کیفیت‌سنجی میوه گلابی رقم شاه‌میوه به صورت غیر مخرب با استفاده از امواج فراصوتی

رسول معمار دستجردی[1*]، سعید مینایی[2] و محمد هادی خوش تقاضا[3]
۱- استادیار گروه ماشین‌های کشاورزی، دانشگاه منابع طبیعی و کشاورزی رامین، *rasoul.memar@gmail.com*
۲ و۳- دانشیار، گروه مهندسی مکانیک ماشین های کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس

چکیده:

تکنیک‌های فراصوتی به آن سرعتی که برای بررسی کیفیت مواد غذایی، به کار گرفته شده، در تعیین کیفیت میوه‌ها گسترش نیافته است. در این تحقیق برای کیفیت سنجی میوه‌ی گلابی رقم شاه میوه از سامانه فراصوتی استفاده شد که بخش‌های اصلی آن عبارت بودند از تپ‌ساز/ تپ‌گیر، تراگذرهای فرستنده و گیرنده دارای هورن نمایی (۷۵ *kHz*)، برنامه‌ی کنترل، رایانه، و سامانه‌ی جمع‌آوری داده‌ها. برای کیفیت‌سنجی، از میان ویژگی‌های مکانیکی (آزمون‌های مخرب)، شاخص سفتی، میزان مواد جامد محلول، میزان اسیدیته، ضریب کشسانی، *pH* و درصد ماده‌ی خشک و از میان شاخص‌های فراصوتی (آزمون غیرمخرب)، سرعت امواج - فراصوت و ضریب تضعیف مورد بررسی قرار گرفتند. سطوح کیفی گلابی عبارت بودند از نارس، رسیده و بیش‌رس. نتایج حاصل از آزمایش‌ها نشان داد که اثر سطوح کیفی نمونه بر تمام عوامل وابسته به غیر از میزان مواد جامد محلول و میزان ماده خشک در سطح ۰/۰۱ معنی‌دار است و سفتی بافت به عنوان مهم‌ترین شاخص در تعیین بلوغ تجاری میوه گلابی رقم شاه‌میوه انتخاب شد. همچنین مشخص شد که اثر سطوح کیفی بر سرعت امواج فراصوت و ضریب تضعیف در سطح ۰/۰۱ معنی‌دار است. بررسی رابطه-ی بین سفتی و ضریب کشسانی با خواص فراصوتی نشان داد که، رابطه‌ای خطی بین سفتی و سرعت امواج فراصوت وجود دارد و با افزایش میزان سفتی میوه، سرعت امواج افزایش می‌یابد($R^2 = 0.81$). همچنین مشاهده شد که رابطه‌ای منفی بین سفتی و ضریب تضعیف وجود دارد ($R^2 = 0.895$) و با افزایش میزان رسیدگی یعنی کاهش سفتی، ضریب تضعیف به صورت نمایی افزایش می‌یابد. رابطه‌ی نمایی خوبی بین ضریب کشسانی با سرعت امواج فراصوت ($R^2 = 0.86$) و ضریب تضعیف ($R^2 = 0.835$) به دست آمد.

واژه‌های کلیدی: کیفیت سنجی، آزمون غیرمخرب، فراصوت، سفتی، میوه‌ی گلابی

مقدمه

تعاریف گسترده و متفاوتی از کیفیت محصولات کشاورزی ارائه می‌شود، اما به طور خلاصه می‌توان آن را "میزان تناسب و خوب بودن یک محصول برای استفاده خاص" تعریف کرد *(Abbott, 1999)*. تعریف کیفیت، بیشتر از دیدگاه گروه مصرف‌کنندگان و تولیدکنندگان مد نظر است *(Shewfelt and Bruckner, 2000)*. برای مثال در میوه سیب خصوصیات کیفی اولیه به نظر می‌رسد ظاهر و طعم میوه باشد ولی خصوصیاتی نظیر تردی، سفتی، داشتن لک و غیره نیز تعیین کننده کیفیت سیب هستند. خرده فروش‌ها به خوبی میوه ی باکیفیت را از میوه کیفیتی با اصطلاحاتی نظیر بی‌آب، نرم و ... تشخیص می‌دهند ولی استفاده از روش‌های قابل اطمینان برای ارزیابی کیفی میوه، ضروری به نظر می‌رسد. روش‌های مختلفی برای اندازه‌گیری خواص کیفی به صورت غیرمخرب پیشنهاد شده است که بیشتر آن‌ها روش‌های صوتی هستند *(Duprat et al., 1997; Schotte et al., 1999)*. با وجود این که روش صوتی روشی غیرمخرب، سریع و دقیق است ولی در عمل زیاد مورد استفاده قرار نگرفته است. روش دیگر، روش فراصوتی است که به طور وسیعی در تحقیقات پزشکی و مواد مهندسی مورد استفاده قرار گرفته است اما تحقیقات راجع به استفاده از آن برای تعیین رسیدگی و کیفیت محصولات کشاورزی بسیار اندک می‌باشد *(Hedric et al., 2005)*. این آزمون به عنوان روشی غیرمخرب برای اندازه‌گیری خصوصیات مکانیکی مواد بسیار مفید است. از مزایای مهم این روش علاوه بر مزایای روش صوتی، خودکار بودن و قابلیت استفاده به صورت روی‌خط را می‌توان نام برد.

اخیراً پژوهش در مورد استفاده از تکنیک فراصوت برای تعیین پارامترهای مختلف کیفی محصولات آغاز شده است. تجهیزات و روش‌های مختلفی برای اندازه‌گیری برخی تغییرات فیزیکی–شیمیایی، بیوشیمیایی و مکانیکی محصولات با استفاده از آزمون‌های غیر مخرب فراصوت، در مراحل قبل و پس از برداشت، گسترش یافته است. این مراحل شامل، رشد و رسیدگی (انبه و آووکادو) *(Mizrach et al., 1999; Gaete-Garreton et al., 2005; Flitsanov et al., 2000)* انبارداری در شرایط مختلف (آووکادو) *(Mizrach et al., 2000)* و عمر قفسه‌ای[1] (سیب و آووکادو) *(Mizrach and Flitsanov, 1999; Kim et al., 2009)* است. در اکثر آزمون‌های غیر مخرب فراصوتی از روش آزمون عبوری استفاده شده است. در تحقیقاتی که اخیراً در ایران انجام گرفت، ذکی و همکاران خصوصیات فراصوتی میوه‌ی انار را روی نمونه‌های پوست میوه انجام دادند. نتایج آنان نشان داد که در میان شاخص‌های فراصوت، برای اجرای آزمایش کیفیت سنجی انار، بهترین شاخص، سرعت امواج عبوری است (ذکی و همکاران، ۱۳۸۸).

صادرات میوه‌ی گلابی نیز مانند بسیاری از محصولات کشاورزی هنوز با مشکلات متعددی در زمینه مسائل مربوط به حمل و نقل محصول، مقررات دست و پاگیر اداری، آشنا نبودن باغداران و صادرکنندگان با روش‌های علمی مواجه است که می‌تواند صدمات زیادی به صادرات این محصول وارد کند. کیفیت میوه گلابی با اندازه‌گیری ویژگی‌های بیرونی و درونی تعیین می‌گردد.

---

[1] *Shelf life*

ویژگی‌های بیرونی نظیر شکل، جرم و رنگ را می‌توان به آسانی اندازه گرفت ولی ویژگی‌های درونی مانند سفتی، میزان مواد جامد محلول و میران اسیدیته و تعیین وجود یا عدم وجود معایب درونی، امری مشکل است.

در این پژوهش، بررسی کیفیت گلابی رقم شاه‌میوه در سه حالت نارس، رسیده و بیش رس به صورت غیرمخرب (میوه کامل و دست نخورده) با استفاده از امواج فراصوتی و آزمون های مخرب مورد بررسی قرار گرفت. هدف کلی از این پژوهش بررسی رابطه-ی بین ویژگی‌های مکانیکی میوه (سفتی، ضریب کشسانی، میزان مواد جامد محلول، *pH*، میزان ماده خشک و میزان اسیدیته)، و ویژگی‌های فراصوتی (ضریب تضعیف و سرعت امواج فراصوت) و اندازه‌گیری ویژگی‌های مکانیکی با استفاده از امواج فراصوتی بدون تخریب میوه می‌باشد.

مواد و روش‌ها

این تحقیق به منظور بررسی اثر سفتی، *pH*، اسیدیته، میزان مواد جامد محلول، میزان ماده‌ی خشک و خواص فراصوتی (سرعت امواج فراصوت وضریب تضعیف) بر میزان رسیدگی میوه گلابی رقم شامیوه در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تیمار (نارس، رسیده و بیش رس) در ۱۰ تکرار انجام گرفت. گلابی‌ها بر اساس ویژگی‌های ظاهری مشابه (رنگ، نرمی و داشتن لک) با اندازه تقریباً یکسان از بازار تهیه و فوراً به آزمایشگاه سیستم‌های اندازه‌گیری و کنترل دانشگاه تربیت مدرس انتقال داده شد. سپس هر نمونه از دو موقعیت تحت آزمون غیر مخرب فراصوتی قرار گرفت و سرعت امواج فراصوتی و ضریب تضعیف آن استخراج شد. بعد از آزمون غیر مخرب، آزمون بارگذاری مخرب نفوذی انجام گرفت و میزان سفتی هر کدام از میوه‌ها تعیین شد. با توجه به اینکه زاویه ، فاصله و نیروی اعمالی روی اندازه‌گیری سرعت و ضریب تضعیف مؤثرند، این ۳ پارامتر در طول آزمایش‌ها ثابت انتخاب شد. آزمایش‌های انجام شده به منظور ارزیابی سامانه فراصوتی ساخته شده، نشان داد که بهترین زاویه بین کاوشگرها ۶۰ درجه، فاصله بین آن‌ها ۱۰ میلی‌متر و حداکثر میزان نیرو برای جلوگیری از فرو رفتن نوک کاوشگر در میوه ۴ نیوتن است.

اندازه‌گیری ویژگی‌های فراصوتی

در آزمون‌های فراصوتی، سرعت صوت در مواد مختلف معمولاً بر حسب ms^{-1} بیان می‌شود. امواج فراصوتی در جامدات و مایعات با سرعت نسبتاً بالایی منتشر می‌گردند ولی در گازها سرعت انتشار آن‌ها کم و میزان استهلاکشان بسیار زیاد است و تقریباً بلافاصله پس از ورود به یک محیط گازی از بین می‌روند *(Hedrick et al., 2005; Schmerr,1998)*. سرعت انتشار امواج فراصوتی طولی به صورت تئوری (C_L) مطابق با رابطه‌ی ۱ برابر است با:

$$C_L = \sqrt{\frac{E}{\rho}.\frac{1}{1-\mu^2}} \qquad (۱)$$

که در رابطهٔ فوق C_L، سرعت انتشار امواج فراصوتی طولی (ms^{-1})، E، ضریب کشسانی[1] (MPa)، ρ، چگالی (kgm^{-3}) و μ، ضریب پواسون[2] می‌باشند (Schmerr,1998).

سامانه‌ی اندازه‌گیری فراصوتی ساخته شده برای این تحقیق، مطابق شکل ۱ شامل: مولد سیگنال (تپ ساز)، دریافت‌کننده‌ی سیگنال (تپ گیر)، تراگذرها با متمرکزکننده‌ی نمایی[3]، نوسان‌نما (اسیلوسکوپ)، رایانه، نگهدارنده‌ی میوه و نیروسنج می‌باشد. از یک جفت تراگذر ۷۵ kHz به عنوان فرستنده و گیرنده امواج فراصوتی استفاده شد. برای تمرکز انرژی امواج فراصوتی در جلوی تراگذرها یک جفت متمرکزکننده‌ی نمایی قرار داده شد که امکان انجام آزمون غیر مخرب را فراهم می‌ساخت(معمار و همکاران، ۱۳۹۱).

برای اندازه‌گیری سرعت امواج فراصوت مطابق با رابطه‌ی ۲ نیاز به استخراج زمان پرواز (TOF)[4] می‌باشد. زمان پرواز، زمانی است که پالس فراصوت از یک طرف میوه به طرف دیگر آن انتقال می‌یابد و برای محاسبه آن از نمودار شکل موج در حوزه زمان استفاده می‌گردد.

v (۲)

که در آن، v،سرعت امواج فراصوت در میوه (ms^{-1})، L، ضخامت میوه (mm) و TOF، زمان پرواز امواج فراصوت (ms^{-1}) می‌باشند(Rose, 2004).

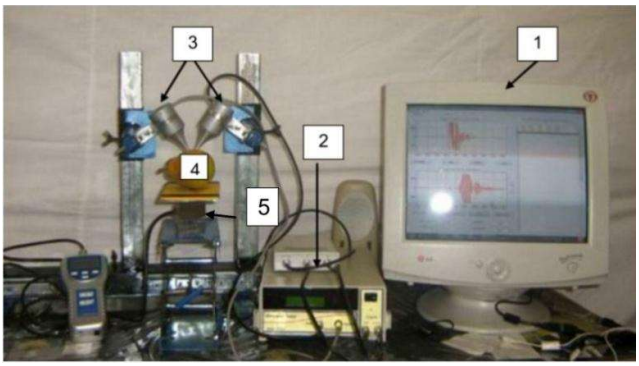
این رابطه در برنامه‌ی کنترل سامانه قرار داده شده و اندازه‌گیری سرعت به صورت خودکار با وارد کردن ضخامت نمونه یا فاصله میان کاوش‌گرها انجام می‌گیرد. برنامه کنترل سامانه با پردازش سیگنال‌های ارسالی و دریافتی و ایجاد موج مربعی، لبه بالارونده در سیگنال ارسالی و دریافتی را یافته و با تفاضل این دو از یکدیگر، زمان پرواز را با دقت یک میکروثانیه تعیین و با وارد کردن ضخامت، سرعت انتشار امواج را محاسبه کرده و نمایش می‌دهد.

برای محاسبه ضریب تضعیف از رابطه‌ی ۳ استفاده شد(Cartz, 1995):

$$A = A_0 e^{-aL} \quad (۳)$$

که در فوق، A و A_0 به ترتیب دامنه‌ی سیگنال فراصوت در شروع و پایان مسیر انتشار (V)، a ضریب تضعیف $(dBmm^{-1})$ و L ضخامت نمونه (mm) می‌باشند.

[1] Elastic coefficient
[2] Poission's ratio
[3] Exponential horn
[4] Time Of Flight



شکل ۱– سامانه اندازه‌گیری ویژگی‌های فراصوتی میوه (۱– رایانه، ۲– فرستنده و گیرنده امواج فراصوت، ۳– تراگذر و هورن، ۴– گلابی، ۵– نیروسنج)

اندازه‌گیری میزان سفتی میوه و تعیین ضریب کشسانی

به منظور تعیین سفتی نمونه‌ها، آزمون فروسنجی میوه با شاخص استاندارد سفتی مگنس–تیلور[1] اجرا شد. برای انجام این آزمایش از ماشین آزمون مواد ساخت شرکت سنتام ایران مدل *STM-20* استفاده شد. در آزمون سفتی بافت، هر میوه به دونیم تقسیم شده و مقداری از پوست روی هر نمونه توسط چاقو برداشته شده و نمونه برای آزمون آماده می‌گردید. در این آزمایش میله‌ی مگنس– تیلور با نوک محدب به قطر ۸ میلی‌متر به کار برده شد. از آنجایی که این آزمون مخرب است، قبل از هر آزمون، آزمون های غیر مخرب (تعیین خواص فیزیکی مانند قطر، وزن و حجم نمونه و خواص فراصوتی) انجام گرفت. سرعت بارگذاری در این آزمون *mm/min* ۱۰۰ بوده و میزان جابجایی پروب *mm* ۸ بود *(Paz et al., 2009)*. نیروسنج مورد استفاده *N* ۱۰۰ می‌باشد.

ضریب کشسانی با به‌کارگیری رابطه‌ی ۴ محاسبه شد *(Mohsenin, 1978)* :

$$E = \frac{F}{D}\frac{(1-\mu^2)}{2r} \qquad (۴)$$

که در آن:

E= ضریب کشسانی (MPa)؛ F= نیروی مقاومت نفوذی یا سفتی (N)؛ D= جابجایی (mm)؛ r= شعاع میله (mm) و μ= ضریب پواسون (بی بعد). ضریب پواسون گلابی بر اساس داده‌های *ASAE*، ۰/۴۹ در نظر گرفته شد *(ASAE, 2002)*اندازه‌گیری

سایر خواص کیفی

برای به دست آوردن میزان مواد جامد محلول از دستگاه رفراکتومتر ساخت شرکت *ATAGO* ژاپن مدل *dr-a1* استفاده شد. اندازه‌گیری *pH* و میزان اسیدیته با استفاده از دستگاه *pH meter* مدل *Metrohm* ساخت کشور سوئیس انجام شد. چگالی میوه گلابی با استفاده از روش غوطه‌وری اندازه‌گیری شد.

[1] - *Magness-Taylor*

برای اندازه‌گیری درصد ماده‌ی خشک میوه از روش خشک کردن در آون و رابطه‌ی۴ استفاده گردید.

$$\text{درصد ماده خشک} = \frac{\text{وزن خشک نمونه}}{\text{وزن تازه (اولیه) نمونه}} \times ۱۰۰ \qquad (۴)$$

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس اثر سطوح کیفی گلابی شاه‌میوه روی ویژگی‌های کیفی مخرب و غیرمخرب در جدول۱ نشان داده شده است.

جدول۱- نتایج تجزیه واریانس اثر سطوح کیفی گلابی شاه‌میوه روی بر ویژگی‌های کیفی مخرب و غیرمخرب

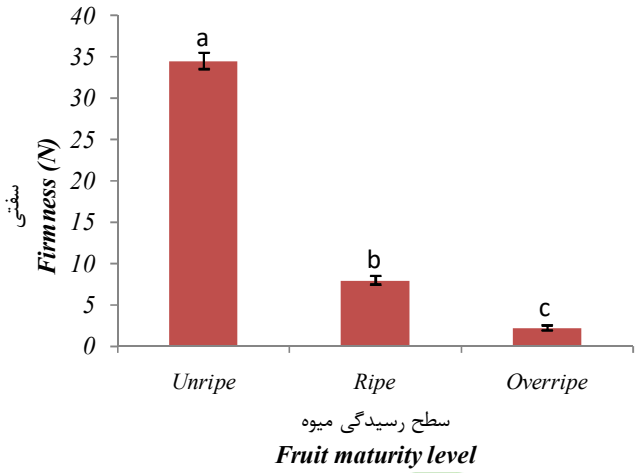
منابع تغییرات *Source*		درجه آزادی *df*	میانگین توان *Mean Square*
سفتی *Firmness*	بین گروهها *(Between Groups)*	2	2946.087**
	درون گروهها *(Within Groups)*	27	4.420
ضریب کشسانی *modulus Elasticity*	Between Groups	2	1.182**
	Within Groups	27	0.002
سرعت امواج فراصوت محاسبه‌ای *Calculated ultrasonic wave velocity*	Between Groups	2	17729.222**
	Within Groups	27	23.471
میزان مواد جامد محلول *Total soluble solids*	Between Groups	2	0.021ns
	Within Groups	27	0.876
PH	Between Groups	2	0.378**
	Within Groups	27	0.066
میزان اسیدیته *Acidity content*	Between Groups	2	.107**
	Within Groups	27	0.002
میزان مواد خشک *Total dry matters*	Between Groups	2	3.259ns
	Within Groups	27	3.515
سرعت امواج فراصوت عبوری *Measured ultrasonic wave velocity*	Between Groups	2	27169.327**
	Within Groups	27	387.319
ضریب تضعیف *Ultrasonic wave attenuation*	Between Groups	2	2.841**
	Within Groups	27	0.025

ns و **، به ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۰/۰۱

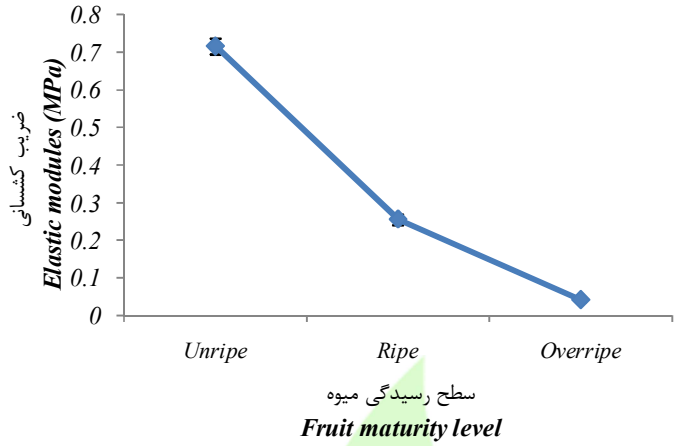
ns and **, non-significant and significant at 0 .01 level, respectively

ویژگی‌های مکانیکی

بررسی نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر سطح رسیدگی میوه روی سفتی بافت میوه در سطح ۰/۰۱ معنی‌دار است (جدول ۱). بر اساس نتایج مقایسه میانگین اثر سطح رسیدگی روی میزان سفتی بافت، میوه نارس با میانگین ۳۴/۶۵ نیوتن در بالاترین سطح (گروه *a*) و رسیده با میانگین ۲/۳ نیوتن کمترین میزان سفتی (گروه *c*) را دارد (شکل۲). بر اساس این نتیجه، سفتی بافت میوه شاخص مهمی در تعیین بلوغ تجاری میوه گلابی رقم شاه‌میوه است. این نتیجه منطبق با نتایج تحقیقات پیشین در رابطه با اهمیت سفتی بافت میوه در تعیین بلوغ تجاری میوه گلابی است. با پیشرفت رسیدگی، بلوغ و پیری میوه و فعالیت آنزیم‌های ئیدرولیزکننده و تأثیر آن‌ها روی پلی‌ساکاریدهای دیواره سلولی، انسجام دیواره سلولی از بین رفته و سبب کاهش سفتی بافت میوه می‌شود و از این طریق زمینه مساعد را برای بروز انواع نابسامانی‌های فیزیولوژیکی به ویژه قهوه‌ای شدن داخلی و حمله عوامل بیماری‌زا به خصوص قارچها را فراهم می آورد *(Chen et al., 1995; Galvis et al., 2004; Hernandez et al., 2007; Pinto et al., 2001)*. مطابق شکل ۳ ضریب کشسانی نیز با افزایش میزان رسیدگی کاهش می‌یابد. بر اساس رابطه ۴ کاهش ضریب کشسانی در حقیقت بیانگر کاهش سفتی و افزایش میزان جابجایی است.



شکل۲- تغییرات سفتی در سطوح کیفی گلابی رقم شاه‌میوه



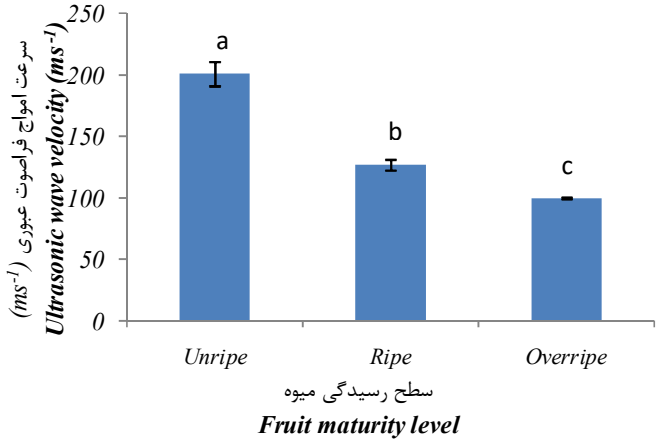
شکل۳- تغییرات ضریب کشسانی در سطوح کیفی گلابی رقم شاه‌میوه

بررسی نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر سطح کیفی میوه روی درصد مواد جامد محلول معنی‌دار نیست (جدول ۱). در حقیقت تغییرات شاخص مواد جامد محلول بطئی و کند است و به همین دلیل درصد مواد جامد محلول به عنوان شاخص معتبری برای تعیین بلوغ تجاری میوه گلابی استفاده نمی‌شود. اگرچه تحقیقات پینتو و همکاران روی گلابی نشان داد که این متغیر و روند تغییرات آن به علاوه دو شاخص سفتی و میزان اسیدیته میوه به عنوان شاخص‌های تعیین بلوغ تجاری میوه می‌توانند به طور رضیتقیم در تعیین میزان حساسیت میوه گلابی به قهوه‌ای شدن نقش داشته باشند *(Pinto et al., 2001)*. از طرفی اثر سطح کیفی میوه روی درصد ماده خشک نیز غیرمعنی‌دار است. میزان این متغیر در سه حالت کیفیت تقریباً ثابت است. در هیچ یک از مقالات مورد بررسی از درصد ماده خشک به عنوان شاخصی کیفی جهت تعیین بلوغ میوه استفاده نشده است.

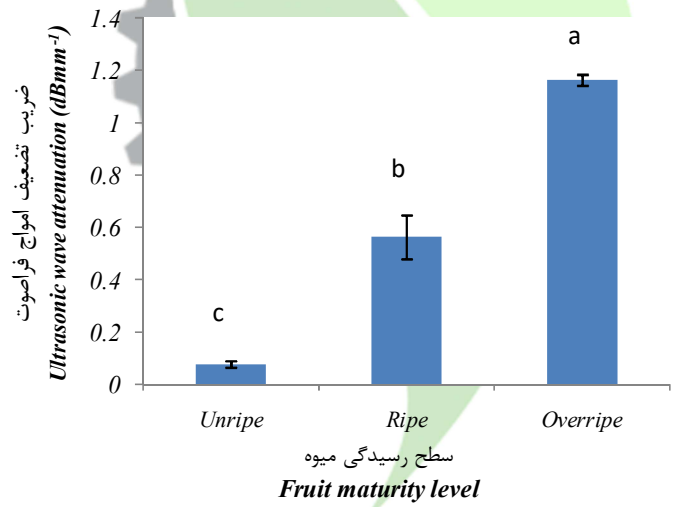
شاخص‌های فراصوتی

بررسی نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌های شاخص‌های فراصوتی (جدول۱) نشان داد که اثر سطح کیفی میوه روی سرعت امواج فراصوت عبوری از میوه و ضریب تضعیف در سطح ۰/۰۱ معنی‌دار است. میانگین سرعت امواج فراصوتی در میوه‌ی نارس حدود ms^{-1} ۲۰۱ می‌باشد که به حدود ms^{-1} ۱۰۰ در میوه بیش‌رس کاهش یافته است. همچنین میانگین ضریب تضعیف در میوه نارس حدود $dBmm^{-1}$ ۰/۰۸ می‌باشد که در میوه بیش‌رس به $dBmm^{-1}$ ۱/۱۴ رسیده است. همان‌طور که در شکل‌های ۴ و ۵ نشان داده شده است با افزایش میزان رسیدگی میوه سرعت امواج فراصوتی افزایش و ضریب تضعیف کاهش می‌یابد. این نتایج منطبق با تحقیقات سایر محققان در این زمینه می‌باشد *(Kim et al., 2009 and Zaki et al., 2009)*. همان‌طور که در رابطه ۴ (ارتباط بین سرعت و ضریب کشسانی) نشان داده شده است با توجه به اینکه چگالی در سه حالت کیفیت تغییر چندانی نکرده است، کاهش سرعت امواج فراصوت ناشی از کاهش ضریب کشسانی است که در اثر نرم شدن بافت به وجود آمده است. همچنین هوا تضعیف‌کننده شدید امواج فراصوتی است و میزان هوای بین سلولی با تغییر شرایط رسیدگی میوه تغییر کرده و با رسیده‌تر شدن میوه،

میزان آن افزایش می‌یابد. تغییر ضریب تضعیف نیز ناشی از تغییر هوای بین سلولی است که با رسیده‌تر شدن میوه، افزایش می‌یابد (*Camarena and Martinez, 2006*).



شکل ۴- تغییرات سرعت امواج فراصوت عبوری در سطوح کیفی گلابی رقم شاه‌میوه

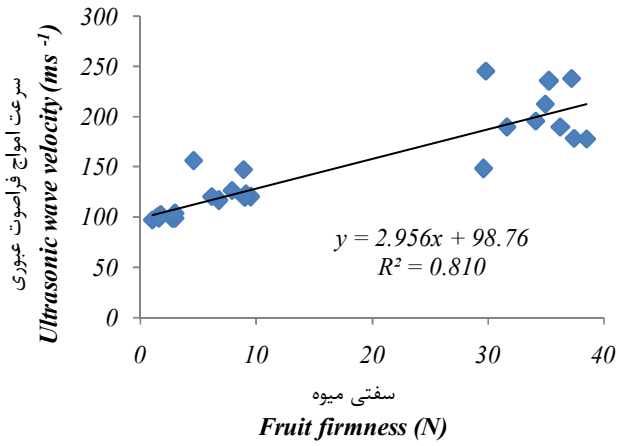


شکل۵- تغییرات ضریب تضعیف در سطوح کیفی گلابی رقم شاه‌میوه

ارتباط بین خواص مکانیکی و خواص فراصوتی

از آنجایی که با تغییر سطح کیفی میوه، سفتی بافت میوه ، سرعت امواج فراصوت و ضریب تضعیف تغییر می‌کنند، با بررسی همبستگی بین عامل مخرب یعنی سفتی بافت میوه و پارامترهای غیرمخرب می‌توان کیفیت میوه گلابی را به صورت غیرمخرب و با استفاده از امواج فراصوتی پیش‌بینی کرد. شکل ۶ رابطه‌ی بین متغیر مکانیکی یعنی سفتی بافت میوه و سرعت امواج فراصوت را

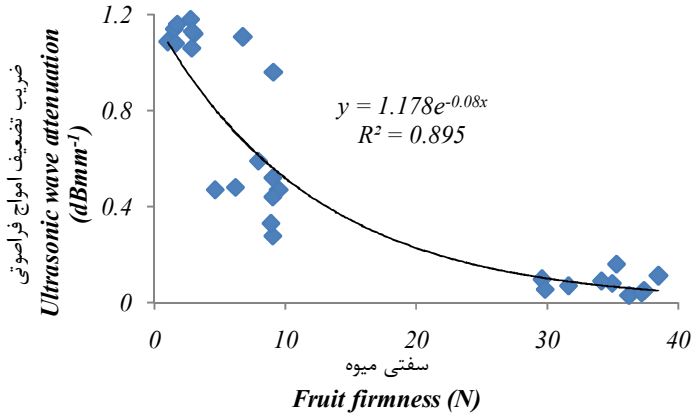
نشان می‌دهد. همان‌طور که در شکل مشخص است رابطه‌ای خطی بین سفتی و سرعت امواج فراصوتی وجود دارد و با افزایش میزان سفتی میوه، سرعت امواج فراصوتی افزایش می‌یابد($R^2 = 0.81$).



شکل۶– رابطه‌ی بین سفتی و سرعت امواج فراصوتی در گلابی شاه‌میوه در شرایط کیفی مختلف

در شکل ۷ رابطه بین ضریب تضعیف و سفتی نشان داده شده است و مشاهده می‌شود که همبستگی منفی بین سفتی و ضریب تضعیف وجود دارد ($R^2 = 0.895$) و با افزایش میزان رسیدگی یعنی کاهش سفتی، ضریب تضعیف به صورت نمایی افزایش یافت.

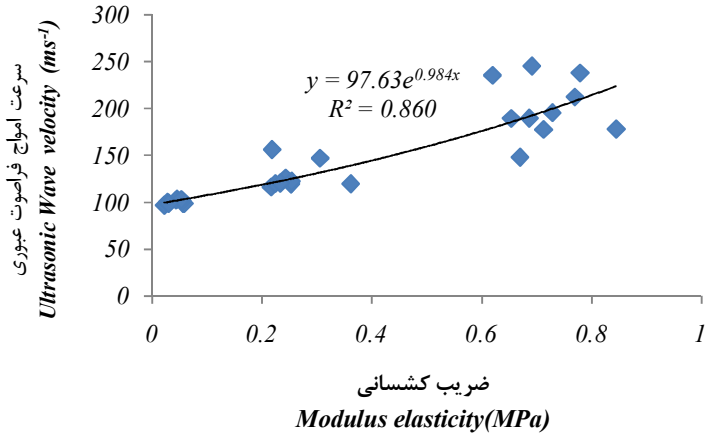
.



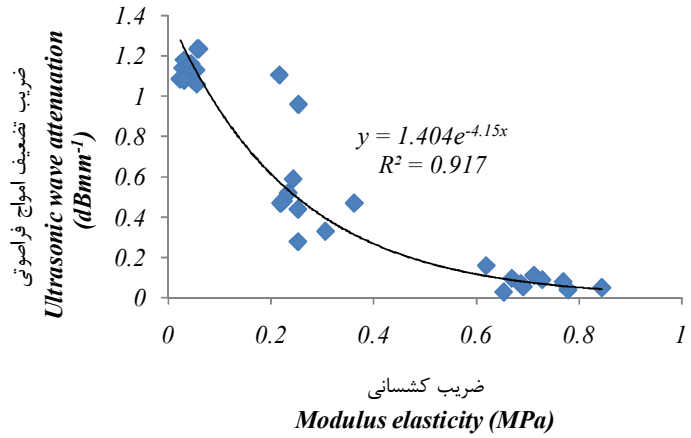
شکل۷– رابطه‌ی بین سفتی و ضریب تضعیف در گلابی شاه‌میوه در شرایط کیفی مختلف

شکل‌های ۸ و ۹ رابطه‌ی بین پارامترهای فراصوتی (سرعت امواج فراصوتی و ضریب تضعیف) و ضریب کشسانی را نشان می‌دهد. همان‌طور که در شکل‌ها نشان داده شده است، در هر دو نمودار مناسب‌ترین مدل آماری بر اساس ضریب همبستگی، مدل

نمایی است و همبستگی خوبی بین ضریب کشسانی با سرعت امواج فراصوت (R^2 =0.86) و ضریب کشسانی با ضریب تضعیف (R^2 =0.835) وجود دارد. مطابق شکل‌ها و همان‌گونه که بر اساس رابطه ۴ انتظار می‌رفت با افزایش ضریب کشسانی، سرعت امواج فراصوتی افزایش یافته است. همچنین با افزایش ضریب کشسانی، ضریب تضعیف به صورت نمایی کاهش می‌یابد که با نتایج سایر محققین مطابقت دارد *(Kim et al., 2009)*.

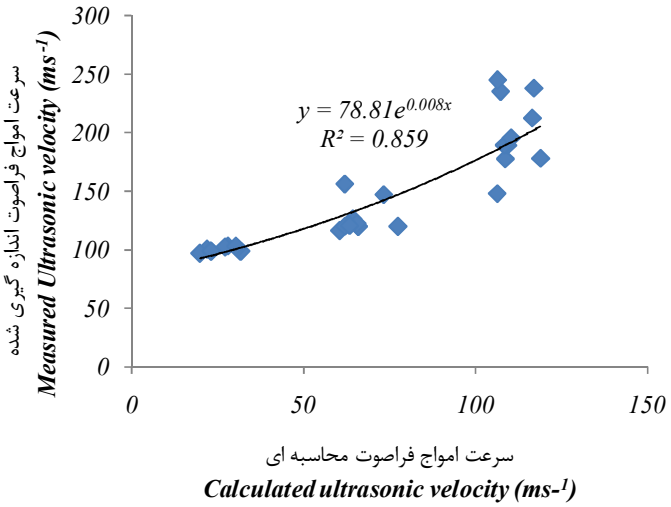


شکل ۸– رابطه‌ی بین ضریب کشسانی و سرعت امواج فراصوتی در میوه‌ی گلابی رقم شاه‌میوه در شرایط کیفی مختلف



شکل ۹– رابطه‌ی بین ضریب کشسانی و سرعت امواج فراصوتی در میوه‌ی گلابی رقم شاه‌میوه در شرایط کیفی مختلف

شکل ۱۰ ارتباط بین سرعت امواج فراصوت عبوری و محاسبه‌ای (بر اساس رابطه‌ی ۱) را نشان می‌دهد. بهترین رابطه بین این دو پارامتر، رابطه نمایی است (R^2 =0.86). مشاهده می‌شود که سرعت امواج عبوری نسبت به سرعت امواج محاسبه‌ای بیشتر است که علت این امر می‌تواند ساختار پیچیده محصول باشد. یعنی علاوه بر پارامترهای موجود در رابطه‌ی۴ عوامل دیگری نیز مؤثرند که نیاز به تحقیقات بیشتری دارد.



شکل ۱۰- ارتباط بین سرعت امواج فراصوت محاسبه‌ی و سرعت اندازه‌گیری شده

نتیجه‌گیری کلی

- آزمون غیر مخرب فراصوتی نشان داد که با افزایش میزان رسیدگی میوه سرعت امواج فراصوتی افزایش و ضریب تضعیف کاهش یافت.
- با بررسی همبستگی بین عامل مخرب یعنی سفتی و پارامترهای غیرمخرب مشخص شد که رابطه‌ای خطی بین سرعت امواج فراصوتی و سفتی وجود دارد و از سرعت امواج فراصوتی می‌توان برای تعیین میزان سفتی استفاده کرد. همچنین مشخص شد که بین ضریب تضعیف و سفتی همبستگی منفی وجود دارد و با افزایش میزان رسیدگی یعنی کاهش سفتی، ضریب تضعیف به صورت نمایی افزایش یافت.
- با بررسی همبستگی بین ضریب کشسانی و پارامترهای غیرمخرب مشخص شد، مناسب‌ترین مدل آماری بر اساس ضریب همبستگی، مدل نمایی بوده و همبستگی خوبی بین ضریب کشسانی با سرعت امواج فراصوت (R^2 $=0.86$) و ضریب کشسانی با ضریب تضعیف (R^2 $=0.835$) به دست آمد.
- نتایج نشان داد که سرعت امواج فراصوتی به‌دست آمده در آزمایش از سرعت امواج فراصوتی محاسبه‌شده با روابط تئوری، بزرگ‌تر است و همبستگی خوبی بین این دو پارامتر وجود داشت.

منابع

۱- ذکی دیزجی، ح.، مینایی س. توکلی هشتجین، ت. مختاری دیزجی، م. (۱۳۸۸). طراحی و ساخت سامانه‌ی سنجش فراصوتی و بررسی عوامل موثر در اندازه‌گیری شاخص‌های فراصوتی محصولات کشاورزی. مجله تحقیقات مهندسی کشاورزی. جلد ۱۰، شماره ۱، ص ۲۷-۴۸.

۲- معمار دستجردی، ر.، مینایی، س، خوش تقاضا، م. (۱۳۹۱). طراحی، ساخت و آزمایش متمرکز کننده نمایی به‌منظور اندازه-گیری ویژگی های فراصوتی محصولات کشاورزی. نشریه ماشین‌های کشاورزی. سال دوم، جلد۲، شماره ۲، نیمسال دوم ۱۳۹۱، ص ۸۳-۷۴

3- *Abbott, J.A. 1999. Quality measurement of fruits and vegetables. Post harvest Biology and Technology 15: 207–225.*

4- *ASAE, Standards (2002). American society of Agricultural Engineers, S 352-2.*

5- *Camarena, F., Martinez-Mora, J.A. 2006. Potential of ultrasound to evaluate turgidity and hydration of the orange peel. Journal of Food Engineering. 75: 503–507.*

6- *Cartz, L. 1995. Non destructive testing, Radiography, Ultrasonic's, Liquid Penetrant, Magnetic Particle, Eddy Current. ASM International.USA. Pp 229.*

7- *Chivers, R.C., Russell, H., Anson, L.W. 1995. Ultrasonic studies of preserved peaches. Ultrasonics 33: 75–77.*

8- *Duprat, F., Grotte, M., Pietri, E. and Loonis, D. 1997. The acoustic impulse response method for measuring the overall firmness of fruit, Journal of Agricultural Engineering Research. 66: 251–259.*

9- *Flitsanov, U., Mizrach, A., Liberzon, A., Akerman, M., Zauberman, G. 2000. Measurement of avocado softening at various temperatures using ultrasound. Postharvest Biology and Technology 20: 279–286.*

10- *Gaete-Garreton, L., Vargas-Hernandez, Y., Leon-Vidal, C., Pettorino-Besnier, A. 2005. A novel non invasive ultrasonic method to assess avocado ripening. Journal of Food Science 70: 187–191.*

11- *Hedrick, W.H, Heykes,D.L. and Starchman, D.E. 2005. Ultrasound Physics and Instrumentation. 4th Edition, Elsevier Mosby, Philadelphia, USA. Pp 445.*

12- *Kim, K.B., Lee, S, Kim, M.S., Cho, B.K. 2009. Determination of apple firmness by non destructive ultrasonic measurement. Postharvest Biology and Technology 52: 44–48.*

13- *Mizrach, A., Flitsanov, U., El-Batsri, R., Degani, C. 1999a. Determination of avocado maturity by ultrasonic attenuation measurements. Scientia Horticulturae 80: 173–180.*

14- *Mizrach, A., Flitsanov, U., Akerman, M., Zauberman, G. 2000. Monitoring avocado softening in low-temperature storage using ultrasonic measurements. Computers and Electronics in Agriculture 26: 199–207.*

15- *Mohsenin, N.N. 1978. Physical properties of Plant and Animal Materials. 1st ed. Gordon and Breach, New York, USA.*

16- *Paz, P., Sanchez, M.T., Perez-Martin, D., Emilio, J., Garrido-Varo, A., 2009. Instantaneous quantitative and qualitative assessment of pear quality using near infrared spectroscopy. Computers and Electronics in Agriculture 69: 24-32*

17- *Pinto, E., Lentheric, I., Puy, J. and Larrigaudiere, C. 2001. Relationship between quality perameters and internal disorders in pear by means of multivariate analysis. Journal of Agricultural and Food Chemistry 4: 95-108*

18- *Rose, J.L. 2004. Ultrasonic Waves in Solid Media. Cambridge university press. Cambridge. UK. Pp 454.*

19- *Schmerr, JR.L.W. 1998. Fundamentals of Ultrasonic Nondestructive Evaluation, A modeling Approach. 2th Edition, Plenum Press, New York and London.*

20- *Schotte, S., Belie, N.D. and Baerdemaeker, J.D. 1999. Acoustic impulse-response technique for evaluation and modeling of firmness of tomato fruit, Postharvest Biology and Technology 17: 105–115.*

21- *Shewfelt, R.L., Bruckner, B. 2000. Fruit and Vegetables Quality: An Integrated View. Technomic Publicating, Lancaster, Pansylvania.*

Determination of pear fruit (Shah Miveh) quality using nondestructive ultrasonic technique

Rasoul Meamar Dastjerdi[1] Saeed Minaee[2] and Mohammad Hadi Khoshtaghaza[3]*

1- Assistant professor, Department of Mechanics of Agricultural Machinery,Ramin University of Agricultural Sciences and Natural Resource (rasoul.memar @gmail.com)
2, 3- Associate Professors, Department of Agricultural Machinery Engineering, Tarbiat Modares University

Abstract:

Development of the ultrasound technique as a means of evaluating food quality has not progressed as fast in the fresh fruit sector as in the processed food industry. In this research for quality assessment of pear fruit (Shah Miveh) an ultrasonic measurement system to transmit and receive the ultrasonic waves was designed, fabricated and evaluated. The apparatus included a pulser-receiver, a pair of 75kHz ultrasonic transducers with exponential horn, and a computer system for data acquisition and analysis. Several mechanical and chemical properties, including firmness, TSS, acidity, elastic modulus, pH and total dry matter for destructive quality assessment were measured. Velocity and attenuation of ultrasonic waves for nondestructive tests were also measured. Fruit quality levels for the experiment were: unripe, ripe and overripe. Results of the tests showed that firmness was the best parameter for measuring fruit quality and decreased significantly with ripeness. The effect of ripeness on the velocity and attenuation of ultrasonic waves was significant. Investigation showed that the relationship between fruit firmness and wave velocity was linear and velocity increased with fruit firmness (R^2=0.81). Furthermore, the relationship between fruit firmness and attenuation was exponential and attenuation decreased with increasing fruit firmness (R^2=0.895). The Relationship between ultrasonic properties and fruit modulus elasticity showed that wave velocity increased and attenuation decreased with increasing elasticity. It is shown that the ultrasonic instrument equipped with exponential horns can effectively be utilized for pear quality assessment based on measurement of wave velocity and attenuation.

Keywords: *Quality assessment, Non destructive test, Ultrasonic, Firmness, Pear fruit*