

مجله علوم و صنایع غذایی ایران



سایت مجله: www.fsct.modares.ac.ir

مقاله علمی-پژوهشی

بررسی پایداری اکسایشی اختلاط روغن سویا، پالم اولئین و زیتون فرابکر با آزمون تسریع یافته

مونس هراسی^۱، علیرضا صادقی ماهونک^{۲*}، محمد قربانی^۳، امان محمد ضیایی فر^۴، مهران اعلمی^۵، هانیا توکلی فرد^۶

۱- دانشجو کارشناسی ارشد علوم و مواد غذایی، دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

۲، ۳، ۴ و ۵- استاد گروه علوم و صنایع غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

چکیده

اطلاعات مقاله

مخلوط کردن روغن های گیاهی با یکدیگر موجب بهبود کیفیت، افزایش ترکیبات زیست فعال و آنتی اکسیدان ها و در نتیجه افزایش پایداری اکسایشی آن ها می شود. در این پژوهش ابتدا نسبت های مختلفی از روغن های سویا، پالم اولئین و زیتون فرابکر با هم مخلوط شد و با استفاده از آزمون حرارتی (حرارت دهی در دمای ۱۷۰ درجه- سیلیسیوس به مدت ۱۲ ساعت) بهترین نسبت ها از نظر پایداری حرارتی تعیین و با استفاده از آزمون تسریع یافته (حرارت دهی در دمای ۶۵ درجه سیلیسیوس به مدت ۱۶ روز) پایداری اکسایشی آنها مورد بررسی قرار گرفت. سپس آزمون های جذب فرابنفش در ۲۳۳ و ۲۷۰ نانومتر (تعیین ترکیبات دی ان و تری ان مزدوج)، پلی فنول- تام، عدد اسیدی مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج بدست آمده نشان داد که بهترین نسبت از نظر پایداری حرارتی و اکسایشی مربوط به نسبت ۳۵:۳۰:۳۵ از روغن سویا، پالم اولئین و زیتون فرابکر بود زیرا این نسبت عدد اسیدی و ترکیبات دی ان و تری- ان مزدوج کمتری را در پایان فرایند تسریع یافته نشان داد و همچنین دارای بیشترین مقدار ترکیبات فنولی بود.

تاریخ های مقاله :

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۸/۰۹

تاریخ داوری: ۱۴۰۴/۰۹/۱۸

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۱۰/۰۳

کلمات کلیدی:

روغن زیتون،

پایداری اکسایشی،

پایداری حرارتی،

آزمون تسریع یافته،

اختلاط روغن ها

DOI: 10.48311/fsct.2026.83914.0

* مسئول مکاتبات:

sadeghiaz@gau.ac.ir

۱-مقدمه

مهم‌ترین تغییراتی که در روغن‌ها و چربی‌های خوراکی در طی فرآیند و نگهداری ایجاد می‌شود، اکسیداسیون است. این پدیده به‌عنوان یکی از عوامل اصلی کاهش کیفیت و پایداری روغن‌ها شناخته می‌شود و منجر به تغییرات نامطلوب در خصوصیات شیمیایی، حسی و تغذیه‌ای آن‌ها می‌گردد. در اثر اکسیداسیون اسیدهای چرب غیراشباع، به‌ویژه اسیدهای لینولئیک و لینولئیک، ترکیباتی مانند دی‌ان مزدوج (Conjugated Diene) و تری‌ان مزدوج (Conjugated Triene) تشکیل می‌شوند که شاخص‌های اصلی مراحل اولیه و ثانویه‌ی اکسیداسیون محسوب می‌شوند. افزایش میزان این ترکیبات، بیانگر کاهش کیفیت و پایداری روغن است؛ از این رو، اندازه‌گیری جذب فرابنفش در طول موج‌های ۲۳۳ و ۲۷۰ نانومتر به‌عنوان روشی متداول برای ارزیابی سطح اکسیداسیون و تعیین میزان فساد روغن‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد.

در طول حرارت‌دهی روغن سرخ‌کردنی در دمای ۱۵۰-۱۹۰ درجه سانتی‌گراد (سرخ کردن عمیق) در حضور اکسیژن هوا و رطوبت، این روغن‌ها دچار تغییرات زیادی از نظر فیزیکی و شیمیایی می‌شوند. این تغییرات در نتیجه واکنش‌های اتواکسیداسیون، اکسیداسیون حرارتی، پیرولیز و پلیمریزاسیون رخ می‌دهند و طیف وسیعی از ترکیبات تجزیه‌ای ناخواسته را در روغن‌های سرخ‌کردنی بوجود می‌آورند. نوع، نحوه تشکیل و مقدار محصولات تجزیه‌ای بسته به پارامترهای شرایط فرآیند سرخ‌کردن متفاوت است. پارامترهای مهم فرآیند سرخ‌کردن عبارتند از: نوع روغن سرخ‌کردنی، دمای فرآیند، زمان سرخ‌کردن، طراحی سرخ‌کن و محتوای رطوبت مواد غذایی. در میان این پارامترها، به‌طور خاص‌تر، نوع/طبیعت روغن سرخ‌کردنی به‌عنوان یک محیط انتقال حرارت بر کیفیت مواد مغذی سرخ‌شده تأثیر می‌گذارد [۲].

روغن‌هایی مانند سویا و کانولا، به‌رغم دارا بودن ترکیبات غیراشباع فراوان و ارزش تغذیه‌ای بالا، از پایداری حرارتی

کمتری برخوردارند. مثلاً روغن سویا مقدار قابل توجهی توکوفرول و اسیدهای چرب ضروری دارد و از نظر تغذیه‌ای ارزش بالایی نشان می‌دهد، اما به دلیل وجود درصد بالای اسیدهای چرب چندغیراشباع (به‌ویژه اسید لینولئیک با سه پیوند دوگانه) پایداری اکسیداتیو کمی دارد [۳و۴]. روغن خام سویا به وسیله استخراج با حلال بدست می‌آید. این روغن دارای ۵-۹ درصد اسیدلینولئیک با سه پیوند دوگانه بوده، از این رو مستعد اکسیداسیون یا برگشت طعم می‌باشد که این واکنش و بوی روغن پس از تصفیه و بی‌بوکردن را به لینولئات‌ها (نمک‌های اسیدلینولئیک) نسبت می‌دهند. امروزه با افزودن ترکیبات آنتی‌اکسیدانی و هیدروژناسیون ناقص این روغن و رساندن غلظت اسیدلینولئیک به کمتر از ۳ درصد، توانسته‌اند پایداری آن را به طور قابل توجهی بهبود بخشند [۵].

روغن پالم از روغن‌هایی است که به‌دلیل دارا بودن مقدار قابل توجهی اسیدهای چرب اشباع (حدود ۳۹ درصد اسید پالمیتیک) و همچنین اسیدهای چرب تک‌غیراشباع (حدود ۴۲ درصد اسید اولئیک)، پایداری خوبی در برابر اکسیداسیون دارد؛ بنابراین با مشکل دودکردن که معمولاً به حضور اسیدهای چرب کوتاه‌زنجیره مربوط است روبه‌رو نمی‌شود [۶]. در حال حاضر، روغن پالم و فراورده‌های مبتنی بر آن به طور گسترده‌ای در محصولات غذایی مختلفی مانند مارگارین، چربی‌های گیاهی، روغن‌های پخت و پز، اسپریدها، شیرینی‌جات و روغن‌های پخت استفاده می‌شود [۷].

تنوع روغن پالم برای کاربردهای مختلف غذایی به چندین عامل بستگی دارد. اولین عامل ترکیب اسید چرب آن است که عمدتاً شامل ۳۹٪ اسید پالمیتیک، ۵٪ اسید استئاریک، ۴۲٪ اسید اولئیک و ۱۰٪ اسید لینولئیک می‌باشد [۸]. نسبت اسیدهای چرب اشباع به غیراشباع در روغن پالم حدود ۱ است؛ از این رو در دمای معمولی اتاق به‌صورت نیمه‌جامد بوده و پلاستیسیته مناسبی را فراهم می‌کند [۹]. روغن پالم، با نقطه دود بالا و مقاومت زیاد در برابر اکسیداسیون حرارتی، به طور گسترده‌ای هم به‌صورت خالص و هم در ترکیبات

مختلف به عنوان روغن سرخ کردن یا پخت و پز استفاده می شود. پالم اولئین، که جزء مایع تر به دست آمده از جزء سازی روغن پالم است، دارای درصد بالاتری از اسیدهای چرب غیراشباع به ویژه اولئیک اسید بوده و در مقایسه با پالم معمولی، پایداری اکسایشی مناسب و نقطه ذوب پایین تری دارد. این ویژگی ها باعث می شود پالم اولئین برای استفاده در محصولات غذایی و مخلوط سازی با سایر روغن های گیاهی بسیار مطلوب باشد [۷].

روغن زیتون به دلیل ترکیب خاص اسیدهای چرب خود، به ویژه داشتن نسبت بالای اسید اولئیک و مقدار پایین اسیدهای چرب چندغیراشباع، از پایداری حرارتی و اکسایشی بالایی برخوردار است و بنابراین در برخی کشورها به عنوان روغن سرخ کردن مورد استفاده قرار می گیرد. این ترکیب اسیدهای چرب باعث می شود روغن زیتون نسبت به اکسیداسیون در دمای بالای سرخ کردن مقاومت بیشتری داشته باشد [۱۰]. به ویژه روغن زیتون فرابکر، که از اولین استخراج مکانیکی زیتون بدون استفاده از حرارت یا حلال های شیمیایی به دست می آید، دارای مقادیر قابل توجهی آنتی اکسیدان طبیعی مانند پلی فنول ها و توکوفرول ها است. این ویژگی ها علاوه بر بهبود خواص تغذیه ای، پایداری اکسایشی بالای آن را نیز تضمین می کند [۱۱]. راهکارهای گوناگونی برای بالا بردن پایداری روغن ها در برابر فرایند اکسیداسیون مطرح شده است که از جمله آن ها می توان به هیدروژناسیون، اینتراستریفیکاسیون، تکنیک های ژنتیکی و مخلوط کردن روغن ها اشاره کرد. یکی از شیوه های مرسوم در اختلاط روغن ها، ترکیب روغن های حساس به اکسیداسیون با روغن هایی است که قدرت آنتی اکسیدانی بیشتری دارند؛ برای نمونه روغن های کنجد، زیتون و سبوس برنج که به طور گسترده برای این هدف استفاده می شوند [۱۲] و یا مخلوط کردن آن ها با روغن هایی مانند پالم که ترکیبات غیر اشباع کمتری دارند. ترکیب ۰.۱٪ روغن بنه، که سرشار از ترکیبات آنتی اکسیدانی است، با روغن کانولا باعث افزایش سطح آنتی اکسیدان های طبیعی، تغییر نسبت اسیدهای چرب و افزایش پایداری روغن در دمای ۱۷۰ درجه سانتی گراد شد

[۱۳]. مخلوط روغن مورینگا اولیفا با روغن های سویا و آفتابگردان در نسبت های وزنی ۸۰، ۶۰، ۴۰ و ۲۰ درصد برای بررسی تغییرات اسیدهای چرب و پایداری حرارتی مورد آزمایش قرار گرفت. نتایج نشان داد با افزایش روغن مورینگا اولیفا، میزان اولئیک اسید افزایش و میزان لینولئیک اسید کاهش یافت. همچنین، آزمون نگهداری ۱۸۰ روزه در دمای محیط بهبود قابل توجهی در پایداری اکسیداتیو روغن ها با افزایش روغن مورینگا اولیفا نشان داد و در آزمون پایداری حرارتی (۱۸۰ درجه سانتی گراد، ۴۸ ساعت، با حرارت دهی ۶ ساعت در هر روز) بیشترین پایداری مربوط به نسبت اختلاط ۲۰:۸۰ وزنی روغن مورینگا اولیفا به روغن آفتابگردان بود [۱۴].

در یک بررسی، اختلاط روغن های *lentisk*، کنجد و بادام با روغن سویا از نظر پایداری حرارتی مورد ارزیابی قرار گرفت. روغن *lentisk* (روغن درخت بنه - *Pistacia lentiscus L.*) از میوه درختچه های خانواده پسته ایان به دست می آید و غنی از اسیدهای چرب غیراشباع، به ویژه اولئیک و لینولئیک اسید است و دارای ترکیبات آنتی اکسیدانی طبیعی می باشد که پایداری اکسایشی آن را افزایش می دهند. نتایج نشان داد که ترکیب روغن سویا (۷۰٪) با روغن های *lentisk* و کنجد (به ترتیب ۱۷.۷ و ۱۲.۳٪) به عنوان بهترین نمونه شناخته شد و بیشترین بهبود در پایداری حرارتی را نسبت به روغن سویا نشان داد. همچنین مشخص شد که اسیدهای چرب ضروری، به ویژه اسیدهای لینولئیک و لینولنیک، پس از حرارت دهی در ترکیب های روغنی بهینه نسبت به روغن سویا بیشتر حفظ شدند. این افزایش پایداری حرارتی به بهبود قابل توجه ویژگی های فیزیکی شیمیایی، فعالیت آنتی اکسیدانی و پروفایل اسیدهای چرب، به ویژه نسبت اسید لینولئیک به لینولنیک، نسبت داده شد [۱۵]. اختلاط روغن پالم اولئین و روغن دانه پنبه (به نسبت های ۱:۰، ۳:۲، ۱:۱، ۲:۳ و ۰:۱، وزنی/وزنی) نشان داد که با افزایش نسبت روغن پالم اولئین در روغن دانه پنبه، سطح اسیدهای چرب چندغیراشباع کاهش و در عوض محتوای اسیدهای چرب اشباع افزایش یافت [۲]. در مطالعه ای دیگر، ترکیب روغن هسته انگور با روغن

۱.۵O₂/kg، روغن پالم اولئین ۰.۸ meq O₂/kg و روغن زیتون فرابکر ۴ meq O₂/kg بود. عدد اسیدی روغن سویا ۰.۱۵mg KOH/g، پالم اولئین ۰.۱۰ mg KOH/g و زیتون فرابکر ۰.۳۵ mg KOH/g تعیین شد. همچنین پایداری اکسایشی روغن سویا ۵.۲ ساعت، پالم اولئین ۱۳.۵ ساعت و زیتون فرابکر ۸.۷ ساعت در آزمون Rancimat در ۱۱۰ °C به دست آمد [۲۴-۲۰].

۲-۲ مخلوط کردن روغن ها

مخلوط کردن روغن ها توسط همزدن مداوم هر مخلوط در دمای ۵۰ درجه سانتی گراد به مدت ۱۰ دقیقه انجام شد.

۲-۳ آزمون پایداری حرارتی

با توجه به پژوهش های انجام شده و بررسی استانداردها، پنج نسبت از روغن ها انتخاب (جدول ۱) و به مدت دو روز، روزانه شش ساعت، تحت فرآیند حرارتی در سرخ کن برقی مجهز به ترموکنترل (مدل DF-280، شرکت Moulinex، فرانسه) در دمای ۱۷۰ درجه سانتی گراد قرار گرفتند. هر دو ساعت، مقدار ۲۰ گرم از روغن نمونه گیری شد و آزمون های مختلف از جمله اندازه گیری جذب فرابنفش، عدد اسیدی و ترکیبات پلی فنولی کل انجام گرفت.

با توجه به پژوهش های انجام شده در سال های اخیر توسط پارسایی و همکاران در سال ۲۰۱۶ [۲۲] و تورانی و همکاران در سال ۲۰۱۱ [۲۳] و آزمون های اولیه ۵ نسبت مختلف از روغن سویا، پالم اولئین و زیتون فرابکر انتخاب شد و بعد از حرارت دهی در دمای ۱۷۰ درجه سانتی گراد به مدت ۱۲ ساعت در دو روز (هر روز ۶ ساعت)، آزمون های جذب فرابنفش (محصولات ثانویه اکسیداسیون)، عدد اسیدی اندازه گیری شد.

ماهی کلیکا باعث افزایش چشمگیر شاخص های کیفی و حسی روغن و طول زمان اکسیداسیون شد، به طوری که این نتایج با تأثیر اختلاط روغن ماهی با آنتی اکسیدان های سنتزی مطابقت داشت [۱۶].

اغلب آنتی اکسیدان های سنتزی در دماهای بالا ناپایدار هستند و تجزیه شده و کارایی خود را از دست می دهند. علاوه بر این، به دلیل آثار مضر احتمالی آن ها بر سلامتی انسان، استفاده از آنتی اکسیدان های سنتزی به تدریج محدودتر می شود اما اختلاط روغن ها، بدون انجام هیچ فرایند شیمیایی یا بیولوژیکی، نسبت اسیدهای چرب و ویژگی های فیزیکوشیمیایی آن ها را تغییر داده و پایداری روغن ها را افزایش می دهد. همچنین، ترکیب روغن های گیاهی با یکدیگر سطح لیپیدهای زیست فعال و آنتی اکسیدان ها را بالا برده و کیفیت آن ها را بهبود می بخشد [۱۷]. گزارش شده است که اختلاط روغن های گیاهی، خواص تغذیه ای و فیزیکی روغن ها را نیز ارتقا می دهد [۱۸].

مهم ترین عواملی که بیشترین تأثیر را طی فرآیند حرارتی بر روغن ها دارند، شامل ساختار روغن، دمای حرارت دهی و مدت زمان قرارگیری در حرارت است [۱۹]. بنابراین در این پژوهش پایداری اکسایشی مخلوط سه روغن سویا، پالم-اولئین و زیتون فرابکر بر اساس پارامترهای زمان و نوع مخلوط روغن ها مورد بررسی قرار گرفت.

۲- مواد و روش ها

۲-۱ تهیه مواد اولیه

روغن سویا و پالم اولئین فاقد آنتی اکسیدان از کارخانه غنچه ساری و روغن زیتون فرابکر از کارخانه میشن گرگان تهیه و در ۱۸- درجه سانتی گراد تا انجام آزمون ها نگهداری شدند. پیش از انجام آزمایش ها، ویژگی های فیزیکوشیمیایی اولیه روغن ها اندازه گیری شد. عدد پراکسید روغن سویا meq

Table 1- Oil Blending Ratios

Samples	Blending Ratio
Sample 1	45:10:45
Sample 2	30:20:50
Sample 3	40:20:40

Sample 4	25:30:45
Sample 5	35:30:35

۴-۲ آزمون تسریع یافته

پس از تعیین روغن با بالاترین پایداری حرارتی در آزمون مربوطه، دو نمونه پایدار (هر کدام ۲۰۰ گرم) همراه با روغن سویا به عنوان نمونه کنترل، به مدت ۱۶ روز در شرایط اکسیداسیون تسریع شده قرار گرفتند؛ یعنی در دمای ۶۵ درجه سانتی گراد در آن نگهداری شدند و هر ۴ روز یکبار، ۳ گرم از هر نمونه برداشت شد.

۵-۲ آزمون‌های شیمیایی

۱-۵-۲ آزمون تعیین جذب فرابنفش

ابتدا ۰.۰۱ تا ۰.۰۳ گرم از نمونه روغن در یک بالن ۲۵ میلی لیتری توزین شد و سپس با حلال ایزواکتان به حجم رسانده شد. پس از حل کامل روغن، میزان جذب فرابنفش محلول در برابر شاهد ایزواکتان در طول موج‌های ۲۳۳ نانومتر (معیار محصولات اولیه اکسیداسیون) و ۲۷۰ نانومتر (معیار محصولات ثانویه اکسیداسیون) اندازه گیری شد تا مقادیر ترکیبات دی‌ان مزدوج و تری‌ان مزدوج بر اساس روش اتحادیه بین‌المللی شیمی محض و کاربردی [۲۴] ارزیابی گردد. این اندازه‌گیری‌ها با استفاده از دستگاه UV-Vis Spectrophotometer مدل (LAMBDA 35)، برند (PerkinElmer، آمریکا) انجام شد. در نهایت مقدار ترکیبات دی‌ان و تری‌ان مزدوج با استفاده از رابطه زیر محاسبه شد:

$$E_{1cm}^{1\%} = \frac{A}{C_L * L}$$

در این فرمول E شاخص جذب ویژه، A جذب در طول موج ۲۳۳ یا ۲۷۰ نانومتر، C_L غلظت محلول چربی بر حسب گرم در صد میلی لیتر و L طول کوت بر حسب سانتی متر می‌باشد.

۲-۵-۲ تعیین عدد اسیدی

میزان عدد اسیدی بر حسب اسید اولئیک مطابق با روش مرجع [۲۵] با استفاده از محلول هیدروکسید سدیم ۰.۱ نرمال

به‌عنوان تیتراژول تعیین شد و با استفاده از رابطه‌ی زیر محاسبه گردید:

$$\text{Acid Value (mg KOH/g oil)} = \frac{V \times N \times 56.1}{W}$$

که در آن V حجم محلول هیدروکسید سدیم مصرف‌شده در تیتراسیون (میلی لیتر)، N نرمالیه محلول هیدروکسید سدیم و W وزن نمونه روغن (گرم) می‌باشد. عدد ۵۶.۱ نیز وزن معادل هیدروکسید پتاسیم (mg/mmol) است.

۳-۵-۲ تعیین پلی فنل تام

برای استخراج پلی فنول‌ها، ۱۰ گرم روغن در ۵۰ میلی لیتر هگزان حل شد و به دکانتور منتقل گردید. سپس ۶۰ میلی لیتر محلول متانول آبی ۶۰٪ تهیه و در سه نوبت متوالی (هر نوبت ۲۰ میلی لیتر) به دکانتور افزوده شد. در هر نوبت، محتویات دکانتور به مدت ۲۰ دقیقه کاملاً هم زده شدند. پس از ساکن شدن دکانتور و جدا شدن فازها، فاز متانولی حاوی پلی فنول‌ها و فاز هگزانی حاوی روغن قرار گرفت. برای تعیین غلظت پلی فنول تام، از معرف فولین استفاده شد. مقدار ۰.۳ میلی لیتر از عصاره الکلی استخراج‌شده در یک بالن ۱۰ میلی لیتری ریخته، سپس ۵ میلی لیتر آب مقطر و ۰.۵ میلی لیتر معرف فولین به آن اضافه شد. پس از گذشت ۳ دقیقه، ۱ میلی لیتر محلول اشباع کربنات سدیم به هر بالن اضافه شد و پس از مخلوط شدن، حجم آن با آب مقطر به ۱۰ میلی لیتر رسید. میزان جذب نمونه‌ها یک ساعت بعد در طول موج ۷۲۵ نانومتر در مقابل شاهد (آب مقطر) اندازه‌گیری شد [۲۶]. میزان ترکیبات فنولی نمونه‌ها با استفاده از منحنی استاندارد اسید گالیک و براساس معادله $0.1073 - 0.0006x$ و $Y =$ ضریب تصحیح $R^2 = 0.9823$ محاسبه شد.

۶-۲ تجزیه و تحلیل آماری

مراحل مختلف تحقیق با استفاده از آزمایش‌های فاکتوریل و در قالب طرح کاملاً تصادفی طراحی شد. داده‌ها با نرم‌افزار

باشند کم تر و همچنین مقدار عدداسیدی آن طی فرایند به- آرامی افزایش می یابد. آزمون تسریع یافته بر اساس دو نسبت ۳۵:۳۰:۳۵ و ۲۵:۳۰:۴۵ از روغن سویا، پالم اولئین و زیتون- فرابکر انجام شد.

SAS تجزیه و تحلیل آماری شدند و برای مقایسه میانگین ها از آزمون دانکن استفاده گردید.

۳- نتایج و بحث

۳-۱ آزمون پایداری حرارتی

باتوجه به جدول ۲ کم ترین مقدار ترکیبات دیان و تریان- مزدوج و عدداسیدی مربوط به نسبت ۳۵:۳۰:۳۵ و نسبت ۲۵:۳۰:۴۵ از روغن های سویا، پالم اولئین و زیتون فرابکر بود و بیشترین مقدار مربوط به سویا (نمونه کنترل) بود که به دلیل وجود مقدار زیاد اسیدهای چرب غیراشباع، پایداری آن کم تر از سایر نمونه ها می باشد. براساس همین داده ها این دو نسبت، به عنوان پایداری ترین نسبت ها انتخاب شد زیرا هرچه روغن پایداری بیشتری داشته باشد مقدار تولید ترکیبات دیان و تریان مزدوج که بعنوان محصولات ثانویه اکسیداسیون می -

Table 2: Values of Conjugated Diene, Conjugated Triene, and Acid Value for Different Oil Blends

Ratios	Conjugated Diene (DN)	Conjugated Triene (TN)	Acid Value (AV) (mg KOH/ g oil)
oybean Oil (Control)	29.94 ± 1.50 a	6.69 ± 0.34 a	0.282 ± 0.014 a
45:10:45 (Sample 1)	21.36 ± 1.07 b	4.23 ± 0.21 b	0.395 ± 0.020 b
30:20:50 (Sample 2)	19.23 ± 0.96 b	4.17 ± 0.21 b	0.282 ± 0.014 b
40:20:40 (Sample 3)	18.44 ± 0.92 b	4.15 ± 0.21 b	0.451 ± 0.023 b
25:30:45 (Sample 4)	17.62 ± 0.88 c	4.09 ± 0.20 c	0.282 ± 0.014 c
35:30:35 (Sample 5)	15.36 ± 0.77 c	3.85 ± 0.19 c	0.338 ± 0.017 c

Non-homonymous lower case letters indicate a significant difference between treatments ($p < 0.05$).

Values are presented as mean ± SD (approx. 5% of mean) to indicate experimental variability.

می شوند که ابتدا شامل محصولات اولیه اکسیداسیون (رادیکال های آلکوکسی و پراکسی و هیدروپراکسیدها) و سپس ترکیبات ثانویه (آلدهیدها، کتون ها و اجزای کربونیل) هستند. این ترکیبات ثانویه می توانند اغلب منجر به ایجاد اثرات منفی در کیفیت روغن شوند [۲۷]. مونوهیدروپراکسیدها می توانند ترکیباتی مانند پنتان، هپتان، اکتانال و پنتانال ایجاد کنند که به عنوان محصولات ثانویه

۳-۲ تعیین ترکیبات ثانویه اکسیداسیون

۳-۲-۱ مقدار ترکیبات دیان مزدوج

در طول فرایند سرخ کردن یا پخت، اسیدهای چرب روغن های خوراکی دچار اکسیداسیون می شوند که این اکسیداسیون باعث کاهش کیفیت آن ها می شود. در طول اکسیداسیون لیپید، برخی از محصولات سمی تشکیل

باند دوگانه در ساختار چربی‌ها لازم است [۳۱]. علاوه بر این، روغن زیتون با داشتن ترکیبات آنتی‌اکسیدانی فراوان، با احیای رادیکال‌ها از تشکیل محصولات اولیه اکسیداسیون (هیدروپراکسیدها) جلوگیری می‌کند.

اثر نوع مخلوط بر روی مقدار ترکیبات دی‌ان‌مزدوج نیز معنادار بود. همانطور که مشاهده می‌شود بیشترین مقدار عدد دی‌ان مربوط به روغن سویا و به دلیل وجود اسیدهای چرب چند غیر اشباعی می‌باشد که به سرعت با اکسیژن واکنش داده و اکسید می‌شوند و باعث ایجاد هیدروپراکسیدها می‌شوند. بین دو مخلوط انتخابی که دارای بیشترین مقاومت حرارتی بودند تفاوت معناداری در مقدار عدد دی‌ان‌مزدوج مشاهده نشد ولی با شاهد یعنی سویا تفاوت معنادار در مقدار ترکیب نام‌برده مشاهده شد.

اکسیداسیون شناخته می‌شوند [۲۸]. همچنین، ترکیبات دی‌ان و تری‌ان‌مزدوج از اکسایش اسیدهای چرب چندغیراشباع به دست می‌آیند [۲۹].

با توجه به داده‌های به‌دست‌آمده، اثر زمان و نوع مخلوط بر مقدار عدد دی‌ان معنادار بود (شکل ۱). نتایج نشان داد که با افزایش زمان، در شرایط اکسیداسیون تسریع‌شده، مقدار ترکیبات دی‌ان‌مزدوج افزایش می‌یابد که بیانگر جذب اکسیژن توسط روغن و تشکیل هیدروپراکسیدها در مراحل اولیه اکسیداسیون است [۳۰]. مقایسه رفتار این دو نسبت با نمونه کنترل (روغن سویا) نشان داد که اختلاط روغن‌ها موجب تغییر نسبت اسیدهای چرب شد، به‌طوری‌که اسیدهای چرب اشباع و تک‌غیراشباع (اسید اولئیک) نسبت به اسیدهای چندغیراشباع افزایش یافت و این امر پایداری روغن را بالا برد، زیرا برای تشکیل دی‌ان‌مزدوج حداقل دو

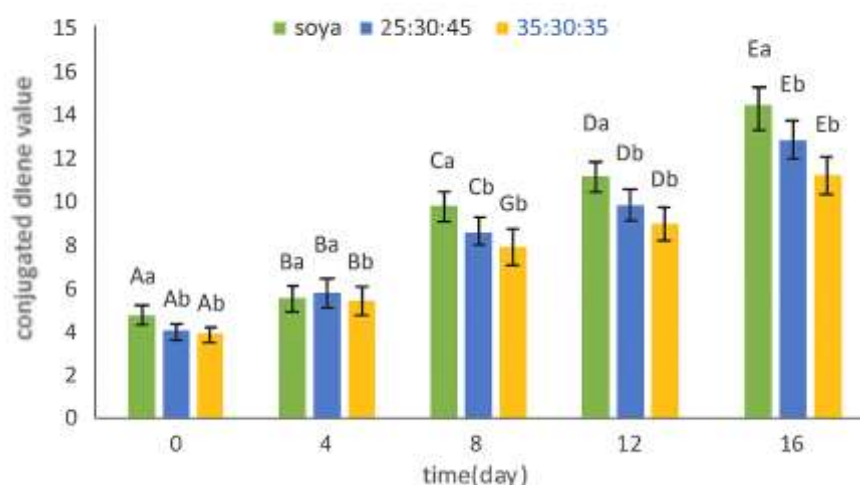


Figure 1: Changes in conjugated diene value during heat treatment under accelerated conditions for the control (soybean) and the 25:30:45 and 35:30:35 blends of soybean, palm olein, and extra virgin olive oil. Uppercase letters indicate statistically significant differences ($p < 0.05$) among heat treatment times under accelerated conditions, and lowercase letters indicate statistically significant differences ($p < 0.05$) among the selected oil blends.

اثر تیمار زمان و نوع مخلوط اثر معناداری در مقدار عدد تری‌ان‌مزدوج داشت درحالی‌که این دو تیمار بر روی هم اثر معناداری نداشتند.

همان‌طور که در شکل ۲ مشاهده می‌شود در اینجا نیز سویا بالاترین مقدار تری‌ان‌مزدوج را داشت و با مخلوط کردن

۲-۳ مقدار ترکیبات تری‌ان‌مزدوج

تری‌ان‌مزدوج نیز جز محصولات ثانویه اکسیداسیون به‌شمار می‌رود که در اثر شکسته‌شدن هیدروپراکسیدها و ترکیب شدن با اکسیژن ایجاد شده‌اند. با توجه به داده‌های به‌دست آمده

تا ۱۶ روز مشاهده نشد. تورانی و همکاران [۲۳] دریافتند که بین مخلوط روغن سویا، پالم اولئین و ذرت و روغن سویا بدون آنتی اکسیدان به عنوان شاهد در طول فرایند حرارتی، مقدار ترکیبات دیان و تریان مزدوج افزایش یافت ولی بالاترین میزان مربوط به روغن سویا بود که این نشان می داد که مخلوط سویا، پالم اولئین و ذرت باعث افزایش پایداری روغن سویا شده است.

روغن ها با پالم اولئین و زیتون فرابکر میزان تشکیل آن کمتر شد اما تفاوت معناداری در میزان تولید تریان مزدوج میان دو نسبت ۳۵:۳۰:۳۵ و ۴۵:۳۰:۲۵ از روغن سویا، پالم اولئین و زیتون فرابکر در زمان های یکسان مشاهده نشد. تغییرات تریان مزدوج در نسبت ۴۵:۳۰:۳۵ بعد از گذشت ۴ روز نسبت به نمونه اولیه معنادار بود ولی از روز چهارم تا شانزدهم تفاوت معناداری در مقدار تریان مزدوج مشاهده نشد در نسبت ۳۵:۳۰:۳۵ تفاوت معناداری در مقدار تریان مزدوج، میان نمونه حرارت ندیده و نمونه های حرارت دیده

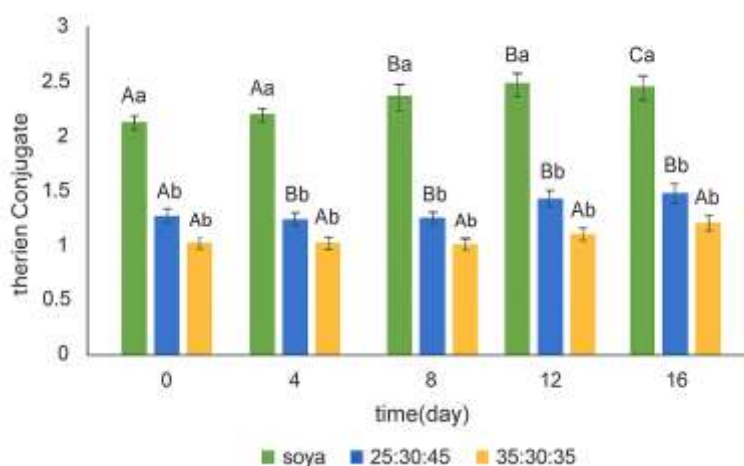


Figure 2. Changes in conjugated triene value during heat treatment under accelerated conditions for the control (soybean oil) and the 25:30:45 and 35:30:35 blends of soybean, palm olein, and extra virgin olive oil. Values are presented as mean $\pm$ SD from three independent replicates. Different lowercase letters indicate significant differences between oil blends, and different uppercase letters indicate significant differences across heating times ($p < 0.05$, Duncan's multiple range test).

تسریع شده بر مقدار پلی فنول ها معنادار بود، به طوری که با افزایش زمان حرارت دهی، میزان ترکیبات پلی فنولی به طور معناداری کاهش یافت (شکل ۳). سیلوا و همکاران (۲۰۱۰) [۳۳] گزارش کردند که ترکیبات فنولی و آنتی اکسیدان ها در طول فرایند حرارتی کاهش می یابند، زیرا در این شرایط نقش حفاظتی خود را در برابر واکنش های اکسایشی روغن ایفا می کنند. علاوه بر این، نسبت روغن ها در مخلوط نیز بر مقدار ترکیبات پلی فنولی تأثیر معناداری داشت. داده ها نشان داد که با افزایش روغن زیتون در مخلوط، میزان پلی فنول ها بیشتر شد؛ برای مثال، نسبت ۳۵:۳۰:۳۵ (زیتون:پالم اولئین:سویا) که دارای روغن زیتون بیشتری نسبت به مخلوط ۲۵:۳۰:۴۵ بود، مقدار پلی فنول بیشتری داشت و در طول فرایند کمتر

۳-۳ مقدار ترکیبات پلی فنول تام در طول فرایند تسریع یافته

فنول یکی از ترکیبات ساده آلی بوده که از اتصال یک گروه هیدروکسیل به یک حلقه بنزنی تشکیل می شود. یکی از ویژگی های مهم آن ها خاصیت آنتی اکسیدانی آن ها می باشد که این ویژگی به دلیل قابلیت احیاء کنندگی آن ها می باشد. این ترکیبات می توانند به عنوان عامل احیاء کنندگی هیدروژن و چلات کننده آهن عمل نمایند [۳۲].

داده های به دست آمده نشان داد که اثر زمان، نوع مخلوط و تعامل آن ها بر مقدار ترکیبات پلی فنولی معنادار است. همچنین، اثر زمان حرارت دهی در شرایط اکسیداسیون

فنولی در روغن زیتون می‌تواند پایداری اکسایشی روغن سویا را افزایش دهد، چرا که این ترکیبات خاصیت آنتی‌اکسیدانی دارند و از اکسیداسیون روغن‌ها جلوگیری می‌کنند.

کاهش یافت. کاراسکو و همکاران (۲۰۰۷) [۳۴] نیز نشان دادند که روغن زیتون بکر در طول فرآیند حرارتی پایداری قابل توجهی دارد، زیرا ترکیب اسیدهای چرب مناسب و همچنین حضور پلی‌فنول‌ها، نقش محافظتی در برابر اکسیداسیون دارند [۳۳،۳۴]. بنابراین، میزان بالای ترکیبات

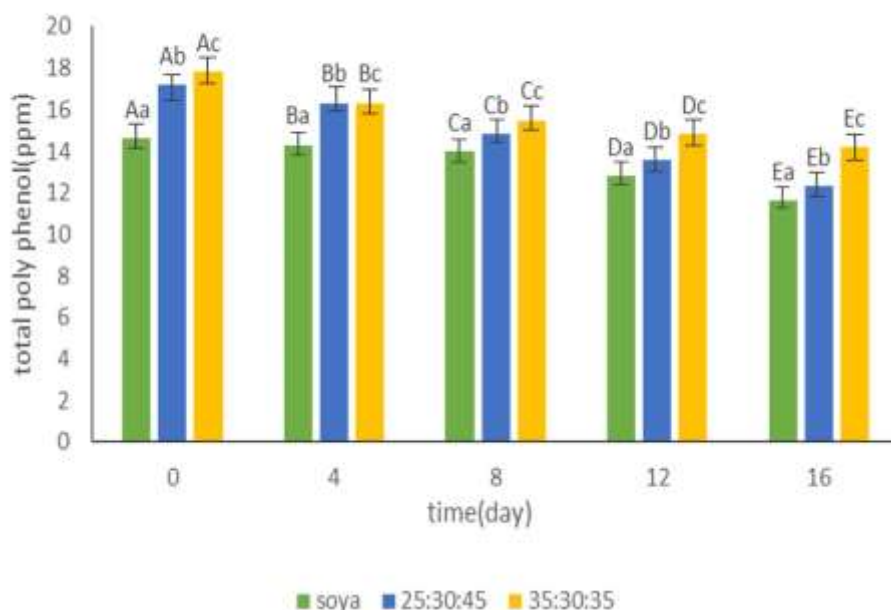


Figure 3: Changes in total polyphenol content during heat treatment under accelerated conditions for the control (soybean) and the 25:30:45 and 35:30:35 blends of soybean, palm olein, and extra virgin olive oil. Uppercase letters indicate statistically significant differences ($p < 0.05$) among heat treatment times under accelerated conditions, and lowercase letters indicate statistically significant differences ($p < 0.05$) among the selected oil blends.

همان‌طور که در شکل ۴ نشان داده شده، روغن سویا به دلیل داشتن مقادیر بالای اسیدهای چرب غیراشباع و واکنش‌های هیدرولیتیک شدیدتر، عدد اسیدی بالاتری نسبت به سایر نمونه‌ها داشت.

اثر نسبت روغن‌ها در مخلوط‌ها نیز بر روی مقدار عدداسیدی معنادار بود به‌طوری که با مخلوط کردن روغن سویا با پالم اولئین و زیتون، مقدار تولید اسیدهای چرب آزاد کاهش یافت. در بررسی پایداری حرارتی روغن کانولا در حضور ۵، ۱۰ و ۱۵ درصد از روغن زیتون مشاهده گردید که عدداسیدی در طول فرایندحرارتی افزایش یافت که بالاترین عدداسیدی مربوط به روغن کانولا بود که با مخلوط‌شدن آن با درصدهای

۴-۳ مقدار عدد اسیدی

مقدار اسیدهای چرب آزاد در روغن، رایج‌ترین آزمون برای بررسی کیفیت روغن در طول فرآیند حرارت‌دهی است، زیرا نشان‌دهنده فساد روغن بوده و به‌صورت ساده و سریع قابل اندازه‌گیری است. عدد اسیدی با پیشرفت واکنش‌های هیدرولیتیک بین روغن و رطوبت ماده غذایی افزایش می‌یابد [۳۵].

داده‌های به‌دست‌آمده نشان داد که زمان حرارت‌دهی در شرایط تسریع‌شده، نسبت روغن‌ها در مخلوط و اثر متقابل آن‌ها بر مقدار عدد اسیدی معنادار بود. با افزایش زمان حرارت‌دهی در شرایط تسریع‌شده، عدد اسیدی افزایش یافت که بیانگر هیدرولیز اسیدهای چرب طی این فرآیند بود.

مختلف از روغن زیتون، افزایش کمتری در عدداسیدی مشاهده شد [۳۶].

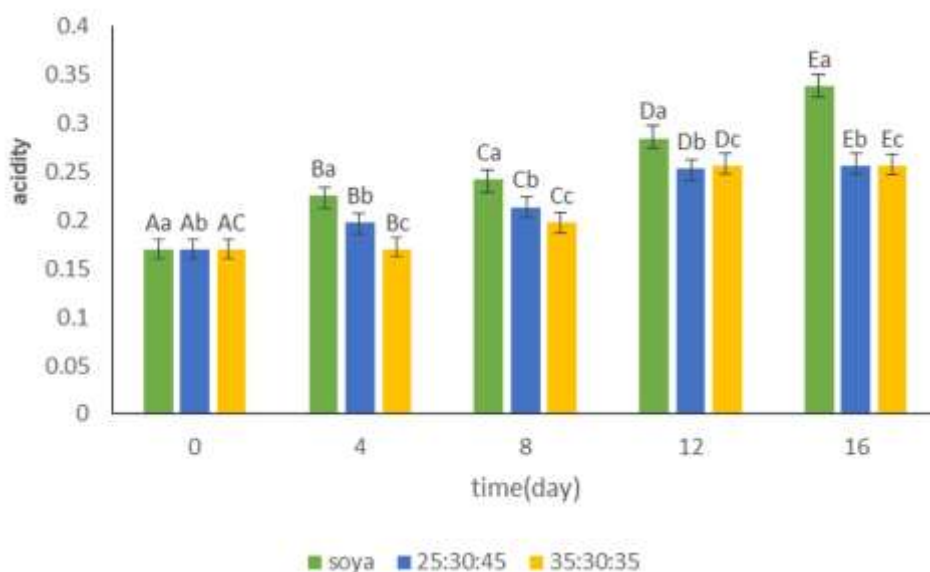


Figure 4: Changes in acid value over time for the control (soybean) and the 25:30:45 and 35:30:35 blends of soybean, palm olein, and extra virgin olive oil. Uppercase letters indicate statistically significant differences ($p < 0.05$) among heat treatment times under accelerated conditions, and lowercase letters indicate statistically significant differences ($p < 0.05$) among the selected oil blends.

هیچ موردی برای اعلام وجود ندارد.

۴- نتیجه گیری کلی

باتوجه به نتایج این پژوهش مشخص شد که بهترین نسبت مربوط به نسبت ۳۵:۳۰:۳۰ از روغن سویا، پالم اولئین و زیتون فرابکر بود زیرا این نسبت عدد اسیدی و مقدار دیان و تریان مزدوج کمتری را در طی فرایند تسریع یافته نشان می دهد و همچنین دارای بیشترین مقدار ترکیبات فنولی می باشد. روغن زیتون فرابکر می تواند با ترکیب با روغن هایی که پایداری حرارتی کمتری دارند، مانند روغن سویا، پایداری آنها را افزایش دهد و جایگزین مناسبی برای آنتی اکسیدان های سنتزی باشد. علاوه بر این، این ترکیب می تواند ارزش تغذیه ای روغن ها را افزایش داده و نسبت اسیدهای چرب آنها را بهبود بخشد.

تضاد منافع

بیانیه تامین مالی

این پژوهش هیچ گونه حمایت مالی خاصی از نهادهای دولتی، تجاری یا غیرانتفاعی دریافت نکرده است.

مشارکت نویسندگان

همه نویسندگان در طراحی، تحلیل، نگارش و تایید نسخه نهایی مشارکت داشته اند.

۶- منابع

[1] Hemalatha, S., & Ghafoorunissa, B. (2007). Sesame lignans enhance the stability of thermal oxidation of edible vegetable oils. *Food Chemistry*, 105(3), 1076-1085. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2007.03.050>

[2] Arslan, F. N., Şapçı, N., Duru, F., & Kara, H. (2017). A study on monitoring of frying performance and oxidative stability of cottonseed and palm oil blends in comparison with original oils. *International Journal of Food Properties*, 20(3), 704-717. <https://doi.org/10.1080/10942912.2016.1190601>

- [3] Chung, J., Lee, J., & Choe, E. (2004). Oxidative stability of soybean and sesame oil mixture during frying of flour dough. *Journal of Food Science*, 69(7), 574-578. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2004.tb09971.x>
- [4] Pambou-Tobi, N.P., Nzikou, J.M., Matos, L., Ndangu, C.B., Kimbonguila, A., Abena, A.A., Silou, T., Scher, J., & Desobry, S. (2010). Comparative study of stability measurements for two frying oils: soybean oil and refined palm oil. *Advances in Journal of Food Science*, 2(1), 22-27. <https://doi.org/10.3923/ajfs.2010.22.27>
- [5] Yasobi, P. (2006). The effect of phenolic components of pomegranate peel on soybean oil. (Master's thesis, Tarbiat Modares University, Agriculture Faculty, Tehran).
- [6] Idris, N.A., Abdullah, A., & Halim, A.H. (1992). Evaluation of palm oil quality: Correlating sensory with chemical analyses. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 69, 272-275. <https://doi.org/10.1007/BF02541087>
- [7] De Leonardis, A., & Macciola, V. (2012). Heat-oxidation stability of palm oil blended with extra virgin olive oil. *Food Chemistry*, 135(3), 1769-1776. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2012.06.090>
- [8] Ong, A. S. H., & Goh, S. H. (2002). Palm oil: A healthful and cost-effective dietary component. *Food and Nutrition Bulletin*, 23(1), 11-22. <https://doi.org/10.1177/156482650202300103>
- [9] Mamat, H., Nor Aini, I., Said, M., & Jamaludin, R. (2005). Physicochemical characteristics of palm oil and sunflower oil blends fractionated at different temperatures. *Food Chemistry*, 91, 731-736. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2004.07.016>
- [10] Bendini, A., Cerretani, L., Salvador, M. D., Fregapane, G., & Lercker, G. (2009). Stability of virgin olive oil sensory quality during storage: An overview. *Italian Journal of Food Science*, 21(4), 389.
- [11] International Olive Council (IOC). (2008). *Trade standard applying to olive oils and olive-pomace oils* (COI/T15/NC no3/Rev 3).
- [12] Mirzaei, H., Boldaji, F., & Dokhani, S.H. (2006). Changes in fatty acids content of two oils used for partially frying of potato. *The Journal of the Agricultural Sciences and Natural Resources*, 12(6).
- [13] Sharayei, P., Farhosh, R., Porazarang, H., & Hadad Khodaparast, M.H. (2012). The effect of wild pistachio oil on the stability of the canola palm olein and olive mixture. *The Journal of Research and Innovation in Food Science and Technology*, 2(3), 265-278.
- [14] Anwar, F., Ijaz Hussain, A., Iqbal, S., & Bhanger, M. I. (2006). Enhancement of the oxidative stability of some vegetable oils by blending with Moringa oleifera oil. *Food Chemistry*, 103, 1181-1191. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2006.10.001>
- [15] Benbouriche, A., Haddadi-Guemghar, H., Bachir-bey, M., Boulekbache-Makhlouf, L., Hadjal, S., Kouadri, L., Mehidi-Terki, D., Hamitri, M., & Madani, K. (2022). Improvement of thermo-resistance and quality of soybean oil by blending with cold-pressed oils using simplex lattice mixture design. *Ocl Journal*, 29, 1-16. <https://doi.org/10.1051/ocl/2022032>
- [16] Raoofi, M., Saviklo, A.R., & Rezaii, M. (2012). The possibility of replacing pomegranate and grape seed oils with antioxidant TBHQ core in fish oil Klika. *Scientific Information Database*, 3(1), 20.
- [17] Ramadan, M. F., Amer, M. M. A., & Awad, A. (2008). Coriander (*Coriandrum sativum* L.) seed oil improves plasma lipid profile in rats fed diet containing cholesterol. *European Food Research and Technology*, 227, 1173-1182. <https://doi.org/10.1007/s11483-007-0199-1>
- [18] Khan, M., Asha, M. R., Bhat, K. K., & Khatoon, S. (2011). Studies on chemical and sensory parameters of coconut oil and its olein blends with sesame oil and palm olein during wheat flour-based product frying. *Journal of Food Science Technology*, 48, 175-182. <https://doi.org/10.1007/s11483-010-0195-5>
- [19] Andrikopoulos, N. K., Kalogeropoulos, N., Faliro, A., & Barbogianni, M. N. (2002). Performance of virgin olive oil and vegetable shortening during domestic deep-frying and pan-frying of potatoes. *International Journal of Food Science and Technology*, 37(2), 177-190. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2621.2002.00646.x>
- [20] Nor Hayati, I., Che Man, Y. B., Tan, C. P., & Aini, I. N. (2009). Physicochemical characteristics of soybean oil, palm kernel olein and their binary blends. *International Journal of Food Science and Technology*, 44(1), 152-161. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2008.01828.x>
- [21] Ong, A. S. H., & Goh, S. H. (2002). Palm oil: A healthful and cost-effective dietary component. *Food Nutrition Bulletin*, 23(1), 11-22. <https://doi.org/10.1177/156482650202300103>
- [22] Parsaii, S., Ghorbani, M., Sadeghi-Mahonak, A.R., Ziyaiifar, A.M., & Hoseini, H. (2016). Study of thermal stability of soybean oil mixed with palm olein oil and pumpkin seed oil. *Master's thesis, Gorgan University*, 57-59.

- [23] Torani-glosalar, M. R. (2011). Study of thermal stability of soybean oil mixed with palm olein oil and corn oil. *Master's thesis, Gorgan University*.
- [24] IUPAC standard methods for the analysis of oils, fats and derivatives 917th ed.0. Oxford: Alden Press, p. 210.
- [25] Slinkard, K., & Singleton, V.L. (1977). Total phenol analysis; automation and comparison with manual methods. *American Journal of Enology and Viticulture*, 28, 49-55.
- [26] AOCS. (1996). *Official methods and recommended practices of the American Oil Chemists' Society*. AOCS Press, Champaign.
- [27] Fadda, A., Sanna, D., Sakar, E.H., Gharby, S., Mulas, M., Medda, S., Yesilcubuk, N.S., Karaca, A., Gozukirmizi, C.K., Lucarini, M., Lombardi-Boccia, G., Dicomeasa, Z., & Durazzo, A. (2022). Innovative and sustainable technologies to enhance the oxidative stability of vegetable oils. *Sustainability*, 14(2), 849. <https://doi.org/10.3390/su14020849>
- [28] Gordon, M. (2001). The development of oxidative rancidity. In N. Y. J. Pokorny & M. Gordon (Eds.), *Antioxidants in food: Practical applications* (pp. 7-22). CRC Press, Washington.
- [29] Abdulkarim, S. M., Long, K., Lai, O. M., Muhammad, S. K. S., & Ghazali, H. M. (2007). Frying quality and stability of high-oleic Moringa oleifera seed oil in comparison with other vegetable oils. *Food Chemistry*, 105, 1382-1389. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2007.03.028>
- [30] Madan, A., Pare, A., Shanmugham, B., & D.M. (2015). Techniques and types of fat used in deep-fat frying: A policy statement and background paper. *The Heart Foundation of New Zealand*.
- [31] Ronald, B. (2001). Measurement of primary lipid oxidation products. *Current Protocols in Food Analytical Chemistry*, 2, 101-115.
- [32] Zeb, A. (2020). Concept, mechanism, and applications of phenolic antioxidants in foods. *Journal of Food Biochemistry*, 44(9), e13394. <https://doi.org/10.1111/jfbc.13394>
- [33] Silva, L., Pinto, J., Carrola, J., & Paiva-Martins, F. (2010). Oxidative stability of olive oil after food processing and comparison with other vegetable oils. *Food Chemistry*, 121, 1177-1187. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2009.12.055>
- [34] Carrasco-Pancorbo, A., Cerretani, L., Bendini, A., Segura-Carretero, A., Lercker, G., Rernandez-Gutierrez, A. (2007). Evaluation of the influence of thermal oxidation on the phenolic composition and on the antioxidant activity of extra-virgin olive oils. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, 55, 4771-4780. <https://doi.org/10.1021/jf0705313>
- [35] Frega, N., Mozzan, M., & Lercker, G. (1999). Effects of free acids on oxidative stability of vegetable oil. *Food Chemistry*, 34, 717-725.
- [36] Ardebili, A. G., Farhosh, R., & Khodaparast, M.H. (2010). Frying stability of canola oil in presence of pumpkin seed and olive oils. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 112(8), 871-877. <https://doi.org/10.1002/ejlt.200900252>.



Scientific Research

Evaluation of the Oxidative Stability of a Blend of Soybean Oil, Palm Olein, and Extra Virgin Olive Oil Using an Accelerated Test

M. harasi¹, A.R. sadeghi mahonak^{*2}, M. ghorbani³, A.M. ziyaiifar⁴, M. alami⁵, H. tavakolifard⁶

1&6- M.Sc. student, Dept. of Food Science and Technology, Gorgan University of Agricultural Science and Natural Resources, Gorgan, Iran.

2-3-4-5- Professor, Department of Food Science and Industry, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources.

ARTICLE INFO	ABSTRACT
Article History: Received: 2024/10/30 Review: 2025/12/09 Accepted: 2025/12/24 Keywords: olive oil, oxidative stability, thermal stability, accelerated test, mixing of oils DOI: 10.48311/fsct.2026.83914.0 *Corresponding Author E- sadeghiaz@gau.ac.ir	Mixing vegetable oils improves their quality, increases bioactive compounds and antioxidants, and consequently enhances their oxidative stability. In this study, various ratios of soybean oil, palm olein, and extra virgin olive oil were first mixed together. Using a thermal test (heating at 170 °C for 12 hours), the best ratios in terms of thermal stability were determined, and their oxidative stability was then evaluated using an accelerated test (heating at 65 °C for 16 days). Afterwards, UV absorption at 233 and 270 nm (to determine conjugated dienes and trienes), total polyphenols, and acid value were assessed. The results showed that the best ratio in terms of thermal and oxidative stability was 35:30:35 of soybean oil, palm olein, and extra virgin olive oil, because this ratio exhibited lower acid value and lower levels of conjugated dienes and trienes at the end of the accelerated process, and also contained the highest number of phenolic compounds.