ششمین کنگره ملی مهندسی ماشین‌های کشاورزی و مکانیزاسیون
پردیس کشاورزی و منابع‌طبیعی دانشگاه تهران (کرج)
۲٤ و ۲۵ شهریور ۱۳۸۹

# ارزیابی غیرمخرب رسیدگی هندوانه بااستفاده از ال دی وی[1]

**روزبه عباس زاده[1]، علی رجبی پور[2]، حجت احمدی[2]، محمد محجوب[3]، مجتبی دلشاد[4]**

۱ ، ۲ ،۳ و ٤– به ترتیب دانشجوی دکتری و دانشیار گروه مهندسی ماشین‌های کشاورزی دانشکده مهندسی و فناوری دانشگاه تهران ، دانشیاردانشکده مهندسی مکانیک دانشگاه تهران و استادیار گروه علوم باغبانی دانشگاه تهران

Abaszadeh@ut.ac.ir

**چکیده**

قضاوت در مورد رسیدگی هندوانه با استفاده از خصوصیات ظاهری آن مثل اندازه یا رنگ بیرونی بسیار مشکل می باشدوروش های بکاررفته دارای مشکلات و محدودیت های مختلفی هستند. در این پژوهش روشی جدیدی با استفاده از فناوری LDV برای آزمون رسیدگی هندوانه که فاقد بسیاری از این محدودیت ها است ارائه شده است. به طوری که ابتدا نمونه با استفاده از یک دستگاه مولد ارتعاش در یک گستره از فرکانس ها تحریک می شود. ارتعاش اعمال شده به میوه توسط تکاننده به وسیله شتاب سنجی که در محل قرار گیری میوه نصب شده است اندازه گیری می شود بطور همزمان پاسخ ارتعاشی قسمت بالای میوه به وسیله LDV اندازه گرفته می شود. این دستگاه پرتو لیزر را به نقطه موردنظر در بالای نمونه می تاباند. پرتو بازتابانیده شده از آن نقطه، توسط LDV دریافت و در نهایت پاسخ ارتعاشی نمونه اندازه گیری می شود و سیگنال مرتبط با آن به رایانه ارسال می گردد. با استفاده از یک الگوریتم تبدیل فوریه سریع و با در نظرگیری نسبت سیگنال های پاسخ به سیگنال های تحریک، پاسخ فرکانسی میوه مورد پردازش و تحلیل قرار می گیرد و نتایج مورد نظر استخراج می شود. بعد از انجام آزمون های غیرمخرب، هندوانه ها مورد ارزیابی حسی قرار گرفتند. به این ترتیب که نمونه ها بر اساس شاخص های کیفی معمول یعنی شیرینی، طعم، رنگ و بافت و همچنین از لحاظ مقبولیت کلی(مجموع صفات مورد نظر مصرف کنندگان)در گستره ای از رسیدگی درجه بندی می شدند. نتایج بررسی پاسخ ارتعاشی نشان داد اختلاف معنی داری بین فرکانس تشدید دوم و شیرینی، طعم، رنگ و بافت در سطح ۱٪ وجود ندارد.ضمنا رابطه معنی داری بین این فرکانس و مقبولیت کلی و همچنین شاخص بدست آمده از رابطه $f_0^2.m^{2/3}$ و رنگ درسطح ۵٪ مشاهده شد. ارتباط معنی داری نیزدر سطح ۱٪ مابین تغییر فاز در فرکانس ۲۰۰ هرتز و نتایج آزمون حسی بدست آمد. نتایج اختلاف معنی داری را در سطح ۵٪ بین تغییر فاز در ۱۵۰ هرتز و طعم و مقبولیت کلی و همچنین بین تغییر فاز در ۲۵۰ هرتز و رنگ هندوانه ها نشان ندادند. این تحقیق امکان استفاده ازتکنیک مذکور را برای درجه بندی هندوانه ها بر مبنای رسیدگی آنها مشخص نمود.

**کلید واژه :** رسیدگی هندوانه، پاسخ ارتعاشی، LDV، فرکانس تشدید، تغییر فاز

[1] - Laser Doppler Vibrometery

**مقدمه**

هندوانه میوه ای پرطرفدار و دارای خواص و کاربردهای مختلفی است. براساس آمار منتشر شده در سال ۲۰۰۷ ایران در رتبه دوم کشورهای تولید کننده هندوانه از لحاظ ارزش، قرار گرفته است(آمارنامه فائو). کیفیت هندوانه در زمان مصرف آن، بستگی زیادی به میزان رسیدگی آن دارد. به طور معمول کیفیت بهینه میوه هندوانه در زمان خوردن مشتمل بر قند کافی، طعم مناسب، رنگ و بافت مطلوب می باشد(Stone, et al 1996). معمولاً برداشت هندوانه های یک مزرعه در یک یا دو مرتبه و صرفاً با توجه به وزن آنها، انجام می شود. این عمل که می تواند به خاطر کاهش هزینه های کارگری، افزایش سرعت و... باشد موجب می شود که در بازار مصرف شاهد هندوانه هایی با درجات مختلفی از رسیدگی باشیم. بسیاری از مصرف کنندگان، هندوانه های نارس، بی کیفیت یا فاسد را دور می ریزند در حالی که اگر بتوان این هندوانه ها را در گلوگاه ها (مثل میادین اصلی میوه و تره بار، بنادر و سایر پایانه ها) تشخیص داده و جدا نمود علاوه بر افزایش رضایت مصرف کنندگان، امکان برنامه ریزی مناسب برای استفاده از این ضایعات فراهم می آید.

قضاوت در مورد رسیدگی هندوانه با استفاده از خصوصیات بیرونی آن مثل اندازه یا رنگ بیرونی بسیار مشکل می باشد. رایج ترین روشی که به طور سنتی توسط مردم برای تعیین رسیدگی هندوانه بکار گرفته می شود، زدن ضربه به آن و قضاوت با استفاده از صدای ایجاد شده است علاوه بر خطای عوامل انسانی، این کار ممکن است فقط روشی مناسب برای افرادی که تجربه زیاد و قابل ملاحظه ای دارند، باشد(Stone, et al 1996).این موضوع باعث شد محققین استفاده از روش آکوستیک را برای تعیین رسیدگی هندوانه مورد بررسی قرار دهند.آنها صدای ناشی از ضربه را با میکروفن دریافت می کردند(Farabee, et al 1991. Diezma-Iglesias, et al 2004. Armstrong, et al 1997 . Yamamoto, et al 1980. Xiuqin, et al 2006 .Stone, et al 1996) . علاوه بر اینکه اکثر محققین نتایج اطمینان بخشی را در بررسی های خود گزارش نکرده اند، این روش دارای محدودیت ها و مشکلات فراوانی برای استفاده در درجه بندی صنعتی هندوانه ها می باشد. به عنوان نمونه محل وتعداد ضربه ها، فاصله میکروفون، زاویه برخورد و جنس ضربه زن و ... می توانند در نتایج آزمون تأثیرگذار باشند.. همچنین شرایط محیطی مانند درجه حرارت، فشار هوا و ... نیز اثرگذار هستند. روش دیگر تحریک ارتعاشی است که در آن پس از اعمال ضربه، ارتعاش ایجاد شده توسط شتاب سنج اندازه گرفته می شود. این روش نیز دارای محدودیت هایی است که مهمترین آن نیاز به چسباندن شتاب سنج به سطح هندوانه ها و در نتیجه غیرعملی بودن آن در صنعت است. همچنین جرم شتاب سنج نیز می تواند باعث ایجاد خطا شود(Muramatsu, et al 1997. Nourain, et al 2004) . در ضمن با زدن ضربه، انرژی تحریک در یک باند کوچک فرکانس و زمان مشخصی متمرکز می شود که این موضوع باعث ایجاد محدودیت در تعیین دقیق پارامتر ها می شود (Taniwaki, et al 2009).

**پیشینه پژوهش**

در سالهای اخیر محققین یک تکنیک ارتعاشی غیر مخرب جدید را با استفاده از فناوری LDV برای آزمون کیفیت برخی میوه ها مورد بررسی قرار داده اند. موراماتسوو همکارانش ارزیابی بافت و رسیدگی ارقامی از کیوی، هلو و

گلابی را مدنظر قرار دادند. آنها نمونه ها را، در مراحل مختلف رسیدگی، توسط موج سینوسی از فرکانس ۵ تا ۲۰۰۰ هرتز تحریک می کردند و ارتعاش در سطح بالایی میوه را به وسیله LDV اندازه گیری می نمودند. سپس تغییر فاز بین سیگنال ورودی و خروجی را با داده های بدست آمده از روش نیرو–جابجایی مقایسه کردند. ارتباط معنی داری بین این دو روش در فرکانس های ۱۲۰۰ یا ۱۶۰۰ هرتز بدست آمد. همچنین قابلیت این تکنیک برای آشکار سازی برخی از عیوب داخلی یکی از ارقام مرکبات مورد تأیید قرار گرفت(Muramatsu, et al 1999). در ضمن موراماتسو و همکاران او مقایسه ای نیز بین استفاده از شتاب سنج و LDV برای اندازه گیری سفتی ارقامی از سیب، گلابی، کیوی و مرکبات انجام دادند. آنها نتایج اندازه گیری های انجام شده با LDV را دقیق تر از نتایج شتاب سنج بیان نمودند( Muramatsu, et al 1997). همچنین موراماتسو و همکارانش با استفاده از روش مذکور، آزمایش هایی را برای تعیین تغییرات بافت میوه در طول رسیدگی، انجام دادند. این تکنیک برای خرمالو، سیب و کیوی مورد استفاده قرار گرفت. در گستره مشخصی از فرکانس ها، تغییر فاز به عنوان تابعی از رسیدگی به طور معنی داری تغییر می کرد. همچنین آنها دریافتندفرکانس تشدید برای همه میوه های تحت آزمایش تابعی از رسیدگی است(Muramatsu, et al 2000). تراساکی و همکارانش از LDV برای ارزیابی خواص ویسکوالاستیک کیوی در مراحل مختلف رسیدگی، استفاده کردند. آنها دو ضریب $S=f_{n=2}^2 m^{2/3}$ و $\eta=(f_2-f_1)/f_{n=2}$ را در نظر گرفتند که در آنها $f_{n=2}$ فرکانس دومین قله تشدید، m جرم میوه و $f_2$ و $f_1$ در ۳ دسی بل پایین تر از قله تشدید تعیین می شوند. رابطه بین S و سفتی کیوی از معنی داری بسیار بالایی برخوردار بود. η نیز تطابق خوبی با محتوای مواد جامد قابل حل نشان داد. نتایج نشان داد که مراحل اولیه نرم شدن میوه به طور مطلوب تری با ضریب S منعکس می شوند در حالی که η برای مراحل بعدی مناسب تر است (Terasaki, et al 2001)ساکورای و همکارانش آزمایش هایی را برای ارزیابی بافت خرمالو انجام دادند. آنها دریافتند داده های بدست آمده بوسیله LDV تطابق معنی داری را با سه متغیر نرمی، سختی و تردی برای خرمالوهایی که در رطوبت ٦٠ و ١٠٠٪ انبار شده اند، نشان می دهند. این سه متغیر به وسیله حواس انسان ارزیابی شده بودند( Sakurai, et al 2005) مورایاما و همکارانش تحقیقاتی را به وسیله LDV در مورد رسیدگی گلابی هایی که در زمان های مختلف برداشت و در دوره های متفاوت انبار می شوند، انجام دادند. نتایج نشان داد ضرایب همبستگی بین سفتی و شاخص الاستیسیته بطور معنی داری بالا و وابسته به تاریخ برداشت یا مدت زمان انبارداری بودند به جز برای گلابی هایی که به مدت ٤ ماه در دمای ۱ °C انبار شده بودند (Murayama, et al 2006) تانیواکی و همکاران تحقیقات جداگانه ای را به منظور بررسی روند تغییرات شاخص الاستیسیته ارقامی از خربزه، خرمالو و گلابی در ضمن دوره پس از برداشت انجام دادند. آنها شاخص الاستیسیته را از فرمول $f_2^2 m^{2/3}$ تعیین نمودند. $f_2$ که دومین فرکانس تشدید نمونه بود با استفاده از LDV بدست آمد. همچنین نمونه ها با استفاده از حواس افراد متخصص مورد ارزیابی قرار می گرفتند و رسیدگی میوه ها با در نظر گرفتن ویژگی هایی همچون ظاهر، شیرینی، سختی و ...(هر یک بطور جداگانه) ارزیابی می شدند. همچنین رسیدگی میوه از لحاظ کلی نیز مورد ارزیابی قرار می گرفت. همبستگی بالایی بین شاخص الاستیسیته و ویژگی های مذکور مشاهده شد. بنابراین این محققین توانستند زمان رسیدگی بهینه این میوه ها را، که مناسب ترین زمان برای خوردن

است، بر حسب شاخص الاستیسیته آنها تعیین نمایند(Taniwaki, et al 2008,2009)

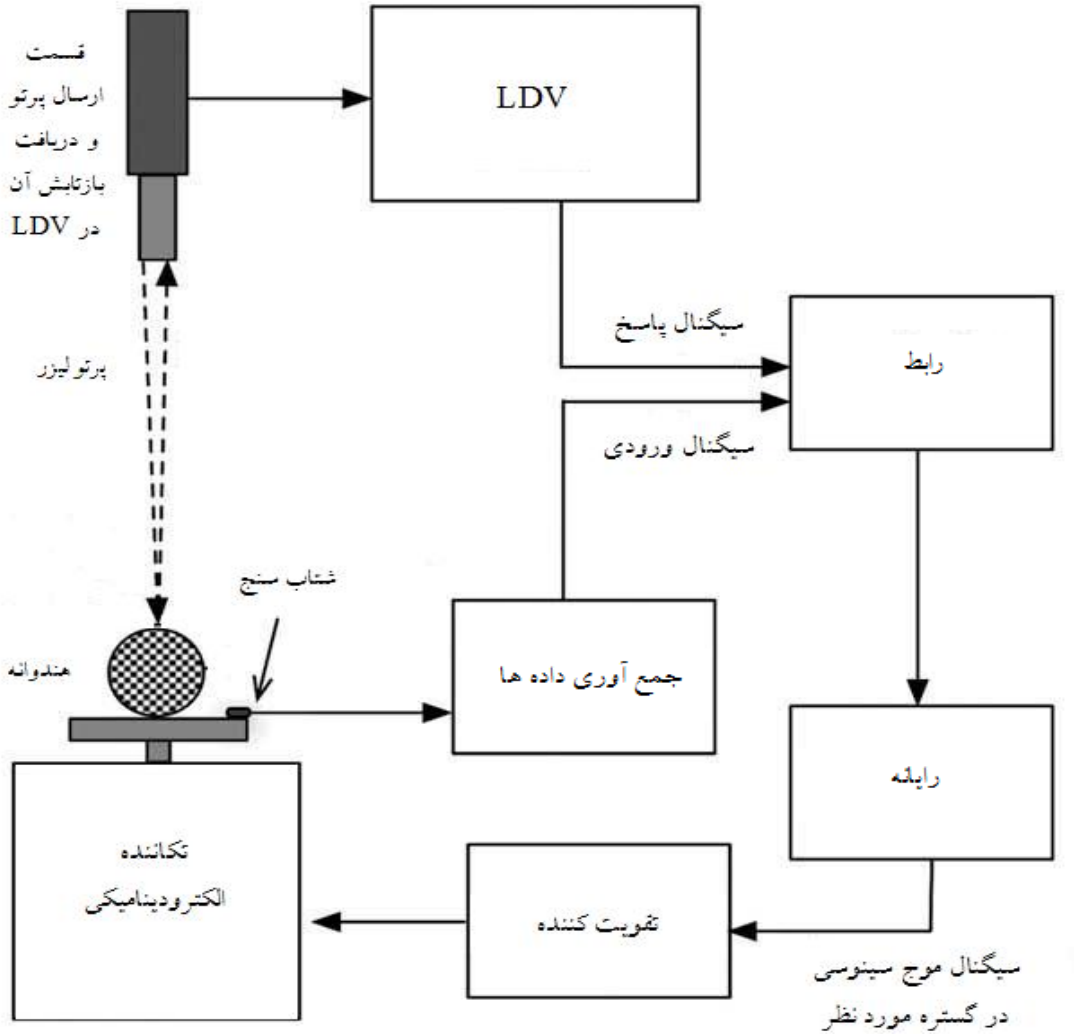
هدف اصلی از انجام این پژوهش، بررسی پاسخ ارتعاشی هندوانه با استفاده از LDV وارائه و توسعه روشی غیر مخرب بر مبنای آن به منظور تعیین رسیدگی هندوانه است.

**مواد و روش ها**

**اندازه گیری پاسخ ارتعاشی نمونه ها با استفاده از ال دی وی**

در این تحقیق رقم کریمسون سویت که از ارقام صادراتی کشور است، برای انجام آزمایش ها انتخاب شد.

در شکل۱ طرحواره ای از روش مورد نظر نشان داده شده است.




شکل ۱ – طرحواره ای از روش اندازه گیری پاسخ ارتعاشی میوه به وسیله LDV

در ابتدا هندوانه ها بر روی یک تکاننده قرار داده می شدند. لازم به ذکر است جایگاه ویژه ای برای استقرار مناسب هندوانه در زمان تحریک، طراحی و ساخته شد. علاوه بر این، تناسب با سیستم تحریک و عدم تأثیرپذیری از ساختار آن ،در طراحی و ساخت این جایگاه مدنظر قرار گرفت. به منظور بررسی تأثیر موقعیت قرارگیری هندوانه در

زمان آزمون، نمونه درحالت های مختلفی بر روی جایگاه قرار می گرفت. سپس نمونه به وسیله سیگنال هایی با موج سینوسی تحریک می شد. این سیگنال ها توسط نرم افزار تعبیه شده در رایانه، تولید و در یک گستره از فرکانس های صفر تا ۳۰۰ هرتز اعمال می شدند. همچنین سیگنال ها به وسیله یک آمپلی فایر نیز تقویت شدند. ارتعاش اعمال شده به میوه توسط تکاننده توسط شتاب سنجی که در محل قرار گیری میوه نصب شده بود اندازه گیری می شد و در نهایت به رایانه منتقل می گشت. بطور همزمان پاسخ ارتعاشی قسمت بالای میوه به وسیله LDV (مدل+ Ometron VH300 ساخت انگلیس) اندازه گرفته می شد. به طور خلاصه این دستگاه پرتو لیزر را به نقطه موردنظر در بالای نمونه می تاباند. پرتو بازتابانیده شده از آن نقطه، توسط LDV دریافت و در نهایت پاسخ ارتعاشی نمونه(با درنظرگیری تغییر سرعت ناشی از حرکت نمونه) اندازه گیری می شد و سیگنال مرتبط با آن به رایانه ارسال می گشت. با استفاده از یک الگوریتم تبدیل فوریه سریع و با در نظرگیری نسبت سیگنال های پاسخ به سیگنال های تحریک، پاسخ فرکانسی میوه مورد پردازش و تحلیل قرار گرفت و نتایج مورد نظر را استخراج شد.

فرکانس های تشدید، تغییر فاز بین سیگنال تحریک و سیگنال پاسخ میوه در فرکانس های مشخص(۵۰، ۱۰۰، ۱۵۰، ۲۰۰، ۲۵۰و ۳۰۰) از جمله نتایجی بودند که بطور مستقیم از آزمون با LDV بدست آمدند و در تحلیل های بعدی مورد استفاده قرار گرفتند. علاوه بر این دو شاخص $f_0^2.m$ و$f_0^2.m^{2/3}$ که در آنها $m$ جرم(kg) و $f_0$ فرکانس دوم تشدید(Hz) هستند نیز با استفاده از نتایج آزمون محاسبه و در تحلیل ها بکار رفتند. این دو شاخص بطور گسترده ای در روش های مکانیکی برای ارزیابی کیفیت محصولات کشاورزی بکاررفته است.ضریب میرایی نیز از رابطه $\eta=(f_2-f_1)/f_0$ بدست آمد که در آن $\eta$ ضریب میرایی ، $f_0$ فرکانس تشدید و $f_2$ و $f_1$ در ۳ دسی بل پایین تر از قله تشدید تعیین می شوند [ ۱۵] .

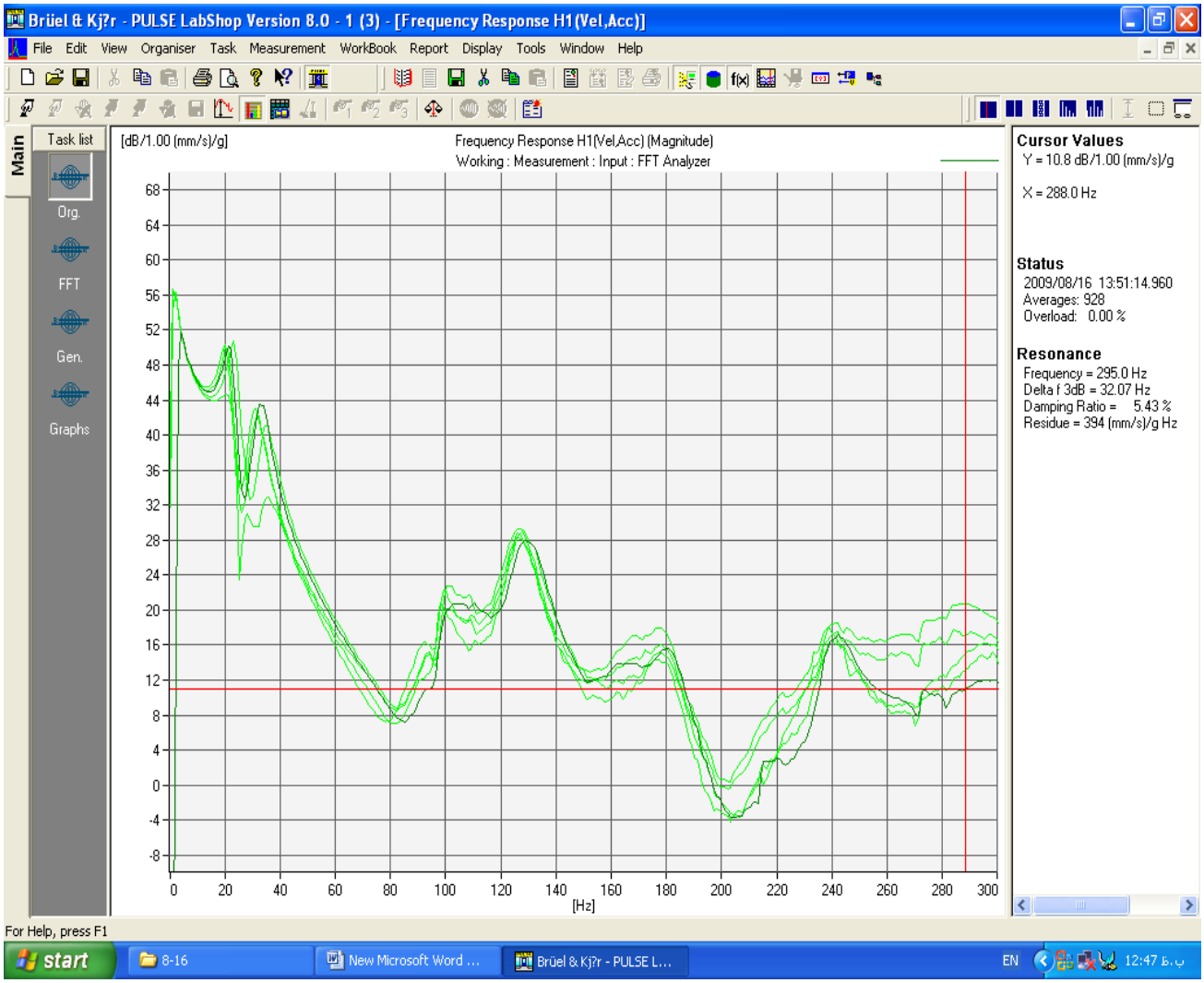
**آزمون حسی هندوانه ها**

بعد از انجام آزمون های غیرمخرب و پس از توزین نمونه ها با ترازوی دیجیتال، هندوانه ها توسط افراد(شامل ۱۷ نفر) مورد ارزیابی حسی قرار گرفتند. به این ترتیب که نمونه ها بر اساس شاخص های کیفی معمول یعنی شیرینی، طعم(به جز شیرینی)، رنگ و بافت و همچنین از لحاظ مقبولیت کلی(مجموع صفات مورد نظر مصرف کنندگان) در معرض قضاوت قرار می گرفتند و پس از ارزیابی، در گستره ای از رسیدگی درجه بندی می شدند. این گستره بین ۱ تا ۵ بود بطوری که ۱برای نمونه های نارس ، ۳ برای نمونه های رسیده و ۵ نشان دهنده رسیدگی بیش از حد می باشد.

در نهایت با استفاده از روش های آماری نسبت به سنجش رابطه بین نتایج بدست آمده از آزمون LDV و آزمون های حسی اقدام شد.

**نتایج**

در شکل۲ طیف های بدست آمده برای یکی از نمونه ها نشان داده شده است. همان طور که قبلا ذکر شد هرنمونه در موقعیت های مختلف تحت آزمون قرار گرفت.




شکل ۲ –نمونه ای از نتایج آزمون باLDV برای هندوانه

جدول ۱ مقدار P را برای بررسی ارتباط نتایج استخراج شده از قله تشدید دوم طیف ها و نتایج حاصل از ارزیابی حسی هندوانه ها نشان می دهد.

همان طور که ملاحظه می شود اختلاف معنی داری بین فرکانس تشدید دوم و شیرینی، طعم، رنگ و بافت در سطح ۱٪ وجود نداردو همچنین رابطه معنی داری بین این فرکانس و مقبولیت کلی درسطح ۵٪ مشاهده شد. شاخص بدست آمده از رابطه $f_0^2.m^{2/3}$ نیز ارتباط معنی داری را با رنگ در سطح ۵٪ نشان داد. اما مشخص شد در سطح ۱٪ اختلاف معنی داری بین نسبت میرایی و شاخص بدست آمده از رابطه $f_0^2.m$ با شاخص های کیفی وجود دارد.

جدول ۱. سنجش احتمال ارتباط نتایج مربوط به قله دوم و نتایج حاصل از ارزیابی حسی

| | $f_0$ | $f_0^2.m$ | $f_0^2.m^{2/3}$ | $\eta$ |
|---|---|---|---|---|
| شیرینی | 0.008 | 0.343 | 0.078 | 0.396 |
| طعم | 0.005 | 0.292 | 0.057 | 0.148 |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| بافت | 0.007 | 0.279 | 0.061 | 0.297 |
| رنگ | 0.002 | 0.089 | 0.022 | 0.41 |
| مقبولیت کلی | 0.012 | 0.443 | 0.112 | 0.357 |

در جدول ۲ مقدار P برای بررسی ارتباط تغییر فاز در فرکانس های مشخص و نتایج حاصل از آزمون حسی هندوانه ها نشان داده شده است.

جدول۲. سنجش احتمال ارتباط نتایج مربوط به قله دوم و نتایج حاصل از ارزیابی حسی

| | 50 | 100 | 150 | 200 | 250 | 300 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| شیرینی | 0.546 | 0.551 | 0.054 | 0.009 | 0.074 | 0.416 |
| طعم | 0.509 | 0.351 | 0.047 | 0.004 | 0.051 | 0.431 |
| بافت | 0.66 | 0.466 | 0.087 | 0.005 | 0.053 | 0.307 |
| رنگ | 0.138 | 0.138 | 0.051 | 0.006 | 0.041 | 0.158 |
| مقبولیت کلی | 0.606 | 0.754 | 0.048 | 0.01 | 0.067 | 0.405 |

نتایج نشان می دهد تغییر فاز در فرکانس های ۵۰، ۱۰۰ و ۳۰۰ هرتز ارتباط معنی داری با نتایج حاصل از ارزیابی حسی ندارند اما ارتباط معنی داری در سطح ۱٪ مابین تغییر فاز در فرکانس ۲۰۰ هرتز و نتایج آزمون حسی مشاهده شد.درضمن مشخص شد در سطح ۵٪ اختلاف معنی داری بین تغییر فاز در ۱۵۰ هرتز و طعم و مقبولیت کلی و همچنین بین تغییر فاز در ۲۵۰ هرتز و رنگ هندوانه ها وجود ندارد.

**بحث و نتیجه گیری**

همان طور که در شکل ۲ ملاحظه می شود قله تشدید دوم (۱۲۸Hz) دارای تمایز بهتر و همچنین تیزی کمتری در نوک است که این امر می تواند باعث افزایش دقت شود. علاوه بر آن تحلیل های تئوری نیز در استفاده بیشتر محققین از آن مؤثر بوده است.

فرکانس تشدید دوم وشاخص $f_0^2.m^{2/3}$ می توانند در تشخیص رسیدگی هندوانه مورد استفاده قرار گیرند ولی به نظر نمی رسد نسبت میرایی و شاخص $f_0^2.m$ برای این امر مناسب باشند.

نتایج نشان داد تغییر فاز در فرکانس ۲۰۰ هرتز رابطه مطلوبی با شاخص های کیفی دارد که با توجه به شکل ۲ این امر می تواند به خاطر وجود دره در این قسمت طیف باشد. این موضوع لزوم بررسی سایر نقاط مشابه را آشکار می کند.

درمقایسه با سایرروش ها این تکنیک دقیق تر و فاقد محدودیت ها و مشکلات روش آکوستیک است و به علت پخش انرژی تحریک در یک گستره وسیع فرکانس و یک دوره زمانی و عدم وجود جرم اضافی، دقیق تر از روش تحریک ارتعاشی مذکور است.

همچنین در این روش پاسخ ارتعاشی هندوانه با استفاده از LDV بدون تماس مستقیم، دقیق و بهنگام آشکار می شود که این موضوع مزیت قابل توجهی برای درجه بندی و جداسازی تجاری می باشد.

به طور کلی این تحقیق امکان استفاده از روش مذکور را برای تعیین رسیدگی هندوانه مشخص نمود. بهتر است در ادامه این پژوهش مطالعات بیشتر برای ارائه مدل های کالیبراسیون به منظور انعکاس ارتباط پارامترهای ارتعاشی هندوانه با کیفیت آن انجام شود و به جای استفاده از فقط چند پارامتر ارتعاشی، کل طیف با روش هایی مثل روش حداقل مربعات نسبی[1] (PLS) و روش شبکه عصبی مورد بررسی قرار گیرد تا درنهایت بتوان مناسب ترین زمان مصرف هندوانه (گستره بهینه رسیدگی) را بر حسب نتایج آزمون LDV پیش بینی نمود.

**منابع**


1-Armstrong, P.R., Stone, M.L., Brusewitz, G.H. (1997) Nondestructive acoustic and compression measurements of watermelon for internal damage detection Applied Engineering in Agriculture, 13 (5), pp. 641-645.

2-Diezma-Iglesias B, Ruiz-Altisent M, Barreiro P. Detection of internal quality in seedless watermelon by acoustic impulse response. Biosystems Engineering.Volume 88, Issue 2, June 2004, Pages 221-230

3-faostat.fao.org/desktopdefault.aspx?pageid=339&lang=en&country=102(2010-05-02)

4-Farabee M; Stone M L (1991). Determination of watermelon maturity with sonic impulse testing. ASAE Paper No. 91-3013

5-Muramatsu, N., Sakurai, N.,Wada, N., Yamamoto, R., Tanaka, K., Asakura, T., Ishikawa-Takano, Y., Nevins, D.J., 1997b. Critical comparison of an accelerometer and a laser Doppler vibrometer for measuring fruit firmness. HorTechnology 7,434–438.

6-Muramatsu N.1; Sakurai N.; Wada N.; Yamamoto R.; Takahara T.; Ogata T.; Tanaka K.; Asakura T.; Ishikawa-Takano Y.; Nevins D.J.(1999) Evaluation of fruit tissue texture and internal disorders by laser Doppler detection, Postharvest Biology and Technology, Volume 15, Number 1, January 1999 , pp. 83-88(6)

7-Muramatsu, N., Sakurai, N., Wada, N., Yamamoto, R., Tanaka, K., Asakura, T., Ishikawa-Takano, Y., Nevins, D.J. (2000) Remote sensing of fruit textural changes with a laser Doppler vibrometer Journal of the American Society for Horticultural Science Volume 125, Issue 1, January 2000, Pages 120-127

8-Murayama, H., Konno, I., Terasaki, S., Yamamoto, R., Sakurai, N., 2006.Nondestructive method for measuring fruit ripening of ‘La France’ pears using a laser Doppler vibrometer. J. Jpn. Soc. Hortic. Sci. 75, 79–84.


[1] - Partial Least Square

9-Nourain, J., Ying, Y., Wang, J., Rao, X.(2004) Determination of acoustic vibration in watermelon by finite element modeling. Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering Volume 5587, 2004, Article number 24, Pages 213-223

10-Sakurai, N., Iwatani, S., Terasaki, S., Yamamoto, R., 2005. Evaluation of 'Fuyu' persimmon texture by a new parameter, "Sharpness index". J. Jpn. Soc. Hortic. Sci. 74, 150–158.

11-Stone M L; Armstrong P R, Zhang X; Brusewitz G H; Chen D D (1996). Watermelon maturity determination in the field using acoustic impulse impedance techniques. Transactions of the ASAE, 39**,** 2325–2330

12-Taniwaki, M., Hanada, T., & Sakurai, N. (2009). Postharvest quality evaluation of''Fuyu" and ''Taishuu" persimmons using a nondestructive vibrational method and an acoustic vibration technique. Postharvest Biology and Technology. Volume 51, Issue 1, January 2009, Pages 80-85

13-Taniwaki, M., Hanada, T.,Tohro, M. & Sakurai, N.(In press) Non-destructive determination of the optimum eating ripeness of pears and their texture measurements using acoustical vibration techniques. Postharvest Biol. Technol(2008).

14-Taniwaki, M., Takahashi, M. & Sakurai, N.(In press) Determination of optimum ripeness for edibility of postharvest melons using nondestructive vibration. Food Research International (2008)

15-Terasaki, S., Wada, N., Sakurai, N., Muramatsu, N., Yamamoto, R., & Nevins, D. J. (2001). Nondestructive measurement of kiwifruit ripeness using a laser Doppler vibrometer. Transactions of the ASAE, 44, 81–87.

16-Xiuqin, R., Yibin, Y.(2006) Inspection of watermelon maturity by testing transmitting velocity of acoustic wave . AMA, Agricultural Mechanization in Asia, Africa and Latin America Volume 37, Issue 4, September 2006, Pages 41-45

17-Yamamoto, H., Iwamoto, M., Haginuma, S. (1980) Acoustic impulse response method for measuring natural frequency of intact fruits and preliminary application s to internal quality evaluation of apples and watermelon J. Texture Studies, 11, pp. 117-136.

# Nondestructive evaluation of watermelon ripeness using LDV

**Abstract**

It is very difficult to judge ripeness by outward characteristics such as size or external color and used methods include different limitations. In this study a modern method for ripeness watermelon test using LDV have been presented which hasn't some limitations. At first the sample is excited by a vibration generator in a frequency range. Applied vibration is measured using accelerometer which is attached in resting place of fruit. Synchronically vibrational response of fruit upside is detected by LDV. This machine irradiates laser beam to selected point in sample upside. Reflected beam from that point received by LDV and finally the vibrational response is measured and related signal is sent to computer. By means of a fast Fourier transform algorithm and considering response signal to excitation signal ratio, frequency response of fruit are analyzed and the desired results are extracted. After nondestructive tests, watermelons were sensory evaluated. So the samples were graded in a range of ripeness based on the usual indicators of quality: sweetness, taste (except sweetness), color and texture and also in terms of overall acceptability (total desired traits consumers). Vibration response study results showed a significant difference between the second resonance frequency and sweetness, taste, color and texture in 1% level does not exist. Meanwhile, a significant relationship between this frequency and overall acceptability, as well as related indicators obtained from $f_0^2.m^{2/3}$ and color was observed in level of 5%.Significant relationship between phase shift in 200Hz and sensory test results were obtained in 5% level.In 5% level, significant difference between phase shift in 150Hz and taste and overall acceptability as well as between phase shift in 250Hz and color wasn't shown. This study appeared utilization of mentioned technique for watermelons grading based on their ripeness.

**Keywords:** Watermelon ripeness, Vibrational response, LDV, Resonance frequency, Phase shift.