

تعیین پارامترهای رسیدگی هلو با استفاده از امواج فراصوت

رضا ابوالقاسمی نجف‌آبادی^۱، باقر عمادی^{۲*}، محمدحسین آق‌خانی^۳ و شهرام بیرقی طوسی^۴

تاریخ پذیرش: ۸۹/۱/۲۸

تاریخ دریافت: ۸۸/۷/۵

چکیده

بافت میوه در مراحل مختلف رشد و انبارداری تغییر کرده و می‌توان با بررسی خصوصیات آن، به مرحله رسیدگی میوه دست پیدا کرد. امواج فراصوت ضمن عبور از داخل بافت میوه، بسته به نوع بافت و تراکم آن، تضعیف گردیده و سرعت آن نیز تغییر می‌یابد؛ لذا ممکن است بتوان با محاسبه مقدار ضریب تضعیف و سرعت آن، به صورت غیرمخرب، خصوصیات بافت میوه و در نتیجه میزان رسیدگی آن را تعیین نمود. در این تحقیق، میوه‌های هلو رقم هسته جدای تبریزی به گروه‌های رسیده، نیمه‌رس، بزرگ و کوچک تقسیم‌بندی شد و به وسیله انجام آزمون حسی میوه‌ها، صحت گروه‌های رسیده و نیمه رس تأیید گردید. سپس علاوه بر اندازه‌گیری دو پارامتر ضریب تضعیف و سرعت موج فراصوت، پارامترهای کیفی و کمی میوه شامل ابعاد، جرم، چگالی، سفتی (بدون پوست و با پوست)، قند کاهنده، اسیدیته، pH، درصد ماده خشک و میزان مواد جامد محلول که از جمله شاخص‌های رسیدگی هلو می‌باشند، اندازه‌گیری شد و با پارامترهای فراصوت مقایسه گردید. نتایج نشان داد که اندازه میوه بر ضریب تضعیف موج و درجه رسیدگی آن بر سرعت موج فراصوت تأثیر معنی‌داری می‌گذارد. رابطه ضریب تضعیف با سفتی بدون پوست در گروه‌های نیمه‌رس و رسیده با ضرایب همبستگی بالای ۰/۸۰ و به طور مشابه رابطه ضریب تضعیف با سفتی با پوست در هر یک از گروه‌های فوق با ضرایب همبستگی بالاتر از ۰/۷۰ و در هر دو حالت با معادلات درجه ۲ به دست آمد. همچنین همبستگی ضریب تضعیف و سرعت موج با pH و رابطه سرعت موج فراصوت با اسیدیته میوه نیز بالاتر از ۰/۸۰ گزارش شد.

واژه‌های کلیدی: خواص فیزیکوشیمیایی، خواص مکانیکی، رسیدگی، فراصوت، هلو

مقدمه

مزه و بو)، ارزش غذایی، ترکیبات شیمیایی، خواص مکانیکی و عدم وجود نقص در میوه می‌باشد که هر یک به عنوان موضوعی برای بسیاری از مطالعات قرار گرفته است (۴ و ۱۶). پژوهش‌های زیادی درباره کاربرد انواع تکنولوژی‌ها برای اندازه‌گیری غیرمخرب کیفیت میوه‌ها و سبزیها انجام شده است که از جمله آنها روش‌های بینایی^۵، اسپکتروسکوپی^۶ و صوتی^۷ می‌باشد. فن استفاده از امواج فراصوت^۸ یکی از روش‌های صوتی استفاده شده در

افزایش تقاضای روز افزون مصرف‌کنندگان برای استفاده از میوه‌های تازه و سبزیهای با کیفیت، منجر به حرکتی مؤثر جهت بهبود کیفیت میوه‌ها و سبزیها، هم در صنعت غذا و هم در بازار میوه تازه گردیده است. کیفیت محصول عمدتاً شامل ویژگی‌های حسی میوه (ظاهر، بافت،

۱، ۲ و ۳ - به ترتیب دانشجوی کارشناسی ارشد و استادیار و دانشیار گروه مکانیک

ماشین‌های کشاورزی دانشکده دانشگاه فردوسی مشهد

۴ - عضو هیأت علمی پژوهشکده علوم و فناوری مواد غذایی جهاد دانشگاهی

مشهد

* نویسنده مسئول: (Email: bagher_emadi@yahoo.com)

5- Visual

6- Spectroscopic

7- Acoustic

8- Ultrasonic wave

در این تحقیق ضمن موج‌دهی فراصوتی میوه هلو و اندازه‌گیری دو پارامتر ضریب تضعیف و سرعت موج فراصوت، برخی پارامترهای فیزیکی، مکانیکی و شیمیایی، که در رابطه با میزان رسیدگی هلو می‌باشد، جهت بررسی امکان استفاده از امواج فراصوت به صورت غیرمخرب، برای تعیین رسیدگی هلو اندازه‌گیری شد و روابط بین آن‌ها تعیین گردید.

مواد و روش‌ها

برای انجام آزمایشات مورد نظر، میوه هلو رقم هسته - جدای تبریزی به صورت تصادفی تهیه گردید و از نظر میزان رسیدگی (رنگ، عطر و شکل ظاهری) به دو گروه رسیده و نیمه‌رس و در هر گروه از نظر اندازه، به دو دسته بزرگ و کوچک تقسیم‌بندی شدند. ابتدا آزمایشات غیرمخرب شامل آزمون فراصوت، اندازه‌گیری ابعاد، جرم و چگالی انجام شد و سپس ویژگی‌های حسی، پارامترهای سفتی (بدون پوست و با پوست)، قند کاهنده، اسیدیته، pH و ماده خشک میوه نیز اندازه‌گیری گردید. برای تجزیه و تحلیل داده‌ها نیز از طرح کاملاً تصادفی و نرم‌افزارهای Excel و SPSS استفاده شد.

آزمون حسی

به منظور تأیید صحت تقسیم‌بندی میوه‌ها از نظر میزان رسیدگی، تعداد ۵ عدد میوه به صورت تصادفی از بین هر یک از گروه‌های رسیده و نیمه‌رس انتخاب گردید و به ۵ داور آموزش دیده داده شد تا نظر خود را در مورد مشخصات میوه در لیست مخصوص آزمون حسی میوه (با روش هدونیک ۵ نقطه‌ای) درج کنند (۲۰).

اندازه‌گیری خواص فراصوتی هلو

برای انجام آزمون فراصوت و موج‌دهی میوه، از دستگاه

کشاورزی به خصوص در ارزیابی کیفی میوه در طول فرآیندهای قبل و بعد از برداشت می‌باشد (۱۰) و در صنایع غذایی از سال ۱۹۷۰ مورد استفاده قرار گرفته است (۱۶).

در تحقیقات انتشار یافته، رابطه بین پارامترهای فراصوت و سفتی محصولات کشاورزی بررسی شده است. رابطه خوبی بین میزان رسیدگی میوه‌ها و مدول الاستیسیته آن‌ها گزارش شده است (۸). برخی محققان، خواص مکانیکی مانند مدول یانگ، چگالی بافت و ضریب پوآسن میوه سیب را با استفاده از سرعت‌های متعدد انتشار موج از میان بافت میوه به دست آوردند (۹). همچنین افزایش ضریب تضعیف^۱ امواج فراصوتی عبور کرده از میان بافت هندوانه با میزان رسیدگی آن گزارش شده است (۶). در مطالعه‌ای دیگر، ضرائب تضعیف بسیار بالایی از موج فراصوت در فرکانس بین ۱-۰/۵ MHz در بافت سیب‌زمینی، طالبی و سیب به دست آمده است (۱۷). در تحقیقی دیگر، آزمایشات مقدماتی جهت محاسبه سرعت، ضریب تضعیف و خواص بازتابی موج فراصوت در نمونه‌های بافت برخی میوه‌ها و سبزیها انجام گرفت و گزارش شد که می‌توان از تغییرات سرعت موج در میوه‌ها و سبزیها، جهت درجه‌بندی رسیدگی آن‌ها استفاده نمود (۱۳).

سالانه بالغ بر یازده میلیون تن هلو در جهان تولید می‌شود که در این میان، کشور ایران با تولید سالانه ۲۶۷ هزار تن، مقام نهم را به خود اختصاص داده است (۱). با توجه به این تولید انبوه و استفاده از این میوه به صورت فرآورده‌های متنوع، علاوه بر مصرف آن به شکل تازه، نیاز به روش‌های غیرمخرب برای تعیین کیفیت آن در فرآیندهای جداسازی^۲ و درجه بندی^۳ محصول احساس می‌گردد.

1- Attenuation coefficient

2- Sorting

3- Grading

میوه در نظر گرفته شد (از جهت b در شکل ۲). موج فراصوت فرستاده شده و گرفته شده، پس از پردازش در واحد پردازش سیگنال، برای نمایش به نرم افزار TNM Oscilloscope انتقال داده شد. دامنه موج فراصوت فرستاده شده با مقدار ۷۸۷۷mV ثابت بوده و دامنه موج فراصوت گرفته شده توسط دستگاه گیرنده معلوم گردید.

اندازه‌گیری خواص فیزیکی هلو

سه قطر عمود بر هم تمامی نمونه‌ها (شکل ۲) با استفاده از کولیس دیجیتالی (ساخت شرکت ShokaGalf) با دقت ۰/۰۱ میلی‌متر و جرم آنها نیز با استفاده از ترازوی دیجیتالی (ساخت شرکت AND مدل GF-6000) با دقت ۰/۰۱ گرم به دست آمد. قطر متوسط هندسی میوه‌ها با محاسبه ریشه سوم حاصلضرب سه قطر عمود برهم محاسبه گردید و با تقسیم آن بر بزرگترین قطر، درصد کرویت نمونه‌ها نیز به دست آمد. چگالی میوه‌ها با استفاده از روش شناوری اندازه‌گیری شد (۱۹).

اندازه‌گیری خواص مکانیکی هلو

کلیه روش‌ها و ابزار استفاده شده برای اندازه‌گیری خواص مکانیکی هلو، طبق استاندارد ASAES368.4 انتخاب گردید (۵). برای انجام این آزمایش، از دستگاه آزمون کشش- فشار نوع دو ستونی ساخت شرکت سنج‌سازان شرق ایران استفاده شد. در این دستگاه از یک لودسل ۵ کیلوگرمی (مدل S35553) برای اندازه‌گیری میزان نیروی اعمالی توسط پروب به میوه استفاده شد و سرعت بارگذاری نمونه برابر ۰/۵ mm/s انتخاب گردید. کلیه آزمایش‌های سفی با پروب استوانه‌ای به قطر ۸ میلی‌متر انجام گرفت. هر میوه از همان جهتی که مورد آزمون فراصوت قرار گرفته بود، تحت بارگذاری قرار گرفت (از جهت b در شکل ۲).

فرستنده-گیرنده فراصوت ساخته شده در دانشکده کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس تهران استفاده شد. این دستگاه که دارای اجزای نشان داده شده در شکل ۱ می‌باشد، قادر به تولید موج فراصوت و عبور آن از میان بافت میوه و همچنین گرفتن موج فراصوت عبوری از سمت دیگر میوه بود. قطر پروب‌های این دستگاه ۱۰mm، محدوده فرکانس آن ۲۰-۵۰MHz و ولتاژ تحریک آن کمتر از ۶۰۰V می‌باشد. کلیه آزمایشات در دمای ۲۰ درجه سانتیگراد انجام شد.

دو پارامتر مهمی که در رابطه با امواج فراصوتی بوده و برای اندازه‌گیری خواص محصولات کشاورزی دارای اهمیت فراوانی می‌باشد، سرعت موج فراصوت و ضریب تضعیف آن است. سرعت امواج فراصوت (V) از طریق اندازه‌گیری زمان مورد نیاز (T) برای عبور موج فراصوت از ضخامت مشخص مواد (L) مطابق رابطه ۱ تعیین گردید:

$$V = \frac{L}{T} \quad (1)$$

با داشتن دامنه‌ی موج فراصوت فرستاده شده (A) و دریافت شده (A_0) و همچنین فاصله بین پروب‌ها (L)، ضریب تضعیف امواج فراصوت (α) مطابق رابطه ۲ قابل محاسبه است (۲).

$$a_{dB} = \frac{-20}{L} \log\left(\frac{A}{A_0}\right) \quad (2)$$

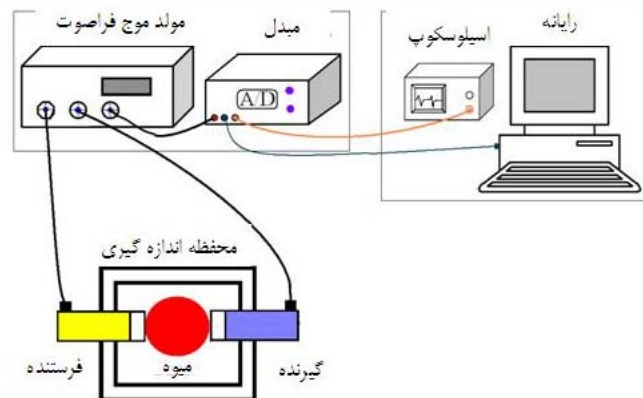
نیروی وارد شده از طرف پروب‌ها به میوه توسط نیروسنجی که بین صفحه و پیچ تنظیم آن متصل بود، خوانده می‌شد. در طول انجام آزمایشات، به منظور تماس کامل پروب‌ها با میوه، پیچ تنظیم فاصله صفحات، به اندازه‌ای پیچانده می‌شد که پروب‌ها حدوداً نیروی ۵ نیوتن را به میوه وارد کنند. برای عبور بهتر موج فراصوت از بین پروب‌ها و پوست میوه، از ژل مخصوص سونوگرافی استفاده شد. راستای قرار دادن میوه در بین پروب‌ها، از دو طرف جانبی

استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران) اندازه‌گیری شد (۳). مقدار pH میوه نیز توسط دستگاه pH متر دیجیتال (ساخت شرکت GenWay مدل ۳۰۲۰) اندازه‌گیری شد. میزان مواد جامد محلول هلو توسط رفرکتومتر چشمی ساخت شرکت TYM چین به دست آمد. درصد ماده خشک میوه نیز به وسیله آون (ساخت شرکت بهداد) تحت دمای ۱۰۵ درجه، به مدت ۴ ساعت و توسط ترازو (ساخت شرکت Sartarius مدل MC12200s) تعیین گردید.

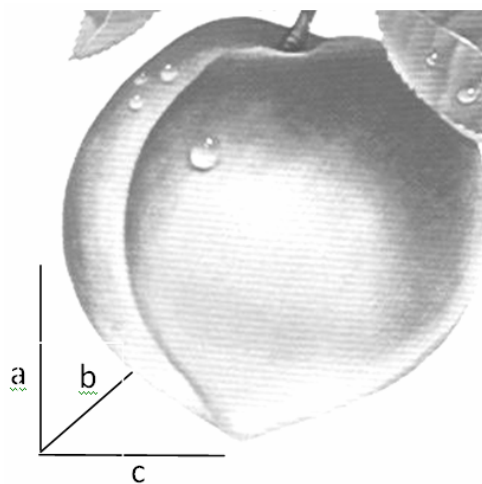
البته در یک طرف، با پوست و در طرف دیگر به اندازه قطر پروب، پوست میوه گرفته شد و تحت آزمایش قرار گرفت. نتایج هر آزمایش که شامل منحنی نیرو- تغییر شکل بود توسط نرم افزار اکسل ذخیره شد. حداکثر نیروی لازم برای نفوذ در میوه با پوست و بدون پوست، به ترتیب به عنوان سفتی با پوست و بدون پوست گزارش شد.

اندازه‌گیری خواص شیمیایی هلو

میزان قند کاهنده و اسیدیته میوه‌ها با استفاده از استاندارد آب میوه‌ها- روش‌های آزمون شماره ۲۶۸۵ (مؤسسه



شکل ۱. شماتیک دستگاه تست فراصوت مورد استفاده برای ارزیابی رسیدگی میوه



شکل ۲. جهات اندازه‌گیری شده برای ابعاد میوه هلو (جهت b عمود بر جهت a و c)

جدول ۱. مقادیر پارامترهای فیزیکی هلو

پارامتر	رسیده		نیمه‌رس	
	بزرگ	کوچک	بزرگ	کوچک
جرم (g)	۱۶۴/۷ ± ۱۱/۱	۱۳۵/۸ ± ۱۲/۴	۱۴۵/۹ ± ۱۲/۶	۱۰۳/۱ ± ۱۲/۶
قطر متوسط هندسی (mm)	۵۸/۳ ± ۴/۵	۶۴/۵ ± ۲/۴	۶۲/۷ ± ۲/۴	۵۵/۰ ± ۲/۴
درصد کرویت	۹۶/۵ ± ۲/۱	۹۴/۸ ± ۵/۱	۹۷/۲ ± ۱/۵	۹۵/۶ ± ۴/۳
چگالی (g/cm ³)	۱/۴۲ ± ۰/۲۳	۱/۱۰ ± ۰/۲۶	۱/۹۴ ± ۰/۴۲	۰/۸۸ ± ۰/۲۵

جدول ۲. مقادیر پارامترهای مکانیکی هلو

پارامتر	رسیده		نیمه‌رس	
	بزرگ	کوچک	بزرگ	کوچک
سفتی هلوی بدون پوست (N)	۸/۷۸ ± ۹/۴۱	۶/۲۲ ± ۱۰/۸۶	۱۶/۴۷ ± ۶/۶۰	۱۶/۰۱ ± ۱۲/۰۲
سفتی هلوی با پوست (N)	۴۷/۵۸ ± ۶/۲۱	۳۰/۰۹ ± ۱۰/۲۰	۵۷/۷۹ ± ۱۳/۰۲	۴۹/۳۷ ± ۲۲/۹۶

جدول ۳. مقادیر پارامترهای فراصوتی هلو

پارامتر	رسیده		نیمه‌رس	
	بزرگ	کوچک	بزرگ	کوچک
سرعت موج (m/s)	۱۷۸/۴۷ ± ۱۹/۷۴	۱۶۷/۳۳ ± ۲۵/۷۶	۱۹۱/۸۶ ± ۱۸/۵۸	۱۹۷/۴۳ ± ۳۰/۳۴
ضریب تضعیف (dB/mm)	۱/۵۹۷ ± ۰/۱۱۶	۱/۹۲۱ ± ۰/۲۴۰	۱/۵۹۲ ± ۰/۱۵۴	۱/۸۳۴ ± ۰/۲۱۷

نتایج و بحث

نتایج حاصل از آزمون حسی نشان داد که تقسیم‌بندی میوه‌ها بر اساس میزان رسیدگی به دو گروه رسیده و نیمه‌رس، مورد تأیید می‌باشد.

مقادیر پارامترهای فیزیکی، مکانیکی، فراصوتی و شیمیایی میوه هلو

با توجه به جدول ۱ که مقادیر پارامترهای فیزیکی هلو را نشان می‌دهد، انحراف معیار نسبتاً بالای جرم میوه‌ها نشان می‌دهد که میوه‌ها به گونه‌ای انتخاب شده‌اند که در محدوده وسیعی از جرم می‌باشند. همچنین میانگین درصد کرویت میوه‌ها در حالی که انحراف معیار کمی دارند، نزدیک ۱۰۰ درصد می‌باشد. بدین مفهوم که میوه‌ها از نظر شکل ظاهری

بیشتر به کره نزدیک می‌باشند. انحراف معیار نسبتاً بالای چگالی نیز نشان دهنده تغییرات زیاد چگالی در میوه‌ها می‌باشد زیرا میوه‌های انتخاب شده شامل میوه‌های رسیده و نیمه رس بوده است.

مقادیر میانگین و انحراف معیار پارامترهای مکانیکی میوه هلو در جدول ۲ ارائه شده است. مرکز فنی تخصصی میوه و سبزی فرانسه^۱، بهترین مرحله رسیدگی و مصرف هلو را با سفتی بدون پوست زیر ۱۷ نیوتن، توسط نفوذسنج میوه با قطر ۸ میلی‌متر، مشخص کرده است (۱۸). برخی کارشناسان نیروی مقاومت ۱۰ تا ۱۵ نیوتن را جهت نفوذ استوانه با قطر ۸ میلی‌متر در میوه بدون پوست، بیانگر رسیدگی مناسب هلو عنوان کرده‌اند (۷). همان‌گونه که ملاحظه می‌گردد، این

رسیده و نیمه‌رس معنی‌دار گردید ($p < 0.01$). بدین معنی که اندازه میوه و درجه رسیدگی آن به ترتیب اثر معنی‌داری بر ضریب تضعیف و سرعت موج می‌گذارد. با توجه به این موضوع، به نظر می‌رسد که بتوان به وسیله اندازه‌گیری ضریب تضعیف موج، میوه‌ها را از نظر اندازه و با محاسبه سرعت موج، آن‌ها را از نظر میزان رسیدگی دسته‌بندی کرد.

بررسی روابط ممکن بین پارامترهای فراصوت و رسیدگی هلو

روابط بین پارامترهای فراصوتی میوه (ضریب تضعیف و سرعت موج فراصوت) با پارامترهای رسیدگی (فیزیکی، مکانیکی و شیمیایی) بررسی گردید. این نتایج به صورت ذیل ارائه شده است:

رابطه ضریب تضعیف موج با قطر هلو

همان‌گونه که قبلاً اشاره گردید، اندازه میوه تأثیر معنی‌داری بر ضریب تضعیف موج فراصوت می‌گذارد. شکل ۳، چگونگی این تأثیر را نشان می‌دهد. بدین صورت که با افزایش اندازه میوه، میزان ضریب تضعیف موج فراصوت به صورت معادله درجه ۲ کاهش می‌یابد.

نتایج، با مقادیر سفتی بدون پوست در دو گروه رسیده و نیمه‌رس جدول ۲ هم‌خوانی دارد.

در حین انجام آزمون فراصوت، از میان ۶ عدد نمونه، هیچ موجی عبور نکرد و محاسبه ضریب تضعیف و سرعت موج مقدور نبود، لذا پس از بررسی بافت آنها، به نظر رسید که وجود فضاهای خالی بسیار زیاد در بافت این میوه‌ها احتمالاً باعث عدم عبور موج شده است چون بافت آن‌ها دارای رشته‌های از هم گسیخته، به همراه فضاهای خالی در بین آن بود. مقادیر پارامترهای فراصوتی هلو (جدول ۳) نشان می‌دهد که سرعت موج فراصوت دارای انحراف معیار کمی بوده، در حالی که ضریب تضعیف موج دارای انحراف معیار نسبتاً زیادی می‌باشد.

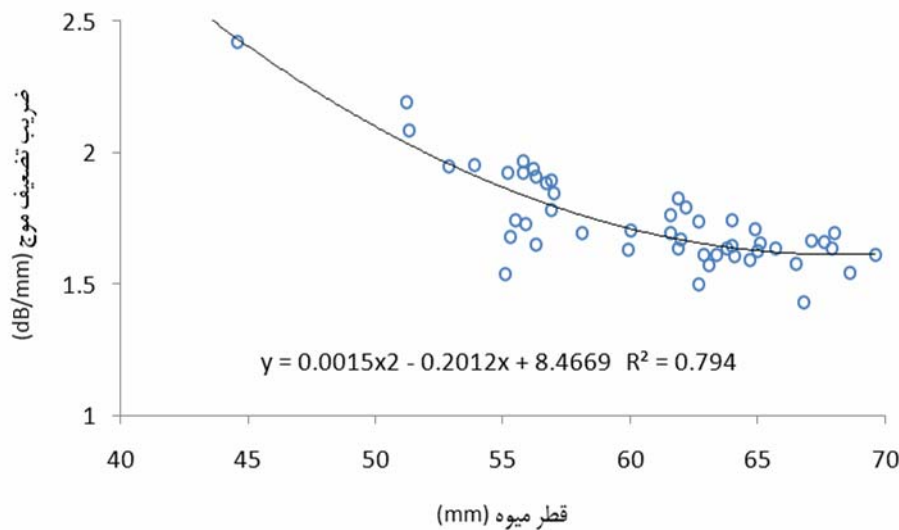
جدول ۴، مقادیر میانگین و انحراف معیار پارامترهای شیمیایی هلو شامل pH، اسیدیته، قندکاهنده، مواد جامد محلول (بریکس) و ماده خشک را نشان می‌دهد.

اختلاف میانگین ضریب تضعیف و سرعت موج فراصوت بین گروه‌های هلو

اختلاف میانگین ضریب تضعیف موج فراصوت بین گروه‌های بزرگ و کوچک، و سرعت موج در گروه‌های

جدول ۴. مقادیر پارامترهای شیمیایی هلو

پارامتر	رسیده		نیمه‌رس	
	کوچک	بزرگ	کوچک	بزرگ
pH	۴/۲۲ ± ۰/۰۵۷	۴/۴۱ ± ۰/۰۷۱	۴/۳۸۵ ± ۰/۰۳۵	۴/۰۷ ± ۰/۰۴۲
اسیدیته (/.)	۰/۴۷ ± ۰/۰۵	۰/۳۶ ± ۰/۰۲	۰/۴۱ ± ۰/۰۱	۰/۶۶ ± ۰/۰۳
قندکاهنده (/.)	۱/۲۵ ± ۰/۰۲	۱/۳۲ ± ۰/۰۷	۱/۲۹ ± ۰/۰۱۸	۱/۵۶ ± ۰/۰۱۲
بریکس (/.)	۱۲/۳۳ ± ۰/۰۸۲	۱۳/۴ ± ۱/۴	۱۳/۱۳ ± ۱/۳۹	۱۲/۵۷ ± ۱/۳۷
ماده خشک (/.)	۱۵/۰۵ ± ۰/۰۵۴	۱۶/۰۵ ± ۲/۳۳	۱۶/۳۵ ± ۰/۰۹۵	۱۵/۷۲ ± ۱/۰۸۴



شکل ۳. نمودار تغییرات ضریب تضعیف موج با قطر هلو

موارد نشان می‌دهد که نتایج حاصل از بررسی انجام شده در این تحقیق با نتایج مطالعات گذشته هم‌خوانی داشته و آن‌ها را تأیید می‌نماید.

روابط بین ضریب تضعیف موج با سفتی هلوی با پوست در کلیه گروه‌ها بررسی شده و روابط معنی‌دار آن در شکل‌های ۶ و ۷ ارائه گردیده است. این روابط در حالت کلی و در گروه‌های نیمه‌رس و رسیده به ترتیب با ضرایب همبستگی ۰/۷۰۷، ۰/۷۵۳ و ۰/۷۶۷ و معادله درجه ۲ به‌دست آمده است ($p < 0/01$). این مورد نشان می‌دهد که با استفاده از اندازه‌گیری ضریب تضعیف موج فراصوت، می‌توان به‌صورت غیرمخرب به میزان سفتی هلوی با پوست دست پیدا کرد. با مرور کارهای انجام شده معلوم گردید مطالعه‌ای که رابطه بین ضریب تضعیف و سفتی با پوست میوه را ارائه کرده باشد تا به حال انجام نگرفته است.

روابط بین سرعت موج فراصوت و سفتی میوه هلو در گروه‌های مختلف بررسی گردید و هیچ‌گونه رابطه معنی‌داری با ضریب همبستگی بالا به‌دست نیامد. بنابراین نمی‌توان از سرعت موج فراصوت، به‌عنوان پیش‌بینی‌کننده

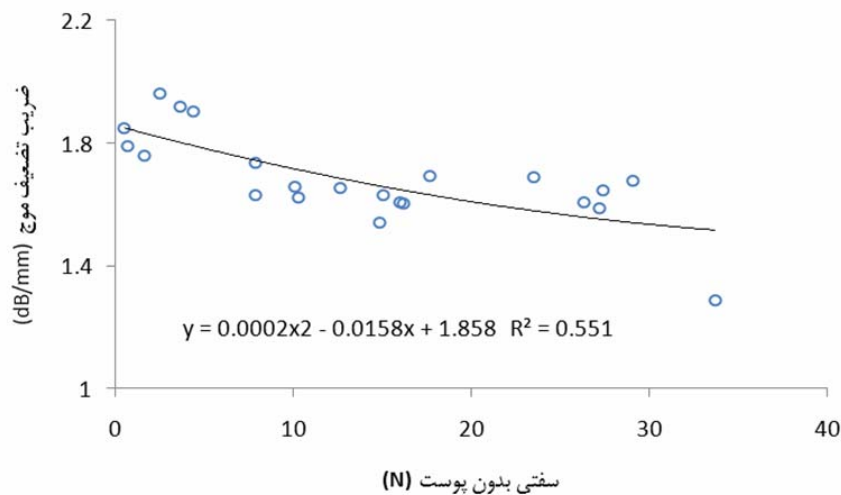
روابط ضریب تضعیف و سرعت موج با خواص مکانیکی هلو

روابط معنی‌دار بین ضریب تضعیف موج فراصوت با سفتی هلوی بدون پوست در حالت کلی و در گروه‌های نیمه‌رس و رسیده، در شکل‌های ۴ و ۵ ارائه گردیده است. همان‌گونه که ملاحظه می‌گردد رابطه ضریب تضعیف موج با سفتی بدون پوست کلیه میوه‌ها و گروه‌های نیمه‌رس و رسیده، به ترتیب با ضرایب همبستگی ۰/۵۵۱، ۰/۹۱۱ و ۰/۸۰۶ با معادله درجه ۲ و روند کاهشی (بجز گروه نیمه‌رس)، به‌دست آمده است ($p < 0/01$). در مطالعه مشابهی که روی میوه انبه انجام شده است، همین روند کاهشی با معادله درجه ۲، برای رابطه سفتی بدون پوست و ضریب تضعیف موج انبه به‌دست آمده است (۱۴ و ۱۵). در تحقیقی دیگر نیز این روند کاهشی به صورت خطی برای میوه آووکادو و در دماهای مختلف انبارداری گزارش شده است (۱۰). همچنین برخی محققان، رابطه بین ضریب تضعیف و سفتی بدون پوست میوه آلو را در طول انبارداری، به صورت یک روند کاهشی با ضریب همبستگی ۰/۷۲ به‌دست آوردند (۱۱). این

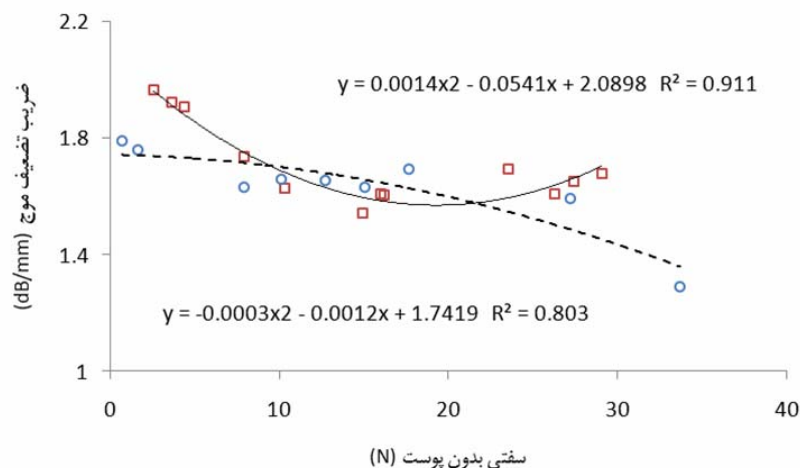
روابط ضریب تضعیف و سرعت موج با چگالی، مواد جامد محلول و درصد ماده خشک هلو

روابط بین ضریب تضعیف و سرعت موج فراصوت با چگالی میوه هلو در گروه‌های مختلف بررسی شد و تنها در حالت کلی رابطه بین ضریب تضعیف موج و چگالی با ضریب همبستگی پایین (۰/۴۷۰) و در سطح ۰/۰۱ معنی دار شد (شکل ۸). در مرور کارهای انجام شده، مطالعه‌ای که این رابطه را برای میوه بررسی کرده باشد یافت نشد.

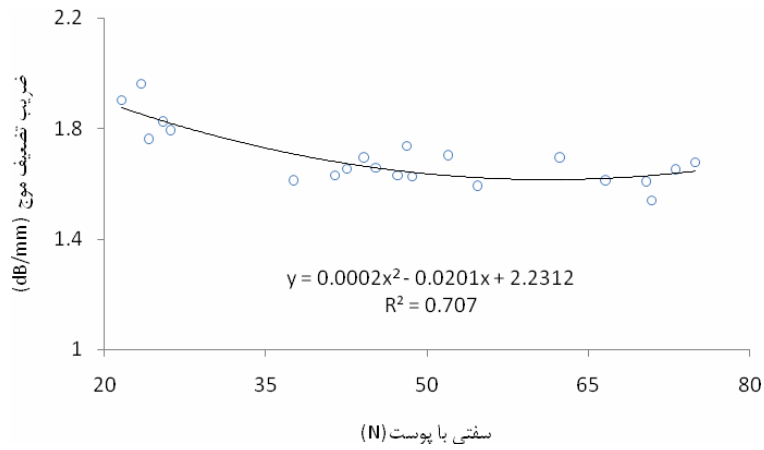
مناسبتی برای سفتی میوه هلو استفاده کرد. برخی محققان رابطه‌ای پیچیده و غیریکنواخت را جهت ارتباط میزان سفتی میوه انبه و آووکادو با سرعت موج فراصوت به دست آوردند و دریافتند که استفاده از سرعت موج فراصوت برای تفسیر تغییرات در بافت میوه به اندازه کافی مناسب نمی‌باشد (۱۰ و ۱۲). پیشنهاد می‌گردد که در مطالعات بعدی برای تعیین رابطه پارامترهای فراصوت با سفتی میوه هلو، از سرعت موج استفاده نشود.



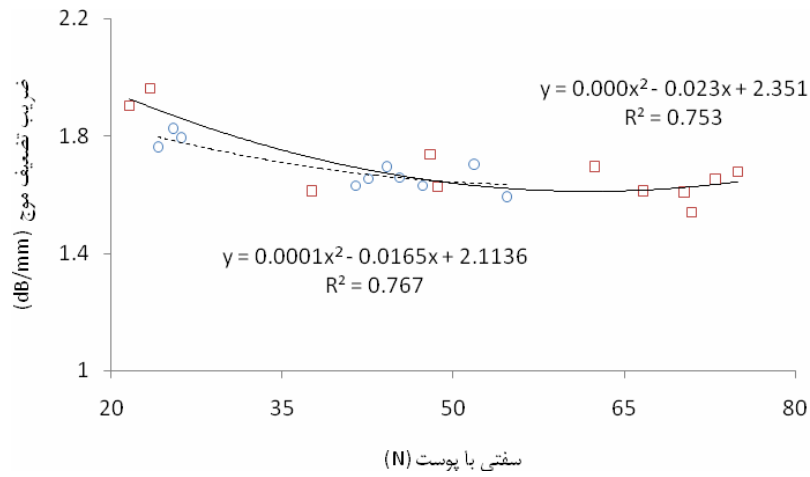
شکل ۴. نمودار تغییرات ضریب تضعیف موج با سفتی هلو بدون پوست



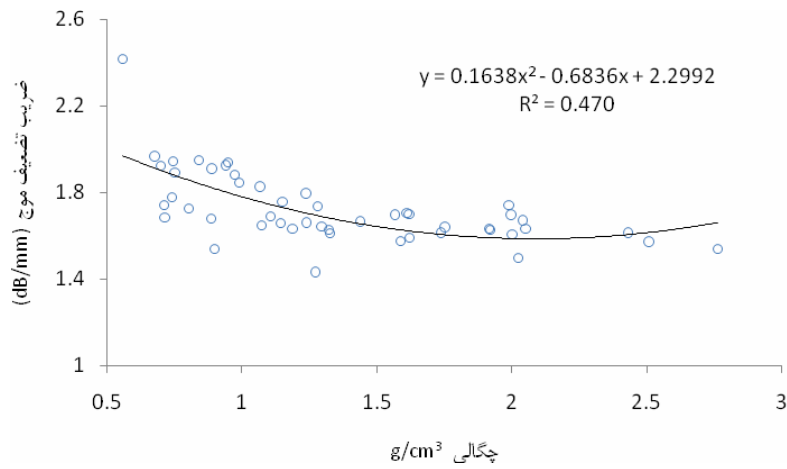
شکل ۵. نمودار تغییرات ضریب تضعیف موج با سفتی هلو بدون پوست در گروه نیمه‌رس () و رسیده (○)



شکل ۶. نمودار تغییرات ضریب تضعیف موج با سفتی هلوی با پوست



شکل ۷. نمودار تغییرات ضریب تضعیف موج با سفتی هلوی با پوست در گروه نیمه‌رس (□) و رسیده (○)



شکل ۸. نمودار تغییرات ضریب تضعیف موج با چگالی هلو

فراصوت هلو ضریب همبستگی خوبی به دست نیامد. رابطه بین سرعت موج فراصوت و میزان اسیدیته هلو در شکل ۹، نشان داده شده است. همان طور که ملاحظه می گردد، این رابطه به صورت معادله درجه ۲ و با ضریب همبستگی 0.806 ، به دست آمده است ($p < 0.05$). بدین صورت که با افزایش میزان اسیدیته، مقدار سرعت موج فراصوت نیز افزایش می یابد. برای ضریب تضعیف موج و اسیدیته، روند خاصی به دست نیامد در صورتی که در مطالعه ای برای میوه انبه، رابطه ضریب تضعیف موج و اسیدیته مطابق با معادله درجه ۲ تعریف، و نشان داده شد که با افزایش میزان اسیدیته، ضریب تضعیف موج فراصوت کاهش می یابد (۱۴).

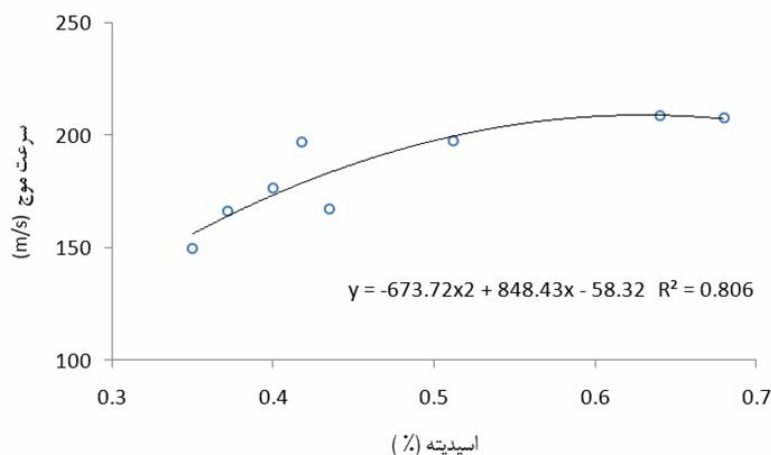
روابط بین ضریب تضعیف و سرعت موج فراصوت با میزان pH میوه هلو در شکل ۱۰ نشان داده شده است. این روابط به ترتیب با ضرایب تبیین 0.822 و 0.890 در سطوح 0.05 و 0.01 معنی دار گردیده است. این شکل نشان می دهد که با افزایش میزان pH، مقادیر ضریب تضعیف و سرعت موج هر دو روند کاهشی دارند، البته ضریب تضعیف به صورت منحنی درجه ۲ و سرعت موج به صورت خطی تغییر می کند.

بررسی نتایج نشان داد که رابطه معنی داری بین ضریب تضعیف و سرعت موج فراصوت با میزان مواد جامد محلول میوه هلو در هیچ یک از گروه ها وجود ندارد. به نظر می رسد در این تحقیق، کافی نبودن حساسیت دستگاه رفرکتومتر، می تواند دلیلی برای معنی دار نشدن این روابط باشد. در مطالعه ای گزارش شده است که با افزایش درصد مواد جامد محلول میوه انبه، ضریب تضعیف موج فراصوت در بافت میوه کاهش می یابد (۱۴).

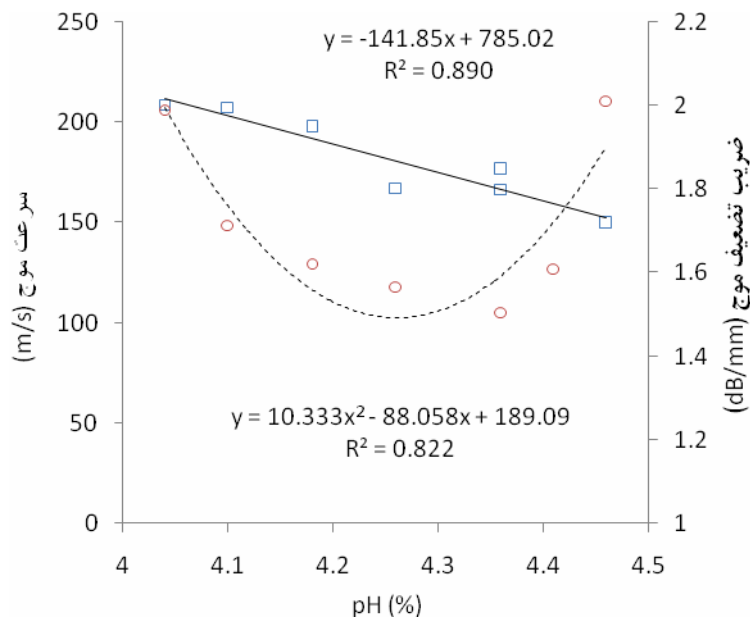
رابطه سرعت موج با درصد ماده خشک هلو در هیچ یک از گروه های میوه با ضریب همبستگی بالا به دست نیامد. این در حالی است که رابطه بین ضریب تضعیف موج و درصد ماده خشک برای میوه آووکادو (در طول انبارداری) به صورت یک روند کاهشی گزارش شده است (۱۵). علت این مغایرت در حال حاضر قابل توضیح نبوده و صحت آن نیاز به تحقیق بیشتری دارد.

روابط ضریب تضعیف و سرعت موج با میزان قند کاهنده، اسیدیته و pH هلو

روابط بین پارامترهای فراصوتی میوه با میزان قند کاهنده، اسیدیته و pH میوه هلو بررسی گردیده و روابط معنی دار آن ارائه شده است. برای رابطه قند کاهنده و پارامترهای



شکل ۹. نمودار تغییرات سرعت موج با میزان اسیدیته هلو



شکل ۱۰. نمودار تغییرات ضریب تضعیف (○) و سرعت (□) موج فراصوت با میزان pH هلو

نتیجه گیری

همچنین با توجه به روابط به دست آمده می‌توان نتیجه گرفت که آزمون فراصوت می‌تواند به صورت یک آزمون غیرمخرب، برخی پارامترهای مرتبط با رسیدگی میوه هلو را اندازه‌گیری کرده و آن‌ها را پیش‌بینی کند. بنابراین ممکن است که با استفاده از این روش، در خطوط فرآوری محصول هلو، عملیاتی مانند جداسازی و درجه‌بندی میوه بر اساس برخی پارامترها به صورت غیرمخرب انجام شود.

در این تحقیق پارامترهای فراصوتی میوه هلو و پارامترهایی از آن که در رابطه با میزان رسیدگی می‌باشند، اندازه‌گیری شده و روابط معنی‌دار موجود بین آن‌ها ارائه گردید. بدین ترتیب می‌توان با استفاده از تست فراصوت و اندازه‌گیری ضریب تضعیف و سرعت موج در هلو، آن را به ترتیب بر اساس اندازه و رسیدگی، درجه‌بندی کرد.

منابع

- ۱) آمارنامه کشاورزی، ۱۳۸۴. اداره کل آمار و اطلاعات، معاونت طرح و برنامه‌ریزی، وزارت جهاد کشاورزی.
- ۲) ذکی دیزجی، ح.، مینایی، س.، توکلی هشتجین، ت.، مختاری دیزجی، م.، منتظر، ع. ۱۳۸۷. کیفیت سنج فراصوتی برای محصولات کشاورزی، مجموعه مقالات پنجمین کنگره مهندسی ماشین‌های کشاورزی و مکانیزاسیون ایران.
- ۳) مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، ۱۳۸۶. استاندارد آب میوه‌ها- روش‌های آزمون، استاندارد شماره ۲۶۸۵، تجدید نظر اول.

- 4) Abbott, J. A. 1999. Quality measurement of fruits and vegetables. *Postharvest Biology and Technology*. 15, 207-225.
- 5) ASAE Standards. 1998. Compression test of food materials of convex shape. ASAE 368.2 Mar 95, American Society of Agricultural Engineers, St. Joseph, East Lansing, MI, USA 554-559.
- 6) Clark, R. L. and P. S. Shackelford. 1975. Methods for Testing the Dynamic Mechanical Response of

- Solid Foods. Transactions of the ASAE. 16 (6), 1140.
- 7) Crisosto C. 1996. Optimum procedures for ripening stone fruit. Management of Ripening Fruit (Univ. of California, Davis). Postharvest Horticulture Series, 9, 28-30.
 - 8) Finney E. E. 1967. Dynamic elastic properties of some fruits during growth and development. Journal of Agricultural Engineering Research. 14 (4), 249.
 - 9) Garret R. E., and R. B. Furry. 1972. Ultrasonic Measurements for Detecting Damage on Agricultural Products. Transactions of the ASAE. 16 (2), 94.
 - 10) Mizrach, A. 2000. Determination of avocado and mango fruit properties by ultrasonic technique. Ultrasonics, 38, 717–722.
 - 11) Mizrach, A. 2004. Assessing plum fruit quality attributes with an ultrasonic method. Food Research International, 37, 627–631.
 - 12) Mizrach, A., N. Galili, S. Ganmor, U. Flitsanov and I. Prigozin. 1996. Models of ultrasonic parameters to assess avocado properties and shelf life. Journal of Agricultural Engineering Research, 65, 261–267.
 - 13) Mizrach, A., N. Galili and G. Rosenhouse. 1989. Determination of fruit and vegetable properties by ultrasonic excitation. Transactions of the ASAE, 32, 2053–2058.
 - 14) Mizrach, A., U. Flitsanov and Y. Fuchs. 1997. An ultrasonic nondestructive method for measuring maturity of mango fruit. Transactions of the ASAE, 40, 1107–1111.
 - 15) Mizrach, A., U. Flitsanov, R. El-Batsri, and C. Degani. 1999. Determination of avocado maturity by ultrasonic attenuation measurements. Scientific Horticulture, 80, 173–180.
 - 16) Povey, M. J. W. and J. M. Wilkinson. 1980. Application of ultrasonic pulse-echo techniques to egg-albumin quality testing a preliminary report. British Poultry Science, 21, 489–495.
 - 17) Sarkar, N. and R. R. Wolfe. 1983. Potential of ultrasonic measurements in food quality evaluation. Transactions of the ASAE, 26, 624–629.
 - 18) Shmulevich I. 1998. A reviews firmness quality measurements in fruits and vegetables. In Proceeding from the international workshop on sensing quality of agricultural products, Montpellier, France, February 23-27, 291-322.
 - 19) Strohine, R., 2002, Physical properties of Agricultural Products and Food Materials, Purdue University, USA.
 - 20) Watts, B. M., G. L., Ylimaki, L. E., Jeffery, and L. G. Elias. 1987. Basic Sensory Methods for Food Evaluations, International Development Research Center. Ottawa, Canada.