

بررسی رفتار مکانیکی گوجه‌فرنگی در فرآیند حمل‌ونقل جاده‌ای

امیر منصوری آلام^۱، ابراهیم احمدی^{۲*}

۱. دانشجوی سابق کارشناسی ارشد، گروه مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان

۲. دانشیار، گروه مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۱۲/۸ - تاریخ بازنگری: ۱۳۹۶/۵/۷ - تاریخ تصویب: ۱۳۹۶/۵/۲۱)

چکیده

آسیب‌هایی که در هنگام حمل‌ونقل به میوه‌ها وارد می‌شود یکی از دلایل اصلی صدمات وارده به آنها می‌باشد که می‌تواند به یکی از شکل‌های ضربه، نیروهای مماسی و نیروی وزن (بار مرده) اتفاق بیفتد. ارتعاش وارده به میوه‌های در حال حمل می‌تواند یکی از این آسیب‌ها یا ترکیبی از آنها را به میوه وارد نماید. مدول الاستیسیته و سفتی یکی از مهمترین خواص مکانیکی میوه است و تغییرات آن تعیین کننده میزان آسیب می‌تواند باشد. در این پژوهش تاثیر دو نوع جاده آسفالت (بزرگراه و درجه دوم)، دو نوع وسیله نقلیه با سیستم تعلیق متفاوت (کامیون بادی و کامیونت فنی)، سه سطح ارتفاع قرارگیری جعبه درون وسیله نقلیه (کف: H_1 وسط: H_2 و بالاترین ارتفاع از کف: H_3)، دو موقعیت قرارگیری جعبه روی وسیله نقلیه (جلو: S_1 و عقب: S_2) و دو محل قرارگیری میوه درون جعبه (ردیف پایین جعبه: Loc_1 و ردیف بالای جعبه Loc_2) بر تغییرات مدول الاستیسیته و سفتی مورد بررسی قرار گرفت. ابتدا مدول الاستیسیته و سفتی میوه‌های شاهد (حمل‌ونقل نشده) اندازه‌گیری شد، سپس میوه‌های حمل‌ونقل شده مورد آزمون قرار گرفتند. میزان آسیب بر مبنای درصد اختلاف پارامترهای اندازه‌گیری شده بین این دو در نظر گرفته شد. با توجه به نتایج به دست آمده از تحلیل پارامترهای اصلی و متقابل، میوه‌هایی که با کامیون بادی حمل‌ونقل شده بودند برخورد گردیدند و مقدار آن در جاده آسفالت کمتری به نسبت میوه‌هایی که با کامیونت فنی حمل‌ونقل شده بودند برخورد گردیدند و مقدار آن در جاده آسفالت بزرگراه درون سیستم تعلیق بادی و فنی به ترتیب برابر $۳۴/۴۴$ و $۴۱/۶۶$ و در جاده آسفالت درجه دوم این میزان به ترتیب ۴۸ و $۵۷/۷۷$ درصد تنزل (نسبت به شاهد) حاصل شد. با افزایش ارتفاع قرارگیری از کف هر دو سیستم تعلیق (بادی و فنی) مدول الاستیسیته کاهش معنی‌داری یافت. حمل‌ونقل روی آسفالت بزرگراه برای میوه‌هایی که در موقعیت عقب (S_2) کامیون و کامیونت (نسبت به موقعیت جلو) مستقر شده بودند با کاهشی $۱۲/۲۷$ درصد مدول الاستیسیته مواجه گردیدند، این میزان در جاده آسفالت درجه دوم با نرخ کاهش بیشتری معادل $۱۳/۶۲$ درصد رخ داد. میوه‌هایی که در ردیف پایین (Loc_1) جعبه قرار داشتند (در جاده آسفالت درجه دوم) بعد از انجام آزمایش دارای مدول الاستیسیته بالاتری نسبت به میوه‌های ردیف بالایی جعبه (Loc_2) بودند (معادل $۱۴/۴۳$ درصد). همچنین نتایج نشان داد، میوه‌هایی که در ارتفاع اول (H_1) و دوم (H_2) کامیون بادی (T_1) استقرار یافته‌اند از سفتی بیشتری برخوردار هستند. میوه‌هایی که در ردیف پایین جعبه (Loc_1) و موقعیت جلو (S_1) کامیون بادی (T_1) قرار داشتند در هر سطح ارتفاع قرارگیری (H_1 ، H_2 و H_3) سفتی بیشتری نسبت به موقعیت عقب (S_2) از خود نشان دادند.

واژه‌های کلیدی: آسفالت بزرگراه، سیستم تعلیق وسیله نقلیه، سفتی و مدول الاستیسیته

مقدمه

(2016). معمولاً در زمان حمل‌ونقل محصولات کشاورزی، آسیب‌های مختلفی به آنها وارد می‌شود که امکان دارد باعث کاهش سفتی، ترک پوست، گوشت و سبب فساد آنها شود (Shahbazi et al., 2010). تحقیقات نشان می‌دهد گوجه‌فرنگی به تنش‌های مکانیکی حساس است (Ahmadi & Abedi, 2013). تبدیل شدن به ضایعات در میوه گوجه‌فرنگی به دلیل اینکه این میوه از ۹۳ تا ۹۵ درصد آب و ۵ تا ۷ درصد مواد جامد تشکیل شده است بالا است، ضایعات پس از برداشت این

به لحاظ آماری میزان حمل‌ونقل گوجه‌فرنگی بیش از ۲/۵ میلیون تن در سال و رتبه تولید ششم در بین کشورهای تولید کننده با ۵/۸ میلیون تن متعلق به ایران است (Anonymous, 2016). در حوزه صادرات، بیش از یک میلیون تن از این محصول به خارج از کشور ارسال می‌گردد (Anonymous, 2016).

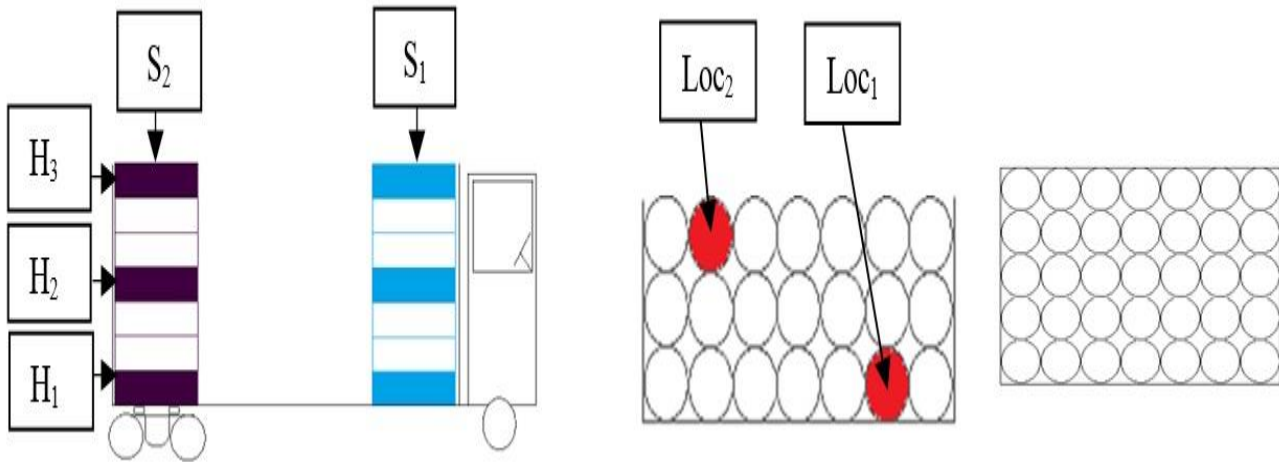
در طول کل مسیر بیش از موقعیت جلو گزارش شد. براردینلی و همکاران ارتعاشات مکانیکی ایجاد شده در زمان حمل و نقل تخم مرغ را مورد بررسی قرار دادند، گزارش آن‌ها حاکی از آن بود محور عقب، بیش از محور جلو وسیله نقلیه باعث صدمه به محموله می‌گردد (Berardinelli et al., 2003). مطالعه‌ای که روی تاثیر شتاب و فرکانس ارتعاشات وسیله نقلیه با میوه الکترونیکی انجام پذیرفت این نتیجه حاصل شد که شدت ارتعاش و در نتیجه آسیب در هر دو نوع سیستم تعلیق بکارگرفته شده (فتری و بادی) در موقعیت عقب وسیله نقلیه بیش از موقعیت جلو گزارش شد (Soleimani & Ahmadi, 2014). میزان ارتعاش وابسته به موقعیت میوه در طول کامیون است، به نحوی که در محور عقب نسبت به محور جلو بیشتر است (Barchi et al., 2002). تلاش و مطالعه در راستای کاهش تنش‌های ناشی از حمل و نقل و افزایش زمان ماندگاری محصول به منظور جلوگیری از آسیب پس از برداشت محصولات ارزشمند است (Hassanpour et al., 2011). از این رو ضرورت دارد وقتی مسائل حمل و نقل مورد بررسی قرار می‌گیرد، تاثیر ارتعاشات واقعی در زمان حمل و نقل روی پارامتر استخراج شده از آزمایشات مکانیکی نظیر تغییرات مدول الاستیسیته و سفتی به جهت مطالعه رفتار میوه در این فرآیند مد نظر قرار گیرد.

مواد و روش‌ها

این تحقیق در تابستان سال ۱۳۹۴ در آزمایشگاه رئولوژی گروه مهندسی بیوسیستم دانشکده کشاورزی دانشگاه بوعلی سینا همدان انجام شد. میوه‌های گوجه‌فرنگی متعلق به رقم سوپر کوئین^۱ از مزرعه‌ای واقع در شهرستان اسدآباد که به صورت فارویی آبیاری شده و عملیات داشت در آن به طور منظم صورت گرفته بود برداشت شد. در مرحله اول میوه‌های شاهد درون بالشکت فومی به صورت تک ردیفه و با احتیاط کامل به آزمایشگاه منتقل شد. در مرحله دوم نمونه‌های آزمایشی هم اندازه (سالم، بدون کوفتگی و ضرب خوردگی) در نوبت صبح برداشت گردید. قبل از برداشت و در طی آن بارندگی رخ نداد، چرا که این عامل به منظور حداقل کردن نوسانات فشار ترگر اهمیت داشت. به دلیل وزن سبک، عدم جذب مواد و سطوح صاف از سبدهای پلاستیکی^۲ به ابعاد ۱۳×۲۵×۳۷ سانتی‌متر با ظرفیت ۸ کیلوگرم استفاده شد. آرایش چیدمان میوه در جعبه و کامیون نشان می‌دهد که در هر جعبه به طور متوسط ۷ عدد میوه در طول، ۵ عدد در عرض و در ۳ ردیف روی هم چیده شدند (شکل ۱- الف).

محصول بین ۳۰ تا ۴۰ درصد گزارش شده است (Afkarisayah & Minaei, 2009; Slaughter et al., 1993; Van-Zeebroeck et al., 2006). در تحقیقی هنگام حمل گوجه‌فرنگی با کامیون دارای سیستم تعلیق فتری، فرکانس ارتعاش‌های وارده به گوجه‌ها در محدوده بالاتر از ۳/۵ هرتز باعث آسیب دیدگی شد، ولی با کامیون دارای سیستم تعلیق بادی، فرکانس ارتعاش کمتر از ۳/۵ هرتز به گوجه‌فرنگی وارد شد (Hinsch et al., 1993). در مطالعه‌ای که روی کاهش مدول الاستیسیته گوجه‌فرنگی صورت پذیرفت این نتیجه‌گیری حاصل شد که در زمان حمل و نقل، میزان مدول یانگ میوه کاهش معنی‌داری می‌یابد (Reisiestabrahg, 2015). در بررسی دیگری که روی ارتعاش گوجه‌فرنگی انجام گرفته است، بیشینه آسیب وقتی حاصل می‌شود که میوه در بالای یک ستون درون جعبه و بالاترین ارتفاع از کف دستگاه شبیه‌ساز جاده و کامیون قرار گرفته باشد (Ranathunga et al., 2010). زمان برداشت و مسافت حمل و نقل جاده‌ای بر کاهش صفاتی نظیر وزن و مدول الاستیسیته تاثیر معنی‌داری دارد (Gholipoor et al., 2010). در بررسی روند کاهش مدول الاستیسیته گوجه‌فرنگی نشان داده شد، ارتعاش حمل و نقل می‌تواند تا ۳۲ درصد کاهش مدول الاستیسیته میوه را سبب شود. اثبات شد ارتعاش و رسیدگی میوه (بلوغ) دو عامل برای کاهش مدول الاستیسیته می‌باشد (Babarinsa & Leg, 2012). پژوهشی روی کاهش مدول الاستیسیته بافت و پوست هندوانه در شبیه‌سازی حمل و نقل جاده‌ای انجام پذیرفت، نتایج حاکی از آن بود که میانگین کاهش مدول الاستیسیته بافت و پوست به ترتیب ۴۰ و ۲۹/۷۵ درصد (نسبت به شاهد) است و کمترین و بیشترین مقدار آن برای بافت ۱۲/۵۲ و ۸۵/۰۸ درصد و برای پوست برابر ۶/۹۱ و ۷۳/۳۳ درصد بود (Shahbazi et al., 2008). در همین راستا بررسی‌هایی برای اندازه‌گیری میزان تنزل مدول الاستیسیته قبل و بعد از آزمون مکانیکی (با شبیه‌ساز جاده و کامیون) برای میوه‌های مختلف صورت پذیرفته است (Shahbazi et al., 2008; Sadrnia, 2007; O'Brien & Fridley, 1970; Erdogan et al., 2003; Olorunda & Tung, 1985). در گزارشی روی کاهش مدول الاستیسیته هلو در هنگام حمل و نقل این نتیجه‌گیری حاصل شد، با افزایش فرکانس و شتاب ارتعاش و ارتفاع قرارگیری میوه میزان مدول یانگ میوه کاهش معنی‌داری پیدا می‌کند (Ogut et al., 1999) ارتعاشات منتقل شده به محصول از گیل طی حمل و نقل با کامیون مجهز به تعلیق بادی جهت شبیه‌سازی ارتعاشات به کمک لرزاننده الکترونیکی محاسبه گردید، در تحقیق Zhou et al., 2007 میزان صدمه مکانیکی به میوه (گلابی) در موقعیت عقب کامیون

1. Super Queen
2. Reusable Plastic Containers (RPC)



شکل ۱. آرایش چیدمان میوه درون جعبه از نمای جانبی و قائم (الف) نحوه استقرار جعبه درون کامیون (ب)

حمل و نقل شده و شاهد از محل علامت‌گذاری شده پوست‌گیری شدند (شکل ۲-الف).

به منظور تعیین خواص مکانیکی میوه‌ها آزمون پنچری با دستگاه آزمون بافت محصولات کشاورزی و مواد غذایی (مدل لودسل آن xforce hp، با ظرفیت ۵۰۰ نیوتن) صورت گرفت (شکل ۲-ب). قطر پروب مهاجم ۳/۱۵ میلی‌متر و سرعت بارگذاری ۷۰ میلی‌متر بر دقیقه تنظیم گردید. جهت تعیین مدول الاستیسیته نمونه‌ها، نمودار نیرو - جابجایی استخراج شد (شکل ۳). تنش در نقطه تسلیم بیولوژیکی از رابطه (۱) محاسبه گردید.

$$\sigma = \frac{F}{A} = \frac{4F}{\pi d^2} \quad (\text{رابطه ۱})$$

در این رابطه:

σ : تنش تسلیم بیولوژیکی (MPa)

F: نیرو در نقطه تسلیم بیولوژیکی (N)

d: قطر پروب مهاجم (mm)

A: سطح مقطع پروب بر حسب (mm²) می‌باشند

با مشخص نمودن تنش تسلیم بیولوژیکی و با لحاظ نمودن نقطه‌ای معادل ۵۰ درصد نقطه تسلیم در نمودار تنش کرنش، شیب خط ترسیم شده از مبدا و عبور داده شده از این نقطه را محاسبه نموده و به عنوان مدول الاستیسیته (سکانت مدول) لحاظ گردید. مدول الاستیسیته میوه‌های شاهد در دامنه ۱۸±۰/۲ مگاپاسکال محاسبه گردید. تنش در نقطه نیروی ماکزیمم محاسبه و به عنوان سفتی در نظر گرفته شد.

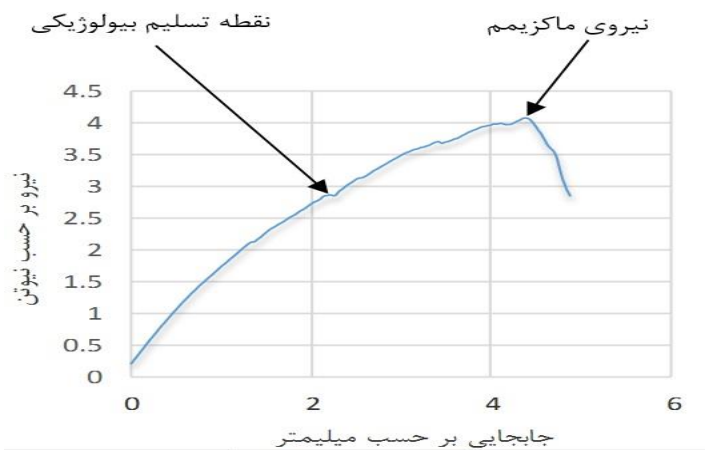
میوه‌های مورد نظر برای انجام آزمون پنچری درون جعبه در دو ردیف پایین (Loc₁) و بالای جعبه (Loc₂) با مارکر علامت‌گذاری گردید (شکل ۱-الف). جعبه‌ها روی اکسل جلو (S₁) و عقب کامیون (S₂)، در سه سطح ارتفاع (کف: H₁، وسط: H₂ و بالاترین ارتفاع از کف وسیله نقلیه: H₃) مستقر شدند (شکل ۱-ب). در این بررسی از دو نوع کامیون با سیستم تعلیق عقب متفاوت، کامیون آمیکو مدل M2631 سال ساخت ۱۳۹۰، دارای سیستم تعلیق بادی روی اکسل عقب (T₁) و کامیونت نیسان ۲۴۰۰، سال ساخت ۱۳۹۰، دارای سیستم تعلیق فنری روی محور جلو و عقب (T₂) استفاده شد. پژوهش حاضر در دو نوع جاده به اجرا درآمد، جاده اول: آسفالت بزرگراه دارای حداقل ناهمواری (جاده همدان به سمت کرمانشاه و بالعکس) با موقعیت جغرافیایی از "۴۷/۲۷'۴۸° تا "۳۳/۷۶'۴۷°۸ طول شمالی و از "۲۶/۷۳'۲۱°۳۴° تا "۴۵/۷۰'۴۸°۳۴° عرض غربی و جاده دوم: آسفالت درجه دوم دارای ناهمواری، چاله‌های کوچک و بزرگ (جاده همدان به سمت گل تپه و بالعکس) با مختصات جغرافیایی از "۳۴/۴۵'۳۴° تا "۱۲/۳۲'۵۷°۳۵° طول شمالی و از "۶/۸۹'۳۰°۴۸° تا "۱۲/۳۵°۴۸° عرض غربی مورد استفاده قرار گرفت، طول مسیر رفت و برگشت یکسان و برابر ۴۰۰ کیلومتر برای هر دو وسیله نقلیه لحاظ شد. نمونه‌ها پس از ورود به آزمایشگاه در دما (۲۰±۲°C) با رطوبت نسبی محیط قرار گرفتند.

سامانه پنچری

متداول‌ترین روش تحلیل بافت میوه استفاده از آزمون پنچری می‌باشد (Thompson et al., 1982). در این آزمایش میوه‌های



شکل ۲. پوست گیری میوه از محل علامت گذاری شده (الف) و آزمون پنچری با دستگاه تست محوری (ب)



شکل ۳. نمونه‌ای از نمودار نیرو جابجایی استخراج شده از نرم افزار سامانه پنچری

داده‌های این تحقیق جهت تجزیه و تحلیل به علت تعداد زیاد فاکتورهای مقایسه‌ای در قالب دو آزمایش با آرایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی و با ۳ تکرار روی متغیرهای مدول الاستیسیته و سفتی به اجرا درآمد. آزمون اول دارای فاکتورهای کامیون، ارتفاع قرارگیری جعبه از کف وسیله نقلیه و محل قرار گیری میوه درون جعبه در جاده آسفالت بزرگراه و آزمون دوم فاکتورهایی ذکر شده در آزمون اول تنها با تغییر در نوع جاده (جاده آسفالت درجه دوم) می‌باشد. جهت تحلیل آماری داده‌ها و برآورد آزمون معنی‌داری از نرم افزار IBM SPSS Statistics Ver. 20 استفاده شد و جهت مقایسه میانگین‌ها از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد بهره گرفته شد.

استقرار جعبه (H) و موقعیت قرارگیری جعبه درون وسیله نقلیه (S) بر مدول الاستیسیته در سطح احتمال یک درصد و اثر متقابل H×S در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار شد. سایر عوامل دو، سه و چهارگانه بر مدول الاستیسیته در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار نگردید. تاثیر عوامل اصلی و متقابل بر سفتی نشان داد، اثرات اصلی نوع سیستم تعلیق (T)، ارتفاع استقرار جعبه (H)، موقعیت قرارگیری جعبه درون وسیله نقلیه (S) و محل قرارگیری میوه درون جعبه (Loc)، همچنین اثرات متقابل دوگانه H×S، T×Loc و H×S×Loc و T×H×S در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار است، سایر عوامل متقابل دو، سه و چهارگانه، تاثیر معنی‌داری بر سفتی در سطح احتمال ۵ درصد نشان ندادند (جدول ۱).

بررسی تاثیر نوع سیستم تعلیق بر تغییرات مدول الاستیسیته نشان داد، میوه‌های موجود در کامیون بادی دارای مدول الاستیسیته بالاتری است. درصد کاهش مدول الاستیسیته در کامیون بادی و فنی نسبت به شاهد در طی مسیر (آسفالت بزرگراه) به ترتیب ۳۶/۱ و ۴۰ درصد بود (جدول ۲).

نتایج و بحث

در آزمون نخست تاثیر عوامل اصلی و متقابل بر مدول الاستیسیته و سفتی در آسفالت بزرگراه مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت که در آن اثرات اصلی نوع سیستم تعلیق (T)، ارتفاع

جدول ۱. تحلیل واریانس اثر کامیون، ارتفاع از کف، موقعیت جعبه و محل قرارگیری میوه درون جعبه در جاده آسفالت بزرگراه

میانگین مربعات		درجه آزادی	منبع تغییرات
سفتی	مدول الاستیسیته		
** ۲/۶۱۵	** ۸/۴۴۸	۱	T کامیون
** ۰/۰۴۲	** ۸۸/۵۸۳	۲	H ارتفاع
** ۰/۰۴۰	** ۳۸/۱۲۴	۱	S موقعیت جعبه
** ۰/۳۰۳	ns ۱/۱۲۶	۱	Loc محل قرارگیری
ns ۰/۰۰۱	ns ۰/۹۹۱	۲	H×T
ns ۰/۰۱۰	ns ۰/۳۳۸	۱	S×T
** ۰/۰۸۲	ns ۰/۰۰۰	۱	Loc×T
** ۰/۶۵۳	* ۱۳/۲۷۱	۲	S×H
ns ۰/۰۱۶	ns ۰/۷۴۰	۲	Loc×H
ns ۰/۰۰۹	ns ۰/۰۲۷	۱	Loc×S
** ۰/۰۷۷	ns ۰/۲۰۲	۲	S×H×T
ns ۰/۰۰۵	ns ۰/۲۱۲	۲	Loc×H×T
ns ۰/۰۰۲	ns ۰/۱۰۰	۱	Loc×S×T
** ۰/۱۱۱	ns ۳/۳۸۹	۲	Loc×S×H
ns ۰/۰۰۱	ns ۰/۲۲۳	۲	Loc×S×H×T
۰/۰۰۸	۱/۱۸۵	۴۸	خطا

کاهش بیشتری (معنی دار از لحاظ آماری) همراه بود (جدول ۴).

جدول ۳. تاثیر ارتفاع استقرار جعبه درون وسیله نقلیه مدول الاستیسیته در جاده آسفالت بزرگراه (MPa)

ارتفاع			مدول الاستیسیته
H ₃	H ₂	H ₁	
۹/۸۸ ^b	۱۰/۳۳ ^b	۱۳/۳۷ ^a	

حروف مشترک بیانگر عدم تفاوت بین میانگین‌ها در سطح احتمال ۵ درصد توسط آزمون دانکن را نشان می‌دهد

جدول ۴. موقعیت استقرار جعبه درون وسیله نقلیه (S) بر مدول الاستیسیته در جاده آسفالت بزرگراه (MPa)

موقعیت استقرار جعبه		مدول الاستیسیته
S ₂	S ₁	
۱۰/۴۲ ^b	۱۱/۸۹ ^a	

حروف مشترک بیانگر عدم تفاوت بین میانگین‌ها در سطح احتمال ۵ درصد توسط آزمون دانکن را نشان می‌دهد

اثر متقابل ارتفاع استقرار جعبه و موقعیت قرارگیری میوه درون وسیله نقلیه بر تغییرات مدول الاستیسیته نشان داد که کمترین درصد کاهش مدول الاستیسیته متعلق به میوه‌هایی که در ارتفاع اول (H₁) هر دو وسیله نقلیه (T₁ و T₂) روی موقعیت

جدول ۲. تاثیر نوع سیستم تعلیق بر مدول الاستیسیته (MPa) گوجه‌فرنگی (در جاده آسفالت بزرگراه)

کامیون		مدول الاستیسیته
T ₂	T ₁	
۱۰/۸۰ ^b	۱۱/۵۰ ^a	

حروف مشترک بیانگر عدم تفاوت بین میانگین‌ها در سطح احتمال ۵ درصد توسط آزمون دانکن را نشان می‌دهد

جدول ۳ تاثیر ارتفاع قرارگیری درون کامیون و کامیونت بر مدول الاستیسیته را نشان داده است. بیشترین مدول الاستیسیته در ارتفاع اول (H₁) وسیله نقلیه در جاده آسفالت بزرگراه مشاهده شد. از نظر آماری بین ارتفاع دوم (H₂) و ارتفاع سوم (H₃) وسیله نقلیه تفاوت معنی‌داری مشاهده نگردید. کمترین میزان کاهش مدول الاستیسیته، متعلق به ارتفاع اول (H₁) در جاده آسفالت بزرگ راه با مقدار ۲۷/۷۲ درصد کاهش نسبت به شاهد رخ داد.

محصولاتی که روی محور عقب وسیله نقلیه (S) حمل و نقل قرار گرفته بودند، از مدول الاستیسیته کمتری برخوردار بودند (نسبت به محور جلو). روند کاهش مدول الاستیسیته در موقعیت عقب (S₂) نسبت به موقعیت جلو (S₁) با ۱۲/۲۷ درصد

ناهمواری‌های جاده داده این نتیجه‌گیری با تحقیق Singh & Xu, 1993 هم‌راستا است، این در حالی است که در کامیونت فنی (T₂) این تفاوت تنها در ارتفاع اول (H₁) با این استثنا که میوه‌هایی که روی موقعیت عقب (S₂) قرار داشتند بیش از میوه‌های موقعیت جلو (S₁) از سفتی معنی‌دار گردید، در توجیه این استثنا می‌توان بیان نمود، احتمالاً در برخی موارد سیستم تعلیق محور عقب (S₂) کامیونت فنی (T₂) به ناهمواری‌های جاده (آسفالت بزرگراه) پاسخ داده یا ممکن است سایر پارامترها در حصول این نتیجه غیر طبیعی موثر باشد (جدول ۶). اثر متقابل کامیون، ارتفاع و محل قرارگیری میوه درون جعبه بر سفتی نشان می‌دهد، بیشینه سفتی در ارتفاع اول (H₁) و دوم (H₂) درون کامیون بادی و متعلق به میوه‌های ردیف پایین جعبه بود (جدول ۷). نتایج نشان داد، میوه‌های که در وضعیت T₁Loc₁H₁، T₁Loc₁H₂ و T₁Loc₁H₃ درون کامیون بادی در جاده آسفالت بزرگراه قرار گرفته‌اند، نسبت به میوه‌هایی که در وضعیت مشابه درون کامیونت فنی قرار داشتند (T₂Loc₁H₁، T₂Loc₁H₂ و T₂Loc₁H₃) به ترتیب ۳۵/۹۷، ۳۲/۶۰ و ۲۲/۶۸ درصد سفتی بیشتر، همچنین میوه‌هایی که در وضعیت T₁Loc₂H₁، T₁Loc₂H₂ و T₁Loc₂H₃ قرار داشتند، نسبت به وضعیت مشابه (T₂Loc₂H₁، T₂Loc₂H₂ و T₂Loc₂H₃) به ترتیب ۲۹/۳۵، ۲۲/۵ و ۱۴ درصد از سفتی بیشتری برخوردار بودند (جدول ۷). در کامیون بادی در هر سطح ارتفاع، سفتی میوه‌های ردیف پایین جعبه بیش از میوه‌های ردیف‌های بالای جعبه بود. که یکی از دلایل آن چرخش و پرش میوه‌های لایه‌های بالایی، در نهایت ایجاد خستگی در بافت میوه بر اثر بارگذاری و باربرداری متناوب می‌باشد، دلیل دوم به نحوه آرایش چیدمان میوه درون جعبه بر می‌گردد، به عبارتی وزن میوه‌های لایه‌های بالایی (بار مرده) در حدود یا کمتر از محدوده تسلیم بیولوژیکی محصول ردیف پایین (Loc₁) جعبه بوده و در نوسات جاده‌ای آسیب کمتری دریافت نموده است (به دلیل ماهیت ارتعاشاتی منظم‌تر کامیون بادی). در کامیونت فنی تفاوت میزان سفتی برای میوه‌های ردیف پایین (Loc₁) و بالای جعبه (Loc₂) در یک گروه از نظر آماری قرار گرفتند. در آزمون دوم تحلیل واریانس اثر سیستم تعلیق (T)، ارتفاع قرارگیری جعبه از کف (H)، موقعیت استقرار جعبه درون کامیون (S) و محل قرارگیری میوه درون جعبه (Loc) در جاده آسفالت درجه دوم بر تغییرات مدول الاستیسیته گوجه‌فرنگی در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار گردید.

جلو (S₁) قرار داشتند، می‌باشد. بیشترین درصد کاهش مدول الاستیسیته از نظر عددی به ارتفاع سوم (H₃) روی موقعیت عقب (S₂) تعلق گرفت. از نظر آماری میوه‌هایی که در موقعیت عقب و در هر سه ارتفاع قرار گرفته بودند در یک گروه قرار داشتند. کمینه درصد کاهش مدول الاستیسیته در جاده آسفالت بزرگراه مربوط به مشاهده H₁S₁ با مقدار ۱۶/۹۴ درصد (نسبت به شاهد) به وقوع پیوست (جدول ۵). این موضوع نشان می‌دهد محور عقب وسیله نقلیه نسبت به ارتعاشات ضعیف عمل کرده و میزان آسیب مکانیکی (به نسبت محور جلو) بیشتر است این نتیجه‌گیری با نتایج تحقیق Shahbazi et al., 2008; Soleimani & Ahmadi, 2014; Berardinelli et al., 2003 هماهنگ است.

جدول ۵. اثرات متقابل ارتفاع استقرار جعبه و موقعیت قرارگیری جعبه درون وسیله نقلیه بر تغییرات مدول الاستیسیته (MPa) گوجه‌فرنگی در جاده

آسفالت بزرگراه			
			موقعیت استقرار جعبه (S)
H ₃	H ₂	H ₁	
۱۰/۲۵ ^c	۱۱/۷۹ ^b	۱۴/۹۵ ^a	S ₁
۹/۵۰ ^c	۹/۹۹ ^c	۱۰/۴۹ ^c	S ₂

حروف مشترک بیانگر عدم تفاوت بین میانگین‌ها در سطح احتمال ۵ درصد توسط آزمون دانکن را نشان می‌دهد

تأثیر متقابل سیستم تعلیق (T)، ارتفاع و موقعیت استقرار جعبه بر سفتی نشان داد، میوه‌هایی که در ارتفاع اول (H₁) و موقعیت جلو (S₁)، سیستم تعلیق بادی (T₁) قرار گرفته‌اند بیشترین سفتی را از خود نشان دادند. نتایج بیان نمود میوه‌های که در وضعیت T₁S₁H₁، T₁S₁H₂ و T₁S₁H₃ درون کامیون بادی در جاده آسفالت بزرگراه قرار گرفته‌اند، نسبت به میوه‌هایی که در وضعیت مشابه درون کامیونت فنی قرار داشتند (T₂S₁H₁، T₂S₁H₂ و T₂S₁H₃) به ترتیب ۴۹/۷، ۴۷/۸۵ و ۳۱/۱۱، همچنین میوه‌هایی که در وضعیت T₁S₂H₁، T₁S₂H₂ و T₁S₂H₃ قرار داشتند، نسبت به وضعیت مشابه (T₂S₂H₁، T₂S₂H₂ و T₂S₂H₃) به ترتیب ۱۹/۶۹، ۲۶/۹۵ و ۳۵/۵۹ درصد از سفتی بیشتری برخوردار بودند (جدول ۶). به طور کلی میوه‌هایی که درون کامیون بادی در جاده آسفالت بزرگراه حمل و نقل شده بودند در هر سه سطح ارتفاع دارای سفتی بالاتری بودند. همچنین در کامیون بادی (T₁) در هر سه سطح ارتفاع میوه‌هایی که روی موقعیت جلو (S₁) مستقر گردیده بودند سفتی بیشتری از لحاظ آماری (نسبت به میوه‌های موقعیت عقب) برخوردار بودند که نشان می‌دهد در شرایط برابر کامیون بادی واکنش مناسبی به

جدول ۸. تجزیه واریانس اثر کامیون، ارتفاع، موقعیت استقرار جعبه و محل قرارگیری میوه درون جعبه در جاده آسفالت درجه دوم

میانگین مربعات		درجه آزادی	منبع تغییرات
سفتی (MPa)	مدول الاستیسیته		
** ۴/۲۹۲	** ۵۵/۵۵۷	۱	T کامیون
** ۰/۰۰۶	** ۶۷/۵۱۴	۱	H ارتفاع
** ۰/۰۲۳	** ۲۷/۳۹۴	۱	S موقعیت جعبه
** ۰/۳۲۱	** ۲۲/۳۹۰	۱	Loc محل قرارگیری
** ۰/۰۲۶	ns ۰/۹۵۹	۲	H×T
** ۰/۰۲۲	ns ۲/۶۴	۱	S×T
** ۰/۰۲۱	ns ۰/۰۱۷	۱	Loc×T
** ۰/۴۵۱	ns ۲/۸۹	۲	S×H
** ۰/۰۱۳	ns ۱/۱۸۴	۲	Loc×H
ns ۰/۰۰۰	ns ۴/۸۷	۱	Loc×S
** ۰/۰۷۲	ns ۱/۰۸۹	۲	S×H×T
ns ۰/۰۰۱	ns ۰/۹۷۷	۲	Loc×H×T
ns ۰/۰۰۳۲	* ۶/۳۴	۱	Loc×S×T
** ۰/۰۶۴	ns ۱/۶۹	۲	Loc×S×H
** ۰/۰۰۷	ns ۰/۹۸۱	۲	Loc×S×H×T
۰/۰۰۱	۱/۴۵۱	۴۸	خطا
		۷۲	کل
۸/۸۶	۶/۱۴		C.V.

** و * به ترتیب بیانگر وجود اختلاف معنی‌دار بین میانگین‌ها در سطح ۱٪ و ۵٪

جدول ۹. تاثیر سیستم تعلیق وسیله نقلیه بر مدول الاستیسیته (MPa) میوه در جاده آسفالت درجه دوم

کامیون (T)	
T ₂	T ₁
۷/۶ ^b	۹/۳۶ ^a

حروف مشترک بیانگر عدم تفاوت بین میانگین‌ها در سطح احتمال ۵ درصد توسط آزمون دانکن را نشان می‌دهد

جدول ۱۰. تاثیر تغییرات مدول الاستیسیته (MPa) در ارتفاع قرارگیری میوه از کف وسیله نقلیه در جاده آسفالت درجه دوم

ارتفاع			مدول الاستیسیته
H ₃	H ₂	H ₁	
۶/۹۷ ^c	۸/۱۸ ^b	۱۰/۲۹ ^a	

حروف مشترک بیانگر عدم تفاوت بین میانگین‌ها در سطح احتمال ۵ درصد توسط آزمون دانکن را نشان می‌دهد

تاثیر موقعیت استقرار جعبه (S) درون وسیله نقلیه (T₁) و (T₂)، بر تغییرات مدول الاستیسیته نشان داد، جعبه‌هایی که روی اکسل عقب (S₂) وسیله نقلیه حمل و نقل شده‌اند به‌طور معنی‌داری به نسبت جعبه‌های که روی محور جلو (S₁) قرار داشتند، از رشد منفی مدول الاستیسیته بیشتری برخوردار بودند، این میزان برای موقعیت عقب نسبت به شاهد ۵۶/۳۳ درصد رشد منفی داشت (جدول ۱۱)، این نتیجه‌گیری تایید می‌کند،

جدول ۶. اثر متقابل سیستم تعلیق، ارتفاع و موقعیت استقرار جعبه درون وسیله نقلیه بر سفتی (MPa)، در جاده آسفالت بزرگراه

کامیون	موقعیت	ارتفاع		
		H ₃	H ₂	H ₁
T ₁	S ₁	۱/۳۵ ^{bc}	۱/۴۰ ^{bc}	۱/۶۷ ^a
	S ₂	۱/۱۸ ^{de}	۱/۱۵ ^{de}	۱/۳۲ ^{bc}
T ₂	S ₁	۰/۹۳ ^{gh}	۰/۷۳ ^h	۰/۸۴ ^{gh}
	S ₂	۰/۷۶ ^h	۰/۸۴ ^{gh}	۱/۰۶ ^{d^{ef}}

حروف مشترک بیانگر عدم تفاوت بین میانگین‌ها در سطح احتمال ۵ درصد توسط آزمون دانکن را نشان می‌دهد

جدول ۷. تاثیر متقابل سیستم تعلیق، ارتفاع و محل قرارگیری میوه درون جعبه را روی سفتی (MPa) را نشان می‌دهد

کامیون	محل قرارگیری میوه	ارتفاع		
		H ₃	H ₂	H ₁
T ₁	Loc ₁	۱/۱۹ ^b	۱/۳۸ ^a	۱/۳۹ ^a
	Loc ₂	۱/۰۰ ^c	۱/۲۰ ^b	۱/۰۹ ^{cd}
T ₂	Loc ₁	۰/۹۲ ^{cd}	۰/۹۳ ^{cd}	۰/۸۹ ^{de}
	Loc ₂	۰/۸۶ ^d	۰/۹۳ ^{cd}	۰/۷۷ ^e

حروف مشترک بیانگر عدم تفاوت بین میانگین‌ها در سطح احتمال ۵ درصد توسط آزمون دانکن را نشان می‌دهد

تاثیر اثر سه‌گانه Loc×S×T در سطح احتمال ۵ درصد بر متغیر مدول الاستیسیته معنی‌دار شد، سایر عوامل دو، سه و چهارگانه بر مدول الاستیسیته معنی‌دار نشد. اثر نوع سیستم تعلیق (T)، ارتفاع قرارگیری (H)، موقعیت جعبه روی کامیون (S) و محل قرارگیری میوه درون وسیله نقلیه (Loc)، بر سفتی در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار است (جدول ۸).
اثر نوع سیستم تعلیق وسیله نقلیه (T)، در جاده آسفالت درجه دوم بر تغییرات مدول الاستیسیته، در جدول (۹) نشان داده شده است. سیستم تعلیق کامیونت فنی تاثیر بیشتری بر کاهش مدول الاستیسیته ایجاد نموده است که این مقدار ۱۸/۸۰ درصد کاهش نسبت به کامیون بادی را نشان می‌دهد (جدول ۹).

تغییرات مدول الاستیسیته در ارتفاع استقرار جعبه درون وسیله نقلیه (در جاده آسفالت درجه دوم) نشان داد با افزایش ارتفاع استقرار جعبه از کف وسیله نقلیه (T₁ و T₂)، مدول الاستیسیته از ارتفاع اول (H₁) به سمت ارتفاع دوم (H₂) و سوم (H₃) به شکل معنی‌داری کاهش نشان می‌دهد. بیشترین کاهش مدول الاستیسیته در ارتفاع سوم (H₃) با مقدار ۶۱/۲۱ درصد نسبت به نمونه شاهد مشاهده گردید (جدول ۱۰).

تاثیر متقابل عوامل چهارگانه سیستم تعلیق (کامیون)، ارتفاع استقرار جعبه از کف، موقعیت قرارگیری جعبه درون وسیله نقلیه و همچنین محل قرارگیری میوه درون جعبه بر سفتی نشان داد، بیشینه سفتی به ترتیب در ارتفاع دوم (H_2) و اول (H_1) کامیون بادی مشاهده شد. در هر سه سطح ارتفاع (H_1 ، H_2 و H_3)، میزان سفتی برای میوه‌های درون جعبه در موقعیت جلو (S_1) و عقب (S_2) کامیون بادی بیش از کامیونت فتری و معنی‌دار از نظر آماری می‌باشد (جدول ۱۴). میزان سفتی میوه‌هایی که با سیستم تعلیق بادی حمل‌ونقل شده‌اند بیش از میوه‌هایی بود که با سیستم تعلیق فنر جابجا شده بودند، به نحوی که میوه‌هایی که در وضعیت $T_1H_1S_1Loc_1$ ، $T_1H_2S_1Loc_1$ و $T_1H_3S_1Loc_1$ نسبت به حالت مشابه قرار گرفته بودند به ترتیب $۳۸/۲۱$ ، $۵۷/۷۳$ و $۴۴/۱۵$ درصد سفتی بیشتری از خود نشان دادند. به همین منوال میوه‌هایی که در حالات $T_1H_1S_1Loc_2$ ، $T_1H_2S_1Loc_2$ و $T_1H_3S_1Loc_2$ نسبت به وضعیت مشابه در کامیونت فتری مستقر گردیده بودند به ترتیب $۴۵/۱۷$ ، $۳۸/۲۰$ و $۴۷/۱۹$ درصد سفتی بیشتر، محصولاتی که در شرایط $T_1H_1S_2Loc_1$ ، $T_1H_2S_2Loc_1$ و $T_1H_3S_2Loc_1$ نسبت به شرایط مشابه در سیستم تعلیق فتری استقرار یافته بودند، به ترتیب دارای $۴۸/۱۲$ ، $۶۶/۳۰$ و $۴۷/۲۶$ درصد سفتی بالاتر و گوجه‌فرنگی‌هایی که در وضعیت $T_1H_1S_2Loc_2$ ، $T_1H_2S_2Loc_2$ و $T_1H_3S_2Loc_2$ نسبت به حالت مشابه قرار داشتند به ترتیب $۳۸/۲۶$ ، $۴۶/۹۸$ و $۴۹/۵۳$ درصد سفتی بیشتری برخوردار بودند (جدول ۱۴).

جدول ۱۴. اثرات متقابل کامیون، ارتفاع، موقعیت جعبه و محل قرارگیری میوه بر سفتی (MPa) در آسفالت درجه دوم

سیستم تعلیق	موقعیت جعبه	محل قرارگیری	ارتفاع		
			H_1	H_2	H_3
T_1	S_1	Loc_1	$۱/۳۱۱^b$	$۱/۳۱۳^b$	$۱/۲۴۱^c$
	S_2	Loc_2	$۱/۰۳۶^f$	$۰/۸۹۰^f$	$۱/۱۰۴^{de}$
T_2	S_1	Loc_1	$۰/۸۱۰^g$	$۰/۵۵۵^i$	$۰/۶۹۳^h$
	S_2	Loc_2	$۰/۵۶۸^i$	$۰/۵۵۰^i$	$۰/۵۸۳^i$
	S_1	Loc_1	$۰/۵۶۷^h$	$۰/۵۳۰^g$	$۰/۵۶۹^i$
	S_2	Loc_2	$۰/۵۶۸^i$	$۰/۶۵۹^h$	$۰/۵۳۹^i$

حروف مشترک بیانگر عدم تفاوت بین میانگین‌ها در سطح احتمال ۵ درصد توسط آزمون دانکن را نشان می‌دهد

نتایج حاکی از آن بود، میوه‌هایی که در کف (H_1) کامیون

تکیه‌گاه جلوی وسیله نقلیه در ایجاد و افزایش آسیب مکانیکی به محصول نقش کمتری ایفا می‌نماید (Soleimani & Ahmadi, 2014).

تاثیر محل قرارگیری میوه بر تغییرات مدول الاستیسیته در جاده آسفالت درجه دوم نشان داد، بیشینه کاهش مدول الاستیسیته به‌طور معنی‌داری به میوه‌های ردیف بالای جعبه تعلق داشت این میزان با $۱۲/۶۱$ درصد تنزل نسبت به میوه‌های ته جعبه مشاهده شد (جدول ۱۲).

جدول ۱۱. تاثیر محل قرارگیری میوه درون جعبه بر تغییرات مدول الاستیسیته (MPa) در جاده آسفالت درجه دوم

مدول الاستیسیته		محل قرارگیری میوه درون جعبه (S)
$۷/۸۶^b$	$۹/۱۰^a$	S_2

حروف مشترک بیانگر عدم تفاوت بین میانگین‌ها در سطح احتمال ۵ درصد توسط آزمون دانکن را نشان می‌دهد

جدول ۱۲. تاثیر محل قرارگیری میوه درون جعبه بر تغییرات مدول الاستیسیته (MPa) در جاده آسفالت درجه دوم

مدول الاستیسیته		محل قرارگیری میوه درون جعبه (Loc)
$۷/۹^b$	$۹/۰۴^a$	Loc_2

حروف مشترک بیانگر عدم تفاوت بین میانگین‌ها در سطح احتمال ۵ درصد توسط آزمون دانکن را نشان می‌دهد

تاثیر متقابل کامیون، موقعیت استقرار جعبه و محل قرارگیری میوه درون جعبه بر مدول الاستیسیته گوجه‌فرنگی نشان داد، بیشترین کاهش مدول الاستیسیته در کامیونت فتری و متعلق به مشاهده‌های $T_2S_1Loc_2$ ، $T_2S_2Loc_1$ و $T_2S_2Loc_2$ به ترتیب با میزان $۶۱/۵$ ، $۶۰/۲۲$ و $۶۰/۰۵$ درصد کاهش نسبت به شاهد در جاده آسفالت درجه دوم رخ داد. از لحاظ عددی نیز در همه موارد میوه‌های ردیف بالای جعبه مدول الاستیسیته کمتری نسبت به میوه‌های ردیف پایین داشتند (جدول ۱۳).

جدول ۱۳. اثر متقابل کامیون، موقعیت و محل قرارگیری میوه بر تغییرات مدول الاستیسیته (MPa) در جاده آسفالت درجه دوم

سیستم تعلیق (T)	موقعیت استقرار جعبه (s)	محل قرارگیری میوه درون جعبه (Loc)	
		Loc_1	Loc_2
T_1	S_1	$۱۰/۷۰^a$	$۹/۶۵^{ab}$
	S_2	$۹/۱۶^{ab}$	$۷/۹^{bc}$
T_2	S_1	$۹/۱۳^{ab}$	$۶/۹۳^c$
	S_2	$۷/۱۶^c$	$۷/۱۹^c$

حروف مشترک بیانگر عدم تفاوت بین میانگین‌ها در سطح احتمال ۵ درصد توسط آزمون دانکن را نشان می‌دهد

و کامیونت مستقر شده بودند، دارای مدول الاستیسیته بالاتری (نسبت به ارتفاع دوم و سوم) می‌باشند. در جاده آسفالت درجه دوم اختلاف (کاهش) مدول الاستیسیته در کامیونت فتری بیش از کامیون بادی مشاهده گردید در همین جاده روند کاهش مدول الاستیسیته از ارتفاع کف به سمت بالاترین ارتفاع از یک نظام کاهشی منظمی تبعیت نمود. بیشترین کاهش در ارتفاع سوم (H_3) هر دو سیستم تعلیق مشاهده شد (جدول ۳ و ۱۰). در هر دو نوع جاده آسفالت (بزرگراه و درجه دوم) به دلیل تحریکات سیستم تعلیق ناشی از ناهمواری‌های جاده، میوه‌هایی که در موقعیت عقب سیستم تعلیق (S_2) مستقر شده بودند، بیش از میوه‌های موقعیت جلو (S_1) از نرخ کاهش مدول الاستیسیته برخوردار بودند با این تفاوت که در جاده آسفالت بزرگراه شدت درصد کاهش مدول الاستیسیته میوه‌های موقعیت عقب نسبت به میوه‌های موقعیت جلو ۱۲/۲۷ و درصد کاهش مدول الاستیسیته میوه‌های موقعیت عقب نسبت به میوه‌های روی محور جلو در آسفالت درجه دوم ۱۳/۶۲ درصد بود. این نتیجه‌گیری را نتایج پژوهش Barchi et al., 2002; Shahbazi et al., 2007; Zhou et al., 2008 تایید می‌کند. دلیل بالا بودن نرخ کاهشی مدول الاستیسیته میوه‌ها روی محور عقب وسیله حمل‌کننده، افزایش اندازه و شدت نیروهای عمل‌کننده بر روی میوه که به شکل نیروهای تکراری عمل کرده و نرم شدن بافت و آسیب به میوه را تسریع می‌دهد. تغییرات محل قرارگیری میوه درون جعبه (Loc) بر تغییرات مدول الاستیسیته (در آسفالت بزرگراه) از لحاظ آماری در یک گروه قرار داشت و ممکن است دلیل اصلی آن رفتار مناسب وسیله نقلیه در پاسخ به تحریکات ناشی از ناهمواری‌های جاده در این‌گونه آسفالت‌ها می‌باشد (جدول ۱). در جاده آسفالت درجه دوم، میوه‌هایی که در ردیف پایین (Loc_1) جعبه قرار داشتند، دارای مدول الاستیسیته بیشتری بودند که می‌تواند شرایط جاده‌ای و پاسخ متقابل وسیله نقلیه به ناهمواری‌های جاده سبب پرش میوه‌های ردیف بالایی (در فرکانس‌های بالا و به دلیل شدت ارتعاشات و برخورد آن با میوه‌های زیرین و یا دیواره‌های جعبه شده و موجبات تحمیل آسیب مکانیکی به میوه‌های لایه‌های بالایی را فراهم نماید. در این خصوص تحقیقات انجام شده نشان می‌دهد، مدول الاستیسیته یکی از خصوصیات میوه بوده و میزان تنزل آن نشان‌دهنده شدت آسیب وارده به محصول مخصوصاً در زمان حمل‌ونقل است (Taghizademoghadam

منصوری آلام و احمدی: بررسی رفتار مکانیکی گوجه‌فرنگی در فرآیند... ۴۵۳

ذکر شده می‌توان نتیجه‌گیری نمود افزایش ارتعاشات در حین حمل‌ونقل با وسیله نقلیه موجب تغییرات مدول الاستیسیته گوجه‌فرنگی گردیده است. تغییرات مدول الاستیسیته در جاده آسفالت درجه دوم از یک روند نزولی (از کف به سمت ارتفاع سوم) تبعیت نمود، این روال نیز با شدت کمتری در وسیله نقلیه‌ای که در جاده آسفالت بزرگراه عبور نموده بود مشاهده شد. مطابق نتایج حاصله میوه‌هایی که در ارتفاع اول (H_1) و دوم (H_2) کامیون بادی (T_1) قرار داشتند، از سفتی بیشتری برخوردار بودند، این نتیجه‌گیری با نتیجه حاصل از افزایش ارتفاع قرارگیری که منتج به کاهش مدول الاستیسیته میوه گردید ناهم‌آنگ نیست. به این مفهوم که میوه‌های ارتفاع سوم (H_3) کامیون بادی (T_1) و همچنین میوه‌هایی که درون کامیونت فتری (T_2) حمل‌ونقل شده بودند، احتمالاً به دلیل جذب ارتعاش ناشی از برخورد پی‌درپی میوه‌ها با هم یا با دیواره جعبه و همچنین نیروی ناشی از وزن میوه (برای میوه‌های ردیف پایین جعبه) سبب نرم شدن بافت زیر پوست شده است. بنابراین نیرویی که صرف گسیختگی بافت ناحیه نرم شده است کمتر از نیرویی می‌باشد که به بافت میوه شاهد (ارتعاش ندیده) اعمال شده است. همچنین نتایج نشان می‌دهد محور عقب (S_2) وسیله نقلیه به درستی قادر نیست، ارتعاشات وارده از طرف جاده را خنثی نماید (نسبت به محور جلو)، لذا در شکل‌گیری آسیب‌های مکانیکی نقش بیشتری ایفا می‌کند. آن دسته از میوه‌هایی که با سیستم تعلیق کامیون بادی (T_1) حمل‌ونقل شده بودند نسبت به کامیونت فتری ارتعاشات کمتری به لحاظ توانایی نسبی بهتر سیستم تعلیق بادی در رویارویی با ناهمواری‌های جاده دریافت نموده بودند نتایج نشان داد، بررسی و تعبیر رفتار میوه با صفت مدول الاستیسیته در هر دو جاده (بزرگراه و درجه دوم) برتری کامیون بادی در طی حمل‌ونقل جاده‌ای از نظر کاهش تیرانس مدول الاستیسیته (نسبت به کامیون فتری) را نشان داد. بیشینه سفتی در جاده آسفالت بزرگراه در کامیون بادی در ارتفاع اول (H_1) و موقعیت قرارگیری روی محور جلو (S_1) رخ داد. کمینه سفتی در ارتفاع دوم (H_2) و سوم (H_3)، درون کامیونت فتری (T_2) اتفاق افتاد. این نتیجه‌گیری با نتایج Shahbazi et al., 2008 & 2010 که مشاهده نمودند میزان آسیب به هندوانه وقتی فرکانس ارتعاش بالا می‌رود افزایش می‌یابد مطابقت دارد. میوه‌هایی

کامیونت فنی نسبت به کامیون بادی در جاده آسفالت بزرگراه ۱۷/۳۳ و در جاده آسفالت درجه دوم این میزان ۱۶/۹۱ درصد بود. با کاهش ارتفاع قرارگیری جعبه روی سیستم تعلیق ماشین (بادی و فنی) مدول الاستیسیته افزایش معنی داری پیدا می کند. میانگین تفاضل مدول الاستیسیته بین ارتفاع اول (H1) و ارتفاع سوم (H3) هر دو وسیله نقلیه در جاده آسفالت بزرگراه و آسفالت درجه دوم به ترتیب ۳۵/۹۷ و ۵۲/۰۵ درصد با رشد منفی (نسبت به شاهد) به وقوع پیوست. کمینه کاهش مدول الاستیسیته در موقعیت جلو (کامیون و کامیونت) و در آسفالت بزرگراه با مقدار ۳۳/۹۴ درصد و بیشینه کاهش آن در جاده آسفالت درجه دوم و موقعیت عقب (S₂) وسیله نقلیه با میزان ۱/۶۷ نیوتن روی محور جلو کامیون بادی (T₁)، بیشینه آن در جاده آسفالت درجه دوم مربوط به مشاهده T₁H₂S₂Loc₁ با میزان ۱/۵۷ نیوتن درون کامیون بادی (T₁) اتفاق افتاد.

که در ردیف پایین جعبه (Loc₁) و درون کامیون بادی روی جاده آسفالت بزرگراه (T₁) قرار داشتند در هر سطح ارتفاع قرارگیری (H₁، H₂ و H₃)، از سفتی بیشتری نسبت به میوه های ردیف بالا (Loc₂) برخوردار بودند (جدول ۷). کمترین سفتی از نظر فراوانی درون کامیونت فنی (T₂) در جاده آسفالت درجه دوم متعلق به میوه هایی است که در ارتفاع سوم (H₃) روی موقعیت جلو و عقب (S₁ و S₂) کامیون قرار گرفته بودند، هر چند که در ارتفاع اول (H₁) و دوم (H₂) کمینه سفتی (روی موقعیت جلو و عقب) برای میوه های ردیف بالا و پایین جعبه نیز مشاهده گردید (جدول ۱۴).

نتیجه گیری کلی

بررسی رفتار میوه با اندازه گیری پارامترهای مدول الاستیسیته و سفتی معیار مناسبی جهت اندازه گیری آسیب به گوجه فرنگی در زمان حمل و نقل است. نتایج نشان داد محصولاتی که با کامیونت فنی حمل و نقل شده اند از اختلاف (کاهش) مدول الاستیسیته بالاتری نسبت به میوه هایی که با کامیون بادی حمل و نقل شده بودند برخوردار هستند. درصد رشد منفی مدول الاستیسیته در

REFERENCES

- Afkarisayah, A. H. & Minaei, S. (2009). Foundations & waste assessment in agricultural products. *Publications (SID), Ardebil Province*, pp. 183. (In Farsi).
- Ahmadi, E. & Abedi, Gh. (2013). Sensitivity of tomatoes to internal bruising induced by mechanical stress. *European Journal of Horticultural Science*, 78(5), 219-224.
- Anonymous. (2016). from <http://www.ghatreh.com>
- Babarinsa, F. A. & Lge, T. (2012). Young's modulus for packaged Roma tomatoes under compressive loading. *International Journal of Scientific & Engineering Research*, 3, 1-7.
- 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, 305-312.
- Berardinelli, A., Donati, V., Giunchi, A., Guarnieri, A. & Ragni, L. (2003). Effects of transport vibrations on quality indices of shell eggs. *Biosystems Engineering*, 86, 495-502.
- Erdogan, D., Guner, M., Dursun, E. & Gezer, I. (2003). Mechanical harvesting of apricots. *Biosystem Engineering*, 85(1), 19-28.
- Gholipour, H., Bahrami, H. & Saeedyrad, M. H. (2010). Some of the factors that influence post-harvest losses tomatoes. *National Conference of Water, Soil, Plant Science & Agricultural Machinery in IAU Dezful Branch*, (In Farsi).
- Hassanpour, A., Esmaili, M., Modarresmotlagh, A. & Rahmanididar, A. (2011). Changes in viscoelastic properties of Thompson seedless grapes during ripening. *Journal of Food Researches*, 2, 133-145. (In Farsi).
- Hinsch, R. T., Slaughter, D. C., Craig W. L. & Thompson, J. F. (1993). Vibration of fresh fruits & refrigerated during refrigerated truck transport. *Transactions of the ASAE*, 36(4), 1039-1042.
- O'Brien, M. & Fridley, R. B. (1970). Measurement of vibrations related to harvesting & handling of fruits & vegetables. *Transactions of the ASAE*, 13(6), 870-873.
- Ogut, H., Peker, A. & Aydin, C. (1999). Simulated transit studies on peaches, effects of container cushion materials & vibration on elasticity modulus. *Agricultural Mechanization in Asia, Africa & Latin America*, 30, 59-62.
- Olorunda, A. O. & Tung, M. A. (1985). Simulated transit studies on tomatoes effects of compressive load, container, vibration & maturity on mechanical damage. *Journal of Food Technology*, 20, 669-678.
- Ranathunga, C. L., Jayaweera, H. H. E., Suraweera, S. K. K., Wattage, S. C., Ruvinda, K. K. D. & Ariyaratne, T. R. (2010). Vibration effects in vehicular road transportation. *Institute of Physics - Sri Lanka Proceedings of the Technical Sessions*, 26, 9-16.

- Reisiestabrahg, A. (2015). The effect of vibrations simulated on tomatoes. First National Conference on the Environment & Food Security, University of Jiroft.
- Sadrmia, H. (2007). Mechanical properties of watermelon & three dimensions analysis of stress distribution, Using LPM. Ph. D. Thesis. Agricultural Faculty, University of Tehran.
- Shahbazi, F., Rajabipour, A., Mohtasebi, S. & Rafie, Sh. (2008). Effects of transport vibrations on modulus of elasticity watermelon, variety crimson sweet. *Iranian Journal of Biosystem Engineering*, 40(1), 15-25. (In Farsi)
- Shahbazi, F., Rjabipour A., Mohtasebi S. & Rafie, Sh. (2010). Simulated in-transit vibration damage to watermelons. *Journal of Agricultural Science & Technology*, 12, 23-34. (In Farsi)
- Singh, S.P. & Xu, M. (1993). Bruising in apples as a function of truck vibration and packaging. *Applied Engineering in Agriculture*, 9: 455-460.
- Slaughter, D. C., Hinsch, R. T. & Thompson, J. F. (1993). Assessment of vibration injury to Bartlett pears. *Transactions of the ASAE*, 36, 1043-1047.
- Soleimani, B. & Ahmadi, E. (2014). Measurement & analysis of truck vibration levels as a function of packages locations in truck bed & suspension. *Computers & Electronics in Agriculture*, 109, 141-147.
- Taghizademoghadam, G. H., Hashemi, J. & Tabatabaekoloor, R. (2012). The effect of fruit size on the kiwi fruit damage during transport. *Iranian Food Science & Technology Congress*, Sharif University, Tehran. (In Farsi)
- Thompson, R. L., Fleming, D. D., Hamann, H. P. & Monroe. (1982). Method for determination of firmness in cucumber slices. *Journal of texture Studies*, 13,311-324.
- Van-Zeebroeck, M., Tijsskens, E., Dintwa, E., Kafashan, J., Loodts, J., De Baerdemaeker, J. & Roman, H. (2006). The discrete element method (DEM) to simulate fruit impact damage during transport & handling Case study of vibration damage during apple bulk transport. *Postharvest Biology & Technology*, 41, 92-100.
- Zhou, R., Su, S., Yan, L. & Li, Y. (2007). Effect of transport vibration levels on mechanical damage & physiological responses of Huanghua pears. *Postharvest Biology & Technology*, 46(1), 20-28.