

*Research Article***Feasibility Assessment of Employing Near-Infrared/Visible Spectroscopy for Detecting Olive Pomace Oil Adulteration Using LDA and SVM Identification Methods****Shirin Asadian¹, Ahmad Banakar^{2*}, Bahareh Jamshidi³**

1. MSc Student, Biosystems Engineering Department, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran.
2. Associate Professor, Biosystems Engineering Department, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran.
3. Associate Professor, Agricultural Engineering Research Institute, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran.

(Received 19 October 2023, Received in revised form 14 May 2024, Accepted 27 May 2024)

Introduction

Olive oil is a commercially valuable product, so it is often adulterated with other edible oils such as sunflower, hazelnut oil, pomace oil and other oils that have a fatty acid composition close to olive oil. Accordingly, quality control of this oil is one of the issues and it is very important in health and food safety. After extracting olive oil by physical techniques, a residue is created that contains more than 8% oil and can be extracted by a solvent (usually hexane). This oil is called pomace olive oil. Due to the characteristics of the solvent, the oil extracted from the solvent has more trace elements. Pomace olive oil is carcinogenic due to extraction from chemical solvents and as a result of being contaminated with benzo(a)pyrene, monochloropropane DLs and cyclic hydrocarbons and has an adverse effect on nerves and other body organs. Currently, gas chromatography method is used to detect adulteration in olive oil. Further, in the health system, to control the quality of food, including olive oil, compared to other frauds and the quantity of fatty acids, it is done by chemical tests and gas chromatography tests, which are expensive and time-consuming methods and require specialized quality control laboratories and specialized human resources. It should be noted that the presence of pomace olive oil in virgin olive oil and refined olive oil cannot be detected by gas chromatography, and detection of adulteration in these cases is not applicable by chromatography. The past studies show the high importance of spectroscopy as a fast, simple, low-cost method with acceptable accuracy in measuring the quality of agricultural products. For this reason, its use in different ways and for different products is expanding day by day. In this research, pomace olive oil adulteration was identified using a fast and non-destructive visible-near-infrared (Vis/NIR) spectroscopy method without measuring qualitative properties using pattern recognition methods such as LDA and SVM.

Materials and Methods

The extra-virgin, virgin and refined olive oils used in this research were prepared from the Etko olive oil factory in Varamin, Tehran province. The sample of raw and non-edible pomace oil was also obtained from a pharmaceutical, cosmetic and health company. Extra virgin olive oil, virgin and refined olive oil were mixed with pomace oil with weight percentages of 11, 20, 33, 50 and 100%. These percentages were chosen according to the frauds in the market. A total of 160 samples were prepared with ten replicates for each treatment. The visible/near infrared spectrum was used using a two-way fiber, which is the central part for light transmission from the sample to the detector and the outer fiber for light transmission from the radiation source to the sample, and in the transition state and in the 200-850 nm region using Spectrometer model usb2000 made by ocean optic company and recorded with 1 nanometer resolution by OceanView software. The spectral data obtained from the spectrometer, in addition to the sample information, also includes unwanted background information and noises.

* Corresponding authors: ah_banakar@modares.ac.ir

Hence, in order to achieve stable, accurate and reliable calibration models, there is a need to pre-process spectral data before formulating classification models appropriate to the data. After recording and saving the obtained spectra for the analysis of the received spectra, data preprocessing was done. Part of the data from the 550 nm area already had high noise and could not be smoothed by the usual pre-processing methods, so they were removed. After the transmission spectra obtained from all the samples were converted into absorption spectra in order to create a linear relationship with the molecular concentration of the sample, to prepare and pre-process the spectra some smoothing and noise reduction methods such as moving average (MA), Savitzky Golay (SG), Standard normal variate (SNV) and first derivative (D1) were adopted. The samples were divided into two groups of training (80 percent) for the development of calibration models, and the test group (20 percent) for the external validation of the developed calibration models in order to check the ability and accuracy of the models in classifying different percentages of fraud of unknown samples. Linear discriminant analysis (LDA) and support vector machine (SVM) were used in this research. Evaluation of the built model with full cross-validation method is used to select the model with the highest classification ability among the statistical models. In other words, after building the model in the re-evaluation phase, the reliability and stability of the model was also investigated. In this research, three types of Linear, Quadratic and Mahalanobis functions and four different weighting coefficients (1/SDev, Constant, Block weighting and Downweight) were used to create a classification model using LDA method.

Results and Discussion

Our findings show that extra-virgin olive oil has higher absorption in almost all spectra than virgin and refined olive oils and pomace, and this is also consistent with previous researches. Three types of Linear, Quadratic and Mahalanobis functions were used to create the classification model by LDA method. The results obtained from LDA method showed that MA preprocessing based on Quadratic function provides the highest accuracy. In the next step, SG preprocessing based on the Quadratic function provided a better accurate model than other preprocessing methods. Therefore, in this method, the use of MA and SG preprocessing and the Quadratic function had a greater effect in building models with higher accuracy. It is worth mentioning that different weight coefficients had no effect on the accuracy of LDA method. Choosing the appropriate weighting coefficients depends on the type of data and usually by trial and error, the appropriate method of applying the weighting coefficient can be achieved. Two types of C-SVM and Nu-SVM were used to classify the samples in the SVM method. Four types of kernel functions including linear, quadratic, radial basis function and sigmoid were used. The linear function with MA preprocessing with training accuracy of 100 and validation accuracy of 97.5 had the highest validation accuracy in the classification of olive oil samples. It is worth noting that linear function and C-CVM method had a great effect on more accurate models with different pre-processing. Therefore, both SVM and LDA modeling methods had a very acceptable performance in separating and categorizing the research treatments. The SVM method is preferred due to its greater accuracy in the calibration and validation section.

Conclusions

In this research, a visible/near infrared (Vis/NIR) spectroscopic system was investigated to classify olive oil samples with different adulteration percentages with pattern recognition methods including LDA and SVM. The obtained results showed that spectroscopy (Vis/NIR) is able to distinguish olive oil samples based on pomace olive oil adulteration rate. Although the LDA method was able to classify the olive oil samples with acceptable accuracy, the SVM method with a training accuracy of 96.69 and a validation accuracy of 95.86 was the best method for classifying the samples. Moreover, based on the results, the linear function considered as the best function for constructing the classification model was determined by SVM method.

Keywords: Fraud, Linear discriminant analysis, Pomace oil, Support vector machine

How to cite this article:

Asadian, Sh., Banakar, A., & Jamshidi, B., (2024). Feasibility Assessment of Employing Near-Infrared/ Visible Spectroscopy for Detecting Olive Pomace Oil Adulteration Using LDA and SVM Identification Methods., *Innov. Food Technol.*, 11(2), 155-171., DOI: <http://dx.doi.org/10.22104/ift.2024.6519.2155>

مقاله پژوهشی

امکان‌سنجی به‌کارگیری طیف‌سنجی مرئی / فروسرخ نزدیک برای تشخیص تقلّب روغن تفاله زیتون با روش‌های شناسایی SVM و LDA

شیرین اسدیان^۱، احمد بناکار^{۲*}، بهاره جمشیدی^۳

۱. شیرین اسدیان، دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

۲. احمد بناکار، دانشیار، گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

۳. بهاره جمشیدی، دانشیار مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران

(تاریخ ارسال: ۱۴۰۲/۰۷/۲۷، تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۲/۲۵، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۳/۷)

چکیده

زیتون، میوه‌ای مدیترانه‌ای است که به دلیل روغن مفیدش، کشت آن از دیرباز مورد توجه بوده است. روغن زیتون فرابکر، همواره انتخاب اول مصرف‌کنندگان بوده است و همین استقبال، زمینه‌ساز تقلّب در روغن‌های زیتون بکر و فرابکر شده است چنان‌که سودجویان با افزودن روغن‌هایی همچون کانولا، آفتابگردان، تفاله زیتون و غیره محصولاتی را به بازار عرضه کرده‌اند. تشخیص تقلّب در روغن‌های گیاهی با ترکیبات مشابه و گونه‌های متفاوت، با روش‌های مرسوم، از جمله کروماتوگرافی گازی، مشکل و زمان‌بر است و نیاز به آماده‌سازی نمونه و اپراتور دارد؛ به همین دلیل، کاربرد فناوری‌های غیرمخرب مطرح شدند. در این پژوهش، با استفاده از فناوری طیف‌سنجی مرئی/فروسرخ نزدیک^۱ (Vis/NIR)، تشخیص تقلّب روغن پومیس (روغن تفاله زیتون) بررسی شد. از سه نوع روغن زیتون فرابکر، بکر و روغن زیتون تصفیه‌شده برای نمونه‌گیری استفاده شد؛ همچنین نمونه‌ها در شش دسته خالص، ۱۱، ۲۰، ۳۳، ۵۰ و ۱۰۰٪ تقلّب ساخته شدند. هر تیمار، در ده نمونه تهیه و آزمایش‌ها انجام شد. در ادامه به منظور تحلیل ویژگی‌های کیفی و طبقه‌بندی داده‌های مستخرج از طیف‌سنج، از روش‌های بازشناسی الگو شامل تحلیل تفکیک خطی (LDA) و ماشین بردار پشتیبان (SVM) استفاده شد. نتایج به‌دست‌آمده نشان داد که طیف‌سنجی مرئی/فروسرخ نزدیک (Vis/NIR) قادر به تفکیک نمونه‌های روغن زیتون براساس درصد‌های مختلف تقلّب پومیس است. هرچند روش LDA توانست باصحت قابل‌قبولی نمونه‌های روغن زیتون را با توجه به نرخ تقلّب دسته‌بندی کند، اما روش SVM با صحت آموزش ۹۶/۶۹٪ و اعتبارسنجی ۹۵/۸۶٪ از صحت و برازش مطلوب‌تری برخوردار بود. طبق نتایج، تابع خطی، به‌عنوان بهترین تابع برای ساخت مدل‌های دسته‌بندی به روش SVM پیشنهاد شد.

کلیدواژه‌ها: تحلیل تفکیک خطی، تقلّب، روغن پومیس، ماشین بردار پشتیبان.

* نویسنده مسئول: ah_banakar@modares.ac.ir

^۱ Visible Near Infrared

۱. مقدمه

درخت زیتون درختی مقاوم، بردبار و همیشه‌سبز است که میوه آن برای تغذیه به‌صورت کنسرو^۱ و روغن‌کشی^۲ مورد استفاده قرار می‌گیرد [۱]. در حال حاضر بیش از ۹۵٪ درختان زیتون جهان در مناطق مدیترانه‌ای رشد می‌کنند. نزدیک به ۸۱٪ کل تولید زیتون از اتحادیه اروپا (اسپانیا، ایتالیا، یونان، پرتغال و فرانسه)، حدود ۷٪ از خاور میانه و حدود ۱۱٪ از آفریقای شمالی تأمین می‌شود. ۱٪ باقیمانده به مناطق آمریکایی، مثل آرژانتین، مکزیک، پرو و ایالات متحده تعلق دارد [۲]. لپیدها نقش کلیدی در سلامت انسان دارند [۳]. روغن زیتون از زمان‌های قدیم از نظر خوراکی و حتی درمانی بسیار مورد توجه بوده است؛ به‌طوری‌که روغن زیتون می‌تواند در درمان بیماری‌های قلبی عروقی به‌کار گرفته شود [۴]. روغن زیتون از نظر تجاری محصولی ارزشمند است، بنابراین اغلب در معرض تقلب با سایر روغن‌های خوراکی مانند آفتابگردان، روغن فندق، روغن پومیس و دیگر روغن‌ها با ترکیب اسیدهای چرب مشابه، مانند کانولا و کنجد است [۵]. تقلب در مواد غذایی از جنبه‌های زیان اقتصادی به مصرف‌کننده، زیان آسیب به سلامتی و یا عدم بهره‌مندی از فواید تغذیه‌ای و جنبه روانی آن یعنی عدم اعتماد به محصول معرفی شده، نیازمند تحقیق و بررسی و نیز تصویب و اجرایی‌نمودن الزامات، قوانین و استانداردهای مربوط هستند. تقلب در مواد غذایی مخصوصاً در روغن زیتون، با افزودن مواد با ارزش غذایی و قیمت پایین‌تر به روغن اصل ایجاد می‌شود. این افزونه، باعث تغییر در بعضی ویژگی‌ها می‌گردد. تشخیص روغن اضافه‌شده به روغن زیتون، چندان آسان نیست؛ چراکه گاهی روغن اضافه را طوری انتخاب می‌کنند که هیچ تغییری در شاخص‌ها (عدد یدی، عدد صابونی، تغییر ضریب شکست، نور و غیره) به وجود نیاید [۶]. روغن زیتون بکر با کیفیت بالا را می‌توان تنها از میوه‌های سالم و تازه با درجه رسیدگی مناسب تولید کرد. نوع و میزان

ترکیبات شیمیایی موجود در روغن زیتون، به عواملی نظیر رقم، شرایط اقلیمی و روش استخراج وابسته است [۵]. پارامترهای فنی مانند روش‌های نگهداری و مدت‌زمان فرایند هم می‌تواند بر کیفیت روغن دخالت داشته باشد. پایداری اکسایشی و ارزش تغذیه‌ای روغن زیتون نسبت به روغن‌های گیاهی دیگر، به دلیل وجود ترکیبات آنتی‌اکسیدانی طبیعی، بیشتر است [۷].

باتوجه به این‌که روغن زیتون، نوعی روغن مصرفی برای پخت‌وپز است، روی سلامتی عموم مردم، به‌ویژه بیماری‌های قلبی عروقی، دیابت و سرطان تأثیرگذار است [۸]. بر این اساس، کنترل کیفیت این روغن یکی از مسائل پراهمیت در بهداشت و ایمنی مواد غذایی است [۹]. همچنین به دلیل این‌که روغن زیتون، یک روغن گران‌قیمت است و می‌تواند در معرض تقلب افراد سودجو قرار گیرد. از این رو، وجود استانداردها در سطوح مختلف، امری ضروری و مهم است. از طرفی تنوع کشورهای تولیدکننده آن نیز لزوم توجه به حفظ کیفیت واردات این روغن را افزایش می‌دهد. پس از به‌دست‌آوردن روغن زیتون با تکنیک‌های فیزیکی، تفاله‌ای ایجاد می‌شود که محتوی بیش از ۸٪ روغن است و می‌تواند توسط حلال (معمولاً هگزان) استخراج شود. این روغن، روغن پومیس^۴ نام دارد. به علت خصوصیات حلال، روغن استخراج‌شده با حلال، مقادیر بیشتری از اجزاء کمیاب را داراست [۱۰]. روغن پومیس به علت استخراج با حلال‌های شیمیایی و در نتیجه آلوده‌بودن به بنزوالفایپیرن^۵، مونوکلوروپروپان دی‌ال‌ها^۶ و هیدروکربن‌های حلقوی^۷، سرطان‌زا است و روی اعصاب و سایر ارگان‌های بدن تأثیر نامطلوب دارد [۱۱].

محتوای میزان اسیدهای چرب^۸ یک پارامتر مهم برای ارزیابی کیفیت روغن محسوب می‌شود. از ترکیبات اصلی روغن زیتون، اسیدهای چرب هستند. روغن زیتون دارای ۱۵-۱۰٪ اسید چرب اشباع^۹ و ۸۰-۷۰٪ اسید چرب غیراشباع^{۱۰} است [۱۲]. فراوان‌ترین اسید چرب موجود در روغن زیتون، اسید اولئیک

^۱ Monochloropropane DL

^۲ Cyclic hydrocarbons

^۳ Fatty acids

^۴ Saturated fatty acid

^۵ Unsaturated fatty acids

^۱ Canned

^۲ Oil Extraction

^۳ Virgin Olive Oil

^۴ Pomace Olive Oil

^۵ Benze Alphaperenn

فوائد استفاده از این روش‌ها هستند. بنا بر همین دلایل، امروزه از این فناوری به شکل گسترده‌ای در صنایع کشاورزی، غذا، دارو و پتروشیمی استفاده می‌شود [۱۷]. یکی از کاربردهای مناسب روش طیف‌سنجی، آشکارسازی افزودنی‌های تقلبی در محصولات به‌ویژه مواد غذایی پرکاربرد و گران‌قیمت است [۱۸]. در پژوهشی از طیف‌سنجی^۵ FTIR برای تجزیه و تحلیل و طبقه‌بندی روغن‌های زیتون فرابکر در مناطق مختلف مراکش استفاده شد. در این تحقیق، از خوشه‌بندی^۶ به همراه آنالیز تفکیک حداقل مربعات جزئی^۷ استفاده شده است. براساس آنالیز خوشه‌بندی و آنالیز مؤلفه‌های اصلی^۸ چهار خوشه متمایز شناسایی شدند. این روش، نتایج قابل اعتمادی را در طبقه‌بندی روغن زیتون فرابکر از مناطق مختلف مراکش با مزایای سریع، ارزان بودن و بدون نیاز به روش جداسازی قبلی ارائه می‌دهد [۱۹]. از ترکیب روش‌های بینی الکترونیک^۹ و زبان الکترونیک^{۱۰} نیز برای توصیف پنج روغن زیتون بکر^{۱۱} (VOO) از مناطق مختلف جغرافیایی مراکش استفاده شد. آنالیز مولفه‌های اصلی نشان داد که وقتی از هرکدام از دو روش به‌تنهایی استفاده می‌شود نمی‌توان آن‌ها را به‌طور مشخص از یکدیگر تفکیک کرد. آنالیز کلاس‌بندی به روش ماشین بردار پشتیبان^{۱۲} (SVM) انجام شد و نشان داد نمونه‌ها با توجه به منشأ جغرافیایی‌شان به‌درستی طبقه‌بندی شدند. نتایج به‌دست‌آمده از داده‌ها، به‌صورت ترکیبی (استفاده هم‌زمان از بینی و زبان الکترونیک) از نتایج طبقه‌بندی به‌صورت جداگانه بهتر عمل کردند [۲۰]. در تحقیق دیگری، تقلب روغن زیتون، با استفاده از پردازش تصویر و طیف‌سنجی دی‌الکترونیک، از لحاظ ترکیب آن با روغن‌های ذرت، کلزا، آفتابگردان و سویا بررسی شد. مقادیر ضریب همبستگی و میانگین مربعات خطا برای نمونه‌های مخلوط‌شده زیتون و آفتابگردان برابر ۰/۹۶۲ و ۰/۰۰۸ و برای نمونه‌های مخلوط‌شده زیتون و کلزا مقادیر ۰/۹۶۱ و ۰/۰۱۳ حاصل شد. نتایج ارزیابی‌ها نشان داد که سامانه طراحی‌شده، از

است [۱۳]. با بهره‌گیری از کروماتوگرافی گازی^۱ (GC) می‌توان درصد اسیدهای چرب را با دقت بالا به‌دست آورد و از این طریق، نوع روغن زیتون را تشخیص داد. کروماتوگرافی دقیق‌ترین روش تحلیلی است [۱۴]. در حال حاضر از روش کروماتوگرافی گازی برای شناسایی تقلب در روغن زیتون استفاده می‌شود. همچنین در ارزیابی انطباق برای کنترل کیفیت مواد غذایی، از جمله روغن زیتون برای اصالت‌سنجی، تشخیص، تعیین تقلبات و کمیته اسیدهای چرب، توسط آزمایش‌های شیمیایی و تست کروماتوگرافی گازی صورت می‌پذیرد که نسبت به روش‌های غیرمخرب، مانند طیف‌سنجی مرئی-فروسرخ نزدیک روش گران‌قیمت و زمان‌بری هستند و نیازمند آزمایشگاه‌های تخصصی کنترل کیفیت و نیروی انسانی متخصص هستند. شایان ذکر است که وجود روغن پومیس در روغن زیتون بکر و روغن زیتون تصفیه‌شده به‌روشنی کروماتوگرافی گازی قابل تشخیص نیست و تشخیص تقلب در این موارد با روش کروماتوگرافی بدون تجهیزات پیشرفته، از جمله محفظه تزریق قابل برنامه‌ریزی دما کاربرد ندارد، ولی در صورت بهره‌گیری از این تجهیزات، تقلب روغن تفاله زیتون با مقادیر بسیار کمتر از ۰/۱٪ هم قابل تشخیص است [۱۵]. امروزه روش‌های متنوعی برای کنترل کیفیت میوه‌ها در دنیا وجود دارد که در این بین روش‌های غیرمخرب به‌دلیل توانایی در تشخیص ویژگی‌های مختلف محصول، بدون آسیب‌رساندن به آن‌ها، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار هستند. برخی از این روش‌ها شامل طیف‌سنجی مرئی-فروسرخ^۲ (Vis/NIR)، تصویربرداری چندطیفی و فراطیفی^۳، تصویربرداری رزونانس مغناطیسی هسته^۴، توموگرافی محاسباتی با استفاده از اشعه ایکس و طیف‌سنجی دی‌الکترونیک هستند [۱۶]. روش‌های طیف‌سنجی مانند مرئی، فروسرخ نزدیک، فروسرخ میانه و طیف‌سنجی فراطیفی غیرمخرب‌تر از روش‌های مکانیکی و شیمیایی هستند و داشتن ابزارهای ساده، سریع، قابل حمل و فراگیر، از دیگر

^۷ Discriminant analysis-Partial least squares

^۸ Principal component analysis

^۹ Electronic nose

^{۱۰} Electronic tongue

^{۱۱} Virgin olive oil

^{۱۲} Support Vector Machine

^۱ Gas Chromatography

^۲ Visible-Near infrared

^۳ Multispectral/Hyperspectral imaging

^۴ Nuclear magnetic resonance

^۵ Fourier transform infrared

^۶ Cluster analysis

۲) آنالیز توزیع متغیرهای انتخاب‌شده به وسیله الگوریتم‌های مختلف انتخاب متغیر.

۳) مقایسه صحت تشخیص مدل ساخته‌شده به وسیله ترکیب پیش‌پردازش‌های طیفی مختلف و الگوریتم‌های انتخاب متغیر.

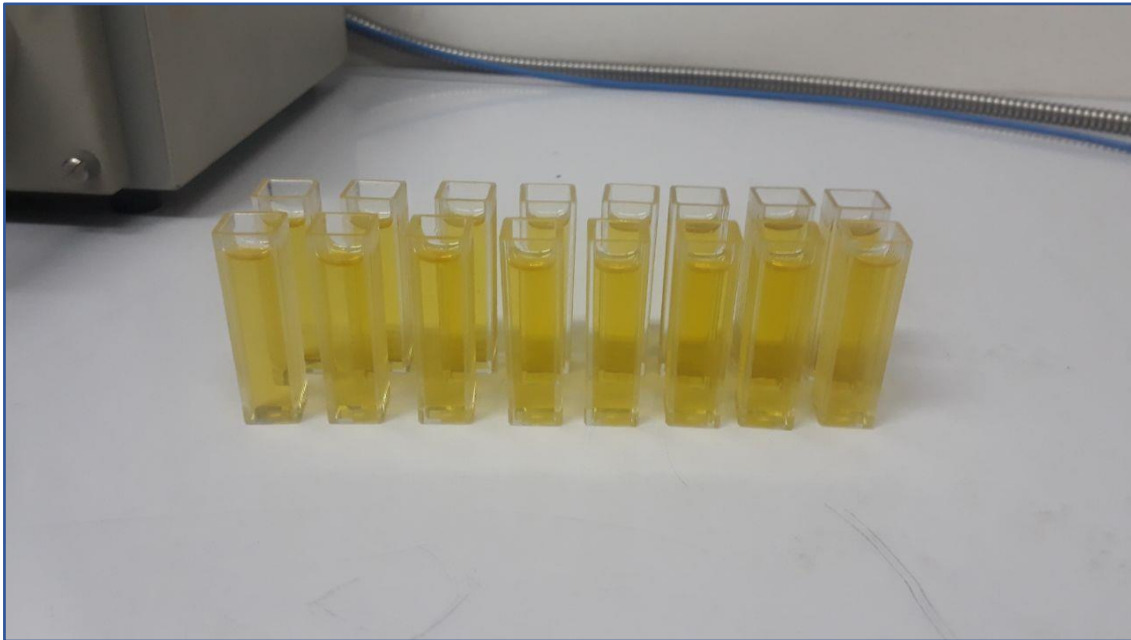
۲. مواد و روش‌ها

۱.۲. نمونه‌گیری

روغن‌های زیتون فرابکر، بکر و روغن‌زیتون تصفیه‌شده مورد استفاده در این پژوهش، از کارخانه تولید روغن زیتون اتکا در شهرستان ورامین استان تهران تهیه شد. نمونه روغن پومیس خام و غیرخوراکی نیز از شرکت دارویی، آرایشی و بهداشتی تهیه شد. ابتدا روغن‌کشی به صورت پرس سرد صورت گرفت و سپس برای اطمینان از اصالت آن‌ها، مشخصات و درصد ترکیبات سازنده آن با سامانه کروماتوگرافی گازی مدل ۴۶۰۰ Unicam (با دتکتور FID در دمای ۳۰۰ درجه سلسیوس و ستون ۷۰*BP Capillary) در آزمایشگاه گروه علوم دام و طیور دانشکده کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس در شهر تهران استخراج شد. کروماتوگرافی گازی، روشی برای جداسازی و بررسی مواد فرار یک ماده (معمولاً به صورت مایع یا گاز) است. روغن‌زیتون فرابکر، بکر و روغن‌زیتون تصفیه‌شده با روغن پومیس با درصدهای وزنی ۱۱، ۲۰، ۳۳، ۵۰ و ۱۰۰٪ مخلوط شدند. این درصدها با توجه به تقلب‌های موجود در بازار انتخاب شدند. در مجموع، ۱۶۰ نمونه که به‌ازای هر تیمار ده تکرار وجود داشت، تهیه شد. شکل (۱) دسته‌های مختلف تقلب را نشان می‌دهد. همان‌گونه که پیداست، از لحاظ ظاهری نمونه‌ها با هم هیچ تفاوتی ندارند.

توانایی تشخیص دقیق موردنظر برخوردار است [۱]. در آزمایش دیگری، از طیف‌سنجی فروسرخ برای تجزیه و تحلیل کیفیت غیرمخرب دانه‌های روغنی و دانه‌های خوراکی استفاده شد. نتایج نشان داد که این فناوری سریع، غیرمخرب و کم‌هزینه است و یک گزینه امیدوارکننده برای تشخیص پارامترهای کیفیت دانه‌های روغنی و همچنین برای تشخیص اصالت و قابلیت ردیابی منشأ دانه‌های روغنی و روغن‌های خوراکی با صحت ۸۹٪ است [۲۱]. مطالعات گذشته بیانگر اهمیت بالای روش طیف‌سنجی به‌عنوان یک روش سریع، ساده، کم‌هزینه با دقت قابل قبول در سنجش کیفیت محصولات کشاورزی است. به همین دلیل، استفاده از آن به صورت‌های مختلف و برای محصولات گوناگون روزبه‌روز در حال گسترش است. اما پژوهشی که در آن تشخیص تقلب پومیس در انواع روغن زیتون (فرابکر، بکر و روغن‌زیتون تصفیه‌شده) مبتنی بر روش طیف‌سنجی و با استفاده از روش‌های طبقه‌بندی پرداخته شده باشد، یافت نشد. بنابراین، در این پژوهش، شناسایی تقلب روغن پومیس، با استفاده از روش سریع و غیرمخرب طیف‌سنجی مرئی- فروسرخ نزدیک بدون سنجش و اندازه‌گیری خواص کیفی با استفاده از روش‌های شناسایی الگو نظیر LDA و SVM انجام پذیرفت. در واقع تجزیه و تحلیل داده‌های چندمتغیره از جمله روش‌های آماری است که بر مشاهده همزمان، بهره‌برداری و پردازش چندین متغیر آماری به‌منظور استخراج اطلاعات سینتیک مربوطه استوار است. از این رو، اهداف خاص این پژوهش عبارت‌اند از:

(۱) مقایسه عملکرد روش‌های پیش‌پردازش طیفی مختلف.



شکل (۱) نمونه‌های مورد استفاده در پژوهش با درصد تقلبات مختلف
 Fig. 1 Samples used in the research with different percentages of fraud

۲،۲. اندازه‌گیری با دستگاه طیف‌سنج مرئی/فروسرخ نزدیک

به‌منظور طیف‌گیری از نمونه‌ها نیازی به هیچ‌گونه آماده‌سازی روی نمونه نیست که این از مزایای طیف‌سنجی مرئی/فروسرخ نزدیک است. طیف مرئی/فروسرخ نزدیک با استفاده از فیبر دومی‌سیره که قسمت مرکزی برای انتقال نور از نمونه به آشکارساز و فیبرهای بیرونی برای انتقال نور از منبع تابش به نمونه است، استفاده شد و در وضعیت عبوری و در ناحیه ۸۵۰-۲۰۰ nm با استفاده از طیف‌سنج مدل Ocean Optic ساخت شرکت Ocean Optic و با تفکیک‌پذیری ۱ نانومتر توسط نرم‌افزار OceanView ثبت شد. این طیف‌سنج بسیار کوچک، سبک و قابل حمل است مجموعه این دستگاه به وزن ۱۹۰ گرم، شامل یک طیف‌سنج با ابعاد ۶۳/۳mm × ۸۹/۱mm × ۳۴/۴mm و آشکارساز Sony CCD^{۵۱B} ILX است. سرعت برداشت هر منحنی طیفی ۰/۰۱ms است. از یک کاوشگر فیبر نوری دومی‌سیره استفاده شد که قابلیت انتقال اطلاعات به کامپیوتر را به‌منظور نمایش و ذخیره‌سازی طیف‌های به‌دست‌آمده در نرم‌افزار Ocean View، از طریق پورت USB دارد. از یک کامپیوتر رومیزی برای نمایش و ذخیره داده‌های طیفی به کمک نرم‌افزار مخصوص داده‌های طیف‌سنجی استفاده شد. به‌منظور تولید نور مناسب، از منبع نور هالوژن - تنگستن مدل ASD، High Intensity Contact Probe A۱۲۲۳۰۰ (Inc. USA) با قابلیت اتصال به فیبر نوری بهره‌گیری شد. این منبع نور دارای توان خروجی ۶/۵ w و ولتاژ DC، ۱۲- v ۱۸ است. طیف نمونه‌های روغن با ۱۰ اسکن متوالی گرفته و میانگین ۱۰ طیف حاصله، برای هر نمونه گزارش شد.

۳،۲. آماده‌سازی و پیش‌پردازش طیف‌ها

داده‌های طیفی به‌دست‌آمده از طیف‌سنج، افزون بر اطلاعات نمونه شامل اطلاعات ناخواسته پس‌زمینه و نویزها نیز هستند. از این‌رو، برای دستیابی به مدل‌های واسنجی پایدار، دقیق و قابل‌اعتماد، نیاز به پیش‌پردازش داده‌های طیفی پیش از توسعه مدل‌های دسته‌بندی متناسب با داده است. ساخت مدل دسته‌بندی برای توصیف رابطه بین داده‌های طیفی و آزمایشگاهی یکی از مهم‌ترین و سخت‌ترین مراحل

۱ نانومتر توسط نرم‌افزار OceanView ثبت شد. این طیف‌سنج بسیار کوچک، سبک و قابل حمل است مجموعه این دستگاه به وزن ۱۹۰ گرم، شامل یک طیف‌سنج با ابعاد ۶۳/۳mm × ۸۹/۱mm × ۳۴/۴mm و آشکارساز Sony CCD^{۵۱B} ILX است. سرعت برداشت هر منحنی طیفی ۰/۰۱ms است. از یک کاوشگر فیبر نوری دومی‌سیره استفاده شد که قابلیت انتقال اطلاعات به کامپیوتر را به‌منظور نمایش و ذخیره‌سازی طیف‌های به‌دست‌آمده در نرم‌افزار

شد. روش توزیع نرمال استاندارد برای حذف اثرهای جمعی و افزایش پخش نور، اندازه نمونه و تغییر فاصله نوری است. پژوهش حاضر، برای نرمال‌سازی طیف‌ها، پس از هموارسازی و حذف نویز طیف‌ها از این روش بهره برده است. همچنین از روش مشتق اول برای افزایش قدرت تفکیک طیفی، حذف پس‌زمینه و جابه‌جایی خط پایه استفاده شد.

۴.۲. توسعه مدل کالیبراسیون

در آنالیز کمی و کیفی محصولات غذایی، ساخت و توسعه مدل واسنجی^۵ قابل‌اعتماد بسیار ضروری است. به کمک مدل می‌توان مشخصات نامعلوم نمونه‌ها را تعیین و پیش‌بینی کرد. در واقع هدف از توسعه مدل در این پژوهش ارزیابی نرخ تقلب روغن‌های زیتون و طبقه‌بندی آن‌ها است. نمونه‌ها به دو دسته آموزش (۸۰٪) برای توسعه مدل‌های واسنجی و دسته آزمون (۲۰٪) برای اعتبارسنجی بیرونی مدل‌های واسنجی توسعه‌یافته به منظور بررسی توانمندی و دقت مدل‌ها در کلاس‌بندی درصدهای مختلف تقلب نمونه‌های ناشناخته تقسیم شدند. در این پژوهش، از روش تحلیل تفکیک خطی^۶ (LDA) و ماشین بردار پشتیبان^۷ (SVM) استفاده شد. ارزیابی مدل ساخته‌شده با روش اعتبارسنجی متقاطع کامل^۸ برای انتخاب مدلی با بیشترین توانایی دسته‌بندی، در بین مدل‌های آماری مورد استفاده قرار می‌گیرد. به عبارت دیگر، پس از ساخت مدل در مرحله واسنجی با ارزیابی مجدد مدل، به بررسی اعتبار و پایداری مدل نیز پرداخته شد.

تحلیل تفکیک خطی (LDA)

تحلیل تفکیک خطی در حوزه استخراج ویژگی‌ها تکنیک شناخته‌شده‌ای است که در بسیاری از مسائل بازشناسی الگو با نظارت با نتیجه موفقیت‌آمیزی استفاده شده است. هدف اصلی LDA نگاشت داده‌ها به فضایی است که در آن نمونه‌ها را در گروه‌های مجزا، تفکیک کند. LDA برای دستیابی به این هدف، به دنبال افزایش جداپذیری بین کلاس‌ها و

طیف‌سنجی به شمار می‌رود و فرایندی زمان‌بر است که معمولاً با آزمون و خطا انجام می‌شود. بعد از ثبت و ذخیره طیف‌های به‌دست‌آمده برای تحلیل طیف‌های دریافتی، پیش‌پردازش داده‌ها انجام شد. بخشی از داده‌ها از ناحیه ۵۵۰ نانومتر به قبل، دارای نویز زیاد بودند و به روش‌های پیش‌پردازش معمول قابل هموارسازی نبودند، بنابراین حذف شدند. به منظور اجرای مراحل پیش‌پردازش داده‌های طیفی نیاز به تبدیل داده‌های مد عبور به مد جذبی است که بدین منظور از رابطه ۱ استفاده شد که به قانون بیر - لمبرت مشهور است [۲۲].

$$A = \log 1 / Tr_{\lambda} \quad (1)$$

که در آن A: میزان جذب و Tr_{λ} : بازتاب یا عبور در طول موج λ است.

پس از این که طیف‌های عبوری به‌دست‌آمده از همه نمونه‌ها به منظور ایجاد یک رابطه خطی با غلظت مولکولی نمونه به طیف‌های جذبی تبدیل شدند، برای آماده‌سازی و پیش‌پردازش طیف‌ها از برخی روش‌های هموارسازی و کاهش نویز مانند میانگین‌گیری متحرک (MA)، ساویتزکی گولای^۲ (SG)، توزیع نرمال استاندارد (SNV) و مشتق اول^۴ (D) استفاده شد.

روش میانگین‌گیری متحرک یکی از معمول‌ترین روش‌های هموارسازی و حذف نویزهای تصادفی موجود در طیف است. به‌گونه‌ای که با استفاده از یک فیلتر میانگین‌گیری متحرک، هر نقطه از طیف با میانگین یک همسایگی (نقطه‌های مجاور شامل خود نقطه) از آن جایگزین می‌شود. در این تحقیق، پس از تبدیل طیف‌ها به جذب، هموارسازی آن‌ها با فیلتر میانگین‌گیری متحرک و عرض پنجره ۷ اجرا شد. هموارسازی ساویتزکی گولای شیوه‌ای دیگر از هموارسازی است که می‌تواند به طور مؤثری نویزهای تیز را بدون از بین رفتن اطلاعات طیفی برطرف کند. روش SG در این پژوهش، با در نظر گرفتن تعداد نقطه‌های همسایگی و درجه چندجمله‌ای به ترتیب برابر ۳ و ۵، برای هموارسازی طیف‌ها همچنین مقایسه با روش هموارسازی MA به کار گرفته

^۵ Calibration

^۶ Linear Discriminant Analysis

^۷ Support Vector Machine

^۸ Full Cross Validation

^۱ Moving Average

^۲ Savitzky-Golay

^۳ Standard Normal Variate

^۴ First derivative



استفاده شود [۲۴]. در بیشتر موارد طبقه‌بندی داده‌ها با استفاده از دو نوع ماشین پشتیبان C-SVM و Nu-SVM انجام می‌شود. در طبقه‌بندی به روش C-SVM پارامتر C براساس اطلاع از نویز موجود در داده‌ها انتخاب می‌شود. پارامتر Nu در روش Nu-SVM به‌عنوان مرز بالایی از خطاها و حد پایین برای بردار پشتیبان عمل می‌کند. با افزایش آن، در زمان افزایش حاشیه جداسازی کلاس‌ها، خطاها افزایش می‌یابند [۲۵].

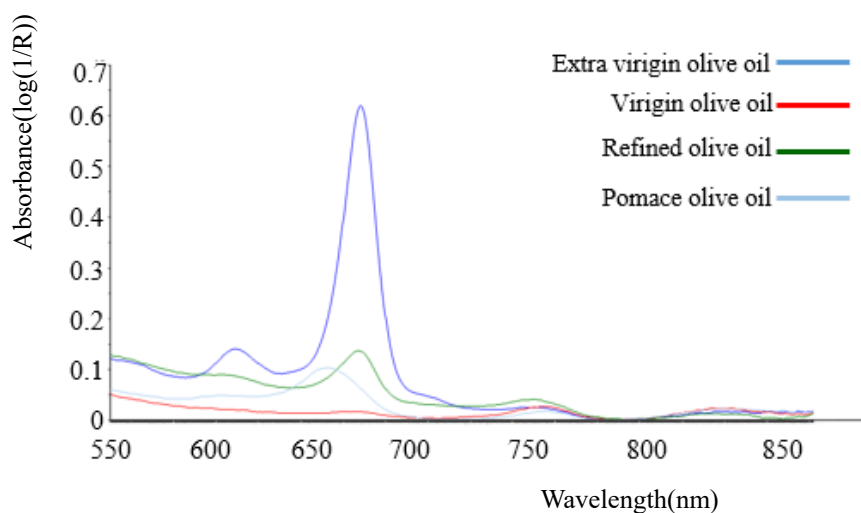
۳. نتایج و بحث

شکل (۲) طیف جذبی از چهار نمونه روغن را نشان می‌دهد که در آن طیف‌ها به‌خوبی از یکدیگر متمایز بودند و نشان می‌دهد امکان تبعیض در آن‌ها وجود دارد. تفاوت‌ها ممکن است مطابق با ویژگی‌های مختلف نمونه‌های روغن زیتون، مانند ترکیبات اسیدهای چرب، تری‌گلیسرول، گلیسرول، استرول، توکوفرول و فنل و غیره باشد [۲۶].

درعین حال کاهش پراکندگی داخل کلاس‌ها است [۲۳]. در این پژوهش، برای ایجاد مدل دسته‌بندی به روش LDA، از سه نوع تابع Linear، Quadratic و Mahalanobis و از ۴ نوع ضرایب وزنی مختلف (Block، Constant، ۱/SDev، weighting و Downweight) استفاده شد.

ماشین بردار پشتیبان (SVM)

ماشین بردار پشتیبان، از جمله روش‌های غیراحتمالی است که برای انجام طبقه‌بندی از ابرصفحه‌ها برای تعریف مرز بین کلاس‌ها استفاده می‌کند. در واقع، هدف اصلی این روش، یافتن بهترین ابرصفحه‌ای است که به‌عنوان یک سطح تصمیم‌گیری، حاشیه بین دو کلاس را بیشینه و داده‌های مربوط به دو کلاس را از هم تفکیک کند. SVM همراه با توابع کرنل مختلف، از جمله توابع خطی، چندجمله‌ای، پایه شعاعی و سیگموئید، می‌تواند با انتقال فضای ورودی داده‌ها به فضایی با بعد بالاتر در طبقه‌بندی غیرخطی داده‌ها



شکل (۲) طیف جذبی از چهار نمونه مختلف روغن زیتون
Fig. 2 Absorption spectra of four different olive oil samples



چهارم CH باشند [۲۹]. از شکل (۲) می‌توان دریافت در روغن بکر در ناحیه ۸۵۰-۸۳۰ نانومتر پیک دیگری وجود دارد که می‌تواند مربوط به اورتون چهارم Arch باشد [۳۰]. پیک‌های موجود در روغن زیتون تصفیه‌شده در ناحیه ۶۷۰-۶۵۵ نانومتر، ۷۴۵-۷۶۵ نانومتر ناشی از اورتون سوم H_2O یا اورتون چهارم CH و ۸۴۰-۸۱۰ نانومتر هستند که می‌تواند مربوط به اورتون چهارم Arch یا NH_2 باشد [۲۸].

۱.۳. طبقه‌بندی نمونه‌ها به روش LDA

نتایج حاصل از روش LDA در تفکیک تیمارهای مختلف تحقیق به همراه صحت هر کدام در جدول (۱) نشان داده شده است.

یافته‌های ما نشان می‌دهد که روغن زیتون فرابکر تقریباً در تمام طیف‌ها جذب بالاتری نسبت به روغن‌های زیتون بکر و تصفیه‌شده و پومیس دارد و این امر با پژوهش‌های گذشته نیز مطابقت دارد [۲۷]. از شکل ۲، می‌توان دریافت که دو پیک اصلی در ناحیه ۶۵۵-۶۵۰ نانومتر و ۷۵۸-۷۵۵ نانومتر وجود دارد که می‌تواند مربوط به اورتون سوم CH و CH_2 در طیف پومیس باشد [۲۸]. هنگامی که این روغن به سایر روغن‌ها افزوده شود، در طیف اصلی این نوع روغن‌ها تغییراتی در این نواحی مشاهده می‌شود. در شکل ۲ پیک‌های جذبی موجود روغن فرابکر و بکر در ناحیه ۶۲۰-۶۱۰ نانومتر، ۶۸۰-۶۵۰ و ۷۷۰-۷۴۰ نانومتر مشاهده می‌شود که می‌توانند ناشی از اورتون سوم H_2O یا اورتون



جدول (۱) نتایج مدل LDA نمونه‌های روغن‌زیتون

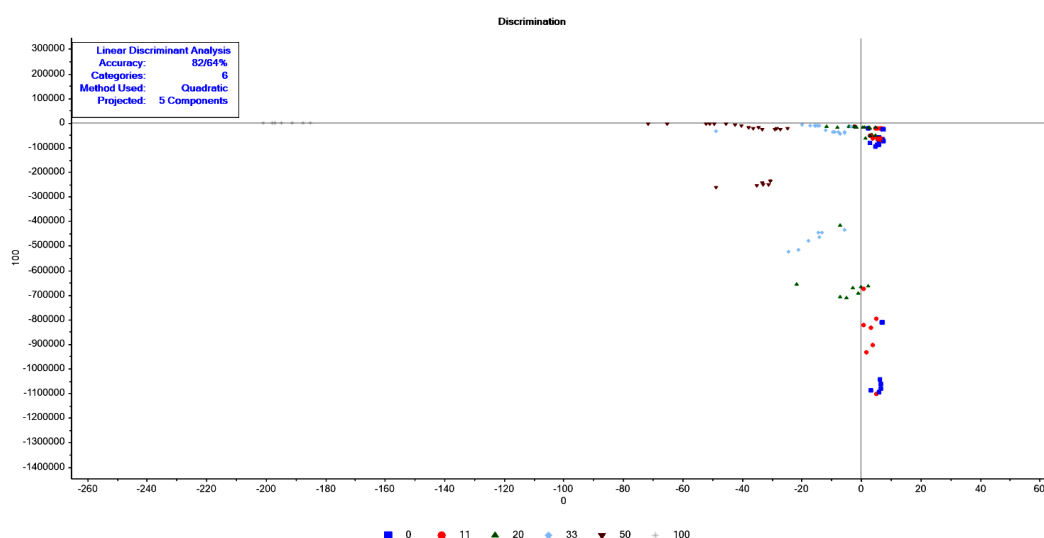
Table (1) Results of LDA model of olive oil samples

Accuracy (%)	Function Type	Preprocessing
۷۹.۹۹	Linear	MA
۸۲.۶۴	Quadratic	MA
۸۱.۸۲	Mahalanobis	MA
۴۹.۵۹	Linear	MA+SNV
۷۴.۳۸	Quadratic	MA+SNV
۷۳.۵۵	Mahalanobis	MA+SNV
۷۹.۳۴	Linear	SG
۸۱.۵۶	Quadratic	SG
۸۰.۱۲	Mahalanobis	SG
۴۳.۸۴	Linear	SG+SNV
۷۱.۹۴	Quadratic	SG+SNV
۷۳.۰۶	Mahalanobis	SG+SNV
۸۰.۴۲	Linear	MA+D ₁
۷۸.۳۴	Quadratic	MA+D ₁
۷۲.۹۴	Mahalanobis	MA+D ₁
۷۹.۹۶	Linear	SG+D ₁
۷۲.۹۱	Quadratic	SG+D ₁
۷۴.۹۱	Mahalanobis	SG+D ₁
Accuracy (%)	Function Type	Preprocessing
۷۹.۹۹	Linear	MA
۸۲.۶۴	Quadratic	MA
۸۱.۸۲	Mahalanobis	MA
۴۹.۵۹	Linear	MA+SNV
۷۴.۳۸	Quadratic	MA+SNV
۷۳.۵۵	Mahalanobis	MA+SNV
۷۹.۳۴	Linear	SG
۸۱.۵۶	Quadratic	SG
۸۰.۱۲	Mahalanobis	SG
۴۳.۸۴	Linear	SG+SNV
۷۱.۹۴	Quadratic	SG+SNV
۷۳.۰۶	Mahalanobis	SG+SNV
۸۰.۴۲	Linear	MA+D ₁
۷۸.۳۴	Quadratic	MA+D ₁
۷۲.۹۴	Mahalanobis	MA+D ₁
۷۹.۹۶	Linear	SG+D ₁
۷۲.۹۱	Quadratic	SG+D ₁
۷۴.۹۱	Mahalanobis	SG+D ₁

که ضرایب وزنی متفاوت بر صحت روش LDA بی‌تأثیر بود. انتخاب ضرایب وزنی مناسب به نوع داده‌ها بستگی دارد و معمولاً با آزمون و خطا می‌توان به روش مناسب اعمال ضریب وزنی دست‌یافت.

شکل (۳) عملکرد روش LDA با استفاده از پیش‌پردازش MA و تابع Quadratic در تفکیک تیمارهای تحقیق را نشان می‌دهد.

نتایج به‌دست‌آمده نشان داد که پیش‌پردازش MA، بر پایه تابع Quadratic بالاترین صحت را ارائه می‌دهد. در مرحله بعد پیش‌پردازش SG بر پایه تابع Quadratic مدلی باصحت بهتر نسبت به سایر روش‌های پیش‌پردازش ارائه داد؛ بنابراین در این روش استفاده از پیش‌پردازش MA و SG و تابع Quadratic تأثیر بیشتری در ساخت مدل‌ها باصحت بالاتر داشتند. قابل‌ذکر است



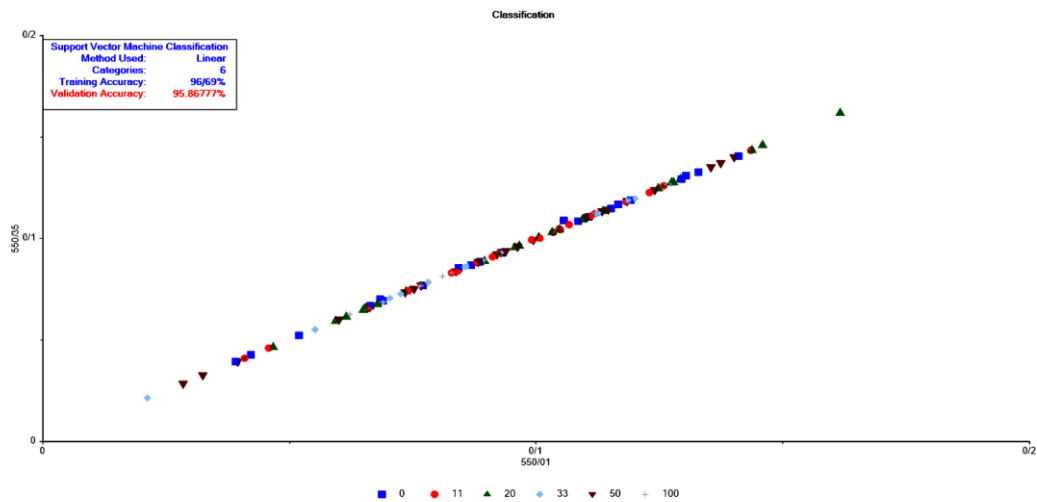
شکل (۳) عملکرد روش LDA با استفاده از تابع درجه دوم در جداسازی تیمارهای تحقیقاتی
Fig. 3 Performance of LDA method using quadratic function in separating research treatments

سیگموئید استفاده شد. تابع خطی با پیش‌پردازش MA با صحت آموزش ۱۰۰ و صحت اعتبارسنجی ۹۷/۵ بیش‌ترین صحت اعتبارسنجی را در طبقه‌بندی نمونه‌های روغن‌زیتون به خود اختصاص داد؛ همانطور که در شکل (۴) نشان داده شده است، این مدل توانسته است با استفاده از یک مرز تصمیم‌گیری خطی، دسته‌ها را از هم جدا کند و به بهترین شکل ممکن نمونه‌ها را طبقه‌بندی کند.

نقاط نشان‌داده‌شده در شکل (۳) میزان پراکندگی دسته‌های مختلف روغن‌زیتون را نشان می‌دهد.

۲.۳. طبقه‌بندی نمونه‌ها به روش SVM

برای طبقه‌بندی نمونه‌ها در روش SVM از دو نوع C-SVM و Nu-SVM استفاده شد. پارامترهای γ ، C و Nu با سعی و خطا و از طریق به‌حداقل‌رساندن خطای مدل در بخش واسنجی و اعتبارسنجی انتخاب شدند. زمانی که از روش Nu-SVM استفاده می‌شد صحت مدل در بخش آموزش و اعتبارسنجی به‌طرز چشمگیری کاهش پیدا می‌کرد، بنابراین نتایج مربوط به این روش در ادامه ذکر نشده است. از چهار نوع تابع کرنل شامل خطی، درجه دوم، تابع پایه شعاعی و



شکل (۴) تابع خطی C-SVM با صحت ۹۶/۶۹ درصد
 Fig. 4 C-SVM linear function with 100% accuracy

جدول (۲) نتایج مدل های Nu-SVM و C-SVM تحت توابع کرنل

Table (2) Results of Nu-SVM and C-SVM models under kernel function

Validation(%)	Calibration(%)	γ	C	Function Type	Preprocessing
۹۵.۸۶	۹۶.۶۹	۱	۱۰۰	Linear	MA
۱۹	۱۸.۸	۱۰	۱	Polynomial	MA
۲۹.۷۵	۲۳.۹۷	۱	۱۰۰	Radial	MA
۲۷.۲۷	۲۴.۷۹	۰.۰۱	۱۰۰	Sigmoid	MA
۸۳.۴۷	۹۴.۲۱	۱	۱	Linear	MA+SNV
۴۸.۷۶	۵۸.۶۸	۱۰۰	۱۰	Polynomial	MA+SNV
۸۰.۹۹	۹۳.۳۹	۰.۰۱	۱۰۰	Radial	MA+SNV
۲۲.۳۱	۱۸.۱۸	۱	۰.۱	Sigmoid	MA+SNV
۸۵.۹۷	۹۶.۸۶	۱	۱۰۰	Linear	SG
۸۷.۵	۱۸.۱۸	۱۰	۱	Polynomial	SG
۲۸.۷۳	۲۵.۸۴	۱	۱۰۰	Radial	SG
۲۶.۸۴	۲۶.۷۳	۰.۰۱	۱۰۰	Sigmoid	SG
۸۵.۹۵	۱۰۰	۱	۱۰۰	Linear	SG+SNV
۴۸.۷۶	۵۸.۶۸	۱۰۰	۱۰	Polynomial	SG+SNV
۸۰.۹۹	۹۳.۳۹	۱۰	۱	Radial	SG+SNV
۲۴.۷۹	۱۸.۱۸	۰.۱	۰.۰۱	Sigmoid	SG+SNV
۲۷.۲۷	۲۳.۹۷	۱	۱۰۰	Linear	MA+D ₁
۲۱.۸۷	۲۴.۳۸	۱۰۰	۱۰	Polynomial	MA+D ₁
۲۶.۴۴	۱۸.۱۸	۱۰۰	۱۰۰	Radial	MA+D ₁
۲۹.۳۷	۴۳.۱۳	۱	۱	Sigmoid	MA+D ₁
۳۳.۰۵	۲۱.۴۹	۱	۱	Linear	SG+D ₁
۱۹.۴۵	۱۸.۱۸	۱۰۰	۱۰	Polynomial	SG+D ₁
۲۴.۷۹	۱۸.۱۸	۱۰۰	۱۰۰	Radial	SG+D ₁
۱۵.۷۴	۱۸.۱۸	۱۰۰	۱۰۰	Sigmoid	SG+D ₁

روش مدل‌سازی SVM و LDA در تفکیک و دسته‌بندی تیمارهای تحقیق عملکرد بسیار قابل‌قبولی داشتند. روش SVM به‌دلیل صحت بیش‌تر در بخش واسنجی و اعتبارسنجی ارجحیت دارد. همچنین جدول (۳) کلاس‌های پیش‌بینی‌شده توسط نمونه‌های دسته‌آزمون را نشان می‌دهد.

نتایج حاصل از روش SVM در جدول (۲) نشان‌داده‌شده است. پیش‌پردازش SG نیز صحت آموزش بالایی را ارائه داد؛ ولی به‌دلیل صحت کمتر اعتبارسنجی نسبت به روش MA، نمی‌توان آن‌ها را بهترین مدل دانست. قابل‌ذکر است که تابع Linear و روش C-CVM تأثیر زیادی در مدل‌های باصحت بیش‌تر با پیش‌پردازش‌های مختلف داشتند. بنابراین هر دو

جدول (۳) ماتریس اغتشاش حاصل از نمونه‌های دسته‌آزمون

Table (3) The confusion matrix obtained from the samples of the test group

Predicted amount	Actual amount	Sample number	Predicted amount	Actual amount	Sample number
۰	۰	۵۶	۰	۰	۱
۰	۰	۶۳	۰	۰	۴
۱۱	۱۱	۷۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰
۱۱	۱۱	۷۳	۱۱	۱۱	۱۳
۲۰	۲۰	۷۷	۱۱	۲۰	۱۶
۳۳	۳۳	۸۴	۳۳	۳۳	۱۹
۵۰	۵۰	۹۱	۵۰	۵۰	۲۲
۲۰	۲۰	۹۸	۵۰	۵۰	۲۴
۱۱	۱۱	۱۰۵	۱۱	۱۱	۲۸
۳۳	۳۳	۱۱۲	۳۳	۳۳	۳۱
۵۰	۵۰	۱۱۹	۵۰	۵۰	۳۴
۱۱	۲۰	۱۲۶	۲۰	۲۰	۳۷
۲۰	۲۰	۱۳۳	۳۳	۳۳	۴۰
۳۳	۳۳	۱۴۰	۵۰	۵۰	۴۳
۵۰	۵۰	۱۴۷	۵۰	۵۰	۴۶
۱۰۰	۱۰۰	۱۵۴	۰	۰	۴۹

بیش‌برازش و کم‌برازش در مدل اتفاق نیفتاده است و مدل از اعتبار بالایی برخوردار است. تاکنون پژوهشی که بتواند روغن پومیس را از انواع دیگر روغن‌زیتون متمایز کند گزارش نشده است و وجه اشتراک تنها در مقایسه با یک نوع از انواع روغن‌زیتون (بجز روغن‌زیتون تصفیه‌شده) و سایر روغن‌های خوراکی بوده است. تحقیقات گذشته نیز نشان داد از بین روش‌های مختلف طبقه‌بندی همچون ماشین بردار پشتیبان،

طبق این جدول از ۳۲ نمونه دسته‌آزمون تنها ۲ نمونه اشتباه کلاس‌بندی شده‌اند. این ۲ نمونه مربوط به تقلب ۱۱٪ بوده است که به اشتباه در دسته ۲۰٪ تقلب کلاس‌بندی شده‌اند. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت برای دقت بالای ۲۰٪ طبقه‌بند با دقت ۱۰۰٪ قادر به تفکیک نمونه‌های روغن‌زیتون براساس درصد‌های تقلب پومیس بوده است. با پیش‌بینی بسیار خوب توسط نمونه‌های دسته‌آزمون می‌توان مطمئن شد که

با درصدهای مختلف تقلب با روش‌های بازشناسی الگو شامل LDA و SVM مورد بررسی قرار گرفت. نتایج به‌دست‌آمده نشان داد که طیف‌سنجی (Vis/NIR) قادر به تفکیک نمونه‌های روغن‌زیتون براساس نرخ تقلب پومیس است. هرچند روش LDA توانست با صحت مرغوبیت نمونه‌های روغن‌زیتون را دسته‌بندی کند، اما روش SVM باصحت آموزش ۹۶/۶۹ و صحت اعتبارسنجی ۹۵/۸۶ بهترین روش برای دسته‌بندی نمونه‌ها بود. همچنین، براساس نتایج حاصله، تابع خطی، بهترین تابع برای ساخت مدل دسته‌بندی به روش SVM تعیین شد. همچنین پیشنهاد می‌شود از این محدوده طیفی، به‌منظور شناسایی حدّ شناسایی پومیس و اختلاط سایر روغن‌ها، مانند آفتابگردان، کلزا، سویا و غیره در روغن‌زیتون و تشخیص تقلب استفاده شود.

۵. تعارض منافع

هیچ‌گونه تعارض منافع توسط نویسندگان بیان نشده است.

شبکه عصبی مصنوعی و آداپوست، روش ماشین بردار پشتیبان به‌عنوان بهترین روش با دقت ۸۶٫۵۲٪ قادر به تشخیص نمونه‌های تقلبی روغن‌زیتون با استفاده از ماشین بویایی بوده است [۳۱]. در سایر پژوهش‌ها اگرچه تشخیص تقلب روغن‌زیتون فرابکر با پومیس به روش طیف‌سنجی اعم از رامان، تبدیل فوریه و غیره باصحت قابل‌قبولی ارائه شده است؛ ولی در پژوهش حاضر نخستین‌بار است که محدوده پایین فرسرخ نزدیک یعنی بازه ۷۸۰-۸۵۰ نانومتر در کنار ناحیه مرئی به‌منظور شناسایی دقیق تقلب پومیس در انواع مختلف روغن‌زیتون بهره‌گیری شده است. این محدوده طیفی در اکثر طیف‌سنج‌های مرئی/فروسرخ نزدیک وجود دارد و نیازی به محدوده بالای طیفی NIR نیست. روش‌های متداول دیگر مانند کروماتوگرافی گازی می‌تواند مقادیر پایین روغن پومیس را با اندازه‌گیری تری‌ترین دی‌الکل‌ها و میزان موم در روغن تشخیص دهد، اما در برابر روش طیف‌سنجی فرسرخ نزدیک نیاز به آماده‌سازی، حلال‌های شیمیایی، هزینه بالا استهلاک دستگاه و اپراتور متخصص دارد.

۴. نتیجه‌گیری

در این پژوهش، توانمندی فناوری طیف‌سنجی مرئی/فروسرخ نزدیک (Vis/NIR) به‌منظور طبقه‌بندی نمونه‌های روغن‌زیتون

منابع

- [1] M. Rashvand, O. Mahmood, H. Mobli, and M. Soltanifiroz, "Evaluation of olive oil adulteration detection system based on image processing and dielectric spectroscopy," *Agric. Mach. Mech. Res. J.*, vol. 6, no. 2, pp. 29–19, 2017.
- [2] B. Vega-Márquez, I. Nepomuceno-Chamorro, N. Jurado-Campos, and C. Rubio-Escudero, "Deep Learning Techniques to Improve the Performance of Olive Oil Classification," *Front. Chem.*, vol. 7, no. January, pp. 1–10, 2020, doi: 10.3389/fchem.2019.00929.
- [3] A. M. Giuffré, M. Caracciolo, C. Zappia, M. Capocasale, and M. Poiana, "Effect of heating on chemical parameters of extra virgin olive oil, pomace olive oil, soybean oil and palm oil," *Ital. J. Food Sci.*, vol. 30, no. 4, pp. 715–739, 2018.
- [4] M. I. Covas, "Olive oil and the cardiovascular system," *Pharmacol. Res.*, vol. 55, no. 3, pp. 175–186, 2007, doi: 10.1016/j.phrs.2007.01.010.
- [5] C. Fauhl, F. Reniero, and C. Guillou, "1H NMR as a tool for the analysis of mixtures of virgin olive oil with oils of different botanical origin," *Magn. Reson. Chem.*, vol. 38, no. 6, pp. 436–443, 2000, doi: 10.1002/1097-458X(200006)38:6<436::AID-MRC672>3.0.CO;2-X.
- [6] S. Ok, "Detection of olive oil adulteration by low-field NMR relaxometry and UV-Vis spectroscopy upon mixing olive oil with various edible oils," *Grasas y Aceites*, vol. 68, no. 1, pp. 1–13, 2017, doi:

- 10.3989/gya.0678161.
- [7] S. A. Mahesar, M. Lucarini, A. Durazzo, A. Santini, A. I. Lampe, and J. Kiefer, "Application of Infrared Spectroscopy for Functional Compounds Evaluation in Olive Oil : A Current Snapshot," vol. 2019, 2019.
- [8] S. Cicerale, X. A. Conlan, A. J. Sinclair, and R. S. J. Keast, "Chemistry and health of olive oil phenolics," *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.*, vol. 49, no. 3, pp. 218–236, 2009, doi: 10.1080/10408390701856223.
- [9] P. Vossen, "Olive oil: History, production, and characteristics of the world's classic oils," *HortScience*, vol. 42, no. 5, pp. 1093–1100, 2007, doi: 10.21273/hortsci.42.5.1093.
- [10] R. Rodriguez-Rodriguez, M. D. Herrera, M. A. de Sotomayor, and V. Ruiz-Gutierrez, "Pomace Olive Oil Improves Endothelial Function in Spontaneously Hypertensive Rats by Increasing Endothelial Nitric Oxide Synthase Expression," *Am. J. Hypertens.*, vol. 20, no. 7, pp. 728–734, 2007, doi: 10.1016/j.amjhyper.2007.01.012.
- [11] K. Antonopoulos, N. Valet, D. Spiratos, and G. Siragakis, "Olive oil and pomace olive oil processing," *Grasas y Aceites*, vol. 57, no. 1, pp. 56–67, 2006, doi: 10.3989/gya.2006.v57.i1.22.
- [12] F. Pérez-Jiménez, J. Ruano, P. Perez-Martinez, F. Lopez-Segura, and J. Lopez-Miranda, "The influence of olive oil on human health: Not a question of fat alone," *Mol. Nutr. Food Res.*, vol. 51, no. 10, pp. 1199–1208, 2007, doi: 10.1002/mnfr.200600273.
- [13] L. Di Giovacchino, S. Sestili, and D. Di Vincenzo, "Influence of olive processing on virgin olive oil quality," *Eur. J. Lipid Sci. Technol.*, vol. 104, no. 9–10, pp. 587–601, 2002, doi: 10.1002/1438-9312(200210)104:9/10<587::AID-EJLT587>3.0.CO;2-M.
- [14] V. Maestrello, P. Solovyev, L. Bontempo, L. Mannina, and F. Camin, "Nuclear magnetic resonance spectroscopy in extra virgin olive oil authentication," *Compr. Rev. Food Sci. Food Saf.*, vol. 21, no. 5, pp. 4056–4075, 2022, doi: 10.1111/1541-4337.13005.
- [15] D. Tura, C. Gigliotti, S. Pedò, O. Failla, D. Bassi, and A. Serraiocco, "Influence of cultivar and site of cultivation on levels of lipophilic and hydrophilic antioxidants in virgin olive oils (*Olea Europea L.*) and correlations with oxidative stability," *Sci. Hortic. (Amsterdam)*, vol. 112, no. 1, pp. 108–119, 2007, doi: 10.1016/j.scienta.2006.12.036.
- [16] S. K. Dwivedi, M. Vishwakarma, and P. A. Soni, "Advances and Researches on Non Destructive Testing: A Review," *Mater. Today Proc.*, vol. 5, no. 2, pp. 3690–3698, 2018, doi: 10.1016/j.matpr.2017.11.620.
- [17] H. Xiao, L. Feng, D. Song, K. Tu, J. Peng, and L. Pan, "Grading and sorting of grape berries using visible-near infrared spectroscopy on the basis of multiple inner quality parameters," *Sensors (Switzerland)*, vol. 19, no. 11, 2019, doi: 10.3390/s19112600.
- [18] P. Galvin-King, S. A. Haughey, and C. T. Elliott, "Garlic adulteration detection using NIR and FTIR spectroscopy and chemometrics," *J. Food Compos. Anal.*, vol. 96, p. 103757, 2021, doi: 10.1016/j.jfca.2020.103757.
- [19] M. De Luca *et al.*, "Derivative FTIR spectroscopy for cluster analysis and classification of morocco olive oils," *Food Chem.*, vol. 124, no. 3, pp. 1113–1118, 2011, doi: 10.1016/j.foodchem.2010.07.010.
- [20] R. De Bei *et al.*, "Non-destructive measurement of grapevine water potential using near infrared spectroscopy De Bei, R., Cozzolino, D., Sullivan, W., Cynkar, W., Fuentes, S., Damberg, R., Pech, J., & Tyerman, S. D. (2011). Non-destructive measurement of grapevine water pote," *Aust. J. Grape Wine Res.*, vol. 17, no. 1, pp. 62–71, 2011, doi: 10.1111/j.1755-0238.2010.00117.x.
- [21] X. Li *et al.*, "Review of NIR spectroscopy methods for nondestructive quality analysis of oilseeds and edible oils," *Trends Food Sci. Technol.*, vol. 101, no. March, pp. 172–181, 2020, doi: 10.1016/j.tifs.2020.05.002.
- [22] S. Bureau and B. Gouble, "rapid and non-destructive analysis of apricot fruit quality using ft-near infrared spectroscopy," *Mater. Struct.*, no. 2014, pp. 32–35, 2015.
- [23] A. C. de Lima, L. Aceña, M. Mestres, and R. Boqué, "An Overview of the Application of Multivariate Analysis to the Evaluation of Beer Sensory Quality and Shelf-Life Stability," *Foods*, vol. 11, no. 14, pp. 1–15, 2022, doi: 10.3390/foods11142037.
- [24] A. Amari, N. El Bari, and B. Bouchikhi, "Electronic Nose for Anchovy Freshness Monitoring Based on Sensor Array and Pattern Recognition Methods: Principal Components Analysis, Linear Discriminant Analysis and Support Vector Machine," *Int. J. Comput.*, vol. 6, no. 3, pp. 61–67, 2014, doi: 10.47839/ijc.6.3.452.
- [25] M. W. Huang, C. W. Chen, W. C. Lin, S. W. Ke, and C. F. Tsai, "SVM and SVM ensembles in breast cancer prediction," *PLoS One*, vol. 12, no. 1, pp. 1–14,



2017, doi: 10.1371/journal.pone.0161501.

[26] Z. Liu and J. Tan, "Qualitative and quantitative detection of Sudan I and II adulterated in chili powders by front-face synchronous fluorescence spectroscopy : Aggregation-induced emission in solid food," pp. 1–21, 2022.

[27] N. Abu-khalaf and M. Hmidat, "Visible / Near Infrared (VIS / NIR) spectroscopy as an optical sensor for evaluating olive oil quality," *Comput. Electron. Agric.*, vol. 173, no. December 2019, p. 105445, 2020, doi: 10.1016/j.compag.2020.105445.

[28] H. Cen, Y. He, and M. Huang, "Combination and comparison of multivariate analysis for the identification of orange varieties using visible and near infrared reflectance spectroscopy," *Eur. Food Res. Technol.*, vol. 225, no. 5–6, pp. 699–705, 2007, doi: 10.1007/s00217-006-0470-2.

[29] Y. G. M. Kongbonga *et al.*, "Characterization of Vegetable Oils by Fluorescence Spectroscopy," *Food*

Nutr. Sci., vol. 02, no. 07, pp. 692–699, 2011, doi: 10.4236/fns.2011.27095.

[30] T. Wang, Y. Zhang, Y. Liu, Z. Zhang, and T. Yan, "Intelligent Evaluation of Stone Cell Content of Korla Fragrant Pears by Vis/NIR Reflection Spectroscopy," *Foods*, vol. 11, no. 16, 2022, doi: 10.3390/foods11162391.

[31] m Zarezade, Mohammad Reza, abonajmi, M. Ghasemi-varnamkhasti, and f azarikia, "Estimation of the Best Classification Algorithm and Fraud Detection of Olive Oil by Olfaction Machine," vol. 11, no. 2, pp. 371–383, 2021, doi: 10.22067/jam.v11i2.84105. [In persian]

[32] M. Bahmaei, R. Nazeri, F. Kalantari, N. T. Branch, and S. B. Company, "Archive of SID Detection of adulteration in canola-virgin olive admixture using instrumental gas liquid chromatography and UV spectroscopy". [In persian]