

## صدمات ارتعاشی زیتون در حین حمل و نقل

هدی کارگرپور<sup>۱\*</sup>، تیمور توکلی هاشجین<sup>۲</sup>، عباس همت<sup>۳</sup> و برات قبادیان<sup>۴</sup>

## چکیده

ارتعاشات ناشی از ناهمواری‌های جاده در حین حمل و نقل، اثر زیادی بر میزان صدمات مکانیکی محصولات زراعی و باغی دارد. زیتون (*Olea europaea L.*) یکی از محصولات حساس به کوفتگی، می‌باشد. در این مطالعه، تأثیر فرکانس و شتاب ارتعاش در حین حمل و نقل شبیه‌سازی شده با میز ارتعاشی بر صدمات مکانیکی دو رقم زیتون مورد بررسی قرار گرفت. آزمایش‌ها به صورت فاکتوریل، در قالب طرح کاملاً تصادفی و با سه تکرار انجام شد. مؤلفه‌های آزمایش، شامل شتاب ارتعاش (۰/۳، ۰/۵، و ۰/۷)، فرکانس ارتعاش (۵، ۷/۵ و ۱۰ هرتز) و رقم زیتون (کنسروالیا و روغنی) بودند. تأثیر شتاب و فرکانس ارتعاش بر درصد کوفتگی در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بود و با افزایش شتاب و فرکانس ارتعاش مقدار کوفتگی ابتدا افزایش و سپس کاهش یافت. اثر رقم بر میزان کوفتگی معنی‌دار نبود. فرکانس ۷/۵ هرتز باعث بیشترین آسیب کوفتگی در دو رقم شد؛ بنابراین، در حمل و نقل زیتون باید کنترل شود. بیشترین مقدار کوفتگی و آسیب در زیتون روغنی در فرکانس ۷/۵ هرتز و شتاب  $g$  ۰/۵ و در رقم کنسروالیا در فرکانس ۷/۵ هرتز و شتاب  $g$  ۰/۷ حاصل شد.

**واژه‌های کلیدی:** آسیب مکانیکی، حمل و نقل جاده‌ای، زیتون (روغنی، کنسروالیا)، شتاب ارتعاش، فرکانس ارتعاش.

ارجاع: هدی کارگرپور ه. توکلی هاشجین ت. همت ع. و قبادیان ب. ۱۳۹۷. صدمات ارتعاشی زیتون در حین حمل و نقل. نشریه پژوهش‌های مکانیک ماشین‌های کشاورزی. ۷(۲): ۳۹-۳۱.

۱- دانشجوی کتری مکانیک بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران.

۲- استاد گروه مکانیک بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران.

۳- استاد گروه مکانیک بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان.

۴- استاد گروه مکانیک بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران.

\* نویسنده مسئول: [hodakargarpour@yahoo.com](mailto:hodakargarpour@yahoo.com)

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۱/۲۶ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۲/۰۶

## مقدمه

حمل و نقل نامناسب میوه‌ها باعث وارد شدن آسیب مکانیکی به آن‌ها می‌شود. شکل آسیب‌ها بستگی به ساختمان فیزیکی و بیولوژیکی محصول و نوع بار وارد شده (بار استاتیکی، دینامیکی و نوسانی) دارد. اگر وسیله حمل و نقل مناسب نباشد، موجب تکان‌های شدید میوه و برخورد آن با سطوح ماشین حمل‌کننده در حمل و نقل فله‌ای یا به سطوح جعبه و یا دیگر میوه‌ها شده و در نتیجه باعث تغییر شکل در بافت آن‌ها می‌شود. اگر این تغییر شکل از حد تسلیم بیولوژیکی تجاوز کند، غشای سلولزی و جدارهٔ سیتوپلاسمی سلول صدمه ببیند، محتوای داخل سلولی می‌تواند خارج شود و در تماس با هوای بین‌سلولی واکنش نشان داده و در مدت کوتاهی تغییر رنگ دهد و به صورت کوفتگی در داخل گوشت ظاهر شود (Sitkei, 1986). ایجاد آسیب به میوه در حین حمل و نقل جاده‌ای به عواملی چون: خصوصیات ارتعاش (شتاب و فرکانس ارتعاش، مدت زمان ارتعاش)، نوع میوه (اندازه میوه و خصوصیات ارتعاشی آن)، نوع وسیله حمل‌کننده (خصوصیات سامانه تعلیق کامیون)، ارتفاع توده میوه در جعبه، نوع بسته‌بندی و شرایط جاده بستگی دارد. مقدار ضایعات پس از برداشت در محصولات کشاورزی در اثر صدمات مکانیکی با توجه به کیفیت فرایند، ۳۰ تا ۴۰ درصد برآورد می‌شود (Barchi et al., 2002). برای اندازه‌گیری آسیب‌های وارد شده به میوه از روش‌های اندازه‌گیری مستقیم ابعاد کوفتگی (Taghizade-Moghaddam et al., 2013)، کاهش مدول الاستیسیته (Ogut et al., 1999)، اندازه‌گیری انرژی جذب شده و سفتی صوتی (Ahmadi, 2012) استفاده می‌کنند.

آسیب‌های ارتعاشی در اثر حمل و نقل برخی از محصولات مانند سیب (Eissa et al., 2012; Singh et al., 1992)، هلو (Zareei et al., 2015)، گوجه فرنگی (Aba et al., 2012; De Ketelaere & De Baerdemaeker, 2001) ازگیل ژاپنی (Barchi et al., 2002)، هندوانه (Shahbazi et al., 2009)، کیوی (Taghizade-Moghaddam et al., 2013) گزارش شده است. دستگاه شبیه‌ساز ارتعاشی برای مطالعه حساسیت میوه‌ها و سبزی‌ها به صدمات لرزه‌ای در حین انتقال و حمل و نقل مورد استفاده قرار می‌گیرد. Van Zeebroeck et al., 2006a، از یک لرزاننده الکترو-هیدرولیکی برای شبیه‌سازی ارتعاش انتقال یافته به میوه‌ها

در حین حرکت روی جاده استفاده کردند. سیگنال سینوسی با فرکانس ۴ هرتز به لرزاننده الکترو-هیدرولیکی اعمال شد که این فرکانس از مطالعات انجام شده به‌عنوان آستانه آسیب مکانیکی به سیب در حمل و نقل توده‌ای انتخاب گردید. دامنه شتاب اعمالی برای آزمایش ارزیابی  $12/56 \text{ m/s}^2$  ( $1/28 \text{ g}$ ) و  $14/22 \text{ m/s}^2$  ( $1/45 \text{ g}$ ) بود. آزمایش اولیه لرزاننده نشان داده بود که در شتاب کمتر از  $10/79 \text{ m/s}^2$ ، کوفتگی‌های بسیار اندکی در سیب ایجاد می‌شود (Van Zeebroeck et al., 2006).

در پژوهشی دیگر، تأثیر استفاده از سه نوع ماده ضربه‌گیر و فرکانس ارتعاش بر مقدار کوفتگی میوه در حمل و نقل مطالعه شد. برای اندازه‌گیری رفتار دینامیکی میوه سیب در حین حمل و نقل از شبیه‌ساز ارتعاش استفاده شد. دستگاه ارتعاشی، شامل یک صفحه متصل به یک موتور ارتعاشی بود که بر روی صفحه یک شتاب‌سنج قرار داده شد. نتایج نشان داد که مواد ضربه‌گیر در کاهش کوفتگی در حین حمل و نقل بسیار مؤثر است. این امر به دلیل نزدیکی فرکانس تشدید میوه به فرکانس وسیله حمل و نقل است که استفاده از مواد ضربه‌گیر، پدیدهٔ تشدید را کاهش می‌دهد. مقایسه بین مواد ضربه‌گیر نشان داد که ماده توری فوم مناسب‌ترین ماده در بین مواد آزمایش شده در این تحقیق بود (Eissa et al., 2012).

Fischer et al. (1992)، تأثیر ارتعاشات حمل و نقل جاده‌ای را بر بسته‌بندی میوه توت‌فرنگی و انگور در محدوده فرکانس ۲ تا ۳۰ هرتز، بررسی کردند. کیفیت میوه قبل و بعد از ارتعاش و بعد از یک هفته انبارداری اندازه‌گیری شد. تأثیر فرکانس ارتعاش و موقعیت بسته در ۹ یا ۱۵ ردیف محصول بررسی شد. نتایج نشان داد که فرکانس بین ۵-۱۰ هرتز باعث بیشترین آسیب به میوه شد و بسته‌های بالایی بیشترین آسیب را نشان دادند. میوه توت فرنگی حساسیت بیشتری نسبت به میوه انگور به صدمات مکانیکی داشت (Fischer et al., 1992).

در تحقیق دیگری، تأثیر فرکانس، شتاب و مدت زمان ارتعاش در حین حمل و نقل جاده‌ای بر صدمات سیب درختی مورد مطالعه قرار گرفت. ابتدا فرکانس و شتاب ارتعاش در کف یک کامیون حمل و نقل میوه اندازه‌گیری شد. در مرحلهٔ بعد، با استفاده از یک شبیه‌ساز ارتعاشی، تأثیر فرکانس ارتعاش و نوع بسته‌بندی بر حساسیت سیب به صدمات مکانیکی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان

بیشتر از آسیب وارد شده به پوسته آن بود. بیشترین میزان آسیب در فرکانس ۷/۵ Hz، شتاب ۰/۷ g و مدت زمان ۶۰ دقیقه به دست آمد. میوه‌های قرار داده شده در بالای بسته، آسیب بیشتری را نسبت به میوه‌های موجود در مرکز و پایین جعبه نشان دادند؛ زیرا در بالای بسته آزادی حرکت بیشتری وجود داشت و حرکت بیشتر در اثر ارتعاش موجب آسیب بیشتر می‌شود (Shahbazi et al., 2010).

میوه زیتون، از جمله میوه‌های حساس به کوفتگی است؛ اما تحقیقات بسیار کمی در زمینه ارزیابی صدمات میوه زیتون حین حمل و نقل صورت گرفته است. در سال‌های اخیر، با توجه به توسعه باغات زیتون در سراسر کشور و در مناطق مستعد و با توجه به دوری صنایع فراوری و روغن‌کشی زیتون از بسیاری از باغات جدید، مسئله حمل و نقل زیتون و صدمات ناشی از آن مطرح می‌شود. آمار دقیقی از میزان ضایعات این میوه در اثر حمل و نقل وجود ندارد؛ اما با توجه به حساسیت آن به آسیب، این آمار می‌تواند مانند سایر محصولات باشد. از آنجایی که این میوه ارزشمند غالباً در گونی بسته‌بندی شده و با کامیون حمل و نقل می‌شود، بنابراین، هدف از این تحقیق، ارزیابی مقدار آسیب‌دیدگی و کوفتگی میوه زیتون در حین حمل و نقل است. بدین منظور، با استفاده از یک میز ارتعاشی، تأثیر فرکانس و شتاب ارتعاش بر درصد میوه آسیب‌دیده مطالعه شد.

### مواد و روش‌ها

برای مطالعه حساسیت به صدمات مکانیکی در حین حمل و نقل دو رقم زیتون روغنی و کنسروی، از یک دستگاه میز شبیه‌ساز ارتعاشی استفاده شد که در تحقیقی توسط مختاری در دانشگاه صنعتی اصفهان ساخته شده بود (Mokhtari, 2015). قسمت‌های مختلف این دستگاه در شکل ۱ نشان داده شده است.

معادله دیفرانسیل یک سامانه ارتعاشی یک درجه آزادی با میرایی لزجی که توسط نیروی هارمونیک تحریک می‌شود، به صورت زیر بیان می‌شود:

$$M\ddot{x} + c\dot{x} + kx = F_0 \sin \omega t \quad (1)$$

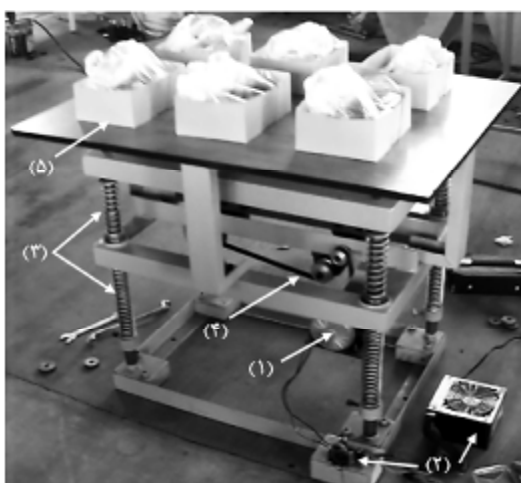
که در آن  $M$ ، جرم (kg)؛  $c$ ، ثابت میرایی (Ns/m)؛  $k$ ، ضریب سختی فنر (N/m)؛  $F_0$ ، نیروی تحریک (N)؛  $\omega$ ،

داد که فرکانس ارتعاش در کف کامیون بیشتر در بازه‌های ۵-۱۰ و ۱۰-۱۵ هرتز و به ترتیب با میانگین، ۸/۱۹ و ۱۲/۵۹ هرتز و شتاب ارتعاش نیز بیشتر در بازه‌های ۵-۰/۲۵ و ۰/۲۵-۰/۷۵ Hz و به ترتیب با میانگین ۰/۳۳ g و ۰/۶۳ اتفاق افتاد. اثر تمامی عوامل آزمایش بر مقدار کوفتگی در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار شد. بیشترین مقدار صدمه در میوه سیب در فرکانس ۸/۲ Hz و شتاب ۰/۶۳ g برای کلیه روش‌های بسته‌بندی، به دست آمد (Vursavuş & Özgüven, 2004).

کیوی نیز از جمله میوه‌های حساس به کوفتگی ارتعاشی است. در تحقیقی تأثیر عوامل ارتعاش، شامل فرکانس و شتاب ارتعاش و مشخصات بسته‌ها، شامل اندازه و ارتفاع بسته بر آسیب میوه کیوی بررسی شدند. بدین‌منظور از یک لرزاننده آزمایشگاهی استفاده شد. آزمایش در دو فرکانس (۷/۵ Hz و ۱۳)، دو شتاب (۰/۷ g و ۰/۳)، اندازه (کوچک و بزرگ) و ارتفاع جعبه (۱۱ cm، ۲۳ و ۳۴) بر کوفتگی میوه کیوی انجام شد. رخ آسیب در میوه کیوی بر اساس مقدار عمق کوفتگی در میوه بود. نتایج نشان داد که اثر عوامل آزمایش بر مقدار کوفتگی معنی‌دار بود ( $P < 0.01$ ). با افزایش شتاب و فرکانس میزان کوفتگی به طور معنی‌داری افزایش یافت. میوه‌های بزرگ‌تر حساسیت بیشتری به آسیب نشان دادند و افزایش ارتفاع بسته نیز موجب افزایش کوفتگی شد. تأثیر فرکانس و شتاب ارتعاش در ایجاد آسیب مکانیکی، مهم‌تر از دیگر عوامل بود (Tabatabaekooloor et al., 2013).

Shahbazi et al., 2010، تأثیر ارتعاش جاده‌ای شبیه‌سازی شده را بر آسیب‌های مکانیکی هندوانه بررسی کردند. در این تحقیق، آنان برای تشخیص مقدار کوفتگی از معیار تغییرات مدول الاستیسیته هندوانه استفاده کردند. ابتدا فرکانس و شتاب ارتعاش در کف کامیون اندازه‌گیری شد و میانگین فرکانس ارتعاش به ترتیب، ۷/۵ و ۱۳ Hz در محدوده ۵-۱۰ و ۱۰-۱۵ هرتز و میانگین شتاب به ترتیب ۰/۳ g و ۰/۷ g در محدوده ۵-۰/۲۵ و ۰/۲۵-۰/۷۵ Hz بود. میانگین شتاب و فرکانس به دست آمده از اندازه‌گیری‌های جاده‌ای، در آزمایش شبیه‌سازی ارتعاش استفاده شد. دو مدت زمان ارتعاش در هر آزمایش ۳۰ و ۶۰ دقیقه بود. نتایج نشان داد که اثر فاکتورهای آزمایش بر مقدار آسیب ارتعاشی در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار است. آسیب وارد شده به گوشت میوه هندوانه

و روغنی) و با سه تکرار (مجموعاً ۵۴ آزمایش) انجام گرفت. آزمایش به صورت فاکتوریل و در قالب طرح کاملاً تصادفی انجام گرفت. مدت زمان آزمایش ۱۵ دقیقه بود. سطوح شتاب و فرکانس انتخاب شده با توجه به تحقیقات پیشین انتخاب شدند؛ زیرا در حمل و نقل جاده‌ای بیشترین احتمال وقوع شتاب در محدوده ۰/۲۵g تا ۰/۷۵g بود و بیشترین فرکانس در محدوده ۵ تا ۱۰ هرتز اتفاق افتاد (Shahbazi et al., 2009). در شکل ۲، ارقام به کار رفته در آزمایش که از ارقام مرسوم در ایران هستند، نشان داده شده است.



شکل ۱- دستگاه میز ارتعاشی و اجزای آن؛ (۱) موتور الکتریکی؛ (۲) دیمر و پاور؛ (۳) فنرهای بالایی و پایینی؛ (۴) پولی و تسمه و (۵) جعبه‌های قرارگیری نمونه



شکل ۲- ارقام به کار رفته در آزمایش ارتعاشی، (الف) کنسروالیا و (ب) روغنی

برای هر آزمایش ارتعاشی، مقدار یک کیلوگرم از ارقام کنسروالیا و روغنی برای هر سطح از آزمایش در نظر گرفته شد. ارقام براساس پژوهش جدیدی در سال ۱۳۹۳ در دانشگاه صنعتی اصفهان (Jadidi, 2014) به‌عنوان ارقام

فرکانس زاویه‌ای (rad/s)؛  $x$ ، جابه‌جایی (m)؛  $t$ ، زمان (s). با حل این معادله دیفرانسیل، جابه‌جایی حداکثر  $X$  از معادله زیر به دست می‌آید:

$$X = \frac{F_0}{\sqrt{(k - M\omega^2)^2 + (c\omega)^2}} \quad (2)$$

که در آن  $M$ ، جرم کل بخش لرزه‌ای دستگاه است. چون نیروی ارتعاش دستگاه از نیروی گریز از مرکز جرم خارج از مرکز  $m$  با فاصله خارج از مرکز  $e$  که با سرعت زاویه‌ای  $\omega$  می‌چرخد، حاصل می‌گردد؛ بنابراین،  $F_0$  در معادله بالا با  $m\omega^2 e$  جایگزین می‌شود. اگر در سامانه ارتعاشی از میراکننده استفاده نشود ( $c=0$ )، معادله به صورت زیر ساده می‌شود:

$$X = \frac{me\omega^2}{k - M\omega^2} \quad (3)$$

نتیجه‌ای که از این معادله گرفته می‌شود؛ این است که جابه‌جایی تابعی از جرم وزنه‌های خارج از مرکز، میزان خارج از مرکزی آنها، جرم میز، سختی فنر و فرکانس زاویه‌ای می‌باشد. از سوی دیگر، در ارتعاشات معادله زیر بین شتاب، دامنه و فرکانس وجود دارد:

$$\ddot{X} = X\omega^2 \quad (4)$$

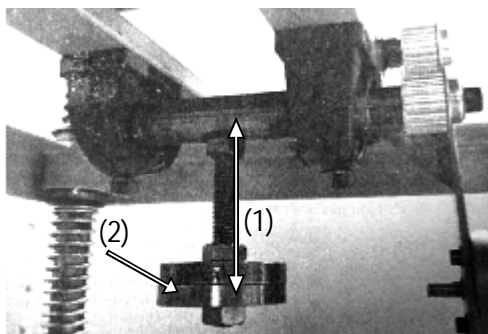
بنابراین، با تغییر مؤلفه‌های مذکور در این معادله می‌توان به ارتعاش با دامنه، شتاب و فرکانس مورد نظر با استفاده از سامانه خارج از مرکز دست یافت. با جای‌گذاری معادله (۳) در معادله (۴)، شتاب سامانه بر حسب جرم نابالانسی و خارج از مرکزیت آن و سرعت زاویه‌ای به دست آمد:

$$\ddot{X} = \frac{me}{M} \left( \frac{\omega_n \omega^3}{\omega_n^2 - \omega^2} \right) \quad (5)$$

که در این معادله  $\omega_n$ ، فرکانس طبیعی دستگاه (rad/s) و  $\omega$ ، فرکانس مورد نظر (rad/s) می‌باشد. مجهول مورد نظر در این معادله حاصل ضرب جرم در فاصله نابالانسی است که با فرض یکی، دیگری نیز به دست می‌آید. با استفاده از این معادله در هر یک از تیمارهای آزمایش، مقدار فرکانس و شتاب در این معادله قرار گرفت و مقدار  $me$  به دست آمد. با توجه به محدودبودن اندازه فاصله نابالانسی،  $e$  با تغییر مقدار جرم وزنه، مقدار به دست آمده از معادله حاصل شد.

هدف از انجام آزمایش‌ها بررسی مقدار آسیب مکانیکی به میوه زیتون در حین حمل و نقل جاده‌ای بود. آزمایش ارتعاشی با سه سطح شتاب (۰/۳g، ۰/۵g، ۰/۷g)، سه سطح فرکانس (۵، ۷/۵، ۱۰ Hz)، دو رقم زیتون (کنسروالیا

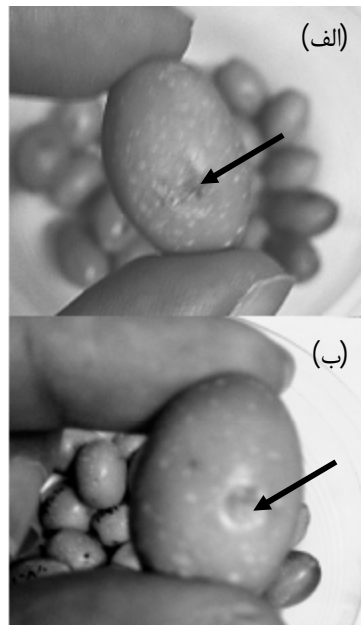
گرفت. در صورت معنی‌دار بودن اثر هر عامل یا اثر متقابل، میانگین‌ها هم با استفاده از آزمون کمترین اختلاف معنی‌دار (LSD) در سطح احتمال ۵ درصد مقایسه شدند.



شکل ۳- مکانیزم خارج از مرکزی به کار رفته در میز ارتعاشی، فاصله از مرکز دوران (e) و (۲) وزنه خارج از مرکز (m)

#### نتایج و بحث

در شکل ۴، نمونه‌ای از زیتون‌های آسیب‌دیده در اثر ارتعاش نشان داده شده است. آسیب مکانیکی (کوفتگی) در اثر ارتعاش در میوه زیتون موجب کاهش کیفیت و از بین رفتن شکل ظاهری آن می‌شود.



شکل ۴- آسیب ایجادشده در اثر ارتعاش‌دهی به میوه زیتون در ارقام، (الف) روغنی و (ب) کنسروالیا (محل آسیب با پیکان نشان داده شده است)

خلاصه تجزیه واریانس متغیرهای اندازه‌گیری شده در آزمایش ارتعاشی در جدول ۱ آمده است. طبق نتایج به

مناسب روغن‌کشی و کنسروی در منطقه اصفهان انتخاب شدند. برداشت زیتون در اواخر شهریورماه و به روش دستی و با دقت برای عدم ایجاد آسیب در نمونه‌ها انجام شد و در جعبه و با احتیاط به آزمایشگاه انتقال داده شد. قبل از هر بار آزمایش، نمونه‌ها یک بار از لحاظ ظاهری برای سالم‌بودن بررسی می‌شدند و نمونه‌های خراب جدا می‌شدند و سپس در داخل پلاستیک قرار داده شدند. روی میز ارتعاش تعداد شش عدد جعبه مقوایی به ابعاد ۸×۱۵×۲۰، به وسیله چسب کاملاً محکم شد تا هرگونه ارتعاش اضافی گرفته شود. کیسه‌های پلاستیکی حاوی نمونه برای هر آزمایش درون جعبه‌ها قرار گرفتند.

برای تنظیم فرکانس از یک دورسنج دیجیتال مدل DT-2858 استفاده شد. بدین‌صورت که با تنظیم ولتاژ ورودی به موتور از طریق دیمر، دور مورد نظر و در نتیجه فرکانس مورد نظر به دست آمد. با تغییر جرم نابالانسی و خارج از مرکزیت آن، شتاب مورد نظر حاصل شد. برای این منظور از معادله (۵) استفاده شد. مجهول مورد نظر در این معادله حاصل ضرب جرم در فاصله نابالانسی است که با فرض یکی دیگری نیز به دست آمد. در مکانیزم خارج از مرکز میز ارتعاشی، که در شکل ۳ نشان داده شده است، از وزنه‌های متصل به محور دوار استفاده شد. میزان خارج از مرکزی، تابعی از جرم وزنه و فاصله وزنه از مرکز دوران می‌باشد. با تغییر جرم وزنه و فاصله وزنه از مرکز دوران می‌توان میزان خارج از مرکزی را تغییر داد. وزنه‌های خارج از مرکز هنگام دوران، نیروی گریز از مرکز تولید می‌کنند که اعمال آن به فنرها حرکت ارتعاشی تولید می‌کند. با توجه به اینکه صرفاً ارتعاش عمودی مدنظر است، از دو وزنه خارج از مرکز که در جهت خلاف یکدیگر حرکت می‌نمایند، استفاده شد که در این صورت می‌توان انتظار داشت که نیروهای افقی همدیگر را خنثی کنند و فقط ارتعاش عمودی ایجاد شود.

پس از گذشت ۴۸ ساعت برای کلیه نمونه‌ها، زیتون‌های آسیب‌دیده از زیتون‌های سالم جدا شد و جرم میوه کوفته شده و آسیب‌دیده در هر تیمار معین شد و با توجه به جرم کل نمونه درصد کوفتگی و آسیب تعیین شد. معیار تشخیص آسیب‌دیدگی تنها کیفیت ظاهری میوه‌ها بود و آسیب‌های درونی احتمالی بررسی نگردید.

تحلیل‌های آماری برای تعیین تأثیر عوامل آزمایش بر درصد کوفتگی با استفاده از نرم‌افزار SAS 9.1 انجام

میوه زیتون در فرکانس‌های پایین انرژی ارتعاش کم و در فرکانس‌های بالا میزان جابه‌جایی جسم کمتر بوده است و در نتیجه در فرکانس ۷/۵ هرتز که هم جابه‌جایی و جنبش و هم انرژی ارتعاش در سطح بالایی قرار داشت، بیشترین آسیب رخ داده است. مقدار فرکانس بستگی به خصوصیات ارتعاشی میوه و ابعاد آن دارد (O'Brien & Fridley, 1970) و به همین دلیل در میوه‌های مختلف، متفاوت است؛ همچنین، ممکن است فرکانس تشدید میوه زیتون در محدوده فرکانس ۷/۵ Hz باشد و همین امر موجب افزایش کوفتگی و آسیب مکانیکی در این فرکانس شد.

جدول ۱- خلاصه تجزیه واریانس متغیرهای اندازه‌گیری شده در آزمایش ارتعاشی

میانگین مربعات	درجه آزادی	منابع تغییر
۲۴/۲۵ <sup>ns</sup>	۱	رقم (a)
۱۸۹/۶۸ <sup>**</sup>	۲	شتاب (b)
۲۶۴/۹۴ <sup>**</sup>	۲	فرکانس (c)
۱۰۵/۵۸ <sup>**</sup>	۲	a×b
۲۲/۳۵ <sup>ns</sup>	۲	a×c
۲۲/۲۶ <sup>ns</sup>	۴	b×c
۱۳۷/۷۳ <sup>**</sup>	۴	a×b×c
۱۷/۲۴	۳۶	خطا

ضریب تغییرات (%) ۱۱/۱۴  
<sup>\*\*</sup> بیانگر اثر معنی‌داری در سطوح احتمال ۱ درصد می‌باشند. ns نشان‌دهنده فاقد اختلاف معنی‌دار است.

جدول ۲- مقایسه میانگین درصد کوفتگی زیتون در سطوح مختلف عوامل آزمایشی در آزمایش ارتعاشی

در صد جرمی کوفتگی (%)	رقم	روغنی
۳۶/۵۸ <sup>a</sup>		
۳۷/۹۲ <sup>a</sup>		کنسروالیا
۳۴/۳ <sup>b</sup>	۰/۳	
۴۰/۷۳ <sup>a</sup>	۰/۵	شتاب (m.s <sup>-2</sup> )
۳۶/۷۳ <sup>b</sup>	۰/۷	
۳۳/۶۴ <sup>c</sup>	۵	
۴۱/۲۸ <sup>a</sup>	۷/۵	فرکانس (Hz)
۳۶/۸۴ <sup>b</sup>	۱۰	

ارقام هر ستون برای هر عامل آزمایش با حروف مشابه فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح ۵٪ با آزمون LSD می‌باشند.

دست آمده، اثر رقم بر درصد کوفتگی معنی‌دار نبود؛ اما اثر متقابل شتاب و رقم در سطح ۱٪ معنی‌دار بود. مقایسه میانگین درصد کوفتگی در سطوح مختلف عوامل آزمایش در جدول ۲ آمده است.

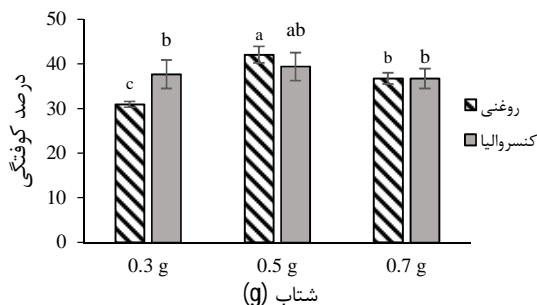
نتایج مقایسه میانگین نشان داد که با افزایش شتاب ارتعاش درصد کوفتگی در زیتون ابتدا افزایش و سپس کاهش یافت و بیشترین مقدار آن در شتاب ۰/۵ g مشاهده شد که برابر با ۴۰/۷۳ درصد بود که به معنای این است که در این شتاب ۴۰/۷۳ درصد از میوه‌های زیتون آسیب دیدند. شهبازی و همکاران (۲۰۱۰)، نشان دادند که با افزایش شتاب از ۰/۳ g به ۰/۷ g، میزان آسیب به پوست و گوشت هندوانه افزایش پیدا کرد؛ زیرا با افزایش شتاب باعث دریافت انرژی بیشتر از ارتعاش و در نتیجه آسیب بیشتر شد. اما در مورد میوه زیتون با افزایش شتاب ابتدا افزایش و سپس کاهش آسیب مشاهده شد؛ هرچند میزان آسیب در ۰/۷ g بیشتر از ۰/۳ g بود. بر اساس نتایج محققان شتاب ۰/۵ g در حمل و نقل محصول با کامیون، احتمال وقوع بالایی دارد؛ در نتیجه، باید با استفاده از سامانه تعلیق مناسب‌تر و یا مواد ضربه‌گیر سعی در کاهش شتاب واردشده به میوه زیتون شود.

افزایش فرکانس نیز درصد کوفتگی ابتدا افزایش و سپس کاهش یافت و بیشترین مقدار آن در ۷/۵ Hz مشاهده شد. در محصول انگور و توت فرنگی نیز در ارتعاش شبیه‌سازی‌شده در محدوده فرکانس‌های ۲-۵، ۵-۷/۵، ۷/۵-۱۰، ۱۰-۱۵، ۱۵-۲۰، ۲۰-۲۵، ۲۵-۳۰ هرتز، بیشترین درصد کوفتگی در محدوده ۱۰-۵ هرتز و در ۷/۵ هرتز مشاهده شد. نتایج نشان داد که مقدار کوفتگی در محدوده ۷/۵-۱۰ بیشتر از محدوده ۵-۷/۵ هرتز بود (Fischer et al., 1992). مشابه با همین نتیجه برای میوه سیب هم حاصل شد و در فرکانس ۸/۲ هرتز، کوفتگی بیشتری نسبت به فرکانس ۱۲/۶ هرتز به دست آمد (Vursavuş & Özgüven, 2004). در گوشت هندوانه نیز با افزایش فرکانس از ۷/۵ به ۱۳ هرتز درصد کاهش مدول الاستیسیته، که به‌عنوان شاخصی برای تشخیص آسیب‌دیدگی بود، کاهش نشان داد؛ یعنی میزان آسیب‌دیدگی در فرکانس ۷/۵ بیشتر از ۱۳ بود (Shahbazi et al., 2010) اما در میوه هلو و کیوی با افزایش فرکانس ارتعاش میزان حجم کوفتگی افزایش پیدا کرد (Tabatabaekoloor et al., 2013). می‌توان گفت که در



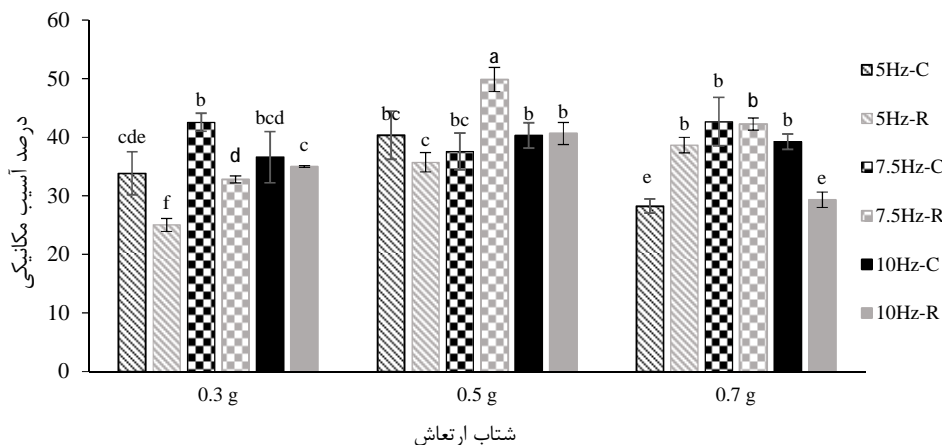
برای ارقام روغنی و کنسروالیا مشاهده شد. روند تغییرات درصد کوفتگی زیتون در فرکانس‌های ۷/۵ و ۱۰ هرتز برای هر دو رقم مشابه می‌باشد؛ به طوری که با افزایش شتاب، درصد کوفتگی در رقم روغنی افزایش - کاهشی بوده و در رقم کنسروالیا عدم معنی‌داری را نشان داده است. کمترین درصد کوفتگی در حالت رقم روغنی، شتاب ۰/۳ g و فرکانس ۵ هرتز (۲۵/۰۳٪) و بیشترین درصد کوفتگی در رقم روغنی، شتاب ۰/۵ g و فرکانس ۷/۵ هرتز (۴۹/۸۳٪) مشاهده شد. همان‌طور که به نظر می‌رسد، با وجود عدم معنی‌داری اثر رقم اما رقم روغنی به تغییرات شتاب و فرکانس در محدوده آزمایش، حساس‌تر است و تغییرات درصد کوفتگی در آن بیشتر است. برای رقم روغنی ترکیب شتاب ۰/۵g و فرکانس ۷/۵ هرتز و برای رقم کنسروالیا شتاب ۰/۷g و فرکانس ۷/۵ هرتز بیشترین آسیب‌ها را ایجاد کردند و از آنجایی که این ترکیبات در حمل و نقل با کامیون احتمال فراوانی دارند؛ به همین جهت، در حمل این محصول باید دقت بیشتری به عمل آید و سامانه تعلیق بهتری برای کامیون در نظر گرفته شود تا ارتعاشات در محدوده پایین‌تری قرار گیرند یا محل کارخانه‌های فرآوری محصول زیتون در نزدیکی باغات قرار داده شود تا مدت زمان قرارگیری محصول در بارهای ارتعاشی کاهش یابد و یا با بسته‌بندی بهتر محصول و قراردادن لایه‌های ضربه‌گیر در میان آن از آسیب بیشتر به محصول جلوگیری شود.

اثر متقابل شتاب و رقم بر درصد کوفتگی در شکل ۵ نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، در هر دو رقم با افزایش شتاب، درصد آسیب افزایش و سپس کاهش یافته است؛ در رقم کنسروالیا این افزایش و کاهش معنی‌دار نبود؛ ولی در رقم روغنی معنی‌دار بود. می‌توان نتیجه گرفت که رقم روغنی به تغییرات شتاب حساس‌تر بود. نتایج نشان داد که بیشترین درصد آسیب در شتاب ۰/۵ برای رقم روغنی اتفاق افتاد و کمترین آسیب نیز در رقم روغنی و شتاب ۰/۳g مشاهده شد.



شکل ۵- اثر متقابل شتاب و رقم بر درصد کوفتگی در اثر ارتعاش برای میوه زیتون

روند تغییرات درصد کوفتگی با افزایش شتاب در دو رقم زیتون با افزایش فرکانس متفاوت می‌باشد که باعث شد اثر متقابل سه‌گانه (رقم، شتاب و فرکانس) در تجزیه واریانس معنی‌دار شد (جدول ۱). در شکل ۶، اثر متقابل سه‌گانه فاکتورها نشان داده شده است. در فرکانس ۵ هرتز با افزایش شتاب، روند افزایشی و افزایشی - کاهشی به ترتیب



شکل ۶- اثر متقابل سه‌گانه رقم (C نشانگر رقم کنسروالیا و R نشانگر رقم روغنی است)، شتاب و فرکانس ارتعاش بر درصد آسیب مکانیکی میوه زیتون. خطوط عمودی نشانگر خطای استاندارد داده‌ها است. داده‌های با حروف مشابه فاقد اختلاف معنی‌دار با آزمون LSD ( $P < 0.05$ ) هستند.

- packaged fresh market grapes and strawberries. *Applied Engineering in Agriculture*, 8(3): 363-366.
7. Jadidi, Z. 2014. Evaluation of the performance and fruit features of some olive cultivars in Isfahan. MSc Thesis, Faculty of agriculture. Isfahan University of Technology. 125 p.
  8. Mokhtari, N. 2015. Design and evaluation of vibration table to study the effects of vibration and packaging type on mechanical damage of Golden Delicious apple. Ms. Thesis. Isfahan University of Technology. (In Farsi). 116 p.
  9. 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.
  10. O'Brien, M. and Fridley, R. B. 1970. Measurement of vibrations related to harvesting and handling of fruits and vegetables. *Transactions of the ASAE*, 13(6): 870-873.
  11. Shahbazi, F. Rajabipour, A. Mohtasebi S. S. and Rafiei Sh. 2009. The effects of taransportation vibration on Elastisity modolus of watermelon cv. *Chrimson Sweet*. *Iran Journal of Biosystem Engineering*, 40(1): 15-25 (In Farsi).
  12. Shahbazi, F. Rajabipour, A. Mohtasebi, S. and Rafie, Sh. 2010. Simulated In-transit Vibration Damage to Watermelons. *Journal of Agricultural Science and Technology*. 12: 23-34.
  13. Singh, S. P. Burgess, G. and Xu, M. 1992. Bruising of apples in four different packages using simulated truck vibration. *Packaging Technology and Science*, 5(3): 145-150.
  14. Sitkei, G. 1986. *Mechanics of Agricultural Materials*. Elsevier Science Publishing Co. 488 p.
  15. Tabatabaekoloor, R. Hashemi, S. J. and Taghizade, G. 2013. Vibration Damage to Kiwifruits during road transportation. *International Journal of Agriculture and Food Science Technology*, 4(5): 467-474.
  16. 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 Farsi).
  17. Vursavuş, K. and Özgüven, F. 2004. Determining the effects of vibration parameters and packaging method on

## نتیجه‌گیری

آسیب وارد شده به میوه زیتون در حین حمل و نقل با استفاده از میز لرزه‌ای شبیه‌سازی شد و تأثیر فرکانس و شتاب ارتعاش در مدت زمان ۱۵ دقیقه بر درصد کوفتگی دو رقم زیتون بررسی شد. نتایج نشان داد که با افزایش شتاب و فرکانس ارتعاش، میزان درصد میوه آسیب‌دیده در هر دو رقم، ابتدا افزایش و سپس کاهش پیدا کرد و بیشترین آسیب در فرکانس ۷/۵ هرتز، که از جمله بیشترین فرکانس‌های وارد شده به میوه در حمل و نقل با کامیون است، اتفاق افتاد. برای رقم روغنی، شتاب ۰/۵g و برای رقم کنسروالیا شتاب ۰/۷g در ترکیب با فرکانس ۷/۵ هرتز بیشترین آسیب‌ها را داشتند. با توجه به فراوانی این شتاب و فرکانس‌ها در حمل و نقل با کامیون، استفاده از یک سامانه تعلیق مناسب، بسته‌بندی بهتر و استفاده از مواد ضربه‌گیر بین محصول و یا کاهش زمان حمل و نقل و نزدیکی کارخانه‌های فرآوری به باغات محصول، از جمله راهکارهای کاهش صدمات به میوه زیتون است.

## منابع

1. Aba, I. P. Gana, Y. M. Ogbonnaya, C. and Morenikeji, O. O. 2012. Simulated transport damage study on fresh tomato (*Lycopersicon esculentum*) fruits. *Agricultural Engineering International: CIGR Journal*, 14(2): 119-126.
2. Ahmadi, E. 2012. Bruise Susceptibilities of Kiwifruit as Affected by Impact and Fruit Properties. *Research in Agriculture Engineering*, 58: 107-113.
3. Barchi, G. L. Berardinelli, A. Guarnieri, A. Ragni, L. Totaro Fila, C. 2002. Damage to Loquats by Vibration-simulating Intra-state Transport. *Biosystems Engineering*, 82(2): 169-176.
4. De Ketelaere, B. and De Baerdemaeker, J. 2001. Tomato firmness estimation using vibration measurements. *Mathematics and Computers in Simulation*, 56(4-5): 385-394.
5. Eissa, A. H. A. Gamaa, G. R. Gomaa, F. R. and Azam, M. M. 2012. Comparison of package cushioning materials to protect vibration damage to golden delicious apples. *International Journal of Latest Trends in Agriculture and Food Sciences*, 2(1): 36-57.
6. Fischer, D. Craig, W. L., Watada, A. E., Douglas, W. and Ashby, B. H. 1992. Simulated in-transit vibration damage to



- mechanical damage in golden delicious apples. Turkish Journal of Agriculture and Forestry, 28(5): 311-320.
18. Van Zeebroeck, M. Tjiskens, E. Dintwa, E. Kafashan, J. Loodts, J. and De Baerdemaeker, J. 2006. The discrete element method (DEM) to simulate fruit impact damage during transport and handling: Case study of vibration damage during apple bulk transport. Postharvest Biology and Technology, 41(1): 92-100.
19. Zareei, S. Tabatabaee-Kolour, R. and Hashemi, J. 2015. Acceleration and vibration impact on peach fruit mechanical damage in a vibrating system simulator. The 9th National Congress of Agricultural Machinery Engineering and Mechanization. University of Tehran, Tehran, Iran. (In Farsi). 9 p.

