



## بررسی پایداری روغن کانولا تحت تأثیر روغن مغز بنه و بخش صابونی ناشونده آن طی فرآیند سرخ کردن عمیق بر حسب اندازه‌گیری تغییرات رنگ به روش پردازش تصویر

پروین شرایعی<sup>۱</sup>، \*رضا فرهوش<sup>۲</sup>، هاشم پورآزرنگ<sup>۳</sup> و محمدحسین حداد خداپرست<sup>۳</sup>

<sup>۱</sup> دانشجوی دکتری، گروه علوم و صنایع غذایی دانشگاه فردوسی مشهد، و استادیار مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان خراسان رضوی، <sup>۲</sup> دانشیار، گروه علوم و صنایع غذایی دانشگاه فردوسی مشهد، <sup>۳</sup> استاد، گروه علوم و صنایع غذایی دانشگاه فردوسی مشهد

تاریخ دریافت: ۱۳۹۰/۰۴/۱۰؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۰/۰۹/۱۲

### چکیده

در این پژوهش، تغییر رنگ روغن کانولا (مولفه‌های L, a, b و شاخص تفاوت کلی رنگ، TCD) تحت تأثیر روغن مغز بنه (۰/۰۵ تا ۰/۴ درصد) و مواد صابونی‌ناشونده آن (۱۰۰ پی‌پی‌ام) طی ۴۸ ساعت سرخ کردن در دمای ۱۸۰ درجه سانتی‌گراد در مقایسه با آنتی‌اکسیدان سنتزی ترسیوبوتیل‌هیدروکینون (۱۰۰ پی‌پی‌ام) به روش پردازش تصویر بررسی شد. روغن مغز بنه، ترسیوبوتیل‌هیدروکینون و مواد صابونی‌ناشونده به میزان زیادی از افزایش تیرگی (کاهش مولفه رنگی L)، قرمزی (افزایش مولفه رنگی a)، زردی (افزایش مولفه رنگی b)، TCD و درصد کل ترکیبات قطبی (TPC) روغن کانولا طی فرآیند سرخ کردن جلوگیری به عمل آوردند. کارایی نمونه‌های حاوی ۰/۱ درصد روغن مغز بنه و ۱۰۰ پی‌پی‌ام مواد صابونی‌ناشونده، مشابه یا به مراتب بهتر از ترسیوبوتیل‌هیدروکینون بود. همبستگی بسیار خوبی ( $R^2 = 0.965$ ) میان TCD و TPC روغن‌های مورد مطالعه وجود داشت. با فرض بیشترین میزان قابل قبول ۲۴ درصد برای TPC، بیشترین کمیت مجاز در خصوص TCD روغن‌های مورد مطالعه معادل ۲۰/۹۸ تخمین زده شد.

**واژه‌های کلیدی:** ترسیوبوتیل‌هیدروکینون، پایداری اکسایشی، پردازش تصویر، روغن مغز بنه، روغن کانولا، سرخ کردن عمیق، مواد صابونی‌ناشونده

\*مسئول مکاتبه: [rfarhoosh@um.ac.ir](mailto:rfarhoosh@um.ac.ir)

## مقدمه

سرخ کردن مواد غذایی به دلیل ایجاد خواص حسی منحصر به فرد امروزه به طور وسیعی در سطوح صنعتی و خانگی مورد استفاده قرار می‌گیرد. به کمک این روش آماده‌سازی، ماده غذایی با طعم دلپذیر، بافت ترد و ظاهر طلایی مطلوب تولید می‌شود (اورتوفر و همکاران، ۱۹۹۶). مشخص شده است طی این فرآیند، میزان رطوبت ماده غذایی به زیر ۲ درصد کاهش می‌یابد، حال آن که میزان روغن آن به حدود ۳۵ تا ۴۲ درصد بالغ می‌گردد؛ بنابراین کیفیت ماده غذایی به میزان زیادی تحت تاثیر کیفیت روغن سرخ کردنی است (استیونسون و همکاران، ۱۹۸۴). هنگام سرخ کردن عمیق، در حضور اکسیژن و رطوبت ناشی از ماده غذایی، واکنش‌های اکسایشی و هیدرولیزی زیادی در روغن صورت گرفته و مواد نامطلوبی ایجاد می‌گردند که ضمن بروز آثار منفی بر طعم و رنگ محصول، سلامت انسان را نیز به خطر می‌اندازند (ایناوانگ و همکاران، ۲۰۰۴). روش‌های مختلفی به منظور پایدارسازی روغن‌های سرخ کردنی پیشنهاد شده است که از آن جمله می‌توان به اختلاط روغن‌های چند غیراشباع با انواع اشباع یا تک غیراشباع، هیدروژنه کردن روغن‌های غیراشباع، اصلاح ژنتیکی ساختار اسید چرب و استفاده از آنتی‌اکسیدان‌ها اشاره کرد (وارنر و نولتون، ۱۹۹۷).

در حال حاضر، آنتی‌اکسیدان‌های سنتزی مجاز در فرآورده‌های غذایی شامل هیدروکسی تولوئن بوتیله (BHT)<sup>۱</sup>، هیدروکسی آنیزول بوتیله (BHA)<sup>۲</sup>، پروپیل گالات (PG)<sup>۳</sup> و ترسیبوتیل هیدروکینون (TBHQ)<sup>۴</sup> می‌باشند (وارنر و همکاران، ۱۹۸۶). نگرانی ناشی از مصرف آنتی‌اکسیدان‌های سنتزی به لحاظ مسایل مربوط به سلامت و ایمنی و نیز محدودیت در حدود مجاز مصرف، مصرف‌کنندگان مواد غذایی را به استفاده از فرآورده‌های طبیعی در مواد غذایی ترغیب نموده است (نامیکی، ۱۹۹۰). رایج‌ترین آنتی‌اکسیدان‌های طبیعی شامل فلاونوئیدها، مشتقات اسید سینامیک، توکوفرول‌ها، اسیدهای آمینه، پپتیدها و اسیدهای آلی چند عاملی می‌باشند (پرات، ۱۹۹۲؛ ماتائوس، ۲۰۰۲؛ چنگ و همکاران، ۲۰۰۳). اجزاء مواد صابونی‌ناشونده (USM)<sup>۵</sup> روغن‌های گیاهی شامل هیدروکربن‌ها، الکل‌های ترپنی، استرول‌ها، توکوفرول‌ها و برخی ترکیبات فنلی، از تاثیر به‌سزایی بر خواص و پایداری روغن‌ها و

- 1- Butylated hydroxytoluene
- 2- Butylated hydroxyanisole
- 3- Propyl gallate
- 4- Tert- Butylhydroquinone
- 5- Unsaponifiable matters

چربی‌های خوراکی برخوردارند. روغن‌های گیاهی به‌طور عام شامل ۰/۵ تا ۲/۵ درصد مواد صابونی‌ناشونده‌اند، هرچند برخی از روغن‌ها حاوی مقادیر بیشتر مواد صابونی‌ناشونده می‌باشند (۵ تا ۶ درصد). افزودن مواد صابونی‌ناشونده روغن‌های جوانه گندم، ذرت و زیتون به روغن‌های گیاهی، پایداری اکسایشی آن‌ها را در فرآیندهای حرارتی و سرخ کردن افزایش داده است (سیمز و همکاران، ۱۹۷۲؛ بوسکو و مورتون، ۱۹۷۵).

کانولا یا کلزای اصلاح شده از ارقام براسیکا ناپوس و براسیکا راپا تولید می‌شود که مقدار گلوکوزینولات و اسید اروسیک آن‌ها به‌ترتیب کمتر از ۳۰ میکرومول در هر گرم کنجاله خشک و کمتر از ۲ درصد در روغن می‌باشد. روغن کانولا به‌دلیل برخورداری از سطح پایین اسیدهای چرب اشباع و نسبت بالای اسیدهای چرب چند غیراشباع دارای آثار مثبتی بر سلامت مصرف‌کننده است. با وجود این، روغن کانولا به‌دلیل دارا بودن مقادیر بالای اسیدهای چرب چند غیراشباع به‌خصوص اسید لینولنیک (حدود ۱۰ درصد)، دارای پایداری اکسایشی چندان مطلوبی در مقایسه با سایر روغن‌های گیاهی نیست؛ ضمن آن که بررسی‌ها نشان داده است محصولات آنی که در آن سرخ می‌شوند از ماندگاری و کیفیت حسی مناسبی نسبت به نمونه‌های مشابه برخوردار نیستند (کار، ۱۹۹۱).

بنه (*Pistacia atlantica var mutica*) از جمله منابع گیاهی خدادادی کشور ماست که با بیش از ۴۰/۰۰۰/۰۰۰ اصله درخت بالغ بر ۱/۲۰۰/۰۰۰ هکتار از جنگل‌های زاگرس را به خود اختصاص داده است (اداره منابع طبیعی استان فارس، ۱۳۸۷). بنه از گونه‌های مختلف پسته وحشی است که به‌ترتیب ۵۶ تا ۶۴ درصد و ۳۰ درصد از کل دانه آن را مغز و روغن تشکیل می‌دهد (دانشراد و آیینه چی، ۱۹۸۰). بررسی خواص فیزیکوشیمیایی روغن مغز بنه نشان داده است مقادیر ترکیبات توکوفرولی و فنلی روغن مغز بنه فراتر از مقادیر مربوطه در بسیاری از روغن‌های گیاهی می‌باشد؛ از این رو ممکن است افزودن آن به روغن کانولا به بهبود ارزش تغذیه‌ای و نیز پایداری اکسایشی آن منجر گردد (فرهوش و همکاران، ۲۰۰۸a).

معیارهای متعددی برای تشخیص لحظه پایانی مصرف روغن‌های سرخ کردنی وجود دارد، زیرا بسیاری از خصوصیات شیمیایی و فیزیکی آن‌ها طی فرایند حرارتی دستخوش تغییر می‌شود. عدد پراکسید و اعداد کربونیل یا آنیزیدین به‌ترتیب به نمایندگی از محصولات اولیه و ثانویه اکسایش لیپیدی، شاخص‌های رایج در خصوص ارزیابی میزان اکسایش روغن‌ها و چربی‌های خوراکی محسوب می‌شوند. ارزیابی روند اکسایش حین فرایندهای حرارتی مانند سرخ کردن (دماهای بیش از ۱۷۰ درجه

سانتی‌گراد) بر حسب شاخص‌های یاد شده به دلیل فرار بودن برخی محصولات اکسایشی و یا تجزیه‌پذیر بودن آن‌ها ممکن است نتایج چندان دقیق و صحیحی را در اختیار قرار ندهد (گومز و همکاران، ۲۰۰۳)، حال آن که سرخ کردن در حضور اکسیژن و رطوبت ناشی از ماده غذایی به ایجاد ترکیبات جدیدی منجر می‌گردد که چندان فرار نیستند و نسبت به تری‌گلیسریدهای تغییر نیافته قطبی‌ترند. تعیین میزان ترکیبات قطبی از دقت و تکرارپذیری بالایی برخوردار است و شاخص بسیار مناسبی برای ارزیابی کیفیت روغن‌های سرخ‌کردنی است (فریتچ، ۱۹۸۱؛ الکهتانی، ۱۹۹۱؛ گرتز، ۲۰۰۰؛ گرتز، ۲۰۰۱) بر طبق استانداردهای رایج بین‌المللی، روغن‌های سرخ‌کردنی که میزان ترکیبات قطبی آن‌ها طی فرآیند حرارتی به ۲۴ تا ۲۷ درصد برسد، دور ریخته می‌شوند (فایرستون، ۲۰۰۷). ذکر آن ضروری است که روش‌های شیمیایی اندازه‌گیری محصولات تجزیه‌ای در خصوص روغن‌های سرخ‌کردنی بسیار اطمینان بخشند (ملتون و همکاران، ۱۹۹۴) اما این روش‌ها به‌طور عام زمان‌بر و پرهزینه‌اند و یا اجرای آن‌ها معمولاً به مهارت بالایی احتیاج دارد (زو، ۲۰۰۳a). بنابراین، همواره به تکنیک‌های ساده و سریع در این خصوص احتیاج بوده است.

رنگ از جمله ویژگی‌های مهم روغن‌هاست و می‌توان از آن به‌عنوان راهنما در تصفیه روغن‌های خوراکی و نیز وضعیت کیفی روغن‌های سرخ‌کردنی بهره جست (بلین، ۱۹۹۳). روغن‌های سرخ‌کردنی طی فرآیند سرخ کردن از زرد روشن یا زرد کم رنگ به قهوه‌ای روشن و سرانجام قهوه‌ای تیره تغییر رنگ می‌دهند. با افزایش تعداد دفعات سرخ کردن، رنگ روغن تیره‌تر می‌شود و ماده غذایی سرخ شده در آن نیز دچار تیرگی نامطلوب پیش از پخت می‌گردد (چو و مین، ۲۰۰۷). اندازه‌گیری رنگ بر حسب مدل رنگی Lab یا رنگ‌سنج لایویناند، روشی ساده و راحت است که امکان جایگزینی آزمون‌های شیمیایی را داراست (زو، ۲۰۰۳b).

هدف از این پژوهش عبارت از الف) بررسی تغییرات رنگ روغن کانولا تحت تاثیر خواص آنتی‌اکسیدانی روغن مغز بیه و ترکیبات صابونی‌ناشونده آن طی ۴۸ ساعت سرخ کردن در دمای ۱۸۰ درجه سانتی‌گراد نسبت به آنتی‌اکسیدان سنتزی ترسیوبوتیل‌هیدروکینون و ب) ارزیابی عملکرد مولفه‌های مدل رنگی Lab به موازات آزمون درصد کل ترکیبات قطبی به‌عنوان روشی مرجع برای تعیین کیفیت نمونه مورد مطالعه بود.

## مواد و روش‌ها

میوه رسیده بنه از مزارع شهرستان اسلام آباد در استان ایلام جمع آوری گردید. روغن کانولا تصفیه، بی‌رنگ و بی‌بو شده بدون آنتی‌اکسیدان از کارخانه سه گل نیشابور خریداری و تا زمان استفاده در دمای ۱۸- سانتی‌گراد نگهداری شد. ساختار اسید چربی روغن کانولا به‌طور عمده شامل اسیدهای پالمیتیک (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 (۴/۴ درصد، ۲۲:۱) بود (اندازه‌گیری شده به روش فرهوش و همکاران، ۲۰۰۸b). ساختار اسید چربی روغن مغز بنه به‌طور عمده شامل اسیدهای پالمیتیک (۱۰/۸ درصد، ۱۶:۰)، استئاریک (۳ درصد، ۱۸:۰)، اولئیک (۴۹ درصد، ۱۸:۱)، لینولنیک (۳۳ درصد، ۱۸:۲) و لینولنیک (۱/۲ درصد، ۱۸:۳) بود. میزان اسید چرب آزاد (اندازه‌گیری شده به روش تیتراسیون گزارش شده در A.O.C.S. ۴۰-۵۰ Ca ۱۹۹۳) و عدد پراکسید (اندازه‌گیری شده به روش اسپکتروفتومتری فدراسیون بین‌المللی فراورده‌های لبنی، شانتا و دکر، ۱۹۹۴، روش تیوسیانات) روغن‌های کانولا و مغز بنه به ترتیب ۰/۲ و ۰/۵۱ میلی‌گرم هیدروکسید پتاسیم بر کیلوگرم و ۰/۵۱ و ۱/۶۵ میلی‌اکی والان گرم اکسیژن بر کیلوگرم روغن بوده که این نشان‌دهنده کیفیت مناسب و غیراکسایشی روغن‌های مورد مطالعه بود. حلال‌ها و مواد شیمیایی 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 را برداشته و مغزها در آسیاب پودر گردید. 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 در خلأ در دمای ۴۰ درجه سانتی‌گراد تبخیر گردید. روغن استخراج شده تا هنگام انجام آزمایش‌های مربوطه در ظروف تیره تحت ازت و فریزر نگهداری شد.

**استخراج مواد صابونی ناشونده:** پنج گرم روغن خام مغز بنه با ۵۰ میلی‌لیتر پتاس اتانولی ۱ نرمال در ارلن مخلوط شد و به مدت یک ساعت در دمای ۹۵ درجه سانتی‌گراد قرار گرفت. پس از سرد شدن، ۱۰۰ میلی‌لیتر آب مقطر به مخلوط اضافه شد و در ادامه دو مرتبه با بخش‌های ۱۰۰ میلی‌لیتری دی اتیل‌تر مورد استخراج قرار گرفت. لایه‌های رویی جمع‌آوری گردید و با ۷۵ میلی‌لیتر آب مقطر شسته شد و سپس ۱۰۰ میلی‌لیتر محلول پتاس اتانولی ۰/۵ نرمال به آن اضافه و بعد از مخلوط کردن با ۱۰۰ میلی‌لیتر آب مقطر شسته شد. لایه رویی جدا و با سولفات سدیم بدون آب مخلوط شده و پس از صاف شدن در آن تحت خلأ در دمای ۴۵ درجه سانتی‌گراد خشک گردید. برای تخلیص بیشتر، مواد صابونی ناشونده در کلروفرم حل شده و بعد از صاف شدن، کلروفرم در دمای ۴۵ درجه سانتی‌گراد

تحت خلا تبخیر گردید (لوزانو و همکاران، ۱۹۹۳). بازده استخراج مواد صابونی ناشونده ۵/۷ درصد بود.

**آماده‌سازی نمونه‌های روغن:** برای بررسی کارایی سرخ کردن روغن مغز بنبه و مقایسه فعالیت آنتی‌اکسیدانی آن، از روغن کائولای تصفیه شده بدون آنتی‌اکسیدان به‌عنوان محیط سرخ کردن استفاده شد. روغن مغز بنبه در سطوح ۰/۰۵، ۰/۱، ۰/۲ و ۰/۴ درصد، آنتی‌اکسیدان سنتزی ترسیوبوتیل هیدروکینون (TBHQ) و مواد صابونی ناشونده روغن مغز بنبه (USM) به‌میزان ۱۰۰ پی‌پی‌ام به روغن کائولا اضافه شدند. آماده‌سازی مخلوط‌های نام برده به‌طور جداگانه صورت پذیرفت.

**فرایند سرخ کردن:** سیب‌زمینی‌ها پس از پوست‌گیری به‌صورت خلال‌های  $7/0 \times 0/5 \times 0/3$  سانتی‌متر برش زده شدند. خلال‌ها با آب سرد شستشو و با پارچه نخی خشک شدند. عملیات سرخ کردن با سرخ‌کن‌های خانگی مجهز به ترموستات و سبد توری استیل زنگ نزن انجام شد. ۴۰ گرم سیب‌زمینی برای هر دفعه سرخ کردن در نظر گرفته شد تا از سرد شدن روغن هنگام اضافه کردن خلال‌ها به روغن اجتناب شود. نسبت سیب‌زمینی به روغن در کل مدت سرخ کردن ثابت بود. خلال‌های سیب‌زمینی به‌مدت ۵ دقیقه در دمای  $180 \pm 5$  درجه سانتی‌گراد سرخ شدند. زمان استراحت بین دو مرحله سرخ کردن ۱۵ دقیقه بود. فرآیند سرخ کردن طی ۶ روز متوالی و هر روز ۸ ساعت به انجام رسید. هر ۴ ساعت حدود ۱۰ گرم نمونه روغن از هر سرخ‌کن برداشته شد و پس از سرد کردن تا دمای اتاق و تزریق گاز ازت تا زمان انجام آزمایش‌ها در ۴ 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 ۲ تکرار صورت گرفت (تیاگی و واسیشنا، ۱۹۹۶).

**مقدار کل ترکیبات قطبی:** مقدار کل ترکیبات قطبی به روش کروماتوگرافی جذب سطحی شولت (۲۰۰۴) با اندکی تغییرات در خصوص شیوه تبخیر حلال (استفاده از آون تحت خلاء در دمای ۴۰ درجه سانتی‌گراد و زمان ۰/۵ ساعت به جای تبخیر حلال با هوای فشرده یا گاز ازت) به‌منظور آماده‌سازی تعداد زیاد نمونه در زمان کوتاه‌تر اندازه‌گیری شد.

**اندازه‌گیری رنگ:** پانزده میلی‌لیتر نمونه روغن داخل پلیت ریخته و تصویر آن به کمک اسکنر مدل (Canonscan 8400F) گرفته شد. به‌منظور جلوگیری از ورود هرگونه نور جانبی، سطح اسکنر با

پارچه کاملاً سیاه و ضخیم پوشانیده شد. تصاویر با وضوح ۳۰۰ dpi و فرمت JPEG ذخیره گردیدند. ارتقا تصاویر با استفاده از نرم افزار فتوشاپ (photoshop cs,v.80 Adobe) انجام گرفت و عکس‌ها به فرمت bmp ذخیره شدند. پس از انتقال تصاویر به رایانه، مختصات رنگی آن‌ها در فضای رنگی Lab با نرم‌افزار Image j (version 1.40g) استخراج شد. مدل رنگی Lab مرکب از مولفه L (روشنی) با محدوده صفر (سیاه) تا ۱۰۰ (سفید)، مولفه a (قرمزی) نامحدود با طیف رنگی سبز (مقادیر منفی) تا قرمز (مقادیر مثبت) و مولفه b (زردی) نامحدود با طیف رنگی آبی (مقادیر منفی) تا زرد (مقادیر مثبت) بود (فنگزیا و ژانمینگ، ۲۰۰۱). شاخص تفاوت کلی رنگ (TCD)<sup>۱</sup> بر حسب میزان تغییرات مؤلفه‌های رنگی L، a و b نمونه‌های روغن طی زمان‌های مختلف فرآیند سرخ کردن نسبت به رنگ نمونه تازه روغن (L<sub>0</sub>= ۹۰/۲۴، a<sub>0</sub>= -۶/۶۷، b<sub>0</sub>= ۹/۴۱) محاسبه شد (کیت و اسپایریدون، ۲۰۰۴):

$$TCD = \sqrt{(L_0 - L)^2 + (a_0 - a)^2 + (b_0 - b)^2}$$

**تجزیه و تحلیل آماری:** کلیه آزمایش‌ها در قالب طرح آزمایشی کاملاً تصادفی با ۴ تکرار انجام شد. میانگین‌ها با نرم‌افزار MstatC و بر اساس آزمون دانکن در سطح ۵ درصد مقایسه شدند.

### نتایج و بحث

تغییرات مولفه رنگی L روغن کانولا تحت تاثیر مقادیر مختلف روغن مغز بیه (۰/۰۵ تا ۰/۴ درصد)، ترکیبات صابونی شونده (۱۰۰ پی‌پی‌ام) و ترسیبوتیل هیدروکینون (۱۰۰ پی‌پی‌ام) طی ۴۸ ساعت سرخ کردن در دمای ۱۸۰ درجه سانتی‌گراد در جدول ۱ نشان داده شده است. این شاخص در خصوص روغن‌های مورد مطالعه طی فرآیند سرخ کردن به صورت خطی کاهش پیدا کرد (ضریب تبیین بیش از ۰/۹۱۱). مولفه رنگی L، نماد تیرگی رنگ روغن است. تیرگی رنگ روغن به انجام واکنش‌های اکسایشی نسبت داده می‌شود که طی آن به‌طور معمول هیدروپراکسیدها، اسیدهای دی‌ان مزدوج، اپوکسیدها، هیدروپراکسیدها و کتون‌ها تولید می‌گردند. این ترکیبات ممکن است متحمل اکسایش بیشتری شده و به ترکیبات کوچک‌تری تجزیه شوند یا آن‌که به بخش تری‌گلیسریدی متصل باقی بمانند و بر اثر ایجاد اتصالات عرضی، تری‌گلیسریدهای دیمری و پلیمری را پدید آورند (وایت، ۱۹۹۱). تیرگی رنگ روغن طی فرآیند سرخ کردن همچنین به وارد شدن موادی همانند قند، نشاسته، پروتئین و فلزات نادر از ماده غذایی به روغن،

1- Total colour difference

تشکیل ترکیبات کربونیل و نیز ترکیبات غیرقطبی حاصل از ماده غذایی در روغن نسبت داده می‌شود (یاقمور و همکاران، ۲۰۰۱). تیرگی رنگ روغن‌های سرخ کردنی همچنین ممکن است به حضور رنگدانه‌های موجود در روغن‌های تجارتي و نیز رنگدانه‌های ناشی از واکنش‌های قهوه‌ای شدن در سیب‌زمینی مرتبط باشد (وایت، ۱۹۹۱؛ ملتون و همکاران، ۱۹۹۴؛ گویلامین، ۱۹۸۸). مولفه رنگی L روغن کانولا طی فرآیند سرخ کردن از ۹۰/۲۴ به ۷۲/۳۶ (۱۹/۸۱ درصد) کاهش یافت. سطوح ۰/۱ درصد روغن مغز بنه، ۱۰۰ پی‌پی‌ام ترسیوبوتیل هیدروکینون و مواد صابونی‌ناشونده به میزان زیادی از تیره شدن رنگ روغن طی فرآیند سرخ کردن جلوگیری به عمل آوردند و این شاخص به ترتیب از ۹۰/۷۹ و ۹۰/۸۱ به ۸۰/۷۴ (۰/۹۷ درصد)، ۸۱/۶۰ (۰/۱۲ درصد) و ۸۱/۹۵ (۹/۷۶ درصد) کاهش یافت، حال آن که سطوح ۰/۰۵ (۱۸/۱۱ درصد)، ۰/۲ (۱۸/۵۱ درصد) و ۰/۴ (۱۹/۳۶ درصد) درصدی روغن مغز بنه کم‌تر تاثیرگذار بودند. نکته جالب توجه آن بود که کارایی نمونه‌های حاوی ۰/۱ درصد روغن مغز بنه و ۱۰۰ پی‌پی‌ام مواد صابونی‌ناشونده در ممانعت از افزایش تیرگی رنگ معادل و یا بمراتب از آنتی‌اکسیدان سنتزی ترسیوبوتیل هیدروکینون بهتر بود. این پدیده را می‌توان به وجود ترکیبات پلی‌فنلی، توکوفرولی و استرولی موجود در روغن مغز بنه و ترکیبات صابونی‌ناشونده آن نسبت داد که از اکسایش روغن تا حد زیادی جلوگیری می‌نمایند.

تغییرات مولفه رنگی a (قرمزی) روغن کانولا تحت تاثیر مقادیر مختلف روغن مغز بنه (۰/۰۵ تا ۰/۴ درصد)، ترکیبات صابونی‌ناشونده (۱۰۰ پی‌پی‌ام) و ترسیوبوتیل هیدروکینون (۱۰۰ پی‌پی‌ام) طی ۴۸ ساعت سرخ کردن در دما ۱۸۰ درجه سانتی‌گراد در جدول ۲ نشان داده شده است. مولفه رنگی a روغن‌های مورد مطالعه طی ۲۸ ساعت اول سرخ کردن به نسبت ثابت بود و سپس به طور معنی‌داری افزایش یافت. مولفه رنگی a مشخص‌کننده طیف رنگی سبز تا قرمز است. افزایش مولفه رنگی a مطلوب نیست و به معنا قرمزتر شدن رنگ روغن است (روکیدا و همکاران، ۲۰۰۱). این پدیده به تیره‌تر شدن رنگ روغن و کاهش کلروفیل (باعث سبزی رنگ روغن) نسبت داده می‌شود (سahین، ۲۰۰۰؛ ردی و همکاران، ۲۰۰۱). شاخص a روغن کانولا پس از ۲۸ ساعت سرخ کردن، ۶۸/۸۵ درصد افزایش یافت. همچنان که در جدول ۲ نیز مشاهده می‌شود، روغن مغز بنه (۴۲/۵۹ تا ۶۴/۴۰ درصد)، آنتی‌اکسیدان سنتزی ترسیوبوتیل هیدروکینون (۳۹/۲۷ درصد) و مواد صابونی‌ناشونده (۳۹/۱۵ درصد) از افزایش این شاخص بعد از ۲۸ ساعت تا حد زیادی ممانعت به عمل آوردند.



جدول ۱- مولفه رنگی L (روشنی) روغن کانولا تحت تاثیر روغن مغز بنه، تریپتوبیل هیدروکینون (۰.۰۱پی‌ام) و TBHQ (مواد صابونی ناشونده روغن مغز بنه (۱۰۰ پی‌ام، USM) طی ۴۸ ساعت سرخ کردن در دمای ۱۸۰ درجه سانتی‌گراد

زمان (ساعت)	روغن کانولا		روغن کانولا + روغن مغز بنه		روغن کانولا + TBHQ		روغن کانولا + USM	
	درصد	۰.۰۵	درصد	۱.۰/۰.۰۵	درصد	۰.۲	درصد	۰.۴
۰	۳۳.۳۳ <sup>ab</sup>	۹۰.۲۴ ± ۰.۳۰	۳۳.۳۳ <sup>ab</sup>	۹۰.۲۴ ± ۰.۳۰	۳۳.۳۳ <sup>ab</sup>	۹۰.۲۴ ± ۰.۳۰	۳۳.۳۳ <sup>ab</sup>	۹۰.۲۴ ± ۰.۳۰
۳	۳۱.۰۰ <sup>AbB</sup>	۸۷.۹۷ ± ۰.۳۱	۳۱.۰۰ <sup>AbB</sup>	۸۷.۹۷ ± ۰.۳۱	۳۱.۰۰ <sup>AbB</sup>	۸۷.۹۷ ± ۰.۳۱	۳۱.۰۰ <sup>AbB</sup>	۸۷.۹۷ ± ۰.۳۱
۷	۳۰.۰۰ <sup>BCb</sup>	۸۷.۹۷ ± ۰.۳۱	۳۰.۰۰ <sup>BCab</sup>	۸۷.۹۷ ± ۰.۳۱	۳۰.۰۰ <sup>Bab</sup>	۸۷.۹۷ ± ۰.۳۱	۳۰.۰۰ <sup>Ba</sup>	۸۷.۹۷ ± ۰.۳۱
۲۱	۲۷.۰۰ <sup>Cd</sup>	۸۷.۹۷ ± ۰.۳۱	۲۷.۰۰ <sup>Cc</sup>	۸۷.۹۷ ± ۰.۳۱	۲۷.۰۰ <sup>Bd</sup>	۸۷.۹۷ ± ۰.۳۱	۲۷.۰۰ <sup>Ba</sup>	۸۷.۹۷ ± ۰.۳۱
۶۱	۲۶.۰۰ <sup>CD</sup>	۸۷.۹۷ ± ۰.۳۱	۲۶.۰۰ <sup>Dbe</sup>	۸۷.۹۷ ± ۰.۳۱	۲۶.۰۰ <sup>Be</sup>	۸۷.۹۷ ± ۰.۳۱	۲۶.۰۰ <sup>Du</sup>	۸۷.۹۷ ± ۰.۳۱
۲۰	۲۴.۰۰ <sup>DC</sup>	۸۷.۹۷ ± ۰.۳۱	۲۴.۰۰ <sup>Ed</sup>	۸۷.۹۷ ± ۰.۳۱	۲۴.۰۰ <sup>Cd</sup>	۸۷.۹۷ ± ۰.۳۱	۲۴.۰۰ <sup>Fa</sup>	۸۷.۹۷ ± ۰.۳۱
۳۱	۲۳.۰۰ <sup>Ed</sup>	۸۷.۹۷ ± ۰.۳۱	۲۳.۰۰ <sup>Fe</sup>	۸۷.۹۷ ± ۰.۳۱	۲۳.۰۰ <sup>Dcd</sup>	۸۷.۹۷ ± ۰.۳۱	۲۳.۰۰ <sup>EFa</sup>	۸۷.۹۷ ± ۰.۳۱
۷۸	۲۰.۰۰ <sup>de</sup>	۸۷.۹۷ ± ۰.۳۱	۲۰.۰۰ <sup>Gc</sup>	۸۷.۹۷ ± ۰.۳۱	۲۰.۰۰ <sup>Dd</sup>	۸۷.۹۷ ± ۰.۳۱	۲۰.۰۰ <sup>Ga</sup>	۸۷.۹۷ ± ۰.۳۱
۸۳	۱۹.۰۰ <sup>de</sup>	۸۷.۹۷ ± ۰.۳۱	۱۹.۰۰ <sup>Gc</sup>	۸۷.۹۷ ± ۰.۳۱	۱۹.۰۰ <sup>Dd</sup>	۸۷.۹۷ ± ۰.۳۱	۱۹.۰۰ <sup>Ga</sup>	۸۷.۹۷ ± ۰.۳۱
۳۳	۱۷.۰۰ <sup>de</sup>	۸۷.۹۷ ± ۰.۳۱	۱۷.۰۰ <sup>Gc</sup>	۸۷.۹۷ ± ۰.۳۱	۱۷.۰۰ <sup>Dd</sup>	۸۷.۹۷ ± ۰.۳۱	۱۷.۰۰ <sup>Ga</sup>	۸۷.۹۷ ± ۰.۳۱
۴۰	۱۷.۰۰ <sup>de</sup>	۸۷.۹۷ ± ۰.۳۱	۱۷.۰۰ <sup>Gc</sup>	۸۷.۹۷ ± ۰.۳۱	۱۷.۰۰ <sup>Dd</sup>	۸۷.۹۷ ± ۰.۳۱	۱۷.۰۰ <sup>Ga</sup>	۸۷.۹۷ ± ۰.۳۱
۶۳	۱۶.۰۰ <sup>de</sup>	۸۷.۹۷ ± ۰.۳۱	۱۶.۰۰ <sup>Gc</sup>	۸۷.۹۷ ± ۰.۳۱	۱۶.۰۰ <sup>Dd</sup>	۸۷.۹۷ ± ۰.۳۱	۱۶.۰۰ <sup>Ga</sup>	۸۷.۹۷ ± ۰.۳۱
۷۴	۱۶.۰۰ <sup>de</sup>	۸۷.۹۷ ± ۰.۳۱	۱۶.۰۰ <sup>Gc</sup>	۸۷.۹۷ ± ۰.۳۱	۱۶.۰۰ <sup>Dd</sup>	۸۷.۹۷ ± ۰.۳۱	۱۶.۰۰ <sup>Ga</sup>	۸۷.۹۷ ± ۰.۳۱

اعداد (± انحراف استاندارد) دارای حروف بزرگ مشترک در هر ستون از لحاظ آماری تفاوت معنی‌داری با یکدیگر ندارند (آزمون دانکن،  $P < 0.05$ )  
 اعداد (± انحراف استاندارد) دارای حروف کوچک مشترک در هر ردیف از لحاظ آماری تفاوت معنی‌داری با یکدیگر ندارند (آزمون دانکن،  $P < 0.05$ )

جدول ۲- مولفه رنگی a (قرمزی) روشن کانولا تحت تاثیر روشن مغز بنه، ترسیو بوتیل هیدروکینون (۱۰۰ پی. پی. ام) و TBHQ و مواد صابونی ناشونده روشن مغز بنه (۱۰۰ پی. پی. ام) طی ۴۸ ساعت سرخ کردن در دمای ۱۸۰ درجه سانتی گراد

زمان (ساعت)	روغن کانولا		روغن کانولا + روشن مغز بنه		روغن کانولا + TBHQ		روغن کانولا + USM	
	درصد	۰/۵	درصد	۰/۵	درصد	۰/۴	درصد	۰/۴
۰	-۶/۷۷ ± ۰/۱۵ <sup>Ea</sup>	-۶/۷۷ ± ۰/۱۵ <sup>Ea</sup>	-۶/۷۷ ± ۰/۱۵ <sup>Ea</sup>	-۶/۷۷ ± ۰/۱۵ <sup>Ea</sup>	-۶/۷۷ ± ۰/۱۵ <sup>Ea</sup>	-۶/۷۷ ± ۰/۱۵ <sup>Ea</sup>	-۶/۷۷ ± ۰/۱۵ <sup>Ea</sup>	-۶/۷۷ ± ۰/۱۵ <sup>Ea</sup>
۴	-۶/۷۷ ± ۰/۱۵ <sup>Ea</sup>	-۶/۷۷ ± ۰/۱۵ <sup>Ea</sup>	-۶/۷۷ ± ۰/۱۵ <sup>Ea</sup>	-۶/۷۷ ± ۰/۱۵ <sup>Ea</sup>	-۶/۷۷ ± ۰/۱۵ <sup>Ea</sup>	-۶/۷۷ ± ۰/۱۵ <sup>Ea</sup>	-۶/۷۷ ± ۰/۱۵ <sup>Ea</sup>	-۶/۷۷ ± ۰/۱۵ <sup>Ea</sup>
۷	-۶/۷۷ ± ۰/۱۵ <sup>Ea</sup>	-۶/۷۷ ± ۰/۱۵ <sup>Ea</sup>	-۶/۷۷ ± ۰/۱۵ <sup>Ea</sup>	-۶/۷۷ ± ۰/۱۵ <sup>Ea</sup>	-۶/۷۷ ± ۰/۱۵ <sup>Ea</sup>	-۶/۷۷ ± ۰/۱۵ <sup>Ea</sup>	-۶/۷۷ ± ۰/۱۵ <sup>Ea</sup>	-۶/۷۷ ± ۰/۱۵ <sup>Ea</sup>
۱۲	-۶/۷۷ ± ۰/۱۵ <sup>Ea</sup>	-۶/۷۷ ± ۰/۱۵ <sup>Ea</sup>	-۶/۷۷ ± ۰/۱۵ <sup>Ea</sup>	-۶/۷۷ ± ۰/۱۵ <sup>Ea</sup>	-۶/۷۷ ± ۰/۱۵ <sup>Ea</sup>	-۶/۷۷ ± ۰/۱۵ <sup>Ea</sup>	-۶/۷۷ ± ۰/۱۵ <sup>Ea</sup>	-۶/۷۷ ± ۰/۱۵ <sup>Ea</sup>
۱۶	-۶/۷۷ ± ۰/۱۵ <sup>Ea</sup>	-۶/۷۷ ± ۰/۱۵ <sup>Ea</sup>	-۶/۷۷ ± ۰/۱۵ <sup>Ea</sup>	-۶/۷۷ ± ۰/۱۵ <sup>Ea</sup>	-۶/۷۷ ± ۰/۱۵ <sup>Ea</sup>	-۶/۷۷ ± ۰/۱۵ <sup>Ea</sup>	-۶/۷۷ ± ۰/۱۵ <sup>Ea</sup>	-۶/۷۷ ± ۰/۱۵ <sup>Ea</sup>
۲۰	-۶/۷۷ ± ۰/۱۵ <sup>Ea</sup>	-۶/۷۷ ± ۰/۱۵ <sup>Ea</sup>	-۶/۷۷ ± ۰/۱۵ <sup>Ea</sup>	-۶/۷۷ ± ۰/۱۵ <sup>Ea</sup>	-۶/۷۷ ± ۰/۱۵ <sup>Ea</sup>	-۶/۷۷ ± ۰/۱۵ <sup>Ea</sup>	-۶/۷۷ ± ۰/۱۵ <sup>Ea</sup>	-۶/۷۷ ± ۰/۱۵ <sup>Ea</sup>
۲۴	-۶/۷۷ ± ۰/۱۵ <sup>Ea</sup>	-۶/۷۷ ± ۰/۱۵ <sup>Ea</sup>	-۶/۷۷ ± ۰/۱۵ <sup>Ea</sup>	-۶/۷۷ ± ۰/۱۵ <sup>Ea</sup>	-۶/۷۷ ± ۰/۱۵ <sup>Ea</sup>	-۶/۷۷ ± ۰/۱۵ <sup>Ea</sup>	-۶/۷۷ ± ۰/۱۵ <sup>Ea</sup>	-۶/۷۷ ± ۰/۱۵ <sup>Ea</sup>
۲۸	-۶/۷۷ ± ۰/۱۵ <sup>Ea</sup>	-۶/۷۷ ± ۰/۱۵ <sup>Ea</sup>	-۶/۷۷ ± ۰/۱۵ <sup>Ea</sup>	-۶/۷۷ ± ۰/۱۵ <sup>Ea</sup>	-۶/۷۷ ± ۰/۱۵ <sup>Ea</sup>	-۶/۷۷ ± ۰/۱۵ <sup>Ea</sup>	-۶/۷۷ ± ۰/۱۵ <sup>Ea</sup>	-۶/۷۷ ± ۰/۱۵ <sup>Ea</sup>
۳۲	-۶/۷۷ ± ۰/۱۵ <sup>Ea</sup>	-۶/۷۷ ± ۰/۱۵ <sup>Ea</sup>	-۶/۷۷ ± ۰/۱۵ <sup>Ea</sup>	-۶/۷۷ ± ۰/۱۵ <sup>Ea</sup>	-۶/۷۷ ± ۰/۱۵ <sup>Ea</sup>	-۶/۷۷ ± ۰/۱۵ <sup>Ea</sup>	-۶/۷۷ ± ۰/۱۵ <sup>Ea</sup>	-۶/۷۷ ± ۰/۱۵ <sup>Ea</sup>
۳۶	-۶/۷۷ ± ۰/۱۵ <sup>Ea</sup>	-۶/۷۷ ± ۰/۱۵ <sup>Ea</sup>	-۶/۷۷ ± ۰/۱۵ <sup>Ea</sup>	-۶/۷۷ ± ۰/۱۵ <sup>Ea</sup>	-۶/۷۷ ± ۰/۱۵ <sup>Ea</sup>	-۶/۷۷ ± ۰/۱۵ <sup>Ea</sup>	-۶/۷۷ ± ۰/۱۵ <sup>Ea</sup>	-۶/۷۷ ± ۰/۱۵ <sup>Ea</sup>
۴۰	-۶/۷۷ ± ۰/۱۵ <sup>Ea</sup>	-۶/۷۷ ± ۰/۱۵ <sup>Ea</sup>	-۶/۷۷ ± ۰/۱۵ <sup>Ea</sup>	-۶/۷۷ ± ۰/۱۵ <sup>Ea</sup>	-۶/۷۷ ± ۰/۱۵ <sup>Ea</sup>	-۶/۷۷ ± ۰/۱۵ <sup>Ea</sup>	-۶/۷۷ ± ۰/۱۵ <sup>Ea</sup>	-۶/۷۷ ± ۰/۱۵ <sup>Ea</sup>
۴۴	-۶/۷۷ ± ۰/۱۵ <sup>Ea</sup>	-۶/۷۷ ± ۰/۱۵ <sup>Ea</sup>	-۶/۷۷ ± ۰/۱۵ <sup>Ea</sup>	-۶/۷۷ ± ۰/۱۵ <sup>Ea</sup>	-۶/۷۷ ± ۰/۱۵ <sup>Ea</sup>	-۶/۷۷ ± ۰/۱۵ <sup>Ea</sup>	-۶/۷۷ ± ۰/۱۵ <sup>Ea</sup>	-۶/۷۷ ± ۰/۱۵ <sup>Ea</sup>
۴۸	-۶/۷۷ ± ۰/۱۵ <sup>Ea</sup>	-۶/۷۷ ± ۰/۱۵ <sup>Ea</sup>	-۶/۷۷ ± ۰/۱۵ <sup>Ea</sup>	-۶/۷۷ ± ۰/۱۵ <sup>Ea</sup>	-۶/۷۷ ± ۰/۱۵ <sup>Ea</sup>	-۶/۷۷ ± ۰/۱۵ <sup>Ea</sup>	-۶/۷۷ ± ۰/۱۵ <sup>Ea</sup>	-۶/۷۷ ± ۰/۱۵ <sup>Ea</sup>

اعداد (± انحراف استاندارد) دارای حروف بزرگ مشترک در هر ستون از لحاظ آماری تفاوت معنی داری با یکدیگر ندارند (آزمون دانکن، P < ۰/۰۵)  
 اعداد (± انحراف استاندارد) دارای حروف کوچک مشترک در هر ردیف از لحاظ آماری تفاوت معنی داری با یکدیگر ندارند (آزمون دانکن، P < ۰/۰۵)

جدول ۳. سولفه رنگی b (زردی) روشن کانولا تحت تاثیر روشن مغز بنه، ترسیب بوتیل هیدروکینون (۰.۰۱مجم/م) (TBHQ) و مواد صابونی ناشونده روشن مغز بنه (۱.۰۰مجم/م) (USM) طی ۴۸ ساعت سیخ کردن در دمای ۱۸۰ درجه سانتی گراد

زمان (ساعت)	روغن کانولا	روغن کانولا + روشن مغز بنه			روغن کانولا
		درصد /۰.۱	درصد /۰.۲	درصد /۰.۵	
۰	۹/۱۴ ± ۰/۰۷ <sup>Ka</sup>	۹/۱۲ ± ۰/۰۵ <sup>Na</sup>	۹/۱۲ ± ۰/۰۵ <sup>Na</sup>	۹/۱۲ ± ۰/۰۵ <sup>Na</sup>	۹/۱۴ ± ۰/۰۷ <sup>Ka</sup>
۴	۱۳/۳۴ ± ۰/۰۱ <sup>Ja</sup>	۱۰/۹/۰ ± ۰/۰۲ <sup>Mb</sup>	۱۰/۹/۰ ± ۰/۰۲ <sup>Mb</sup>	۱۰/۹/۰ ± ۰/۰۲ <sup>Mb</sup>	۱۳/۳۴ ± ۰/۰۱ <sup>Ja</sup>
۷	۱۳/۳۴ ± ۰/۰۱ <sup>Ja</sup>	۱۴/۳۸ ± ۰/۰۵ <sup>Lb</sup>	۱۴/۳۸ ± ۰/۰۵ <sup>Lb</sup>	۱۴/۳۸ ± ۰/۰۵ <sup>Lb</sup>	۱۳/۳۴ ± ۰/۰۱ <sup>Ja</sup>
۱۲	۱۳/۳۴ ± ۰/۰۱ <sup>Ja</sup>	۱۴/۳۸ ± ۰/۰۵ <sup>Lb</sup>	۱۴/۳۸ ± ۰/۰۵ <sup>Lb</sup>	۱۴/۳۸ ± ۰/۰۵ <sup>Lb</sup>	۱۳/۳۴ ± ۰/۰۱ <sup>Ja</sup>
۱۶	۱۳/۳۴ ± ۰/۰۱ <sup>Ja</sup>	۱۴/۳۸ ± ۰/۰۵ <sup>Lb</sup>	۱۴/۳۸ ± ۰/۰۵ <sup>Lb</sup>	۱۴/۳۸ ± ۰/۰۵ <sup>Lb</sup>	۱۳/۳۴ ± ۰/۰۱ <sup>Ja</sup>
۲۰	۱۳/۳۴ ± ۰/۰۱ <sup>Ja</sup>	۱۴/۳۸ ± ۰/۰۵ <sup>Lb</sup>	۱۴/۳۸ ± ۰/۰۵ <sup>Lb</sup>	۱۴/۳۸ ± ۰/۰۵ <sup>Lb</sup>	۱۳/۳۴ ± ۰/۰۱ <sup>Ja</sup>
۲۴	۱۳/۳۴ ± ۰/۰۱ <sup>Ja</sup>	۱۴/۳۸ ± ۰/۰۵ <sup>Lb</sup>	۱۴/۳۸ ± ۰/۰۵ <sup>Lb</sup>	۱۴/۳۸ ± ۰/۰۵ <sup>Lb</sup>	۱۳/۳۴ ± ۰/۰۱ <sup>Ja</sup>
۲۸	۱۳/۳۴ ± ۰/۰۱ <sup>Ja</sup>	۱۴/۳۸ ± ۰/۰۵ <sup>Lb</sup>	۱۴/۳۸ ± ۰/۰۵ <sup>Lb</sup>	۱۴/۳۸ ± ۰/۰۵ <sup>Lb</sup>	۱۳/۳۴ ± ۰/۰۱ <sup>Ja</sup>
۳۲	۱۳/۳۴ ± ۰/۰۱ <sup>Ja</sup>	۱۴/۳۸ ± ۰/۰۵ <sup>Lb</sup>	۱۴/۳۸ ± ۰/۰۵ <sup>Lb</sup>	۱۴/۳۸ ± ۰/۰۵ <sup>Lb</sup>	۱۳/۳۴ ± ۰/۰۱ <sup>Ja</sup>
۳۶	۱۳/۳۴ ± ۰/۰۱ <sup>Ja</sup>	۱۴/۳۸ ± ۰/۰۵ <sup>Lb</sup>	۱۴/۳۸ ± ۰/۰۵ <sup>Lb</sup>	۱۴/۳۸ ± ۰/۰۵ <sup>Lb</sup>	۱۳/۳۴ ± ۰/۰۱ <sup>Ja</sup>
۴۰	۱۳/۳۴ ± ۰/۰۱ <sup>Ja</sup>	۱۴/۳۸ ± ۰/۰۵ <sup>Lb</sup>	۱۴/۳۸ ± ۰/۰۵ <sup>Lb</sup>	۱۴/۳۸ ± ۰/۰۵ <sup>Lb</sup>	۱۳/۳۴ ± ۰/۰۱ <sup>Ja</sup>
۴۴	۱۳/۳۴ ± ۰/۰۱ <sup>Ja</sup>	۱۴/۳۸ ± ۰/۰۵ <sup>Lb</sup>	۱۴/۳۸ ± ۰/۰۵ <sup>Lb</sup>	۱۴/۳۸ ± ۰/۰۵ <sup>Lb</sup>	۱۳/۳۴ ± ۰/۰۱ <sup>Ja</sup>
۴۸	۱۳/۳۴ ± ۰/۰۱ <sup>Ja</sup>	۱۴/۳۸ ± ۰/۰۵ <sup>Lb</sup>	۱۴/۳۸ ± ۰/۰۵ <sup>Lb</sup>	۱۴/۳۸ ± ۰/۰۵ <sup>Lb</sup>	۱۳/۳۴ ± ۰/۰۱ <sup>Ja</sup>

اعداد (±) انحراف استاندارد) دارای حروف بزرگ مشترک در هر ستون از لحاظ آماری تفاوت معنی داری با یکدیگر ندارند (آزمون دانکن،  $P < 0.05$ )

اعداد (±) انحراف استاندارد) دارای حروف کوچک مشترک در هر ردیف از لحاظ آماری تفاوت معنی داری با یکدیگر ندارند (آزمون دانکن،  $P < 0.05$ )

جدول ۴ شاخص تفاوت کلی رنگ (TCD) روشن کاتولا تحت تأثیر روشن مغز بنه، ترسیو بوتیل هیدروکینون (۰۰۱بیمام) و TBHQ و مواد صابونی ناشسته، روشن مغز بنه (۰۰۱بیمام) طی ۴۸ ساعت سرخ کردن در دمای ۱۸۰ درجه سانتی گراد

زمان (ساعت)	روغن کاتولا	روغن کاتولا + روشن مغز بنه				زمان (ساعت)	روغن کاتولا
		درصد ۰/۴	درصد ۰/۲	درصد ۰/۱	درصد ۰/۰۵		
۰	۰/۰۰ ± ۰/۲۴M a	۱/۸۸ ± ۰/۲۶Ma	۱/۳۳ ± ۰/۲۰ La	۱/۳۳ ± ۰/۲۰ Ja	۰/۸۸ ± ۰/۲۱La	۰	
۴	۰/۹۶ ± ۰/۵۹ Kb	۰/۹۶ ± ۰/۵۹ KLa	۰/۹۶ ± ۰/۵۹ KLa	۰/۹۶ ± ۰/۵۹ KLa	۰/۹۶ ± ۰/۵۹ KLa	۴	
۸	۱/۲۲ ± ۰/۱۰ Kc	۱/۲۲ ± ۰/۱۰ Kc	۱/۲۲ ± ۰/۱۰ Kc	۱/۲۲ ± ۰/۱۰ Kc	۱/۲۲ ± ۰/۱۰ Kc	۸	
۱۲	۲/۷۵ ± ۰/۲۱ Jd	۲/۷۵ ± ۰/۲۱ Jd	۲/۷۵ ± ۰/۲۱ Jd	۲/۷۵ ± ۰/۲۱ Jd	۲/۷۵ ± ۰/۲۱ Jd	۱۲	
۱۶	۳/۴۴ ± ۰/۲۹ Id	۳/۴۴ ± ۰/۲۹ Id	۳/۴۴ ± ۰/۲۹ Id	۳/۴۴ ± ۰/۲۹ Id	۳/۴۴ ± ۰/۲۹ Id	۱۶	
۲۰	۵/۱۱ ± ۰/۲۶ Hd	۵/۱۱ ± ۰/۲۶ Hd	۵/۱۱ ± ۰/۲۶ Hd	۵/۱۱ ± ۰/۲۶ Hd	۵/۱۱ ± ۰/۲۶ Hd	۲۰	
۲۴	۶/۹۰ ± ۰/۳۹ Ge	۶/۹۰ ± ۰/۳۹ Ge	۶/۹۰ ± ۰/۳۹ Ge	۶/۹۰ ± ۰/۳۹ Ge	۶/۹۰ ± ۰/۳۹ Ge	۲۴	
۲۸	۸/۸۱ ± ۰/۳۰ Ff	۸/۸۱ ± ۰/۳۰ Ff	۸/۸۱ ± ۰/۳۰ Ff	۸/۸۱ ± ۰/۳۰ Ff	۸/۸۱ ± ۰/۳۰ Ff	۲۸	
۳۲	۱۰/۸۹ ± ۰/۱۱ Ee	۱۰/۸۹ ± ۰/۱۱ Ee	۱۰/۸۹ ± ۰/۱۱ Ee	۱۰/۸۹ ± ۰/۱۱ Ee	۱۰/۸۹ ± ۰/۱۱ Ee	۳۲	
۳۶	۱۱/۷۴ ± ۰/۰۶ Dd	۱۱/۷۴ ± ۰/۰۶ Dd	۱۱/۷۴ ± ۰/۰۶ Dd	۱۱/۷۴ ± ۰/۰۶ Dd	۱۱/۷۴ ± ۰/۰۶ Dd	۳۶	
۴۰	۱۲/۶۶ ± ۰/۲۱ Ce	۱۲/۶۶ ± ۰/۲۱ Ce	۱۲/۶۶ ± ۰/۲۱ Ce	۱۲/۶۶ ± ۰/۲۱ Ce	۱۲/۶۶ ± ۰/۲۱ Ce	۴۰	
۴۴	۱۵/۰۵ ± ۰/۳۶ Bd	۱۵/۰۵ ± ۰/۳۶ Bd	۱۵/۰۵ ± ۰/۳۶ Bd	۱۵/۰۵ ± ۰/۳۶ Bd	۱۵/۰۵ ± ۰/۳۶ Bd	۴۴	
۴۸	۱۷/۷۸ ± ۰/۷۷ Ad	۱۷/۷۸ ± ۰/۷۷ Ad	۱۷/۷۸ ± ۰/۷۷ Ad	۱۷/۷۸ ± ۰/۷۷ Ad	۱۷/۷۸ ± ۰/۷۷ Ad	۴۸	

اعداد (±) انحراف استاندارد) دارای حروف بزرگ مشترک در هر ستون از لحاظ آماری تفاوت معنی داری با یکدیگر ندارند (آزمون دانکن،  $P < 0.05$ )

اعداد (±) انحراف استاندارد) دارای حروف کوچک مشترک در هر ردیف از لحاظ آماری تفاوت معنی داری با یکدیگر ندارند (آزمون دانکن،  $P < 0.05$ )

تغییرات مولفه رنگی b (زردی) روغن کانولا تحت تاثیر مقادیر مختلف روغن مغز بنه (۰/۰۵ تا ۰/۴ درصد)، ترکیبات صابونی ناشونده (۱۰۰ پی پی ام) و ترسیوبوتیل هیدروکینون (۱۰۰ پی پی ام) طی ۴۸ ساعت سرخ کردن در دما ۱۸۰ درجه سانتی گراد در جدول ۳ نشان داده شده است. مولفه رنگی b، مشخص کننده طیف رنگی آبی تا زرد است. رنگ زرد روغن به وجود رنگدانه‌های طبیعی کاروتنوئیدی و گزانتوفیلی نسبت داده می‌شود (روکیدا و همکاران، ۲۰۰۱؛ ردی و همکاران، ۲۰۰۱). مولفه رنگی b روغن‌های مورد مطالعه طی فرایند سرخ کردن به‌طور معنی‌داری افزایش یافت، هرچند انتظار می‌رفت این شاخص به دلیل اکسایش رنگدانه‌های نام برده و یا تجزیه آن‌ها طی فرآیند سرخ کردن کاهش یابد. افزایش مولفه رنگی b، به تشکیل کرومان ۵،۶ کینون نسبت داده می‌شود که بر اثر اکسایش جزئی روغن تولید می‌شود و به ایجاد رنگهای قرمز و زرد در روغن منجر می‌گردد (تان و همکاران، ۱۹۸۵؛ سابرامانیا و همکاران، ۲۰۰۰). مولفه رنگی b روغن کانولا طی فرآیند سرخ کردن از ۹/۴۱ به ۳۵/۲۴ (۲۷۴/۵۰ درصد) افزایش یافت. درصدهای مختلف روغن مغز بنه (۰/۰۵ تا ۰/۴ درصد)، ترسیوبوتیل هیدروکینون (۱۰۰ پی پی ام) و مواد صابونی ناشونده (۱۰۰ پی پی ام) از افزایش مولفه رنگی b ممانعت به عمل آوردند (تقریباً ۲۵۲ تا ۱۷۲ درصد). سطوح ۰/۱ درصد روغن مغز بنه، ۱۰۰ پی پی ام ترسیوبوتیل هیدروکینون و مواد صابونی ناشونده به میزان زیادی مانع از افزایش این شاخص طی فرایند سرخ کردن شدند، به طوری که میزان آن به ترتیب از ۹/۱۲، ۹/۲۵ و ۹/۴۳ به ۲۸/۳۷ (۲۱۱/۰۷ درصد)، ۲۵/۱۶ (۱۷۲ درصد) و ۲۵/۹۸ (۱۷۵/۵۰ درصد) افزایش یافت، حال آن که سطوح ۰/۰۵ (۲۲۰/۰۳ درصد)، ۰/۲ (۲۵۲/۲۲ درصد) و ۰/۴ درصدی روغن مغز بنه (۲۴۱/۸۲ درصد) کمتر تاثیرگذار بودند.

شاخص تفاوت کلی رنگ (TCD) روغن کانولا تحت تاثیر مقادیر مختلف روغن مغز بنه (۰/۰۵ تا ۰/۴ درصد)، ترکیبات صابونی ناشونده (۱۰۰ پی پی ام) و ترسیوبوتیل هیدروکینون (۱۰۰ پی پی ام) طی ۴۸ ساعت سرخ کردن در دما ۱۸۰ درجه سانتی گراد در جدول ۴ نشان داده شده است. مقایسه شیب تغییرات معادلات خطی برازش یافته (کمیت A) به‌عنوان معیاری از سرعت افزایش TCD طی فرآیند سرخ کردن بیانگر اختلاف معنی‌دار بین تیمارهای مورد مطالعه بود (جدول ۵). در مجموع، نظر به لحاظ هر سه مولفه رنگی در قالب شاخصی واحد تحت عنوان تفاوت کلی رنگ (TCD)، سطوح ۰/۱ درصد روغن مغز بنه ( $A = ۰/۳۷$ )، ۱۰۰ پی پی ام ترسیوبوتیل هیدروکینون ( $A = ۰/۳۴$ ) و ۱۰۰ پی پی ام ترکیبات صابونی ناشونده ( $A = ۰/۳۶$ ) به طرز معنی‌داری از تغییرات کلی رنگ روغن کانولا

(A= ۰/۶۸) ممانعت به عمل آوردند، حال آن که سطوح ۰/۰۵ (A= ۰/۶۱) و ۰/۲ (A= ۰/۶۱) و ۰/۴ درصدی (A= ۰/۶۳) روغن مغز بنه کمتر تاثیرگذار بودند.

جدول ۵- نتایج محاسبه شده از معادله خطی برازش یافته بر تغییرات شاخص تفاوت کلی رنگ طی ۴۸ ساعت سرخ کردن روغن کانولا تحت تاثیر روغن مغز بنه، ترسیو بوتیل هیدروکینون و مواد صابونی ناشونده روغن مغز بنه در دما ۱۸۰ درجه سانتی گراد.

R <sup>2</sup>	TCD = A(time) + B		
	B ± SE	A ± SE	
			روغن کانولا
			روغن کانولا+روغن مغز بنه
۰/۹۹۰	-۱/۰۴ ± ۰/۰۵c	۰/۶۸ ± ۰/۰۲a	(درصد)
۰/۹۸۶	-۱/۴۴ ± ۰/۰۶bc	۰/۶۱ ± ۰/۰۱b	۰/۰۵
۰/۹۰۵	-۱/۳۲ ± ۰/۰۱۷bc	۰/۳۷ ± ۰/۰۳c	۰/۱
۰/۹۹۲	-۰/۸۰ ± ۰/۰۴۴ bc	۰/۶۱ ± ۰/۰۱b	۰/۲
۰/۹۸۰	-۰/۴۱ ± ۰/۰۴۹ ab	۰/۶۳ ± ۰/۰۲b	۰/۴
۰/۹۵۸	-۰/۰۹ ± ۰/۰۱۷ a	۰/۳۴ ± ۰/۰۱c	روغن کانولا + TBHQ
۰/۹۷۲	-۱/۱۳ ± ۰/۰۵ c	۰/۳۶ ± ۰/۰۲c	(۱۰۰پی پی ام)
			روغن کانولا +
			(۱۰۰پی پی ام) USM

اعداد (± خطا استاندارد) دارای حروف مشترک در هر ستون از لحاظ آماری تفاوت معنی دار با یکدیگر ندارند (آزمون دانکن، P<۰/۰۵). TCD: شاخص تفاوت کلی رنگ، TBHQ: ترسیو بوتیل هیدروکینون، USM: ترکیبات صابونی ناشونده روغن مغز بنه

پایش مقدار کل ترکیبات قطبی، شاخص شیمیایی بسیار مناسبی برای ارزیابی کیفیت روغن‌های سرخ کردنی است (ملتون و همکاران، ۱۹۹۴). میزان اولیه ترکیبات قطبی تاثیر بسزایی بر بروز بدطعمی و همچنین اکسایش اولیه روغن‌های گیاهی دارد (فرهوش و پژوهان مهر، ۲۰۰۹). درصد ترکیبات قطبی روغن‌های تازه معمولاً بین ۰/۴ تا ۶/۴ درصد است (لوملی، ۱۹۸۸). درصد ترکیبات قطبی روغن‌های مورد مطالعه ۳/۷۹ تا ۳/۹۸ درصد بود که این بیانگر کیفیت مناسب آن‌ها بود (جدول ۶).

جدول ۶ - درصد کل ترکیبات قطبی (TPC) روغن کاتولا تحت تاثیر روغن مغز بنه، ترسیوئیل‌هیدروکینون (۱۰۰مجمیم) و (TBHQ) و مواد صابونی‌ناشونده روغن مغز بنه (۱۰۰مجمیم) طی ۴۸ ساعت سرخ کردن در دما ۱۸۰ درجه سانتی‌گراد

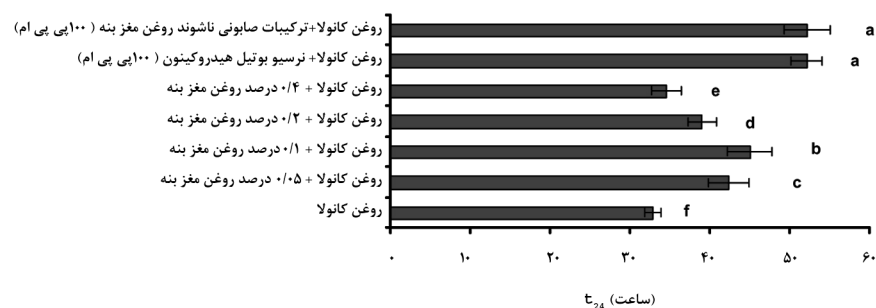
روغن کاتولا + TBHQ	روغن کاتولا + روغن مغز بنه			زمان (ساعت)
	درصد /۴	درصد /۲	درصد /۱۰	
۳۷۸۴ ± ۰/۸۰a J	۳۷۹۹ ± ۰/۲۱۶a K	۳۷۹۸ ± ۰/۴۹ a I	۳۷۹۵ ± ۰/۵۰a J	۰
۳۷۸۶ ± ۱/۳۱ b J	۵۰۰۹ ± ۰/۱۹ ab J	۵۰۰۱ ± ۰/۸۴ ab I	۵۰۲۲ ± ۰/۷۲ a J	۴
۵۶۹۹ ± ۰/۲۵d I	۳۰۰۶ ± ۰/۲۵d J	۸۸۰ ± ۱/۳۴ab H	۷/۱۴ ± ۱/۳۳bcd I	۸
۳۴۶۶ ± ۱/۱۱ d I	۸۰۰۷ ± ۰/۸۳ cd I	۱۰۰۴۲ ± ۱/۲۸ abc H	۱۰/۸۸ ± ۱/۳۳ab H	۱۲
۷۷۱ ± ۰/۵۳ fH	۱۰۰۴۸ ± ۰/۸۷ e H	۱۱/۲۶ ± ۱/۱۵ de F	۱۳/۲۰ ± ۰/۶۵ bc GH	۱۶
۹/۷۷ ± ۰/۵۱e G	۱۱/۵۸ ± ۱/۲۷de G	۱۳/۲۴ ± ۱/۴۴ab G	۱۵/۴۰ ± ۰/۷۰ Bc FG	۲۰
۱۱/۵۵ ± ۰/۳۶e F	۱۳/۱۱ ± ۰/۵۲d F	۱۷/۱۲ ± ۱/۵۰ab F	۱۵/۷۶ ± ۰/۳۳c EF	۲۴
۱۳/۳۳ ± ۰/۵۵e E	۱۴/۸۹ ± ۱/۰۵de E	۱۷/۲۷ ± ۰/۸۲a E	۱۷/۵۳ ± ۱/۱۰b D	۲۸
۱۵/۶۰ ± ۰/۹۰fD	۱۷/۰۶ ± ۰/۵۷fD	۲۲/۷۳ ± ۱/۴۸ab DE	۱۷/۸۶ ± ۱/۱۰de CD	۳۲
۱۷/۷۴ ± ۰/۸۱c C	۱۸/۴۷ ± ۰/۸۰c C	۲۴/۸۴ ± ۱/۴۳ab CD	۱۹/۶۳ ± ۰/۵۹ c C	۳۶
۱۹/۸۹ ± ۰/۷۲ d B	۱۹/۵۰ ± ۰/۵۰ d BC	۳۱/۹۳ ± ۰/۷۸ a BC	۲۱/۷۷ ± ۱/۸۹c B	۴۰
۲۱/۴۲ ± ۰/۱۹e A	۲۰/۵۰ ± ۰/۹۰e B	۳۸/۱۷ ± ۱/۰۱b AB	۲۳/۴۸ ± ۱/۲۰ d AB	۴۴
۲۲/۲۲ ± ۰/۲۴ e A	۲۱/۸۷ ± ۰/۴۱ e A	۳۰/۶۵ ± ۰/۸۸ b A	۲۴/۱۵ ± ۱/۲۷ d A	۴۸

اعداد (±) انحراف استاندارد) دارای حروف بزرگ مشترک در هر ستون از لحاظ آماری تفاوت معنی‌داری با یکدیگر ندارند (آزمون دانکن،  $P < 0.05$ )

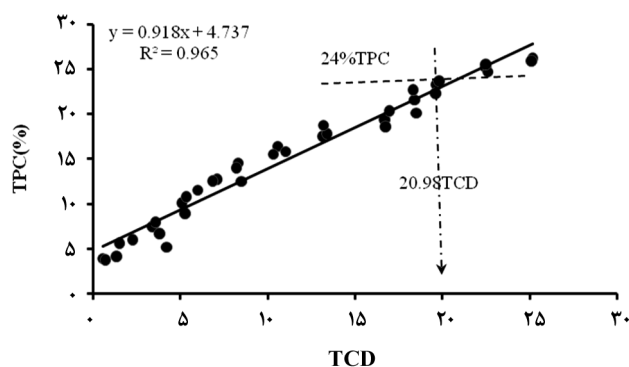
اعداد (±) انحراف استاندارد) دارای حروف کوچک مشترک در هر ردیف از لحاظ آماری تفاوت معنی‌داری با یکدیگر ندارند (آزمون دانکن،  $P < 0.05$ )

مقدار کل ترکیبات قطبی روغن‌های مورد مطالعه طی ۴۸ ساعت فرآیند سرخ کردن به صورت خطی افزایش پیدا کرد (ضریب تبیین بیش از ۰/۹۶). سرعت افزایش درصد کل ترکیبات قطبی در نمونه‌های مختلف به‌طور معنی‌داری متفاوت بود. بررسی‌ها نشان داده است ترکیبات قطبی جدا شده از روغن‌های اکسیده دارای آثار سمی بسیار شدیدی بر حیوانات آزمایشگاهی هستند (پانتزاریس، ۱۹۹۸). بنابراین، روغن‌های سرخ کردنی که میزان ترکیبات قطبی آن‌ها طی فرآیند سرخ کردن به ۲۴ تا ۲۷ درصد برسد، دور ریخته می‌شوند (فایرستون، ۱۹۹۳). 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 برای پایداری در نظر گرفته شد ( $t_{24}$ ). همان‌طور که در شکل ۱ مشاهده می‌شود، اختلاف معنی‌داری بین مقادیر  $t_{24}$  روغن کانولا و روغن کانولای حاوی درصد‌های مختلف روغن مغز بنه، ترسیوبوتیل هیدروکینون و ترکیبات صابونی‌ناشونده وجود داشت. کمیت  $t_{24}$  روغن کانولا ۳۲/۸۲ ساعت بود که تحت تاثیر درصد‌های مختلف روغن مغز بنه (۳۴/۵۸ تا ۴۵/۰۵ ساعت)، ترسیوبوتیل هیدروکینون (۵۲/۱۲ ساعت) و ترکیبات صابونی‌ناشونده (۵۲/۱۴ ساعت) افزایش یافت. همان‌طور که در شکل ۱ مشاهده می‌شود، کارایی نمونه‌های حاوی ۰/۱ درصد روغن مغز بنه، ۱۰۰ پی‌پی‌ام آنتی‌اکسیدان سنتزی ترسیوبوتیل هیدروکینون و ۱۰۰ پی‌پی‌ام مواد صابونی‌ناشونده در افزایش پایداری روغن کانولا بسیار قابل ملاحظه بود و همچنین کارایی ترکیبات صابونی‌ناشونده مشابه ترسیوبوتیل هیدروکینون بود. این پدیده را می‌توان به وجود ترکیبات پلی فنلی، توکوفرولی و استرولی موجود در روغن مغز بنه و ترکیبات صابونی‌ناشونده آن نسبت داد که از اکسایش روغن تا حد زیادی جلوگیری می‌نمایند. به‌منظور بررسی رابطه میان TCD (شاخصی فیزیکی) و TPC (شاخصی شیمیایی)، داده‌های آزمایشی مربوطه در مقابل یکدیگر ترسیم شدند. همچنان که در شکل ۲ مشاهده می‌شود، منحنی تغییرات دو شاخص مزبور در طول ۴۸ ساعت سرخ کردن دارای روندی خطی با ضریب همبستگی بالا بود ( $R^2 = 0/965$ ). بر این اساس، حد قابل قبول ۲۴ درصد ترکیبات قطبی تقریباً معادل میزان ۲۰/۹۸ برای TCD محاسبه شد.





شکل ۱- زمان لازم برای رسیدن مقدار ترکیبات قطبی به عدد ۲۴ درصد (T<sub>24</sub>) در خصوص روغن کانولا و روغن کانولای حاوی درصدهای مختلف روغن مغز بنه (۰/۰۵ تا ۰/۴ درصد)، ترسیو بوتیل هیدروکینون (۱۰۰ پی پی ام) و مواد صابونی ناشونده (۱۰۰ پی پی ام). ستون‌های دارای حروف مشترک از لحاظ آماری تفاوت معنی‌داری با یکدیگر ندارند.



شکل ۲- رابطه میان شاخص تفاوت کلی رنگ (TCD) با درصد میزان کل ترکیبات قطبی (TPC) در خصوص روغن کانولا و روغن کانولای حاوی درصدهای مختلف روغن مغز بنه (۰/۰۵ تا ۰/۴ درصد)، ترسیو بوتیل هیدروکینون (۱۰۰ پی پی ام) و مواد صابونی ناشونده (۱۰۰ پی پی ام) و کمیت بحرانی آن‌ها برای دورریزی بر حسب حد قابل قبول ۲۴ درصد ترکیبات قطبی.

## منابع

- ۱- بخش آمار و اطلاعات اداره منابع طبیعی و جنگلداری استان فارس. ۱۳۸۷.
- Al-Kahtani, H.A. (1991). Survey of quality of used frying oils from restaurants. *J. Am. Oil Chem. Soc.* 68, 857–862.
  - AOCS. (1993). *Official Methods and Recommended Practices of the American Oil Chemists' Society*. AOCS Press, Champaign, IL.
  - Belbin, A.A. (1993). Color in oils. *Inform* 4, 648-654. Bosku, D., and Morton, I.D. (1976). Effect of plant sterols on the rate of deterioration of heated oils. *Journal Science Food Agricultural*, 27, 928–932.
  - Carr, R.A. (1991). Development of deep frying fats. *Food Technology*, 45, 95–96.
  - 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 pharmaceut Science*, 92, 475–484.
  - Choe, E., and Min D.B. (2007). Chemistry of deep-fat frying oils. *Journal Food Science*, 72, 77–86.
  - Daneshrad, A., and Aynechi, Y. (1980). Chemical studies of the oil from pistachio nuts growing wild in Iran. *Journal American Oil Chemistry Society*, 57, 248–249.
  - Farhoosh, R., Niazmand, R., Rezaei, M., and Sarabi, M. (2008a). Kinetic parameter determination of vegetable oil oxidation under Rancimat test conditions. *European Journal Lipid Science Technology*. 110, 587–592.
  - 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. (2008b). Chemical composition and oxidative stability of kernel oils from two current subspecies of *Pistacia atlantica* in Iran. *Journal American Oil Chemistry Society*, 85, 723–729.
  - Fengxia, S., and Zhanming, Z.h. (2001). Determination of oil color by image analysis. *Journal American Oil Chemistry Society*, 78, 749–752.
  - Firestone, D. (1993). Worldwide regulation of frying fats and oils. *Inform*, 4, 1366–1371.
  - Firestone, D. 2007. Regulation of frying fat and oil. In: *Deep Frying: Chemistry, Nutrition and Practical Applications*. Perkins, E.G., & Erickson, M.D. AOCS Press, Champaign Illinois, USA.
  - Fritsch, C.W. (1981). Measurement of frying fat deterioration. *Journal American Oil Chemistry Society*, 58, 272–274.
  - Gertz, C. (2000). Chemical and physical parameters as quality indicators of used frying fats. *European Journal Lipid Science Technology*, 102, 566–572.

17. Gertz, C. (2001). Routine analysis of deep-frying fats and oils. *Lipid Technology*, 13, 44–47.
18. 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.
19. Guillaumin, R. (1988). In: *Frying of food: Principles, Changes, New Approaches*. Eds. Varela, G., Bender, A.E., Morton, I.D. Ellis Horwood, Chichester, 141–154.
20. Innawong, B., Mallikrjunan, P., and Marcy, J.E. (2004). The determination of frying oil quality using a chemosensory system. *Lebensm.-Wiss. u.-Technol.* 37, 35–41.
21. Kit, L.Y. and Spyridon, P.E. (2004). A digital imaging method for measuring and analyzing color of surfaces. *Journal Food Engerring*, 61, 137–142.
22. Krokida, M.K., Orepoulou, V., Maroulis, Z.B., and Marinou-Kouris, D. (2001). Colour changes during deep fat frying. *Journal Food Engerring*. 48, 219–225.
23. Lozano, Y.F., Dhuique Mayer, C., Bannon, C., and Gaydou, E.M. (1993). Unsaponifiable matter, total sterol and tocopherol contents of avocado oil varieties. *Journal American Oil Chemistry Society*, 70, 561–565.
24. Lumley, I.D. (1988). Polar compounds in heated oils. In G. Varela, A.E. Bender, and I. D. Morton (Eds.), *Frying of Food. Principles, changes, new approaches* (pp. 166–173), Chichester: Ellis Horwood Ltd.
25. Matthaus, B. (2002). Antioxidant activity of extracts obtained from residues of different oilseeds. *Journal American Oil Chemistry Society*, 50, 3444–3452.
26. Melton, S.L., Jafar, S., Sykes, D., and Trigiano, M.K. (1994). Review of stability measurements for frying oils and fried food flavor. *Journal American Oil Chemistry Society*, 71, 1301–1308.
27. Namiki, M. (1990). Antioxidant/antimutagens in food. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 29, 273–300.
28. Orthoefer, F.T., Gurkin, S., and Liu, K. (1996). Dynamics of frying. In: *Deep Frying: Chemistry, Nutrition, and Practical Applications*. Perkins E.G., and Erickson, M.D. AOCS Press, Champaign Illinois, USA.
29. Pantzaris, T.P. (1998). Comparison of monounsaturated and polyunsaturated oils in continuous frying. *Gras. Aceit.* 49, 319–352.
30. 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 Chemist's Society, Washington, DC.
31. Reddy, K.K., Subramanian, R., Kawatkatu, T., and Nakajima, M. (2001). Decolorization of vegetable oils by membrane processing. *Journal American Oil Chemistry Society*. 213, 212–218.
32. Sahin, S. (2000). Effects of frying parameters on the colour development of fried potatoes. *European Food Research Technology*, 211, 165–168.

33. Schulte, E. (2004). Economical micromethod for determination of polar components in frying fats. *European Journal Lipid Science Technology*, 106, 772–776.
34. Shantha, N.C., and Decker, E.A. (1994). Rapid, sensitive, iron-based spectrophotometric methods for determination of peroxide values of food lipids. *Journal AOAC International*, 77, 21–424.
35. Sims, R.J., Fioriti, J.A., and Kanuk, M. (1972). Sterol additives as polymerization inhibitors in frying oils. *Journal American Oil Chemistry Society*, 49, 298–301.
36. Stevenson, S.G., Vaisey-Genser, M., and Eskin, N.A.M. (1984). Quality control in the use of deep frying oils. *Journal American Oil Chemistry Society*, 61, 1102–1108.
37. Subramanian, R., Nandini, K.E., Shella, P.M., Gopalakrishna, A.G., Raghav Rao, K.S.M.S, Nakajima, M., Kimura, T., and Maekawa, T. (2000) Membrane processing of used frying oils, *Journal American Oil Chemistry Society*, 77, 323–328.
38. Tan, Y.A., Ong, S.A., Berger, K.G., Oon, H.H., and Poh, B.L. (1985). A study of the cause of rapid color development of heated refined palm oil, *Journal American Oil Chemistry Society*, 62, 999–1006.
39. Tyagi V.K., and Vasishta, A.K. (1996). Changes in the characteristics and composition of oils during deep-fat frying. *Journal American Oil Chemistry Society*, 73, 499–506.
40. 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 American Oil Chemistry Society*, 34, 1–5.
41. Warner, K., and Knowlton, S. (1997). Frying quality and oxidative stability of high oleic corn oils. *Journal American Oil Chemistry Society*, 74, 1317–1322.
42. White, P.J. (1991). Methods for measuring changes in deep-fat frying oils. *Food Technology*, 45, 75–80.
43. Xu, X.-Q. (2003a). A chromatometric method for the rapid assessment of deep frying oil quality. *Journal Science Food Agricultural*, 83, 1293–1296.
44. Xu, X.-Q. (2003b). Method for the rapid assessment of deep frying oil quality. *Journal American Oil Chemistry Society*, 77, 1083–1086.
45. Yagmur, A., Aserin, A., Mizrahi, Y., Nerd, A., and Garti, N. (2001). Evaluation of argan oil for deep fat frying. *Lebensm.-Wiss. u.-Technology*, 34, 124–130.

## Investigation on the frying stability of canola oil as affected by bene kernel oil and its unsaponifiable matters fraction using colour changes measured by the method of image processing

P. Sharayei<sup>1</sup>, \*R. Farhoosh<sup>2</sup>, H. pourazrang<sup>3</sup> and  
M.H. Haddad Khodaparast<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Ph.D. student, Dept. of Food Science and Technology, Ferdowsi University of Mashhad, and Assistant Prof. of Khorasan Agriculture and Natural Resources Research Center,

<sup>2</sup>Associate Prof., Dept. of Food Science and Technology, Ferdowsi University of Mashhad,

<sup>3</sup>Professor, Dept. of Food Science and Technology, Ferdowsi University of Mashhad

Received: 2009-4-30; Accepted: 2009-12-13

### Abstract

The changes in color (L, a, b and total colour difference, TCD) of canola oil (CAO) as affected by bene kernel oil (BKO, 0.05-0.4%) and its unsaponifiable matters (USM, 100 ppm) fraction during 48 h frying process at 180 °C was compared with *tert*-butylhydroquinone (TBHQ, 100ppm) by the method of image processing. The BKO, TBHQ or USM were significantly capable of lowering the darkness (lowering L value), redness (increasing a value), yellowness (increasing b value), TCD, and total polar compounds (TPC) content of the CAO during the frying process. The efficiency of samples containing 100 ppm USM and 0.1% BKO was the same as or much better than that of 100 ppm TBHQ. There was a strong correlation ( $R^2=0.965$ ) between the TPC content and TCD of the oils studied. Assuming that the maximum level of TPC content permitted in frying oils is 24%, the TCD of the oils studied should be  $\leq 20.98$ .

**Keywords:** Bene kernel oil; Canola oil; Deep frying; Image processing; *tert*-butylhydroquinone; Stability; unsaponifiable matters

---

\*Corresponding author; E-mail: rfarhoosh@um.ac.ir

