امکان‌سنجی تشخیص تقلب روغن کنجد به کمک سامانه ماشین‌بویایی

هادی حسینی [۱]، سعید مینایی [۲*]، بابک بهشتی [۳]

۱. گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران (hadi.hosseini@srbiau.ac.ir)
۲. گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران (minaee@modares.ac.ir)
۳. گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران (beheshti-b@srbiau.ac.ir)

چکیده

روغن کنجد یکی از روغن‌های خوراکی پر ارزش است که در رژیم غذایی مردم به دلیل طعم دلپذیر و مواد مغذی مورد استفاده قرار می‌گیرد. با توجه به قیمت بالای این روغن، انگیزه برای افراد سودجو ایجاد می‌شود تا اقدام به تولید نمونه تقلبی آن کنند. لذا استفاده از ابزار مناسب برای تشخیص غیرتماسی تقلب در روغن کنجد، مورد نیاز است. بینی‌الکترونیک با شبیه‌سازی حس بویایی انسان، تشخیص و درک رایحه‌های (بو) پیچیده را به کارگیری آرایه حسگرهای شیمیایی انجام می‌دهد. در این پژوهش سامانه ماشین‌بویایی بر پایه ده حسگر نیمه هادی اکسید فلزی به منظور تشخیص تقلب روغن کنجد با استفاده از ارزیابی ترکیبات فرار مواد آلی مورد بررسی قرار گرفت. ویژگی‌ها از پاسخ حسگرها به ترکیبات فرار موادآلی روغن کنجد استخراج و به عنوان ورودی مدل شناسایی الگو استفاده شد. نمونه‌ها شامل سه نمونه خالص روغن کنجد، کلزا و آفتابگردان و ۱۲ نمونه تقلبی با ناخالصی ۵، ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۴۰ و ۵۰ درصد روغن کلزا و آفتابگردان به اندازه ۲۰ گرم تهیه شد. سطوح تقلب روغن کنجد توسط روش‌های تحلیل مولفه اصلی و حداقل مربعات جزیی بررسی شدند. نتایج حاصل از PCA واریانس مجموعه داده‌ها به ترتیب ٪۹۵/۶۸ گزارش شد. در روش PLS حسگرهای MQ138 وTGS2602 به عنوان شاخص‌های اصلی برای طبقه‌بندی و تشخیص نمونه‌های روغن کنجد به دست آمدند.

کلمات کلیدی:
تقلب، ماشین‌بویایی، روغن خوراکی، طبقه‌بندی، شناسایی الگو

***نویسنده مسئول: minaee@modares.ac.ir**

مقدمه

گسترش روغن‌های نباتی تجاری، باعث ایجاد تقلب در روغن‌های خوراکی پر ارزش شده است و این مسئله‌ای مهم از نظر رعایت حقوق مصرف‌کننده، ایجاد رقابت ناعادلانه و حفظ سلامت انسان محسوب می‌شود [۱]. روغن کنجد یک روغن خوراکی نباتی با کیفیت است که از دانه کنجد استحصال می‌شود. این روغن به دلایل داشتن مواد مغذی و عناصر غیرآلی از نظر سلامت دارای مزایای بسیاری است [۲]. در کشور ایران طی سال‌های اخیر روی آوردن مردم به مصرف روغن‌های طبیعی و گیاهی در سبد غذایی مصرف‌کنندگان زیاد شده است. میزان روغن کنجد تولید شده در جهان یک میلیون و ٦٣٤ هزار و ٣٢٧ تن می‌باشد که از این مقدار، سهم قاره آسیا ٥٤/٣ درصد می‌باشد [۳]. در حال حاضر آگاهی مصرف‌کنندگان در زمینه کیفیت و تقلبی بودن مواد غذایی در حال افزایش است [٤]. بیشترین و معمولترین روش‌هایی که منظور تشخیص تقلب یا سطوح تقلب روغن‌های خوراکی وجود دارند عبارتند از طیف‌سنجی مبتنی بر جا به جایی یون[1]، رد اثر بو[2] [٥]، کروماتوگرافی گازی به همراه طیف‌سنجی جرمی[3] [٦]، بینی الکترونیک[4] [۷] و نیز تشدید مغناطیس هسته‌ای[5] [۸]. پیچیدگی در رایحه اکثر مواد غذایی باعث اشکال در تفکیک نمودن آن‌ها توسط روش‌های معمولِ تجزیه و تحلیل طعم، مانند گاز کروماتوگرافی و یا بویایی‌سنجی-کروماتوگرافی گازی[6] خواهد شد؛ از طرفی روش ارزیابی حسی می‌بایست توسط کارشناسان خبره انجام شود و یک فرآیند پرهزینه است، زیرا نیاز به افراد آموزش دیده است تا بتوانند در مدت زمان کوتاه‌تری این کار را اجرایی نمایند [۹]. بنابراین بویایی‌سنجی روشی پیشرفته به منظور دریافت اطلاعات از متغیرهایی است که بر کیفیت مواد خوراکی تاثیرگذار می‌باشد [۱۰]. در زمینه تشخیص تقلب روغن های خوراکی در صنایع غذایی روش‌های متفاوتی از جمله تجزیه شیمیایی، حسگرهای‌های الکتریکی، ماشین بویایی و ماشین بینایی استفاده شده است که در ادامه به برخی از آن‌ها اشاره می‌شود. در تحقیقی با استفاده از سامانه ماشین‌بویایی بر پایه هشت حسگر نیمه‌هادی اکسیدفلزی[7] برای شناسایی تقلب در روغن حیوانی گاوی خالص به کار گرفته شد. در تشخیص مقادیر مختلف ترکیب روغن نباتی و روغن دنبه در روغن حیوانی گاوی خالص (۱۰، ۲۰، ۳۰، ٤٠ و ٥٠ درصد) مورد بررسی قرار دادند. که در این تحقیق از روش آنالیز مولفه اصلی با دو مولفه PC1 و PC2، همچنین برای طبقه‌بندی ویژگی‌های استخراج شده از روش تحلیل تفکیک درجه دوم استفاده کردند. بر اساس نتایج، تفکیک روغن حیوانی گاوی خالص و تقلبی به خوبی انجام گرفت [۱۱]. فهیم‌دانش و همکاران [۱۲] به منظور بررسی تقلب روغن کنجد از روش آنالیز گرماسنجی احتراقی استفاده نمودند. آنها با بکارگیری دستگاه آنالیزگرماسنجی احتراقی، نمونه‌های روغن کنجد خالص، ذرت و آفتابگردان با نسبت‌های ترکیبی پنج، ۱۰ و ۱۵ درصد مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد با افزایش میزان درصد ترکیبی روغن ذرت و آفتابگردان با روغن کنجد، پیک‌ها به سمت دماهای پایین‌تر جا به جا شد و دماهای آغازین، حداکثری و نهایی هر دو پیک کاهش یافت. از این پدیده می‌توان برای تشخیص تقلب روغن کنجد بهره جست. امینی پژوه و همکاران [۱۳]، سامانه ماشین بویایی را برای تشخیص تقلب روغن زیتون بکر طراحی نمودند. در این سامانه نمونه‌های روغن آفتاب‌گردان ترکیب شده با روغن زیتون در شش سطح (صفر، ۱۰، ۲۰،۳۰ و ٤٠ درصد) با آرایه حسگرهای گازی MQ3، MQ8 و MQ135 مورد بررسی

[1] Ion Mobility Spectrometry
[2] Fingerprint Odor
[3] Mass Spectroscopy
[4] Electronic nose
[5] Nuclear Magnetic Resonance Spectrometry
[6] Gas Chromatography Olfactometry
[7] Metal Oxide Semiconductor

قرار گرفت. نتایج نشان داد دقت طبقه‌بندی توسط روش LDA و QDA به ترتیب برابر با ۷۹/٤ و ۹٤/۱ درصد است. تشخیص تقلب روغن کنجد با استفاده از سامانه پردازش تصویر موضوع پژوهش دیگری بود که توسط راشوند و سیف انجام شد، آنها توانستند پس از ارزیابی ۱۱ نمونه روغن کنجد، آفتابگردان و کلزا با نسبت‌های درصد ترکیبی متفاوت، شبکه عصبی مصنوعی با ساختار با آرایش ۱-٦-۱٦ را طراحی نمایند. این الگوریتم قادر به پیش‌بینی نمونه‌های مخلوط شده روغن کنجد و آفتابگردان با مقادیر همبستگی و میانگین مربعات خطا ۲/٤۹۹ و ۲/۲۲٦ شد. همچنین برای نمونه‌های روغن کنجد و کلزا بهترین شبکه عصبی ساختار ۱-۱۲-۱٦ انتخاب شد و مقادیر ضریب همبستگی و میانگین مربعات خطا به ترتیب ۲/٤٦۹ و ۲/۲۲۱ به دست آمد [۱٤]. ژانگ و همکاران برای تشخیص تقلب روغن کنجد از روش طیف‌سنجی مبتنی بر جا به جایی یون به عنوان یک تکنولوژی سریع استفاده کردند. در این پژوهش ابتدا نمونه‌های روغن توسط روش n-hexana به صورت نمونه رقیق شده در آمده سپس توسط روش طیف‌سنجی جا به جایی یونی به مدت ۲۰ ثانیه مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. نتایج نشان داد روش ماشین‌بردار پشتیبان برگشتی (C-SVM) توانایی شناسایی روغن کنجد تقلبی با دقت ۹٤/۲ درصد را دارا است [۱۵]. های و ونگ در تحقیقی با عنوان تشخیص تقلب در روغن هسته کاملیا با روغن کنجد از بینی الکترونیک استفاده نمودند؛ نتایج نشان داد سیگنال‌های مربوط به روغن‌ها نسبت به یکدیگر متفاوت هستند و روش تحلیل مولفه‌های اصلی (PCA) گرچه قادر به تشخیص تقلب در روغن هسته کاملیا نیست ولی می‌توان از آن به منظور متمایز نمودن تقلب در روغن کنجد استفاده نمود. روش تحلیل تکفیک خطی در مقایسه با روش تجزیه و تحلیل مولفه اصلی موثرتر بوده و می‌توان از این روش برای تشخیص تقلب موجود در روغن هسته کاملیا و روغن کنجد بهره جست[۱٦]. بیشتر روش‌هایی که برای تشخیص تقلب در روغن کنجد مورد بررسی قرار گرفته‌اند مبتنی بر روش‌های شیمیایی بوده است که اکثراً پر هزینه و زمان بر هستند. البته تحقیقاتی در خصوص تشخیص تقلب روغن کنجد با بکارگیری نمونه تجاری دستگاه الکترونیک قابل حمل مختص آنالیز بویایی در خارج از کشور انجام شده است ولی در این پژوهش، با بکارگیری دستگاه بویایی‌سنجی (بینی الکترونیک) و روش شیمی‌سنجی به تشخیص تقلب در روغن خوراکی کنجد پرداخته شد. همچنین این سامانه به عنوان یک سیستم خبره مبتنی بر تشخیص ترکیبات فرار مواد آلی با استفاده از روش‌های آماری شیمی‌سنجی اقدام به تعیین الگوی بوی مشخصه نمونه روغن کنجد و تشخیص تقلب روغن کنجد می‌نماید.

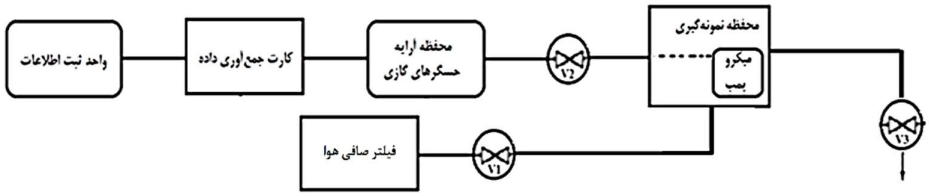
مواد و روش‌ها

آماده‌سازی نمونه‌ها

در این پژوهش از روغن‌های خوراکی کنجد، آفتابگردان و کلزا به دلیل فراوانی و قیمت مناسب آن‌ها استفاده شد. نمونه شامل ترکیب روغن کنجد خالص با روغن آفتابگردان و کلزا با درصد ترکیبی ۵، ۱۰، ۲۰، ۳۰، ٤۰ و ۵۰ به اندازه ۲۰ گرم تهیه شدند. برای رسیدن به تعادل دمایی و ایجاد ترکیبات فرار مواد آلی، نمونه‌ها به مدت ۱۰ دقیقه در دمای کنترل شده ^{o}C ۱±۳۰ نگهداری شدند [۱۷].

ساختمان بینی‌الکترونیک

به منظور بررسی امکان تشخیص تقلب روغن خوراکی، نیاز به ساخت دستگاه الکترونیکی است. ساختمان این دستگاه شامل قسمت‌های: ۱) محفظه حسگر، ۲) سامانه هوادهی، ۳) محفظه تشخیص به همراه مجموعه‌ای از حسگرها و ٤) سامانه جمع‌آوری اطلاعات و پردازش داده‌ها می‌باشد. طرح‌واره مربوط به سامانه بینی الکترونیک در شکل(۱) آورده شده است.



شکل ۱ طرح‌واره سامانه بینی الکترونیک

اساس کار دستگاه بینی‌الکترونیک بر پایه حسگرهای گازی است که در آن از حسگرهای نیمه‌هادی اکسید فلزی (MOS) استفاده می‌شود. واحد آرایه حسگرهای گازی این دستگاه مجهز به چهار حسگر نیمه‌هادی اکسید فلزی MQ ساخت کشور چین (MQ3, MQ135, MQ136, MQ138) و شش حسگر TGS شرکت مهندسی فیگارو ژاپن (TGS813, TGS822, TGS842, TGS2602, TGS2610, TGS2620) می‌باشد. این حسگرها برای سنجش روغن‌های خوراکی؛ پایداری شیمیایی بالا، حساسیت زیاد، عمر زیاد، حساسیت کم به رطوبت و توان تفکیک‌پذیری مناسب است [۱۸].

فرایند آزمایش

ابتدا ۲۰ گرم از نمونه روغن کنجد در یک ظرف شیشه‌ای ۱۰۰ میلی لیتری ریخته شد. فرایند نمونه‌برداری شامل سه مرحله تصحیح خط مبنا[1]، تزریق بوی نمونه و پاک‌سازی محفظه حسگرها بود. در مرحله تصحیح خط مبنا به منظور رساندن پاسخ آرایه حسگرها به حالت پایدار، هوای تصفیه شده به مدت ۱۹۰ ثانیه به محفظه حسگرها تزریق شد. مدت زمان لازم برای رسیدن پاسخ حسگرها به حالت پایدار (مانا) ٤۰۰ ثانیه ثبت شد و در نهایت هوای ورودی به مدت ۲۱۰ ثانیه از روی حسگرها برای پاکسازی محفظه آرایه حسگرها و محفظه نمونه عبور کرده تا برای انجام آزمایش بعدی آماده شود. مدت زمان انجام کل فرایند آزمایش ۸۰۰ ثانیه به طول انجامید.

پیش‌پردازش و تحلیل داده‌ها

پس از جمع‌آوری داده‌ها و انتقال به رایانه برای ارزیابی اطلاعات حاصل از اختلاط روغن کنجد با سایر روغن‌های خوراکی مورد بررسی قرار گرفته شد. در این زمینه شیمی‌سنجی یک ابزار قدرتمند برای آنالیز داده‌های چند متغیره بوده که برای استخراج اطلاعات کاربرد دارد و می‌تواند مفید واقع شود. شیمی‌سنجی را می‌توان به صورت کیفی برای طبقه‌بندی نمونه‌های ناشناخته با ویژگی‌های مشابه و به صورت کمی برای تعیین تقلب در نمونه استفاده کرد [۱۱]. عملیات پیش‌پردازش به منظور طبقه‌بندی نمونه‌ها و تعیین الگوی مناسب توسط روش‌های تحلیل مولفه اصلی[2] و حداقل مربعات جزئی[3] انجام شد. در روش PCA مولفه‌هایی که بیشترین تاثیر را در مقدار واریانس دارند حفظ می‌شوند [۱٦]. از جمله روش‌های تحلیل فاکتور، روش PLS می‌باشد. این روش با کاهش ابعاد داده و حداقل رساندن تعداد بردارهای عمود بر هم، اطلاعات مهم و کاربردی ایجاد می‌کند. مقادیر ضریب تشخیص و خطای جذر میانگین مربع‌ها برای تعیین کمیت توانایی پیش‌بینی مدل توسط رابطه۱ محاسبه گردید [۱۹].

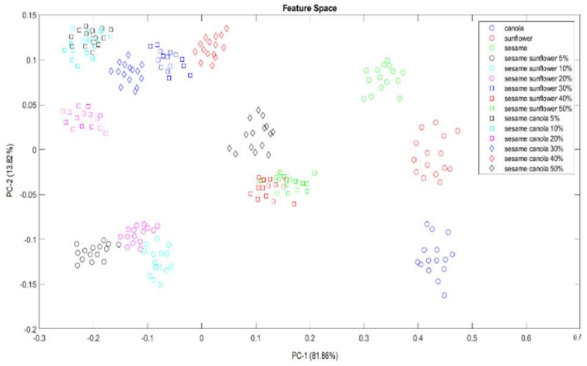
P_i مقادیر پیش‌بینی شده توسط مدل
a_i مقادیر واقعی
n تعداد مقادیر

[1] Baseline correction
[2] Principal Component Analysis
[3] Partial least squares

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(p_i - a_i)^2}{n}} \qquad (۱)$$

نتایج و بحث

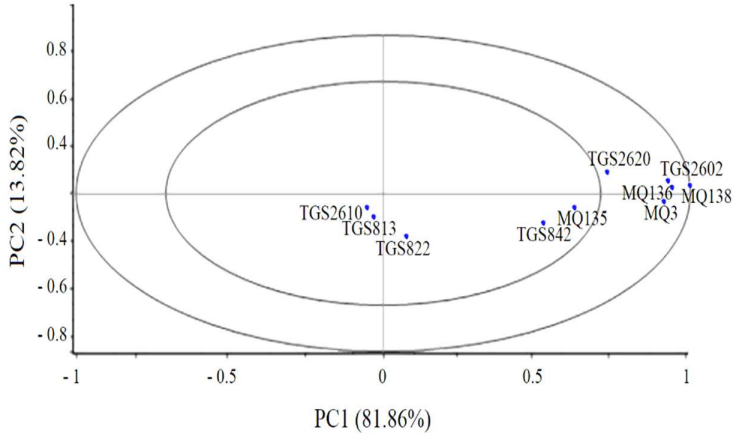
پاسخ ولتاژ حسگرها با ۱۵ بار تکرار برای ۱۵ نمونه (شامل روغن خالص کنجد، آفتابگردان، کلزا و ترکیب روغن‌های کنجد-آفتاب‌گردان وکنجد-کلزا با سطوح مختلف تقلب ۵، ۱۰، ۲۰، ۳۰، ٤٠ و ۵۰ درصد اندازه‌گیری و ثبت شد. بمنظور آشکار سازی تقلب در نمونه‌های روغن کنجد از روش تحلیل مولفه‌های اصلی استفاده شد. نمودار اسکور، مولفه‌های اصلی برای طبقه‌بندی داده‌ها و تشخیص ترکیبات فرار مواد آلی نمونه‌ها بر اساس شناسایی الگوی مناسب تعیین می‌شود (شکل۲). همانگونه که ملاحظه می‌شود مولفه‌های اول و دوم (PC2 و PC1) به عنوان دو مولفه اصلی دارای بیشترین واریانس در کل داده‌ها هستند. نمودار PCA در قالب PC2-PC1، مجموع وراپانس دو مولفه اصلی اول ۹۵/٦٨ درصد (PC1=۸۱/۸٦ ، PC2=۱۳/۸۲) بین نمونه‌های مختلف تقلب روغن کنجد را در بر گرفت. با توجه به شکل۳، بین نمونه‌های روغن کنجد-کلزا و کنجد-آفتاب‌گردان با نسبت درصدهای ترکیبی ۵، ۱۰،٤٠ و۵۰ مقداری همپوشانی وجود دارد که این ناشی از مشابه بودن ترکیبات قوی فرار مواد آلی موجود در آنها است.



شکل۲. نمودار امتیاز تحلیل PCA برای سطوح مختلف تقلب در روغن خوراکی کنجد

به منظور درک تاثیر هر یک از حسگرها برای تحلیل شناسایی الگوی مناسب، از نمودار همبستگی[1] با ضرایب مقادیر ویژه به منظور تعیین نقش متغیرها (حسگرها) استفاده شد. با توجه به نتایج حاصل از نمودار لودینگ می‌توان حسگر یا حسگرهایی را که کمترین تاثیر در تشخیص تمایز بین نمونه‌ها دارند، شناسایی و حذف نمود تا هزینه‌های ساخت مربوط به آرایه حسگری سامانه ماشین‌بویایی کاهش یابد. با توجه به شکل۳، حسگرهای MQ138، MQ136، TGS2602، MQ3 **و**TGS2620 و MQ135 **به ترتیب دارای بیشترین مقدار ضریب لودینگ هستند و نقش موثری در تمایز و طبقه‌بندی نمونه‌ها ایفا می‌کنند.**

[1] Loading plot



شکل۳. نمودار لودینگ تحلیل مولفه اصلی در نمونه‌های مختلف تقلب روغن کنجد

در روش حداقل مربعات جزیی دو مولفه اصلی factor-1 و factor-2 مجموع ۹۳ درصد واریانس کل داده‌ها را پوشش داد. در این روش، نمونه روغن کنجد خالص به صورت آشکار از نمونه‌های تقلبی جداسازی شد. از آنجایی که حسگرهای MQ138، TGS2602، MQ3 وTGS2620 وMQ135 بیشترین تاثیر را در تشخیص تقلب نمونه‌های روغن کنجد داشتند، برای انتخاب موثرترین حسگرها، اقدام به طبقه‌بندی و پیش‌بینی نمونه‌ها با روش PLS شد. عملکرد این مدل به منظور پیش‌بینی تقلب نمونه‌های روغن کنجد با سطوح مختلف وزنی بررسی شد، مشخص گردید حسگرهای MQ138، TGS2620 در مدل PLS توانایی بالایی به منظور پیش‌بینی طبقه‌بندی نمونه‌های تقلبی روغن کنجد را دارند.

نتیجه‌گیری

تقلب در روغن‌های خوراکی پر ارزش مسئله‌ای مهم از منظر رعایت حقوق مصرف‌کننده محسوب می‌شود. بنابراین یکی از ضرورت‌های ارتقای سطح کیفی و افزایش رقابت در بازارهای داخلی و خارجی تشخیص تقلب و تخمین میزان ناخالصی روغن‌های خوراکی است. در این پژوهش اقدام به طراحی و ساخت دستگاه بینی‌الکترونیک مبتنی بر ده حسگر نیمه هادی اکسید فلزی بر اساس تشخیص ترکیبات فرار مواد آلی روغن کنجد شد. در این پژوهش ویژگی‌های مربوط به پاسخ هر حسگر پس از استخراج و انجام عملیات پیش‌پردازش با استفاده از روش شیمی‌سنجی تجزیه و تحلیل شدند. روش‌های استفاده شده برای تشخیص تقلب نمونه‌های روغن کنجد تحلیل مولفه‌های اصلی و حداقل مربعات جزیی بودند. نتایج تحلیل مولفه اصلی نشان داد، دو مولفه اصلی اول قابلیت توصیف ۹۵/۶۸ درصد از واریانس کل داده‌ها را دارند. در روش PLS مقدار دو مولفه اصلی factor-1 و factor-2، ۹۳ درصد واریانس کل داده‌ها به دست آمد و نمونه‌ها با سطوح مختلف تقلب روغن کنجد طبقه‌بندی و پیش‌بینی شدند. طبق نتایج و تحلیل‌ها در روش PLS از آنجایی که در میان حسگرهای MQ138، TGS2602، MQ3، TGS2620 وMQ135، حسگرهای MQ138 وTGS2602 دارای بیشترین حساسیت و ضریب همبستگی بالا بین مقادیر اندازه‌گیری و پیش‌بینی شده برای طبقه‌بندی نمونه‌های روغن کنجد بودند. دستگاه بینی‌الکترونیک مبتنی بر تشخیص ترکیبات فرار مواد آلی روغن کنجد امکان نظارت و تشخیص تقلب را در روغن‌های خوراکی فراهم می‌آورد که در مقایسه با سایر روش‌ها از قابلیت اطمینان

بالاتری برخوردار است و علاوه بر آن غیرمخرب بودن آن نیازمند هزینه ساخت کم است و اپراتوری آن توسط افراد غیرمتخصص نیز امکان‌پذیر است.

مراجع

1. Zhang, Q., Liu, C., Sun, Z., Hu, X., Shen, Q. & Wu, J. 2012. Authentication of edible vegetable oils adulterated with used frying oil by Fourier Transform Infrared Spectroscopy. Food Chemistry, 132, 1607-1613.
2. Nam, Y.S., Noh, K.C., Roh, E.J., Keum, G., Yeonhee L.Y., & Lee, K.B. 2014. Determination of edible vegetable oil adulterants in sesame oil using 1H nuclear magnetic resonance spectroscopy. Analytical Letters, 47(7), 1190-1200.
3. Anonymous, 2019. Food and Agriculture Organization of the United Nations. FaoStat Database.Italy, Retrieved April 12,2019from http://www.fao.org/faostat/en/#data/QD.
4. Sliwi_nska, M., Wi_sniewska, P., Dymerski, T., Namie_snik, J., Wardencki, W. 2014. Food analysis using artificial senses. Journal Agricultural and Food Chemistry 62 (7), 1423-1448.
5. Zhang, L., Shuai, Q., Li, Q., Zhang, P., Ma, Q., Zhang, F. 2016. Ion mobility spectrometry fingerprints: A rapid detection technology for adulteration of sesame oil. Food Chemistry, 192, 60-66.
6. Peng, D., Bi, Y., Ren, X., Yang, G., Sun, Sh. & Wang, Xu. 2015. Detection and quantification of adulteration of sesame oils with vegetable oils using gas chromatography and multivariate data analysis. Journal of Food Chemistry 188, 415–421Nam, Y.S., Noh, K.C., Roh, E.J., Keum, G., Yeonhee L.Y., & Lee, K.B. 2014.
7. Hai, Z. & Wang, J. 2006. Electronic nose and data analysis for detection of maize oil adulteration in sesame oil. Sensors and Actuators B, 119, 449-455.
8. Determination of edible vegetable oil adulterants in sesame oil using 1H nuclear magnetic resonance spectroscopy. Analytical Letters, 47(7), 1190-1200.
9. Pearce, S.S., Schiffman, H.T., Nagle, J.W., Gardner (Eds.). 2003. Handbook of Machine Olfaction: Electronic Nose Technology, Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim

۱۰. **کیانی، س. و مینایی، س.، امکان سنجی استفاده از سامانه‌ای هوشمند بر پایه ماشین بویایی و ماشین بینایی به منظور بررسی کیفیت و تعیین مواد موثر فرآورده های گیاهان داروئی (مطالعه موردی زعفران)، اولین همایش گیاهان دارویی و داروهای گیاهی، تهران، مرکز توسعه پایدار علم و صنعت فرزین**،https://www.civilica.com/Paper-HHMM01-HHMM01_040.html.

۱۱. **ایاری، ف.، میرزائی قلعه، ا.، ربانی، ح.، و حیدربیگی، ک.، ۱۳۹۷. پیاده سازی و ساخت سیستم ماشین بویایی به منظور تشخیص تقلب در روغن حیوانی گاوی، مجله ماشین‌های کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد**، https://doi.org/10.22067/jam.v10i2.67524

۱۲. **فهیم‌دانش، م.، بهرامی، م.ع.، ۱۳۹۵. بررسی تقلب در روغن کنجد با روش آنالیز گرماسنجی افتراقی، فصلنامه علوم علوم و صنایع غذایی، شماره ۵۵ دوره ۱۳، ۸۱-۸۹.**

۱۳. **امینی‌پژوه، س.، میره‌ای، س.ا.، قاسمی ورنامخواستی، م.، توحیدی، م. و قنبریان، د.، ۱۳۹۷. ارزیابی قابلیت سامانه ی ماشین بویایی (بینی الکترونیک) در تشخیص تقلب روغن زیتون بکر، دومین همایش ملی دانش و فناوری علوم کشاورزی، منابع طبیعی و محیط زیست ایران، تهران.**

۱۴. **رشوند، م.، امید، م.، مبلی، ح. و سلطانی فیروز، م.، ۱۳۹۶. ارزیابی سامانه تشخیص تقلب روغن زیتون مبتنی بر پردازش تصویر و طیف‌سنجی دی‌الکتریک، نشریه پژوهش‌های مکانیک ماشین‌های کشاورزی، جلد ۶ (۲)، ۲۹-۱۹.**

15. Zhang, L., Shuai, Q., Li, Q., Zhang, P., Ma, Q., Zhang, F. 2016. Ion mobility spectrometry fingerprints: A rapid detection technology for adulteration of sesame oil. Food Chemistry, 192, 60-66.
16. Hai, Z. & Wang, J., 2006. Electronic nose and data analysis for detection of maize oil adulteration in sesame oil. Sensors and Actuators B, 119, 449-455.
17. Masella, P., Parenti, A., Spugnoli, P., & Calamai, L. 2010. Nitrogen stripping to remove dissolved oxygen from extra virgin olive oil. European journal of lipid science and technology, 112(12), 1389-1392.

18. Bhattacharyya, N., & Band hopadhyay R. 2010. Electronic nose and electronic tongue, Journal of nondestructive Evaluation of Food Quality, 73-100.

19. Zhang, Q., Liu, C., Sun, Z., Hu, X., Shen, Q. & Wu, J. 2012. Authentication of edible vegetable oils adulterated with used frying oil by Fourier Transform Infrared Spectroscopy. Food Chemistry, 132, 1607-1613.

Feasibility of detection adulteration sesame oil by using olfaction machine system

Hadi Hosseini [1], Saeid Minaei [2*], Babak Beheshti [1]
1 Department of Biosystems Engineering, Science and Research branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.
2 Biosystems Engineering Department, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran

Abstract

Sesame oil is one of the most popular edible oils. Given the high price of this oil, it is prone to adulteration. Therefore, use of appropriate non-contact tools such as electronic nose is required to detect adulteration in sesame oil. For this purpose, a machine olfaction system based on ten metal-oxide semiconductor sensors was developed to detect adulteration by evaluating sample volatile organic compounds. Features were extracted from the response of the sensors to the volatile compounds of sesame oil and used as input to the pattern recognition model. Samples included three pure samples of sesame oil, rapeseed oil and sunflower oil and 12 adulterated samples containing 5, 10, 20, 30, 40 and 50% of rapeseed and sunflower oil in the amount of 20 g. adulteration levels of sesame oil were investigated by principal and partial least squares analysis methods. The results of PCA variance were reported to be 95.68%, respectively. In PLS method, MQ138 and TGS2602 sensors were obtained as the main indicators for classification and detection of sesame oil samples.

Key words: Adulteration, Olfactory machine, Edible oil, Classification, Pattern recognition

*Corresponding author
E-mail: minaee@modares.ac.ir