

آزمون‌های غیرمخرب و کاربرد آن در صنایع غذایی و کشاورزی

محمد ابونجمی

استادیار گروه فنی کشاورزی - پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران



چکیده:

کنترل کیفیت محصولات غذایی نقش بسیار مهمی در تضمین سلامت افراد جامعه، کاهش عوامل آلودگی محصول و افزایش عمر مفید آن خواهد داشت. امروزه اندازه‌گیری پارامترهای کمی و کیفی محصولات کشاورزی بگونه‌ای که محصول مورد بررسی بدون هیچ آسیبی به چرخه مصرف برگردد جایگاه ویژه‌ای در فناوری پس از برداشت پیدا کرده است. آزمون‌های غیرمخرب نباید اثرات مخرب حرارتی، شیمیایی و فیزیکی بر روی محصول داشته باشند و باید مشتری‌پسندی محصول را تضمین نمایند. تنوع و فراوانی پارامترها و ویژگی‌های کیفی محصولات کشاورزی، همراه با رشد جهشی فناوری ابزارهای اندازه‌گیری دقیق مهم‌ترین دلیل توسعه روش‌های غیرمخرب در چهار دهه اخیر بوده است. روش‌های مورد استفاده برای بدست آوردن این ویژگی‌ها به طور خلاصه به دسته روش‌های نوری (پردازش تصویر، انواع طیف‌سنجی، تصویربرداری ابرطیفی، تصویربرداری حرارتی و ...)، مکانیکی (صوتی - فراصوتی، تحلیل ارتعاش، صدای ضربه و ...)، الکترومغناطیس (MRI-NIR-MIR-NMR-THZ)، اشعه ایکس (X ray-CT) و دی‌الکترونیک و بویاسنجی (E-nose) تقسیم‌بندی می‌شوند. این روش‌ها مبتنی بر یافتن ویژگی‌های متفاوت کیفی در رابطه با شاخص‌های رسیدگی محصولات متنوع می‌باشند. استفاده از آزمون‌های غیرمخرب برای تعیین کیفیت درونی متناسب با نوع محصول باعث ایجاد شرایط مساعد برای ماندگاری بهتر با تلفات محدود و کاهش ضررهای اقتصادی برای تولیدکننده می‌گردد. در این مقاله با کمک روش‌های یاد شده مولفه‌های کیفی برونی و درونی مانند اندازه، شکل، رنگ، طعم (اسیدیته، قند)، چگالی، سفتی، رطوبت و دیگر خصوصیات ارزیابی و درجه‌بندی مورد بحث قرار می‌گیرد.

کلمات کلیدی: آزمون غیرمخرب، کیفیت درونی، درجه‌بندی، محصولات غذایی و کشاورزی

مقدمه

در سال‌های اخیر ایران با تولید سالیانه نزدیک به بیست میلیون تن انواع میوه، رتبه اول تولید در خاورمیانه را کسب کرده و از لحاظ تولید و تقاضای رو به رشد برای محصولات با کیفیت و سالم، نیازمند به توسعه و اتخاذ تکنولوژی‌های پیشرفته پس از برداشت می‌باشد. در این راستا دستیابی به دانش‌های جدید در زمینه ارزیابی غیر مخرب کیفیت در محصولات کشاورزی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. امروزه اندازه‌گیری پارامترهای کمی و کیفی محصولات کشاورزی بگونه‌ای که محصول مورد بررسی بدون هیچ آسیبی به چرخه مصرف برگردد جایگاه ویژه‌ای در فناوری پس از برداشت و فراوری محصولات کشاورزی پیدا کرده است. در این رابطه روش‌های غیرمخرب متنوعی برای تشخیص خواص درونی محصولات کشاورزی توسعه پیدا کرده‌اند که بسیاری از آن‌ها به حد کاربرد عملی رسیده و در سیستم‌های درجه‌بندی محصولات کشاورزی استفاده می‌شود. این روش‌ها امروزه جایگزین روش‌های سنتی و دستی شده‌اند که بسیار پرهزینه، غیر قابل اعتماد، مشکل و طاقت فرسا می‌باشند. از طرف دیگر، قدرت بینایی انسان به دلیل اینکه توان ادراک آن در باند باریکی از طیف الکترومغناطیسی به شدت محدود می‌باشد که این امر تصمیمات انسانی در

تشخیص فاکتورهای کیفی در محصولات کشاورزی از قبیل طعم، میزان مواد مغذی، بافت و آسیب‌های درونی را با خطا و حتی غیرممکن می‌سازد. امروزه اخبار مربوط به تقلب و استفاده از مواد غیرمجاز و خطرناک در محصولات و مواد غذایی باعث شده ایمنی مواد غذایی یکی از دغدغه‌های عمومی جامعه باشد. وجود روغن پالم در شیر و ماست و بستنی، استفاده از پارافین و واکس‌های غیرمجاز برای تازه نشان دادن محصولات باغی، استفاده از خمیر مرغ در سوسیس و کالباس، وجود فلزات سنگین در گوشت مرغ و برنج‌های وارداتی، اضافه کردن پارافین به روغن زیتون و روغن‌های خوارکی، آب معدنی میکروبی، آبیاری سبزیجات با فاضلاب، و دست آخر هم آب به همراه مخلوطی از «اسیدسولفوریک» و «گوگرد» که به نام ابلیمو به فروش می‌رسد، باعث شده تا نگرانی‌ها نسبت به ایمنی مواد غذایی و تعیین کیفیت آن در کشور افزایش پیدا کند. کنترل کیفیت محصولات غذایی نقش بسیار مهمی در تضمین سلامت افراد جامعه، کاهش عوامل آلودگی محصول و افزایش عمر مفید آن خواهد داشت.

در یک تعریف اجمالی اندازه‌گیری پارامترهای کمی و کیفی در محصولات کشاورزی و غذایی فراوری شده بگونه‌ای که محصول مورد بررسی بدون هیچ آسیب فیزیکی، شیمیایی،

حرارتی و مکانیکی به چرخه مصرف بازگردد را آزمون غیرمخرب می‌نامیم. تنوع و فراوانی پارامترها و ویژگی‌های کیفی محصولات کشاورزی، همراه با رشد جهشی فناوری ابزارهای اندازه‌گیری دقیق مهم‌ترین دلیل توسعه روش‌های غیرمخرب در چهار دهه اخیر بوده است. برای درجه بندی محصولات روش‌های مختلفی به کار برده می‌شود که اغلب آنها مخرب و یا کند می‌باشند ولی اندازه‌گیری سریع، غیرمخرب و دقیق عامل‌های کیفی میوه‌ها و محصولات فراوری شده نظیر میزان مواد جامد محلول، pH و رنگ از اهمیت بالایی برخوردار می‌باشد. آزمون‌های غیرمخرب نباید اثرات مخرب بر روی محصول داشته و بایستی در راستای آن مشتری‌پسندی محصول را تضمین نمایند. سابقه پژوهش در زمینه کیفیت‌سنجی غیرتخریبی در صنایع غذایی و کشاورزی به دهه ۵۰ میلادی بازمی‌گردد اما بکارگیری و عمومیت یافتن آن سال‌ها بطول انجامیده است. این آزمون‌ها

در روش‌های غیرمخرب ارزیابی و درجه‌بندی مورد توجه قرار گرفته و توسعه داده شده است. برخی از این روش‌ها به علت محدودیت‌های بکارگیری در مرحله اولیه توسعه خود قرار داشته در حالی که برخی دیگر توسعه بیشتری داشته و به مرحله کاربرد صنعتی نیز رسیده است. جدول شماره ۱ بطور خلاصه روش‌های مورد استفاده برای بدست آوردن این ویژگی‌های کیفی را نشان می‌دهد. این روش‌ها به دسته روش‌های نوری (پردازش تصویر، انواع طیف‌سنجی، تصویربرداری ابرطیفی، تصویربرداری حرارتی و ...)، مکانیکی (صوتی-فراصوتی، تحلیل ارتعاش، صدای ضربه و ...)، الکترومغناطیس (MRI-NIR-MIR-NMR-THZ)، اشعه ایکس (E-nose)، دی‌الکترونیک و بویاسنجی (E-nose) تقسیم‌بندی می‌شوند.

جدول ۱- روش‌های غیر مخرب ارزیابی ویژگی‌های کیفی محصولات کشاورزی و غذایی

مبنای علمی	روش استفاده شده	ویژگی‌های قابل اندازه‌گیری
نوری	پردازش تصویر	اندازه، شکل، رنگ، عیوب بیرونی (ظاهری)
	طیف سنجی بازتابی، عبوری و جذبی؛ طیف سنجی لیزری	قند، اسیدیته، محتوای جامد محلول، رنگ، عیوب درونی و بیرونی، سفتی
اشعه X	تصویربرداری اشعه X و CT	حفره‌های درونی، ساختار، درجه رسیدگی
مکانیکی	تحریک ارتعاشی	سفتی، ویسکوالاستیسیته، درجه رسیدگی
	صوتی و فراصوتی	سفتی، ویسکوالاستیسیته، حفره‌های درونی، چگالی، قند و دانسیته
الکترومغناطیسی	MRI و NMR و NIR	قند، محتوای رطوبتی، حفره‌های درونی
شیمیایی	E-tongue, E-nose	میزان اسیدیته، قند

استفاده از این روش‌ها مبتنی بر یافتن ویژگی‌های متفاوت کیفی در رابطه با شاخص‌های بلوغ و رسیدگی محصولات متنوع می‌باشند. آزمون‌های غیرمخرب برای تعیین کیفیت درونی متناسب با نوع محصول باعث ایجاد شرایط مساعد برای ماندگاری بهتر با تلفات محدود و کاهش ضررهای اقتصادی برای تولید کننده می‌گردد.

جدول شماره ۲ ویژگی‌های کیفی درونی و برونی و خصوصیات که بطور مشخص بر کیفیت محصول و مشتری‌پسندی آن اثر گذار است را نشان می‌دهد.

تعیین ویژگی‌های کیفی برای محصولات مختلف متفاوت بوده و بر این اساس روش‌های متفاوتی برای تعیین ویژگی‌های پنهان کیفی مانند طعم، رطوبت، بافت، ارزش غذایی و تعیین عیوب درونی بکار برده می‌شود. ویژگی فیزیکی و مکانیکی مانند

شکل، ضخامت، رنگ و اندازه را می‌توان با کمک سیستم پردازش تصویر تعیین کرد اما امروزه برای استخراج سایر ویژگی‌های کیفی درونی محصول علاوه بر ماشین‌بینایی از روش‌های سریع‌تر و پیشرفته‌تر مورد اشاره در جدول برای تعیین ویژگی‌های پنهان در عمق بافت محصول برای ارزیابی کیفی بصورت غیرمخرب استفاده می‌شود.

روش‌های تعیین کیفیت

الف: روش‌های نوری

استفاده از نور بازتابی، عبوری و پراکنده شده به منظور اندازه‌گیری خواص داخلی و خارجی میوه و سایر محصولات فراوری شده از دیر باز مطرح بوده است. با استفاده از ویژگی تغییر رنگ قابلیت بازتابش و عبوردهی نور از یک محصول تغییر می‌کند، می‌توان

جدول ۲ - ویژگی‌های محصول به منظور بررسی کیفیت و یا تشخیص عیوب

ویژگی های بیرونی	اندازه	وزن، حجم، ابعاد
	شکل	نسبت قطر به عمق
	رنگ	یکنواختی، شدت رنگ
	عیوب	لکه ها، بریدگی
ویژگی های درونی	طعم و مزه	شیرینی، ترشی، گسی، بو
	بافت	سفتی، تردی، آبداری
	ارزش غذایی	کربوهیدرات، پروتئین، ویتامین
	عیوب	سرمازدگی، حفره های آب، پوسیدگی، حفره های داخلی

بودن، دارای سیستم کنترلی پایدار را نام برد. با این مزایا در این روش سیستم نورپردازی بایستی بسیار دقیق بوده در عین امکان تعیین کیفیت درونی محصول نیز میسر نمی‌باشد. از این روش علاوه بر تعیین کیفیت میوه برای درجه‌بندی گوشت، و لاشه طیور نیز استفاده می‌شود.

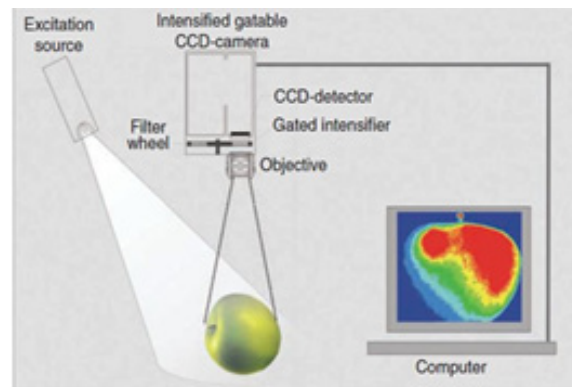
روش‌های دیگر نوری طیف‌سنجی مادون قرمز (۶۰۰ تا ۱۱۰۰ نانومتر) برای تعیین برخی خصوصیات کیفی میوه‌ها مانند سفتی، میزان مواد جامد محلول، رنگ، نشاسته و اسیدپتیه بکار می‌رود. امروزه استفاده از این فن‌آوری در بررسی خصوصیات داخلی مرکبات و هندوانه

به حالت صنعتی نیز رسیده است.

کاربردهای زیادی از تکنیک NMR و MRI برای تعیین صدمات ناشی از سرد شدن، لهیدگی و فساد، محصولات غذایی گزارش شده اما به علت کند بودن و گران بودن این روش توسعه چندانی پیدا نکرده است.

روش‌های دیگر تصویربرداری ابرطیفی و استفاده از تصویربرداری با کمک دوربین‌های حرارتی برای تعیین کیفیت درونی می‌باشد.

از طیف‌سنجی‌های مختلف برای اندازه‌گیری برخی خواص مختلف از جمله رنگ آنها برای تعیین کیفیت درونی محصول استفاده نمود. روش ماشین‌بینایی (طول موج مرئی ۴۰۰ تا ۷۰۰ نانومتر) یکی از نخستین روش‌های ارزیابی محصولات کشاورزی بوده که امروزه به طور وسیعی در کشاورزی و ارزیابی با کمک بازتابش نور از محصولات استفاده می‌شود. در مجموع می‌توان گفت بیشترین کاربرد این تکنیک در سیستم‌های درجه‌بندی محصولات کشاورزی، تشخیص رنگ، عیوب ظاهری و بافت بوده است. از مزایای آن ارزان بودن و سهولت استفاده، غیرمخرب و بی‌زبان



تصویر ۱ - تصویربرداری ابرطیفی (سمت راست) و طیف‌سنج مادون قرمز (سمت چپ)

مذکور برای اندازه‌گیری آن دسته از پارامترهای کیفی مناسب است که وابسته به تغییرات جرم هستند، برای مثال قسمت سر کاهو با افزایش رسیدگی، چگال تر می‌شود. با این مزایا به علت خصوصیات تهاجمی این اشعه و یونیزه شدن مولکول‌های محصولات کشاورزی و مشکلات بهداشتی و احتمالا مخاطرات در مصرف، استفاده از دوزهای بالای آن رونق چندانی در کیفیت‌سنجی محصولات غذایی و کشاورزی پیدا نکرده است.

ج- مکانیکی

میوه و سبزیجات تحت بار مکانیکی از خود رفتار ویسکوالاستیک

در تصویر فوق استفاده از روش‌های مختلف با کمک تصویربرداری ابرطیفی، طیف‌سنج مادون قرمز در تعیین ویژگی‌هایی مانند رطوبت، اسیدپتیه و قند محصول را نشان می‌دهد که هم اکنون بصورت تجاری در صنعت پس از برداشت محصولات کشاورزی کاربرد دارد.

ب- اشعه ایکس و گاما

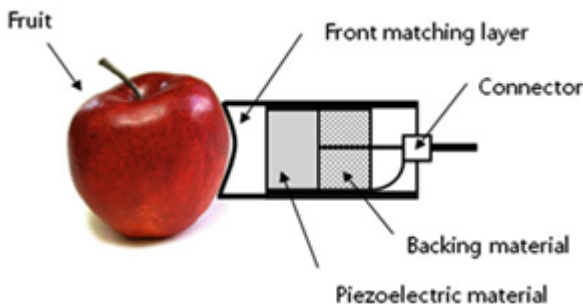
تابش‌های با طول موج کوتاه مانند اشعه X و گاما قادرند به اغلب محصولات کشاورزی نفوذ کنند. میزان نفوذ بستگی به چگالی و ضریب جذب محصول دارد. بنابراین هر دو پرتو

نشان می‌دهند که به مقدار و سرعت نیروی اعمالی بستگی دارد. خواص مکانیکی با بافت میوه در ارتباط بوده و از این ویژگی ضربه برای تعیین دانسیته و رسیدگی محصولی مانند هندوانه و خیار به وفور استفاده می‌شود. بر اساس خواص الاستیکی بافت‌های بیولوژیکی، از رفتار ارتعاشی حاصل از پاسخ ضربه و پردازش سیگنال‌های صوتی به عنوان شاخص بلوغ و رسیدگی محصول استفاده می‌شود. به کمک مشخصه‌های صوتی بافت میوه، برای اندازه‌گیری استحکام و عدم یکنواختی محصولاتی مانند خربزه، هندوانه، سیب و ... یا تعیین ترک در پوسته تخم مرغ استفاده می‌شود. عموماً صدای بم و طنین‌دار نشان‌گر رسیدگی محصولاتی مانند هندوانه می‌باشد که این روش با کمک سیستم ضبط و پردازش سیستم پاسخ ضربه در خط درجه‌بندی بصورت تجاری اکنون استفاده می‌شود.

فراصوت
آزمون فراصوتی یکی از روش‌های آزمون غیرمخرب است که در زمینه‌ی کیفیت‌سنجی محصولات کشاورزی در حال توسعه می‌باشد. کاربردهای فراصوت در صنعت غذا بسیار گسترده بوده و بر دو نوع متفاوت تقسیم‌بندی شده است: کاربردهایی با شدت کم (بسامد بیش از ۱۰۰ kHz و یا توان فراصوت کمتر از 10^{-2} W/cm² و شدت زیاد (بسامد در محدوده ۲۰ تا ۱۰۰ کیلوهرتز) و یا توان فراصوت بین ۱۰ الی ۱۰۰ وات بر سانتیمتر مربع. ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی مواد غذایی در بکارگیری امواج فراصوت با کاربردهای شدت کم تغییر نمی‌یابند و در کاربردهای فراصوت با شدت زیاد اغلب خواص مواد غذایی به طور همیشگی تغییر می‌یابد. برای آزمون محصولات کشاورزی به روش فراصوت عبوری به طور معمول از دو شاخص فراصوت، یعنی سرعت امواج و میزان تضعیف استفاده می‌شود. با استفاده از شاخصه‌های سرعت عبوری موج و میزان تضعیف می‌توان خصوصیات کیفی محصول مانند میزان رطوبت، استحکام و اسیدیته را بدست آورد. همچنین از این دو ویژگی

برای تعیین کیفیت مایعات، میزان قند، اسیدیته و ... بهره گرفته و بر اساس آن اقدام به تشخیص کیفیت محصول فراوری شده بدون هیچ آسیب حرارتی یا شیمیایی نمود. شکل شماره ۲ تعیین رطوبت و میزان استحکام بافت سیب برای دوره انبارداری با کمک امواج فراصوت را نشان می‌دهد. روش‌های دیگر تعیین کیفیت مانند طیف‌سنجی رامان، ماشین بویایی و زبان مصنوعی نیز اکنون در مراحل تکوینی و رو به رشد قرار دارند که برای توضیحات بیشتر توجه خوانندگان گرامی به منابع این مقاله ارجاع داده می‌شود.

نتیجه‌گیری
در بازار رقابتی امروز، هر محصول نیاز به درجه‌بندی کیفی داشته و بایستی برابر با استانداردهای روز درجه بندی و تبلیغ شود. این درجه‌بندی نه تنها بر معیار وزن و رنگ، بلکه بایستی بر اساس کیفیت درونی مانند سفتی بافت، طعم، و دیگر ارزش غذایی مورد علاقه مصرف کننده باشد. با استفاده از روش‌های یاد شده آزمون غیرمخرب متناسب با نوع محصول و هزینه بکار رفته می‌توان در حداقل زمان درجه‌بندی کیفی را انجام داد. امید است در کشور ما نیز با تلاش و همکاری محققین در بخش خصوصی و تولیدکنندگان قدم‌های اساسی در این زمینه برای ورود به بازار جهانی برداشته شود.



تصویر ۲- تعیین استحکام بافت سیب با کمک امواج فراصوت

منابع مورد استفاده:

Abbott, J.A. (۱۹۹۹). Quality measurement of fruits and vegetables. Postharvest Biology and Technology, ۲۲۵-۲۰۷: ۱۵.

Abbott, J.A., Lu, R., Upchurch, B.L. and Stroshine, R.L. (۱۹۹۷). Technologies for nondestructive quality evaluation of fruits and vegetables. Horticulture Review, ۱۲۰-۱: ۲۰.

Irudayaraj, J and Christof Reh, (۲۰۰۷), Nondestructive Testing of Food Quality, Wiley-Blackwell Publication.

Schulz, H. and Baranska, M. (۲۰۰۷). Identification and quantification of valuable plant substances by IR and Raman spectroscopy. Vibrational Spectroscopy, ۲۵-۱۳: ۴۳.