

## ارزیابی سامانه تشخیص تقلب روغن زیتون مبتنی بر پردازش تصویر و طیف‌سنجی دی‌الکتریک

مه‌دی رشوند<sup>۱</sup>، محمود امید<sup>۲\*</sup>، حسین مبلی<sup>۳</sup> و محمود سلطانی فیروز<sup>۴</sup>

### چکیده

عمده‌ترین روش تقلب در روغن زیتون، مخلوط کردن روغن‌های گیاهی مانند ذرت، کلزا، آفتابگردان و سویا با روغن خالص زیتون است. هدف این پژوهش، ارزیابی یک سامانه قابل حمل به منظور تشخیص تقلب روغن زیتون به کمک تلفیق فناوری‌های ماشین‌بینایی و طیف‌سنجی دی‌الکتریکی با حسگر خازنی است. به منظور طبقه‌بندی نمونه‌های روغن زیتون تقلبی و اصل با استفاده از ویژگی‌های فرکانسی و رنگ، از تکنیک‌های تحلیل مؤلفه‌های اصلی (PCA)، تحلیل تفکیک خطی (LDA) و شبکه عصبی مصنوعی استفاده شد. بهترین شبکه با ساختار ۱-۶-۳۶ برای پیش‌بینی نمونه‌های مخلوط‌شده زیتون و آفتابگردان، مقادیر ضریب همبستگی ۰/۹۴۴ و میانگین مربعات خطا ۰/۰۰۶ را ارائه داد. همچنین، بهترین شبکه با ساختار ۱-۱۰-۳۶ برای پیش‌بینی نمونه‌های مخلوط‌شده زیتون و کلزا، مقادیر ضریب همبستگی ۰/۹۴۶ و میانگین مربعات خطا ۰/۰۰۳ را ارائه داد. در گام نهایی از ترکیب ویژگی‌های دی‌الکتریک و رنگی به منظور مدل‌سازی مسئله استفاده شد. مقادیر ضریب همبستگی و میانگین مربعات خطا برای نمونه‌های مخلوط‌شده زیتون و آفتابگردان برابر ۰/۹۶۲ و ۰/۰۰۸ با ساختار ۱-۲-۳۸ و برای نمونه‌های مخلوط‌شده زیتون و کلزا مقادیر ۰/۹۶۱ و ۰/۰۱۳ با ساختار ۱-۱۶-۳۸ حاصل شد.

**واژه‌های کلیدی:** تقلب، دی‌الکتریک، روغن زیتون، شبکه عصبی مصنوعی، ماشین‌بینایی.

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

۱- کارشناسی ارشد، گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران.  
۲- استاد، گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران.  
۳- استاد، گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران.  
۴- دکتری، گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران.

\* نویسنده مسئول: [omid@ut.ac.ir](mailto:omid@ut.ac.ir)

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۴/۱۶

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۰۷/۲۵

## مقدمه

روغن زیتون با فشردن میوه زیتون به دست می‌آید که دارای مقدار زیادی چربی اشباع‌نشده است. روغن زیتون به دلیل داشتن مقدار زیاد اسیدهای چرب تک‌غیراشباعی (مانند اسید اولئیک)، طعم دلپذیر، پایداری خوب و اثرهای ویژه سلامت‌بخشی، یک روغن خوراکی بی‌نظیر محسوب می‌شود (Monfreda & Gobbi, 2014). روغن به وسیله خردکردن کامل زیتون و جداکردن روغن با روش‌های مکانیکی یا شیمیایی تولید می‌شود که سبب تغییر در ساختار روغن نمی‌شود. همچنین، بر اساس آمار فائو، بزرگ‌ترین تولیدکنندگان زیتون در جهان به ترتیب اسپانیا، ایتالیا و یونان هستند و ایران با تولید ۴۰ هزار تن در سال ۲۰۱۴، رتبه یازدهم جهانی را در اختیار دارد (FAO, 2014). تولید روغن زیتون پرهزینه است و همین مسئله موجب زی‌ادشدن قیمت تمام‌شده این محصول می‌شود. قیمت زیاد روغن زیتون، انگیزه لازم را برای ورود سودجویان به این بازار فراهم کرده است. عمده‌ترین روش سوءاستفاده هم مخلوط کردن روغن‌های نباتی با روغن خالص زیتون است یا اینکه روغن تفاله زیتون را وارد روغن زیتون تصفیه‌شده می‌کنند (Reboredo et al., 2013) که امکان تشخیص این تقلب به راحتی وجود ندارد و نمی‌توان سنجد که آیا روغن تفاله زیتون به روغن خالص افزوده شده است یا نه. همچنین، افزودن روغن‌هایی مانند روغن‌های گیاهی ذرت، کلزا، آفتابگردان و سویا به روغن زیتون، اغلب به عنوان تقلب در روغن زیتون محسوب می‌شود (Alouache et al., 2015). در سال‌های اخیر، پژوهش‌هایی در تشخیص تقلب روغن زیتون انجام شده که در آن‌ها از حسگر خازنی استفاده شده است. Lizhi et al. (2010) پژوهشی روی روغن زیتون برای تشخیص تقلب با استفاده از طیف‌سنجی دی‌الکتریک انجام دادند. آن‌ها از یک ولتاژ سینوسی چهار ولتی در محدوده بسامد ۱۰ هرتز تا یک مگاهرتز برای تعیین خواص دی‌الکتریک مخلوط دوتایی از روغن زیتون استفاده کردند. همچنین، آن‌ها از مدل حداقل مربعات جزئی (PLS)، برای تشخیص سطح تقلب در روغن استفاده کردند.

فناوری بینایی ماشین، جزء تکنیک‌های متداول است که امروزه در صنایع مختلف به کار گرفته می‌شود. از جمله کاربردهایی که این فناوری در بخش کشاورزی و صنایع غذایی دارد، تعیین کیفیت محصولات کشاورزی و مواد

غذایی است (Zheng et al., 2006). Cano Marshal et al. (2013) پژوهشی روی تشخیص محتوای ناخالصی روغن زیتون انجام دادند. هدف آن‌ها توسعه دستگاهی مجهز به ماشین بینایی و شبکه عصبی مصنوعی برای تشخیص تقلب در روغن زیتون بود. در این پژوهش از تصاویر رنگی استفاده شده است که هیستوگرام رنگ‌های قرمز، سبز و آبی (RGB) با استفاده از شمارش تعداد پیکسل‌ها در هر سطح شدت (۲۵۶ سطح شدت) به دست می‌آید. این سه هیستوگرام با یکدیگر تلفیق شدند و در مجموع یک هیستوگرام ۷۶۸ سلولی به دست آمد که تعداد پیکسل‌ها در هر سلول، به عنوان ورودی شبکه عصبی مصنوعی در نظر گرفته شد. آن‌ها گزارش دادند که شبکه‌های عصبی آموزش‌دیده، می‌توانند روغن زیتون خالص و روغن زیتون ناخالص (که جزء تقلب به حساب می‌آید) را با دقت ۸۲/۳۸ درصد از هم تفکیک کنند (Cano Marchal et al., 2013).

روش‌های دیگری نیز برای تشخیص تقلب روغن ارائه شده‌اند که می‌توان به بینی الکترونیکی، زبان الکترونیکی و طیف‌سنجی فروسرخ اشاره کرد. (Bougrini et al., 2014). از زبان و بینی الکترونیکی برای تشخیص تقلب در روغن آرگان<sup>۱</sup> استفاده کردند. Mildner-Skudlar & Jelen (2010) نیز از تکنیک بینی الکترونیک برای تشخیص تقلب در روغن زیتون استفاده کردند. Gurdeniz & Ozen (2009) نیز یک روش مبتنی بر طیف‌سنجی فروسرخ را برای تشخیص تقلب روغن زیتون توسعه دادند. با توجه به موارد فوق، می‌توان بیان کرد که تشخیص تقلب و تخمین میزان ناخالصی، یکی از ضرورت‌ها در جهت ارتقای سطح کیفی و افزایش قدرت رقابت این محصول در بازارهای داخلی و جهانی است (Beygami et al., 2013). بنابراین، به کارگیری یک روش نوین در جهت تشخیص تقلبی‌بودن روغن زیتون می‌تواند بسیار مفید و تأثیرگذار باشد. به همین جهت، هدف اصلی و کلی این تحقیق، توسعه یک سامانه قابل حمل برای تشخیص تقلب روغن زیتون به کمک تلفیق فناوری‌های بینایی ماشین و حسگر خازنی است. در این پژوهش منظور از تقلب، افزودن روغن‌های دیگر مثل روغن آفتابگردان و کلزا به روغن زیتون اصل خالص است. سرعت، دقت، کم‌هزینه بودن

دارد) است به عنوان حسگر مورد نظر استفاده و بر روی دو شمش چوبی  $3 \times 50 \times 80$  میلی‌متر قرار داده شدند. کلیه قطعات الکترونیکی داخل یک جعبه پلاستیکی به ابعاد  $75 \times 130 \times 175$  میلی‌متر قرار داده شد. از تراشه MAX038 (شکل ۱) برای تولید سیگنال سینوسی با بسامد حداکثر ۲۰ MHz در قسمت سیگنال ژنراتور استفاده گردید.

در این دستگاه، فرکانس خروجی در محدوده ۱۰ کیلوهرتز تا ۲۰ مگاهرتز با استفاده از یک مقاومت خارجی و یک خازن متغیر کنترل می‌گردد. برای اندازه‌گیری پارامترهای دی‌الکتریک از تراشه AD8302 (شکل ۲) استفاده شد. از این تراشه، می‌توان برای اندازه‌گیری اختلاف فاز و میزان ضریب میرایی استفاده کرد. همچنین، بسامد سیگنال ورودی را می‌توان تا  $2/7$  گیگاهرتز انتخاب کرد.

با توجه به حجم زیاد اطلاعات استخراجی حین داده‌برداری، نیاز است که سامانه پارامترهای اندازه‌گیری شده را به رایانه ارسال و با کمک برنامه MATLAB تحلیل داده‌ها انجام شود. سامانه پردازش تصویر پیاده‌سازی شده شامل دو بخش سخت‌افزار و نرم‌افزار است. در قسمت سخت‌افزار از یک دوربین کوچک CCD مدل SONY-420tvl استفاده شد که دارای  $480$  خط تلویزیونی و  $492 \times 510$  پیکسل است. از کارت تصویرگیر Pin Avid USB 2.0 برای ارتباط بین دوربین و رایانه استفاده شد. از ویژگی‌های این کارت می‌توان به وضوح  $57 \times 720$  و سرعت عکس‌برداری ۲۵ فریم در ثانیه اشاره نمود.

از نرم‌افزار MATLAB 2012b برای ارتباط سامانه با رایانه، داده‌برداری، جمع‌آوری داده، تجزیه و تحلیل داده‌ها، عملیات پردازش تصاویر گرفته‌شده، طراحی شبکه‌های عصبی مصنوعی، آموزش و ارزیابی شبکه‌های توسعه داده شده و به طور کلی کار با سامانه استفاده شده است.

### استخراج ویژگی‌های رنگی

برای استخراج ویژگی‌های رنگی از میانگین مؤلفه‌های رنگی RGB در فضای رنگی CMY.RGB در فضاهای رنگی CMY و  $L^*a^*b^*$  در فضای رنگی  $L^*A^*B^*$  استفاده شد.

تجهیزات مورد استفاده و غیرمخرب بودن از مزایای روش پیشنهاد شده است.

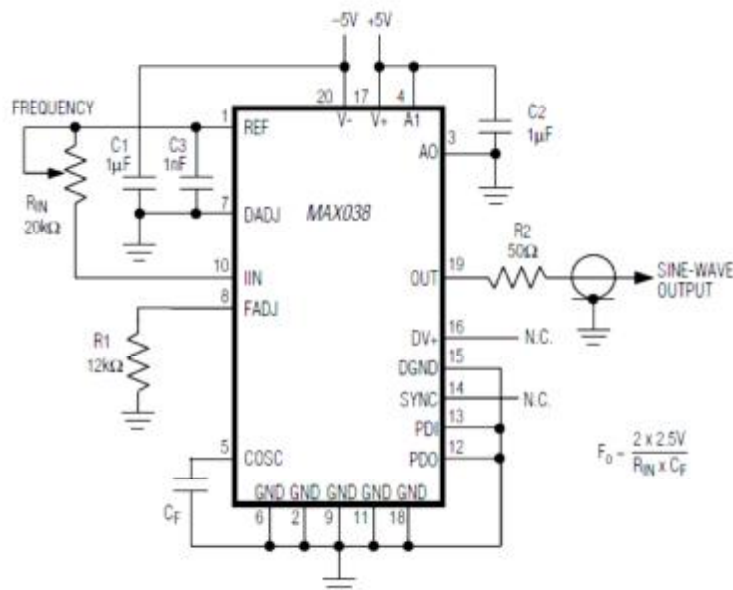
### مواد و روش‌ها

#### تهیه نمونه

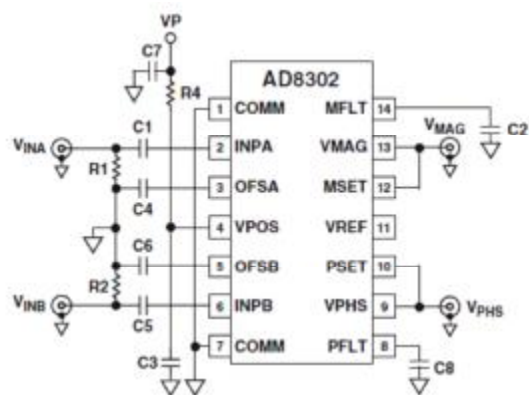
نمونه‌های مورد نیاز روغن زیتون خالص، روغن آفتابگردان خالص و روغن کلزای خالص برای انجام دادن آزمایش‌ها از شرکت روغن‌کشی خرمشهر و تولیدشده در کارخانه روغن گنجه رودبار تهیه شد. بر اساس گزارش کارخانه، روغن زیتون تولیدشده از واریته پیکوال<sup>۱</sup> و به صورت وارداتی از کشور اسپانیا است. برای تهیه نمونه‌های با درصد تقلب ۵٪، ۱۰٪، ۲۰٪، ۳۰٪، ۴۰٪ و ۵۰٪، روغن آفتابگردان در روغن زیتون خالص با نسبت‌های وزنی ذکرشده مخلوط شد. بنابراین در تقلب حاصل از اختلاط روغن آفتابگردان در روغن زیتون ۶ نمونه تهیه شد. عملیات مشابهی برای تهیه نمونه‌های تقلب حاصل از روغن کلزا انجام شد. یک نمونه روغن زیتون نیز به عنوان نمونه بدون تقلب روغن زیتون، یک نمونه روغن کلزای خالص و یک نمونه روغن آفتابگردان خالص تهیه شد. بنابراین، در مجموع ۱۵ نمونه برای تحلیل و ارزیابی سامانه آماده شد. از درصد تقلب‌های ذکرشده فقط یک نمونه تهیه و از هر نمونه داده‌برداری ۲۵ بار تکرار شد تا تکرارناپذیری ناشی از خطای اندازه‌گیری ولتاژها در توسعه سامانه لحاظ گردد. آزمایش‌ها در دمای استاندارد ۲۵ درجه سلسیوس (Lizhi *et al.*, 2010) و در آزمایشگاه خواص فیزیکی و مکانیکی محصولات کشاورزی گروه مکانیک بیوسیستم پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران انجام شد.

#### پیاده‌سازی و ساخت سامانه

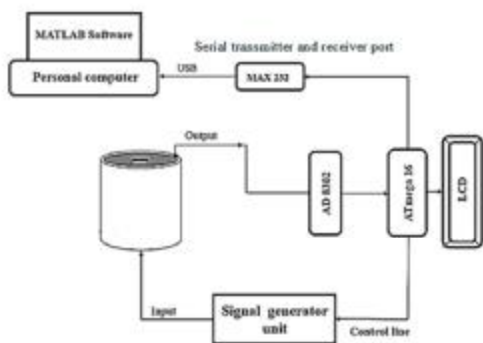
از دستگاه طراحی شده توسط (Soltani & Omid 2015) در این پژوهش استفاده و یک نمونه از آن ساخته شد. سامانه تشخیص تقلب از بدنه، منبع تغذیه، میکروکنترلر AVR، واحد تولید سیگنال سینوسی، واحد اندازه‌گیری پارامترهای دی‌الکتریک، واحد ارتباط با کامپیوتر (Port COM)، حسگر خازنی، نمایشگر، کارت تصویرگیر، دوربین و واحد نورپردازی تشکیل شده است. از یک خازن استوانه‌ای که محیط داخلی و خارجی آن از پلیمر و دارای ارتفاع ۶۰ میلی‌متر (که در مرکز آن میله‌ای برنجی قرار



شکل ۱- مدار تولید سیگنال سینوسی با استفاده از تراشه MAX038



شکل ۲- تصویر شماتیک تراشه AD8302



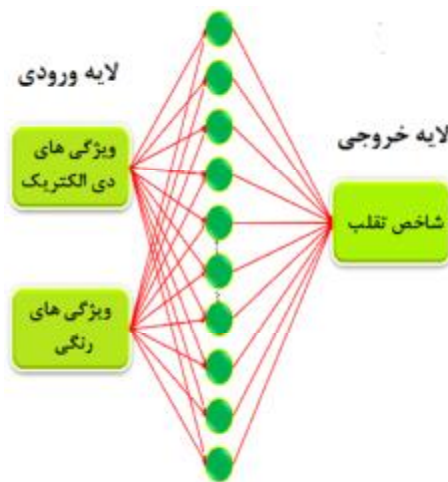
شکل ۳- طرح شماتیک و نمای سامانه تشخیص تقلب روغن زیتون

به نظر می‌رسد؛ چرا که سامانه باید به راحتی آموزش دیده و خودکار باشد. همچنین، تکنیک تحلیل مؤلفه اصلی (PCA)، یک روش برای پیدا کردن ویژگی‌های درست از

### تحلیل مؤلفه‌های اصلی (PCA)

در مسائل طبقه‌بندی به منظور بهبود عملکرد طبقه‌بندی، انتخاب ویژگی‌های مفید و حذف داده‌های بی‌ربط ضروری

ارزیابی شبکه (۱۵٪) اختصاص داده شدند. در آموزش و توسعه شبکه عصبی، داده‌های ارزیابی استفاده نشده‌اند؛ بنابراین، نتایج به‌دست‌آمده از ارزیابی، مستقل از نتایج آموزش و اعتبارسنجی می‌باشند و معتبر هستند. برای حصول اطمینان از تکرارپذیری نیز داده‌برداری برای هر نمونه ۲۵ بار انجام شد. به این منظور، شبکه‌های عصبی پیشرو با یک لایه مخفی و با ۴ تا ۲۰ نرون (به صورت اعداد زوج) برای هر یک از پارامترهای کیفی روغن زیتون طراحی و آموزش داده شدند. داده‌ها، شامل داده‌های دی‌الکتریک - که به وسیله حسگر خازنی برای هر نمونه روغن زیتون استخراج شده (۳۸۴ پارامتر) - و ویژگی‌های رنگی است.



شکل ۴ - ساختار شبکه عصبی استفاده شده در پیش‌بینی تقلب روغن زیتون

#### ارزیابی عملکرد

برای سنجش عملکرد مدل‌ها سه شاخص آماری زیر، شامل حساسیت، دقت و اختصاصی بودن استفاده شد (Teimouri et al., 2015):

$$\text{Sensitivity} = \frac{TP}{TP+FN} \quad (1)$$

$$\text{Specificity} = \frac{TN}{TN+FP} \quad (2)$$

$$\text{Accuracy} = \frac{TP+TN}{TP+FN+TN+FP} \quad (3)$$

TP: نمونه‌های مربوط به یک کلاس مشخص که توسط روش طبقه‌بندی درست تشخیص داده شده‌است.  
TN: نمونه‌هایی که مربوط به کلاس‌های دیگر می‌باشند و روش طبقه‌بندی آن‌ها را درست تشخیص داده‌است.  
FN: نمونه‌های مربوط به یک کلاس مشخص که توسط روش طبقه‌بندی نادرست تشخیص داده شده‌است.

داده‌ها است که رایج‌ترین روش است. در PCA، داده‌ها با D بعد به فضای بعدی کمتری تبدیل می‌شوند. از مزایای دیگر این روش، می‌توان به کاهش درجه‌های آزادی، کاهش فضا و کاهش زمان عملیات اشاره کرد (Ghasemi-Varnamkhasti et al., 2011). هدف این است که برای ارائه اطلاعات در یک فضا، بهترین توصیف را در مورد تغییر در مجموع مربعات خطا به دست آوریم.

#### تحلیل تفکیک خطی (LDA)

LDA، یک روش طبقه‌بندی نظارت شده‌است. در این روش، هدف این است که داده‌های مربوط به یک کلاس تا حد امکان در زیر فضای جدید ایجادشده به هم نزدیک و داده‌های کلاس‌های مختلف از هم دور باشند؛ به عبارت دیگر، پراکندگی بین کلاس داده‌ها حداکثر و پراکندگی درون کلاس داده‌ها حداقل شود (Tudu et al., 2008). تحلیل تفکیک خطی به تحلیل مؤلفه‌های اصلی شباهت دارد و یک کاربرد عمده هر دو روش، کاستن تعداد بعدهای فضای ورودی مسئله است. با این حال، این روش‌ها تفاوت‌های عمده‌ای نیز با هم دارند: در LDA، تفاوت کلاس‌ها مدل‌سازی می‌شود؛ در حالی که در PCA تفاوت کلاس‌ها نادیده گرفته می‌شود. تکنیک‌های LDA و PCA در نرم‌افزار MATLAB اجرا شدند.

#### شبکه عصبی مصنوعی

یک شبکه عصبی مصنوعی (ANN)، روشی برای پردازش اطلاعات است که از سامانه عصبی زیستی الهام گرفته شده‌است و مانند مغز به پردازش اطلاعات می‌پردازد (Siswanto et al., 2016). در اینجا از الگوریتم لونیگ-مارکوات برای آموزش این شبکه‌ها استفاده شده‌است. این الگوریتم تقریبی از روش نیوتن است که برای یافتن کمینه یک تابع غیرخطی چندمتغیره به عنوان یک روش استاندارد برای حل مسئله کمینه مربعات برای توابع غیرخطی استفاده می‌شود (Scott & James, 2006). در این پژوهش، برای استخراج ویژگی‌های رنگی و همچنین ویژگی‌های توأم رنگی و بسامدی از تکنیک شبکه عصبی مصنوعی استفاده شده‌است. توابع انتقال سیگموئید و خطی نیز به ترتیب برای لایه‌های مخفی و لایه خروجی در نظر گرفته شدند. در این پژوهش، داده‌ها به طور تصادفی به سه بخش آموزش شبکه (۷۰٪)، اعتبارسنجی (۱۵٪) و

FP: نمونه‌هایی که مربوط به کلاس‌های دیگر می‌باشد و روش طبقه‌بندی آن‌ها را نادرست تشخیص داده‌است.

### نتایج و بحث

#### استخراج ویژگی‌های دی‌الکتریک

پس از تهیه نمونه‌ها، هر کدام به طور جداگانه داخل خازن استوانه‌ای قرار گرفتند. سامانه مورد نظر به‌طور خودکار محدوده بسامدی صفر تا ۲۰ مگاهرتز را جاروب کرده و تعداد ۳۸۴ ویژگی شامل ضریب اتلاف و ضریب دی‌الکتریک را استخراج می‌کند. لازم به ذکر است تعداد ۱۹۲ ویژگی مربوط به ضریب اتلاف و ۱۹۲ ویژگی دیگر مربوط به ضریب دی‌الکتریک است (Soltani *et al.*, 2015). داده‌های دی‌الکتریک در ۲۵ تکرار برای هر نمونه جمع‌آوری شدند. با توجه به تعداد زیاد متغیرهای ورودی (۳۸۴ ویژگی)، لازم است ابعاد این ویژگی‌ها کاهش یابد. به این منظور، از روش تحلیل مؤلفه‌های اصلی (PCA)

استفاده شد. استخراج ویژگی به صورت خطی است و موجب کاهش ابعاد داده‌ها با از دست‌دادن حداقل اطلاعات می‌شود. نتایج حاصل از تحلیل PCA نشان داد که با در نظر گرفتن سطح آستانه مشخص، تعداد ۲ مؤلفه استخراج می‌گردد. این دو مؤلفه میزان ۸۰/۱۴ درصد از اطلاعات کل ویژگی‌های ورودی را دارا بودند. با استفاده از تکنیک تحلیل تفکیک خطی (LDA)، که داده‌های مربوط به یک کلاس را تا حد امکان در زیر فضای جدید ایجاد شده به هم نزدیک و داده‌های کلاس‌های مختلف را از هم دور می‌کند، داده‌های مربوط به ۱۵ مورد مخلوط روغن طبقه‌بندی شد. نتایج حاصل از طبقه‌بندی به روش LDA برای مخلوط روغن زیتون-آفتابگردان و روغن زیتون-کلزا به ترتیب در جدول‌های ۱ و ۲ آمده‌است. در جدول‌های ۱ و ۲ نمادهای O، S و C به ترتیب به روغن آفتابگردان، روغن زیتون و روغن کلزا اشاره دارند.

جدول ۱- نتایج تحلیل تفکیک خطی روغن زیتون - آفتابگردان

	واقعی							
	O100	O95S5	O90S10	O80S20	O70S30	O60S40	O50S50	S100
O100	۲۵	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
O95S5	۰	۲۵	۰	۰	۰	۰	۰	۰
O90S10	۰	۰	۲۵	۰	۰	۰	۰	۰
O80S20	۰	۰	۰	۲۵	۰	۰	۰	۰
O70S30	۰	۰	۰	۰	۲۵	۰	۰	۰
O60S40	۰	۱	۰	۰	۰	۲۳	۱	۰
O50S50	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۲۵	۰
S100	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۲۵

جدول ۲- نتایج تحلیل تفکیک خطی روغن زیتون - کلزا

	واقعی						
	O95C5	O90C10	O80C20	O70C30	O60C40	O50C50	C100
O95C5	۲۵	۰	۰	۰	۰	۰	۰
O90C10	۰	۲۵	۰	۰	۰	۰	۰
O80C20	۰	۰	۲۴	۰	۰	۰	۰
O70C30	۰	۳	۲	۱۸	۰	۰	۱
O60C40	۰	۰	۰	۰	۲۵	۱	۲
O50C50	۰	۰	۰	۰	۰	۲۵	۰
C100	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۲۵

زیتون و کلزا (جدول ۲) مشخص است، سامانه به‌خوبی توانسته‌است اکثر نمونه‌های تقلبی را تشخیص دهد. نتایج

همان‌طور که از ماتریس اغتشاش مربوط به روغن زیتون و آفتابگردان (جدول ۱) و همچنین ماتریس اغتشاش روغن

همان‌طور که از جدول‌های ۳ و ۴ مشخص است، در بیشتر کلاس‌ها شاخص دقت بالا بوده است. همچنین، نمونه O60S40 نیز به ترتیب با داشتن مقادیر شاخص‌های حساسیت، اختصاصی بودن و دقت، ۹۹، ۱۰۰ و ۹۲ ضعیف‌ترین نتیجه را در میان نمونه‌های روغن زیتون-آفتابگردان نشان داد.

در میان نمونه‌های روغن زیتون-کلزا، نمونه O60C40 با داشتن مقادیر حساسیت ۱۰۰، اختصاصی بودن ۹۸ درصد و دقت ۷۲ درصد ضعیف‌ترین نتیجه را نشان داد. با توجه به مقادیر جدول‌های ۳ و ۴ میانگین دقت کل برای کلیه نمونه‌ها ۹۷ درصد به دست آمده است. نتایج حاصل از ماتریس اغتشاش نشان می‌دهد که طیف‌سنجی دی‌الکتریک (خازنی) با دقت خوبی نمونه‌های روغن اصل را از تقلبی تشخیص داده است.

حاصل از روش LDA، نشان از موفقیت طبقه‌بندی روغن زیتون اصل از تقلبی دارد. سامانه تنها ۳ نمونه روغن را به‌طور کامل نتوانسته است درست تشخیص دهد. در میان تمامی نمونه‌های روغن، نمونه‌ای که حاوی ۶۰ درصد روغن زیتون و ۴۰ درصد روغن کلزا (O60C40) است، با دقت کمی طبقه‌بندی شده است. با توجه به جدول ۲، تنها ۱۸ تکرار به‌درستی طبقه‌بندی شده است؛ در حالیکه ۲ تکرار به‌اشتباه در طبقه O50C50، ۳ تکرار در طبقه O70C30 و ۲ تکرار در C100 قرار گرفته است. می‌توان نتیجه گرفت در سایر کلاس‌ها، طبقه‌بندی با دقت مطلوبی صورت گرفته است. در گام بعد، نتایج حاصل از شاخص‌های حساسیت، اختصاصی بودن و دقت برای روغن زیتون، آفتابگردان و کلزا محاسبه و در جدول‌های ۳ و ۴ ارائه شده است. لازم به ذکر است اعداد موجود در این جدول‌ها به صورت درصد بیان شده است.

جدول ۳- نتایج حاصل از حساسیت، اختصاصی بودن و دقت روغن زیتون - آفتابگردان

	O100	O95S5	O90S10	O80S20	O70S30	O60S40	O50S50	S100
حساسیت	۱۰۰	۹۶	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۹۶	۱۰۰
اختصاصی بودن	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۹۹	۱۰۰	۱۰۰
دقت	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۹۲	۱۰۰	۱۰۰

جدول ۴- نتایج حاصل از حساسیت، اختصاصی بودن و دقت روغن زیتون - کلزا

	O95C5	O90C10	O80C20	O70C30	O60C40	O50C50	C100
حساسیت	۱۰۰	۸۹	۹۳	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۸۹
اختصاصی بودن	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۹۸	۰	۱۰۰
دقت	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۹۶	۷۲	۱۰۰	۱۰۰

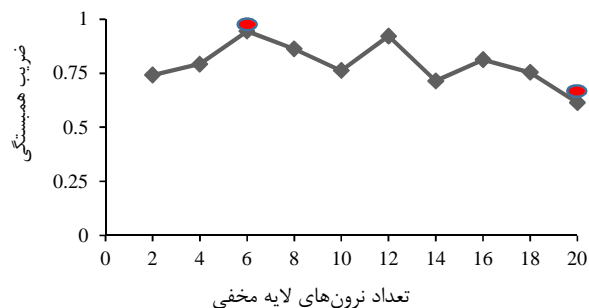
همان‌طور که در شکل‌های ۵ و ۶ مشاهده می‌شود، شبکه عصبی با ساختار تک‌لایه و الگوریتم LM عملکرد بسیار خوبی در تخمین تقلب داشته است. با توجه به شکل ۵، کمترین و بیشترین مقدار ضریب همبستگی به ترتیب برابر ۰/۶۱ (با ۲۰ نرون) و ۰/۹۴ (با ۶ نرون) مشاهده شد. همچنین، در نمودار مربوط به ضریب همبستگی مخلوط روغن زیتون- روغن کلزا (شکل ۶)، کمترین شاخص ضریب همبستگی با مقدار ۰/۶۰ (۱۶ نرون) و بیشترین با مقدار ۰/۹۴ (۱۰ نرون) مشاهده گردید. شکل‌های ۷ و ۸ مربوط به مقادیر MSE شبکه عصبی مصنوعی با تعداد نرون مختلف با یک لایه مخفی به ترتیب برای مخلوط روغن زیتون- آفتابگردان و روغن زیتون- کلزا می‌باشد.

### استخراج ویژگی‌های رنگی

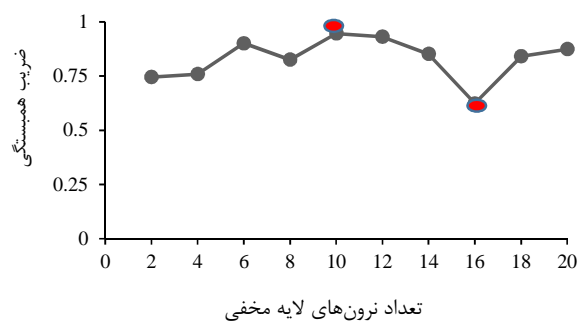
در این بخش، ویژگی‌های رنگی نمونه‌های روغن استخراج شد و از شبکه‌های عصبی مصنوعی برای تعیین تقلب استفاده گردید.

نتایج حاصل از پیش‌بینی شبکه عصبی نیز در ادامه آورده شده است. شبکه عصبی مصنوعی استفاده‌شده در این تحقیق برای تعیین تقلب نمونه‌های مختلف روغن از پرسپترون چندلایه با ساختار یک لایه مخفی و الگوریتم یادگیری LM استفاده شد.

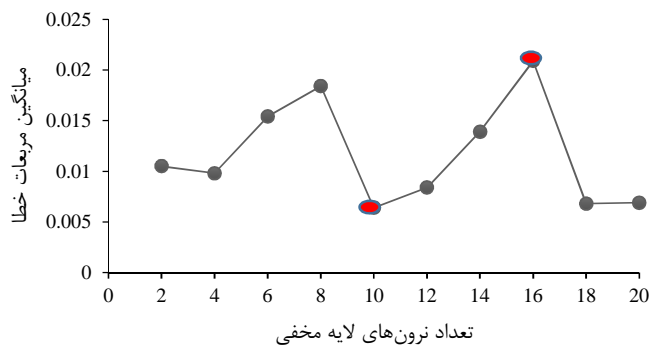
شکل ۵، نتایج ارزیابی شبکه عصبی تک‌لایه را با تعداد نرون‌های بین ۴ تا ۲۰ در لایه مخفی برای نمونه‌های روغن زیتون- آفتابگردان و شکل ۶، نتایج ارزیابی شبکه عصبی نمونه‌های روغن زیتون- کلزا را نشان می‌دهد.



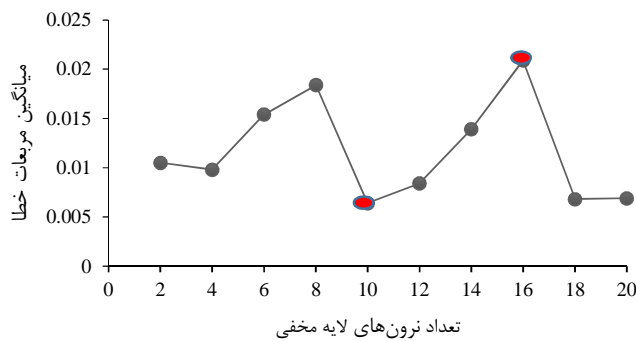
شکل ۵- مقدار ضریب همبستگی به‌دست‌آمده برای شبکه‌های عصبی مختلف روغن زیتون - آفتابگردان



شکل ۶- مقدار ضریب همبستگی به‌دست‌آمده برای شبکه‌های عصبی مختلف روغن زیتون - کلزا



شکل ۷- مقدار میانگین مربعات خطا به‌دست‌آمده برای شبکه‌های عصبی مختلف روغن زیتون - آفتابگردان



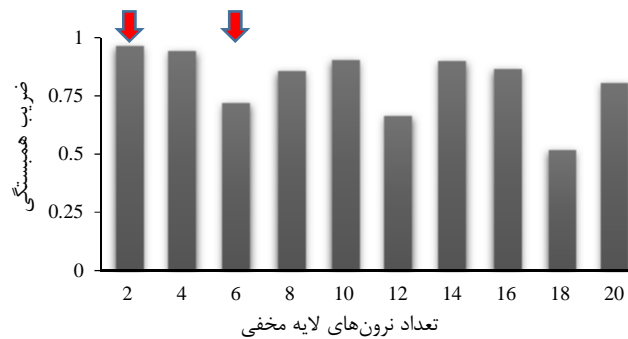
شکل ۸- مقدار میانگین مربعات خطا به‌دست‌آمده برای شبکه‌های عصبی مختلف روغن زیتون - کلزا



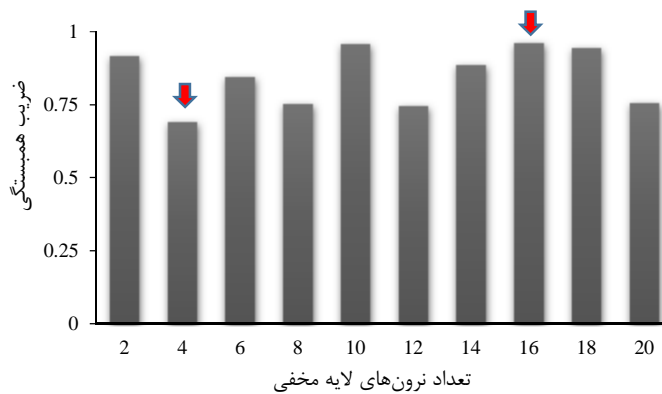
### استخراج ویژگی‌های رنگی و دی‌الکتریک

در گام بعد، ویژگی‌های رنگی و دی‌الکتریک به طور هم‌زمان استخراج و استفاده شدند. در این بخش، ویژگی‌های رنگی و بسامدی از نمونه‌ها به دست آمد و با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی، شاخص غلظت روغن‌ها پیش‌بینی شد. شبکه عصبی مصنوعی استفاده‌شده در این پژوهش دقیقاً مشابه بخش ویژگی‌های رنگی بوده و با الگوریتم LM آموزش یافته‌است. شکل‌های ۹ و ۱۰، نتایج حاصل از شبکه‌ای را نشان می‌دهد که با تعداد مختلف نرون آموزش داده شده‌است.

با توجه به شکل ۷، نتایج به‌دست‌آمده بیانگر عملکرد مطلوب شبکه عصبی توسعه داده شده‌است. مشاهده شد که کمترین و بیشترین خطا به ترتیب  $0/0003$  (۶ نرون) و  $0/0028$  (۲۰ نرون) است. همچنین، در شکل ۸ برای مخلوط روغن زیتون و روغن کلزا کمترین خطا برای تعداد نرون ۱۰ و بیشترین خطا برای تعداد نرون ۱۶ به ترتیب مقادیر  $0/0064$  و  $0/0209$  به دست آمد.



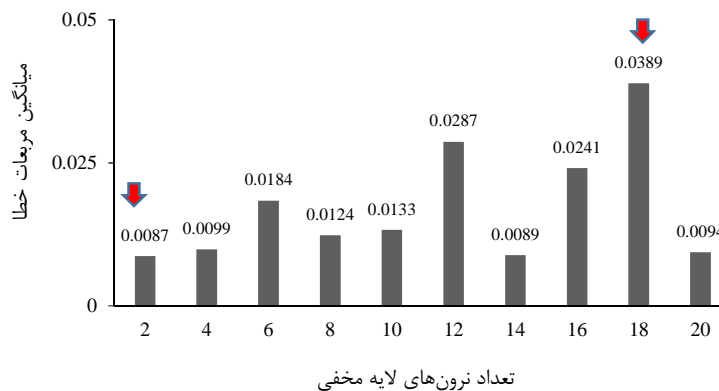
شکل ۹- مقدار ضریب همبستگی به‌دست‌آمده برای شبکه‌های عصبی مختلف روغن زیتون - آفتابگردان



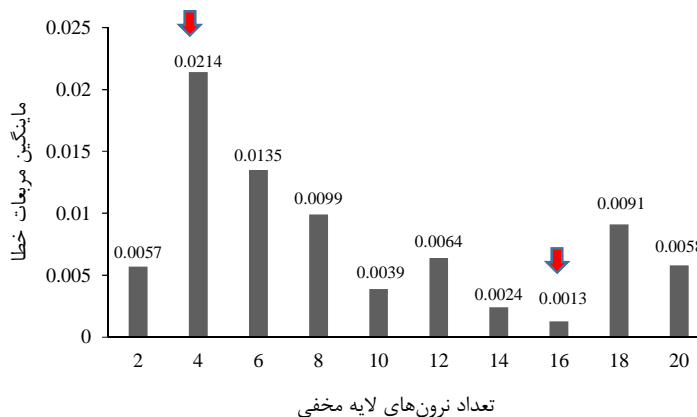
شکل ۱۰- مقدار ضریب همبستگی به‌دست‌آمده برای شبکه‌های عصبی مختلف روغن زیتون - کلزا

ادامه، مقدار میانگین مربعات خطا در شکل‌های ۱۱ و ۱۲ به ترتیب نشان داده شده‌است. در شکل ۱۱ بیشترین و کمترین مقدار، به ترتیب در شبکه‌های عصبی با تعداد نرون‌های ۱۸ و ۲ مشاهده شد. همچنین، با توجه به شکل ۱۲ کمترین مقدار MSE با تعداد نرون ۱۶،  $0/0013$  و بیشترین مقدار MSE با ۴ نرون،  $0/0214$  است.

کمترین و بیشترین ضریب همبستگی به ترتیب  $0/55$  (با ۱۸ نرون) و  $0/96$  (با ۲ نرون) است. همچنین کمترین ضریب همبستگی برای نمونه روغن زیتون - روغن کلزا مربوط به شبکه عصبی با تعداد ۴ نرون در لایه مخفی به مقدار  $0/68$  و بیشترین، مربوط به شبکه عصبی با تعداد نرون ۱۶ در لایه مخفی و مقدار  $0/96$  مشاهده شد. در



شکل ۱۱- مقدار میانگین مربعات خطا به دست آمده برای شبکه‌های عصبی مختلف روغن زیتون - آفتابگردان



شکل ۱۲- مقدار میانگین مربعات خطا به دست آمده برای شبکه‌های عصبی مختلف روغن زیتون - کلزا

### نتیجه‌گیری

در این پژوهش، یک نمونه از سامانه تشخیص تقلب روغن زیتون بر اساس رنگ و شاخص دی‌الکتریک آن مورد ارزیابی قرار گرفت. سامانه با دریافت ویژگی‌های رنگی توسط دوربین و خواص دی‌الکتریک در بسامدهای مختلف، تقلب روغن زیتون را پیش‌بینی و طبقه‌بندی می‌کند. با توجه به مقادیر جدول‌های مربوط به شاخص‌های آماری حساسیت، اختصاصی بودن و دقت، میانگین دقت کل برای تمام نمونه‌ها ۹۷ درصد به دست آمد.

نتایج حاصل از تکنیک شبکه عصبی، مقدار ضریب همبستگی و میانگین مربعات خطا را به ترتیب برای نمونه‌های مخلوط‌شده زیتون و آفتابگردان برابر ۰/۹۴۴ و ۰/۰۰۶ و برای نمونه‌های مخلوط‌شده زیتون و کلزا به ترتیب برابر ۰/۹۴۶ و ۰/۰۰۳ نشان داد. نتایج ارزیابی‌ها نشان داد که سامانه طراحی‌شده، توانایی تشخیص دقیق تقلب مورد نظر دارا است. با توجه به اینکه آزمایش

درخصوص نتایجی که Soltani *et al* (2015) در درجه‌بندی تخم‌مرغ با استفاده از پردازش تصویر و حسگر خازنی گزارش دادند، شاخص‌های بهینه آماری ضریب همبستگی و میانگین مربعات خطا به ترتیب ۰/۹۸ و ۰/۰۰۶ به دست آمد. آن‌ها از یک شبکه عصبی دو لایه با ۲ ورودی (طول قطر بزرگ و قطر کوچک)، یک لایه مخفی و یک خروجی (حجم تخم‌مرغ) برای پیش‌بینی حجم تخم‌مرغ استفاده کردند. ۷۰ درصد داده‌ها برای آموزش شبکه، ۱۵٪ برای اعتبارسنجی و ۱۵٪ بقیه نیز برای آزمایش شبکه اختصاص یافت. به منظور انتخاب بهترین شبکه، تعداد نرون‌های لایه مخفی از ۲ تا ۵۰ تغییر داده شد (Soltani *et al.*, 2015). Lizhi *et al.* (2010) نتایج مشابهی را برای پیش‌بینی تقلب روغن زیتون با روغن سویا گزارش دادند. آن‌ها میزان خطا و ضریب تبیین را به ترتیب ۰/۰۱۷ و ۰/۹۶۷ به دست آوردند.

- Characterisation and olive oil quantification using fatty acids composition and chemometric tools. Part II. Food Chemistry, 145: 584-592.
11. Monfreda, M. and Gobbi, L. 2014. Blends of olive oil and seeds oil: characterization and olive oil quantification using fatty acids composition. Food Chemistry, 145: 584-592.
  12. Reboredo, D. R. Driguez, L. Rey Salgueiro, J. Ragueiro, C. and Gonzalez, H. 2013. Ultrasound assisted emulsification-microtraction for the determination of phenolic compounds in olive oils, Food Chemistry, 25(13): 16-63
  13. Scott, S. M. and James, I. 2006. Data analysis for electronic nose systems. Microchimica Acta1, 56:183-207.
  14. Siswantor, J. A. Prabuwno, A. Azizi, I. and Bahari, T. 2016. A linear model based on kalmanfilter for improving neural network classification performance, Expert System with Applications, 49: 112-122.
  15. Soltani, M. and Omid, M. 2015. Detection of poultry egg freshness by dielectric spectroscopy and machine learning techniques. LWT-Food Science and Technology, 62(2): 1034-1042.
  16. Soltani, M. Omid, M. and Alimardani, R. 2015. Egg quality prediction using dielectric and visual properties based on artificial neural network. Food analytical methods, 8(3): 710-717.
  17. Teimouri, N. Omid, M. Mollazade, K. and Rajabipour, A. 2015. An Artificial Neural Network-Based Method to Identify Five Classes of Almond According to Visual Features. Journal of Food Process Engineering, 39(6): 625-635.
  18. Tudu, B. B. Bhattacharyya, N. Bandy, R. and Padhyay, D. 2008. Comparison of multivariate normalization techniques as applied to electronic nose based pattern classification for black tea. Sensing technology, 2008, ICST2008, 3rd International Conference on IEEPP. 254-258.
  19. Zheng, C. Sun, D. W. and Zheng, L. 2006. Recent developments and applications of image features for food quality evaluation and inspection—a review. Trends in Food Science & Technology, 17(12): 642-655.
- انجام‌شده بر روی این سامانه با روغن‌های کلزا و آفتابگردان بوده است، می‌توان سامانه را با توجه به نیازهای اقتصادی دیگر اعم از مخلوط‌کردن روغن زیتون با روغن‌های مختلف دیگر به جزء روغن‌های مذکور نیز واسنجی کرد.
- ### منابع
1. Alouache, B. Khechena, F. K. Lecheb, F.T. and Boutkedjirt, F. 2015. Characterization of olive oil by ultrasonic and physic-chemical methods, Physics Procedia, 7: 1061-1065.
  2. Beygami, M. Dadgar, B. and Eslami, M. 2013. Review and compare fatty acid composition and quality characteristics of olive oils and foreign. In 21th National Congress of Food Science and Technology, 14-17 Oct., Shiraz University, Shiraz, pp. 853-858. (in Farsi).
  3. Bougrini, M. Tahri, K. Haddi, Z. Saidi, T. El Bari, N. and Bouchikhi, B. 2014. Detection of adulteration in argan oil by using an electronic nose and a voltammetric electronic tongue. Journal of Sensors, 2014.
  4. Cano Marchal, P. Martinez Gila, D. Gomez Garcia, J. J. and Gomez Ortega, N. 2013. Expert system based on computer vision to estimate the content of impurities in olive oil samples. Journal of food engineering, 119(2): 220-228.
  5. Food and Agriculture Organization. 2014. Biodiversity: Agricultural biodiversity in FAO. Retrieved January 12, 2014, from <http://www.fao.org/biodiversity>.
  6. Ghasemi-Varnamkhasti, M. Mohtasebi, S. S. Siadat, M. Lozano, J. Ahmadi, H. Razavi, S. H. and Dicko, A. 2011. Aging fingerprint characterization of beer using electronic nose. Sensors and Actuators B: Chemical, 159(1): 51-59.
  7. Gurdeniz, G. and Ozen, B. 2009. Detection of adulteration of extra-virgin olive oil by chemometric analysis of mid-infrared spectral data. Food Chemistry, 116(2): 519-525.
  8. Lizhi, H. Toyoda, K. and Ihara, I. 2010. Discrimination of olive oil adulterated with vegetable oils using dielectric spectroscopy. Journal of Food Engineering, 96(2): 167-171.
  9. Mildner--Skudlarz, S. and Jeleń, H. H. 2010. Detection of olive oil adulteration with rapeseed and sunflower oils using mos electronic nose and smpe-ms. Journal of Food Quality, 33(1): 21-41.
  10. Monfreda, M. Gobbi, L. and Grippa, A. 2014. Blends of olive oil and seeds oils:

