مجله علوم و صنایع غذایی ایران

سایت مجله: www.fsct.modares.ac.ir

مقاله علمی_پژوهشی

بهبود پایداری اکسایشی روغن آفتابگردان با استفاده از روغن پوست بنه در مقادیر بسیار کم

جواد توکلی[1*]، نگار رزمخواه [2]، معصومه رنجبر[3]

۱- نویسنده مسئول، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه جهرم، جهرم، فارس، ایران.

۲- گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه جهرم، جهرم، فارس، ایران.

۳- آزمایشگاه کنترل غذا و دارو، دانشگاه علوم پزشکی جهرم، جهرم، فارس، ایران.

اطلاعات مقاله

تاریخ های مقاله :

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۳/۲۲

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۶/۱۳

کلمات کلیدی:

آنتی‌اکسیدان طبیعی،

اکسایش،

روغن خوراکی،

آنتی‌اکسیدان سنتزی،

فعالیت آنتی‌اکسیدانی

DOI:10.22034/FSCT.22.159.1.

* مسئول مکاتبات:

ja_tavakoli@yahoo.com

javadtavakoli@jahromu.ac.ir

چکیده

در تحقیق حاضر، اثر مقادیر مختلف روغن پوست بنه (۰/۰۵ تا ۰/۵ درصد) بر پایداری اکسایشی روغن آفتابگردان تصفیه‌شده طی ۸ ساعت فرایند حرارتی در ۱۷۰ درجه‌سانتیگراد بررسی شد که از آنتی‌اکسیدان سنتزی TBHQ به میزان ۱۰۰ پی‌پی‌ام جهت مقایسه استفاده گردید. بررسی نتایج آزمونهای مختلف پایداری اکسایشی (عدد پراکسید، اندیس آنیزیدین، اندیس توتوکس، عدد دی-ان‌مزدوج و عدد اسیدی) نشان‌داد که استفاده از روغن پوست بنه باعث بهبود پایداری اکسایشی روغن آفتابگردان شد. بهترین شرایط پایداری اکسایشی در روغن آفتابگردان حاوی ۰/۰۵درصد روغن پوست بنه مشاهده شد و بعد از ان نمونه روغن حاوی ۰/۱ درصد روغن پوست بنه قرار داشت که هر دو دارای اثر آنتی‌اکسیدانی برتر از TBHQ بودند. به منظور تفسیر بهتر نتایج آزمونهای پایداری اکسایشی، تغییرات ترکیبات توکوفرولی و پلی‌فنلی به عنوان دو ترکیب آنتی-اکسیدانی شاخص طی فرایند حرارتی بررسی شد. نتایج نشان داد بین تغییرات این ترکیبات و آزمونهای پایداری اکسایشی ارتباط وجود ندارد. نمونه حاوی TBHQ دارای بیشترین اثر حفاظتی بر ترکیبات آنتی‌اکسیدانی بود که به علت ایجاد حالت پراکسیدانی ناشی از افزایش آنتی‌اکسیدانها، باعث کاهش پایداری اکسایشی روغن آفتابگردان شد. همچنین بررسی تغییرات فعالیت آنتی-اکسیدانی طی فرایند حرارتی به کمک دو آزمون قدرت مهارکنندگی رادیکال آزاد و رنسیمت نیز نشان داد که نمونه روغن آفتابگردان حاوی ۰/۰۵ درصد روغن پوست بنه بهترین شرایط را داشت که با نتایج آزمونهای پایداری اکسایشی همخوانی داشت.. ارزش این نتایج زمانی مشخص می‌شود که روغن پوست بنه در مقایسه با TBHQ اصلا خالص نبود.

۱-مقدمه

روغن‌های گیاهی بخش مهمی از محصولات غذایی مصرفی انسانها هستند. این روغن¬ها به عنوان حامل ویتامین های محلول در چربی و منبع انرژی و اسیدهای چرب ضروری برای انسان، مانند اسیدهای لینولئیک و لینولنیک بوده و نقش مهمی در تغذیه انسان دارند[۱]. یکی از مشکلاتی‌که روغنهای خوراکی با آن مواجه هستند، اکسیداسیون آنها می-باشد. جهت جلوگیری از این واکنش از ترکیبات آنتی-اکسیدانی استفاده می‌شود. آنتی‌اکسیدانهای شیمیایی بیشترین کاربرد را در روغنهای خوراکی دارا هستند [۲]. با توسعه استانداردهای زندگی مردم، آنها به طور فزاینده ای علاقه‌مند به استفاده از آنتی اکسیدان های طبیعی برای جلوگیری از سمیت بالقوه آنتی اکسیدان های مصنوعی مانند TBHQ هستند [۳]. به همین منظور، تحقیقات فراوانی در جهت شناسایی آنتی‌اکسیدانهای طبیعی صورت گرفته است. اما استفاده از آنتی‌اکسیدانهای طبیعی به جای آنتی‌اکسیدانهای شیمیایی دارای مشکلاتی است. اکثراین آنتی‌اکسیدانها پایداری مناسبی ندارند. ممکن است در لحظات ابتدایی استخراج، دارای فعالیت آنتی‌اکسیدانی مناسبی باشند، اما در طول زمان و به خصوص طی فرایند حرارتی نمی‌توانند، قدرت آنتی‌اکسیدانی مناسبی از خود نشان دهند. مشکل دیگر استفاده از این آنتی‌اکسیدانها، هزینه بالای تهیه و استخراج آنها است که باعث می‌شود از نظر اقتصادی جهت استفاده صنعتی، مقرون به صرفه نباشند [٤] . در این راستا، گونه های گیاهی متعددی با خواص آنتی اکسیدانی متفاوت در ایران شناسایی شده است [۷-۵]. در سالهای گذشته تحقیقات مختلفی در مورد روغن پوست بنه انجام شده است که همگی بیانگر قدرت آنتی‌اکسیدانی بسیار بالا این روغن طی فرایند حرارتی در دمای بالا است [۵، ۱۰-۸]. بنه یکی از منابع طبیعی خدادادی کشور ایران است که میوه آن از سه قسمت پوست چرب بیرونی، پوست چوبی داخلی و مغز تشکیل شده است. انتشار بنه از جزایر قناری و کشورهای ساحل دریای مدیترانه شروع می شود و تا آسیای صغیر، سوریه، قفقاز، ایران وافغانستان امتداد می یابد. در ایران، بنه در حد فاصل استان های فارس و کردستان به صورت انبوه و در بقیه نقاط کشور به صورت پراکنده دیده می شود وسعت درختان بنه در ایران، حدود یک‌میلیون و دویست هزار هکتار است [۱۱]. پوست بنه حدود ۲۵ درصد میوه بنه را تشکیل می¬دهد که حدود ۳۵ درصد روغن دارد. فرهوش و همکاران گزارش کردند که روغن پوست بنه،به عنوان منبع جدیدی از روغن‌های گیاهی بسیار پایدار و آنتی اکسیدانی اخیراً به دنیا معرفی شده است [۹]. همچنین بر اساس نتایج شریف و همکاران، می‌توان روغن پوست بنه را مستقیما به عنوان یک آنتی‌اکسیدان طبیعی به روغنهای خوراکی اضافه کرد. در این تحقیق مشخص شد روغن پوست بنه در مقایسه با روغن های بسیار پایدار کنجد و سبوس برنج، باعث بیشترین بهبود در پایداری اکسایشی روغن آفتابگردان شد که از مقادیر بین ۲ تا ۸ درصد روغن پوست بنه استفاده شد. بر اساس نتایج مشخص گردید این روغن در مقادیر ۲ درصد بیشترین فعالیت آنتی¬اکسیدانی را در روغن افتابگردان دارا بود [۸]. البته طی این پژوهش، محققین به این نکته توجه نکرده بودند که استفاده از مقادیر ۲ تا ۸ درصد روغن پوست بنه خام در روغن آفتابگردان دارای مشکلاتی است: روغن پوست بنه به حالت تصفیه نشده و خام استفاده شده است و مانند سایر روغنها در حالت تصفیه نشده، دارای ناخالصی های نامناسب مانند موم و فسفولیپیدها است که استفاده از مقادیر بالا روغن پوست بنه باعث کاهش کیفیت روغن

افتابگردان تصفیه شده می‌شوند. همچنین روغن پوست بنه خام،دارای بوی تند است و اضافه کردن آن در مقادیر بالا باعث کاهش بازار پسندی روغن افتابگردان می‌شود. از طرف دیگر برتر بودن روغن پوست بنه در کمترین مقدار در این تحقیق (۲ درصد)، بیانگر این نکته می‌باشد که ممکن است این روغن در مقادیر پایین‌تر دارای اثر آنتی‌اکسیدانی بهتر باشد. از طرف دیگر باید ذکر شود، با وجود وسعت فراوان درختان بنه در ایران و شناسایی قدرت آنتی‌اکسیدانی بسیار بالا آن، می‌توان روغن پوست بنه را به عنوان یک آنتی- اکسیدان طبیعی موثر در روغنهای خوراکی دیگر استفاده کرد. از نظر هزینه استخراج نیز چون این روغن به صورت مستقیم به روغنهای دیگر اضافه می‌شوند و به فراکسیون‌های مختلف تبدیل نمی‌شود، مقرون به صرفه است. بنابراین با توجه به نکات ذکر شده، در پژوهش حاضر تصمیم گرفته شد از روغن پوست بنه در مقدار کمتر از ۰.۵ درصد جهت جایگزینی آنتی¬اکسیدان سنتزی TBHQ در روغن آفتابگردان طی فرایند حرارتی در ۱۷۰ درجه سانتیگراداستفاده شود.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- مواد

میوه درخت بنه از جنگل‌های شهرستان میمند در استان فارس (پاییز ۲۰۱۹) جمع‌اوری و تا زمان استخراج روغن، در فریزر ٤ درجه سانتیگراد نگهداری شد. روغن آفتابگردان تصفیه شده نیز از کارخانه روغن کشت و صنعت گلستان دزفول تهیه شد. همه استانداردها، مواد شیمیایی و حلال‌ها از شرکت های سیگما و مرک تهیه گردید.

۲-۲- استخراج روغن پوست بنه

ابتدا میوه بنه در دمای محیط در سایه خشک و سپس پوست سبز آن با فرایند سایش به کمک دستگاه آسیاب جدا شد. در مرحله بعد روغن پوست بنه با استفاده از حلال هگزان (نسبت ۱به ٤) استخراج شد، سپس به کمک آون خلا حلال جدا گردید و در ظروف تیره رنگ حاوی نیتروژن در دمای ٤ درجه سانتیگراد نگهداری شد[۱۱].

۲-۳- فرایند حرارتی

ابتدا تیمارهای مختلف روغن آفتابگردان با استفاده از مقادیر ۰/۰۵، ۰/۱، ۰/۲، ۰/۳۵ و ۰/۵ درصد روغن پوست بنه و ۱۰۰ پی‌پی‌ام TBHQ آماده شد. سپس ۸۰۰ گرم از هر نمونه روغن را درون بشر ریخته و در یک آون قرار داده¬شد و در دمای ۱۷۰ درجه سانتیگراد به مدت ۸ ساعت حفظ شد. در فواصل زمانی ۲ ساعت، ۵۰ گرم نمونه برای بررسی آزمون¬های مختلف برداشت شد [۷، ۱۲].

۲-٤- ساختار اسید چربی

ترکیب اسید چربی نمونه روغن به وسیله کروماتوگرافی گاز- مایع تعیین شد و بر اساس درصد نسبی سطوح گزارش شد. استرهای متیل اسیدهای چرب با اختلاط روغن و هگزان (۰/۳ گرم در ۷ میلی لیتر) با هفت میلی‌لیتر هیدروکسید پتاسیم متانولی دو نرمال در دمای ۵۰ درجه سانتیگراد به مدت ۱۵ دقیقه تهیه شدند. استرهای اسیدهای چرب با کروماتوگراف HP-5890 (Hewlett-Packard, CA,USA) مجهز به ستون‌های مویینه CP-FIL88 شیشه‌ای سیلیکا (٦۰ متر طول، ۰/۲۲ میلی‌متر قطر داخلی، ۰/۲ میکرومتر ضخامت لایه داخلی) و آشکار ساز یونی شعله‌ای شناسایی گردیدند. گاز هلیم به عنوان گاز حامل با سرعت جریان ۰/۷ میلی لیتر بر دقیقه استفاده شد. دمای آون، بخش تزریق و آشکارساز به

ترتیب ۱۹۸، ۲۸۰و ۲۵۰ درجه سانتیگراد بود. آزمایش ها در سه تکرار انجام شدند[٤].

۲-۵- عدد اسیدی، عدد پراکسید، اندیس آنیزیدین، اندیس توتوگس و عدد دی‌ان‌مزدوج

عدد اسیدی و عدد پراکسید به روش توضیح داده شده توسط توکلی و همکاران اندازه گیری شد [۱۳]. ، اندیس آنیزیدین و عدد دی‌ان‌مزدوج نمونه‌های مختلف روغن نیز به ترتیب بر اساس روش توضیح داده شده توسط روشن‌پور و همکاران [١٤] و توکلی و همکاران [۹] انجام شد. اندیس توتوکس نیز بر اساس فرمول زیر محاسبه شد:

$$\text{اندیس توتوکس} = (\text{عدد پراکسید} \times 2) + (\text{اندیس آنیزیدین})$$

۲-٦- مواد صابونی ناشونده، ترکیبات پلی‌فنلی، توکوفرولی و استرولی

میزان مواد صابونی‌ناشونده روغنهای مطالعه شده در این پژوهش به روش لزانو و همکاران انجام شد [۱۵].مقدار ترکیبات پلی¬فنلی کل به روش توضیح¬داده¬شده توسط اسفهلان و همکاران براساس اسید گالیک تعیین شدند [١٦]. در این روش از معرف فولین سیوکالچو استفاده شد. مقدار ترکیبات توکوفرولی نیز به روش توکلی و همکاران تعیین شدند [۱۳].

۲-۸- اندازه گیری قدرت مهار کنندگی رادیکال آزاد DPPH [1]

قدرت مهارکنندگی رادیکال آزاد DPPH روغن های مطالعه شده در این پژوهش به روش توضیح داده شده توسط ییم و همکاران تعیین شد [۱۷].

۲-۹- اندازه گیری شاخص پایداری اکسایشی با کمک دستگاه رنسیمت

برای تعیین قدرت اکسایشی نمونه‌های مختلف روغن، از دستگاه رنسیمت (شرکت Metrohm، مدل ۷٤۳)استفاده شد به این ترتیب که ۳ گرم روغن، در دمای ۱۱۰ درجه سانتیگراد با سرعت جریان هوا ۱۵ لیتر بر ساعت مورد آزمایش قرارگرفت. داده‌های به دست آمده بر مبنای شاخص پایداری اکسایشی روغن (ساعت) مقایسه شدند [۱۸].

۲-۱۰- تجزیه و تحلیل آماری

کلیه آزمایش های مربوط به ویژگیهای شیمیایی اولیه در قالب طرح آزمایشی کاملاً تصادفی در سه تکرار انجام شدند. همچنین آزمایشهای طی فرایند حرارتی با سه تکرار و ۷ تیمار در قالب طرح کرت¬های خردشده دانکن انجام شد. میانگین ها با نرم¬افزار MStatC و بر اساس آزمون دانکن در سطح پنج درصد ($p < ۰/۰۵$) مقایسه شدند. نمودارها با نرم افزار Microsoft Excel ترسیم گردیدند.

۳- بحث و نتیجه‌گیری

۱-۳- بررسی برخی ویژگیهای شیمیایی اولیه روغن پوست بنه

برخی ویژگیهای اولیه روغنهای پوست بنه و آفتابگردان در جدول ۱ ذکر شده است. همانگونه که مشخص است،

1 -2,2- Diphenyl-1-picrylhydrazyl

اسیدهای چرب اولئیک (۵۱.۸٪)، پالمیتیک (۲۱.۲۵٪) و لینولئیک (۸.۷۱٪) سه اسید چرب اصلی روغن پوست بنه بودند، در صورتیکه در روغن آفتابگردان اسیدهای چرب لینولئیک (٥٤.٤٪)، اولئیک (۲۷.۸٪)و پالمیتیک (۸.٦٪) این شرایط را داشتند. همچنین میزان مواد صابونی‌ناشونده درروغنهای آفتابگردان و پوست بنه به ترتیب ۰/٦٥ و ۲/۱ درصد تعیین شد. با توجه به اینکه در تحقیق حاضر،روغن خام پوست بنه، به عنوان آنتی‌اکسیدان به روغن آفتابگردان اضافه شد، بالا بودن مواد صابونی‌ناشونده به عنوان منبع اصلی ترکیبات آنتی‌اکسیدانی نقش مهمی در بهبود پایداری اکسایشی این روغن دارد. میزان این مواد در روغنهای سبوس برنج خام، ذرت، کنجد، سویا خام، کانولا، زیتون بکر و پنبه دانه به ترتیب ٤/۲، حداکثر ۲/۸، ۰/۹ تا ۲/۳، ۱/٦، حداکثر ۲، ۰ تا ۱/۵ و ۰/۵ تا ۰/۷ درصد گزارش شده است [۱۹]. بنابراین مشخص شد که میزان مواد صابونی‌ناشونده در روغن پوست بنه نسبت به اکثر روغنهای خوراکی رایج در شرایط مناسبی قرار داشت. همچنین میزان ترکیبات توکوفرولی و فنلی کل روغن پوست بنه به ترتیب ۷۳٤ و ۸٦ میلی‌گرم بر میلی‌لیتر تعیین شد. مقدار توکوفرولها در روغن گردو، پنبه دانه، کانولا، زیتون، نخل، بادام زمینی، سویا و آفتابگردان به ترتیب ۸۳۰، ۱۵۰۰ تا ۹۰۰، ٦۹۰ تا ٦۹۵، ۳۰ تا ۳۰۰، ۳٦۰ تا ۵٦۰، ۳۳۰ تا ٤۸۰، ۹۰۰ تا ۱٤۰۰و ٦۳۰ تا ۷۰۰ میلی گرم بر کیلوگرم روغن گزارش شده است [۱۹] که مشخص شد، میزان این ترکیبات در روغن پوست بنه در شرایط مناسبی قرار داشت.

۲-۳- بررسی اثر روغن پوست بنه بر ویژگیهای مختلف روغن آفتابگردان تصفیه‌شده طی فرایند حرارتی

روغن خام پوست بنه در مقادیر ۰/۰۵، ۰/۱، ۰/۲، ۰/۳۵ و ۰/۵ درصد به عنوان آنتی‌اکسیدان به روغن آفتابگردان اضافه گردید تا اثر آن بر پایداری اکسایشی، فعالیت آنتی‌اکسیدانی و برخی ویژگیهای شیمیایی روغن آفتابگردان طی ۸ ساعت فرایند حرارتی در ۱۷۰ درجه‌سانتیگراد مشخص شود. آنتی-اکسیدان سنتزی TBHQ به میزان ۱۰۰ پی‌پی‌ام جهت مقایسه با فعالیت آنتی‌اکسیدانی روغن پوست بنه استفاده شد. به این منظور آزمونهای عدد اسیدی، عدد پراکسید، اندیس آنیزیدین، اندیس توتوکس، عدد دی‌ان‌مزدوج، ترکیبات توکوفرولی کل، ترکیبات فنلی کل، قدرت مهارکنندگی رادیکال آزاد DPPH و شاخص پایداری اکسایشی (رنسیمت) انجام شد.

۱-۲-۳- تغییرات پایداری اکسایشی طی فرایند حرارتی

شکل ۱، تاثیر اضافه کردن مقادیر مختلف روغن پوست بنه بر تغییرات عدد اسیدی روغن آفتابگردان طی ۸ ساعت فرایند حرارتی در ۱۷۰ درجه سانتیگراد را نشان می‌دهد. عدد اسیدی نماد هیدرولیز تری‌گلیسیریدها به اسیدهای چرب آزاد است. با آزاد شدن اسیدهای چرب از ساختمان تری-گلیسیریدها، سرعت اکسایش آنها به‌صورت تصاعدی افزایش پیدا می‌کند و به ایجاد بدطعمی در روغن و محصول سرخ شده منجر می‌شود [۲]. در تحقیق حاضر عدد اسید نمونه‌های مختلف روغن آفتابگردان در لحظه صفر اختلاف معنی‌داری نداشت. اما پس از ۸ ساعت فرایند حرارتی شرایط متفاوت بود. همانگونه که مشخص است، میزان افزایش عدد اسیدی روغن آفتابگردان خالص و نمونه‌های روغن آفتابگردان حاوی ۰/۰۵، ۰/۱، ۰/۲، ۰/۳۵ و ۰/۵ درصد روغن پوست بنه و ۱۰۰ پی‌پی‌ام TBHQ پس از ۸ ساعت فرایند حرارتی نسبت به لحظه صفر به ترتیب ۲۸۱/۸، ۹۳/۷، ۸۷/۵، ۸۳/٦، ۷٦/۷، ۱۵۸/۵ و ۰/۱۲درصد تعیین شد. این

نتایج نشان داد که آنتی‌اکسیدان سنتزی TBHQ بهترین شرایط را از نظر آزمون عدد اسیدی در روغن آفتابگردان ایجاد کرد و بعد از آن به ترتیب روغن پوست بنه در سطوح ۰/۳۵، ۰/۲، ۰/۱، ۰/۰۵ و ۰/۵ درصد قرار داشتند. بر اساس استاندارد شماره 210-1999 کدکس، میزان عدد اسیدی روغنهای خوراکی جهت مصرف باید کمتر از ۰/٦ باشد [۲۰]. بنابراین در پایان فرایند حرارتی، عدد اسیدی تمامی نمونه‌های مطالعه شده دراین پژوهش به جز روغن آفتابگردان خالص و نمونه روغن حاوی ۰/۵درصد روغن پوست بنه، کمتر از ۰/٦ بود که نشان دهنده شرایط مناسب تیمارهای روغن ذکر شده بود. در تحقیق حاضر با افزایش غلظت روغن پوست بنه در روغن آفتابگردان تا سطح ۰/۳۵ درصد، مقاومت به تشکیل اسیدهای چرب آزاد بیشتر شد، اما با افزایش سطح روغن پوست بنه از ۰/۳۵ درصد به ۰/۵درصد شرایط برعکس شد که به دلیل ایجاد حالت پراکسیدانی ناشی از افزایش آنتی‌اکسیدانها در روغن آفتابگردان بود. در تحقیقی مشابه، از مقادیر مختلف روغن پوست بنه به عنوان آنتی‌اکسیدان در روغن سویا استفاده شد. پس از ۸ ساعت فرایند حرارتی در ۱۷۰ درجه سانتیگراد، عدد اسیدی نمونه‌های روغن سویا حاوی ۱، ۲، ٤ و ٦ درصد روغن پوست بنه نسبت به لحظه صفر به ترتیب ۲۸۲، ۱۰۰، ۲۳٦ و ۱۷۲ درصد افزایش پیدا کرد [٤]. مقایسه نتایج این تحقیق با مطالعه حاضر نشان داد که استفاده از روغن پوست بنه در مقادیر کمتر از ۰/۵ درصد دارای اثر آنتی‌اکسیدانی برتری در روغنهای خوراکی نسبت به مقادیر بالاتر از ۰/۵ درصد بود. استفاده از روغن پوست بنه در مقادیر ۰/۵ درصد و بالاتر از آن به سبب بروز فعالیت پراکسیدانی به جای فعالیت آنتی‌اکسیدانی، باعث اثر منفی بر عدد اسیدی روغنهای خوراکی شد. شرایعی و همکاران در تحقیقی از مقادیر مختلف روغن مغز بنه به عنوان آنتی اکسیدان، در روغن کانولا استفاده کردند. نتایج این تحقیق نشان دادکه میزان افزایش عدد اسیدی، پس از ۸ ساعت فرایند حرارتی در روغن کانولا حاوی ۰/۰۵، ۰/۱، ۰/۲ و ۰/٤ درصد روغن مغز بنه به ترتیب ۱۲٦، ۸۲، ۱۲۰ و ۱۳۹ درصد بود که بهترین تیمار روغن مغز بنه، سطح ۰.۱ درصد آن گزارش شد[۵] که به نتایج تحقیق حاضر در سطحهای ۰.۱، ۰.۲ و ۰.۳۵ درصد روغن پوست بنه نزدیک بود. همچنین در تحقیق ذکر شده پس از ٤۸ ساعت فرایند حرارتی نیز، روغن کانولا حاوی ۰.۱ درصد مغز بنه، بهترین نمونه در آزمون عدد اسیدی بود. در تحقیقی دیگر از مقادیر ۰/۵ تا ۱۰ درصد روغن میوه کلخونگ به منظور بهبود پایداری اکسایشی روغن زیتون طی ۸ ساعت فرایند حرارتی در ۱۷۰ درجه سانتیگراد استفاده شد. نتایج آزمون عدد اسیدی نشان داد که روغن میوه کلخونگ در سطح ۱ درصد بهترین تیمار آنتی‌اکسیدانی در روغن زیتون بود. میزان افزایش این فاکتور پس از ۸ ساعت فرایند حرارتی ۳۱ درصد بود [۲۱] که در مقایسه با تحقیق حاضر شرایط مناسب تری داشت.

عدد پراکسید، شاخص اکسایش اولیه روغنهای خوراکی می‌باشد. ترکیبات هیدروپراکسیدی پایداری بالایی ندارند و امکان تجزیه آنها و تبدیل شدن به ترکیبات ثانویه وجود دارد [۲]. روند تغییرات عدد پراکسید روغن آفتابگردان تصفیه شده طی ۸ ساعت فرایند حرارتی، تحت تاثیر مقادیر مختلف روغن پوست بنه و ۱۰۰ پی‌پی‌ام TBHQ در شکل ۲ آورده شده است. همانگونه که مشخص است بین عدد پراکسید نمونه‌های مختلف روغن در لحظه صفر اختلاف معنی‌داری وجود نداشت. همچنین طی فرایند حرارتی روند تغییرات عدد پراکسید تمامی نمونه‌های روغن، حالت افزایشی داشت. میزان افزایش عدد پراکسید روغن آفتابگردان خالص و

نمونه‌های روغن آفتابگردان حاوی ۰/۰۵، ۰/۱، ۰/۲، ۰/۳۵ و ۰/۵ درصد روغن پوست بنه و ۱۰۰ پی‌پی‌ام TBHQ در پایان فرایند حرارتی نسبت به لحظه صفر به ترتیب ۸۲۸/٤، ۲۹۱/٦، ٤۸۵/۵، ٥٤۲/٦، ٤۸۸/۷، ٤۷٤/۱ و ٤۱٦/۷ درصد تعیین شد. بررسی نتایج نشان داد که بر خلاف آزمون عدد اسیدی، نمونه روغن حاوی ۰/۰۵درصد روغن پوست بنه بهترین شرایط را در آزمون عدد پراکسید داشت و بعد از آن به ترتیب نمونه های روغن آفتابگردان حاوی ۱۰۰ پی‌پی‌ام TBHQ، ۰/۵درصد روغن پوست بنه، ۰/۱ درصد روغن پوست بنه، ۰/۳۵ درصد روغن پوست بنه و۰/۲ درصد روغن پوست بنه و روغن آفتابگردان خالص قرار داشتند. بر خلاف آزمون عدد اسیدی، تغییرات عدد پراکسید طی فرایند حرارتی در سطح گسترده‌تری انجام شد. همچنین برتر بودن روغن پوست بنه در سطح ۰/۰۵ درصد نسبت به TBHQ و رقابت نزدیک سایر سطوح روغن پوست بنه با این آنتی‌اکسیدان از نتایج کاملا ارزشمند این تحقیق بود، به این دلیل که روغن خام پوست بنه مانند TBHQ خالص نیست. فرهوش و همکاران در تحقیقی گزارش کردند که استفاده از روغن پوست بنه در مقایسه با روغن سبوس برنج به میزان ۰/۵درصد در روغن آفتابگردان باعث اثر بهتر، در تغییرات عدد پراکسید طی ۱۰ روز گرمخانه‌گزاری در دمای ۵۰ درجه سانتیگراد شد [۱۰]. این در حالی بود که در تحقیقی دیگر با شرایط مشابه، استفاده از روغن مغز بنه در سطح ۰/۵ درصد در مقایسه با روغن سبوس برنج در روغن آفتابگردان اثر کمتری بر تغییرات عدد پراکسید داشت [۱۸]. البته باید ذکر شود شرایط دو تحقیق ذکر شده با تحقیق حاضر از نظر دما و زمان کاملا متفاوت بود.

طی اکسایش ثانویه، هیدروپراکسیدها شکسته شده و روغن وارد مرحله اکسایش ثانویه می‌شود. ترکیبات کربونیلی به خصوص آلدوئیدها شاخص‌ترین ترکیب اکسایش ثانویه هستند و به عنوان ترکیب مولد بو شناخته می‌شوند. این ترکیبات بر خلاف هیدروپرکسیدها مقاومت مناسبی دربرابر دما دارند و اندازه‌گیری آنها معیار مناسبی جهت تعیین پیشرفت و گسترش اکسایش روغنهای خوراکی می‌باشد. جهت اندازه‌گیری میزان اکسایش ثانویه از اندیس آنیزیدین استفاده می‌شود [۲]. روند تغییرات اندیس آنیزیدین روغن آفتابگردان تصفیه شده طی ۸ ساعت فرایند حرارتی، تحت تاثیر مقادیر مختلف روغن پوست بنه و ۱۰۰ پی‌پی‌ام TBHQ در شکل ۳ آورده شده است. بر اساس نمودار، مشخص شد که مقدار اولیه اندیس آنیزیدین نمونه‌های مختلف روغن، اختلاف معنی‌داری با یکدیگر نداشتند، اما بر خلاف آزمون عدد پراکسید، روند تغییرات این شاخص در همه نمونه‌ها افزایشی نبود. میزان افزایش اندیس انیزیدین روغن آفتابگردان خالص و نمونه‌های روغن آفتابگردان حاوی ۰/۲، ۰/۳۵ و ۰/۵ درصد روغن پوست بنه و ۱۰۰ پی‌پی‌ام TBHQ در پایان فرایند حرارتی نسبت به لحظه صفر به ترتیب ۲۵۲، ۰/۰٤، ۱٤/۵، ۲۷/۹ و ۱۲٦/٤ درصد تعیین شد، این در حالی بود که در روغن آفتابگردان حاوی ۰/۰۵ و ۰/۱ درصد روغن پوست بنه شاهد کاهش ۲۷/۸ و ۲۳/۲۳ درصدی اندیس آنیزیدین نسبت به لحظه صفر پس از فرایند حرارتی بودیم. علت این پدیده می‌تواند،به مقاومت بالای این دو سطح روغن پوست بنه به تشکیل ترکیبات ثانویه اکسایش مربوط باشد. طی فرایند حرارتی، مقداری از ترکیبات حاصل از اکسایش ثانویه مانند آلدوئیدها به دلیل انرژی جنبشی ناشی از فرایند حرارتی و فرار بودن از روغن جدا می‌شوند. اما به دلیل اینکه میزان تشکیل این ترکیبات، بیشتر از میزان خروج آنها در روغن است، معمولا شاهد افزایش اندیس آنیزیدین طی فرایند حرارتی در دمای بالا هستیم. اما در این دو نمونه

روغن ذکر شده چون مقاومت بسیار بالایی به تشکیل ترکیبات ثانویه داشتند، میزان خروج این ترکیبات از روغن، بیشتر از تشکیل آنها طی فرایند حرارتی بود و کاهش این ترکیبات در انتهای فرایند حرارتی مشاهده شد. بنابراین با توجه به نتایج آزمون اندیس آنیزیدین، بهترین تیمار، روغن آفتابگردان حاوی ۰/۰۵ درصد روغن پوست بنه بود و بعد از آن به ترتیب نمونه روغن حاوی ۰.۱، ۰/۲، ۰/۳۵ و ۰/۵ درصد روغن پوست بنه، نمونه روغن حاوی ۱۰۰ پی‌پی‌ام TBHQ و روغن آفتابگردان خالص قرار داشتند. نتایج بیانگربرتری کامل روغن پوست بنه در مقادیر کمتر از ۰/۵ درصد نسبت به آنتی‌اکسیدان شیمیایی TBHQ در کنترل اکسایش ثانویه بود. این در حالی بود که روغن پوست بنه بر خلاف TBHQ خالص نبود. همچنین مشخص شد، که با افزایش غلظت روغن پوست بنه در روغن آفتابگردان، فعالیت آنتی اکسیدانی آنها در برابر اکسایش ثانویه کاهش یافت. در تحقیقی که از مقادیر ۱ تا ٦ درصد روغن پوست بنه جهت بهبود پایداری اکسایشی روغن سویا استفاده شد، گزارش گردید که میزان ترکیبات کربونیلی در روغن سویا حاوی ۱، ۲، ٤ و ٦ درصد روغن پوست بنه پس از ۸ ساعت فرایند حرارتی به ترتیب ۳۱۷، ۲۱٤، ۲۱۸ و ۱۵۵ درصد افزایش پیدا کرد [٤]. مقایسه نتایج این تحقیق و مطالعه حاضر نشان داد که روغن پوست بنه در مقادیر کمتر از ۰.۵ درصد نسبت به مقادیر بالاتر از ۱ درصد دارای قدرت آنتی‌اکسیدانی بسیار بالاتری در مهار اکسایش ثانویه است. شریف و همکاران نیز گزارش کردند که روغن پوست بنه در سطح ۲ درصد، نسبت به سطوح ٤ و ۸ درصد، توانایی بالاتری در مهار اکسایش ثانویه روغن آفتابگردان تصفیه شده داشت [۸].در تحقیقی که توسط شرایعی و همکاران انجام شد، مشخص گردید که پس از ۸ ساعت فرایند حرارتی، میزان افزایش ترکیبات کربونیلی روغن کانولا حاوی ۰.۰۵، ۰.۱، ۰.۲ و ۰.٤ درصد روغن مغز بنه به ترتیب ۸۵، ۱۱/۱، ٦۱ و ۵۹ افزایش یافت [۵]. مقایسه این مطالعه و پژوهش حاضر نشان داد که روغن پوست بنه در مقایسه با روغن مغز بنه دارای فعالیت آنتی-اکسیدانی بالاتری جهت مهار اکسایش ثانویه بود. همچنین توکلی و همکاران گزارش کردند که استفاده از روغن میوه کلخونگ (نزدیکترین گونه پسته به بنه) در سطح ۰/۵ و ۱ درصد باعث مقاومت بالاتر به اکسایش ثانویه درمقایسه با TBHQ شد [۲۱].

اندیس توتوکس نشان‌دهنده میزان اکسایش کل شامل اکسایش اولیه و ثانویه، در روغن‌ها و چربی‌ها می‌باشد [۲]. روند تغییرات اندیس توتوکس روغن آفتابگردان تصفیه شده طی ۸ ساعت فرایند حرارتی، تحت تاثیر مقادیر مختلف روغن پوست بنه و ۱۰۰ پی‌پی‌ام TBHQ در شکل ٤ آورده شده است. همانگونه که مشخص است، در لحظه صفر بین اندیس توتوکس نمونه‌های مختلف اختلاف معنی‌داری وجود نداشت. همچنین روند تغییرات این شاخص در همه تیمارها، طی فرایند حرارتی ، کاملا افزایشی بود. میزان افزایش اندیس توتوکس روغن آفتابگردان خالص و نمونه‌های روغن آفتابگردان حاوی ۰/۰۵، ۰/۱، ۰/۲، ۰/۳۵ و ۰/۵ درصد روغن پوست بنه و ۱۰۰ پی‌پی‌ام TBHQ در پایان فرایند حرارتی نسبت به لحظه صفر به ترتیب ۳۸۳/۱، ٦۵/۹، ۹۲/٤، ۱۲۳/٦، ۱۲۲/٦، ۱۲۹/۸ و ۱۹۲/٤ درصد تعیین شد. بررسی این نتایج نشان داد که روغن پوست بنه در تمامی مقادیر استفاده شده، کاملا برتر از آنتی‌اکسیدان سنتزی و قدرتمند TBHQ بود که با توجه به خالص نبودن روغن پوست بنه از نظر ترکیبات آنتی‌اکسیدانی نتیجه‌ای کاملا قابل توجه بود. همچنین مشخص شد، با افزایش غلظت روغن پوست بنه از ۰/۰۵ درصد تا ۰/۵ درصد مقاومت به اکسایش کاهش یافت.

این نتیجه به این معنی است که روغن پوست بنه در مقادیر کمتر، باعث بهبود بهتر پایداری اکسایشی روغن آفتابگردان طی فرایند حرارتی شد. قطعا افزایش میزان روغن پوست بنه در روغن آفتابگردان، باعث ایجاد حالت پراکسیدانی به جای اثر آنتی‌اکسیدانی شده و پایداری اکسایشی روغن آفتابگردان، حالت کاهشی پیدا کرده بود. مشابه این نتایج در تحقیقات گذشته هم گزارش شده بود. شریف و همکاران گزارش کردند که در بین مقادیر مختلف ۲ تا ۸ درصد روغن پوست بنه اضافه شده به روغن آفتابگردان، نمونه روغن حاوی ۲ درصد روغن پوست بنه دارای بیشترین پایداری اکسایشی بود که مقادیر بیش از آن سبب بروز فعالیت پرواکسیدانی گردید [۸]. همچنین توکلی و سربی نیز مشابه تحقیق حاضر گزارش کردند که افزایش بیش از ٤ درصد روغن پوست بنه در روغن سویا، باعث ایجاد حالت پراکسیدانی طی فرایند سرخ کردن شد [٤]. در تحقیقی دیگر نیز گزارش شد که کاربرد روغن میوه کلخونگ (نزدیکترین گونه به بنه)، در مقادیر بیشتر از ۱ درصد به عنوان آنتی‌اکسیدان در روغن زیتون، باعث کاهش پایداری اکسایشی آن طی ۸ ساعت فرایند حرارتی در ۱۷۰ درجه سانتیگراد شد [۲۱].

با توجه به اینکه، ترکیبات هیدروپراکسیدی در برابر دمای بالا شکننده هستند، این ویژگی می‌تواند در نتایج آزمون عدد پراکسید خطا ایجاد کند، به همین دلیل در کنار آزمون عدد پراکسید، باید از آزمون عدد دی‌ان‌مزدوج نیز به عنوان تست تکمیلی، جهت بررسی کیفیت روغنهای خوراکی طی فرایند حرارتی با دمای بالا استفاده کرد [۲۲]. عدد دی¬ان مزدوج، شاخص مناسبی برای نشان دادن میزان اکسایش لیپیدی در روغنهای حاوی مقدار قابل توجه اسیدهای چرب دارای چند پیوند دوگانه است و میزان آن با جذب اکسیژن و تشکیل پراکسیدهای لیپیدی افزایش می یابد. دی¬ان مزدوج در روغن چندغیراشباع به سرعت تشکیل و انباشته می¬شود. این ترکیبات می-توانند با اکسیژن برای تشکیل هیدروپراکسیدهای مزدوج واکنش دهند [۲]. اندازه¬گیری عدد دی¬ان مزدوج نشانگر خوبی از اکسایش اولیه نمونه¬های روغنی می¬باشد. افزایش جذب در طول موج ۲۳٤ نانومتر با افزایش مصرف اکسیژن و تشکیل هیدروپراکسیدها در طول مراحل اولیه اکسایش متناسب می¬باشد [۲۳]. روند تغییرات عدد دی‌ان‌مزدوج نمونه‌های مختلف روغن مطالعه شده در پژوهش حاضر در شکل ٤ آورده شده است که بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار در لحظه صفر و روند کاملا افزایشی طی فرایند حرارتی در نمونه‌های مختلف است. میزان افزایش عدد دی‌ان‌مزدوج روغن آفتابگردان خالص و نمونه‌های روغن آفتابگردان حاوی ۰/۰۵، ۰/۱، ۰/۲، ۰/۳۵ و ۰/۵ درصد روغن پوست بنه و ۱۰۰ پی‌پی‌ام TBHQ در پایان فرایند حرارتی نسبت به لحظه صفر به ترتیب ۱٦۷/٤، ۱۲۸/۷، ۱۱۰/۹، ۱۲۲/۸، ۱۳۷/٦، ۱۵۲/۵ و ۱۵۲/۵ درصد تعیین شد. همانگونه که مشخص است بهترین تیمار، روغن آفتابگردان حاوی ۰/۱درصد روغن پوست بنه بود و بعد از آن روغن آفتابگردان حاوی ۰/۲، ۰/۰۵، ۰/۳۵ و ۰/۵ درصد روغن پوست بنه و ۱۰۰ پی-پی‌ام TBHQ قرار داشتند. بین دو نمونه روغن حاوی ۰/۵ درصد روغن پوست بنه و ۱۰۰ پی‌پی‌ام TBHQ از نظر این آزمون اختلاف معنی‌داری وجود نداشت. نتایج این آزمون نیز همانند سه آزمون پایداری اکسایشی دیگر شامل عدد پراکسید، اندیس آنیزیدین و اندیس توتوکس بیانگر برتری مطلق روغن پوست بنه نسبت به آنتی‌اکسیدان سنتزی TBHQ بود. در تحقیقی مشابه؛ شریف و همکاران، از مقادیر ۲ تا ۸ درصد روغن پوست بنه جهت افزایش پایداری اکسایشی روغن آفتابگردان استفاده کردند، گزارش نمودند

که پس از ۳۲ ساعت فرایند سرخ کردن، روغن پوست بنه در سطح ۲ درصد باعث بیشترین ممانعت در تشکیل ترکیبات دی‌ان‌مزدوج شد [۸]. همچنین در تحقیقی دیگر نیز گزارش گردید که در بین مقادیر ۱ تا ٦ درصد روغن پوست بنه جهت افزایش پایداری اکسایشی روغن سویا طی ۳۲ ساعت فرایند سرخ کردن، سطح ٤ درصد بهترین شرایط را از نظر آزمون عدد دی‌ان‌مزدوج داشت [٤]. با توجه به اینکه در تحقیق حاضر از مقادیر کمتر از ۰/۵ درصد استفاده شده بود، بیانگر برتر بودن روغن پوست بنه در مقادیر کمتر در روغنهای خوراکی بود. در تحقیقی دیگر، شرایعی و همکاران (۲۰۱۱)، از مقادیر۰/۰۵ تا ۰/٤ درصد روغن مغز بنه به عنوان آنتی‌اکسیدان جایگزین TBHQ جهت فرایند سرخ کردن روغن کانولا به مدت ٤۸ ساعت استفاده کردند، که مشخص شد، روغن مغز بنه در سطح ۰/۱ درصد باعث کمترین افزایش در عدد دی‌ان‌مزدوج روغن کانولا پس از فرایند حرارتی شد که شرایط مشابه‌ای با روغن پوست بنه استفاده شده در تحقیق حاضر داشت [۵]. توکلی و همکاران در مطالعه ای که از مقادیر ۰/۵ تا ۱۰ درصد روغن میوه کلخونگ جهت بهبود پایداری اکسایشی روغن زیتون استفاده کردند، گزارش نمودند که طی ۸ ساعت فرایند حرارتی در ۱۷۰ درجه‌سانتیگراد، روغن میوه کلخونگ در سطوح ۰/۵ و ۱۰ درصد بهترین شرایط را از نظر آزمون عدد دی‌ان‌مزدوج ایجاد کردند [۲۱].

در مجموع نتایج آزمونهای پایداری اکسایشی شامل عدد پراکسید، اندیس آنیزیدین، اندیس توتوکس، عدد دی‌ان-مزدوج و عدد اسیدی نشان داد که روغن پوست بنه در سطح ۰/۰۵ درصد باعث بهترین شرایط از نظر پایداری اکسایشی طی ۸ ساعت فرایند حرارتی در روغن آفتابگردان شد و بعد از آن سطح ۰/۱ درصد این روغن قرار داشت. نکته جالب توجه برتری روغن پوست بنه نسبت به TBHQ که آنتی-اکسیدان کاملا قدرتمند می‌باشد، بود. تنها در آزمون عدد اسیدی، TBHQ برتری داشت که با توجه به اینکه میزان افزایش عدد اسیدی طی فرایند حرارتی در تمامی نمونه‌ها ناچیز بود، در مقایسه با سایر آزمونها قابل توجه نبود. این نتایج در حالی حاصل شد که روغن پوست بنه در مقایسه با TBHQ خالص نبود. بنابراین به منظور درک بهتر آزمونهای پایداری اکسایشی، تغییرات ترکیبات آنتی‌اکسیدانی و فعالیت آنتی‌اکسیدانی روغن آفتابگردان تحت تاثیر مقادیر مختلف روغن پوست بنه نیز بررسی شد.

۲-۲-۳- تغییرات ترکیبات آنتی‌اکسیدانی طی فرایند حرارتی توکوفرولها، اصلی‌ترین ترکیبات آنتی‌اکسیدانی روغنهای خوراکی هستند [۱۹]. تغییرات ترکیبات توکوفرولی نمونه-های روغن مطالعه شده در پژوهش حاضر، در شکل ٦ نشان داده شده است. نتایج نشان داد، بین میزان ترکیبات توکوفرولی درلحظه صفر اختلاف معنی‌داری وجود نداشت.میزان کاهش ترکیبات توکوفرولی روغن آفتابگردان خالص و نمونه‌های روغن آفتابگردان حاوی۰/۰۵، ۰/۱، ۰/۲، ۰/۳۵ و ۰/۵ درصد روغن پوست بنه و ۱۰۰ پی‌پی‌ام TBHQ نیز در پایان فرایند حرارتی نسبت به لحظه صفر به ترتیب ۲۰/۲، ۱۸/۲، ۱۵/٦، ۱٤/٤، ۲۱/۱، ۱۷/٤ و ۰/۲٤ درصد تعیین شد. همانگونه که مشخص است از نظر این آزمون، نمونه روغن حاوی TBHQ بهترین تیمار بود و بعد از آن به ترتیب نمونه‌روغنهای حاوی ۰/۲، ۰/۱، ۰/۵ و ۰/۰۵ درصد روغن پوست بنه، روغن آفتابگردان خالص و نمونه روغن آفتابگردان حاوی ۰.۳۵ درصد روغن پوست بنه قرار داشتند. این نتایج اصلا با آزمونهای پایداری اکسایشی همخوانی نداشت. چون در این ازمونها، آنتی‌اکسیدان TBHQ در

مقایسه با سطوح مختلف روغن پوست بنه، شرایط خوبی نداشت، اما در آزمون ترکیبات توکوفرولی باعث کاهش بسیار اندک این ترکیبات شد. در مقابل در آزمونهای پایداری اکسایشی سطح ۰/۰۵ درصد روغن مغز بنه دارای بیشترین قدرت آنتی‌اکسیدانی بود، در صورتیکه میزان کاهش ترکیبات توکوفرولی در این تیمار در بین تمامی نمونه‌ها کمترین بود. در مورد تفسیر این نتایج دلایل مختلفی را می‌توان بیان کرد. اولا ممکن است سایر ترکیبات آنتی‌اکسیدانی در نتایج آزمونها نقش داشته باشند. دوما با بررسی نتایج مشخص شد که در بدترین شرایط حدود ۸۰ درصد توکوفرولها پس از فرایند حرارتی در روغن آفتابگردان باقیمانده‌اند. این یافته به این معنی می‌تواند باشد که بین میزان ترکیبات توکوفرولی نمونه‌های مختلف آفتابگردان اختلاف بسیار زیادی وجود نداشت. طی فرایند حرارتی در دمای بالا مانند سرخ کردن، ترکیبات توکوفرولی در روغنهای حاوی مقدار بالا اسیدهای دارای چند پیوند دوگانه، با سرعت کمتری نسبت به روغنهای اشباع‌تر تجزیه می‌شود. اسیدهای چرب دارای چند پیوند دوگانه، قبل از اینکه طی فرایند حرارتی در دمای بسیار بالا با توکوفرولها واکنش دهند، تجزیه‌می‌شوند. همچنین در مطالعات دیگری نیز گزارش شده است که بین ترکیبات توکوفرولی و چربیهای غیراشباع در واکنش با ترکیبات حاصل از تجزیه هیدروپراکسیدها (رادیکالهای آلکوکسیل و هیدروکسیل) رقابت وجود دارد [۲۲]. با توجه به اینکه روغن آفتابگردان مطالعه شده در تحقیق حاضر، حاوی بیش از ۵۷ درصد اسیدهای چرب دارای چند پیوند دوگانه بود، علت تغییرات کم در ترکیبات توکوفرولی قابل توجیه است. سوما ممکن است در نمونه‌های روغن حاوی توکوفرول بیشتر، طی فرایند حرارتی حالت پراکسیدانی ایجاد شود و پایداری اکسایشی کاهش یابد. به عنوان مثال در نمونه حاوی TBHQ ، حفظ مقدار بالای ترکیبات توکوفرولی به علاوه آنتی-اکسیدان سنتزی TBHQ می‌تواند، باعث ایجاد حالت پراکسیدانی در روغن آفتابگردان طی ۸ ساعت فرایند حرارتی و کاهش پایداری اکسایشی آن شود. اثر توکوفرول طبیعی موجود در روغنهای خوراکی و یا توکوفرول اضافه شده به آنها طی فرایند سرخ کردن قابل پیشبینی نیست. استفاده از این ترکیبات در دمای بالا همیشه مفید نیست و حتی ممکن است اثر پراکسیدانی مشاهده شود. اکسیداسیون لیپیدها در دماهای بالا با افزایش فعالیت فلزات آلوده کننده و یا افزایش فعالیت پرواکسیدانی توکوفرول ها در روغن های گیاهی به طور نامنظم انجام می شود [۲۲].

توکلی و سربی در تحقیقی گزارش کردند که میزان کاهش ترکیبات توکوفرولی روغن سویا پس از ۸ ساعت فرایند حرارتی، تحت تاثیر ۱، ۲، ٤ و ٦ درصد روغن پوست بنه به ترتیب ۳۸، ٤۰، ٤٦ و ۵۱ درصد بود. همچنین پس از ۳۲ ساعت فرایند حرارتی نیز مشخص شد ترکیبات توکوفرولی نمونه روغن سویا حاوی ٤ درصد روغن پوست بنه در میان تمامی تیمارها بیشترین کاهش را داشت. این در حالی بود که در آزمونهای پایداری اکسایشی نمونه روغن سویا حاوی ٤ درصد روغن پوست بنه دارای بهترین شرایط بود و همانند تحقیق حاضر با تغییرات ترکیبات توکوفرولی همخوانی نداشت [٤].

در تحقیقی دیگر نیزگزارش شد که پس از ۸ ساعت فرایند حرارتی در ۱۷۰ درجه سانتیگراد، میزان ترکیبات توکوفرولی روغن زیتون حاوی ۰/۵، ۱، ۲، ۵ و ۱۰ روغن میوه کلخونگ به ترتیب ۸۱، ۸٦، ۸۵، ۸٤ و ۸۰ درصد کاهش یافت که خیلی بیشتر از کاهش ترکیبات توکوفرولی در تحقیق حاضر بود. از نظر آزمونهای پایداری اکسایشی نیز نمونه حاوی ۰.۵ درصد روغن میوه کلخونگ بهترین تیمار بود [۲۱].

ترکیبات پلی فنولی با فعالیت¬های بیولوژیکی قوی، آنتی اکسیدان های قدرتمندی هستند که به طور گسترده ای در گیاهان توزیع شده اند [۱۹]. تغییرات ترکیبات پلی‌فنلی نمونه‌های روغن مطالعه شده در پژوهش حاضر، در شکل ۷ نشان داده شده است. نتایج نشان داد که میزان ترکیبات فنلی در نمونه‌های مختلف روغن آفتابگردان (۳۲/۹ تا ۳۳/۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم) در مقایسه با توکوفرولها (۸۵۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم) بسیار کم بود و این ترکیبات به عنوان آنتی‌اکسیدانی فرعی این نمونه‌های روغن شناخته شدند. روند تغییرات این ترکیبات، طی فرایند حرارتی نیز نسبت به توکوفرولها کاملا متفاوت بود و هر دو حالت کاهش و افزایش در آنها مشاهده شد. پس از ۸ ساعت فرایند حرارتی نیز میزان این ترکیبات ۲۵.۳ تا ۳۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم تعیین شد که بیانگر کاهش کم این ترکیبات طی فرایند حرارتی بود. در بین نمونه‌های مختلف روغن، روغن آفتابگردان حاوی TBHQ با کاهش تقریبا صفر درصدی بهترین نمونه بود. این یافته به این معنی است که TBHQهمانند توکوفرولها، اثر محافظتی بسیار عالی بر ترکیبات پلی‌فنلی داشت.

۳-۲-۳- تغییرات فعالیت آنتی‌اکسیدانی طی فرایند حرارتی

در تحقیق حاضر، فعالیت آنتی‌اکسیدانی روغنهای استفاده شده به کمک آزمونهای قدرت مهارکنندگی رادیکال آزاد DPPH و آزمون شاخص پایداری اکسایشی تعیین شد. تغییرات قدرت مهارکنندگی رادیکال آزاد DPPH روغن آفتابگردان تصفیه شده؛ تحت تاثیر مقادیر مختلف روغن خام پوست بنه و ۱۰۰ پی‌پی‌ام TBHQ طی ۸ ساعت فرایند حرارتی در شکل ۸ نشان داده شده است. با وجود اینکه مقدار ترکیبات آنتی‌اکسیدانی شامل توکوفرولها و پلی‌فنلهای نمونه‌های مختلف روغن قبل از فرایند حرارتی اختلاف معنی‌داری با یکدیگر نداشتند، اما قدرت مهارکنندگی رادیکال آزاد انها با یکدیگر متفاوت بود. باید ذکر شود در کنار توکوفرولها و پلی‌فنهلها، سایر ترکیبات آنتی‌اکسیدانی دگر مثل کارتنوئیدها و برخی استرولها نیز در روغن آفتابگردان وجود دارند که بر میزان فعالیت آنتی‌اکسیدانی موثر هستند. حتی پدیده سینرژیست چندین ترکیب آنتی-اکسیدانی نیز در فعالیت آنتی‌اکسیدانی آنها موثر است. روند تغییرات فعالیت آنتی‌اکسیدانی نمونه‌های مختلف روغن به جز روغن آفتابگردان حاوی ۰.۰۵ درصد روغن پوست بنه در تحقیق حاضر طی فرایند حرارتی کاهشی بود. میزان کاهش قدرت مهارکنندگی رادیکال آزاد روغن آفتابگردان خالص و نمونه‌های روغن آفتابگردان حاوی ۰/۱، ۰/۲، ۰/۳۵ و ۰/۵ درصد روغن پوست بنه و ۱۰۰ پی‌پی‌ام TBHQ نیز در پایان فرایند حرارتی نسبت به لحظه صفر به ترتیب ۲۶/۳، ۱۲/۲، ۱۴/۶، ۹/۹، ۱۵/۹ و ۸/۴ درصد تعیین شد. اما در مورد روغن آفتابگردان حاوی ۰/۰۵ درصد روغن پوست بنه، افزایش ۷/۵ درصدی قدرت مهارکنندگی رادیکال آزاد پس از فرایند حرارتی مشاهده شد. با توجه به اینکه در آزمون پایداری اکسایشی سطح۰/۰۵ درصد روغن پوست بنه بهترین تیمار بود، یکی از دلایل این برتری را می توان به تغییرات قدرت مهارکنندگی رادیکال آزاد نسبت داد.

در برخی تحقیقات دیگر نیز روند افزایش و کاهش قدرت مهارکنندگی رادیکال آزاد گزارش شده است. در تحقیقی که به بررسی اثر روغنهای پاپایا و ملون بر پایداری اکسایشی روغن سویا طی ۲۰ ساعت فرایند حرارتی در ۱۸۰ درجه سانتیگراد پرداخته شد، مشخص گردید که در روغنهای پاپایا و ملون و فرمول ترکیبی روغنهای سویا با روغنهای پاپایا و ملون ، افزایش قدرت مهارکنندگی رادیکال آزاد و سپس

کاهش آن در برخی نمونه¬ها مشاهده شد که با نتایج تحقیق حاضر همخوانی داشت [٢٤].

روند تغییرات شاخص پایداری اکسایشی نمونه‌های مختلف روغن طی فرایند حرارتی توسط دستگاه رنسیمت اندازه گیری شد (شکل ۹). شماری از روشهای تسریع‌شونده، جهت بررسی مقاومت روغنهای خوراکی گسترش پیدا کرده است. در همه این آزمونها از دمای بالا به خاطر افزایش سرعت واکنش اکسایش استفاده می‌شود [. همچنین در برخی روشها مانند آزمون رنسیمت در کنار دمای بالا، جریان هوا نیز به کار می‌رود[۲۵]. آزمون رنسیمت معمولی ترین روش تسریع شونده برای ارزیابی پایداری اکسایشی و فعالیت آنتی¬اکسیدانی روغنها و چربیهای خوراکی است. اما نکته‌ای که در مورد این آزمون وجود دارد، این است که به دلیل استفاده از شرایط تسریع شونده، نتایج این آزمون با شرایط واقعی تفاوت دارد. به همین دلیل پیشنهاد می‌شود که به عنوان یک تست تکمیلی در کنار آزمونهای رایج پایداری اکسایشی مانند عدد پراکسید، اندیس آنیزیدین، اندیس توتوکس و عدد دی‌ان‌مزدوج طی اعمال فرایند حرارتی مانند سرخ کردن انجام شود [۲۲، ٢٦]. بررسی میزان اولیه آزمون رنسیمت نمونه‌های مختلف روغن نشان داد که افزودن روغن پوست بنه همانند TBHQ باعث افزایش شاخص پایداری اکسایشی روغن آفتابگردان شد، اما استفاده از TBHQ به شدت باعث افزایش این شاخص شد، به طوریکه میزان این شاخص در روغن آفتابگردان با افزودن ۱۰۰ پی‌پی‌ام TBHQ ، ۳۲۷ درصد افزایش پیدا کرد. این در حالی بود که با افزایش ۰/۰۵، ۰/۱، ۰/۲، ۰/۳۵ و ۰/۵ درصد روغن پوست بنه به روغن آفتابگردان، شاخص پایداری اکسایشی به ترتیب ۲۷، ۲۹، ٥٤، ٤١ و ٥٣ درصد افزایش یافت. اما روند تغییرات شاخص پایداری اکسایشی طی فرایند حرارتی،با شرایط لحظه صفر کاملا متفاوت بود. میزان کاهش شاخص پایداری اکسایشی روغن آفتابگردان خالص و نمونه‌های روغن آفتابگردان حاوی ۰.۱، ۰.۲، ۰.۳۵ و ۰.۵ درصد روغن پوست بنه و ۱۰۰ پی‌پی‌ام TBHQ نیز در پایان فرایند حرارتی نسبت به لحظه صفر به ترتیب ۱۹/۹، ۱۲/۲، ۲٤/۱، ۲۱، ۲۲/۹، ۱۸/۸ و ٤٧/١ درصد تعیین شد که بیانگر برتری روغن پوست بنه در سطح ۰.۰۵ درصد بود، این در حالی بود که در نمونه روغن حاوی TBHQ، بیشترین کاهش شاخص پایداری اکسایشی در پایان فرایند حرارتی مشاهده شد. باید به این نکته توجه داشت که شیب تغییرات کمیتهای مختلف روغنهای خوراکی، همانند شرایط روغن قبل از فرایند حرارتی دارای اهمیت است. به نظر می‌رسد، آنتی‌اکسیدان TBHQ حرارت ندیده در روغن آفتابگردان، مقاومت بسیار بالایی به شرایط دستگاه رنسیمت شامل دما و جریان هوا دارد و به همین دلیل در نمونه‌روغنهای حرارت ندیده دارای بیشتر اثر بر شاخص پایداری اکسایشی روغن آفتابگردان است، اما بعد از اینکه نمونه‌های روغن تحت فرایند حرارتی قرار گرفت، این خصوصیات TBHQ به شدت ضعیف می‌شود و باعث بیشترین کاهش در شاخص پایداری اکسایشی روغن آفتابگردان پس از ۸ ساعت فرایند حرارتی شد. البته همانگونه که ذکر شد، آزمون رنسیمت به تنهایی جهت شناسایی پایداری اکسایشی روغنهای خوراکی، قابل اعتماد نیست. چون مکانیسم اکسیداسیون در شرایط دستگاه رنسیمت از نظر دما و سرعت جریان هوا با شرایط واقعی متفاوت است [۲۲]. همچنین شرایط موجود در آزمون رنسیمت برای اندازه‌گیری فعالیت آنتی‌اکسیدانی واقعی روغنهای خوراکی مناسب نیست، چون آنتی‌اکسیدانهای فرار ممکن است با جریان هوا خارج شوند. همچنین روغن‌ها با رسیدن به نقطه پایانی این آزمون به شدت فاسد شده‌اند [٢٦].

توکلی و همکاران در تحقیقی به بررسی بهبود پایداری اکسایشی روغن زیتون با استفاده از مقادیر مختلف روغن میوه کلخونگ پرداختند که جهت مقایسه از ۱۰۰ پی‌پی‌ام آنتی‌اکسیدان TBHQ نیز استفاده کردند. نتایج نشان داد که افزودن تمامی موارد ذکر شده، باعث افزایش شاخص پایداری اکسایشی روغن زیتون شد اما همانند تحقیق حاضر بیشترین اثر بهبود دهندگی را در آزمون رنسیمت، TBHQ داشت. همچنین طی ۸ ساعت فرایند حرارتی در ۱۷۰ درجه-سانتیگراد، بیشترین میزان کاهش شاخص پایداری اکسایشی در مورد روغن زیتون حاوی ۱۰۰پی‌پی‌ام TBHQ (٪۸۳.۵) بود. همچنین میزان کاهش این شاخص در روغن زیتون حاوی۰/۵، ۱، ۲، ۵ و ۱۰ درصد به ترتیب ۷۵/٦، ۷۳، ۸۷/٦، ٦۳/۸، ۵۹/۹ و ۷۹/۲ درصد تعیین شد [۲۱]. در تحقیقی دیگر نیز گزارش شد که استفاده از مقادیر مختلف مواد صابونی-ناشونده روغن میوه کلخونگ (۵۰ تا ۱۰۰۰ پی‌پی‌ام) باعث اثرات متفاوتی در نتایج آزمون رنسیمت شد. در بین تیمارهای مختلف، سطوح ۵۰ و ۱۰۰ پی‌پی‌ام مواد صابونی ناشونده روغن میوه کلخونگ، بیشترین اثر حفاظتی را بر شاخص پایداری اکسایشی روغن زیتون پس از ۸ ساعت فرایند حرارتی در ۱۷۰ درجه سانتیگراد شد. همانند تحقیق حاضر نیز، روغن زیتون حاوی ۱۰۰ پی‌پی‌ام TBHQ، جزضعیف ترین نمونه‌ها پس از فرایند حرارتی در آزمون رنسیمت بود [۲۳]. در تحقیقی که توسط فرهوش و همکاران انجام شد، گزارش گردید که استفاده از روغن پوست بنه در سطح ۰.۵ درصد در روغن آفتابگردان، باعث افزایش شاخص پایداری این روغن به میزان ۲۹ درصد شد، این درحالی بود که در تحقیق حاضر، افزایش همین مقدار روغن پوست بنه، باعث رشد ۵۳ درصدی شاخص پایداری اکسایشی روغن آفتابگردان شد [۱۰].

٤- نتیجه‌گیری

بررسی نتایج آزمونهای مختلف پایداری اکسایشی (عدد پراکسید، اندیس آنیزیدین، اندیس توتوکس، عدد دی‌ان-مزدوج و عدد اسیدی) نشان‌داد که استفاده از روغن پوست بنه در سطح ۰/۰۵ درصد، باعث ایجاد بهترین شرایط از نظر آزمونهای پایداری اکسایشی طی ۸ ساعت فرایند حرارتی در ۱۷۰ درجه‌سانتیگراد نسبت به ۱۰۰ پی‌پی‌ام TBHQ شد. به منظور تفسیر بهتر نتایج آزمونهای پایداری اکسایشی، تغییرات ترکیبات توکوفرولی و پلی‌فنلی به عنوان دو ترکیب آنتی-اکسیدانی شاخص طی فرایند حرارتی بررسی شد. نتایج نشان داد بین تغییرات این ترکیبات و آزمونهای پایداری اکسایشی ارتباط وجود ندارد. به عنوان مثال در نمونه حاوی TBHQ دارای بیشترین اثر حفاظتی بر ترکیبات آنتی‌اکسیدانی بود که به علت ایجاد حالت پراکسیدانی ناشی از افزایش آنتی-اکسیدانها، باعث کاهش پایداری اکسایشی روغن آفتابگردان شد. همچنین بررسی تغییرات فعالیت آنتی‌اکسیدانی طی فرایند حرارتی به کمک دو آزمون قدرت مهارکنندگی رادیکال آزاد و رنسیمت نیز نشان داد که نمونه روغن آفتابگردان حاوی ۰/۰۵درصد روغن پوست بنه بهترین شرایط را داشت که با نتایج آزمونهای پایداری اکسایشی همخوانی داشت. ارزش این نتایج زمانی مشخص می‌شود که روغن پوست بنه در مقایسه با TBHQ اصلا خالص نبود. ترکیبات آنتی‌اکسیدانی معمولا جز مواد صابونی ناشونده روغن‌های خوراکی هستند. یعنی اینکه اگر کل ترکیبات صابونی‌ناشونده روغن پوست بنه را دارای خاصیت آنتی-اکسیدانی در نظر بگیریم، با اضافه شدن روغن پوست بنه به روغن آفتابگردان در سطوح ۰/۰۵ درصد، ۱۰/۵ پی‌پی‌ام مواد صابونی‌ناشونده به روغن آفتابگردان اضافه شده است

که بیانگر قدرت بسیار بالای آنتی‌اکسیدانی روغن پوست بنه طی فرایند حرارتی طولانی‌مدت در دمای بسیار بالا است. البته این نکته بیانگر این موضوع است که تحقیقات در موردشناسایی ترکیبات موثر در این خصوصیات منحصر به فردروغن پوست بنه باید ادامه پیدا کند.

٥-منابع

[1] Mota, M.F.S., Waktola, H.D., Nolvachai, Y., Marriott, P.J., 2021. Gas chromatography mass spectrometry for characterisation, assessment of quality and authentication of seed and vegetable oils. *TrAC Trends in analytical chemistry*, 138, 116238.

[2] Schaich, K.M., 2005. Lipid Oxidation: Theoretical Aspects. In: Shahidi F (ed) Bailey's industrial oil and fat products. 6rd edn. Wiley, New Jersey, pp 268-355.

[3] Sosa, V., Moliné, T., Somoza, R., Paciucci, R., Kondoh, H., Leonart, M.E., 2013. Oxidative Stress, and Cancer: An Overview. *Journal of Ageing Research Reviews*, 12, 376–390.

[4] Tavakoli, J. & Sorbi, N., 2018. Fortification of refined soybean oil by hull oil of Kolkhoung (Wild pistachio in Iran): Improving thermal stability during frying process. *International Journal of Food Properties*, 20, 2990-3003.

[5] Sharayei, P., Farhoosh, R., Poorazarang, H., Haddad Khodaparast, M.H., 2011. Effect of Bene Kernel Oil on the Frying Stability of Canola Oil. *American Oil Chemists' Society,*88, 648-654.

[6] Sharayei, P., Farhoosh, R., Poorazarang, H., Haddad Khodaparast, M.H., 2011. Improvement of canola oil frying stability by Bene kernel oil's unsaponifiable matter. *American Oil Chemists' Society,* 88: 993-1000.

[7] Tavakoli, J ,. Hamedani ,F ,. Haddad Khodaparast, M.H ,.(2016). Investigating Chemical Properties and Oxidative Stability of Kernel Oil from *Pistacia khinjuk* Growing Wild in Iran. *American Oil Chemists' Society*, 93: 681–687.

[8] Sharif, A., Farhoosh, R., Haddad Khodaparast, M. H., Tavassoli-Kafrani, M.H., 2009. Antioxidant activity of Bene hull oil compared with sesame and rice bran oils during the frying process of sunflower oil. *Food Liopds, 16, 394-406.*

[9] Farhoosh, R., Haddad Khodaparast, M. H., Sharif, A., 2009. Bene hull oil as a highly stable and antioxidative vegetable oil. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 111, 1259–1265.

[10] Farhoosh, R., Tavassoli-Kafrani, M.H., Sharif, A., 2011. Antioxidant activity of sesame, rice bran and bene hull oils and their unsaponifiable matters. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 113, 506–512.

[11] Tavakolli, J., Sedaghat, N., Mousavi Khaneghah, A., 2019. Effects of packaging and storage conditions on Iranian wild pistachio kernels and assessment of oxidative stability of edible extracted oil. Food Processing and Preservation, 43, 1-10.

[12] Farhoosh, R., & Pazhouhanmehr, S., 2009. Relative contribution of compositional parameters to the primary and secondary oxidation of canola oil. *Food Chemistry, 114(3), 1002–1006*.

[13] Tavakoli, J., Emadi, T., Hashemi, S. M. B., Mousavi Khaneghah, A,. Munekata, P. E. S., Lorenzo, J. M., Brnčić, M., Barba, F. J., 2018. Chemical properties and oxidative stability of Arjan (Amygdalus reuteri) kernel oil as emerging edible oil. *Food Research International, 107, 378-384.*

[14] Roshanpour, S., Tavakoli, J., Beigmohammadi, F., Alaei, Sh., 2021. Improving antioxidant effect of phenolic extract of *Mentha piperita* using nanoencapsulation process. *Journal of Food Measurement and Characterization, 15(1), 23–32.*

[15] Lozano, Y., Mayer, C. D., Bannon, C., Gaydou, E. M., 1993. Unsaponifiable matter, total sterol and tocopherol contents of avocado oil varieties.

Journal of the American Oil Chemists' Society, 70, 561–565.

[16] Sfahlan, A. J., Mahmoodzadeh, A., Hasanzadeh, A., Heidari, R., Jamei, R., 2009. Antioxidants and antiradicals in almond hull and shell (*Amygdalus communis* L.) as a function of genotype. *Food Chemistry, 115(2), 529-533.*

[17] Yim, H. S., Chye, F. Y., Koo, S. M., Matanjun, P., How, S. E., Ho, C. W., 2012. Optimization of extraction time and temperature for antioxidant activity of edible wild mushroom, *Pleurotus porrigens*. *Food & Bioproducts Processing, 90*: 235-242.

[18] Tavakoli, J., Hajpour Soq, K. H., Yousefi, A. R., Estakhr, P., Dalvi, M., Mousavi Khaneghah, A., 2019. Antioxidant activity of *Pistacia atlantica* var *mutica* kernel oil and it's unsaponifiable matters. *Journal of Food Science & Technology, 56*: 5336–5345.

[19] Gunstone, F. D., 2005. Vegetable Oils. In: Shahidi F (ed) Bailey's industrial oil and fat products. 6rd edn. Wiley, New Jersey, pp 1-55.

[20] Liu, R., Liu, R., Shi, L., Zhang, Z., Zhang, T., Lu, M., Chang, M., Jin, X.,Wang, X., 2019. Effect of refining process on physicochemical parameters, chemical compositions and in vitro antioxidant activities of rice bran oil. *LWT-Food Science and Technology, 109, 26–32.*

[21] Tavakoli, J., Brewer, M.S., Zarei Jelyani, A., Estakhr, P., 2017. Oxidative stability of olive oil during the thermal process: Effect of Pistacia khinjuk fruit oil. *International Journal of Food Properties*, 20, 3256-3265.

[22] Frankel, E.N. 2005. Lipid Oxidation (2ed). The Oily Press LTD

[23] Tavakoli, J., Estakhr, P., Zarei Jelyani, A., 2017. Effect of unsaponifiable matter extracted from *Pistacia khinjuk* fruit oil on the oxidative stability of olive oil. *Journal of Food Science and Technology, 54,2980–2988.*

[24] Veronezi, C.M., Jorge, N., 2018. Effect of *Carica papaya* and *Cucumis melo* seed oils on the soybean oil stability. *Food Science and Biotechnology. 27, 1031–1040.*

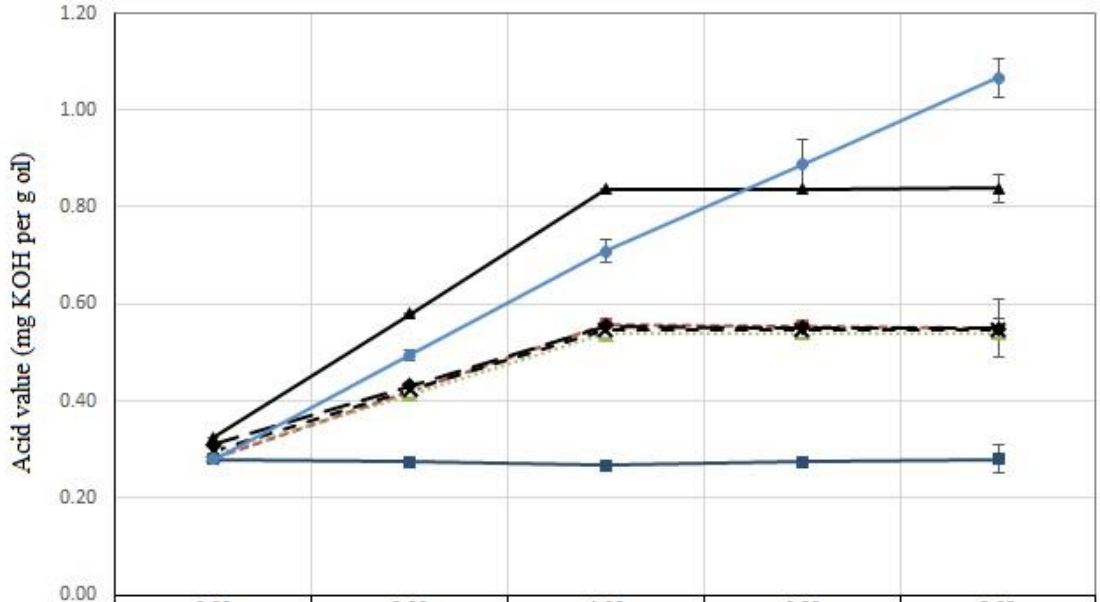
[25] Kowalski, B., Ratusz, K., Kowalska, D., Bekas, W., 2004. Determination of the oxidative stability of vegetable oils by differential scanning calorimetry and Rancimat measurements. *European Journal of Lipid Science and Technology, 106, 165–169.*

[26] Shahidi, F. & Zhong, Y., 2005. Lipid Oxidation: Measurement Methods. In: Shahidi F (ed) Bailey's industrial oil and fat products. 6rd edn. Wiley, New Jersey, pp 370-373.

Table 1 Some chemical properties of Baneh skin oil and sunflower oil

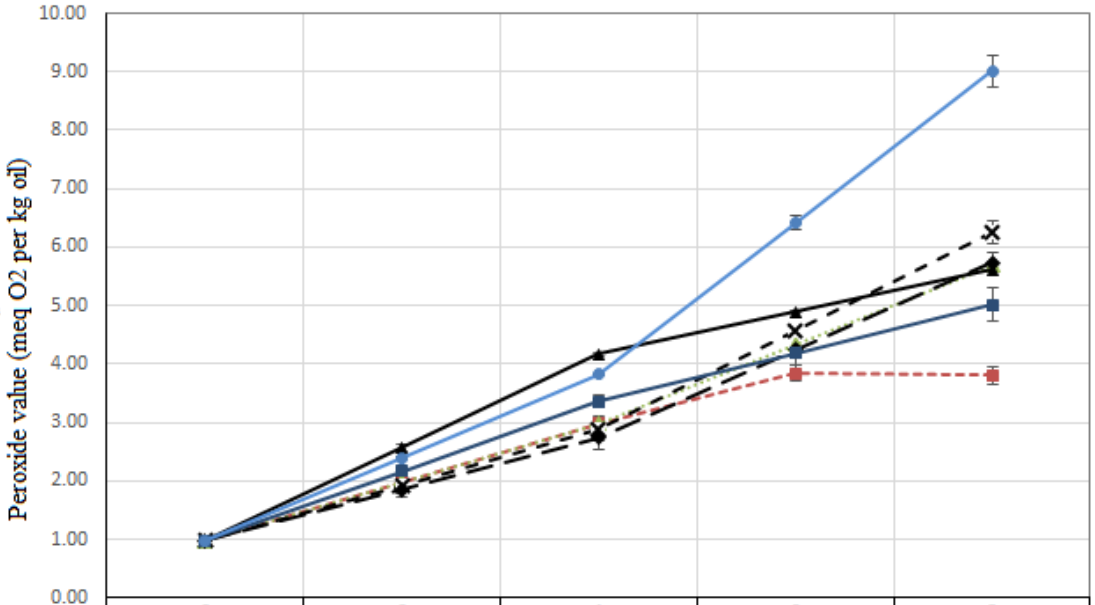
parameter	Baneh skin oil	sunflower oil
Fatty acid composition		
14:0	-	0.08±0.05
16:0	21.25±0.2 a	8.6±0.09 b
16:1	12.2±0.13 a	0.32±0.04 b
18:0	3.79±0.06 b	4.59±0.03 a
18:1	51.8±0.3 a	27.8±0.21 b
18:2	8.71±0.2 b	54.4±0.25 a
18:3	1.3±0.03 b	2.75±0.06 a
20:1	0.46±0.02 a	0.42±0.03 a
22:0	0.39±0.02 b	0.84±0.03 a
Unsaponifiable matter content (%)	2.1±0.04 a	0.65±0.03 b
Total tocopherols content (mg/kg)	734±1 b	858±19 a
Total phenolics content (mg/kg)	86±1.4 a	33±2.1 b

Mean ± SD within a row with the same lowercase letters are not significantly different at $P<0.05$.



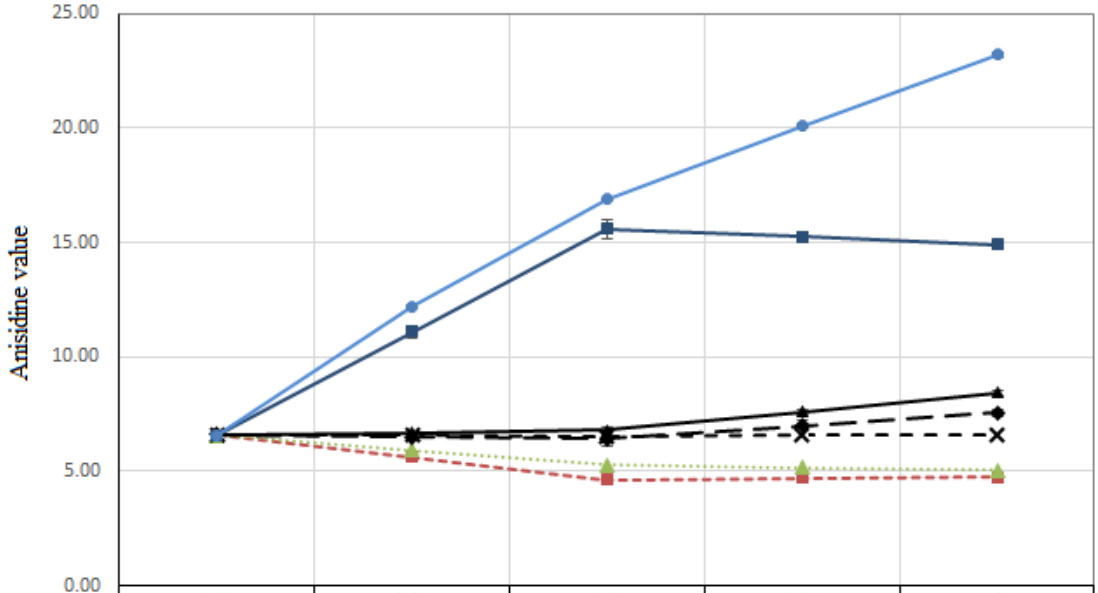
	0.00	2.00	4.00	6.00	8.00
H: 0.05	0.28	0.42	0.56	0.55	0.55
I: 0.1	0.29	0.41	0.54	0.54	0.54
K:0.2	0.30	0.42	0.55	0.55	0.55
M:0.35	0.31	0.43	0.55	0.55	0.55
R:0.5	0.32	0.58	0.84	0.84	0.84
TBHQ	0.28	0.27	0.27	0.27	0.28
pure sunflower	0.28	0.49	0.71	0.89	1.07

Figure 1- Changes in the acid value of refined sunflower oil under the influence of different amounts of crude Baneh skin oil and 100 ppm of TBHQ during 8 hours of thermal processing at 170 °C. H: sample of sunflower oil containing 0.05% of crude Baneh skin oil; I: sunflower oil sample containing 0.1% of crude Baneh skin oil; K: sample of sunflower oil containing 0.2% of crude Baneh skin oil; M: sample of sunflower oil containing 0.35% of crude Baneh skin oil, R: sample of sunflower oil containing 0.5% of crude Baneh skin oil.



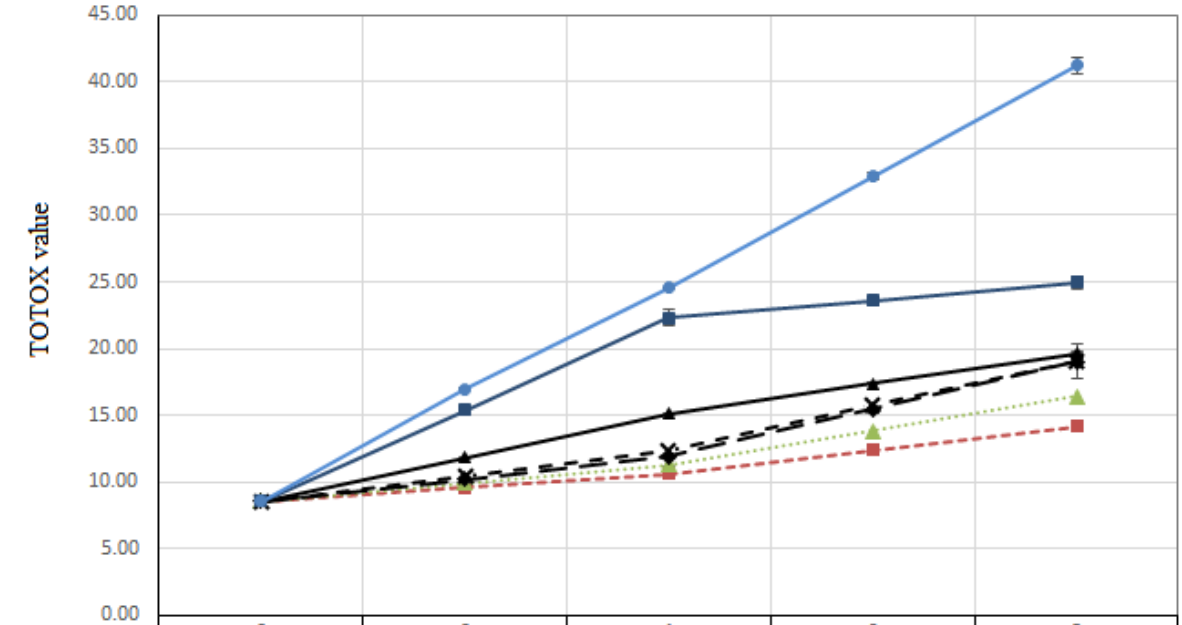
	0	2	4	6	8
H: 0.05	0.97	1.98	2.99	3.84	3.80
I: 0.1	0.97	1.98	2.99	4.34	5.69
K:0.2	0.97	1.92	2.88	4.56	6.25
M:0.35	0.97	1.86	2.74	4.24	5.74
R: 0.5	0.98	2.57	4.17	4.89	5.61
TBHQ	0.97	2.17	3.36	4.19	5.01
pure sunflower	0.97	2.39	3.81	6.41	9.01

Figure 2- Changes in the peroxide value of refined sunflower oil under the influence of different amounts of crude Baneh skin oil and 100 ppm of TBHQ during 8 hours of thermal processing at 170 °C. H: sample of sunflower oil containing 0.05% of crude Baneh skin oil; I: sunflower oil sample containing 0.1% of crude Baneh skin oil; K: sample of sunflower oil containing 0.2% of crude Baneh skin oil; M: sample of sunflower oil containing 0.35% of crude Baneh skin oil, R: sample of sunflower oil containing 0.5% of crude Baneh skin oil.



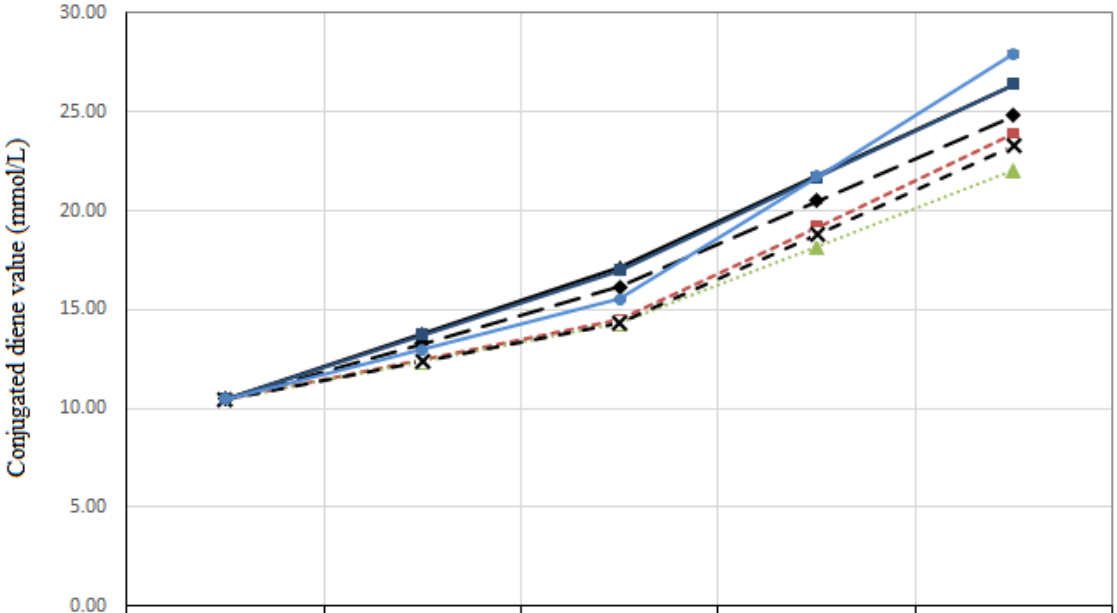
	0.00	2.00	4.00	6.00	8.00
H: 0.05	6.59	5.61	4.62	4.69	4.76
I: 0.1	6.59	5.95	5.30	5.17	5.05
K:0.2	6.60	6.58	6.55	6.58	6.60
M:0.35	6.60	6.51	6.43	6.99	7.55
R: 0.5	6.60	6.69	6.79	7.61	8.44
TBHQ	6.59	11.09	15.59	15.26	14.92
pure sunflower	6.59	12.20	16.90	20.10	23.20

Figure 3- Changes in the anisidine value of refined sunflower oil under the influence of different amounts of crude Baneh skin oil and 100 ppm of TBHQ during 8 hours of thermal processing at 170 °C. H: sample of sunflower oil containing 0.05% of crude Baneh skin oil; I: sunflower oil sample containing 0.1% of crude Baneh skin oil; K: sample of sunflower oil containing 0.2% of crude Baneh skin oil; M: sample of sunflower oil containing 0.35% of crude Baneh skin oil, R: sample of sunflower oil containing 0.5% of crude Baneh skin oil.



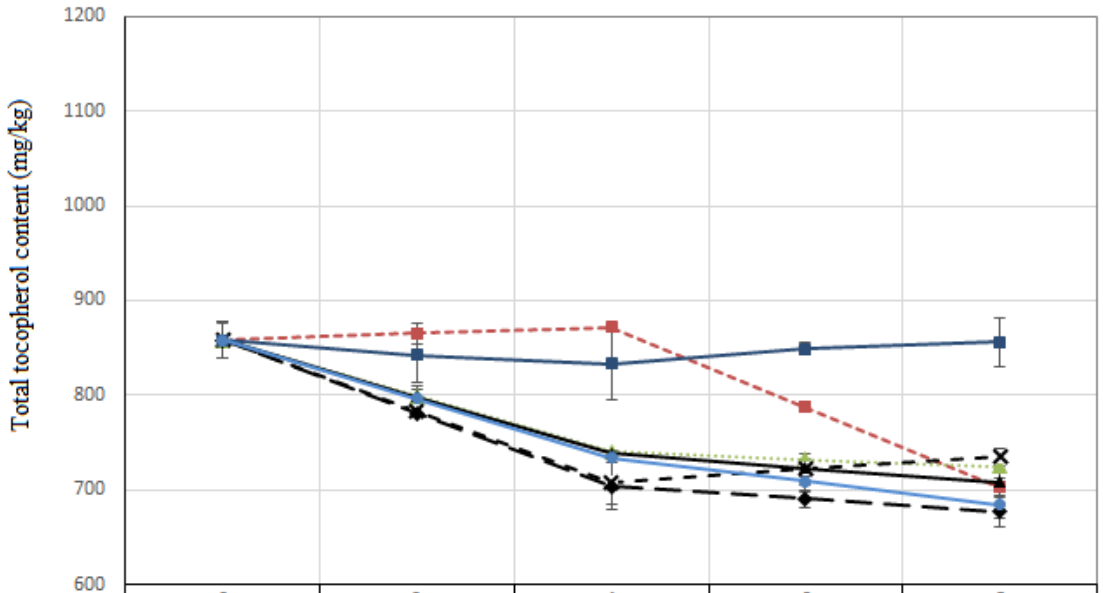
	0	2	4	6	8
H: 0.05	8.54	9.57	10.60	12.38	14.16
I: 0.1	8.54	9.90	11.27	13.85	16.42
K:0.2	8.54	10.42	12.31	15.70	19.10
M:0.35	8.55	10.23	11.90	15.47	19.03
R: 0.5	8.55	11.84	15.12	17.39	19.65
TBHQ	8.53	15.42	22.32	23.63	24.95
pure sunflower	8.53	16.98	24.53	32.92	41.22

Figure 4- Changes in the TOTOX value of refined sunflower oil under the influence of different amounts of crude Baneh skin oil and 100 ppm of TBHQ during 8 hours of thermal processing at 170 °C. H: sample of sunflower oil containing 0.05% of crude Baneh skin oil; I: sunflower oil sample containing 0.1% of crude Baneh skin oil; K: sample of sunflower oil containing 0.2% of crude Baneh skin oil; M: sample of sunflower oil containing 0.35% of crude Baneh skin oil, R: sample of sunflower oil containing 0.5% of crude Baneh skin oil.



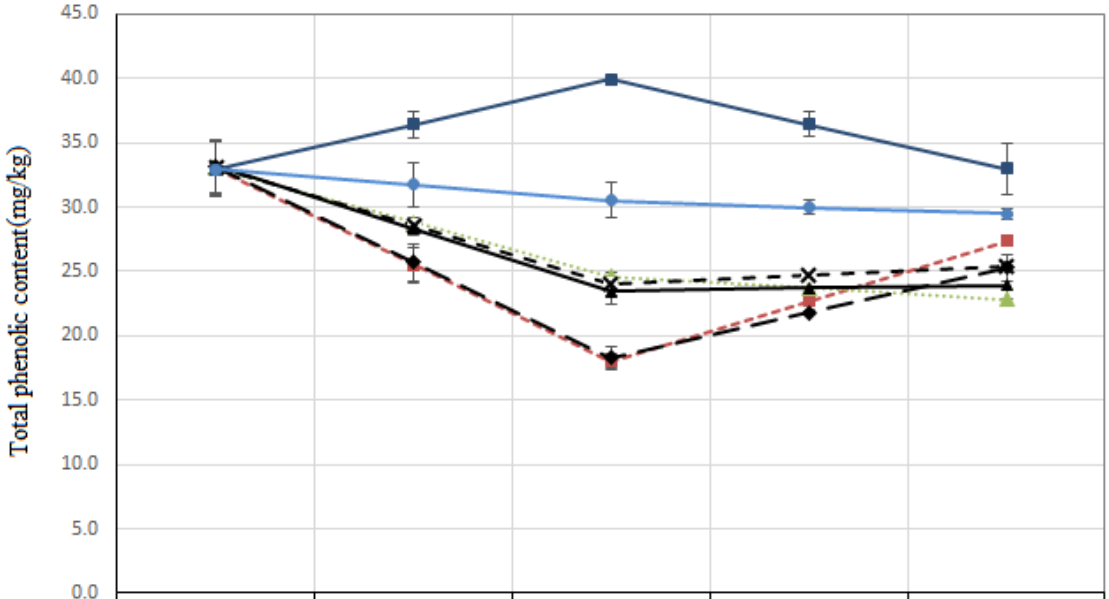
	0.00	2.00	4.00	6.00	8.00
	Time (hour)				
H: 0.05	10.45	12.46	14.48	19.19	23.90
I=0.1	10.45	12.36	14.28	18.16	22.03
K=0.2	10.45	12.36	14.28	18.78	23.28
M=0.35	10.45	13.29	16.14	20.48	24.83
R: 0.5	10.45	13.81	17.17	21.78	26.38
TBHQ	10.45	13.71	16.97	21.67	26.38
pure sunflower	10.45	12.98	15.52	21.72	27.93

Figure 5- Changes in the conjugated diene value of refined sunflower oil under the influence of different amounts of crude Baneh skin oil and 100 ppm of TBHQ during 8 hours of thermal processing at 170 °C. H: sample of sunflower oil containing 0.05% of crude Baneh skin oil; I: sunflower oil sample containing 0.1% of crude Baneh skin oil; K: sample of sunflower oil containing 0.2% of crude Baneh skin oil; M: sample of sunflower oil containing 0.35% of crude Baneh skin oil, R: sample of sunflower oil containing 0.5% of crude Baneh skin oil.



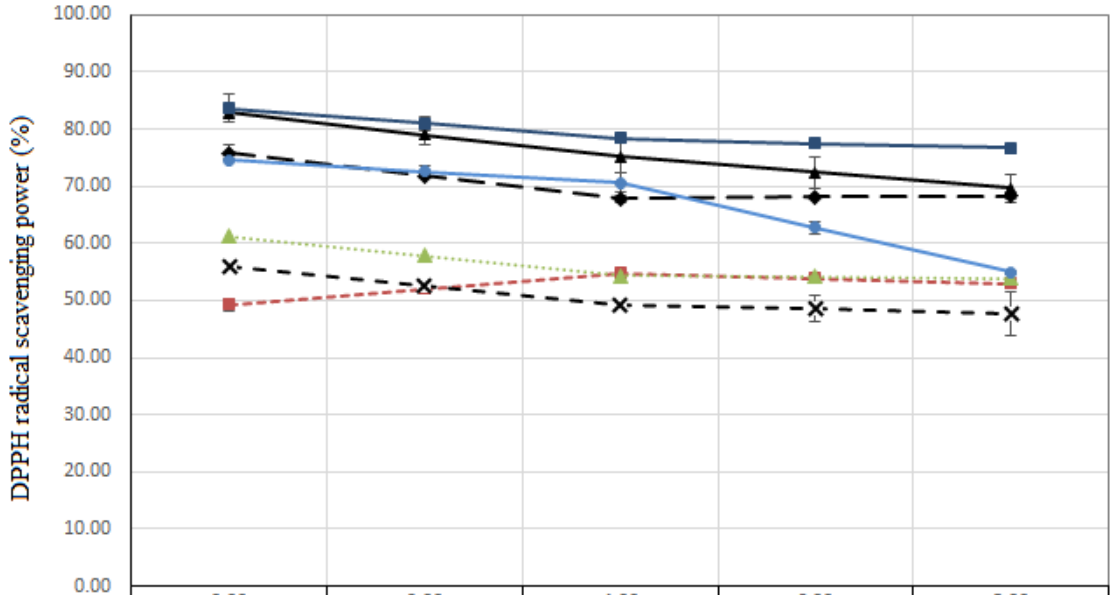
	0	2	4	6	8
H: 0.05	858	865	872	787	702
I: 0.1	858	799	740	732	724
K:0.2	858	783	708	721	734
M:0.35	858	781	704	691	677
R: 0.5	858	798	738	723	708
TBHQ	858	842	833	849	856
pure sunflower	858	796	734	709	685

Figure 6- Changes in the Total tocopherols content of refined sunflower oil under the influence of different amounts of crude Baneh skin oil and 100 ppm of TBHQ during 8 hours of thermal processing at 170 °C. H: sample of sunflower oil containing 0.05% of crude Baneh skin oil; I: sunflower oil sample containing 0.1% of crude Baneh skin oil; K: sample of sunflower oil containing 0.2% of crude Baneh skin oil; M: sample of sunflower oil containing 0.35% of crude Baneh skin oil, R: sample of sunflower oil containing 0.5% of crude Baneh skin oil.



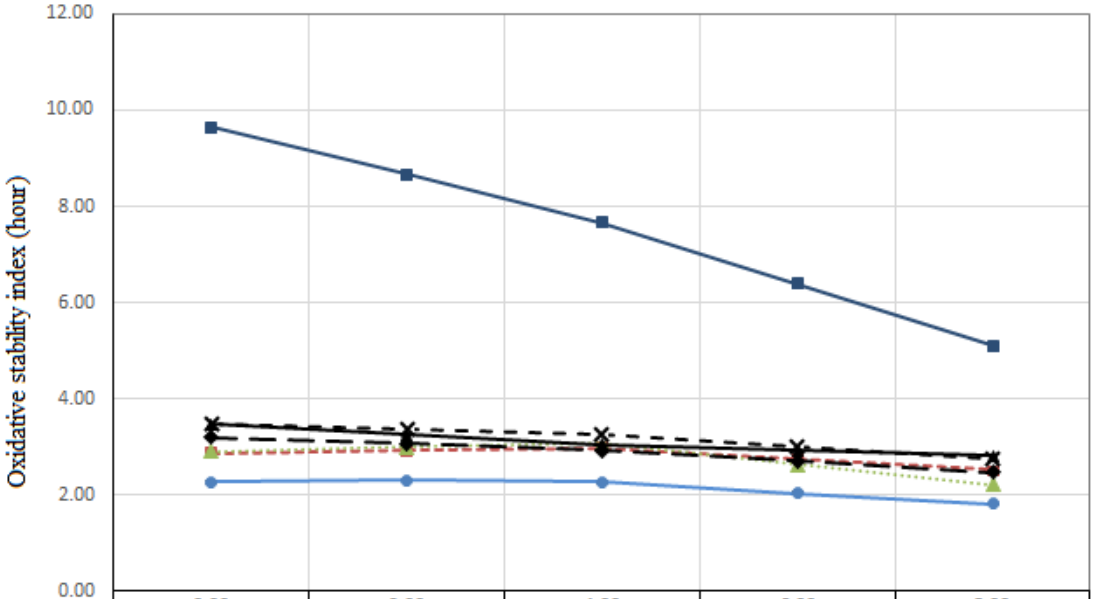
	0.0	2.0	4.0	6.0	8.0
H: 0.05	33.0	25.5	18.0	22.7	27.4
I: 0.1	33.0	28.8	24.6	23.7	22.8
K: 0.2	33.1	28.5	24.0	24.7	25.4
M: 0.35	33.1	25.7	18.3	21.8	25.3
R: 0.5	33.2	28.3	23.5	23.7	23.9
TBHQ	32.9	36.4	39.9	36.4	33.0
pure sunflower	32.9	31.7	30.5	30.0	29.5

Figure 7- Changes in the Total phenolic content of refined sunflower oil under the influence of different amounts of crude Baneh skin oil and 100 ppm of TBHQ during 8 hours of thermal processing at 170 °C. H: sample of sunflower oil containing 0.05% of crude Baneh skin oil; I: sunflower oil sample containing 0.1% of crude Baneh skin oil; K: sample of sunflower oil containing 0.2% of crude Baneh skin oil; M: sample of sunflower oil containing 0.35% of crude Baneh skin oil, R: sample of sunflower oil containing 0.5% of crude Baneh skin oil.



	0.00	2.00	4.00	6.00	8.00
H: 0.05	49.30	52.06	54.82	53.91	53.00
I:0.1	61.28	57.84	54.40	54.10	53.81
M:0.2	55.87	52.57	49.27	48.48	47.70
K:0.35	75.80	71.82	67.84	68.07	68.30
R: 0.5	82.82	79.03	75.24	72.43	69.62
TBHQ	83.66	81.01	78.35	77.50	76.64
pure sunflower	74.55	72.56	70.57	62.76	54.96

Figure 8- Changes in the DPPH radical scavenging power of refined sunflower oil under the influence of different amounts of crude Baneh skin oil and 100 ppm of TBHQ during 8 hours of thermal processing at 170 °C. H: sample of sunflower oil containing 0.05% of crude Baneh skin oil; I: sunflower oil sample containing 0.1% of crude Baneh skin oil; K: sample of sunflower oil containing 0.2% of crude Baneh skin oil; M: sample of sunflower oil containing 0.35% of crude Baneh skin oil, R: sample of sunflower oil containing 0.5% of crude Baneh skin oil.



	0.00	2.00	4.00	6.00	8.00
H: 0.05	2.87	2.93	2.98	2.75	2.52
I=0.1	2.91	2.99	3.07	2.64	2.21
K=0.2	3.47	3.37	3.27	3.01	2.74
M=0.35	3.19	3.06	2.93	2.70	2.46
R: 0.5	3.46	3.26	3.05	2.93	2.81
TBHQ	9.65	8.66	7.66	6.39	5.11
pure sunflower	2.26	2.31	2.26	2.04	1.81

Figure 9- Changes in the oxidative stability index (measured with Rancimat device) of refined sunflower oil under the influence of different amounts of crude Baneh skin oil and 100 ppm of TBHQ during 8 hours of thermal processing at 170 °C. H: sample of sunflower oil containing 0.05% of crude Baneh skin oil; I: sunflower oil sample containing 0.1% of crude Baneh skin oil; K: sample of sunflower oil containing 0.2% of crude Baneh skin oil; M: sample of sunflower oil containing 0.35% of crude Baneh skin oil, R: sample of sunflower oil containing 0.5% of crude Baneh skin oil.

Journal of Food Science and Technology (Iran)

Homepage:www.fsct.modares.ir

Scientific Research

Improving the oxidative stability of sunflower oil by using the oil from the Baneh skin in very small amounts

Javad Tavakoli*[1], Negar Razmkhah[1], Masoomeh Ranjbar[2]

[1] Department of Food Science and Technology, Faculty of Agriculture, Jahrom University, Jahrom, Fars, Iran.

[2]Food and Drug Laboratory, Jahrom University of Medical Sciences, Jahrom, Iran

ARTICLE INFO

Article History:

Received:2023/6/12

Accepted:2023/9/4

Keywords:

Natural antioxidant,

oxidation,

edible oil,

synthetic antioxidant,

antioxidant activity

DOI: 10.22034/FSCT.22.159.1.

*Corresponding Author E-

ja_tavakoli@yahoo.com

javadtavakoli@jahromu.ac.ir

ABSTRACT

In the present study, the effect of different amounts of Baneh skin oil (0.05% to 0.5%) on the oxidative stability of refined sunflower oil during 8 hours of thermal process at 170 °C was investigated, which was 100 ppm of synthetic antioxidant TBHQ. used for comparison. Evaluating the results of various oxidative stability tests (peroxide value, anisidine value, totox value, Conjugated diene value and acid value) showed that the use of Baneh skin oil improved the oxidative stability of sunflower oil. The best conditions of oxidative stability were observed in sunflower oil containing 0.05% of Baneh skin oil, followed by the oil sample containing 0.1% of Baneh skin oil, both of which had a superior antioxidant effect than TBHQ. In order to better interpret the results of oxidative stability tests, the changes of tocopherol and polyphenolic compounds as two indicator antioxidant compounds were investigated during the thermal process. The results showed that there is no relationship between the changes of these compounds and oxidative stability tests. The sample containing TBHQ had the greatest protective effect on antioxidant compounds, which due to the creation of a peroxidative state caused by the increase of antioxidants, it decreased the oxidative stability of sunflower oil. Also, the investigation of changes in antioxidant activity during the thermal process with the help of two DPPH radical scavenging and Rancimet tests also showed that the sunflower oil sample containing 0.05% of Baneh skin oil had the best conditions, which was consistent with the results of oxidative stability tests. The results of the present research are very important because the oil of the Baneh skin oil was not pure at all compared to TBHQ.