تشخیص تقلب رب انار توسط ماشین‌بویایی مبتنی برروش تحلیل داده

احمد صادقی[۱*]، هادی حسینی[۲]

۱. استادیار، موسسه آموزش و ترویج کشاورزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران
۲. مربی، موسسه آموزش و ترویج کشاورزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران

چکیده

تقلب در محصولات غذایی یک معضل جدی است و کیفیت مواد غذایی تحت تاثیر این موضوع می‌باشد. رب انار به دلیل طعم دلپذیر و داشتن خواص آنتی‌اکسیدان، یک از مواد خوراکی با ارزش محسوب می‌شود. در این پژوهش سامانه ماشین‌بویایی با هشت آرایه حسگر گازی به منظور تشخیص تقلب و طبقه‌بندی نمونه‌های رب انار به کار گرفته شد. پاسخ حسگرها ناشی از ترکیبات فرار مواد آلی نمونه‌ها توسط روش‌های آماری شیمی‌سنجی از جمله روش‌های تحلیل مولفه اصلی و تحلیل تفکیک خطی به منظور تعیین الگوی مناسب استفاده شد. بر اساس نتایج بدست آمده، روش تحلیل مولفه‌های اصلی با دو مولفه PC1 و PC2 با دقت ۹۵ درصد واریانس کل داده‌ها را توصیف کرد. در روش تحلیل تفکیک خطی با توجه به نمودار لودینگ در روشPCA، حسگرهای TGS2610، MQ136، TGS822، TGS813 و TGS842 که تاثیر حداقلی درتمایز میان نمونه‌ها دارند، حذف شدند. دقت طبقه‌بندی نمونه‌ها با داده‌های حاصل از هشت حسگر و دو حسگر به ترتیب ۹۷ و ۹۹ درصد گزارش شد. بنابراین حسگرهای TGS2620 و MQ138 بیشترین تاثیر را در تشخیص تقلب و تمایز نمونه‌های رب انار دارند.

کلمات کلیدی:
بینی‌الکترونیک، تقلب، شناسایی الگو، رب انار

***نویسنده مسئول:** a_sadeghi@yahoo.com

مقدمه

لار با نام علمی *Punica granatum L.* یکی از اعضای تیره لار (punicaceae) است و جز یکی از میوه‌های بومی کشورهای آسیای جنوب غربی، از جمله ایران می‌باشد [۲ و ۱]. ایران دارای بیشترین سطح زیر کشت و بالاترین میزان تولید است [۳]. طبق آمار نامه جهادکشاورزی در سال ۱۳۹۸ میزان تولید انار ایران ۱۱۰۰ هزار تن گزارش شده است که نسبت به سال قبل حدود ۲۰ درصد افزایش تولید وجود داشته است [٤ و٥]. این محصول به دلیل کیفیت مرغوب از نظر صادرات در بین محصولات کشاورزی محصولی بی رقیب بوده و از نظر اقتصادی دارای اهمیت فراوان می‌باشد [٦]. میوه انار به صورت مختلفی همچون تازه‌خوری و یا به شکل فرآوری شده مانند آب میوه، رب، روغن هسته، سرکه، انار و غیره مصرف می‌شود [۷ و ۸]. انار یک منبع طبیعی از ترکیبات فنلی است که حاوی آنتی‌اکسیدان‌هایی همچون تانن، پلی فنل، فلاونوئید و ویتامین C می‌باشد، سایر آنتی‌اکسیدان‌های انار شامل توکوفرول‌ها و آنتوسیانین‌ها هستند که خواص پیش‌گیرنده و درمانی آنها به اثبات رسیده است [۹]. تقلب[1] در مواد غذایی می‌تواند به شکل فروش یک ماده غذایی به جای یک ماده غذایی دیگر، مخلوط کردن آن با مواد غذایی مشابه به لحاظ قیمت و کیفیت پایین‌تر، استفاده از رنگ‌ها و مواد افزودنی غیر مجاز و عدم رعایت استانداردهای کیفی در تولید محصول غذایی باشد [۱۰]. تا کنون در زمینه تشخیص تقلب رب انار تحقیقات کمی انجام شده است؛ تشخیص تقلب رب لار با روش‌های مختلف تحلیلی پیشرفته مانند طیف‌سنجی تبدیل فوریه فروسرخ[2] [۱۱]، کروماتوگرافی مایع با عملکرد بالا[3] [۱۲]، همچنین به منظور تشخیص صحت محصولات غذایی روش‌های مختلف شیمیایی مانند کروماتوگرافی مایع-طیف‌سنجی جرمی[4]، کروماتوگرافی گازی-طیف‌سنجی جرمی[5] استفاده شده است [۱۳] که این روش‌ها، به طور معمول پر هزینه و وقت‌گیر هستند و نیاز به کاربر متخصص دارند [١٤ و١٥]. بنابراین در این پژوهش استفاده از روش‌های جایگزین که مشکلات مذکور را نداشته باشد امری ضروری به نظر می‌رسد. یکی از روش‌های نوین در سنجش کیفیت مواد غذایی، استفاده از ماشین‌بویایی[6] است. بهره‌گیری از ماشین‌بویایی، منجر به شبیه‌سازی حس بویایی انسان، تشخیص و درک رایحه‌های پیچیده توسط آرایه حسگرهای شمیایی و الکترونیکی می‌شود [١٦] عطر و طعم بعضی از محصولات غذایی از ویژگی‌های کلیدی برای تعیین کیفیت آنها است. تا کنون پژوهش‌های مختلفی توسط سامانه ماشین‌بویایی به منظور بررسی ارزیابی اصالت و تشخیص تقلب در محصولات مختلف کشاورزی از جمله زعفران [۱۷]، روغن آفتاب‌گردان [۱۸]، زیتون [۱۹]، چای سبز [۲۰] و کاسنی [۲۱] انجام شده است که جز روش‌های کاربردی و غیر مخرب می‌باشد و پتانسیل آن در بررسی تقلب به اثبات رسیده است. در تحقیقی به منظور تشخیص تقلب پوره کدو در رب گوجه‌فرنگی توسط آرایه حسگرهای گازی سطوح مختلف تقلب در نمونه رب گوجه‌فرنگی با استفاده از روش‌های تحلیل مولفه اصلی[7]، حداقل مربعات جزئی[8] و تحلیل تفکیک کننده خطی[9] بررسی شدند. نتایج نشان داد، نمونه‌های تقلب در PCA، ۹۹ درصد از واریانس داده‌ها را پوشش داد. همچنین بیشترین دقت طبقه‌بندی نمونه‌های تقلب مربوط به تابع پایه شعاعی با دقت ۹۸/۸٤ درصد آموزش و

[1] Adulteration
[2] Fourier-transform infrared spectroscopy
[3] High-performance liquid chromatography
[4] Liquid Chromatography Mass Spectrometry
[5] Gas Chromatography Mass Spectrometry
[6] Machine olfaction
[7] Principal Component Analysis
[8] Partial least squares regression
[9] Linear discriminant analysis

اعتبارسنجی ۸۸/۱٤ درصد در روش Nu-SVM تعیین شد [۲۲]. در بررسی که توسط شعبانی و همکاران [۲۳] با استفاده از سامانه ماشین‌بویایی تشخیص سطوح مختلف تقلب ایجاد شده در گلاب و ارزیابی اصالت آن با روش‌های تحلیل داده PCA، LDA، ماشین بردار پشتیبان[1] و درخت تصمیم‌گیری[2] انجام شد که روش LDA به عنوان دقیق‌ترین روش شناسایی الگو قادر به طبقه‌بندی نمونه‌های تقلب با دقت ۹٤ درصد گردید. همچنین استفاده از ماشین بردار پشتیبان با تابع کرنل خطی در روش C-SVM دقت آموزش و اعتبارسنجی به ترتیب ۹۸/۷۵ و ۸۷/۵ درصد گزارش شد. در تحقیقی دیگر به منظور پایش رسیدگی موز دستگاه بینی‌الکترونیک مبتنی بر حسگرهای نیمه هادی اکسید فلزی[3] طراحی شد [۲٤]. در این سامانه، نمونه‌ها توسط آرایه حسگرهای گازی، سامانه تحصیل داده، الگوریتم‌های تشخیص الگو و تحلیل داده بررسی شدند. نتایج نشان داد روش LDA توانست با دقت ۹۷ درصد نمونه‌ها را طبقه‌بندی نماید. در بررسی که توسط سلیمانی و همکاران [۲۵] به منظور تشخیص رب انار خالص با استفاده از آرایه حسگری گازی، تنها با استفاده از روش PCA، نمونه‌های مختلف تقلب رب انار بررسی شد. در روش مذکور برای تشخیص تقلب رب انار از شیره انگور مجموع واریانس داده ۹۲ درصد به دست آمد. تشخیص تقلب رب انار یکی از دغدغه‌های جامعه غذایی با توجه به ارزش متفاوت اقتصادی و غذایی آن محسوب می‌شود و به همین منظور ارائه یک روش سریع و قابل اعتماد از اهمیت بالایی برخوردار است. بر اساس دانش نویسندگان این مقاله و جستجوی منابع علمی، تحقیقات کمی مبنی بر تشخیص تقلب رب با استفاده از ماشین بویایی و تحلیل داده انجام شده است. لذا هدف از این پژوهش، تشخیص و طبقه‌بندی تقلب رب انار خالص از نوع تقلبی (شیره خرما[4]) و انتخاب الگوریتم بهینه مناسب شناسایی الگو[5] با استفاده از سامانه ماشین‌بویایی مبتنی بر روش آنالیز بو و همچنین حذف حسگرها با کمترین تاثیر با روش آماری شیمی‌سنجی[6] است.

مواد و روش‌ها

الف) آماده‌سازی نمونه‌ها

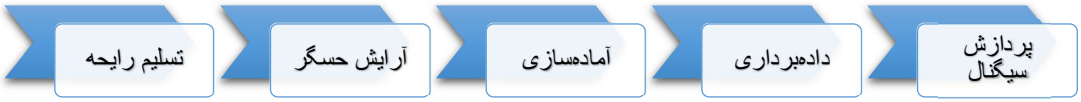
برای انجام این پژوهش نمونه‌های رب انار خالص از یک کارخانه صنایع غذایی واقع در استان البرز، ایران تهیه شد. از آنجایی که هدف از ایجاد تقلب، کاهش هزینه‌ها و افزایش سود می‌باشد لذا افراد سودجو به منظور تقلب و اافزایش سود بیشتر اقدام به ترکیب نمونه با کیفیت پایین و ناخالص با نمونه اصلی می‌نمایند. در این پژوهش از شیره خرما موجود در بازار به دلیل قیمت پایین‌تر و در دسترس بودن آن برای تهیه نمونه تقلبی استفاده شد.

مراحل آزمایش با هفت نمونه شامل رب انار خالص و شیره خرما خالص و ترکیب رب انار-شیره خرما با سطوح تقلب ۱۰، ۲۰، ۳۰، ٤۰ و ۵۰ درصد (بر مبنای وزن) تهیه گردید. نمونه‌ها به منظور رسیدن به تعادل دمایی[7] و تولید ترکیبات فرار مواد آلی (VOCs) در دمای کنترل شده قرار گرفته شدند. در هربار آزمایش تعداد هفت نمونه با مبنای وزنی ۲۰ گرم در محفظه نمونه‌گیری ریخته شده و در ۱۵ بار تکرار آزمایش انجام گردید. بنابراین مجموعا ۱۰۵ نمونه توسط سامانه ماشین‌بویایی به منظور تحلیل داده‌ها برای تشخیص تقلب داده‌برداری شدند.

[1] Support Vector Machine
[2] Decision Tree
[3] Metal–Oxide–Semiconductor
[4] Date Syrup
[5] Pattern recognition
[6] Chemmometric
[7] Thermal equilibrium

ب)سامانه ماشین‌بویایی

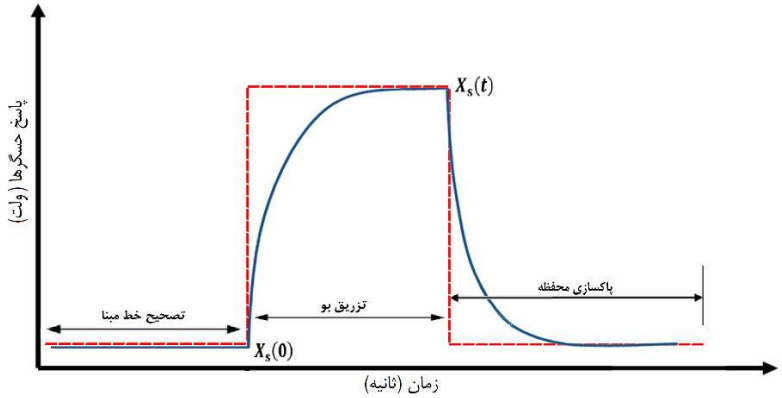
در این پژوهش از دستگاه کروماتوگرافی گازی به منظور تعیین خواص آروماتیک رب انار و انتخاب حسگرهای متناسب با آن استفاده شد. برای تشخیص تقلب نمونه‌های رب انار، هشت پایه حسگر نیمه‌هادی اکسید فلزی سری (3, MQ 136, 138) و(TGS (813, 822, 842, 2610, 2620 بهره‌گیری شد. این حسگرها پایداری شیمیایی بالا، حساسیت و عمر زیاد، پاسخ کم به رطوبت و توان تفکیک‌پذیری مناسبی دارند [۲۶]، لذا در بخش صنایع غذایی کاربرد ویژه‌ای به منظور کیفیت‌سنجی محصولات کشاورزی دارند [۲۷]. اجزای این سامانه برای تشخیص تقلب رب انار شامل واحدهای: دریافت نمونه، آرایه حسگرهای گازی، تصفیه هوای ورودی، جمع‌آوری داده و تشخیص الگو بو تشکیل شده است. نمودار روندنمای مربوط به سامانه بینی الکترونیک در شکل(۱) نمایش داده شده است.



شکل ۱. نمودار روندنمای مربوط به سامانه بینی الکترونیک

داده‌برداری توسط بینی‌الکترونیک شامل تصحیح خط مبنا[1]، تزریق بو نمونه و پاکسازی محفظه حسگرها و فضای نمونه با هوای تصفیه شده است. در این بخش به منظور بدست آوردن الگوی مناسب پاسخ حسگرها در هر آزمایش، ۲۰ گرم از نمونه در یک محفظه شیشه‌ای ریخته و پس از رسیدن به تعادل دمایی و تولید ترکیبات فرار موادآلی آماده بررسی شد. در مرحله تصحیح خط مبنا، برای پایدار نمودن پاسخ آرایه حسگرها، به مدت ۱۶۹ ثانیه، هوای تصفیه شده از روی حسگرها عبور داده شد. پس از تصحیح خط مبنا، مرحله تزریق بوی نمونه به داخل محفظه آرایه حسگرها آغاز گردید که متناسب با نوع کاربرد حسگر، تغییری در در ولتاژ خروجی آن ایجاد شد. مدت زمان کافی برای رسیدن پاسخ حسگرها به حالت بیشینه و یکنواخت ۵۱۹ ثانیه به دست آمد. در مرحله پاکسازی، هوای تصفیه شده به مدت ۱۹۲ ثانیه به داخل محفظه حسگرها و نمونه دمیده شد تا بوی مانده خارج شده و برای انجام عملیات نمونه‌برداری بعدی آماده شود. مدت زمان انجام کل فرایند ۸۸۰ ثانیه به طول انجامید. در شکل (۲) مراحل روند کلی مربوط به پاسخ حسگرهای گازی آمده است.

[1] Baseline Correlation



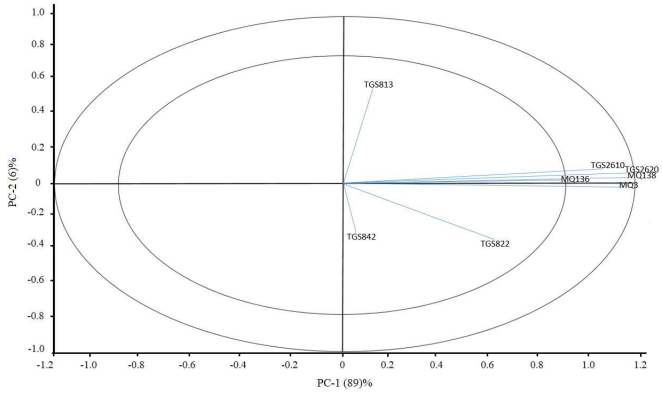
شکل ۲- روند کلی مربوط به پاسخ حسگرهای گازی در سامانه ماشین بویایی

پس از جمع‌آوری داده‌های مربوط به پاسخ حسگرها و انتقال آن به کامپیوتر، برای تشخیص الگوی مناسب بو پیش‌پردازش داده‌ها و روش تحلیل داده PCA، LDA انجام شد. از آنجایی که پیش‌پردازش داده با توجه به نوع حسگرها متفاوت می‌باشد و تاثیر زیادی بر عملکرد روش‌های شناسایی الگو دارد [۲۸]، بنابراین برای تحلیل و طبقه‌بندی پاسخ حسگرها قبل از انتخاب الگو، عملیات پیش‌پردازش داده انجام می‌شود. در این پژوهش از روش کسری[1] استفاده شد، این روش علاوه بر تصحیح خط مبنا و نرمال سازی داده، کاربرد گسترده‌ای در حسگرهای نیمه‌هادی اکسید فلزی دارند [۲۸ و ۲۹].

نتایج و بحث

پس از پیش‌پردازش داده برای تشخیص تقلب نمونه‌های رب انار، از روش تحلیل PCA استفاده شد. بر اساس نتایج حاصل از این روش، دو مولفه اصلی بیشترین واریانس را در بین داده‌ها نشان می‌دهد. مقادیر دو مولفه اصلی PC1 و PC2 در مجموع ۹۵ درصد واریانس کل نمونه‌ها را پوشش می‌دهد. سلیمانی و همکاران [۲۵] در پژوهشی سطوح مختلف تقلب رب انار را توسط دو مولفه اصلی PCA با مجموع ۹۲ درصد واریانس بین نمونه‌ها تشخیص دادند که در مقایسه با نتایج مربوط به این پژوهش از دقت کمتری برخوردار بوده و همچنین نمونه‌های مربوط به تقلب در نمودار اسکور مربوطه از همپوشانی تقریبا بالایی برخوردار بودند. به منظور درک تاثیر هر کدام از سنسورها برای تحلیل شناسایی الگوی مناسب، از نمودار لودینگ[2] با ضرایب مقادیر ویژه به منظور تعیین نقش متغیرها (حسگرها) استفاده شد. هر چه مقادیر لودینگ حسگر روی یک مولفه اصلی بزرگتر باشد، تاثیر آن حسگر برای تشخیص و آشکارسازی نمونه‌های تقلب رب انار بیشتر است. با نتایج بدست آمده از نمودار لودینگ می‌توان حسگرهای که کم‌ترین سهم را برای تشخیص تقلب نمونه‌ها دارند را حذف نمود و هزینه‌های مربوط به ساخت آرایه حسگری را کاهش داد [۲۲]. نمودار لودینگ برای دو مولفه اصلی اول در شکل (۳) آورده شده است.

[1] Fractional Method
[2] Loading Plot



شکل۳. نمودار لودینگ تحلیل مولفه اصلی سطوح مختلف تقلب در رب انار

طبق شکل۳، حسگرهای TGS2620، MQ138 و MQ3 **دارای مقادیر ضریب لودینگ هستند و بیشترین تاثیر را آشکاری سازی نمونه‌های مختلف تقلب رب انار دارند. همچنین حسگرهای** TGS2610، MQ136، TGS822، TGS813و TGS842 **دارای کم‌ترین مقادیر ضریب لودینگ هستند و در تشخیص نمونه‌های رب انار نقش کمی ایفا می‌کنند. حسگرهای** TGS2620 و MQ138 **با توجه به خواص آروماتیک ساختار رب انار کاربرد بیشتری به منظور تشخیص نمونه‌های تقلبی رب انار دارند. در تحقیقی نمونه‌های پوره کدو در رب گوجه‌فرنگی با سطوح مختلف توسط** PCA **بررسی شد که ۹۹ درصد واریانس کل نمونه‌ها را پوشش داد که بر اساس نمودار لودینگ حسگرهای** TGS2610 و MQ3 **بیشترین نقش را در شناسایی تقلب نمونه‌های رب گوجه‌فرنگی داشتند** [۲۲]. **در ادامه به منظور طبقه‌بندی رب انار خالص از نمونه‌های تقلبی از روش** LDA **استفاده شد و مقادیر مربوط به دو مولفه اصلی اول** LD1 و LD2 **دقت تشخیص برای نمونه‌های رب انار ۹۷/۳ درصد گزارش گردید. با توجه به نتایج حاصل از نمودار لودینگ در روش** PCA، **به منظور افزایش دقت در تشخیص و طبقه‌بندی نمونه‌ها در روش** LDA، **حسگرهای** TGS2610، MQ136، TGS822، TGS813 و TGS842 **که تاثیر حداقلی درتمایز میان نمونه ها دارند، حذف شدند. جدول دقت طبقه‌بندی نمونه‌های مختلف رب انار مربوط به داده‌های حاصل از تعداد هشت حسگر و دو حسگر به ترتیب در جدول‌های ۱ و ۲ آمده است.**

جدول ۱- دقت طبقه‌بندی نمونه‌های رب انار در روش LDA (داده‌های حاصل از ۸ حسگر)

نمونه‌های رب انار (درصد)	۱	۲	۳	٤	٥	٦	۷
دقت طبقه‌بندی	۱۰۰	۹۹/۹۸	۹٦/٤٦	۹۷/۸۹	۹۷/۸٤	۹۸/۸۸	۹۸/۷٦

۱) رب انار خالص، ۲) شیره خرما خالص، ۳) رب انار-شیره خرما ۱۰٪، ٤) رب انار-شیره خرما ۲۰٪، ٥) رب انار-شیره خرما ۳۰٪، ٦) رب انار-شیره خرما٤۰٪، ۷) رب انار-شیره خرما ٥۰٪

جدول ۲- دقت طبقه‌بندی نمونه‌های رب انار در روش LDA (داده‌های حاصل از حسگرهای TGS2610 و M138)

نمونه‌های رب انار (درصد)	۱	۲	۳	٤	٥	٦	۷
دقت طبقه‌بندی	۱۰۰	۱۰۰	۹۹/٥٥	۹۹/۸۹	۹۹/۷۸	۹۹/۸۱	۹۹/۷۸

۱) رب انار خالص، ۲) شیره خرما خالص، ۳) رب انار-شیره خرما ۱۰٪، ٤) رب انار-شیره خرما ۲۰٪، ٥) رب انار-شیره خرما ۳۰٪، ٦) رب انار-شیره خرما٤۰٪، ۷) رب انار-شیره خرما ٥۰٪

همانطور که ملاحظه می‌شود ۷ نمونه اختلاط رب انار با شیره خرما با دقت بالای ۹۷ درصد طبقه‌بندی شدند. با حذف حسگرهای TGS2610، MQ136، TGS822، TGS813 و TGS842 که دارای کمترین ضریب تاثیر می‌باشند، دقت طبقه‌بندی حدود ۲ درصد افزایش یافته و توانسته با نرخ طبقه‌بندی بالای ۹۹ درصد نمونه‌های تقلبی رب انار را تفکیک نماید. بنابراین با انتخاب حسگرهای بهینه می‌توان باعث کاهش هزینه‌ها و پیچیدگی مربوط به ساخت آرایه حسگرها به میزان قابل توجهی شد.

نتیجه‌گیری

با توجه به خواص آنتی اکسیدان موجود در رب انار و اهمیت آن برای سلامتی، تقاضای مصرف آن در کشورهای آسیای شرقی به خصوص در ایران با توجه میزان تولید بالای انار رو به افزایش است. در این پژوهش با استفاده از سامانه ماشین‌بویایی مبتنی بر حسگرهای نیمه هادی اکسید فلزی (MOS) برای بررسی و تحلیل داده‌های مربوط به نمونه‌های رب انار به منظور تشخیص تقلب به کار گرفته شد که در مقایسه روش‌های آزمایشگاهی کروماتوگرافی گاز و کروماتوگرافی مایع با عملکرد بالا این روش مشکلات هزینه بالا، نیاز به افراد متخصص و وقت گیر بودن تهیه نمونه را ندارد. PCA، LDA از جمله روش‌های آماری برای شناسایی الگو هستند که بمنظور تشخیص تقلب رب انار ارزیابی شدند. با توجه به نتایج بدست آمده از نمودار لودینگ، روش PCA، در بین حسگرها، TGS2620، MQ138 به ترتیب بیشترین حساسیت را در شناسایی نمونه‌های تقلب رب انار داشتند. بنابراین با استفاده از روش تحلیل تفکیک خطی نمونه‌های رب انار با دقت بالای ۹۹ درصد طبقه‌بندی و تشخیص داده شدند.

مرجع:

1] Akbarpour, V., J. Milani, and K. Hemmati. 2009. Mechanical property of pomegranate seeds aspect by moisture content. American Eurasian Journal of Agricultural and Environmental Sciences 6: 447-453.

2] Holland, D., K. Hatib, and I. Bar-Ya'akov. 2009. Pomegranate: botany, horticulture, breeding. Horticultural Reviews 35: 127-192.

3] Talaei, A., Askari, M., Bahadoran, F. and Sherafatyan, D. 2004. Study the effect of hot water and polyethylene bags on post-harvest life and fruit quality of pomegranate cv. Malas-eSaveh. Journal of Agricultural Science. 35: 369-377.

٤] **بی نام، ۱۳۹۷. آمار نامه جهادکشاورزی.**

٥] **بی نام، ۱۳۹۸. آمارنامه جهادکشاورزی.**

٦] **محسنی، ع. ۱۳۸۳ . نگاهی به وضعیت انار در ایران. وزارت جهاد کشاورزی، معاونت امور باغبانی، دفتر امور میوه های گرمسیری و نیمه گرمسیری۲۲.**

7] Mirjalili SA. Recognition of pomegranate. Agricultural Education Publishing. Karaj. 2002.

8] Chaturvedula V., Sai P. and Indra P. Bioactive Chemical Constituents from Pomegranate (Punicagranatum) Juice, Seed and Peel-A Review. International Journal of Research in Chemistry and Environment 2011; 1:1-18.

9] Seeram N, Schulman R.N, Heber D. Pomegranates: Ancient roots to modern medicine. CRC Press/Taylor & Francis, Boca Raton. 2006.

10] Naderi-Boldaji, M. M.-V. 2019. Feasibility of using a cylindrical resonator sensor for adulteration detection. Innovative Food Technologies, 6(3), 409-420.

11] Zhang, Y., Krueger, D., Durst, R., Lee, R., Wang, D., Seeram, N., et al. 2009. International multidimensional authenticity specification (IMAS) algorithm for detection of commercial pomegranate juice adulteration. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 57(6), 2550e2557. http://dx.doi.org/10.1021/jf803172e.

12] Ehling, S., & Cole, S. 2011. Analysis of organic acids in fruit juices by liquid chromatography-mass spectrometry: An enhanced tool for authenticity testing. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 59(6), 2229e2234. http://dx.doi.org/ 10.1021/jf104527e.

13] Roussel, S., V. Bellon-Maurel, J. M. Roger, and P. Grenier. 2003. Authenticating white grape must variety with classification models based on aroma sensors, FT-IR and UV spectrometry. Journal of Food Engineering 60: 407-419.

14] Ghasemi-Varnamkhasti, M., Aghbashlo, M. 2014. Electronic nose and electronic mucosa as innovative instruments for real-time monitoring of food dryers. Trends Food Sci. Technol., 38(2), 158-166.

15] Mahdi Ghasemi-Varnamkhasti, Puneet Mishra, Morteza Ahmadpour-Samani, Mojtaba Naderi-Boldaji, Davoud Ghanbarian, Mojtaba Tohidi, Zahra Izadi, Rapid detection of grape syrup adulteration with an array of metal oxide sensors and chemometrics, Engineering in Agriculture, Environment and Food,Volume 12, Issue 3, 2019, Pages 351-359.

16] Ghasemi-Varnamkhasti, M., S. S. Mohtasebi, M. Siadat, and S. Balasubramanian. 2009. Meat quality assessment by electronic nose (machine olfaction technology). Sensors 9: 6058-6083.

17] Heidarbeigi, K., Mohtasebi, S.S., Foroughirad, A., Ghasemi-Varnamkhasti, M., Rafiee, S., Rezaei, K. (2014). Detection of adulteration in saffron samples using electronic nose. Int. J. Food Properties, 18(7), 1391-1401.

18] Haddi, Z., Alami, H., ElBari, N., Tounsi, M., Barhoumi, H., Maaref, A., Jaffrezic-Renault,N. & Bouchikhi, B. (2013). Electronic nose and tongue combination for improved classification of Moroccan virgin olive oil profiles. Food Res. Int., 54, 1488‑1498.

19] Ordukaya, E., & Karlik, B. 2017. Quality Control of Olive Oils Using Machine Learning and Electronic Nose. J. Food Quality, 17, 1-7.

20] Chen, Q., Zhao, J., Chen, Z., Lin, H., Zhao, D. A. 2011. Discrimination of green tea quality using the electronic nose technique and the human panel test, comparison of linear and nonlinear classification tools. Sens. Actuat. B: Chemical, 159(1), 294-300.

21] Zou, H.Q., Li, S., Huang, Y.H., Liu, Y., Bauer, R., Peng, L., Yan, Y.H. 2014. Rapid identification of Asteraceae plants with improved RBF-ANN classification models based on MOS sensor E-nose. Evidence Based Complementary and Alternative Medicine. 2014, 1-6.

۲۲] محمدرزداری. آ.، قاسمی‌ورنامخواستی، م.، یوسفیان، س.ه.، سیادت، م.، ایزدی، ز.، رستمی، س.، ۱۳۹۷. تشخیص تقلب پوره کدو در رب گوجه‌فرنگی با استفاده از آرایه حسگری گازی، فصلنامه فناوری‌های نوین غذایی، دوره ٦، شماره ۱، صفحه ۱۳۷-۱٤۸.

۲۳] شعبانی، پ.، ایزدی، ز.، قاسمی‌ورنامخواستی، م.، توحیدی، م.، ریزی، س.، ۱۳۹۷. سامانه ماشین بویایی، رهیافتی موثر برای تشخیص تقلب درگلاب، فصلنامه فناوری‌های نوین غذایی، دوره ٦، شماره ۱، صفحه ۷۵-۸۹

۲٤] ثنایی‌فر، ع.، محتسبی، س.س.، قاسمی ورنامخواستی، م.، احمدی، ح.، ۱۳۹٤. طراحی، ساخت و ارزیابی عملکرد ماشین بویایی (بینی الکترونیکی) بر پایه حسگرهای نیمه بهمنظور پایش رسیدگی موز (MOS) هادی اکسید فلزی، نشریه ماشین های کشاورزی، جلد ۵، شماره ۱، صفحه ۱۱۱-۱۲۱.

۲۵] سلیمانی، م.ح.، ربانی، ح.، میرزایی‌قلعه، ا.، ۱۳۹۸. تشخیص رب انار خالص با استفاده از آرایه حسگری گازی، داوزدهمین کنگره ملی مهندسی مکانیک بیوسیستم و مکانیزاسیون ایران، دانشگاه شهید چمران اهواز، ۱٦-۱۸ بهمن.

26] Bhattacharyya, N., & Bandhopadhyay, R. 2010. Electronic nose and electronic tongue. *In Nondestructive evaluation of food quality Springer*, 73-100.

27] Majchrzak, T., Wojnowski, W., Dymerski, T., Gębicki, J., & Namieśnik, J. 2018. Electronic noses in classification and quality control of edible oils: A review. *Food chemistry, 246*, 192-201.

28] Arshak, K., Moore, E., Lyons, G. M., Harris, J., & Clifford, S. 2004. A review of gas sensors employed in electronic nose applications. Sensor review.

29] Pearce, T. C., S. S. Schiffman, H. T. Nagle, and J. W. Gardner. 2003. Handbook of machine olfaction: Electronic nose technology: Wiley-VCH Velag GmbH & Co. KGaA, Wheinheim, UK.

Detection of adulteration pomegranate paste by olfactory machine based on multivariate data analysis

Ahmad Sadeghi[1*], Hadi Hosseini[2]

1. Assistant professor, Institute of Agricultural Education and Extension, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran.
2. Lecturer, Institute of Agricultural Education and Extension, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran.

Abstract

Food fraud is a serious problem and food quality is affected. due to its pleasant taste and antioxidant properties, Pomegranate paste is one of the valuable foods that is considered in people's diet. In this study, the olfactory machine system was used using eight arrays of gas sensors to detect adulteration and classify of pomegranate paste samples. The response of sensors due to volatile compounds of organic matter in the samples was used by chemmometric method principal component analysis and linear resolution analysis to determine pattern recognation. Based on the results, the principal component analysis method with two components PC1 and PC2 with 92% accuracy described the total variance of the data. In linear discrimination analysis method, according to the loading diagram in PCA method, TGS2610, MQ136, TGS822, TGS813 and TGS842 sensors which have minimal effect on sample differentiation, were removed, then the classification accuracy of samples was compared with data from eight sensors and two sensors. The results showed that the removal of sensors with low impact factor increased the classification accuracy by 2% and TGS2620 and MQ138 sensors had the greatest impact on the detection of fraud and differentiation of pomegranate paste samples.

Key words: Electronic Nose, Adulteration, Pattern recognition, pomegranate paste

*Corresponding author
E-mail: a_sadeghi@yahoo.com