

## طراحی، ساخت، و ارزیابی شاخه‌تکان نیوماتیک قابل حمل با کنترل کننده منطقی برنامه‌پذیر

علی رضایی\*<sup>۱</sup>، محمد لغوی<sup>۲</sup>، سعادت کامگار<sup>۳</sup>، داریوش زارع<sup>۴</sup>

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم دانشگاه شیراز

۲. استاد گروه مکانیک بیوسیستم دانشگاه شیراز

۳. استادیار گروه مکانیک بیوسیستم دانشگاه شیراز

۴. دانشیار گروه مکانیک بیوسیستم دانشگاه شیراز

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۱/۲۶ - تاریخ تصویب: ۱۳۹۳/۹/۲۴)

### چکیده

در این تحقیق یک دستگاه شاخه‌تکان نیوماتیک قابل حمل و سبک برای برداشت میوه‌هایی که می‌توان با تکاندن شاخه برداشت کرد، طراحی و ساخته شد. جریان هوا و جریان الکتریکی لازم برای به‌کارانداختن دستگاه از مجموعه‌ای متشکل از مولد الکتریکی و کمپرسور باد سوار بر شاسی قابل حمل تأمین می‌گردد. برای کنترل بسامد ارتعاش مجهز به یک کنترل کننده منطقی برنامه‌پذیر (PLC) و به‌منظور تغییر دامنه نوسان مجهز به سیستم پاندوگراف است. برای تعیین عملکرد شاخه‌تکان آزمون مزرعه‌ای اول روی زیتون با ۳ سطح بسامد (۸، ۱۲، و ۱۶ هرتز) و ۳ زمان تکاندن (۵، ۱۰، و ۱۵ ثانیه) و در دامنه ثابت ۵ سانتی‌متری در قالب طرحی کاملاً تصادفی با ۴ تکرار و آزمون مزرعه‌ای دوم نیز روی زیتون با ۳ سطح بسامد (۸، ۱۲، و ۱۶ هرتز) و ۳ دامنه نوسان (۵۰، ۸۰، و ۱۰۰ میلی‌متر) و در مدت زمان ثابت ۵ ثانیه در قالب طرح کاملاً تصادفی با ۴ تکرار انجام گردید. همچنین برای تعیین نیروی استاتیکی جداسازی میوه از شاخه و مقایسه آن با نیروی دینامیکی ناشی از اعمال ارتعاش آزمایش‌هایی انجام گرفت. نتایج نشان داد که بسامد نوسانی و طول زمان تکاندن اثر معنی‌داری در سطح یک‌درصد بر بازده شاخه‌تکان دارند در حالی که اثر متقابل آنها معنی‌دار نبود. مقایسه میانگین‌ها نشان داد که در بسامدهای ثابت افزایش زمان ارتعاش تأثیر معنی‌داری بر درصد برداشت زیتون نداشت، اما افزایش بسامد در زمان‌های ثابت ارتعاش تأثیر معنی‌دار بر درصد برداشت داشت. همچنین نتایج بیانگر تأثیر معنی‌دار بسامد و دامنه نوسان بر درصد ریزش زیتون بود. با مقایسه میانگین‌ها مشخص شد در دامنه‌های نوسان ثابت با افزایش بسامد درصد ریزش زیتون افزایش می‌یابد. همچنین در بسامدهای ثابت با افزایش دامنه نوسان از ۵۰ به ۸۰ میلی‌متر اختلاف معنی‌داری بین درصد ریزش زیتون مشاهده نشد. اما زمانی که دامنه نوسان از ۸۰ به ۱۰۰ میلی‌متر افزایش می‌یابد درصد ریزش زیتون به‌طور معنی‌داری افزایش یافت. در نهایت با توجه به این‌که با اعمال بسامد ۱۶ هرتز و دامنه نوسان ۱۰۰ میلی‌متر در مدت زمان ۵ ثانیه، ۹۰ درصد زیتون‌ها از شاخه جدا شدند، به‌عنوان بهترین دامنه، بسامد، و زمان ارتعاش انتخاب شد.

کلیدواژه‌گان: ارتعاش، بسامد، دامنه، زیتون، کنترل کننده منطقی برنامه‌پذیر.

### مقدمه

اعمال شده در میوه بر اثر لرزش بزرگتر از نیروی کششی لازم برای جداسازی میوه در حالت استاتیکی گردد. اگر نیروی کششی لازم برای جداسازی میوه در حالت استاتیکی را به‌عنوان معیار فرض کنیم، برای برداشت ارتعاشی میوه‌ها ترکیبی از دامنه و بسامد نوسان که نیروی اینرسی برابر یا بزرگتر از نیروی کشش استاتیکی ایجاد کند (Parchomchuk & Coke, 1972). انتقال‌ندادن مناسب ارتعاشات، رشد متراکم شاخه‌های اصلی، بالابودن میزان میرایی، و مقاومت‌های ذاتی از نظر اینرسی را می‌توان از دلایل مشکلات جداسازی میوه از درخت نام برد (O'Brien et al., 1983, Fridley and Adrian, 1960, Hoag et al., 1970). علاوه بر این می‌توان گفت که خصوصیات درخت نیز بر حرکت نوسانی بی‌تأثیر نیست برای مثال در میوه زیتون

اهمیت باغ‌های میوه از نظر ایجاد اشتغال، افزایش درآمد، تأمین مواد غذایی لازم، بهبود شرایط آب‌وهوایی، و توجه به شرایط زیست‌محیطی در مسیر کشاورزی پایدار کاملاً آشکار است. بنابر اطلاعات موجود سطح مکانیزاسیون محصول‌های باغی در کشور در وضعیت مناسبی قرار ندارد. یکی از شاخص‌های مکانیزاسیون باغ‌ها، برداشت مکانیکی محصول است. اساس عمل جداشدن میوه از شاخه درخت بر پایه ایجاد شتاب در میوه بر اثر لرزش است. جداشدن میوه‌ها زمانی رخ می‌دهد که نیروی اینرسی

یک شاخه‌تکان هیدرولیکی برای برداشت مکانیکی پسته طراحی شده است. این شاخه‌تکان قادر به برداشت میوه‌ای با شاخه‌های به قطر بالای ۱۸۰ میلی‌متر است (Polat *et al.*, 2007).

نیوماتیک، استفاده از گاز به‌منظور انتقال توان از یک نقطه به نقطه دیگر است. تقریباً همیشه از هوا به‌علت دسترسی آسان به‌عنوان گاز استفاده می‌شود. در بعضی سیستم‌ها از نیتروژن خالص استفاده می‌شود. سیستم‌های نیوماتیک به سه بخش تقسیم می‌شوند: ۱. تأمین قدرت، ۲. شیرهای کنترل، و ۳. خروجی. قسمت خروجی شامل عملگر (سیلندر، موتور و...) و بار است. بخش شیر کنترل شامل شیرهای کنترل جهت، فشار، و جریان است. قسمت تأمین‌کننده قدرت در سیستم نیوماتیک شامل محرک اولیه با کمپرسور و مخزن است. معمولاً محرک اولیه در سیستم‌های نیوماتیکی موتوری الکتریکی است اما در بعضی از سیستم‌های خارجی از موتورهای بنزینی، گازی، و دیزلی استفاده می‌شود (Shirخورshidian & Rahrovan, 2011).

بنا به تعریف، سیستم کنترل، سیستمی است که با دریافت اطلاعات ورودی، نسبت به ایجاد خروجی‌هایی مطابق خواسته‌های کاربر اقدام کند. پیشرفت‌های فراوان فناوری نیمه‌هادی‌ها در زمینه ساخت ریزپردازنده و حافظه‌های با حجم بالا امکان ساخت کنترل‌کننده‌های منطقی الکتریکی برنامه‌پذیر (*Programmable Logic Controller*) یا به اختصار (*PLC*) را فراهم آورد. در این کنترل‌کننده‌ها برخلاف کنترل‌کننده‌های مبتنی بر قسمت‌های الکترومکانیکی، برای تغییر منطق کنترل کافی است بدون تغییری در سیم‌کشی یا قطعات، فقط برنامه کنترل را تغییر داد، در این صورت می‌توان از یک کنترل‌کننده منطقی برنامه‌پذیر در هر مکان استفاده کرد (Heydariyan, 2009).

مزایای استفاده از کنترل‌کننده‌های منطقی: ۱. استهلاک مکانیکی ندارد، ۲. مصرف انرژی بسیار کم‌تر از مدارهای رله‌ای، ۳. نویزهای صوتی و الکتریکی ایجاد نمی‌کند، ۴. طراحی و اجرای مدارهای کنترل منطقی در آن‌ها آسان و سریع است، و ۵. ایجاد تغییرات و تنظیمات در آن‌ها آسان و سریع است (Heydariyan, 2009).

با توجه به مطالعات انجام‌شده و کمبود منابع اطلاعاتی در داخل کشور، تحقیقی با هدف طراحی و ساخت دستگاه شاخه‌تکان نیوماتیک قابل حمل دستی، دارای مانورپذیری بالا، ارزیابی دستگاه طراحی‌شده در برداشت زیتون، و سرانجام تعیین مناسب‌ترین بسامد و زمان ارتعاش برای برداشت زیتون انجام

راندمان دو نوع حرکت لرزشی ساده و چندراستی<sup>۱</sup>، ۵۰-۸۰ درصد تابع خصوصیات درخت بوده است (Proietti *et al.* 1994). نوع حرکت نوسانی با توجه به نحوه اتصال میوه به درخت و دینامیک آن نیز بر عملکرد تکاننده اثر مستقیم دارد. به‌عنوان مثال در تحقیقات انجام‌گرفته مشخص شد که مرکبات در زاویه ۴۵ درجه بهتر جدا می‌شوند (Coppock *et al.*, 1969). در اسپانیا مشخص شد که ارتعاش عمودی مؤثرتر از ارتعاش افقی در برداشت زیتون است (Gimenez & Gracia, 1979).

اولین تلاش برای مکانیزه کردن برداشت درختان میوه را به Fairbak (1946) نسبت می‌دهند. در دستگاه ساخته‌شده از سیستم خارج مرکز که از محور توان‌دهی تراکتور نیرو می‌گیرد و با کابلی به شاخه درخت متصل است، استفاده می‌شود. اشکال وارد بر این دستگاه اعمال شوک‌های شدید به درخت است. برای رفع این نقیصه در طرح‌های بعدی از دستگاه‌های با بوم یکپارچه استفاده گردید، که در این صورت بسامد نوسان لرزش درخت با نوسان‌های مکانیزم خارج از مرکز برابر شد و تنش‌های وارد بر درخت کاهش یافت (Fairbak, 1946).

در سال ۱۹۷۱ از شاخه‌تکان خودکششی برای برداشت پرتقال والنسیا بدون استفاده از محلول تشدیدکننده لایه سواگر استفاده شد. درختان به‌نحوی تکان داده شدند که در طی سه فصل برداشت کمترین میزان میوه نارس برداشت شود. در این روش حدود ۸۶ درصد از میوه با نرخ برداشت ۶ درخت در ساعت برداشت شد (Coppock, 1971).

در پژوهشی از شیکری اینرسیایی به‌منظور برداشت زیتون استفاده شد و نتایج نشان داد که برای جداسازی بهینه میوه، درخت باید در محدوده فرکانس ۲۰ تا ۲۸ هرتز و دامنه ۲۰ تا ۳۰ میلی‌متر برای مدت زمان ۱۰ ثانیه به ارتعاش درآید (Kececioglu, 1975).

GolPira (1998) دستگاه ارتعاش‌دهنده شاخه را در ایران طراحی کرد و به مرحله ساخت درآورد. او آزمایش‌هایی را روی درخت زیتون انجام داد.

در مکانیزمی سیستم نیوماتیک شامل پمپ باد و جک استفاده شد، که جک به انتهای تیرک ارتعاش‌دهنده متصل و عمل رفت و برگشت پیستون جک با کورس کم موجب ارتعاش می‌گردید (Coppoc, 1974).

Sessiz & Özcan (2006) دستگاه شاخه‌تکان نیوماتیکی پشت تراکتوری را ساختند و آزمایش‌هایی را برای برداشت زیتون به‌وسیله این شاخه‌تکان انجام دادند.

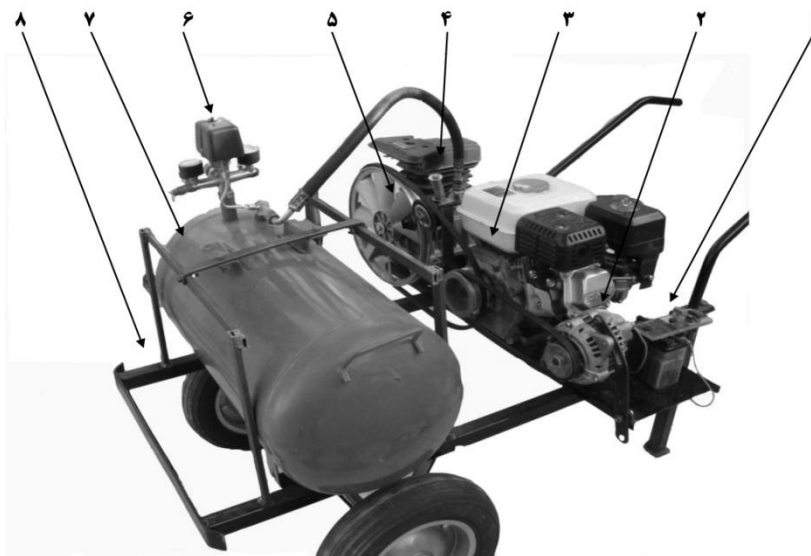
مجموعه مخزن باد و موتور الکتریکی همان گونه که در شکل ۱ مشاهده می‌گردد شامل این اجزا است: ۱. باتری ۱۲ ولت، ۲. دینام آلترناتوری، ۳. موتور بنزینی ۵/۵ اسب بخار، ۴. سفت‌کن تسمه کمپرسور که هنگام استارت‌زدن با فشردن فنر بالای آن، بار اعمالی از طرف کمپرسور بر موتور را کاهش می‌دهد و به روشن‌شدن موتور کمک می‌کند، ۵. کمپرسور پیستونی، ۶. شیر تابع فشار مکانیکی، ۷. مخزن ۱۰۰ لیتری، و ۸. شاسی.

گرفت. نوآوری به عمل آمده در این تحقیق استفاده از کنترل‌کننده منطقی برنامه‌پذیر است.

## مواد و روش‌ها

انجام این پژوهش مبتنی بر دو قسمت است:

۱. طراحی و ساخت دستگاه شاخه تکان نیوماتیکی قابل حمل
  ۲. ارزیابی دستگاه ساخته شده در برداشت زیتون
- دستگاه مورد نظر از دو قسمت کلی تشکیل شده است: الف) مجموعه مخزن باد (هوا) و مولد الکتریکی، ب) بازوی ارتعاشی قابل حمل.



شکل ۱. مجموعه مخزن باد (هوا) و مولد الکتریکی

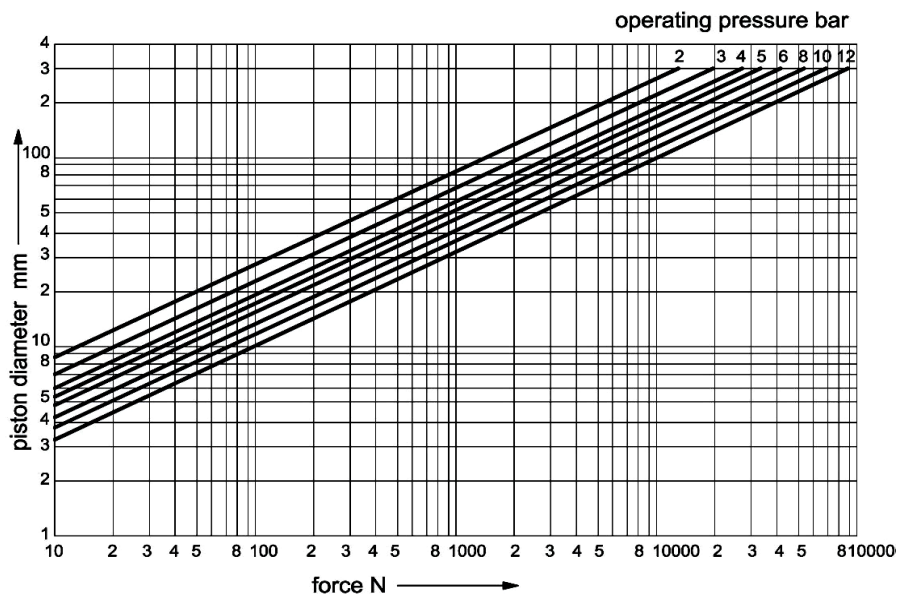
حداکثر نیروی ۳۶۲/۴۰ نیوتن ثبت و مبنای محاسبات قرار گرفت. با توجه به افت فشار ناشی از چند اتصال زانویی و طولی بودن طول لوله رابط بین مجموعه ارتعاشی و مخزن، همچنین افت نیروی ناشی از به کارگیری مجموعه پاندوگراف، با نمودار شکل ۲ یک جک نیوماتیک دوطرفه با قطر سطح مقطع ۳۲ میلی‌متر و قطر میله ۱۲ میلی‌متری با طول کورس ۲۰۰ میلی‌متر انتخاب گردید (شکل ۳). با اعمال فشار ۸ کیلوگرم نیرو بر سانتی‌متر مربع، این جک در کورس برگشت نیرویی معادل ۵۵/۲۹ کیلوگرم (۵۴۱/۸۴ نیوتن) اعمال خواهد کرد (رابطه ۱).

$$F = P \left[ \pi \cdot (r_o^2 - r_i^2) \right]$$

$$F = 8 \frac{kgf}{cm^2} \times \left\langle \pi \left[ \left( \frac{3.2}{2} cm \right)^2 - \left( \frac{1.2}{2} cm \right)^2 \right] \right\rangle$$

$$F = 55.29 kgf = 541.84 N$$

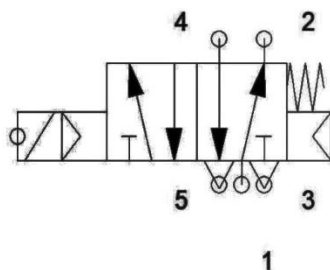
برای ساخت مجموعه بازوی ارتعاشی، دو آزمایش کشش و خمش ساقه انجام گرفت. برای انجام آزمایش کشش ساقه نیروسنجی فنری در فاصله ۶ میلی‌متری (تقریباً ۰/۲۵ اینچی) از محل اتصال ساقه به انتهای میوه بسته شد. نیروسنج در یک دست و میوه در دست دیگر قرار گرفت. با کشیدن آرام نیروسنج، نیرو به تدریج افزایش می‌یابد تا در نهایت میوه از ساقه جدا شود. در این هنگام حداکثر نیروی اعمالی بر نیروسنج فنری خوانده و به عنوان نیروی جداسازی ثبت شد. به منظور آزمایش خمش، نیرو در زاویه ۴۵° در مقایسه با محور ساقه میوه و در فاصله ۱۲/۵ میلی‌متری (تقریباً ۰/۵۰ اینچی) در مقایسه با محل اتصال ساقه به میوه اعمال شد. در این آزمایش نیز میوه با یک دست گرفته شد و با دست دیگر نیرو اعمال گردد. نیرو تا لحظه جداسدن میوه به ساقه اعمال گشت و مقدار ماکزیمم نیروی اعمالی در لحظه جداسازی به عنوان نیروی جداسازی ثبت شد (Barnees, 1969). در آزمایش کشش و خمش انجام شده



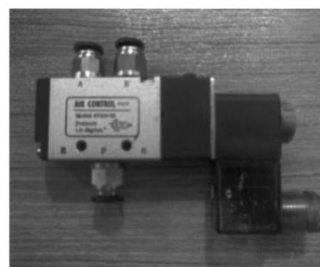
شکل ۲. تعیین قطر سیلندر بر حسب فشار و نیرو (Shirkhorshidan, 2010)



شکل ۳. مجموعه جک و شیر برقی کنترل جهت جریان ساخته شده



شکل ۴. شیر کنترل جریان ۵/۲ با برگشت فنری و نماد نیوماتیک آن



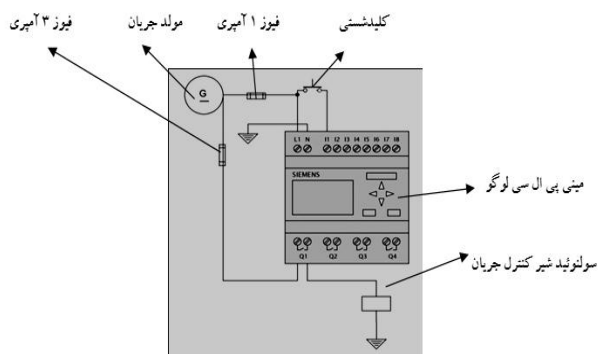
معمولاً از مدار آستابل<sup>۱</sup> استفاده می‌شود. اما در این تحقیق کنترل‌کننده منطقی برنامه‌پذیر ( *Programmable Logic* )

۱. آستابل (*astable*) از انواع مولتی‌ویبراتورها است. آستابل دارای دو حالت است که هر دو حالت ناپایدار اما با نوسان پایدار است و مرتباً از یک وضعیت به وضعیت دیگر منتقل می‌شود. از مدار آستابل می‌توان برای تولید موج مربع استفاده کرد. مدار آستابل را می‌توان به کمک ترانزیستور، تقویت‌کننده عملیاتی، و تراشه زمان‌سنج ۵۵۵ ساخت.

تعویض جهت ورود هوا به درون جک توسط شیر کنترل جهت ۵/۲ انجام می‌گیرد. این شیر برگشت فنری شامل پنج دهانه و دو وضعیت است (شکل ۴).

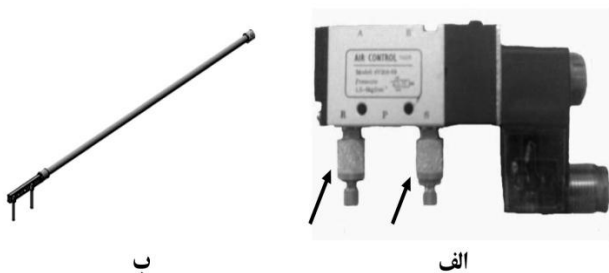
به‌منظور قطع و وصل سولنوئید شیر کنترل جهت جریان به استفاده از دستگاه مولد پالس‌های مربعی احتیاج است که

پس از ورود برنامه می‌بایستی سیم‌کشی را انجام داد، برای این منظور برق مثبت مولد الکتریکی را پس از عبور از فیوز ۱ آمپری به ترمینال  $L1$  لوگو و پس از عبور از فیوز ۳ آمپری به یکی از ترمینال‌های  $Q1$  و ترمینال دیگر  $Q1$  به سولنوئید شیر کنترل جهت جریان اتصال داده می‌شود. لوگو برای روشن شدن نیاز به برق منفی دارد که این برق از طریق ترمینال  $N$  تأمین می‌گردد. جهت ارسال پالس به ورودی  $Trg$  تایمر تأخیر در قطع با ورودی پالسی، از طریق یک کلید شستی برق مثبت مولد جریان الکتریکی به پایه  $II$  ارسال می‌گردد (شکل ۶).



شکل ۶. سیم‌بندی مینی پی‌ال‌سی لوگو

مطابق شکل ۷-الف دو شیر روی شیر کنترل جهت قرار دارد، که با تنظیم آن‌ها می‌توان سرعت خروج هوا از درون جک و در نتیجه دامنه نوسان را حداکثر تا ۵۰ میلی‌متر تنظیم کرد. بنابراین برای تغییر دامنه نوسان از طرح پاندوگراف که توسط *Khorsandi at el* (2010) ارائه شده است، استفاده شد (شکل ۸). در پاندوگراف اگر  $L_1$  طول بازوی ورودی (نزدیک به شیکر)،  $L_2$ : طول بازوی خروجی (نزدیک به بوم وقلاب)،  $S_1$ : طول جابه‌جایی خروجی شیکر، و  $S_2$ : جابه‌جایی بوم و قلاب باشد، آنگاه رابطه:  $S_2 = \frac{L_2}{L_1} (s_1)$  برقرار است. برای اتصال دستگاه به شاخه و انتقال ارتعاش بومی طبق شکل ۷-ب طراحی و ساخته شد.

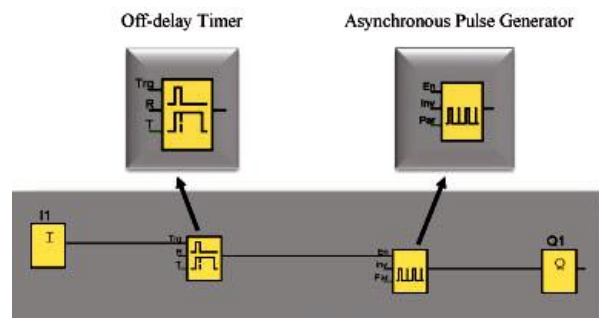


شکل ۷. الف) شیر کنترل جهت جریان به همراه دو شیر خروجی، ب) بوم طراحی شده برای انتقال ارتعاش به شاخه

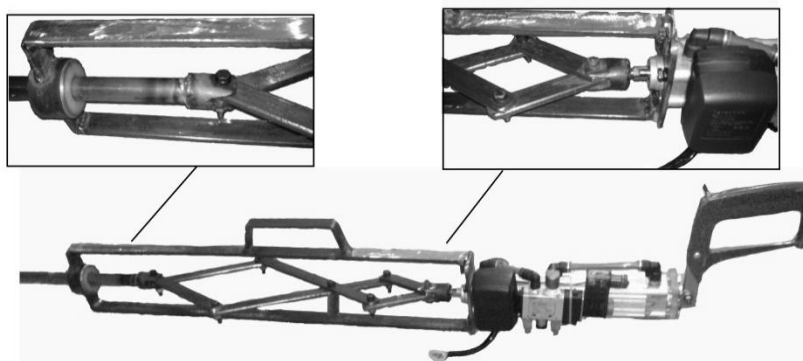
*Controller*) از نوع مینی پی‌ال‌سی (*Mini PLC*) ساخت شرکت زیمنس (*Siemens*) آلمان با نام اختصاری لوگو (*LOGO*) و مدل  $I2/24RC$ ، که منبع تغذیه آن برق ۱۲ ولت جریان مستقیم (*I2DC*) است، استفاده شد. این دستگاه هشت ترمینال ورودی ( $I1$  الی  $I8$ ) و چهار ترمینال خروجی ( $Q1$  الی  $Q4$ ) از نوع رله‌ای دارد، که هر رله ظرفیت عبور ۱۰ آمپر جریان را دارد (شکل ۵). برای تولید یک جریان مربعی در خروجی *PLC* به یک برنامه نیاز است، که با استفاده از توابع، تعریف شد و از طریق کلیدهای روی خود دستگاه برنامه‌نویسی گردید (شکل ۵).

تابع اول، تایمر تأخیر در قطع با ورودی پالسی زمان‌گیری با لبه پایین‌رونده (*Off-delay Timer*) است که تحت عنوان بلوک ۱ ذخیره می‌شود. در این تایمر با اعمال یک پالس به ورودی *Trg* (از طریق ترمینال  $II$ ) بلافاصله خروجی  $Q1$  فعال و زمان‌گیری آغاز می‌شود. در هر زمان با اعمال پالس به ورودی  $R$  تایمر، خروجی و زمان‌گیری، بازنمایی می‌گردد. در *Par* نیز مقدار زمان ارتعاش ( $T$ ) در تایمر بارگذاری می‌گردد و نیاز به بارگذاری ورودی  $R$  نیست، در ضمن خروجی تایمر به پایه  $En$  تابع بعدی ارتباط می‌یابد (*Hojjati & Amini*).

تابع بعدی، مولد پالس غیر همزمان (*Asynchronous Pulse Generator*) است که با نام بلوک ۲ ذخیره می‌شود. در این تایمر با فعال کردن ورودی  $En$  از طریق خروجی تایمر تأخیر در قطع - در خروجی پالس‌های پی‌درپی با زمان‌های روشن  $TH$  و خاموش  $TL$  ایجاد می‌گردد.  $TL$  در  $Par$  تعیین می‌گردند که در اینجا هر دو زمان با توجه به معکوس بسامد مورد نظر یکسان در نظر گرفته می‌شوند. به این ترتیب رله مربوط به خروجی  $Q1$  با فاصله زمانی انتخاب‌شده قطع و وصل می‌شود. با غیر فعال شدن  $En$  ایجاد پالس در خروجی متوقف می‌شود. همچنین با فعال کردن  $Inv$  زمان‌های  $TH$  و  $TL$  معکوس می‌گردند (*Hojjati & Amini*). که در این تحقیق نیاز به فعال کردن آن نیست.



شکل ۵. برنامه نوشته شده برای لوگو (*LOGO*) و نماد توابع تعریف شده



شکل ۸. مجموعه ارتعاشی ساخته شده به همراه قسمت پاندوگراف برای تغییر دامنه

دستگاه نیروسنج مدل FG- 5100 ساخت شرکت لوترون (Lotron) با دقت ۰/۱ نیوتن و حداکثر ظرفیت ۹۸۰ نیوتن استفاده شد (شکل ۸). سپس این میوه‌ها بارکدبندی شدند و در کیسه‌های نایلونی به آزمایشگاه منتقل و با ترازوی دیجیتال با دقت ۰/۱ گرم به صورت تک تک توزین گردیدند.



شکل ۹. به دست آوردن نیروی استاتیکی جداسازی میوه با استفاده از نیروسنج و قطعه ساخته شده

نیروی دینامیکی ناشی از ارتعاش طبق رابطه ۳ به دست آمد و با نیروی جداسازی استاتیکی مقایسه شد (Murphy, 1950).

$$F = \frac{S}{2} m \omega^2 \quad (\text{رابطه ۳})$$

در این رابطه:  $m$ : جرم میوه برحسب کیلوگرم،  $S$ : دامنه نوسان برحسب متر،  $\omega$ : بسامد ارتعاش برحسب رادیان بر ثانیه است.



شکل ۱۰. ارزیابی دستگاه ساخته شده

دستگاه پس از طراحی و ساخت برای ارزیابی، به یکی از باغ‌های زیتون واقع در کیلومتر ۵ جاده سروستان-فسا در استان فارس انتقال داده شد (شکل ۱۰). درصد ریزش میوه زیتون به صورت فاکتوریل ۳×۳ در قالب طرح کاملاً تصادفی با چهار تکرار در سه بسامد ۸، ۱۲، و ۱۶ هرتزی و سه زمان ارتعاش ۵، ۱۰، و ۱۵ ثانیه در دامنه ۵۰ میلی‌متری بررسی شد، و سپس بهترین بسامد و زمان ارتعاش برای برداشت زیتون توسط این دستگاه انتخاب گردید. پس از آن برای بررسی درصد ریزش میوه زیتون تحت تأثیر سه بسامد ۸، ۱۲، و ۱۶ هرتزی و سه دامنه ۵۰، ۸۰، و ۱۰۰ میلی‌متری در مدت زمان ارتعاش ۵ ثانیه، آزمونی به صورت فاکتوریل ۳×۳ در قالب طرح کاملاً تصادفی اجرا گردید؛ و بهترین دامنه و بسامد نوسان برای برداشت زیتون با این دستگاه در شهرستان سروستان انتخاب گردید.

برداشت در اواسط آبان‌ماه که ۹۵ تا ۱۰۰ درصد زیتون‌ها سیاه شده بود، انجام گرفت. به منظور کاهش خطای حاصل، سعی شد تا گیوه‌تکاننده در فاصله یکسانی از تنه اصلی درخت به شاخه‌ها با وضعیت و خصوصیات فیزیکی مشابه متصل شود. به منظور جمع‌آوری میوه‌های ریخته‌شده، پیش از شروع آزمون، سفره‌ای پارچه‌ای زیر شاخه‌های زیتون پهن شد. پس از هر بار عمل تکانیدن شاخه‌ها، میوه‌های ریخته‌شده در اثر نوسان، جمع‌آوری و به دقت شمرده شد. سپس میوه‌های باقیمانده روی شاخه درخت نیز به صورت دستی چیده و شمرده شد و با رابطه ۲ بازده تکانیدن (درصد ریزش میوه‌ها با شاخه‌تکان) محاسبه گردید (Polat et al., 2007):

$$P = \frac{m_r}{m_r + m_u} \times 100 \quad (\text{رابطه ۲})$$

که در آن:  $m_r$ : تعداد یا جرم میوه‌های جدا شده،  $m_u$ : تعداد یا جرم میوه‌های جدا نشده از درخت، و  $P$ : درصد جدا شدن میوه از درخت است.

برای اندازه‌گیری نیروی جداسازی استاتیکی میوه از

## نتایج و بحث

نمایش داده شده است. نتایج تجزیه واریانس حاکی از آن است که متغیرهایی مانند بسامد ارتعاشی و زمان تکانیدن اثر معنی‌داری در سطح احتمال یک‌درصد بر بازده شاخه‌تکان داشتند، در حالی که تأثیرات متقابل دوگانه غیرمعنی‌دار بود که بر استقلال متغیرهای مورد بحث دلالت دارد.

### اثر بسامد و مدت زمان ارتعاش بر جداسازی میوه

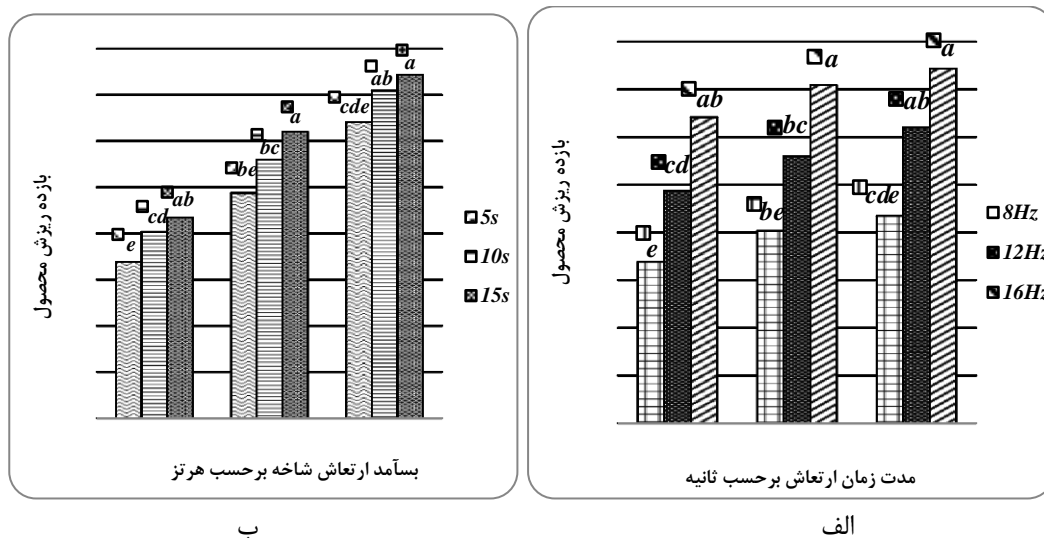
تجزیه واریانس صفات بررسی شده براساس آزمایش فاکتوریل بر پایه طرح کاملاً تصادفی و با نرم‌افزار *Spss* انجام گرفت. در جدول ۱ تأثیر بسامد ارتعاشی و زمان تکانیدن، بر بازده تکاننده

جدول ۱. تجزیه واریانس بسامد و مدت زمان ارتعاش بر درصد ریزش زیتون

منابع تغییر	مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	F
زمان	۷۴۶,۰۳	۲	۳۷۳,۰۲	۹,۵۷**
بسامد	۵۶۲۴,۸۳	۲	۲۸۱۲,۴۲	۷۲,۱۴**
بسامد×زمان	۱۷,۲۴	۴	۴,۳۱	۰,۱۱ n.s
خطا	۱۰۵۲,۶۶	۲۷	۳۸,۹۹	

\*\* وجود اختلاف معنی‌دار در سطح اطمینان ۱ درصد

n.s: نبود اختلاف معنی‌دار



ب

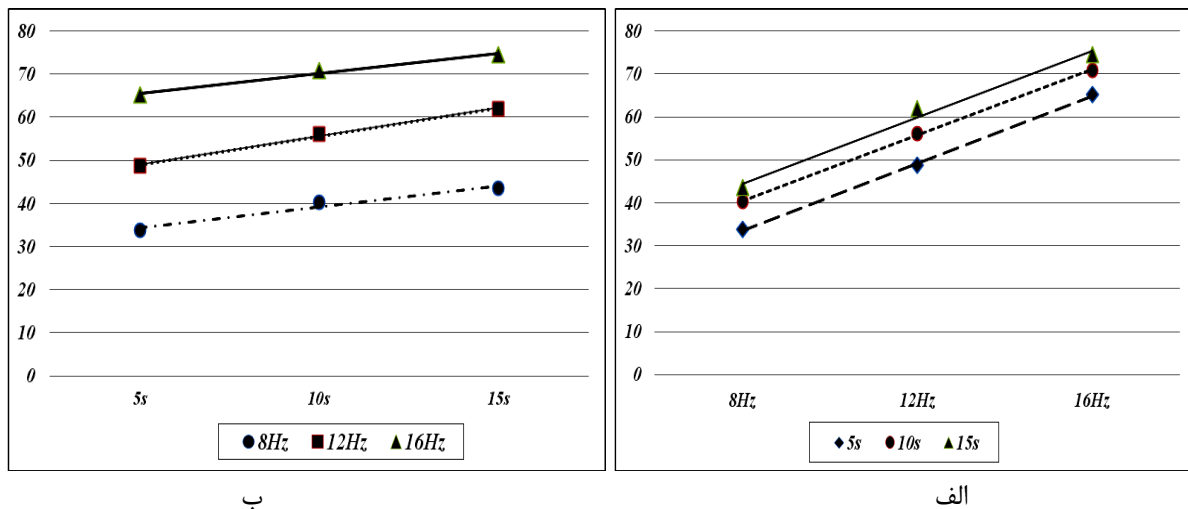
الف

شکل ۱۱. تأثیر الف) بسامد ارتعاش، و ب) زمان ارتعاش بر درصد ریزش میوه زیتون

حروف مشابه نشان‌دهنده عدم اختلاف معنی‌دار بین میانگین‌ها است.

تأیید می‌کند. همان‌طور که در شکل ۱۱-الف مشاهده می‌گردد در بسامدهای ثابت با افزایش زمان ارتعاش اختلاف معنی‌داری بین درصد میوه جدا شده وجود ندارد، به عبارت دیگر زمان‌های ارتعاش ۱۰ و ۱۵ ثانیه فقط باعث افزایش برداشت جزئی محصول می‌گردد و از طرف دیگر مشاهده گردید که این افزایش زمان ارتعاش باعث صدمه به شاخه و ریزش برگ می‌گردد. می‌توان گفت در همان زمان‌های ابتدایی نوسان بخش زیادی از زیتون‌هایی که نیروی استاتیکی کمتری در مقایسه با نیروی دینامیکی نوسان دارند، ریزش می‌کند. بنابراین در دامنه ۵۰ میلی‌متر، دستگاه در بسامد ۱۶ هرتز و مدت زمان ۵ ثانیه بهترین عملکرد یعنی ۶۵/۱۵ درصد ریزش زیتون آزمایش شده را دارد.

مقایسه میانگین‌ها با آزمون دانکن در سطح یک‌درصد برای صفات بسامد و زمان تکانیدن نشان داد (شکل ۱۱): در زمان‌های ثابت ارتعاش در سطح معنی‌دار ۹۹ درصد با افزایش بسامد ارتعاش میزان جداسازی میوه‌ها افزایش می‌یابد، به جز در زمان ۱۵ ثانیه که با افزایش بسامد از ۱۲ به ۱۶ هرتز تفاوت میانگین‌ها معنی‌دار نیست. بنابراین می‌توان نتیجه‌گیری کرد که افزایش بسامد نوسان در مدت زمان ثابت نوسان سبب افزایش بازده برداشت زیتون آزمایش شده می‌گردد. این افزایش به دلیل افزایش نیروی دینامیکی ناشی از افزایش بسامد نوسان است. فاصله بین خطوط برازش در شکل ۱۲-الف و شیب تند خطوط برازش شکل ۱۲-ب نیز تأثیر زیاد بسامد بر میزان ریزش میوه را



شکل ۱۲. الف) تأثیر بسامد در سه سطح متفاوت زمان ارتعاش، ب) تأثیر مدت زمان ارتعاش در سه سطح متفاوت بسامد

اعلام کردند درصد ریزش میوه بادام در مدت نوسان ۱۰ ثانیه با افزایش فرکانس و دامنه افزایش یافته است. آزمون‌های مزرحه‌ای آنها نشان داد که بیشترین برداشت میوه (۱۰۰ درصد) در دامنه ۵۰ میلی‌متر و فرکانس ۲۰ هرتز به دست آمد. در حالی که ریزش میوه برای دامنه ۵۰ میلی‌متر و بسامد ۱۵ هرتز، ۹۷/۷ درصد بود. *Khorsandi et al.* (2010) نیز در برداشت انجیر با استفاده از شاخه‌تکان قابل حمل به نتایج مشابهی رسیدند. دلیل افزایش درصد ریزش را می‌توان ناشی از افزایش نیروهای دینامیکی و تنش‌های نوسانی وارد بر نقطه اتصال دم میوه به شاخه دانست.

#### اثر بسامد و دامنه نوسان بر جداسازی میوه

در جدول ۲ تأثیر بسامد ارتعاشی و دامنه نوسان، روی بازده شاخه‌تکان نمایش داده شده است. نتایج تجزیه واریانس حاکی از آن است که متغیرهایی مانند بسامد ارتعاشی و دامنه نوسان اثر معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد روی بازده شاخه‌تکان داشتند، در حالی که تأثیرات متقابل دوگانه غیرمعنی‌دار بود. *GolPira* (1998) آزمایش‌هایی را به منظور تعیین بهترین دامنه و بسامد نوسان برای میوه زیتون انجام داد. نتیجه تجزیه واریانس آزمایش‌های او نشان داد، تأثیر سطوح گوناگون دامنه و بسامد نوسان بر جداسازی میوه زیتون معنی‌دار بود، در حالی که این دو عامل تأثیر متقابل بر هم نداشته‌اند. *Erdoğan et al.* (2003)

جدول ۲. تجزیه واریانس اثر دامنه و بسامد ارتعاش بر درصد ریزش زیتون

F	میانگین مربعات	درجه آزادی	مجموع مربعات	منابع تغییر
۴۸/۰۸**	۱۸۸۹/۴۵	۲	۳۷۷۸/۹۰	دامنه
۷۴/۴۶**	۲۹۲۵/۸۷	۲	۵۸۵۱/۷۳	بسامد
۰/۰۲ n.s	۰/۸۹	۴	۳/۵۵	بسامد × دامنه
	۳۹/۲۹	۲۷	۱۰۹۵/۱۳	خطا

n.s نبود اختلاف معنی‌دار

\*\* وجود اختلاف معنی‌دار در سطح اطمینان ۱ درصد

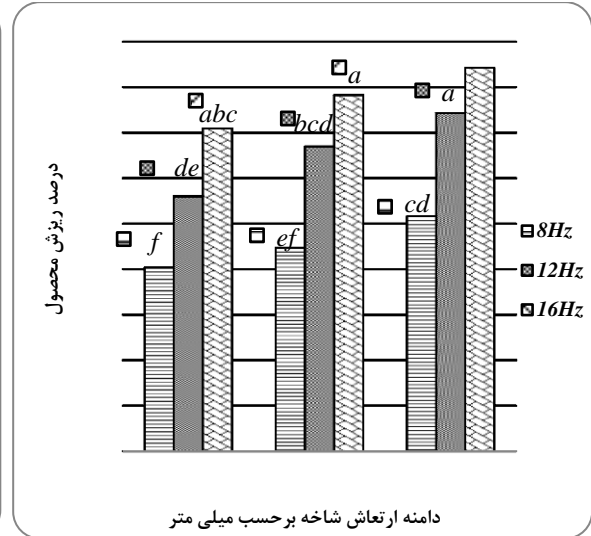
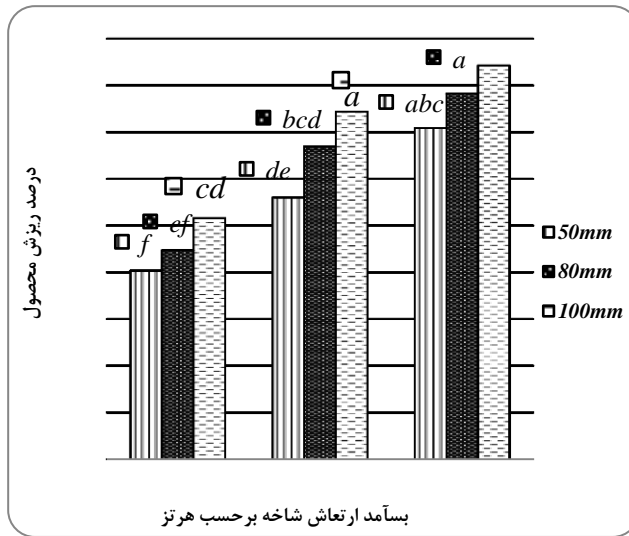
ریزش زیتون مشاهده نشد. اما زمانی که دامنه نوسان از ۸۰ به ۱۰۰ میلی‌متر افزایش می‌یابد، درصد ریزش زیتون به طور معنی‌داری افزایش یافت (شکل ۱۳-ب). با توجه به تناسب نیروی دینامیکی ارتعاش با توان دوم بسامد و با توان اول دامنه نوسان انتظار می‌رود که فاصله زیادی بین خطوط برازش در شکل‌های ۱۴-الف و ۱۴-ب مشاهده گردد. اما با توجه به میزان

مقایسه میانگین‌ها با آزمون دانکن در سطح یک درصد برای صفات بسامد و دامنه نوسان نشان داد: در دامنه‌های نوسان ثابت با افزایش بسامد درصد ریزش زیتون افزایش داشت و این موضوع برای تمامی دامنه‌ها و بسامدها صدق می‌کند (شکل ۱۳-الف). همچنین در بسامدهای ثابت با افزایش دامنه نوسان از ۵۰ میلی‌متر به ۸۰ میلی‌متر اختلاف معنی‌داری بین درصد

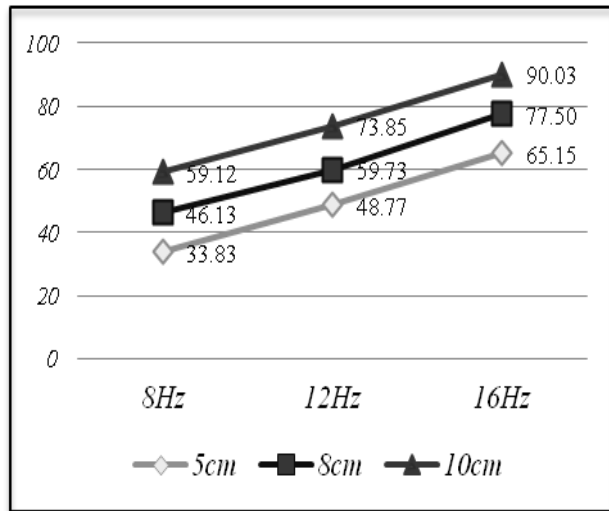
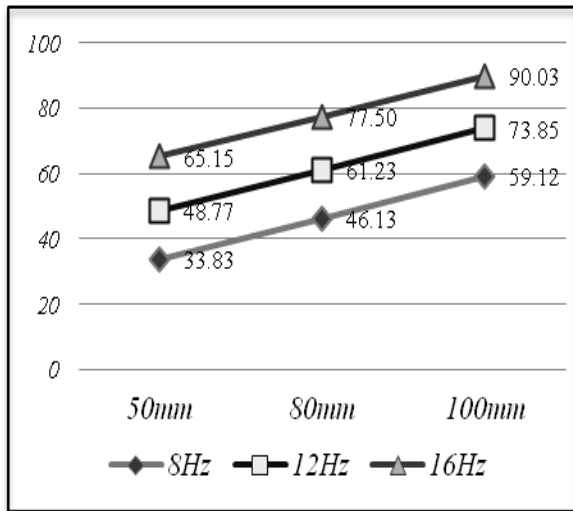


میزان نباشد. در نتیجه اختلاف زیادی بین تأثیر بسامد و دامنه نوسان بر درصد ریزش زیتون مشاهده نمی‌گردد.

میرایی، مدل ارتعاشی شاخه، و محل اتصال گیره شاخه تکان، طبیعی است که بسامد و دامنه نوسان در طول شاخه به یک



شکل ۱۳. تأثیر دامنه و بسامد ارتعاش بر درصد ریزش میوه زیتون  
الف ب  
حروف مشابه نشان دهنده عدم اختلاف معنی‌دار بین میانگین‌ها است.



شکل ۱۴. الف) تأثیر بسامد در سه سطح متفاوت دامنه نوسان، ب) تأثیر دامنه نوسان در سه سطح متفاوت بسامد

استاتیکی جداسازی زیتون با دم و یا بدون دم از شاخه است؛ که توسط نیروسنج و قطعه ساخته شده، اندازه‌گیری شده است (شکل ۹).

نیروی استاتیکی و دینامیکی جداسازی میوه میانگین سه ویژگی فیزیکی زیتون آزمایش شده، در جدول ۳ مشاهده می‌شود. نیروی کشش ذکر شده در جدول، نیروی

جدول ۳. سه ویژگی فیزیکی زیتون آزمایش شده

نیروی کشش (N)	وزن (N)	قطر متوسط هندسی میوه (mm)
۰/۵۹	۰/۰۲۶	۱۷/۱۵

جدول ۴. میانگین نیروی دینامیکی محاسبه شده بسامدهای متفاوت

بسامد ارتعاش (هرتز)	بسامد ارتعاش (ثانیه/ارادیان)	میانگین جرم میوه (کیلوگرم)	دامنه نوسان (متر)	نیروی دینامیکی جداسازی میوه (نیوتن)	درصد ریزش زیتون
۸	۵۰/۲۴	۰/۰۰۲۷	۰/۰۸	۰/۱۷	۳۳/۸۳
۱۲	۷۵/۳۶	۰/۰۰۲۷	۰/۰۸	۰/۲۷	۴۶/۱۳
۱۶	۱۰۰/۴۸	۰/۰۰۲۷	۰/۰۸	۰/۳۴	۵۹/۱۲
			۰/۱۰	۰/۳۸	۴۸/۷۷
			۰/۱۰	۰/۶۱	۵۹/۷۳
			۰/۱۰	۰/۷۷	۷۳/۸۵
			۰/۱۰	۰/۶۸	۶۵/۱۵
			۰/۱۰	۱/۰۹	۷۷/۵۰
			۰/۱۰	۱/۳۶	۹۰/۰۳

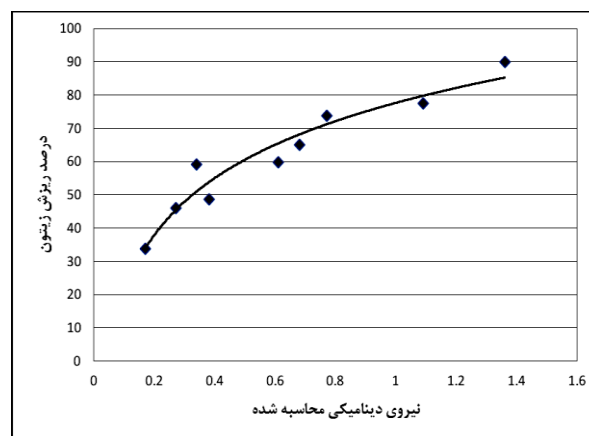
در نتیجه نیروی دینامیکی در هر نقطه از شاخه نیز متغیر خواهد بود، بنابراین فقط ۹۰ درصد میوه از شاخه جدا می‌گردد.

سرانجام رابطه لگاریتمی به صورت  $P_r = 24.67 \ln(F_d) + 77.67$  با  $R^2 = 0.93$  بین نیروی دینامیکی ( $F_d$ ) محاسبه شده با رابطه ۳ و درصد ریزش زیتون ( $P_r$ ) به دست آمد (شکل ۱۵).

#### نتیجه گیری

مطالعه بر شاخه‌های با قطر متوسط ۳۱/۴۷ میلی‌متری نشان داد، در بسامدهای ثابت با افزایش زمان ارتعاش اختلاف معنی‌داری بین درصد میوه جدا شده وجود ندارد، به عبارت دیگر افزایش زمان‌های ارتعاش فقط باعث افزایش برداشت جزئی محصول می‌گردد و از طرفی مشاهده گردید که افزایش زمان ارتعاش باعث صدمه به شاخه و ریزش برگ می‌گردد. همچنین مشاهده گردید، که تأثیر تغییرات بسامد نوسان در مقایسه با تغییرات دامنه نوسان بر درصد ریزش زیتون بیشتر است، که با توجه به تناسب نیروی دینامیکی ارتعاش با توان دوم بسامد و با توان اول دامنه نوسان قابل پیش‌بینی بود. سرانجام، با اعمال بسامد ۱۶ هرتز و دامنه نوسان ۱۰۰ میلی‌متر در مدت زمان ۵ ثانیه، ۹۰ درصد زیتون‌ها از شاخه جدا شدند.

در مجموع آزمایش‌های انجام داده نشان داد که دستگاه در کنار مزایای گوناگونی مانند سبک بودن، مانورپذیری بالا، کاربرد در شیب، راحت بودن تغییر در بسامد، و دامنه نوسان؛ دو عیب دارد: اول، شوک ناگهانی در لحظه شروع و اتمام ارتعاش. این شوک مربوط به طرز کار جک و موقعیت پیستون آن است. دومین عیب مربوط به نیروی اینرسی شاخه‌های قطور است که سبب برگشت بخشی از نیروی تولیدی روی دست اپراتور می‌گردد؛ این عیب را می‌توان با طراحی تکیه‌گاه رفع کرد.



شکل ۱۵. رابطه بین نیروی دینامیکی محاسبه شده و درصد ریزش زیتون

میانگین‌های نیروی وارد بر میوه در ترکیب‌های گوناگون دامنه و بسامد نوسان که در جدول ۴ درج شده است، نشان می‌دهد که در اکثر موارد که منجر به جدا شدن قسمت اعظم میوه‌ها گردیده، میانگین نیروی دینامیکی بزرگ‌تر از نیروی استاتیکی جدول ۳ لازم برای جداسازی میوه بوده است. به عبارت دیگر این تیمارها توانسته‌اند نیروی لازم برای جداسازی را بر میوه وارد سازند. همان‌گونه که در جدول ۴ مشاهده می‌شود در بسامد ۱۶ و دامنه‌های ۸۰ و ۱۰۰ میلی‌متر، نیروی دینامیکی محاسبه شده بزرگ‌تر از نیروی استاتیک برای جداسازی میوه است، بنابراین انتظار می‌رود که ۱۰۰ درصد محصول از شاخه جدا شود؛ اما بایستی به این موضوع توجه داشت که این نیرو با این فرض محاسبه شده است که کل شاخه متصل به دستگاه شاخه‌تکان با بسامد و دامنه نوسان قلاب شاخه‌تکان نوسان داشته باشند. در حالی که می‌دانیم بسته به فرم ارتعاشی که شاخه به خود می‌گیرد و با توجه به خاصیت میرایی شاخه، نقاط گوناگون شاخه ممکن است دامنه نوسانی کوچکتر، مساوی، و یا بزرگتر از محل اتصال گیره به شاخه داشته باشند و

## REFERENCES

- Adrian, P. A. & Fridley, R. B. (1965). Dynamics and design criteria of inertia type tree shakers. *Trans. of the ASAE*. 8(1), 12-14.
- Barnees, K. K. 1969. Detachment characteristics of lemons. *Trans. of the ASAE*. 11, 41-45.
- Coppock, G. E. (1971a). Harvesting 'Valencia' oranges with a limb shaker. *Proceedings of the Florida State Horticultural Society*, 84, 84-88.
- Coppock, G. E. (1974). Development of lime shaker for harvesting Florida citrus. *Trans. of the ASAE*, 17(2), 262-265.
- Coppok, G. E., Hedden, S. L. & Lenker, D. H. (1969). Biophysical properties of citrus fruit related to mechanical harvesting. *Trans. of the ASAE*, 12(4), 561-563.
- Erdoğan, D., Güner, M., Dursun, E. & Gezer, I. (2003). Mechanical harvesting of apricots. *Biosystems Engineering*, 85(1), 19-28.
- Fairbank, J. P. 1946. Mechanical tree shaker and such. *diamond walnut. News*, 23(4), 4-6.
- Ferguson, L. (2006). Trends in olive fruit handling previous to its industrial transformation. *Grasas Y Aceites*. 57(1). 44-51.
- Fridley, R. B. & P. A. Adrian. (1960). Some Aspects of vibratory fruit harvesting. *Trans. of the ASAE* 4(1), 28-31.
- Ghaffari, H., (1997). *Design shaking system for mechanical harvesting of citrus*. M.s.c Thesis Department of Agricultural Machinery Engineering, Tehran University. Iran. (In Farsi)
- Gimenez, L. & Gracia, P. (1979). Modeling of the fruit stem subsystem in olive. *Ayial*. (5), 119-153.
- Golpira, H. (1998). *Design, development and evaluation of machine shakes the tree to determine the effect of shaking amplitude and frequency of isolation of the fruit*. M.s.c thesis in Mechanics of Agricultural Machinery, Faculty of Agriculture, University of Shiraz, Iran. (In Farsi)
- Heydariyan, A. (2009). *Mini PLC Logo*. Ghedis Publishing. 152 p. (In Farsi)
- Hoag, D. L., J. R. Hutchinson. & R. B. Fridley, (1970). Effect of proportional and nonlinear damping on dynamics response of tree limbs. *Trans. of the ASAE*, (3), 879-884.
- Hojjati, A. & Amini, S. (2009). *The principles of pneumatic and its application*. Nourpardazan Publishing. 268p.
- Kececioglu, G. (1975). Atalet kuvvet tipli sarsıcı ile zeytin hasadı imkanları üzerine bir araştırma [Research on olive harvesting possibilities with an inertia type shaker]. Department of Agricultural Machinery, Agricultural Faculty, Ege University. Izmir, Turkey.
- Khorsandi Kohanestani, F. (2010). *Charactristics of vibratory harvesting of estahban edible fig*. M.s.c thesis in Mechanics of Agricultural Machinery, Faculty of Agriculture, University of Shiraz, Iran. (In Farsi)
- Murphy, G. (1950). *Similitude in Engineering*. Ronald Press Co Publishing. 302p.
- O'Brien, M.B., F. Cargill. and R. B. Fridley. (1983). *Principles and Practices for Harvesting and Handling Fruit and Nuts*. AVT Publishing Co., Inc, USA.
- Parchomchuk, P. & Coke, J. R. (1972). Vibratory harvesting: An experimental analysis of fruit-stem dynamics. *Trans. Of the ASAE*. . 15(4), 598-603.
- Polat, R., Gezer, I., Guner, M., Dursun, E., Erdogan, D. & Bilim, H. C. (2007). Mechanical harvesting of pistachio nuts. *Journal of Food Engineering*, 79, 1131-1135.
- Proitti, P., Cartechini, A. & Palliotti, A. (1994). Olive mechanical harvesting belligerency in relation to vibration type and tree characteristics. *Annali della Facolta di Agraia, Universitadeyli studi, peria. Italy*. No(45), 275-282.
- Sessiz, A. & M. T. Özcan. (2006). Olive removal with pneumatic branch shaker and abscission chemical. *Journal of Food Engineering*, 76, 148-153.
- Shirkhorshidian, A. & Rahrovan, H. (2011). Hydraulic and pneumatic preliminary step by step preparatory training and design. Design Publishing. 267 p. (In Farsi)
- Shirkhorshidian, A. (2010). *Principles, design and applications of pneumatic*. Design Publishing. 289 p. (In Farsi)
- Thomson, W. T. (1988). *Theory of Vibration with Applications*, 3rd Ed, New Jersey: Prentice Hall.

