی که در جعبه‌های چوبی قرار می‌گیرند نسبت به میوه جعبه‌های پلاستیکی بیش‌تر است. جعبه‌های پلاستیکی خاصیت ضربه‌گیری بیش‌تری دارند و در نتیجه صدمات در عمق‌های سطحی‌تر رخ می‌دهد.

در شکل ۵ ملاحظه می‌شود که بیشینه عمق کوفتگی در مدت زمان ۱۵ دقیقه ۴/۱۰ میلی‌متر و در مدت زمان ۳۰ دقیقه ۵/۵۵ میلی‌متر است که نشان می‌دهد هرچه طول زمان ارتعاش افزایش پیدا کند، به تبع آن عمق کوفتگی در میوه نیز افزایش پیدا می‌کند. دلیل این امر تأثیر طولانی‌تر عوامل ارتعاشی بر روی بافت محصول و ایجاد صدمات مکانیکی بیش‌تر است که باعث کاهش خواصی از قبیل نیروی شکست، تنش شکست، مدول الاستیسیته و انرژی شکست می‌شود.

تأثیر متقابل شتاب و بسامد ارتعاش بر سطح کوفتگی

با توجه به شکل ۶ بیش‌ترین سطح کوفتگی در اثر متقابل شتاب و بسامد ارتعاش ۱۲ Hz × ۰/۵g برابر با (mm²) ۲۴۷/۸۵ و کم‌ترین سطح کوفتگی در اثر متقابل ۱۰ Hz × ۰/۳g (mm²) ۱۹۸/۸۵ است. بیش‌ترین سطح کوفتگی مربوط به زمانی است که ارتعاش بالا با بسامد بالا همراه باشد، در این صورت بیش‌ترین آسیب به میوه می‌رسد. زمانی که شتاب و بسامد ارتعاش هم‌زمان افزایش پیدا می‌کنند، میوه‌های درون جعبه آزادی حرکت بیش‌تری



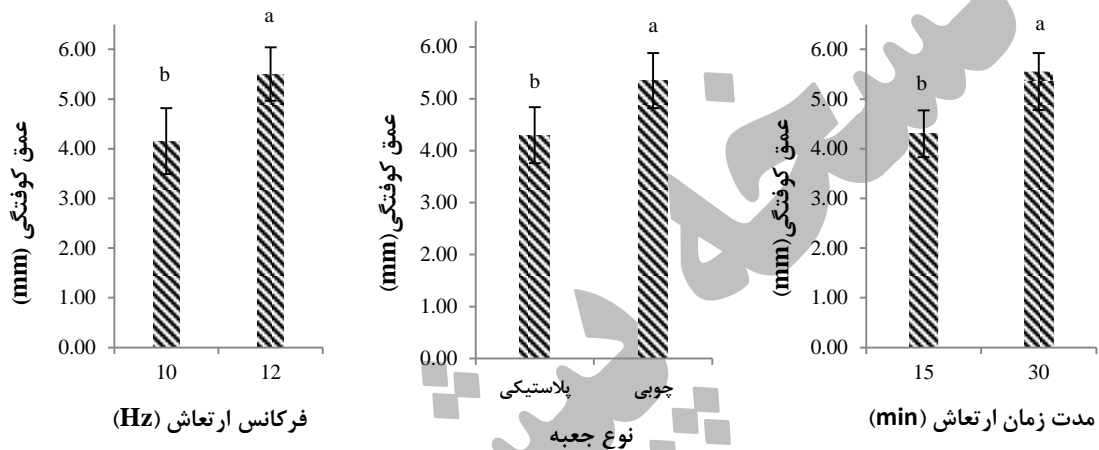
شکل ۴- تأثیر ویژگی‌های مستقل بر سطح کوفتگی

بررسی عوامل مؤثر بر عمق کوفتگی

در بسامد ارتعاش ۱۰ Hz، بیشینه عمق کوفتگی ۴/۱۵ میلی‌متر و در بسامد ارتعاش ۱۲ Hz بیشینه عمق کوفتگی ۵/۵۰ میلی‌متر به دست آمد. همان‌طور که ملاحظه می‌شود با افزایش بسامد ارتعاش عمق کوفتگی افزایش می‌یابد. (Ogut *et al.* (1999). گزارش کردند که با افزایش بسامد ارتعاش مدول الاستیسیته میوه هلو کاهش یافت و همین علت سبب افزایش کوفتگی میوه شد. Shahbazi *et al.* (2009). در مورد بافت هندوانه به این نتیجه رسیده‌اند که این میوه‌ها به بسامدهای پایین‌تر حساسیت بیش‌تری نشان داده و صدمات بیش‌تری پیدا می‌کنند. آنها علت این امر را به نرمی بیش از اندازه این میوه‌ها نسبت دادند. با افزایش بسامد ارتعاش ابتدا تغییر رنگ پوست هلو رخ می‌دهد و سپس عمق صدمه توسعه یافته و بافت درونی را دچار خرابی می‌کند (Amer *et al.*, 2018). نوع جعبه یکی دیگر از ویژگی‌های مورد ارزیابی است که بیشینه عمق

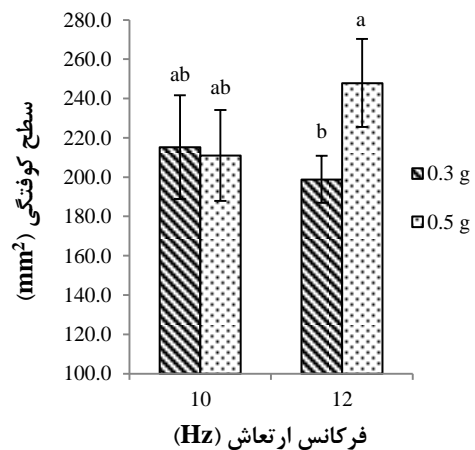
۱۳ رسید و نیز در بسامد ارتعاشی $7/5$ Hz با بزرگ‌تر شدن شتاب از $0/3$ g به $0/7$ g، میانگین صدمات کل از $40/3$ درصد به $45/54$ درصد افزایش پیدا کرد، این مقدار در بسامد ارتعاشی 13 Hz از $41/3$ درصد در شتاب $0/3$ g به $57/51$ درصد در شتاب $0/7$ g رسیده بود، که نشان می‌دهد با افزایش بسامد و شتاب ارتعاشی که به وسیله سامانه حمل و نقل وجود می‌آید، صدمات کل و بحرانی افزایش می‌یابد.

داشته و در حین ارتعاش، برخورد میوه‌ها با هم زیادتر شده و در نتیجه صدمات میوه افزایش می‌یابد. (Taghizadeh *et al.*, 2011) مشاهده کردند، مقایسه میانگین اثر متقابل بسامد و شتاب ارتعاش بر روی درصد کل میوه‌های صدمه دیده بر اساس آزمون دانکن سطح 5 درصد را نشان می‌دهد. مطابق یافته‌های آنها در شتاب $0/3$ g، افزایش بسامد تأثیر چندانی بر میزان صدمات کل نداشت، ولی در شتاب $0/7$ g میزان صدمات از $45/54$ درصد در بسامد $7/5$ Hz به $57/51$ درصد در بسامد 13 Hz



شکل ۵- تأثیر ویژگی‌های مستقل بر عمق کوفتگی

کمینه عمق کوفتگی در $10 \text{ Hz} \times 15 \text{ min} \times 0/3 \text{ g}$ برابر با $2/6$ (mm) است. با افزایش شتاب ارتعاش که به وسیله سامانه حمل و نقل وجود می‌آید، عمق کوفتگی در میوه‌ها افزایش می‌یابد. دلیل افزایش عمق کوفتگی با افزایش شتاب ارتعاش را به این صورت می‌توان بیان کرد که با توجه به این که شتاب ارتعاش بر روی میزان نیرو و قدرت ارتعاش اثر می‌گذارد و هر چه شتاب بیش‌تر باشد، قدرت شدت نیروی وارده نیز زیادتر می‌شود، از این رو هنگام حمل و نقل میوه هلو، اگر شتاب ارتعاشی زیاد با بسامد بالا در مدت زمان طولانی‌تر به میوه وارد شود، اندازه و شدت نیروهای عمل کننده بر روی میوه که به صورت نیروهای تکراری است، افزایش می‌یابد و در نتیجه باعث تخریب بافت‌های میوه و افزایش عمق کوفتگی می‌شود (Taghizadeh *et al.*, 2011).



شکل ۶- تأثیر ویژگی‌های وابسته بر سطح کوفتگی

در جدول ۴ اثر متقابل ویژگی‌های شتاب، بسامد و مدت زمان ارتعاش بر عمق کوفتگی نشان داده شده است. بیشینه عمق کوفتگی در شتاب، بسامد و مدت زمان ارتعاش $30 \text{ min} \times 12 \text{ Hz} \times 0/5 \text{ g}$ برابر با $6/33$ (mm) و

جدول ۴- نتایج تأثیر ویژگی‌های وابسته بر عمق کوفتگی

ویژگی‌ها	نمونه ۱	نمونه ۲	نمونه ۳	نمونه ۴	نمونه ۵	نمونه ۶	نمونه ۷	نمونه ۸
شتاب (g)	۰/۳	۰/۳	۰/۳	۰/۳	۰/۵	۰/۵	۰/۵	۰/۵
بسامد (Hz)	۱۰	۱۰	۱۲	۱۲	۱۰	۱۰	۱۲	۱۲
زمان (min)	۱۵	۳۰	۱۵	۳۰	۱۵	۳۰	۱۵	۳۰
عمق کوفتگی (mm)	۲/۶	۵/۶۳	۵/۹۳	۵/۶۷	۳/۸	۴/۵۸	۴/۰۸	۶/۳۳

با توجه به نتایج ارائه شده در جدول ۵، همانند عمق کوفتگی، بیش‌ترین حجم کوفتگی در شتاب، بسامد و مدت زمان ارتعاش $0.3 \text{ g} \times 12 \text{ Hz} \times 30 \text{ min}$ برابر با $10.25/96 \text{ (mm}^3\text{)}$ و کم‌ترین حجم کوفتگی در $0.3 \text{ g} \times 10 \text{ Hz} \times 15 \text{ min}$ است. هنگامی که بسامدها با شتاب بیش‌تر ترکیب شوند، در اثر تحریک ناشی از ارتعاشات، به خاطر تأثیر متقابل

جاده و سامانه تعلیق کامیون میوه به اطراف خود حرکت می‌کند یا می‌چرخد و با اجسام دیگر تصادم می‌کند که باعث می‌شود میوه انرژی بیش‌تری را از ارتعاش دریافت نموده و حالت تشدید و بی‌وزنی پیش‌آید و در زمان‌های طولانی‌تر چون نیروهای تکرار شونده تداوم بیش‌تری روی محصول دارند، در نتیجه حجم کوفتگی در میوه افزایش پیدا می‌کند.

جدول ۵- نتایج تأثیر ویژگی‌های وابسته بر حجم کوفتگی

ویژگی‌ها	نمونه ۱	نمونه ۲	نمونه ۳	نمونه ۴	نمونه ۵	نمونه ۶	نمونه ۷	نمونه ۸
شتاب (g)	۰/۳	۰/۳	۰/۳	۰/۳	۰/۵	۰/۵	۰/۵	۰/۵
بسامد (Hz)	۱۰	۱۰	۱۲	۱۲	۱۰	۱۰	۱۲	۱۲
زمان (min)	۱۵	۳۰	۱۵	۳۰	۱۵	۳۰	۱۵	۳۰
حجم کوفتگی (mm^3)	۲۷۹/۷۶	۷۵۴/۹۵	۶۸۲/۶۶	۶۸۰/۴۹	۳۹۴/۳۱	۶۱۱/۱۲	۵۲۰/۸۱	۱۰۲۵/۹۶

نتیجه‌گیری

شتاب ارتعاش اثر معنی‌داری بر عمق، سطح و حجم کوفتگی نداشت اما مشاهده شد که بسامد ارتعاش رابطه مستقیمی با عمق و حجم کوفتگی دارد، به طوری که با افزایش بسامد ارتعاش از ۱۰ به ۱۲ هرتز میزان تفاوت عمق و حجم کوفتگی مشهود است. با توجه به نتایج یافت شده، انرژی جذب شده توسط جعبه‌های پلاستیکی نسبت به جعبه‌های چوبی بیش‌تر است که سبب می‌شود آسیب کم‌تری به میوه‌های درون جعبه وارد شود و عمق و حجم کوفتگی کاهش یابد. همچنین عمق، سطح و حجم کوفتگی در مدت زمان ارتعاش ۳۰ دقیقه بسیار بیش‌تر از مدت زمان ۱۵ دقیقه است. به عبارت دیگر هرچه مسافتی که ماشین‌های حمل و نقل طی می‌کنند بیش‌تر باشد، صدماتی که به میوه هلو وارد می‌شود بیش‌تر خواهد بود.

وارد شد، که دلیل آن اندازه و شدت نیروهای عمل کننده‌ای بود که بر روی میوه به صورت نیروهای تکراری افزایش یافت و در نتیجه باعث تخریب بافت‌های میوه و افزایش صدمات گردید. هنگام حمل و نقل میوه مخصوصاً میوه‌های آبداری مانند هلو چنانچه از پوشش‌های نرم و با قابلیت ضربه‌گیری و جذب انرژی بیش‌تر استفاده شود، میزان کوفتگی به طور قابل ملاحظه‌ای کاهش می‌یابد و بهتر است مسیر حمل و نقل کوتاه و در کوتاه‌ترین زمان ممکن انجام شود و فقط محصول از تولید کننده به محل مصرف کننده منتقل شود. حتی‌الامکان از وسایل نقلیه‌ای استفاده شود که دارای سامانه تعلیق مناسب باشد و از سایر استانداردهای لازم و کافی برخوردار باشد، تا حداقل شتاب و بسامد ارتعاش به کف وسیله نقلیه و به تبع آن به جعبه‌ها و میوه‌های درون جعبه وارد شود تا از این طریق ضایعات میوه‌ها در طول حمل و نقل به حداقل برسد.

زمانی که شتاب 0.3 g به همراه بسامد 12 Hz به میوه وارد شد، بیش‌ترین سطح کوفتگی را در میوه داشتیم و بیشینه عمق و حجم کوفتگی مربوط به زمانی بود که شتاب بالا با بسامد بالا در مدت زمان طولانی‌تری به میوه

- Mohsenin, N. N. (1986). *Physical Properties of Plant and Animal Materials*. Gordon and Breach Science Publishers, New York.
- 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.
- Shahbazi, F., Rajabipour, A., Mohtasabi, S. & Rafie, Sh. (2009). Transportation vibration effect on the modulus of elasticity of the Crimson Sweet watermelon. *Iranian Journal of Biosystems Engineering*. 40(1), 15-25. (In Persian).
- Sitkei, G. (1986). *Mechanics of Agricultural Materials*. Elsevier, Amsterdam.
- Tabatabaei, R., Kolourie, A., Hashemi, J., & Hadipour, R. (2012). The effect of the fall height, the speed of the conveyor and material impact on the level and volume of apple varieties Golden soreness Dyshlz. *Journal of Agricultural Machinery*, pp. 19-27. (in Persian).
- Taghizadeh, gh., Tabatabaie, R., Hashemi, J. & Shahbazi, F. (2011). The impact of vibration acceleration on the damage caused by road transport kiwi fruit. *Twentieth National Congress of Food Science and Technology*. (In Persian).
- Talebpoor, M., Maleki, A. & Lashgari, M. (2021). Investigating the box type and the number of fruit rows on mechanical properties of nectarine in response to simulated transport vibrations. *Iranian Journal of Food Science and Technology*, 18(115), 1-12. (In Persian).
- Van Zeebroeck, M., Tijssens, 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.
- Wang, L. J., Zhang, Q., Song, H. & Wang, Z. W. (2022). Mechanical damage of 'Huangguan' pear using different packaging under random vibration. *Postharvest Biology and Technology*, Vol.187.
- Zhiguo, L., Pingping, L., Hongling, Y., Jizhan, L. & Yunfeng, X. (2012). Mechanical properties of tomato exocarp, mesocarp and locular gel locular gel tissues. *Journal of Food Engineering*, 111, 82-91.
- Zhou, R., Su, S., Yn, L. & Li, Y. (2017). Effect of transport vibration on mechanical damage of pears. *Postharvest Biology and Technology*, 46(1), 20-26.
- Amer, A. Albalnshi, N. & Azam, M. (2018). Vibration analysis during transportation of peach. *Agricultural Engineering International, CIGR Journal*, 15(3): 181-190.
- Anonymous, (2022). Ministry of Agriculture (2022). Department of Plant Production, Office of fruits.
- Azam, M. M., Saad, A., & Amer, B. M. A. (2022). Assessment of the Quality Losses of Cantaloupe Fruit during Transportation. *Processes*, 10(6), 1187. <https://doi.org/10.3390/pr10061187>.
- Barchi, G. L., Berardinelli, A., Guarnieri, A., Ragni, L. & Totaro Fila, C. (2002). Damage to loquats by vibration-simulating intrastate transport. *Biosystems Engineering*, 82(3), 305-312.
- Chaiwong,hi, N., S., Yoythaisong, P., Aunsri, N. & Saengrayap, R. (2021). Vibration damage in guava during simulated transportation assessed by digital image analysis. *Postharvest Biology and Technology*, 181, Page 111641.
- Dobrzanski, B., Rabcewicz, J. & Rybczynski. R. (2006). *Handling of apple*. Center of excellence agrophysics Polish Academy of science, Poland, 20-006 Lublin.
- Du, M., Jia, X., Li, J. & Jiang, J. (2020). Regulation effects of 1-MCD combined with flow microcirculation of sterilization peach quality. *Scientia Horticulture*, 260(3), 108867.
- Fernando, I., Fei, J., Stanley, R. & Enshaei, R. (2018). Measurement and evaluation of the effect of vibration on fruits in transit. *Packaging Technology and Science*, 31(11), 723-738. <https://doi.org/10.1002/pts.2409>.
- Hoshyar, S., Fatemian, H., Asadi, A. & Delkhosh, B. (2011). The effects of the impact forces caused by the collapse of the biophysical characteristics of the tomato. *Journal of Food Technology and Nutrition, Science and Research Branch of Tehran*. 8(3), 16-27. (In Persian).
- Lipnska, M., Tamarzewska, M. & Kolozyn, D. (2019). Identifying factors associated with food losses during transportation. *Sustainability*, 11(7), 2046.
- Lu, F., Ishikawa, Y., Kitazawa, H. & Satake, T. (2010). Measurement of impact pressure and bruising of apple fruit using pressure-sensitive film technique. *Journal of food Engineering*, 96(4), 614-620.
- Mir, H. & Shahbazi, F. (2022). Simulated transit vibration effects on the postharvest quality of persimmon during storage. *Postharvest Biology and Technology*. Vol.189.

Research paper

Investigating the effect of some road transport parameters on peach bruise in a vibration simulator

Sh. Ghavami Jolandan^{1*} and R. Tabatabaekoloor²

Abstract

Vibration due to road transportation has a significant effect on the fruits. On the other hand, in order to prevent mechanical damage to the fruits, knowing these effects can be the most important way of reducing fruit waste and damage. In this study, four effective factors were investigated on the bruise of the peach variety of Alberta in a road transportation simulation system. Effects of treatments such as vibration acceleration (0.3 and 0.5 g), frequency (10 and 12 Hz), time (15 and 30 min), and box type (wood and plastic) on the volume, area, and depth of bruise were investigated. Results showed that the maximum bruise area was obtained when the acceleration of 0.5 g and frequency of 12 Hz were applied to the fruits. Also, the maximum depth and volume of the bruise are related to 30 minutes of vibration time at an acceleration of 0.5 g and frequency of 12 Hz. Also, by increasing the frequency, depth, and volume of bruises, mechanical damage to the fruits in wood boxes is greater than in plastic boxes. Fruit bruises increased during long transportation time.

Keywords: Transportation, Road vibration, Bruise, Peach.

Citation: Ghavami Jolandan Sh. and Tabatabaekoloor R. 2025. Investigating the effect of some road transport parameters on peach bruise in a vibration simulator. Journal of Researches in Mechanics of Agricultural Machinery. 34: ??-??. <https://dx.doi.org/10.22034/JRMAM.2025.14863.714>

1- Assistant professor, Department of Biosystems Engineering, Faculty of Agriculture, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran.

2- Associate Professor, Department of Biosystem Engineering, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Iran.

* Corresponding Author: s.ghavami@scu.ac.ir

Received: 2024/08/04

Accepted: 2025/01/18

<https://dx.doi.org/10.22034/JRMAM.2025.14863.714>