تکنولوژی آزمون غیر مخرب در بررسی خصوصیات فیزیکی محصولات کشاورزی

علیرضا سلیمانی پوردامناب[1]، مرضیه حسین‌پور[2]، صابر طورسوادکوهی[3]
1- دانش آموخته کارشناسی ارشد مکانیک ماشین کشاورزی دانشگاه تهران
2و3- دانش آموخته کارشناسی ارشد مکانیک ماشین کشاورزی دانشگاه شهرکرد

asoleimani@ut.ac.ir

چکیده

تعیین رسیدگی و بازسازی مهمترین قسمت در ارزیابی کیفیت درونی میوه ها است. بیشتر روش ها برای اندازه گیری این عوامل مخرب، وقت‌گیر و گران می‌باشند. بنابراین توسعه روش غیر مخرب برای تعیین کیفیت میوه ها ضروری به نظر می‌رسد. بافت میوه در مراحل مختلف رشد و انبارداری تغییر کرده و می توان با بررسی خصوصیات آن و عبور امواج فراصوت از داخل بافت میوه، بسته به نوع بافت و تراکم آن، تضعیف گردیده و سرعت آن نیز تغییر می یابد. لذا ممکن است بتوان با تصویر برداری سه‌بعدی، به صورت غیرمخرب، خصوصیات میوه را تعیین نمود. درجه‌بندی میوه‌ها از جهت اندازه در صنعت غذایی جهت فرایندهای مورد نیاز ماشین الات و یا مراحل درجه بندی، ضروری می‌باشد. برای مثال استخراج شیره (عصاره) گیاهان مرکبات براساس اندازه میوه طراحی می‌شود. در این تحقیق از تکنیک هدایت الکتریکی جهت تعیین اندازه(حجم، وزن و قطر) تولیدات باغی براساس آزمون غیرمخرب در راستای محورها، محیط و مساحت بررسی می گردد. تعیین سرعت و دقت در اندازه‌گیری حجم شکل های نا منظم، نیازمند تعیین بررسی دانسیته درونی محصولات است و مهمترین کاربرد اندازه گیری دانسیته در ذخیره محتوا ی مواد جامد محلول (SSC) است. چنانچه طیف وسیعی SSC در یک دسته بندی با دامنه کم و تعداد زیادی از طبقه بندی ها توصیف شوند، در اینصورت اندازه گیری حجم دقیق اهمیت پیدا می کند. همچنین جایگزین خوبی برای بازسازی سطح سه بعدی میوه ها از حجم و مساحت آنها است که ترکیبی از ارتفاع پروفایل میوه از محدوده سنسور با تصویر دو بعدی (تصاویر روشن) و یا از محدوده حسگر خود میوه (تصویر اولیه) می‌باشد. با این حال یکی از نوید بخش‌ترین تکنولوژی ها در ارتباط با تصویر پردازی سه بعدی است که ترکیبی از داده سنجی طیف نوری و مدل های سه-بعدی سطوح می باشد.

کلمات کلیدی: آزمون غیرمخرب، بازسازی، تصویر برداری سه‌بعدی، دانسیته.

مقدمه

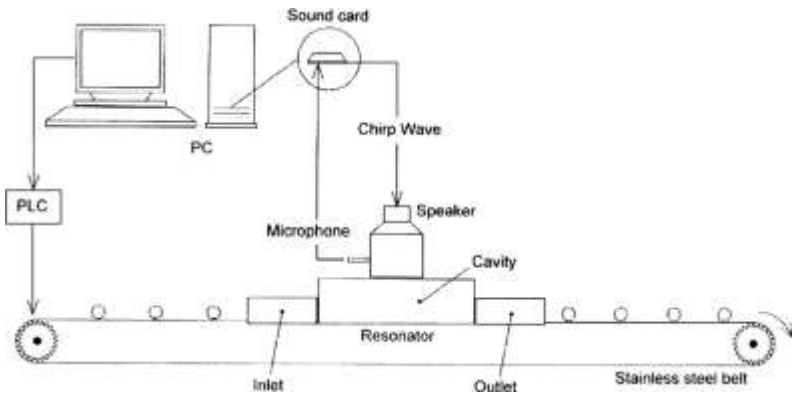
طبق تعریف، آزمون غیر مخرب عبارت است از اندازه گیری پارامترهای کیفی و کمی محصولات کشاورزی به گونه-ای که میوه یا محصول مورد نظر هیچ گونه آسیبی ندیده و دوباره به چرخه مصرف برگردد . در واقع، آزمایشاتی غیرمخرب محسوب می‌شوند که اثرات مخرب فتوفیزیکی، حرارتی، شیمیایی، مکانیکی و فتوشیمیایی نداشته باشند . تاکنون روشهای متعددی برای کیفیت سنجی غیر مخرب محصولات کشاورزی ابداع شده‌است که تنها برخی از آنها توانسته شرایط فوق را برآورده ساخته و از لحاظ فنی و صنعتی و حتی اقتصادی توجیه داشته باشند . بطور کلی خصوصیات ظاهری اعم از شکل، سایز (وزن، حجم و ابعاد فیزیکی)، رنگ و عیوب ظاهری در کنار خصوصیات داخلی محصول مانند خصوصیات حسی (بافت، طعم، بو)، ارزش غذایی و عیوب داخلی از مهمترین فاکتورهای اثرگذار بر بازار تولید و مصرف محصولات کشاورزی به شمار می روند . از اینرو، هر سیستم اندازه گیری کیفی

بایستی این قابلیت را داشته باشد تا به تناسب هر محصول، فاکتورهای مهم آن محصول را کاوش نماید. روش های نوری، مکانیکی، شیمیایی و امواج الکترومغناطیسی و صوتی در توسعه آزمون های غیرمخرب نقش اساسی داشته - اند. اما این روش ها تنها قادرند پارامترهای محدودی از میوه‌ها و محصولاعت کشاورزی را کاوش کنند . بنابراین، لازم است شرایط حاکم در این روشها به دقت بررسی شده و در گزارش یا ثبت نتایج آزمایش لحاظ شوند . همچنین در روشهای غیرمخرب کاوش خصوصیات محصولات، ممکن است بیش از یک فاکتور بر داده ها و نتایج بدست آمده تأثیر بگذارد که در چنین مواردی اندازه گیری با خطا همراه خواهد بود و به همین دلیل این سیستم‌ها برای داشتن کارایی نیازمند کالیبراسیون قوی خواهند بود. طی سالهای اخیر روشهای متعددی ا ز جمله ماشین بینایی، طیف سنجی های مختلف، صوت و فراصوت، به رشد سریع سخت افزاری همراه بوده و همین مساله باعث بکارگیری آنها در ارزیابی کیفی غیر مخرب شده است (ذکی دیزجی و همکاران، 1386). روشن است که بخش صنعت نیز تمایل به سرمایه گذاری در این حوزه ها داشته و هم اکنون بسیاری از کارخانجات درجه بندی و فراوری از این قبیل تکنیک ها بهره می برند. در این مقاله سعی بر این بوده تا به بررسی تکنیک های مختلف غیر مخرب در کشاورزی پرداخته و بخصوص آن دسته از تکنیک هایی که در فرایند تعیین خصوصیات ظاهری میوه ها و سبزیجات بکار گرفته شده اند، پرداخته شود.

مواد و روش ها

روش صوتی

در این روش که در سال 1942 توسط کلارک و میکلسون ارائه شد صوت به داخل ماده غذایی نفوذ کرده و در ماده غذایی سبب ایجاد ارتعاش می شود که این سیگنال توسط یک میکروفون دریافت شده و سپس فرکانس اصلی ارتعاش توسط قانون انتقال فوریه محاسبه می شود. در اصل فرکانس رزونانسی یک شئ ارتباط مستقیم به شکل هندسی آن، جرم و مدول الاستیسیته ماده‌ای که ازآن ساخته شده دارد . در مورد میوه ها مدول الاستیسی ته با پیشرفت رسیدگی آن تغییر می کند(مثلاً برای سیب کال 5 MPa و برای سیب کاملاً رس یده 0/5 MPa). این تکنیک برای پیش‌بینی رسیدگی برخی میوه‌ها مانند خربزه با موفقیت همراه بوده است . از مهمترین معایب این روش، دشوار بودن تفسیر نتایج بدست آمده است.



دستگاه سیستم تشدیدگر هولمتز برخط برای اندازه گیری حجم مواد غذایی، با استفاده از امواج صوتی(Nishizu *et al.*, 2001)

روش طیف سنجی مادون قرمز نزدیک

سیستم های نوین اندازه گیری کیفیت محصولات کشاورزی در یک طبقه‌بندی کلی به سیستم‌های مکانیکی و نوری تقسیم‌بندی می‌شوند. اصول روش‌های مکانیکی بر مبنای ارتعاش یک محیط مادی مانند هوا، کریستال و استفاده از امواج حاصل از این ارتعاش استوار است؛ در حالی‌که روش‌های نوری از طیف امواج الکترومغناطی س و حالت های گوناگون این امواج در برخورد با محصول بهره می گیرند. محققان زیادی بکارگیری تشعشع الکترومغناطیسی از طیف فرابنفش تا مادون قرمز را بررسی کرده اند. توسط انعکاس مادون قرمز نزدیک (NIR) فاکتورهای کیفی ای مانند میزان قند، سفتی، میزان کربوهیدرات ها و اسیدیته در میوه‌های مختلفی مانند سیب، گوجه‌فرنگی و انبه مورد بررسی قرار گرفته‌اند. با اینکه، ناحیه مادون قرمز برای اندازه‌گیری کیفی و کمی محصولات کشاورزی و غذایی ، مناسب‌ترین ناحیه به شمار می رود؛ اما به دلیل جذب قوی آب، استفاده از تکنی ک‌های مادون قرمز نزدیک در ارزیابی کیفی محصولات کشاورزی محصولات آبدار و تازه‌خوری محدود شده است . هر چند فیبرهای نوری و سیستم های پیشرفته سنسوری تا حدودی این مشکل را بر طرف کرده‌اند به نحوی که از این تکنیک در کارخانجات و شرکت‌های فرآوری، درجه‌بندی و کیفیت سنجی محصولات کشاورزی به طور گسترده استفاده می شود . اما مهمترین عیب این روش مدل های کالیبراسیون و نرم‌افزارها هستندکه در حقیقت، ارتباط و نگاشت طول موج های جذبی در طیف حاصله را با عناصر و ترکیبات کیفی موج مورد نظر برقرار می‌سازند (Butz *et al.*, 2005).

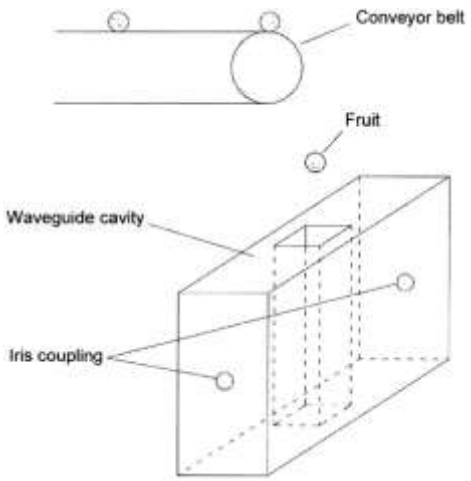
روش طیف سنجی رامان

از دیگر روش‌های طیف سنجی موجود، طیف سنجی لیزری رامان است که براساس تغییرات فرکانسی نور فرودی عمل می‌کند. این تغییر فرکانس ناشی از پراکندگی غیرالاستیک در اندرکنش بین فوتون های نور تابشی با مولکول های ماده است. اثر رامان برای اولین بار توسط فیزیکدان هندی C. V. Raman در سال 1928 کشف شد . هر چند که این تکنیک در کشاورزی و سایر حوزه ها تا اختراع لیزرهای ارزان و سیستم‌های سخت افزاری مورد نیاز چندان رونق نداشت، اما آغاز کاربرد انبوه و گسترده این تکنیک با ورود سخت افزارها و تجهیزات پیشرفته اپتیکی در اوایل دهه 90 میلادی همراه شد. به خصوص ساخت لیزرهای فشرده و ارزان قیمت، توسعه آشکارسازهای CCD و در کنار آن پیشرفت فیلترها و تکفام کننده ها کاربرد طیف سنجی رامان در زمینه های مختلف را توسعه داده است (Lewis and Edwards, 2001). یک طیف رامان می تواند حاوی اطلاعات با ارزشی از گونه ها، ساختارها و ترکیبات مولکولی ماده مورد نظر باشد و از مزایای این طیف می توان به حساسیت بالا، زمان کوتاه آزمایش، عدم نیاز به آماده سازی نمونه و غیرمخرب بودن این تکنیک اشاره کرد که بر ج ذابیت استفاده از طیف سنجی پراکندگی رامان افزوده‌اند (Zhang *et al.*, 2006). هرچند این روش نقایصی هم دارد که سیگنال ضعیف و احتمال پایین وقوع پراکندگی رامان در شرایط طبیعی از آن جمله‌اند.

روش طیف سنجی رزونانس مغناطیسی هسته

این تکنیک برای اولین بار توسط I. W. Pauli در سال 1924 به صورت تئوری ارائه شد . این طیف سنجی بر مبنای اندازه‌گیری تابش الکترومغناطیس در ناحیه فرکانسی تقریبا 4 تا 600 مگاهرتز استوار است . فرکانس

سیگنال دریافتی در روش طیف سنجی رزونانس مغناطیسی هسته شیفت شیمیایی نامیده می شود و به صورت نسبت اختلاف فرکانس بین نمونه و استاندارد بر فرکانس مغناطیس اسپکترومتر تعریف و بر حسب ppm بیان می - شود. این سیگنال دریافتی از میوه، پس از قرار گرفتن میوه در یک میدان مغناطیسی شدید تولید می‌شود.
اندازه‌گیری رطوبت یا تغییر آن در مواد غذایی، کاوش و اندا زه‌گیری چ‌رم، حجم و ترکیبات شیمیایی، طبقه بندی براساس خصوصیات مواد، اختلالات موجود در توزیع آب، صدمات ناشی از سرد شدن، لهیدگی، فساد، حضور حشرات، پایش و کنترل برخط و در نهایت کنترل کیفی از کا ربردهای عمده این روش به شمار می‌رود. همچنین از این روش جهت تعیین میزان قند موز، سیب زم ینی، انگور و هویج بکار رفته است . تصویر نگاری رزونانس مغناطیسی ری می تواند یک تصویر سه‌بعدی بدست دهد که می‌تواند در تشخیص صدمات وارده به میوه‌ها بکار رود.
به طور کلی روش‌های رزونانس مغناطیس هسته و تصویربرداری رزونانس مغناطیسی به دلیل گران بودن و پیچیدگی استفاده وسیعی نداشته و در کشاورزی توجیه صنعتی ندارد (Chen and Sun, 1991).



دستگاه سیستم ریز موج برخط برای تعیین حجم میوه(De Waal *et al.*, 1988).

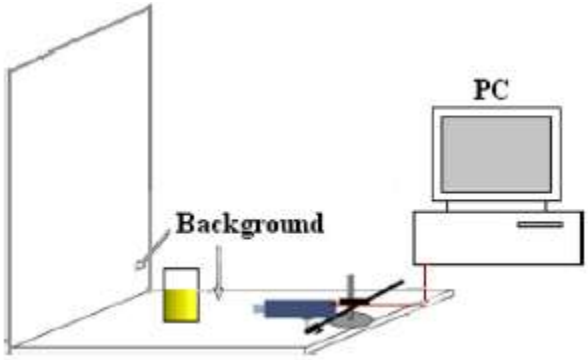
روش اشعه ایکس

تابش‌های اشعه ایکس و گاما، که تابش های با طول موج کوتاه هستند، هم به اغلب م‌حصولات کشاورزی نفوذ می - کنند. میزان نفوذ به چگالی و ضریب جذب محصول وابسته است . از اینرو این پرتوها برای اندازه‌گیری آن دسته از پارامترهای کیفی مناسب هستند که وابسته به تغییرات جرم‌اند . در واقع، این روش به چگالی جرمی محصول حساسیت نشان می‌دهد و به ترکیبات شیمیایی محصول حساس نیست (Abbott, 1999). از مهمترین معایب این روشها، محدودیت و مشکلات تولید این اشعه‌ها و اثرات بهداشتی آن‌ها است. همچنین استفاده از دوزهای بالا منجر به ایجاد محدودیت های بهداشتی و فیزیولوژیکی می شود که احتمالا بیماری مصرف‌کنندگان را به دنبال خواهد داشت.

بینایی ماشین

بینایی کامپیوتر یک تکنیک خودکار و کم هزینه است، که پیش از این برای ارزیابی مشخصه های مواد غذایی و محصولات کشاورزی استفاده شده است (Brosnan and Sun, 2004). این ر وش همچنین روشی غیرمخرب

محسوب می‌شود و در اندازه‌گیری‌ها مساحت سطح اندازه‌گیری شده در یک بلو تعیین، بیشتر از آنچه که توسط یک کالریمتر مرسوم می‌توان تخمین زد، است . علاوه بر این، تکنیک بینایی ماشین و همچنین دیگر روش های غیرمخرب عنوان شده تماس با نمونه را ایجاب نمی کنند، که در مواد تغییرشکل پذیر ضروری می باشد . از دیگر مزایای این روش می‌توان سرعت تولید داده‌های توصیفی از محصول و داشتن سیستم کنترلی پایدار را نام برد . از معایب این روش این است که سیستم نورپردازی آن بایستی بسیار دقیق باشد.



تصویر شماتیک از یک نمونه سیستم بینایی ماشین(Soleimani *et al.*, 2011)

سیستم‌های الکترونیکی برای تعیین اندازه ابعادی محصولات باغبانی

طی چند دهه گذشته، سیستم های الکترونیک مختلفی برای تعیین غیرمخرب اندازه ابعادی محصولات باغ بانی توسعه یافته‌اند. این سیستم‌ها را می‌توان در شش گروه مختلف، بنابر اصول اندازه‌گیری‌شان، دسته-بندی کرد.
سیستم‌های مبتنی بر اندازه‌گیری حجم فضای خالی بین میوه و جداره خارجی تجهیزات سیستم اندازه گیر.
سیستم‌هایی که اندازه میوه را با اندازه گیری فاصله بین یک منبع بلبش و فرم و حالت میوه محاسبه می کنند، که این فاصله از زمان پرواز اشعه‌های منتشره محاسبه می‌شود.
سیستم‌هایی که به ممانعت از موانع نوری یا بلوکه کردن نور متکی هستند.
سیستم‌های بینایی ماشین دو بعدی.
سیستم‌های بینایی ماشین سه بعدی.
سایر سیستم‌ها. این گروه شامل سیستم‌هایی است که بر اساس تصاویر درونی عمل می کنند، که از این قبیل سیستم‌های پرتونگاری ساختگی (CT) یا تصویربرداری رزونانس مغناطیسی و نیز سایر روش هایی که در داخل گروه‌های دیگر قرار نمی‌گیرند (Moreda *et al.*, 2009).
در پایان خاطر نشان می شود، یکی از نوید بخش ترین تکنولوژی‌ها در ارتباط با تصویر پردازی سه بعدی است که ترکیبی از داده سنجی طیف نوری و مدل‌های سه‌بعدی سطوح می‌باشد، و به نظر می‌رسد این روش دورنمای خوبی در تحقیقات کشاورزی به خود اختصاص داده است.

نتایج و بحث

کاربرد سیستم‌هایی که بتوانند بدون وارد آوردن آسیب در محصولات کشاورزی و مواد غذایی، کیفیت آن‌ها را مورد ارزیابی قرار دهند از اهمیت بالایی برخوردار است. چرا که محصول مورد بررسی به چرخه مصرف برگشته و مشکلات برآمده از روش‌های مخرب برطرف می‌شود. بررسی آسیب‌های وارده بر محصولات نیز مهم است و مانع

ایجاد مشکلات در مراحل فراوری، انبارداری و گسترش بیماری در توده محصول می شوند . از دیگر مزایای کلی سیستم‌های کاوش مبتنی بر آزمون غیرمخرب، خصوصیات فیزیکی و درونی محصولات کشاورزی کاهش خطای انسانی، افزایش سرعت نمونه‌گیری، افزایش دقت در اندازه‌گیری، کنترل برخط و ... را می‌توان نام برد. هر چند هر یک از روش های توصیف شده معایب و محدودیت هایی دارند که می‌بایست در کاربرد آن‌ها دقت نمود. در این مقاله روش‌های مختلف آزمون غیرمخرب مورد بررسی و مزایا و محدودیت های هریک به اختصار بیان شد . در پایان نیز شش گروه برای اندازه‌گیری و تعیین خصوصیات فیزیکی و اندازه ابعادی محصولات غذایی و کشاورزی بیان شد.

منابع

ذکی دیزجی، ح. ، محمد نیکبخت، ع . ، مینایی، س. و توکلی هشتجین، ت. (1386). بررسی روش‌های غیرمخرب در اندازه‌گیری کیفیت محصولات کشاورزی با تاکید بر روش فراصوت . هفدهمین کنگره ملی صنایع غذایی ایران، ارومیه، دانشگاه ارومیه، 22 الی 24 آبان 1386.

Abbott, J. A. (1999). Quality measurement of fruits and vegetables. Postharvest Biology and Technology, 15: 207-225.

Brosnan, T., and Sun, D.-W., (2004). Improving quality inspection of food products by computer vision-a review. Journal of Food Engineering, 61, 3-16.

Butz, P, Hofmann , C. and Tauscher, B. (2005). Recent developments in noninvasive techniques for fresh fruit and vegetable quality analysis. Journal of Food Science, 70(9): 131-141.

Chen , P. and Sun, Z. (1991). A review of non-destructive methods for quality evaluation and sorting of agricultural products. Journal of Agricultural Engineering Research, 49: 85-98.

De Waal, A., Mercer, S., Downing, B.J., 1988. On line fruit weighing using a 500 MHz waveguide cavity. IEEE Electronics Letters 24 (4), 212–213.

Lewis, I. R. and Edwards, H. G. M. (2001). Handbook of raman spectroscopy, from the research laboratory to the process line. Marcel Dekker, Inc. UA.

Moreda, G. P., Ortiz-Canavate, J., Garcia-Ramos, F. J. and Ruiz-Altisent, M. (2009). Non-destructive technologies for fruit and vegetable size determination – a review. Journal of Food Engineering 92: 119-136.

Nishizu, T., Ikeda, Y., Torikata, Y., Manmoto, S., Umehara, T., Mizukami, T., 2001. Automatic, continuous food volume measurement with a Helmholtz resonator.

Soleimani Pour-Damanab, A. R., Jafary, A. and Rafiee, Sh. (2011). Monitoring the dynamic density of dough during baking. Journal of Food Engineering, 107(1): 8-13.

The CIGR Journal of Scientific Research and Development (e-journal).

Zhang, P. X., Zhou, X., Cheng, A. Y. S. and Fang, Y. (2006) Raman Spectra from pesticides on the surface of fruits. Journal of Physics: Conference Series, 28: 7-11.