

ساخت و ارزیابی مکانیزم پنوماتیکی برداشت گردو

محمد کاظم صدوقی^۱، کاظم جعفری نعیمی^{۲*}، حمید مرتضی پور^۲

^۱ دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، بخش مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران

^۲ استادیار بخش مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران

پست الکترونیکی نویسنده مسئول: jafarinaeimi@uk.ac.ir؛ تلفن: ۰۹۱۳۴۵۱۳۵۳۹

دریافت: ۹۴/۰۲/۰۵ پذیرش: ۹۴/۰۸/۱۶

چکیده

برداشت مکانیزه میوه امروزه در کشورهای توسعه یافته یکی از روش‌های کاهش قیمت نهایی محصول می‌باشد. یکی از رایج‌ترین ماشین‌های مرسوم در این نوع برداشت، تکاننده‌ها هستند. در ایران اغلب درختان گردو، دارای تنه‌های تنومند و بسیار بلندی هستند که این موضوع استفاده از تکاننده‌های متداول را برای برداشت این میوه مشکل کرده است. در این تحقیق، ابتدا فرکانس طبیعی شاخه میوه‌دار درخت گردو بررسی و تعیین گردید. سپس یک شاخه‌تکان از نوع پنوماتیکی برای برداشت میوه گردو ساخته و مورد ارزیابی قرار گرفت. هوای فشرده‌ی مورد نیاز به وسیله‌ی یک کمپرسور پشت تراکتوری تأمین شد. برای ایجاد ارتعاش در شاخه‌های درخت از یک شیر سلونوئیدی استفاده گردید که عملیات قطع و وصل جریان هوا را به کمک یک مدار تایمر برای کنترل مدت زمان باز و بسته شدن شیر و ایجاد ارتعاشی با فرکانس متغیر، انجام می‌داد. نتایج تحقیق نشان داد، فرکانس طبیعی برای شاخه‌های درخت گردو ۱/۹۶ هرتز می‌باشد و کمترین نیرو به منظور جدا کردن میوه از درخت در حالت خمش اتفاق می‌افتد. به منظور ارزیابی مکانیزم ساخته شده، مدت زمان ریزش میوه با تغییر پارامترهای فشار هوا در سه سطح (۴-۶، ۸-۶ و ۱۰-۸ بار)، فاصله‌ی برخورد در سه سطح (۴، ۸ و ۱۲ سانتی‌متر) و قطر نازل در چهار سطح (۴، ۶، ۸ و ۱۰ میلی‌متر)، در انجام عملیات برداشت، اندازه‌گیری و مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. پس از تحلیل داده‌ها مشخص شد، مدت زمان ریزش میوه با افزایش فشار، کاهش و با افزایش فاصله، افزایش می‌یابد. در رابطه با قطر نازل نیز مشخص گردید که این پارامتر دارای یک مقدار بهینه برای ریزش سریع‌تر میوه می‌باشد. با توجه به نتایج کمترین زمان برداشت، در فشار ۸-۱۰ بار، فاصله‌ی برخورد ۴ سانتی‌متر و قطر نازل ۸ میلی‌متر محاسبه گردید که برابر ۶/۷۸ ثانیه بود.

واژگان کلیدی: برداشت گردو، شاخه‌تکان، فرکانس طبیعی، پنوماتیک

۱- مقدمه

(*Juglandaceae*) می‌باشد. جنس ژوگلانس، شامل ۲۱

درخت گردو متعلق به خانواده گردوسانان گونه بومی آسیا، اروپای شرقی و آمریکای شمالی،

ایجاد نوسان در شاخساره‌ی درخت و ایجاد پدیده تشدید میوه‌ها را از درخت جدا می‌نماید (Khyrie et al., 2008).

امروزه مکانیزم‌های ارتعاشی بهترین روش برای برداشت مکانیکی محسوب می‌شوند. در برداشت ارتعاشی، تکاندن درخت با دستگاه‌های مختلفی انجام می‌شود که به آن‌ها تکاننده گویند. در مطالعاتی که تاکنون در زمینه‌ی برداشت مکانیکی میوه انجام گرفته، دو روش همیشه مورد توجه بوده است. الف) برداشت میوه‌های یک درخت به صورت یک‌جا، ب) برداشت انتخابی میوه‌های یک درخت (Polat, 2007). مکانیزم‌های ارتعاشی امروزه بیشترین نوید را در برداشت یک مرحله‌ای میوه‌ها می‌دهند، از متداول‌ترین و پرکاربردترین آن‌ها می‌توان به تکاننده‌های اینرسی اشاره نمود که با تولید نیروی اینرسی و اعمال آن به تنه یا شاخه درخت موجب ارتعاش اجزای مختلف درخت و در نتیجه جدا شدن میوه‌ها می‌گردند (Thomson, 1988). اصول اساسی این کار ایجاد یک شتاب در میوه بوده، به طوری که نیروی اینرسی ایجاد شده از نیروی پیوستگی بین میوه با بند یا شاخه با بند میوه بیشتر باشد (Kepner et al., 1978). دو مکانیزم عمده‌ای که برای ایجاد نیروی اینرسی در این تکاننده‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرند عبارتند از: الف) لنگ و لغزنده ب) وزنه‌های نامتعادلی که در جهت یا در خلاف جهت یکدیگر می‌چرخند. دستگاه‌های تنه‌تکان نسبت به شاخه‌تکان‌ها سریع‌تر بوده و کاربردهای آن نیز آسان‌تر است، البته فرم درخت را بایستی برای برداشت با اینگونه دستگاه‌ها آماده و سازگار نمود. et Safdari al. (2010) شاخه‌تکان سبکی برای برداشت میوه‌های

جنوبی و مرکزی است، در بین این گونه‌ها، گردوی ایرانی (PersianWalnut) به دلیل میوه‌ی خوراکی آن اهمیت تجاری دارد. طبق آمار سازمان خوار و بار جهانی (FAO) در سال ۲۰۱۲ سطح زیر کشت گردو در جهان بالغ بر ۱/۴ میلیون هکتار بوده است. تولید گردو با پوست ۵/۱ میلیون تن برآورد شده که بیشترین سهم آن مربوط به قاره آسیا با ۲/۵ میلیون تن می‌باشد. در بین کشورهای دنیا چین (۱/۷ میلیون تن)، ایران (۴۵۰ هزار تن)، آمریکا (۴۲۵ هزار تن)، ترکیه (۱۹۴ هزار تن) و مکزیک (۱۱۰ هزار تن) عمده‌ترین کشورهای تولیدکننده‌ی این محصول هستند. طبق این آمار ایران در سال ۲۰۱۲ از نظر تولید گردو در جهان مکان دوم را به خودش اختصاص داده است (FAO, 2012). ایران اگرچه از نظر تولید در دنیا رتبه‌ی مناسبی را دارا می‌باشد ولی به دلیل کیفیت به نسبت پایین محصول، توانایی صادرات مطلوب را ندارد و تنها مقدار کمی از محصول تولیدی به صورت مغز شده صادر می‌گردد (Vahdaty, 1996).

یکی از حساس‌ترین بخش‌های سامانه‌های زراعی، عملیات برداشت محصول است که هزینه‌های آن مهم‌ترین فاکتور در تعیین یک فصل اقتصادی موفق برای تولیدکنندگان محصولات زراعی محسوب می‌شود. بر اساس آمار به دست آمده در زمینه‌ی باغبانی، هزینه‌های برداشت حدود ۳۰ تا ۶۰ درصد از هزینه‌های تولید را شامل می‌شوند (Ghafary, 2000). برداشت مکانیزه میوه امروزه در کشورهای توسعه یافته یکی از گسترده‌ترین روش‌های پایین آوردن قیمت نهایی محصول می‌باشد. یکی از رایج‌ترین ماشین‌های مرسوم در این نوع برداشت، تکاننده‌ها هستند. این ماشین‌ها با

که حجم بالایی از هوای با فشار زیاد به صورت غیر یکنواخت به داخل درخت وزیده شود، این ماشین‌ها بیشتر برای برداشت درختان سیب و پرتقال استفاده می‌شوند (Whitney, 1970). در روش دوم هوا را از طریق کمپرسورهایی فشرده کرده، سپس از این هوای فشرده شده برای به ارتعاش درآوردن شانه‌های پنوماتیکی استفاده می‌کنند. از این نوع بیشتر برای برداشت زیتون استفاده می‌شود. در ایران اغلب درختان گردو دارای تنه‌های تنومند و بسیار بلندی هستند که حجم و ارتفاع و شاخ و برگ زیادی دارند. همچنین پوسته‌ی صاف و بدون گره، فاصله‌ی زیاد بین شاخه‌ها و همچنین احتمال وجود کرم خراط گردو که باعث تو خالی شدن شاخه‌های این درخت سردسیری شده و احتمال شکستگی آن‌ها را بالا می‌برد، برداشت دستی این محصول را سخت‌تر و پر خطرتر می‌کند. به طوری که در رسانه‌های خبری سالیانه ده‌ها قطع نخاعی و کشته در فصل برداشت گردو گزارش می‌شود. از طرفی به دلیل کاشت نامنظم و نزدیک به هم درختان گردو و ناهموار بودن زمین‌های باغستان‌های گردو و در بعضی موارد وجود درختان گردو در دامنه‌ها، عبور و مرور تراکتور را در پای تمام درختان غیرممکن ساخته است. با توجه به موارد مطرح شده در این تحقیق پس از بررسی و مقایسه تمام مکانیزم‌های مرتعش کننده‌ی موجود و ارائه‌ی چندین مکانیزم جدید برای ارتعاش شاخه‌ی درخت گردو، در نهایت تکاننده‌ی شاخه‌ای انتخاب شد که توسط یک اپراتور در بین شاخه‌ها جابه‌جا شده و ارتعاش لازم را برای برداشت محصول ایجاد می‌کند. این شاخه‌تکان با استفاده از نیروی هوای فشرده کار کرده، زیرا از طرفی انتقال نیرو در

آجیلی به خصوص بادام طراحی کردند. برای تعیین عملکرد دستگاه، آزمایش‌هایی روی آن انجام گرفت و در نهایت به این نتیجه رسیدند که با افزایش فرکانس ارتعاشی درصد میوه‌های جدا شده افزایش یافت و فرکانس ۱۵ هرتز بهترین عملکرد را یعنی ۹۷/۹۹ درصد داشت، همچنین با افزایش مدت زمان تکانیدن از ۵ ثانیه به ۱۰ ثانیه عملکرد تکانیدن افزایش می‌یابد. اردوغان و همکاران (۲۰۰۳)، تنه‌تکانی برای برداشت زردآلو طراحی کردند. ارتفاع این تکاننده ۱۷۲ سانتی‌متر بود و برای انتقال توان از یک جعبه دنده هیدرواستاتیک بهره گرفته بود. بیشترین برداشت در زمان، فرکانس و دامنه‌ی ارتعاش به ترتیب ۵ ثانیه، ۱۵ هرتز و ۴۰ میلی‌متر انجام گرفت. Ozcan & Sessiz (2006)، تکاننده‌ای ساختند که در آن به کمک یک سامانه‌ی پنوماتیکی فرایند انتقال توان از محور توانده‌ی تراکتور به تکاننده صورت می‌گرفت. این دستگاه به منظور برداشت زیتون طراحی شده بود، بدون استفاده از عوامل شیمیایی، ریزش حدود ۵۰ درصد از میوه‌ها و به کمک عوامل شیمیایی بیش از ۹۶ درصد میوه‌ها را برداشت می‌کرد. این مقدار برداشت در شرایطی حاصل شد که فرکانس ۲۴ هرتز و دامنه‌ی نوسان ۶۰ میلی‌متر بود. همچنین گستره فرکانس ایجاد شده به وسیله‌ی این تکاننده بین ۸ تا ۲۴ هرتز تعیین گردید. در تکاننده‌های پنوماتیکی عملیات برداشت به دو روش انجام می‌شود. در روش اول از نیروی هوا به صورت مستقیم استفاده می‌کنند به این صورت که دو یا چند دمنده‌ی بزرگ را بر روی یک ستون از ماشین قرار می‌دهند که بتوانند حجم زیادی از هوا را تولید کنند. در نهایت عملیات برداشت محصول وقتی انجام می‌شود

سامانه از سه قسمت کلی شامل: ۱- منبع توان ۲- واحد برداشت ۳- سیستم کنترل تشکیل شده است.

۱-۲- منبع توان

سامانه‌ی برداشت کننده‌ی گردوی مورد نظر با نیروی هوای فشرده کار می‌کند، برای تولید هوای فشرده از یک کمپرسور پشت تراکتوری مدل CVTM130 ساخت کارخانه‌ی کمپرسورسازی تبریز استفاده گردید که نیروی محرکه‌ی خود را از محور تواندهی تراکتور تامین می‌نمود. استفاده از این نوع کمپرسور امکان استفاده از سامانه‌ی برداشت کننده‌ی گردو را در شرایط باغی و مناطقی که استفاده از توان برق وجود ندارد، فراهم می‌کند.

۲-۲- واحد برداشت

واحد برداشت (شکل ۱) از اجزای مختلفی تشکیل شده است که شامل: ۱- شاسی، ۲- لوله‌ی انتقال هوای فشرده، ۳- شیر سلونوئیدی و ۴- نازل می‌باشند. در ادامه به بررسی هر یک از این اجزاء پرداخته می‌شود.

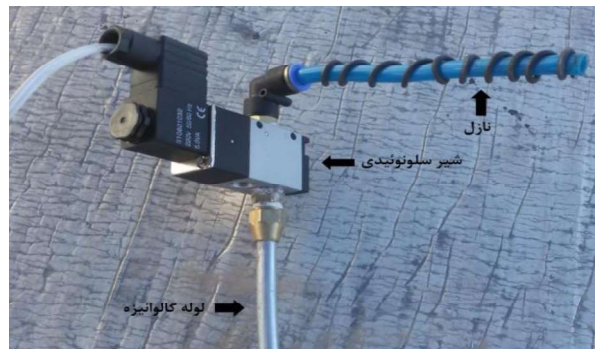


سیستم‌های پنوماتیکی که از طریق لوله انجام می‌شود، بسیار آسان بوده و لذا دسترسی به تمام نقاط یک درخت را فراهم می‌کند و از طرف دیگر مقدار آسیب رسانی به تنه و شاخه در این روش نسبت به تکننده‌های اینرسیایی بسیار پایین می‌باشد. با توجه به مطالب ارائه شده، هدف از اجرای این تحقیق عبارت است از:

- ۱- ساخت و تعیین برخی مشخصه‌های فنی مکانیزم پنوماتیکی برای برداشت میوه‌ی گردو
- ۲- بررسی عملکرد مکانیزم ساخته شده از لحاظ مدت زمان برداشت

۲- مواد و روش‌ها

در زمینه‌ی استفاده از نیروی هوا، ابتدا چند طرح، شامل تکننده مکانیکی، تکننده پنوماتیکی و جت هوای خروجی، مورد نظر قرار گرفت. سپس با توجه به معیارهای مورد نظر در برداشت مکانیزه‌ی گردو و همچنین اهمیت این معیارها، طرحی که بالاترین امتیاز را کسب کرد به عنوان طرح برگزیده انتخاب شد. این



شکل ۱. واحد برداشت سامانه‌ی پنوماتیکی برداشت گردو

Fig. 1: The pneumatic walnut harvester unit

۲-۲-۱- شاسی

در این طرح از یک تسمه‌ی آهنی به ضخامت ۰/۰۰۴ ، عرض ۰/۰۴۰ و طول ۲ متر به عنوان شاسی استفاده شده است که برای نگهداری لوله‌ی هوا و شیر سلونوئیدی به کار می‌رود.

۲-۲-۲- لوله‌ی انتقال هوای فشرده

از آن جا که سامانه پنوماتیکی استفاده شده برای برداشت گردو، ترکیب روش‌های سنتی و مدرن برداشت به حساب می‌آید، لذا ترکیب کلی این سامانه درواقع به شکل همان چوب دستی می‌باشد که باغداران در روش سنتی از آن استفاده می‌کنند، با این تفاوت که به جای چوب از یک شاسی به همراه یک لوله‌ی گالوانیزه که کار انتقال هوای فشرده را برعهده دارد استفاده شده است. طول این لوله ۲ متر بوده و دارای قطری برابر با قطر

نازل اصلی سامانه یعنی ۸ میلی‌متر می‌باشد. این لوله از یک طرف به شیلنگی که متصل به مخزن کمپرسور است وصل می‌شود و از طرف دیگر به شیر سلونوئیدی سامانه متصل گشته و هوای فشرده را به این شیر تحویل می‌دهد. جنس این لوله نیز از نوع فولاد گالوانیزه انتخاب شده تا ضمن اینکه توانایی تحمل فشارهای بالای هوا را داشته باشد، در صورت برخورد با شاخه‌های درخت آسیب نبیند.

۲-۲-۳- شیر سلونوئیدی

از آنجا که در برداشت محصولات باغی، استفاده از سامانه‌های ارتعاشی مناسب می‌باشد، لذا در سامانه‌ی مورد نظر نیز ایجاد ارتعاش به وسیله‌ی هوای فشرده مد نظر می‌باشد. برای ایجاد چنین ارتعاشی در شاخه‌ی

درخت به وسیله‌ی نیروی هوا می‌بایست از روش قطع و وصل جریان هوا استفاده کرد. با این کار ضمن ایجاد ارتعاش در شاخه‌ها، امکان اعمال فرکانس‌های مختلف ارتعاشی نیز فراهم خواهد بود. بنابراین در این سامانه از یک شیر سلونوئیدی مدل MVSC-260-3E1 استفاده شد.

۲-۲-۴- نازل

آخرین قسمت واحد برش، نازل می‌باشد. هوای فشرده پس از عبور از قسمت‌های مختلف سامانه، وارد نازل شده و از طریق آن به میوه‌ی گردو برخورد می‌کند. قطر نازل یکی از پارامترهای مهم در این سامانه می‌باشد که اندازه‌ی آن در ریزش و همچنین مدت زمان ریزش میوه بسیار اهمیت دارد.

۲-۳- سیستم کنترل

برای این سامانه در قسمت کنترل از یک برد الکترونیکی استفاده شده است. این برد الکترونیکی در واقع یک شمارنده است که توانایی قطع و وصل جریان برق در بازه‌ی زمانی ۰ تا ۵۰۰۰ میلی‌ثانیه دارا می‌باشد. با اتصال این مدار به شیر سلونوئیدی و تنظیم آن در زمان‌های مختلف ضمن ایجاد فرکانس‌های متفاوت از طریق زمان‌های مختلف قطع و وصل شیر، می‌توان حالت شروع به کار سامانه را نیز تحت کنترل قرار داد. برای مثال اگر شمارنده روی عدد ۲۵۰ میلی‌ثانیه قرار داده شود، مدار در هر ثانیه ۴ بار جریان الکتریکی به شیر را قطع و وصل می‌کند یعنی در هر ثانیه ۲ بار جریان هوا از شیر عبور می‌کند.

۲-۴- روش انجام آزمایش

انتخاب زمان مناسب برای برداشت گردو بسیار اهمیت دارد. یکی از مواردی که در این خصوص مورد بررسی قرار می‌گیرد، نسبت نیروی استاتیکی لازم برای جدا شدن میوه از شاخه به وزن آن (F/W) می‌باشد. برای اندازه‌گیری مقاومت کششی میوه‌ها، از یک نیرو سنج نوع (FG-5000A) که قابلیت اندازه‌گیری حداکثر ۵۰۰۰ گرم نیرو (۴۹/۰۳ نیوتن) را با دقت ۱ گرم (۰/۰۱ نیوتن) داشت، استفاده گردید، همچنین برای اندازه‌گیری وزن نمونه‌ها از یک ترازوی دیجیتالی با دقت ۰/۰۰۱ گرم استفاده شد. در این تحقیق برای به دست آوردن فرکانس طبیعی درخت گردو، تعداد ۳ شاخه به صورت تصادفی انتخاب شد. سپس در فواصل معینی از تکیه‌گاه (۰/۵، ۱ و ۱/۵ متری)، وزنه‌های مشخصی (۲۰۰، ۵۰۰ و ۱۰۰۰ گرمی) اعمال و جابه‌جایی‌های جزئی شاخه در محل اعمال نیرو اندازه‌گیری شد (Shadkam et al., 2009). در ادامه فرکانس طبیعی در هر حالت با استفاده از رابطه ۱ محاسبه شد.

$$\omega_n = \sqrt{K/M} \quad (1)$$

که در معادله شماره ۱، ω_n فرکانس طبیعی بر حسب (Hz)، K ضریب سختی فنر بر حسب (N/m) و M جرم شاخه بر حسب (kg) می‌باشد.

به منظور بررسی تاثیر پارامترهای نیرو و فاصله اعمال نیرو بر روی مقدار فرکانس طبیعی، آزمایشات به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار انجام شد. برای بررسی این موضوع که جدا شدن میوه گردو از شاخه در کدام یک از حالت‌های

کشش، خمش و یا پیچش نیاز به نیروی کمتری داشته و در نتیجه زودتر از شاخه جدا می‌شود، آزمایش‌هایی با دستگاه اینسترون مدل Stcs 500kg c3 انجام گرفت و آن حالتی که دارای کمترین نیروی جدایش بود مشخص گردید. لازم به ذکر است، نمونه‌های مورد نیاز برای انجام آزمایشات فوق، از سه شاخه میوه‌دار درختان گردوی ۲۰ ساله، رقم گردوی بافت کرمان، در شهر بلورد در استان کرمان تهیه گردید.

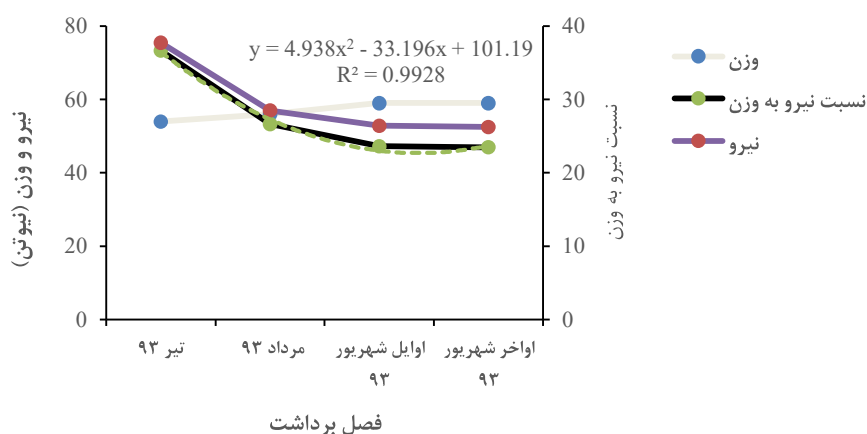
به منظور بررسی عملکرد سامانه‌ی برداشت گردو، تاثیر فاکتور فشار هوای مخزن هوا در سه سطح ۵، ۷ و ۹ بار، فاصله‌ی برخورد در سه سطح ۴، ۸ و ۱۲ سانتی‌متر و قطر نازل در چهار سطح ۴، ۶، ۸ و ۱۰ میلی‌متر بر مدت زمان برداشت گردو، به صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی و در سه تکرار مورد بررسی قرار گرفت (Shadkam et al., 2009). در این تحقیق برای تجزیه‌ی واریانس داده‌ها و نیز مقایسه‌ی میانگین‌ها به روش آزمون چند دامنه‌ای دانکن از نرم افزار SAS ver.9.1 استفاده شد.

۳- نتایج و بحث

همانطور که در شکل ۲ مشاهده می‌شود، نسبت (F/W) از تیر تا اوایل شهریورماه روند کاهشی داشته و بین اوایل شهریور تا اواخر شهریور تغییر چندانی برای این نسبت وجود ندارد. طبق این شکل مشخص می‌شود که از تیر تا شهریور چون میوه در حال رسیدن است بنابراین ضمن اینکه وزن میوه در حال افزایش می‌باشد نیروی لازم برای جدا کردن میوه از شاخه نیز کمتر می‌شود و دمچه‌ی میوه با رسیده شدن میوه سست‌تر می‌شود، در نتیجه نسبت (F/W) کاهش می‌یابد. اما از

می‌آید، بنابراین بهترین زمان برداشت گردو در منطقه‌ی مورد آزمایش اوایل شهریورماه می‌باشد. لازم به ذکر است، در این شکل برای اینکه هر سه پارامتر نیرو، وزن میوه و نسبت نیرو به وزن در یک نمودار نمایش داده شوند، اعداد مربوط به وزن میوه که بر حسب نیوتن تعیین شده‌اند، در این شکل ابتدا در عدد ۱۰۰ ضرب شده و سپس در شکل قرار داده شده‌اند.

ابتدا تا انتهای شهریور به دلیل اینکه میوه به طور کامل رسیده، بنابراین تغییرات زیادی در وزن آن و همچنین نیروی جداکردن آن از شاخه به وجود نمی‌آید. در نتیجه می‌توان گفت، این نسبت در طول شهریورماه به طور تقریبی ثابت می‌باشد. در نهایت با توجه مطلب گفته شده و نیز این موضوع که برداشت سریع‌تر محصول به عنوان یکی از الزامات برداشت به شمار



شکل ۲. تغییرات وزن میوه، نیروی کششی لازم برای جدا شدن میوه از شاخه و نسبت این دو باهم در ماه‌های مختلف

Fig. 2: Variations of weight, required force for fruit separation from branches and their ratio in the various months

متری از تکیه‌گاه به دست آمده و بیشترین مقدار آن

در فاصله‌ی ۰/۵ متری از تکیه‌گاه اتفاق افتاده است. پس از انجام آزمایش‌های مربوط به تعیین فرکانس طبیعی، با میانگین‌گیری از داده‌های به دست آمده، مقدار فرکانس طبیعی برای سرشاخه‌های درخت گردو، عدد $1/9583$ هرتز به دست آمد. این عدد بدین معنی می‌باشد که اگر ماشین برداشت بتواند، سر شاخه‌های درختان گردو را که دارای میوه می‌باشند، با این فرکانس که به عنوان فرکانس طبیعی درخت به حساب می‌آید، به ارتعاش درآورد، در شاخه‌ی درخت پدیده‌ی

در قسمت دوم این بخش به بررسی اثر دو عامل

نیرو و فاصله‌ی محل اعمال نیرو بر روی فرکانس طبیعی شاخه‌ی درخت گردو پرداخته شد. پس از تجزیه‌ی واریانس داده‌های به دست آمده مشخص گردید که پارامتر محل اعمال نیرو در سطح احتمال ۱ درصد،

اثری معنی‌دار بر روی فرکانس طبیعی دارد. با توجه به جدول مقایسه‌ی میانگین‌ها (جدول ۱)، کمترین مقدار فرکانس طبیعی به دست آمده در فاصله‌ی ۱/۵

تشدید رخ داده و می‌توان با اعمال نیروهای کمتر، ریزش‌های بیشتری را شاهد بود. نتایج حاصل از مقایسه‌ی میانگین‌های داده‌های به دست آمده مربوط به جدا شدن میوه از درخت در سه حالت کشش، خمش و پیچش، در شکل ۳ نشان داده شده است. با توجه به این شکل کمترین (۱۲/۳۳) نیوتن) نیروی لازم برای جدا شدن میوه از درخت در حالت خمش اتفاق افتاد. بنابراین در عملیات برداشت این میوه بایستی این نکته مد نظر قرار گیرد که نیروی وارده باید در راستای عمود بر دمچه‌ی میوه‌ی گردو

باشد تا با کمترین نیرو عمل برداشت انجام شود. فاکتورهای مورد آزمایش در تعیین کمترین زمان ریزش گردو توسط سامانه پنوماتیکی ساخته شده شامل: فشار هوا، فاصله‌ی برخورد و قطر نازل می‌باشند. نتایج حاصل از تجزیه‌ی واریانس پارامترهای ذکر شده در جدول (۲) نشان داده شده است. در این جدول عامل‌های، بلوک با (R)، فشار هوا با (A)، فاصله‌ی برخورد با (B)، قطر نازل با (C) و خطای آزمایش با (E) نشان داده شده است.

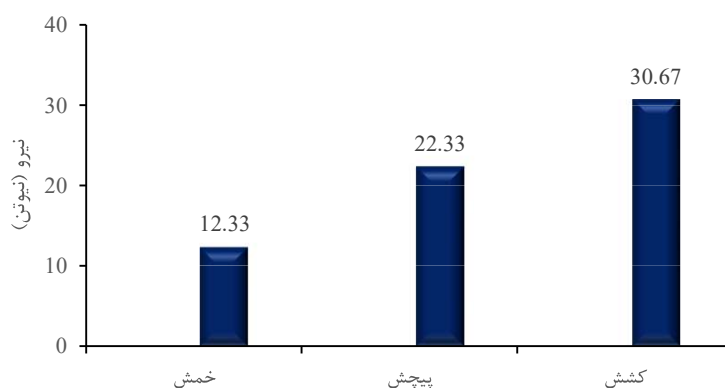
جدول ۱. اثر مختلف محل اعمال نیرو بر روی فرکانس

Table 1: Effect of different loading positions on natural frequency

فرکانس طبیعی (Hz)	سطوح پارامتر	پارامتر
۲/۱۲۴a	۰/۵ m	
۲/۰۳۹b	۱ m	محل اعمال نیرو
۱/۸۱۱c	۱/۵ m	

میانگین‌های دارای حروف غیر مشترک در هر ستون با آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۱ درصد دارای اختلاف معنی‌دار می‌باشند.

The means with similar letters has no significant difference at the level of 1%.



شکل ۳. نیروی لازم برای جدا شدن میوه‌ی گردو از شاخه در سه حالت کشش، خمش و پیچش

Fig. 3: Required force for fruit separation from branches at different loading methods including tensile, bending and torsion

جدول ۲. تجزیه‌ی واریانس پارامترهای مؤثر در مدت زمان برداشت گردو

Table 2: Analysis of Variance of the test parameters on harvesting time

F	میانگین مربعات	مجموع مربعات	درجه‌ی آزادی	منابع تغییرات
ns ۲/۰۸	۲/۵	۵/۰	۲	R
**۳۲۲/۰۴	۳۸۷/۹	۷۷۵/۸	۲	A
**۱۸۱/۸۳	۲۱۹/۰	۴۳۸/۰	۲	B
**۵۲۱/۳۵	۶۲۷/۹	۱۸۸۳/۹	۳	C
ns ۱/۱۴	۱/۴	۵/۵	۴	A×B
**۴/۳۰	۵/۲	۳۱/۱	۶	A×C
**۹/۴۴	۱۱/۴	۶۸/۲	۶	B×C
**۳/۶۵	۴/۴	۵۲/۷	۱۲	A×B×C
	۱/۲	۸۴/۳	۷۰	E

*** معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد و ns عدم معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد

**, Significant at the level of 1% and ns, not significant at the level of 5%.

طبق جدول (۲) مدت زمان ریزش گردو با سامانه پنوماتیکی ساخته شده در اثرات ساده، برخی اثرات دوگانه و اثر سه‌گانه‌ی فشار هوا، فاصله‌ی برخورد و قطر نازل در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار شده است. اثرات ساده نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد، بین سطح‌های مختلف هر سه پارامتر فشار هوای کمپرسور، فاصله‌ی برخورد و قطر نازل، اختلاف معنی‌داری در مدت زمان ریزش گردو در سطح احتمال ۱ درصد وجود دارد (جدول ۲). با مقایسه‌ی میانگین‌های موجود برای این پارامترها مشخص گردید، افزایش فشار هوا از ۴ تا ۱۰ بار موجب کاهش مدت زمان ریزش محصول می‌گردد، همچنین هرچه فاصله‌ی برخورد هوا با سطح گردو کمتر باشد امکان ریزش سریع‌تر میوه بیشتر می‌شود. در رابطه با قطر نازل نیز مشخص گردید، این پارامتر دارای یک مقدار بهینه برای ریزش سریع‌تر میوه می‌باشد که این مقدار برابر ۸ میلی‌متر محاسبه گردید.

با توجه به جدول ۲، اثر متقابل سه‌گانه‌ی فشار هوا و فاصله‌ی برخورد و قطر نازل بر روی زمان ریزش در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار می‌باشد. نتایج حاصل از مقایسه‌ی میانگین‌های مربوط به اثرات متقابل سه پارامتر ذکر شده (جدول ۳)، نشان می‌دهد که بهترین حالت برداشت (کمترین مدت زمان ریزش) زمانی اتفاق می‌افتد که برای سامانه مورد نظر از فشار هوای ۱۰-۸ بار و قطر نازل ۸ میلی‌متر و فاصله‌ی برخورد ۴ سانتی‌متر استفاده شود، به طوری که در این حالت زمان ریزش در کمترین حالت خود یعنی ۶/۷۸ ثانیه خواهد بود.

جدول ۳. مقایسه‌ی میانگین‌های شرایط مختلف برداشت بر روی مدت زمان ریزش گردو

Table 3: The mean comparison of different harvester conditions on walnut harvesting time

مدت زمان ریزش (S)								
۸-۱۰			۶-۸			۴-۶		
فشار هوا (bar)			فاصله‌ی برخورد (cm)			قطر نازل (mm)		
۱۲	۸	۴	۱۲	۸	۴	۱۲	۸	۴
۱۸/۳ ^{cd}	۱۶/۳ ^{ef}	۱۸/۳ ^{cd}	۲۳/۶ ^{ab}	۲۲/۳ ^b	۲۰. ^c	۲۵. ^a	۲۴ ^{ab}	۲۳/۶ ^{ab}
۱۷/۳ ^{de}	۱۳/۶ ^{ghi}	۱۴/۳ ^{gh}	۱۹/۶ ^c	۱۴/۶ ^{fgh}	۱۵/۳ ^{fg}	۲۴ ^{ab}	۱۸/۶ ^{cd}	۱۸/۳ ^{cd}
۱۱/۶ ^{ijk}	۳/۶ ^p	۴/۶ ^{op}	۱۳/۶ ^{ghi}	۱۰. ^{kl}	۹/۳ ^{lm}	۱۸/۶ ^{cd}	۱۱/۳ ^{jk}	۱۲/۶ ^{hij}
۱۲/۶ ^{hij}	۷/۶ ^{mn}	۶ ^{no}	۱۵/۳ ^{fg}	۱۰/۶ ^{kl}	۱۳ ^{hij}	۱۹/۳ ^{cd}	۱۳/۳ ^{ghij}	۱۴/۳ ^{gh}

میانگین‌های دارای حروف غیر مشترک در جدول با آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد دارای اختلاف معنی‌دار می‌باشند.

The means with similar letters has no significant difference at the level of 5%

مقادیر نیروهای کششی، خمشی و پیچشی بین گردو با شاخه‌ی آن به ترتیب اعداد ۳۰/۶۷، ۱۲/۳۳ و ۲۲/۳۳ نیوتن محاسبه گردید و مشخص شد که بهترین حالت برای جدا کردن میوه از شاخه در حالت خمش اتفاق می‌افتد چرا که در این حالت میوه با نیروی کمتری از شاخه جدا می‌شود. برای به دست آوردن بهترین حالت برداشت توسط سامانه انتخاب شده، سه پارامتر فشار هوا، فاصله‌ی برخورد و قطر نازل بر نمونه‌ها اعمال و داده‌های مربوطه جمع‌آوری شدند. نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل داده‌ها نشان داد که افزایش فشار هوا از ۴ بار تا ۱۰ بار موجب کاهش مدت زمان ریزش محصول می‌گردد، همچنین هرچه فاصله‌ی برخورد هوا با سطح گردو کمتر باشد امکان ریزش سریعتر میوه بیشتر می‌شود. در رابطه با قطر نیز مشخص گردید که این پارامتر دارای یک مقدار بهینه برای ریزش سریعتر میوه می‌باشد. در نهایت پس از مقایسه‌ی میانگین‌های به‌دست آمده مشخص شد که در فشار هوای ۸-۱۰ بار، فاصله‌ی برخورد ۴ سانتی‌متر و قطر نازل ۸ میلی‌متر، کمترین مدت زمان ریزش اتفاق می‌افتد.

با توجه به جدول ۳، بیشترین زمان ریزش (۲۷/۳۳) ثانیه)، زمانی اتفاق افتاد که از فشار هوای ۴-۶ بار و قطر نازل ۴ میلی‌متر و فاصله‌ی برخورد ۱۲ سانتی‌متر استفاده گردید.

۴- نتیجه گیری

به منظور بررسی خصوصیات مکانیکی میوه و شاخه‌ی درخت گردو، ابتدا مقدار نسبت (F/W)، در طول فصل برداشت محاسبه شد و بهترین زمان برداشت گردو در منطقه‌ی مورد مطالعه اوایل شهریورماه مشخص گردید. سپس مقدار فرکانس طبیعی برای شاخه‌های درخت گردو ۱/۹۵۸۳ هرتز به دست آمد و پس از تجزیه‌ی واریانس داده‌های مربوطه مشخص شد که، پارامتر محل اعمال نیرو بر روی فرکانس به دست آمده اثری معنادار داشته و هرچه فاصله‌ی محل اعمال نیرو تا تکیه‌گاه کمتر باشد مقدار فرکانس محاسبه شده بیشتر است. در این رابطه عامل نیرو اثر معنی‌داری نداشت. این امر بیان‌گر آن است که بارگذاری‌ها در محدوده الاستیک بوده است. در ادامه‌ی این بخش

۵- فهرست منابع

1. Erdogan, D., Uner, M.G., Dursun, E. and Gezer, I.I. 2003. Mechanical Harvesting of Apricots. Pm-Power and Machinery. **Biosyst Eng.** 85 (1), 19-28.
2. FAO.2012. Available from <http://faostat.fao.org/faostat/collections?subset=agricultur>
3. Ghafary, H. 2000. Design for mechanical harvesting citrus. M.Sc Thesis. Faculty of Agriculture. Tehran University. Karaj. Iran.
4. Kepner, R.A., Bainer, R. and Barger, E.L. 1978. **Farm Machinery**. CBS Publisher and Distributors. Daya Basti, Delhi.
5. Khyrie, M., Moharloye, M. and Kamkar, S. 2008. Design, Development and Evaluation of a tractor equipped with arms waving branches to harvest floating apple. **The fifth national congress of agricultural machinery engineering and mechanization**. Mashhad.
6. Polat, R. 2007. Mechanical Harvesting of Almond with an Inertia Type limb Shaker. **Asian J Plant Sci**.
7. Sadoughy, M.K. 2015. Design, Development and Evaluation of The walnut harvest pneumatic system. **M.Sc Thesis. Shahid Bahonar University of Kerman**.
8. Safdarri, A., Ghassemzadeh, H.R., Abdollahpour, SH.A. and Ghafari, H. 2010. Design, construction and evaluation of a portable limb shaker for almond tree. **Australian Journal of Agricultural Engineering**.
9. Sessiz, A. and Ozcan, M.T. 2006. Olive removal with pneumatic branch shaker and abscission chemical. **J Food Eng.** 76, 148-153.
10. Shadkam, K., Jafarinaeimi, K. and Saghouiri, M. 2009. Determination of natural frequency of trees for using in vibration harvesting machines. **The first national congress on mechanization and new technologies in agriculture**. Ahvaz.
11. Thomoson, W.T. 1988. **Theory of Vibration with applications**, 3th Edition, Prentice-Hall, Inc.
12. Vahdaty, K. 1996. Investigate various aspects of a sexual reproduction walnut in vitro and field conditions. M.Sc Thesis. **Faculty of Agriculture. Tehran University. Karaj. Iran**.
13. Whitney, J.D. 1970. Performance of an oscillating, forced air concept for removing citrus fruits. **Transactions of the ASAE** 13(5): 653-655, 660.

Development and Evaluation of a Pneumatic Walnut Harvester System

M. K. Sadoughy¹, K. Jafari Naeimi^{2*}, H. Morteza pour²

¹*Graduated student in Department of Mechanical engineering of Biosystems, Faculty of Agriculture, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran.*

²*Assistant Professor in Department of Mechanical engineering of Biosystems, Faculty of Agriculture, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran.*

**Corresponding Author Email: jafarinaeimi@uk.ac.ir*

Received: April 25, 2015 Accepted: November 07, 2015

Abstract

Mechanized fruit harvesting in developed countries is a way to lower final product prices. Shakers are among the most common machineries used in such harvesting mode. Walnut trees branches in Iran have often very stout and long trunks. This makes the use of common shakers for harvesting very difficult. In this study, natural frequency of the tree branch was determined. Then, the performance of a pneumatic shaker developed for walnut harvesting was investigated. The compressed air needed for the designed system was supplied by a compressor installed behind a tractor. A solenoid valve was used to produce vibration among branches by connecting and disconnecting the air stream using a timer circuit which provided the ability to control the time interval between the openings and closings of the valve and producing vibrations with varying frequencies. The results indicated that the natural frequency of walnut tree branches is 1.96 Hz. Besides, the minimum strength level was found to occur under tensile conditions. To test the developed pneumatic system, a number of experiments were conducted using three air pressure levels (4-6, 6-8, and 8-10 bars), three encounter distances (4, 8, and 12 cm), and using four nozzle diameters (4, 6, 8, and 10 mm) at the harvest operation time. It was found that the fruit fall time decreases when the pressure increases. In contrast, the fruit fall time increases as the distances increases. The findings also showed that the nuzzle diameter can accelerate the fruit fall in an optimal value. Finally, it was noted that the minimum time required to harvest walnuts (6.78 s) occurs at a pressure of 8-10 bar, a collision distance of 4 cm and with 8 mm-diameter nozzle.

Keywords: *Mechanized harvesting, Limb shaker, natural frequency, pneumatic*