روش‌های تست غیرمخرب جهت ارزیابی کیفیت و رسیدگی محصولات کشاورزی بر اساس پاسخ میوه به نیرو و ارتعاشات وارده

اسماعیل خلیفه[۱]، محمد حسن کماریزاده[۲]، بهروز طوسی[۳]
۱و۲- دانشجوی کارشناسی ارشد و دانشیار گروه مکانیک ماشینهای کشاورزی و ۳- استادیار گروه برق، دانشگاه ارومیه
smailkhalifa@yahoo.com

مقدمه

در طول چند دهه گذشته روش‌های زیادی برای ارزیابی و درجه‌بندی محصولات کشاورزی توسط محققین مختلف انجام یافته است. این روش‌ها مبتنی بر یافتن ویژگی‌های متفاوت فیزیکی که در رابطه با شاخص‌های رسیدگی محصولات هستند، می‌باشند. روش‌های مورد استفاده برای بدست آوردن کیفیت میوه، توسط تست‌های غیرمخرب جایگاه ویژه‌ای پیدا کرده‌اند. این مقاله مروری بر روش‌های بدست آوردن کیفیت و سفتی میوه می‌باشد که در آن از واکنش میوه نسبت به نیرو وارده بهره گرفته شده است. این روش‌ها عبارتند از عکس‌العمل میوه نسبت به نیرو شامل: روش انگشت مکانیکی، روش تست اینسترون، روش SIQ-FT، روش Laser air-puff، آشکار سازی بوسیله نیروی تکانه؛ استفاده از تکانه صوتی یا مکانیکی که شامل روش‌های: PFS، میکروفن، استفاده از لایه نرم پیزوالکتریک؛ استفاده از ارتعاشات التراسونیک. با بررسی روش‌های انجام شده برای بدست آوردن کیفیت محصول، کاربردی بودن، دقت و پیچیدگی روش‌های مورد استفاده مشخص گردید.

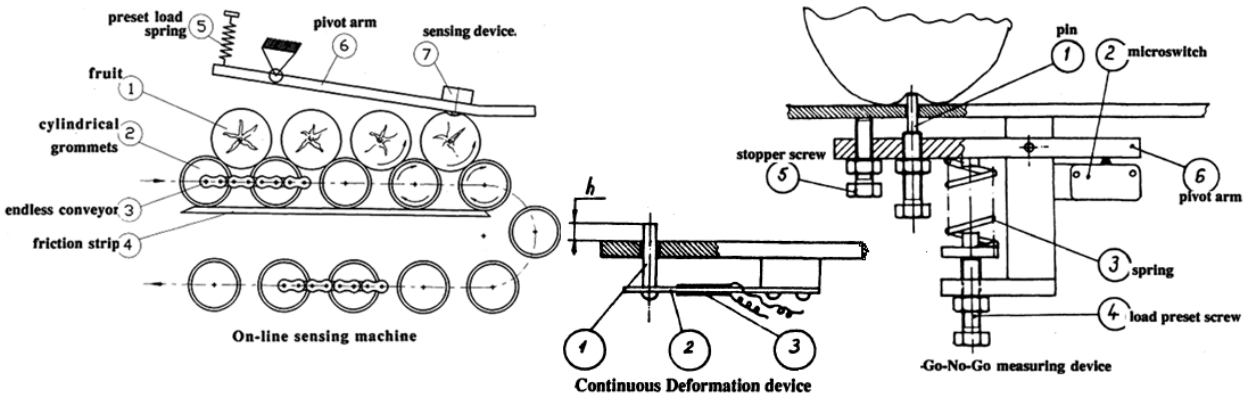
واژه‌های کلیدی: غیرمخرب، رسیدگی، ضربه، میکروفن، پیزوالکتریک

۱- واکنش میوه به نیروی وارده (Fruit Response to Force)

o روش انگشت مکانیکی

ارزیابی کیفیت میوه‌ها براساس واکنش آنها به نیروی وارده، دارای روش‌های متفاوتی است. یکی از آنها روشی است که Mizrach (۱۹۹۲) آن را پیشنهاد کردند و به نام اختصاصی انگشت مکانیکی(Mechanical Thumb) معروف است(شکل ۱). آنها از یک پین مکانیکی با قطر سه میلیمتر، برای اندازه‌گیری سفتی پرتقال و گوجه فرنگی استفاده کردند. هرچه میوه سفتی و استحکام بیشتری داشته باشد مقدار جابجایی، و همچنین مقدار ولتاژی که از نیروسنج(strain gauge) خارج می‌شود نیز به همان مقدار فنر بیشتر بود. در این دستگاه از دو روش ایستایی و روش تغییر شکل مداوم بار روی میوه برای ارزیابی کیفیت استفاده شد. در هر دو روش میوه باید در مقابل سطحی که پین از آن بیرون آمده است نگاه داشته شود تا اثر وزن را از نیروی فشار وارد بر حسگر حذف شود. با تحلیل ولتاژ خروجی استحکام و سفتی میوه مورد بررسی قرار گرفت.

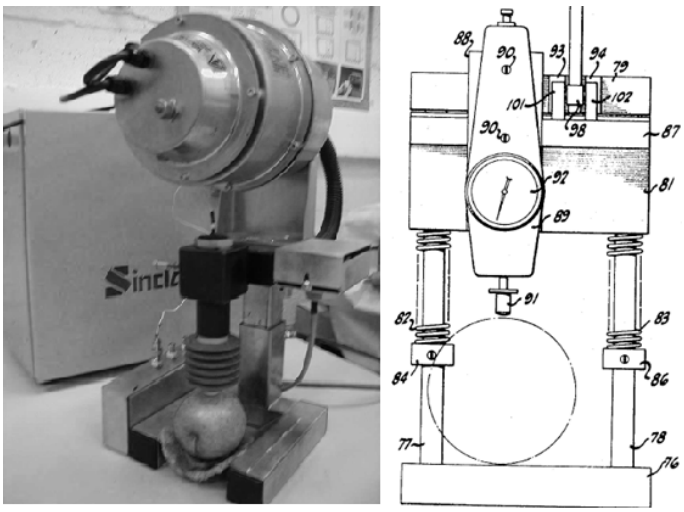
میزراخ و همکاران با این روش توانستند ۱۰۰٪ گوجه‌های رسیده را از گوجه‌های نرسیده جدا کنند و بـا دقـت ۵۲٪ توانستند گوجه‌های رسیده را از گوجه‌های نیمه رسیده جدا نمایند.



شکل ۱: سیستم ساخته شده توسط میزراخ، معروف به «انگشت مکانیکی»

- **روش SIQ-FT (Sinclair IQ^{TM}-Firmness Tester)**

روش دیگری که در این دسته‌بندی قرار می‌گیرند، دستگاه SIQ-FT است، کـه بـا وارد کـردن فشـار غیرمخـرب و تعریف شده توسط یک سیلندر با انتهای نیم‌کره که توسط یک فنر بر سطح میوه اعمال می‌شود کار خـود را جهـت تعیین کیفیت میوه انجام می‌دهد. در این دستگاه از روش مخصوصی برای داده برداری و پردازش سیگنال‌های گرفته شده استفاده می‌شود تا بتواند مقدار شاخص کیفیـت داخلـی میـوه، یـا بـه اختصـار "IQ" میـوه مـورد آزمـایش را اندازه‌گیری نماید. مقادیر شاخص IQ از طریق فرمول معادله ۱ بدست می‌آیند:



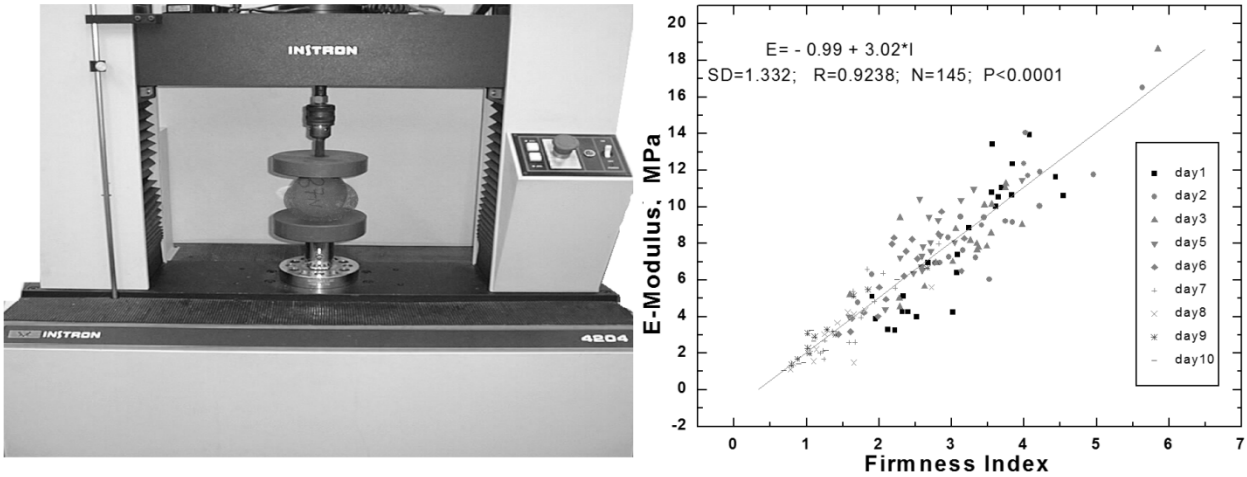
شکل ۲: دستگاه SIQ-FT تست کیفیت میوه که بوسیله پروب نیم کره‌ای خود فشار تعریف شده بر میوه وارد می‌کند.

$$IQ = C\left(\frac{P_{max}}{\int p(t)dt}\right)^2 \quad (۱)$$

که در اینجا C ضریب ثابت دستگاه می‌باشد، P_{max} بیشینه پاسخ مقدار نیروی وارده بر میوه است و $p(t)$ تـابعی از پاسخ مقدار نیروی وارده بر میوه، برحسب زمان می‌باشد. نمونه این دستگاه را در شکل ۲ مشاهده می‌نمایید.

o استفاده از دستگاه اینسترون

روش دیگر بر اساس اعمال نیرو و بررسی تغییر شکل میوه(غیر مخرب) است که توسط Flitzanov و همکاران ارائه شد. در این روش از یک دستگاه تست اینسترون استفاده شد و با اعمال فشار بر میوه تا زمانی مشخص، مقدار نیرویی را که دستگاه نشان می‌دهد و رابطه این نیرو با کیفیت میوه مورد بررسی قرار گرفت. در شکل ۳ رابطه بین شاخص رسیدگی و مدول یانگ میوه در روزهای متوالی را برحسب MPa نشان می‌دهد. این نمودار نشان می‌دهد که با کاهش پیدا کردن شاخص سفتی میوه در روزهای متوالی پس از برداشت مدول یانگ هم کاهش پیدا می‌کند.



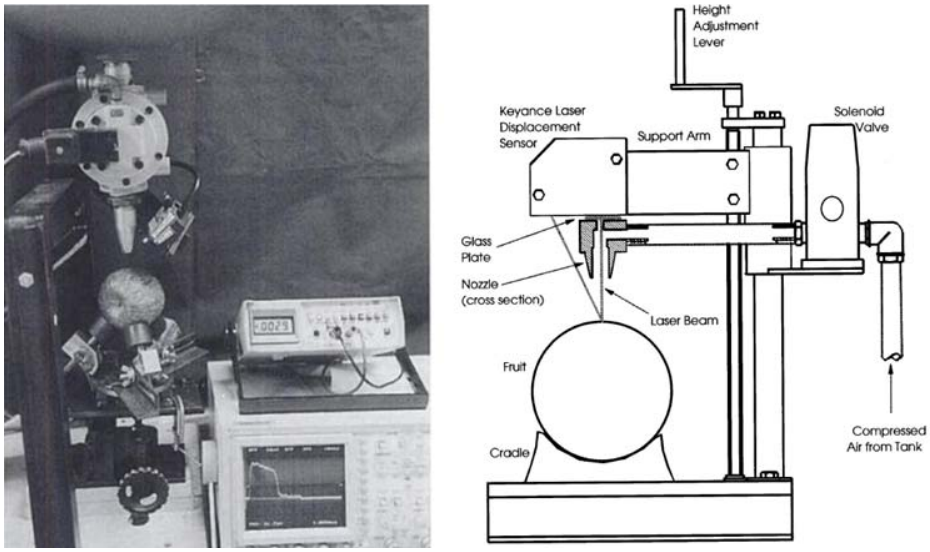
شکل ۳: ارزیابی کیفیت میوه انبه با استفاده از نیروی مکانیکی غیرمخرب محدود، توسط دستگاه تست اینسترون

o روش دمش لیزری (laser air-puff)

روش «دمش لیزری» (Laser air–puff) که توسط Hung and Prussia در سال ۱۹۹۵ ارائه شده و در شکل ٤ مشاهده می‌شود از روش‌های اندازه‌گیری رسیدگی میوه می‌باشد که با وارد کردن هوای فشرده بر سطح میوه و اندازه‌گیری میزان این جابجایی سفتی میوه را ارزیابی می‌نماید. سفتی میوه توسط معادله ۲ اندازه‌گیری می‌شود. سفتی میوه در اینجا تحت عنوان E_{Puff} تعریف شده(مدول الاستیسیته توسط روش دمش لیزری) است، و با اندازه‌گیری اوج تغییر شکل(D)، و با استفاده از نظریه حداکثر بارگذاری Boussinesq استحکام میوه اندازه‌گیری می‌شود (Mohsenin, 1986). اندازه‌گیری استحکام میوه در چندین مرحله انجام می‌گیرد، ابتدا باید محصول روی نگهدارنده و زیر نازل قرار گیرد، سپس نازل در فاصله ۲ سانتی‌متری از محصول قرار داده شود، سپس با تنظیم رگولاتور فشار، فشار را به اندازه مورد نظر می‌رسانیم. مقدار تغییر شکل ناشی از هوای فشرده با استفاده از سنسور لیزر جابجایی اندازه گیری و ثبت می‌شود با اسیلوسکوپ های دیجیتالی به نمایش داده می‌شود و از این طریق سفتی میوه مورد ارزیابی قرار می‌گیرد.

$$E_{puff} = \frac{P\pi(1-\mu^2)\alpha}{2D} \qquad (۲)$$

که P حداکثر فشار فشار واردی روی میوه می‌باشد، μ مدول الاستیسیته میوه مورد آزمایش می‌باشد، α شعاع سطح تحت فشار بر میوه می‌باشد و D هم میزان جابجایی صورت گرفته میوه تحت فشار می‌باشد.

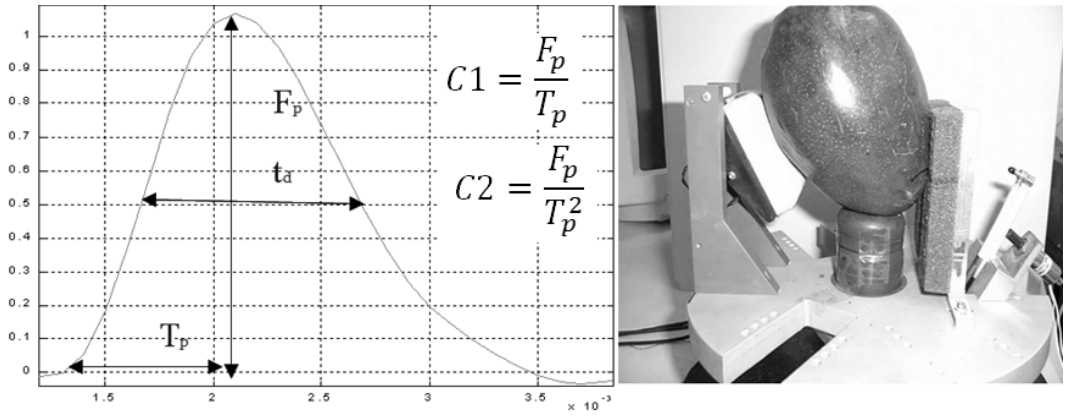


شکل ٤: روش دمش لیزری برای تشخیص استحکام یا سفتی میوه

۲- تشخیص بوسیله نیروی برخورد (Detection by Impact Force)

o استفاده از چکش اندازه‌گیر

چکش ضربه زن، وسیله‌ای است برای وارد آوردن نیروی نقطه‌ای به جسم که متشکل است از: یک چکش، مبدل تحریک نیرو (PCB-086C80)، یک محرک الکترومکانیکی با نوک نیم‌کره‌ای آلومنیومی با قطر ٤ میلیمتر، برای تولید سیگنال حاصل از ضربه بکار گرفته شد(شکل ٥). نیرویی که بر میوه وارد می‌شود بصورت غیر مستقیم بر میوه وارد می‌شود. روشی که برای داده‌برداری و همچنین آنالیز در دستگاه SIQ-FT بکار گرفته شد برای استخراج پارامترهای رسیدگی ناشی از نیروی ضربه نیز استفاده شد(معادله ٤)(شکل ٥).

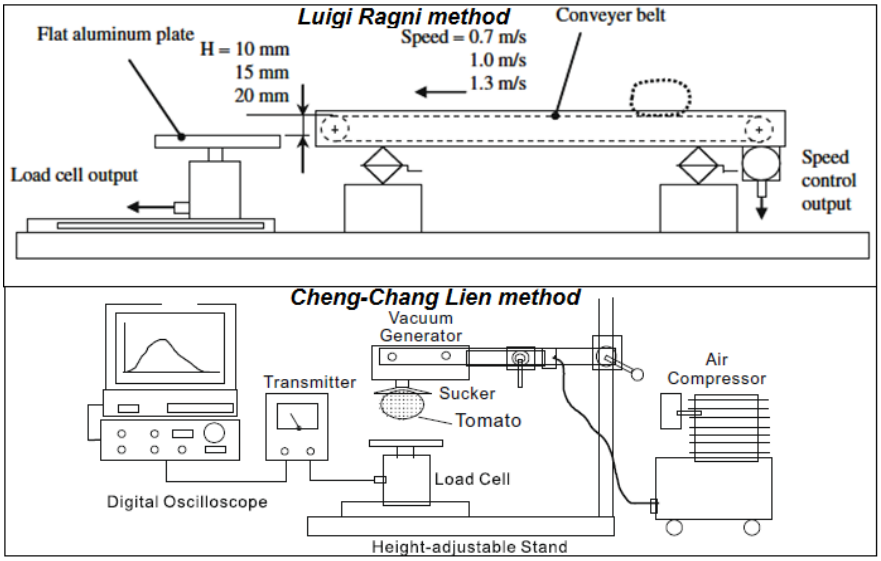


شکل ٥: چکش اندازه‌گیر

که P_{max} بیشینه دامنه در نمودار برخورد می‌باشد و T شاخص‌هایی از زمان برخورد می‌باشد، از قبیل T_p، زمان بیشینه دامنه، T_c، مدت زمان ضربه، یا T_m عرض برخورد در نیمی از رمان اوج دامنه.

استفاده از نیروسنج

از روش‌های انجام تست غیرمخرب سفتی میوه، روشی است که در آن از نیـرو سـنج اسـتفاده مـی‌شـود و سـیگنال بدست آمده از نیرو سنج برای ارزیابی مورد تحلیل قرارمی‌گیرد. یکی از این روش‌هـا توسـط Luigi Rangi مـورد استفاده قرار گرفت که دستگاه مورد استفاده شامل یک تسمه نقاله بود که میوه بر روی صفحه‌ای افقی، که نیروسـنج به آن متصل بود، پرتاب می‌شد. فاصله بین صفحه و تسمه نقاله(ارتفاع سقوط میوه) و همچنین سرعت تسمه نقالـه به طور آنی قابل تنظیم بوده و میوه با سرعتی مشخص حرکت داده می‌شد و سپس بر روی صفحه‌ای آلومنیومی کـه نیرو سنجی زیر آن قرار داشت انداخته شد. در این روش از شاخص مگـنس-تیلـور (Magness-Taylor - MTf) (که پارامتری مخرب است)، برای توصیف سفتی میوه و تنظیم مدل پیش‌بینی، به عنوان مرجع استفاده شد. در روش تحلیل داده، از شبکه عصبی مصنوعی استفاده شد و نتایج این روش حاکی از وجـود ضـریب همبسـتگی ۰/۸۲۳ در مدل پیش‌بینی دارد. سقوط آزاد میوه بر روی بشقاب آلومنیومی بجای پرتاب شدن میوه توسط تسمه نقاله بر بشقاب نتایج بهتری را بدست نیاورد (شکل ٦) (Ragni, et al., 2010). روش سقوط آزاد میوه بـر نیروسـنج را Cheng-Chang هم انجام داد، و میوه مورد نظر توسط یک مکنده برداشته می‌شد و از یک ارتفاع مشخصی بصورت سـقوط آزاد بر نیروسنج انداخته می‌شد. بیشترین دقتی که در این تحقیق نیز بدست آمد۸۲/۳٪ بود.



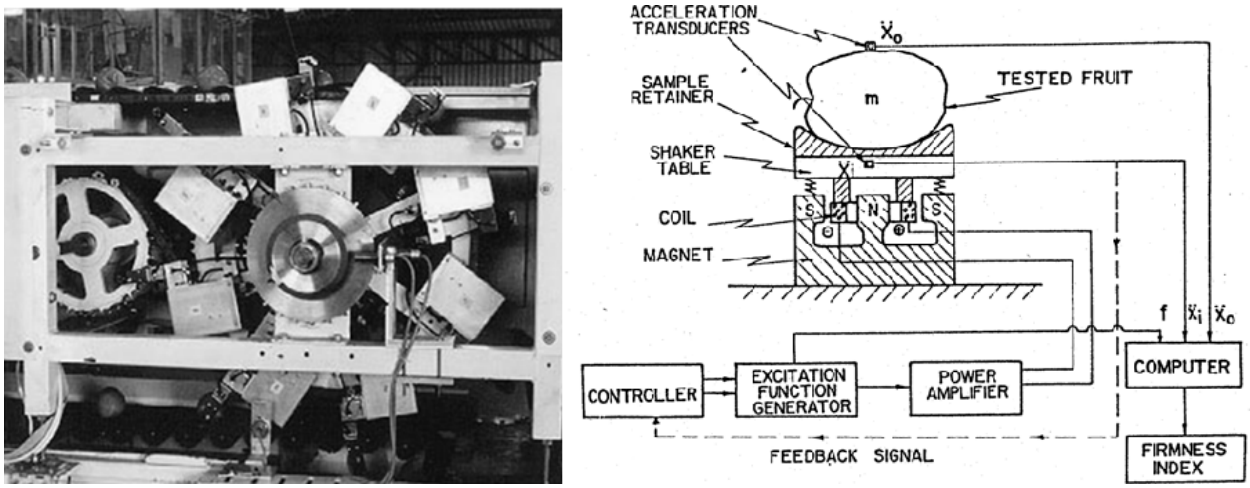
شکل ٦: دستگاه تست کیفیت میوه براساس نیروی وارده بر نیرو سنج(Ragni, et al., 2010)

۳- تشخیص بوسیله ضربه مکانیکی یا صوتی (Detection by a Mechanical or Sonic Impulse)

o استفاده از شتاب سنج (Peleg Firmness Sorter)

ویژگی‌های ارتعاش صوتی میوه‌ها بصورت گسترده‌ای توسط Abbott و همکاران مورد مطالعه قـرار گرفتـه اسـت. ایشان دریافتند که فرکانس دوم سیب شدیدا تحت تاثیر اندازه و سفتی میوه می‌باشد. آنها نشان دادند که سفتی میـوه شدیداً وابسته به ضریب سفتی می‌باشد، رابطه f^2m برای اندازه‌گیری سفتی بدست آمد، که f و m به ترتیب دومـین

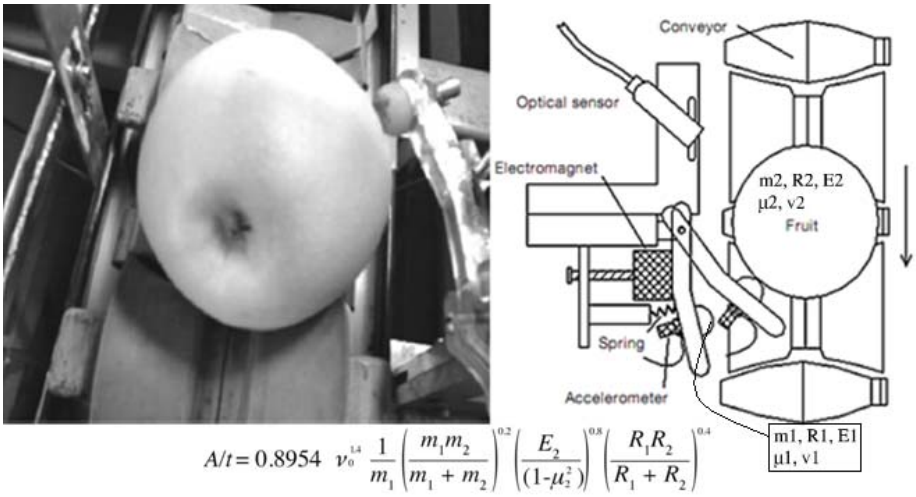
فرکانس تشدید و جرم میوه می‌باشند. Peleg و Abbott با استفاده از شتاب سنج متصل به میوه نشان دادند که بررسی پاسخ ارتعاشی یک میوه که تحت تاثیر نوسانات مکانیکی قرار گرفته است می‌تواند بصورت غیرمخرب کیفیت میوه را منعکس کند. چگونگی کار یک سورتر میوه از لحاظ استحکام یا سفتی که بر اساس پژوهش های پلگ ساخته شده در شکل ۷ نشان داده شده است. میوه بر روی یک لرزاننده قرار گرفته و دو شتاب سنج، یکی در بالا و دیگری در زیر میوه، شتاب‌های ورودی و خروجی وارد بر میوه را اندازه می‌گیرند. رابطه ۳ مقدار سفتی را می‌دهد. X_o جذر میانگین مربعات (rms) شتاب خروجی است و X_i جذر میانگین مربعات شتاب ورودی است. این ماشین نمونه ای است که نشان می دهد چگونه پژوهش هایی از این دست می توانند به صورت عملی مورد استفاده قرار بگیرند. چرخ حامل حسگرها ۲-۱۵ دور در دقیقه چرخیده ودارای ۲٤ حسگر است. حداکثر خروجی آن ٦ میوه در ثانیه است. اگر از ۸ سنسور استفاده شود خروجی دستگاه حداکثر به ۲ میوه در ثانیه کاهش پیدا می‌کند. در حالی که اگر تنها یک حسگر مورد استفاده قرار می‌گرفت خروجی آن یک میوه در هر ٤ ثانیه بود. خروجی بیشتر با افزایش چند چرخ موزای هم امکان پذیر است.



شکل ۷: ماشین تجاری پلگ که مبنای کار آن شتاب‌سنج می‌باشد

$$PFT = \frac{X_o}{(X_o - X_i)} \qquad (۳)$$

یکی دیگر از روشهایی که در آن از شتاب سنج برای محاسبه سفتی استفاده می‌شود توسط Garcia Ramos بکار گرفته شد. این روش تکمیل یافته مدلی است که Chen در سال استفاده کرده بود. در این روش از شتاب حاصل از برخورد میله حامی شتاب سنج و میوه استفاده می‌شود که در این برخورد میوه دارای حرکت است اما شتاب سنج می‌تواند در دو حالت ثابت و متحرک می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد(شکل ۸). رابطه مورد استفاده برای محاسبه میزان سفتی، را در شکل ۸ ملاحظه می‌فرمایید.



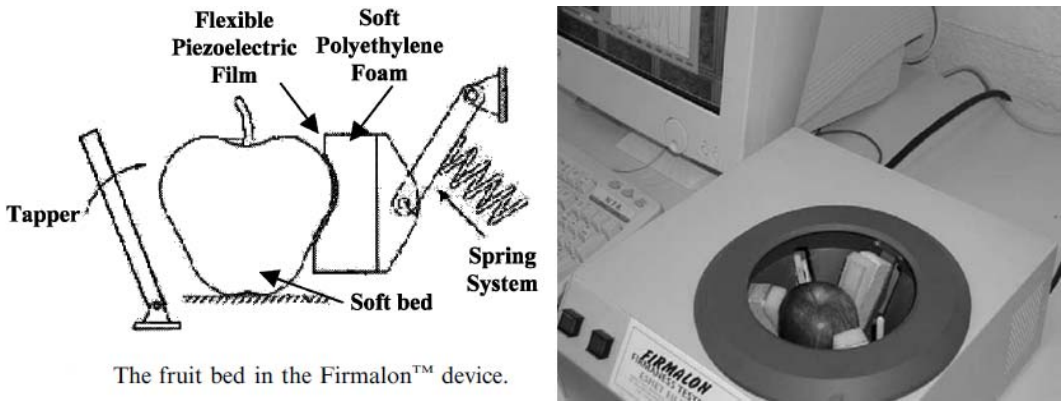
شکل ۸: تصویری از دستگاه سفتی سنج مورد بر مبنای شتاب سنج

o استفاده از لایه پیزوالکتریک

شکل ۹ نمایش دهنده یک مکانیزم آزمایشگاهی است که از ۳ لایه انعطاف پذیر پیزوالکتریک استفاده می‌کند که موجب ارتعاش آزاد میوه می‌شود، و ۳ چکش کم وزن الکترومکانیکی برای تحریک ارتعاشی میوه بکار گرفته شد. این دستگاه توسط Shmulevich و همکاران ساخته شد و یکی از اولین نمونه‌های کاربردی دستگاهی است که بر همین مبنا ساخته شده است و هم اکنون با نام تجاری Firmalon برای امور تحقیقاتی و حتی کنترل کیفیت میوه‌جات در فرآیند انبارداری مورد استفاده قرار می‌گیرد. در این تحقیق تنها از یک حسگر استفاده شده است. کمترین فرکانس تشدید نمونه تست شده برای محاسبه شاخص رسیدگی آکوستیک FI (10^4 $kg^{2/3}$ s^{-2}) استفاده شد:

$$FI = f_1^2 m^{2/3} \quad (٤)$$

که f_1 اولین فرکانس تشدید می‌باشد و m جرم میوه است.

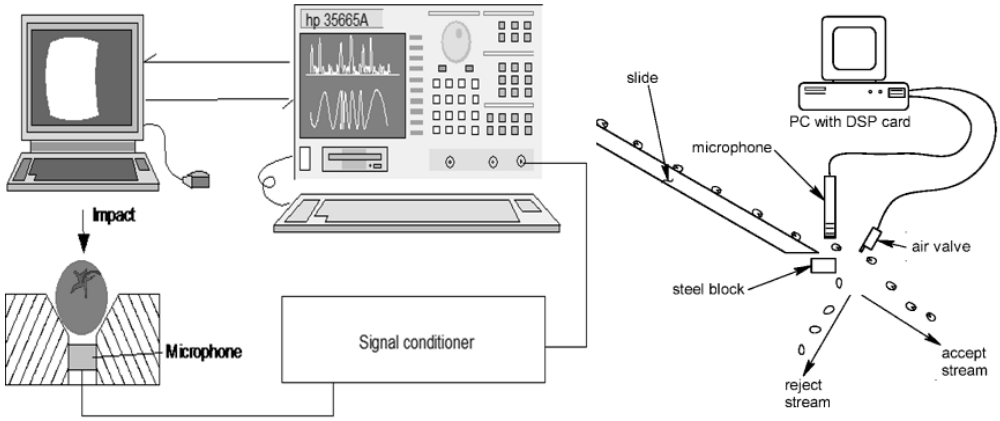


شکل ۹: دستگاه فیرمالون که توسط لایه پیزوالکتریک، پاسخ آکوستیک میوه‌ها را آشکار می‌کند

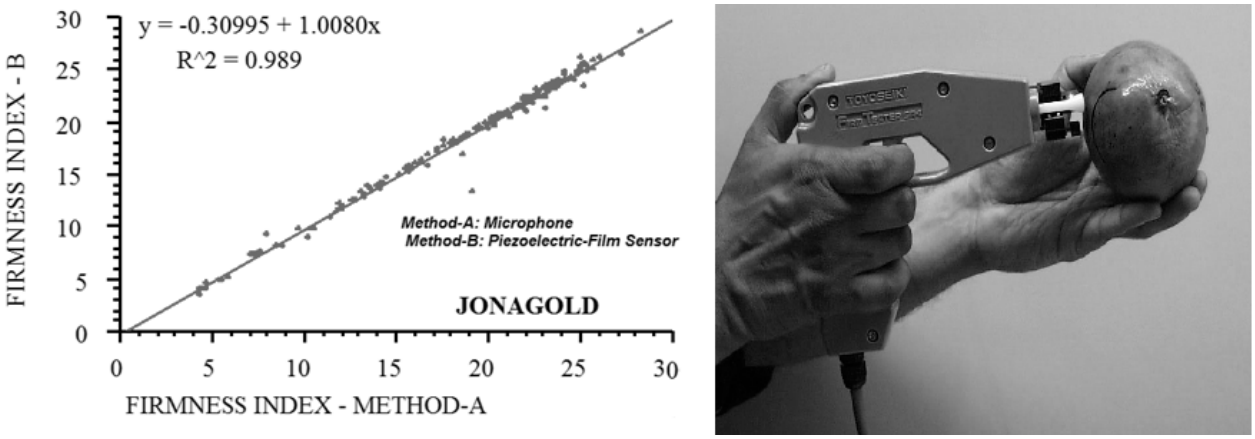
o استفاده از روش میکروفن

روشی آکوستیکی که برای اولین بار توسط Yamamoto در سال ۱۹۸۰ مورد استفاده قرار گرفت و تحت عنوان

میکروفن مبنا معروف است، از میکروفن برای دریافت پاسخ آکوستیک میوه استفاده می‌کند(شکل ۱۰). در این روش به دلیل عدم تماس مستقیم میوه با حسگر(میکروفن)، بسیار سریع‌تر از دو روش دیگر است، اما از نظر دقت، تفاوت معنی‌داری با روش پیزوالکتریک قابل انعطاف ندارد، شکل ۱۱ این مطلب را نشان می‌دهد. اکنون از این روش بدلیل مزایای آن استفاده بیشتری می‌شود و محققیق زیادی همچون Pearson در طبقه‌بندی پسته، و یا Sugiyama از همین روش برای جداسازی میوه انبه با کیفیت استفاده نمود(شکل ۱۱). دستگاه ساخته شده توسط سوجی یاما دستگاهی قابل حمل می‌باشد که همین موضوع اهمیت کار وی را بیشتر می‌نماید. این روش بر روی میوه‌هایی چون هلو، گلابی، پسته و هندوانه و ... بکار گرفته شده است.



شکل ۱۰: اساس روش میکروفن مبنا، یعنی استفاده از میکروفن برای دریافت پاسخ آکوستیک میوه

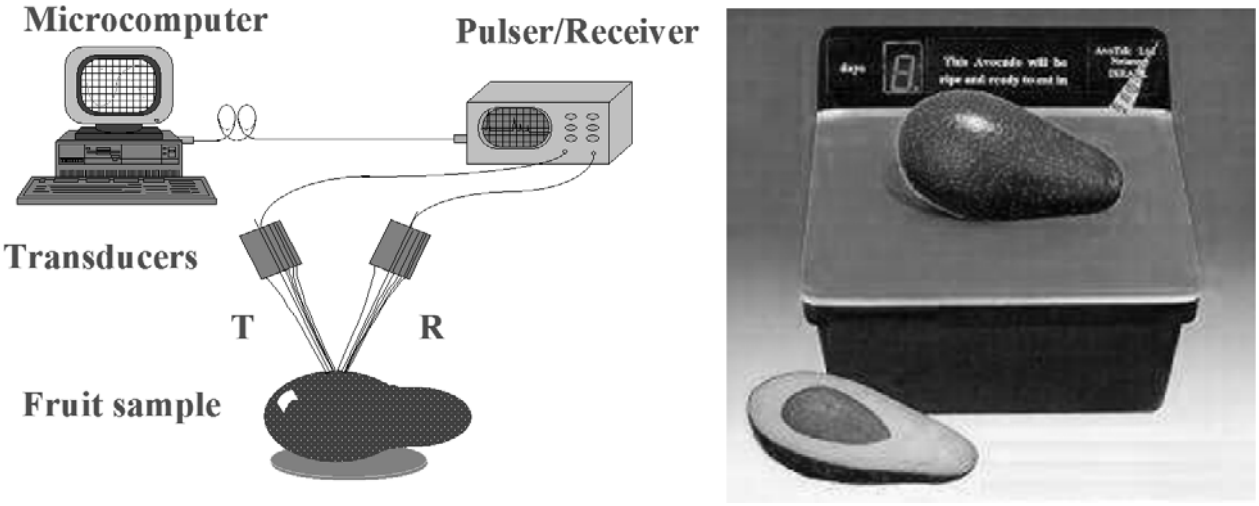


شکل ۱۱: مقایسه ارتباط بین شاخص استحکام میوه در دو روش آکوستیک میکروفن مبنا و روش لایه پیزوالکتریک، و دستگاه ساخته شده توسط Sugiyama

- **استفاده از التراسونیک**

ویژگی میوه‌ها را می‌توان بصورت غیرمخرب توسط روش‌های فراصوتی نیز تخمین زد. این روش‌ها عمدتا مبتنی بر ارسال انرژی فراصوتی به دورن میوه و بررسی مقدار جذب یا انتشار انرژی از درون آن بنا شده‌اند. در این روش دستگاه پالسر موجب می‌شود که فرستنده شروع به نوسان نماید و با گسیل پالس‌های فراصوتی با پهنای باند باریک

تحت زاویه ۳۰ درجه بر روی میوه شود، فرکانس‌های بازگشته از پوست و بافت میوه گیرنـده را فعـال نمـوده و در ادامه سیگنال‌های دریافتی جهت بررسی مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرند. Mizrach و Flitsanov با اسـتفاده از یک جفت فرستنده و گیرنده فراصوتی و تحلیل نتایج بدست آمده توانستند برخی ویژگی‌های فیزیکی مانند شاخص رنگ (Color Index) و سفتی و همین‌طور برخی از مشخصه‌های شیمیایی مثـل میـزان قنـد و اسـیدیته انبـه را در هنگامی که رطوبت آن ٦٠٪ و دمایش ۲۰ درجه سیلسیوس اسـت بـا دقـت خـوبی مـدل سـازی کننـد (شـکل ۱۲) (Mizrach, 2000).



شکل ۱۲: استفاده از روش‌های فراصوتی جهت تخمین کیفیت میوه

نتایج و بحث

در این مقاله چندین روش غیرمخرب برای ارزیابی کیفیت محصولات کشاورزی مورد بررسی قرار گرفتند. بعضی از روش‌ها نسبت به بقیه در سطح بالاتری بودند. چون روش‌ها مبتنی بر اندازه‌گیری ویژگی‌های فیزیکی بـود ، کـارایی روش به همبستگی بین ویژگی فیزیکی اندازه‌گیری‌شده و شاخص‌های کیفیـت مـورد نظـر، وابسـته بـود. همچنـین محققین، رابطه بین ویژگی‌های فیزیکی و شاخص‌های کیفیت را برای محصولات کشاورزی دیگر نیز توسعه دادنـد، تنوع طبیعی و ذاتی در ساختار، ترکیب، و دیگر متغیرهای بین همان نوع از محصول کشاورزی، پیدا کردن رابطـه‌ای خوب بین ویژگی‌های فیزیکی و شاخص‌های کیفیت را اغلب مشکل می‌سازد. با این حال، استفاده از از کـامپیوتر و تکنیک‌های پردازش داده، محققین را قادر می‌سازد تا اثر عوامل غیرمرتبط را کاهش دهنـد و رابطـه بـین تعـدادی از ویژگی‌های اندازه گیری شده و شاخص‌های کیفیت مورد نظر را بهبود ببخشند. به طور کلی برخی روش‌هـا قابلیـت کاربرد در صنعت را دارند ولی برخی دیگر هنوز مراحل آزمایشگاهی را پشت سر می‌گذارنـد و سـرعت کـار آنهـا، مانع از کاربرد تجاریشان می‌شود. هر چند که برخی از روش‌ها هم اکنون در کارخانجـات اسـتفاده مـی‌شـوند ولـی استفاده از روش‌های نوین بطوری که سرعت کار و دقت عمل دستگاه بالاتر رود، و از هزینه‌ها بکاهـد، راه را بـرای تحقیق در سایر روش‌ها بازگذاشته است.

منابع

1. Abbott, J. A.; Bachman, G. S.; Childers, N. F.; Fitzgerald, J. V.; Matuski, F. J. Sonic techniques for measuring texture of fruits and vegetables. Food Technology 1968, 22(5): 101-112

2. Armstrong, P.R, M.L Stone, and G.H Brusewitz. Nondestructive acoustic and compression measurements of watermelon for internal damage detection. Food & Process Engineering Inst 13(5) (June 1997): 641-645.

3. Cheng-Chang Lien, Chyung Ay, Ching-Hua Ting. Non-destructive impact test for assessment of tomato maturity. Journal of Food Engineering 2009, 91, 402-407

4. Chen, P. Sun, Z. Review of Non-destructive Methods for Quality Evaluation and Sorting of Agricultural Products. J. agric. Engng Res. 1991, 49, 85-98

5. Chen, P., Tjan, Y., 1996. A low-mass impact sensor for highspead firmness sensing of fruits. Paper 96F-003. AgEng96, Madrid, Spain.

6. De Baerdemaeker, J, E Schrevens, R De Busscher, and L Verstreken. Detection of hollow pears by tree based modelling on nondestructive acoustic response spectra. Acta Horticulturae International Postharvest Science Conference Postharvest 464 (March 1998).

7. Delwiche, M. J.; Tang, S.; Mehlschau, J. J. An impact force response fruit firmness sorter. Transactions of the American Society of Agricultural Engineers 1989, 32(l): 321-326

8. GOLIÁŠ, J, L BEJČEK, P GRÄTZ, and S KLUSÁČEK. Mechanical resonance method for evaluation of peach fruit firmness. Faculty of Horticulture. 30 (2003): 1–6.

9. Mizrach, Amos. Determination of avocado and mango fruit properties by ultrasonic technique. Ultrasonics 38 (2000): 717–722.

10. NAHIR D., SCHMILOVITCH Z., RONEN B., 1986. Tomato grading by impact force response. Summer Meeting of ASAE, St Luis Obispo, California, USA, July.

11. Nahir, D.; Schmilovitch, Z.; Ronen, B. Tomato grading by impact force response. The American Society of Agricultural Engineers. Paper No. 86-3028, St Joseph, Michigan, 198

12. Pearson T C (2001). Detecting of pistachio nuts with closed shells using impact acoustics. Applied Engineering in Agriculture, 17(2), 249–253

13. Peleg, K., 1999. Development of a commercial fruit firmness sorter. J. Agr. Eng. Res. 72, 231–238.

14. Ragni, L., Berardinelli, A., Guarnieri, A., 2010, Impact device for measuring the flesh firmness of kiwifruits. Journal of Food Engineering. 96, 591–597

15. Shmulevich, I, R Ben-Arie, N Sendler, and Y Carmi. Sensing technology for quality assessment in controlled atmospheres. Postharvest Biology and Technology 29 (2003): 145-154.

16. Shmulevich, I. Nondestructive Quality Assessment by Sensor Technology. 4th International conference on post harvest science, Jerusalim, Israel 2000.

17. Shmulevich, I., Galili, N., Howarth, M.S., 2003. Nondestructive dynamic testing of apples for firmness evaluation. Postharvest Biol. Technol. 29, 287–299.

18. Shmulevich, I., Galili, N., Rosenfeld, D., 1996. Detection of fruit firmness by frequency analysis. Trans. ASAE 39, 1047_ 1055

19. Sugiyama, Junichi, Muhammad Imran Al-Haq, and Mizuki Tsuta. Application of Portable Acoustic Firmness Tester for Fruits. Information and Technology for Sustainable Fruit and Vegetable Production, 2005: 439-444.

20. Terdwongworakul, A., Srichonpet, S., Poniyom, K., and Sukchareon, A. (1997). Investigation of change of exponential frequency index as related to durian maturity. Proceedings of 5th International Symposium on Fruit, Nut, and Vegetable Production Engineering, 3-10 September 1997, UC Davis, California USA.

21. Yamamoto, H.; Iwamoto, M.; Haginuma, S. Nondestructive acoustic impulse response

method for measuring internal quality of apples and watermelons. Journal of Japanese Society of Horticultural Science 1981, 50(2): 247-261

Abstract

A number of methods for quality evaluation and sorting of agricultural products have been developed by different researchers over the past several decades. These methods are based on the detection of various physical properties which correlate well with certain quality factors of the products. This paper presents an overview of various methods to get fruit firmness which are based on fruit response to force and vibration. These methods are fruit response to force inclusive: Mechanical Thumb method, SIQ-FT method, and Laser Air-Puff method. Detection by impact force inclusive: Measurement Hammer and using Load Cell. Detection by a mechanical or sonic impulse inclusive: Peleg Firmness Sorter, Piezoelectric Film Tester, Microphone method, and Ultrasonic method. Study of this methods show how obtain fruit's quality, applicable, accuracy, and complexity of used methods.