

شبیه‌سازی و آنالیز رفتار ارتعاشی درخت زیتون با استفاده از نرم افزار ANSYS (۱۸۴)

جهانگیر علی‌پور^۱، اسعد مدرس مطلق^۲، علالدین رحمانی دیدار^۳

چکیده

استفاده از ماشین‌های برداشت مکانیکی میوه‌ها، در کشاورزی مکانیزه به طور روزافزونی اهمیت پیدا می‌کند. اکثر ماشین‌های برداشت میوه به شاخه یا تنه‌ی درخت نیروی ارتعاشی اعمال می‌کنند. آگاهی از خواص و رفتار ارتعاشی اجزاء مختلف درخت، یکی از فاکتورهای مهم در طراحی تکاننده‌های مناسب و یا اصلاح تکاننده‌های موجود می‌باشد. با شبیه‌سازی ارتعاشی درخت می‌توان این خواص و رفتارها را برای محصولات درختی گوناگون بدون نیاز به آزمایش‌های مزرعه‌ای متنوع بدست آورد. در این تحقیق برای شبیه‌سازی ارتعاشی درخت زیتون از مدل اجزاء محدود ایجاد شده توسط نرم‌افزار ANSYS بهره گرفته شده و آنالیز ارتعاشی هارمونیک روی این مدل که تحت تاثیر نیروی ارتعاشی حاصل از یک تکاننده‌ی تنه قرار داشت، انجام پذیرفته است. نتایج نشان می‌دهد که:

- ۱- ارتعاش تنه‌ی درخت در بسامد ۱۲/۵ هرتز، سبب بیشترین تغییر مکان گره اتصال تکاننده به تنه می‌شود.
- ۲- ارتعاش تنه‌ی درخت در بسامد ۱۷ هرتز (بسامد طبیعی دوم سیستم میوه-دم میوه)، سبب ایجاد بیشترین تنش ماکزیم میانگین در دم میوه‌ها می‌شود.
- ۳- به هنگام ارتعاش تنه‌ی درخت زیتون در بسامد‌های کاری تکاننده‌های متداول، احتمال جدا شدن میوه‌های زیتون بدون دم میوه بسیار زیاد می‌باشد.

کلیدواژه: تکاننده‌ی درخت، شبیه‌سازی ارتعاشی، روش اجزاء محدود، نرم‌افزار ANSYS

۱- کارشناس ارشد مکانیک ماشین‌های کشاورزی، مرکز تحقیقات مهندسی جهاد کشاورزی استان آذربایجان شرقی

پست الکترونیک: j_alipor@yahoo.com

۲- استادیار، گروه مهندسی مکانیک ماشین‌های کشاورزی، دانشگاه ارومیه

۳- استادیار، گروه مهندسی مکانیک ماشین‌های کشاورزی، دانشگاه ارومیه

مقدمه

برداشت میوه به صورت دستی اقدامی طاقت فرسا، خسته کننده و پرهزینه می باشد که برای رفع این مشکل ماشین های برداشت میوه با مکانیزمهای مختلف از اواسط قرن بیستم در کشورهای توسعه یافته مورد استفاده قرار گرفته اند. متداولترین و پرکاربردترین نوع ماشینهای برداشت میوه تکننده های اینرسی می باشند؛ که با تولید نیروی اینرسی و اعمال آن به تنه یا شاخه های درخت موجب ارتعاش اجزاء مختلف درخت و در نتیجه جدا شدن میوه ها از درخت می گردند. دو مکانیزم عمده برای ایجاد نیروی اینرسی در تکننده ها، مکانیزم لنگ-لغزنده و مکانیزم جرم های نامتعادل می باشد. از تکننده های اینرسی برای برداشت میوه هایی همچون بادام، پسته، زیتون و ... استفاده می شود که در سالهای اخیر تلاشهایی برای طراحی، ساخت و استفاده از این تکننده ها در ایران آغاز شده است.

آنالیز ارتعاشی اجزاء مختلف درخت و آگاهی از رفتار و خواص ارتعاشی آنها یکی از عوامل موثر در طراحی و بهینه سازی تکننده های اینرسی می باشد. با درک بهتر رفتار ارتعاشی درخت، می توان تکننده های موجود را برای کاربرد در برداشت سایر محصولات درختی بدون نیاز به آزمایش های وسیع و با حداقل تغییرات اصلاح کرد [۱۲].

آدریان^۱ و فریدلی^۲ در سال ۱۹۶۵، برای تجزیه و تحلیل ارتعاشات درختی که تحت تاثیر نیروی ارتعاشی یک تکننده ی جرم های نامتعادل قرار داشت، فرضیاتی را در نظر گرفتند که عبارتند از: (۱) سیستم دارای یک درجه ی آزادی است. (۲) نیروی محرکه به صورت سینوسی تغییر می کند. (۳) نیروی بازگرداننده ی 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 تکننده ذخیره می شود. آنها در نهایت با استفاده از معادله ی دیفرانسیل زیر که از قانون دوم نیوتن پیروی می کند به تحلیل پرداختند (رابطه شماره ۱).

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

که در آن:

x = تغییر مکان لحظه ای محل اتصال تکننده از حالت تعادل (بر حسب متر)، k = سختی فنری (بر حسب نیوتن بر متر)،
 c = ضریب میرایی لزجی (بر حسب نیوتن ثانیه بر متر)، r = شعاع خارج از مرکزیت جرم نامتعادل (بر حسب متر)، m = جرم نامتعادل تکننده (بر حسب کیلوگرم)، M_t = جرم موثر کل سیستم (بر حسب کیلوگرم)، t = زمان (بر حسب ثانیه)، ω = بسامد زاویه ای (رادیان بر ثانیه) است [۱].

یانگ^۳ و فریدلی^۴ در سال ۱۹۷۵ مدل کامپیوتری سیستم کامل درخت را تشکیل دادند (شکل ۱) و برای مطالعه ی 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 ایزو تروپیک فرض کردند. معادله ی دینامیکی درخت مدل سازی شده به صورت زیر بیان گردید (رابطه ی ۲):

$$[M]\{\ddot{q}\} + [c]\{\dot{q}\} + [k]\{q\} = \{f\} \quad (2)$$

که در آن:

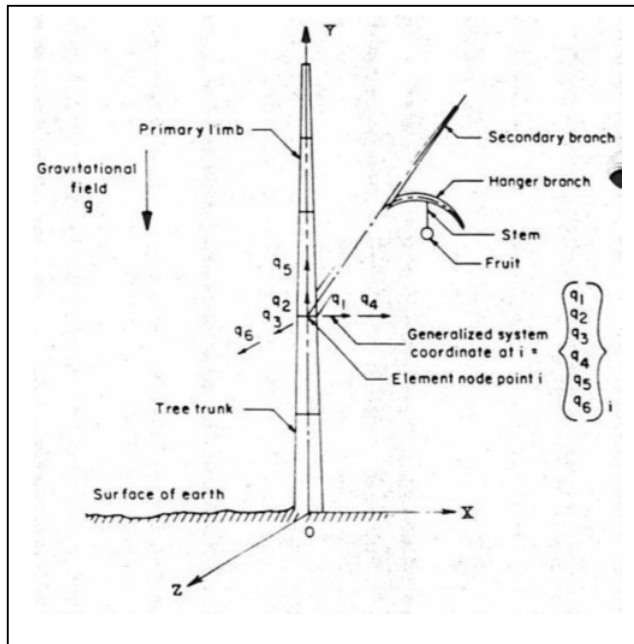
$[M]$ = ماتریس جرم سیستم، $[c]$ = ماتریس میرایی سیستم، $[k]$ = ماتریس سختی سیستم، $\{q\}$ = بردار تغییر مکان سیستم، $\{\dot{q}\}$ = بردار سرعت سیستم، $\{\ddot{q}\}$ = بردار شتاب سیستم، $\{F\}$ = بردار نیروی سیستم، است [۱۱].

1- Adrian

2- Fridley

3- Yung

4- Fridley



شکل ۱- مدل کامل درخت ایجاد شده توسط یانگ و فریدلی [۱۱]

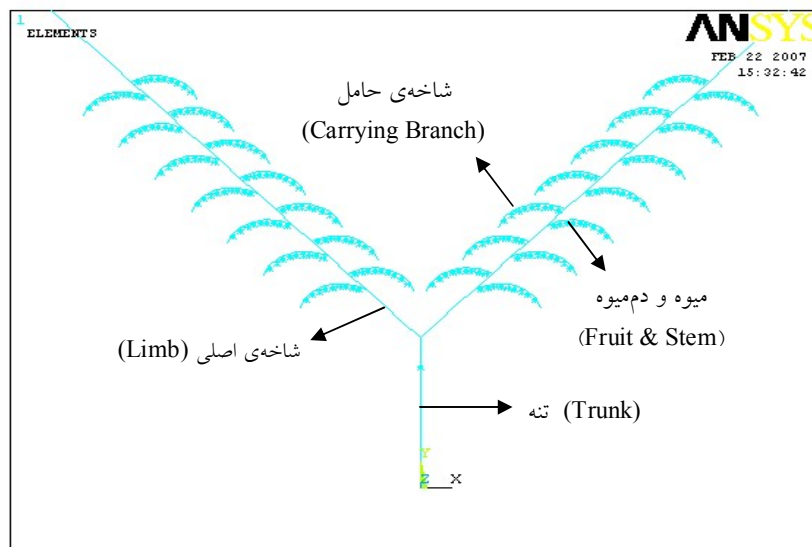
فریدلی و یانگ در تحقیق دیگری با استفاده از مدل اجزای محدودی که قبلا ایجاد کرده بودند، جدا شدن میوه به هنگام تکاندن درخت را روی میوه‌ی درختان قهوه و زیتون بررسی کردند. در آنالیزهای انجام شده به منظور ساده کردن محاسبات، میرایی حذف گردیده و نیروهای ارتعاشی هارمونیک با بسامدهایی برابر بسامدهای طبیعی سیستم 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 می‌آید و تنشهای داخلی زیادی در ساقه و میوه ایجاد می‌گردد؛ 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 میوه (مد چرخشی)، در سیستم تشدید بوجود می‌آید و تنشهای داخلی زیادی در ساقه و میوه ایجاد می‌گردد؛ که تنش ایجاد شده در محل اتصال دم میوه به میوه بیشتر از تنش ایجاد شده در محل اتصال آن با شاخه است [۵].

در این تحقیق، شبیه سازی ارتعاشی درخت با استفاده از روش اجزا محدود و بوسیله نرم افزار ANSYS؛ که توانایی مدل سازی و تحلیل سیستم‌های پیچیده را دارد، انجام گردیده است؛ که اهداف اصلی از انجام این شبیه سازی عبارتست از:
- ایجاد یک مدل المان محدود درخت کامل، بطوریکه امکان اعمال خواص فیزیکی و مکانیکی مختلف برای اجزاء آن فراهم باشد.
- انجام آنالیزهای ارتعاشی بر روی مدل درخت زیتون و آگاهی از رفتار ارتعاشی اجزا مختلف آن.
- تعیین بسامد مناسب تکاندن تنه‌ی درخت زیتون.

مواد و روشها

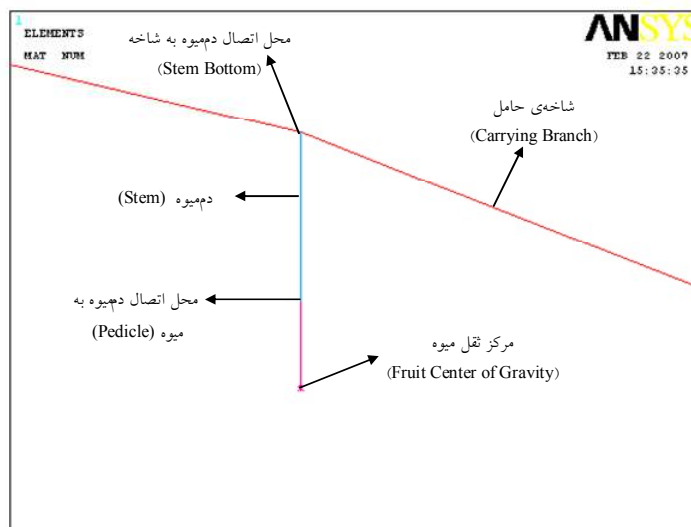
به منظور شبیه سازی رفتار ارتعاشی درخت، ابتدا کلیه‌ی اجزاء درخت با استفاده از امکانات نرم‌افزار ANSYS و به صورت مدلی با خواص هندسی و مکانیکی متغیر مدل سازی شده و سپس خواص هندسی و مکانیکی درخت زیتون در آن اعمال گردید. مدل درخت که در شکل ۲ نشان داده شده است، از یک تنه‌ی اصلی، دو عدد شاخه‌ی اصلی و تعداد محدودی شاخه‌ی فرعی (شاخه‌ی حامل) تشکیل شده است. در این مدل میوه‌ها همراه با دم میوه‌ها به قسمت‌های مختلف شاخه‌های فرعی متصل شده‌اند. مدل سازی و آنالیزهای ارتعاشی درخت با در نظر گرفتن فرض‌ها و محدودیتهایی انجام گرفت که عبارت‌اند از: (۱) درخت دارای رفتار الاستیک است. (۲) خواص مکانیکی اجزاء درخت همگن و ایزوتروپیک هستند. (۳) نیروی بازگرداننده‌ی سیستم به حالت اولیه با

تغییر مکان متناسب است (تغییر شکل الاستیک است). (۴) علی‌رغم استفاده از المانهای سه بعدی در مدل سازی، کلیه‌ی اجزاء درخت در صفحه‌ی ارتعاش قرار دارند. (۵) نیروی تکاننده به صورت سینوسی تغییر می‌کند. (۶) ارتعاش پایدار رخ می‌دهد (از ارتعاش گذرای لحظات اول تکاندن صرف‌نظر شده است). (۷) میرایی لزجی است (نیروی میرایی با سرعت متناسب است).



شکل ۲- مدل درخت کامل ایجاد شده در نرم‌افزار ANSYS

مدل سازی درخت و اجزاء آن با استفاده از روش مستقیم که در آن ابتدا گره‌های اجزاء مختلف ایجاد شده و سپس المانها بین گره‌ها و یا روی آنها تعریف می‌شوند، انجام پذیرفته است. برای مدل سازی اجزاء ساختمان درخت، شامل تنه و شاخه‌های اصلی و فرعی از المان Beam 44 استفاده گردید. همچنین برای مدل سازی هر دم میوه، دو المان Beam 44 مورد استفاده قرار گرفت؛ در حالیکه برای مدل سازی هر میوه از یک المان جرم mass 21 و یک المان Beam 44 استفاده گردید. المان Mass 21، جرم و ممان اینرسی‌های جرمی میوه را شبیه‌سازی می‌کند و استفاده از المان Beam 44، امکان در نظر گرفته شدن فاصله‌ی مرکز ثقل میوه تا محل اتصال میوه به دم میوه را در شبیه‌سازی فراهم می‌کند. بخش‌های مختلف مدل یک سیستم میوه- دم میوه در شکل ۳ نشان داده شده است.



شکل ۳- سیستم میوه- دم میوه‌ی ایجاد شده در نرم‌افزار ANSYS

اکثر خواص فیزیکی و مکانیکی درخت زیتون مورد مطالعه به غیر از میرایی براساس مقادیر ارائه شده توسط فریدلی و یانگ، به مدل درخت اعمال شده است. میرایی تاج درخت براساس نتایج تحقیقات انجام شده توسط هوگ^۱ و همکاران در سال ۱۹۷۰ تعیین شده و نسبت میرایی برابر ۰/۱۵ به خواص مواد کلیه‌ی المانهای تشکیل دهنده‌ی تاج درخت (شاخه‌های اصلی و فرعی، سیستم‌های میوه، دم میوه) در مدل اصلی اعمال گردید. میرایی تنه درخت براساس نتایج تحقیقات انجام شده توسط هروره^۲ و سیتکی^۳ در سال ۲۰۰۵، که در آن علاوه بر میرایی داخلی خود تنه، میرایی ناشی از سیستم ریشه نیز در نظر گرفته شده است، تعیین شده و نسبت میرایی برابر ۰/۱۷ به خواص مواد تشکیل دهنده‌ی المانهای تنه اعمال گردید. مقادیر پارامترهای فیزیکی و مکانیکی درخت زیتون شبیه سازی شده در جدول ۱ ارائه گردیده است.

برای شبیه سازی ارتعاشات درخت، تحت اثر نیروی ارتعاشی وارد بر تنه‌ی آن، از مشخصات یک تکاننده‌ی اینرسی با مکانیزم جرم-های نامتعادل استفاده گردید؛ که مشخصات این تکاننده در جدول ۲ ارائه گردیده است. آنالیزهای انجام شده در این تحقیق، براساس این فرض که تکاننده‌های اعمال کننده‌ی نیروی ارتعاشی توانایی تغییر بسامد کاری و همچنین شعاع خارج از مرکزیت را داشته باشند، انجام پذیرفته است. این توانایی امکان ایجاد دامنه‌ی نیروی ارتعاشی ثابت توسط تکاننده را در بسامدهای مختلف کاری فراهم می‌آورد.

آنالیز ارتعاشی مودال سیستم میوه- دم میوه

برای بدست آوردن بسامدهای طبیعی و شکل مدهای سیستم میوه- دم میوه، این مجموعه به طور مستقل مدلسازی گردیده و کلیه‌ی درجات آزادی گره ابتدای دم میوه (محل اتصال دم میوه با شاخه‌ی حامل) برابر صفر در نظر گرفته شد. همچنین به منظور اعمال اثر نیروی گرانش در آنالیز، ابتدا یک آنالیز استاتیکی تحت اثر نیروی گرانشی با فعال بودن گزینه‌ی پیش تنش انجام شده و سپس آنالیز مودال سیستم با فعال بودن گزینه‌ی پیش تنش انجام گردید.

¹-Hoag

²-Horvath

³-Sitkei

جدول ۱- پارامتر های فیزیکی و مکانیکی درخت زیتون

پارامتر	مقدار	واحد	پارامتر	مقدار	واحد
ارتفاع تنه درخت	۱	متر	مدول الاستیسیته شاخه های فرعی	$3/139 \times 10^9$	نیوتون بر متر مربع
مدول الاستیسیته تنه	11×10^9	نیوتون بر متر مربع	قطر ابتدای شاخه های فرعی	۰/۰۰۶	متر
نسبت میرایی تنه	۰/۱۷	-	قطر انتهای شاخه های فرعی	۰/۰۰۱۵	متر
قطر ابتدای تنه	۰/۲	متر	طول دم میوه	۰/۰۱۴	متر
قطر انتهای تنه	۰/۱۵	متر	قطر دم میوه	۰/۰۰۲	متر
طول شاخه های اصلی	۳	متر	مدول الاستیسیته دم میوه	$0/69 \times 10^6$	نیوتون بر متر مربع
مدول الاستیسیته شاخه های اصلی	$10/35 \times 10^9$	نیوتون بر متر مربع	جرم میوه	۰/۰۰۶۵	کیلو گرم
قطر ابتدای شاخه های اصلی	۰/۱	متر	جرم حجمی اجزاء درخت	۱۱۱۰	کیلو گرم بر متر مکعب
قطر انتهای شاخه های اصلی	۰/۰۲۵	متر	نسبت میرایی تاج درخت	۰/۱۵	-
طول شاخه های فرعی	۰/۵	متر	ضریب پواسون اجزاء درخت	۰/۳۴	-

جدول ۲، مشخصات تکانه‌ی شبیه‌سازی شده [۸]

نیروی مورد استفاده در آنالیز (نیوتون)	بسامد کاری (هرتز)	جرم نامتعادل (کیلوگرم)	شعاع خارج از مرکزیت (میلیمتر)	جرم تکانه (کیلوگرم)	نوع تکانه
۶۵۰۰۰	۱۰-۱۶	۶۴	۱۰۵	۶۸۰	تکانه‌ی تنه

آنالیز ارتعاشی هارمونیک درخت زیتون

به منظور انجام آنالیز ارتعاشی هارمونیک، پس از مدلسازی درخت، کلیه‌ی درجات آزادی گره ابتدای تنه (محل اتصال تنه با خاک) برابر صفر منظور گردید و برای اعمال اثر نیروی ناشی از وزن اجزاء درخت و تکانه در آنالیز، ابتدا یک آنالیز استاتیکی تحت اثر نیروی گرانشی با فعال بودن گزینه‌ی پیش‌تنش انجام شده و سپس آنالیز هارمونیک با استفاده از روش full انجام گردید. نیروی هارمونیک تکانه در این آنالیزها، در جهت عمود بر تنه و در ارتفاع ۸۰ سانتی متری از سطح زمین با بسامدهایی در محدوده‌ی ۴۰-۰ هرتز، به سیستم اعمال گردید.

نتایج و بحث

نتایج آنالیز ارتعاشی مودال مجموعه ی میوه- دم میوه

نتایج این آنالیز نشان داد که بسامدهای طبیعی کوچکتر از ۱۰۰ هرتز مجموعه ی میوه- دم میوه عبارتند از :

۱- مد حرکت پاندولی با بسامد $3/6$ هرتز

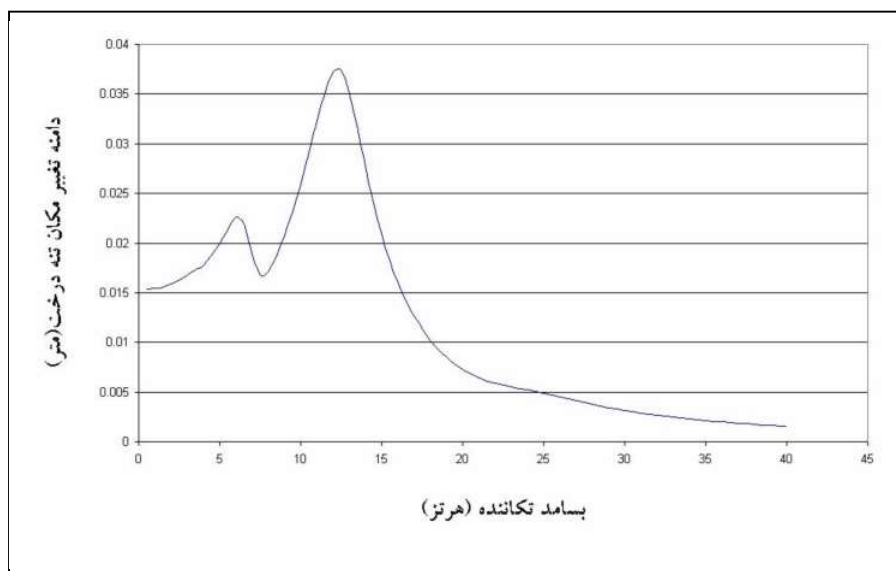
۲- مد حرکت چرخشی با بسامد $16/92$ هرتز

۳- مد حرکت طولی با بسامد $24/53$ هرتز

که این نتایج با بسامدها و شکل مدهای محاسبه شده توسط فریدلی و یانگ به طور قابل قبولی برابری می کنند.

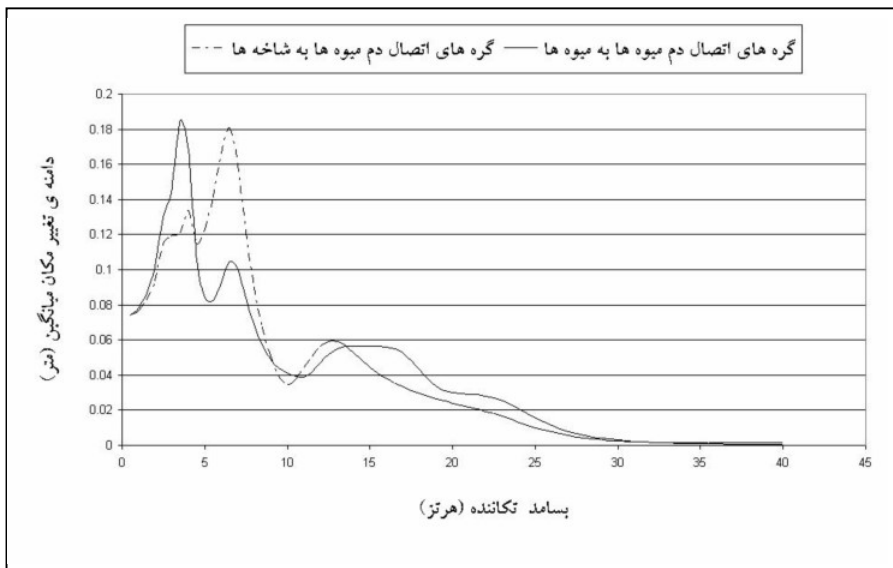
-نتایج آنالیز ارتعاشی هارمونیک درخت زیتون

نمودار دامنه ی تغییر مکان گره اتصال تکاننده به تنه ی درخت (شکل ۴) نشان می دهد؛ که بیشترین دامنه ی تغییر مکان تنه به هنگام ارتعاش در بسامد $12/5$ هرتز رخ می دهد.

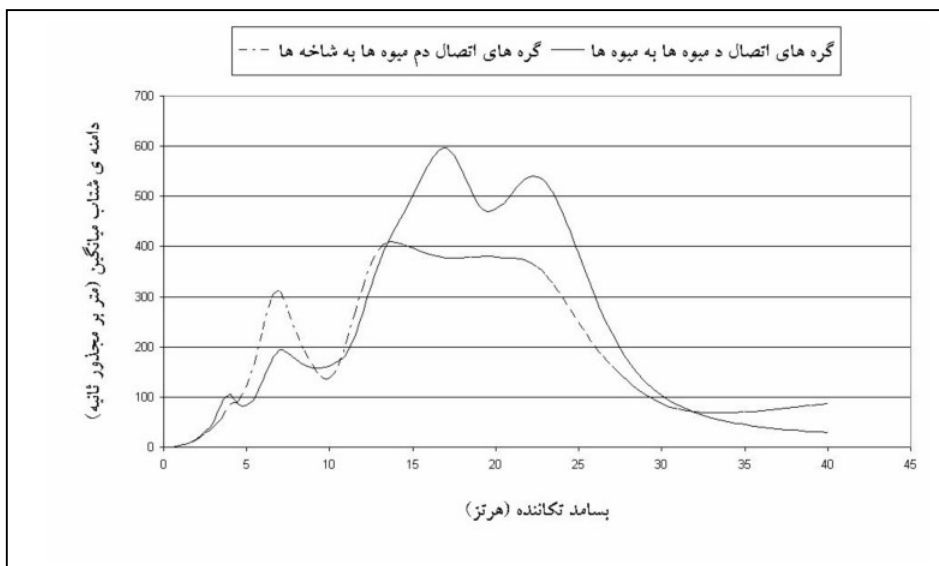


شکل ۴- نمودار دامنه ی تغییر مکان گره اتصال تکاننده به تنه ی درخت زیتون

نمودار دامنه ی تغییر مکان میانگین گره های اتصال دم میوه ها به شاخه های فرعی (شکل ۵) نشان می دهد، که بیشترین دامنه ی تغییر مکان به هنگام ارتعاش در بسامد $6/5$ هرتز رخ می دهد؛ در حالیکه بر اساس نمودار دامنه ی شتاب میانگین گره های اتصال دم میوه ها به شاخه های فرعی (شکل ۶)، بیشترین دامنه ی شتاب به هنگام ارتعاش در بسامد $13/5$ هرتز بدست می آید. نمودار دامنه ی تغییر مکان میانگین گره های اتصال دم میوه ها به میوه ها (شکل ۵) نشان می دهد، که بیشترین دامنه ی تغییر مکان به هنگام ارتعاش در بسامد $3/5$ هرتز (بسامد طبیعی اول سیستم میوه-دم میوه) رخ می دهد؛ در حالیکه بر اساس نمودار دامنه ی شتاب میانگین گره های اتصال دم میوه ها به میوه ها (شکل ۶)، بیشترین دامنه ی شتاب به هنگام ارتعاش در بسامد 17 هرتز (بسامد طبیعی دوم سیستم میوه-دم میوه) بدست می آید.



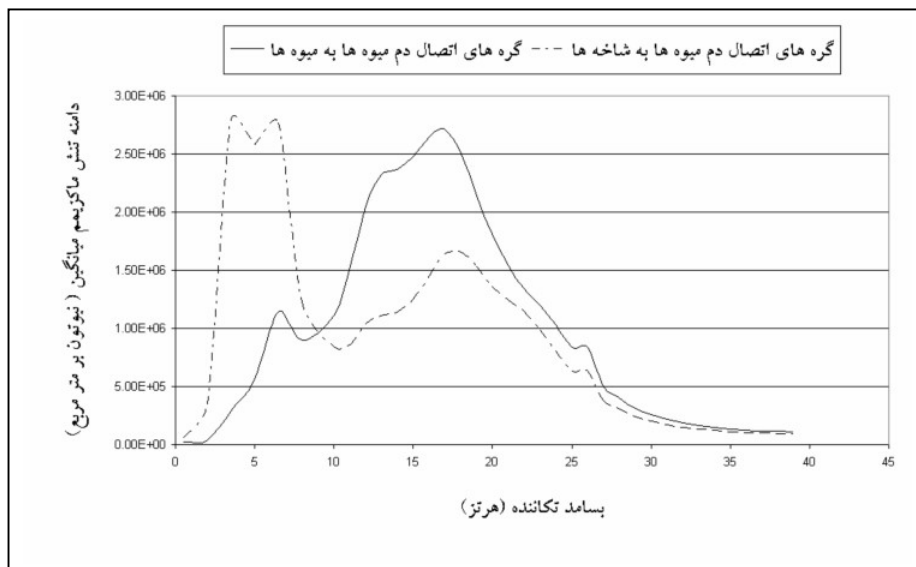
شکل ۵- نمودار دامنه‌ی تغییر مکان میانگین گره‌های اتصال دم میوه‌ها به شاخه‌ها و میوه‌های درخت زیتون



شکل ۶- نمودار دامنه‌ی شتاب میانگین گره‌های اتصال دم میوه‌ها به شاخه‌ها و میوه‌های درخت زیتون

نمودار دامنه‌ی تنش ماکزیمم میانگین گره‌های اتصال دم میوه‌ها به شاخه‌ها (شکل ۷)، نشان می‌دهد که بیشترین دامنه‌ی تنش ماکزیمم میانگین به هنگام ارتعاش در بسامد $3/5$ هرتز رخ می‌دهد ولی با توجه به اینکه این بسامد در محدوده‌ی بسامد کاری تکانده‌های تجاری متداول (۴۰-۱۰ هرتز)، قرار ندارد، به نظر می‌رسد که دیگر نقطه‌ی اوج نمودار یعنی بسامد ۱۸ هرتز، بسامد مناسبی برای ایجاد بیشترین مقدار تنش در محل اتصال دم میوه‌ها به شاخه‌ها باشد. نمودار دامنه‌ی تنش ماکزیمم میانگین

گره های اتصال دم میوه ها به میوه ها (شکل ۷)، نشان می دهد؛ که بیشترین دامنه ی تنش ماکزیمم میانگین به هنگام ارتعاش در بسامد ۱۷ هرتز (بسامد طبیعی دوم سیستم میوه-دم میوه) بدست می آید.



شکل ۷- نمودار دامنه ی تنش ماکزیمم میانگین گره های اتصال دم میوه ها به شاخه ها و میوه های درخت زیتون

بررسی نمودارهای ارائه شده در شکل ۷ نشان می دهد که به هنگام ارتعاش تنه ی درخت زیتون در بسامدهای کاری تکانه ها (۴۰-۱۰ هرتز)، مقدار تنش ایجاد شده در گره های اتصال دم میوه ها به میوه ها بیشتر از مقدار تنش ایجاد شده در گره های اتصال دم میوه ها به شاخه ها می باشد. فریدلی و یانگ نیز به نتایج مشابهی دست یافته بودند. بنابراین انتظار می رود که در صورت یکسان بودن مقاومت هر دو نقطه ی اتصال دم میوه، میوه ها بدون دم میوه از درخت جدا شوند.

بررسی نتایج ارائه شده در این بخش نشان می دهد که به هنگام ارتعاش تنه ی درخت زیتون در بسامد ۱۲/۵ هرتز، با وجود زیاد بودن تغییر مکان گره اتصال تکانه به تنه (در حدود ۳۷ میلی متر)، مقادیر شتاب و تنش میانگین ایجاد شده در دم میوه کمتر از مقادیر ماکزیمم آنها که در بسامدهای دیگر به دست آمده است، می باشد. از طرفی گمان می رود که زیاد بودن تغییر مکان تنه ی درخت، احتمال آسیب دیدگی تنه را افزایش دهد. بنابر این به نظر می رسد؛ بسامدی که سبب بیشترین تغییر مکان تنه می گردد، لزوماً بهینه ترین بسامد ارتعاشی نخواهد بود؛ این در حالیست که ارتعاش درخت زیتون مدل سازی شده در بسامد ۱۷ هرتز (بسامد طبیعی دوم سیستم میوه - دم میوه)، با تغییر مکان بسیار کمتر تنه ی درخت (در حدود ۱۲ میلی متر)، امکان ایجاد بیشترین مقادیر تنش ماکزیمم میانگین در دم میوه را فراهم می آورد. بدیهی است در صورت نیاز به افزایش یا کاهش تنش ایجاد شده در دم میوه، بهترین روش افزایش یا کاهش نیروی اعمالی از طرف تکانه بدون تغییر بسامد مذکور خواهد بود.

نتیجه گیری

شبیه سازی درخت زیتون نشان داد که ارتعاش تنه‌ی درخت در بسامد ۱۲/۵ هرتز سبب بیشترین تغییر مکان تنه‌ی درخت می‌شود؛ در حالیکه ارتعاش در بسامد ۱۷ هرتز (بسامد طبیعی دوم سیستم میوه- دم میوه)، سبب ایجاد بیشترین تنش ماکزیمم میانگین در دم میوه می‌گردد. بنابر این بسامد ۱۷ هرتز می‌تواند به عنوان بسامد بهینه‌ی ارتعاشی پیشنهاد گردد. همچنین نتایج آنالیز ارتعاشی درخت زیتون نشان داد که به هنگام ارتعاش تنه‌ی درخت در بسامدهای کاری تکانه‌های متداول، به دلیل زیاد بودن تنش در محل اتصال دم میوه به میوه، احتمال جدا شدن میوه‌های زیتون بدون دم میوه از درخت، بسیار زیاد می‌باشد.

مراجع

- 1- Adrian, P.A and Fridley, R.B. 1965. Dynamics and design criteria of inertia-type Tree shaker. Trans. of the ASAE. 8(1): 12-14.
- 2-Alipour, J. 2007, Simulate and Analyse of Vibratory Behavior of Tree Using ANSYS Software. M. Sc. Thesis. Faculty of Agriculture. Urmia University. Urmia. Iran. (In Farsi)
- 3- Anon. 1999. CIGR hand book of agricultural engineering. Vol. III: plant production engineering. Published by ASAE.632p.
- 4- Anon. ANSYS Release 9.0 Documentation.
- 5- Fridley, R.B and Yung, C. 1975. Computer analysis of fruit detachment during tree shaking. Trans of the ASAE. 18(3): 409-415.
- 6- Galili, N., Rubinstein, D. and Shdema, A. 1999. Adaptive shaker for mechanical harvesting of olives and citrus fruits.ASAE paper NO (997061) 13P.
- 7- Hoag, I. D., James, H. and R. B. Fridley. 1970. Effect of proportional, non proportional and nonlinear damping on dynamic response of tree limbs. Trans. of the ASAE. 13(5): 879-884.
- 8- Horvath, E and Sitkei, G. 2001. Energy consumption of selected tree shakers under different operational condition. J. Agric. Engng. 80(2) 191-199.
- 9- Horvath, E and Sitkei, G. 2005. Damping properties of plum tree shaken at their Trunk. Trans. of the ASAE. 48(1):19-25.
- 10- Whitney. J.D., Smerage, G.H. and Block, W.A. 1990. Dynamic analysis of a trunk shaker-post system. Trans. of ASAE. 33(4):1066-1070.
- 11-Yung, C. and Fridley, R.B. 1975 simulation of vibration of whole tree system using finite element. Trans. of ASAE 18(3): 475-481.
- 12-Zabolestani, M. 2004. Determination of almond fruits vibratory resistance and its tree dynamic simulation. Ph. D. Thesis. Faculty of Agriculture. Tehran University. Karaj. Iran. (In Farsi)