

کاربرد روش صوتی برای برآورد سفتی میوه کیوی در مدت نگهداری

شیددخت جوادی^{۱*}، سید مهدی نصیری^۲

۱- دانش آموخته کارشناسی ارشد بخش مهندسی بیوسیستم، دانشگاه شیراز

۲- دانشیار بخش مهندسی بیوسیستم، دانشگاه شیراز

(تاریخ دریافت: ۹۱/۱۱/۱۵ تاریخ پذیرش: ۹۴/۱۰/۱۴)

چکیده

سفتی یکی از خصوصیات مهم کیفیتی میوه کیوی است. این خصوصیت تحت شرایط دما و مدت زمان نگهداری تغییر خواهد نمود. برای تعیین سفتی روش های مختلف مخرب و غیر مخرب تعریف و توسعه یافته است. مزیت روش های غیر مخرب جلوگیری از آسیب به میوه محصول و استفاده از آن در سامانه های فرآوری به صورت بلادرنگ است. هدف پژوهش حاضر ارزیابی روش غیر مخرب صوتی برای تعیین سفتی میوه کیوی در دو دمای مختلف طی مدت زمان نگهداری می باشد. بر همین اساس سفتی کیوی در مدت دو هفته به روش غیر مخرب صوتی مورد بررسی قرار گرفت. برای تعیین همبستگی بین خصوصیات استخراج شده از آزمون صوتی نظیر فرکانس رزونانسی، ضریب استحکام و مدول الاستیسیته، و سفتی میوه، آزمون مخرب نفوذ نیز طی مدت یاد شده بر روی نمونه ها انجام شد. حداکثر نیروی نفوذ در آزمون مخرب رابطه نسبتاً قوی با پارامترهای بدست آمده از آزمون صوتی، فرکانس رزونانسی، ضریب استحکام، مدول الاستیسیته به ترتیب با ضرایب تبیین ۰/۸۳۸، ۰/۸۵۷ و ۰/۸۶۵ داشت. با توجه به رابطه قوی بین مدول الاستیسیته و سفتی، این رابطه مورد واسنجی قرار گرفت و نشان داد با خطای ۷/۴ درصد قادر به تخمین سفتی میوه کیوی است. بنابراین آزمون غیر مخرب صوتی می تواند جایگزین مناسبی برای تعیین سفتی میوه و عمر انبارمانی میوه کیوی باشد.

کلید واژگان: آزمون غیر مخرب، سفتی میوه، فرکانس رزونانسی، کیوی

* مسئول مکاتبات: shidokht_javadi@yahoo.com

۱- مقدمه

در ایران به دلیل تنوع آب و هوایی هر ساله انواع مختلف و متنوعی از میوه ها و سبزی ها تولید می شود. در سال های اخیر بین ۱۵ تا ۲۰ هزار تن کیوی بطور سالیانه صادر می شود که این میزان تنها ۳۰٪ از کل محصول تولید شده می باشد. به علت عدم دقت کافی در زمان برداشت محصول، عدم بسته بندی و انبارداری صحیح نه تنها ضایعات این محصول زیاد است بلکه کیفیت بسته بندی و وضع ظاهری محصول چندان مناسب و مشتری پسند نمی باشد. قابل ذکر است که از لحاظ حجم تولید کیوی ایران مقام چهارم جهان و درنیمکره شمالی در مقام دوم بعد از کشور ایتالیا قرار گرفته است. از نظر صادرات نیز ششمین کشور صادرکننده در جهان می باشد [۱]. امروزه کیوی کالایی کاملاً اقتصادی تلقی می شود و در مقایسه با سایر محصولات کشاورزی که در شرایط آب و هوایی مشابه کیوی در کشور کشت می شوند (نظیر برنج و مرکبات) بازدهی اقتصادی بالایی دارد.

تغییرات مداوم فیزیولوژیک در سلول های زنده سبب می شود که تشخیص ویژگی میوه میوه ها و سبزی ها تغییر کرده و تشخیص آن مشکل گردد. کیفیت میوه کیوی به وسیله پارامترهای داخلی و خارجی متعددی تعیین می شود. پارامترهای فیزیکی ظاهری مانند شکل و وزن به سادگی قابل اندازه گیری است، اما تعیین پارامترهای کمی و کیفی داخلی مانند سفتی، قند و درصد اسیدپتئین به راحتی ممکن نیست. سفتی یکی از ویژگی های مهم کیفیت داخلی است که در مدت زمان رسیدگی و نگهداری تغییر می کند. روش های مختلفی برای اندازه گیری سفتی وجود دارد. آزمون نفوذ (پانچ) یک روش مرسوم برای اندازه گیری سفتی توسط سیستم های مکانیکی می باشد. به دلیل طبیعت مخرب این آزمون و اهمیت سرعت و در عین حال دقت تعیین سفتی میوه، روش های غیر مخرب مورد توجه قرار گرفته اند. در میوه های بیولوژیکی رفتار ارتعاشی میوه می تواند به عنوان شاخص رسیدگی بر اساس خصوصیات الاستیک میوه مورد استفاده قرار گیرد. روش های غیر مخربی با استفاده از پارامترهای صوتی میوه برای بدست آوردن سفتی میوه و عیوب داخلی محصولات مختلفی مانند سیب، هلو، آووکادو و خربزه به کار بسته شده است [۲]. محققان از سیگنال های صوتی ایجاد شده در اثر ضربه

پاندول به میوه برای تشخیص رسیدگی آن استفاده نمودند [۳]. فرکانس رزونانسی میوه یکی از خصوصیات استخراج شده از آزمون صوتی است که به منظور اندازه گیری سفتی میوه توسط محققان پیشنهاد شده است [۴، ۵]. بر اساس این تئوری فرکانس رزونانسی نمونه متناسب با ابعاد، جرم حجمی و نسبت پواسن است. آنالیزهای کیفی انجام شده روی محصولات کروی نشان داد که بهترین سیگنال تولیدی زمانی رخ می دهد که دریافت کننده فرکانس با فاصله صفر یا ۱۸۰ درجه نسبت به محل اعمال ضربه قرار داشته باشد [۶]. همستگی قوی بین فرکانس رزونانسی و خصوصیات مکانیکی میوه گزارش شده است [۷-۹]. اندازه گیری پارامترهای صوتی می تواند تغییرات خصوصیات مکانیکی میوه را قبل، در مدت و بعد از برداشت مشخص کند. این روش غیر مخرب برای ارزیابی محصولاتی مانند سیب [۱۰-۱۱]، آووکادو [۱۲] و هلو [۹، ۸] بررسی شده است.

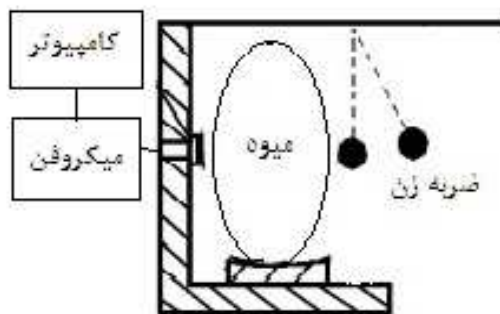
با توجه به موارد بیان شده فوق و حساسیت میوه کیوی به عنوان یک محصول فرازگرا^۱ در این مقاله بررسی تغییرات سفتی میوه کیوی در مدت زمان نگهداری توسط آزمون صوتی به عنوان روش غیر مخرب و مقایسه آن با آزمون مخرب نفوذ مد نظر می باشد. نتایج مثبت این روش امکان فراوری میوه کیوی را حین ارزیابی به صورت بلادرنگ امکان پذیر می سازد.

۲- مواد و روش ها

۲-۱- آماده سازی نمونه

برای آزمایش از ۳۶۰ عدد میوه کیوی با رطوبت اولیه $81/5 \pm 0/7$ درصد (مبنای تر) در یک فصل برداشت استفاده شد. در انتخاب نمونه ها سعی شد تا حد ممکن از نظر شکل و اندازه یکسان باشند تا از تاثیر تغییرات حاصل از تفاوت اندازه آنها کاسته شود. بر همین اساس ابعاد میوه (سه قطر عمود بر هم) با کولیس دیجیتال مدل GUANGLU با دقت $\pm 0/01$ میلی متر اندازه گیری و ثبت شد.

1. Climacteric



شکل ۱ سامانه صوتی

ارتباط بین میکروفن و کارت صدای کامپیوتر از طریق فیش مونو برقرار بود. داده های انتقال یافته به کامپیوتر در محیط نرم افزار متلب بارگذاری گردید. سپس ابزار اسپیلوسکوپ موجود در نرم افزار با کارت صوتی کامپیوتر ارتباط برقرار کرده و داده های دریافت شده را با اجرای یک برنامه نوشته شده (کد) در نرم افزار در حوزه زمان نمایش داد. داده های بدست آمد از محیط کاری متلب در پوشه مخصوص ذخیره شد. به منظور بدست آوردن فرکانس رزونانسی بعد از ذخیره سیگنال های ضبط شده قسمتی که شامل سیگنال های ضربه بوده به وسیله نرم افزار متلب جدا شد تا حجم داده ها و نوفه ها کاهش یابد.

پس از کوچک کردن سیگنال، از منوی تبدیل فوریه در نرم افزار متلب برای انتقال داده ها از حوزه زمان به فرکانس استفاده شد. سپس اولین فرکانس رزونانسی نمونه تعیین شد. بطور قراردادی حداکثر فرکانس در دامنه فرکانسی به عنوان اولین فرکانس رزونانسی در نظر گرفته می شود [۸] که در این پژوهش مورد استفاده قرار گرفت.

از آنجا که پژوهش های گذشته نشان داده است که ضریب استحکام و مدول الاستیسیته ارتباط معناداری با سفتی میوه دارند [۱۴-۱۵] پس از تعیین فرکانس رزونانسی، ضریب استحکام و مدول الاستیسیته از روابط زیر محاسبه شدند [۱۶]

$$SC = f^2 m^{\frac{2}{3}}$$

که SC ضریب استحکام ($\text{kg}^{2/3} / \text{s}^2$)، f فرکانس رزونانسی (Hz) و m جرم میوه (g) می باشد.

$$EC = f^2 m^{\frac{2}{3}} \rho^{\frac{1}{3}}$$

که EC مدول الاستیسیته (Pa) و ρ جرم حجمی (kg/m^3) می باشد.

۲-۲- شرایط نگهداری

میوه های کیوی به دو گروه ۱۸۰ تایی تقسیم شدند و به مدت ۲ هفته در دو دمای دو و ۲۰ درجه سانتی گراد و رطوبت نسبی ۴۵٪ نگهداری شدند. برای نگهداری نمونه ها در دمای ۲۰ درجه از ژرمیناتور و دمای دو درجه از یخچال استفاده شد. به فواصل زمانی سه روز از هر گروه ۳۰ نمونه به طور تصادفی انتخاب و قبل از آزمایش به مدت ۱۲ ساعت در شرایط محیط قرار داده شدند.

۲-۳- جرم و جرم حجمی میوه

اندازه گیری جرم کیوی ها با استفاده از ترازوی دیجیتال مدل GF-600 با دقت ± 0.01 گرم انجام شد. برای محاسبه جرم حجمی میوه ها روش غوطه ور سازی مورد استفاده قرار گرفت. بدین منظور معادل ۱۵۰ سی سی آب در یک بشر مدرج ریخته شد و سپس میوه کیوی درون بشر قرار داده شد. برای خارج ساختن حباب های احتمالی ایجاد شده اطراف میوه آب درون ظرف بهم زده شد. پس از ساکن شدن حرکت آب سطح جدید آب خوانده شد. با استفاده از رابطه زیر و لحاظ کردن حجم آب جابجا شده معادل حجم میوه، جرم حجمی محاسبه گردید.

$$\rho = \frac{m}{v}$$

$$\rho: \text{جرم حجمی (kg/m}^3\text{)}$$

$$m: \text{جرم (kg)}$$

$$v: \text{حجم محاسبه شده از روش غوطه وری (m}^3\text{)}$$

۲-۴- آزمون صوتی

برای تعیین سفتی میوه ها یک سامانه صوتی ساخته شد. این سامانه شامل گیره مخصوص نگهداری محصول، محل استقرار میکروفن و بازوی نگهداری پاندول بود (شکل ۱). پاندول از یک گوی پلاستیکی به قطر ۱۰ میلی متر و وزن ۹ گرم ساخته شده بود که به یک نخ پلاستیکی به طول ۱۰ سانتی متر متصل شده بود. برای ایجاد ضربه با شدت های مختلف این پاندول از سه زاویه ۳۰، ۶۰ و ۹۰ درجه رها شد و پس از ضربه به میوه صوت حاصل شده توسط میکروفن که در سمت مقابل آن (۱۸۰ درجه) به فاصله ۲ تا ۳ میلیمتری از میوه نصب شده بود ضبط گردید [۱۲].

۲-۵- آزمون نفوذ

برای واسنجی پارامترهای صوتی بدست آمده و سفتی میوه میوه، میوه ها از نقطه مقابل محل ضربه با دستگاه ستام مدل (SMT-20) مورد آزمون نفوذ قرار گرفتند. بدین منظور از یک پروب به قطر ۸ میلی متر با سرعت حرکت پروب ۲۰ میلی متر بر دقیقه استفاده گردید. حداکثر عمق نفوذ ۱۰ میلی متر در نظر گرفته شد. حداکثر نیروی نفوذ به عنوان سفتی میوه میوه مورد استفاده قرار گرفت [۹].

۲-۶- تجزیه و تحلیل نتایج

تجزیه و تحلیل داده های بدست آمده با استفاده از آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملا تصادفی و توسط نرم افزار SPSS انجام شد. همبستگی میان پارامترهای صوتی و سفتی حاصل از آزمون نفوذ در نرم افزار اکسل بررسی شد. با استفاده از رگرسیون، مدل مناسب برای تعیین سفتی کیوی بدست آمد. برای ارزیابی مدل از آماره های میانگین خطای سوگیری^۱ و درصد خطای میانگین بین مدل و داده های واقعی (خط یک به یک) استفاده شد. این آماره ها با استفاده از روابط زیر تعیین گردیدند:

$$MBE = \left(\frac{1}{N}\right) (C_p(x_i, t) - C_o(x_i, t))$$

$C_p(x_i, t)$ مقدار مورد انتظار، $C_o(x_i, t)$ مقدار واقعی و N تعداد نمونه می باشد.

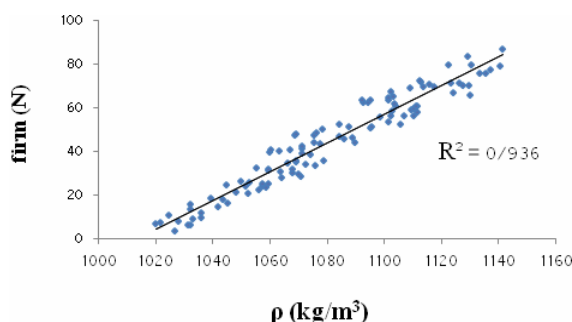
همچنین برای بررسی تاثیر مدل پیشنهادی بر پراکندگی داده های پیش بینی شده، از آزمون F استفاده شد. در این آزمون فرض تساوی بودن پراکندگی بین داده های اصلی و مدل شده (به عنوان فرض صفر) مورد بررسی قرار گرفت.

۳- نتایج و بحث

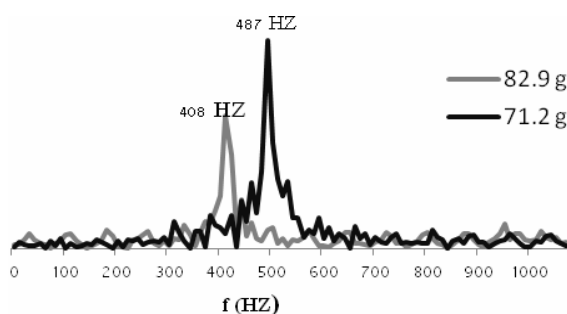
۳-۱- تاثیر جرم حجمی بر فرکانس رزونانسی

جرم میوه یکی از پارامترهای مهم تأثیر گذار بر فرکانس رزونانسی میوه می باشد. اما با توجه به اینکه تغییر وزن می تواند مستقل یا وابسته به اندازه میوه تغییر کند، بر این اساس رابطه

فرکانس و جرم حجمی مورد بررسی قرار گرفت. مطابق شکل ۲ رابطه خطی قوی بین سفتی میوه و جرم حجمی بدست آمد. وانگ^۲ و همکاران (۲۰۰۶) بیان کردند که کیوی هایی با سفتی نسبتا یکسان دارای جرم حجمی نزدیک به هم هستند. بر این اساس با ثابت بودن جرم حجمی، کیوی های با وزن بیشتر دارای حجم بیشتر نیز بوده و از این رو صوت با سرعت بیشتری میرا می شود که منجر به کاهش فرکانس و دامنه آن شد (شکل ۳).



شکل ۲ رابطه جرم حجمی و سفتی میوه کیوی



شکل ۳ فرکانس رزونانسی کیوی در وزن های مختلف (سفتی

30.7 ± 0.2 نیوتن)

۳-۲- تاثیر مدت زمان نگهداری

بر اساس نتایج با افزایش مدت زمان نگهداری میوه نیروی نفوذ (سفتی) کاهش یافت. در دمای دو درجه سانتی گراد درصد تغییرات نیروی نفوذ ۶۷/۷ با میانگین ۴۳/۳ و انحراف معیار ۱۱/۹ و در دمای ۲۰ درجه سانتی گراد ۶۱/۵ با میانگین ۴۲/۲ و انحراف معیار ۱۸/۱ بدست آمد.

2. Wang

1. Mean bias error

جدول ۱ درصد کاهش پارامترهای صوتی و سفتی در مدت

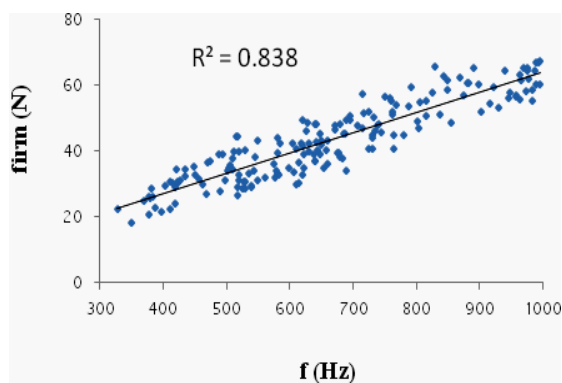
نگهداری				
سفتی (N)	مدول الاستیسیته (Pa)	ضریب استحکام $\text{kg}^{2/3}/\text{s}^2$	فرکانس رزونانسی (Hz)	دمای نگهداری (درجه سانتی گراد)
۴۶/۷	۷۵/۸	۷۴/۳	۵۲/۰	۲
۶۱/۵	۸۴/۷	۸۴/۰	۶۴/۲	۲۰

۳-۳- تاثیر دمای نگهداری

اسکات و همکاران (۱۹۹۹) در تحقیق خود بر روی سفتی گوجه فرنگی نشان دادند که افزایش دمای نگهداری سبب افزایش روند تغییرات سفتی میوه می شود. داده های بدست آمده از مدت زمان نگهداری کیوی در دو دمای دو و ۲۰ درجه سانتی گراد نتایج مشابهی را نشان داد همچنین نمونه های نگهداری شده در دمای دو درجه سانتی گراد دارای پراکنش کمتری در مقادیر سفتی بودند.

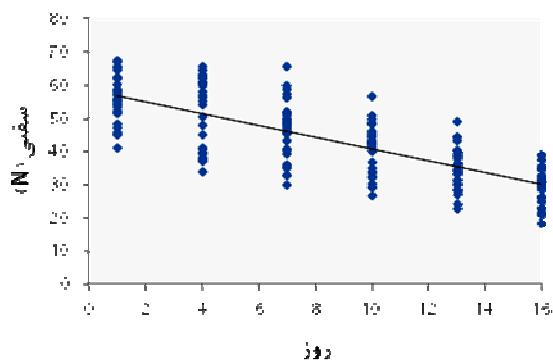
۳-۴- تعیین رابطه فرکانس رزونانسی و سفتی میوه

نتایج حاکی از وجود یک رابطه خطی مستقیم بین داده های فرکانس رزونانسی و سفتی میوه حاصل از آزمون های صوتی و نفوذ است (شکل ۶).

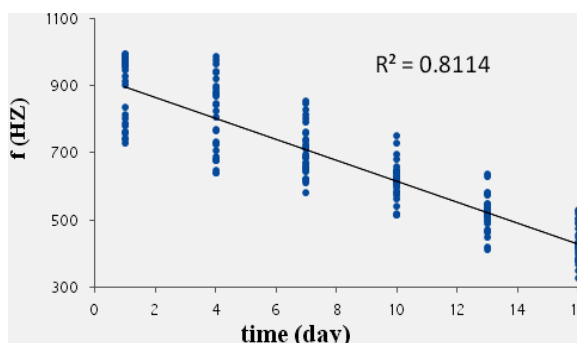


شکل ۶ رابطه فرکانس رزونانسی و سفتی میوه در دمای دو درجه سانتی گراد

افزایش حداکثر مقدار نیروی لازم برای نفوذ در میوه به دلیل افزایش جرم حجمی آن بود. گومز و همکاران (۲۰۰۵) در تحقیق خود بر روی گلابی بیان کردند که با افزایش جرم حجمی، میوه متراکم تر شده و صوت با سرعت بیشتری از میوه آن عبور می



شکل ۴ تاثیر مدت زمان نگهداری بر سفتی (نیروی نفوذ)



شکل ۵ تغییرات فرکانس رزونانسی در مدت زمان نگهداری

همچنین فرکانس رزونانسی و دامنه آن با افزایش مدت زمان نگهداری مطابق شکل ۵ با یک روند خطی ($R^2=0/811$) کاهش یافت که این کاهش به دلیل نرم شدن میوه کیوی و کاهش سفتی آن در طول نگهداری بود. اسکات و همکاران (۱۹۹۹)، گومز و همکاران (۲۰۰۴) و وانگ و همکاران (۲۰۰۶) نتایج مشابهی را در تحقیقات خود گزارش کردند.

ضریب استحکام و مدول الاستیسیته با افزایش مدت زمان نگهداری کاهش بیشتری نسبت به فرکانس رزونانسی داشت. جدول ۱ درصد کاهش هر پارامتر را در مدت زمان نگهداری نشان می دهد.

$$Firm = -6 \times 10^{-16} EC^2 + 4 \times 10^{-7} EC + 1677$$

EC: مدول الاستیسیته (Pa)

رابطه خطی بین سفتی و ضریب استحکام در دمای ۲۰ درجه سانتی گراد با ضریب تبیین $R^2 = 0/856$ از معادله زیر بدست می آید:

$$Firm = -7 \times 10^{-16} EC^2 + 4 \times 10^{-7} EC + 13/2$$

۴-۶- ارزیابی مدل مدول الاستیسیته

از یک سری داده های جدید برای ارزیابی مدل بدست آمده استفاده شد. آماره های میانگین خطای سوگیری و درصد میانگین خطا محاسبه گردید که به ترتیب دارای مقادیر $-0/6$ و $7/4$ درصد بدست آمد. همچنین با استفاده از آزمون F مقایسه پراکندگی داده های مدل شده و واقعی بررسی گردید. نتایج نشان داد که بین واریانس داده های تخمین زده شده از مدل و داده های اصلی با احتمال $0/01$ تفاوت معنی داری وجود ندارد. بنابراین روش پیشنهادی قابلیت مناسبی برای تخمین سفتی میوه کیوی دارا می باشد.

۵- نتیجه گیری

به دلیل تاثیر وزن بر فرکانس رزونانسی و تغییرات آن در مدت زمان نگهداری ضریب استحکام نسبت به فرکانس رزونانسی سفتی را بهتر برآورد نمود. همچنین نتایج نشان داد که به دلیل ثابت نبودن جرم حجمی میوه کیوی در طول نگهداری مدول الاستیسیته برای ارزیابی میوه نسبت به ضریب استحکام قابل استفاده تر است. از طرفی همبستگی بالای بین مدول الاستیسیته و مدت زمان نگهداری کاربرد مدول الاستیسیته برای برآورد سفتی میوه قابل توجیه است.

۶- منابع

- [1] Anonymous. 2009. Kiwi and its Economics. Market planning Department, Jehade Keshavarzi Organization of Mazandarn. (in Persian)
[2] Tong, s., Kang, H., Huirong, X., Yibin, Y. 2010. Research advance in nondestructive

کند و در نتیجه فرکانس رزونانسی میوه افزایش می یابد. وانگ و همکاران (۲۰۰۶) نیز به نتایج همسانی دست یافتند. رابطه بین فرکانس رزونانسی و حداکثر مقدار نیروی لازم برای نفوذ در دمای دو درجه سانتی گراد با ضریب تبیین $R^2 = 0/838$ به صورت زیر بدست آمد:

$$Firm = 0/06f + 2/3$$

f: فرکانس رزونانسی (Hz)

Firm: سفتی میوه (N)

رابطه مشابهی بین فرکانس در دمای ۲۰ درجه سانتی گراد با ضریب تبیین $R^2 = 0/813$ به صورت زیر برقرار است:

$$Firm = 0/06f + 0/21$$

۴-۴- تعیین رابطه ضریب استحکام و سفتی میوه

یک رابطه خطی مستقیم بین ضریب استحکام و سفتی میوه میوه وجود داشت به طوری که با افزایش سفتی، مقدار ضریب استحکام نیز افزایش یافت. این تغییرات منطقی می باشد زیرا ضریب استحکام رابطه مستقیم با مجذور فرکانس رزونانسی دارد. اسکات و همکاران (۱۹۹۹) و گومز و همکاران (۲۰۰۵) نیز در تحقیقات خود گزارش کردند که با افزایش سفتی مقدار ضریب استحکام افزایش یافته است. رابطه بین حداکثر نیروی نفوذ و ضریب استحکام در دمای دو درجه سانتی گراد با ضریب تبیین $R^2 = 0/857$ از معادله زیر بدست می آید:

$$Firm = -7 \times 10^{-14} SC^2 + 4 \times 10^{-6} SC + 15/6$$

SC: ضریب استحکام ($\text{kg}^{1/3} \text{Hz}$)

به صورت مشابه رابطه بین سفتی و ضریب استحکام در دمای ۲۰ درجه سانتی گراد با ضریب تبیین $R^2 = 0/854$ از معادله زیر بدست می آید:

$$Firm = -8 \times 10^{-14} SC^2 + 4 \times 10^{-6} SC + 13/1$$

۴-۵- تعیین رابطه مدول الاستیسیته و سفتی

نتایج به دست آمده از محاسبه مدول الاستیسیته و سفتی نشان داد که یک رابطه خطی مستقیم بین این دو پارامتر وجود دارد، به طوری که با افزایش سفتی مقدار مدول الاستیسیته نیز افزایش یافته است. رابطه بین سفتی و ضریب استحکام در دمای دو درجه سانتی گراد با ضریب تبیین $R^2 = 0/865$ از معادله زیر بدست می آید:

- [9] Wang, J., Teng, T., Yu, Y. 2006. The firmness detection by excitation dynamic characteristics for peach. *Food Control*, 17: 353–358
- [10] Chen, H. 1993. Analysis on the acoustic impulse resonance of apples for nondestructive estimation of fruit quality. Unpublished Ph.D. thesis, KU Leuven, Belgium.
- [11] Chen, H., De Baerdemaeker, J., 1993. Effect of apple shape on acoustic measurements of firmness. *Journal of Agricultural Engineering*, 56: 253–266.
- [12] Galili, N., Shmulevich, I., Benichou, N., 1998. Acoustic testing for fruit ripeness evaluation. *Transactions of the ASAE*, 41: 399–407.
- [13] Diezma, I. B., Valero, C., Garcia-Ramos, F. J., Ruiz-Altisent, M. 2005. Monitoring of firmness evolution of peaches during storage by combining acoustic and impact methods. *Journal of Food Engineering*, 77: 926–935.
- [14] Galili, N., De Baerdemaeker, J. 1996. Performance of acoustic test methods for quality evaluation of agricultural products. In: ISMA Conference, Leuven, Belgium.
- [15] Schotte, S., De Belie, N., De Baerdemaeker, J. 1999. Acoustic impulse response technique for evaluation and modelling of firmness of tomato fruit. *Postharvest Biology and Technology*, 17: 105–115.
- [16] Cooke, J. R., Rand, R. H. 1973. A mathematical study of resonance in intact fruits and vegetables using a 3-media elastic sphere model. *Journal of Agricultural Engineering*, 18: 141–149
- determination of internal quality in watermelon/melon: A review. *Journal of food engineering*, 100: 569–577.
- [3] Sugiyama, J., Katurai, T., Hong, J., Koyama, H., Mikuriya, K. 1996. Melon ripeness monitoring by a portable firmness tester. *Transactions of the ASAE*, 41: 121–127.
- [4] Affeldt Jr, H. A., Abbott, J. A., 1989. Apple firmness and sensory quality using contact acoustic transmission. In Proceedings of the eleventh international congress on agricultural engineering, 3: 2037–2045.
- [5] Van Woensel, G., Verdonck, E., DeBaerdermaeker, J. D. 1988. Measuring the mechanical properties of apple tissue using modal analysis. *Journal of Food Process Engineering*, 10: 151–163.
- [6] Huarng, L., Chen, P., Upadhyaya, S., 1993. Determination of acoustic vibration modes in apples. *Transactions of the ASAE*, 36: 1423–1429.
- [7] Abbott, J. A., Bachman, G. S., Childers, N. F., Fitzgerald, J. V., Matusik, F. J. 1968. Sonic techniques for measuring texture of fruits and vegetables. *Food Technology*, 22: 635–646.
- [8] Gomez, A. H., Wang, J., Pereira, A. G. 2005. Impulse response of pear fruit and its relation to Magness-Taylor firmness during storage. *Journal of Postharvest Biology and Technology*, 35: 209–215.

Application of acoustic method for estimation of kiwifruit firmness during storage

Javadi, Sh. ^{1*}, Nasiri, S. M. ²

1. Former graduate student, Department of Biosystems Engineering, Shiraz University
2. Associate professor, Department of Biosystems Engineering, Shiraz University

(Received: 91/11/15 Accepted: 94/10/14)

Firmness is a very important quality property for kiwifruit. This property is affected by storage temperature and duration. Recently, some destructive and non-destructive methods were developed and used for fruit firmness assessment. However, non-destructive methods have merits of real-time and on-line applications as well as preventing fruit destruction. The objective of the present study was to evaluation of non-destructive acoustic technique for assessing the kiwifruit firmness at two different temperature levels during a storage period. On this basis, firmness of kiwifruit during two weeks of storage by non-destructive method was monitored. For determining the correlation between resonant frequency, stiffness and elasticity coefficients, and fruit firmness, destructive puncture test (Magness-Taylor) was also applied. The maximum penetration force in puncture test depicted a strong correlation with those from acoustic tests, resonant frequency, stiffness coefficient and elasticity modulus with the coefficients of determination of 0.838, 0.857 and 0.865, receptivity. According to the maximum correlation coefficient between modulus of elasticity and firmness, the relation was verified by new set of data, and revealed that it could estimate the fruits firmness with an error of 7.4 percent. Therefore, non-destructive acoustic test is an appropriate substitution method for estimation of kiwifruit firmness during shelf-life.

Keywords: Fruit firmness, Kiwifruit, Non-destructive test, Resonant frequency

* Corresponding Author E-Mail Address: shidokht_javadi@yahoo.com