



صدمه برآمده از برداشت مکانیکی میوه زیتون بر ویژگی‌های شیمیایی و دی‌الکتریک روغن زیتون فوق بکر استحصال شده

عباس اکبرنیا

عضو هیئت علمی (دانشیار) گروه طراحی ماشین و مکترونیک، سازمان پژوهش‌های علمی و صنعتی ایران، پژوهشکده مهندسی مکانیک، تهران، ایران

اطلاعات مقاله

چکیده

تاریخ‌های مقاله :

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۶/۱۱

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۶/۱۰

کلمات کلیدی:

خواص دی‌الکتریک،
روغن زیتون،
صدمه مکانیکی،
کیفیت روغن،
ویژگی شیمیایی.

در این پژوهش به منظور بررسی تأثیر ضربه برآمده از برخورد مکانیکی در برداشت میوه زیتون بر کیفیت روغن استحصال شده، اثر دو فاکتور جنس انگشتی ضربه‌زن در دو سطح و رسیدگی میوه زیتون در سه سطح مورد بررسی قرار گرفت. روش آماری مورد استفاده برای این امر آزمایش فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی بوده و مقایسه میانگین‌ها بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح ۵ درصد انجام گرفت. یک دستگاه برداشت ضربه‌ای که بر روی محور دوران آن در هر نوبت یک نوع انگشتی ضربه‌زن از جنس متفاوت نئوپرن (Neoprene) و اتیلن پروپیلن رابر (EPR) نصب گردید، برای برداشت سه نوع میوه زیتون روغنی، زرد و فیشمی در سه مرحله نارس، نیمه رسیده و رسیده استفاده شد. ویژگی‌های کیفی روغن زیتون شامل مقدار اسیدیته، پراکسید، ترکیبات استرولی، ترکیب اسیدهای چرب و فنل کل روغن زیتون استخراج شده، بررسی گردید. همچنین خواص دی‌الکتریک مربوط به ویژگی‌های شیمیایی اندازه‌گیری شد. تغییرات ولتاژ نوسان فاز و دامنه با استفاده از تکنیک دی‌الکتریک طیف‌سنجی به‌دست آمد و داده‌های خروجی توسط شبکه عصبی مصنوعی (ANN) و ماشین بردار پشتیبان (SVM) مورد ارزیابی قرار گرفت. تحلیل میانگین‌ها و نیز بررسی شاخص‌های کیفی نشان داد، گرچه روغن استحصال‌ی نمونه‌ها، روغن زیتون فوق بکر (EVOO) بود اما کیفیت نمونه‌های روغن زیتون برداشت شده توسط EPR بالاتر از نئوپرن بود.

DOI: 10.48311/fsct.2026.83861.0.

* مسئول مکاتبات:

abbasakbarnia@irost.ir ,
abbasakbarnia@yahoo.com

۱-مقدمه

بیش از نیمی از زیتون‌های تولید شده در جهان متعلق به اسپانیا، یونان و ایتالیا است. همچنین میزان تولید روغن فوق بکر در دنیا، بیش از ۳۵۰۰ کیلوگرم بوده که نشان دهنده اهمیت روغن زیتون در زنجیره صنایع غذایی است (FAO, 2020). خواص مفید و سالم روغن زیتون نسبت به سایر روغن‌ها، گرایش مصرف کنندگان را به استفاده از این محصول روز به روز افزایش می‌دهد. روغن زیتون حاوی مقدار زیادی اسیدهای چرب غیراشباع (۷۰-۸۰ درصد)، اسید اولئیک (۵۵-۷۵ درصد)، اسید لینولئیک (۶-۱۲ درصد) و ترکیبات بیوفنولیک است [1]. خواص شیمیایی روغن زیتون به گونه زیتون (cv)، ویژگی‌های آب و هوایی و همچنین مرحله رسیدگی زیتون بستگی دارد. همچنین صدمات مکانیکی ناشی از فرآیند برداشت و پس از برداشت بر کیفیت روغن زیتون تأثیر می‌گذارد [2].

پژوهش‌های بسیاری برای کاهش صدمه مکانیکی در فرآیند برداشت زیتون انجام گرفته است [3, 4, 5]. علی‌رغم اینکه استفاده از دستگاه برداشت ارتعاشی صدمه‌ی کمتری به زیتون می‌زند، برخی از کشاورزان ترجیح می‌دهند از برداشت کننده ضربه‌ای (IH) استفاده کنند. اگرچه برداشت از طریق ضربه (IH) صدمه‌ی مکانیکی را افزایش می‌دهد، اما این دستگاه برای باغ‌هایی در مقیاس کوچک مناسب و مفید است. از یک طرف صدمه‌ی ناشی از برخورد انگشتی IH با زیتون منجر به کبودی می‌شود که تمایل مشتری به خرید این محصول را کاهش داده، از سوی دیگر این صدمه بر برخی از فاکتورهای مفید روغن زیتون فوق بکر (EVOO) مانند اسیدیته و مقدار پراکسید، اسید پالمیتیک، اسید اولئیک و همچنین اسیدهای چرب غیراشباع تأثیر می‌گذارد [6]. روش‌های غیرمخرب برای تعیین کیفیت روغن زیتون توجه پژوهشگران را به خود جلب کرده است. کیفیت روغن زیتون را می‌توان با استفاده از طیف‌سنجی فراصوت^۱ [7]، طیف سنجی مادون قرمز

نزدیک^۲ [8]، پردازش تصویر^۳ [9] و طیف سنجی فلورسانس^۴ به‌دست آورد. همچنین طیف‌سنجی دی‌الکتریک روشی غیرمخرب با دقت قابل قبولی است. با توجه به ویژگی‌های شیمیایی متفاوت EVOO های مختلف، ویژگی دی‌الکتریک تغییر می‌کند. اسید اولئیک یکی از فاکتورهای کیفی روغن زیتون است که با افزایش آن محتوای دی‌الکتریک کاهش می‌یابد [10]. علاوه بر این، با کاهش یا افزایش سایر عوامل کیفی روغن زیتون، نرخ دی‌الکتریک همگرا می‌شود [11]. بنابراین می‌توان از روش غیرمخرب طیف‌سنجی دی‌الکتریک برای ارزیابی کیفیت روغن زیتون استفاده کرد.

هدف این پژوهش تمرکز بر دو موضوع است. (i): برای ارزیابی اثر انگشتی‌های هد در دستگاه برداشت ضربه‌ای (IH)، ساخته شده از لاستیک اتیلن پروپیلن (EPR) در مقایسه با نئوپرن بر ویژگی‌های شیمیایی EVOO استخراج شده. (ii): اندازه‌گیری ویژگی‌های دی‌الکتریک EVOO استخراج شده به عنوان یک عامل کیفیت. به همین دلیل از یک سنسور خازنی قابل حمل فرکانس پایین برای به‌دست آوردن ولتاژ تغییر فاز استفاده شد. همچنین به منظور تجزیه و تحلیل داده‌ها از دو روش شبکه عصبی مصنوعی (ANN) و ماشین بردار پشتیبان (SVM) استفاده شد.

۲-مواد و روش‌ها

۱.۲. آماده‌سازی نمونه و ویژگی‌های فیزیکی-مکانیکی

سه نوع میوه زیتون روغنی، زرد و فیشری که دارای ویژگی فیزیکی-شیمیایی متفاوتی هستند و خصوصیات فیزیکی، مکانیکی و شیمیایی آنها در طول دوره رسیدن تغییر می‌کند در سه مرحله مختلف رسیدگی شامل نارس (اوایل مهر)، نیمه رسیده (اوایل آبان) و رسیده (اواخر آبان) برداشت شدند. با تعیین مشخصات مکانیکی زیتون در مراحل رسیدن، می‌توان جنس IH را به گونه‌ای تعیین کرد که کمترین

3- image processing

4- Fluorescence Spectroscopy

1-Ultrasonic

2- Near-infrared spectroscopy

برای به دست آوردن مقدار اسیدیته و پراکسید، از روش Kiritsakis استفاده شد [16]. لذا ۵ گرم از نمونه روغن زیتون با ۵۰ میلی لیتر اتانول خنثی مخلوط و با فنل فتالین تیترا شد. همچنین برای به دست آوردن مقدار پراکسید، ۳۰ میلی لیتر محلول اسید استیک + ایزواکتان (نسبت ۳ به ۱) تهیه و به ۵ گرم نمونه روغن زیتون اضافه شد. سپس ۰/۵ میلی لیتر یدید پتاسیم اشباع (KI) به محتویات ظرف اضافه و ظرف به مدت ۱ دقیقه در جای تاریک قرار گرفت. علاوه بر این، ۳۰ میلی لیتر آب مقطر و محلول نشاسته ۱ درصد به ظرف اضافه شد.

۲.۳.۲. ترکیب اسیدهای چرب

نمونه‌ها به عنوان مشتق متیل استر اسید چرب تهیه و سپس به دستگاه GC، (model Yung lin 6500, South Korea)، تزریق شدند. دمای آشکارساز و انژکتور به ترتیب ۲۸۰ و ۲۶۰ درجه سلسیوس در نظر گرفته شد. متیلاسیون اسیدهای چرب طبق استاندارد شماره ۲-۱۳۱۲۶ انجام گرفت. در این روش با افزودن ۲ میلی لیتر هگزان و ۲۰۰ میکرو لیتر پتاس متانولی ۲ مولار، در دمای اتاق متیله شده و پس از آگیری با سولفات سدیم، نمونه متیله شده به دستگاه GC تزریق شد.

۳.۳.۲. فنل کل

با استفاده از معرف فولین، محتوای فنل کل نمونه‌ها تعیین شد [17]. برای انجام آزمایش، پنج میلی لیتر از معرف فولین با ۵۰ میلی لیتر آب مقطر مخلوط گردید، سپس یک میلی لیتر از نمونه را با ۱/۵ میلی لیتر اسید فولیک مخلوط کرده و به مدت پنج دقیقه در دمای اتاق (۱±۲۱) قرار گرفت. در نهایت ۱/۵ میلی لیتر کربنات سدیم به محلول اضافه شد و به مدت ۷۰ دقیقه در اتاق تاریک قرار گرفت. فرآیند جذب در طول موج ۷۶۵ نانومتر انجام شد و غلظت‌ها محاسبه گردید. منحنی‌های استاندارد با غلظت‌های ۲۰، ۲۵، ۵۰، ۷۵، ۱۰۰، ۱۲۵ و ۱۵۰ میکروگرم به دست آمد.

۴.۳.۲. ترکیبات استرول

تعیین ترکیبات استرولی با استفاده از کروماتوگرافی گازی (GC) و روش Cercaci و همکاران انجام گرفت. مشخصات آزمایش شامل ستون کروماتوگرافی گازی SE-54، گاز حامل

صدمه‌ی مکانیکی ایجاد شود. ویژگی‌های فیزیکی شامل اندازه، حجم، چگالی و رطوبت است. برای به دست آوردن ابعاد زیتون از کولیس دیجیتال (دقت ۰/۰۰۱) استفاده شد. همچنین رطوبت نمونه‌ها با روش پیشنهادی [12] اندازه‌گیری و برای به دست آوردن چگالی زیتون از روش جابجایی سیال استفاده شد [13]. مهمترین ویژگی‌های مکانیکی محصولات کشاورزی شامل نیروی شکست، انرژی شکست، مدول الاستیسیته و نقطه تنش تسلیم زیستی است [14]. برای به دست آوردن فاکتورهای مذکور، آزمون تنش-کرنش (دستگاه سنتام، STM20) انجام گرفت. پنج نمونه سالم از هر رقم با سطح رسیدگی متفاوت انتخاب شد. بارگذاری بر روی نمونه‌ها به روش صفحه تخت انجام گرفت. حداکثر دقت ویژگی‌های مکانیکی برای مواد ویسکوالاستیک را می‌توان با نرخ بارگذاری ۵-۱۵ میلی متر در دقیقه (ASABE) به دست آورد. بنابراین، نرخ بارگذاری ۵ میلی متر در دقیقه و فرکانس ۱۰ هرتز با استفاده از لودسل ۵۰ نیوتن اعمال گردید. در این تحقیق از دو هد دوار ضربه‌زن (IH) با انگشتی‌هایی از مواد مختلف (EPR و Neoprene) برای برداشت استفاده شد. با توجه به پیش آزمون برداشت توسط IH، سرعت ۳۰۰ دور در دقیقه عملکرد قابل قبولی برای برداشت زیتون داشت و این سرعت منجر به کمینه صدمه می‌شود. نمونه‌ها در یک روز با شرایط آب و هوایی برابر برداشت و به آزمایشگاه منتقل و فرآیند استخراج روغن انجام گرفت.

۲.۲. فرآیند استخراج EVOO

برای استخراج روغن از دستگاه Oliomio GOLD France استفاده شد. زیتون‌ها شسته و از برگ‌ها جدا گردیدند و پس از ۳۰ دقیقه در دمای ۲۷ درجه به مالاکسور دستگاه منتقل شدند [15]. نمونه‌های خرد شده در ۶۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ و پس از انجام فرآیند فیلتراسیون توسط جداکننده، نمونه‌های EVOO در ظروف شیشه‌ای تیره بسته-بندی و در دمای ۴ درجه سلسیوس نگهداری شدند.

۳.۲. شاخص‌های کیفی روغن زیتون استخراج شده

۱.۳.۲. مقدار اسیدیته و پراکسید

LCD بود (شکل ۱). برای تولید سیگنال از تراشه DAC0800 استفاده شد. همچنین فرکانس خروجی (۱۰ کیلوهرتز تا ۱ مگاهرتز) با استفاده از یک مقاومت خارجی و یک خازن متغیر کنترل گردید. تراشه AD8307 برای اندازه-گیری ثابت دی الکتریک (ϵ') و ضریب تلفات (ϵ'') استفاده شد. آزمایش صلاحیت با سه تکرار در دمای اتاق انجام گرفت.

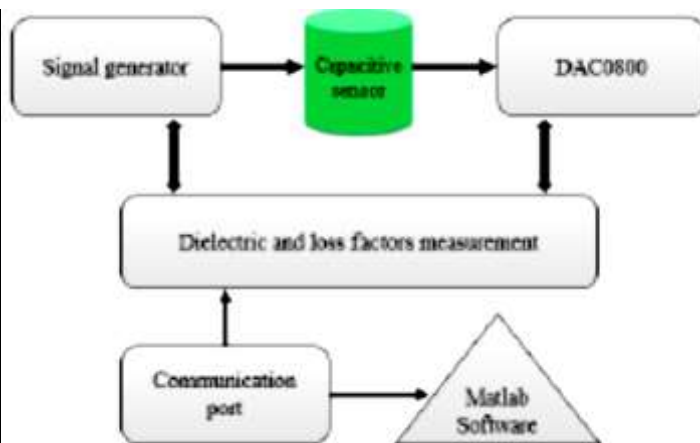


Fig.1. Schematic illustration of the portable dielectric spectroscopy system

گرفته شد. علاوه بر این، حرکت نزولی گرادیان (GDM) برای به حداقل رساندن خطا اعمال شد. داده‌های ورودی شامل ولتاژ دی-الکتریک و ضرایب تلفات است و خروجی رده شبکه EVOO بود.

۶.۲. ماشین بردار پشتیبانی^۶ (SVM)

SVM یک سیستم کارآمد است که نه تنها با به حداقل رساندن خطاها دقت قابل قبولی را ارائه می‌دهد، بلکه زمان تجزیه و تحلیل را نیز کاهش خواهد داد [21]. در مدل رگرسیون SVM تابعی با یک متغیر وابسته (که خود تابعی از چندین متغیر مستقل است) پیش‌بینی می‌شود و در نهایت با استفاده از یک مرز خطی دو رده را از هم جدا می‌کند. مشابه ANN و سیستم‌های ریاضی، SVM الگوریتم‌های متفاوتی دارد. در این پژوهش از سه نوع تابع SVM شامل هسته (RBF)، چند جمله‌ای و خطی استفاده شد. در معادلات تابع هسته-RBF، مقدار γ می‌تواند بر میزان دقت و خطا تأثیر بگذارد [22]. γ عرض تابع هسته را کنترل می‌کند و نشان دهنده تأثیر زیادی بر روی نقشه‌برداری داده‌ها در فضای ابعاد بالاتر است. بنابراین سه مقدار ۰/۰۱، ۰/۱ و ۱ برای تابع RBF در نظر گرفته

هیدروژن با دبی ۳۶ سانتی‌متر بر ثانیه، دمای تزریق و آشکارساز ۳۲۰ درجه سلسیوس، برنامه دمایی ۲۴۰ تا ۲۵۵ درجه سلسیوس است. با محاسبه تراز زیر هر پیک، مقدار ترکیبات استرولی تعیین شد [18].

۴.۲. طیف‌سنجی دی الکتریک

سیستم دی الکتریک شامل یک میکروکنترلر ATMEGA 32، یک مدار ولتاژ مستقیم، یک حسگر خازنی، یک مدار تولید سیگنال، گیرنده‌ها و فرستنده‌های سریال و یک نمایشگر

در هر اتصال حسگر خازنی به رایانه، دو داده ϵ' و ϵ'' به دست آمد (معادله ۱ و ۲). فاکتورهای دی الکتریک و تلفات به تغییر فاز ($\Delta\phi$) بستگی دارد، ضخامت سنسور (d)، سرعت ولتاژ (c)، فرکانس سیگنال (f) و تضعیف (Δ_A) است.

$$\epsilon' = [1 + (\Delta\phi/360 \times d)(c/f)]^2 \quad (1)$$

$$\epsilon'' = [(\Delta_A/8.68 \times \pi)(c/f) \sqrt{\epsilon'}] \quad (2)$$

۵.۲. شبکه عصبی مصنوعی^۵ (ANN)

توسعه هوش مصنوعی منجر به افزایش دقت مدل‌های ریاضی در مطالعات کیفی محصولات صنایع غذایی می‌شود. مدل‌های مختلفی از شبکه عصبی مصنوعی از جمله نقشه‌های خودسازماندهی کوهونن [19]، ادراک چند لایه و انتشار نابهنجار [20] برای تجزیه و تحلیل داده‌ها توسعه داده شده‌اند. در این پژوهش، از مدل ادراک چند لایه (MLP) با الگوریتم انتشار پس‌پشتی برای طراحی و آموزش نوروها استفاده شد. اگرچه تعداد لایه‌های پنهان می‌تواند تأثیر مثبتی بر نتایج داده‌ها داشته باشد، اما زمان تجزیه و تحلیل را افزایش می‌دهد. بنابراین، یک لایه پنهان با ۱۰-۱۱ نورو در نظر

ارزیابی قرار گرفت. تحلیل میانگین‌ها و نیز بررسی شاخص‌های کیفی نشان داد، گرچه روغن زیتون استحصال از همه‌ی نمونه‌ها، روغن زیتون فوق بکر (EVOO) بود اما کیفیت نمونه‌های روغن زیتون برداشت شده توسط EPR بالاتر از نئوپرن بود.

۱.۳. مشخصات فیزیکی و مکانیکی

با توجه به پژوهش‌های انجام شده، ویژگی فیزیکی نمونه میوه‌های زیتون شامل حجم، جرم، رطوبت، کرویت و چگالی جمع‌آوری شد. نتایج به‌دست آمده حاکی از آن بود که با افزایش زاویه برخورد انگشتی به میوه، نیروی تماس کاهش و تنش افزایش می‌یابد [24]. ویژگی‌های مکانیکی هر رده (با پنج تکرار) بررسی و گزارش شد (جدول ۱). در سطوح نیمه رسیده و رسیده، نیروی شکست C_v روغنی بیشتر از رقم زرد و فیشمی بود. به نظر می‌رسد با گذشت زمان میزان روغن تولیدی در C_v روغنی بیشتر بوده و دلیلی بر مقاومت بیشتر نسبت به C_v زرد و فیشمی می‌باشد. در مرحله نیمه رسیده حداکثر نیروهای شکست روغنی، زرد و فیشمی به ترتیب ۱۹۹/۸۴، ۱۷۰/۲۴ و ۱۵۷/۴۹ نیوتن و همچنین در مرحله رسیده به ترتیب ۱۳۲/۳۶، ۷۱/۶۳ و ۵۹/۷۳ نیوتن بود. روند شکست و نیروی شکست نمونه‌ها نشان می‌دهد که مقاومت C_v روغنی در مرحله نیمه رسیده و رسیده بیشتر از دو گونه دیگر بوده است. به نظر می‌رسد دو عامل جرم و مقدار روغن بر شکستگی و نیروی شکست زیتون تأثیر داشته باشد. همچنین با افزایش رسیدن میوه زیتون و به دلیل فعالیت‌های شیمیایی داخل میوه زیتون (گوشت زیتون)، مقاومت زیتون در برابر تغییر شکل کاهش یافت. در مرحله نارس مقاومت رقم زرد بیشتر از رقم روغنی و فیشمی و مدول یانگ زرد، روغنی و فیشمی ۵/۸۱، ۵/۵۱ و ۵/۱۷ مگاپاسکال و همچنین تنش تسلیم زیستی نمونه‌ها به ترتیب ۱/۳۵، ۱/۳۲ و ۱/۱ مگاپاسکال بود. در گزارشی مشابه [25] میزان روغن موجود در گوشت زیتون حاکی از افزایش مقاومت میوه زیتون در برابر تغییر شکل بود.

شد و از مقداری که حداکثر دقت را ارائه می‌کرد استفاده شد. همچنین در معادله چند جمله‌ای [23] مقدار عامل C می‌تواند در به حداکثر رساندن دقت مؤثر باشد. از این رو، برای دستیابی به بهترین نتیجه، سه مقدار ۰/۱، ۰/۱ و ۱ برای تابع چند جمله‌ای در نظر گرفته شد. به منظور مقایسه مدل‌های توسعه یافته ANN و SVM از دو معیار آماری R^2 و RMSE استفاده شد (معادله ۳ و ۴). همچنین برای ارزیابی طراحی مدل‌های ANN و SVM از نرم افزار Matlab 2018.b استفاده گردید.

$$RMSE = \sqrt{\sum_{i=1}^n (y_a - y_p)^2 / n} \quad (3)$$

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (y_a - y_p)^2}{\sum_{i=1}^n (y_a - \bar{y}_a)^2} \quad (4)$$

y_a ، y_p و $\bar{y}_a$ به ترتیب مقدار واقعی، مقدار پیش بینی شده و مقدار متوسط هستند.

۳- نتایج و بحث

در این پژوهش به منظور بررسی تأثیر ضربه برآمده از برداشت مکانیکی بر کیفیت روغن زیتون استحصال شده، اثر دو فاکتور جنس انگشتی ضربه‌زن در دو سطح (نئوپرن (Neoprene) و اتیلن پروپیلن رابر (EPR)) و رسیدگی میوه زیتون در سه سطح (زیتون روغنی، زرد و فیشمی در سه مرحله رسیدن نارس، نیمه رسیده و رسیده) مورد بررسی قرار گرفت. روش آماری مورد استفاده برای این امر آزمایش فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی بوده و مقایسه میانگین‌ها بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح ۵ درصد انجام گرفت. ویژگی‌های کیفی روغن زیتون شامل مقدار اسیدیته، پراکسید، ترکیبات استرولی، ترکیب اسیدهای چرب و فنل کل روغن زیتون استخراج شده، بررسی گردید. همچنین خواص دی‌الکتریک مربوط به ویژگی‌های شیمیایی اندازه‌گیری شد. تغییرات ولتاژ نوسان فاز و دامنه با استفاده از تکنیک دی-الکتریک طیف‌سنجی به‌دست آمد و داده‌های خروجی توسط شبکه عصبی مصنوعی (ANN) و ماشین‌بردار پشتیبان (SVM) مورد

Table 1. Mechanical properties of samples during the ripening periods

Cultivar	Parameter	Fracture Force (N)	Fracture Energy (J)	Bio-yield Stress (MPa)	Young's modulus (MPa)
Oily	U	212.51±38	0.696±0.15	1.32±0.1	5.51±0.2
	S	199.84±27	0.664±0.14	1.24±0.1	3.41±0.1
	R	132.36±21	0.271±0.07	0.39±0.01	1.69±0.05
Yellow	U	241.08±36	0.761±0.13	1.35±0.08	5.81±0.3
	S	170.24± 26	0.546± 0.09	0.79±0.01	2.73±0.1

7- Fracture force

	R	71.63± 11	0.152± 0.03	0.17±0.02	0.46±0.01
	U	182.34± 25	0.592±0.07	1.1±0.05	5.17±0.2
Fishemi	S	157.49±19	0.499± 0.08	0.49±0.01	2.44±0.09
	R	59.73±10	0.142±0.04	0.09±0.01	0.32±0.02

Note: U, S and R are abbreviation of unripe, semi-ripe and ripe stages, respectively.

می‌یابد (شکل 2-a). پارامتر پراکسید میزان اکسیداسیون سیستم

لیپیدی را بر حسب مقدار هیدروپراکسیدهای تولید شده نشان می‌دهد. بر خلاف درجه اسیدیته، مقدار پراکسیدها با افزایش درجه رسیدن کاهش یافت.

۲.۳. اسیدیته و پراکسید

مقدار اسیدیته نشان دهنده هیدرولیز تری‌گلیسرول‌ها است و تحت تأثیر رقم، دمای نگهداری، استخراج و روش فرآوری روغن زیتون است [26]. علاوه بر این، دوره رسیدن میوه زیتون بر سطح اسیدیته تأثیر می‌گذارد و با افزایش میزان رسیدن، اسیدیته روغن افزایش

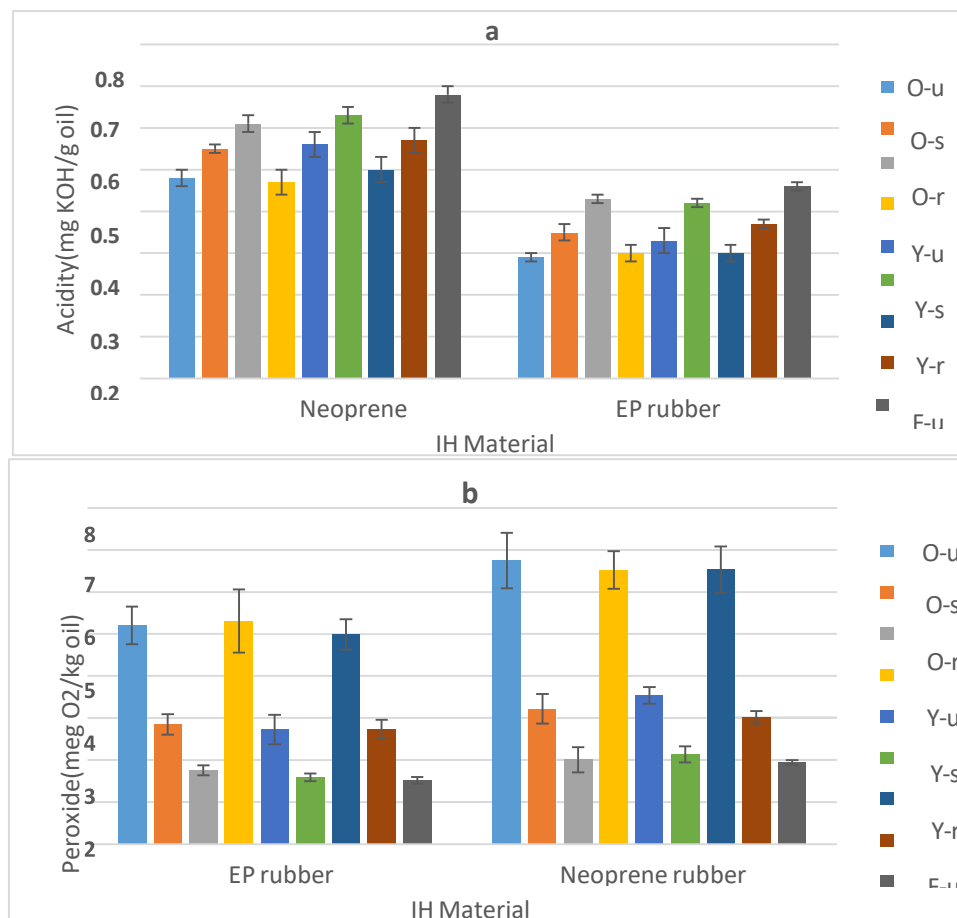


Fig2. The result of acidity and peroxide value of samples

بود. اگرچه تمام نمونه‌های روغن زیتون استخراج شده از اجزای EVOO بودند، کیفیت روغن زیتون استخراج شده حاصل از برداشت با انگشتی EPR بیشتر از نئوپرن بود.

۳.۳. ترکیبات اسید چرب

جدول ۲ میزان اسیدهای چرب نمونه زیتون‌هایی که توسط انگشتی EPR برداشت شده را نشان می‌دهد. مقدار اسید پالمیتیک با افزایش مرحله رسیدن برای سه نوع روغنی، زرد و فیشمی کاهش یافت. سطوح اسید استئاریک با افزایش

شکل‌های 2-a و 2-b اثر IH با انگشتی EPR و نئوپرن را بر اسیدیته و شاخص‌های پراکسید در تمام مراحل رسیدن نشان می‌دهد و شاخص اسیدیته و پراکسید EVOO که توسط EPR برداشت شد کمتر از نئوپرن بود. به عنوان مثال، کمترین اسیدیته روغن زیتون استخراج شده با انگشتی EPR و نئوپرن به ترتیب ۰/۲۹ و ۰/۴۷ mgKOH/g روغن بود. همچنین حداکثر میزان پراکسید روغن زیتون استخراج شده با EPR و نئوپرن به ترتیب ۱/۵۲ و ۱/۹۵ mgO₂/g روغن

است. همبستگی بین نسبت اسیدهای چرب چند پیوند غیراشباع به اسیدهای چرب تک پیوند غیراشباع به عنوان یک فاکتور کیفی در نظر گرفته شده است [29, 31]. نسبت پایین فاکتور مذکور نشان دهنده مقاومت اکسیداتیو بالاتر روغن است که منجر به کیفیت بیشتر روغن زیتون می‌شود. با افزایش رسیدگی زیتون، مقاومت روغن زیتون استخراج شده در برابر اکسیداسیون کاهش یافت اما میوه زیتون در ابتدای دوره رسیدن دارای ترکیبات بیوفنولی بالایی است که منجر به کاهش درصد روغن در زیتون می‌شود.

رسیدن میوه زیتون، افزایش یافت و کمترین مقدار اسید هپتادمیک در مرحله نارس به دست آمد. این نتایج با گزارش‌های [27, 28] مطابقت دارد. در طول سه دوره برداشت، اسید اولئیک بیشترین میزان اسیدهای چرب غیراشباع را داشت. روند افزایشی اسید اولئیک طی سه دوره برداشت باعث افزایش نسبت اسید اولئیک به اسید لینولئیک شد. پژوهشگران قبلی از این عامل به عنوان ارزیابی کیفی روغن زیتون استفاده کرده‌اند [29, 30, 31]. نسبت بالاتر اسید اولئیک به اسید لینولئیک باعث افزایش مقاومت اکسیداتیو روغن زیتون می‌شود که یک ویژگی مطلوب برای EVOO

Table2. Fatty acid composition of EVOO samples during ripe stages- IH with EPR

Cultivar	Parameter	C16- Palmitic acid	C17- Heptadic anoic acid	C18- Stearic acid	C18: 1c- Oleic acid	C18: 2c- Linoleic acid	PUFA: Poly Unsaturated Fatty acids	MUFA: Mono Unsaturated Fatty acids	SFA: Saturated Fatty acids
Oily	U	14.88±0.7	0.02±0.01	1.68±0.18	65.79± 2.31	8.22± 0.11	8.36± 0.15	61.37± 1.75	16.37±0.32
	S	14.04±1	0.03±0.01	1.95±0.24	76.42± 2.22	7.98±0.08	7.58± 0.12	67.38± 2.49	16± 0.21
	R	13.68±0.85	0.03±0.01	2.2± 0.2	81.24 ±1.14	7.54±0.05	6.34± 0.08	72.45± 0.95	15.24±0.12
Yellow	U	15.56± .92	0.03±0.01	1.58± 0.38	61.24± 1.24	9.32± 0.1	9.24± 0.06	64.28± 2.13	16.85±0.24
	S	15.24± .55	0.04±0.01	2.47± 0.62	78.24± 2.35	8.56± 0.06	8.75± 0.11	70.85± 0.92	16.15±0.16
	R	15.11±1.2	0.03±0.01	2.28±0.31	82.14± 1.27	8.08± 0.07	7.98± 0.1	78.16± 1.16	15.11±0.09
Fishemi	U	15.8±1	0.02±0.01	1.85±0.12	62.14±1.25	8.12± 0.12	8.85± 0.06	61.52±2.74	15.95±0.21
	S	14.48± .75	0.02±0.01	1.93± 0.1	74.35± 2.39	7.82± 0.1	8.02± 0.12	67.36± 2.2	15.32±0.18
	R	14±0.86	0.03±0.01	2.35± 0.2	81.66± 1.58	7.02± 0.07	7.32± 0.06	69.35± 1.85	14.85±0.21

Note: U, S and R are abbreviation of unripe, semi-ripe and ripe stages, respectively

اولئیک روغن زیتون استخراج شده حاصل از انگشتی نئوپرن (در نمونه‌های روغن زیتون نارس، نیمه رسیده و رسیده) $78/19 \pm 2/45$ و $68/47 \pm 5/26$ ، $60/14 \pm 3/24$ مقدار اسید لئوئیک $13/24 \pm 0/24$ ، $13/24 \pm 0/31$ و $12/22 \pm 0/15$ و $11/85$ درصد بود. همچنین نسبت کمتر اسید چرب چندپیوند غیراشباع به اسید چرب تک پیوند غیراشباع روغن زیتون استخراج شده با استفاده از انگشتی EPR در مقایسه با نئوپرن نشان دهنده کیفیت بالاتر EVOO است (جدول ۳). این امر به دلیل صدمه کمتری است که توسط انگشتی EPR به میوه زیتون وارد می‌آید.

دو عامل مهم برای مقایسه کیفیت روغن‌های استخراج شده با استفاده از انگشتی‌های EPR و نئوپرن، نسبت اسید اولئیک به اسید لینولئیک و نسبت اسید چرب تک پیوند غیراشباع به اسید تک پیوند غیراشباع است. با توجه به سطح بالاتر اسید اولئیک و مقدار کمتر اسید لینولئیک در نمونه‌های تهیه شده حاصل از برداشت زیتون توسط EPR، کیفیت روغن EVOO بالاتر بود. به عنوان مثال، محتوای اسید اولئیک روغن EPR (در نمونه‌های روغن زیتون نارس، نیمه رسیده و رسیده) $81/24 \pm 1/14$ ، $76/42 \pm 2/22$ ، $65/79 \pm 2/31$ ، $60/14 \pm 3/24$ و $58/11 \pm 0/11$ به ترتیب $8/22 \pm 0/08$ ، $7/98 \pm 0/12$ ، $7/54 \pm 0/05$ ، $9/32 \pm 0/1$ و $9/24 \pm 0/06$ درصد و اسید لینولئیک به ترتیب $8/22 \pm 0/11$ ، $7/98 \pm 0/1$ ، $8/08 \pm 0/07$ ، $8/12 \pm 0/12$ و $8/85 \pm 0/06$ درصد بود. در حالی که مقدار اسید

Table3. Fatty acid composition of EVOO samples during ripe stages- IH with Neoprene

Cultivar	Parameter	C16- Palmitic acid	C17- Heptadic anoic acid	C18- Stearic acid	C18: 1c- Oleic acid	C18:2c- Linoleic acid	PUFA: Poly Unsaturated Fatty acids	MUFA: Mono Unsaturated Fatty acids	SFA: Saturated Fatty acids
----------	-----------	--------------------	--------------------------	-------------------	---------------------	-----------------------	------------------------------------	------------------------------------	----------------------------

Oily	U	18.32±0.45	0.03±0.01	2.29±0.05	60.14±3.24	13.24±0.24	13.38±0.18	51.36±3.52	14.22±0.08
	S	18.04±0.25	0.03±0.01	2.37±0.07	68.47±5.26	12.22±0.31	12.85±0.14	56.78±2.74	13.95±0.12
	R	17±0.34	0.05±0.1	3.22±0.03	78.19±2.45	11.85±0.15	12.04±0.13	61.08±5.32	13.55±0.09
Yellow	U	20.6±0.16	0.04±0.1	2.67±0.01	62.15±4.15	12.96±0.21	14.1±0.17	52.37±4.15	14.89±0.13
	S	19±0.37	0.05±0.1	3.27±0.08	70.08±3.58	12.08±0.17	13.64±0.22	58.31±3.15	14.23±0.1
	R	17.36±0.1	0.06±0.02	3.46±0.06	79.32±5.16	11.34±0.11	12.98±0.2	63.28±4.23	13.67±0.13
Fishemi	U	23.36±0.58	0.04±0.1	2.74±0.04	59.21±4.38	13.02±0.13	13.21±0.15	50.16±3.2	13.85±0.08
	S	23.08±1.02	0.04±0.1	2.79±0.05	69.32±6.16	12.14±0.19	12.55±0.16	56.34±4.52	13.21±0.11
	R	21.48±0.75	0.05±0.1	2.88±0.3	76.33±5.82	11.4±0.14	11.84±0.12	60.89±2.63	12.83±0.08

Note: U, S and R are abbreviation of unripe, semi-ripe and ripe stages, respectively

۲۶/۴۹، زرد ۳۰/۴۸ و فیشمی ۳۱/۵ (mg GAE/kg) نسبت

به نئوپرن (روغنی ۲۶/۴۸، زرد ۲۹/۴۸ و ۲۸/۴۷ mg GAE/kg)، پایداری اکسیداتیو بیشتری داشت. این امر به دلیل صدمه کمتری است که توسط انگشتی EPR به میوه زیتون وارد می‌آید. یافته‌های ترکیبات فنلی این مطالعه و تأثیر آن بر کیفیت روغن زیتون با گزارش‌های [33] و [34] مطابقت دارد.

۴.۳. ترکیبات فنل کل

اندازه‌گیری ترکیبات فنلی به عنوان شاخصی از پایداری اکسیداتیو روغن زیتون در نظر گرفته می‌شود [32]. نتایج این مطالعه روند نزولی را طی سه دوره برداشت روغن زیتون استخراج شده از رقم روغنی، زرد و فیشمی نشان داد. با توجه به محتوای بیشتر ترکیبات فنلی نمونه‌های EVOO توسط EPR که در مرحله نارس برداشت شدند (روغنی

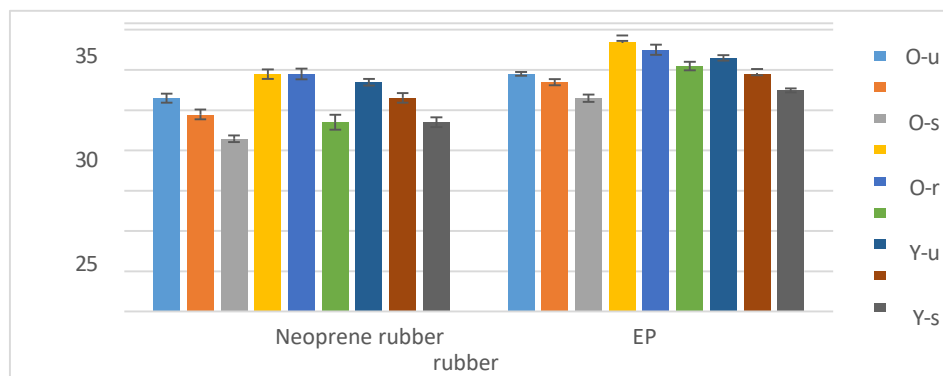


Fig.3. Total phenol of EVOO samples

برداشت زیتون است. نسبت کامپسترول به استیگماسترول EVOO مربوط به نمونه‌هایی که با انگشتی EPR چیده شدند بیشتر از نمونه‌های چیده شده با انگشتی نئوپرن بود. به عنوان مثال، نمونه‌های زیتون روغنی، زرد و فیشمی برداشت شده با هد مجهز به انگشتی EPR (در مرحله نارس)، به ترتیب دارای سطوح کامپسترول ۳/۹۶، ۳/۶۴ و ۳/۸۲ درصد و همچنین سطوح استیگماسترول ۰/۵۴، ۰/۵۵ و ۰/۵۹ درصد بود. در حالی که سطوح کلسترول روغنی، زرد و فیشمی در مرحله نابالغ (برداشت با انگشتی نئوپرن) به ترتیب ۳/۴۲، ۳/۲۲، ۳/۵۳ درصد و سطوح استیگماسترول ۰/۶۵، ۰/۶۳ و

۵.۳. ترکیبات استرول

انواع مهم استرول‌های روغن زیتون شامل بتا-سیتوسترول، دلتا-۵-استرول، کامپسترول و استیگماسترول است [35]. بیشترین و کمترین ترکیبات استرول در دوره‌های مختلف برداشت به ترتیب بتا سیتوسترول و کلسترول بود (جدول ۴). روند کاهشی سطح کلسترول مشابه پژوهش‌های گذشته بود [36]. نسبت کامپسترول به استیگماسترول به عنوان یک پارامتر کیفی در روغن زیتون برای تعیین بهترین زمان برداشت زیتون معرفی شده است [37]. زمانی که این شاخص به بالاترین حد خود برسد، بهترین زمان برای

۶۸/۰ درصد بود. دلتا-۵ استرول به دلیل دارا بودن زنجیره-های جانبی دلتا-۸ و ۲۴ در دماهای بالا خاصیت آنتی اکسیدانی دارد. بنابراین، این ترکیب می‌تواند از روغن زیتون در برابر اکسیداسیون محافظت کند [7]. در این مطالعه سطح استرول دلتا ۵ با افزایش رسیدن بالا می‌رود که با یافته‌های سایر پژوهشگران مطابقت داشت [38]. برعکس، سطح بتا سیتوسترول در طول رسیدن کاهش یافت.

Table4. Sterol composition of EVOO during ripening periods (EPR and Neoprene head)

		EPR						
Cultivar	Parameter	Cholesterol	Campesterol	Stigma sterol	beta- Sitol sterol	Delta5-sterol	Delta2 4- stigma stadien	Delta7-sterol
Oily	U	0.03±0.01	3.96±0.09	0.54±0.04	81.37±4.58	4.65±0.08	0.39±0.02	0.12±0.01
	S	0.02±0.01	3.67±0.06	0.5±0.01	75.28±5.81	6.81±0.09	0.51±0.01	0.29±0.01
	R	0.02± 0.01	3.08± 0.09	0.43±0.02	70.09±6.13	7.96±0.15	0.78±0.04	0.43±0.03
Yellow	U	0.04± 0.01	3.64± 0.11	0.55±0.01	83.49±4.16	3.92±0.31	0.34±0.01	0.07±0.01
	S	0.03±0.01	3.26±0.08	0.49±0.03	78.57±3.8	5.77±0.09	0.46±0.01	0.19±0.01
	R	0.03±0.01	3±0.09	0.43±0.05	72.29±6.08	6.94±0.27	0.68±0.02	0.27±0.01
Fishemi	U	0.02±0.01	3.82±0.23	0.59±0.02	80.09±5.16	5.53±0.31	0.36±0.01	0.09±0.01
	S	0.02±0.01	3.31±0.16	0.53±0.01	75.33±4.13	6.82±0.26	0.47±0.02	0.19±0.01
	R	0.02±0.01	2.98±0.14	0.48±0.03	70.16±4.82	8.17±0.42	0.55±0.01	0.38±0.02
		Neoprene						
Cultivar	Parameter	Cholesterol	Campesterol	Stigma sterol	beta- Sitol sterol	Delta5-sterol	Delta2 4- stigma stadien	Delta7- Stigma sentinel
Oily	U	0.04±0.01	3.42±0.09	0.65±0.05	85.37±2.36	2.86±0.03	0.26±0.01	0.41±0.01
	S	0.04±0.01	3.18±0.05	0.61±0.02	81.16±4.82	5.16±0.03	0.38±0.03	0.38±0.01
	R	0.03±0.01	2.95±0.04	0.57±0.01	76.38±5.16	7.14±0.08	0.59±0.03	0.35±0.01
Yellow	U	0.05±0.02	3.22±0.1	0.63±0.02	82.33±2.52	3.06±0.02	0.29±0.01	0.42±0.01
	S	0.03±0.01	2.98±0.05	0.56±0.01	76.45±3.13	5.88±0.15	0.46±0.02	0.36±0.01
	R	0.03±0.01	2.67±0.07	0.5±0.01	71.22±4.92	7.23±0.29	0.65±0.04	0.3±0.01
Fishemi	U	0.03±0.01	3.53±0.13	0.68±0.03	85±5.61	3.45±0.08	0.25±0.01	0.4±0.01
	S	0.02±0.01	3.09±0.27	0.6±0.04	80.09±4.3	5.98±0.09	0.39±0.01	0.35±0.01
	R	0.02±0.01	2.81±0.01	0.54±0.02	74.61±2.85	7.31±0.34	0.48±0.01	0.31±0.01

میلی‌ولت (Cv): زرد در مرحله رسیده، انگشتی IH: از جنس

(EPR) بود. پارامترهای فرکانس، رطوبت نمونه، دما و ترکیب شیمیایی ضریب دی‌الکتریک را تغییر می‌دهد [39]. اسید اولئیک یکی از پارامترهایی است که بر تغییرات ولتاژ نوسان فاز و دامنه تأثیر می‌گذارد. یافته‌های این مطالعه در رابطه با تأثیر اسید اولئیک بر تغییر فاز و ضریب افزایش با یافته‌های برخی پژوهشگران [9, 17, 37, 40] مطابقت داشت. با

۶/۳. اندازه‌گیری دی‌الکتریک

در این مطالعه از تغییرات ولتاژ نوسان فاز و دامنه برای بررسی ویژگی‌های دی‌الکتریک نمونه‌های روغن استفاده شد. شکل‌های 4-a و 4-b به ترتیب تغییرات ولتاژ نوسان فاز و دامنه را در تمام کلاس‌ها نشان می‌دهند. حداکثر و حداقل ضرایب تغییر فاز ۹۵۰/۸۳ میلی‌ولت (Cv): روغنی در مرحله نارس، انگشتی IH: از جنس نئوپرن و ۹۴۲/۴۳

افزایش اسید اولئیک، ضریب تغییر ولتاژ نوسان فاز و دامنه کاهش یافت.

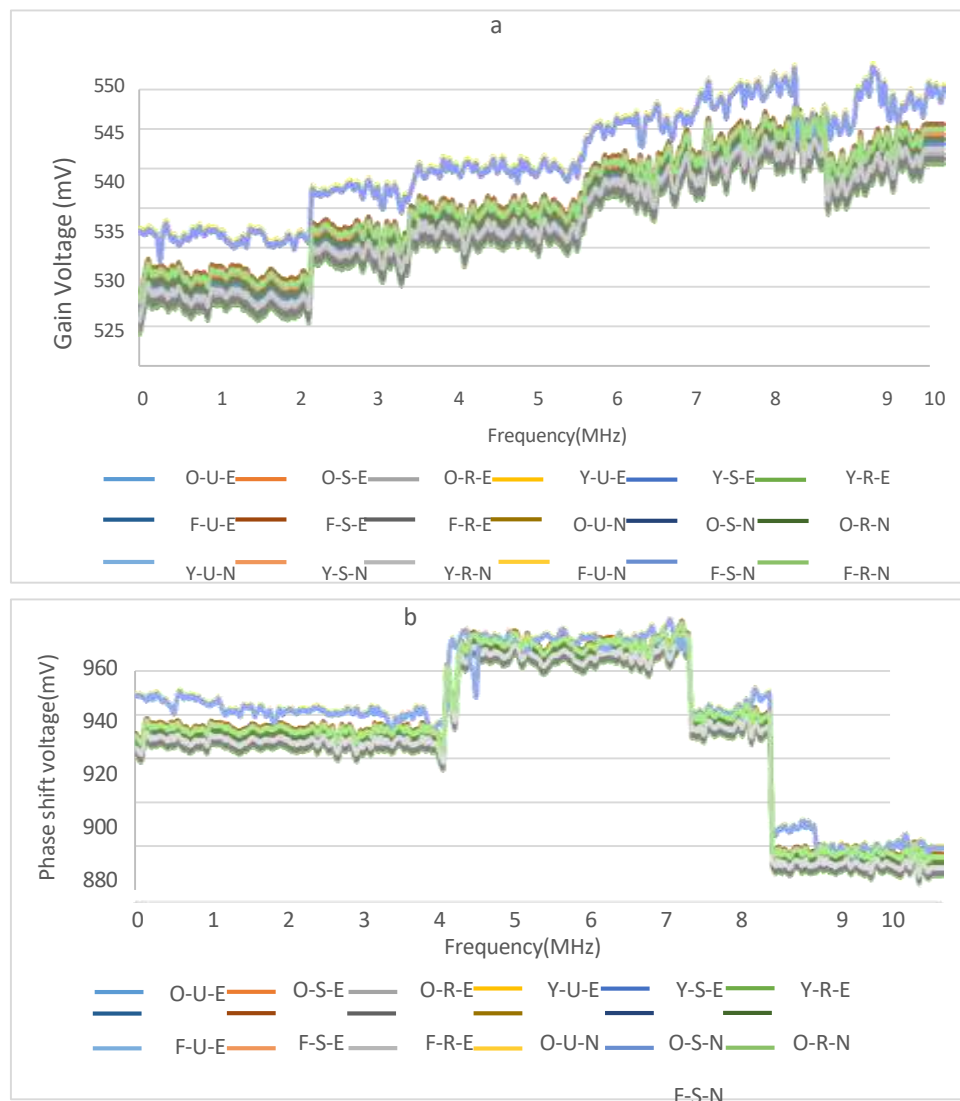


Fig.4. results of gain and phase shift voltages of all EVOO samples (O: Oily, F: Fishemi, Y: Yellow, U: unripe, S: semi ripe, R: ripe, E: EPR, N :Neoprene)

بهترین و ضعیف‌ترین توپولوژی شبکه به ترتیب ۱-۱۸-۸ (RMSE:0.25 ،R:0.71) و ۱-۳-۸ (RMSE:0.09 ،R:0.88) بودند. تمامی نمونه‌ها با شبکه‌های مختلف مورد آزمایش و پوشش قرار گرفتند و بهترین نتایج برای همه نمونه‌ها در جدول ۵ گزارش شده است.

به منظور توسعه مدل رگرسیون از شبکه‌های عصبی مصنوعی با یک لایه پنهان و ۲۰ نورون استفاده شد (شکل 5-a). مدل‌های شبکه با نورون‌های مختلف پایش و آزمایش شدند. شکل 5-b نتایج ANN را برای کلاس o-u-e نشان می‌دهد.

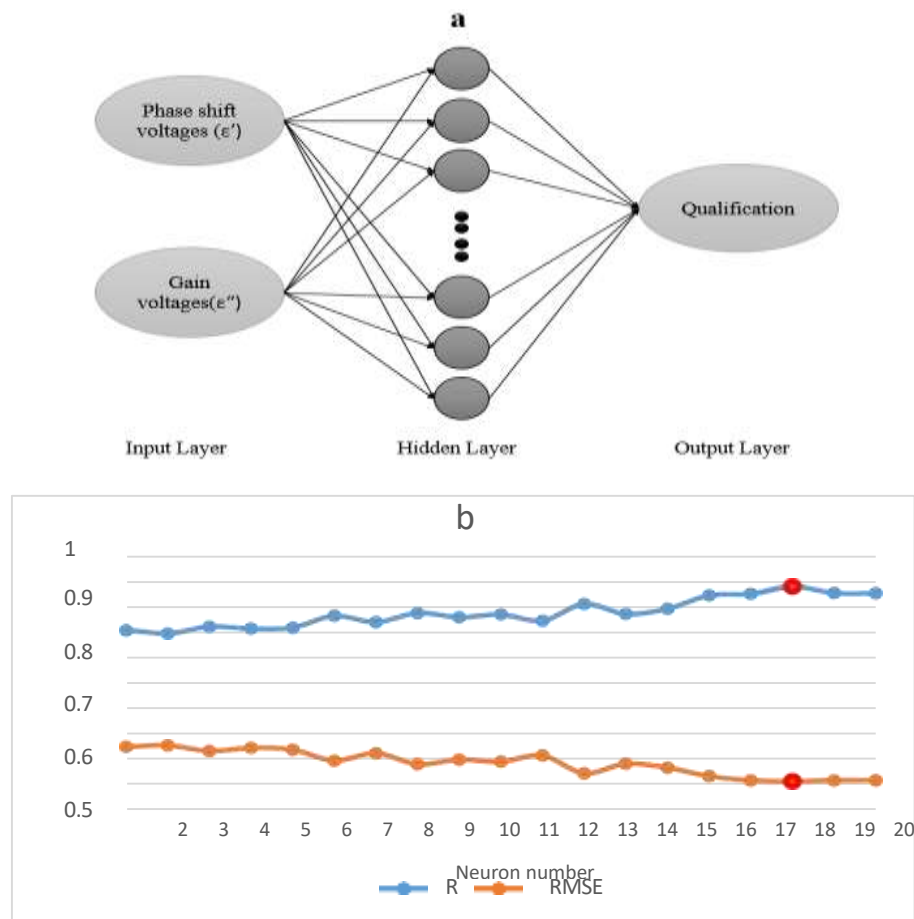


Fig5. The statistical result of different topology of ANN for o-u-e sample

ترتیب خطی، RBF و چند اسمی بودند. به عنوان مثال نمونه o-u-e در خطی-SVM، R و RMSE برابر ۸۳/۵۲ و ۱۳/۳۱، همچنین R و RSME چند جمله‌ای-SVM به ترتیب ۷۱/۳۳ و ۲۳/۵۱ درصد بودند. یافته‌های مقایسه مدل چند جمله‌ای و خطی SVM با یافته‌های برخی پژوهشگران مطابقت داشت [41, 42].

SVM با سه الگوریتم: خطی مختلف، RBF و چند جمله‌ای استفاده شد. برای مدل SVM، در پیش آزمون و $C = 0.1$ بالاترین دقت را ارائه کردند. بنابراین برای ارزیابی کیفی تمامی طبقات از γ و $C=0.1$ استفاده و گزارش شد (جدول ۵). برای همه نمونه‌ها، بهترین و ضعیف‌ترین مدل‌ها به

Table.5. The best results of ANN, SVM- Polynomial, SVM-RBF and SVM-Linear

Sample	Model							
	ANN		SVM- Polynomial		SVM-RBF		SVM-Linear	
	R	RMSE	R	RMSE	R	RMSE	R	RMSE
O-U-E	90.08	7.81	71.33	23.51	79.57	17.02	83.52	13.31
O-S-E	88.03	9.07	69.11	25.81	77.16	19.67	81.64	14.99
O-R-E	88.09	10.2	66.87	27.83	76.27	20.91	80.31	16.36
Y-U-E	89.02	8.62	70.13	24.53	78.35	18.32	82.59	13.97
Y-S-E	87.34	10.39	66.07	29.12	74.22	21.96	79.57	17.93
Y-R-E	88.72	10.04	68.12	26.91	76.63	20.24	80.92	15.73
F-U-E	86.47	10.6	64.27	30.08	73.62	23.42	78.69	19.42
F-S-E	88.69	9.01	69.64	24.84	77.81	18.67	82.71	14.34
F-R-E	87.67	10.29	66.51	28.63	75.82	21.27	80.08	16.86
O-U-N	86.76	10.53	65.18	29.89	73.82	22.96	79.22	18.83

O-S- N	89.15	8.31	70.16	23.99	78.85	17.85	83.12	13.76
O-R- N	89.72	8.12	71.19	23.76	79.28	17.27	83.49	13.46
Y-U- N	88.36	10.16	67.36	27.42	76.55	20.67	80.68	16.07
Y-S- N	88.92	9.09	68.59	26.37	76.81	19.89	81.26	15.46
Y-R- N	87.62	10.36	66.27	28.89	74.27	21.68	79.76	17.47
F-U- N	86.28	11.34	63.45	30.57	76.37	23.81	78.34	20.07
F-S- N	88.36	9.03	69.27	25.36	77.52	18.94	81.91	14.86
F-R- N	87.11	10.45	65.67	29.57	74.19	22.53	79.28	18.36

RBF-SVM و چند جمله‌ای-SVM بود. شاخص‌های کیفی نشان داد، گرچه روغن استحصالی نمونه‌ها، روغن زیتون فوق بکر (EVOO) بود اما کیفیت نمونه روغن‌های زیتون برداشت شده توسط EPR بالاتر از نئوپرن بود. اگرچه در این پژوهش انگشتی EPR مورد استفاده به دلیل صدمه کمتر به میوه زیتون موجب افزایش کیفیت روغن زیتون استخراج شده گردید لیکن پیشنهاد می‌شود مواد دیگری با خواص مکانیکی متفاوت برای ساخت انگشتی IH و تأثیر آن بر روغن زیتون استخراج شده مورد بررسی قرار گیرد. علاوه بر این عوامل مؤثر دیگری مانند سرعت هد IH نیز باید در نظر گرفته شود.

۵-سپاسگزاری

نویسنده مایل است از گروه طراحی ماشین و مکترونیک، پژوهشکده مکانیک سازمان پژوهش‌های علمی و صنعتی ایران برای مشارکت در این مطالعه و تأمین اعتبار آن از محل پژوهانه شماره ۰۶۶۹۲۸ تشکر نماید.

۶-منابع

- [1] Nogoy, K. M. C., Kim, H. J., Lee, Y., Zhang, Y., Yu, J., Lee, D. H., ... & Choi, S. H. (2020). High dietary oleic acid in olive oil-supplemented diet enhanced omega-3 fatty acid in blood plasma of rats. *Food Science & Nutrition*, 8(7), 3617-3625.
- [2] Alowaiesh, B., Singh, Z., Fang, Z., & Kailis, S. G. (2018). Harvest time impacts the fatty acid compositions, phenolic compounds and sensory attributes of Frantoio and Manzanilla olive oil. *Scientia Horticulturae*, 234, 74-80.
- [3] Gambella, F., Paschino, F., & Dimauro, C. (2013). Evaluation of fruit damage caused by mechanical harvesting of table olives. *Transactions of the ASABE*, 56(4), 1267-1272.
- [4] Jiménez-Jiménez, F., Castro-García, S., Blanco-Roldán, G. L., Ferguson, L., Rosa, U. A., & Gil-Ribes, J. A. (2013). Table olive cultivar susceptibility to impact bruising. *Postharvest biology and technology*, 86, 100-106.
- [5] Sola-Guirado, R. R., Castro-García, S., Blanco-Roldán, G. L., Jiménez-Jiménez, F., Castillo-Ruiz, F. J., & Gil-Ribes, J. A. (2014). Traditional olive tree response to oil
- حداکثر و حداقل خطاهای به دست آمده توسط ANN به ترتیب $11/3\%$ و $7/8\%$ (f-u-n) و (o-u-e) بود. در مقایسه با چند جمله‌ای SVM، بیشترین و کمترین خطا به ترتیب $30/5\%$ و $23/7\%$ بود.

۴-نتیجه‌گیری

به منظور بررسی تأثیر ضربه برآمده از برخورد مکانیکی در برداشت میوه زیتون بر کیفیت روغن استحصال شده، اثر دو فاکتور جنس انگشتی ضربه‌زن در دو سطح (نئوپرن (Neoprene) و اتیلن پروپیلن رابر (EPR)) و رسیدگی میوه زیتون در سه سطح (نارس، نیمه رسیده و رسیده) مورد بررسی قرار گرفت. مقایسه میانگین‌ها نشان داد، کیفیت نمونه‌های روغن زیتون برداشت شده توسط EPR بالاتر از نئوپرن بود. همچنین خواص دی‌الکتریک مربوط به ویژگی‌های شیمیایی نمونه‌ها اندازه‌گیری شد و داده‌های خروجی توسط شبکه عصبی مصنوعی (ANN) و ماشین بردار پشتیبان (SVM) مورد ارزیابی قرار گرفت. بهترین و ضعیف‌ترین نتایج تحلیل به ترتیب مربوط به مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی، خطی، olive harvesting technologies. *Biosystems Engineering*, 118, 186-193.

- [6] Peng, L., Yuan, J., Yao, D., & Chen, C. (2021). Fingerprinting triacylglycerols and aldehydes as identity and thermal stability indicators of camellia oil through chemometric comparison with olive oil. *Food Science & Nutrition*, 9(5), 2561-2575.
- [7] Chanioti, S., & Tzia, C. (2019). Evaluation of ultrasound assisted and conventional methods for production of olive pomace oil enriched in sterols and squalene. *Lwt*, 99, 209-216.
- [8] Altieri, G., Matera, A., Genovese, F., & Di Renzo, G. C. (2020). Models for the rapid assessment of water and oil content in olive pomace by near-infrared spectrometry. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 100(7), 3236-3245.
- [9] Sanaeifar, A., Jafari, A., & Golmakani, M. T. (2018). Fusion of dielectric spectroscopy and computer vision for quality characterization of olive oil during storage. *Computers and Electronics in Agriculture*, 145, 142-152.
- [10] Reffas, A., Moulai, H., & Beroual, A. (2018). Comparison of dielectric properties of olive oil, mineral oil, and other natural and synthetic ester liquids under AC

- and lightning impulse stresses. *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation*, 25(5), 1822-1830.
- [11] Beltran Ortega, J., Martinez Gila, D. M., Aguilera Puerto, D., Gamez Garcia, J., & Gomez Ortega, J. (2016). Novel technologies for monitoring the in-line quality of virgin olive oil during manufacturing and storage. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 96(14), 4644-4662.
- [12] Boukhiar, A., Kechadi, K., Abdellaoui, R., Iguergaziz, N., Guemmane, M., & Benamara, S. (2017). Drying ability of whole black olive (*Olea europaea* L.) fruits in Kabylia region (North-East Algeria).
- [13] Li, Z., & Wang, Y. (2016). A multiscale finite element model for mechanical response of tomato fruits. *Postharvest Biology and Technology*, 121, 19-26.
- [14] Dagdelen, C., & Aday, M. S. (2021). The effect of simulated vibration frequency on the physico-mechanical and physicochemical properties of peach during transportation. *LWT*, 137, 110497.
- [15] Extra virgin olive oil (EVOO) extraction process instructions, source: Google search.
- [16] Titration method for determining acidity and peroxide content in oils and fats, source: Google search.
- [17] Veneziani, G., Esposto, S., Taticchi, A., Urbani, S., Selvaggini, R., Sordini, B., & Servili, M. (2018). Characterization of phenolic and volatile composition of extra virgin olive oil extracted from six Italian cultivars using a cooling treatment of olive paste. *LWT*, 87, 523-528.
- [18] Cercaci, L., Rodriguez-Estrada, M. T., & Lercker, G. (2003). Solid-phase extraction-thin-layer chromatography-gas chromatography method for the detection of hazelnut oil in olive oils by determination of esterified sterols. *Journal of Chromatography A*, 985(1-2), 211-220.
- [19] Torrecilla, J. S., Cancilla, J. C., Matute, G., Díaz-Rodríguez, P., & Flores, A. I. (2013). Self-organizing maps based on chaotic parameters to detect adulterations of extra virgin olive oil with inferior edible oils. *Journal of Food Engineering*, 118(4), 400-405.
- [20] Li, F., Qiao, J., Han, H., & Yang, C. (2016). A self-organizing cascade neural network with random weights for nonlinear system modeling. *Applied soft computing*, 42, 184-193.
- [21] Jiménez-Carvelo, A. M., Osorio, M. T., Koidis, A., González-Casado, A., & Cuadros-Rodríguez, L. (2017). Chemometric classification and quantification of olive oil in blends with any edible vegetable oils using FTIR-ATR and Raman spectroscopy. *LWT*, 86, 174-184.
- [22] Chen, W. (2003). New RBF collocation methods and kernel RBF with applications. In *Meshfree methods for partial differential equations* (pp. 75-86). Springer, Berlin, Heidelberg.
- [23] Mehdizadeh, S., Behmanesh, J., & Khalili, K. (2017). Using MARS, SVM, GEP and empirical equations for estimation of monthly mean reference evapotranspiration. *Computers and electronics in agriculture*, 139, 103-114.
- [24] Rashvand, M., Akbaria, A., Abbaszadeh, R., Karimi, D., & Jafari, A. (2021). Measurement bruise volume of olive during impact test using FEM and quality evaluation of extracted olive oil. *Food Science & Nutrition*.
- [25] Nadian, M. H., & Abbaspour-fard, M. H. (2016). Measurement of physical and mechanical properties of Russian olive (*Elaeagnus angustifolia* L.) fruit. *International Journal of Food Engineering*, 12(1), 91-100.
- [26] Sánchez-Rodríguez, M. I., Sánchez-López, E. M., Marinas, A., Urbano, F. J., & Caridad, J. M. (2020). Functional approach and agro-climatic information to improve the estimation of olive oil fatty acid content from near-infrared data. *Food science & nutrition*, 8(1), 351-360.
- [27] Razeghi Jahromi, F., Hoseini Mazinani, S.M., Mohammadi, S., Razavi, K., Shiran, B. & Mostafavi, K. (2016). Selecting the optimal time to harvest olive fruit in some Iranian and Mediterranean cultivars based on oil content and composition of fatty acids. *Journal of Crop Production and Processing*, 6(19), 85-95.
- [28] Seifi, E., Jalali, A., Ebrahimmia, S. & Fereidouni, H. (2016). Comparison of biochemical composition of three-cultivar olive oil (*Olea europaea* L) in different regions of Golestan province. *Journal of Plant Eco-Physiology*, 11(43), 52-65.
- [29] Aşkın, B., & Kaya, Y. (2020). Effect of deep frying process on the quality of the refined oleic/linoleic sunflower seed oil and olive oil. *Journal of Food Science and Technology*, 57(12), 4716-4725.
- [30] García-Inza, G. P., Castro, D. N., Hall, A. J., & Rousseaux, M. C. (2016). Opposite oleic acid responses to temperature in oils from the seed and mesocarp of the olive fruit. *European Journal of Agronomy*, 76, 138-147.
- [31] Hernández, M. L., Sicardo, M. D., Belaj, A., & Martínez-Rivas, J. M. (2021). The Oleic/Linoleic Acid Ratio in Olive (*Olea europaea* L.) Fruit Mesocarp Is Mainly Controlled by OeFAD2-2 and OeFAD2-5 Genes Together With the Different Specificity of Extraplasmidial Acyltransferase Enzymes. *Frontiers in Plant Science*, 12, 345.
- [32] Osanloo, M., Jamali, N., & Nematollahi, A. (2021). Improving the oxidative stability of virgin olive oil using microformulated vitamin-C. *Food Science & Nutrition*.
- [33] Squeo, G., Difonzo, G., Summo, C., Crecchio, C., & Caponio, F. (2020). Study of the influence of technological coadjuvants on enzyme activities and phenolic and volatile compounds in virgin olive oil by a response surface methodology approach. *LWT*, 133, 109887.
- [34] Valantina, S. R., Susan, D., Bavasri, S., Priyadarshini, V., Saraswathi, R. R., & Suriya, M. (2016). Experimental investigation of electro-rheological properties of modeled vegetable oils. *Journal of food science and technology*, 53(2), 1328-1337.
- [35] Zhang, S., Pan, Y. G., Zheng, L., Yang, Y., Zheng, X., Ai, B., ... & Sheng, Z. (2019). Application of steam explosion in oil extraction of camellia seed (*Camellia oleifera* Abel.) and evaluation of its physicochemical properties, fatty acid, and antioxidant activities. *Food science & nutrition*, 7(3), 1004-1016.
- [36] Lammi, C., Mulinacci, N., Cecchi, L., Bellumori, M., Bollati, C., Bartolomei, M., ... & Arnoldi, A. (2020). Virgin olive oil extracts reduce oxidative stress and modulate cholesterol metabolism: Comparison between oils obtained with traditional and innovative processes. *Antioxidants*, 9(9), 798.
- [37] Piscopo, A., Zappia, A., De Bruno, A., & Poiana, M. (2018). Effect of the harvesting time on the quality of olive oils produced in Calabria. *European journal of lipid science and technology*, 120(7), 1700304.
- [38] Xu, B., Zhang, L., Wang, H., Luo, D., & Li, P. (2014). Characterization and authentication of four important edible oils using free phytosterol profiles established by GC-TOF/MS. *Analytical Methods*, 6(17), 6860-6870.

- [39] Ahmed, J., Thomas, L., & Mulla, M. (2020). Dielectric and microstructural properties of high-pressure treated hummus in the selected packaging materials. *LWT*, 118, 108885.
- [40] Lizhi, H., Toyoda, K., & Ihara, I. (2010). Discrimination of olive oil adulterated with vegetable oils using dielectric spectroscopy. *Journal of Food Engineering*, 96(2), 167-171.
- [41] Karami, H., Rasekh, M., & Mirzaee-Ghaleh, E. (2020). Comparison of chemometrics and AOCS official methods for predicting the shelf life of edible oil. *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems*, 206, 104165.
- [42] 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. *Journal of Food Engineering*, 119(2), 220-228.



Scientific Research

Damage caused by mechanical harvesting of olive fruit on the chemical and dielectric properties of extracted extra virgin olive oil

Abbas Akbarnia

Faculty member (Associated professor) of Machine design and Mechatronics Department, Iranian Research Organization for Science and Technology, Institute of Mechanical Engineering, Tehran, Iran.

ARTICLE INFO	ABSTRACT
Article History: Received: 2024/9/1 Accepted: 2025/9/1 Keywords: chemical properties, Dielectric properties, mechanical damage, olive oil, oil quality. DOI: 10.48311/fsct.2026.83861.0 *Corresponding Author E- abbasakbarnia@irost.ir , abbasakbarnia@yahoo.com	In this study, in order to investigate the effect of mechanical impact during olive fruit harvesting on the quality of the extracted oil, the effect of two factors, the type of finger-hammer at two levels and the ripeness of the olive fruit at three levels, was investigated. The statistical method used for this was a factorial experiment in a randomized complete block design, and the comparison of means was performed based on Duncan's multiple range test at the 5% level. An impact harvesting device, on whose axis of rotation was installed a different type of finger-hammer made of neoprene and ethylene propylene rubber (EPR), was used to harvest three types of oil, yellow and fish olive fruits at three stages: immature, semi-ripe and ripe. The qualitative characteristics of olive oil, including acidity, peroxide, sterol compounds, fatty acid composition and total phenol of the extracted olive oil, were investigated. Dielectric properties related to chemical characteristics were also measured. The phase and amplitude oscillation voltage changes were obtained using the dielectric spectroscopic technique and the output data were evaluated by artificial neural network (ANN) and support vector machine (SVM). Analysis of the means as well as the examination of quality indicators showed that although the extracted oil of the samples was extra virgin olive oil (EVOO), the quality of the olive oil samples extracted by EPR was higher than that of neoprene.