

## مقاله پژوهشی

مجله دانشگاه علوم پزشکی رفسنجان

دوره ۱۵، مرداد ۱۳۹۵، ۴۱۲-۳۹۹

# ارزیابی مقاومت به اکسایش و پیش‌بینی انبارمانی روغن پسته با استفاده از نسیمت

علی دینی<sup>۱</sup>، هدی فرخی<sup>۲</sup>، ناصر صداقت<sup>۳</sup>، مزده باقری<sup>۴</sup>، نگین محمدخانی<sup>۴</sup>

دریافت مقاله: ۹۴/۱۰/۲۰ ارسال مقاله به نویسنده جهت اصلاح: ۹۴/۱۱/۱۹ دریافت اصلاحیه از نویسنده: ۹۵/۲/۱۹ پذیرش مقاله: ۹۵/۳/۲۴

### چکیده

**زمینه و هدف:** نسیمت تکنیکی برای تعیین سریع مقاومت به اکسیداسیون در چربی‌ها و روغن‌ها است که نتایج خوبی در خصوص پیش‌بینی انبارمانی و پایداری حرارتی روغن‌ها در اختیارمان قرار می‌دهد. در این پژوهش با استفاده از روش نسیمت، مقاومت روغن پسته ۵ واریته اهلی و وحشی به اکسایش و تأثیر خصوصیات شیمیایی بر پایداری حرارتی تعیین گردید.

**مواد و روش‌ها:** مطالعه حاضر نوعی مطالعه آزمایشگاهی است. روغن پنج گونه پسته شامل بنه، احمدآقایی، کله‌قوچی، اکبری و فندقی با حلال استخراج شد و با استفاده از روش کروماتوگرافی گازی ترکیب اسیدهای چرب و با استفاده از روش‌های شیمیایی میزان آنتی‌اکسیدان‌ها و کیفیت روغن تعیین شد. همچنین مقاومت به اکسایش با دستگاه نسیمت تعیین گردید. میانگین‌ها با نرم‌افزار MStat 2,10 و بر اساس آزمون دانکن در سطح ۵٪ مقایسه گردیدند.

**یافته‌ها:** اسید اولئیک و اسید پالمیتیک به ترتیب از بیشترین ترکیبات اسید چرب کل و اسید چرب اشباع در پسته بود. بیشترین مقدار اسید اولئیک در واریته احمدآقایی و بیشترین و کمترین اسیدهای چرب با یک باند دوگانه و چند باند دوگانه در روغن پوست بنه (۶۵-۷۷٪) و کمترین و بیشترین اسیدهای چرب با یک باند دوگانه و چند باند دوگانه در روغن مغز بنه (۵۳، ۳۲/۸٪) مشاهده شد. بیشترین اندیس مقاومت به اکسیداسیون به ترتیب در روغن پوست بنه، روغن مغز بنه و روغن واریته احمدآقایی مشاهده شد. انرژی فعال‌سازی واکنش اکسیداسیون در محدوده ۹۲-۹۸/۲ kJ/mol محاسبه شد. نتایج تحقیق نشان داد که زمان انبارمانی در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد در روغن پوست بنه، روغن مغز بنه و واریته احمدآقایی به ترتیب ۷۸۶، ۳۸۶ و ۲۸۰ روز است. در انواع اهلی (تجاری) پسته، انبارمانی واریته احمد آقایی بیش از ۱/۵ برابر واریته‌های دیگر ارزیابی گردید.

**نتیجه‌گیری:** ترکیب اسید چرب و مقدار بالای آنتی‌اکسیدان‌ها مهم‌ترین فاکتورهای مقاومت بالای روغن پوست و مغز گونه وحشی پسته و دلیل ماندگاری بیشتر آن نسبت به واریته‌های تجاری است. در بین گونه‌های تجاری پسته، واریته احمدآقایی گونه مناسبی جهت روغن‌کشی و فرایندهای حرارت بالا مانند برشته کردن می‌باشد.

**واژه‌های کلیدی:** روغن پسته، نسیمت، انبارمانی، اندیس مقاومت به اکسایش، اسیدهای چرب

۱- دانشجوی دکتری تخصصی علوم و تکنولوژی مواد غذایی، مرکز تحقیقات سلامت پسته، دانشگاه علوم پزشکی رفسنجان، رفسنجان، ایران

۲- (نویسنده مسئول) کارشناسی ارشد علوم و صنایع غذایی، معاونت غذا و دارو کرمان، دانشگاه علوم پزشکی کرمان، کرمان، ایران

تلفن: ۰۳۴-۳۲۱۲۳۰۲۴، دورنگار: ۰۳۴-۳۲۱۱۳۰۳۴، پست الکترونیک: hd.farrokhi@gmail.com

۳- دانشیار گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

۴- کارشناس آزمایشگاه کنترل غذا و دارو، معاونت غذا و دارو، دانشگاه علوم پزشکی رفسنجان، رفسنجان، ایران

## مقدمه

پسته یکی از مقبول‌ترین مغزهای خوراکی و از منابع خوب روغن در جهان محسوب می‌گردد. روغن پسته به واسطه دارا بودن نسبت بالایی از اسیدهای چرب غیراشباع (۷۰-۵۰٪) و ضروری، دارای خصوصیات تغذیه‌ای مهم بوده به طوری که اولئیک، لینولئیک و لینولنیک اسید موجود در آن باعث تأثیرات مثبت بر قلب و عروق و کاهش کلسترول خون می‌گردد [۱].

اکسیداسیون در روغن‌ها به واسطه تجزیه اسیدهای چرب با چند باند دوگانه و تولید رادیکال‌های آزاد شروع شده و منجر به کاهش آنتی‌اکسیدان‌های طبیعی، ارزش غذایی و خصوصیات حسی روغن می‌شود [۲]. مقاومت به اکسیداسیون یکی از پارامترهای مهم در ارزیابی کیفی روغن‌ها و چربی‌ها است که تحت تأثیر ترکیب اسیدهای چرب روغن و ترکیبات جزئی که مهم‌ترین آنها آنتی‌اکسیدان‌ها طبیعی از قبیل پلی‌فنل‌ها و ویتامین‌های گروه E است، قرار می‌گیرد [۳].

روش‌های اندازه‌گیری ماندگاری به‌طور کلی به دو گروه اصلی تقسیم می‌شوند: روش بلندمدت و روش کوتاه‌مدت یا تسریع‌شده (Accelerated Shelf Life Testing). در روش اخیر قادریم در زمان کوتاه‌تری، نسبت به روش اول، مدت‌زمان ماندگاری محصول را تعیین کنیم. در این روش ماده غذایی تحت تأثیر عامل تشدیدکننده فساد قرار می‌گیرد و اثرات آن بر روی ماده غذایی بررسی می‌شود. با به دست آوردن زمان ماندگاری در دمای بالا، زمان ماندگاری در دمای پایین از طریق برون‌یابی اطلاعات

به‌دست‌آمده از شرایط تهییج، پیش‌بینی می‌شود. بر اساس تحقیقات Labuza و همکاران، حرارت یکی از عوامل مؤثر تشدیدکننده فساد است. بنابراین در روش تسریع‌شده، در عمل، ماده غذایی تحت تأثیر درجه حرارت بالا قرار می‌گیرد و نتایج از طریق معادله آرنیوسی و فاکتور تهییج دما (Q<sub>10</sub>) به شرایط معمولی تعمیم داده می‌شود [۴-۵].

مطالعات پیشین در خصوص ترکیبات شیمیایی و مقاومت به اکسیداسیون روغن پسته حاکی از مقاومت بالای روغن مغز گونه‌های وحشی (*P. atlantica Desf*) [۶] و همچنین روغن پوست گونه‌های وحشی به اکسیداسیون دارد [۷].

تاکنون مطالعات جامعی در خصوص ترکیبات شیمیایی و مقاومت به اکسایش گونه‌های اهلی مهم پسته ایران (*P. vera Linnaeus*) و مقایسه آنها با گونه‌های وحشی انجام نشده است. لذا در این پژوهش سعی کرده‌ایم تا با جداسازی روغن مغز چهار گونه اهلی مهم پسته ایران (*P. vera Linnaeus*) شامل فندق، احمد آقایی، کله قوچی و اکبری و همچنین، روغن پوست و مغز یک گونه وحشی پسته (بنه) که به میزان زیادی در استان کرمان به‌صورت خودرو وجود دارد، به بررسی ترکیب اسیدهای چرب و خصوصیات شیمیایی واریته‌های مختلف پسته استان کرمان بپردازیم و مقاومت به اکسایش روغن واریته‌های مختلف پسته و دلایل آن مورد ارزیابی قرار دهیم و با استفاده از روش سریع، زمان انبارمانی آنها را در شرایط محیطی تخمین بزنیم.

## مواد و روش‌ها

**مواد اولیه:** پسته وحشی بنه از منطقه راویز و میمند شهرستان رفسنجان، واریته احمدآقایی از منطقه نوق و از شرکت امین پدیدار رفسنجان، و واریته‌های فندق، کله قوچی و اکبری از شهرستان کرمان تهیه شدند. کلیه واریته‌ها به صورت آفتابی خشک شده و مربوط به سال زراعی ۱۳۹۳ بودند. نمونه‌ها تا زمان آزمایش در دمای ۱۸- درجه سانتی‌گراد نگهداری شد. کلیه مواد شیمیایی و استانداردها و حلال‌های مورد استفاده از دو شرکت مرک و سیگما تهیه گردید.

**استخراج روغن:** استخراج با استفاده از تغییراتی در روش Abdolshahi و همکاران انجام شد [۸].

ابتدا بنه پوست‌گیری شده به دو بخش پوست سبز و پوست سخت استخوانی جدا گردید. برای جداسازی کامل روغن احتمالی باقی‌مانده در پوست سخت استخوانی، دو مرتبه به مدت ۲۰ دقیقه مغز بنه پوشیده شده با پوست استخوانی با آن هگزان شستشو شده و سپس خشک گردید. مغز به همراه پوست سخت استخوانی آسیاب گردید.

مغز ۵ گونه پسته احمدآقایی، کله‌قوچی، اکبری، فندق و بنه آسیاب شده و پوست سبز بنه با روش استخراج با حلال به نسبت حجمی ۴ به ۱ (حلال ۴ برابر وزن مغز) و در ۴ مرحله به پسته اضافه شد؛ به‌گونه‌ای که در مرحله اول ۲۴ ساعت و سپس ۸ ساعت، در مجموع ۴۸ ساعت با روش خیساندن در حلال روغن‌کشی انجام شده و حلال و

روغن با استفاده از کاغذ صافی در هر مرحله جداسازی شدند.

حلال با استفاده از دستگاه تقطیر در خلأ (BUCHI R-) 114A29 B-480- Switzerland) به مدت ۶ تا ۸ ساعت در دمای ۴۰ درجه سانتی‌گراد از روغن جداسازی شد.

**۲-۳- کروماتوگرافی گازی:** ترکیب اسید چرب نمونه‌های روغن به وسیله کروماتوگرافی گازی (Gas Chromatography, ACM6000, USA) تعیین و بر اساس درصد نسبی سطوح گزارش شد. استرهای متیل اسیدهای چرب با اختلاط روغن و هگزان (۴/۰ گرم در ۷ میلی‌لیتر) با ۷ میلی‌لیتر هیدروکسید پتاسیم متانولی ۲ نرمال در دمای ۵۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۰ دقیقه تهیه شدند.

استرهای اسیدهای چرب با کروماتوگراف مدل ACM6000 ساخت کشور آمریکا با نرم‌افزار Autochrom2000، مجهز به ستون‌های موبینه BPX70 شیشه‌ای سیلیکا (۱۲۰ متر طول، ۰/۲۲ میلی‌متر قطر داخلی، ۰/۲ میکرومتر ضخامت لایه داخلی) و آشکارساز یونی شعله‌ای (Flame Ionization Detector) شناسایی گردیدند. گاز حامل هلیوم با سرعت جریان ۱۷ میلی‌لیتر بر دقیقه بود. سرعت جریان هوا ۳۰۰ میلی‌لیتر بر دقیقه، سرعت هیدروژن ۳۰ میلی‌لیتر بر دقیقه و دماهای آون، بخش تزریق و آشکارساز به ترتیب ۱۹۸، ۲۵۰ و ۲۸۰ درجه سانتی‌گراد بودند [۹].

**آزمون رنسیمت:** برای اندازه‌گیری شاخص اکسایش‌پذیری OSI (Oxygen Stability Index) و تعیین انرژی فعال‌سازی واکنش و فاکتور تهییج دما

( $Q_{10}$ , temperature acceleration factor)، روغن استخراج‌شده با حلال در پنج دمای ۱۱۰، ۱۲۰، ۱۳۰، ۱۴۰ و ۱۵۰ درجه سانتی‌گراد به میزان ۵ گرم و سرعت جریان هوای ۲۰ لیتر بر ساعت توسط رنسیمت Metrohm مدل ۷۴۳ مورد آزمون قرار گرفت [۹].

فاکتور تهییج دما نشان‌دهنده نسبت افزایش واکنش به ازای افزایش ۱۰ درجه سانتی‌گراد است که از رابطه ذیل محاسبه گردید.

$$Q_{10} = 10^{-10T_c}$$

در رابطه فوق  $T_c$  به‌عنوان ضریب دمایی و از رسم نمودار  $\log OSI$  به زمان به دست آمد. از رسم نمودار خطی  $\log(OSI) = aT + b$  در دماهای ۱۱۰ تا ۱۵۰ درجه سانتی‌گراد رابطه خطی به دست می‌آید که شیب خط (a) به‌عنوان ضریب دما ( $T_c$ ) محاسبه می‌گردد.

از برون‌یابی رابطه  $\log(OSL) = aT + b$  زمان انبارمانی در دمای محیط ( $25^\circ C$ ) محاسبه گردید.

انرژی فعال‌سازی واکنش ( $E_a$ , kJ/mol) از رابطه  $\log k = \log A - \left( \frac{E_a}{2.303RT} \right)$  محاسبه گردید که در این رابطه  $K$ ، ثابت نرخ واکنش،  $R$  ثابت جهانی گازها ( $8.3143 \text{ J/mol } ^\circ K$ ) و  $T$ ، دما ( $^\circ K$ ) است.

اندازه‌گیری ترکیبات توکفرولی کل: محتوی توکفرول کل به میلی‌گرم توکفرول در کیلوگرم روغن اطلاق می‌شود؛ که به روش اسپکتروفتومتری (Cary 100, Varian Australia) در طول موج ۵۲۰ نانومتر با استفاده از منحنی کالیبراسیون آلفاتوکفرول خالص در تولوئن در محدوده ۰-۲۴۰ میکروگرم بر میلی‌لیتر محاسبه می‌گردد.

۲۰۰ میلی‌گرم از روغن در یک ظرف حجمی ۱۰ میلی‌لیتری با ۵ میلی‌لیتر تولوئن مخلوط شده و سپس ۳/۵ میلی‌لیتر محلول ۰/۰۷٪ وزنی حجمی ۲،۲ بای پیریدین در اتانول ۹۵٪ به آن اضافه شده و درنهایت ۰،۵ میلی‌لیتر محلول کلرید آهن III بدان اضافه شده و حجم آن با اتانول ۹۵٪ به ۱۰ میلی‌لیتر رسانده می‌شود و پس از ۱ دقیقه جذب در ۵۲۰ نانومتر قرائت می‌گردد. محلول‌های استاندارد نیز با شرایط فوق و فاقد نمونه روغن تهیه گردیدند [۱۰].

اندازه‌گیری ترکیبات پلی‌فنل: ترکیبات پلی‌فنلی توسط روش Capanesi و همکاران و بر اساس اسید گالیک تعیین شد [۱۱]. در این روش از معرف فولین سیوکالچو استفاده شد. ابتدا منحنی کالیبراسیون رسم گردید و جذب نمونه‌های روغن پس از آماده‌سازی در ۷۶۵ نانومتر قرائت شد.

اندازه‌گیری اندیس پراکسید: مقدار پراکسید با استفاده از روش اسپکتروفتومتری بیان‌شده توسط Shantha و همکارش تعیین گردید [۱۲]. میزان ۰/۰۱-۰/۰۳ گرم از نمونه بر اساس میزان احتمالی پراکسید با ۹/۸ میلی‌لیتر مخلوط متانول و کلرفرم (۷:۳ v/v) مخلوط شده و ۵۰ میکرولیتر از محلول اشباع ۳۰٪ تیوسیانات آمونیم و محلول آهن II به آن اضافه شده و پس از ۵ دقیقه ماندگاری در دمای اتاق تاریک در طول موج ۵۰۰ نانومتر قرائت شد.

منحنی استاندارد با استفاده از تیترازول محلول مادر کلرید آهن III در محلول کلرید هیدروژن ۳/۷٪ تهیه گردید و محلول‌های کاری با استفاده از محلول مادر

(۱۰۴۰ µg/ml) در رقت‌های ۰-۲۵ میکروگرم بر میلی‌لیتر تهیه گردید و شیب منحنی مقدار ۴۰/۳۹ به دست آمد که مقدار پراکسید از رابطه ذیل محاسبه گردید.

$$\text{جذب نمونه} * \text{شیب منحنی کالیبراسیون} = \frac{\text{پراکسید (میلی لیتری ولان بر کیلوگرم روغن)}}{55.85 * 2}$$

**اندازه‌گیری اسیدیته چربی:** عدد اسیدی مقدار هیدروکسید پتاسیم لازم برای خنثی کردن اسیدهای چرب آزاد یک گرم چربی است که بر اساس استاندارد AOCS Cd 3d-63 اندازه‌گیری شد [۱۳].

۵۰ میلی لیتر اتانل خنثی‌شده را بر روی ۱۰ گرم نمونه روغن ریخته و بعد از اختلاط و حرارت‌دهی، پس از اولین جوش آن را با محلول هیدروکسید پتاسیم ۰/۱ نرمال در حضور معرف فنل فتالین تیترومی‌کنیم. جهت محاسبه تقریبی میزان اسید چرب آزاد (برحسب اسید اولئیک در ۱۰۰ گرم روغن) عدد اسیدی را در عدد ۰/۵۰۳ ضرب می‌نماییم.

کلیه آزمون‌ها در سه تکرار انجام شد و میانگین‌ها با نرم‌افزار MStatC نسخه 2,10 و بر اساس آزمون دانکن در سطح ۵٪ مقایسه گردیدند.

## نتایج

همان‌گونه که در جدول ۱ نشان داده شده است، اسید اولئیک، اسید چرب غالب در روغن پسته است که بیشترین مقدار آن در گونه‌های اهلی به میزان ۵۸/۷٪ در واریته احمدآقایی و کمترین مقدار آن در روغن مغز بنه به

میزان ۵۱/۹٪ می‌باشد. بیشترین اسید چرب اشباع (SAFA) در روغن پوست بنه به میزان ۲۶/۳۹٪ بود که تفاوت فاحشی با روغن دیگر گونه‌ها داشت که به میزان ۱۳/۲-۱۰/۹٪ ارزیابی گردید.

بیشترین اسید چرب با چند باند دوگانه (PUFA) لینولئیک اسید است که میزان این اسید چرب تفاوت فاحشی در روغن مغز ۵ گونه با روغن پوست بنه دارد. در بین مغزهای خوراکی، روغن واریته احمدآقایی با کمترین مقدار اسید لینولئیک (۲۷/۷٪) و روغن مغز بنه با بیشترین مقدار (۳۲/۲۵٪) ارزیابی گردیدند.

خصوصیات شیمیایی روغن واریته‌های مختلف مورد مطالعه در جدول ۱ آورده شده است. کمترین میزان اندیس اکسایش‌پذیری به ترتیب مربوط به روغن پوست بنه، روغن واریته احمدآقایی، فندق، اکبری، کله‌قوچی و درنهایت، روغن مغز بنه است. عدد اسیدی و پراکسید به ترتیب در محدوده ۰/۰۷-۰/۰۹ و ۰/۶-۴ meq/kg نشان‌دهنده کیفیت متفاوت روغن‌های مورد مطالعه است. کمترین کیفیت روغن مربوط به پوست بنه و احمدآقایی و بیشترین کیفیت و تازگی مربوط به روغن واریته کله‌قوچی بود و عدد پراکسید در کلیه نمونه‌ها در محدوده استاندارد شماره ۶۶۵۵ و کمتر از ۵ meq/kg بود [۱۴].

جدول ۱- مقایسه ترکیب اسید چرب و خصوصیات شیمیایی روغن پسته

نوع گونه						اسید چرب
پوست بنه	مغز بنه	احمدآقایی	اکبری	فندق	کله قوچی	
a./۰.۰۶۲۲	b./۰.۰۴۰۱	-	-	-	-	اسید لوریک (C12:0)
d./۰.۰۴۶۴	a./۰.۱۱۶۱	b./۰.۰۹۲۳	c./۰.۰۸۲۸	a./۰.۱۰۱۲	ab./۰.۰۹۸۵	اسید مریستیک (C14:0)
b./۰.۰۱۸۹	bc./۰.۰۱۵۹	a./۰.۰۳۱۷	-	c./۰.۰۱۲۹	ab./۰.۰۲۴۴	اسید مریستولنیک (C14:1)
a <sub>۲۳</sub> /۳۲۶۱	b <sub>۹</sub> /۳۶۱۵	b <sub>۹</sub> /۰.۵۶۲	b <sub>۹</sub> /۲۳۸۶	c <sub>۸</sub> /۸۴۴۶	b <sub>۹</sub> /۳۵۰.۸	اسید پالمیتیک (C16:0)
b./۰.۰۶۱۸	b./۰.۰۵۱۵	a./۰.۰۹۹۵	a./۰.۰۴۷	a./۰.۰۹۶۰	a./۰.۰۹۷۱	اسید پالمیتولنیک (C16:1, T)
a <sub>۱۱</sub> /۱۸۶۷۵	b <sub>۱</sub> /۱۷۴۳	cd./۰.۸۲۲۱	c./۰.۹۲۱۱	d./۰.۷۵۸۲	c./۰.۹۴۲۵	اسید پالمیتولنیک (C16:1, C)
a./۰.۱۱۱۳	b./۰.۰۷۰۳	c./۰.۰۵۶۱	c./۰.۰۵۵۰	bc./۰.۰۶۷۸	c./۰.۰۵۷۶	اسید مارگاریک (C17:0)
b <sub>۲</sub> /۶۳۵۶	a <sub>۳</sub> /۲۱۸۷	c <sub>۱</sub> /۷۰۶۶	e <sub>۱</sub> /۲۷۶۴	d <sub>۱</sub> /۵۸۴۱	de <sub>۱</sub> /۳۷۲۳	اسید استئاریک (C18:0)
a./۰.۰۶۲۹	a./۰.۰۶۴۹	b./۰.۰۲۴۱	b./۰.۰۳۰۱	a./۰.۰۶۰۰	b./۰.۰۳۷۸	اسید لاینولیک (C18:1, Trans)
d <sub>۴</sub> ۶/۹۹۳۲	c <sub>۴</sub> ۹/۶۳۲۵	a <sub>۵</sub> ۶/۴۲۰.۷	b <sub>۵</sub> ۳/۰.۴۶۵	a <sub>۵</sub> ۵/۶۲۶۹	b <sub>۵</sub> ۲/۵۸۳۳	اسید اولئیک (C18:1, C9)
a <sub>۱۵</sub> /۹۶۴۰	b <sub>۲</sub> /۲۲۶۰	b <sub>۲</sub> /۲۳۸۷	b <sub>۲</sub> /۳۸۶۱	b <sub>۲</sub> /۲۴۰.۸	b <sub>۲</sub> /۵۴۶۲	اسید اولئیک (C18:1, C11)
a./۰.۰۷۹۷	b./۰.۰۲۱۵	b./۰.۰۲۳۲	b./۰.۰۲۷۳	b./۰.۰۱۹۹	b./۰.۰۲۱۵	اسید اولئیک (C18:1, C)
-	a./۰.۰۲۶۶	-	a./۰.۰۲۶۴	a./۰.۰۲۸۵	a./۰.۰۲۸۶	اسید لینولنیک (C18:2, T-T)
-	a./۰.۰۵۶۳	ab./۰.۰۴۵۳	ab./۰.۰۴۵۳	b./۰.۰۴۲۴	b./۰.۰۴۲۱	اسید لینولنیک (C18:2, C-T)
e <sub>۷</sub> /۱۵۱۷	a <sub>۳</sub> ۲/۱۳۱۲	d <sub>۲</sub> ۸/۶۸۹۷	b <sub>۳</sub> ۱/۰.۵۴۶	c <sub>۲</sub> ۸/۷۴۲۵	b <sub>۳</sub> ۱/۱۶۰.۶	اسید لینولنیک (C18:2, C-C)
-	a./۰.۰۴۴۳	b./۰.۰۲۴۵	b <sub>۱</sub> /۰.۲۰۴	a./۰.۰۴۹۹	b./۰.۰۲۶۴	اسید لینولنیک (C18:2, C)
a./۰.۰۷۷۰	-	-	b./۰.۰۱۳۰	-	-	اسید لینولنیک (C18:3, Trans)
a./۰.۰۷۵۱۵	b./۰.۰۶۲۷۴	c./۰.۰۴۸۰۱	b./۰.۰۶۱۲۸	c./۰.۰۴۷۸۳	c./۰.۰۴۸۲۸	اسید لینولنیک (C18:3, Alpha $\omega$ 3)
bc./۰.۰۱۵۰۸	a./۰.۰۲۴۱۸	b./۰.۰۱۷۳۷	c./۰.۰۱۴۵۳	b./۰.۰۱۷۷۹	c./۰.۰۱۴۳۸	اسید آراشیدیک (C20:0)
c./۰.۰۱۵۷۱	b./۰.۰۴۸۰۶	a./۰.۰۵۹۲۰	b./۰.۰۵۰۸۶	ab./۰.۰۵۶۹۶	ab./۰.۰۵۲۶۱	اسید گادولنیک (C20:1)
c./۰.۰۶۴۲	a./۰.۰۱۴۸۹	b./۰.۰۱۱۰۴	ab./۰.۰۱۲۰۲	ab./۰.۰۱۲۶۲	ab./۰.۰۱۱۷۵	اسید بهنیک (C22:0)
a./۰.۰۴۷۳	ab./۰.۰۳۲۳	ab./۰.۰۳۷۳	b./۰.۰۲۵۷	a./۰.۰۴۱۱	a./۰.۰۴۳۳	اسید اروسیک (C24:0)
-	a./۰.۰۴۵۹	b./۰.۰۳۱۸	ab./۰.۰۳۷۳	ab./۰.۰۴۰۰	ab./۰.۰۳۹۳	اسید لیگنوسریک (C24:0)
a <sub>۲</sub> ۶/۳۹	b <sub>۱</sub> ۳/۲۴	c <sub>۱</sub> ۱/۲۲	c <sub>۱</sub> ۰/۹۵	c <sub>۱</sub> ۰/۹۴	c <sub>۱</sub> ۱/۱۷۹	مجموع اسید چرب اشباع (SAFA)
a <sub>۶</sub> ۵/۲۵	d <sub>۵</sub> ۳/۶۹	b <sub>۵</sub> ۹/۳۹	c <sub>۵</sub> ۷/۰.۵	b <sub>۵</sub> ۹/۴۲	c <sub>۵</sub> ۶/۸۲	مجموع اسید چرب یک باند دوگانه

(MUFA)						
۷/۹۸ <sup>e</sup>	۳۲/۸۸ <sup>a</sup>	۲۸/۲۳ <sup>d</sup>	۳۱/۷۷ <sup>b</sup>	۲۹/۳۴ <sup>c</sup>	۳۱/۷۴ <sup>b</sup>	مجموع اسید چرب اشباع چند باند دوگانه
(PUFA)						
۱/۴۴ <sup>e</sup>	۳/۹۷ <sup>a</sup>	۳/۵۵ <sup>d</sup>	۳/۸۹ <sup>b</sup>	۳/۶۵ <sup>c</sup>	۳/۸۷ <sup>b</sup>	ضریب اکسایش پذیری (Cox)
۸/۱۷ <sup>a</sup>	۱/۶۳ <sup>e</sup>	۲/۱۳ <sup>b</sup>	۱/۷۹ <sup>d</sup>	۲/۰۲ <sup>c</sup>	۱/۷۸ <sup>d</sup>	نسبت MUFA:PUFA
۰/۳۰ <sup>f</sup>	۲/۴۷ <sup>e</sup>	۲/۵۰ <sup>d</sup>	۲/۸۹ <sup>a</sup>	۲/۶۷ <sup>c</sup>	۲/۸۲ <sup>b</sup>	نسبت PUFA:SAFA
۱۹۶ <sup>d</sup>	۲۵۰ <sup>a</sup>	۱۷۵ <sup>e</sup>	۱۷۶ <sup>e</sup>	۲۳۸ <sup>b</sup>	۲۰۲ <sup>c</sup>	توکفرول کل (mg a-tocopherol/kg oil)
۱۸۰ <sup>a</sup>	۹۴ <sup>b</sup>	۷۵ <sup>bc</sup>	۶۲ <sup>c</sup>	۶۸ <sup>c</sup>	۵۹ <sup>c</sup>	فنل کل (mg gallic acid/kg oil)
۳/۹۳ <sup>c</sup>	۰/۷۱ <sup>a</sup>	۴ <sup>c</sup>	۰/۶ <sup>a</sup>	۱/۲۷ <sup>b</sup>	۰/۶۴ <sup>a</sup>	اندیس پراکسید
۰/۹ <sup>d</sup>	۰/۵۵ <sup>c</sup>	۰/۸۵ <sup>d</sup>	۰/۲۱ <sup>b</sup>	۰/۱ <sup>b</sup>	۰/۰۷ <sup>a</sup>	عدد اسیدی

اختلافات با استفاده از آزمون دانکن در سطح معنی داری ۵٪ در هر ردیف با حروف کوچک لاتین نمایش داده شده است.

انرژی فعال سازی واکنش اکسیداسیون روغن پسته به وسیله رنسیمت در گونه های مختلف پسته متفاوت و در محدوده ۹۲-۹۸,۲ kJ/mol ارزیابی گردید. بیشترین مقدار انرژی فعال سازی مربوط به روغن پوست بانه بود و تفاوت معنی داری بین انرژی فعال سازی واکنش در روغن واریته های فندق، اکبری و کله قوچی مشاهده نشد و این واریته ها دارای کمترین انرژی فعال سازی و وابستگی به دما در واکنش اکسیداسیون در دمای بالا بودند.

اتواکسیداسیون واکنشی است شیمیایی که با سرعت اندک در دمای محیط رخ می دهد. از این رو، از روش های تسریع شده بالاخص تهییج دمایی جهت بررسی مقاومت به اکسیداسیون روغن ها استفاده می شود. با برون یابی و بر اساس فرمول ذیل، زمان انبارمانی در دمای ۲۵ درجه سانتی گراد تخمین زده شد.

$$SL_T = 10^{(TC * TSL + i)}$$

مقاومت اکسایشی (OSI) روغن پسته در دماهای ۱۱۰ تا ۱۵۰ درجه سانتی گراد در جدول ۲ آورده شده است. روغن پوست بانه با مقاومت اکسایشی ۳۹/۷۳ ساعت در ۱۱۰ درجه سانتی گراد، بیشترین مقاومت به اکسایش را دارد. پس از آن، روغن مغز بانه و احمدآقایی به ترتیب با ۲۲/۶۷ و ۱۴/۷۵، بیشترین مقدار مقاومت به اکسایش را نشان دادند؛ به طوری که مقاومت به اکسایش واریته این روغن ها قابل مقایسه با روغن زیتون است. تفاوت معنی داری در مقاومت اکسایشی سه واریته تجاری دیگر مشاهده نشد. بیشترین مقدار Q<sub>10</sub> مربوط به روغن پوست بانه و احمدآقایی و کمترین مقدار مربوط به روغن واریته فندق بود. رابطه مستقیم بین Q<sub>10</sub> با انرژی فعال سازی با ضریب تبیین ۰/۹۹۷ مشاهده شد که نشان دهنده تأثیر کیفیت اولیه روغن و میزان ترکیبات تشکیل دهنده بر این فاکتورها می باشد.

در رابطه فوق  $T_c$  ضریب دمایی و  $i$  عرض از مبدأ است. نتایج حاصل از برون‌یابی نشان داد که بیشترین انبارمانی به ترتیب مربوط به روغن پوست بانه، مغز بانه و احمدآقایی

به میزان ۷۸۶، ۳۸۶ و ۲۸۰ روز بوده و در نمونه‌های کله‌قوچی، اکبری و فندقی در محدوده ۱۸۰ روز تخمین زده شد (جدول ۲).

جدول ۲- مقاومت به اکسایش روغن پسته وارپته‌های مختلف در ده‌های ۱۱۰ تا ۱۵۰ درجه سانتی‌گراد

دما ( $^{\circ}C$ )	شاخص مقاومت به اکسایش (OSI) روغن وارپته‌های مختلف پسته (ساعت)					
	کله‌قوچی	فندق	اکبری	احمدآقایی	مغز بانه	پوست بانه
	میانگین $\pm$	میانگین $\pm$	میانگین $\pm$	میانگین $\pm$	میانگین $\pm$	میانگین $\pm$
	انحراف معیار	انحراف معیار	انحراف معیار	انحراف معیار	انحراف معیار	انحراف معیار
۱۱۰	۱۲/۶۸ $\pm$ ۰/۱۸	۱۲/۹۵ $\pm$ ۰/۳	۱۲/۲۴ $\pm$ ۰/۲۵	۱۴/۷۵ $\pm$ ۰/۲	۲۲/۶۷ $\pm$ ۱	۳۹/۷۳ $\pm$ ۳
۱۲۰	۶/۴۲ $\pm$ ۰/۱	۶/۶ $\pm$ ۰/۱۵	۶/۲ $\pm$ ۰/۰۸	۷/۲ $\pm$ ۰/۱	۱۱/۳۸ $\pm$ ۰/۰۲۵	۱۸/۷۴ $\pm$ ۰/۸
۱۳۰	۳/۱۶ $\pm$ ۰/۰۳	۳/۳۵ $\pm$ ۰/۰۷	۳/۰۸ $\pm$ ۰/۰۳	۳/۴۵ $\pm$ ۰/۰۵	۵/۱۲ $\pm$ ۰/۰۹	۸/۵۴ $\pm$ ۰/۱۷
۱۴۰	۱/۶۱ $\pm$ ۰/۰۱۷	۱/۵۷ $\pm$ ۰/۰۳	۱/۵ $\pm$ ۰/۰۱۵	۱/۶۳ $\pm$ ۰/۰۲۵	۲/۱۸ $\pm$ ۰/۱	۴/۴۷ $\pm$ ۰/۲
۱۵۰	۰/۸۱ $\pm$ ۰/۰۰۸	۰/۸۷ $\pm$ ۰/۰۴	۰/۷۹ $\pm$ ۰/۰۱۸	۰/۸۴ $\pm$ ۰/۰۲	۱/۲۴ $\pm$ ۰/۰۸	۲/۲۶ $\pm$ ۰/۱۴
۲۵ (برون‌یابی)	۴۴۱۱	۴۳۲۵	۴۳۱۴	۶۷۲۵	۹۲۸۱	۱۸۸۷۷
ضریب تبیین ( $R^2$ )	۰/۹۹۹	۰/۹۹۸	۰/۹۹۹	۰/۹۹۹	۰/۹۹۹	۰/۹۹۸
ضریب دمایی ( $TC(C^{-1})$ )	-۲/۹۸ $\times 10^{-2}$	-۲/۹۶ $\times 10^{-2}$	-۲/۹۹ $\times 10^{-2}$	-۳/۱۳ $\times 10^{-2}$	-۳/۰۸ $\times 10^{-2}$	-۳/۱۶ $\times 10^{-2}$
$Q_{10}$	۱/۹۹	۱/۹۸	۱/۹۹۵	۲/۰۳۸	۲/۰۳	۲/۰۷۳
انرژی فعال‌سازی ( $E_a$ (kJ/mol)	۹۲/۷۱۴	۹۲/۰۹	۹۲/۹۳۱	۹۵/۸۷	۹۵/۰۸	۹۸/۲۷

## بحث

(MUFA) در روغن پوست بانه مشاهده شد که به دلیل وجود مقادیر قابل توجهی از اسید چرب پالمیتوئیک اسید می‌باشد که تفاوت معنی‌داری با روغن مغز ۵ گونه دارد و بسیار بیشتر از مقدار گزارش شده در روغن‌های خوراکی رایج است [۱۷]. Tavakoli و همکاران میزان این اسید چرب در روغن پوست بانه استان فارس را به میزان ۱۴٪ گزارش نموده‌اند که کمی بیش از مقدار مشاهده شده در این تحقیق (۱۱/۸۶٪) است [۱۸].

Satil و همکاران ترکیبات روغن دو وارپته پسته اوزون و سیرت در نواحی مختلف ترکیه را مورد بررسی قرار

بررسی ترکیب اسیدهای چرب روغن پسته: در سال‌های گذشته مطالعات گسترده‌ای در خصوص ترکیبات تشکیل‌دهنده پسته و مغزهای خوراکی انجام شده است و کلیه ترکیبات آن، بدون مقایسه در خصوص وارپته‌های مختلف و تنها در خصوص یک وارپته خاص، مورد مطالعه قرار گرفته است [۱۶-۱۵].

اسید چرب اشباع غالب در تمامی گونه‌ها، پالمیتیک اسید است. بیشترین مقدار اسید چرب با یک باند دوگانه



دادند [۱]. نتایج حاکی از آن بود که اسید اولئیک با مقادیر بین ۶۲/۶-۵۵/۴٪ در واریته اوزون و ۶۵/۵-۶۰/۷٪ در واریته سیریت ترکیب اصلی روغن پسته بوده که کمی بیشتر از محدوده ارزیابی شده در این پژوهش می‌باشد. اسید لینولئیک در محدوده ۱۵/۷-۱۴/۷٪ در واریته اوزون و ۱۶/۱-۱۷/۸٪ در واریته سیریت گزارش شده است که از مقادیر مورد مطالعه در این پژوهش کمتر است. مقدار اسید چرب لینولنیک ۰/۳٪ و اسیدهای چرب اشباع به میزان ۲۸/۱-۱۶/۱٪ در واریته اوزون و ۱۶/۳-۱۴/۹٪ در واریته سیریت گزارش شده است. تفاوت‌هایی در ترکیب اسید چرب پسته ایران و ترکیه مشاهده می‌شود که علیرغم تأثیر شرایط جغرافیایی می‌تواند نشان‌دهنده تأثیر واریته بر ترکیب اسید چرب در پسته باشد [۱۹].

Tehrani و همکاران ترکیبات شیمیایی روغن پسته منطقه فارس، اصفهان و کهگیلویه و بویراحمد را پس از اختلاط و استخراج به روش پرس سرد مورد بررسی قرار دادند. ترکیب اسیدهای چرب ۱۶/۵۱٪ اسید چرب اشباع، ۵۳/۱٪ اسید چرب با یک باند دوگانه شامل ۵۰/۶۵٪ اسید اولئیک و ۳۰/۳۹٪ اسید چرب با چند باند دوگانه ارزیابی گردید [۲۰]. مقایسه نتایج این محققین نشان می‌دهد که تفاوت ترکیب اسید چرب با میانگین واریته‌های اهلی در این مطالعه در میزان اسید چرب اشباع (۱۱/۱۱٪) و اسید چرب با یک باند دوگانه (۵۸/۳٪) است و میزان اسید چرب با دو باند دوگانه در محدوده روغن واریته‌های مورد بررسی قرار دارد.

**بررسی مقاومت به اکسایش روغن پسته در دمای بالا و پارامترهای رابطه آرنیوسی تأثیر دما: مقاومت به اکسایش**

روغن پوست بنه در دمای ۱۱۰ درجه سانتی‌گراد بیش از روغن زیتون (۲۴/۲-۶/۹) و دیگر روغن‌های گیاهی مانند سویا (۸ ساعت)، کلزا (۱۰ ساعت)، ذرت (۱۰/۵ ساعت) و روغن آفتابگردان با اولئیک بالا (۲۰/۸ ساعت) است [۲۱]. ضریب دمایی  $T_c(^{\circ}C^{-1})$  در نمونه‌های روغن در محدوده  $10^{-2} * 2/96 - 10^{-2} * 3/16$  ارزیابی شد که با مشاهدات Wan & Hasenhuettl در روغن‌های خوراکی مشابهت دارد [۲۲]. ضریب دمایی در روغن زیتون کمتر از روغن پسته و در محدوده  $10^{-2} * 3/27 - 10^{-2} * 3/71$  تعیین گردیده است [۹]. در این محدوده‌ها  $Q_{10}$  روغن پسته ۲،۰۷۳-۱،۹۸ و روغن زیتون ۲/۳۷-۲/۱۲ محاسبه گردید و این فاکتور برای روغن آفتابگردان ۲/۲-۱/۹ ارزیابی شده است که وابستگی دمایی در روغن زیتون، کانولا، ذرت و سویا بیش از روغن پسته و آفتابگردان است [۲۳، ۹]. ساختار اسید چرب یک روغن، یکی از فاکتورهای مؤثر بر پایداری اکسایشی آن است [۶]. همان‌گونه که در جدول ۱ نشان داده شده است، اختلاف معنی‌داری در فاکتور MUFA:PUFA در روغن پوست بنه نسبت به روغن واریته‌های دیگر مشاهده می‌شود. از این‌رو، اندیس اکسایش‌پذیری (COX) روغن پوست بنه (۱/۴۴) در مقایسه با روغن مغز واریته‌های دیگر (۳/۵-۳/۹) تفاوت چشمگیری را نشان داده و بالا بودن مقدار پلی‌فنل در روغن پوست بنه، باعث مقاوم بودن این روغن به اکسایش و افزایش انبارمانی در دمای محیط تا بیش از دو سال شده است.

پس از روغن پوست بنه، بیشترین مقاومت اکسایشی مربوط به روغن مغز بنه است که تفاوت معنی‌داری با

روغن واریته‌های تجاری دارد. همان‌طور که در جدول ۱ نشان داده شده است، ترکیب اسید چرب روغن مغز بنه مقاومت کمتری به اکسایش نسبت به واریته‌های تجاری دارد؛ به‌طوری‌که نسبت MUFA:PUFA آن در کمترین مقدار نسبت به دیگر نمونه‌ها بوده و بیشترین اندیس اکسایش‌پذیری (۳/۹۷) در این نمونه مشاهده شد که برخلاف خصوصیت شیمیایی ذکرشده، روغن مغز بنه از مقاومت حرارتی خوبی برخوردار است؛ که دلیل آن بالا بودن ترکیبات آنتی‌اکسیدانی در این گونه نسبت به روغن واریته‌های تجاری است. ترکیبات آنتی‌اکسیدانی نقش بسیار مهمی در پایداری اکسایشی روغن‌های خوراکی ایفا می‌کنند. ترکیبات فنلی و توکفرولی از مهم‌ترین ترکیبات آنتی‌اکسیدانی هستند که با مهار کردن رادیکال‌های آزاد در بدن نقش بیولوژیکی ایفا کرده و اثرات سلامت‌بخشی در استفاده از آنها مشاهده شده است [۲۴]. Farhoosh و همکارش تأثیر خصوصیات شیمیایی بر پایداری روغن زیتون را در دماهای بالا و پایین مورد بررسی قرار دادند و نتایج حاکی از آن بوده است که میزان توکفرول کل (۵۶-۰/۴۴)، مهم‌ترین تأثیر را بر مقاومت اکسایشی در دمای بالا، در مقایسه با پارامترهای مشخص‌کننده کیفیت اولیه روغن مانند عدد پراکسید (۰/۱۱)، عدد اسیدی (۰/۱۲/۵) و ترکیب اسید چرب (۰/۱۷-۰/۲۲)، بر پایداری حرارتی در دمای بالای در روغن زیتون دارد [۲۵].

بیشترین مقدار توکفرول (۲۵۰ mg/kg) در روغن مغز بنه مشاهده شد که تفاوت معنی‌داری با نمونه‌های دیگر داشت و پس از روغن پوست بنه، دارای بیشترین مقدار

ترکیبات پلی‌فنل (۹۸mg/kg) بود. مقادیر بالای ترکیبات آنتی‌اکسیدانی در روغن مغز بنه، علی‌رغم بالا بودن اندیس اکسایش‌پذیری (COX)، دلیل مقاومت بالای روغن مغز بنه در دماهای ۱۵۰-۱۱۰ درجه سانتی‌گراد است؛ به‌طوری‌که زمان انبارمانی در این گونه تا یک سال تخمین زده شده که بیش از دو برابر زمان انبارمانی روغن واریته‌های فندق، کله‌قوچی و اکبری است.

واریته احمدآقایی دارای بیشترین مقاومت اکسایشی در بین گونه‌های تجاری است. در مقایسه ترکیبات اسید چرب، کمترین COX مربوط به روغن واریته احمدآقایی است و تفاوت معنی‌داری بین میزان توکفرول در این واریته با واریته اکبری مشاهده نشد.

لذا در محدوده دمایی ۱۵۰-۱۱۰°C تفاوت معنی‌داری بین مقاومت اکسایشی این واریته و اکبری مشاهده شد. علی‌رغم پایین‌تر بودن میزان توکفرول تام در این گونه نسبت به گونه‌های فندق و کله‌قوچی، تفاوت معنی‌داری در مقاومت اکسایشی این واریته در دماهای ۱۳۰-۱۱۰ درجه سانتی‌گراد با واریته‌های فندق و کله‌قوچی مشاهده شد. اما بالاتر بودن میزان توکفرول کل در واریته‌های فندق و کله‌قوچی باعث گردید تا علاوه بر این‌که باعث کاهش تأثیرگذاری دما بر مقاومت اکسایشی (Q<sub>10</sub> کمتر) گردیده، تفاوت معنی‌داری در مقاومت اکسایشی روغن واریته احمدآقایی با این گونه‌ها در دماهای بالای ۱۳۰ درجه مشاهده نگردد. مقدار پلی‌فنل در واریته احمدآقایی در مقایسه با سه واریته تجاری دیگر تفاوت معنی‌داری داشت که نشان‌دهنده مقاومت بالاتر روغن این گونه در بین گونه‌های تجاری مورد آزمون بود. طبق

چرب و دارا بودن کمترین میزان COX، بیشترین مقدار انرژی فعال سازی را دارد.

### نتیجه گیری

بررسی خصوصیات شیمیایی روغن واریته های مختلف پسته نشان داد اختلاف معنی دار ترکیب اسیدهای چرب و میزان بالای پلی فنل ها و ویتامین E در روغن پوست و مغز بنه نسبت به گونه های تجاری، علی رغم پایین بودن کیفیت اولیه روغن پوست بنه، دلیل اصلی مقاومت اکسایشی بالای آن است. تفاوت در ترکیب اسید چرب و میزان آنتی اکسیدان ها موجب شد تا مقاومت به اکسایش روغن نمونه های مختلف و فاکتورهایی مانند انرژی فعال سازی و Q10 تغییر کرده و موجب تفاوت معنی داری در مقاومت به اکسایش روغن گونه وحشی پسته با گونه های اهلی و تجاری گردد؛ به طوری که بیشترین مقاومت به اکسایش، انرژی فعال سازی واکنش و زمان انبارداری مربوط به روغن پوست بنه است و روغن واریته احمدآقایی از بیشترین مقاومت به اکسایش، انرژی فعال سازی و انبارداری در بین واریته های تجاری برخوردار است. واریته احمدآقایی می تواند به عنوان واریته تجاری مناسب جهت روغن کشتی و استفاده در فرایندهای با حرارت بالا مورد استفاده قرار گیرد. روغن پوست و مغز بنه، به واسطه دارا بودن مقادیر بالایی از آنتی اکسیدان ها، می تواند جهت اختلاط برای افزایش مقاومت روغن پسته مورد استفاده قرار گیرد. با توجه به اهمیت بالای تأثیر میزان آنتی اکسیدان ها بر مقاومت اکسایشی، پیشنهاد می گردد تأثیر منطقه جغرافیایی و شرایط آب و هوایی بر

گزارش Réblová افزایش دما به دلیل تسریع در از بین رفتن پلی فنل ها، باعث کاهش تأثیرگذاری آنتی اکسیدان های فنلی می گردد [۲۶].

در دمای بالا نیز می تواند باعث کم اثر شدن این ترکیبات در کاهش سرعت اکسایش روغن گونه احمدآقایی شده و موجب گردید تا تفاوت معنی داری در مقاومت اکسایشی گونه های تجاری احمدآقایی، فندق و کله قوچی در دماهای بالاتر از ۱۳۰ درجه مشاهده نگردد.

انرژی فعال سازی واکنش در روغن پسته در محدوده انرژی فعال سازی واکنش اکسیداسیون برخی روغن های گیاهی مانند روغن زیتون ( $89-113 \text{ kJ/mol}$ ) و روغن سویا ( $92/42 \text{ kJ/mol}$ ) قرار دارد و کمی بیشتر از روغن های گیاهی چون روغن کانولا ( $89/94 \text{ kJ/mol}$ ) و روغن ذرت ( $88/14 \text{ kJ/mol}$ ) است [۲۳، ۹]. انرژی فعال سازی واکنش اکسیداسیون تحت تأثیر مقدار اسیدهای چرب با چند باند دوگانه قرار می گیرد. Adhvaryu و همکاران نشان دادند که افزایش میزان اسیدهای چرب غیراشباع با چند باند دوگانه مانند لینولئیک و لینولنیک اسید، باعث کاهش انرژی فعال سازی، و افزایش میزان اسید اولئیک موجب افزایش انرژی فعال سازی واکنش می شود. [۲۷]. به علاوه، افزایش میزان اسیدهای چرب اشباع بر افزایش پایداری روغن مؤثر است (افزایش Ea). از این رو، کمترین میزان اسیدهای چرب غیراشباع با چند باند دوگانه و بیشترین میزان اسید چرب اشباع باعث افزایش مقاومت و بالاتر بودن انرژی فعال سازی در روغن پوست بنه گردید. در بین گونه های تجاری نیز واریته احمدآقایی، به واسطه ترکیب اسیدهای

میزان این ترکیبات در واریته‌های مختلف مورد بررسی قرار گیرد.

## References

- [1] Satil F, Azcan N, Baser K. Fatty acid composition of pistachio nuts in Turkey. *Chem Nat Compd*. 2003; 39: 322-4.
- [2] Gordon MH. The development of oxidative rancidity in foods. Antioxidants in food: practical applications CRC press; 2001.
- [3] Thiyam U, Stöckmann H, Schwarz K. Antioxidant activity of rapeseed phenolics and their interactions with tocopherols during lipid oxidation. *J Am Oil Chem Soc* 2006; 83: 523-8.
- [4] Labuza TP, Schmidl MK. Accelerated shelf-life testing of foods. *Food Technol (USA)*. 1985; 39(9): 57-64.
- [5] Robertson GL. Food packaging: principles and practice, Shelf Life of Foods: CRC press; 2012, Chapter 12: 329-63.
- [6] Farhoosh R, Tavakoli J, Khodaparast MHH. Chemical composition and oxidative stability of kernel oils from two current subspecies of *Pistacia atlantica* in Iran. *J Am Oil Chem Soc* 2008; 85: 723-9.
- [7] Farhoosh R, Sharif A. Bene hull oil as a highly stable and antioxidative vegetable oil. *Eur J Lipid Sci Technol* 2009; 111: 1259-65.
- [8] Abdolshahi A, Majd MH, Rad JS, Taheri M, Shabani A, da Silva JAT. Choice of solvent extraction technique affects fatty acid composition of pistachio (*Pistacia vera* L.) oil. *J Food Sci Technol*. 2015; 52(4): 2422-27.
- [9] Farhoosh R, Hoseini-Yazdi S-Z. Evolution of oxidative values during kinetic studies on olive oil oxidation in the Rancimat test. *J Am Oil Chem Soc* 2014; 91(2): 281-93.
- [10] Wong M, Timms R, Goh E. Colorimetric determination of total tocopherols in palm oil, olein and stearin. *J Am Oil Chem Soc* 1988; 65: 258-61.
- [11] Capannesi C, Palchetti I, Mascini M, Parenti A. Electrochemical sensor and biosensor for polyphenols detection in olive oils. *Food Chem*. 2000; 71(4): 553-62.
- [12] Shantha NC, Decker EA. Rapid, sensitive iron-based spectrophotometric methods for determination of peroxide values of food lipids. *J AOAC Int* 1994; 77(2): 421-4.
- [13] AOCS. Official methods and recommended practices of the American Oil Chemists' Society. AOCS Press, Champaign; 1993.

- [14] ISIRI. Edible fats and oils -Virgin pistachio oil- Specifications and test methods. Institute of Standards and Industrial Research of Iran. Standard No.6655. 2002 [Farsi]
- [15] Rainey C, Nyquist L. Nuts-Nutrition and Health Benefits of Daily Use. *Nutrition Today*. 1997; 32: 157-63.
- [16] Woodroof JG. Tree nuts: Avi Pub. 1982.
- [17] Shahidi F. Bailey's Industrial Oil and Fat Products. Volume 1, Edible Oils and Fat products: Chemistry, Properties, and Health effects: Wiley-Interscience; 2005.
- [18] Tavakoli J, Haddad Khodaparast MH, Esmailzade Kenari R, Amin Lari M, Sharif A. Evaluating Antioxidant Activity of Kolkhung Skin Oil as a New Edible Source in Iran. *Iranian Food Sci Technol Res J* 2013; 9(1):61-7. [Farsi]
- [19] Agar I, Kaska N, Kafkas S. Effect of different ecologies on the fat content and fatty acid composition of different Pistacia vera varieties grown in different parts of Turkey. I International Symposium on Pistachio. 1994; 411-6.
- [20] Saber-Tehrani M, Givianrad M, Aberoomand-Azar P, Waqif-Husain S, Jafari Mohammadi S. Chemical composition of Iran's pistacia atlantica cold-pressed oil. *J Chem* 2012; 2013 (2): 1-6.
- [21] Syed A. Oxidative Stability and Shelf Life of Vegetable Oils A2 - Jacobsen, Min HuCharlotte. Oxidative Stability and Shelf Life of Foods Containing Oils and Fats: AOCS Press; 2016. Chapter 4 - p. 187-207.
- [22] Hasenhuettl GL, Wan PJ. Temperature effects on the determination of oxidative stability with the Metrohm Rancimat. *J Am Oil Chem Soc* 1992; 69: 525-7.
- [23] Farhoosh R, Niazmand R, Rezaei M, Sarabi M. Kinetic parameter determination of vegetable oil oxidation under Rancimat test conditions. *Eur J Lipid Sci Technol* 2008; 110(6): 587-92.
- [24] Małecka M. Antioxidant properties of the unsaponifiable matter isolated from tomato seeds, oat grains and wheat germ oil. *Food Chem*. 2002; 79: 327-30.
- [25] Farhoosh R, Hoseini-Yazdi S-Z. Shelf-life prediction of olive oils using empirical models developed at low and high temperatures. *Food Chem*. 2013; 141(1): 557-65.
- [26] Reblova Z. Effect of temperature on the antioxidant activity of phenolic acids. *Czech J Food Sci* 2012; 30: 171-7.
- [27] Adhvaryu A, Erhan S, Liu Z, Perez J. Oxidation kinetic studies of oils derived from unmodified and genetically modified vegetables using pressurized differential scanning calorimetry and nuclear magnetic resonance spectroscopy. *Thermochemica Acta* 2000; 364: 87-97.

## Evaluation of Oxidative Stability and Shelf-life Prediction of Pistachio Oil Using Rancimat

A. Dini<sup>۱</sup>, H. Farrokhi<sup>۲\*</sup>, N. Sedaghat<sup>۳</sup>, M. Bagheri<sup>۴</sup>, N. Mohammadkhani<sup>۴</sup>

Received:10/01/2016 Sent for Revision:08/02/2016 Received Revised Manuscript:08/05/2016 Accepted:13/06/2016

**Background and Objectives:** Rancimat is an automated technique to rapidly determine oxidative stability of fats and oils, which can also provide relatively good results regarding shelf-life prediction of the lipid system. In this research, the oxidative stability of different types of pistachio oil (wild and domesticated species) by using rancimat and the influences of chemical properties of pistachio oil on oxidative stability were determined.

**Materials and Methods:** The present study is a laboratory study. Oils of five pistachio varieties (including Bane, Ahmadaghaie, Kalleghouchi, Akbari, and Fandoghi) were extracted by solvent. The fatty acid profile of the pistachio oil was determined by gas chromatography, and chemical methods were used to measure the amount of antioxidants and oil quality indicators. Oxidative stability was determined by Rancimat. The mean values were compared using MStatC 2.10 software and based on the Duncan's test at the level of 5%.

**Results:** Oleic Acid and Palmitic Acid were the most representatives of total fatty acid and saturated fatty acids (SFAs) in pistachio oil, respectively. The highest percentage of oleic acid was observed in Ahmadaghaie variety and the highest and lowest percentage of mono unsaturated fatty acids (MUFA) and poly unsaturated fatty acids (PUFA) were observed in Bane Hull Oil (65%, 7.9%) and the lowest and highest percentage of MUFA and PUFA were observed in Bane Kernel Oil (53%, 32.8%). The highest Oxidative Stability Index was found in Bane Hull Oil (BHO), Bane Kernel Oil (BKO) and Ahmadaghaie oil, respectively. Activation energy was evaluated in the range of 92 to 98.2 kJ/mol. The results showed that shelf-life of BHO, BKO and Ahmadaghaieoil were 786, 386 and 280 days at 25 °C, respectively. Ahmadaghaie shelf-life was over 1.5 times more than those of the other commercial varieties.

**Conclusion:** Fatty acid composition and amount of antioxidants were the most important factors on oxidative stability of the pistachio oil and the cause of higher shelf-life of oil of wild pistachio types rather than the other commercial varieties. Among the domesticated species of pistachio, Ahmadaghaie variety is suitable for oil extraction and high thermal processes such as roasting.

**Key word:** Pistachio oil, Rancimat, Shelf-life, Oxigen stability index, Fatty acids.

**Funding:** This study was supported financially by Rafsanjan and Kerman Universities of Medical Sciences, Iran.

**Conflict of interest:** None declared.

**Ethical approval:** This article does not need permission from the Ethics Committee because the information in this article was derived from a non-animal research

**How to cite this article:** Dini A, Farrokhi H, Sedaghat N, Bagheri M, Mohammadkhani N. Evaluation of Oxidative Stability and Shelf-life Prediction of Pistachio Oil Using Rancimat. *J Rafsanjan Univ Med Sci* 2016; 15(5): 399-412. [Farsi]

1- Ph.D Student of Food Science and Technology, Pistachio Safety Research Center, Rafsanjan University of Medical Sciences, Rafsanjan, Iran

2- MSc of Food Science and Technology, Deputy of Food and Drug, Kerman University of Medical Science, kerman, Iran  
(Corresponding Author) Tel: (034) 32123024, Fax: (034) 32113034, Email: hd.farrokhi@gmail.com

3- Associate Prof., Dept. of Food Science, Engineering and Technology, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

4- Expert of Rafsanjan Food Control Laboratory, Deputy of Food and Drug, Rafsanjan University of Medical Science, Rafsanjan, Iran