نشریه پژوهشهای علوم و صنایع غذایی ایران
جلد ۹، شماره ۱، بهار ۱۳۹۲، ص. ۲۰-۱۰

Iranian Food Science and Technology Research Journal
Vol. 9, No. 1, Spring 2013, p. 10-20

بررسی ساختار ترکیبات قطبی روغن کانولا تحت تاثیر روغن مغز بنه طی فرآیند سرخ کردن به روش کروماتوگرافی غربال ملکولی با کارایی بالا (HPSEC)

پروین شرایعی[۱] - رضا فرهوش[۲*] - هاشم پورآذرنگ[۳]- محمد حسین حدادخداپرست[۴]

تاریخ دریافت: ۱۳۸۹/۸/۴
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۰/۸/۲۲

چکیده

پایداری اکسایشی روغن کانولا تحت تاثیر روغن مغز بنه طی ۴۸ ساعت سرخ کردن در دمای ۱۸۰ درجه سانتیگراد در مقایسه با آنتی اکسیدان سنتزی ترسیو بوتیل هیدروکینون با اندازه‌گیری تغییرات مقدار کل ترکیبات قطبی و اجزاء تشکیل دهنده آن بررسی شد. مقدار کل ترکیبات قطبی در طول زمان سرخ کردن به صورت خطی افزایش پیدا کرد (ضریب تبیین بیش از ۰/۹۸). روغن مغز بنه و بویژه سطح ۰/۱ درصدی آن باعث افزایش پایداری روغن کانولا شد. ساختار ترکیبات قطبی با استفاده از کروماتوگرافی غربال ملکولی با کارایی بالا تعیین شد و اجزاء تشکیل دهنده آن شامل تری‌آسیل‌گلیسرولهای پلیمری، تری‌آسیل‌گلیسرولهای دیمری، تری‌آسیل‌گلیسرولهای اکسید شده، دی‌آسیل‌گلیسرولها و اسیدهای چرب آزاد نیز مورد ارزیابی قرار گرفت. توانایی روغن مغز بنه در ممانعت از تشکیل تری‌آسیل‌گلیسرولهای پلیمری و اکسید شده به ترسیو بوتیل هیدروکینون نزدیک بود، در حالی که توانایی آن در ممانعت از تشکیل دی‌آسیل‌گلیسرولها و اسیدهای چرب آزاد بمراتب بهتر از ترسیو بوتیل هیدرو کینون بود.

واژه‌های کلیدی: ترکیبات قطبی، روغن کانولا، روغن مغز بنه، سرخ کردن، کروماتوگرافی غربال ملکولی با کارایی بالا

مقدمه

میزان ترکیبات قطبی، شاخص بسیار مناسبی برای ارزیابی کیفیت روغنها و چربیهای خوراکی طی فرآیند سرخ کردن عمیق عنوان شده است. حین سرخ کردن عمیق، در حضور اکسیژن و رطوبت ناشی از ماده غذایی، واکنشهای اکسایشی و هیدرولیزی زیادی در روغن صورت گرفته، مواد نامطلوبی ایجاد می‌گردند که چندان فرار نیستند و نسبت به تری‌گلیسریدهای تغییر نیافته قطبی‌ترند. ترکیبات قطبی به کمک روش کروماتوگرافی غربال ملکولی با کارایی بالا (HPSEC)[۵] به بخشهایی تحت عنوان تری‌گلیسریدهای پلیمری (TGP)[۶]، تری-گلیسریدهای دیمری (TGD)[۷]، تری‌گلیسریدهای مونومری اکسیدشده (oxTGM)[۸]، دی گلیسریدها (DG)[۹] و اسیدهای چرب آزاد (FFA)[۱۰] جداسازی می‌شود (Houhoula *et al*., 2003). این ترکیبات از لحاظ میزان قطبیت، وزن مولکولی و بروز آثار منفی بر سلامت انسان با یکدیگر متفاوت هستند (Dobarganes *et al*., 1998).

روشهای مختلفی به منظور پایدارسازی روغنهای سرخ کردنی و به تبع آن جلوگیری از تولید ترکیبات مضر قطبی در آنها پیشنهاد شده است که از آن جمله می‌توان به اختلاط روغنهای چند غیراشباع با انواع اشباع یا تک غیر اشباع، هیدروژنه کردن روغنهای غیراشباع، اصلاح ژنتیکی ساختار اسید چرب و استفاده از آنتی‌اکسیدانها اشاره کرد (Warner *et al*., 1997). در حال حاضر، آنتی‌اکسیدانهای سنتزی مجاز در فرآورده‌های غذایی شامل هیدروکسی‌تولوئن بوتیله (BHT)[۱۱]، هیدروکسی‌آنیزول بوتیله (BHA)[۱]، پروپیل گالات (PG)[۲] و

۱- دانش آموخته دکتری گروه علوم و صنایع غذایی، دانشگاه فردوسی مشهد و استادیار مرکز تحقیقات کشاورزی خراسان رضوی
۲، ۳ و ۴- استادان گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
(*- نویسنده مسئول: Email: rfarhoosh@um.ac.ir)

5- High-performance size-exclusion chromatography
6- Triglyceride polymers
7- Triglyceride dimers
8- Oxidized triglyceride monomers
9- Diglycerides
10- Free fatty acids
11- Butylated hydroxytoluene

(PG)[۲] و ترسیو بوتیل هیدروکینون (TBHQ)[۳] می‌باشند (Warner *et al.*, 1986). نگرانی ناشی از مصرف آنتی‌اکسیدانهای سنتزی به لحاظ مسایل مربوط به سلامت و ایمنی و نیز محدودیت در حدود مجاز مصرف (Linderschmidt *et al.*, 1986 & Tappel 1995)، مصرف کنندگان مواد غذایی را به استفاده از فراورده‌های طبیعی در مواد غذایی ترغیب نموده است (Tian *et al.*, 1994). آنتی-اکسیدانهای طبیعی از بافتهای مختلف گیاهی و حیوانی استخراج می-شوند که میزان ترکیبات فعال آنها بسته به نوع منبع متفاوت است. رایج‌ترین آنتی‌اکسیدانهای طبیعی شامل فلاونوئیدها، مشتقات اسید سینامیک، توکوفرولها، اسیدهای آمینه، پپتیدها و اسیدهای آلی چند عاملی می‌باشند (Pratt 1992؛ Matthaus 2002 & Cheng *et al.*, 2003).

بنه (*Pistacia atlantica* var *mutica*) از جمله منابع گیاهی خدادادی کشور ماست که با بیش از چهل میلیون اصله درخت بالغ بر یک میلیون و دویست هزار هکتار از جنگلهای زاگرس را به خود اختصاص داده است (بخش آمار و اطلاعات اداره منابع طبیعی و جنگلداری استان فارس.۱۳۸۷). بنه از گونه‌های مختلف پسته وحشی است که به ترتیب ۵۶ تا ۶۴ و ۳۰ درصد از کل دانه آن را مغز و روغن تشکیل می‌دهند (Daneshrad *et al.*, 1980). اسید اولئیک (۴۹ درصد)، اسید چرب عمده تشکیل‌دهنده روغن مغز بنه می‌باشد (Sharayei *et al.*, 2011a). اسید اولئیک در برابر تخریب اکسایشی در درجه حراتهای بالا و نیز درجه حرارتهای معمول نگهداری پایدار است (Warner *et al.*, 1997). پایداری اکسایشی روغنهای خوراکی علاوه بر ساختار اسید چربی به حضور ترکیبات کم مقدار اما بسیار موثر مانند ترکیبات پلی‌فنلی و توکوفرولی نیز بستگی دارد. مقدار کل ترکیبات پلی‌فنلی و توکوفرولی روغن مغز بنه به ترتیب ۱۷۳/۶۲ و ۸۱۷/۹۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم گزارش شده است (Sharayei *et al.*, 2011a). توکوفرولها یا همان ویتامینهای گروه E، از اجزاء بسیار مهم بخش صابونی‌ناشونده روغنهای نباتی به شمار می‌آیند و دارای فعالیت آنتی‌اکسیدانی هستند که به طور طبیعی در روغنهای گیاهی وجود دارند. توکوفرولها از طریق واکنش با رادیکالهای آزاد و سوق دادن واکنشهای اکسایشی به مراحل پایانی، چربیها و روغنها را در برابر تخریبهای مربوطه محافظت می‌نمایند و این سبب ارزش فوق‌العاده آنها در خصوص سلامتی انسان می‌شود. ترکیبات فنلی بیشتر از دیدگاه بروز فعالیت آنتی‌اکسیدانی مورد توجه قرار می‌گیرند؛ با وجود این، آنها همچنین دارای فعالیتهای بیولوژیکی مهمی در موجودات زنده‌اند و ممکن است حائز آثار سودمندی در مبارزه با بیماریهای مرتبط با تولید رادیکال اکسیژن با غلظتهای بیش از ظرفیت دفاع آنتی‌اکسیدانی بدن انسان باشند (Arroyo *et al.*, 1992 & Morello *et al.*, 2004). همچنین، بررسی خواص فیزیکوشیمیایی روغن مغز بنه نشان داده است مواد صابونی‌ناشونده روغن مغز بنه دارای مقادیر قابل توجهی دلتا[۵]- و دلتا[۷]- آونا استرول است (Sharayei *et al.*, 2011b). ترکیبات استروئیدی از اهمیت بسزایی در شیمی روغنها و چربیهای خوراکی برخوردار هستند. فیتوسترولهای (استرولهای گیاهی) حامل اسیدهای فنلی (مثل اسید فرولیک) بسیار پیچیده‌اند که دارای فعالیت آنتی‌اکسیدانی هستند (Wong *et al.*, 1988). با توجه به مقادیر ترکیبات توکوفرولی، فنلی و استروئیدی روغن مغز بنه که فراتر از مقادیر مربوطه در بسیاری از روغنهای گیاهی است، انتظار می‌رود افزودن آن به روغنهای خوراکی به بهبود ارزش تغذیه‌ای و نیز پایداری اکسایشی آنها یا به عبارت دیگر به ممانعت از تشکیل ترکیبات قطبی طی فرایند سرخ کردن منجر گردد.

هدف از تحقیق حاضر، بررسی تاثیر روغن مغز بنه بر ساختار ترکیبات قطبی (اندازه‌گیری شده به روش کروماتوگرافی غربال ملکولی با کارایی بالا) روغن کانولا طی ۴۸ ساعت سرخ کردن در دمای ۱۸۰ درجه سانتیگراد و مقایسه آن با عملکرد آنتی‌اکسیدان سنتزی قدرتمندی چون TBHQ می‌باشد.

مواد و روش ها

مواد

میوه رسیده بنه از مزارع شهرستان اسلام آباد در استان ایلام جمع آوری شد. روغن کانولا تصفیه، بی‌رنگ و بی‌بو شده بدون آنتی-اکسیدان از کارخانه سه گل نیشابور خریداری و تا زمان استفاده در دمای ۱۸- سانتیگراد نگهداری شد. ساختار اسید چربی روغن کانولا عمدتاً شامل اسیدهای پالمتیک (۱۰ درصد، ۱۶:۰)، استئاریک (۳/۷ درصد، ۱۸:۰)، اولئیک (۵۰/۵ درصد، ۱۸:۱)، لینولئیک (۲۴ درصد، ۱۸:۲)، لینولنیک (۸ درصد، ۱۸:۳) و اروسیک (۰/۴۴ درصد، ۲۲:۱) بود. ساختار اسید چربی روغن مغز بنه عمدتاً شامل اسیدهای پالمتیک (۱۰/۸ درصد، ۱۶:۰)، استئاریک (۳ درصد، ۱۸:۰)، اولئیک (۴۹ درصد، ۱۸:۱)، لینولئیک (۳۳ درصد، ۱۸:۲) و لینولنیک (۱/۲ درصد، ۱۸:۳) بود (Sharayei *et al.*, 2011a). میزان اسید چرب آزاد (اندازه‌گیری شده به روش تیتراسیونی گزارش شده در AOCS، ۴۰- Ca 5a، ۱۹۹۳) و عدد پراکسید (اندازه‌گیری شده به روش اسپکتروفتومتری فدراسیون بین المللی فراورده‌های لبنی، Shantha و همکاران، ۱۹۹۴، روش تیوسیانات) روغنهای کانولا و مغز بنه به ترتیب ۰/۲ و ۰/۵۱ میلی گرم هیدروکسید پتاسیم بر کیلوگرم و ۰/۵۱ و ۱/۶۵ میلی‌اکی‌والان-گرم‌اکسیژن بر کیلوگرم روغن بود که این حاکی از کیفیت مناسب و غیراکسایشی روغنهای مورد مطالعه است. حلالها و مواد شیمیایی

1- Butylated hydroxyanisole
2- Propyl gallate
3- Tert- Butylhyroquinone

مورد استفاده با درجه آنالیتیکال از شرکتهای مرک آلمان و سیگمای انگلستان خریداری شدند.

استخراج روغن

بعد از خشک کردن بنه در سایه، پریکارپ آن برداشته و مغزها در آسیاب (National, Japan) پودر شد. پودرها به نسبت ۴:۱ وزنی-حجمی با حلال هگزان نرمال مخلوط و عملیات استخراج روغن با هم زدن شدید به مدت ۴۸ ساعت در محیطی تاریک انجام شد. حلال درآون تحت خلأ (Shellab, USA) در دمای ۴۰ درجه سانتیگراد تبخیر گردید (Farhoosh *et al*., 2008). روغن استخراج شده تا هنگام انجام آزمایشهای مربوطه در ظروف تیره تحت ازت و دمای ۱۸- درجه سانتیگراد نگهداری شد.

آماده سازی نمونه‌های روغن

برای بررسی کارآیی سرخ کردن روغن مغز بنه و مقایسه فعالیت آنتی‌اکسیدانی آن، از روغن کانولای تصفیه شده بدون آنتی‌اکسیدان به عنوان محیط سرخ کردن استفاده شد. روغن مغز بنه در سطوح ۰/۰۵ و ۰/۱ درصد و TBHQ به میزان ۱۰۰ پی‌پی‌ام به روغن کانولا اضافه شدند. آماده‌سازی مخلوطهای مزبور به طور جداگانه صورت پذیرفت.

فرآیند سرخ کردن

سیب زمینی‌ها پس از پوست‌گیری به صورت خلالهای ۰/۳×۰/۵×۷/۰ سانتیمتر برش زده شدند. خلالها با آب سرد شستشو و با پارچه نخی خشک شدند. عملیات سرخ کردن با سرخ‌کنهای خانگی (Tefal model 1250, Paris, France) مجهز به ترموستات و سبد توری استیل زنگ نزن انجام شد. چهل گرم سیب زمینی برای هر دفعه سرخ کردن در نظر گرفته شد تا از سرد شدن روغن هنگام اضافه کردن خلالها به روغن اجتناب شود. نسبت سیب زمینی به روغن در کل مدت سرخ کردن ثابت بود. خلالهای سیب زمینی به مدت ۵ دقیقه در دمای ۵±۱۸۰ درجه سانتیگراد سرخ شدند. زمان استراحت بین دو مرحله سرخ کردن ۱۵ دقیقه بود. فرآیند سرخ کردن طی شش روز متوالی و هر روز هشت ساعت به انجام رسید. هر چهار ساعت حدود ۱۰ گرم نمونه روغن از هر سرخ کن برداشته شد و پس از سرد کردن تا دمای اتاق و تزریق گاز ازت تا زمان انجام آزمایشها در چهار درجه سانتیگراد نگهداری شدند. برای جبران روغن کاهش یافته بر اثر جذب یا نمونه‌گیری طی سرخ کردن، روغن تازه به سرخ‌کن اضافه نشد. سرخ‌کنها در پایان هر روز کاری خاموش شدند و روغن تا روز بعد در دمای اتاق بر جای ماند. سرخ‌کنها هر روز ۲۰ دقیقه قبل از شروع فرآیند روشن شدند تا دمای روغن به حد لازم برای سرخ کردن برسد. عملیات سرخ کردن در دو تکرار صورت گرفت (Tyagi *et al*., 1996).

مقدار کل ترکیبات قطبی

مقدار کل ترکیبات قطبی به روش کروماتوگرافی جذب سطحی با اندکی تغییرات در خصوص شیوه تبخیر حلال (استفاده از آون تحت خلاء در دمای ۴۰ درجه سانتیگراد و زمان نیم ساعت به جای تبخیر حلال با هوای فشرده یا گاز ازت) به منظور آماده‌سازی تعداد زیاد نمونه در زمان کوتاه‌تر اندازه‌گیری شد (Schulte, 2004).

ساختار ترکیبات قطبی

تری‌گلیسریدهای تغییر یافته که بخش قطبی روغنهای اکسید شده را تشکیل می‌دهند با تکنیک کروماتوگرافی غربال ملکولی با کارایی بالا به تری‌گلیسریدهای دیمری (TGD)، تری‌گلیسریدهای پلیمری (TGP)، تری‌گلیسریدهای اکسید شده (oxTGM)، دی-گلیسریدها (DG) و اسیدهای چرب آزاد (FFA) تفکیک شدند (Dobarganes *et al*., 2000). بدین منظور، محلولی متشکل از ۱۰ میلی گرم ترکیبات قطبی به دست آمده از روش کروماتوگرافی ستونی جذب سطحی در حلال تتراهیدروفوران آماده شد. برای اندازه‌گیری اجزای تشکیل دهنده ترکیبات قطبی از دستگاه کروماتوگرافی مایع با کارایی بالا (Macherey-Nagel, Duren, Germany) مجهز به آشکارساز ضریب شکست در دمای ۴۰ درجه سانتیگراد و دو ستون سری نوکلئوژل (GPC100-Å و GPC 500-Å) استفاده شد. فاز متحرک، حلال تترا هیدروفوران با سرعت یک میلی‌لیتر بر دقیقه و حجم تزریق ۲۰ میکرولیتر بود. ساختار ترکیبات قطبی بر اساس محاسبه سطح زیر پیک و مقدار کل ترکیبات قطبی محاسبه گردید.

تجزیه و تحلیل آماری

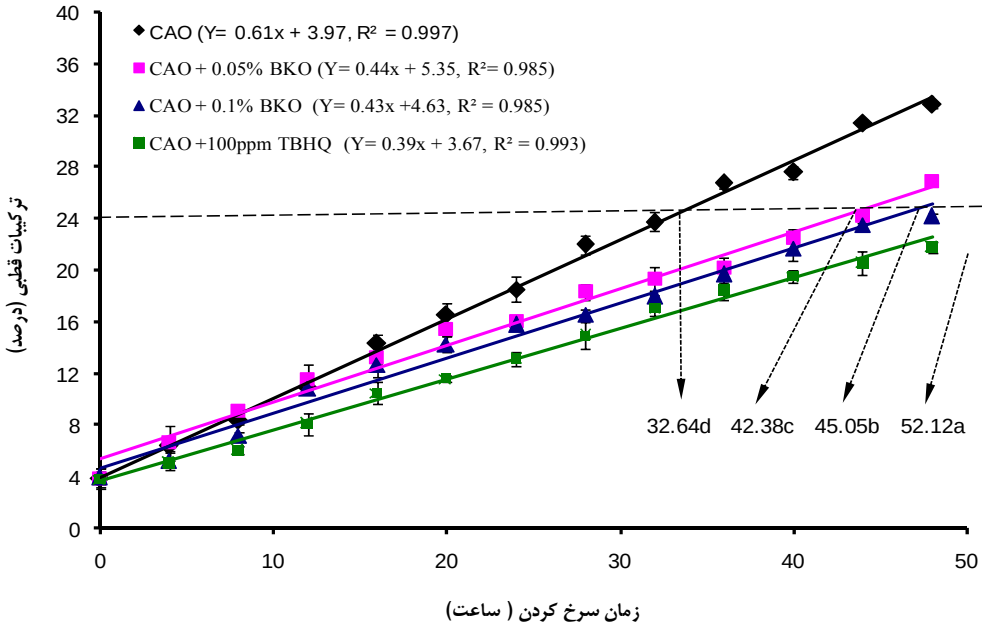
کلیه آزمایش‌ها در قالب طرح آزمایشی کاملاً تصادفی با چهار تکرار انجام شد. میانگین‌ها با نرم‌افزار MstatC و بر اساس آزمون دانکن در سطح پنج درصد مقایسه شدند.

نتایج و بحث

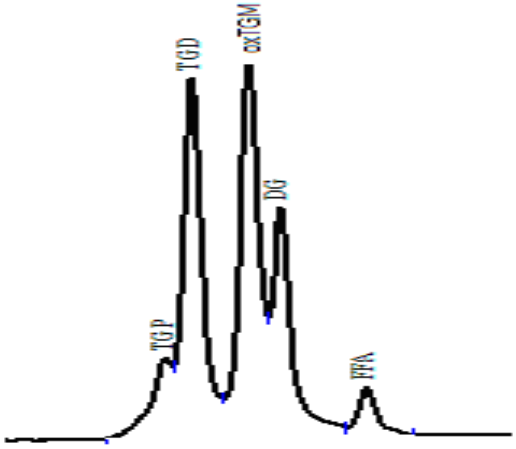
تغییرات مقدار کل ترکیبات قطبی روغن کانولا تحت تاثیر ۰/۰۵ و ۰/۱ درصد روغن مغز بنه و ۱۰۰ پی‌پی‌ام TBHQ طی ۴۸ ساعت فرایند سرخ کردن در ۱۸۰ درجه سانتیگراد در شکل ۱ نشان داده شده است. میزان اولیه ترکیبات قطبی تاثیر بسزایی بر بروز بدطعمی و همچنین اکسایش اولیه روغنهای گیاهی دارد (Farhoosh *et al*., 2009). درصد ترکیبات قطبی روغنهای تازه معمولاً بین ۰/۴ تا ۶/۴ درصد است (Lumley، 1988). روغن کانولای تازه با ۳/۹ درصد

ترکیبات قطبی از کیفیت مناسبی برخوردار بود. پایش مقدار کل ترکیبات قطبی، شاخص بسیار مناسبی برای ارزیابی کیفیت روغنهای سرخ کردنی است (Melton *et al.*, 1994). مقدار کل ترکیبات قطبی نمونه‌های مورد مطالعه طی ۴۸ ساعت فرآیند سرخ کردن به صورت خطی افزایش پیدا کرد (ضریب تبیین بیش از ۰/۹۸). سرعت افزایش درصد ترکیبات قطبی کل در نمونه‌های مختلف حائز اختلاف معنی-داری بود. نتایج بررسی‌های سایر محققین در این خصوص نیز نشان دهنده افزایش مقدار کل ترکیبات قطبی طی فرآیند سرخ کردن و حرارت دادن است، اما میزان این کمیت با توجه به تاثیر عوامل مختلف (میزان اضافه کردن روغن تازه حین سرخ کردن، زمان و درجه حرارت سرخ کردن، مدت زمان سرخ کردن، روش حرارت دادن، کیفیت اولیه روغن، نوع سرخ‌کن، نوع و غلظت آنتی‌اکسیدان و میزان اکسیژن) متفاوت گزارش شده است (Romero *et al.*, 2007 ؛ Dobarganes *et al.*, 1996 ؛ Melton *et al.*, 1994 ؛ Aparicio *et al.*, 1999). بررسی‌ها نشان داده است ترکیبات قطبی جدا شده از روغنهای اکسید شده دارای آثار سمی بسیار شدیدی بر حیوانات آزمایشگاهی می‌باشند (Pantzaris، 1998). بنابراین، روغنهای سرخ کردنی که میزان ترکیبات قطبی آنها طی فرآیند سرخ کردن به ۲۴ تا ۲۷ درصد برسد، دور ریخته می‌شوند (Firestone، 1993). با فرض آن که حد قابل قبول مقدار ترکیبات قطبی کل ۲۴ درصد باشد، زمان مورد نیاز برای رسیدن به این حد محاسبه و به عنوان شاخصی از پایداری در نظر گرفته شد (t_{24}). چنان که در شکل ۱ مشاهده می‌شود، اختلاف معنی‌داری بین مقادیر t_{24} روغن کانولا و روغن کانولای حاوی روغن مغز بنه و TBHQ وجود داشت. شاخص فوق در خصوص روغن کانولا ۳۲/۶۴ ساعت تعیین گردید که این بسیار کمتر از t_{24} مخلوطهای حاوی روغن مغز بنه (۴۲/۳۸ و ۴۵/۰۵ ساعت به ترتیب برای مخلوطهای ۰/۰۵ و ۰/۱ درصدی) و TBHQ (۵۲/۱۲ ساعت) بود. بعلاوه، این حاکی از اثر آنتی‌اکسیدانی روغن مغز بنه بر روغن کانولاست که به طور قطع برگرفته از حضور ترکیبات توکوفرولی و پلی فنلی آن خواهد بود.

همان طورکه قبلاً به آن اشاره شد، ترکیبات قطبی از اجزاء مختلفی تشکیل شده‌اند که شناسایی آنها اطلاعات دقیق‌تری در مورد وضعیت اکسایشی روغن در اختیار خواهد گذاشت. شکل ۲ ساختار ترکیبات قطبی نمونه‌ای از روغنهای آزمایش شده به روش کروماتوگرافی غربال مولکولی با کارآیی بالا (HPSEC) را نشان می-دهد. میزان ترکیبات حاصل از واکنشهای اکسایشی (TGP، TGD و oxTGM) و هیدرولیزی (DG و FFA) روغن کانولا تحت تاثیر روغن مغز بنه (۰/۰۵ و ۰/۱ درصد) و TBHQ (۱۰۰ پی‌پی‌ام) طی ۴۸ ساعت فرایند سرخ کردن در ۱۸۰ درجه سانتیگراد در شکلهای ۳ تا ۷ نشان داده شده است. کمیتهای معادلات برازش یافته بر تغییرات اجزاء ترکیبات قطبی (معادلات نمایی با ضریب تبیین بیش از ۰/۹۸)، درصد افزایش هر جزء پس از ۴۸ ساعت سرخ کردن (PI_{48}) و نسبت بین PI_{48} روغن کانولا و مخلوطهای حاوی روغن مغز بنه و TBHQ (EI، به عنوان شاخصی از عملکرد افزودنیهای آنتی‌اکسیدانی) در جدول ۱ آورده شده است.

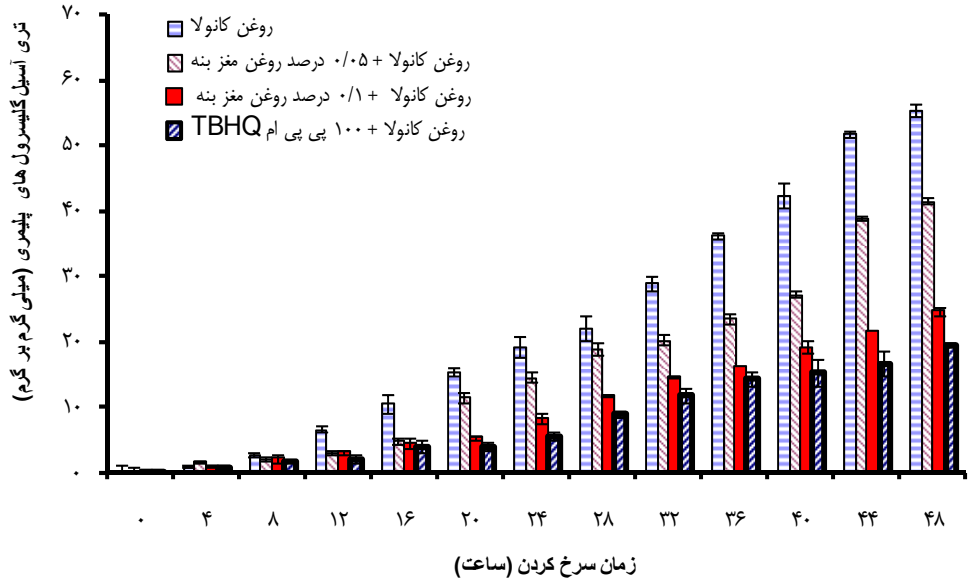


شکل ۱- تغییر مقدار کل ترکیبات قطبی روغن کانولا و مخلوط آن با ۰/۰۵ و ۰/۱ درصد روغن مغز بنه و ۱۰۰ پی‌پی‌ام ترسیو بوتیل هیدروکینون (TBHQ) طی ۴۸ ساعت سرخ کردن در دمای ۱۸۰ درجه سانتیگراد و زمان لازم برای رسیدن به ۲۴ درصد ترکیبات قطبی کل به (t_{24})



شکل ۲- ساختار ترکیبات قطبی نمونه‌ای از روغنهای آزمایش شده به روش کروماتوگرافی غربال ملکولی با کارایی بالا (HPSEC). TGP، تری-گلیسریدهای پلیمری (زمان بازداری ۱۲/۰۲ دقیقه)؛ TGD، تری‌گلیسریدهای دیمری (زمان بازداری ۱۲/٤۷ دقیقه)؛ oxTGM، تری‌گلیسریدهای مونومری اکسید (زمان بازداری ۱۳/٤۷ دقیقه)؛ DG، دی گلیسریدها (زمان بازداری ۱٤/۰۳ دقیقه)؛ FFA، اسیدهای چرب آزاد (زمان بازداری ۱۵/۵۷ دقیقه)

چنان که ملاحظه می‌شود میزان اجزاء مختلف ترکیبات قطبی با افزایش زمان سرخ کردن افزایش یافت (شکلهای ۳ تا ۷). میزان ترکیبات حاصل از واکنشهای اکسایشی در اغلب روغنها طی فرآیند حرارت دادن و سرخ کردن افزایش می‌یابد، در حالی که میزان ترکیبات حاصل از واکنشهای هیدرولیز طی فرآیند سرخ‌کردن افزایش یافته اما میزان این ترکیبات طی فرآیند حرارت دادن بدون حضور آب کاهش می‌یابد (Romero *et al.*, 2007 ؛ Houhoula *et al.*, 2003 ؛ Brenes *et al.*, 2002 & Abidia *et al.*, 1999). مقدار TGP نمونه تازه روغن بسیار کم بود (۰/۲ میلی‌گرم بر گرم) (شکل ۳) و با افزایش زمان سرخ کردن افزایش پیدا کرد و به ۵۵/۴ میلی‌گرم بر گرم رسید (PI_{48} =۳۳۶۶۳/۱ ، جدول ۱).



شکل ۳- تغییر میزان تری‌آسیل‌گلیسرولهای پلیمری (TGP) روغن کانولا و مخلوطهای آن با ۰/۰۵ و ۰/۱ درصد روغن مغز بنه و ۱۰۰ پی‌پی‌ام آنتی‌اکسیدان سنتزی ترسیو بوتیل هیدروکینون (TBHQ) طی ٤۸ ساعت سرخ کردن در دمای ۱۸۰ درجه سانتیگراد.

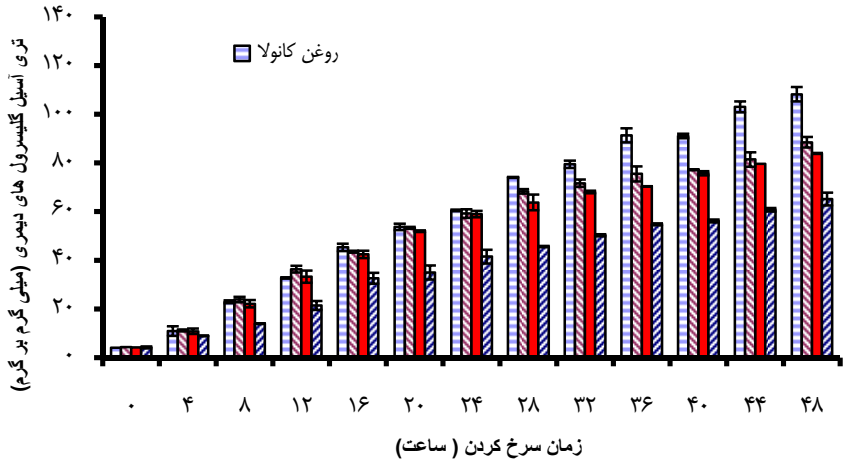
تیرکهای ترسیم شده روی ستونها نشان دهنده انحراف استاندارد داده‌های اندازه‌گیری شده است.

میزان TGP مخلوطهای حاوی ۰/۰۵ و ۰/۱ درصد روغن مغز بنه و ۱۰۰ پی‌پی‌ام TBHQ به ترتیب از ۰/۲، ۰/۲ و ۰/۳ میلی‌گرم بر گرم با مقادیر PI_{48} به ترتیب ۲۶۰۴۹، ۱۴۵۶۶و ۱۲۳۷۳ به ۴۱/۵، ۲۴/۶ و ۲۲/۶ میلی‌گرم بر گرم افزایش پیدا کرد. چنان که در جدول ۱ مشاهده می‌شود، EI روغن کانولای حاوی ۰/۰۵ و ۰/۱ درصد روغن مغز بنه و ۱۰۰ پی‌پی‌ام TBHQ به ترتیب ۱/۲۹، ۲/۳۱و ۲/۷۱ بود که این حاکی از توانایی روغن مغز بنه (بویژه سطح ۰/۱ درصدی آن) در جلوگیری از تشکیل ترکیبات پلیمری است.

میزان TGD روغن تازه تقریباً ۲۰ برابر بیشتر از ترکیبات پلیمری بود (۴ در مقابل ۰/۲ میلی گرم بر گرم) (شکل ۴). مقدار این ترکیبات در روغن کانولا نیز با افزایش زمان سرخ کردن افزایش پیدا کرد و با PI_{48} حدود ۹۱۲۴ از ۴ به ۱۰۸/۲ میلی گرم بر گرم رسید. درصد افزایش ترکیبات دیمری پس از ۴۸ ساعت سرخ کردن بسیار کمتر از ترکیبات پلیمری بود (PI_{48} حدود ۹۱۲۴ در مقابل ۳۳۶۶۳/۱) که این نشان دهنده تمایل بیشتر روغن کانولا به تشکیل ترکیبات پلیمری تا دیمری بود. چنان که در جدول ۱ و شکل ۴ مشاهده می‌شود، میزان TGD مخلوطهای حاوی ۰/۰۵ و ۰/۱ درصد روغن مغز بنه و ۱۰۰ پی‌پی‌ام TBHQ به ترتیب از ۴/۲، ۴/۲ و ۴/۲ میلی‌گرم بر گرم به ۸۸/۵ (PI_{48} = ۱۰۷۳۷/۳ و EI = ۰/۸۳)، ۸۰/۸ (۳۳/ ۱۴۲۶۶= PI_{48} و EI = ۰/۶۳) و ۶۰/۷ (PI_{48} = ۳۴۳۷/۵۵ و EI = ۲/۶۵) میلی‌گرم بر گرم افزایش پیدا کرد.

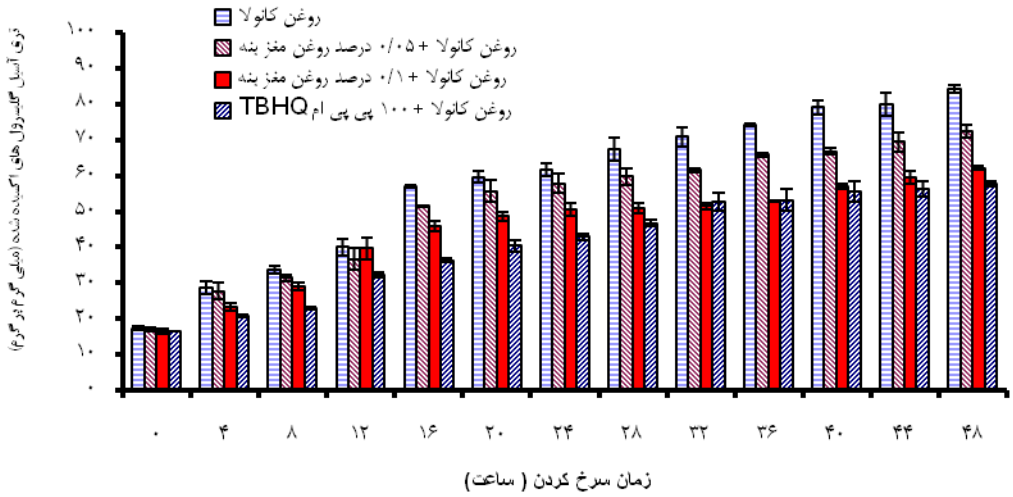
میزان oxTGM (جزء عمده ترکیبات قطبی) روغن کانولا پس از ۴۸ ساعت فرآیند سرخ کردن از ۱۷/۳ به ۸۴/۲ میلی‌گرم بر گرم افزایش یافت (PI_{48} = ۴۴۹) (شکل ۵). چنان که در جدول ۱ و شکل ۵ مشاهده می‌شود، میزان oxTGM مخلوطهای حاوی ۰/۰۵ و ۰/۱ درصد روغن مغز بنه و ۱۰۰ پی‌پی‌ام TBHQ به ترتیب از ۴/۲، ۱۶/۵ و ۱۶/۶ میلی‌گرم بر گرم به ۷۲/۵ (PI_{48} = ۳۸۲/۰ و EI = ۱/۱۷)، ۶۲/۲ (PI_{48} = ۳۱۶/۹۴ و EI = ۱/۴۲) و ۵۷/۷ (PI_{48} = ۳۱۳/۰۵ و EI = ۱/۴۳) میلی‌گرم بر گرم افزایش یافت.

میزان DG روغن تازه نیز بالا بود (۱۴/۱ میلی‌گرم بر گرم) و پس از ۴۸ ساعت فرآیند سرخ کردن با PI_{48} حدود ۳۳۰ به ۶۸ میلی‌گرم بر گرم رسید (شکل ۶)، حال آن که میزان FFA روغن تازه کم بود (۳/۱ میلی‌گرم بر گرم) و با PI_{48} حدود ۶۰۷ به ۲۲/۴ میلی‌گرم بر گرم رسید (شکل ۷). میزان DG مخلوطهای حاوی ۰/۰۵ و ۰/۱ درصد روغن مغز بنه و ۱۰۰ پی‌پی‌ام TBHQ به ترتیب از ۴/۲، ۱۴/۲ و ۱۴/۶ میلی‌گرم بر گرم به ۶۴/۳ (PI_{48} = ۲۷۸/۲ و EI = ۱/۱۸)، ۵۹/۶ (PI_{48} = ۳۲۱/۶۹۴ و EI = ۱/۰۲) و ۵۸/۲ (PI_{48} = ۳۳۲/۲۰ و EI = ۰/۹۹) میلی‌گرم بر گرم افزایش پیدا کرد. میزان FFA مخلوطهای حاوی ۰/۰۵ و ۰/۱ درصد روغن مغز بنه و ۱۰۰ پی‌پی‌ام TBHQ به ترتیب از ۴/۲، ۳/۱ و ۳/۰ میلی‌گرم بر گرم به ۲۱/۸ (PI_{48} = ۴۸۸/۲ و EI = ۱/۲۴)، ۲۱/۵ (PI_{48} = ۴۷۱/۶۱ و EI = ۱/۲۹) و ۱۹/۶ (PI_{48} = ۵۱۷/۸۳ و EI = ۱/۱۷) میلی‌گرم بر گرم افزایش پیدا کرد. بررسی روند تغییرات اجزاء ترکیبات قطبی حاصل از واکنشهای اکسایشی و هیدرولیزی و نظر به کمیتهای EI (جدول ۱) روغن کانولا، قدرت آنتی‌اکسیدانی TBHQ در کنترل تولید محصولات اکسایشی بیشتر از محصولات هیدرولیزی بود، حال آن که قدرت آنتی‌اکیسدانی روغن مغز بنه در مهار هر دو نوع محصولات یاد شده به یک میزان بود.



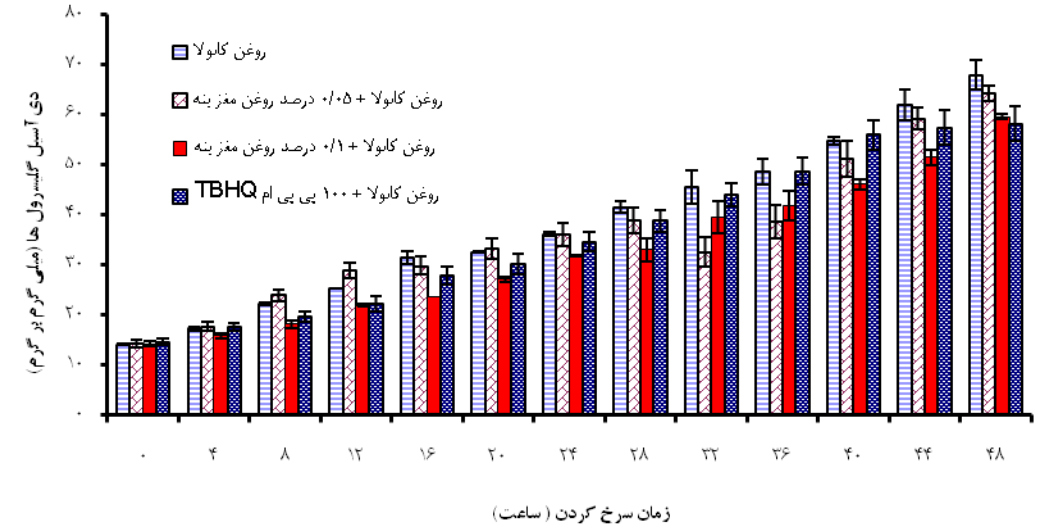
شکل ٤- تغییر میزان تری‌آسیل‌گلیسرولهای دیمری (TGD) روغن کانولا و مخلوطهای آن با ۰/۰۵ و ۰/۱ درصد روغن مغز بنه و ۱۰۰ پی‌پی‌ام آنتی‌اکسیدان سنتزی ترسیو بوتیل هیدروکینون (TBHQ) طی ٤٨ ساعت سرخ کردن در دمای ۱۸۰ درجه سانتیگراد.

تیرکهای ترسیم شده روی ستونها نشان دهنده انحراف استاندارد داده‌های اندازه‌گیری شده است.



شکل ۵- تغییر میزان تری‌آسیل‌گلیسرولهای اکسید شده (oxTGM) روغن کانولا و مخلوطهای آن با ۰/۰۵ و ۰/۱ درصد روغن مغز بنه و ۱۰۰ پی-پی‌ام آنتی‌اکسیدان سنتزی ترسیو بوتیل هیدروکینون (TBHQ) طی ٤٨ ساعت سرخ کردن در دمای ۱۸۰ درجه سانتیگراد.

تیرکهای ترسیم شده روی ستونها نشان دهنده انحراف استاندارد داده‌های اندازه‌گیری شده است.



شکل ٦ - تغییر میزان دی‌آسیل‌گلیسرولهای (DG) روغن کانولا و مخلوطهای آن با ۰/۰۵ و ۰/۱ درصد روغن مغز بنه و ۱۰۰ پی‌پی‌ام آنتی‌اکسیدان سنتزی ترسیو بوتیل هیدروکینون (TBHQ) طی ٤٨ ساعت سرخ کردن در دمای ۱۸۰ درجه سانتیگراد.

تیرکهای ترسیم شده روی ستونها نشان دهنده انحراف استاندارد داده‌های اندازه‌گیری شده است.

تری‌گلیسریدهای اکسید شده (oxTGM) و پلیمری (TGP) از جمله مهمترین ترکیبات ناشی از تخریب روغن‌ها طی فرآیند سرخ کردن به شمار می‌آیند زیرا ترکیبات مذکور به عنوان پرواکسیدان عمل می‌کنند و پیش‌ساز محصولات فرار اکسایش محسوب می‌شوند (Frankel *et al.*, 1988 & Yoon *et al.*, 1988). بنابراین با محاسبه مجموع تری‌گلیسریدهای اکسید شده و پلیمری (oxTGM + TGP)، ارزیابی صحیح‌تری از میزان اکسایش روغن‌ها و چربی‌ها میسر می‌گردد (Gomes *et al.*, 2003). چنان که در شکل ۸ مشاهده می‌شود، میزان و سرعت افزایش oxTGM + TGP در روغن کانولا به طور قابل ملاحظه‌ای بیش از سایر روغن‌های مورد مطالعه بود و شیب معادله خطی برازش یافته به عنوان معیاری از سرعت افزایش، معادل ۲/۵۵ بود. روغن مغز بنه (۰/۰۵ و ۰/۱ درصد) و TBHQ از تشکیل تری‌آسیل‌گلیسرولهای اکسید شده و پلیمری بخوبی ممانعت بعمل آوردند (شیب معادلات خطی برازش یافته به ترتیب ۱/۹۶، ۱/۳۸ و ۱/۳۲).

جدول ۱- نتایج محاسبه شده از معادله نمایی برازش یافته بر تغییرات اجزاء ترکیبات قطبی (میلی‌گرم بر گرم) روغن کانولا و مخلوطهای آن با ۰/۰۵ و ۰/۱ درصد روغن مغز بنه و ۱۰۰ پی‌پی‌ام آنتی‌اکسیدان سنتزی ترسیو بوتیل هیدروکینون (TBHQ) طی ٤٨ ساعت سرخ کردن در دمای ۱۸۰ درجه سانتیگراد.

	Polar component = a (time)^b + c			R^2	PI_{48} [a]	EI [b]
	a	B	c			
تری‌آسیل‌گلیسرولهای پلیمری (TGP)						
روغن کانولا	۰/۱۲	۱/۶۰	۰/۱۷	۰/۹۹۶	۳۳۶۶۳/۱	
روغن کانولا + روغن مغز بنه (۰/۰۵ درصد)	۰/۰۶	۱/۷۰	۰/۳۵	۰/۹۸۲	۲۶۰۴۹	۱/۲۹
روغن کانولا + روغن مغز بنه (۰/۱ درصد)	۰/۰۷	۱/۵۳	۰/۱۷	۰/۹۹۴	۱۴۵۶۶/۵	۲/۳۱
روغن کانولا + TBHQ (۱۰۰پی‌پی‌ام)	۰/۰۵	۱/۵۶	۰/۱۶	۰/۹۸۷	۱۲۳۷۲/۸	۲/۷۲
تری‌آسیل‌گلیسرولهای دیمری (TGD)						
روغن کانولا	۳/۹۵	۰/۸۶	۱/۲۰	۰/۹۹۳	۹۱۲۴/۰	
روغن کانولا + روغن مغز بنه (۰/۰۵ درصد)	۶/۵۹	۰/۶۷	۰/۸۳	۰/۹۸۴	۱۰۷۳۷/۳	۰/۸۴
روغن کانولا + روغن مغز بنه (۰/۱ درصد)	۶/۴۵	۰/۶۷	۰/۶۰	۰/۹۶۷	۱۴۲۶۶/۳	۰/۶۳
روغن کانولا + TBHQ (۱۰۰پی‌پی‌ام)	۳/۱۲	۰/۷۸	۱/۸۸	۰/۹۸۸	۳۴۳۷/۵	۲/۶۵
تری‌آسیل‌گلیسرولهای اکسیدشده (oxTGM)						
روغن کانولا	۶/۰۸	۰/۶۳	۱۵/۶۵	۰/۹۷۹	۴۴۹/۰	
روغن کانولا + روغن مغز بنه (۰/۰۵ درصد)	۶/۲۹	۰/۵۸	۱۵/۳۶	۰/۹۶۷	۳۸۲/۰	۱/۱۷
روغن کانولا + روغن مغز بنه (۰/۱ درصد)	۶/۲۲	۰/۵۲	۱۴/۸۷	۰/۹۵۸	۳۱۶/۹	۱/۴۲
روغن کانولا + TBHQ (۱۰۰پی‌پی‌ام)	۲/۸۸	۰/۷۲	۱۴/۲۲	۰/۹۷۷	۳۱۳/۱	۱/۴۳
دی‌آسیل‌گلیسرولها (DG)						
روغن کانولا	۰/۴۷	۱/۲۳	۱۵/۶۵	۰/۹۹۲	۳۲۹/۷	
روغن کانولا + روغن مغز بنه (۰/۰۵ درصد)	۰/۵	۱/۱۶	۱۶/۴۲	۰/۹۸۲	۲۷۸/۲	۱/۱۸
روغن کانولا + روغن مغز بنه (۰/۱ درصد)	۰/۱۲	۱/۵۵	۱۴/۹۲	۰/۹۹۴	۳۲۱/۷	۱/۰۲
روغن کانولا + TBHQ (۱۰۰پی‌پی‌ام)	۰/۵۰	۱/۱۷	۱۴/۶۹	۰/۹۸۹	۳۳۲/۲	۰/۹۹
اسیدهای چرب آزاد (FFA)						
روغن کانولا	۰/۰۱	۱/۸۸	۳/۳۵	۰/۹۸۰	۶۰۶/۷	
روغن کانولا + روغن مغز بنه (۰/۰۵ درصد)	۰/۰۱	۱/۹۹	۳/۸۷	۰/۹۷۵	۴۸۸/۲	۱/۲۴
روغن کانولا + روغن مغز بنه (۰/۱ درصد)	۰/۰۱	۲/۰۵	۳/۹۲	۰/۹۷۹	۴۷۱/۶	۱/۲۹
روغن کانولا + TBHQ (۱۰۰پی‌پی‌ام)	۰/۰۲	۱/۷۷	۳/۳۰	۰/۹۹۱	۵۱۷/۸	۱/۱۷

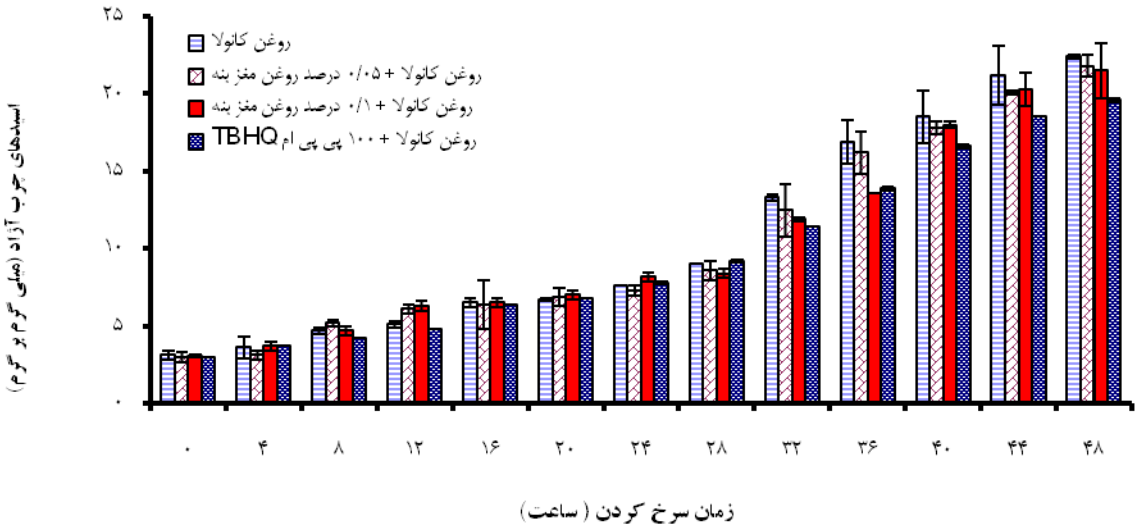
[a] درصد افزایش هر جزء پس از ۴۸ ساعت سرخ کردن، [b] نسبت بین PI_{48} روغن کانولا و روغن کانولای حاوی روغن مغز بنه و TBHQ

نکته جالب توجه آن بود که کارآیی مخلوطهای حاوی ۰/۱ درصد روغن مغز بنه در ممانعت از تشکیل تری‌آسیل‌گلیسرولهای اکسید شده و پلیمری تقریبا معادل آنتی‌اکسیدان سنتزی و قدرتمند TBHQ بود. این پدیده را می‌توان به وجود ترکیبات پلی‌فنلی، توکوفرولی و استرولی موجود در روغن مغز بنه نسبت داد که بخوبی مانع از انجام واکنشهای مخرب یاد شده می‌شوند.

نتیجه گیری

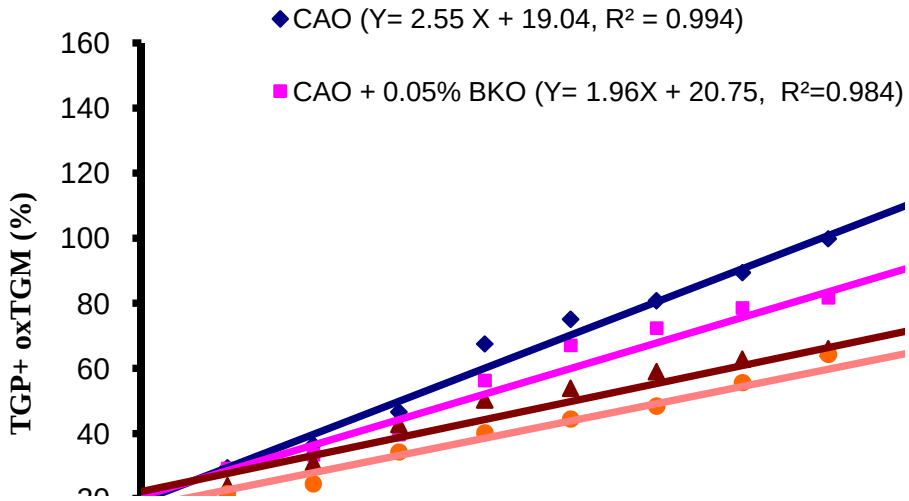
پایداری اکسایشی یکی از مهمترین ویژگیهای روغنهای گیاهی در خصوص مصرف و کاربرد آنها در مواد غذایی و سایر فرآورده‌های تجاری است. واکنشهای فیزیکوشیمیایی مخرب طی فرآیند سرخ کردن عبارت از هیدرولیز، اکسایش و پلیمری شدن می‌باشند که منجر به تجزیه روغن و ایجاد مواد فرار و ترکیبات منومری و پلیمری غیر

فرار می‌شوند. نتایج این تحقیق نشان داد روغن مغز بنه از انجام واکنشهای هیدرولیزی و اکسایشی روغن کانولا که منجر به تولید محصولات اولیه و ثانویه اکسایش می‌شوند بخوبی ممانعت بعمل می‌آورد و کارآیی مخلوطهای حاوی ۰/۱ درصد آن در جلوگیری از تشکیل تری‌آسیل‌گلیسرولهای اکسید شده و پلیمری تقریباً مشابه آنتی‌اکسیدان سنتزی و قدرتمند TBHQ است.



شکل ۷- تغییر میزان اسید های چرب آزاد (FFA) روغن کانولا و مخلوطهای آن با ۰/۰۵ و ۰/۱ درصد روغن مغز بنه و ۱۰۰ پی‌پی‌ام آنتی‌اکسیدان سنتزی ترسیو بوتیل هیدروکینون (TBHQ) طی ٤٨ ساعت سرخ کردن در دمای ۱۸۰ درجه سانتیگراد.

تیرکهای ترسیم شده روی ستونها نشان دهنده انحراف استاندارد داده‌های اندازه‌گیری شده است.



شکل ۸- تغییر مجموع تری‌آسیل‌گلیسرولهای پلیمری (TGP) و اکسیدشده (oxTGM) روغن کانولا و مخلوطهای آن با ۰/۰۵ و ۰/۱ درصد روغن مغز بنه و ۱۰۰پی‌پی‌ام آنتی‌اکسیدان سنتزی ترسیو بوتیل هیدروکینون (TBHQ) طی ٤٨ ساعت سرخ کردن در دمای ۱۸۰ درجه سانتیگراد .

منابع

بخش آمار و اطلاعات اداره منابع طبیعی و جنگلداری استان فارس.۱۳۸۷.

Abidia, S. L., Kimb, I. H., and Rennicka, K. A., 1999, Determination of nonvolatile components of heated soybean

oils separated with high- efficiency mixed- bed polystyrene/divinylbenzene columns. Journal of the American Oil Chemists' Society, 76: 939- 944.

AOCS., 1993, Official Methods and Recommended Practices of the American Oil Chemists' Society. AOCS Press, Champaign, IL.68:41240–1243.

Aparicio, R., Roda, L., Albi, M. A., and Gutierrez, F., 1999, Effect of various compounds on virgin olive oil stability measured by rancimat. Journal of Aricultural and Food Chemistry, 47: 4150- 4155.

Arroyo, R., Cuesta, C., Garrido-Polonio, C., Lopez-Varela, S., and Sanchez- Muniz, F. S., 1992, Hih performance size exclusion chromatography studies on polar components formed in sunflower oil used for frying. Journal of the American Oil Chemists' Society, 69:557- 563.

Brenes, M., Garciaa, A., Dobarganes, M. C., Velasco, J., and Romero, C. N., 2002, Influence of thermal treatments simulating cooking processes on the polyphenol content in virgin oil. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 50: 5962-5967.

Cheng, Z., Ren, J., Li, Y., Chang, W., and Chen, Z., 2003, Establishment of a quantitative structure activity relationship model for evaluating and predicting the protective potentials of phenolic antioxidants on lipid peroxidation. Journal of pharmaceutical Sciences, 92: 475-484.

Daneshrad, A., and Aynechi, Y., 1980, Chemical studies of the oil from pistachio nuts growing wild in Iran. Journal of the American Oil Chemists' Society, 57: 248-249.

Dobarganes, M. C., Perez-Camino, M. C., and Marquez-Ruiz, G., 1988, High performance size exclusion chromatography of polar compounds in heated and non-heated fats. Fat Science and Technology, 90, 308–311.

Dobarganes, M. C., Velasco, J., and Dieffenbacher, A., 2000, The determination of polar compounds, polymerized triacylglycerols, eroxide triacylglycerols and diacylglycerols in fats and oils. Pure and Applied Chemistry, 72: 1563-1575.

Dobarganes, M. C., and Marquez- Ruiz, G., 1996, Dimeric and higher oligomeric triglycerides, in *Deep Frying Chemistry, Nutrition and Practical Applications*, Ed by Perkins, E.G. and Erickson, M.D. AOCS Press, Champaign, IL, PP 89-111.

Farhoosh, R., and Pazhouhanmehr, S., 2009, Relative contribution of compositional parameters to the primary and secondary oxidation of canola oil. Food Chemistry, 114, 1002–1006.

Farhoosh, R., Tavakkoli, J., and Hadad Khodaparast, M. H., 2008, Chemical composition and oxidative stability of kernel oils from two current subspecies of Pistacia atlantica in Iran. Journal of the American Oil Chemists' Society, 85: 723–729.

Firestone, D., 1993, Worldwide regulation of frying fats and oils. Inform, 4, 1366–1371.

Frankel, E., Neff, W. E., Selke, E., and Brooks, D. D., 1988, Analysis of autoxidized fats by gas chromatography-mass spectrometry: X. Volatile thermal decomposition products of methyl linoleate dimers. Lipids, 23, 295–298.

Gomes, T., Caponio, F., and Delcuratolo, D., 2003, Non-conventional parameters for quality evaluation of refined oils with special reference to commercial class olive oil. Food Chemistry, 83: 403–408.

Houhoula, D. P., Oreopoulou, V., and Tzia, V., 2003, The effect of process time and temperature on the accumulation of polar compounds in cottonseed oil during deep-fat frying. Journal of the Science of Food and Agriculture, 83, 314–319.

Linderschmidt, R., Trylka, A., Goad, M., and Witschi, H., 1986, The effects of dietary butylated hydroxytoulene on liver and colon tumor development in mice. Toxicology, 38, 151–160.

Lumley, I. D., 1988, Polar compounds in heated oils. In G. Varela, A. E. Bender, & I. D. Morton (Eds.), Frying of food. Principles, changes, new approaches (pp. 166– 173), Chichester: Ellis Horwood Ltd.

Matthaus, B., 2002, Antioxidant activity of extracts obtained from residues of different oilseeds. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 50: 3444- 3452.

Melton, S. L., Jafar, S., Sykes, D., and Trigiano, M. K., 1994, Review of stability measurements for frying oils and fried food flavor. Journal of the American Oil Chemists' Society, 71: 1301– 308.

Morello, J. R., Motilva, M. J., Tovar, M. J., and Romero, M. P., 2004, Changes in commercial virgin olive oil (cv Arbequina) during storage, with special emphasis on the phenolic fraction. Food Chemistry, 85: 357–364

Pantzaris, T. P., 1998, Comparison of monounsaturated and polyunsaturated oils in continuous frying. Grasas Aceites, 49, 319–352.

Pratt, D. E., 1992, Natural antioxidants from plant material. In: Phenolic Compounds in Food and Their Effect on Health. Huang, M.T., Ho, C.T., and Lee, C.Y., American Oil Chemists' Society, Washington, DC.

Romero, N., Robert, P., Masson, L., Ortiz, J., Gonzales, K., Tapia, K., and Dobarganes, C., 2007, Effect of α-Tocopherol, α- tocotrienol and Rosa mosqueta shell extract on the performance of antioxidant- stripped canola oil (*Brassica Sp*.) at high temperature. Food Chemistry, 104: 383-389.

Schulte, E., 2004, Economical micromethod for determination of polar components in frying fats. European Journal of lipid Science and Technology,106: 772–776.

Shantha, N. C., and Decker, E. A., 1994, Rapid, sensitive, iron-based spectrophotometric methods for determination of peroxide values of food lipids. Journal of AOAC International, 77: 21–424.

Sharayei, P., Farhoosh, R., Poorazrang, H., and Haddad Khodaparast, M. H., 2011a, Effect of bene kernel oil on the frying stability of canola oil. Journal of the American Oil Chemists' Society, 88:647–654.

Sharayei, P., Farhoosh, R., Poorazrang, H., and Haddad Khodaparast, M. H., 2011 b, Improvement of canola oil frying stability by bene kernel oil's unsaponifiable matter, Journal of the American Oil Chemists' Society, 88:993–1000.

Tappel, A., 1995, Antioxidant's protection against peroxidation. Inform, 6, 780–783.

Tian, L. L., and White, P. J., 1994, Antioxidant activity of oat extracts in soybean and cottonseed oils. Journal of the American Oil Chemists' Society, 71, 1079–1186.

Tyagi V. K., and Vasishtha, A. K., 1996, Changes in the characteristics and composition of oils during deep-fat frying. Journal of the American Oil Chemists' Society, 73, 499–506.

Warner, C., Daniels, D., Lin, F., Joe, F., and Fazio, T., 1986, Fate of antioxidants and antioxidant-derived products in deep-fat frying and cookie baking, Journal of Agricultural and Food Chemistry, 34, 1-5.

Warner, K., and Knowlton, S., 1997, Frying quality and oxidative stability of high oleic corn oils. Journal of the American Oil Chemists' Society, 74: 1317-1322.

Wong, M. L., Timms, R. E., and Goh, E. M., 1988, Colorimetric determination of total tocopherols in palm oil, olein and stearin. Journal of the American Oil Chemists' Society, 65, 258–261.

Yoon, S. H., Jung, M. Y., and Min, D. B., 1988, Effect of thermally oxidized triglycerides on the oxidative stability of soybean oil. Journal of the American Oil Chemists' Society, 65, 1652–1656.