

## تشخیص رسیدگی خربزه با روش غیرمخرب پاسخ آکوستیکی

فرهاد خوشنام\*، حسین مبللی، سیدرضا حسن بیگی بیدگلی، شاهین رفیعی، علی رجبی پور و  
افشین ایوانی\*\*

\*نگارنده مسئول، نشانی: کرج، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران، ص. پ. ۴۱۱۱، تلفن ۳۲۲۴۱۱۱۵ (۰۲۶)،  
پایان‌نگار: fkhoshtnam@ut.ac.ir

\*\* به ترتیب: دانشجوی دکترا؛ و استاد گروه مکانیک ماشین‌های کشاورزی، دانشکده مهندسی و فناوری کشاورزی دانشگاه تهران؛ دانشیار  
گروه فنی کشاورزی، پردیس ایوریحان دانشگاه تهران؛ دانشیاران گروه مکانیک ماشین‌های کشاورزی، دانشکده مهندسی و فناوری کشاورزی  
دانشگاه تهران و استادیار پژوهشی موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی  
تاریخ دریافت: ۹۰/۵/۸؛ تاریخ پذیرش: ۹۱/۳/۲۷

### چکیده

در این تحقیق برای تشخیص رسیدگی دو رقم خربزه صادراتی "زرد/ایوانکی" و "سوسکی سبز" از راه غیرمخرب سامانه آزمایشگاهی مبتنی بر فناوری آکوستیک استفاده شد. سامانه آزمایشگاهی شامل راه‌کار تحریک مکانیکی میوه، حسگر صوتی (صداسنج)، تجهیزات نمایش و ضبط سیگنال صدا و تکیه‌گاه میوه است. در این سامانه، میوه بر اثر ضربه آونگ تحریک شده و پاسخ سیگنال به کمک صداسنج غیرتماسی دریافت و پردازش می‌شود. برای بررسی تغییرات رسیدگی، خربزه‌ها در پنج بازه زمانی در طول فصل رشد برداشت شدند. در هر مرحله، خواص فیزیکی و مکانیکی، درصد مواد جامد انحلال‌پذیر و رطوبت، آزمون‌های حسی و آکوستیکی روی نمونه‌ها اندازه‌گیری شد. نتایج نشان می‌دهد که در طول فصل رشد برای هر دو رقم، تراز فشار صوت، جرم و درصد مواد جامد انحلال‌پذیر روندی صعودی و فرکانس تشدید و مدول الاستیسیته روندی نزولی دارند. در رقم زرد ایوانکی، فرکانس تشدید از ۱۳۲/۲۵ به ۱۱۱/۳۳ هرتز و در رقم سوسکی سبز از ۱۲۸/۹۱ به ۱۱۱/۳۳ هرتز کاهش یافت. تراز فشار صوت رقم زرد ایوانکی، از ۴۹/۲۱ به ۵۷/۷۴ دسی‌بل و در رقم سوسکی سبز، از ۴۹/۶۶ به ۵۸/۲۲ دسی‌بل رسید. از مقایسه با نتایج آزمون‌های حسی مشخص شد که فرکانس تشدید و تراز فشار صوت در وضعیت رسیده خربزه رقم زرد ایوانکی به ترتیب ۱۱۳/۳۴ هرتز و ۵۶/۹۳ دسی‌بل و در رقم سوسکی سبز به ترتیب ۱۱۴/۲۶ هرتز و ۵۶/۲۵ دسی‌بل است. اختلاف فرکانس تشدید و تراز فشار صوت بین دو رقم ناچیز و روند تغییرات یکسان است. نتایج این تحقیق می‌تواند در ساخت سامانه صوتی غیرمخرب به منظور ارزیابی رسیدگی خربزه سودمند باشد.

### واژه‌های کلیدی

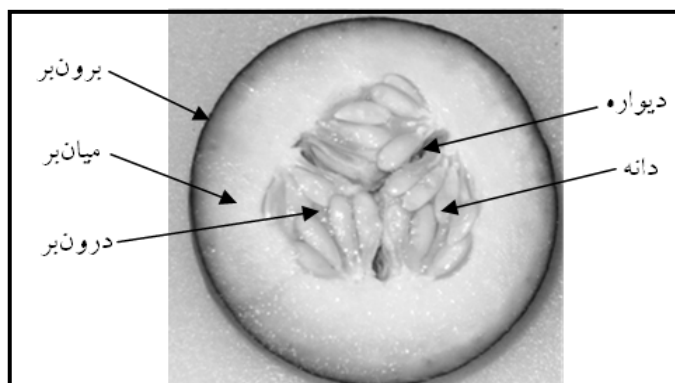
آکوستیک، رسیدگی خربزه، آزمون حسی، فرکانس تشدید

### مقدمه

و دارای عطر مخصوص به خود و فاقد آسیب‌دیدگی، آفت‌زدگی، بوته‌مردگی، بدشکلی و ناموزونی است. در این حالت میزان قند، موادمعدنی، و ویتامین‌های آن حداکثر است. مقطع عرضی خربزه و اندام‌های آن در شکل ۱ نشان داده شده است. برون‌بر<sup>۳</sup> قشر بیرونی سفت، و

خربزه بومی آسیا و به احتمال زیاد بومی ایران است. نام علمی خربزه کوکومیس ملبو<sup>۱</sup> و از تیره کوکوربیتاسه<sup>۲</sup> است. خربزه با کیفیت، طعم خوب، تردی، و رنگ پوست روشن (سبز روشن و یا زرد روشن) دارد، پوست آن مشبک

مقاومی است که به قسمت نرم‌تر و گوشتی به نام میان‌بر<sup>۱</sup> است که با دیواره<sup>۲</sup> از یکدیگر جدا شده‌اند و دانه‌ها<sup>۴</sup> در این کاملاً چسبیده است. درون‌بر<sup>۳</sup> دارای بخش‌های مختلفی بخش قرار دارند.



شکل ۱- مقطع عرضی خربزه و اندام‌های آن.

گفته کرده‌اند. روش پاسخ به ضربه اغلب برای اندازه‌گیری سفتی میوه‌های کروی استفاده می‌شود (Abbott et al., 1997; De Belie et al., 2000). در این روش، میوه به واسطه ضربه چکش یا آونگ تحریک خواهد شد و پاسخ سیگنال به کمک میکروفون، شتاب‌سنج، یا حسگر پیزوالکتریک انعطاف‌پذیر دریافت شده و سپس برای استخراج فرکانس‌های تشدید میوه با استفاده از الگوریتم تبدیل فوریه سریع آنالیز می‌شود. اخیراً این روش برای اندازه‌گیری خصوصیات میوه‌های غیرکروی نیز تعمیم یافته است (Jancsok et al., 2001). برای بیان سفتی میوه کروی، ضریب سفتی (S) یا شاخص سفتی<sup>۵</sup> (FI) از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$S = f^2 m^{2/3} \quad (1)$$

که در آن،

$S$  = ضریب سفتی (کیلوگرم به توان  $2/3$  بر مجذور ثانیه)،  
 $f$  = فرکانس تشدید (هرتز)، و  $m$  = جرم (کیلوگرم) است (Cooke, 1972). برخی از محققان، ضریب سفتی یا

کیفیت میوه‌ها و سبزی‌ها با عوامل داخلی و خارجی تعیین می‌شود. عوامل خارجی مثل شکل، اندازه، رنگ، جرم، عیوب خارجی، و آسیب‌ها به راحتی قابل اندازه‌گیری هستند ولی ارزیابی عوامل داخلی مانند سفتی، مقدار اسید، و قند یا داشتن یا نداشتن عیوب داخلی کار آسانی نیست. آزمون‌های آکوستیکی یا صوتی به طور فزاینده در صنعت و کشاورزی به کار می‌روند. کاربرد آن در کشاورزی می‌تواند برای درجه‌بندی محصولات با تعیین رسیدگی یا سفتی میوه‌ها و جداسازی تخم‌مرغ‌های شکسته و غیره باشد. مزایای روش‌های آکوستیکی عبارتند از: مدت‌زمان کم آزمون، عدم تماس با محصول (غیرمخرب بودن)، سادگی کاربرد، تکرارپذیری، هزینه کم و نداشتن نیاز به اتصال سامانه‌های پیچیده روی جسم مورد آزمون (Mahmoudi, 2006). بسیاری از مردم می‌گویند که بلوغ و کیفیت میوه‌هایی از قبیل سیب، هندوانه و آناناس را می‌توان با شنیدن صوت ناشی از ضربه زدن به آن‌ها تشخیص داد. چندین محقق با مطالعه پاسخ‌های آکوستیکی میوه‌ها، سعی در اثبات این

1 - Mesocarp  
 3 - Septum  
 5 - Firmness Index

2 - Endocarp  
 4 - Seeds

کاهش می‌یابد و می‌توان آن‌ها را به صورت تابع خطی نزولی با زمان بیان کرد. دیئزما-ایگلسیاس و همکاران (Diezma-Iglesias *et al.*, 2004) به کمک روش پاسخ آکوستیکی به ضربه، عیوب داخلی هندوانه بی‌دانه از قبیل وجود ترک یا حفره داخلی، رسیدگی بیش از حد و له‌شدگی ناشی از ضربه را شناسایی کردند. نتایج بررسی این محققان نشان داد که ابزار آکوستیکی غیرمخرب می‌تواند برای طبقه‌بندی هندوانه به کار رود و مشخص کند آیا ترک یا حفره داخلی وجود دارد یا نه. بررسی منابع نشان می‌دهد که اطلاعات مستندی در مورد پاسخ آکوستیکی به ضربه میوه خربزه‌های صادراتی ایران وجود ندارد؛ لذا هدف از این تحقیق، استفاده از روش پاسخ آکوستیکی به ضربه در تشخیص رسیدگی خربزه است. برخی از فاکتورهای رسیدگی از این قرارند: ارزیابی طعم، تلخی، ترشی، سفتی بافت و آبدار بودن (توسط ارزیاب‌ها) و اندازه‌گیری درصد قند، مقدار رطوبت، شاخص گوشت، جرم، و مدول الاستیسیته. داده‌های حاصل از این تحقیق می‌تواند در طراحی تجهیزات مرتبط با تعیین مناسب‌ترین زمان مصرف خربزه کاربرد داشته باشد.

## مواد و روش‌ها

### انتخاب نمونه‌ها

جهت اجرای این تحقیق دو رقم خربزه صادراتی زرد ایوانکی و سوسکی سبز در پنج بازه زمانی در طول رشد از شهرستان گرمسار تهیه شدند. در هر مرحله، ۶۵ عدد خربزه از هر رقم، صبح زود حداقل سه روز پس از آبیاری یا بارندگی برداشت شد. نمونه‌برداری بیشتر باعث کاهش تنوع ذاتی بین خربزه‌ها و افزایش دقت نتایج می‌شود. زمان‌های برداشت و ویژگی هر مرحله در جدول ۱ آورده شده است. در اواخر تیرماه و اوایل مردادماه از منطقه

شاخص سفتی را به صورت رابطه ۲ گزارش کرده‌اند (Abbott *et al.*, 1968; Finney, 1972):

$$S = f^2 m \quad (2)$$

که در آن،

$S$  = ضریب سفتی (کیلوگرم بر مجذور ثانیه)،  $f$  = فرکانس تشدید (هرتز)، و  $m$  = جرم (کیلوگرم) است.

لو و همکاران (Lu *et al.*, 2009) قابلیت پاسخ آکوستیکی به ضربه را برای ارزیابی کیفی گوجه‌فرنگی در خلال انبارداری بررسی کردند. نتایج بررسی آن‌ها نشان می‌دهد که این روش می‌تواند برای تعیین سفتی گوجه‌فرنگی به کار گرفته شود. هرناندیز گومیز و همکاران (Hernández Gómez *et al.*, 2006) در تحقیقی قابلیت پاسخ سیگنال آکوستیکی به تغییرات سفتی نارنگی را در دوره انبارداری ارزیابی کردند. ارتعاشات در سمت مقابل محل ضربه را حسگر پیزوالکتریک دریافت می‌کند. نتایج تحقیقات این محققان نشان داد که تشخیص مرحله رسیدگی نارنگی با این روش امکان‌پذیر است و آزمون غیرمخرب آکوستیک می‌تواند جایگزین آزمون مرسوم فشردگی برای تعیین سفتی نارنگی و پیش‌بینی عمر انبارداری آن شود. هرناندیز گومیز و همکاران (Hernández Gómez *et al.*, 2005) در تحقیق دیگر سفتی هلو را طی چهار هفته انبارداری در دمای ۴ درجه سلسیوس و رطوبت نسبی ۹۳ درصد با استفاده از روش پاسخ آکوستیکی به ضربه و آزمون مگنِس-تیلور (MT) ارزیابی کردند. نتایج بررسی آن‌ها نشان می‌دهد که رابطه خطی بین پارامترهای آکوستیکی و پارامترهای MT در هلوهای سفت همبستگی بهتری نسبت به هلوهای نرم دارد. این همبستگی هفته به هفته کاهش می‌یابد. فرکانس اول تشدید، شاخص سفتی، و ضریب الاستیسیته به‌طور یکنواخت با مدت انبارداری

بازدید و اولین نمونه‌گیری از اواخر مردادماه شروع شد. ویژگی‌های هر مرحله با توجه به تقویم زراعی منطقه، اطلاعات کشاورزان، و مشخصه‌های ظاهری خربزه به دست آمد.

جدول ۱- زمان‌های برداشت و ویژگی هر مرحله

ویژگی خربزه	زمان برداشت	مرحله برداشت
نابالغ	اواخر مرداد	اول
شروع رسیدگی	اوایل شهریور	دوم
رسیدگی متوسط	اواخر شهریور	سوم
رسیده	اوایل مهر	چهارم
بیش رسیده	اواسط مهر	پنجم

### تعیین خصوصیات فیزیکی و مکانیکی

مشخصه‌های فیزیکی نظیر ابعاد (طول، عرض و ارتفاع)، جرم، حجم، و جرم مخصوص تعیین شدند. برای اندازه‌گیری ابعاد، خربزه‌ها به دقت و از طول برش داده شدند. طول، عرض و ارتفاع هر دو قسمت خارجی و درون‌بر با کولیس دیجیتالی و با دقت ۰/۰۵ میلی‌متر اندازه‌گیری شد. شاخص گوشت<sup>۱</sup> از نسبت ضخامت گوشت به قطر میوه در نواحی وسط به دست می‌آید:

$$FI = 2.(T_F/b) \times 100 \quad (3)$$

که در آن،

$FI$  = شاخص گوشت،  $T_F$  = ضخامت گوشت در نواحی وسط و  $b$  بزرگترین قطر عمود بر  $a$  است (Anon, 2003).

برای تعیین جرم از ترازوی دیجیتالی با دقت ۱ گرم برای تعیین و حجم از روش جابه‌جایی آب استفاده شد. جرم مخصوص از نسبت جرم میوه به حجم به دست آمد. درون‌بر خربزه از دانه‌ها، دیواره‌ها و فضای خالی تشکیل شده و حجم درون‌بر شامل مجموع حجم دانه‌ها، دیواره‌ها و فضای خالی است. چون اندازه‌گیری حجم واقعی درون‌بر مشکل است لذا با فرض تشابه آن به کره دوکی‌شکل و از رابطه زیر حجم آن برآورد شد:

$$V_{est} = \frac{4}{3} \pi \left(\frac{a'}{2}\right) \left(\frac{b'}{2}\right)^2 \quad (4)$$

که در آن،

$V_{est}$  = حجم درون‌بر،  $a'$  = بزرگترین قطر درون‌بر (میلی‌متر) و  $b'$  = بزرگترین قطر عمود بر  $a'$  (میلی‌متر) است. درصد حجم درون‌بر از نسبت حجم درون‌بر به حجم اندازه‌گیری شده خربزه به دست آمد.

به منظور تعیین خواص مکانیکی خربزه، آزمون فشردگی روی نمونه‌های بافت میوه اجرا شد. از نمونه‌گیرهای استوانه‌ای فلزی که به سه نظام دریل دستی بسته می‌شوند، برای تهیه نمونه‌ها استفاده شد. از بافت هر خربزه چهار نمونه به شکل استوانه با میانگین قطر ۱۴ میلی‌متر و ارتفاع ۱۴ میلی‌متر تهیه شد و با دستگاه تست یونیورسال، ساخت شرکت سنتام ایران، تحت بارگذاری فشاری تک محوری قرار گرفت. مدول الاستیسیته از روی بخش اول منحنی به دست آمد که تقریباً خطی و تغییر شکل آن نسبتاً کم است.

برای دستیابی به نتایج قابل اعتماد و حذف تغییرات بیولوژیکی، ۲۰ نمونه از هر رقم خربزه انتخاب و سرعت بارگذاری در تمام آزمون‌ها ۲۵ میلی‌متر بر دقیقه در نظر گرفته شد (Anon, 2003).

مصرف شدند. برای شستشوی دهان، قبل از ارزیابی و بین چشیدن نمونه‌ها، آب ولرم (با دمای اتاق) در اختیار ارزیاب‌ها قرار داشت که می‌توانستند این آب را بنوشند یا از دهان خارج کنند.

### اجزای سامانه اندازه‌گیری آکوستیکی

مکانیزم تحریک مکانیکی میوه: مکانیزم تحریک مکانیکی میوه شامل آونگ ساده، نقاله، لغزنده‌های افقی و عمودی، و محفظه آکوستیک است. پارامترهای جنس، جرم، و شعاع انحنای ضربه‌زن، طول میله آونگ، و زاویه برخورد در انتخاب آونگ موثرند. انتخاب آن‌ها باید به نحوی باشد که میوه آسیب نبیند و در عین حال پس از برخورد به میوه، صدا ساطع شود. به‌علاوه، برای بررسی روند تغییرات تراز فشار صوت در مراحل مختلف برداشت دو رقم خربزه، مشخصات آونگ باید یکسان انتخاب شود. آزمایش‌های اولیه برای انتخاب آونگ با مشخصات فوق اجرا و سرانجام از آونگ با جنس فلز به جرم ۷۲/۱۳ گرم و زاویه برخورد ۷۰ درجه استفاده شد. طول میله آونگ تا محل اتصال به ساچمه، قطر و جرم آن به ترتیب برابر با ۲۵۶ میلی‌متر، ۳ میلی‌متر و ۲۱/۱۷ گرم بود. در انتخاب جرم ساچمه توجه شد که ساچمه نه آن قدر سنگین باشد که به میوه آسیب برساند و نه آن قدر سبک باشد که شدت صدا کم باشد. با این حال اگر ضربات متعدد به یک نقطه از میوه وارد شود، احتمال آسیب‌دیدگی میوه وجود دارد. برای به حداقل رساندن آسیب به نمونه‌ها، با چرخاندن آن‌ها در هر آزمایش، محل ضربه به طور مداوم تغییر یافت.

**حسگر صوتی (صداسنج):** به منظور دریافت پاسخ آکوستیکی از دستگاه صداسنج (ترازسنج صوت) نوع ۲۲۷۰ ساخت شرکت B&K کشور دانمارک استفاده شد. فاصله میکروفون صداسنج از سطح میوه حدود ۵-۲ میلی‌متر و در موقعیت ۹۰ درجه نسبت به محل ضربه قرار داشت.

### اندازه‌گیری درصد قند و مقدار رطوبت

مهم‌ترین شاخص کیفی در خربزه درصد قند آن است. برای تعیین درصد قند، مقداری از گوشت میوه از وسط آن برداشته شد و با چکاندن چند قطره از عصاره‌اش روی شیشه رفاکتومتر در دمای  $20 \pm 0.5$  درجه سلسیوس، درصد مواد جامد انحلال‌پذیر (TSS)<sup>۱</sup> قرائت شد. مقدار رطوبت نمونه‌ها به روش آون در دمای  $65 \pm 2$  درجه سلسیوس در ۳ تکرار تعیین گردید. ملاک مدت زمان باقی ماندن نمونه‌ها در آون، اندازه‌گیری تغییر جرم نمونه‌ها تا رسیدن به تغییرات جرم کمتر از ۰/۲ درصد جرم اولیه بود. این روش را محققان دیگر برای محصولات دیگر نیز به کار برده‌اند (Hassan-Beygi et al., 2009).

### آزمون‌های حسی

برای کسب آگاهی از تمایلات مصرف‌کنندگان در هر مرحله از برداشت، آزمون حسی (تست پانل) مصرف‌کننده در قالب آزمون لذت‌بخشی ۵ تایی طراحی و اجرا شد. سی و چهار ارزیاب آموزش ندیده، که با محصول خربزه آشنا بودند و حساسیت غذایی نداشتند، انتخاب شدند. اعضای این تیم، ۳۰ دقیقه قبل از آزمون از خوردن و نوشیدن و نیز کشیدن سیگار منع شدند. برای هر یک از ارزیاب‌ها برگه آزمون حسی کیفیت میوه خربزه تهیه و ویژگی‌های طعم، تلخی، ترشی، سفتی بافت و آبدار بودن نمونه برای برآورد قابلیت پذیرش کلی آن ارزیابی شد.

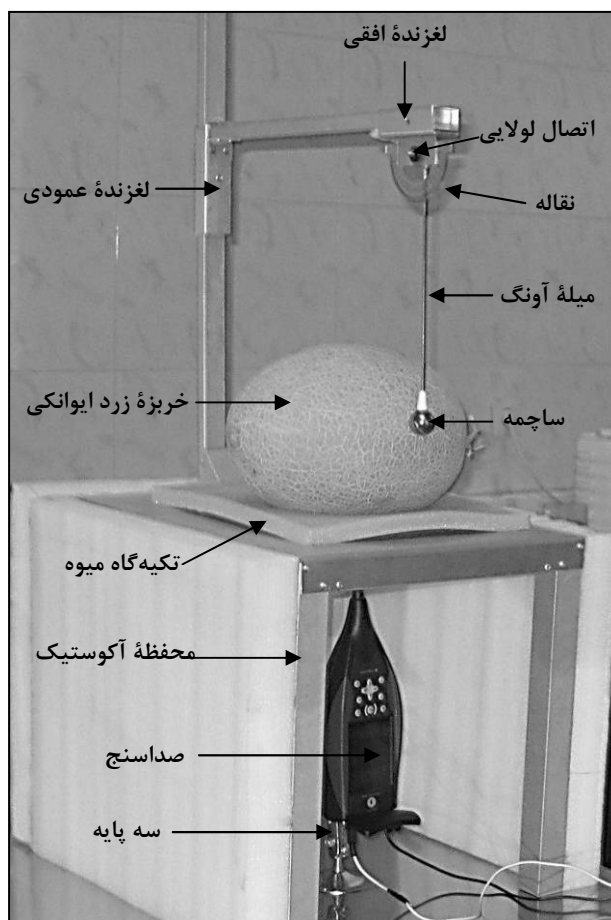
امتیازبندی ویژگی‌ها با اعداد ۱ تا ۵ بود که ۱: ناچیز، ۲: کم، ۳: متوسط، ۴: زیاد و ۵: فوق العاده در نظر گرفته شد. نمونه‌ها از گوشت خربزه و به صورت تکه‌های مکعبی  $2 \times 2$  سانتی‌متری بریده و با شماره‌های سه رقمی تصادفی (شماره ۶۵۱ زرد ایوانکی، شماره ۳۴۲ سوسکی سبز) رمزگذاری شدند. کلیه نمونه‌ها در هنگام ارائه به ارزیاب‌ها دمای یکسانی داشتند و پس از بیرون آوردن از یخچال

1 - Total Soluble Solid

2 - Sound Level Meter (SLM)

تجهیزات نمایش و ضبط سیگنال صدا: برای اجرای این تحقیق از نرم افزار Cool Edit Pro 2.0 استفاده شد که دارای قابلیت‌ها و ویژگی‌های مطلوبی نظیر نمایش سیگنال ضبط شده در حوزه زمان، امکان پخش سیگنال صدای ضبط شده، ضبط صدا در حالت MONO و غیره است. **تکیه‌گاه میوه:** برای نگه‌داشتن نمونه‌ها، آن‌ها روی تکیه‌گاهی از فوم نرم قرار داده شدند. این نوع تکیه‌گاه باعث می‌شود که میوه ارتعاش آزاد<sup>۳</sup> داشته باشد و از اغتشاش الگوی ارتعاش جلوگیری شود (Hernández Gómez et al., 2006). مطابق شکل ۲، مقاله‌ای در بالای میله آونگ برای تعیین زاویه ضربه تعبیه شد.

در هنگام داده‌گیری (ضبط سیگنال‌ها) از شبکه وزنی خطی<sup>۱</sup> دستگاه صداسنج استفاده شد. در این حالت، مقادیر تراز فشار صوت در فرکانس‌های مختلف را دستگاه صداسنج بدون هیچ‌گونه تغییر در کمیت، نشان می‌دهد. بر اساس توصیه استانداردهای سازمان بین‌المللی استانداردها و انجمن مهندسان خودرو، به منظور حصول اطمینان از عملکرد دقیق میکروفون و دستگاه صداسنج، قبل و بعد از هر سری آزمایش، میکروفن و دستگاه صداسنج با استفاده از کالیبراتور استاندارد یا پیستونفون نوع ۴۲۳۱ ساخت شرکت B&K کشور دانمارک کالیبره شد که تک صدایی<sup>۲</sup> در فرکانس ۱۰۰۰ هرتز با تراز فشار صدای ۹۴ دسی‌بل ایجاد می‌کرد.



شکل ۲- صداسنج در موقعیت ۹۰ درجه نسبت به محل ضربه در حال دریافت پاسخ آکوستیکی خربزه.

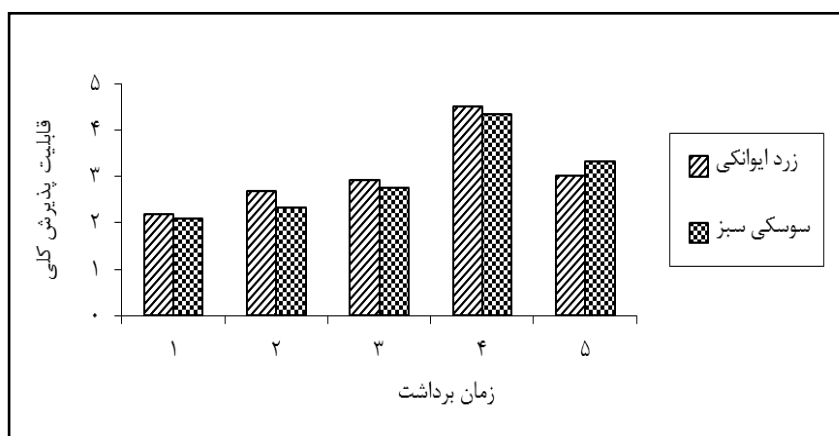
1 - Linear Weighting Network  
3 - Free Vibration

2 - Pure Tone

### نتایج و بحث

شکل ۳، قابلیت پذیرش کلی ارزیاب‌ها از دو رقم خربزه را نشان می‌دهد. طبق نمودار، بیشترین قابلیت پذیرش کلی در هر دو رقم مربوط به مرحله چهارم از زمان برداشت است و از نظر ارزیاب‌ها رقم زرد ایوانکی پذیرفتنی‌تر است. به دلیل نزدیکی طعم و سفتی بافت خربزه نارس (خربزه در مرحله اول برداشت یعنی مرداد ماه) به طعم و سفتی خیار، کشاورزان منطقه گرمسار از آن در سالاد استفاده می‌کنند و این امر روی امتیازدهی ارزیاب‌ها تاثیر می‌گذاشت. امتیازدهی ارزیاب‌ها در این مرحله زیاد بود. برای حل این مسئله از ارزیاب‌ها خواسته شد که نمونه‌ها را با خربزه رسیده مقایسه کنند. میوه خربزه در مرحله دوم برداشت (اوایل شهریور، شروع رسیدگی) به دلیل افزایش سریع میزان قند نسبت به مرحله اول و نیز کمی آب، مصرف نمی‌شود. در آخرین مرحله برداشت هر دو رقم هر چند میزان قند افزایش یافت اما سفتی بافت و در نتیجه قابلیت پذیرش کلی نیز کاهش یافت.

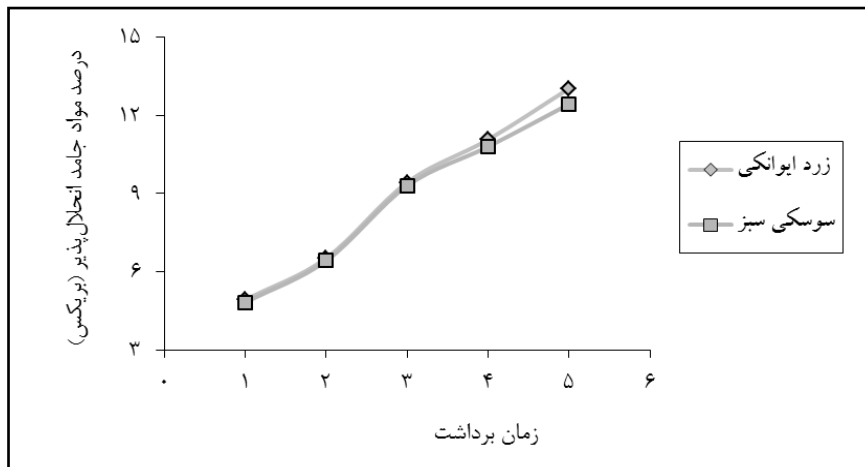
میله عمودی دارای لغزنده‌ای است که به میله افقی متصل می‌شود و قابلیت حرکت رو به بالا و پایین را دارد، همچنین، نقاله روی لغزنده افقی متصل می‌شود و می‌تواند به جلو و عقب حرکت کند. جابه‌جایی نقاله باعث جابه‌جایی میله آونگ و در نتیجه جابه‌جایی محل ضربه می‌شود. با توجه به این‌که اندازه نمونه‌ها در طول فصل برداشت بسیار تغییر می‌کند لذا با جابه‌جایی این دو حرکت می‌توان موقعیت ضربه‌زن را به نحوی تنظیم کرد که ضربه به نواحی وسط میوه برخورد کند. برای کاهش خطای ناشی از تنوع ذاتی شکل نمونه‌ها، میانگین سه اندازه‌گیری به فواصل یکسان روی نواحی وسط میوه (تقریباً ۱۲۰ درجه نسبت به هم) در نظر گرفته شد. برای تعیین ارتباط بین پارامترهای مؤثر بر رسیدگی و پارامترهای آکوستیکی، از روابط رگرسیونی یک متغیره توسط برنامه آماری Excel استفاده شد.



شکل ۳- تغییرات میانگین قابلیت پذیرش کلی ارزیاب‌ها از دو رقم خربزه.

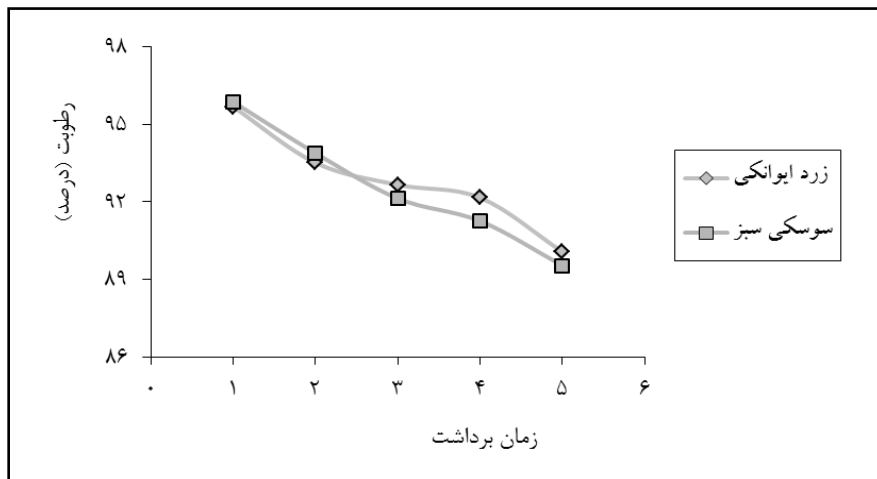
واحد بریکس رسید. در زمان چهارم برداشت (حالت رسیده)، درصد مواد جامد انحلال‌پذیر رقم زرد ایوانکی ۱۱/۰۷ و در رقم سوسکی سبز ۱۰/۸۰ است.

مطابق شکل ۴، درصد مواد جامد انحلال‌پذیر هر دو رقم در مراحل مختلف برداشت روندی صعودی داشت به طوری که این مقدار در رقم زرد ایوانکی از ۴/۹۳ به ۱۳/۰۳ و در رقم سوسکی سبز از ۴/۸۳ به ۱۲/۴۳



شکل ۴- تغییرات میانگین درصد مواد جامد انحلال پذیر (بریکس).

مقدار رطوبت هر دو رقم خربزه در مراحل مختلف برداشت روندی نزولی داشت. مقدار رطوبت رقم زرد ایوانکی از ۹۵/۶۷ درصد در مرحله اول برداشت به ۹۰/۰۷ درصد در مرحله آخر برداشت رسید. این مقادیر برای رقم سوسکی سبز به ترتیب ۹۵/۸۶ و ۸۹/۵۴ درصد است. مقدار رطوبت زمان چهارم برداشت (حالت رسیده) رقم زرد ایوانکی ۹۲/۱۶ و رقم سوسکی سبز ۹۱/۲۶ درصد به دست آمد (شکل ۵).



شکل ۵- تغییرات میانگین میزان رطوبت دو رقم خربزه.

سردخانه، آزمایش‌های آکوستیکی را به کمک میکروفون، پیزوالکتریک، یا شتاب‌سنج دنبال می‌کنند. نتایجی که محققان در این روش درمی‌یابند عبارت‌اند از: کاهش جرم، جرم مخصوص، فرکانس تشدید و مدول الاستیسیته نمونه‌ها در خلال انبارداری؛ همچنین از آنجا که فرکانس تشدید و جرم کاهش می‌یابند، ضریب سفتی

خواص فیزیکی و پارامترهای آکوستیکی دو رقم خربزه در مراحل مختلف برداشت در جدول ۲ نشان داده شده است. محققان قابلیت پاسخ آکوستیکی به ضربه را اغلب برای ارزیابی کیفی محصولات کشاورزی به هنگام انبارداری بررسی کرده‌اند. در این روش، با قرار دادن نمونه‌ها به مدت چند هفته تحت شرایط دما و رطوبت مناسب در



مدول الاستیسیته رقم زرد ایوانکی از ۰/۴۶۶ به ۰/۱۴۹ مگا پاسکال و در رقم سوسکی سبز از ۰/۴۱۷ به ۰/۱۵۴ مگا پاسکال رسید. حجم درون‌بر در دوره رشد افزایش می‌یابد ولی به دلیل افزایش سریع‌تر حجم میوه، درصد حجم درون‌بر کم می‌شود. درصد حجم درون‌بر رقم زرد ایوانکی از ۱۹/۴۰ به ۱۵/۶۹ درصد و در رقم سوسکی سبز از ۱۹/۳۳ به ۱۴/۹۳ درصد کاهش یافت. به نظر می‌رسد اندازه‌گیری درصد حجم درون‌بر بر پاسخ آکوستیکی تاثیر داشته باشد. فرکانس تشدید در هر دو رقم در فصل رشد کاهش می‌یابد. یعنی این‌که ضربه آونگ فلزی در زاویه ۷۰ درجه و ضبط سیگنال صدا در ۹۰ درجه نسبت به محل ضربه، صدای ساطع شده از هر دو رقم در طول فصل رشد بم‌تر (فرکانس کمتر) می‌شود. در رقم زرد ایوانکی فرکانس تشدید از ۱۳۲/۲۵ به ۱۱۱/۳۳ هرتز و در رقم سوسکی سبز این مقدار از ۱۲۸/۹۱ به ۱۱۱/۳۳ هرتز کاهش یافت. متوسط فرکانس تشدید صدای ساطع شده از خربزه رقم زرد ایوانکی در زمان چهارم برداشت (حالت رسیده) ۱۱۴/۲۶ هرتز و در رقم سوسکی سبز ۱۱۳/۳۴ هرتز تخمین زده شد.

یا شاخص سفتی (روابط  $S = f^2 m$  و یا  $S = f^2 m^{2/3}$ ) نیز کم می‌شود.

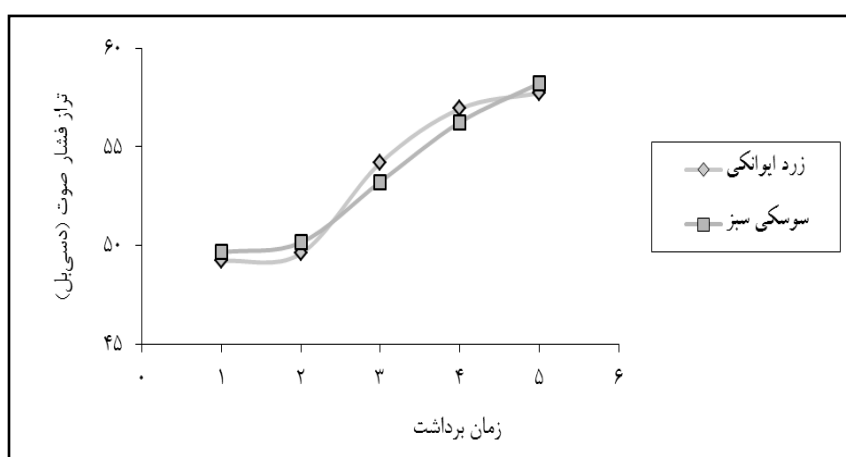
در این تحقیق چون نمونه‌ها در طول فصل رشد از مزرعه (و نه از سردخانه) تهیه شده‌اند برخی از نتایج به دست آمده با نتایج سایر محققان متفاوت است. مانند افزایش جرم نمونه‌ها در طول فصل رشد که باعث افزایش ضریب سفتی یا شاخص سفتی نیز می‌شود. جرم رقم زرد ایوانکی از ۰/۵۹۲ کیلوگرم تا ۳/۹۱۳ کیلوگرم (حدود ۶/۶ برابر) و جرم رقم سوسکی سبز از ۰/۵۷۰ کیلوگرم تا ۳/۹۰۵ کیلوگرم (حدود ۶/۸ برابر) افزایش یافت. متوسط جرم در زمان چهارم برداشت (حالت رسیده) رقم زرد ایوانکی ۳/۶۶۴ کیلوگرم و در رقم سوسکی سبز ۳/۴۲۵ کیلوگرم اندازه‌گیری شد. چون افزایش حجم در مقابل افزایش جرم بیشتر است در نتیجه جرم مخصوص در هر دو رقم روندی نزولی داشته است. جرم مخصوص رقم زرد ایوانکی از ۹۰۱/۸۴ کیلوگرم بر متر مکعب به ۸۴۲/۳۳ کیلوگرم بر متر مکعب و جرم مخصوص رقم سوسکی سبز از ۹۰۸/۱۱ کیلوگرم بر متر مکعب به ۸۶۰/۰۳ کیلوگرم بر متر مکعب کاهش یافت. مدول الاستیسیته هر دو رقم در مراحل مختلف رشد روندی کاهشی داشت به طوری که

جدول ۲- تغییرات خواص فیزیکی و پارامترهای آکوستیکی دو رقم خربزه در مراحل مختلف برداشت

رقم	زمان برداشت	جرم (کیلوگرم)	جرم مخصوص (کیلوگرم بر متر مکعب)	درصد حجم درون‌بر	مدول الاستیسیته (مگا پاسکال)	فرکانس تشدید (هرتز)	تراز فشار صوت (دسی‌بل)
زرد ایوانکی	اول	۰/۱۶۷ ± ۰/۵۹۲	۳۰/۶۰ ± ۹۰۱/۸۴	۲/۹۵ ± ۱۹/۴۰	۰/۱۷۸ ± ۰/۴۶۶	۲/۶۹ ± ۱۳۲/۲۵	۰/۸۱ ± ۴۹/۲۱
	دوم	۰/۴۶۱ ± ۱/۴۹۰	۴۹/۲۵ ± ۸۸۶/۱۳	۴/۴۶ ± ۱۸/۸۳	۰/۰۴۴ ± ۰/۳۰۹	۳/۳۰ ± ۱۲۸/۹۱	۱/۲۸ ± ۴۹/۵۹
	سوم	۰/۴۵۹ ± ۲/۹۷۹	۱۷/۱۲ ± ۸۶۳/۱۶	۳/۷۸ ± ۱۷/۵۳	۰/۰۵۶ ± ۰/۲۱۱	۲/۹۷ ± ۱۱۹/۱۴	۱/۴۱ ± ۵۴/۱۹
	چهارم	۰/۴۳۴ ± ۳/۶۶۴	۳۱/۷۲ ± ۸۵۵/۴۵	۵/۰۷ ± ۱۶/۲۰	۰/۰۳۸ ± ۰/۱۹۹	۳/۰۰ ± ۱۱۳/۳۴	۱/۳۰ ± ۵۶/۹۳
	پنجم	۰/۴۷۳ ± ۳/۹۱۳	۳۲/۰۲ ± ۸۴۲/۳۳	۴/۱۸ ± ۱۵/۶۹	۰/۰۴۷ ± ۰/۱۴۹	۱/۶۴ ± ۱۱۱/۳۳	۱/۲۷ ± ۵۷/۷۴
سوسکی سبز	اول	۰/۲۰۳ ± ۰/۵۷۰	۴۰/۳۸ ± ۹۰۸/۱۱	۳/۲۰ ± ۱۹/۳۳	۰/۱۰۳ ± ۰/۴۱۷	۱/۸۳ ± ۱۲۸/۹۱	۰/۹۵ ± ۴۹/۶۶
	دوم	۰/۵۲۶ ± ۱/۵۸۲	۴۵/۱۰ ± ۸۹۸/۸۵	۴/۰۲ ± ۱۷/۰۲	۰/۰۵۶ ± ۰/۲۹۴	۲/۷۱ ± ۱۲۳/۰۵	۱/۱۰ ± ۵۰/۱۵
	سوم	۰/۳۶۲ ± ۳/۰۱۷	۲۵/۶۵ ± ۸۷۸/۳۴	۲/۹۲ ± ۱۶/۱۹	۰/۰۴۶ ± ۰/۲۲۶	۲/۴۲ ± ۱۱۹/۱۴	۰/۸۳ ± ۵۳/۲۳
	چهارم	۰/۴۵۲ ± ۳/۴۲۵	۲۶/۰۲ ± ۸۶۵/۴۱	۳/۱۰ ± ۱۵/۲۳	۰/۰۴۰ ± ۰/۱۷۶	۱/۸۱ ± ۱۱۴/۲۶	۱/۱۷ ± ۵۶/۲۵
	پنجم	۰/۵۵۵ ± ۳/۹۰۵	۲۵/۴۶ ± ۸۶۰/۰۳	۳/۵۸ ± ۱۴/۹۳	۰/۰۲۵ ± ۰/۱۵۴	۱/۴۰ ± ۱۱۱/۳۳	۱/۰۴ ± ۵۸/۲۲

خربزه از جمله افزایش جرم آن است. متوسط تراز فشار صوت در زمان چهارم برداشت (حالت رسیده) خربزه رقم زرد ایوانکی برابر ۵۶/۹۳ و رقم سوسکی سبز برابر ۵۶/۲۵ دسی‌بل به دست آمد (شکل ۶).

تراز فشار صوت در هر دو رقم در مراحل مختلف رشد روندی افزایشی نشان می‌دهد به طوری که تراز فشار صوت رقم زرد ایوانکی از ۴۹/۲۱ به ۵۷/۷۴ دسی‌بل و در رقم سوسکی سبز از ۴۹/۶۶ به ۵۸/۲۲ دسی‌بل رسیده است. این افزایش ناشی از تغییرات فیزیکی و مکانیکی



شکل ۶- تغییرات میانگین تراز فشار صوت ۲۰ عدد دو رقم خربزه.

- در رقم سوسکی سبز: مقدار رطوبت، درصد مواد جامد انحلال‌پذیر و جرم مخصوص. در هر دو رقم، همبستگی بین فرکانس تشدید و درصد حجم درون‌بر بسیار قوی است. این همبستگی در خربزه رقم زرد ایوانکی (۰/۹۸۶) و در رقم سوسکی سبز (۰/۹۵۲) به دست آمد. درون‌بر خربزه از دانه‌ها، دیواره‌ها و فضای خالی تشکیل شده و حجم درون‌بر شامل مجموع حجم دانه‌ها، دیواره‌ها و فضای خالی است. اندازه‌گیری حجم واقعی درون‌بر مشکل است و با فرض تشابه به کره دوکی شکل و از روی دو بُعد اصلی، حجم آن برآورد شده است. این که درصد حجم درون‌بر روی فرکانس تشدید تأثیر می‌گذارد با فرض خالی بودن درون‌بر از دانه‌ها و دیواره‌ها معقول به نظر می‌رسد، ولی واقعیت آن است که دانه‌ها و دیواره‌ها بخشی از فضای درون‌بر را اشغال می‌کنند و بر پاسخ آکوستیکی تأثیر می‌گذارند.

در خربزه، عوامل زیادی نظیر جرم، مقدار رطوبت، مدول الاستیسیته و درصد حجم درون‌بر بر پاسخ آکوستیکی به ضربه تأثیر می‌گذارند. علاوه بر این عوامل، ارتباط جرم مخصوص، درصد مواد جامد انحلال‌پذیر و قابلیت پذیرش کلی با پارامترهای آکوستیکی بررسی می‌شود. جدول ۳ نتایج آنالیز رگرسیون بین پارامترهای موثر بر رسیدگی و پارامترهای آکوستیکی را نشان می‌دهد. مطابق این جدول، ضریب همبستگی بین فرکانس تشدید و سایر پارامترها، به جز قابلیت پذیرش کلی، بالاست. کمترین ضریب همبستگی مربوط به قابلیت پذیرش کلی است. این مسئله قابل انتظار بود زیرا روند تغییرات قابلیت پذیرش کلی در هر دو رقم غیر خطی است. متغیرهای زیر به ترتیب بیشترین تأثیر را بر فرکانس تشدید دارند:

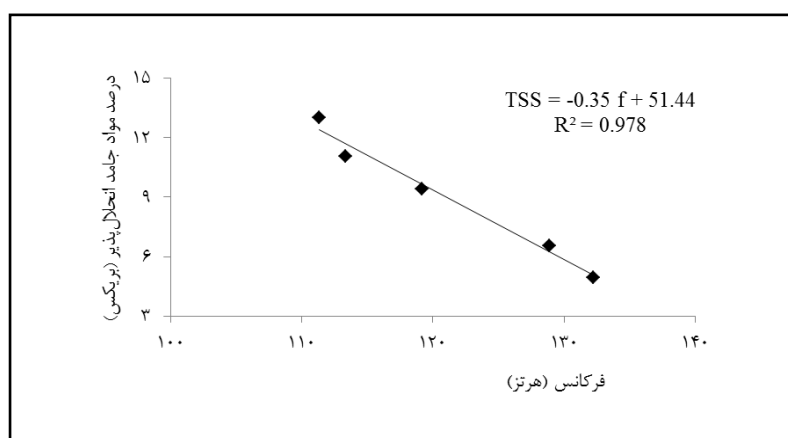
- در رقم زرد ایوانکی: شاخص گوشت، درصد حجم درون‌بر، و جرم؛

جدول ۳- نتایج آنالیز رگرسیون بین پارامترهای موثر بر رسیدگی و پارامترهای آکوستیکی

رقم	پارامتر	ضریب همبستگی $R^2$	
		فرکانس تشدید	تراز فشار صوت
زرد ایوانکی	جرم	۰/۹۸۶	۰/۹۵۷
	جرم مخصوص	۰/۹۷۲	۰/۹۴۰
	مقدار رطوبت	۰/۸۴۲	۰/۷۸۹
	شاخص گوشت	۰/۹۸۹	۰/۹۸۳
	مدول الاستیسیته	۰/۸۶۵	۰/۷۹۵
	درصد حجم درون‌بر	۰/۹۸۶	۰/۹۸۲
	درصد مواد جامد انحلال‌پذیر	۰/۹۷۸	۰/۹۶۱
	قابلیت پذیرش کلی	۰/۵۱۷	۰/۵۰۸
سوسکی سبز	جرم	۰/۹۶۱	۰/۸۹۰
	جرم مخصوص	۰/۹۶۹	۰/۹۵۹
	مقدار رطوبت	۰/۹۸۳	۰/۹۱۸
	شاخص گوشت	۰/۹۶۵	۰/۸۱۶
	مدول الاستیسیته	۰/۹۶۳	۰/۸۲۲
	درصد حجم درون‌بر	۰/۹۵۲	۰/۷۸۹
	درصد مواد جامد انحلال‌پذیر	۰/۹۷۹	۰/۹۶۳
	قابلیت پذیرش کلی	۰/۶۷۵	۰/۶۷۸

مطابق جدول ۳، متغیرهای زیادی بجز قابلیت پذیرش کلی، تاثیر زیادی بر فرکانس تشدید دارند. برای نمونه، همبستگی بین درصد مواد جامد انحلال‌پذیر و فرکانس تشدید در هر دو رقم خربزه بالاست (شکل ۷). در رقم خربزه زرد ایوانکی معادله خطی  $TSS = -0.35f + 51.44$  برای پیش‌بینی درصد مواد جامد انحلال‌پذیر از فرکانس پیشنهاد می‌شود.

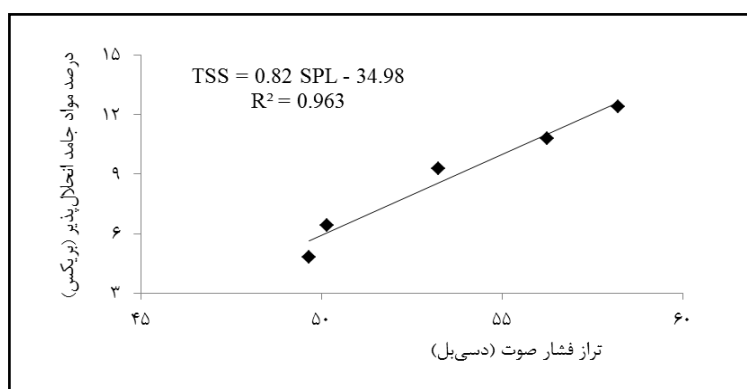
مطابق جدول ۳، متغیرهای زیادی بجز قابلیت پذیرش کلی، تاثیر زیادی بر فرکانس تشدید دارند. برای نمونه، همبستگی بین درصد مواد جامد انحلال‌پذیر و فرکانس تشدید در هر دو رقم خربزه بالاست



شکل ۷- رابطه بین درصد مواد جامد انحلال‌پذیر و فرکانس تشدید در رقم زرد ایوانکی.

- در رقم سوسکی سبز: درصد مواد جامد انحلال پذیر، جرم مخصوص و مقدار رطوبت. همبستگی بین تراز فشار صوت در هر دو رقم خربزه بالاست (شکل ۸). در رقم خربزه سوسکی سبز معادله خطی  $TSS = 0.82 SPL - 34.98$  برای پیش بینی درصد مواد جامد انحلال پذیر از تراز فشار صوت پیشنهاد می شود.

ضریب همبستگی بین تراز فشار صوت و سایر پارامترها، به جز قابلیت پذیرش کلی، بالاست. کمترین ضریب همبستگی مربوط به قابلیت پذیرش کلی است. متغیرهای زیر به ترتیب بیشترین تاثیر را بر تراز فشار صوت دارند: - در رقم زرد ایوانکی: شاخص گوشت، درصد حجم درون بر و درصد مواد جامد انحلال پذیر؛



شکل ۸- رابطه بین درصد مواد جامد انحلال پذیر و تراز فشار صوت در رقم سوسکی سبز.

تراز فشار صوت هر دو رقم و در طول فصل رشد روندی صعودی دارد، یعنی صدای ساطع شده از برخورد آونگ بلندتر می شود. تراز فشار صوت رقم زرد ایوانکی از ۴۹/۲۱ به ۵۷/۷۴ دسی بل و در رقم سوسکی سبز از ۴۹/۶۶ به ۵۸/۲۲ دسی بل رسیده است.

متغیرهای شاخص گوشت و مقدار رطوبت به ترتیب در رقم زرد ایوانکی و سوسکی سبز بیشترین تاثیر را بر فرکانس تشدید دارند و متغیرهای شاخص گوشت و درصد مواد جامد انحلال پذیر به ترتیب در رقم زرد ایوانکی و سوسکی سبز بیشترین تاثیر را بر تراز فشار صوت دارند.

آنالیز آماری، همبستگی بالای بین پارامترهای آکوستیکی (فرکانس تشدید و تراز فشار صوت) را با شاخص های رسیدگی در هر دو رقم، نشان می دهد. استفاده از فرکانس تشدید به عنوان شاخصی برای تشخیص مرحله رسیدگی هر دو رقم خربزه مناسب تر است.

از جدول ۳ و مشاهده دو ستون می توان فهمید که ضرایب همبستگی فرکانس تشدید با شاخص های رسیدگی از ضرایب همبستگی تراز فشار صوت با شاخص های رسیدگی بیشتر و از این رو استفاده از فرکانس تشدید به عنوان شاخصی برای تشخیص مرحله رسیدگی هر دو رقم خربزه مناسب تر است.

### نتیجه گیری

در دوره برداشت در هر دو رقم خربزه، جرم افزایش و خواصی نظیر جرم مخصوص، درصد حجم درون بر و مدول الاستیسیته کاهش می یابد.

فرکانس تشدید هر دو رقم و در طول فصل رشد روندی نزولی دارد، یعنی صدای ساطع شده از برخورد آونگ بم تر (فرکانس کمتر) می شود. در رقم زرد ایوانکی فرکانس تشدید از ۱۳۲/۲۵ به ۱۱۱/۳۳ هرتز و در رقم سوسکی سبز از ۱۲۸/۹۱ به ۱۱۱/۳۳ هرتز کاهش یافته است.

## مراجع

- Abbott, J. A., Lu, R., Upchurch, L. B. and Stroshine, L. R. 1997. Technologies for non-destructive quality evaluation of fruits and vegetables. Hort. Rev. 20, 1-120.
- Abbott, J. A., Childers, N. F., Bachman, G. S., Fitzgerald, J. V. and Matusik, F. J. 1968. Acoustic vibration for detecting textural quality of apples. Proc. Amer. Soc. Hort. Sci. 93, 725-737.
- Anon. 2003. Compression Test of Food Materials of Convex Shape. ASAE S368.4 DEC2000 (R2006).
- Anon. 2003. Descriptors for Melon (*Cucumis melo* L.). International Plant Genetic Resources Institute (IPGRI) . Rome. Italy.
- Cooke, J. R. 1972. An interpretation of the resonant behavior of intact fruits and vegetables. Transactions ASAE. 15(6): 1075-1080.
- De Belie, N., Schotte, S., Lammertyn, J., Nicolai, B. and De Baerdemaeker, J. 2000. Firmness changes of pear fruit before and after harvest with the acoustic impulse response technique. J. Agric. Eng. Res. 77(2): 183-191.
- Diezma-Iglesias, B., Ruiz-Altisent, M. and Barreiro, P. 2004. Detection of internal quality in seedless watermelon by acoustic impulse response. Biosystems Eng. 88(2): 221-230.
- Finney, E. E. 1972. Vibration techniques for testing fruit firmness. J. Texture Stud. 3(3): 263-283.
- Hassan-Beygi, S. R., Ghaebi, S. M. and Arabhosseini, A. 2009. Some physico-mechanical properties of apricot fruit, pit and kernel of Ordubad variety. Agricultural Engineering International: the CIGR Ejournal. Manuscript 1459. Vol. XI.
- Hernández Gómez, A., Garcia Pereira, A. and Wang, J. 2006. Acoustic impulse response potential to measure mandarin fruit ripeness during storage. Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias, 15(4): 24-30.
- Hernández Gómez, A., Garcia Pereira, A., Wang, J. and Yong, H. 2005. Acoustic testing for peach fruit ripeness evaluation during peach storage stage. Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias. 14(2): 28-34.
- Jancsok, P. T., Clijmans, L., Nicola, B. M. and De Baerdemaeker, J. 2001. Investigation of the effect of shape on the acoustic response of "Conference" pears by finite element modeling. Postharvest Biol. Technol. 23(1): 1-12.
- Lu, Q., Wang, J., Hernández Gómez, A. and Garcia Pereira, A. 2009. Evaluation of tomato quality during storage by acoustic impulse response. J. Food Process. Pres. 33, 356-370.
- Mahmoudi, A. 2006. Development of a suitable algorithm using Artificial Neural Networks (ANN) for sorting of pistachio nuts with closed shells using impact acoustics. Ph.D. Thesis. University of Tehran. Karaj. Iran (in Farsi)



## Melon Ripeness Detection using Non-Destructive Acoustic Impulse Response

F. Khoshnam\*, H. Mobli, S. R. Hassan-Beygi, A. Rajabipour, Sh. Rafiee and A. Eyvani

\* Corresponding Author: Ph. D Student, Tehran University, P. O. Box: 4111. Tehran, Iran. E-Mail: fkhoshnam@ut.ac.ir  
Received: 30 July 2011, Accepted: 16 June 2012

An experimental system based on acoustic technology was set up to nondestructively determine the ripeness of two export melon varieties (Zard-Eyvanekey, Sousky-Sabz). The system comprised a mechanical impulse device, sound sensor (sound level meter), recording signal equipment and the melon patch. Fruit was excited by the pendulum and the response signal was detected by non-contact sensing and processed. TSS, moisture content, acoustic and sensory levels were measured at five stages of ripening. Results indicated that, as ripening progressed, sound pressure, mass and TSS increased while resonance frequency and elastic modulus decreased for both varieties. The resonance frequency for Zard-Eyvanekey decreased from 132.25 to 111.33 Hz and for Sousky-Sabz from 128.91 to 111.33 Hz. Sound pressure increased from 49.21 to 57.74 dB for Zard-Eyvanekey and from 49.66 to 58.22 dB for Sousky-Sabz. A sensory evaluation test determined that the period of optimum ripeness of Zard-Eyvanekey was at 113.34 Hz and 56.93 dB and for Sousky-Sabz was at 114.26 Hz and 56.25 dB. Changes in resonance frequency and sound pressure were slight and similar for both varieties. These results can be useful for the design of nondestructive sound systems to detect melon ripeness.

**Keywords:** Acoustic, Melon, Ripeness, Sensory test, Resonance frequency