

استفاده از بینی الکترونیکی در تشخیص ویژگی‌های کیفی محصولات گلخانه‌ای

فرزاد آزادشهرکی^۱، داود مؤمنی^۲، گیتا حسینی^۳

۱ و ۲- اعضاء هیأت علمی بخش تحقیقات مهندسی گلخانه، مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران

۳- کارشناس بخش تحقیقات مهندسی گلخانه، مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران

FARZAD_SHAHREKIAN@YAHOO.COM

۱- مقدمه

● ارزیابی کیفیت و درجه‌بندی میوه‌ها و سبزی‌های گلخانه‌ای یکی از فعالیت‌های پس از برداشت است که با توجه به رشد تقاضا برای محصولات سالم و دارای کیفیت بهتر، مورد توجه زیادی قرار گرفته است. در دهه‌های اخیر روش‌های غیرتخریبی مختلفی مانند استفاده از اشعه ایکس، امواج نوری، امواج فراصوت^۱، اسپکتروسکوپی با امواج فرسرخ نزدیک^۲ (NIRS) و غیره، برای ارزیابی میوه‌ها و سبزی‌های گلخانه‌ای کاربرد پیدا کرده‌اند. معمولاً روش‌های غیرتخریبی نسبت به روش‌های تخریبی سریع‌تر و اقتصادی‌تر هستند. طی دهه‌های اخیر تحقیقات گسترده‌ای بر روی کاربرد روش‌های غیرتخریبی در کیفیت‌سنجی میوه‌ها و سبزی‌های گلخانه‌ای انجام شده است ولی هیچ‌کدام از این روش‌ها نتوانسته‌اند تمام ویژگی‌های کیفی محصول را تعیین کنند (Abbott, 1999).

کیفیت محصولات گلخانه‌ای با شاخص‌های مختلفی مانند سفتی^۳، محتوی مواد جامد حل شدنی^۴، اسیدیته، اسید قابل تیتر^۵، مواد فرّار و معطره^۶ دارد. در حال حاضر اغلب از روش‌های تخریبی برای اندازه‌گیری این پارامترها استفاده می‌شود که علاوه بر زمان‌بر بودن، پرهزینه هستند؛ در حالی که روش‌های غیرتخریبی در اندازه‌گیری ویژگی‌های میوه می‌تواند برای تعیین سریع کیفیت و رسیدگی تعداد بیشتری میوه به صورت تک تک مفید باشد (Kader, 1999).

یکی از روش‌های غیرتخریبی جدید در تعیین کیفیت محصولات گلخانه‌ای، استفاده از بینی الکترونیکی^۷ است که توسط آن می‌توان انواع گاز، بو و مواد فرّار را تشخیص یا حتی مقدار آنها را تعیین کرد. بینی الکترونیکی یا بویایی الکترونیکی، ابزاری برای تشخیص بو شبیه به آن‌چه در بینی انسان اتفاق می‌افتد می‌باشد. این سیستم غالباً شامل آرایه‌ای از حسگرهای شیمیایی-الکترونیکی و یک سیستم محاسباتی است. گازها یا مواد فرّار پس از برخورد با حسگرهای گازی منجر به ایجاد یک پاسخ فیزیکی یا شیمیایی در حسگر می‌گردند که برای پردازش و دریافت اطلاعات به یک سیگنال الکتریکی تبدیل می‌شوند. برای این که حسگرها بتوانند گازهای مختلف را از هم تشخیص دهند به یک شبکه از حسگرها نیاز است. این روش باید این قابلیت را داشته باشد تا مانند بینی انسان به مقدار کم گاز، حساس بوده و به تغییرات دما، رطوبت و سایر شرایط محیطی وابسته نباشد (Nicolai et al., 2014). از این تکنیک در تشخیص مواد فرّار و معطره ملون‌ها، گلابی، انبه و پرتقال استفاده شده است. همچنین این روش، به‌طور موفقیت‌آمیزی برای تشخیص رقم، مراحل مختلف رسیدگی یا آلودگی قارچی بسیاری از محصولات دیگر نیز به کار رفته است (Rodrigues et al., 2010). در این مقاله به معرفی روش غیرتخریبی بینی الکترونیکی و چگونگی عملکرد آن در تشخیص کیفیت محصولات گلخانه‌ای پرداخته شده است.

۲- کیفیت در محصولات باغی

کیفیت بیان کننده درجه خوبی یا برتری یک کالا با در نظر گرفتن یک یا چند صفت است. در مورد محصولات گلخانه‌ای، واژه کیفیت

- 1 Ultrasonic
- 2 Near Infrared Spectroscopy
- 3 Firmness
- 4 Soluble Solid Content
- 5 Titratable Acid
- 6 Volatiles
- 7 E-Nose

کاربردهای مختلفی از جمله کیفیت خوراکی، کیفیت بازاری پسندی، کیفیت درونی، کیفیت حمل و نقل و غیره دارد. کیفیت در محصولات گلخانه‌ای بر ایند صفات و خواصی است که نهایتاً منجر به استفاده از میوه و سبزی به عنوان غذا و استفاده از گل و گیاهان زینتی به عنوان وسیله لذت می‌گردد.

از نظر تولید کننده محصولات گلخانه‌ای، محصولی با کیفیت است که علاوه بر عملکرد بالا دارای ظاهر قابل قبول با عیوب کم باشد. این محصول همچنین باید دارای مقاومت مناسب نسبت به آفات و بیماری، سفتی بالا، سهولت برداشت و کیفیت بالای حمل و نقل باشد. از نظر فروشنده و توزیع کننده، کیفیت ظاهری همراه با سفتی و انبارمانی از اهمیت بیشتری برخوردار است ولی مصرف‌کنندگان محصولی را دوست دارند که ظاهر خوب، سفتی مناسب، طعم و ارزش غذایی بالایی داشته باشد (Kader, 2003).

۳- بینی الکترونیکی

یک بینی الکترونیکی غالباً بر پایه شبکه‌ای از حسگرهای شیمیایی و یک یا چند پردازنده بنا نهاده شده‌اند که پردازنده‌های به کار رفته در آن، روش‌های مناسب پردازش سیگنال‌ها، بررسی و تشخیص الگو را ارائه می‌دهند. هدف اصلی چنین سیستمی کیفیت‌سنجی انواع عطر و بو برای طبقه‌بندی محصول یا تشخیص، پیش‌بینی و حتی تعیین میزان عناصر و مؤلفه‌های انواع مواد فرّار و معطره محصولات است (Nicolai et al., 2014).

۱-۳- اجزای یک سیستم بینی الکترونیکی

یک سیستم بینی الکترونیکی می‌تواند به عنوان ابزار یا تجهیزات اندازه‌گیری مصنوعی بویایی در نظر گرفته شود که شامل واحدهایی به منظور تحلیل نمونه‌های گازی شکل، بخار و بو است. یک سیستم بینی الکترونیکی حداقل دارای چهار بخش شامل شبکه حسگرهای گاز، بخش تحویل گاز یا ماده فرّار، بخش کنترل و استخراج داده^{۱۰} و بخش پردازش است (Subedi and Walsh., 2009).

۱-۱-۳- شبکه حسگرهای گاز

به طور کلی یک حسگر گاز وسیله‌ای است که شامل دو جزء اصلی است: جزء اول حسگر گاز، قسمت فعال آن است که ویژگی فیزیکی یا شیمیایی آن در اثر حضور ماده‌ای که باید تشخیص دهد، تغییر می‌کند. جزء دوم حسگر مبدل^{۱۱} است که تغییرات ایجاد شده فیزیکی یا شیمیایی در جزء اول را به سیگنال الکتریکی تبدیل می‌کند. این حسگرها معمولاً دارای غشاء انتخابی هستند که از عبور ذرات یا مواد ناخواسته جلوگیری کرده و به مانند نوعی فیلتر عمل می‌کنند. در شکل ۱ نحوه عمل یک حسگر گاز آورده شده است (Nicolai et al., 2014; Rodrigues et al., 2010).



شکل ۱- نحوه عملکرد یک حسگر گاز

در بینی الکترونیکی، انواع حسگرها می‌تواند به کار رود که حسگر گازی نیمه رسانای اکسید فلزی^{۱۲} (MOX)، حسگر کریستال کوارتز

8 Gas Sensor

9 Volatile Delivery System

10 Control System and Data Acquisition

11 Transducer

12 Metal Oxide Semiconductor

میکروبالانس^{۱۳} (QCM)، حسگر موج صوتی سطحی^{۱۴} (SAW)، ترانزیستور اثر میدانی نیمه رسانای اکسید فلز^{۱۵} (MOSFET)، پلیمرهای رسانا^{۱۶} (CP) و فیبرهای نوری^{۱۷} (OP) از این جمله‌اند.

یکی از رایج‌ترین حسگرها در این سامانه، حسگرهای MOX هستند که از مواد نیمه‌رسانا مانند اکسید قلع (SnO_2)، اکسید روی (ZnO) و اکسید تیتانیوم (TiO_2) ساخته شده‌اند. اصول کلی این حسگرها براساس تغییر قابلیت رسانایی به کار رفته در آن است. در شکل ۲ چند نمونه تجاری از این نوع حسگرها آورده شده است (Rodrigues et al., 2010).



شکل ۲- حسگرهای گازی در اندازه‌های مختلف

اغلب حسگرهای گاز چند منظوره بوده و دارای حساسیت بالایی هستند به نحوی که قادر به تشخیص گاز یا ماده فرار با غلظت کم را دارند اما ممکن است در تشخیص غلظت گازی به خصوص در ماده فرار ضعیف عمل کنند. زیرا نمی‌توان سیگنال خروجی را فقط به یک ماده مشخص نسبت داد. تمامی سیستم‌های به کار رفته در بینی الکترونیکی، دارای شبکه‌ای از حسگرها هستند و در صورتی که این مجموعه حسگرها به نحو صحیحی به کار برده شوند می‌توان از عملکرد سیستم اطمینان یافت. معمولاً مجموعه حسگرها در محفظه مخصوصی قرار داده می‌شوند. به منظور جلوگیری از ورود آلاینده‌ها، محفظه حسگرها باید به نحو مناسبی عایق‌بندی شوند و دما و فشار در حد مناسبی (بسته به نوع حسگرها) نگه‌داشته شود تا عملکرد حسگرها تحت تأثیر قرار نگیرند.

استفاده از محفظه حسگر باعث می‌شود تا علاوه بر عایق‌بندی، ماده فرار مورد نظر با غلظت بیشتری به حسگرها برسد و این امر موجب می‌شود تا حسگر پاسخ سریع‌تر و دقیق‌تری از خود نشان دهد. در شکل ۳ تصویری از یک محفظه حسگر آورده شده است (Nicolai et al., 2014).

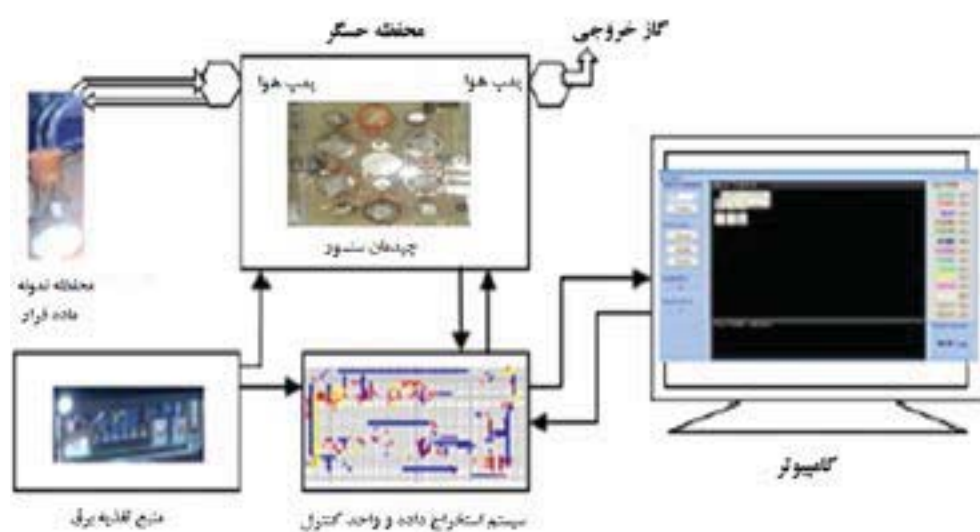


شکل ۳- محفظه حسگرهای گازی

- 13 Quartz Crystal Microbalance
- 14 Surface Acoustic Waves
- 15 Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor
- 16 Conducting Polymers
- 17 Fiber Optics

۳-۱-۲- بخش انتقال ماده فرّار

این بخش مسئول انتقال ماده فرّار متصاعد شده از نمونه به محفظه حسگر است. در برخی موارد نمونه به صورت دستی به محفظه حسگر تزریق می‌شود که ممکن است منجر به خطا شود. در بسیاری از سیستم‌های بینی الکترونیکی، عمل انتقال مولکول‌های ماده فرّار به محفظه حسگر به صورت خودکار انجام می‌شود. علاوه بر این در اغلب بینی‌های الکترونیکی نوعی ساز و کار تمیزکننده برای محفظه حسگرها وجود دارد تا در هر مرتبه اندازه‌گیری شرایط محیطی حسگرها به حالت اولیه برگردد و از تکرارپذیری اندازه‌گیری‌ها اطمینان حاصل شود. معمولاً بهتر است نمونه گازی قبل از رسیدن به حسگرها وارد یک اتاقک مخصوص شود تا شرایط محیطی آن پایدار شود. سیستم انتقال ماده فرّار نقش مهمی در دقت مجموعه خواهد داشت زیرا همان‌طور که قبلاً گفته شد تمیز کردن سیستم پس از هر بار اندازه‌گیری، بر دقت بینی الکترونیکی تأثیرگذار است. در شکل ۴ نحوه قرارگیری اجزاء یک سیستم بینی الکترونیکی آورده شده است (Nicolai et al., 2014).



شکل ۴- اجزاء یک سیستم بینی الکترونیکی

۳-۱-۳- سیستم استخراج داده و واحد کنترل

هدف از واحد کنترل، تحویل مناسب ماده فرّار توسط بخش انتقال است. سوپاپ‌ها و پمپ‌های هوا از اجزای این واحد هستند. علاوه بر این به منظور عمل کرد بهتر بینی الکترونیکی ممکن است از سایر تجهیزات کنترل برای کنترل دما و رطوبت استفاده شود. سیستم استخراج داده مسئول استخراج سیگنال ایجاد شده توسط حسگر گاز و تحویل آن به بخش پردازش و محاسبات است که مجهز به نرم‌افزارهای ویژه برای پردازش این اطلاعات است.

واحد کنترل و بخش استخراج داده می‌تواند در یک قطعه قرار گیرد و شامل کارت حافظه، میکروکنترلر و پردازش‌گر سیگنال یا کامپیوتر است. استفاده از کامپیوتر به دلیل حجم کافی برای ذخیره‌سازی اطلاعات و امکان ایجاد خروجی‌های گرافیکی بهتر است. در مواردی که نیاز به سیستم‌های قابل حمل است می‌توان از یک میکروکنترلر یا یک پردازشگر سیگنال استفاده کرد (Nicolai et al., 2007).

۳-۱-۴- بخش پردازش

بخش پردازش داده در بیشتر موارد شامل یک کامپیوتر مجهز به نرم‌افزارهای ویژه است که داده‌های به دست آمده از حسگرها را پردازش می‌کند. در این مرحله ممکن است از روش‌های ویژه پیش‌پردازش استفاده کرد که این روش‌ها با حذف اطلاعات غیرمفید و نویز و استفاده از روش‌های ریاضی به خصوص، حجم اطلاعات را کاهش داده و منجر به استخراج اطلاعات مفید یا مؤثر می‌شوند. پس از آن، روش‌های رگرسیون خطی چند متغیره^{۱۸} مانند رگرسیون مؤلفه‌های اصلی^{۱۹} (PCR) و رگرسیون حداقل مربعات جزئی^{۲۰} (PLS) و روش‌های غیرخطی

18 Multiple Linear Regression

19 Principal Component Regression

20 Partial Least Square

شبکه عصبی مصنوعی^{۲۱} (ANNs) و آنالیز مؤلفه‌های اصلی^{۲۲} (PCA) همراه با شبکه عصبی مصنوعی (PCA-ANN)، در طبقه‌بندی^{۲۳} بر اساس خواص ارگانولپتیکی^{۲۴} یا تشخیص^{۲۵}، پیش‌بینی^{۲۶} و یا کمی‌سازی^{۲۷} خواص ارگانولپتیکی محصول به‌کار خواهند رفت (آزادشهرکی و همکاران، ۱۳۹۷).

روش PCA یک تبدیل خطی متعامد است که در آن داده‌های اولیه به دستگاه مختصات جدید که محورهای آن مؤلفه‌های اصلی (PCs) هستند، برده می‌شوند. این انتقال به‌گونه‌ای است که داده‌های دارای بیشترین واریانس روی اولین مؤلفه اصلی (PC₁) و داده‌های با واریانس بزرگ بعدی روی دومین مؤلفه اصلی (PC₂) قرار می‌گیرند و به همین ترتیب این فرایند ادامه می‌یابد تا واریانس تجمعی مؤلفه‌های اصلی برابر ۱۰۰٪ واریانس داده‌ها شود. در این فرایند داده‌ها در نهایت به مؤلفه‌های اصلی که تعداد آن‌ها با تعداد داده‌های اولیه برابرند منتقل می‌شوند. در روش PCA، مؤلفه‌هایی از داده‌ها که بیشترین تأثیر در واریانس (حداکثر واریانس تجمعی) را دارند انتخاب می‌شوند و از آن‌ها به‌جای داده‌های اصلی استفاده می‌شود و بدین ترتیب حجم داده‌ها کاهش می‌یابد. در استفاده از روش رگرسیون مؤلفه‌های اصلی (PCR)، مؤلفه‌های اصلی انتخاب شده به جای داده‌های اصلی به‌عنوان متغیرهای مستقل در رگرسیون چند متغیره استفاده می‌شوند (Wold et al., 2001; Azadshahraki et al., 2018).

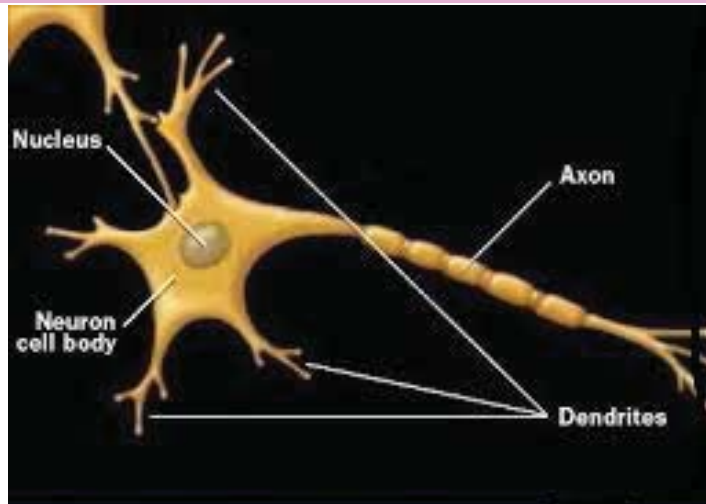
روش رگرسیون حداقل مربعات جزئی (PLS) یک روش رگرسیون خطی چند متغیره توسعه یافته است و بر خلاف روش رگرسیون خطی چند متغیره معمولی، در صورت وجود همبستگی بین داده‌های متغیر مستقل، وجود نویز و تعداد زیاد متغیر مستقل قادر به تدوین مدل‌های کالیبراسیون خواهد بود. این روش هم‌چنین قادر به پیش‌بینی چند متغیر وابسته در یک زمان است. PLS روشی برای کاهش حجم داده‌هاست که در آن فشرده‌سازی داده‌های مستقل از متغیر وابسته نیست (برخلاف روش PCA که کاهش حجم داده‌ها تنها به داده‌های متغیر مستقل مربوط بود). به عبارت دیگر در روش PLS، بر اساس اصل تعامد، مؤلفه‌های اصلی یکی پس از دیگری در جهت بیشینه کوواریانس داده‌های متغیر مستقل و متغیر وابسته قرار داده می‌شوند (برخلاف روش PCA که این عمل تنها براساس بیشینه واریانس داده‌های متغیر مستقل انجام می‌پذیرفت^{۲۸}). (Wold et al., 2001)

روش شبکه عصبی مصنوعی روشی مفید در بازشناسی الگو^{۲۹}، طبقه‌بندی و تشخیص و تخمین یک پارامتر است. یک مدل مناسب شبکه عصبی قادر است در یک سیستم پیچیده روابط بین متغیرهای ورودی و خروجی را به خوبی بیان کند. در حقیقت نحوه عملکرد شبکه عصبی مصنوعی از نحوه عملکرد نرون‌های عصبی انسان الهام گرفته است. در هر نرون اطلاعات به‌وسیله دندریت‌ها^{۳۰} دریافت و به بدنه سلول (هسته^{۳۱} و قسمت‌های محافظتی) منتقل می‌شود و سلول را تحریک می‌کند. بدنه سلول این سیگنال‌ها را جمع‌آوری کرده و یک حد آستانه روی آن‌ها اعمال می‌کند. در نهایت آکسون^{۳۲} که یک فیبر عصبی بلند است این سیگنال‌ها را به بقیه نرون‌ها منتقل می‌کند (شکل ۵). یک شبکه عصبی مصنوعی نیز تقریباً چنین عملکردی دارد (کیا، ۱۳۹۱).

- 21 Artificial Neural Networks
- 22 Principal Component Analysis
- 23 Classification
- 24 Organoleptic
- 25 Discrimination
- 26 Prediction
- 27 Quantification

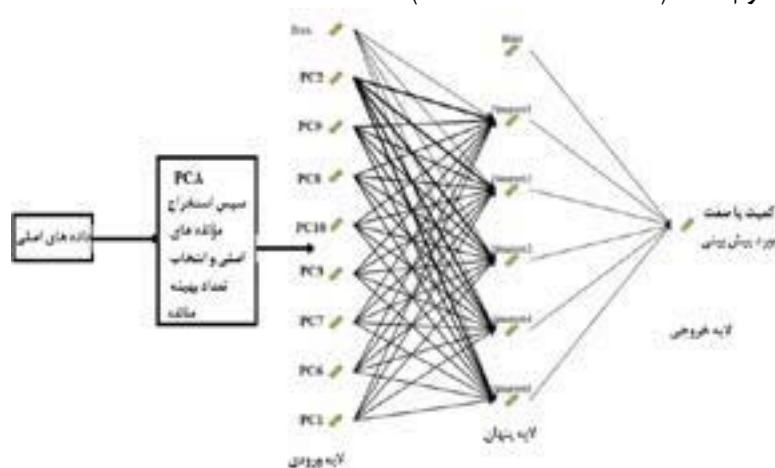
28 علاقمندان میتوانند برای مطالعه بیشتر در زمینه PCA و PLS به مقاله "PLS-Regression: A Basic Tool of Chemometrics" نوشته Wold et al., 2001 مراجعه نمایند.

- 29 Pattern Recognition
- 30 Dendrite
- 31 Nucleus
- 32 Axon



شکل ۵- نرون عصبی زیستی

در پردازش داده‌هایی که حجم داده‌های متغیر مستقل زیاد است می‌توان ابتدا ابعاد ماتریس داده‌های متغیر ورودی را با استفاده از PCA کاهش داد و از مؤلفه‌های اصلی به عنوان ورودی شبکه عصبی استفاده کرد که این روش (استفاده از شبکه عصبی مصنوعی به همراه آنالیز مؤلفه‌های اصلی) به PCA-ANN موسوم است (Jamshidi et al., 2019).



شکل ۶- یک شبکه عصبی کوپل شده با هشت مؤلفه اصلی

تحقیقات زیادی در زمینه کاربرد بینی الکترونیکی در صنعت غذا از جمله گوشت، شیر و فراورده‌های لبنی، تخم مرغ، میوه‌ها، انواع روغن و انواع غلات انجام شده است. تعیین و کنترل کیفیت فراورده‌های غذایی از جمله کاربردهای بینی الکترونیکی در صنعت غذا است. این روش می‌تواند ویژگی‌های کیفی محصول کشاورزی به‌ویژه میوه‌ها و سبزی‌ها را بر اساس منطقه، زمان رسیدن، میزان انبارمانی و زمان فساد تعیین یا پیش‌بینی نماید (Rodrigues et al., 2010).

همان‌طور که قبلاً نیز گفته شد در تحلیل کیفی میوه از روش‌های تخریبی و غیرتخریبی مختلفی استفاده می‌شود. در روش‌های تخریبی نیاز به آسیب و صدمه زدن به میوه به‌منظور نمونه‌برداری از آن است و بدین ترتیب می‌توان آزمایشات مختلف را روی نمونه انجام داد و صفات مختلف را اندازه‌گیری کرد. در این صورت امکان استخراج مواد فرّار و اندازه‌گیری آن‌ها نیز فراهم خواهد شد. یکی از عیوب روش‌های معمول و تخریبی این است که در این روش‌ها نیاز به جابه‌جایی محصول است و جابه‌جایی محصول منجر به فساد و افت کیفیت آن می‌شود. در حالی‌که در صورت استفاده از روش‌های غیرتخریبی آزمایشات و اندازه‌گیری‌ها بدون اعمال آسیب به محصول انجام می‌شود. بنابراین می‌توان از یک محصول برای انجام آزمایش‌های کیفی در مراحل مختلف رسیدگی، بلوغ، انبار، فروش و فساد استفاده کرد (Abbott, 1999).

۴- نتیجه‌گیری

عملکرد بینی الکترونیکی به اجزاء سیستم و ویژگی‌های آن بستگی دارد. بخش‌های یک سیستم بینی الکترونیکی به طور نمونه عبارتند از: شبکه حسگرهای گاز، بخش تحویل گاز یا ماده فرار، بخش کنترل و استخراج داده و بخش پردازش. معمولاً توصیه می‌شود محفظه متفاوتی برای نمونه‌ای که قرار است ماده فرار آن آنالیز شود در نظر گرفته شود که به آن محفظه نمونه ماده فرار گفته می‌شود و در آن شرایط محیطی نمونه ثابت نگه داشته می‌شود. بخش انتقال و تحویل ذرات ماده فرار بخش مهمی از سیستم است که تأثیر زیادی بر عملکرد سیستم دارد. مقدار ماده مورد نیاز برای سیستم بینی الکترونیکی بستگی به نوع ماده مورد بررسی دارد. هنگام فرایند اندازه‌گیری، بخش استخراج داده تمام تغییرات ایجاد شده در سیگنال خروجی از هر حسگر گاز را ثبت می‌کند. هنگامی که فرایند اندازه‌گیری پایان یافت، محفظه حسگر به صورت خودکار تمیز می‌شود تا شرایط ابتدایی اندازه‌گیری مجدداً برقرار شده و از تکرارپذیری آزمایشات اطمینان به عمل آید. با تمام شدن فرایند اندازه‌گیری، داده‌های ذخیره شده توسط نرم‌افزارهای به‌خصوص پیش پردازش و پردازش شده تا پارامترهای آماری استخراج و اطلاعات ناخواسته و نویزها حذف و حجم داده‌ها کاهش یابد. در نهایت با استفاده از نرم‌افزارهای پردازش، محصول از نظر ویژگی‌های مرتبط با بویایی طبقه‌بندی شده یا ماده‌ای خاص تشخیص یا تخمین زده می‌شود. سیستم‌های بینی الکترونیکی تاکنون به طور وسیعی در طبقه‌بندی، تشخیص یک ویژگی یا اندازه‌گیری اجزاء یک ماده با در نظر گرفتن خواص ارگانولپتیکی آن به کار رفته‌اند. این امر می‌تواند با کمک ابزارهای مانند تکنیک‌های آنالیز رگرسیون چند متغیره و تشخیص الگو مانند آنالیز مؤلفه‌های اصلی (PCA)، رگرسیون حداقل مربعات جزئی (PLS) یا شبکه‌های عصبی مصنوعی (ANNs) انجام شود.

منابع

- آژادشهرکی، ف.، کلانتری، س. و جمشیدی، ب. ۱۳۹۷. کیفیت سنجی غیرمخرب انگور رقم عسگری بر پایه طیف سنجی فرو سرخ نزدیک. مجله تحقیقات سامانه ها و مکانیزاسیون کشاورزی. جلد ۱۹. شماره ۷۰.
- کیا، م. ۱۳۹۱. شبکه های عصبی در MATLAB، انتشارات دانشگاهی کیان، ۴۰۸ص.
- Abasi, S., Minaei, S., Jamshidi, B., Fathi, D., and Khoshtaghaza, M. H. 2019. Rapid measurement of apple quality parameters using wavelet de-noising transform with Vis/NIR analysis. *Scientia Horticulturae*. 252, 7-13.
- Abbott, J. A. 1999. Quality measurement of fruits and vegetables. *Postharvest Biology and Technology*, 15(3): 207-225.
- Azadshahraki, F., Jamshidi, B. and Rasooli Sharabiani, V. 2018. Non-destructive determination of vitamin C and lycopene contents of intact cv. Newton tomatoes using NIR spectroscopy. *Yuzuncu Yil University Journal of Agricultural Sciences*. 28(4):389-397.
- Jamshidi, B., Mohajerani, E., Farazmand, H., Mahmoudi, A., and Hemmati, A. 2019. Pattern recognition-based optical technique for non-destructive detection of *Ectomyelois ceratoniae* infestation in pomegranates during hidden activity of the larvae. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*. 206, 552-557.
- Kader, A. A. 1999. Fruit maturity, ripening and quality relationships. *Acta Horticulture*, 458: 203-208.
- Kader, A. A., 2003. Quality and safety factors: definitions and evaluation for fresh horticultural crops. In: *Postharvest technology of horticultural crops*. Kader, A. A.(Ed.). Third edition, University of California, Division of Agriculture and Natural Resources, Publication 3311, pp. 279-299.
- Nicolai, B. M., Katrien, B., Els, B., Ann, P., Wouter, S., Karen, I. T. and Jeroen, L. 2007. Nondestructive measurement of fruit and vegetable quality by means of NIR spectroscopy: A review, *Postharvest Biology and Technology*, 46: 99-118.
- Nicolai, B. M., Defraeye, T., De Ketelaere, B., Herremans, E., Hertog, M. L., Saeys, W. and Torricelli, A. 2014. Nondestructive Measurement of Fruit and Vegetable Quality. *Food Science Technology*, 5: 285- 312.
- Rodriguez, J., Duran, C. and Reyes, A. 2010. Electronic Nose for Quality Control of Colombian Coffee Through the Detection of Defects in "Cup Tests". *Sensors*, 2010, 10: 36-46.
- Subedi, P. P. and Walsh, K. B. 2009. Non-invasive techniques for measurement of fresh fruit firmness. *Postharvest Biology and Technology*, 51(3): 297-304.
- Wold, S., Sjostrom, M. and Erikson, L. 2001. PLS-regression: a basic tool of chemometrics. *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems*, 58: 109-130.