

ساخت و ارزیابی یک شاخه‌تکان تراکتوری مجهز به بازوهای شناور برای برداشت سیب درختی

سعادت کامگار^{۱*}، علی رضایی^۲ و مجتبی خیریه^۳

چکیده

در این پژوهش، نوعی شاخه‌تکان برای برداشت سیب و همچنین کاهش اثرات نوسانی تکاننده روی تراکتور طراحی، ساخته و ارزیابی شد. دستگاه ساخته شده دارای قابلیت تغییر دامنه نوسان در سه سطح ۲۰، ۳۲ و ۴۰ میلی‌متر و تغییر بسامد در سطوحی بین ۲۰-۴ هرتز است. نوآوری به کار رفته در این دستگاه استفاده از مکانیزمی با قابلیت مستهلک کردن نوسان و عدم انتقال آن به تراکتور می‌باشد. برای تعیین دامنه و بسامد نوسان مناسب بر میزان جداسازی میوه سیب درختی رقم گلدن دلشیز از شاخه، یک آزمایش فاکتوریل (۳×۳) در قالب یک طرح کاملاً تصادفی انجام شد. در این آزمایش تأثیر سه سطح بسامد ۴، ۱۲ و ۲۰ هرتز و سه دامنه نوسان ۲۰، ۳۲ و ۴۰ میلی‌متر بر درصد جداسازی میوه بررسی شد. نتایج حاصل از تجزیه واریانس و مقایسه میانگین‌ها نشان از معنی‌داری تأثیر سطوح مختلف دامنه و بسامد میوه بر جداسازی میوه سیب داشت، در حالیکه تأثیر متقابل این دو فاکتور اثر معنی‌داری بر جداسازی میوه نشان نداد. در نهایت دامنه ۴۰ میلی‌متر و بسامد نوسان ۱۲ هرتز در مدت زمان نوسان ۱۰ ثانیه، که سبب جدا شدن ۹۴ درصد سیب مورد آزمایش از درخت می‌شود به‌عنوان مناسب‌ترین دامنه و بسامد نوسان تعیین شد.

واژه‌های کلیدی: بسامد نوسان، تراکتور، دامنه نوسان، سیب درختی، شاخه‌تکان.

ارجاع: کامگار س. رضایی ع. و خیریه م. ۱۳۹۴. ساخت و ارزیابی یک شاخه‌تکان تراکتوری مجهز به بازوهای شناور برای برداشت سیب درختی. نشریه پژوهش‌های مکانیک ماشین‌های کشاورزی. ۴(۲): ۱-۱۰.

۱- استادیار گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز.

۲- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز.

۳- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز.

* نویسنده مسئول: kamgar@shirazu.ac.ir

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۰۷/۲۶

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۰۴/۲۲

مقدمه

نگاهی گذرا به درآمدهای حاصل از فروش محصولات غیرنفتی نشان می‌دهد که بخش عمده‌ای از صادرات غیرنفتی ایران بر پایه محصولات کشاورزی بنا شده است. با توجه به اینکه ایران کشوری در حال توسعه است پس در بحث محصولات کشاورزی به‌خصوص محصولات باغبانی باید بتواند علاوه بر رفع نیاز بازار داخلی، جواب‌گوی نیاز کشورهای همسایه به‌عنوان یک بازار مصرف مناسب و پردرآمد باشد؛ این مهم جز با بهره‌گیری از ماشین‌آلات مدرن در برداشت محصولات باغی میسر نمی‌شود، تا با کاهش قیمت نهایی تولید محصول بتوان در بازار رقابت جهانی محصولی با کیفیت و با قیمت پایین عرضه نمود.

برداشت مکانیزه میوه امروزه در کشورهای توسعه یافته یکی از مهم‌ترین روش‌های پایین آوردن قیمت نهایی محصول است. یکی از رایج‌ترین ماشین‌های مرسوم در این نوع برداشت تکننده‌ها^۱ هستند. این ماشین‌ها با ایجاد نوسان در شاخه درخت و ایجاد پدیده تشدید میوه‌ها را از درخت جدا می‌کنند؛ از جمله روش‌های مکانیکی رایج برداشت می‌توان به استفاده از شیکرهای مکانیکی، هیدرولیکی و یا پنوماتیکی اشاره کرد.

متداول‌ترین نوع شیکرهای مکانیکی نوع اینرسیایی است. درخت‌تکان‌های اینرسیایی در دو طرح ساخته می‌شوند (تامسون، ۱۹۸۸): ۱- مکانیزم لنگ و لغزنده که بیشتر برای نوسان شاخه به کار می‌روند و ۲- مکانیزم وزنه‌های خارج از مرکز که بیشتر برای نوسان تنه به کار می‌رود.

در پژوهشی یک شیکر اینرسیایی برای برداشت زیتون استفاده شد و نتایج نشان داد که برای جداسازی بهینه میوه، درخت باید در محدوده بسامد ۲۰ تا ۲۸ هرتز و دامنه ۲۰ تا ۳۰ میلی‌متر برای مدت زمان ۱۰ ثانیه به نوسان درآید (کسسیگلو، ۱۹۷۵).

پوراس و همکاران (۱۹۹۶) موفق به ساخت یک نمونه دستگاه نوسان چند جهتی شدند. این نوع تکننده از دو وزنه خارج از مرکز به وزن ۷۵۰ نیوتن و با شعاع خارج از مرکز ۷۵ میلی‌متر ساخته شده که در دو جهت مخالف یکدیگر دوران می‌کردند. وزن کل دستگاه ۲۷۰۰ نیوتن بود که انتقال نیرو در آن با یک گیربکس هیدرولیکی انجام می‌شد. قدرت انتقالی ۳۵ کیلووات بود. این دستگاه

روی درخت زیتون آزمایش شد. نتیجه آزمایش رضایت‌بخش و نشان از آن بود که انتقال قدرت هیدرولیکی برای درخت‌تکان‌ها مفید و راحت است.

آلکانترا و همکاران (۱۹۹۸) درخت‌تکانی با دامنه و دور متغیر طراحی کردند که نسبت به دیگر درخت‌تکان‌ها دارای مزایایی بود. در این دستگاه برای کاهش خسارت وارده به درخت مابین لحظه شروع نوسان با سرعت دورانی صفر تا رسیدن به سرعت دورانی جدایش میوه‌ها، مکانیسمی آماده شده بود که انتقال نوسان را قطع می‌کرد پس نوسان را فقط در زمانی که درخت اعمال می‌کرد که سرعت دورانی به حد مطلوب رسیده باشد.

اگر نیروی کششی لازم برای جداسازی میوه در حالت استاتیکی را به‌عنوان معیار فرض کنیم، برای برداشت نوسانی میوه‌ها ترکیبی از دامنه و بسامد نوسان که نیروی اینرسی برابر یا بزرگ‌تر از نیروی کشش استاتیکی ایجاد می‌کند، لازم است (پارچم‌چوک و کوک، ۱۹۷۲).

باتوجه به بررسی‌های انجام شده از سویی و کمبود منابع اطلاعاتی در داخل کشور از سوی دیگر، پژوهش با هدف ساخت یک دستگاه شاخه‌تکان تراکتوری مجهز به بازوهای شناور و ارزیابی دستگاه ساخته شده در برداشت سیب درختی و در نهایت تعیین مناسب‌ترین دامنه و بسامد نوسان برای برداشت سیب درختی انجام شد. نوآوری به عمل آمده در این پژوهش استفاده از مکانیزمی با قابلیت مستهلک کردن نوسان و عدم انتقال آن به تراکتور است.

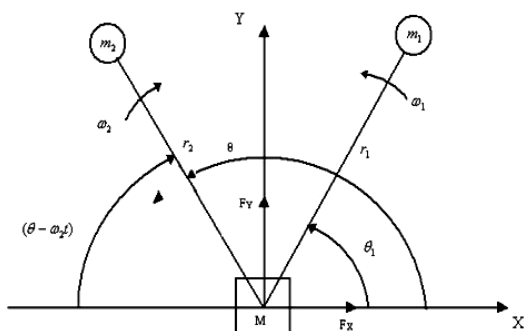
مواد و روش‌ها

اصول نظری

قبل از شروع طراحی و ساخت دستگاه متغیرهای زیر تعیین شد:

الف- بسامد طبیعی نوسان شاخه: بدین منظور در آزمایشگاه شاخه در وضعیت تیر یک‌سر گیردار قرار داده شده و تا آخرین حد ارتجاعی کشیده شد، در مدت نوسان از نوسان شاخه عکس‌برداری شد، با پردازش تصاویر میزان بسامد طبیعی شاخه سیب مورد آزمایش در حدود ۱۲ هرتز محاسبه شد.

ب- ضریب میرایی شاخه: با استفاده از اطلاعات به دست آمده از عکس‌برداری از شاخه و روابط (۱)، (۲) و (۳)، ثابت میرایی شاخه درخت سیب مورد آزمایش محاسبه شد (مارکوردت، ۱۹۶۴).



شکل ۱- دوران معکوس دو وزنه خارج از مرکز (سیرواستاوا و همکاران، ۱۹۹۳)

$$\sum F_x = M \frac{d^2x}{dt^2} = -m_1 \omega_1^2 r_1 \cos(\omega_1 t) - \quad (5)$$

$$\sum F_y = M \frac{d^2y}{dt^2} = -m_1 \omega_1^2 r_1 \sin(\omega_1 t) - \quad (6)$$

چنانچه $r_1 = r_2 = r$ ، $\omega_1 = \omega_2 = \omega$ ، $m_1 = m_2 = m$ و همچنین $\theta = \pi$ نتایج زیر به دست می‌آید:

$$\sum F_x = 0 \quad (7)$$

$$\sum F_y = -2m\omega^2 r \sin(\omega t) \quad (8)$$

همان‌طور که از معادلات (۷) و (۸) مشخص است مجموع نیروها در جهت X صفر است و به عبارت دیگر نیروها در این جهت بالانس هستند. حال چنانچه مجموع نیروها در جهت Y را بر جرم m تقسیم کنیم و دو مرتبه از آن انتگرال بگیریم مقدار جابجایی Y از رابطه زیر به دست می‌آید:

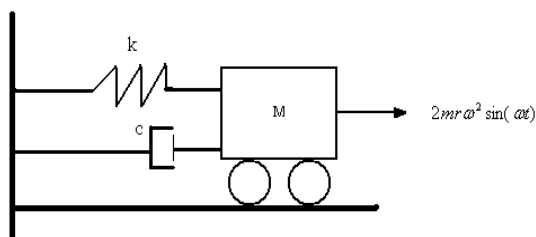
$$Y = \frac{2mr}{M} \sin \omega t \quad (9)$$

همچنین جابجایی مرکز جرم M را نیز می‌توان با دو بار انتگرال گیری از معادلات (۵) و (۶) به دست آورد:

$$x(t) = \left(\frac{m_1}{M}\right) r_1 \cos(\omega_1 t) + \left(\frac{m_2}{M}\right) r_2 \cos(\theta - \omega_2 t) \quad (10)$$

$$y(t) = \left(\frac{m_1}{M}\right) r_1 \sin(\omega_1 t) + \left(\frac{m_2}{M}\right) r_2 \sin(\theta - \omega_2 t) \quad (11)$$

معادله نوسانی شاخه براساس شکل ۲ در نظر گرفته شد (اوبراین و همکاران، ۱۹۸۳).



شکل ۲- مدل سازی نوسان شاخه (اوبراین و همکاران، ۱۹۸۳)

$$\delta = \frac{1}{n-1} \ln \frac{X_1}{X_2} = \frac{1}{10-1} \ln \frac{28}{5} = 0.19 \quad (1)$$

$$\xi = \frac{\delta}{2\pi} = \frac{0.19}{2\pi} = 0.03 \quad (2)$$

$$\xi = \frac{c}{2mf} \rightarrow c = 2\xi mf = 36 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \quad (3)$$

در این روابط X_1 دامنه موج اول تشکیل شده حاصل از نوسان شاخه بر حسب متر، X_n دامنه موج nام تشکیل شده حاصل از نوسان شاخه بر حسب متر، n تعداد نوسان شاخه، f بسامد طبیعی بر حسب هرتز، ξ ضریب میرایی، c ثابت میرایی و m جرم شاخه بر حسب کیلوگرم است.

ج- ضریب سختی شاخه: برای محاسبه ضریب سختی از یک دستگاه لودسل S شکل با نیروسنج مدل FG-6100SD ساخت شرکت لوترون (Lotron) با دقت ۰/۱ نیوتن و حداکثر ظرفیت ۹۸۰ نیوتن استفاده شد. با کشیدن شاخه در دو جهت عمود بر شاخه و با توجه به نیروی لازم برای جابجایی شاخه در امتداد نیرو، ضریب سختی شاخه به دست آمد (رحیمی، ۱۳۸۱ و گل‌پیرا، ۱۳۷۷). در این پژوهش ضریب سختی برابر با $k = 700 \frac{\text{N}}{\text{m}}$ به دست آمد.

د- نیروی جداسازی استاتیکی، وزن و میانگین قطر هندسی: برای اندازه‌گیری نیروی جداسازی استاتیکی میوه از نیروسنج دیجیتالی استفاده شد. سپس این میوه‌ها بارکدبندی شده و در کیسه‌های نایلونی به آزمایشگاه منتقل شده و با یک ترازوی دیجیتالی با دقت ۰/۰۱ گرم به‌صورت تک‌تک وزن شد. با استفاده از کولیس ابعاد جانبی سیب در سه جهت عمود بر هم اندازه‌گیری و میانگین قطر هندسی با استفاده از رابطه (۴) به دست آمد (محسنین، ۱۹۸۶).

$$D_g = (a \cdot b \cdot c)^{\frac{1}{3}} \quad (4)$$

در این رابطه a، b، c به‌ترتیب قطر بزرگ‌تر، قطر میانی و قطر کوچک‌تر بر حسب متر و D_g میانگین قطر هندسی بر حسب متر است.

برای ایجاد حرکت نوسانی با وزنه‌های خارج از مرکز، معادله نوسانی دو وزنه به جرم m را که به فاصله r از مبدأ قرار گرفته‌اند و با سرعت زاویه‌ای ω در حال چرخش هستند براساس شکل ۱ در نظر می‌گیریم. در این محاسبات جرم M خیلی بزرگ فرض می‌شود (سیرواستاوا و همکاران، ۱۹۹۳).

توان متوسط سیستم برای طراحی سیستم انتقال نیرو از رابطه (۱۷) محاسبه می‌شود (فریدلی و آدرین، ۱۹۶۶):

$$P_{avg} = \frac{1}{T_f} \int_0^T P_{inst} \cdot dt = \quad (17)$$

$$\frac{1}{T_f} = \int_0^T [2mr\omega^2 \sin(\omega t)] \cdot \left[\frac{2mr}{M} \cos(\omega t - \alpha) \right] \cdot dt$$

$$= \left[\frac{2m^2 r^2 \omega}{M} \right] \sin(\alpha)$$

در نتیجه توان طراحی مورد نیاز برای تکانیدن سیب، ۰/۶ کیلووات محاسبه شد.

در نهایت حداکثر توان طراحی ۱/۶ کیلووات و توان متوسط ۰/۶ کیلووات محاسبه شد. گشتاور بیشینه از رابطه (۱۸)، ۱۲/۷ نیوتن-متر محاسبه شد (جاکوبسن و ایر، ۱۹۵۸).

$$T_{max} = \frac{P_{max}}{\omega} \quad (18)$$

طراحی مکانیسم

طراحی اجزای دستگاه با نرم‌افزار Solid works انجام شد (شکل ۳). برای ساخت مکانیسمی که باید وزنه‌های خارج از مرکز را در خلاف جهت یکدیگر به حرکت در آورد چهار عدد چرخ‌دنده خورشیدی، دو عدد چرخ‌دنده معمولی، دو عدد بشقاب و سه عدد محور انتقال نیرو برای ایجاد نوسان، در نظر گرفته شد (شکل ۴-الف و ب). برای به حرکت درآوردن مکانیسم، از زنجیرهای انتقال نیرو استفاده شد. این مکانیسم درون محفظه‌ای مکعبی همراه با یک بازوی تکاننده قرار می‌گیرد. شاخه درخت بین بازوی تکاننده و محفظه نوسانی واقع و مرتعش می‌شود. این مجموعه توسط اتصال سه نقطه به تراکتور متصل می‌شود و هنگام کار با چهار پایه‌ای بر روی زمین قرار می‌گیرد. این پایه‌ها به همراه اتصال سه نقطه، نقاط اتکاء ماشین هستند.

این معادله براساس روابط زیر بیان می‌شود؛ که در آن‌ها c ضریب میرایی $\left(\frac{N.s}{m}\right)$ ، k سختی $\left(\frac{N}{m}\right)$ زاویه بین نیرو و جابجایی (rad) و ξ نسبت میرایی است.

$$F = ma \rightarrow M \frac{d^2 y}{dt^2} + c \frac{dy}{dt} + ky = 2mr\omega^2 \sin(\omega t) \quad (12)$$

$$\rightarrow y(t) = \frac{2mr\omega^2}{[(k - M\omega^2)^2 + (c\omega)^2]^{0.5}} \sin(\omega t - \alpha)$$

در این رابطه زاویه بین نیرو و جابجایی (α) ، برابر است با:

$$\alpha = \tan^{-1} \left(\frac{c\omega}{k - M\omega^2} \right) \quad (13)$$

چنانچه بسامد طبیعی $\omega_n = \frac{k}{M}$ به صورت $\omega_n^2 = \frac{k}{M}$ باشد، با جایگزینی آن در رابطه نسبت میرایی $\left(\xi = \frac{c}{2M\omega_n}\right)$ خواهیم داشت:

$$\alpha = \tan^{-1} \left\langle \frac{2\xi\omega/\omega_n}{1 - (\omega/\omega_n)^2} \right\rangle \quad (14)$$

با قرار دادن مقادیر در رابطه (۱۴)، مقدار α برای سیب مورد پژوهش، ۰/۵۲ رادیان محاسبه شد. توان مصرفی از رابطه (۱۴) محاسبه شد (فریدلی و آدرین، ۱۹۶۶):

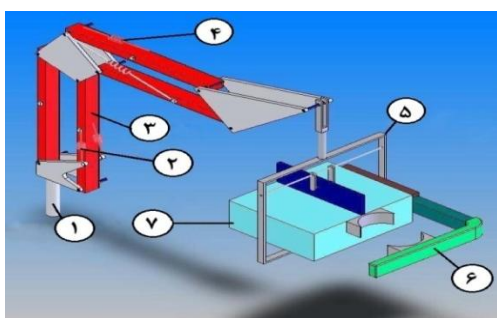
$$P_{inst} = [2mr\omega^2 \sin(\omega t)] \times \left[\frac{2mr}{M} \cos(\omega t - \alpha) \right] \quad (15)$$

که در آن، M جرم مرکز، m جرم وزنه، r فاصله از مرکز و ω سرعت زاویه‌ای است. در نتیجه توان بیشینه طبق رابطه (۱۶) محاسبه می‌شود (فریدلی و آدرین، ۱۹۶۶):

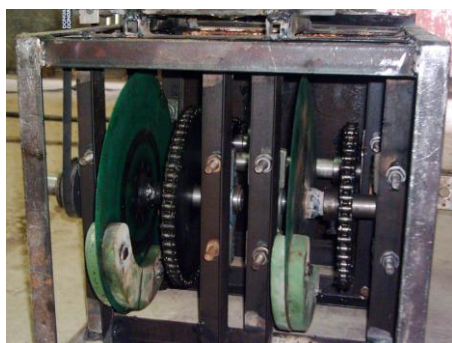
$$P_{max} = \left\langle 2mr\omega^3 \sin \left[\omega \left(\frac{\pi}{4} + \frac{\alpha}{2} \right) \right] \times \left\langle \frac{2mr}{M} \cos \left[\omega \left(\frac{\pi}{4} + \frac{\alpha}{2} \right) \right] \right\rangle \right\rangle \rightarrow \quad (16)$$

$$\rightarrow P_{max} = \frac{4m^2 r^2 \omega^2}{M} \cdot \sin \left(\frac{\pi}{4} + \frac{\pi}{2} \right) \cdot \cos \left(\frac{\pi}{4} - \frac{\alpha}{2} \right)$$

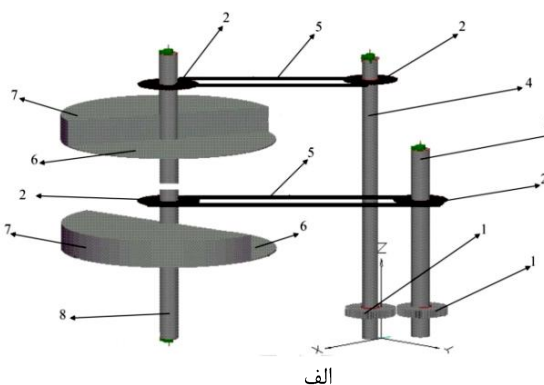
بنابراین با قراردادن مقادیر در رابطه (۱۶) توان لحظه‌ای بیشینه، ۱/۶ کیلووات محاسبه می‌شود.



شکل ۳- اجزاء تشکیل دهنده دستگاه شاخه تکان (۱- بازوی دوار، ۲- فنرهای شناوری، ۳- بازوی انعطافی، ۴- فنر شناوری، ۵- سیستم پاندولی، ۶- بازوی اتصال به شاخه و ۷- سیستم نوسانی)



ب



الف

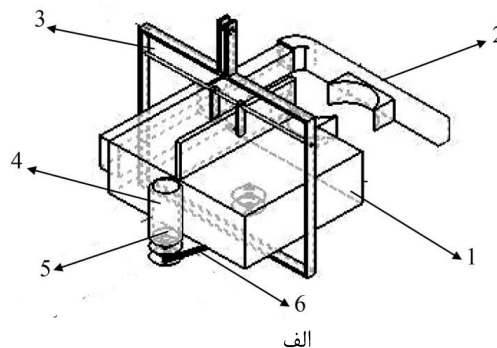
شکل ۴- الف- مکانیسم وزنه‌های خارج از مرکز طراحی شده (۱- چرخ‌دنده‌ها، ۲- چرخ‌دنده‌های خورشیدی، ۳- شفت انتقال نیرو، ۴- شفت انتقال نیرو، ۵- تسمه انتقال نیرو، ۶- بشقاب‌ها، ۷- وزنه‌ها، ۸- شفت انتقال نیروی ورودی)، ب- مکانیسم وزنه‌های خارج از مرکز ساخته شده

۵- الف و ب). در این دستگاه از یک حسگر اثر هال برای اندازه‌گیری سرعت محور خروجی و در نهایت برآورد بسامد دستگاه استفاده شده است. برای واسنجی صحت کارکرد حسگر، بسامد نوسان با یک نوسان‌سنج مدل TV300 ساخت شرکت Time Group کشور چین اندازه‌گیری شد.

انتقال نیرو در ماشین با سیستم تسمه و پولی انجام می‌گیرد. نوآوری به کار گرفته شده در این پژوهش به این شکل است که توان ورودی ابتدا وارد محفظه دربرگیرنده مکانیزم حرکت نوسانی می‌شود و سپس حرکت نوسانی به وجود می‌آید؛ حرکت پاندولی محفظه سبب مستهلک کردن نوسان و عدم انتقال آن به تراکتور می‌شود (شکل



ب



الف

شکل ۵- الف- مکانیسم انتقال نیرو توسط تسمه و پولی (۱- سیستم نوسانی، ۲- بازوی اتصال به شاخه، ۳- مکانیسم پاندولی، ۴- منبع توان، ۵- پولی محرک، ۶- تسمه انتقال قدرت)، ب- چگونگی قرارگیری سیستم پاندولی بر روی تکاننده

برای جمع‌آوری میوه‌های ریخته شده، پیش از شروع آزمون، سفره‌ای پارچه‌ای زیر شاخه‌های سیب گسترده شد. پس از هر بار عمل تکنیدن شاخه‌ها، میوه‌های ریخته شده 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 استفاده از رابطه (۱۹) درصد ریزش میوه‌ها با شاخه‌تکان محاسبه شد (پلات و همکاران، ۲۰۰۷).

$$P = \frac{m_r}{m_r + m_u} \times 100 \quad (19)$$

آزمون و ارزیابی

دستگاه پس از طراحی و ساخت به باغ آزمایشی دانشگاه شیراز انتقال داده شد. عملکرد دستگاه در یک آزمایش فاکتوریل در قالب یک طرح کاملاً تصادفی در سه سطح بسامد ۴، ۱۲ و ۲۰ هرتز و سه دامنه نوسان ۲۰، ۳۲ و ۴۰ میلی‌متر در مدت زمان ۱۰ ثانیه نوسان بر روی جداسازی میوه سیب درختی گل‌دن دلشیز بررسی شد. در اجرای این پژوهش از آزمایش فاکتوریل در قالب یک طرح کاملاً تصادفی با ۹ تیمار در ۳ تکرار استفاده شد (شکل ۶).

(۲۰) $F = mr\omega^2$
 در این رابطه F نیروی دینامیکی (N)، m جرم میوه (kg)،
 r طول خارج از مرکز و برابر با نصف دامنه نوسان (m) و ω
 بسامد نوسان ($\frac{rad}{s}$) است.

در این رابطه m_r تعداد یا جرم میوه‌های جدا شده، m_u
 تعداد یا جرم میوه‌های جدا نشده از درخت، P درصد
 جدا شدن میوه از درخت است.
 نیروی دینامیکی وارد بر میوه از رابطه (۲۰) به دست آمد
 (فریدلی و آدرین، ۱۹۶۶).



شکل ۶- برداشت سیب به وسیله دستگاه ساخته شده

نتایج و بحث

پس از جمع‌آوری داده‌ها و پایان عملیات مزرعه‌ای، درصد
 برداشت میوه برای مقادیر مختلف دامنه و بسامد نوسان
 برای برداشت سیب در هر تیمار مشخص شد. برای تحلیل
 داده‌ها از نرم‌افزار SPSS استفاده شد. نتایج حاصل از
 تجزیه واریانس در جدول ۱ ارائه شده است.
 جدول تجزیه واریانس مربوط به ریزش سیب نشان
 می‌دهد که به احتمال ۹۵٪ سطوح مختلف دامنه و بسامد
 نوسان روی درصد ریزش میوه تأثیر معنی‌داری داشته
 است. اما اثر متقابل این دو فاکتور معنی‌دار نیست، که بر
 استقلال دو متغیر دلالت دارد. اردوغان و همکاران
 (۲۰۰۳) گزارش کردند که درصد ریزش میوه بادام در

مدت نوسان ۱۰ ثانیه با افزایش بسامد و دامنه افزایش
 یافته است. آزمون‌های مزرعه‌ای آن‌ها نشان داد که
 بیشترین برداشت میوه (۱۰۰٪) در دامنه ۵۰ میلی‌متر و
 بسامد ۲۰ هرتز به دست آمد. در حالیکه ریزش میوه برای
 دامنه ۵۰ میلی‌متر و بسامد ۱۵ هرتز، ۹۷٪ بود. صفدری
 و همکاران (۱۳۸۹) اعلام کردند درصد ریزش میوه بادام
 در مدت نوسان ۱۰ ثانیه با افزایش بسامد و دامنه افزایش
 یافته است؛ پلات و همکاران (۲۰۰۷) در برداشت پسته،
 خورسندی و همکاران (۱۳۸۹) در برداشت انجیر با
 شاخه‌تکان قابل حمل تجاری و همچنین رضایی (۱۳۹۳)
 در زیتون با شیکر شاخه‌تکان پنوماتیکی قابل حمل به
 نتایج مشابهی رسیدند.

جدول ۱- تجزیه واریانس اثر دامنه و بسامد نوسان بر درصد ریزش زیتون

منابع تغییر	مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	F
دامنه	۴۵۹/۳۶۰	۲	۲۲۹/۶۸۰	۳۷/۰۵**
بسامد	۸۴۴/۸۲۳	۲	۴۲۲/۴۱۱	۲۸/۸۹۴**
بسامد×دامنه	۶۱/۷۵۴	۴	۱۵/۴۳۸	۱/۰۵۶ns
خطا	۲۳۳/۹۰۷	۱۶	۱۴/۶۱۹	

** وجود اختلاف معنی‌دار در سطح اطمینان ۵٪؛ ns عدم وجود اختلاف معنی‌دار

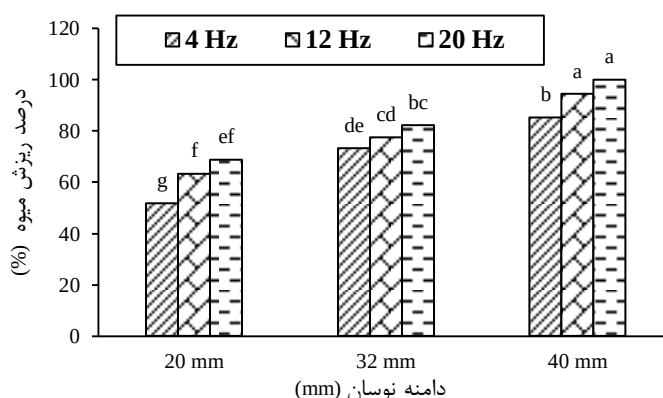
بر درصد ریزش سیب نداشته است. این موضوع برای
 تمامی دامنه‌ها و بسامدها صدق می‌کند. اما مشخص است
 که در بسامدهای ثابت با افزایش دامنه نوسان درصد
 ریزش میوه افزایش یافته است. این افزایش درصد ریزش
 نیز برای تمامی دامنه‌ها و بسامدهای نوسان درست است

مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون دانکن در سطح پنج
 درصد برای صفات بسامد و دامنه نوسان نشان داد. در
 دامنه‌های نوسان ثابت با افزایش بسامد از ۴ به ۱۲ هرتز
 درصد ریزش سیب به طور معنی‌داری افزایش دارد؛ در
 حالیکه افزایش بسامد از ۱۲ به ۲۰ هرتز تأثیر معنی‌داری

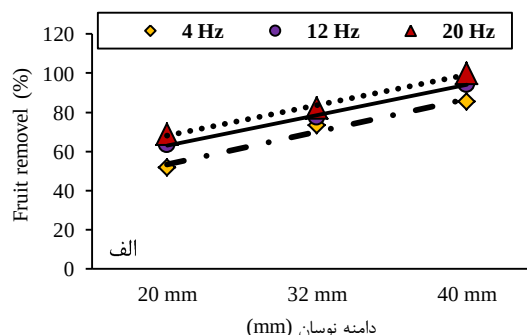
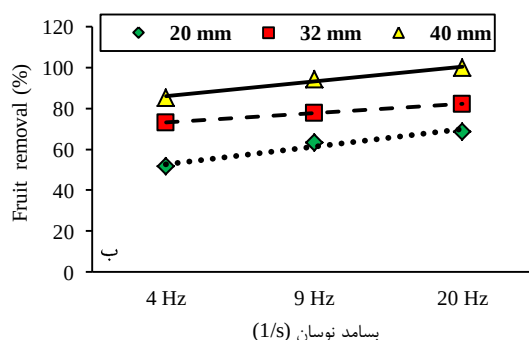
(شکل ۷).

داشتند که هرچند اثرگذاری دامنه و بسامد نوسان بر میزان درصد برداشت مسلم است، اما افزایش بسامد در مقایسه با افزایش دامنه، تأثیر یکسان و یا کمتری بر درصد برداشت دارد. اوبرین و همکاران (۱۹۸۳) نیز در بررسی‌های مختلف اعلام کردند، که درخت‌های دارای شاخه‌های نرم و بلند در مقایسه با درخت‌های با شاخه‌های سخت و کم‌انعطاف، برای برداشت مکانیکی محصول به بسامد نوسان کوچک‌تر و دامنه نوسان بزرگ‌تر احتیاج دارند. اما رضایی (۱۳۹۳) در برداشت زیتون با شاخه‌تکان پنوماتیک تفاوت چشم‌گیری بین خطوط برازش دامنه و بسامد نوسان گزارش نکرد؛ به عبارتی افزایش دامنه و بسامد نوسان به یک میزان روی درصد ریزش میوه زیتون تأثیر داشته است. اختلاف بین یافته‌های این پژوهش‌ها را می‌توان با توجه به میزان میرایی، مدل نوسانی شاخه‌های درخت زیتون و سیب، و نیز محل اتصال گیره شاخه‌تکان‌ها، همچنین تفاوت شاخه‌تکان به کار رفته در این دو پژوهش توجیه کرد.

بررسی شیب و فاصله بین نمودارهای خطوط برازش، نشان دهنده تأثیر بیشتر دامنه نوسان نسبت به بسامد نوسان بر ریزش میوه است (شکل ۸- الف و ب). این موضوع با تناسب نیروی دینامیکی تئوری وارد بر محل اتصال میوه به دم و یا دم به شاخه، با توان دوم بسامد و توان اول دامنه نوسان مغایرت دارد. می‌توان گفت که در زمان نوسان سیب‌های کوچک‌تری که روی شاخه قرار دارند به دلیل بالا بودن بسامد طبیعی برای جداسازی به بسامد بالاتری احتیاج دارند و اگر بسامد اعمالی از این مقدار کمتر باشد، سیب‌ها روی شاخه باقی نخواهند ماند نمی‌مانند. از طرف دیگر سیب‌های بزرگ‌تر به دلیل پایین بودن بسامد طبیعی به بسامد اعمالی کمتری احتیاج دارند و اگر بسامد اعمالی از این مقدار بالاتر باشد سیب‌های تحت نوسان بدون اینکه از شاخه جدا شوند به نوسان خود روی شاخه ادامه می‌دهند. بنابراین دامنه نوسان تأثیر بیشتری نسبت به بسامد نوسان بر ریزش سیب دارد. آدرین و فریدلی (۱۹۶۶) نیز در پژوهش‌های خود بیان

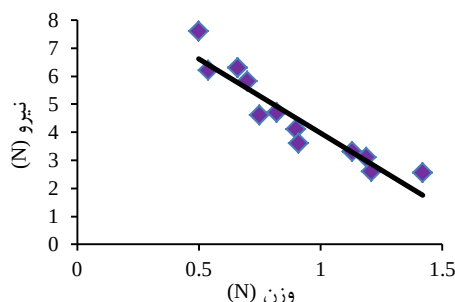


شکل ۷- تأثیر دامنه نوسان بر درصد میوه جدا شده در سطوح مختلف بسامد نوسان

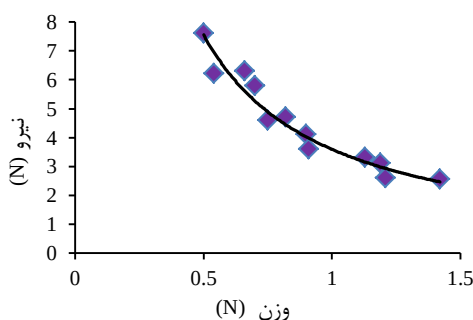


شکل ۸- الف- تأثیر دامنه بر درصد ریزش میوه در سه سطح بسامد نوسان و ب- تأثیر بسامد بر درصد ریزش میوه در سه سطح دامنه نوسان

معقول تر و پسندیده تر است. در هر دو نمودار روشن است که شیب خطوط منفی می باشد؛ به عبارت دیگر هر اندازه وزن سیب بیشتر باشد برای جدا کردن آن به نیروی کمتری احتیاج است. که با توجه به سنگین تر بودن سیب های رسیده نسبت به سیب های نارس به طور کامل منطقی است.



شکل ۹- رابطه خطی، نمودار همبستگی بین نیروی کششی لازم برای جداسازی میوه از شاخه با وزن میوه



شکل ۱۰- رابطه توانی، نمودار همبستگی بین نیروی کششی لازم برای جداسازی میوه از شاخه با وزن میوه

نموداری نیز برای بررسی رابطه بین میانگین قطر هندسی میوه و نیروی استاتیکی رسم شد. شکل ۱۱ بیانگر این همبستگی خطی است. با گذراندن نزدیک ترین خط رگرسیون از نقاط موجود در نمودار معادله خطی به صورت $F = -1.6d + 86.72$ به دست می آید. در این رابطه F نمایانگر نیروی استاتیکی لازم برای جدایش میوه بر حسب نیوتن و d بیانگر میانگین قطر هندسی میوه بر حسب میلی متر است. مقدار R^2 در این رابطه ۰/۷۸ است. همان گونه که مشخص است شیب این خط منفی است؛ به عبارت دیگر هر اندازه میانگین قطر هندسی سیب بزرگ تر باشد برای جدا کردن آن به نیروی کمتری احتیاج بوده که به طور کامل منطقی است، زیرا سیب های رسیده تر به طور حتم دارای قطر بزرگ تر و در نتیجه نیروی کمتری برای جدا شدن هستند. رضایی (۱۳۹۳) نیز در

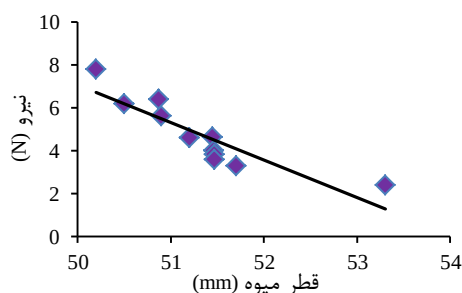
میوه های جدا شده از شاخه در اثر نوسان به دو دسته دم دار و بی دم تقسیم بندی می شوند. میوه هایی که همراه با دم جدا می شوند لازم است که بعد از برداشت، دم میوه با کارگر یا ماشین دیگری از میوه جدا شود؛ که این امر افزایش هزینه را به دنبال دارد. با جدا کردن میوه های دم دار و بی دم و مقایسه تعداد هر یک از آنها نسبت به تعداد کل، نتایج آزمایش شاهد بر این بود که حدود ۵۸ تا ۶۹/۶ درصد میوه ها دم دار و بقیه آنها بدون دم بودند. از این مطلب می توان چنین نتیجه گرفت که اتصال میوه به دم قوی تر از اتصال دم به شاخه است (جاکوبسن و همکاران، ۱۹۵۸ و آلکانترا و همکاران، ۱۹۸۸).

شکل ۹ بیانگر رابطه بین نیروی استاتیکی لازم برای جدایش میوه در برابر وزن میوه است. این نمودار رابطه بین نیروی استاتیکی و وزن را به صورت $F = 3.67W^{-1.09}$ بیان می کند. در این رابطه F و W به ترتیب بیانگر وزن میوه بر و نیروی استاتیکی لازم برای جدایش میوه بر حسب نیوتن است. مقدار R^2 در این رابطه ۰/۹۵ برآورد شد. بیان رابطه توانی بین وزن و نیروی استاتیکی لازم برای جدایش میوه یک روش معمول است که پژوهش گران دیگر نیز از این روش استفاده کرده اند، به طور مثال ابونجمی (۱۳۷۸) در پژوهش هایی که روی خرما انجام داد در نتایج خود رابطه بین نیروی استاتیکی لازم برای جدایش میوه و وزن میوه را به صورت یک رابطه توانی بیان کرده است. از طرفی دیگر پژوهش گرانی نیز بوده اند که رابطه بین وزن و نیروی استاتیکی لازم برای جدایش میوه را به صورت خطی بیان کرده اند. به طور مثال محسنی نیاری (۱۳۸۰) طی پژوهش هایی که بر روی لیموترش انجام داد، رابطه بین نیروی استاتیکی لازم جهت جدایش میوه و وزن آن را به صورت یک رابطه خطی بیان کرده است. گل پیرا (۱۳۷۰) از دیگر پژوهش گرانی بود که با انجام پژوهش های خود روی زیتون و برداشت این میوه رابطه بین نیروی استاتیکی لازم جهت جدایش میوه و وزن را به صورت خطی بیان کرد. شکل ۱۰ بیانگر رابطه خطی بین نیروی استاتیکی لازم برای جدایش میوه و وزن آن می باشد که این رابطه به صورت $F = -5.75W + 9.33$ است. مقدار R^2 در این رابطه ۰/۸۸ برآورد شد. با مقایسه دو معادله خطی و توانی چنین می توان بیان کرد که بیان رابطه نیروی استاتیکی لازم برای جدایش میوه به وزن آن به صورت یک رابطه توانی، به دلیل مقدار R^2 بالاتر،

نتیجه‌گیری

در این پژوهش مشخص شد که اگر به شاخه سیب بسامد ۱۲ هرتز در دامنه نوسان ۴۰ میلی‌متر در مدت زمان ۱۰ ثانیه اعمال شود، بیشترین مقدار میوه برداشت می‌گردد. همچنین مشخص شد که تأثیر افزایش دامنه نوسان بر درصد ریزش میوه سیب بیشتر از بسامد نوسان است، که این پدیده ناشی از خاصیت میرایی نوسان در طول شاخه، تشکیل گره نوسانی در نقاطی از شاخه در حال نوسان و تفاوت بسامد طبیعی سیب‌های مورد آزمایش دانست.

برداشت زیتون با شاخه‌تکان پنوماتیکی قابل حمل یک رابطه خطی بین نیروی استاتیکی و میانگین قطر هندسی میوه گزارش کرده است.



شکل ۱۱- نمودار همبستگی خطی بین نیروی کششی لازم برای جداسازی میوه از شاخه با اندازه میوه

منابع

۱. ابونجمی م. ۱۳۷۸. طراحی، ساخت و ارزیابی یک دستگاه نوسان دهنده به منظور بررسی اثرات فرم، بسامد و دامنه نوسان بر روی جداسازی میوه خرما. پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد مکانیک ماشین‌های کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز. ۱۱۱ ص.
۲. خورسندی کوهانستانی ف. ۱۳۸۹. بررسی امکان برداشت نوسانی انجیر سبز استهبان. پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد مکانیک ماشین‌های کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز. ۱۰۷ ص.
۳. رحیمی ح. ۱۳۸۱. بررسی تأثیر سطوح مختلف دامنه و بسامد نوسان بر جداسازی دانه یا خوشه پسته. پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد مکانیک ماشین‌های کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز. ۱۲۱ ص.
۴. رضایی ع. ۱۳۹۳. طراحی، ساخت و ارزیابی شاخه‌تکان پنوماتیک قابل حمل جهت برداشت زیتون. پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد مکانیک ماشین‌های کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز. ۱۴۳ ص.
۵. صفدری ع. قاسم‌زاده ح. ر. عبداله‌پور ش. و غفاری ح. ۱۳۸۹. طراحی، ساخت و ارزیابی یک شاخه‌تکان برای برداشت بادام. ششمین کنگره ملی مهندسی ماشین‌های کشاورزی و مکانیزاسیون. پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران. ۱۲ ص.
۶. گل‌پیرا ه. ۱۳۷۷. طراحی، ساخت و ارزیابی ماشین درخت‌تکان به منظور بررسی تأثیر دامنه و بسامد نوسان بر جداسازی میوه. پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد مکانیک ماشین‌های کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز. ۱۰۴ ص.
7. Fridley R. B. and Adrian P. A. 1966. Mechanical harvesting equipment for deciduous tree fruits. California. Agricultural Experiment Station Bulletin. 56 p.
8. Alcantara P. R. Barasona M. J. and Salas M. L. 1998. Multidirectional shaker of inertia mass activated by gears. International Conference on Agricultural Engineering. Oslo. 699-700.
9. Erdoğan D. Güner M. Dursun E. and Gezer İ. 2003. Mechanical harvesting of apricots. Biosystem Engineering. 85(1): 19-28.
10. Jacobsen L. S. and Ayer R. S. 1958. Engineering Vibration. McGraw-Hill, New York. 330 p.
11. Kececioğlu G. 1975. Ataletkuvvetli pasıcı ile zeytin hasadının imkanları üzerine bir araştırma [Research on olive harvesting possibilities with an inertia type shaker]. Department of Agricultural Machinery, Agricultural College Ege University. Izmir, Turkey.
12. Mohsenin N. N. 1986. Physical Properties of Plant and Animal Materials. Second edition. Gordon and Breach Science Publishers. New York, USA. 891 p.
13. Murphy G. 1950. Similitude in Engineering. Ronald Press Co Publishing. 302 p.
14. O'Brien M. Fridley R. B. and Cargill B. F. 1983. Principle and Practices for Harvesting and Handling Fruit and Nuts. AVI Publishing Co., INC. Westport, Connecticut. 157-188.
15. Parchomchuk P. and Cooke J. R. 1972. Vibratory harvesting: An experimental analysis of fruit-stem dynamics. Transactions of the ASAE. 15(4): 598-603.

16. Polat R. Gezer İ. Güner M. Dursun E. Erdoğan D. and Bilim H. C. 2007. Mechanical harvesting of pistachio nuts. Journal of FoodEngineering. 79: 1131-1135.
17. Porras P. A. Barasona M. G. Abenza C. J. Porras S. A. and Barasona V. M. L. 1996. Advances about the development of a new multi directional vibrator for olive trees. International Conference on Agricultural Engineering Madrid.
18. Sirvastava A. K. Georing G. E. and Rohrbach R. P. 1993. Engineering Principle of agricultural machines. ASAE, textbox No.6, ASAE. 601 p.
19. Thomson W. T. 1988. Theory of Vibration with Applications, 3rd Ed, New Jersey: Prentice Hall. 467 p.
20. Coppock G. E. 1974. Development of lime shaker for harvesting Florida citrus. Trans. ASAE. 17(2): 262-265.