



نظارت بر اکسیداسیون روغن زیتون طی دوره نگهداری تسریع شده با استفاده از سامانه ماشین بینایی

علیرضا ثنایی^۱، عبدالعباس جعفری^{۲*}، سید مهدی نصیری^۲، محمدتقی گل‌مکانی^۳، محمد اقتصاد^۴

1. دانشجوی دکتری، بخش مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز
2. دانشیار، بخش مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز
3. دانشیار، بخش علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز
4. استاد، بخش مهندسی مکانیک جامدات، دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه شیراز

(تاریخ دریافت: 95/8/24، تاریخ پذیرش: 95/11/6)

چکیده

در این پژوهش، توانایی یک سامانه ماشین بینایی برای نظارت بر سطح اکسیداسیون روغن زیتون ارزیابی شد. به این منظور نمونه‌های روغن زیتون طی دوره نگهداری تسریع شده به مدت 24 روز در آون مورد بررسی قرار گرفته و سپس عملیات پردازش تصویر جهت استخراج پارامترهای مربوط به فضاها رنگی RGB، HSV و $L^*a^*b^*$ انجام شد. عملکرد تکنیک‌های شبکه عصبی مصنوعی و درخت تصمیم در تعیین میزان اکسیداسیون روغن زیتون مقایسه شد. در هر یک از مدل‌ها پارامترهای رنگی به‌عنوان ورودی و مراحل مختلف در دوره اکسیداسیون روغن زیتون به‌عنوان خروجی تعیین شد. براساس نتایج حاصل شده بیش‌ترین دقت طبقه‌بندی (0/94/44) و کم‌ترین جذر میانگین مربع خطا (0/0696) مربوط به تکنیک درخت تصمیم بوده است. بنابراین سامانه پیشنهادی ماشین بینایی در ترکیب با تکنیک‌های هوش مصنوعی به‌عنوان ابزاری غیرمخرب و کارآمد برای پایش و کنترل کیفیت در طول نگهداری روغن ارائه می‌شود.

واژه‌های کلیدی: ماشین بینایی، روغن زیتون، اکسیداسیون، درخت تصمیم، شبکه عصبی مصنوعی.

1- مقدمه

اکسیداسیون روغن‌های خوراکی یکی از مهم‌ترین نگرانی‌ها در صنعت غذا است که منجر به کاهش کیفیت به دلیل ایجاد طعم بد و تشکیل ترکیبات سمی می‌شود. اکسیداسیون ارزش تغذیه‌ای را در روغن کاهش داده و باعث تشکیل هیدروپراکسیدها، ترکیبات کربونیلی بد بو، مالون آلدئیدها، آلکان‌ها و آلکن‌ها شده و در ابتلای مصرف‌کنندگان به سرطان، دیابت و بیماری‌های قلبی-عروقی تاثیر گذار می‌باشد [1]. روغن‌ها و چربی‌ها مانند بسیاری از مواد اشباع نشده به‌وسیله اکسیژن هوا اکسیده شده و نور و حرارت و بعضی ناخالصی‌ها مانند وجود آب و فلزات این عمل را تسریع می‌کند. اکسیداسیون پارامترهای اصلی کیفیت روغن‌ها و چربی‌ها مانند رنگ، طعم و بو را تغییر می‌دهد [2]. در طول دوره نگهداری کیفیت روغن زیتون به دلیل اکسیداسیون کاهش پیدا کرده و سرعت اکسیداسیون به درجه غیراشباعیت اسیدهای چرب، حضور ترکیبات آنتی‌اکسیدانی و پرواکسیدانی و هم‌چنین شرایط نگهداری بستگی دارد [3, 4].

رنگ به‌عنوان مهم‌ترین ویژگی و خاصیت در آگاهی یافتن از کیفیت محصول شناخته می‌شود و مصرف‌کنندگان تمایل دارند که رنگ را با طعم، سلامت، زمان انبارش‌دگی و مواد مغذی ارتباط دهند و میزان رضایت با ارزیابی‌های فیزیکی، شیمیایی و حسی کیفیت محصولات غذایی همبستگی دارد [5-8]. رنگ روغن زیتون بکر در اثر رنگ‌های سبز و زرد به علت حضور کلروفیل‌ها و کاروتنوئیدها می‌باشد. رنگ روغن زیتون تحت تاثیر رقم زیتون، شاخص رسیدگی، منطقه تولید، سیستم استخراج و شرایط نگهداری قرار می‌گیرد [9]. به‌منظور بررسی اکسیداسیون در روغن زیتون روش‌های شیمیایی و آزمون‌های حسی تعریف شده است، که گران قیمت، وقت گیر، پر زحمت و نیازمند به محلول‌ها و معرف‌های زیادی می‌باشد [10]. روش‌های غیرمخرب مرسوم که بیش‌تر آن‌ها برپایه آنالیز پروفیل اسیدهای چرب و دیگر اجزای جزئی می‌باشند (انواع طیف‌سنجی‌ها) [11-13] اگرچه دقیق بوده ولی پیچیده، وقت گیر، خسته‌کننده، پرهزینه و حساس می‌باشند و ممکن است برای کاربرد تحت شرایط سخت، تکنولوژی مناسبی نباشد، علاوه بر این به کاربرانی با مهارت بالا نیاز دارد. بنابراین توسعه

روشی جدید برای بررسی اکسیداسیون روغن مورد نیاز می‌باشد. امروزه محققین در پی ابداع روش‌های غیرمخرب هستند که ساده، ارزان قیمت و قابل دسترس بوده و هم‌چنین توانایی تشخیص سریع و دقیق میزان شاخص‌های کیفی روغن و قابلیت تجاری سازی داشته باشند. ماشین بینایی از این جهت کاملاً ایده‌آل به نظر می‌رسد و می‌تواند جایگزین افراد خبره شود و ضرورتی ندارد که آزمایش‌های شیمیایی هزینه بر و پرهزمتی در این خصوص صورت گیرد. کاربردهای ماشین بینایی برای اتوماسیون کارخانجات شامل عملیاتی چون بازرسی خودکار به‌منظور بهبود کیفیت محصولات تولید شده، گردآوری اطلاعات برای تصمیم‌گیری در مدیریت و کنترل موجودی و کنترل ماشین یا فرایندها برای بهبود بهره‌وری تولید می‌باشد [14]. در زمینه پردازش رنگی تصاویر روغن زیتون می‌توان اشاره کرد به استفاده از پردازش اطلاعات در فضای رنگی RGB به‌منظور کشف تقلب مربوط به اختلاط روغن سویا در روغن زیتون فرا بکر در غلظت‌های تقلب 0/5 تا 10% [15]. شناسایی منشاء روغن زیتون [16]، پیش‌بینی محتوای روغن در زیتون به‌منظور بهینه‌سازی زمان برداشت [17]، تشخیص شاخص‌های کلروفیل و کاروتنوئیدها در ارقام مختلف روغن زیتون بکر [18]. [19]. در پژوهشی دیگر یک سامانه ماشین بینایی به‌منظور تشخیص ناخالصی‌های روغن زیتون در سه سطح ارائه شد. به این منظور پارامترهای مربوط به فضاها رنگی HSV RGB، و *L*a*b* از روغن زیتون استخراج شده و با استفاده از تکنیک‌های شبکه عصبی مصنوعی¹ (ANN) و ماشین بردار پشتیبان² (SVM) نتایج طبقه‌بندی مقایسه شدند [20]. با توجه به بررسی منابع انجام شده تاکنون پژوهشی در زمینه تشخیص سطح اکسیداسیون روغن زیتون با استفاده از فناوری ماشین بینایی صورت نگرفته است. بنابراین هدف از این پژوهش به‌کارگیری سامانه پیشنهادی ماشین بینایی طی دوره نگهداری تسریع شده روغن زیتون به‌منظور نظارت بر سطح اکسیداسیون با استفاده از پارامترهای رنگی می‌باشد. در این راستا عملکرد روش‌های شبکه عصبی مصنوعی و درخت تصمیم در تجزیه و تحلیل اطلاعات رنگی و طبقه‌بندی مراحل اکسیداسیون مقایسه شد.

1. Artificial neural network

2. Support vector machine

2- مواد و روش‌ها**2-1- سامانه ماشین بینایی**

در جلوی لامپ استفاده شد. تمامی تصاویر در شرایط کاملاً تثبیت شده که در جدول (1) آمده، انجام گرفت و حالت‌های تنظیم خودکار به‌طور کلی خاموش شده بود.

عکس‌های تهیه شده از نمونه‌های روغن برای انجام پردازش‌های بعدی به رایانه انتقال یافته و در جعبه ابزار پردازش تصویر نرم افزار متلب فراخوانی شده و مورد بررسی قرار گرفتند (شکل 2-الف). به‌منظور حذف بخش‌های اضافه تصویر و نیز کاهش حجم کار پردازش تصویر، برنامه‌ای طراحی گردید که در ابتدا برشی از مراکز تصاویر با ابعاد 100×100 پیکسل را انجام داده (شکل 2-ب) و سپس قسمت‌های تیره رنگ تصویر ناشی از لکه‌های چربی بر روی شیشه یا حباب‌های درون روغن بوده را حذف (شکل 2-ج) و مولفه‌های مربوط به فضاهای رنگی مختلف را از تصویر نهایی استخراج کند. در این برنامه تصاویر از فضای رنگی RGB به فضای‌های رنگی HSV و $L^*a^*b^*$

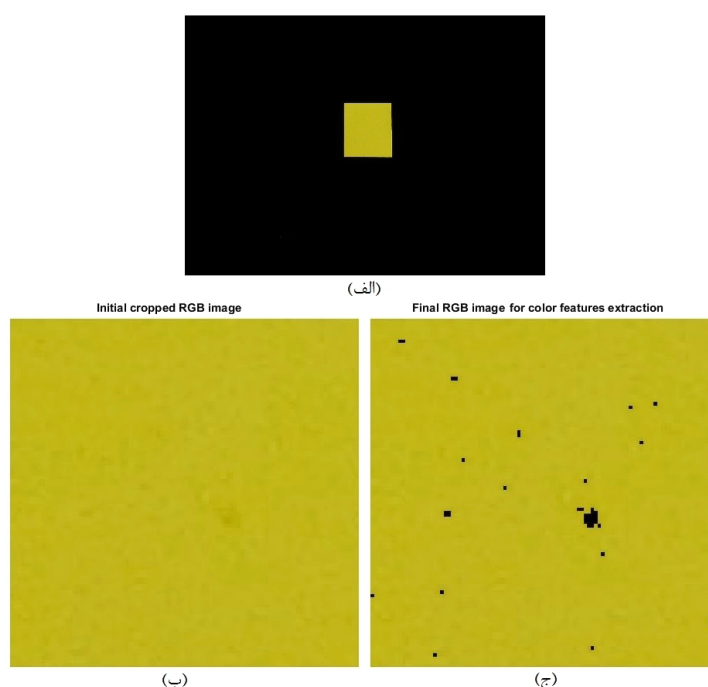
سامانه تصویربرداری از دو قسمت یکی تاریک شامل دوربین عکاسی مدل Canon PowerShot SX220 HS و دیگری روشن دارای لامپ هالوژن به‌منظور نورپردازی تشکیل شده است. این دو قسمت توسط صفحه‌ای با یک سوراخ مربع شکل در وسط جدا شده اند (شکل 1-الف). روغن زیتون درون یک محفظه به حجم 100 میلی‌لیتر که دو سمت آن از شیشه بوده قرار می‌گیرد (شکل 1-ب). این محفظه در قسمت روشن چسبیده به صفحه سوراخ دار می‌باشد به‌طوری‌که نور از درون روغن عبور کرده و وارد قسمت تاریک سامانه می‌شود. در قسمت تاریک نیز لنز دوربین روبه‌روی سوراخ مربع شکل قرار دارد (شکل 1-ج). به‌منظور کاهش شدت نور مستقیم درون لنز دوربین از پرده‌ای



شکل (1) سامانه ماشین بینایی ساخته شده

جدول (1) تنظیمات دوربین در هنگام عکس برداری.

متغیرها	مقدار
اندازه تصویر	4000×2248 پیکسل
حساسیت	ISO -100
گشودگی دیافراگم	f 3/1
سرعت شاتر	0/6 ثانیه
فرمت تصویر	JPEG



شکل (2) الف) عکس گرفته شده از روغن زیتون ب) تصویر برش خورده اولیه ج) تصویر نهایی اصلاح شده

جدول (2) ویژگی های اولیه روغن زیتون.

مقدار	ویژگی
1/74±0/232	اسید چرب آزاد (بر حسب درصد وزنی اسید اولئیک)
7/385±0/521	عدد پراکسید (meq O ₂ /kg)
3/371±0/171	عدد پارا-آنیزیدین (mg/kg)
18/141±0/936	عدد توتوکس
8/763±0/081	محتوای کلروفیل (ppm)
5/973±0/151	محتوای کاروتنوئید (ppm)
1/898±0/040	ضریب خاموشی در طول موج 233 نانومتر (K ₂₃₃)
0/170±0/008	ضریب خاموشی در طول موج 268 نانومتر (K ₂₆₈)
0/910±0/001	وزن مخصوص (g/ml)

کیفی است که مقدار کل پراکسیدهای موجود در روغن را به عنوان فراوردهای اولیه حاصل از اکسایش نشان می‌دهد. طی دوره نگهداری روغن زیتون از روش اسپکتروفتومتری توضیح داده شده توسط شانتا و دکر برای تعیین عدد پراکسید استفاده گردید [22].

3-2- تجزیه و تحلیل اطلاعات

امروزه از شبکه‌های عصبی مصنوعی به طور گسترده در مسائل مربوط به طبقه‌بندی و تشخیص الگو استفاده می‌شود. در این

انتقال یافته و با توجه به کاربرد گسترده این سه فضای رنگی در تحقیقات صنایع غذایی [21]، میانگین مولفه‌های رنگی R (قرمز)، G (سبز)، B (آبی)، H (اصل رنگ)، S (اشباع)، V (شدت)، L* (روشنایی)، a* (از سبز تا قرمز) و b* (از آبی تا زرد) از تصاویر روغن زیتون استخراج می‌شود.

2-2- تهیه نمونه و انجام آزمون‌ها

روغن زیتون بکر استفاده شده در این پژوهش محصولی از کارخانه روغن نباتی گنجه رودبار از توابع شرکت روغن کشی خرمشهر بوده است. ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی اولیه روغن زیتون بکر مورد استفاده در جدول (2) نشان داده شده است. کلیه پارامترهای کیفی در محدوده استاندارد روغن زیتون بکر می‌باشد [9]. به منظور نظارت بر سطح اکسیداسیون، نمونه‌های روغن زیتون تحت شرایط تسریع یافته در بطری‌های شیشه‌ای بی‌رنگ به حجم 250 میلی‌لیتر بدون دربندی به مدت 24 روز در دمای 60 ± 1 درجه سلسیوس درون آون نگهداری شدند. کلیه بطری‌ها به طور کامل پر شده و هر یک در بازه‌های زمانی 3 روزه از آون خارج و توسط سامانه پیشنهادی مورد آزمون قرار گرفتند. عدد پراکسید¹ (PV) یکی از پرکاربردترین شاخص‌های

1. Peroxide value

برای ایجاد درخت تصمیم توسعه داده شده است. الگوریتم‌های استفاده شده به منظور طبقه‌بندی مراحل اکسیداسیون در روغن زیتون شامل J48، BF، LMT، REP و NB⁴ می‌باشد. این الگوریتم‌ها به طور گسترده در مسائل مربوط به طبقه‌بندی استفاده می‌شوند و به منظور کسب اطلاع از ساختار آن‌ها به منابع ذکر شده ارجاع داده می‌شود [25، 26].

در پژوهش حاضر به منظور ارزیابی از روش اعتبارسنجی متقاطع K مرتبه‌ای⁵ استفاده شده است. در این روش، مجموعه داده‌ها به K قسمت مساوی، به صورت تصادفی تقسیم می‌شوند. از K-1 قسمت به عنوان مجموعه داده‌های آموزشی استفاده شده و بر اساس آن مدل ساخته می‌شود و با یک قسمت باقی مانده عملیات ارزیابی انجام می‌گردد. فرایند مزبور به تعداد K مرتبه تکرار خواهد شد، به گونه‌ای که از هر کدام از K قسمت تنها یک بار برای ارزیابی استفاده شده و در هر مرتبه دقت مدل محاسبه می‌شود. در این روش ارزیابی دقت نهایی طبقه‌بندی برابر با میانگین K دقت محاسبه شده خواهد بود [27، 28]. معمول‌ترین مقداری که در متون علمی برای K در نظر گرفته می‌شود برابر با 10 می‌باشد. برای ارزیابی عملکرد مدل‌ها از دقت طبقه‌بندی، میانگین قدر مطلق خطا⁶ (MAE) و جذر میانگین مربع خطا⁷ (RMSE) (روابط 1 و 2) استفاده شد. که y_i مقادیر واقعی و \hat{y}_i مقادیر مدل شده‌ی پارامترها و n تعداد کل داده‌ها است. کلیه آنالیزها با استفاده از نرم افزار داده کاوی Weka 3.7 انجام شده است.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{n}} \quad (1)$$

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |y_i - \hat{y}_i| \quad (2)$$

3- نتایج و بحث

3-1- تغییرات پارامترهای رنگی و عدد پراکسید در طول دوره اکسیداسیون روغن زیتون

تغییرات پارامترهای مربوط به فضاهای رنگی RGB، HSV

گونه مسائل شبکه عصبی مصنوعی با دریافت مشخصه‌های ورودی‌ها و تولید خروجی تعیین می‌کند که هر ورودی به چه طبقه‌ای تعلق دارد. متداول‌ترین شبکه عصبی، شبکه پرسپترون چند لایه است که در بسیاری از تحقیقات مورد استفاده قرار می‌گیرد. این شبکه شامل تعدادی نرون است که در لایه ورودی، خروجی و میانی (لایه پنهان) قرار دارند [23].

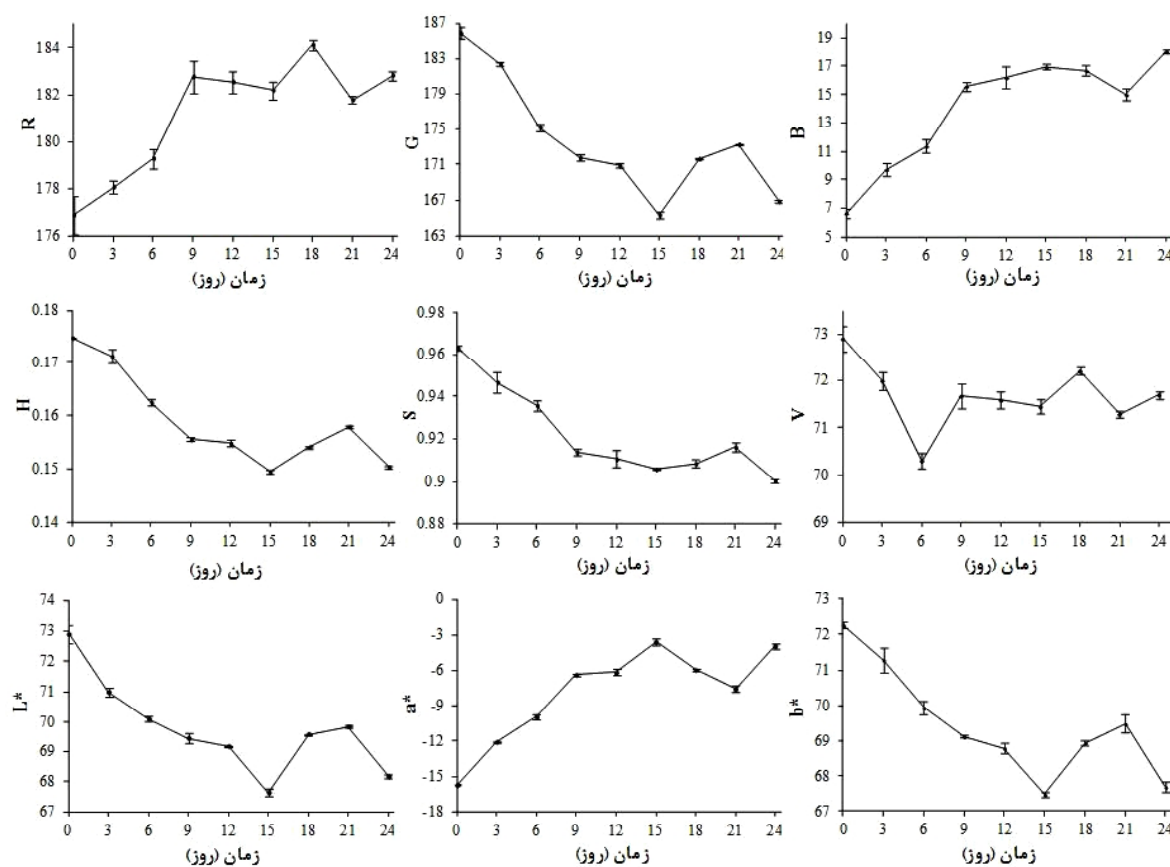
نرون‌های ورودی در بردارنده ارزش خصیصه‌ها و یا متغیرهای مستقل بوده و نرون‌های لایه پنهان در واقع واحدهای پردازش شبکه‌اند، و نرون‌های لایه خروجی طبقه‌بندی کننده‌ها یا متغیرهای وابسته می‌باشند. در این پژوهش از روش پس انتشار خطا¹ که یکی از متداول‌ترین روش‌ها برای آموزش شبکه پرسپترون می‌باشد برای طبقه‌بندی دوره اکسیداسیون روغن زیتون استفاده شد. در روش پس انتشار، خطای بین خروجی شبکه با مقدار مطلوب آن به سمت عقب انتشار می‌یابد و بر این اساس وزن‌ها تنظیم می‌شوند. این فرایند تا زمانی ادامه می‌یابد که خروجی‌های شبکه به یک مقدار قابل اطمینانی برسند، این فرایند باعث یادگیری شبکه عصبی می‌شود [24]. در شبکه پرسپترون چند لایه با کاربردهای طبقه‌بندی از تابع انتقال غیر خطی سیگموئید² در لایه‌های پنهان استفاده می‌شود، که خروجی این تابع بین 1 تا -1 می‌باشد. هم‌چنین کلیه داده‌ها به دو قسمت آموزش (80٪) و اعتبارسنجی (20٪) تقسیم شد. ساختار شبکه عصبی یکی از مهم‌ترین مواردی می‌باشد که روی دقت نتایج تاثیر دارد. بنابراین یافتن بهترین ساختار از موارد کلیدی در ارتقای نتایج طبقه‌بندی است. بدین منظور ساختارهای گوناگون شبکه ارزیابی شد. تعداد نرون در لایه میانی برای هر شبکه با روش آزمون و خطا تعیین شد به طوری که شبکه کم‌ترین خطا و بیش‌ترین دقت را برای طبقه‌بندی داشته باشد. درخت تصمیم³ یکی از ابزارهای قوی و متداول برای طبقه بندی مسائل پیچیده و غی خطی می‌باشد. مدل درخت تصمیم بر خلاف مدل شبکه عصبی مصنوعی به تولید قانون می‌پردازد. در ساختار درخت تصمیم، پیش‌بینی به دست آمده در قالب یک سری قواعد توضیح داده خواهد شد. این مدل‌ها با استفاده از فرایند تکراری تفکیک در گره‌ها، داده‌ها را به کلاس‌های مجزا تقسیم کرده و توسعه پیدا می‌کنند. الگوریتم‌های متفاوتی

1. Backpropagation
2. Sigmoid
3. Decision tree

1. Best-first decision tree
2. Logistic model trees
3. Reduced-error pruning
4. Naive Bayes
5. K-Fold cross validation
6. Mean Absolute Error
7. Root Mean Square Error

با توجه به روند تغییرات در هر یک از مولفه‌های رنگی، امکان تعیین وضعیت اکسیداسیون یا زمان انبارمانی روغن منحصراً براساس یک مولفه میسر نمی‌باشد و هیچ یک از مولفه‌ها به تنهایی نمی‌توانند زمان طی شده را مشخص نمایند. از سوی دیگر با توجه به این‌که داده‌های گرفته شده تنها با تغییر زمان تغییر کرده‌اند و داده‌های مذکور مختص زمان‌های متناظر با آن‌ها بوده‌اند، می‌توان انتظار داشت که ترکیبات مولفه‌های رنگی، ایجاد کننده یک امضا و الگوی خاص برای زمان متناظر با آن رنگ‌ها باشند. بدین ترتیب می‌توان با استفاده از روش‌های شناسایی الگو و استفاده از طبقه‌بندها زمان دقیق متناظر با هر تغییر را به دست آورد. بر این اساس، در این تحقیق با بهره‌گیری از تکنیک‌های شبکه عصبی مصنوعی و درخت تصمیم اقدام به تعیین زمان انبارمانی و وضعیت اکسیداسیون روغن زیتون شده است. عدد پراکسید شاخص مناسبی از تعیین وضعیت اکسیداسیون روغن‌ها می‌باشد. تغییرات عدد پراکسید روغن زیتون در طول دوره نگهداری تسریع یافته در شکل (4) نشان داده شده است.

و $L^*a^*b^*$ در طول دوره اکسیداسیون روغن زیتون در شکل (3) نشان داده شده است. پارامتر L^* معیار روشنایی در روغن بوده و از 0 (سیاه) تا 100 (سفید) متغیر می‌باشد. روند کاهشی این پارامتر به دلیل ایجاد محصولات حاصل از اکسیداسیون و ایجاد حالت کدر در روغن زیتون می‌باشد. پارامتر a^* بیانگر رنگ بین سبز تا قرمز می‌باشد. اعداد مثبت a^* نشان دهنده رنگ قرمز و اعداد منفی آن نشان دهنده رنگ سبز می‌باشد. کاهش پارامتر G (سبز) و افزایش a^* بیانگر کم شدن رنگ سبز روغن زیتون طی دوره اکسیداسیون است. محدوده پارامتر b^* از 100- (آبی) تا 100+ (زرد) بوده و طی اکسید شدن روغن زیتون از زردی آن مقداری کاسته می‌شود. رنگدانه‌های کاروتنوئید و کلروفیل موجود در روغن زیتون طی دوره نگهداری تجزیه و نابود می‌شوند، این مشاهدات در تطابق با یافته‌های به دست آمده در این زمینه است [29]. طی تحقیقات صورت گرفته همبستگی بالای بین پارامتر b^* و غلظت کاروتنوئید و بین پارامتر a^* و غلظت کلروفیل در روغن زیتون وجود دارد [30].



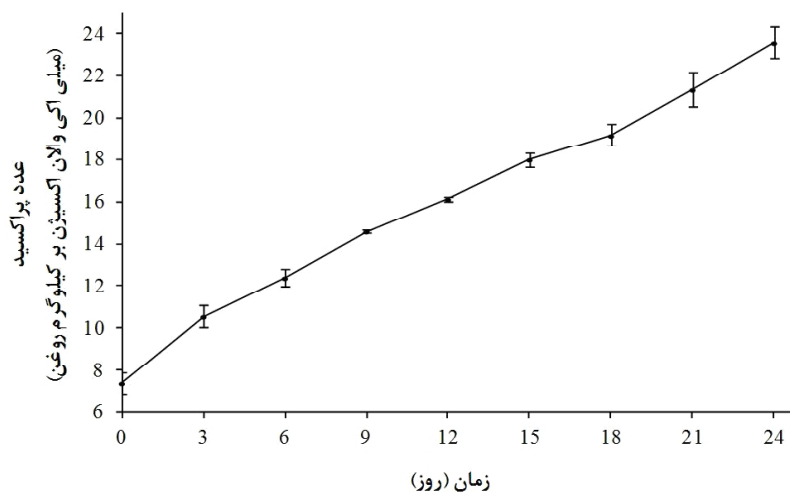
شکل (4) تغییرات عدد پراکسید روغن زیتون در طول دوره نگهداری

مقدار پراکسید در روز صفر 7/38 بود و تا انتهای دوره نگهداری روندی صعودی داشته و به 23/59 در روز 24 رسیده است. عدد پراکسید به عنوان میلی اکی والان اکسیژن به ازای هر کیلوگرم روغن بیان می‌شود. این شاخص معیاری از میزان هیدروپراکسیدها بر اساس میزان اکسیژن فعال چربی را فراهم می‌کند [31]. هیدروپراکسیدها، محصولات اولیه اکسیداسیون هستند. هیدروپراکسیدها هیچ طعم و بویی ندارند اما به سرعت به آلدئیدها تجزیه می‌شوند که طعم و بوی بسیار نامطبوع دارند. در اکسیداسیون چربی‌ها و روغن‌ها، سرعت اولیه تشکیل هیدروپراکسیدها بیش تر از سرعت تجزیه آن‌ها است، اما در مراحل بعد این حالت وارونه می‌شود [32].

3-2- طبقه‌بندی مراحل اکسیداسیون روغن زیتون با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی

به منظور تعیین بهترین ساختار شبکه تعداد مختلفی از نرون‌ها (1 تا 30) در لایه مخفی مورد بررسی قرار گرفت. دقت طبقه‌بندی و خطا در نرون‌های مختلف در شکل (5) نشان داده شده است. طبق نتایج به دست آمده بهترین مدل دارای بیشترین دقت (0/75) و کمترین مقادیر RMSE (0/1923) و MAE (0/0882) بوده و این شبکه عصبی دارای ساختار 9-11-9 برای طبقه‌بندی دوره اکسیداسیون روغن زیتون است. در واقع بهترین مدل دارای لایه‌ی ورودی با 9 متغیر ورودی، یک لایه‌ی مخفی با 11 نرون و لایه خروجی با 9 متغیر خروجی است. متغیرهای ورودی بیانگر ویژگی‌های رنگی و متغیرهای خروجی کلاس‌های مختلف را در دوره اکسیداسیون روغن نشان می‌دهد. در شکل (6) ساختار مربوط به این شبکه نشان داده شده است.

قبل از به‌کارگیری سامانه ماشین بینایی در طبقه‌بندی دوره نگهداری روغن زیتون به منظور روشن شدن ارتباط بین پارامترهای رنگی با شاخص اکسیداسیون در این دوره، همبستگی بین عدد پراکسید و پارامترهای رنگی مورد بررسی قرار گرفت. در جدول (3) همبستگی میان عدد پراکسید و پارامترهای مربوط به فضاها رنگی RGB، HSV و $L^*a^*b^*$ نشان داده شده است. همان‌طور که مشخص است ارتباط معنی‌داری بین عدد پراکسید و پارامترهای رنگی روغن زیتون

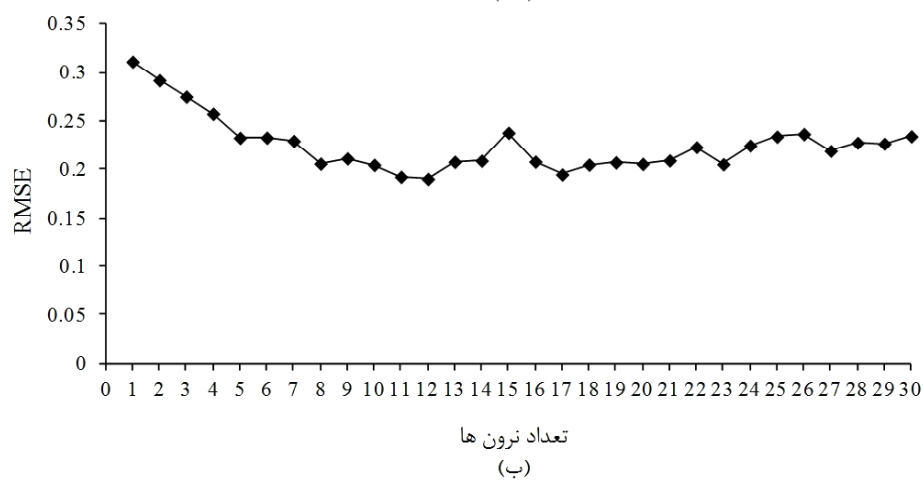
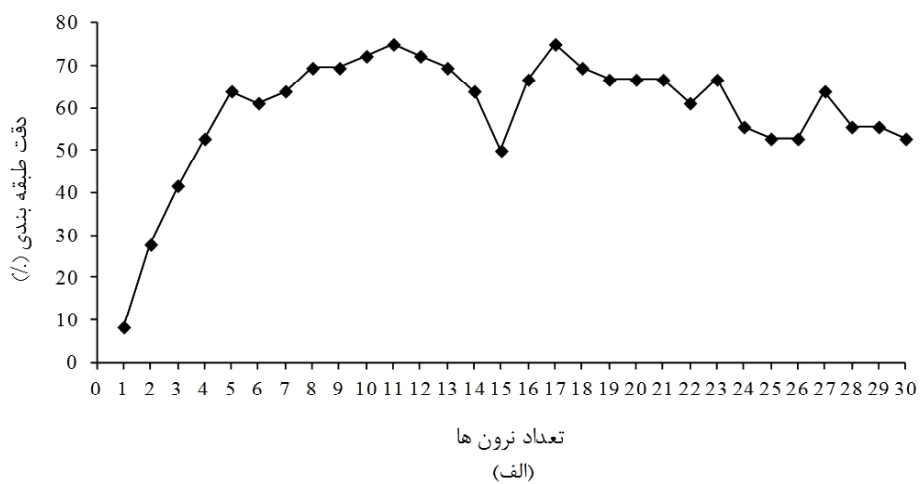


شکل (4) تغییرات عدد پراکسید روغن زیتون در طول دوره نگهداری

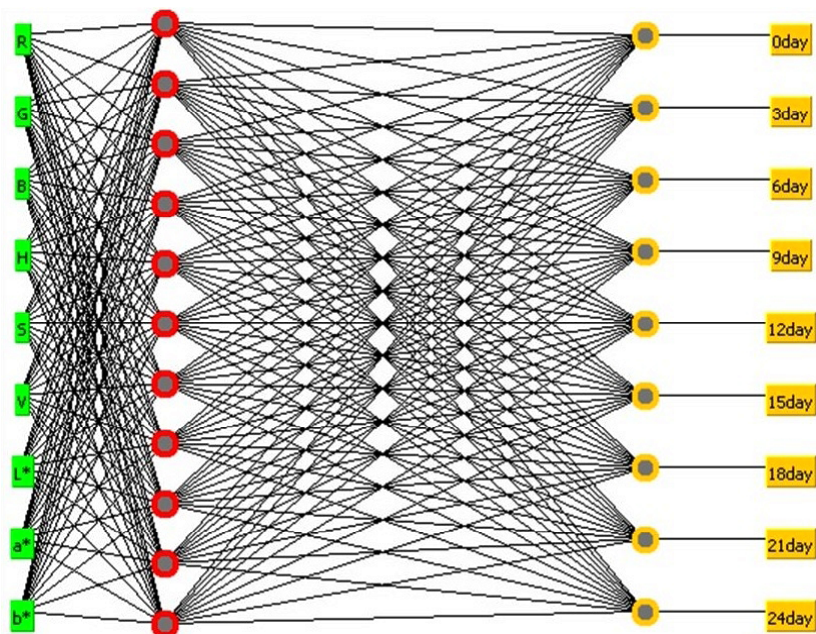
جدول (3) همبستگی بین عدد پراکسید و پارامترهای رنگی روغن زیتون طی دوره نگهداری

b*	a*	L*	V	S	H	B	G	R
-0/826**	0/851**	-0/783**	-0/797**	-0/887**	-0/848**	0/889**	-0/825**	0/820**

** همبستگی در سطح معنی‌داری 0/01 می‌باشد.



شکل (5) الف) دقت طبقه بندی و ب) خطا در نرون های مختلف



شکل (6) شبکه عصبی با ساختار 9-11-9

3-3- استفاده از درخت تصمیم

سنجی فرابنفش (UV) به منظور طبقه‌بندی روغن زیتون در کلاس‌های مختلف براساس کیفیت گزارش شد [34]. در پژوهشی دیگر دستگاه طیف سنجی جرمی با استفاده از تکنیک درخت تصمیم به‌خوبی ویژگی‌های حسی روغن زیتون را تعیین کرد [35]. هم‌چنین دقت طبقه‌بندی تخم مرغ در دوره نگهداری آن با استفاده از طیف سنجی دی الکترونیک 87/5٪ از طریق تکنیک درخت تصمیم به‌دست آمد [36].

4- نتیجه‌گیری کلی

این تحقیق نشان داد که تغییرات رنگ روغن زیتون طی دوره نگهداری بر اثر اکسیداسیون محرز بوده هم‌چنین مولفه‌های رنگی روغن به شکلی تغییر می‌کنند که نمی‌توان صرفاً با اتکا به روند تغییر یک مولفه اقدام به تعیین وضعیت اکسیداسیون یا دوره نگهداری نمود. در پژوهش حاضر با فرض این‌که مولفه‌های رنگی ایجاد یک اثر با الگوی متناظر با وضعیت اکسیداسیون می‌نمایند اقدام به بهره‌گیری از تکنیک‌های شبکه عصبی مصنوعی و درخت تصمیم برای تشخیص الگوهای مذکور شد. نتایج نهایی بیانگر توانایی بالای سامانه ماشین بینایی در ترکیب با تکنیک‌های هوش مصنوعی بر نظارت غیرمخرب کیفیت روغن زیتون می‌باشد. مراحل اکسیداسیون طی دوره

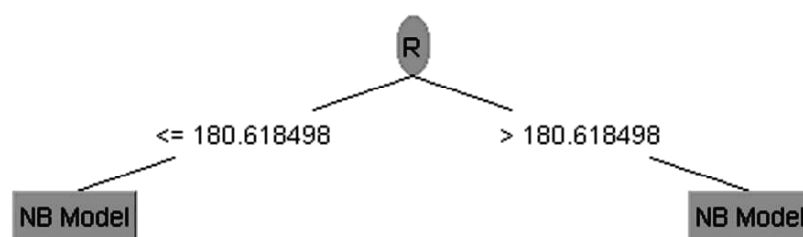
الگوریتم‌های مختلف درخت تصمیم در شناسایی مراحل اکسیداسیون روغن زیتون مورد بررسی قرار گرفت. نتایج مربوط به بررسی عملکرد الگوریتم‌های درخت تصمیم در جدول (4) نشان داده شده است. الگوریتم NB Tree نسبت به الگوریتم‌های درخت تصمیم دیگر از لحاظ دقت و کارایی دارای عملکرد بهتری بود. در این الگوریتم بیش‌ترین دقت طبقه‌بندی (94/44٪) و کم‌ترین مقادیر RMSE (0/0696) و MAE (0/0129) حاصل شد. الگوریتم NB Tree پیوندی بین درخت تصمیم و بیز است و درخت ایجاد شده بر این اساس در برگ‌ها از الگوریتم بیز استفاده می‌کند [33] (شکل 7).

در طبقه‌بندی کلاس‌های دوره اکسیداسیون روغن زیتون عملکرد مربوط به درخت تصمیم نسبت به شبکه عصبی مصنوعی بهتر می‌باشد. ماتریس اغتشاش¹ برای طبقه‌بندی با استفاده از روش درخت تصمیم و الگوریتم NB Tree در جدول (5) نشان داده شده است. پیش‌بینی کلیه کلاس‌ها به غیر از کلاس مربوط به روز دوازدهم دوره اکسیداسیون به‌طور کامل صحیح انجام شده است. نتایج موفقیت آمیزی از کاربرد تکنیک درخت تصمیم در ترکیب با اطلاعات استخراج

1. Confusion matrix

جدول (4) عملکرد الگوریتم‌های درخت تصمیم برای طبقه‌بندی دوره اکسیداسیون روغن زیتون.

MAE	RMSE	دقت طبقه‌بندی (%)	الگوریتم درخت تصمیم
0/031	0/1174	91/66	LMT
0/0494	0/2222	77/77	J48
0/0894	0/2478	50	REP
0/0129	0/0696	94/44	NB
0/0309	0/1757	86/11	BF



شکل (7) ساختار الگوریتم NB Tree

جدول (5) ماتریس اغتشاش برای طبقه بندی دوره اکسیداسیون روغن زیتون.

پیش‌بینی / مشاهده	0	3	6	9	12	15	18	21	24
0	4	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	4	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	4	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	4	0	0	0	0	0
12	0	0	0	1	2	0	1	0	0
15	0	0	0	0	0	4	0	0	0
18	0	0	0	0	0	0	4	0	0
21	0	0	0	0	0	0	0	4	0
24	0	0	0	0	0	0	0	0	4

تشکر و قدردانی

این تحقیق به عنوان بخشی از طرح پژوهشی به شماره 95831975 می‌باشد که توسط صندوق حمایت از پژوهشگران و فناوران کشور (Iran National Science Foundation: INSF) حمایت مالی شده است که بدین وسیله صمیمانه قدردانی می‌گردد.

نگهداری تسریع یافته با استفاده از روش درخت تصمیم بهتر از شبکه عصبی مصنوعی متمایز شدند. سامانه پیشنهادی به‌عنوان تکنولوژی نوین و کارآمد و جایگزینی مناسب برای روش‌های مرسوم در زمینه کیفیت سنجی روغن توصیه می‌گردد.

منابع

- Montedoro, G., Morozzi, G. (2004). Health and sensory properties of virgin olive oil hydrophilic phenols: agronomic and technological aspects of production that affect their occurrence in the oil. *J. Chromatogr. A*, 1054(1), 113-127.
- [5] Fernandez, L., Castellero, C., Aguilera, J. (2005). An application of image analysis to dehydration of apple discs. *J. Food Eng.*, 67(1), 185-193.
- [6] Valadez-Blanco, R., Viridi, A., Balke, S., Diosady, L. (2007). In-line colour monitoring during food extrusion: Sensitivity and correlation with product colour. *Food Res. Int.*, 40(9), 1129-1139.
- [7] Pedreschi, F., Leon, J., Mery, D., Moyano, P. (2006). Development of a computer vision system to measure the color of potato chips. *Food Res. Int.*, 39(10), 1092-1098.
- [1] Esterbauer, H., Schaur, R.J., Zollner, H. (1991). Chemistry and biochemistry of 4-hydroxynonenal, malonaldehyde and related aldehydes. *Free Radic. Biol. Med.*, 11(1), 81-128.
- [2] Nogala-Kalucka, M., Korczak, J., Dratwia, M., Lampart-Szczapa, E., Siger, A., Buchowski, M. (2005). Changes in antioxidant activity and free radical scavenging potential of rosemary extract and tocopherols in isolated rapeseed oil triacylglycerols during accelerated tests. *Food Chem.*, 93(2), 227-235.
- [3] Casal, S., Malheiro, R., Sendas, A., Oliveira, B.P., Pereira, J.A. (2010). Olive oil stability under deep-frying conditions. *Food Chem. Toxicol.*, 48(10), 2972-2979.
- [4] Servili, M., Selvaggini, R., Esposto, S., Taticchi, A.,

- Studies on zNose™ and Machine Vision Technologies for Discrimination of Commercial Extra Virgin Olive Oils. *J. Am. Oil Chem. Soc.*, 92(9), 1235-1242.
- [17] Ram, T., Wiesman, Z., Parmet, I., Edan, Y. (2010). Olive oil content prediction models based on image processing. *Biosystems Eng.*, 105(2), 221-232.
- [18] Moyano, M., Meléndez-Martínez, A.J., Alba, J., Heredia, F.J. (2008). A comprehensive study on the colour of virgin olive oils and its relationship with their chlorophylls and carotenoids indexes (II): CIELUV and CIELAB uniform colour spaces. *Food Res. Int.*, 41(5), 513-521.
- [19] Moyano, M., Meléndez-Martínez, A.J., Alba, J., Heredia, F.J. (2008). A comprehensive study on the colour of virgin olive oils and its relationship with their chlorophylls and carotenoids indexes (I): CIEXYZ non-uniform colour space. *Food Res. Int.*, 41(5), 505-512.
- [20] Marchal, P.C., Gila, D.M., García, J.G., Ortega, J.G. (2013). Expert system based on computer vision to estimate the content of impurities in olive oil samples. *J. Food Eng.*, 119(2), 220-228.
- [21] Taghadomi-Saberi, S., Omid, M., Emam-Djomeh, Z., Ahmadi, H. (2014). Evaluating the potential of artificial neural network and neuro-fuzzy techniques for estimating antioxidant activity and anthocyanin content of sweet cherry during ripening by using image processing. *J. Sci. Food Agric.*, 94(1), 95-101.
- [22] Shantha, N.C., Decker, E.A. (1994). Rapid, sensitive, iron-based spectrophotometric methods for determination of peroxide values of food lipids. *J. AOAC Int.*, 77(2), 421-424.
- [23] Sanaeifar, A., Mohtasebi, S.S., Ghasemi-Varnamkhasti, M., Siadat, M. (2014). Application of an electronic nose system coupled with artificial neural network for classification of banana samples during
- [8] Iqbal, A., Valous, N.A., Mendoza, F., Sun, D.-W., Allen, P. (2010). Classification of pre-sliced pork and Turkey ham qualities based on image colour and textural features and their relationships with consumer responses. *Meat Sci.*, 84(3), 455-465.
- [9] Boskou, D., Blekas, G., Tsimidou, M. (2006). *Olive oil composition*, in: Boskou, D. (Ed.), *Olive oil: Chemistry and technology*, 2nd ed, AOCS press, Champaign, Illinois, pp 41-72.
- [10] Bendini, A., Cerretani, L., Di Virgilio, F., Belloni, P., Lercker, G., Toschi, T.G. (2007). In-process monitoring in industrial olive mill by means of FT-NIR. *Eur. J. Lipid Sci. Technol.*, 109(5), 498-504.
- [11] Mahesar, S.A., Bendini, A., Cerretani, L., Bonoli-Carbognin, M., Sherazi, S.T.H. (2010). Application of a spectroscopic method to estimate the olive oil oxidative status. *Eur. J. Lipid Sci. Technol.*, 112(12), 1356-1362.
- [12] Cayuela Sánchez, J.A., Moreda, W., García, J.M. (2013). Rapid determination of olive oil oxidative stability and its major quality parameters using Vis/NIR transmittance spectroscopy. *J. Agric. Food Chem.*, 61(34), 8056-8062.
- [13] Poulli, K.I., Mousdis, G.A., Georgiou, C.A. (2009). Monitoring olive oil oxidation under thermal and UV stress through synchronous fluorescence spectroscopy and classical assays. *Food Chem.*, 117(3), 499-503.
- [14] Du, C.-J., Sun, D.-W. (2004). Recent developments in the applications of image processing techniques for food quality evaluation. *Trends Food Sci. Technol.*, 15(5), 230-249.
- [15] de Melo Milanez, K.D.T., Pontes, M.J.C. (2015). Classification of extra virgin olive oil and verification of adulteration using digital images and discriminant analysis. *Anal. Methods*, 7(20), 8839-8846.
- [16] Kadiroğlu, P., Korel, F. (2015). Chemometric

- ing and Processing for Applications*, 3rd ed, Taylor and Francis Group, CRC Press, Boca Raton, pp 540-551.
- [33] Kohavi, R. (1996). Scaling Up the Accuracy of Naive-Bayes Classifiers: A Decision-Tree Hybrid, In: Proceeding of the 2nd Int. Conf. on Knowledge Discovery and Data Mining (pp. 202-207), AAAI Press, Cambridge.
- [34] Grigoriadou, D., Tsimidou, M.Z. (2006). Quality control and storage studies of virgin olive oil: Exploiting UV spectrophotometry potential. *Eur. J. Lipid Sci. Technol.*, 108(1), 61-69.
- [35] López-Feria, S., Cárdenas, S., García-Mesa, J.A., Valcárcel, M. (2008). Simple and rapid instrumental characterization of sensory attributes of virgin olive oil based on the direct coupling headspace-mass spectrometry. *J. Chromatogr. A*, 1188(2), 308-313.
- [36] Soltani, M., Omid, M. (2015). Detection of poultry egg freshness by dielectric spectroscopy and machine learning techniques. *LWT- Food Sci. Technol.*, 62(2), 1034-1042.
- shelf-life process. In: Proceeding of the 2nd Int. Conf. on Control Decision and Information Technologies (CoDIT) (pp. 753-757), IEEE, Metz, France.
- [24] Hykin, S. (1999). *Neural Networks: A Comprehensive Foundation*, 2nd ed., Printice-Hall, Inc., New Jersey, pp 120-134.
- [25] L Gupta, D., K Malviya, A., Singh, S. (2012). Performance Analysis of Classification Tree Learning Algorithms. *Int. J. Comput. Appl.*, 55(6), 39-44.
- [26] Witten, I.H., Frank, E., Hall, M.A. (2011). *Data Mining: Practical Machine Learning Tools and Techniques*, 3rd ed., Morgan Kaufmann, Burlington, pp 187-194.
- [27] Kohavi, R. (1995). A study of cross-validation and bootstrap for accuracy estimation and model selection. In: Proceeding of the 14th Int. Joint Conf. on Artificial Intelligence (IJCAI) (pp. 1137-1143), Morgan Kaufmann, San Francisco.
- [28] Refaeilzadeh, P., Tang, L., Liu, H. (2009). Cross-Validation, in L. Liu, M.T. Özsu (Eds.), *Encyclopedia of Database Systems*, Springer US, Boston, pp 532-538.
- [29] Keramat, M., Golmakani, M.T., Aminlari, M., Shekarforoush, S.S. (2016). Comparative Effect of *Bunium persicum* and *Rosmarinus officinalis* Essential Oils and Their Synergy with Citric Acid on the Oxidation of Virgin Olive Oil. *Int. J. Food Prop.*, 19(12), 2666-2681.
- [30] Minguez-Mosquera, M.I., Rejano-Navarro, L., Gandul-Rojas, B., SanchezGomez, A.H., Garrido-Fernandez, J. (1991). Color-pigment correlation in virgin olive oil. *J. Am. Oil Chem. Soc.*, 68(5), 332-336.
- [31] Frankel, E.N. (2012). *Lipid Oxidation*, 2nd ed., Woodhead Publishing Ltd., Cambridge, UK, pp 485.
- [32] O'Brien, R.D. (2008). *Fats and Oils: Formulat-*