

## Nondestructive Quality Assessment of Extra Virgin Olive Oil by Ultrasound

Mohammad Reza Zarezade<sup>1</sup>, Mohammad Aboonajmi<sup>2</sup>, Mahdi Ghasemi-Varnamkhasti<sup>3</sup>

1- PhD. Candidate, Agrotechnology Dept, College of Abouraihan, University of Tehran

2- Associate Professor, Agrotechnology Dept, College of Abouraihan, University of Tehran

3- Associate Professor, Department of Biosystem Eng., Shahrekord University

\* abonajmi@ut.ac.ir

### Abstract

Health and security of foods are recognized as one of the most important human priorities, so effective and new techniques have been implemented to improve and development of effective methods in the quality assessment of food industry. Extra Virgin Olive Oil (EVOO) has many amazing benefits for the human body's health. Due to the nutritional value and high price of EVOO, there is a lot of adulteration in it. The ultrasonic approach has many advantages in the food studies, it is fast and nondestructive. In this study, to fraud detection of EVOO four ultrasonic properties of oil in five levels of adulteration (5%, 10%, 20%, 35% and 50%) were extracted. The 2 MHz ultrasonic probes were used in the DOI 1000 STARMANS diagnostic ultrasonic device in a "probe holding mechanism". The four extracted ultrasonic features include: "percentage of amplitude reduction, time of flight (TOF), the difference between the first and second maximum amplitudes of the domain (in the time-amplitude diagram) and the ratio of the first and second maximum of amplitude". Seven classification algorithms include "Naïve Bayes, support vector machine, gradient boosting classifier, K-nearest neighbors, artificial neural network, logistic regression and Ada-Boost" were used to classifying the pre-processed data. Results showed that the Naïve Bayes algorithm with 90.2% provided the highest accuracy among the others, and the SVM and GBC with 88.2% were in the next ranks after Naïve Bayes.

**Keywords:** Adulteration, Olive oil, Quality assessment, Ultrasound.

## تعیین کیفیت غیرمخرب روغن زیتون با آزمون فراصوتی

محمد رضا زارع زاده<sup>۱</sup>، محمد ابونجمی<sup>۲\*</sup> مهدی قاسمی و رنامخواستی<sup>۳</sup>

۱- دانشجوی دکترا، گروه فنی کشاورزی، پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران

۲- دانشیار، گروه فنی کشاورزی، پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران

۳- دانشیار، مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشگاه شهرکرد

\* abonajmi@ut.ac.ir

### چکیده

سلامت و ایمنی مواد غذایی به عنوان یکی از مهمترین اولویت‌های انسانی محسوب می‌شود؛ بنابراین لازم است فناوریهای مؤثر و جدیدی برای تشخیص تقلب و کیفیت در صنایع غذایی به کار گرفته شود. روغن زیتون فرابرک فواید بسیاری برای سلامتی انسان داشته و به دلیل ارزش غذایی و قیمت بالای آن، احتمال وجود تقلب در آن زیاد می‌باشد. فراصوت تشخیصی در حوزه صنایع غذایی دارای مزایای بسیاری است؛ دقیق و غیرمخرب بوده و در کسری از ثانیه انجام می‌گیرد. در این مطالعه، برای تشخیص تقلب در روغن زیتون فرابرک، چهار ویژگی فراصوتی نمونه‌های تهیه شده در پنج سطح مختلف تقلب (خالص و ۵٪، ۱۰٪، ۲۰٪، ۳۵٪ و ۵۰٪ مخلوط شده با روغن سرخ کردنی معمولی) و با استفاده از سامانه فراصوت تشخیصی استخراج شدند. جهت کاهش خطا، یک سامانه نگهداری و هدایت کاوشگرها طراحی و ساخت گردید. ویژگی‌های استخراجی فراصوت شامل درصد کاهش دامنه، زمان رسیدن موج از فرستنده به گیرنده، تفاضل پیک اول و دوم دامنه در نمودار زمان-دامنه و نسبت پیک اول و دوم دامنه مورد بررسی قرار گرفت. از هفت الگوریتم طبقه‌بندی شامل بیز ساده، دستگاه بردار پشتیبان، گرادیان تقویتی، k همسایگی نزدیک، شبکه عصبی مصنوعی، رگرسیون لجستیک و آدابوست برای طبقه‌بندی داده‌های از پیش پردازش شده استفاده شدند. نتایج نشان داد که الگوریتم بیز ساده با دقت ۹۰/۲٪، بیشترین دقت را در بین سایر مدل‌های طبقه‌بندی داشته و ماشین بردار پشتیبان و گرادیان تقویتی با ۸۸/۲٪ در رده‌های بعدی قرار گرفتند.

**واژگان کلیدی:** تقلب، روغن زیتون، کیفیت‌سنجی، فراصوت تشخیصی.

### ۱- مقدمه

دنبال فناوری‌های غیر مخرب و سریع برای تشخیص آسان‌تر و موثرتر مواد غذایی آلوده هستند. با توجه به این که استفاده از آزمون‌های بیولوژیکی آزمایشگاهی برای تشخیص آلاینده‌های غذایی امری زمان‌بر، پیچیده و در برخی موارد فاقد دقت کافی است، نیاز به فناوری‌های نوین ارزیابی غیرمخرب برای حفاظت از زنجیره‌ی غذا بیش از پیش احساس می‌شود.

بررسی تقلب در مایعات، نوشیدنیها، روغن و انواع روشهای تقلب بحث کاملاً مفصلی است ولی میتوان موارد مهم زیر را برای تقلب مورد اشاره قرار داد: افزایش وزن و حجم محصول مانند افزودن آب به شیر، افزودن اسانسها و مایعات تقلبی به آب لیمو، مخلوط نمودن مواد غذایی با کیفیت پایین وارزان با محصولات اصلی مثل افزودن روغنِ تفاله زیتون و انواع روغنهای ارزان قیمت سرخ کردنی به روغن زیتون فرابرک، عدم رعایت استاندارد یا

امروزه ایمنی و سلامت مواد غذایی یکی از اصلی‌ترین خواسته‌ها و انتظارات مصرف‌کنندگان می‌باشد؛ بنابراین اتخاذ فناوریهای جدید و روشهای مؤثر و بازدارنده برای تضمین کیفیت و امنیت مواد غذایی نیاز مبرم برای تشخیص کیفیت محصول میباشد. شناسنامه دار کردن مواد غذایی با سیاست مزرعه تا سفره<sup>۱</sup>، این امکان را فراهم می‌کند تا سیستم‌های نظارت بر کیفیت به درستی عمل کنند. آلاینده‌های تهدیدکننده ایمنی و سلامت مواد غذایی می‌توانند میکروبی، اجسام خارجی (شامل بیولوژیکی، شیمیایی یا فیزیکی)، سموم طبیعی و سایر ترکیبات شیمیایی و مواد بسته‌بندی باشند [۱]. اگرچه آلاینده‌های زنجیره غذا را می‌توان از طریق کشت‌های آزمایشگاهی شناسایی کرد، اما مهندسی علوم زیستی به

<sup>1</sup> Farm to Fork

مطابق رابطه ۱، با کاهش دما، سرعت موج فراصوت افزایش می‌یابد و برعکس. همچنین افزایش فرکانس موج منجر به افزایش سرعت موج می‌شود [۷].

$$V=3.3 \text{ m s}^{-1} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1} \quad (1)$$

فراصوت تشخیصی به طور گسترده‌ای در ارزیابی کیفیت مواد غذایی، کشاورزی، دامپروری، شیلات و... مورد استفاده قرار می‌گیرد. این رویکرد در پژوهش‌های مختلف از جمله تشخیص رسیدگی و زمان برداشت میوه [۸ و ۹]، تشخیص اجسام خارجی در مواد غذایی بسته‌بندی شده [۵]، تعیین کیفیت تخم‌مرغ [۱۰] و غیره استفاده شده است. تحقیقات در مورد ارزیابی کیفیت میوه ممکن است برای میوه‌های خرد شده (مخرب) یا برای میوه‌های کامل (غیرمخرب) انجام گیرد. به هر حال، پایه و اساس آزمون در هر دو روش یکسان است و مبتنی بر تغییر در خواص موج فراصوت مانند سرعت و تضعیف موج است. تعدادی پژوهش در مورد ارزیابی کیفیت مواد غذایی توسط فناوری فراصوت در جدول ۱ آورده شده است.

متداول‌ترین روش ارزیابی کیفیت روغن زیتون که در آزمایشگاه‌های مواد غذایی انجام می‌شود، روش کروماتوگرافی<sup>۳</sup> است که یک آزمون مخرب است. به طور کلی، کروماتوگرافی دو نوع است: کروماتوگرافی گازی<sup>۴</sup> (GC) و کروماتوگرافی مایع با کارایی بالا<sup>۵</sup> (HPLC).

کروماتوگرافی بر اساس جداسازی نمونه (در این مطالعه روغن زیتون) به اجزای تشکیل دهنده است. البته روش-های دیگری برای ارزیابی کیفیت مواد غذایی از قبیل ماشین بویایی [۱۵]، گرماسنجی [۱۶]، ماشین بینایی [۱۷] طیف سنجی [۱۸] و بسیاری از روش‌های دیگر وجود دارد. با توجه به اینکه اکثر روش‌های ارزیابی کیفیت روغن زیتون مانند GC به صورت غیرمخرب بوده و زمان نسبتاً زیادی را به خود اختصاص می‌دهد، روش فراصوت، غیرمخرب، سریع و با کاربری آسان می‌باشد. ویژگی‌های فراصوتی هر ماده، منحصر به فرد بوده و به عنوان اثر انگشت آن ماده شناخته می‌شود؛ بنابراین در این مطالعه از روش فراصوت تشخیصی برای ارزیابی کیفیت روغن زیتون استفاده شده است. همچنین در این مطالعه از چندین

فرمول ثبت شده در تولید محصول، استعمال رنگ‌ها، اسانس‌ها، مواد نگهدارنده و سایر ترکیبات غیرمجاز و یا استعمال بیش از حد مجاز برای جلوگیری از فساد و...

میوه درخت زیتون (*Olea europaea L.*) که درصد قابل توجهی از آن با هدف استخراج روغن کشت می‌شود، فواید غذایی بسیاری دارد. مصرف روغن زیتون فرابکر<sup>۱</sup> (EVOO) روز به روز بیشتر می‌شود و این نتیجه‌ی آگاهی مردم از مزایای آن است. خاستگاه اصلی زیتون، حوزه دریای مدیترانه است و کشت آن چندین هزار سال قدمت دارد. به طور کلی، روغن زیتون فرابکر به دلیل ارزش غذایی، عطر و طعم بسیار عالی به عنوان روغن با ارزش محسوب می‌شود [۲]. بسته به کیفیت محصول، به طور متوسط، هر میوه زیتون حاوی ۱۵ تا ۲۰ درصد روغن است. نوع و درصد ترکیبات سازنده آن مانند اسیدهای چرب، آنتی‌اکسیدان‌ها و رنگدانه‌ها کیفیت آن را نشان می‌دهد که این امر به عوامل مختلفی از قبیل گونه‌های کشت شده، شرایط آب و هوایی، روش‌های استخراج و مرحله رسیدگی میوه زیتون بستگی دارد.

سه عامل موثر در کیفیت روغن زیتون نور، زمان و دما می‌باشد. تابش نور آفتاب منجر به افت کیفیت آن می‌گردد، بنابراین بطری با رنگ تیره و یا از جنسی که نور را عبور نمی‌دهد، برای نگهداری طولانی مدت روغن مناسب می‌باشد.

یکی از چالش‌های سیستم‌های فراصوت تشخیصی، مشکل عبور موج از هوا می‌باشد. وجود هوا در مسیر عبور موج منجر به تضعیف می‌شود؛ البته در سیستم‌های فراصوت کوپل با هوا<sup>۲</sup> این مشکل چندان مطرح نیست [۳]. معمولاً بین کاوشگر فراصوت و ظرف نمونه آزمایش منافذ هوایی وجود دارد، بنابراین استفاده از ماده‌ای برای کوپل کردن لازم است. ماده‌ای که به عنوان کوپلر استفاده می‌شود، می‌تواند روغن [۴]، آب [۵ و ۶]، و غیره باشد. همچنین در آزمون‌های فراصوت تشخیصی، لازم است دمای نمونه و محیط آزمایش به طور مداوم به مقدار ثابتی حفظ گردد؛ زیرا خواص فراصوتی متناسب با تغییر دما تغییر می‌کند و نادیده گرفتن این تغییرات می‌تواند منجر به بروز خطا در نتایج شود. در صورت تغییر دما در طول آزمایش، نتایج بایستی با استفاده از یک سری ضرایب اصلاح گردد.

<sup>3</sup> Chromatography

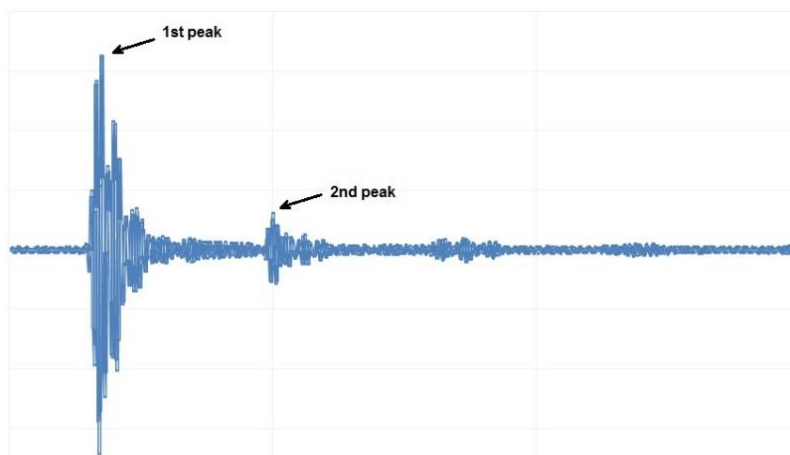
<sup>4</sup> Gas Chromatography

<sup>5</sup> High performance liquid chromatography

<sup>1</sup> Extra Virgin Olive Oil

<sup>2</sup> Air coupled ultrasound

مدل طبقه‌بندی مختلف برای تجزیه و تحلیل و طبقه‌بندی استفاده شده و تعیین بهترین روش طبقه‌بندی از دیگر اهداف این تحقیق است.



شکل ۱- پیک های مختلف دامنه به خاطر شکست‌های مختلف موج

جدول ۱- پژوهش‌هایی در مورد ارزیابی کیفی غیرمخرب مواد غذایی با فراصوت

منبع	حالت	فرکانس	نتیجه	نمونه
[11]	Pulser-Receiver	1 MHz	تشخیص نوع روغن و مخلوط های آن	چند روغن گیاهی
[12]	Pulse-Echo	1 MHz	تشخیص تقلب	روغن نارگیل
[13]	Pulse-Echo	100 Hz	تاثیر دما، طول زنجیره کربن، شکل مولکول و... بر خواص فراصوتی ماده	مایعات مختلف
[14]	Pulse-Echo	2.25 MHz	تعیین خواص روغن زیتون	روغن زیتون
[9]	Pulse-Echo	100 kHz	تعیین کیفیت میوه	پرتقال پرتقال

داشته باشد، برای ایجاد تقلب استفاده می‌گردد ولی در ایران عمده تقلب‌ها روی روغن‌های بکر و فرابکر زیتون توسط روغن پالم، روغن آفتابگردان و روغن تفاله زیتون صورت می‌گیرد.

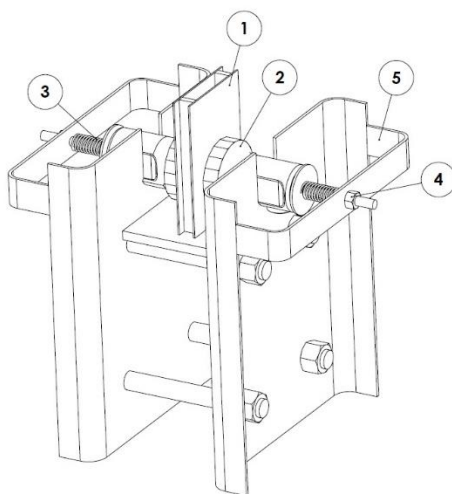
مطابق شکل ۲، این سامانه شامل دستگاه فراصوت تشخیصی DIO 1000 STARMANS، یک جفت کاوشگر فرستنده و گیرنده دو مگاهرتزی (مدل ۵۷۷۴۵، سری B2S)، سامانه نگهداری و هدایت کاوشگرها و محفظه نمونه روغن است که از جنس شیشه نازک ساخته شده است (یک میلی‌متر ضخامت). محفظه شیشه‌ای نمونه و کاوشگرها، توسط ژل فراصوتی کوپل گردید.

## ۲- مواد و روش‌ها

در این مطالعه، از یک سامانه فراصوت تشخیصی برای دریافت خواص فراصوت روغن زیتون، شامل نمونه‌های روغن زیتون فرابکر و نمونه‌های تقلب شده با روغن سرخ کردنی متداول در بازار با درصدهای مختلف استفاده گردید. روغن سرخ‌کردنی مورد استفاده برای ایجاد تقلب مطابق اطلاعات کارخانه تولید کننده، ترکیبی از روغن آفتابگردان، روغن کانولا (کلزا) و روغن ذرت بود. در این پژوهش روغن زیتون فرابکر و روغن سرخ‌کردنی مذکور، با همزن دستی مخلوط شدند. معمولاً هر روغنی که با روغن زیتون به راحتی مخلوط و همگن شده و قیمت پایینی



(الف)



(ب)

شکل ۲- سامانه فراصوتی الف- نمای واقعی ب- سامانه (۱) ظرف نمونه، ۲. کاوشگر ۳. فنر تنظیم فشار وارده، ۴. پیچ تنظیم و ۵. بدنه

## ۲-۱- تهیه نمونه‌ها

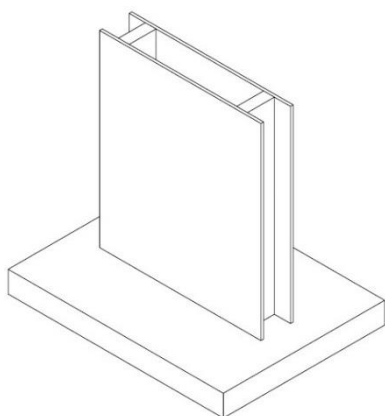
روغن‌های فرابکر مورد استفاده در این تحقیق از کارخانه صنایع غذایی دانزه واقع در شهر لوشان استان گیلان تهیه گردید که از میوه‌های زیتون تازه چیده شده و با روش پرس سرد استخراج گردیدند. همچنین پروفایل اسیدهای چرب در آزمایشگاه مواد غذایی رهپویان دانش در شهر تهران و با دستگاه کروماتوگرافی گازی " Agilent Technologies (Model 7890B)" به دست آمد. جهت تهیه نمونه‌های روغن تقلبی (در شش دسته‌ی صفر و ۵ و ۱۰ و ۲۰ و ۳۵ و ۵۰ درصد تقلب شده و به صورت درصد وزنی)، روغن زیتون فرابکر با روغن سرخ کردن متداول در بازار (ترکیبی از روغن آفتابگردان، روغن کلزا و روغن ذرت) مخلوط شدند. از هر دسته روغن، چهار نمونه با وزن خالص ۱۰۰ گرم تهیه شده و آزمایش‌های هر نمونه هفت

بار تکرار گردید؛ بنابراین ۲۸ تست برای هر دسته انجام گرفت.

همان‌طور که قبلاً ذکر شد، سه عامل موثر در کیفیت روغن زیتون، نور، دما و اکسیژن می‌باشد. بنابراین نمونه‌ها در مکانی تاریک و در دمای کمتر از ۲۵ درجه سانتیگراد نگهداری شدند. برای به حداقل رساندن اکسیداسیون نمونه‌ها، بایستی مقدار اکسیژن موجود در ظرف نمونه به حداقل برسد، بنابراین ظروف نمونه به طور کامل پر شدند. مشخصات اسیدهای چرب نمونه‌ها در جدول ۲ نشان داده شده است. نتایج آزمون کروماتوگرافی روی نمونه‌ها نشان داد که با افزایش تقلب در نمونه روغن، درصد اسیدهای چرب، مانند اسید اولئیک (C18:1) و اسید پالمیتیک (C16:0) کاهش می‌یابد که این دور از انتظار نبود.

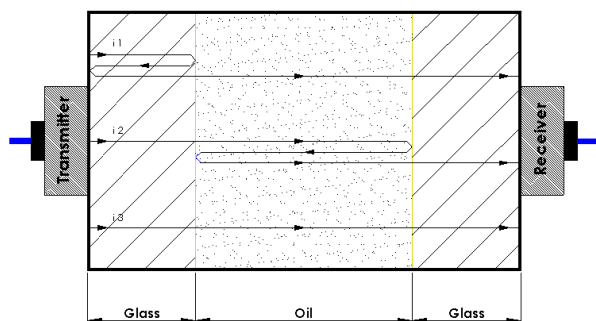
جدول ۲- پروفایل اسیدهای چرب نمونه‌ها

C16:0	C17:0	C17:1	C18:0	C18:1c	C18:2c	C18:2t	C18:3	C20:0	C22:0	C24:0	نوع
15.72	0.03	0.06	2.48	66.05	12.59	0.02	0.64	0.44	0.12	0.08	روغن زیتون فرابرک
15.22	0.04	0.07	2.54	63.75	14.35	0.03	0.8	0.42	0.14	0.09	روغن زیتون فرابرک با ۵٪ تقلب
14.76	0.03	0.01	2.56	63.1	16.24	0.03	0.8	0.42	0.17	0.1	روغن زیتون فرابرک با ۱۰٪ تقلب
13.8	0.04	0.06	2.56	60.8	19.41	0.03	0.93	0.41	0.22	0.11	روغن زیتون فرابرک با ۲۰٪ تقلب
12.38	0.04	0.06	2.63	57.44	24.04	0.04	1.09	0.4	0.3	0.013	روغن زیتون فرابرک با ۳۵٪ تقلب
11.7	-	0.06	2.72	55.45	26.52	0.05	1.2	0.4	0.35	0.16	روغن زیتون فرابرک با ۵۰٪ تقلب
5.87	0.03	0.05	3.03	40.63	46.1	0.07	1.98	0.34	0.68	0.27	روغن سرخ کردنی معمولی



شکل ۳- محفظه نمونه

استخراج شدند: ۱. درصد کاهش دامنه از فرستنده به گیرنده (شاخصی از تضعیف سیگنال)، ۲. زمان عبور موج از فرستنده به گیرنده<sup>۱</sup> (TOF)، ۳. تفاضل پیک اول و دوم دامنه در نمودار زمان - دامنه (شکل ۱) و ۴. نسبت پیک اول و دوم دامنه در نمودار زمان - دامنه. برای اطلاع از پراکندگی داده‌ها، تمام داده‌ها (چهار ویژگی فراصوتی) با استفاده از نمودار جعبه ای و هیستوگرام مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت.



شکل ۴- بارتاب‌های مختلف موج فراصوتی هنگام عبور از یک محیط به محیط دیگر

## ۲-۲- سامانه نگهداری و هدایت کاوشگرها

برای تهیه ظرف نمونه روغن، از شیشه‌ای نازک با ضخامت یک میلی متر استفاده شد. با توجه به ابعاد کاوشگرهای فرستنده و گیرنده‌ی سامانه فراصوت (قطر بیرونی کاوشگر در ناحیه تماس با ظرف نمونه حدود ۳۰ میلی متر می‌باشد)، مطابق شکل ۳، یک ظرف کوچک برای نگهداری نمونه روغن بین دو کاوشگر، طراحی و ساخته شد. مطابق شماره ۱ در شکل ۲-ب، فاصله بین کاوشگر فرستنده و گیرنده ۱۲ میلی‌متر بوده و پس از کسر ضخامت شیشه، موج فقط ده میلی‌متر در نمونه روغن حرکت می‌کند. سامانه‌های فراصوت نسبت به فشار اعمال شده بر روی کاوشگرها جهت کوپل شدن با محفظه نمونه، بسیار حساس هستند و نگهداری کاوشگرها با دست در دو سمت نمونه، نتایج را با خطا مواجه می‌نماید؛ بنابراین یک سامانه نگهداری و هدایت کاوشگرها با استفاده از نرم افزار 2016 SOLIDWORKS طراحی و ساخته شد. پس از ساخت نمونه‌ی اولیه دستگاه و انجام تست‌های اولیه، ایرادات برطرف و مدل نهایی ساخت و بهینه گردید. فشار روی کاوشگرها برای اتصال با ظرف نمونه، به کمک پیچ‌های تعبیه شده، قابل تنظیم بوده و این باعث یکسان شدن شرایط برای همه آزمایش‌ها گردید. کوپل کردن کاوشگرها به محفظه نمونه با ژل روان کننده فراصوتی صورت گرفت.

شکل ۱ نمونه‌ای از خروجی سامانه را نشان می‌دهد. داده‌های خام از طریق درگاه USB به رایانه منتقل و توسط نرم افزار MATLAB R2014a به داده‌های قابل پردازش تبدیل شدند. چهار ویژگی از سیگنال‌های فراصوت

<sup>1</sup> Time Of Flight

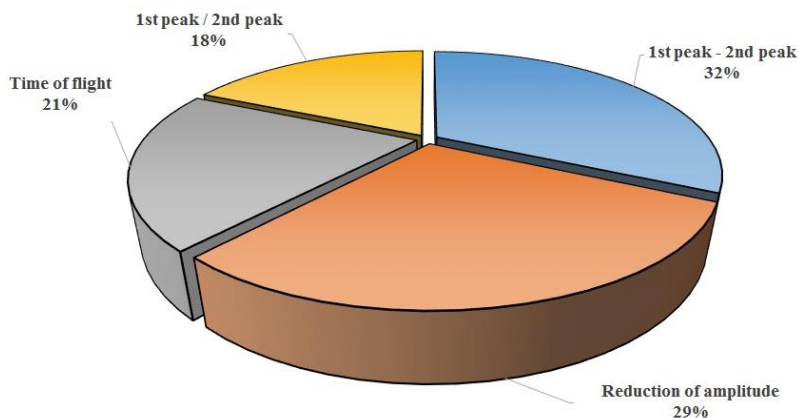
### ۳- نتایج و بحث

اصولاً قبل از مدل کردن داده‌ها با الگوریتم‌های طبقه‌بندی (مانند شبکه‌های عصبی مصنوعی، ماشین بردار پشتیبان، K همسایگی نزدیک و غیره)، نرمال کردن داده‌ها لازم است. داده‌های خام نرمال نشده منجر به عدم توازن ویژگی‌ها می‌شود و ممکن است تاثیر یک ویژگی بسیار بیشتر از دیگری باشد و این نامطلوب است. وقتی ویژگی‌ها و داده‌ها در مقیاس‌های مختلفی هستند، نرمال‌سازی بسیار با اهمیت خواهد بود. برای ارزیابی پراکندگی داده‌ها، تمام داده‌ها (چهار ویژگی فراصوتی) توسط نمودار جعبه‌ای و هیستوگرام مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند. این نمودارها نشان داد که فاصله موجود بین داده‌ها قابل توجه هستند. همچنین نمودارها نشان دادند که توزیع داده‌ها بیش از مقدار معمولی است و نیاز به عملیات پیش‌پردازش دارد. در تجزیه و تحلیل چند متغیره آماری روش‌های مختلفی برای اندازه‌گیری وابستگی یا رابطه بین دو متغیر تصادفی وجود دارد. همبستگی بین دو متغیر به معنای پیش‌بینی مقدار یک پارامتر توسط دیگری است.

امواج فراصوت هنگامی که می‌خواهند از یک محیط به محیط دیگر بروند، سه نوع رفتار نشان می‌دهند: یا به طور مستقیم به مسیر خود ادامه می‌دهند، یا با زاویه خاصی شکست خورده و به محیط دوم می‌روند و یا بازتاب می‌خورند. به هر حال، همان‌طور که در شکل ۴ نشان داده شده است، در این پژوهش به دلیل عبور موج فراصوت از چند ماده مختلف (از کاوشگر فرستنده به شیشه، از شیشه به روغن، از روغن به شیشه و شیشه به کاوشگر گیرنده)، موج بازتاب‌های مختلفی را تجربه می‌کند به همین جهت در نمودار دامنه - زمان، قله‌های مختلفی وجود خواهد داشت. ترکیب روغن‌های ارزان و با ارزش غذایی پایین با روغن زیتون فرابکر باعث تغییر در خواص فیزیکی مانند چگالی و همگنی می‌شود که تأثیر مستقیمی بر سرعت، تضعیف و ضریب شکست موج دارد. یک سامانه فراصوت تشخیصی همراه با الگوریتم یادگیری ماشین به راحتی می‌تواند برای تشخیص خلوص مختلف روغن زیتون فرابکر استفاده شود. در این مطالعه کدهای پیش‌پردازش و همچنین عملیات طبقه‌بندی داده‌ها با استفاده از نرم افزار Python نسخه ۳.۷ نوشته و اجرا شدند.

جدول ۳ - ماتریس همبستگی بین ویژگی‌ها

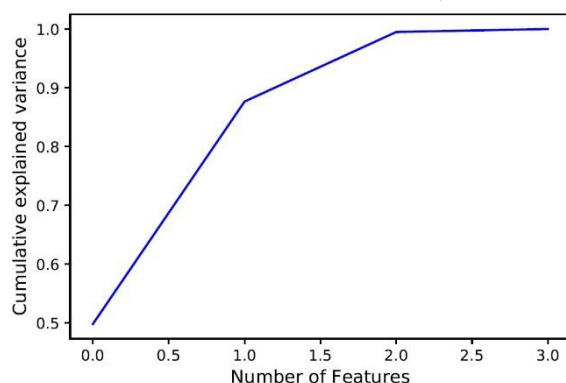
درصد افت دامنه	زمان عبور موج از فرستنده به گیرنده	تفاضل پیک اول و دوم	نسبت پیک اول و دوم	
1	-0.37	0.73	-0.42	درصد افت دامنه
-0.37	1	-0.01	0.56	زمان عبور موج از فرستنده به گیرنده
0.73	-0.01	1	0.28	تفاضل پیک اول و دوم
-0.42	0.56	0.28	1	نسبت پیک اول و دوم



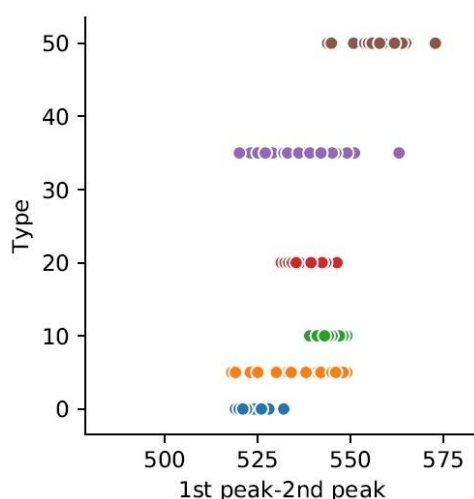
شکل ۵ - درصد تاثیر ویژگی‌های مختلف در دقت طبقه‌بندی

دوم دامنه در نمودار زمان - دامنه" با ۱۸.۱۵٪ کمترین تأثیر را در طبقه بندی نشان داد. با توجه به اینکه تفاضل پیک اول و دوم دامنه در نمودار زمان - دامنه بیانگر ضریب تضعیف روغن مورد آزمون می باشد، لذا می توان گفت ضریب تضعیف شاخص ترین و موثرترین پارامتر در شناسایی تقلب در روغن زیتون می باشد.

جدول ۳ ماتریس همبستگی بین ویژگی ها را نشان می دهد. مقادیر ماتریس همبستگی در محدوده ۱- (حداکثر همبستگی معکوس) تا ۱+ (حداکثر همبستگی) است. ضریب همبستگی صفر نشان می دهد که این دو پارامتر به یکدیگر وابسته نیستند. مطابق شکل ۵، "تفاضل پیک اول و دوم دامنه در نمودار زمان - دامنه" با ۳۲.۲۲٪ موثرترین و "نسبت پیک اول و



شکل ۶ - نمودار تحلیل مولفه های اصلی (PCA)



شکل ۷ - روند تغییر ویژگی "تفاضل پیک اول و دوم دامنه" با تغییر درصد تقلب

چگونگی تغییرات ویژگی "تفاضل پیک اول و دوم دامنه در نمودار زمان - دامنه" با تغییر در مقدار تقلب روغن در شکل ۷ آورده شده است. مشاهده می شود که افزایش درصد روغن تقلبی به نمونه منجر به افزایش اختلاف دو پیک می شود؛ به عبارت دیگر، افزایش درصد روغن تقلبی منجر به کاهش دامنه و افزایش تضعیف سیگنال می شود.

شکل ۶ تجزیه و تحلیل مولفه اصلی (PCA) برای داده ها را نشان می دهد. مطابق این شکل، با حذف یکی از چهار ویژگی فراصوت، تغییر قابل توجهی در نتایج طبقه بندی مشاهده نمی شود و تنها با سه ویژگی می توان از دقت بالایی در طبقه بندی (۹۶٪) برخوردار شد. روش PCA یکی از مهمترین نتایج جبر خطی است. در این روش داده ها از یک فضای چند بعدی به فضای با بعد کمتر منتقل می شوند. PCA یک روش انتخاب ویژگی است که در اهداف کاهش ابعاد استفاده می شود. تجزیه و تحلیل در فضای با ابعاد پایین، آسانتر و سریعتر انجام می شود.



## ۳-۱- الگوریتم‌های طبقه‌بندی

طبقه‌بندی کننده ساده و شناخته شده است که در صورت داشتن داده‌های کمتر، نتایج خوبی را ارائه می‌دهد. این روش بر پایه قانون بیز احتمال شرطی است که فرض می‌کند ویژگی‌ها به طور شرطی از هم مستقل می‌باشند. این فرض باعث می‌شود تا این الگوریتم سریع‌تر به جواب برسد [۱۹]. ماتریس اغتشاش این روش برای طبقه‌بندی روغن زیتون فرابکر در جدول ۴ ارائه شده است.

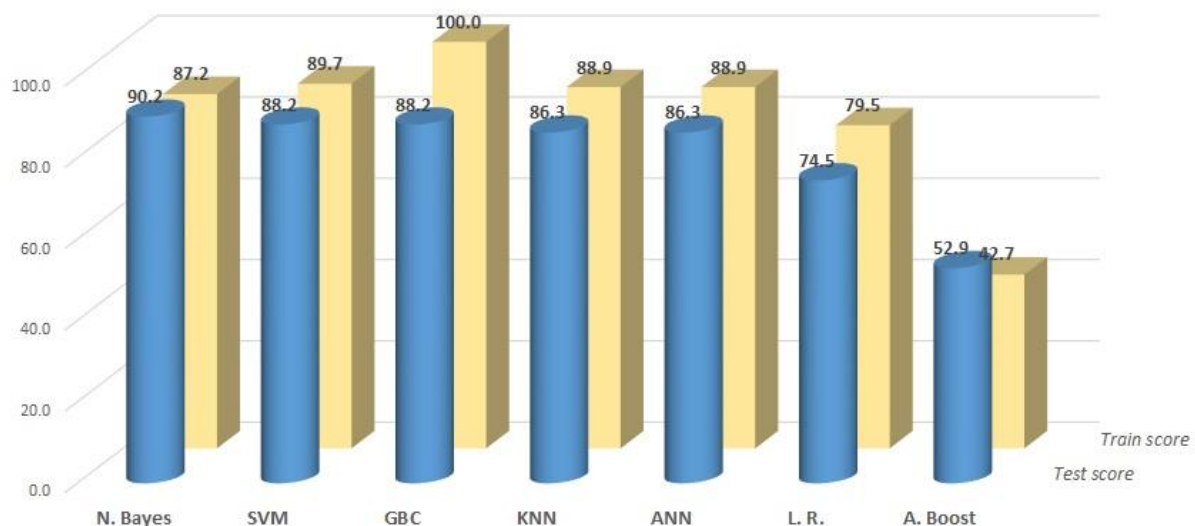
برای صحت‌سنجی الگوریتم‌های طبقه‌بندی، لازم است داده‌ها به دو دسته "داده‌های آموزش" و "داده‌های آزمایش" تقسیم گردد. در این مطالعه، ۷۰٪ از داده‌ها برای آموزش و ۳۰٪ برای آزمایش داده‌ها اختصاص داده شدند. نتایج نشان داد الگوریتم طبقه‌بندی بیز ساده با ۹۰.۲ درصد بهترین مدل در طبقه‌بندی می‌باشد. بیز ساده یک

جدول ۴ - ماتریس اغتشاش روش بیز ساده

پیش بینی	واقعی					
	0%	5%	10%	20%	35%	50%
0%	10	0	0	0	0	0
5%	1	6	0	0	1	0
10%	0	0	8	0	0	0
20%	0	0	1	9	0	0
35%	1	2	0	0	5	0
50%	0	0	0	0	0	7

پشتیبان هر دو با دقت ۸۸.۲۴٪ طبقه‌بندی نمودند. همچنین، مدل‌های طبقه‌بندی آدابوست و رگرسیون لجستیک به ترتیب با ۵۲.۹۴ و ۷۴/۵۱ درصد در مقایسه با سایر مدل‌ها کمترین دقت طبقه‌بندی را ارائه نمودند. نتایج طبقه‌بندی داده‌ها با الگوریتم‌های ذکر شده در شکل ۸ آورده شده است.

این جدول نشان دهنده قابلیت این روش برای تشخیص نمونه‌های تقلبی با دقت بالا می‌باشد. به دلیل آنکه در این پژوهش تعداد داده‌ها نسبتاً کم بود، لذا همانطور که انتظار می‌رفت روش بیز ساده به دلیل دقت مناسب در داده‌های کم، بهترین روش انتخاب شد. پس از روش بیز ساده، طبقه‌بندی کننده‌های گرادیان تقویتی و ماشین بردار



شکل ۸ - دقت الگوریتم‌های مختلف طبقه‌بندی

نشان می‌دهد که با استخراج خواص مختلف فراصوت و با یادگیری آن داده‌ها به سامانه، می‌توان تقلب ۵٪ در روغن زیتون فرابکر را با دقت بالایی تشخیص داد.

#### قدردانی و تشکر

بدین وسیله از آقای دکتر غفار علیزاده مدیرعامل محترم شرکت صنایع غذایی دانزه و دکتر محمدحسین سورگی عضو هیئت علمی گروه طراحی کاربردی دانشکده مهندسی مکانیک و انرژی دانشگاه شهید بهشتی بابت مساعدت‌هایشان در پیشبرد اهداف این تحقیق، تشکر و قدردانی می‌گردد.

#### ۴- نتیجه گیری

نتایج نشان داد که از بین هفت مدل طبقه‌بندی مختلف، بی‌زساده و روش ماشین بردار پشتیبان و گرادیان تقویتی با ۹۰.۲، ۸۸.۲۴ و ۸۸.۲۴٪، به ترتیب دقیق‌ترین الگوریتم‌های طبقه‌بندی بودند. همچنین روش آدابوست با ۵۲.۹۴٪ کمترین دقت را ارائه داد. از بین چهار ویژگی فراصوت استخراج شده، (۱) درصد کاهش دامنه از فرستنده به گیرنده (شاخصی از تضعیف سیگنال)، (۲) زمان عبور موج از فرستنده به گیرنده (TOF)، (۳) تفاضل پیک اول و دوم دامنه در نمودار زمان - دامنه (شکل ۱) و (۴) نسبت پیک اول و دوم دامنه در نمودار زمان - دامنه (ویژگی سوم بیشترین تأثیر را در دقت داده‌کاوی نشان داده است. نتایج

#### ۵- منابع

poultry egg quality." *Research in Agricultural Engineering* 56(1): 26-32.

[11] Rashed, M. S. and J. Felfoldi. 2018. Ultrasonic method for identifying oil types and their mixtures. *Progress in Agricultural Engineering Sciences* 14: 111-119.

[12] George, T. and E. Rufus and Z. C. Alex. 2017. Artificial Neural Network Based Ultrasonic Sensor System For Detection Of Adulteration In Edible Oil. *Journal of Engineering Science and Technology* 12: 1568-1579.

[13] Cooke, W. A. 2016. Development of Ultrasonic Techniques for Characterization of Liquid Mixtures.

[14] Alouache, B., F. Khechena, F. Lecheb and T. Boutkedjirt. 2015. Characterization of olive oil by ultrasonic and physico-chemical methods. *Physics Procedia* 70: 1061-1065.

[15] Xu, L., X. Yu, L. Liu and R. Zhang 2016. "A novel method for qualitative analysis of edible oil oxidation using an electronic nose." *Food chemistry* 202: 229-235.

[16] Van Wetten, I., A. Van Herwaarden, R. Splinter, R. Boerrigter-Eenling and S. Van Ruth 2015. "Detection of sunflower oil in extra virgin olive oil by fast differential scanning calorimetry." *Thermochimica acta* 603: 237-243. DOI: <http://dx.doi.org/doi:10.1016/j.tca.2014.11.030>

[17] Jafari, A., A. Fazayeli and M. R. Zarezadeh 2014. "Estimation of orange skin thickness based on visual texture coarseness." *Biosystems engineering* 117: 73-82. <http://dx.doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2013.08.010>

[18] Ok, S. 2017. "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* 68(1): 173. doi: <http://dx.doi.org/10.3989/gya.0678161>

[19] Quali A., Cherif A. R., Kerbas Marie-Odile; "Data mining-based Bayesian networks for best classification"; *Computational Statistics & Data Analysis*, Vol. 51, Oct. 2005.

[1] West, J., M. Becker, S. Tombrink and A. Manz 2008. "Micro total analysis systems: latest achievements." *Analytical chemistry* 80(12): 4403-4419.

[2] Homapour, M., M. Ghavami, Z. Piravivanak and E. Hosseini 2016. "Evaluation of Chemical Characteristics of Extra Virgin Olive Oils Extracted from Three Monovarieties of Mari, Arbequina and Koroneiki in Fadak and Gilvan Regions." *Journal of Food Biosciences and Technology* 6(1): 77-85.

[3] Fathizadeh, Z. and M. Aboonajmi 2017. "Nondestructive air-coupled ultrasound measurement in the food industries." *Proc IRNDT*: 26-27.

[4] Meftah, H. and E. Mohd Azimin 2012. "Detection of foreign bodies in canned foods using ultrasonic testing." *International Food Research Journal* 19(2).

[5] Zhao, B., O. A. Basir and G. S. Mittal 2003. "Detection of metal, glass and plastic pieces in bottled beverages using ultrasound." *Food Research International* 36(5): 513-521.

[6] Hæggström, E. and M. Luukkala 2001. "Ultrasound detection and identification of foreign bodies in food products." *Food Control* 12(1): 37-45.

[7] McClements, D. J. and M. J. Povey 1992. "Ultrasonic analysis of edible fats and oils." *Ultrasonics* 30(6): 383-388.

[8] Mizrach, A. 2008. "Ultrasonic technology for quality evaluation of fresh fruit and vegetables in pre- and postharvest processes." *Postharvest biology and technology* 48(3): 315-330. doi:10.1016/j.postharvbio.2007.10.018

[9] Morrison, D. and U. Abeyratne 2014. "Ultrasonic technique for non-destructive quality evaluation of oranges." *Journal of Food Engineering* 141: 107-112. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2014.05.018>

[10] Aboonajmi, M., A. Akram, T. Nishizu, N. Kondo, S. Setarehdan and A. Rajabipour 2010. "An ultrasound-based technique for the determination of