# طراحی، ساخت و ارزیابی شاخه تکان قابل حمل زردآلو

شاهو احمدی [۱]، محمد رضا ملکی [۲]

[۱] دانش آموخته کارشناسی ارشد گروه مهندسی بیوسیستم؛ دانشکده کشاورزی، دانشگاه کردستان shahoahmadi@uok.ac.ir
[۲] استادیار گروه مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه کردستان mrmaleki@uok.ac.ir

## چکیده

زرد آلو یکی از مهمترین اقلام صادراتی کشور است. با این وجود، برداشت پر هزینه سنتی و نیز تلفات بالای برداشت نیازمند تامل بیشتر است. هدف از اجرای این مطالعه، طراحی و ساخت یک شاخه تکان قابل حمل برای برداشت زردآلو از باغات استان کردستان است. دستگاه شامل یک دسته بلند است که بوسیله دست نگه داشته می شود. در انتهای دسته یک موتور الکتریکی نصب شده که بوسیله تسمه حرکت دورانی یک چرخ برای ایجاد حرکت ارتعاشی برای تکان دادن شاخه را تامین می‌کند. برای دارا بودن قابلیت تغییر دامنه نوسان در سه سطح ۳۰، ۴۰ و ۵۰ میلی متر، چرخ در سه اندازه مختلف ساخته و به نوبت مورد آزمایش قرار گرفت. تغییر بسامد از تغییردور موتور بدست آمده و مقادیر ۹، ۱۶ و ۲۵ هرتز در نظر گرفته شد. برای تعیین دامنه و بسامد ارتعاش بر میزان جداسازی میوه از شاخه، از آزمایش فاکتوریل بر پایه طرح کاملا تصادفی استفاده شد. نتایج تحقیق نشان داد که اگر به شاخه زردآلو ارتعاشی با بسامد ۱۶ هرتز و دامنه ۴۰ میلی‌متر اعمال شود، بیشترین مقدار میوه برداشت و کمترین خسارات به شاخه درخت و محصول برداشت شده وارد می‌شود. نتایج همچنین نشان داد که در میزان برداشت محصول اختلاف معنی داری بین سطوح مختلف دامنه، بسامد و اثر متقابل دامنه و بسامد وجود دارد. با این وجود در آسیب دیدگی میوه اختلاف معنی داری در سطوح مورد آزمایش این مطالعه مشاهده نشد.

**کلمات کلیدی:** برداشت میوه، برداشت مکانیکی، صدمه میوه، کردستان

# Design, Development and Evaluation of a Portable Apricot (*Prunus armeniaca Rosaceae* ) Shaker

**Shahoo Ahmadi[1], Mohammad Reza Maleki[2]**

[1]Graduate student, Department of Biosystems Engineering, Faculty of Agriculture, University of Kurdistan, shahoahmadi@uok.ac.ir

[2]Assistant Professor, Department of Biosystems Engineering, Faculty of Agriculture, University of Kurdistan, mrmaleki@uok.ac.ir

## *ABSTRACT*

Apricot (*Prunus armeniaca Rosaceae*) is one of the major product exports in Iran. Nevertheless, costly traditional harvesting and a high percentage of apricot loss require further study. The aim of this study was to design and develop a suitable portable apricot shaker in order to be used in Kurdistan Province gardens. The shaker consisted of a relatively long gang which held by hand and at the end of the gang, a small electrical motor was installed to rotate a belt pulley assembly which is rotated a wheel to produce vibrational movement. Three different wheels were used to shake the stem in 30, 40 and 50 mm amplitude and to meet a convenient frequency of 6, 16 and 25 Hz. The randomized complete block design was used to analysis the data. Results showed the best combination of amplitude and frequency for apricot removal with the least fruit damage was 40 mm and 16 Hz, respectively. The results also showed that amplitude and frequency have significantly effect on fruit removal from the stem. However, there was no significant difference in fruit damage while changing amplitude and frequency in the ranged used for the present study.

**Keywords:** fruit harvest, mechanical harvesting, fruit damage, Kurdistan

۱- محمد رضا ملکی، mrmaleki@uok.ac.ir، ۰۹۱۸۳۷۹۷۴۰۵

## ۱- مقدمه

برداشت محصولات کشاورزی همواره یکی از مباحث مهم در هزینه تولید است. برداشت در صورتی که به کمک نیروی کارگر صورت گیرد، یکی از مراحل هزینه بر در تولید محصولات کشاورزی است. بطوریکه در محصولات مختلف رقمی بین ۳۰ الی ۶۰ درصد کل هزینه ها را در بر خواهد داشت (Mehdi Nia, 2007). بعلاوه برداشت میوه به صورت دستی کاری طاقت فرسا و زمانبر بوده و مقدار کارگر لازم برای برداشت میوه به طور متوسط ۵۰٪ تعداد کل کارگر لازم برای تولید محصول را شامل می شود (Sarig, 2005). به گزارش وزارت جهاد کشاورزی سهم صادرات بخش کشاورزی حدود ۱۱ درصد از کل صادرات غیر نفتی کشور را به خود اختصاص می دهد در حالیکه میزان صادرات محصولات کشاورزی و خصوصا میوه به مراتب کمتر از میزان تولید مازاد است که این امر عمدتا به عملیات برداشت مربوط می شود(Amjadi and Chizari, 2006). با نگاهی به درآمدهای حاصل از فروش محصولات غیر نفتی می توان دریافت که بخش عمده ای از صادرات غیر نفتی ایران بر پایه محصولات کشاورزی بنا شده است ( Kheirieh et al., 2008). اهمیت باغ های میوه ازنظر ایجاد اشتغال، افزایش درآمد، تأمین مواد غذایی، بهبود شرایط آب و هوایی، و توجه به شرایط زیست محیطی در مسیر کشاورزی پایدار کاملاً آشکار است. بنابر اطلاعات موجود سطح مکانیزاسیون محصولات باغی در کشور در وضعیت مناسبی قرار ندارد (Amjadi and Chizari, 2006). یکی از شاخص های مکانیزاسیون باغ ها، برداشت مکانیکی محصول است. در سال های اخیر به دلیل نیاز به کارگران فصلی زیاد در مدت زمان کوتاه برداشت و نیز کاهش ریسک تجاری، ماشین های برداشت میوه مورد توجه بسیاری از کشورها قرار گرفته است (Amjadi and Chizari, 2006). با وجود این ماشینهای برداشت میوه بدلیل داشتن قطعات بسیار زیاد و مکانیزم¬های پیچیده هزینه ساخت بالایی خواهند داشت که باعث کاهش استقبال بسیاری از باغداران از اینگونه ادوات می شود. در ایران نیز مراکز تحقیقات مهندسی کشاورزی و کارخانه های ماشین های کشاورزی توجه به ایجاد تکنولوژی های برداشت مکانیکی میوه ها نمودند. یکی از روش¬های مورد توجه برداشت مکانیزه استفاده از تکننده هاست. اساس کار این ادوات جداکردن میوه از شاخهٔ درخت بر اساس ایجاد ارتعاش در میوه است. جداشدن میوه ها زمانی رخ می دهد که نیروی اینرسی اعمال شده در میوه بر اثر ارتعاش بزرگتر از نیروی کششی لازم برای جداسازی میوه در حالت استاتیکی گردد. اگر نیروی کششی لازم برای جداسازی میوه در حالت استاتیکی را به عنوان معیار فرض کنیم، برای برداشت ارتعاشی میوه ها ترکیبی از دامنه و بسامد نوسان که نیروی اینرسی برابر یا بزرگتر از نیروی کشش استاتیکی ایجاد کند لازم خواهد بود ( Parchomchukand koke, 1972). لازم به ذکر است که برخی از میوه ها به لحاظ شرایط مورفولوژیکی ترکیبی از نیروهای کششی، پیچشی، خمشی و برشی برای فرو افتادن لازم دارند که بررسی تمامی آنها ساده نخواهد بود.

صرفنظر از موارد فوق الذکر، برداشت دستی میوه بعلت ارتفاع درخت همیشه خطراتی را نیز بهمراه خواهد داشت. از این رو تحقیقاتی برای طراحی و ساخت دستگاههای تکننده برای چیدن میوه برخی از درختان مانند زیتون (Deboli et al. 2014)، هلو (Zocca and Fridlj, 1977)، گردو (Sadoughi et al., 2014) و پسته (Loghavi and Rahimi, 2007) صورت گرفته است. در برداشت میوه از طریق تکان دادن، میوه در اثر اعمال نیروی دینامیکی به اتصال میوه به شاخه باعث جدا شدن آن می شود. به هنگام ارتعاش، یک میوه به طور همزمان تحت تاثیر نیرو-های کششی، پیچشی، خمشی و برشی و نیز خستگی قرار می گیرد. گزارش شده است که نیرو های دینامیکی وارده بر میوه، با دامنه و توان دوم بسامد ارتعاش متناسب است ( Srivastava et al., 1993). از این رو دامنه، بسامد و مدت زمان ارتعاش اعمال شده، از جمله متغیرهایی هستند که در عملکرد برداشت کننده های ارتعاشی همواره مورد مطالعه قرار گرفته اند. Long et al. (2013) یک ماشین شاخه تکان برای برداشت گیلاس باقابلیت تغییر در بسامد، دامنه ارتعاش و نوع حرکت طراحی کردند. آنها گزارش کردند که عملکرد بهینه تکاننده در فرکانس ۱۸ هرتز و بالاتر می باشد.

Mehdi Nia (2007) یک دستگاه قابل نصب بر روی تراکتور باغی دارای سه نقطه اتصال طراحی کردند که قابلیت تغییر دامنه ارتعاش آن از طریق تغییر مرکز دوران دایره خارج از مرکز و تغییر بسامد به وسیله تغییر قطر پولی های انتقال نیرو میسر شده بود که با موفقیت نسبی برای برداشت مورد استفاده قرار گرفت. در تحقیق دیگری امکان سنجی برداشت مکانیزه پرتقال با تکاننده ارتعاشی مورد مطالعه قرار گرفت ( Ghorbanoor et al. 2012). دراین تحقیق اثر بسامد و زمان ارتعاش بر میزان برداشت و میوه های آسیب دیده پرتقال تامسون مورد مطالعه قرار گرفت که نتایج آزمایش‌ها نشان داد که اثر بسامد و زمان ارتعاش در سطح ۱٪ بر درصد برداشت و میوه های آسیب دیده معنی دار بوده، ولی اثر متقابل آنها بر صفت های اندازه گیری شده شامل درصد جدا شدن میوه و میزان آسیب دیدگی بصورت معنی دارمشاهده نشد. Khirieh et al. (2007) به منظور برداشت سیب با روش ارتعاشی و همچنین کاهش اثرات منفی آن بر روی میوه، یک دستگاه تکننده طراحی کردند. نتایج حاصل حاکی از معنی داری سطوح مختلف دامنه و بسامد ارتعاش بر جداسازی میوه سیب بود. Peterson (1998) در پژوهش دیگری تحقیقاتی در مورد یک سیستم برداشت مکانیکی پرتقال به منظور مصرف فرآوری انجام داد. این پژوهش در دو مرحله انجام شد که در مرحله‌ی اول یک تکاننده تاج درخت طراحی و ساخته شده و پس از موفقیت آن در جداکردن میوه ها در مرحله ی دوم یک سیستم کامل برداشت که چیدن، گرفتن و جمع آوری میوه‌ها را انجام می داد طراحی و مورد آزمایش قرار گرفت. نتایج نشان داد که در بسامد ۴-۵ هرتز ۷۱ تا ۹۱ درصد میوه جدا می- شوند. در

مطالعه دیگری برای برداشت بوسیله ارتعاش تنه درخت پرتقال فرکانس‌های جدا سازی توسط Castro-Garcia et al (2017) مورد بررسی قرار گرفت و در محدوده فرکانس ۵-۱/۵ هرتز میزان ۹۷ در صد برداشت گزارش شد.Peterson (2001) با استفاده از مکانیزم RDA که محرکی با تغییر مکان سریع می باشد، ماشینی برای آلبالو طراحی کرد که در آن کلیه فعالیت ها توسط یک اپراتور انجام می گرفت. نتایج با توجه به درصد میوه های جدا شده از درخت و میزان آسیب دیدگی آن مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. اثر بسامد و زمان ارتعاش در سطح قابل قبول (۵٪) بر درصد برداشت و میوه های آسیب دیده معنی دار بود.

Loghavi and Mohseni (2005) آزمایش های بر روی یک دستگاه شاخه تکان سوار بر تراکتور با بسامد و دامنه نوسان قابل تغیر و تنظیم که توان مورد نیازش از طریق محور توان دهی تراکتور تامین می گردید، انجام دادند. سپس برای بررسی تاثیر سطوح مختلف بسامد و دامنه ارتعاش بر جداسازی میوه یک آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملا تصادفی با سه تکرار توسط آنها به اجرا گذاشته شد. تجزیه واریانس و مقایسه میانگین‌ها نشان داد که تاثیر بسامد ارتعاش بر جداسازی میوه معنی دار است، در حالی که تاثیر دامنه ارتعاش و اثر متقابل آن بر بسامد معنی دار نبود. با افزایش بسامد ارتعاش، درصد میوه های جدا شده بطور معنی داری افزایش یافت، ولی بسامد و دامنه ارتعاش تاثیر معنی اری بر میزان آسیب دیدگی میوه نداشته است. همچنین در پژوهشی دیگر که توسط Rezaei et al. (2014) به منظور تعیین مناسب ترین بسامد و مدت زمان نوسان بر روی یک دستگاه شاخه تکان پنوماتیک قابل حمل زیتون انجام گرفت. مقایسه میانگین ها با استفاده از آزمون دانکن در سطح یک درصد نشان داد که بسامد و زمان تکانیدن اثر معنی داری در سطح احتمال یک درصد روی بازده شاخه تکان دارند، در حالی که اثر متقابل آنها معنی دار نبود. با ثابت بودن مدت زمان نوسان، اثر افزایش بسامد نوسان بر درصد ریزش میوه زیتون معنی دار بود. اما در بسامد ثابت، افزایش مدت زمان نوسان تأثیر معنی داری بر درصد برداشت زیتون نداشت. Golpira, (1998) آزمایش هایی را به منظور تعیین بهترین دامنه و بسامد نوسان برای میوهٔ زیتون انجام داد. نتیجهٔ تجزیهٔ واریانس آزمایش‌های او نشان داد، تأثیر سطوح گوناگون دامنه و بسامد بر جدا سازی میوهٔ زیتون معنی دار بود، در حالی که این دو عامل تأثیر متقابل بر هم نداشته اند. Rezaei et al., (2015) نیز در برداشت زیتون با استفاده از شاخه تکان قابل حمل نیوماتیک به نتایج مشابهی رسیدند. همچنین در پژوهشی که توسط Khirieh et al. (2008) انجام شد، گزارش شد که به منظور برداشت سیب توسط روش ارتعاشی و همچنین کاهش اثرات منفی آن بر روی میوه، یک دستگاه شاخه تکان طراحی و ارزیابی نمودند. نتایج حاصل از تجزیه واریانس و مقایسه میانگین ها حاکی از معنی داری سطوح مختلف دامنه و بسامد ارتعاش بر جداسازی میوه سیب بود. در پژوهشی که توسط Loghavi and Rahimi (2007) به منظور تعیین مناسب ترین دامنه و بسامد ارتعاش برای جداسازی دانه و یا خوشه پسته در دو رقم اوحدی و کله قوچی با در نظر گرفتن حداقل خسارت وارد بر شاخه انجام گرفت به این نتیجه رسیدند که اثر بسامد و دامنه ارتعاش بر جداسازی دانه و خوشه پسته در هر دو رقم مذکور معنی دارا ست و از این تحقیق چنین نتیجه گرفتن که در صورت شناخت و رعایت ترکیب بسامد و دامنه ارتعاش منا سب با رقم مورد نظر، برداشت ارتعاشی می تواند با موفقیت در باغ های پسته ایران که به طور عموم به صورت ردیفی کشت شده و امکان حرکت تراکتور در بین ردیف ها وجود دارد به کار برده شود. در پژوهش دیگری یک تکاننده ارتعاشی به منظور برداشت میوه زردآلو فرآوری برای باغ های با درختان کوتاه طراحی و ساخته شد ونتایج نشان داد که در هر ساعت ۴۴ تا ۶۱ درخت را برداشت می نماید (Torregrosa et al., 2008).

اکثر ماشینهای برداشت میوه به شاخه یا تنه ی درخت نیروی ارتعاشی اعمال می کنند. از این رواگاهی از خواص و رفتار ارتعاشی اجزاء مختلف درخت، یکی از فاکتورهای مهم در طراحی تکاننده های مناسب و یا اصلاح تکاننده های موجود می باشد به همین دلیل ارتعاش بهینه همواره مورد توجه محققان قرار گرفته و مطالعات زیادی در این زمینه انجام گرفته است. از آنجا که برای برداشت زرد آلو (*Prunus armeniaca Rosaceae*) به علت آسیب پذیری آن و شرایط محدود کننده آن با توجه با ارقام موجود در ایران که دارای شاخه های شکننده و ارتفاع قابل ملاحظه است تحقیقات محدودی انجام شده و تعیین شرایط لازم برای برداشت زرد آلو با روش ارتعاش شاخه حائز اهمیت است. هدف از انجام این مطالعه، طراحی، ساخت و ارزیابی یک دستگاه شاخه تکان قابل حمل مناسب برای باغات میوه و تعیین مناسب‌ترین دامنه و بسامد نوسان شاخه برای برداشت زردآلو با حداقل هزینه ساخت و کمترین میزان تلفات میوه است.

## ۲- مواد و روش‌ها

برای تعیین فرکانس طبیعی، شاخه به صورت یک تیر یکسر گیردار با یک جرم متمرکز در یک انتها در نظر گرفته شد و از مدل جرم- فنر، مطابق با مدل Mbuge and Langat (2008) استفاده شد. مطابق با این مدل شاخه ها باید در یک سوم طول شاخه ( از محل اتصال شاخه به تنه) مطابق روش Horvath (2000) تحت بارگذاری قرار گیرند (شکل ۱-راست). ابتدا با آزمایشات ابتدایی روی شاخه و با اعمال نیرو مشخص شد که اعمال نیروی بیش از حد سبب آسیب به شاخه می شود. Ince et al. (2005) عنوان کردند که به هنگام تکان دادن شاخه، جهت حرکت شاخه قابل پیش بینی نیست و ممکن است شاخه در جهت های مختلف حرکت کرده و رفتار مختلفی از خود نشان دهد و برای تعیین مقاومت شاخه در برابر نیرو بهتر است که اعمال نیرو در شرایط طبیعی و روی درخت انجام شود. بنابراین تصمیم گرفته شد تا شاخه روی درخت در جهت های مختلف بارگذاری

شود. برای بررسی جهت بارگذاری بر خواص شاخه، شاخه ها در سه جهت نسبت به سطح مقطع بارگذاری شدند که عبارت اند از: عمود بر شاخه( i) در جهت بالا( j)، عمود بر شاخه( k) در جهت پایین ، عمود بر شاخه در جهت افقی. پس از مطالعات مقدماتی، برای آزمایش دستگاه، از باغات روستا های اطراف سنندج تعداد ۶۰ شاخه با خصوصیات فیزیکی مختلف شاخه مانند طول، قطر و جرم برای آزمایش در نظر گرفته شد و روی درخت علامت گذاری شد. قطر شاخه ها از یک سوم محل اتصال به شاخه دیگر یا تنه درخت به کمک کولیس اندازه گیری شد. سپس به کمک یک نیرو سنج دیجیتال با دقت ۰/۰۱ گرم نیروهای وارده تعیین شدند ( Ince et al., 2005). پس از ثبت نیرو (شکل ۱-چپ) شاخه ها از محل اتصال به تنه بریده و با ترازوی دیجیتال به دقت توزین شده و مقدار جرم موثر برابر ۱/۴۳ کیلوگرم بدست آمد. این عمل با پرداخت خسارت محتمل به کشاورزان منطقه انجام شد. از آنجا که شاخه تنها در جهت بالا و پایین حرکت داده می شود شاخه به صورت سیستم با یک درجه آزادی در نظر گرفته شد. برای تعیین مقاومت شاخه روش کار بدین صورت است که نوسان شاخه اگر تنها در یک جهت در نظر گرفته شود اصطلاحا با یک درجه آزادی محاسبه انجام گرفته است ( Mirzaei et al., 2013). سپس فرکانس طبیعی برای سیستم به طور جداگانه محاسبه شد. میانگین ضریب سختی شاخه برای تیر یک سر درگیر با محل اعمال نیرو در یک سوم تنه مطابق با شکل (۱-راست) مورد محاسبه قرار گرفت و معادله زیر برای آن بدست آمد. (Beer et al, 1985) .

$$k_{eq} = \frac{91}{4}\frac{EI}{L^3} \qquad (۱)$$

در این رابط E مدول الاستیسیته برحسب گیگا پاسکال، I ممان اینرسی سطح دایره ای برای سطح مقطع شاخه برحسب مترمربع، از رابطه (I=πd4/64) و L طول موثر شاخه برحسب متر می باشد. مقدار میانگین کل ۱۴/۱ کیلو نیوتن بر متر محاسبه شد. با داشتن ضریب سختی و جرم موثر شاخه می توان فرکانس طبیعی را محاسبه کرد.

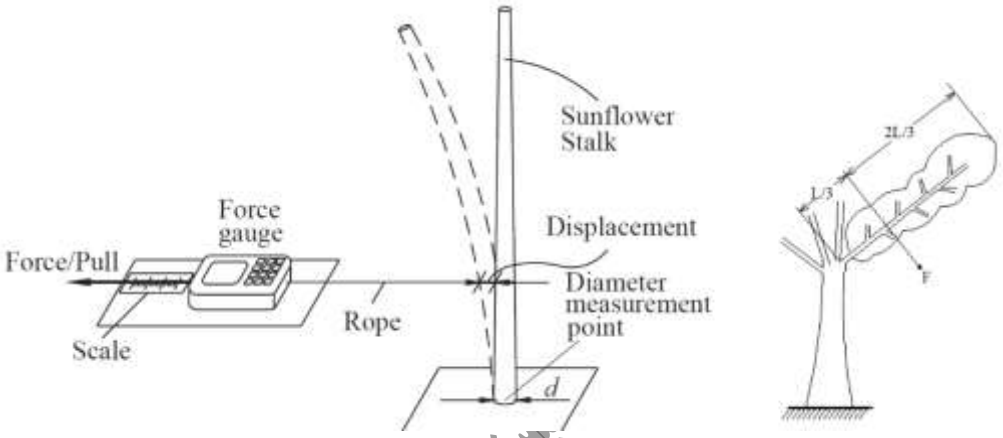
$$\omega_n = \sqrt{\frac{k_{eq}}{m_e}} \qquad (۲)$$

در این رابطه $\omega_n$: فرکانس طبیعی برحسب رادیان بر ثانیه، $k_{eq}$: میانگین ضریب فنر بر حسب نیوتن-متر، $m_e$: جرم موثر شاخه بر حسب کیلوگرم است. جرم موثر شاخه شامل جرم شاخه از محل اتصال شاخه تکان تا انتها است و به معنی جرم مورد نیاز برای اضافه شدن به جرم واقعی به منظور پیش بینی صحیح رفتار سیستم است که برای بدست آوردن آن در یک انتهای تیر می توان آنرا تابعی از جرم و و سرعت تعریف کرد ( Thomson 1998). در نهایت فرکانس طبیعی سیستم با استفاده از معادله (۲) ۳۱/۷ رادیان بر ثانیه بدست آمد. از این فرکانس به همراه نیروی مقاومت شاخه¬ها به¬عنوان اطلاعات پایه در شروع محاسبات مربوط به طراحی قطعات مختلف ماشین استفاده شد. ساخت شاخه تکان زرد آلو در کارگاه ماشین ابزار گروه مهندسی بیوسیستم دانشگاه کردستان صورت گرفت و با توجه به هدف اصلی طرح مبنی بر سادگی دستگاه با کمترین پیچیدگی، سعی شد تا از مواد و وسایل رایج در بازار استفاده شود. قسمت های دستگاه را می توان به سه جزء تقسیم کرد: ۱- مکانیزم انتقال قدرت از طریق موتور الکتریکی و محرک تسمه ای، ۲- مکانیزم محرکه لنگ برای ایجاد حرکت رفت و برگشتی ۳-. مکانیزم تغییر سرعت دورانی از طریق تغییر دور موتور برای تامین متغیر بودن دامنه نوسان و بسامد. الکترو موتور با قدرت ۶۰ وات در انتهای بوم سوار شده و از طریق یک تسمه، پولی خارج از مرکز و یک بازوی رابط باعث ایجاد حرکت رفت و برگشتی می‌شود. سه چرخ با ضخامت ۱۰ میلیمتر و شعاع موثر لنگ ۳۰، ۴۰ و ۵۰ میلیمتر برای ایجاد سه دامنه مختلف در نظر گرفته شد. در ساخت وسیله دو خصوصیت قابلیت تغییر در بسامد و تغییر در دامنه می بایست در نظر گرفته می شد. توان مورد نیاز دستگاه از موتور الکتریکی کوچکی که انرژی لازم آن از طریق باطری موتور سیکلت و یا یک باطری سیار تامین شد. دستگاه تکاننده مکانیکی مذکور به صورت دستی در بین شاخه‌های درختان حرکت داده شده و با ارتعاش شاخه باعث جدا شدن میوه از درخت می گردید (شکل۲). دستگاه پس از ساخت برای ارزیابی، به یکی از باغات زردآلو واقع درحومه شهرستان سنندج انتقال داده شد. در تعیین زمان ارتعاش لازم برای برداشت، ابتدا تعدادی شاخه تا فرو افتادن تمام میوه ها بوسیله دستگاه تکان داده شد و مشخص شد که حداکثر تا زمان ۳۰ ثانیه اکثرشاخه ها را می توان عاری از میوه کرد. در مطالعات انجام شده دامنه ۳۰ میلیمتر برای آفتاب گردان۵۰ میلیمتر (Ince et al., 2005) برای زیتون Rezaei et al., 2014) ) ، 20 تا ۴۰ میلیمتر برای سیب (Khirieh et al., 2007) گزارش شده است. برای تکاندن از طریق ارتعاش تنه درخت دامنه ۵۶ میلیمتر گزارش شده است (Torregrosa et al., 2008). با این وجود برای ارتعاش شاخه (نه تنه) درخت زرد آلو گزارشی در مقالات موجود مشاهده نشد. برای مقایسه میزان برداشت میوۀ زردآلو از آزمایش فاکتوریل (۳×۳) بر پایه طرح کاملا تصادفی با سه تکرار در بسامد ۹، ۱۶ و ۲۵ هرتز (۵۴۰ تا ۱۵۰۰ دور در دقیقه) و دامنه ۳۰، ۴۰ و ۵۰ میلیمتر استفاده شد. از آنجا که اعمال بسامد کمتر از ۸ هرتز ارتعاش لازم برای برداشت میوه را تامین

نمی کرد لذا محدوده وسیع تری برای بسامد در نظر گرفته شد و این سه دامنه در آزمایشات مقدماتی روی شاخه بکار برده شد. به منظور تجزیه و تحلیل آماری از نرم افزار SAS استفاده گردید. سپس بهترین دامنه و بسامد توسط دستگاه انتخاب و برای گزارش ثبت گردید. به منظور جمع آوری میوه های ریخته شده، پیش از شروع آزمون، یک چادر پارچه های زیر شاخه های زردآلو و در ارتفاع کمی از زمین گسترده شد. پس از هر بار عمل تکانیدن شاخه ها، میوه های ریخته شده در اثر نوسان، جمع آوری و به دقت شمرده شد. سپس میوه های باقیمانده روی شاخهٔ درخت نیز به صورت دستی چیده و شمرده شد، و با استفاده از رابطهٔ زیر درصد برداشت محاسبه شد (Erdogan et al., 2003):

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

که در این رابطه: P : میزان برداشت میوه از درخت برحسب درصد، $m_r$: تعداد میوه‌های جدا شده از درخت و $m_u$: تعداد میوه‌های جدانشده از درخت می‌باشد.




شکل ۱-راست: بارگذاری در فاصله یک سوم از انتهای شاخه (Horvath and Sitkei, 2005)، چپ اندازه گیری نیرو و قطر شاخه روی درخت (Ince et al., 2005)

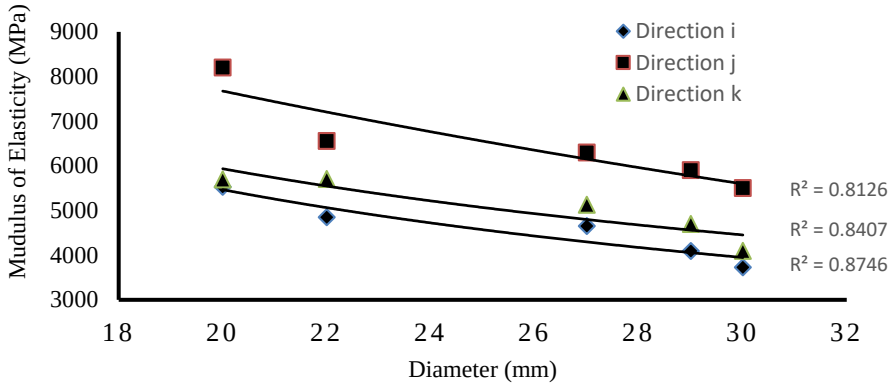
Figure 1. Right; loading at one-third of the stem end (Horvath and Sitkei, 2005), left; mearing of force and stem diameter (Ince et al., 2005)

شکل ۲- راست: تصویر شاخه تکان به هنگام برداشت، چپ: مجموعه موتور الکتریکی و پولی چرخ‌لنگ شاخه‌تکان زردآلو

Figure 2. Right; an image of shaker Left; the assemblies of pulley and electrical motor

## ۳- نتایج و بحث

میانگین ضریب سختی در جهات i، j و k به ترتیب ۱۳/۱، ۱۵/۵ و ۱۴/۷ کیلو نیوتن بر متر بدست آمد. شکل (۳) مدول الاستیک شاخه را به صورت تابعی از قطر در جهات مختلف نشان می دهد.




شکل ۳- تغییرات مدول الاستیک شاخه بر حسب تابعی از قطر شاخه در جهات مختلف

Figure 3. The effect of stem diameter on modulus of elasticity

واضح است که با افزایش سختی مقاومت در برابر خمش افزایش می یابد حداکثر و حداقل ضریب سختی شاخه در جهت i برابر با ۲۱/۸ و ۷/۹، در جهت j برابر با ۲۶/۰ و ۱۰/۱ و در جهت k برابر با۲۴/۹ و ۱۰/۹ کیلو نیوتن بر متر مربع اندازه گیری شد. نتایج بدست آمده از محاسبه میانگین ضریب سختی شاخه به ترتیب در جهات سه گانه j و k بیشترین مقاومت را در برابر خمش از خود نشان دادند. علت تفاوت در سختی شاخه ها در جهات مختلف را می توان به یکسان نبودن بافت چوب نسبت داد. زیرا الیاف چوب در جهات خاصی در کنار هم قرار گرفته اند. این اثر باعث می شود که چوب در جهات خاصی دارای مقاومت بیشتری در برابر خمش باشد.

$$WR = \frac{M_0 - M_t}{M_0} \times 100 \qquad (۱)$$

پس از پایان عملیات مزرعه‌ای، محاسبات لازم انجام شد و درصد برداشت میوه زردآلو برای هر تیمار تعیین شد. اعداد و ارقام ارائه شده مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون دانکن (جدول ۱) در سطح ۱ درصد برای بسامد حاکی از آن است که اثر افزایش بسامد بر درصد ریزش میوه زردآلو معنی‌دار بود و با افزایش بسامد در هر دامنه‌های نوسان افزایش برداشت مشاهده شد. به طوری که در بهترین حالت، در دامنه ۴۰ میلیمتر وبا ۹ هرتز میوه زردآلو شروع به جدا شدن نموده و با افزایش آن تا ۱۶ هرتز به صورت معنی‌داری افزایش دارد، ولی تغییر بسامد در هر دامنه تاثیر معنی‌داری بر میزان آسیب دیدگی میوه نداشت. از آنجا که زرد آلو میوه‌ای بسیار حساس است و نیز درصد رسیدگی میوه‌ها معمولا یکنواخت نیست لذا احتمالا در تمام حالات برداشت آسیب به میوه وجود خواهد داشت. تلفات برداشت شامل میوه های برداشت نشده و میوه هایی که بر اثر فرو افتادن دچار صدمات فیزیکی شدند حدود ۱۴ درصد محاسبه شد که عمدتا به میوه های آسیب دیده مربوط می شد و تنها در بسامد ۹ هرتز جدا نشدن میوه ها سهم بیشتری را به خود اختصاص دادند.

جدول ۱ - تجزیه واریانس مربوط به برداشت و آسیب دیدگی میوه در دامنه و بسامدهای نوسان شاخه

Table 1. The analysis of variance of fruit damage and shaker frequency

| Source | F (Lost) | F (Harvest) | MS | df | SS |
|---|---|---|---|---|---|
| Amplitude | 0.05$^{ns}$ | 16.69$^{**}$ | 300.46 | 2 | 600.99 |
| Frequency | 0.09$^{ns}$ | 6.03$^{**}$ | 108.68 | 2 | 217.36 |
| Amplitude x Frequency | 0.24$^{ns}$ | 0.92$^{**}$ | 16.66 | 4 | 66/64 |
| Error | | | 0.123 | 16 | 2.38 |

$^{**}$significant at 0.01 Duncan's multiple test, $^{ns}$; none significant

در جدول (۲) مقایسه میانگین‌های سه تکرار و درصد ریزش میوه را در دامنه و بسامدهای مختلف نوسان نشان می‌دهد. نتایج مقایسه میانگین نشان می‌دهد که افزایش دامنه نوسان در سطوح مختلف بسامد باعث افزایش درصد برداشت میوه در اثر افزایش شتاب میوه می شود. با این وجود در نواسان بالاتر از ۵۰ میلیمتر شاخه ها دچار شکستگی شده و موجب آسیب و خسارت به درخت می شد. میانگین درصد برداشت نشان می دهد با ثابت بودن بسامد، اثر افزایش دامنه بر درصد برداشت میوه زردآلو معنی‌دار بوده و با افزایش دامنه درفرکانس ثابت، برداشت زردآلو توسط این شاخه تکان افزایش می‌یابد. این افزایش به دلیل افزایش نیروی دینامیکی ناشی از افزایش دامنه نوسان می‌باشد. ولی دامنه نوسان تاثیر معنی‌داری بر میزان

آسیب دیدگی میوه نداشت. همچنین مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون دانکن در سطح ۱ درصد برای دامنه نوسان هم نشان داد که اثر افزایش دامنه نوسان در فرکانس‌های ثابت بر درصد ریزش میوه زردآلو معنی‌دار و با افزایش دامنه نوسان از ۳۰ میلی‌متر میوه زردآلو شروع به جدا شدن نموده و با افزایش آن تا ۵۰ میلی‌متر به صورت معنی‌داری این افزایش ادامه داشت. از آنجا که برداشت زردآلو با دست از طریق ضربه بوسیله چوب دستی و یا با بالا رفتن از درخت هر ساله با خطرات جانی برای کشاورزان همراه است و با توجه به کارا بودن دستگاه در برداشت زرد آلو که تقریبا خطرات احتمالی را بطور موثری کاهش می دهد، می توان این وسیله را برای برداشت زردآلو توصیه نمود.

جدول ۲- جداسازی میوه در دامنه و بسامدهای مختلف نوسان شاخه بر حسب درصد
Table 2. Fruit removal percentage at different frequency and amplitude

| Frequency (Hz) | Amplitude (mm) | | |
|---|---|---|---|
| | 30 | 40 | 50 |
| 9 | 73.35 [d] | 93.78 [b] | 96.65[ab] |
| 16 | 86.72[c] | 100[a] | 100[a] |
| 25 | 74.82 [b] | 97.92 [a] | 98.88[a] |

Means with different letter has significant difference at 0.01 of probability

## ۴- نتیجه گیری

برداشت زرد آلو بسیار مشکل است و تاکنون دستگاه مناسبی که بتواند با سهولت بهتردر برداشت این محصول باغداران را کمک نماید در کشور ساخته نشده است. لذا هدف از تحقیق حاضر طراحی و ساخت یک دستگاه شاخه تکان با مکانیزم ساده برای برداشت زردآلو می باشد. نتایج تحقیق نشان داد که اگر به شاخه زردآلو ارتعاشی با بسامد ۱۶ هرتز و دامنه ۴۰ میلی‌متر اعمال شود، بیشترین مقدار میوه برداشت می‌شود ضمن این که کمترین خسارات به شاخه درخت وارد می‌شود. با افزایش زمان ارتعاش ریزش برگ و صدمات وارد به درخت نیز افزایش می‌یابد و همچنین با افزایش دامنه نوسان درصد ریزش میوه‌ها نیز افزایش می‌یابد.این دستگاه بطور موفقیت آمیزی در برداشت زرد آلو بکار گرفته شد و در عین سادگی کار آمد ارزیابی شد. در حالیکه برداشت زرد آلو بعلت ظریف بودن میوه، شاخه و نیز نسبتا بلند بودن آن همیشه با خطراتی توام است دستگاه ساخته شده در این تحقیق می تواند بطور گسترد ای در برداشت زرد آلو در باغات میوه مورد استفاده قرار گیرد. شایان ذکر است که هزینه تمام شده دستگاه خصوصا زمانیکه به تولید انبوه برسد ازران بوده و باغداران استطاعت خرید آنرا خواهند داشت. این دستگاه در راستای ارتقای مکانیزاسیون کشور و امکان بکارگیری گسترده توسط کشاورزان طراحی شده تا بتواند در افزایش تولید و صادرات بیشتر موثر واقع شود.

## ۵- مراجع


1. Amjadi, A., & Chizari A.H. (2006). Agricultural mechanization in Iran, *Agricultural Economics and Development*, 155-182 (Persian).
2. Beards, C. F. (1996). *Structural Vibrational Analysis and Damping*, John Wiley & Sons Inc. pp 276.
3. Beer, F. P., Johnston, E.R., Dewolf, J. T., & Mazurek, D. F. (1985). *Mechanics of materials*, McGraw-Hill Companies Inc, pp 830.
4. Castro-Garcia S., Blanco-Roldan G. L., FergosonL., Gonzalez-Sanchez E. J., & Gil-Ribes J. A. (2017). Frequency response of late- season Valencia orange to selective harvesting by vibration for juice industry, *Biosystems Engineering*. 155, 77-83 .
5. Deboli, R., Calvo, A., Preti, C., & Inserillo, M. (2014). Design and test of a device for acceleration reproducibility of hand held olive harvesters. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 581-589.
6. Erdogan, D., Guner, M., Dursun, E., & Gezer, I. 2003. Mechanical harvesting of apricots. *Biosystems Engineering*, 85 (1):19–28.
7. Ghorbanpoor, H., Khoshtaghaza, M., & Mestufe Sarkari, D. (2012). The effect of vibration frequency and vibration time on Shaker Performance mechanized harvest orange. *Journal of Agricultural Machinery*, Volume 2 Number 2, 101-96. (Persian).
8. Golpira, H. (1998). Design, development and evaluation tools to assess the impact of tree shaking amplitude and frequency of vibration of the separation of the olive fruit. Unpublished MSc Thesis. Shiraz University, 101 pages. (In Farsi).

9. Horvath E (2000). Dynamics and energy relations of trunk shakers. Unpublished PhD Thesis, Hungarian Academy of Sciences, Budapest, Hungary, pp 1135.
10. Horvath, E., & Sitkei, G. (2005). Damping properties of palm trees shaken at their trunks. *Transaction of the. ASAE*, 48(1): 19-25.
11. IInce, A., Ugurluay, S., Guzel, E., & Ozcan, M. (2005). Bending and shearing characteristics of sunflower stalk resiue. *Biosystems Engineering*, 92(2):175-181.
12. Khirieh, M., Maharlouie, M. and Kamgar, S. (2008). *Design, development and evaluation branch shaking a tractor equipped with floating arms in order to harvest a tree*. Fifth National Congress of Agricultural Engineering and Mechanization. Ferdowsi University of Mashhad, Iran. 10. (Persian).
13. Loghavi, M., & Mohseni S. 2005. The effect of frequency and amplitude on fruit detachment of lemon. *Agricultural Research*. 2-1 from page 27 to page 38 No. 25-24 period. (Persian).
14. Loghavi, M. and Rahimi, H. (2007). The effects of shaking amplitude and frequency on the separation of two varieties of nuts, seeds and clusters. *Soil and Water Sciences, Science and Technology of Agriculture and Natural Resources*. Pages 122-109. (Persian).
15. Long, H., Zhou, J., Xiaoqiang, Du., Chen, Du., Zhang, Q., & Karkee, M. (2013). Energy efficacy analysis of a mechanical shaker in sweet cherry harvesting. *Biosystems Engineering*, 309-315.
16. Mbuge, D., & Langat, P. (2008). *Principles of a mechanical shaker for coffee harvesting. Agricultural Engineering Interntional*: the CIGR Ejournal. Manuscript, PM 07 016. X.
17. Mehdi Nia, A. (2007). *Design shakers shaking branches with the ability to change the frequency, scope and type of move*. Agriculture and Natural Resources Research Center of Khorasan. 8. (Persian).
18. Mirzaei, V., Kalantari, D., Jafari, A., Mousavi, Godarzi, S. (2013). Determination of vibrational properties of Shahroudi's almond stem. *International Journal of Agriculture and Crop Sciences*, 5 (6): 638-645.
19. Parchomchuk, P., & Coke, J. R. (1972). Vibratory harvesting: An experimental analysis of fruit- stem dynamics. *Transaction of the ASAE*. . 15(4), 598- 603.
20. Peterson, D. L. (1998). Mechanical harvester for process oranges. *American society of Agricultural Engineers*, 14(5): 455-458.
21. Peterson, D. L., & Wolford, S. D. (2001). Mechanical harvester for fresh market Quality stem less sweet cherries. *American Society of Agricultural Engineers*, 44(3): 481–485.
22. Rezaei, A., Loghavi, M., Kamgar, S., & Mahdipour, e.1393. Determine the frequency and duration of pneumatic swing waving olive branches. *Journal of Agricultural Machinery*. Volume 6, Number 2 Spring 1395 Page 428-417. (Percian).
23. Rezaei, A., Loghavi, M., Kamgar, S., & Zare, D. (2015). Design, development and evaluation branch shaking portable pneumatic controller with programmable logic. *Iranian Journal of Biosystems Engineering*, Volume 46, Number 1, Pages 29-19. (In Farsi).
24. Sadoughi, M., Jefari Naimi, K., & Mortezapour, H. (2014). Design, fabrication and evaluation of the walnut harvest pneumatic system. Master's thesis. Kerman Shahid Bahonar University. 123 pages. (Persian).
25. Sarig, Y. (2005). Mechanized fruit harvesting site specific solutions. *Information and Technology for Sustainable Fruit and Vegetable Production*, 5: 12- 16.
26. Srivastava, A. K., Georing, G. E., & Rohrbach, R. P. (1993). *Engineering Principle of Agricultural Machines*. ASAE, Textbox No.6, ASAE. 601p.
27. Thomson, W. T. (1998). *Theory of Vibration with Applications*, Fifth Edition, Printice Hall Inc. pp 524.
28. Torregrosa, A., Chaparro, O., Martín, B., Ortiz1, C., Bernad, J., Ortí1,E., Gil,J., & Pérez,M. (2008). Design, construction and testing of an apricot tractor-trailed harvester. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 6(3): 333-340.
29. Zocca, A., & Fridlej, R. (1977). Mechanical Harvesting of Clingstone Peaches. Journal of Agricultural *Engineering Research*, 22, 247-257 .