

## بررسی پاسخ ارتعاشی شاخه های سیب رقم گلدستار به بارهای دینامیکی

امین یزدان منش<sup>۱\*</sup>، داود کلاتری<sup>۲</sup>، روزبه عبدی<sup>۳</sup>

۱ و ۳: دانشجوی کارشناسی ارشد مکانیک ماشین های کشاورزی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

۲: استادیار گروه مکانیک ماشین های کشاورزی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران

[aminyaz@yahoo.com](mailto:aminyaz@yahoo.com) ; [dkalantari2000@yahoo.com](mailto:dkalantari2000@yahoo.com)

### چکیده

در کار تحقیقاتی حاضر، بررسی ویژگی های ارتعاشی شاخه های فرعی سیب رقم گلدستار تحت بارهای دینامیکی ارائه شده است. آزمایش ها روی سه نمونه از شاخه های فرعی درخت سیب رقم گلدستار به طول ۲۰ سانتی متر و بار اعمالی ۰/۵۶ نیوتن انجام شد. از ارتعاش نمونه ها به صورت ۳۰ فریم در ثانیه فیلم برداری شد و پس از باز بینی فیلم، دامنه نوسان در هر فریم به دست آمد. سپس پارامترهای ارتعاشی محاسبه شده و در نهایت رابطه پاسخ ارتعاشی شاخه به بارهای دینامیکی بدست آمد. پس از مقایسه مدل به دست آمده و مدل تجربی در زمان های متفاوت از ارتعاش، مشخص شد که پاسخ ارتعاشی هر دو مورد بسیار به هم نزدیک است. به این ترتیب رابطه به دست آمده فوق برای سیب رقم گلدستار قابل استفاده می باشد. همچنین نمودار پاسخ جابجایی شاخه های سیب های آزمون شده نسبت به زمان نشان دهنده مستهلک شدن هر سه شاخه پس از ۳ ثانیه می باشد. میانگین رطوبت شاخه ها بر پایه وزن تر ۴۵/۶٪ محاسبه شد. همچنین مقدار تقریبی ضریب میرایی ( $\xi$ ) برای شاخه های درخت سیب رقم گلدستار پس از انجام آزمایش برابر با ۰/۰۷۴ بدست آمد که به عدد محاسبه شده تحقیقات قبلی سایر محققین بسیار نزدیک می باشد.

**کلمات کلیدی:** پاسخ ارتعاشی، تکاننده، خصوصیات ارتعاشی شاخه، سیب، ضریب میرایی.



## مقدمه

برداشت مکانیزه میوه امروزه در کشورهای توسعه یافته یکی از گسترده ترین روش‌های پایین آوردن قیمت نهایی محصول می باشد. در نتیجه یکی از راه‌های افزایش بهره‌وری، مکانیزه کردن عملیات‌های برداشت و فرآوری آن است [6-1]. استفاده از مکانیزاسیون در مرحله برداشت محصولات باغی به لحاظ اقتصادی و ایمنی مرقون به صرفه است. یکی از ماشین‌هایی که برای برداشت به صورت مکانیزه به کار می رود شیکر یا تکاننده است. شیکرها با ایجاد لرزش در تنه اصلی یا شاخه‌های فرعی باعث جدا شدن میوه‌های رسیده می شود. آگاهی از رفتار و خواص ارتعاشی درخت در راستای آنالیز ارتعاشی آن یکی از لوازم طراحی و بهینه سازی تکاننده‌های اینرسیایی می باشد. مشکل بزرگی که بر سر راه طراحان ماشین‌های برداشت وجود دارد، محدودیت زمانی برای ارزیابی دستگاه می باشد. از طرفی دستگاه باید ابتدا ساخته شده باشد تا بعد از ارزیابی پی به نقاط ضعف و مثبت آن برد. با شناخت بهتر رفتار ارتعاشی درخت، این موانع بر سر راه طراح برداشته شده و در محیطی شبیه سازی شده با محدودیت‌های اصلی طراحی خود آشنا می شود [3].

علی پور و همکاران (۱۳۸۷) با نرم افزار ANSYS مدلی المان محدود از درخت کامل زیتون را با این قابلیت طراحی کردند که امکان اعمال خواص فیزیکی و مکانیکی اجزاء مختلف درخت فراهم بود. آن‌ها بهترین بسامد جهت تکاندن درخت زیتون را ۱۷Hz بیان کردند، چون بیشترین تنش ماکزیمم میانگین را روی دمچه ایجاد می کرد. بسامد ۱۲/۵Hz بیشترین تغییر مکان را در تنه درخت به وجود می آورد [1].

آدریان و فریدلی در سال ۱۹۶۵، برای تجزیه و تحلیل ارتعاشاتی درختی که تحت تاثیر نیروی ارتعاشی یک تکاننده نامتعادل قرار داشت، فرضیاتی را در نظر گرفتند که عبارتند از: ۱- سیستم دارای یک درجه آزادی است. ۲- نیروی محرکه به صورت سینوسی تغییر میکند. ۳- نیروی بازگرداننده سیستم به حالت اولیه با تغییر مکان متناسب است. ۴- میرایی لزجی است (نیروی میرایی با سرعت متناسب است). ۵- ارتعاش پایدار رخ می دهد. ۶- انرژی توسط تکاننده ذخیره می شود. آنها در نهایت با استفاده از معادله دیفرانسیل ۱ که از قانون دون نیوتن پیروی می کند به تحلیل پرداختند.

$$-kx - c \frac{dx}{dt} - m \frac{d^2x}{dt^2} (x + r \cos \omega t) = (M_t - m) \frac{d^2x}{dt^2} \quad (1)$$

که در آن X تغییر مکان لحظه ای محل اتصال تکاننده از حالت تعادل (برحسب متر)، k ضریب فنریت شاخه (برحسب نیوتن بر متر)، c ضریب میرایی شاخه (برحسب نیوتن ثانیه بر متر)، r شعاع خارج از مرکزیت جرم نامتعادل (برحسب متر)، m جرم نامتعادل



تکاننده (برحسب کیلوگرم)،  $M_t$  جرم موثر کل (برحسب کیلوگرم)،  $t$  زمان (برحسب ثانیه) و  $\omega$  بسامد زاویه ای (رادیان بر ثانیه) می باشد [2].

یانگ و فردلی در سال ۱۹۷۵ مدل کامپیوتری سیستم کامل درخت را تشکیل دادند و برای مطالعه ارتعاش کل سیستم درخت از روش اجزاء محدود استفاده کردند. آنها درخت را ترکیبی از سه قسمت: الف) ساختمان درخت که شامل تنه درخت، شاخه اصلی، شاخه های فرعی و شاخه های آویزان، ب) میوه و دم میوه، ج) برگ ها و شاخه های کوچک، در نظر گرفته و خواص مکانیکی اجزاء درخت را الاستیک، همگن و ایزوتروپیک فرض کردند. معادله دینامیکی درخت مدل سازی شده به صورت رابطه ۲ بیان گردید.

$$[M]\{\ddot{q}\} + [c]\{\dot{q}\} + [k]\{q\} = \{f\} \quad (۲)$$

که در آن  $[M]$  ماتریس جرم سیستم،  $[c]$  ماتریس میرایی سیستم،  $[k]$  ماتریس سختی سیستم،  $\{q\}$  بردار تغییر مکان سیستم،  $\{\dot{q}\}$  بردار سرعت سیستم،  $\{\ddot{q}\}$  بردار شتاب سیستم، و  $\{F\}$  بردار نیروی سیستم است [2].

فریدلی و یانگ در تحقیق دیگری با استفاده از مدل اجزای محدود که قبلاً ایجاد کرده بودند، جدا شدن میوه به هنگام تکاندن درخت را روی درختان قهوه و زیتون بررسی کردند. در آنالیزهای انجام شده به منظور ساده کردن محاسبات، میرایی حذف گردیده و نیروهای ارتعاشی هارمونیک با بسامدهایی برابر بسامدهای طبیعی سیستم میوه-دم میوه به درخت اعمال گردید. نتایج آنالیز ارتعاشات درخت قهوه نشان داد که به هنگام اعمال نیروی ارتعاشی با بسامدی برابر بسامد طبیعی اول سیستم میوه-دم میوه (مد چرخشی)، در سیستم تشدید بوجود می آید و تنش های داخلی زیادی در ساقه و میوه ایجاد می گردد؛ که تنش ایجاد شده در محل اتصال دم میوه به شاخه بیشتر از تنش ایجاد شده در محل اتصال آن با میوه است. همچنین نتایج آنالیز ارتعاشات درخت زیتون نشان داد که به هنگام اعمال نیروی ارتعاشی با بسامدی برابر بسامد طبیعی دوم سیستم میوه-دم (مد چرخشی)، در سیستم تشدید بوجود می آید و تنش های داخلی زیادی در ساقه و میوه ایجاد می گردد؛ که تنش ایجاد شده در محل اتصال دم میوه به میوه بیشتر از تنش ایجاد شده در محل اتصال آن با شاخه است [3].

برای طراحی و ساخت هر تکاننده مناسب، ابتدا باید برخی از خواص بیوفیزیکی و بیومکانیکی محصول مورد نظر در اختیار باشد تا با استفاده از این خواص ابزارهای مناسب برای طراحی و ساخت دستگاه تهیه شده و مورد استفاده قرارگیرد. لذا در کار تحقیقاتی حاضر اقدام به مطالعه خواص ارتعاشی شاخه های فرعی سیب رقم گلدستار که در منطقه مازندران اهمیت بالایی دارد پرداخته خواهد شد.

## مواد و روش ها

برای دست یابی به خصوصیات ارتعاشی شاخه های برخی محصولات باغی آزمایش روی سه نمونه از سه درخت مختلف در فصل برداشت انجام شد. نمونه ها شاخه های فرعی از درخت سیب رقم گلدستار انتخاب شدند. برای انجام آزمایش انتهای هر شاخه به گیره متصل و به نوک شاخه بار متصل گردید. در قسمت عقب نوک شاخه یک خط کش مندرج عمودی نصب شد و پس از اعمال بار روی شاخه از ارتعاش آن فیلم گرفته شد. پس از بازبینی فیلم، جابجایی نوک شاخه در فریم های مختلف اندازه گیری و محاسبات مورد نیاز انجام شد.

با توجه به اینکه دوربین مورد نظر برای آزمایش دارای قابلیت تصویربرداری به صورت ۳۰ فریم در هر ثانیه می باشد، برای به دست آوردن زمان ارتعاش، میزان فریم های سپری شده با تقسیم بر ۳۰ بر حسب ثانیه محاسبه گردید. پس از بازبینی فیلم و اندازه گیری میزان جابجایی در فریم های مختلف، خصوصیات فیزیکی شاخه مانند طول، قطر و جرم برای نمونه های مورد آزمون بدست آمد. قطر شاخه به کمک کولیسی با دقت ۰/۰۱ میلی متر اندازه گیری شد و میانگین قطر شاخه ها بین ۵/۷۶ تا ۷/۹۷ میلی متر بدست آمد. برای تعیین ضریب سختی شاخه از تست خمش استفاده گردید. در این آزمون، شاخه به صورت تیر یکسر گیردار با یک جرم متمرکز در یک انتهای آن شبیه سازی می شود. لذا برای تعیین ضریب سختی ساقه ها آزمون خمش دیگری به صورت مدل تیر یک سر گیردار انجام شد، بطوریکه یک طرف نمونه مورد آزمایش به گیره ثابتی متصل گردیده و به طرف دیگر آن از طریق صفحه بارگذاری نیرو وارد شد [1-3].

همزمان داده های نیرو و جابجایی در کامپیوتر ثبت گردید. ضریب فنریت شاخه ها (K) از اندازه گیری شیب نیرو-جابجایی در محدوده الاستیک و از طریق رابطه ۳ بدست آمد.

$$K = \frac{df}{dl} \quad (3)$$

لازم به ذکر اینکه مقدار عددی ضریب فنریت (سفتی) برای تیر یک سر گیردار بصورت رابطه ۴ بیان می شود.

$$K = \frac{3EI}{l^3} \quad (4)$$

بطوریکه در این معادله، E مدول الاستیسیته بر حسب مگاپاسکال، I ممان اینرسی سطح مقطع شاخه بر حسب mm<sup>۴</sup> و l فاصله تکیه گاه تا محل وارد آوردن نیرو بر حسب متر می باشد.

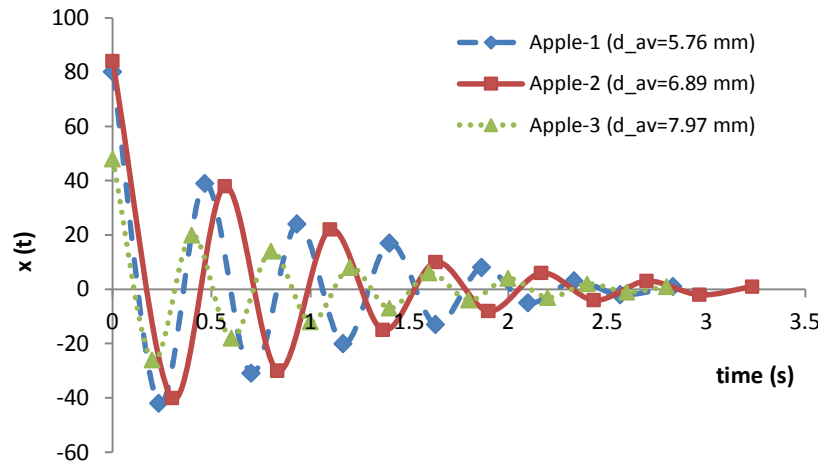
پس از انجام آزمایش های مربوط به خصوصیات مکانیکی، تعدادی از شاخه ها بریده شده و توزین شد. میانگین جرم شاخه های بریده شده برابر ۱۸/۶۹ گرم بدست آمد که در نتیجه با احتساب ضریب ۱/۳۵۴، جرم موثر شاخه برابر ۲۵/۳۰ گرم محاسبه شد.



لازم به ذکر است که مقداری از نمونه‌های مربوط به هر آزمایش با استفاده از ترازوی دیجیتالی با دقت ۰/۰۱ گرم وزن شدند، و در آون با دمای ۱۰۳ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت قرار داده شدند. سپس نمونه‌ها دوباره وزن شده و محتوای رطوبتی آن‌ها بر پایه وزن تر بدست آمد (ASAE, 2006). در نتیجه کلیه آزمایش‌های مربوط به سختی چوب در رطوبت ۴۵/۶ درصد (بر پایه تر) انجام گرفت که این رطوبت برابر با رطوبت شاخه‌های سیب در زمان برداشت محصول می‌باشد.

### بحث و نتایج:

با توجه به نتایج داده‌های آزمایش، نمودار پاسخ جابجایی شاخه‌های سیب‌های آزمون شده نسبت به زمان در شکل ۱ رسم شده است. با توجه به نتایج نشان داده شده در شکل ۱، برای هر سه شاخه پس از ۳ ثانیه ارتعاش هر سه شاخه مستهلک شده است.



شکل ۱: نمودار پاسخ جابجایی شاخه‌های سیب‌های آزمون شده نسبت به زمان.

با توجه به نتایج آزمون ارتعاشی شاخه‌ها، نسبت کاهش لگاریتمی دامنه نوسانات توسط رابطه ۵ محاسبه می‌گردد.

$$\delta = \frac{1}{m-1} \ln \frac{x_1}{x_m} \quad (5)$$

بطوریکه  $x_1$  دامنه اولین نوسان و  $x_m$  دامنه نوسان مرتبط به فریم  $m$  ام می‌باشد. پس از محاسبه نسبت کاهش لگاریتمی دامنه نوسان، نسبت میرایی شاخه‌ها از رابطه ۶ قابل محاسبه می‌باشد.



$$\varepsilon = \frac{\delta}{\sqrt{\delta^2 + (2\pi)^2}} \quad (۶)$$

برای محاسبه دوره تناوب میرایی حرکت ابتدا زمان مورد نیاز برای یک ارتعاش کامل به دست آمد. به این ترتیب فرکانس میرایی ( $\omega_d$ ) از رابطه ۷ محاسبه گردید.

$$\omega_d = \frac{2\pi}{\tau_d} \quad (۷)$$

که در آن  $\tau_d$  دوره تناوب حرکت میرایی می باشد. سپس با استفاده از رابطه ۸ فرکانس طبیعی شاخه محاسبه شد.

$$\omega_n = \frac{\omega_d}{\sqrt{1 - \varepsilon^2}} \quad (۸)$$

ضریب فنریته، ثابت میرایی، و ضریب میرایی را با استفاده از روابط ۹ تا ۱۱ به دست آمد [6-1].

$$k = m_{eq} \cdot \omega_n^2 \quad (۹)$$

$$c_c = 2m_{eq}\omega_n \quad (۱۰)$$

$$c = \varepsilon c_c \quad (۱۱)$$

که  $k$  ضریب فنریته،  $c_c$  ضریب میرایی،  $c$  ثابت میرایی شاخه و  $m_{eq}$  جرم متعادل است که از رابطه ۱۲ محاسبه می شود.

$$m_{eq} = M + 0.23m \quad (۱۲)$$

در رابطه ۱۲،  $m$  جرم شاخه مورد آزمایش و  $M$  جرم وزنه آویخته شده به نوک شاخه می باشد. محاسبه پارامترهای ارتعاشی ذکر شده در بالا، در جدول ۱ برای هر سه شاخه ارائه شده است.

جدول ۱: پارامترهای ارتعاشی سیب رقم گلدستار

m(eq)	$\delta$	$\varepsilon$	$\tau_d$	$\omega_d$	$\omega_n$	$C_c$	k	C
Kg	mm	بدون بعد	Sec	$Sec^{-1}$	$Sec^{-1}$	Ns/mm	N/mm	Ns/mm
0.06	0.485	0.077	0.46	13.45	13.49	1.64	11.06	0.12
0.06	0.546	0.086	0.53	11.77	11.82	1.46	8.64	0.12
0.06	0.356	0.056	0.40	15.70	15.72	1.95	15.36	0.11



در تحقیقات قبلی به نقل از فریدلی و لورنزن (۱۹۶۵)، مقدار تقریبی ضریب میرایی (ξ) برای شاخه‌های درخت ۰/۱ محاسبه شده است [7, 8]. با توجه به جدول ۱، مقدار متوسط ضریب میرایی درخت سیب رقم گلدستار برابر با ۰/۰۷۴ بدست آمد که به عدد محاسبه شده فریدلی و لورنزن نزدیک می باشد.

با محاسبه پارامترهای فوق در نهایت رابطه ۱۳ را برای حرکت شاخه تحت بارهای دینامیکی می توان ارائه نمود.

$$x(t) = e^{-\varepsilon\omega_n t} [x_0 \cos(\omega_d t + \varphi_0)] \quad (13)$$

در رابطه ۱۱ برای محاسبه  $x_0$  و  $\varphi_0$  از روابط ۱۴ تا ۱۷ استفاده می شود.

$$c'_1 = x_0 \quad (14)$$

$$c'_2 = \frac{\dot{x}_0 + \varepsilon\omega_n x_0}{\omega_d} \quad (15)$$

$$x_0 = \sqrt{c'^2_1 + c'^2_2} \quad (16)$$

$$\varphi_0 = \text{Arc tan} \left( \frac{c'_2}{c'_1} \right) \quad (17)$$

با استفاده از رابطه ۱۳، در هر ثانیه از حرکت، می توان میزان جابجایی و قرار گیری نوک شاخه را تحت بار اعمال شده محاسبه کرد. رابطه ارتعاشی برای شاخه های فرعی سیب بصورت رابطه ۱۸ بدست آمد. این رابطه می تواند در طراحی اولیه شیکرهای مکانیکی سیب مورد توجه و استفاده قرار گیرد.

$$x(t) = e^{-0.99t} [70.88 \cos(13.64t + 4.22)] \quad (18)$$

با مقایسه جابجایی شاخه با استفاده از مدل به دست آمده (رابطه ۱۸) و مدل تجربی که در جدول زیر آمده است، مشخص شد پاسخ های ارتعاشی به هم نزدیک بوده و به این ترتیب برای سیب رقم گلدستار رابطه ۱۸ قابل استفاده است.

جدول ۲: مقایسه جابجایی شاخه نسبت به زمان ارتعاش بین مدل تجربی و مدل به دست آمده در زمان های متفاوت برحسب

.mm

T (Sec)	۰/۵	۱	۱/۵	۲	۲/۵	۳
آزمون تجربی	۴۲	۲۴	۱۶	۷	۴	۲
مدل ریاضی	۴۲/۴	۲۵	۱۴/۶	۸/۳	۴/۶	۲/۶



با توجه به نتایج ارائه شده در جدول ۲، حداکثر خطای مدل ریاضی ارتعاشی شاخه های سیب رقم گلدستار در زمان ۱/۵ ثانیه و برابر با ۸/۷۵٪ بدست آمد.

## منابع

- ۱- اخلاقی، ح. ۱۳۷۹. تعیین نیروهای موثر در برداشت مکانیزه گردو. پایان نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه تهران.
- ۲- خزائی، ج. ۱۳۷۵. طراحی و ساخت دستگاه گردوشکن. پایان نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه تربیت مدرس. دانشکده کشاورزی. گروه مهندسی ماشین های کشاورزی.
- ۳- زابلسانی، م. ۱۳۸۲. تعیین مقاومت به ارتعاش میوه بادام و شبیه سازی دینامیکی درخت آن. رساله دکتری. دانشگاه تهران. پردیس کشاورزی و منابع طبیعی. گروه مهندسی ماشین های کشاورزی.
- ۴- سریواستاوا، آ. اصول طراحی ماشین های کشاورزی. ترجمه بهروزی لارم. مرکز انتشارات علمی دانشگاه آزاد. صفحات ۵۳۹-۵۴۳.
- ۵- علی پور، ج، مدرس مطلق، ا، رحمانی، ع. ۱۳۸۷. شبیه سازی و آنالیز رفتار ارتعاشی درخت زیتون با استفاده از نرم افزار ANSYS. پنجمین کنگره ملی ماشین های کشاورزی و مکانیزاسیون ایران، دانشگاه فردوسی مشهد.
- ۶- مبلی، ح. ۱۳۷۶. تعیین خواص بیومکانیکی در برداشت مکانیزه پسته. رساله دکتری. دانشگاه تربیت مدرس. دانشکده کشاورزی. گروه مهندسی ماشین های کشاورزی.
- 7- Basser, J.H., Drive, A., Donald, F. 1964. Tree shaker attachment for a tractor. United states patent. USA Patent number: 3,137,116.
- 8- Brown, G.K., D.L. Peterson, and J.H. Levin. 1983. Tree Fruit Harvesting Systems. O'Brien, Cargill, and Fridley (eds). pp. 75-87.
- 9- Erdogan, D. Guner, M. E. Dursun, II. Gezer. 2003. Mechanical Harvesting of Apricots. PM-Power and Machinery. Biosystems Engineering .85 (1), 19-28
- 10- FAO. Production year book. 2008. Vol . 55 TABLE 76
- 11- Mchugh, C.M. Webb, B.K. and Hood, C.E. 1975. Fruit Harvester. USA Patent number : 3,896,612
- 12- Watson, C. E., and E. Morzek. 1970. Limb shaker. USA Patent number: 3,491,520.





## Investigation of vibrational properties of branches Goldstar variety apple under dynamic loads

### Abstract

In the present research, investigation of the vibrational properties of tributaries Gldstar apple varieties under dynamic loads is presented. Tests on three branches of different apple trees, with length 20 cm, and load 0.56 was Newton. Samples of vibration 30 fps movie capture and after verification, the variation obtained in each frame. Then the vibratory parameters are calculated and the relationship between response to dynamic loads were obtained vibrational branches. After comparing the models obtained in different experimental models of vibration, it was found that the vibration response of both are very close together. The obtained relations above can be used for a variety of apple Gldstar. Displacement response curves with respect to time shows the test apple branches merge all three branches after 3 seconds. Average moisture content of the fresh weight of branches on 45.6 % respectively. The approximate amount of damping ( $\xi$ ) a branch of apple tree the test with 0.074, respectively, which is very close to the value calculated in previous studies of other researchers.

**Keyword:** Vibrational response, shaker, vibrational properties branches, apples, damping coefficient