

بررسی پایداری اکسایشی روغن زیتون

معصومه سادات میررضایی رودکی^۱، محمدعلی سحری^{۲*}

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی صنایع غذایی دانشگاه علوم و تحقیقات تهران

۲- استاد و عضو هیئت علمی گروه صنایع غذایی دانشگاه تربیت مدرس

(تاریخ دریافت: ۹۰/۶/۲۱ تاریخ پذیرش: ۹۰/۱۱/۷)

چکیده

روغن در سرخ کردن عمیق مواد غذایی به مدت طولانی حرارت دیده و بر اثر عواملی چون رطوبت، حرارت و اکسیژن موجب تغییرات فیزیکی و شیمیایی مختلفی چون هیدرولیز، اکسیداسیون و پلیمریزاسیون در روغن شده و سبب تنزل کیفیت آن و محصول می‌گردد. نتایج حاصل از این تغییرات، افزایش درصد اسیدهای چرب آزاد، عدد پراکسید، درصد ترکیبات قطبی و ایزومرهای ترانس، همچنین کاهش درصد نسبی اسیدهای چرب غیراشباع، زمان مقاومت به اکسید شدن، میزان توکوفرول‌ها و ترکیبات فنلی را به دنبال دارد که همگی دلالت بر افت کیفی روغن می‌نمایند. تحقیقات نشان می‌دهد که ترکیب شیمیایی روغن‌ها و به خصوص میزان آنتی‌اکسیدان‌های طبیعی، شاخص مهمی در پیش‌بینی رفتار روغن در فرآیند سرخ کردن می‌باشد. روغن زیتون مستقل از رده‌های تجاری، به‌طور واضح در مقابل شرایط سرخ کردن مقاوم است. در این مقاله پایداری اکسیداتیو روغن‌های مختلف حین سرخ کردن با توجه به منبع تولید، حضور ترکیبات بیواکتیو طبیعی (آنتی‌اکسیدان‌ها) و ترکیب اسیدهای چرب با روغن زیتون مقایسه گردیده است.

کلید واژگان: روغن‌ها، روغن زیتون، سرخ کردن عمیق، پایداری اکسایشی

*مسئول مکاتبات: sahari@modares.ac.ir

۱- مقدمه

اهمیت روغن‌ها و چربیها نه تنها از دیدگاه سلامت، بلکه از جنبه تجارت آنچنان بوده که از دیرباز سرمایه‌گذاری‌های پژوهشی کلانی را به خود اختصاص داده است. روغن‌ها و چربیها تامین بخش قابل توجه انرژی مورد نیاز بدن، اسیدهای چرب ضروری و ویتامین‌های محلول در چربی را برعهده دارند [۱]. روغن‌ها و چربیها از منابع مختلف گیاهی و حیوانی تهیه می‌شوند که هریک دارای ویژگی‌های مختلف متابولیکی، فیزیکی و شیمیایی هستند [۲]. روغن‌های گیاهی به‌علت کاهش کلسترول خون واسطه‌های خوبی برای پخت می‌باشند [۳].

سرخ کردن یکی از معمول‌ترین فرآیندهای پخت در جهان و روشی برای آماده‌سازی غذای خانگی و صنعتی است [۴-۷]. محصولات سرخ شده ویژگی‌های حسی و ارگانولپتیکی مثل طعم، بافت شکننده و ظاهر منحصر به‌فردی دارند که مصرف‌کننده تا حد زیادی از آنها لذت می‌برد [۹و۱۰]. همچنین این روش به‌طور قابل ملاحظه‌ای زمان پخت را کاهش می‌دهد و در مقایسه با دیگر روش‌های پخت و پز مواد مغذی را به‌طور برابر یا حتی کمتر، از دست می‌دهد. اگر سرخ کردن به‌طور صحیح و با روغن مناسب انجام شود می‌تواند ارزش تغذیه‌ای غذا را به‌دلیل تلفیق همزمان ترکیبات لیپیدی مهم یعنی ویتامین E و اسیدهای چرب ضروری، افزایش دهد ولی باید تحت رژیم غذایی متعادل مصرف شود زیرا جذب چربی زیاد ممکن است میزان انرژی جذب شده‌ی روزانه را افزایش دهد [۵]. طی سرخ کردن، تغییرات پیچیده‌ای شامل تغییرات فیزیکی (افزایش ویسکوزیته و دانسیته، افزایش تیرگی و تمایل به ایجاد کف در روغن، کاهش نقطه دود، کاهش کشش سطحی)، شیمیایی (افزایش عدد پراکسید و میزان اسیدهای چرب آزاد، افزایش جذب در طول موج ۲۳۱ نانومتر ناشی از دی-ان‌های مزدوج، افزایش ترکیبات با وزن مولکولی بالا، کاهش پایداری روغن، کاهش میزان ترکیبات غیراشباع) و ارگانولپتیکی (شامل کاهش طعم و مزه) در روغن روی می‌دهد که اثر مستقیمی روی کیفیت و سلامت ماده غذایی دارد [۱۰و۱۱]. مثلاً دمای بالای استفاده شده در حین سرخ کردن و در حضور اکسیژن، آب، فلزات چند ظرفیتی، میزان اسیدهای چرب آزاد، اسیدهای چرب غیراشباع و تعداد دفعات سرخ کردن، تغییرات شیمیایی مهمی در

روغن ایجاد می‌کند. یعنی با اکسیداسیون، پلیمریزاسیون، حلقه-شدن^۱ و هیدرولیز طبیعتاً عمر مفید روغن کاهش یافته و به‌طور مستقیم بر کیفیت غذای سرخ شده تاثیر می‌گذارد [۵ و ۱۱-۱۳]. این واکنش شیمیایی تحت تاثیر فاکتورهایی مثل افزودن روغن تازه، غلظت اکسیژن [۱۱]. نوع، کیفیت روغن، شرایط سرخ کردن [۱۴]. ویژگی‌های غذا و نسبت غذا به روغن قرار می‌گیرد و در مجموع تعیین‌کننده عملکرد روغن سرخ‌کردنی است [۱۵]. رادیکال‌های آزاد تشکیل شده مسئول اکسیداسیون ترکیبات مواد غذایی می‌باشند و موجب تغییر شاخص‌های کیفی مواد غذایی مثل رنگ، آروما و ارزش تغذیه‌ای آن می‌شوند [۱۲]. اکسیداسیون چربی با حمله اکسیژن مولکولی به موقعیت‌های مجاور پیوندهای دوگانه و تشکیل رادیکال‌های آزاد همراه است [۸] که باعث تولید هیدروپراکسیدها و سپس ترکیبات فرار کوچک مولکول مثل آلدئیدها، کتون‌ها، اسیدهای کربوکسیلیک، آلکان‌ها و آلکن‌های کوچک زنجیر می‌شود [۱۱]. رادیکال‌های آزاد موجب بیماری‌های سرطان، تصلب شرایین و آسیب سلولی ناشی از افزایش سن می‌گردد. مصرف نکردن مواد غذایی اکسیدشده و نیز مصرف آنتی‌اکسیدان‌ها نقش مهمی در جلوگیری از این عوارض دارد [۱۵]. اسیدهای چرب ترانس نیز دارای اثرات مضر بر لیپوپروتئین‌های سرم و آپو لیپوپروتئین‌ها هستند. اسیدهای چرب ترانس درحقیقت منومرهای اسیدهای چرب حلقوی هستند که در غذای انسان‌ها بر اثر تیمارهای حرارتی روغن‌ها و چربی‌ها به‌وجود می‌آیند [۱۶]. مطالعه‌های زیادی رابطه بین رژیم غذایی مدیترانه‌ای و شیوع کمتر بعضی از بیماری‌های مهم قرن ما را که شامل سرطان و بیماری‌های قلبی و عروقی می‌باشد، بررسی می‌کند.

پایداری روغن‌های گیاهی در مقابل اکسیداسیون وابسته به ترکیب اسیدهای چرب، به‌ویژه درجه غیراشباعیت و میزان ترکیب اجزای جزئی روغن مثل توکوفرول‌ها (به‌خصوص گاما توکوفرول)، استرول‌های خاص، هیدروکربن‌ها (اسکوالن)، کاروتنوئیدها، پلی-فنل‌ها، عوامل ضدجوشیدن [۱۴] و فلزات جزئی است. روغن زیتون منبع اصلی چربی رژیم غذایی مدیترانه‌ای می‌باشد که به‌صورت سس سالاد یا به‌منظور سرخ کردن مورد استفاده قرار

که در نتیجه خطر بروز بیماری‌های قلبی عروقی را افزایش می‌دهد. موسسه قلب آمریکا اعلام کرده است که بیماری قلبی و عروقی هر ۳۳ ثانیه یک نفر را از زندگی محروم می‌کند [۲۲]. یکی دیگر از روش‌های پایدار کردن روغن‌های سرخ کردنی، اضافه کردن آنتی‌اکسیدان‌های سنتزی به روغن‌های سرخ کردنی است ولی اغلب آنتی‌اکسیدان‌های سنتزی در دماهای بالا ناپایدارند و دچار واکنش‌های تجزیه‌ای شده یا از محیط عمل خارج می‌شوند. مضافاً این‌که استفاده از این نوع آنتی‌اکسیدان‌های سنتزی به دلیل آثار مضر آنها بر سلامتی انسان روز به روز محدود تر می‌شود. روش دیگر برای پایدار کردن روغن‌های سرخ کردنی، مخلوط کردن آنها با روغن‌هایی است که فعالیت آنتی‌اکسیدانی بالایی دارند، مثل روغن‌های کنجد و سبوس برنج که به‌طور وسیعی برای این منظور به‌کار می‌رود. میزان تولید روغن‌های کنجد و سبوس برنج در ایران چندان قابل توجه نبوده و انواع وارداتی آنها نیز قیمت بسیار بالایی دارند [۲۳]. یا مخلوط کردن آنها با روغن‌هایی است که ترکیبات غیراشباع کمتری دارند. روغن پالم^۷ از جمله روغن‌های مناسب برای مخلوط کردن با روغن‌های حساس به‌شمار می‌رود. روغن پالم با مشکل دود کردن که ناشی از حضور اسیدهای چرب کوتاه زنجیر است مواجه نیست. اما وجود اسیدهای چرب اشباع (بیش از ۴۵٪) کیفیت تغذیه‌ای این محصول را با چالش روبرو می‌کند [۲۴]. پالم اولئین برای سرخ کردن محصولات تغذیه‌ای در آفریقای جنوبی به‌صورت خالص یا مخلوط با دیگر روغن‌ها استفاده می‌شود [۲۵]. روغن پالم اولئین مقدار کمتری اسیدهای چرب اشباع و مواد جامد چرب دارد. عدد یدی پایینی دارد و مقدار اسیدهای چرب چند غیراشباع آن از روغن‌های کنجد و بادام زمینی کمتر بوده و بیشترین ترکیب غیراشباع آن اسید لینولئیک است که حدود ۱۰٪ اسیدهای چرب آن را تشکیل می‌دهد [۲۴]. روغن پالم اولئین تصفیه، بی‌رنگ و بی‌بو^۸ شده نقش اصلی تجاری در سرخ کردن عمیق را بر عهده دارد [۴]. طعم و مزه روغن آفتابگردان بهتر از روغن کانولا می‌باشد. روغن آفتابگردان با وجود داشتن مقادیر کم اسید لینولئیک نسبت به روغن کانولا، مقاومت کمتری دارد که به مقادیر بالای اسید لینولئیک در آفتابگردان و مقادیر بالای اسید اولئیک در کانولا مربوط می‌باشد [۲۶].

7. Palm oil (PO)

8. Refined, bleached, and deodorized (RBD) palm olein

می‌گیرد. خواص مفید آن به‌علت میزان زیاد اسیدهای چرب تک غیراشباع می‌باشد [۵]. تفاوتی که روغن زیتون را از دیگر روغن‌های گیاهی متمایز می‌کند روش استخراج روغن با پرس سرد است و روغن زیتون بکر بدون فرایند تصفیه تهیه می‌شود و بنابراین میزان زیادی از ترکیبات بیواکتیو مهم میوه زیتون را در خود نگه می‌دارد، همچنین دارای میزان زیادی اسیدهای چرب تک غیر اشباع به‌خصوص اسید اولئیک و میزان نسبتاً کم اسیدهای چرب چند غیراشباع و حضور آنتی‌اکسیدان‌های طبیعی شامل توکوفرول‌ها، کاروتنوئیدها، استرول‌ها و ترکیبات فنلی می‌باشد [۱۵ و ۱۷]. درجه رسیدگی میوه نیز بر پایداری اکسیداتیو و ویژگی‌های ارگانولپتیکی روغن، ترکیبات فنولیک و اسیدهای چرب تاثیر دارد [۱۸].

اخیراً، به دلایل اقتصادی و کاهش اطلاعات مصرف‌کننده مخلوط روغن تصفیه شده و روغن زیتون بکر در نسبت‌های نامشخص یا مخلوط با دیگر روغن‌های گیاهی تصفیه شده از جمله آفتابگردان^۲ برای سرخ کردن به بازار عرضه می‌شود [۵ و ۷].

روغن‌هایی نظیر سویا^۳ و کانولا^۴ که ترکیبات غیراشباع زیادی دارند برای سرخ کردن مناسب نیستند. مثلاً روغن سویا میزان بالایی توکوفرول و اسیدهای چرب ضروری دارد و ارزش تغذیه‌ای زیادی داشته ولی پایداری اکسیداتیو آن به‌علت مقدار زیاد اسیدهای چرب چند غیر اشباع کم است [۱۹ و ۲۰]. ویژگی‌های مهم روغن‌های سرخ کردنی شامل ثبات اکسیداتیو بالا، نقطه دود بالا، نقطه ذوب و جوش پایین، بوی خوب و ارزش تغذیه‌ای بالا است [۱۴]. همچنین مطالعات نشان داده که کاهش میزان لینولئیک و لینولئیک اسید در روغن سرخ کردنی باعث افزایش پایداری اکسیداتیو و کاهش طعم نامطلوب در غذای سرخ شده در دمای بالا می‌شود [۲۱]. یکی از روش‌های پایدار کردن روغن‌های سرخ کردنی، هیدروژنه کردن آنها می‌باشد. مثلاً روغن‌های نباتی هیدروژنه در مقایسه با روغن‌های غیرهیدروژنه کلسترول خون را افزایش می‌دهد و مصرف اسیدهای چرب ترانس (حاصل از عمل هیدروژناسیون) سبب افزایش LDL^۵ و کاهش HDL^۵ می‌شود که

2. Sunflower oil (SFO)

3. Soy bean oil (SO)

4. Canola oil

5. Low-density lipoprotein

6. High-density lipoprotein

شده در EEC¹⁵ و IUPAC¹⁶ استفاده شد. ترکیب اسیدهای چرب توسط گازکروماتوگرافی، درصد اسیدهای چرب آزاد و اندیس پراکسید به روش تیتراسیون، ترکیبات قطبی با کروماتوگرافی ستونی، اندیس پارآنیزیدین و ضرایب خاموشی K₂₇₀, K₂₃₂¹⁷ توسط اسپکتروفتومتری، ترکیب توکوفرولها و پلی فنلها توسط HPLC، زمان مقاومت به اکسیدشدن با استفاده از دستگاه رنسیمت در دمای ۱۱۰ درجه سانتیگراد اندازه گیری می شود. درجداول ۱ تا ۳ پایداری اکسیداتیو روغنهای مختلف حین سرخ کردن با توجه به منبع تولید، حضور ترکیبات بیواکتیو طبیعی (آنتی-اکسیدانها) و ترکیب اسیدهای چرب آورده شده و با روغن زیتون مقایسه گردیده است.

ترکیب اسیدهای چرب

روغن زیتون اساساً از اسیدهای چرب تک غیراشباع تشکیل شده است (حدود ۷۲٪) در صورتی که این روغن دارای ۱۴٪ اسیدهای چرب اشباع و ۱۴٪ اسیدهای چرب چند غیراشباع می باشد [۲۹]. از طرفی مهم ترین گونه های تری آسید گلیسرولی موجود در روغن زیتون عبارتند از: ۷-۳٪ SOO، ۵-۷/۵-۵/۵٪ POL، ۲۰-۱۲/۵٪ OOL، ۵۹-۴۰٪ OOO، ۲۰-۱۲٪ POO¹⁸ [۳۰ و ۹]. هنگامی که درصد اسیدهای چرب در زمان سرخ کردن مقایسه می شود، کاهش قابل توجهی در میزان اسیدهای چرب غیراشباع و در نتیجه افزایش قابل توجهی در میزان اسیدهای چرب اشباع دیده می شود. به عبارت دیگر نسبت اسیدهای چرب اشباع و غیراشباع تغییر خواهد کرد [۵].

ترکیبات قطبی

نقطه قانونی برای عدم پذیرش روغن سرخ کردنی وقتی است که میزان ترکیبات قطبی کل به بیش از ۲۵٪ برسد و این ترکیبات شامل محصولات هیدرولیز (دی گلیسرید، مونوگلیسرید و اسیدهای چرب آزاد)، اکسیداسیون و مشتقات پلیمری، بوده که این محصولات در دماهای حدود ۱۸۰°C شکل می گیرد.

انتشار ترکیبات فرار با گذشت زمان تغییر نمی کند، اما با افزایش دما افزایش می یابد. زمانی که دمای روغن بالای نقطه دود آن باشد انتشار ترکیبات فرار به شدت افزایش می یابد. یادآور می شود که روغنهایی با نقطه دود پایین مثل نارگیل برای سرخ کردن مناسب نیست. تشکیل آکروئین^۹ حتی در دماهای پایین هم گزارش شده و این نشان می دهد که پخت و پز خانگی مشکل آلودگی محیط خانه را هم به دنبال دارد [۲۷]. میزان تولید ترکیب ترانس ترانس ۴و۲- دکادی انال^{۱۰} که محصول فرعی سرخ کردن می باشد توسط بوسکو و همکاران در سال ۲۰۰۶ مورد بررسی قرار گرفت. این آلدئید که دارای اثرات سیتوتوکسیک و جنتوتوکسیک^{۱۱} می باشد و باعث افزایش اکسیداسیون LDL می شود به ماده غذایی منتقل می شود. در این تحقیق ۵ نوع روغن (روغنهای پالم، تخم پنبه، آفتابگردان، زیتون، شورتینینگ گیاهی) در دو حالت سرخ کردن عمیق و سرخ کردن در ماهی تابه مورد بررسی قرار گرفت که نتایج نشان داد که بیشترین میزان این آلدئید در سبب زمینی های سرخ شده در روغن آفتابگردان و کمترین در روغن زیتون مشاهده شد [۹]. عبدالکریم و همکاران در سال ۲۰۰۷ کیفیت و پایداری روغنهای دانه مورینگا ایفرا با اسید اولئیک بالا^{۱۲}، کانولا، سویا و پالم اولئین را تحت شرایط سرخ کردن با هم مقایسه کردند. نتایج نشان داد که روغن دانه مورینگا ایفرا با اسید اولئیک بالا پایداری بالایی نسبت به روغنهای مورد مطالعه داشته است، همچنین بیان شده که ترکیب اسیدهای چرب این روغن به دلیل اسید اولئیک بالا بسیار به روغن زیتون شباهت دارد که به کاهش کلسترول و بیماری های قلبی کمک می کند [۲۸].

آزمونهای فیزیکی و شیمیایی مختلفی مثل تعیین درصد اسید چرب آزاد، عدد پراکسید، ترکیبات قطبی، ترکیب اسیدهای چرب، زمان مقاومت به اکسیدشدن، دیانها و تریانهای مزدوج، میزان توکوفرول و پلی فنل های روغن در تحقیقات مختلف جهت بررسی تغییرات روغن در حین سرخ کردن انجام می شود. بدین منظور از استانداردهای انجمن شیمیدانان روغن امریکا (AOCS)^{۱۳} و انجمن شیمی تجزیه (AOAC)^{۱۴} و روش های رسمی تعریف

9. Acrolein
10. Trans, trans-2,4-decadienal
11. Cytotoxic and genotoxic
12. High-oleic *Moringa oleifera* seed oil
13. American Oil Chemists, Society
14. American official analysis chemical

15. European economic community
16. Nternational union of pure and applied chemistry
17. Extinction coefficients
18. O=oleic acid; P=palmitic acid; S=stearic acid; L=linoleic acid

جدول ۱ پایداری اکسیداتیو روغن‌های مختلف حین سرخ کردن با توجه به ترکیب اسیدهای چرب

مرجع	۱۸:۳	۱۸:۲	۱۸:۱	۱۶:۰	زمان حرارت دهی	نوع روغن
[۱۵، ۱۲، ۵]	۰/۴-۱/۱۱	۵/۶۴-۶/۸۱	۷۶/۸-۷۷/۴	۹/۸۱-۱۱/۲	۰	روغن زیتون ممتاز
	۰/۴۱-۱/۱۱	۴/۳۱-۶/۸۱	۷۵/۹۴-۷۶/۸۵	۱۰/۲۲	۱-۲۷	
[۳۴] □	۰/۴۹-۰/۹۸	۹/۴۴-۱۲/۸	۶۴/۷۳-۶۷/۷۲	۱۳/۳۱-۱۶/۶۵	۰-۳۶	رقم آریبکینا
	۰/۵۹-۰/۸	۲/۶۴-۴/۹۴	۷۶/۱۰-۷۸/۰۶	۱۰/۸۴-۱۲/۷۴	۰-۳۶	رقم Picual
[۵]	۰/۳۹-۰/۷۴	۵/۳۴-۷	۷۴/۹۵-۷۵/۴۱		۰-۲۴	روغن زیتون بکر رقم COB2004
	۰/۳۶-۰/۶۴	۵/۹۱-۷/۸۷	۷۳/۳۸-۷۴/۰۴		۰-۲۴	روغن زیتون بکر رقم COB2005
[۱۵]	۰/۶	۷/۱	۷۶/۱	۱۱/۹	۰	روغن زیتون بکر
[۱۵، ۵، ۳۵، ۱۲، ۳]	۰/۳۱-۲/۱۴	۵/۴۳-۱۵/۵۳	۶۴/۰۸-۷۸/۱	۹/۶۶-۱۳/۱۷	۰	روغن زیتون مخلوط
[۵، ۱۲]	۰/۳۱-۱/۱۲	۴/۲۱-۵/۸۱	۷۵/۳۵-۷۸/۱	۹/۹۷	۱-۲۷	تصفیه شده و بکر
[۱۵، ۵، ۳۶، ۱۲، ۲۶، ۲۳، ۳۷]	۰/۱۱-۱/۰۴	۵۴-۶۳/۶۰	۲۳/۵۵-۳۱/۲	۷/۴-۸/۵۴	۰	روغن آفتابگردان
[۵، ۱۲]	۰/۰۹-۰/۴	۵۵/۵-۶۲/۸۴	۲۴/۴۹-۳۱/۱	۶/۴۳	۱-۱۵	
[۱۴، ۳۴، ۳]	۰/۶-۱/۵۱	۴۹/۴-۵۸/۲	۲۴/۲-۳۳/۵	۱۲/۰۷-۱۴/۱	۰	روغن ذرت
[۲۸، ۱۵، ۳]	۵/۵-۴/۸	۵۱-۵۴	۲۲-۲۴/۸	۱۱/۳-۱۲/۷	۰	روغن سویا
[۱۵]	۰/۱	۳۳/۴	۵۰/۴	۱۳	۰	روغن بادام زمینی
[۳۷، ۳۵، ۲۸، ۲۴، ۲۱]	۰/۱-۰/۸۶	۵/۷۸-۱۱/۷۳	۴۰/۱-۴۵/۶	۳۷/۷-۴۲/۸۸	۰	پالم اولئین
[۲۰]		۱۱/۰۴	۴۲/۸۱	۳۹/۶۵	۰	
[۴، ۳۸]	۰/۲۵	۱۰-۱۰/۷۲	۴۲/۳۴-۴۳/۲۴	۴۱/۱۴-۴۱/۳۰	۰	پالم اولئین تصفیه، بی بو و بی رنگ شده
	۰/۰۲-۰/۱۶	۶/۵-۸/۷۲	۴۳/۰۶-۴۴/۲۰	۴۲/۳۳-۴۳/۵۴	۳/۵-۱۰/۵	
[۳۸] °		۸/۲۸-۹/۶۷	۴۰/۷۲-۴۲/۳۶	۴۱/۸۷-۴۴/۲۳	۲-۱۰	
[۲۴]	۶۵	۲۰/۲	۶۶/۷	۴۳	۰	کلزا
[۲۱]	۰/۵	۲/۸	۴۱/۲	۵/۱	۰	کانولا نسبتا هیدروژنه
[۳۵، ۲۸، ۲۶]	۶/۸-۷/۳۵	۱۹/۴۶-۲۲/۸	۵۷/۴-۶۲/۵۱	۴/۷۳-۸/۹	۰	کانولا
[۳۶]	۴/۹۹	۴۷/۶	۲۹	۱۰/۴	۰	روغن کنجد
	۳/۱۲	۳۲	۴۰	۱۹/۵	۰	روغن سبوس برنج
[۹، ۳۷]	۰/۳-۰/۳۳	۴۸/۵-۵۳/۲۰	۱۹/۷-۲۰/۲۰	۲۱/۸۴-۲۳/۱	۰	روغن تخم بنه

*حرارت دهی بدون حضور ماده غذایی.

°: درحضور جیس موز.

برای محاسبه ترکیب اسیدهای چرب Quiles et al., 2002 و Che Man et al., 2003 از کروماتوگرافی گاز-مایع استفاده کردن.

ادامه جدول ۱ پایداری اکسیداتیو روغن‌های مختلف حین سرخ کردن با توجه به ترکیب اسیدهای چرب

مرجع	ترانس	PUFA	MUFA	SFA	زمان حرارت دهی	نوع روغن
[۱۵، ۱۲، ۵]	۰/۰۳	۷/۲-۸	۷۷/۸	۱۴/۵۰-۱۵	۰	روغن زیتون ممتاز
	۰/۰۶-۰/۴۱۰	~۸		۱۴/۳۹-۱۵/۳۸	۱-۲۷	
[۵]	۰/۰۳-۰/۴۵			۱۴/۶۹-۱۶/۰۹	۰-۲۴	روغن زیتون بکر رقم COB2004
	۰/۰۳-۰/۴۴			۱۵/۲۷-۱۶/۷۲	۰-۲۴	روغن زیتون بکر رقم COB2005
[۱۵]		۷/۶	۷۶/۸	۱۵/۵	۰	روغن زیتون بکر
[۱۵، ۵، ۱۲، ۳]	۰/۱-۰/۵۸	۷/۳-۱۷/۶۷	۶۵/۹۹-۷۸	۱۴/۴۳-۱۶/۵	۰	روغن زیتون مخلوط تصفیه شده و بکر
[۵، ۱۲]	۰/۱۲-۰/۵۸	~۸		۱۵/۱۱-۱۶/۰۷	۱-۲۷	
[۳۶، ۱۲، ۲۶، ۲۳، ۳۷] [۱۵، ۵]	۰/۲۷-۰/۷۱	۵۴-۵۷	۲۸/۶-۳۵	۱۰/۸-۱۳/۴	۰	روغن آفتابگردان
	۰/۲۹-۰/۳۹	~۵۷		۱۱/۳۵-۱۱/۷۷	۱-۱۵	
[۱۴، ۳۴، ۳]		۵۰-۵۸/۱۰	۲۷/۱۷-۳۳/۶	۱۴/۹۱-۱۶/۴	۰	روغن ذرت
[۲۸، ۱۵، ۳]		۵۸/۸	۳۴/۸	۱۱/۰۸-۱۶/۴	۰	روغن سویا
[۲۰]		۵۳/۸۸	۳۵	۱۱/۰۸	، ^c	
[۱۵]		۳۳/۵	۵۰/۵	۱۶/۱	۰	روغن بادام زمینی
[۳۷، ۳۵، ۲۸، ۲۴، ۲۱]	۰	۶/۰۳-۱۰/۸	۴۲-۴۴/۹۹	۴۶/۷-۴۸/۸	۰	پالم اولئین
	[۲۰]		۱۱/۶۱	۴۳	، ^c	
[۲۱]	۲۶/۷	۴/۱	۷۴/۹	۱۷/۲	۰	کانولا نسبتا هیدروژنه
[۳۵، ۲۸، ۲۶]	۲/۴۹	۲۶/۷۵	۶۵/۵۰	۷/۵۷-۷/۶۲	۰	کانولا
[۳۶]		۵۲/۶	۳۰/۲	۱۶/۵	۰	روغن کنجد
		۳۵/۱	۴۱/۵	۲۳/۱	۰	روغن سبوس برنج

*حرارت دهی بدون حضور ماده غذایی.

،^c در حضور خمیر.

برای محاسبه ترکیب اسیدهای چرب Quiles et al., 2002 و Che Man et al., 2003 از کروماتوگرافی گاز- مایع استفاده کردن.

جدول ۲ پایداری اکسیداتیو روغن‌های مختلف حین سرخ کردن با توجه به منبع تولید

منبع	K ₂₃₂	K ₂₇₀	اندیس پراکسید mEq hydroperoxide / kg	درصد ترکیبات قطبی	زمان سرخ کردن (h)	نوع روغن
[۱۵، ۱۲، ۵]	۱/۶۶-۲/۵	۰/۲-۰/۷۵	۲/۱	~۲/۲-۵/۵	۰-۱	روغن زیتون ممتاز
[۱۵]				۲/۸	۱ □	
[۳۴] □	۱/۹۶	۰/۰۹			۰	رقم آریکینا
	~۲/۱۰-۲/۳	~۰/۵-۱/۱۶			۲-۳۶	
[۳۴] □	۱/۶۷	۰/۱۲			۰	رقم Picual
	~۱/۸-۲/۴	~۰/۲۹-۰/۷			۲-۳۶	
[۵]	۱/۸-۲/۲۴	۰/۹-۱/۰۳		۷/۵-۲۵/۵	۳-۲۷	روغن زیتون بکر رقم COB2004
	۱/۴	۰/۱۵		۷	۰	
	۱/۹۲-۲/۲۷	۰/۶۴-۱/۰۴		۸/۵-۲۵/۵	۳-۲۴	روغن زیتون بکر رقم COB2005
	۱/۷۲	۰/۱۴		۶/۵	۰	
۲/۱۵-۲/۳۹	۰/۸۲-۱/۱۳		۸/۵-۲۵/۵	۳-۲۴		
[۱۵، ۵، ۱۲، ۳]	~۱/۵-۱/۸۴	۰/۲۷-۰/۴۳	~۱/۲-۳/۸	~۴-۶	۰-۱	روغن زیتون مخلوط
[۵]	۱/۸۸-۲/۳۶	۱/۰۲-۱/۱		۸-۲۶	۳-۲۷	تصفیه شده و بکر
[۱۲، ۱۵، ۵]	~۲/۱۱-۵/۷	۰/۵-۱/۱	۳/۸	~۴/۸-۱۳/۵	۰-۱	روغن آفتابگردان
	۲/۰۲-۲/۲۸	۱/۹۹-۲/۵۱		۱۷/۵-۲۷	۳-۱۵	
[۳۷]			۱/۹۳	۸/۶	۰	
[۳، ۱۵]			~۱/۳-۵/۳		۰-۱	روغن ذرت
[۳، ۱۵، ۲۰، ۲۸]	~۰/۰۵-۲/۷۹	~۰/۰۲-۱/۲۷	~۰/۲۳-۶/۳	~۴/۷۲-۱۱	۰-۱	روغن سویا
[۲۸]	۶/۵۶-۱۰/۶۴	۱/۹-۲/۳۴		۱۱/۰۳-۳۱/۸۲	۶-۳۰	
[۲۰]	~۰/۱۹-۰/۸	~۰/۰۵-۰/۲		~۱۴-۳۸	۲-۱۰ ^c	
[۱۵]			۳/۱		۰	روغن بادام زمینی
[۳۹، ۲۸، ۲۴]	۱/۶۷	۰/۶۵	۰/۲۳-۰/۷۲	۰/۴-۴/۰۲	۰	روغن پالم اولئین
[۳۷]			۰/۵۵۳	۹/۷	۰	
[۲۸]	۲/۴۳-۴/۲۷	۰/۹۶-۱/۱۸		۶/۰۴-۲۱/۲۸	۶-۳۰	
[۲۰، ۴]	~۰/۱-۱/۶۳	~۰/۰۴-۰/۴	۱/۵۳	~۷	۰	پالم اولئین تصفیه، بی بو و بی رنگ شده
[۴]	۳/۹۴-۱۶/۷۰	۱/۸-۳/۶۴	۱۳/۸۳-۲۱/۴۶		۳-۱۷/۵	
[۳۸] ^c	۱/۸۶-۸/۱۳	۰/۴۹-۲/۳۳			۰-۱۰	
[۲۰]	~۰/۳-۱/۵	~۰/۰۸-۰/۳۶		~۱۱-۳۲	۲-۱۰ ^c	
[۲۸، ۲۴، ۳۹]	۲/۶۵	۰/۶۱	۱/۸-۰/۳	۰/۷۹-۳/۰۱	۰	کلزا
[۲۸]	۵/۳۳-۹/۲۸	۱/۳۱-۲/۱۱		۵/۷۲-۲۸/۷۳	۶-۳۰	
[۳۹]			۰/۲۳۷	۰/۷۸۳	۰	کانولای نیمه هیدروژنه
[۴۰]	۷/۲۵-۲۶/۵۷ mmol/l				۰-۸	کانولا
[۳۷]			۲	۹/۸	۰	تخم پنبه

*حرارت دهی بدون حضور ماده غذایی.
^c در حضور خمیر.

برای محاسبه ترکیبات قطبی، Casal et al., 2010 و Pambou-Tobi et al., 2010 از طریق تغییرات ثابت دی الکتریک، Che Man et al., 2003 از قوانین PORIM و Abdulkarim et al., 2007 و Quiles et al., 2002 از IUPAC استفاده کردند. برای محاسبه پراکسید، Che Man & Tan., 1999 و Naz et al., 2005 از IUPAC استفاده کردند.

جدول ۲ پایداری اکسیداتیو روغن‌های مختلف حین سرخ کردن با توجه به منبع تولید

منبع	اندیس پارا آنیزیدین	TBA(μ moles malondialdehyde/kg oil)	اندیس پراکسید mEq O ₂ /kg	اسیدیته %	زمان سرخ کردن (h)	نوع روغن
[۱۵، ۱۲، ۵]	~۴-۱۲		۱۰/۱۰-۱۶	۰/۲-۰/۳۵	۰-۱	روغن زیتون ممتاز
[۳۴] □			۱۰/۱۰		۰	رقم آریبیکنا
[۳۴] □			۱۰/۷۴		۰	رقم Picual
	۳۲-۶۰		۱۰/۱۴	۰/۳-۰/۶	۳-۲۷	
[۵]	۳		۱۱	۰/۲	۰	روغن زیتون بکر رقم COB2004
	۳۲-۶۴		۹-۱۱	۰/۳-۰/۵	۳-۲۴	
	۴		۱۱	۰/۲	۰	روغن زیتون بکر رقم COB2005
	۳۲-۶۵		۹-۱۴	۰/۳-۰/۶	۳-۲۴	
[۱۵، ۵، ۱۲، ۳]	~۰/۱-۶		~۱-۱۲	۰/۱۵-۰/۳	۰-۱	روغن زیتون مخلوط
[۵]	۳۱-۶۱		۹-۱۱	۰/۳-۰/۷	۳-۲۷	تصفیه شده و بکر
[۱۲، ۱۵، ۵]	۱۰		~۳-۸	۰/۰۸-۰/۲	۰-۱	روغن آفتابگردان
	۵۸-۱۶۷		۱۵-۲۸	۰/۱-۰/۲	۳-۱۵	
[۳۷]	۵/۷۷				۰	
[۳، ۱۵]	~۰/۱۵-۲/۶			۰/۲-۰/۲۳	۰-۱	روغن ذرت
[۳، ۱۵، ۲۰، ۲۸]	~۰/۲-۲۹/۹۷		۳/۰۵	۰/۲-۰/۳۲	۰-۱	روغن سویا
[۲۸]	۱۱۱/۶۰-۱۴۹/۶۸		۲/۲۵-۳/۷۵	-۰/۳۴-۰/۵۴	۶-۳۰	
[۱۵]				۰/۲	۰	روغن بادام زمینی
[۳۹، ۲۸، ۲۴]	۱۹/۹۷			۰/۰۵-۰/۱۹	۰	روغن پالم اولتین
[۳۷]	۰/۴۲				۰	
[۲۸]	۴۶/۲۵-۶۴/۲۸		۳/۲۵-۴/۹۲	۰/۲۵-۰/۵۵	۶-۳۰	
[۲۰، ۴]	۱۳/۱۱			۰/۱	۰	پالم اولتین تصفیه، بی بو و بی رنگ شده
[۴]	۳۰/۱۶-۶۷/۰۷			۰/۱۶-۰/۵۷	۳-۱۷/۵	
[۳۸] ^c	۱/۶-۶۰/۸۸		۱/۸۱-۱۹/۳۳	۰/۹۲-۴/۲۵ g/kg	۰-۱۰	
[۲۸، ۲۴، ۳۹]	۲۳/۳۵		۲/۴۲	۰/۰۳-۰/۱۳۵	۰	کلزا
[۲۸]	۸۷/۴۲-۱۴۶/۶۴		۲/۷۵-۵/۰۸	۰/۱۱-۰/۳۵	۶-۳۰	
[۳۹]				۰/۰۵	۰	کانولای نیمه هیدروژنه
[۴۰]			۳/۱۹-۳/۳۱	۱/۴۹-۱/۸۸ mgkoh/g	۰-۸	کانولا
[۳۷]	۲/۲۷				۰	تخم پنبه

*حرارت دهی بدون حضور ماده غذایی.

e: درحضور چپیس موز.

برای محاسبه پراکسید، Che Man & Tan, 1999 و Naz et al., 2005 از IUPAC استفاده کردند.

برای محاسبه اسیدیته، Che Man & Tan, 1999 از قوانین PORIM، آذری فر و خوش طینت از AOCs Te 1a-64 و Quiles et al., 2002 از AOCs AC 5-41 استفاده کردند.

برای محاسبه پارا آنیزیدین، Casal et al., 2010 از ISO6885، Silva et al., 2010 از AOCs Ca 18-90، Naz et al., 2005 از IUPAC و Abdulkarim et al., 2007 از PORIM استفاده کردند.

جدول ۳ پایداری اکسیداتیو روغن‌های مختلف حین سرخ کردن با توجه به حضور ترکیبات بیواکتیو طبیعی (آنتی‌اکسیدان‌ها)

منبع	زمان پایداری (h:min)	کل پلی فنل (mg/kg)	توکوفرول کل (mg/kg)	کل ویتامین E (mg/kg)	زمان سرخ کردن (h)	نوع روغن
[۵، ۱۲، ۱۵]	۱۶:۲۴	~۱۲۰-۱۵۰۰	~۱۲۰-۱۲۵	~۱۸۹-۳۵۰	۰-۱	روغن زیتون ممتاز
[۳۴] *		۸۱/۶۷	۱۷۱/۶۷		۰	رقم آریکینا
		۴۰۶	۱۹۲/۳۳		۰	رقم Picual
[۱۵]		~۲۲۵	~۵۰		۱ □	روغن زیتون ممتاز
[۵]	۱:۵۹-۱۶:۰۰	۵۳-۱۱۹		۵-۱۰۵	۳-۲۷	روغن زیتون ممتاز
	۸:۵۱	۹۸±۱۵		۱۵۷	۰	روغن زیتون بکر رقم COB2004
	۱:۱۴-۷:۰۶	۵۹±۱		۲-۸	۳-۲۴	روغن زیتون بکر رقم COB2004
[۵]	۶:۰۱	۶۳		۱۳۹	۰	روغن زیتون بکر رقم COB2005
	۰:۴۲-۱:۴۹	۵۰±۱۱		۲	۳-۲۴	روغن زیتون بکر رقم COB2005
[۱۵]		~۵۰-۱۹۸	~۱۲۰-۱۲۵		۰-۱	روغن زیتون بکر
		~۷۰	~۶۰		۱ □	روغن زیتون بکر
[۵، ۱۲، ۱۵]	۱۵:۱۸	~۲۷-۱۵۴	~۳۰	~۱۵۰-۱۶۵	۰-۱	روغن زیتون مخلوط
[۵]	۱:۵۱-۱۴:۳۰	۷۲		۳-۱۰۰	۳-۲۷	تصفیه شده و بکر
[۱۵]	۳:۵۵-۶:۰۸	~۳۰			۱ □	تصفیه شده و بکر
[۵، ۱۵، ۲۶، ۳۶]	۳:۵۵-۶:۰۸	d۳۱-۳۸/۷	d-۳۵۰-۷۴۰/۳	۴۷۴	۰-۱	روغن آفتابگردان
	۲:۱۹-۲:۵۷	N.D		۳۱۵-۴۵۱	۳-۱۵	روغن آفتابگردان
			~۲۸۰		۱ □	روغن آفتابگردان
[۱۵]		N.D	~۴۷۰-۵۹۰		۰-۱	روغن ذرت
			~۴۸۰		۱ □	روغن ذرت
			~۴۸۰		۱ □	روغن ذرت
[۱۵]		N.D	~۴۸۰		۰-۱	روغن سویا
			~۴۸۰		۱ □	روغن سویا
		N.D	~۱۳۰-۲۰۰		۰-۱	روغن بادام زمینی
[۲۶، ۴۰]	۱۱/۵۴	۴۷/۱۳-۱۲۷/۲۷	۵۵۵/۹۷-۷۹۳/۳۵		۰	روغن کانولا
[۳۶]		d ₁ ۰۴۲/۴	d ₁ ۰۹۳/۳		۰	روغن کنجد
[۳۶]		d ₆ ۸	d ₈ ۳۳		۰	روغن سبوس برنج

* حرارت دهی بدون حضور ماده غذایی.

d: اندازه گیری توسط اسپکتروفتومتری.

برای محاسبه توکوفرول، فرهوش و همکاران، ۱۳۸۸ از رنگ سنجی استفاده کردند.

ادامه جدول ۳ پایداری اکسیداتیو روغن‌های مختلف حین سرخ کردن با توجه به انواع توکوفرول ها

منبع	توکوفرول δ (mg/kg)	توکوفرول γ (mg/kg)	توکوفرول α (mg/kg)	زمان سرخ کردن (h)	نوع روغن
[۵، ۱۲، ۱۵]	N.D	N.D	۱۱۲-۱۷۹/۹	۰-۱	روغن زیتون ممتاز
* [۳۴]		۰	۱۷۰	۰	رقم آریکینا
		۱۰/۳۳	۱۷۸/۶۷	۰	رقم Picual
[۵]	N.D	N.D	۴/۷-۱۰۱/۴	۳-۲۷	روغن زیتون ممتاز
	N.D	N.D	۱۵۱/۹	۰	روغن زیتون بکر
	N.D	N.D	۱/۷-۸/۴	۳-۲۴	رقم COB2004
	N.D	N.D	۱۳۶/۸	۰	روغن زیتون بکر
[۱۵]	N.D	N.D	۰/۱-۲/۱	۳-۲۴	رقم COB2005
	N.D	N.D	۱۱۳	۰-۱	روغن زیتون بکر
[۵، ۱۲، ۱۵]	۰/۵	N.D	۲۳/۷-۱۳۹/۱	۰-۱	روغن زیتون
	۰/۱	N.D	۲/۶-۹۴/۱	۳-۲۷	مخلوط تصفیه شده و بکر
[۵، ۱۵، ۲۶، ۳۶]	۱/۲	۸	۲۶۵/۲-۴۳۲/۲	۰-۱	روغن آفتابگردان
	۰/۷-۱	۳/۵-۷/۳	۲۹۱/۳-۴۱۳/۱	۳-۱۵	
[۱۵]	۳۳	۳۹۳/۹	۶۰/۶	۰-۱	روغن ذرت
	۱۶۶/۳	۳۴۸/۸	۳۳/۸	۰-۱	روغن سویا
	۲۲/۸	۶۶/۷	۴۶/۱	۰-۱	روغن بادام زمینی

* حرارت دهی بدون حضور ماده غذایی.

d: اندازه گیری توسط اسپکتروفتومتری.

برای محاسبه توکوفرول، فرهوش و همکاران، ۱۳۸۸ از رنگ سنجی استفاده کردند.

شیمیایی مختلف خصوصاً هیدرولیز تری‌گلیسریدها است. اسیدهای چرب آزاد علاوه بر واکنش‌های هیدرولیز، طی فرآیند اکسیداسیون نیز به‌عنوان یک فرآورده نهایی تشکیل شده و باعث کاهش نقطه دود روغن سرخ کردنی می‌گردند. از طرف دیگر انباشتگی خرده‌های ماده غذایی در سرخ‌کن تولید اسیدهای چرب آزاد را تسریع نموده و حضور اسیدهای چرب آزاد در روغن سرخ کردنی هیدرولیز تری‌گلیسریدها را کاتالیز می‌کند [۳۱].

هیدروپراکسید و پارائیزیدین

تشکیل هیدروپراکسیدها با میزان اکسیداسیون اسیدهای چرب و سطوح آنتی‌اکسیدانی در ارتباط است. هیدروپراکسیدها ترکیبات شیمیایی ناپایدار هستند ولی با این وجود شاخص اجباری برای

همه انواع روغن‌های زیتون قبل از سرخ کردن TPC^{۱۹} مشابه داشتند اما TPC روغن‌های گیاهی دیگر مثل آفتابگردان به‌طور قابل توجهی بالاتر بود. به‌نظر می‌رسد که تشکیل TPC بسیار وابسته به شرایط سرخ کردن مثل درجه حرارت، نوع و مقدار ماده غذایی و غیره می‌باشد [۵].

اسیدیته

میزان اسیدیته روغن‌های زیتون بکر قبل از حرارت‌دهی زیر محدوده ۰/۳٪ بوده و در روغن‌های گیاهی تصفیه شده به‌دلیل مرحله خنثی‌سازی این میزان کمتر است. افزایش درصد اسیدهای چرب آزاد با افزایش زمان حرارت‌دهی در نتیجه واکنش‌های

19. Total polar compounds

نتایج حاصله قابل انطباق کامل با شرایط سرخ کردن معمولی نیست. ارزیابی روغن با این روش برای نمونه‌های مختلف روغن نتایج کاملاً متفاوتی نشان داد و بالاترین پایداری اکسیداتیو برای زیتون فوق بکر مشاهده گردید [۵].

توکوفرول‌ها و ترکیبات فنلی

فعالیت توکوفرول‌ها به‌عنوان آنتی‌اکسیدان به‌وسیله‌ی به دام انداختن هیدروپرواکسیدهای حد واسط و در نتیجه توقف زنجیره اتواکسیداسیون می‌باشد. α -توکوفرول اثر سلامتی بخش و تغذیه‌ای برای انسان داشته درحالی که γ -توکوفرول دارای فعالیت زیاد حفاظت‌کنندگی در ترکیبات دانه‌ها مثل اسیدهای چرب است. مشخص شده که α -توکوفرول در مقایسه با γ -توکوفرول در غلظت 100ppm فعالیت آنتی‌اکسیدانی بهتری را در روغن ذرت دارد، در صورتی‌که در غلظت‌های بیشتر از 250ppm اثرات پرواکسیدانی نشان می‌دهد. γ -توکوفرول در غلظت‌های بالای 1000ppm دارای بهترین فعالیت آنتی‌اکسیدانی است. δ -توکوفرول فعالیت کمتری از توکوفرول‌های دیگر در غلظت‌های پایین دارد و فعالیت پرواکسیدانی را حتی در غلظت‌های بالای 5000ppm هم در روغن ذرت نشان نداد [۱۵]. نتایج تحقیقات نشان می‌دهد که در حین سرخ کردن α -توکوفرول و ویتامین E در انواع روغن زیتون کاهش سریعی داشته اما در روغن‌های گیاهی دیگر کاهش تدریجی و آرام دارد.

روغن زیتون در مقایسه با روغن‌های گیاهی دیگر توجه خاصی را به دلیل ترکیبات فنلی از خود نشان می‌دهد زیرا این ترکیبات دارای اثرات آنتی‌اکسیدانی و آنتی‌میکروبی می‌باشند. در واقع فنل‌ها غالباً به‌عنوان عامل کلیدی در مقاومت اکسیداتیو روغن‌های زیتون توصیف می‌شوند. هم توکوفرول‌ها و هم ترکیبات فنلی در اولین ساعات سرخ کردن به سرعت از بین می‌روند. بنابراین این ترکیبات باعث مقاومت سرخ کردن در برابر اکسیداسیون در ساعات اولیه حرارت دادن می‌شوند. اگر نتایج رنسیمت روغن‌ها با هم مقایسه شود مشخص می‌گردد که با حضور توکوفرول‌ها و فنل‌ها مقاومت

وضعیت اکسیداسیون روغن‌های گیاهی است. ممکن است این شاخص با حرارت کاهش یافته و در نتیجه نمی‌تواند نشان دقیقی از اکسیداسیون نمونه باشد. در صورتی‌که p-آنیزیدین به‌خوبی با محصولات ثانویه‌ی اکسیداسیون یعنی آلدئیدها در ارتباط است و به مراتب از هیدروپرواکسیدها با ثبات‌تر است. نمونه‌های حرارت ندیده دارای پراکسید در محدوده‌ی استاندارد بوده و انواع روغن زیتون در حین سرخ کردن نیز دارای سطوح پراکسید مشابه بودند. افزایش سطح هیدروپرواکسید در روغن‌های گیاهی دیگر از جمله آفتابگردان به دلیل وجود اسیدهای چرب چندغیراشباع است زیرا حساسیت اسیدهای چرب چندغیراشباع به اکسیداسیون نسبت به تک غیراشباع بیشتر است. به نظر می‌رسد که ترکیب اسیدهای چرب مسئول اصلی شباهت رفتار نمونه‌های روغن زیتون باشد [۵].

دی‌ان‌ها و تری‌ان‌های مزدوج

تشکیل دی‌ان‌های کنژوگه اسیدهای چرب چند غیراشباع با K_{232} (جذب ۱٪ محلول m/v ایزواکتان در ۲۳۲ نانومتر با ۱ سانتی‌متر طول سل) در ارتباط است در حالی که میزان K_{270} (جذب ۱٪ محلول m/v ایزواکتان در ۲۷۰ نانومتر با ۱ سانتی‌متر طول سل) حاکی از حضور محصولات اولیه و ثانویه اکسیداسیون شامل تری‌ان‌های کنژوگه و ترکیبات کربونیل می‌باشند. حداکثر میزان مجاز این دو شاخص برای روغن زیتون فوق بکر $K_{232}=2/5$ و $K_{270}=0/2$ ، برای روغن زیتون بکر $K_{232}=2/6$ و $K_{270}=0/25$ و برای روغن‌های مخلوط زیتون با روغن‌های دیگر یا روغن‌های تماماً تصفیه شده $K_{270}=0/9$ می‌باشد در صورتی‌که K_{232} برای این روغن‌ها ارزیابی نشده است [۵].

پایداری اکسیداتیو با رنسیمت

روش رنسیمت اغلب برای ارزیابی یا پیش‌بینی پایداری اکسیداتیو در شرایط حرارتی بوده و به‌عنوان زمان مقاومت استفاده می‌شود. با توجه به اینکه رنسیمت ابزار مهمی برای مقایسه روغن‌های گیاهی مختلف است لذا از آن در تحقیقات استفاده می‌شود گرچه

- [2] Zomorodi, Sh. Shokrani, R. Shahedi, M. And Dokhani, Sh. Interesterification of mixtures of soybean oil with fully hydrogenated oil for production of shortenings, Iranian, J. Agric. Sci. 2003; 34(3): 587-595.
- [3] Naz, S., Siddiqi, R., Sheikh, H., & Sayeed, S. A. Deterioration of olive, corn and soybean oils due to air, light, heat and deep-frying. Food Research International 2005; 38: 127-134.
- [4] Che Man, Y. B. & Tan, C.P. Effects of natural and synthetic antioxidants on changes in refined, bleached, and deodorized palm olein during deep-fat frying of potato chips, JAOCS 1999; 76(3): 331-339.
- [5] Casal, S., Malheiro, R., Sendas, A., Oliveira, B. P. P., & Pereira, J. A. Olive oil stability under deep-frying conditions, Food and Chemical Toxicology 2010; 48: 2972-2979.
- [6] Ramirez, M. R., Morcuende, D., Estevez, M., & Cava, R. Effects of the type of frying with culinary fat and refrigerated storage on lipid oxidation and colour of fried pork loin chops, Food Chemistry. 2004; 88: 85-94.
- [7] Bastida, S. & Sánchez-Muniz, F.J. Polar content vs. TAG oligomer content in the frying-life assessment of monounsaturated and polyunsaturated oils used in deep-frying, JAOCS. 2002; 79(5): 447-451.
- [8] Jaswir, I. & Che Man, Y. B. Use Optimization of natural antioxidants in refined, bleached, and deodorized palm olein during repeated deep-fat frying using response surface methodology, JAOCS 1999; 76(3):
- [9] Boskou, G., Salta, F. N., Chiou, A., Troullidou, E., Andrikopoulos, N. K. Content of trans,trans-2,4-decadienal in deep-fried and pan-fried potatoes, Eur. J. Lipid Sci. Technol 2006; 108:109-115.
- [10] Kazemi Sangdehi, S. Quality evaluation of frying oil and chicken nuggets using visible/near-infrared hyper-spectral anal Ysis, Direction du Patrimoine de l'édition 2005; P.p 89
- [11] Choe, E & Min, D.B. Chemistry of deep-fat frying oils, Journal of Food Science 2007; 72(5): 77-86.

اکسیداتیو به آهستگی کاهش می‌یابد. از طرفی چون ترکیب اسیدهای چرب روغن زیتون با تک غیراشباعی بالا عامل تعیین کننده میزان اکسیداتیو است لذا مقاومت اکسیداتیو این روغن خوب است در صورتی که عدم وجود فنل‌های حفاظتی و ماهیت چند غیراشباعی از عوامل مهم اکسیداسیون سریع روغن‌های گیاهی دیگر می‌باشد.

علاوه بر موارد گفته شد، روغن زیتون برای فرآیندهایی که در آن دما بالاست عالی در نظر گرفته می‌شود. به‌ویژه اینکه همه معیارهای اسیدچرب روغن‌های سرخ شدنی را داراست. عملاً هیچ‌گونه اسید چربی از نوع ترانس ندارد و به دلیل مزایای مربوطه به نقطه ذوب پایین یک روغن سرخ کردنی ممتاز به‌شمار می‌رود. این بدان معناست که به سهولت از غذای سرخ شده جاری می‌شود و محتوی روغن غذای سرخ شده را کاهش می‌دهد [۳۲ و ۳۳].

۳- نتیجه‌گیری کلی

نتایج تحقیقات به وضوح مشخص می‌کند که روغن زیتون مستقل از نوع برجسب آن مقاومت بالایی به تخریب تحت شرایط سرخ کردن دارد. مهمترین ترکیباتی که باعث مقاومت اکسیداتیو آن می‌شود عبارت از ویتامین E، فنل‌ها و عمدتاً تری گلیسریدهای تک غیراشباعی است. روغن‌های گیاهی دیگر مثل سویا، آفتابگردان، ذرت و کلزا با وجود اینکه ارزان و دارای مقادیر بالایی از ویتامین E می‌باشد ولی کمبود و فقدان ترکیبات بیواکتیو مهم مثل فنل‌ها و ماهیت ترکیب غیراشباعی اسیدهای چرب آن بسیار حساس به اکسیداسیون می‌باشد. روغن پالم نیز به‌دلیل اسیدهای چرب اشباع بالا از نظر تغذیه‌ای، چاق کردن مصرف کننده و ابتلا به بیماری‌های قلبی و عروقی محدودیت مصرف دارد.

۴- منابع

- [1] Kebriti, M. Hoseini Mazhari, S. Z. Gerami, A. Ghiassi, B. Esfandiyari, Ch. Survey on the rate of losses and wastes in oil seeds processing plants in Tehran Province, Food Technology and Nutrition 2011; 8(1): 42-50.

- oils: soybean oil and refined palm oil, *Adv. J. Food Sci. Technol* 2010; 2(1): 22-27.
- [21] Xu, X. Q., Tran, V. H., Palmer, M., White, K. & Salisbury, Ph. Chemical and physical analyses and sensory evaluation of six deep-frying oils, *JAOCs* 1999; 76(9): 1091-1099.
- [22] Ghodrat, S. Mehran, Sh. Vafa, M. R. Gaieni, E. Saiedpour, A. Compare the effect of frying oil and hydrogenated vegetable oil on lipid parameters in rats, 1385; 1(2): 21-27.
- [23] Mirzaei, H. Boldaji, F. Dokhani, SH. Changes in fatty acids content of two oils used for partially frying of potato, *J. Agric. Sci. Natur. Resour* 2006; 12(6)
- [24] Bolourian, SH. Goli Movahhed, GH. Afshari, M. Madadnoei, F. and Karami, F. Evaluation of heat stability and performance of palm olein and colza oils blends in frying of potato chip, *Journal of Food Research (Agricultural Science)*. 2010: 20 (1): 31-46.
- [25] du Plessis, L.M. & Meredith, A.J. Palm olein quality parameter changes during industrial production of potato chips, *JAOCs*. 1999; 76(6): 731-738.
- [26] Mohammadi, T. Azizi, M. H. Taslimi, A. Relationship between the composition of fatty acids with stability oil in mixture of sunflower and canola oils, *Journal of Food Science and Technology* 2007; 4(2): 57-66.
- [27] Katragadda, H. R., Fullana, A., Sidhu, S., & Carbonell-Barrachina, A. A. Emissions of volatile aldehydes from heated cooking oils, *Food Chemistry* 2010; 120: 59-65.
- [28] Abdulkarim, S.M., Long, K., Lai, O.M., Muhammad, S.K.S., Ghazali, H.M. Frying quality and stability of high-oleic *Moringa oleifera* seed oil in comparison with other vegetable oils, *Food Chemistry*, 2007; 105: 1382-1389.
- [29] Harwood, J. L. & Aparicio, R. *Handbook of Olive Oil: analysis and properties*, Springer publishing 2000; Pp 620.
- [30] Maghsoudi, SH. *Olive Technology and Its Products*, Publication of Agricultural Science of Iran. 2008: Pp 198.
- [12] Quiles, J. L., Ramirez-Tortosaa, M. C., Gomezd, J. A., Huertasa, J. R., & Mataixa, J. Role of vitamin E and phenolic compounds in the antioxidant capacity, measured by ESR, of virgin olive, olive and sunflower oils after frying, *Food Chemistry* 2002; 76: 461-468.
- [13] Boskou, D. *Olive Oil: Chemistry and Technology*, AOCS Press 2006; Pp 268.
- [14] Sisakhtnezhad, S. Sheikhol-Islami, A. Kiani, A. Mohammadi, B. Darzi-Ramandi, M. Parvin, N. & Bahrami G. Evaluation of the stability of fatty acid content of natural lipid and frying oils available on the Iranian market during frying, *Journal of Medical Sciences, Kermanshah University of Medical Sciences*. 2008; 12(4): 343-357.
- [15] Silva, L., Pinto, J., Carrola, J., & Paiva-Martins, F. Oxidative stability of olive oil after food processing and comparison with other vegetable oils, *Food Chemistry* 2010; 121: 1177-1187.
- [16] Romero, A., Cuesta, C., Sanchez-Muniz, F. J. Trans fatty acid production in deep fat frying of frozen foods with different oils and frying modalities, *Nutrition Research* 2000; 20(4): 599-608.
- [17] Mirrezaie Roodaki, M. S. Sahari, M. A. Ghiassi Tarzi, B. Barzegar, M. Gharachorloo, M. Safafar, H. Bolandnazar, S. Moisture and oil contents of two olive varieties (Bladi and Arbequina), *National Symposium of Olive (Olive & Community Health)*. 2011; 198-202.
- [18] Gomez-Gonzalez, S., Ruiz-Jimenez, J., & Luque de Castro, M. D. Fatty acid profiling of the main tissues of Spanish olive fruit: effect of the oil extraction method, *J Am Oil Chem Soc*. 2010; 87:1413-1423.
- [19] Chung, J., Lee, J., & Choe, E. Oxidative stability of soybean and sesame oil mixture during frying of flour dough, *Journal of Food Science* 2004; 69 (7): 574-578.
- [20] Pambou-Tobi, N.P., Nzikou, J.M., Matos, L., Ndangui, C.B., Kimbonguila, A., Abena, A. A., Silou, Th., Scher, J. & Desobry, S. Comparative study of stability measurements for two frying

- process of sunflower oil, *Journal of Food Lipids*, 2009; 16: 394-406
- [37] Khoshtinat, Kh. Kavousi, P. Zandi, P. Determination of Fry-life of two formulated frying oils produced in pilot scale, *Journal of Food Science and Technology* 2005; 2(3): 21-32
- [38] Che Man, Y. B., Ammawath, W., Rahman R. A., Yusof, S. Quality characteristics of refined, bleached and deodorized palm olein and banana chips after deep-fat frying, *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 2003: 83:395-401.
- [39] Azarifar, M. Hadadekhodaparast, M. H. Elhamirad, A. H. Effect of different formulations of chemical and physical properties of liquid margarine fried, *Food Science and Technology*. 2009; 2(1): 41-49.
- [40] Farhoosh, R. Pazhouhanmehr, S. Poorazrang, H. Heat stability of the oils from current canola cultivars in Iran, *Journal of Food Science And Technology*. 2009; 6(4): 11-17.
- [31] Ghavami, M. Gharachorloo, M. Ezatpanah, H. Effect of frying on the oil quality properties used in the industry potato chips, *Journal of Agric. Sci* 2003; 9(1): 1-15.
- [32] Velasco, J., Dobarganes, C. Oxidative stability of virgin olive oil. *Eur. J. Lipid Sci. Technol.* 2002; 104: 661-676.
- [33] Riki, M. Study on Qualitative Changes of Olive Oil during Thermal Processing, MS Thesis Agricultural Engineering - Food Industry. 2006:
- [34] Allouche, Y., Jiménez, A., Gaforio, J. J., Uceda, M., & Beltrán, G. How heating affects extra virgin olive oil quality indexes and chemical composition. *J. Agric. Food Chem.* 2007; 55 (23): 9646-9654.
- [35] Farhoosh, R., Esmailzadeh Kenari, R., Poorazrang, H. Frying stability of canola oil blended with palm olein, olive, and corn oils, *J Am Oil Chem Soc.* 2009; 86:71-76.
- [36] Sharif, A., Farhoosh, R., Haddad Khodaparast, M. H., Tavassoli Kafrani, M. H. Antioxidant activity of Bene Hull oil compared with sesame and rice bran oils during the frying

Evaluation of oxidative stability of olive oil

Mirrezaie Roodaki, M.¹, Sahari, M. A.^{2*}

1. Graduate Student of Food Science and Technology, Islamic Azad University, Science and Research Branch, Tehran, Iran.

2. Professor of Food Technology, College of Agriculture, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran.

(Received: 90/11/7 Accepted: 90/6/21)

Oil in foodstuff deep frying heated to a long time and effect of some factors (humidity, temperature and oxygen) cause different chemical and physical changes of the oil (such as hydrolysis, oxidation and polymerization) and degrade the quality of the oil and product. The results of these changes increase of the free fatty acids, peroxide value, polar compounds and trans isomers, and also decrease of the unsaturated fatty acids, oxidation induction time, levels of tocopherol and phenolic compounds, which all indicate a decline the oil quality. Studies shows that the chemical composition of oil and especially natural antioxidants are important parameters in predictive the behavior of oil in the frying process. Independently to the commercial category of olive oil, is clearly resistant against the deep frying. In this paper, the oxidative stability of oil during frying according to the source, the presence of natural bioactive compounds (antioxidants) and fatty acid composition have been compared with olive oil.

Keyword: Oils, Olive oil, Deep frying, Oxidative stability

* Corresponding Author E-Mail address: sahari@modares.ac.ir