DOI: http://dx.doi.org/10.22104/IFT.2023.6320.2147

Innovative Food Technologies, 10(4), 359-375, Summer 2023

Research Article

Study of specification of refined camelina oil and effect of deodorization process on fatty acid composition and tocopherol content

Azardokht Pourangnia[1], Nargess Mooraki[2*], Zahra Piravi vanak[3*]

1. MSc in Food Engineering, Departement of Food Sience and Engineering, Tehran North Branch, Islamic Azad University
2. Associat Professor, Departement of Food Sience and Engineering, Tehran North Branch, Islamic Azad Univercity
3. Associat Professor, Food, Halal and Agricultural Products Research Group, Food Technology and Agricultural Products Research Center, Standard Research Institute (SRI), Karaj, Iran

(Received 28 July 2023, Received in revised form 7 September 2023, Accepted 7 October 2023)

Introduction: Camelina is an oilseed crop that belongs to the Brassicacea family. Camelina is a low- input crop with minimum nutrient requirement and can grow well in low fertility or saline soils when compared to other oil- seed crops like canola, soybean or sunflower. Camelina oil is highly unsaturated and is a rich source of omega-3 fatty acids. The ratio of linoleic acid (LA n-6) to linolenic acid (ALA n-3) in camelina is unique compared to common vegtable oils such as soybean. Camelina oil contains high amounts of tocopherol, which confers a reasonable shelf life without the need for special storage conditions. Generally, crud oils contain many unwanted matters, which must be removed to yield a stable product with a bland or pleasant taste. Therefore, efficient industrial processing involves removing these unpleasant impurities. The processing involves a series of purifying steps, which may be chemical (caustic refining) or physical (bleaching, deodorization). Chemical refining includes degumming, neutralization, bleaching and deodorization as separate process. In this study, the qualitative (FFA and PV) and compositional characteristics of camelina oil obtained from four regins of Ilam, Kermanshah, Hamedan and Fars were investigated after chemical refining operations. Changes in composional specifications were also evaluated before and after the final stage of refining, deodorization.

Materials and methods: Oil was extracted from camelina seeds (Soheil cultivar) from above regions by soxhlet method, the extracted oil was degummed with 0.1% phosphoric acid (65-70 ℃, 15min). Then, it was neutrialized with NaoH (3N) with 10%excess (80 ℃, 1 min, 1000RPM). The resulting soap was separated from the oil by centrifugation, and the oil was washed twice with distilled water, centrifuged and dried under vacuum at 80 ℃. Then, the oil was bleached with 0.7% bleaching earth (80-90 ℃, 30 min) in vacuum and then filtered. The bleached oil was deodorized at 230-240 ℃ for 2.5h at vacuum pressure of – 660 mmHg in a laboratory deodorizer. Fatty acid methyl ester (FAME) of the oils were prepared according to method no: 13126-2 of Iran national standard Organization (INSO). GC analysis of FAME was performed on Young Lin Y.L. 6500 gas chromatography, with a FID, according to INSO no:13126-4 method, separation of fatty acids were carried out on a highly polar RTX 2330 capillary column. The tocopherols were determined according to method no:7211 of the IRAN'S national standard. The HPLC system was used Young Lin Y.L. 9100 equipped with diol column, 25cm* 4mm*5µm film thickness. Acetonitril was used as a mobile phase. UV detector was used set as 290nm. FFA and PV were determined according to no:4178, no: 4179. Analyses of fatty acid composition and tocopherol content on bleached oil and deodorized oil were performed and compared. FFA and PV were performed only on deodorized oil. Experiments were performed in three replicate, and data were reported as mean ± standard deviation. The collected data was subjected to a one- way analysis of variance and Duncan's posthoc at the $P<0.05$.

Results and discussion: In fatty acid composition analysis, the most important fatty acid in terms of quantity in all samples was linolenic acid (LAn-3), which ranged from 32.59 to 35.5% in the refined oils and from 34.29 to

* Corresponding author: Zpiravi@gmail.com / Nargess_mooraki@yahoo.com

35.28% of total fatty acids, in the oils before deodorization, then omega- 6 linoleic acid with 16.49-18.30% of total fatty acids after deodorization, and 16.31-18.47% before deodorization. The trans acid isomers content was not detected more than 0.06% in any of the samples. These was no significant difference in the composition of the above essential fatty acids before and after deodorization, except for the Fars sample. In this oil, the linolenic acid content decreasd significantly after deodorization, which may be due to the difference between the quality of raw materials. Total tocopherol content in the camelina oil samples before deodorization were measured from 893.1-1122mg/kg and after deodorization ranged from 626.68-727.53mg/kg. Significantly loss in tocopherol content (total and individual) was observed after deodorization in all samples ($p<0.05$). The loss of tocopherol during deodorization may be due to the thermal degradation at high temperature (150-250℃) by oxidation reaction or by chemical reaction, such as the formation of tocopherol esters. The predominantly measured tocopherol isomer was gamma tocopherol.

Conclusion: The present study concluded that the chemical refining of camelina oil has no significant effect on the optimal composition of its fatty acids (low content of SFA, high content of α-linolenic acid and optimal pufa n-6 to pufa n-3 ratio), and no trans isomers was formed. FFA and PV after deodorization were in the range of National standard of Iran. The loss of tocopherol can be seen both in total and individual, but its amount in the camelina oil is still significant.

Key words: ***Camelina oil, Chemical refining, Deodorization, Fatty acids, Linolenic acid, Tocopherol***

How to cite this article:

Pourangnia, A., Mooraki, N., & Piravi vanak, Z (2023). Study of specification of refined camelina oil and effect of deodorization process on fatty acid composition and tocopherol content. *Innov. Food Technol., 10(4)*, 359-375. DOI: http://dx.doi.org/10.22104/IFT.2023.6320.2147

DOI: http://dx.doi.org/10.22104/IFT.2023.6320.2147

فصلنامه فناوری‌های جدید در صنعت غذا، دوره ۱۰، شماره ۴، صفحه ۳۷۵-۳۵۹، تابستان۱۴۰۲

مقاله پژوهشی

بررسی ویژگی‌های روغن کاملینا پالایش‌شده و تأثیر فرآیند بی‌بو سازی بر اسیدهای چرب و میزان توکوفرول

آذردخت پورنگ نیا[1]، نرگس مورکی[2*]، زهرا پیراوی ونک[3*]

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد صنایع غذایی، واحد تهران شمال، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران
۲. دانشیار، واحد تهران شمال، تهران، ایران
۳. دانشیار، پژوهشگاه استاندارد، پژوهشکده صنایع غذایی و فراورده‌های کشاورزی، کرج، ایران

(تاریخ ارسال: ۱۴۰۲/۰۵/۰۶، تاریخ آخرین بازنگری: ۱۴۰۲/۰۶/۱۶، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۷/۱۵)

چکیده

در این مطالعه ویژگی‌های ترکیبی به همراه دو پارامتر (اسیدیته و پراکسید) روغن کاملینا حاصل از چهار منطقه‌ی ایلام، کرمانشاه، همدان و فارس بعد از انجام عملیات پالایش به روش شیمیایی بررسی شد. هم‌چنین تغییرات ماهیتی (اسید چرب و توکوفرول) قبل و بعد از مرحله‌ی آخر پالایش یعنی بی‌بوسازی مورد ارزیابی قرار گرفت. بدین منظور ابتدا روغن خامی که از دانه‌های مربوط به مناطق فوق (رقم سهیل) به دست آمده بود، به روش شیمیایی مطابق مدل صنعتی پالایش شدند و سپس مورد آزمون قرار گرفتند. نتایج آزمون برای اسیدیته روغن‌های پالایش‌شده با کمینه تا بیشینه ۰/۱۱-۰/۰۸٪ و برای پراکسید ۱/۱-۷/۹۲ meq/kg روغن بود که در حدود مورد قبول استاندارد ملی ایران، قرار داشتند. در آنالیز اسید چرب، مهم‌ترین اسید چرب از نظر مقدار، اسیدچرب امگا-۳، لینولنیک اسید با کمینه و بیشینه ۳۵/۵-۳۲/۵۹٪ و پس از آن اسیدچرب امگا -۶ لینولئیک اسید با ۱۸/۳۰-۱۶/۴۹٪ بود. میزان ایزومر ترانس اسیدهای چرب در هیچ یک از نمونه‌ها بیش از ۰/۰۶٪ شناسایی نشد. در ترکیب اسیدهای چرب قبل و بعد از بی‌بوسازی به غیر از نمونه فارس اختلاف معناداری ($P<0.05$) وجود نداشت. مقدار توکوفرول کل در نمونه‌های پالایش‌شده mg/kg ۶۸/۵-۶۲۶/۷۲۷ به دست آمد. توکوفرول غالب اندازه‌گیری شده، گاماتوکوفرول بود. افت قابل ملاحظه‌ای در مقدار توکوفرول، در پایان پروسه پالایش نسبت به قبل از بی‌بو کردن در همه نمونه‌ها دیده شد ($P<.05$). با توجه به نتایج به‌دست‌آمده در فرایند پالایش، روغن کاملینا از نظر فاکتورهای کیفی مانند اسیدیته و پراکسید و نیز ترکیب اسیدچرب در محدوده استانداردهای ملی ایران برای روغن‌های خوراکی قرار گرفت و فرایند بی‌بوسازی، هر چند موجب کاهش معنی‌دار توکوفرول گردید ولی میزان باقیمانده همچنان قابل توجه بود.

واژه‌های کلیدی: روغن کاملینا، پالایش شیمیایی، اسید چرب، توکوفرول، بی‌بو سازی، اسید آلفالینولنیک

* نویسنده مسئول: Zpiravi@gmail.com / Nargess_mooraki@yahoo.com

۱. مقدمه

دانه‌های روغنی در بین محصولات زراعی اهمیت خاصی دارند و پس از غلات دومین ذخایر غذایی جهان را تشکیل می‌دهند [۱،۲]. روغن‌های استحصال‌شده از گیاهان نقش مهمی را در تغذیه انسان ایفا می‌کنند، زیرا خواص یگانه‌ای دارند که آن‌ها را از دو ترکیب عمده‌ی دیگر موجود در غذا یعنی پروتئین و کربوهیدرات متمایز می‌کند، آن‌ها دو برابر کربوهیدرات و پروتئین کالری تولید می‌کنند (۹ kcal/gr)، حاوی اسیدهای چربی هستند که متابولیسم انسان قادر به بیوسنتز آن‌ها نبوده و جزء اسیدهای چرب ضروری می‌باشند، آب‌گریزند و با آب مخلوط نمی‌شوند و ویتامین‌هایی مانند K، E، D، A که در چربی محلول هستند، از این طریق جذب بدن می‌شوند [۳]. براساس آمارهای موجود بیش از ۸۵٪ از روغن مورد نیاز کشور از طریق واردات تأمین می‌شود [۴]. با توجه به نیاز کشور به روغن‌های خوراکی و دارویی، شناسایی گیاهانی که دارای ترکیبات اسیدچرب مناسب هستند و حائز توانایی رشد در شرایط آب و هوایی کشور نیز باشند، اهمیت زیادی دارد.

گیاه کاملینا با نام علمی (*Camelina Sativa L*) گیاه کمتر شناخته شده‌ای است که در سال‌های اخیر به‌دلیل اهمیت به تغذیه سالم و اسیدهای چرب امگا سه به‌عنوان یک محصول سالم مورد توجه قرار گرفته است. کاملینا یک گیاه گلدار روغنی دارویی است که به خانواده شب بوییان (*Brassicacea*) تعلق دارد و به نام‌های کتان قلابی، کنجد آلمانی و gold of pleasure شناخته می‌شود. از دیگر اعضای خانواده براسیکاسه، دانه‌های روغنی مانند خردل، شلغم روغنی، کانولا را می‌توان نام برد. کاملینا از ۶۰۰ سال قبل از میلاد مسیح در آلمان کشت می‌شده و بعدها به اروپای مرکزی گسترش یافته است [۵]. کاملینا به‌ویژه در نواحی نیمه‌خشک و تا حدودی غیرحاصل‌خیز یا خاک‌های شور از دیگر دانه‌های روغنی مانند کانولا، سویا و آفتابگردان بهتر رشد می‌کند و به شرایط محیطی نامطلوب به‌شدت مقاوم است. در دمای پایین رشد می‌کند و تحمل هوای زیر صفر را دارد. کاملینا دوره رویش تا حدودی کوتاه چهار ماهه دارد و بنابراین می‌تواند در یک سیستم دو محصولی رشد کند، هم‌چنین کاملینا نیازی به حشره‌کش‌ها و آفت‌کش‌ها ندارد و به علف‌های هرز نیز مقاومت بالایی دارد[۶].

محصول اصلی که از دانه کاملینا به‌دست‌آمده می‌آید روغن آن است که مقدار میانگین آن در دانه حدود ۴۰٪ در ماده خشک می‌باشد[۷] مایعی به رنگ زرد طلایی است با یک طعم آجیلی ملایم و بویی خردل مانند. روغن کاملینا بسیار غیراشباع است، این روغن حاوی ۶۴٪ اسید چرب چند غیراشباعی،۳۰٪ تک غیراشباعی و ۶٪ اشباع می‌باشد. ترکیب اسید چرب روغن کاملینا شدیداً به واریته گیاه و شرایطی که گیاه در آن رشد کرده بستگی دارد[۷].

اسیدهای چرب اصلی آن آلفالینولنیک اسید (3 n-) ALnA(C18:3، لینولئیک اسید (LA(C18:2 n-6، اولئیک اسید OA(C18:1 n-9) و گاندوئیک اسید GA(C20:1 n-9) می‌باشند. حضور گاندوئیک اسید در روغن کاملینا وجه تمایز این روغن با بقیه روغن‌های گیاهی است و نقش آن در متابولیسم انسان شناخته شده نیست. مقدار اروسیک اسید ۳/۷-۲/۳٪ است که این مقدار کمتر از ۵٪ است که در روغن‌های گیاهی برای مصرف انسان مجاز شمرده شده است[۷]. نسبت اسیدلینولنیک (۴۰٪) و اسید لینولئیک (۱۵٪) در روغن کاملینا، در مقایسه با روغن‌های گیاهی معمول مانند سویا، آفتابگردان، شلغم روغنی، زیتون و بقیه بی‌نظیر است. این روغن هم‌چنین شامل مقادیر بالایی از توکوفرول می‌باشد که عمر مفید قابل قبولی به آن می‌دهد بدون اینکه شرایط خاصی برای نگه‌داری آن لازم باشد. مقدار توکوفرول کل آن ۹۰۰-۸۰۰µg/gr است که بیشتر از روغن تخم‌کتان و شلغم روغنی است. از نقطه نظر تغذیه‌ای روغن کاملینا منبع غنی از اسیدچرب‌های ضروری است (آلفا لینولنیک اسید و لینولئیک اسید) [۸]. هم‌چنین تحقیقات نشان می‌دهد که وجود روغن کاملینا در رژیم غذایی، اسیدهای چرب امگا سه بلند زنجیر به‌خصوص ایکوزاپنتانوئیک اسید (EPA) را افزایش داده و نسبت 3-n/6-n اسیدهای چرب در پلاسما را اصلاح می‌کند[۹].

روغن‌های گیاهی که از دانه استخراج می‌شوند به‌صورت خام بوده و به‌جز روغن زیتون غیرخوراکی‌اند. امروزه در جوامع مدرن، مشتریان علاقه‌ای به استفاده از روغن خامی که هیچ

فرایندی برای از بین بردن رنگ و بوی نامناسب آن انجام نشده باشد، ندارند. روغن‌های خام، به‌طور کلی، شامل مقداری مواد نامطلوب مانند اسیدهای چرب آزاد، رنگیزه‌های رنگی، فلزات، صمغ‌ها، موم، فسفاتید و مواد بودار هستند که لازم است برای ایجاد یک محصول پایدار با طعم مطبوع از بین بروند؛ بنابراین فرآیند صنعتی کارآمد باید بتواند این ناخالصی‌های نامطبوع را برطرف کند در حالی‌که حداقل تأثیر ممکن روی اجزای مطلوب و حداقل افت در خنثی‌سازی را داشته باشد[۱۰]. فرآیند پالایش روغن شامل یک سری مراحل خالص‌سازی است که ممکن است شیمیایی (تصفیه با سود) یا فیزیکی (رنگ‌بری و بی‌بو سازی) باشد [۱۱]. تفاوت اصلی این دو پروسه در از بین بردن اسیدهای چرب آزاد است که در تصفیه شیمیایی، با خنثی‌سازی قلیایی با سود سوزاور انجام می‌گیرد و در تصفیه فیزیکی با تقطیر با بخار انجام می‌شود. بقیه مراحل در هر دو روش تصفیه مشترک هستند؛ بنابراین تصفیه شیمیایی شامل مراحل صمغ‌گیری، خنثی‌سازی، رنگ‌بری و بالاخره بی‌بوسازی به‌عنوان مراحل جدا از هم هستند در صورتی که تصفیه فیزیکی شامل صمغ‌گیری، رنگبری و بی‌بوکردن است [۱۲]. این بدین معناست که در تصفیه فیزیکی، خنثی‌سازی نیز در مرحله بی‌بو صورت می‌گیرد. به‌طور معمول انتخاب روش تصفیه به نوع روغن بستگی دارد. بی‌بوسازی برای از بین بردن ترکیباتی که باعث طعم و بوی ناخواسته در روغن می‌شوند طراحی شده است. این ترکیبات ممکن است از اول در روغن وجود داشته باشند یا در طی مراحل قبلی تصفیه در آن به وجود آمده باشند. این ترکیبات اسیدهای چرب آزاد، آلدئیدها و کتن‌ها هستند. اسیدهای چرب آزاد در روغن خام وجود دارند اما آلدئیدها و کتون‌ها در طی مراحل قبلی تصفیه در روغن به وجود آمده‌اند. در میان مشخصات فیزیکی مواد بودار اختلاف فراریت بین آن‌ها و گلیسریدها بسیار برجسته است و فرایند بی‌بوسازی نیز بر همین خاصیت بنا شده است. این مواد از روغن‌ها و چربی‌ها به‌وسیله‌ی تقطیر جدا می‌شوند و درجه حرارت، فشار و زمان تأثیر بسیار بزرگی در این پروسه دارند [۱۳].

با اینکه عملیات پالایش روغن برای به دست آوردن یک محصول با طعم و بوی مطلوب و پایداری اکسیداتیو مناسب، لازم است، اما مراحل این پروسه باعث کاهش ترکیبات زیست فعال بسیار مهمی مانند توکوفرول‌ها، توکوترینول‌ها، استرول‌ها و فنل‌های موجود در روغن می‌شود. مقدار این کاهش علاوه بر پارامترهای فرایند به کیفیت و طبیعت روغن ورودی بستگی دارد[۱۴]. در سال ۲۰۲۰، Laghari و همکاران مقدارتوکوفرول را در هر یک از مراحل پروسه فرایند پالایش روغن سویا اندازه‌گیری کردند. آن‌ها افت مقدار توکوفرول در مرحله خنثی‌سازی را ۹/۷۱٪ و در مرحله بی‌رنگ ۲۰/۲۳٪ و در مرحله بی‌بو ۴۳/۵۷٪ اندازه گرفتند [۱۵]. بیشترین افت توکوفرول در مرحله بی‌بوسازی اتفاق افتاده بود. در سال ۲۰۱۸، Ratusz و همکاران، روغن حاصل از ۲۹ گونه کاملینا را که در لهستان کاشت شده بود مورد بررسی قرار داده و ترکیب اسیدهای چرب و میزان توکوفرول را در همه نمونه‌ها به‌دست‌آمده آوردند. نتایج به‌دست‌آمده نشان‌دهنده کیفیت بالای روغن کاملینا بودند. مقدار کم اسیدهای چرب اشباع (حدود ۶٪)، محتوای زیاد اسیدآلفالینولنیک ۳۷/۱-۳۴/۷٪ و میزان بهینه نسبت اسیدهای چرب n-6/n-3، ۷۹/۱۷-۱/۲به دست آمد. ارزش تغذیه‌ای بالای روغن کاملینا یا مقدار زیاد توکوفرول (۸/۱mg/100gr-۵۵/۷۶) روغن تائید شد [۱۶]. در سال ۱۳۹۶، محمدی‌نژاد و همکاران ترکیب اسیدچرب روغن کاملینا به‌دست‌آمده از دانه‌های کشت‌شده در شهرهای کرمانشاه، کنگاور و سرپل ذهاب را به دست آوردند. چهار اسیدچرب عمده در تمام نمونه‌ها به ترتیب لینولنیک اسید (۳۰/۳۱-۲۸/۳٪)، لینولِئیک اسید (۴۶/۳۳-۱۸/۱۹٪)، اولئیک اسید (۱۸/۳۶-۱۵/۴۴٪) و ایکوزانوییک اسید (۱۷/۴۸-۱۵/۹۴٪) بود [۱۷].

روغن کاملینا پالایش شده، برای مصارف پخت یا تنوری کردن و سرخ‌کردن سطحی کاربرد دارد. هم‌چنین به‌عنوان منبع غنی از اسیدهای چرب چند غیراشباعی و به‌ویژه اسیدهای چرب امگا سه در روغن‌های اختصاصی مانند مارگارین‌های غنی‌شده از امگا سه و سس سالاد ونیز مکمل‌های رژیمی استفاده می‌شود[۱۸].

ازآنجایی که این روغن به‌تازگی در کشور تولید می‌شود و به‌منظور قابلیت خوراکی بودن آن بررسی سمیت صورت گرفته اما بر روی فرایند پالایش آن پژوهشی انجام نشده

است [۱۹]، بنابراین هدف از انجام این بررسی، ارزیابی ویژگی‌های ماهیتی به همراه دو پارامترکیفی روغن کاملینا پالایش‌شده و تأثیر فرایند بی‌بوسازی بر آن می‌باشد.

۲. مواد و روش‌ها

۱.۲ مواد

همه واکنشگرها و حلال‌های مورد استفاده (به جز هگزان) در این تحقیق دارای درجه آزمایشگاهی بوده و مربوط به شرکت مرک آلمان می‌باشند. مواد استاندارد متیل استراسیدهای چرب (مخلوط ۳۷ تایی متیل استر) از شرکت Supelco و مخلوط استانداردهای آلفا، بتا، گاما و دلتا توکوفرول از شرکت Sigma-Aldrich تهیه شدند.

۲.۲ تهیه و آماده‌سازی نمونه

دانه‌های کاملینا رقم سهیل (که در موسسه تحقیقاتی ثبت و گواهی بذر و نهال وزارت جهاد کشاورزی به ثبت رسمی رسیده است) مربوط به چهار منطقه ایلام، کرمانشاه، فارس و همدان، پس از تمیز کردن و رطوبت‌گیری، آسیاب شده و سپس استخراج روغن از دانه به روش سوکسله با استفاده از حلال هگزان انجام‌شده و حلال باقی‌مانده، توسط دستگاه تبخیرکننده‌ی دوار، تحت خلاء خارج گردید.

۳.۲ پالایش نمونه‌های روغن

- صمغ‌گیری با اسیدفسفریک ۰/۱٪ به مدت پانزده دقیقه در دمای حدود ۷۰-۶۵ °C انجام شد.
- خنثی‌سازی با سود ۳ نرمال به‌اضافه ده درصد مازاد (برای خنثی‌سازی اسیدیته و اسیدفسفریک به‌کاررفته) در دمای ۸۰ °C به مدت یک دقیقه و با دور بالا (۱۰۰۰ rpm) صورت گرفت.
- سانتریفیوژ با دورrpm ۴۵۰۰ برای جداسازی صابون تشکیل‌شده انجام گردید.
- دو مرحله شستشو با آب مقطر برای جداسازی کامل صابون و به حداقل رساندن آن و سانتریفیوژ کردن در هر مرحله صورت گرفت.
- خشک‌کردن روغن حاصله تحت خلأ و دمای ۸۰ °C انجام شد.
- سپس روغن حاصله با ۰/۷٪ خاک رنگبر تحت خلأ در دمای ۹۵-۸۰ °C به مدت نیم ساعت رنگ‌بری شده و بعد با کاغذ واتمن ۹۰ صاف گردید.
- روغن رنگ‌بری شده، سپس در دمای ۲۴۰-۲۳۰ °C، به مدت ۲/۵ h ساعت و فشارخلا ۶۶۰mmhg-، در یک بی‌بوی چهارسینی بوزدایی گردید.

۴.۲ روش‌های آزمون

۱.۴.۲ عدد پراکسید

عدد پراکسید برحسب میلی‌اکی‌والان پراکسید بر کیلوگرم روغن بر اساس استاندارد ملی ایران شماره ۴۱۷۹ انجام شد. آزمونه در محلول ایزواکتان و اسید استیک گلاسیال حل‌شده، ویدورپتاسیم به آن اضافه‌شده، ید آزادشده به‌وسیله پراکسیدها، به روش یدومتری، در حضور معرف نشاسته و محلول تیوسولفات سدیم، اندازه‌گیری شد.

۲.۴.۲ اسیدیته

اندازه‌گیری اسیدیته، برحسب درصد، طبق استاندارد ملی ایران، شماره ۴۱۷۸ انجام شد. این روش، خنثی کردن اسیدهای چرب آزاد، به‌وسیله تیتراسیون با قلیا می‌باشد.

۳.۴.۲ آنالیز اسید چرب

آماده‌سازی متیل استر اسیدهای چرب، مطابق استاندارد ملی ایران شماره ۲-۱۳۱۲۶ (روش عمومی ترانس متیلاسیون: متیلاسیون در شرایط اسیدی و قلیایی متوالی)، انجام شد. آنالیز متیل استر اسیدهای چرب مطابق استاندارد ۴-۱۳۱۲۶ انجام گرفت. دستگاه گاز کروماتوگرافی مورد استفاده، دستگاه (Young Lin Y.L ۶۵۰۰) ساخت کره جنوبی، مجهز به آشکارساز FID، ستون مورد استفاده، ستون کاپیلاری RTX ۲۳۳۰ به طول ۱۰۵ m و قطر داخل ۰/۲۵mm و ضخامت فیلمμm ۰/۲ بود. گاز حامل مورد استفاده هیدروژن بود که با سرعت ۳ ml/min از ستون عبور

داده شد. دمای آشکارساز در°C ۲۸۰ و دمای تزریق در °C ۲۶۰ ثابت بود. دمای ابتدایی ستون °C ۱۷۰ برای دو دقیقه بود و سپس به °C ۲۱۰ با سرعت °c/min ۱۰ (درجه بر دقیقه)، افزایش داده شد و در °C ۲۱۰ برای min ۲۰ نگه داشته شد. در کروماتوگرام حاصله، هر پیک نمایانگر یک اسیدچرب می‌باشد و شناسایی هر اسیدچرب با مقایسه زمان بازداری آن، در کروماتوگرام حاصله، با زمان بازداری کروماتوگرام حاصل از ماده استاندارد آن اسیدچرب، انجام می‌شود. سطح زیر هر پیک مقدار آن اسیدچرب را نشان می‌دهد. نسبت مساحت زیر هر پیک به مجموع سطوح کل پیک‌های به‌دست آمده، درصد آن اسیدچرب را نشان می‌دهد.

۴.۴.۲ اندازه‌گیری توکوفرول‌ها

تعیین مقدار توکوفرول‌ها، مطابق استاندارد ملی ایران شماره ۷۲۱۱ انجام شد. دستگاه HPLC مورد استفاده دستگاه Young Lin Y.L9100 ساخت کره جنوبی، مجهز به دتکتور UV که در طول موج nm ۲۹۰ تنظیم شد، بود. ستون مصرفی، ستون دیولC18-wp به ابعاد 25 cm × 4 mm × 5 µm بود. فاز متحرک استونیتریل با سرعت ml/min ۱ استفاده شد. دمای ستون و آشکارساز در °C ۲۵ ثابت نگه داشته شد. توکوفرول‌ها به‌صورت جداگانه، به‌وسیله مقایسه‌ی زمان بازداری‌شان با زمان بازداری استاندارد مربوطه، شناسایی شدند و مقدار آن‌ها با اندازه‌گیری سطح زیر پیک و مقایسه با منحنی کالیبراسیون خطی تهیه‌شده با مواد استاندارد، برحسب میلی‌گرم بر کیلوگرم (mg/kg) گزارش شد.

۲.۵ تحلیل آماری

تمامی آزمایش‌ها سه بار تکرار شده و نتایج به‌صورت میانگین و انحراف معیار استاندارد، بیان شدند. مقایسه بین داده‌ها با استفاده از آنالیز واریانس یک‌طرفه و آزمون تعقیبی دانکن در سطح $p < ۰/۰۵$ با استفاده از نرم‌افزار SPSS ۲۶ انجام شد.

۳. نتایج و بحث

۱.۳ ویژگی‌های کیفی

برای بررسی بهتر خصوصیات روغن کاملینا تولیدشده در کشور بعد از انجام تصفیه به روش شیمیایی، علاوه بر ویژگی‌های ماهیتی، پارامترهای اسیدیته و پراکسید نیز اندازه‌گیری شدند. اکسیداسیون و هیدرولیز دو واکنش اصلی هستند که موجب از بین رفتن کیفیت روغن‌های خوراکی می‌شوند؛ بنابراین خیلی مهم است که درجه این تغییرات تا حد ممکن کم باشد. درجه تغییرات هیدرولیتیک با مقدار اسیدهای چرب آزاد شناخته می‌شود که با آزمون اسیدیته سنجیده می‌شود. مقدار محصولات اولیه اکسیداسیون (پراکسیدها و هیدروپراکسیدها) با عدد پراکسید ارزیابی می‌گردد.

۱.۱.۳ عدد پراکسید

عدد پراکسید به‌دست‌آمده برای روغن تصفیه‌شده کرمانشاه و همدان به‌طور معناداری کمتر از ایلام و فارس می‌باشد که نشان‌دهنده فسادپذیری کمتر آن‌هاست که می‌تواند ناشی از تفاوت در کیفیت روغن خام مانند تفاوت در مقدار رطوبت باشد. Eidhin و همکاران در سال ۲۰۱۰ عدد پراکسید روغن کاملینا تصفیه‌شده را meq/kg ۱/۲ و meq/kg ۲/۶ اعلام کردند که در محدوده‌ی نتایج همین مطالعه است [۲۰].

جدول (۱) مقادیر پراکسید (meq/Kg) روغن کاملینا (میانگین ± انحراف معیار) در چهار استان

Table 1. Peroxide values (meq/Kg) of camellia oil (mean ± standard deviation) in the four provinces

Province	pv
Ilam	$1.88±0.06^{a}$
Kermanshah	$1.72±0.03^{b}$
Fars	$1.64±0.04^{a}$
Hamedan	$1.70±o.15^{b}$

The superscripts indicate the signicant differences($p<0.05$) between experimental groups

حروف سوپراسکریپت نشان دهنده اختلاف معنادار در سطح $p<0.05$ است.

تفاوتی که در اعداد پراکسید گزارش‌شده وجود دارد به دلیل تفاوت در کیفیت روغن خام و شرایط و فناوری مورد استفاده جهت استخراج و تصفیه و شرایط نگهداری روغن نهایی است [۹]. میزان عدد پراکسید مورد قبول استاندارد ملی ایران برای روغن تصفیه‌شده کاملینا حداکثر meq/kg ۱ در محل تولید و meq/kg ۲ در زمان ترخیص برای روغن‌های وارداتی و حداکثر meq/kg ۵ روغن در زمان مصرف می‌باشد.

۲.۱.۳ اسیدیته

میزان اسیدیته اندازه‌گیری شده برای ایلام و کرمانشاه و همدان فاقد اختلاف معناداری هستند اما اسیدیته روغن فارس با اختلاف معناداری بیش از آن‌ها بود.

جدول (۲) مقادیر درصد اسیدیته روغن کاملینا (میانگین ± انحراف معیار) در چهار استان

Table 2. FFA% (mean ± standard deviation) in the four provinces

Fatty acid%	Ilam	kermanshah	Fars	Hamedan
C12:0	0.06±0.00	0.06±0.02	0.06±0.00	0.06±0.00
C14:0	0.03±0.01	0.02±0.00	0.03±0.02	0.02±0.00
C16:0	6.02±0.19^{a}	5.13±0.21^{b}	5.10±0.01^{c}	5.50±0.26^{a}
C16:1	0.14±0.02^{bc}	0.10±0.00^{cd}	0.15±0.01^{a}	0.09±0.03^{d}
C17:0	0.08±0.02^{a}	0.03±0.01^{b}	0.07±0.01^{a}	0.03±0.01^{b}
C17:1	0.02±0.01	0.03±0.00	0.05±0.04	0.04±0.00
C18:0	2.55±0.4	2.37±0.05	2.53±0.35	2.38±0.02
C18:1t	0.06±0.03	0.04±0.00	0.06±0.02	0.03±0.00
C18:1c	19.21±0.05^{a}	15.08±0.26^{b}	18.90±0.54^{a}	15.35±0.03^{b}
C18:2t	0.03±0.00	0.03±0.00	0.03±0.00	0.02±0.00
C18:2c	18.30±0.01^{a}	16.49±0.18^{b}	17.48±0.82^{a}	16.72±0.06^{b}
C20:0	1.02±0.06	1.57±0.03	1.35±0.32	1.19±0.28
C18:3c	35.55±0.41^{a}	34.56±0.06^{b}	32.59±0.05^{c}	34.85±0.09^{a}
C20:1	11.71±0.55^{b}	15.60±0.25^{a}	15.67±0.85^{a}	15.47±0.04^{a}
C20:2	0.40±0.01	0.39±0.01	0.38±0.02	0.41±0.01
C22:0	1.40±0.07^{b}	1.85±0.07^{a}	1.97±0.14^{a}	1.82±0.02^{a}
C18:3t	0.02±0.01	0.02±0.00	0.02±0.00	0.02±0.00
C22:1	1.45±0.13^{c}	3.56±0.05^{a}	2.90±0.22^{b}	3.49±0.30^{a}
C22:2	0.47±0.02^{b}	0.46±0.00^{b}	0.50±0.01^{a}	0.48±0.02^{ab}
C24:0	0.13±0.03	0.15±0.00	0.60±0.00	0.52±0.06
C24:1	0.05±0.02^{b}	0.05±0.00^{b}	0.08±0.01^{a}	0.22±0.03^{c}

The superscripts indicate the signicant differences($p<0.05$) between experimental groups

حروف سوپراسکریپت نشان دهنده اختلاف معنادار در سطح $p<0.05$ است.

Sampath در سال ۲۰۰۹ اسیدیته دو نمونه روغن تصفیه‌شده کاملینا را ۰/۰۳٪ و ۰/۰۶٪ به دست آورد که کمتر از مقادیر این مطالعه است [۲۱]. تفاوت مقادیر اسیدیته گزارش‌شده ناشی از ناخالصی‌ها، درجه آسیب به ساختمان دانه و فناوری مورد استفاده در استخراج روغن یا تصفیه می‌باشد [۱۶]. حداکثر درصد اسیدیته مورد قبول سازمان ملی استاندارد، ۰/۱٪ برای روغن‌های تصفیه شده می‌باشد.

۲.۳ ترکیب اسیدچرب

ترکیب اسیدهای چرب نشان‌دهنده کیفیت، ارزش تغذیه‌ای، پایداری اکسیداتیو و زمان نگهداری روغن‌های خوراکی است. آنالیز اسید چرب روغن کاملینا با یک پروفایل اسیدهای چرب بسیار سودمند تغذیه‌ای مشخص می‌شود. بیش از ۸۵٪ از ترکیب اسیدهای چرب روغن کاملینا غیراشباع (تک و چند غیراشباعی) می‌باشد[۹].

جدول (۳) مقادیر اسیدهای چرب روغن کاملینا پس از بی‌بوسازی (میانگین ± انحراف معیار) در چهار استان

Table 3. Fatty acid composition of camelina oil after deodorization (mean ± standard deviation)

Province	FFA%
Ilam[	0.09 ± 0.01^{b}
Kermanshah	0.09 ± 0.00^{b}
Fars	0.11 ± 0.00^{a}
Hamedan	0.08 ± 0.00^{b}

The superscripts indicate the signicant differences($p<0.05$) between experimental groups

حروف سوپراسکریپت نشان دهنده اختلاف معنادار در سطح $p<0.05$ است.

در بین اسیدهای چرب چند غیراشباعی، آلفا لینولنیک اسید (ALA=C18:3 n-3) وجود دارد که یک اسید چرب ضروری برای بدن است ولی بدن انسان قادر به ساخت آن نیست، بنابراین باید از طریق رژیم غذایی تأمین گردد[۲۲]. مقدار این اسید از ۵۹/۵-۳۲/۳۵٪ در نمونه‌های روغن تصفیه شده می‌باشد که در نمونه ایلام و همدان و سپس کرمانشاه به طرز معناداری بیشتر از فارس است. Shukla مقدار این اسید را ۳۸/۱٪، Sampath ۲۷/۳۱٪ و ۲۴/۷٪ و Eidhin ۳۹٪ در روغن کاملینا تصفیه‌شده گزارش کرده‌اند [۲۰،۲۱،۲۳]. تفاوت در مقادیر گزارش‌شده ناشی از تفاوت اقلیمی و منطقه‌ای رشد گیاه و واریته‌های گیاه کشت شده می‌باشد [۲۴].

اسید چرب بعدی که آن هم اسیدچرب ضروری است لینولئیک اسید (LA=C18:2 n-6) است. مقدار آن در روغن‌های تصفیه‌شده آنالیز شده ۱۸/۳-۱۶/۴۹٪ است و روغن کاملینا مربوط به استان ایلام به طرز معناداری بیش از کرمانشاه، همدان و فارس حاوی لینولئیک اسید است، Shukla مقدار این اسید را ۱۶٪، Sampath ۱۹/۸۸٪ و ۲۰/۶٪ و Eidhin ۱۷٪ در روغن‌های تصفیه‌شده کاملینا گزارش کرده‌اند که در محدوده نتایج همین مطالعه است [۲۰،۲۱،۲۳].

اسیدهای خانواده n-3 وn-6 ، به‌طور قطع برای رشد و نمو مناسب بدن و نگهداری آن در وضعیت سالم بسیار با اهمیت هستند. نسبت اسیدهای چرب n-6/n-3 از نقطه نظر تغذیه‌ای، بسیار مهم است، زیرا هر دو این اسیدهای چرب ضروری در فرایند متابولیک بدن برای آنزیم‌های مشابهی در رقابت‌اند [۲۲،۲۵]. در نمونه‌های این مطالعه این نسبت از ۰/۵۰۱ برای نمونه کرمانشاه تا ۰/۵۶۳ برای فارس می‌باشد که بازهم بر کیفیت تغذیه‌ای روغن کاملینا صحه می‌گذارد. نسبت‌های n-6/n-3 گزارش‌شده برای روغن کاملینا به‌مراتب بهتر از آنچه برای روغن‌های گیاهی معمول مانند شلغم روغنی (۲/۲) و سویا (۶/۷) و آفتابگردان (۱۳۱) به‌دست‌آمده، می‌باشد[۲۶].

اسیدهای چرب تک غیراشباعی که در این مطالعه اندازه‌گیری شده‌اند بیش از ۳۰٪ از کل اسیدهای چرب را تشکیل می‌دهند و در میان آن‌ها اولئیک اسید (C18:1) با ۱۹/۲۵-۱۸/۳٪ و ایکوزانوئیک اسید (C20:1) با ۱۵/۶۷-۱۱/۷٪ اسیدهای شاخص این گروه می‌باشند. وجود ایکوزانوییک اسید در روغن کاملینا از وجوه تمایز این روغن از بقیه است و نقش آن در متابولیزم انسان هنوز شناخته نشده است [۲۷]. Shukla اولئیک اسید را ۱۸/۷٪، Sampath ۱۸/۳۱٪ و ۱۹/۳۵٪ و Eidhin ۱۸/۳٪ را برای روغن کاملینا تصفیه‌شده گزارش کرده‌اند، همچنین آن‌ها برای ایکوزانوییک

اسید مقادیر به ترتیب ۱۱/۶٪ ، Sampath ۱۴/۲۱٪ و ۱۵/۲۹٪ و Eidhin ۱۰٪/۲ را گزارش کرده‌اند که با نتایج این مطالعه هماهنگ است [۲۰،۲۱،۲۳]. در میان اسیدهای چرب اسید چرب اروسیک (C22:1) یک فاکتور ضد تغذیه‌ای محسوب می‌شود که مقدار آن برای نمونه روغن کاملینا تصفیه‌شده ایلام ۱/۴۵٪ به نحو معناداری از نمونه فارس (۲/۹٪) و سپس کرمانشاه (۳/۵۶٪) و همدان (۳/۴۹٪) کمتر می‌باشد. Shukla مقدار اروسیک اسید را ۲/۵٪ و Eidhin آن را ۱/۹٪ در روغن کاملینای تصفیه‌شده گزارش کرده‌اند [۲۰،۲۳].

اسیدهای چرب اشباع (SFA) به‌دست‌آمده در اینجا درصد کمی از کل اسیدهای چرب را به خود اختصاص داده‌اند و شامل پالمیتیک اسید (C16:0)، استئاریک اسید (C18:0)، آراشیدیک اسید (C20:0) و دوکوزانوییک اسید (C22:0) و لیگنوسریک اسید (C24:0) می‌باشد که پالمیتیک اسید با ۶٪-۵/۱٪ شاخص‌ترین آنها است. Eidhin مقدار پالمیتیک اسید را ۵/۹٪، Sampath مقدار آن را ۶/۲۱٪ و ۶/۲۷٪ و Shukla آن را ۵/۳٪ در نمونه‌های کاملینای تصفیه‌شده گزارش کرده‌اند که نتایج Eidhin و نتایج Shukla با نتایج مطالعه حاضر هماهنگی دارد ولی نتایج Sampath اندکی بیشتر است [۲۰،۲۱،۲۳].

گاهی فرایند تصفیه باعث ایجاد ایزومر ترانس اسیدهای چرب تک و چند غیراشباعی در روغن‌های خوراکی می‌شود، زیرا در حین تصفیه، به‌طور معمول روغن‌های گیاهی قبل از رسیدن به مرحله‌ی بی‌بو بین ۱۰۰-۶۰ درجه سانتی‌گراد گرم می‌شوند و بعد در طی مرحله‌ی بی‌بو درجه حرارت به ۲۷۰-۱۸۰ درجه می‌رسد [۲۸].

در این بررسی ترکیب اسیدچرب روغن، قبل و بعد از بی‌بو شدن، برای نمونه‌های ایلام، کرمانشاه و همدان مشابه بوده و تغییرات معناداری در مقادیر اسیدهای چرب n-3 و n-6 و ایزومرهای ترانس دیده نمی‌شود.

نتایج مطالعات Sampath در سال ۲۰۰۹ در مقایسه ترکیب اسید چرب روغن کاملینا خام و تصفیه‌شده نیز، حاکی از شباهت ترکیب اسیدچرب قبل و بعد از پروسه تصفیه دارد [۲۱].

در نمونه فارس، میزان آلفالینولنیک اسید به طرز معناداری بعد از بی‌بو شدن کاهش یافته است که می‌تواند ناشی از تخریب آن در دمای استفاده‌شده در بی‌بو باشد، از طرفی افزایش معناداری در میزان ایزومر ترانس اولئیک اسید (C۱۸:۱) آن وجود دارد که آن نیز در اثر شرایط بی‌بو است، البته در کل میزان این ایزومر در نمونه چه قبل از بی‌بو و چه بعد از آن بسیار جزئی ۰/۰۶٪ می‌باشد. Tasan و همکاران در سال ۲۰۱۱ مقدار ایزومرهای ترانس برای روغن آفتابگردان تصفیه‌شده را ۰٪/۲۸، برای روغن ذرت تصفیه‌شده ۰/۵۱٪، برای روغن سویای تصفیه‌شده ۱/۲۷٪ و برای روغن فندق تصفیه‌شده ۰/۲۶٪ گزارش کرده‌اند [۲۹].

جدول (۴) مقادیر اسیدهای چرب روغن کاملینا استان ایلام (میانگین ± انحراف معیار) قبل و بعد از مرحله بی بوسازی

Table 4. Fatty acid composition camelina oil of Ilam province (mean ± standard deviation) before and after deodorization

Fatty acid%	Before deodorization	After deodorization
C12:0	0.05±0.01	0.06±0.00
C14:0	0.04±0.01	0.03±0.01
C16:0	6.17±0.09	6.02±0.19
C16:1	0.15±0.04	0.14±0.02
C17:0	0.06±0.02	0.08±0.02
C17:1	0.05±0.01	0.02±0.01
C18:0	2.68±0.20	2.55±0.40
C18:1t	0.02±0.01	0.06±0.03
C18:1c	19.24±0.02	19.21±0.05
C18:2t	0.02±0.01	0.03±0.00
C18:2c	18.44±0.42	18.30±0.01

C20:0	1.79±0.09[a]	1.02 ±0.06[b]
C18:3c	34.52±1.30	35.55±0.41
C20:1	12.61±0.29[a]	11.71 ± 0.55[b]
C20:2	0.49±0.16	0.40±0.01
C22:0	1.50±0.06	1.40 ± 0.07
C18:3t	0.01±0.01	0.02±0,01
C22:1	1.66±0.21	1.45 ± 0.13
C22:2	0.45±0.03	0.47±0.02
C24:0	0.19±0.01[a]	0.13±0.03[b]

The superscripts indicate the signicant differences($p<0.05$) between experimental groups

حروف سوپراسکریپت نشان دهنده اختلاف معنادار در سطح $p<0.05$ است.

جدول (۵) مقادیر اسیدهای چرب روغن کاملینا استان کرمانشاه (میانگین ± انحراف معیار) قبل و بعد از مرحله بی بوسازی

Table 5. Fatty acid composition Camelina oil of Kermanshah province (mean ± standard deviation) before and after the deodorization

Fatty acid%	Before deodorization	After deodorization
C12:0	0.05±0.01	0.06±0.02
C14:0	0.04±0.02	0.02±0.00
C16:0	5.17±0.03	5.13±0.21
C16:1	0.14±0.03	0.10±0.00
C17:0	0.05±0.02	0.03±0.01
C17:1	0.04±0.00	0.03±0.00
C18:0	2.65±0.53	2.37±0.05
C18:1t	0.04±0.02	0.04±0.00
C18:1c	14.99±0.05	15.08±0.26
C18:2t	0.02±0.01	0.03±0.00
C18:2c	16.32±0.20	16.49±0.18
C20:0	1.61±0.03	1.57±0.03
C18:3c	34.29±0.57	34.56±0.06
C20:1	15.62±0.25	15.60±0.25
C20:2	0.40±0.02	0.39±0.01
C22:0	1.96±0.07	1.85±0.07
C18:3t	0.15±0.02	0.02±0.00
C22:1	3.32±0.04[b]	3.56±0.05[a]
C22:2	0.52±0.03	0.46±0.00
C24:0	0.18±0.03	0.15±0.00

The superscripts indicate the signicant differences($p<0.05$) between experimental groups

حروف سوپراسکریپت نشان دهنده اختلاف معنادار در سطح $p<0.05$ است.

جدول (۶) مقادیر اسیدهای چرب روغن کاملینا استان فارس (میانگین ± انحراف معیار) قبل و بعد از مرحله بی بوسازی

Table 6. Fatty acid composition of camelina oil of Fars province (mean ± standard deviation) before and after the deodorization

Fatty acid%	Before deodorization	After deodorization
C12:0	0.06±0.01	0.06±0.00
C14:0	0.03±0.02	0.03±0.02
C16:0	5.27±0.12	5.10±0.04
C16:1	0.15±0.04	0.15±0.01
C17:0	0.06±0.01	0.07±0.01
C17:1	0.05±0.01	0.05±0.04
C18:0	2.36±0.06	2.53±0.35
C18:1t	0.02±0.00[b]	0.06±0.02[a]
C18:1c	19.55±0.38	18.90±0.54
C18:2t	0.03±0.02	0.03±0.00
C18:2c	17.26±0.11	17.48±0.82
C20:0	1.52±0.06	1.35±0.32
C18:3c	35.28±0.18[a]	32.59±0.05[b]
C20:1	15.64±0.25	15.67±0.85
C20:2	0.44±0.07	0.38±0.02
C22:0	1.95±0.06	1.97±0.14
C18:3t	0.02±0.00	0.02±0.00
C22:1	2.56±0.31[b]	2.90±0.22[a]
C22:2	0.45±0.03	0.5±0.01
C24:0	0.55±0.04	0.60±0.00

The superscripts indicate the signicant differences($p<0.05$) between experimental groups

حروف سوپراسکریپت نشان دهنده اختلاف معنادار در سطح $p<0.05$ است.

جدول (۷) مقادیر اسیدهای چرب روغن کاملینا استان همدان (میانگین ± انحراف معیار) قبل و بعد از مرحله بی بوسازی

Table 7. Fatty acid composition of camellia oil of Hamadan province (mean ± standard deviation) before and after the deodorization

Fatty acid%	Before deodorization	After deodorization
C12:0	0.04±0.00[b]	0.06±0.00[a]
C14:0	0.03±0.02	0.02±0.00
C16:0	5.62±0.12	5.50±0.26
C16:1	0.15±0.04	0.09±0.03
C17:0	0.04±0.01	0.03±0.01
C17:1	0.05±0.01	0.04±0.00
C18:0	2.48±0.04[b]	2.38±0.02[a]
C18:1t	0.02±0.01	0.03±0.00
C18:1c	15.70±0.20	15.35±0.03
C18:2t	0.02±0.01	0.02±0.00
C18:2c	16.55±0.22	16.72±0.06
C20:0	1.66±0.03	1.19±0.28
C18:3c	34.51±0.24	34.85±0.09

C20:1	15.40±0.30	15.47±0.04
C20:2	0.37±0.03	0.41±0.01
C22:0	1.63±0.06[b]	1.82±0.02[a]
C18:3t	0.02±0.00	0.02±0.00
C22:1	3.34±0.21	3.49±0.30
C22:2	0.5±0.03	0.48±0.02
C24:0	0.60±0.04	0.52±0.06

The superscripts indicate the signicant differences(p<0.05) between experimental groups
حروف سوپراسکریپت نشان دهنده اختلاف معنادار در سطح p<0.05 است.

جدول (۸) مقایسه نسبت اسیدهای چرب n6:n3 روغن دانه‌های کاملینای کشت‌شده در چهار استان
Table 8. Comparison of n6:n3 fatty acid ratio of camellia seed oil

province	n6/n3	Two by two comparison of oils	Sig.
Ilam	0.539±0.007[Da]	Hamedan-kermanshah	0.650
kermanshah	0.501±0.005[Ca]	Ilam-kermanshah	0.061
Fars	0.563±0.023[Ba]	Fars-kermanshah	0.008*
Hamedan	0.505±0.002[Aa]	Ilam-hamedan	0.156
		Fars-hamedan	0.027*
		Ilam-fars	0.427

The superscripts indicate the signicant differences(p<0.05) between experimental groups
حروف سوپراسکریپت نشان دهنده اختلاف معنادار در سطح p<0.05 است.

۳.۳ توکوفرول

توکوفرول‌ها (ایزومرهای آلفا، بتا، گاما و دلتا) آنتی‌اکسیدان‌های طبیعی نیرومندی هستند که از فساد روغن در طی مدت نگه‌داری آن جلوگیری کرده و طول عمر مفید آن را افزایش می‌دهند و در بدن نیز به‌صورت آنتی‌اکسیدان عمل می‌کنند [۳۰]، هم‌چنین توکوفرول‌ها نقش مهمی در جلوگیری از بسیاری از بیماری‌ها مانند پارکینسون، آتاکسیا و انواع سرطان‌ها را دارند و همین‌طور ایمنی بدن را افزایش داده و آسیب‌های سلولی را کاهش می‌دهند [۳۱]. توکوفرول کل به‌دست‌آمده برای هر چهار نمونه قبل از مرحله بی‌بو با یکدیگر اختلاف معنادار دارند که مربوط به شرایط متفاوت آب و هوایی و اقلیمی است که گیاه در آن رشد کرده است [۲۴].

جدول (۹) مقایسه محتوی توکوفرول کل روغن دانه‌های کاملینای کشت‌شده در چهار استان قبل و بعد از فرآیند بی‌بوسازی
Table 9. Total tocopherol content in camelina oil of four provinces before and after the deodorization(mg/kg)

Regin	Before deodorization	After deodorization
Ilam	893.10±20.51[Da]	626.68±9.59[Cb]
kermanshah	1122.89±15.94[Ca]	682.97±13.19[Bb]
Fars	1205.28±60.64[Ba]	727.53±16.94[Ab]
Hamedan	1050.66±27.01[Aa]	669.98±11.17[Bb]

The superscripts indicate the signicant differences(p<0.05) between experimental groups
حروف سوپراسکریپت نشان دهنده اختلاف معنادار در سطح p<0.05 است.

توکوفرول کل برای نمونه‌ها بعد از تصفیه‌شدن در هر چهار نمونه به طرز معناداری نسبت به قبل از آن کاهش پیدا کرده است. مقدار توکوفرول کل به‌دست‌آمده برای روغن کاملینا تصفیه‌شده کرمانشاه با نمونه همدان اختلاف معناداری ندارد اما با مقدار توکوفرول کل موجود در نمونه‌های تصفیه‌شده ایلام و فارس اختلاف معنادار دارند و ایلام و فارس نیز به ترتیب با ۶۲۸/۶۸ mg/kg و۷۲۷/۵۳ mg/kg دارای کمترین و بیشترین مقدار توکوفرول کل در نمونه‌های تصفیه شده بودند.

در میان ایزومرهای توکوفرول، آلفاتوکوفرول بیشترین فعالیت را به‌عنوان ویتامین E نشان می‌دهد و در بدن فعالیت بیولوژیکی خوبی دارد؛ اما از طرف دیگر گاماتوکوفرول به‌عنوان رباینده رادیکال آزاد فعالیت آنتی‌اکسیدانی خیلی مؤثرتری از آلفاتوکوفرول دارد [۳۲،۳۳]. ایزومر غالب توکوفرول در روغن کاملینا، گاماتوکوفرول است. در نتایج به‌دست‌آمده در نمونه‌های روغن کاملینا در همه‌ی مناطق، قبل و بعد از بی‌بو، ایزومر گاما بیشترین مقدار را دارد و بعد از آن ایزومر آلفا و سپس دلتا قرار گرفته است. ایزومر بتا نیز شناسایی نشد. Zubr و همکاران در سال ۲۰۰۹ و Abramovic و همکاران در سال ۲۰۰۷ همین ترکیب را برای ایزومرهای توکوفرول در روغن کاملینا گزارش کرده‌اند [۳۴،۳۵].

جدول (۱۰) مقادیر آلفا، گاما و دلتا توکوفرول روغن کاملینای استان ایلام (میانگین ± انحراف معیار) قبل و پس از فرایند بی‌بوسازی

Table 10. Indivitual tocopherol content of camellia oil from Ilam province (mean ± standard deviation) before and after the deodorization

Ilam	Before deodorization	After deodorization
α-tocopherol	82.76±3.73[a]	47.49±2.13[b]
γ-tocopherol	793.05±21.50[a]	556.31±6.10[b]
Б-tocopherol	18.10±0.77[a]	22.88±1.45[b]

The superscripts indicate the signicant differences($p<0.05$) between experimental groups

حروف سوپراسکریپت نشان دهنده اختلاف معنادار در سطح $p<0.05$ است.

جدول (۱۱) مقادیر آلفا، گاما و دلتا توکوفرول روغن کاملینای استان کرمانشاه (میانگین ± انحراف معیار) قبل و پس از فرایند بی‌بوسازی

Table 11. alpha, gamma and delta tocopherol content of camellia oil of Hamadan province (mean ± standard deviation) before and after the deodorization

kermanshah	Before deodorization	After deodorization
α-tocopherol	84.90±1.20[a]	65.22±1.04[b]
γ-tocopherol	1003.60±5.72[a]	600.97±15.18[b]
Б-tocopherol	34.39±1.34[a]	16.77±1.68[b]

The superscripts indicate the signicant differences($p<0.05$) between experimental groups

حروف سوپراسکریپت نشان دهنده اختلاف معنادار در سطح $p<0.05$ است.

جدول (۱۲) مقادیر آلفا، گاما و دلتا توکوفرول روغن کاملینای استان فارس (میانگین ± انحراف معیار) قبل و پس از فرایند بی‌بوسازی

Table 12. alpha, gamma and delta tocopherol content of camellia oil of fars province (mean ± standard deviation) before and after the deodorization

Fars	Before deodorization	After deodorization
α-tocopherol	114.50±3.30[a]	45.73±2.08[b]
γ-tocopherol	1062.66±62.38[a]	665.24±17.12[b]
Б-tocopherol	28.12±1.63[a]	16.59±2.00[b]

The superscripts indicate the signicant differences($p<0.05$) between experimental groups

حروف سوپراسکریپت نشان دهنده اختلاف معنادار در سطح $p<0.05$ است.

جدول (۱۳) مقادیر آلفا، گاما و دلتا توکوفرول روغن کاملینای استان همدان (میانگین ± انحراف معیار) قبل و پس از فرایند بی‌بوسازی

Table 13. alpha, gamma and delta tocopherol content of camellia oil of Hamadan province (mean ± standard deviation) before and after the deodorization

Hamedan	Before deodorization	After deodorization
α-tocopherol	92.76±6.33[a]	44.72±1.11[b]
γ-tocopherol	918.58±23.99[a]	616.86±9.61[b]
Б-tocopherol	39.32±3.82[a]	3.82±2.00[b]

The superscripts indicate the signicant differences($p<0.05$) between experimental groups

حروف سوپراسکریپت نشان دهنده اختلاف معنادار در سطح $p<0.05$ است.

افت توکوفرول در مرحله بی‌بو می‌تواند ناشی از تخریب حرارتی توکوفرول در دمای بالای بی‌بو (°C ۱۵۰-۲۵۰) به دلیل انجام واکنش‌های اکسیداسیون یا شیمیایی باشد که توکوفرول به‌دلیل استعداد بسیار زیادی که برای جذب رادیکال‌های پراکسید تحت شرایط اکسیداسیون دارد، انجام می‌دهد و منجر به تشکیل استرهای توکوفرول می‌شود. هم‌چنین توکوفرولی که در روغن بی‌رنگ وجود دارد، در بی‌بوکننده، بین تقطیرات حاصل از بی‌بو و روغن بی‌بو شده توزیع می‌شود و اکثر آن وارد تقطیر حاصل از بی‌بو می‌شود [۳۶].

Laghari و همکاران در سال ۲۰۲۰ مقدار توکوفرول را در هر مرحله از پروسه تصفیه (خنثی‌سازی، رنگ‌بری و بی‌بو کننده) برای روغن سویا اندازه‌گیری کردند و متوجه شدند که بیشترین کاهش در مقدار آن در مرحله‌ی بی‌بو اتفاق می‌افتد. آن‌ها مقدار افت توکوفرول را در خنثی‌سازی ۹/۷۱٪ و در مرحله بی‌رنگ ۲۰/۲۳٪ و در مرحله‌ی بی‌بو ۴۳/۵۷٪ اعلام کردند. آن‌ها مقدار توکوفرول کل را قبل از بی‌بو mg/kg ۱۰۳۵/۱۳ و بعد از بی‌بو mg/kg ۵۸۲/۲ برای روغن سویا اندازه گرفتند [۱۵].

در سال ۲۰۱۳، Ergonul و همکاران، مقدار توکوفرول را در هر مرحله از فرایند تصفیه برای روغن‌های آفتابگردان، ذرت، شلغم روغنی و سویا اندازه‌گیری کردند. مقدار توکوفرول کل بعد از انجام تصفیه کامل برای روغن آفتابگردان mg/kg ۶۳۳/۸، روغن ذرت mg/kg ۷۰۷/۲، روغن شلغم روغنی mg/kg ۷۲۴/۸ و سویا mg/kg ۶۱۷/۰۶ بود. ایزومر توکوفرول غالب برای روغن ذرت، سویا و شلغم روغنی مانند روغن کاملینا، گاما توکوفرول و در روغن آفتابگردان آلفاتوکوفرول بود [۳۷]. در هر حال کاهش توکوفرول در این بررسی برای این روغن در مقایسه با تحقیقی که توسط Piravi-vanak و همکاران بر روی نوع پالایش نشده آن در ایران در سال ۲۰۲۲ صورت گرفته مشهود است [۳۸].

۴. نتیجه‌گیری

بر اساس آنچه نتایج به‌دست‌آمده مشخص گردید که پالایش شیمیایی نمونه‌های روغن در مدل آزمایشگاهی برکیفیت پروفایل اسیدچرب روغن کاملینا (با مقدار کم اسیدچرب اشباع و مقادیر بالای آلفالینولنیک اسید و نسبت بهینه اسیدهای چرب چند غیراشباع n-6 به n-3) تأثیر معناداری نداشته است و باعث تشکیل ایزومر ترانس نیز نشده است. اسیدیته و پراکسید نمونه‌ها بعد از بی‌بو شدن به حدود تعیین‌شده در استاندارد ملی ایران رسیده‌اند. کاهش مقادیر توکوفرول هم به‌صورت کلی و هم جداگانه در پایان مرحله بی‌بو ایجاد شد، اما میزان باقیمانده همچنان قابل توجه بود.

با توجه به ویژگی‌هایی که مورد ارزیابی قرار گرفتند، بررسی در خصوص تعیین شرایط بهینه در بی‌بوکننده جهت کاهش افت توکوفرول و اندازه‌گیری مقدارتوکوفرول درتقطیرات حاصل از بی‌بوسازی روغن کاملینا پیشنهاد می‌شود. همچنین با توجه به اینکه فرایند پالایش صنعتی با روش آزمایشگاهی می‌تواند تفاوت‌هایی داشته باشد، بررسی در سطح صنعتی هم الزامی به نظر می‌رسد.

تعارض منافع

هیچ‌گونه تعارض منافع توسط نویسندگان بیان نشده است.

تشکر و قدردانی

بدین‌وسیله از همکاری پژوهشکده صنایع غذایی و فراورده‌های کشاورزی پژوهشگاه استاندارد در انجام آزمون‌ها و شرکت صنعتی بهشهر برای انجام فرایند تصفیه، تقدیر و تشکر می‌شود.

منابع

[1] FAO, (2015). Food and Agriculture organization of the United Nations Statistics Division. FAO of the United Nations. http:// faostat3.fao.org.

[2] USDA. (2015). National Agricultural Statistics Service, USDA.

[3] Balanuca, B., Stan, R., Hanganu, A., Lungu, A. & Iovu, H. (2015). Design of new camelina oil-based hydrophilic monomers for novel polymeric materials. *JAOCS*, 92(6): 881-891. https://doi.org/10.1007/s11746-015-2654-z

[4] Razaei, K., & Rudzinska, M. (2013). Bioactive compounds, nutritional quality and oxidative stability of cold-pressed camelina (Camelina sativa L.) oils. *Appli Sci*, 8 (12), 2606. https://doi.org/10.3390/app8122606

[5] Budin, J.T., Breene, W.M., & Patnam, D.H. (1995). Some compositional properties of camelina (Camelina sativa L. Grantz) seeds and oils. *JAOCS*, 72, 309-315. https://doi.org/10.1007/BF02541088

[6] Hunter, J. & Greg, R. (2010). Camelina Production and Potential in Pennsylvania, Agronomy Facts 72. College of Agricultural Sciences, Crop and Soil Sciences, Pennsylvania State University.

[7] Zubr, J. (2009). Camelina oil in human nutrition. Agro Food industry hi-tech, 20 (4).

[8] Eidhin, D.Ni., Burke, J., Lynch, B. & O´Berine, D. (2003). Effects of dietary supplementation with camelina oil on porcine blood lipids. *J Food Sci 2003*, 68, 2,671-679. https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2003.tb05730.x

[9] Abramovic, H., & Abram, V. (2005). Physico-chemical properties, composition and oxidative stability of camelina sativa oil. *Food tech&bio* , 43, 63-70.

[10]Verhe, R., Verleyen, T., De, W., & Van Hoed, V. (2006). Infiuence of refining of vegetable oils on minor components. *J oil palm Res*, 18, 168-172.

[11] Tasan, M., & Demirci, M. (2005). Total and individual tocopherol contents of sunflower oil at different steps of refining. *Eur J Food Res Technol* 220 (3), 251-254, https://doi.org/10.1007/s00217-004-1045-8

[12] Dumont, MJ., & Narine, ss. (2007). Soapstock and deodorizer distillates from North American vegetable oils: review on their characterization, extraction and utilization. *Food Res Int*, 40,957-9743. https://doi.org/10.1016/j.foodres.2007.06.006

[13] Bernardini, E. (1985).Oil SEEDS, OILS AND FATS, (Volume 2), Roma :B.E.OIL publishing house.

[14] Sherazi, S.T.H., Naz, S., & Talpur, F.N. (2011). Changes of total tocopherol and tocopherol species during sunflower oil processing. *J Am Oil Chem Soc*, 88, 127-132. https://doi.org/10.1007/s11746-010-1652-4

[15] Laghari, Z.H., SHerazi, S.T.H. Ayyhldiz, H.F., Topkafa, M., Kara, H., Mahesar, S.A., & Sirajuddin. (2020). Processing impact on tocopherols and triglycerides composition of soybean oil and its deodorizer distillate evaluated by high-performance liquid chromatography. *Turk J Chem*, 44, 1694-1702.doi: 10.3906/kim-2005-10

[16] Ratusz, K., Symoniuk, E., Wroniak, M., & Rudzinska, M. (2018). Bioactive compounds, nutritional quality and oxidative stability of cold-pressed camelina (Camelina sativa L.) oils. *Appli Sci*, 8 (12), 2606 , https://doi.org/10.3390/app8122606

[17] Mohammadi-Nejad, R., Bahramian, S., & Kahrizi, D. (2018). Evaluation of physicochemical properties, fatty acid composition and oxidative stability of camelina sativa (DH 1025) oil. *J FST*, 77(15).[in persian]

[18] Frame, David D. Palmer,M., & Peterson, B.(2007). Use of Camelina sativa in the diets of young turkeys. *J Appli Poultry Res*, 16(3) : 381-386. https://doi.org/10.1093/japr/16.3.381

[19] Zandi, M., Piravi-vanak, Z., Mousavi Nadushan, R., & Zayerzadeh, E. (2023). Study of subchronic toxicity of camelina oil and its effect on biochemical factors and hematological parameters. *J FST* 133(19): 327-336. [in persian]

[20] Eidhin, D., & O'Beirne, D. (2010). Oxidative stability of camelina oil in salad dressings, mayonnaises and during frying. *Int j Food Sci & Tech*, 45, 444-452. https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2009.02141.x

[21] Sampath, A. (2009). Chemical characterization of camelina seed oil. A Thesis for the degree of Master, Graduate School- New Brunswick ETD, Rutgers.

[22] Lunn, J., & Theobal d, H.E. (2006). The health effects of dietary unsaturated fatty acids. *Nutr. Bull*, 31, 178-224. https://doi.org/10.1111/j.1467-3010.2006.00571.x

[23] Shukla, V.K.S., Dutta, P.C., & Artz, W.E. (2002). Camelina Oil and its unusual cholesterol content. *J AOCS*, 79, 965-969. https://doi.org/10.1007/s11746-002-0588-1

[24] Zubr, J., & Matthaus, B. (2002). Effects of growth conditions on fatty acids and tocopherols in camelina oil. *Ind crops&prod*,15, 155-162. https://doi.org/10.1016/S0926-6690(01)00106-6

[25] Simopoulos, A.P. (2008). The Importance of the Omega-6 /Omega-3 fatty acid ratio in cardiovascular disease and other chronic diseases. *Exp. Biol. Med*, 233, 674-688. https://doi.org/10.3181/0711-MR-311

[26] Dubois, V., Breton, S., Linder, M., Fanni, J., & Parmentier, M. (2007). Fatty acid profiles of 80 vegetable oils with regardto their nutritional potential. *European J Lipid Sci&Tech*,109,710-732. https://doi.org/10.1002/ejlt.200700040

[27] Ibrahim, F.M., & Habbasha, SF.EI. (2015). Chemical composition, medicinal impacts and cultivation of camelina (Camelina Sativa): A review. *Int J pharm Tech Res*. 89(10),114-122

[28] Clayton, A. Martin, Maria C. Milinsk, Jesuf V. Visentainer, Makoto Matsushita & Nilson E. De-souza. (2007). Trans fatty acid-forming processes in foods: a review. *Annals of the Brazilian Academy of Sciences*, 79(2): 343-350, https://doi.org/10.1590/S0001-37652007000200015

[29] Tasan, M. Gecgel, U. & Demirci, M. (2011). Comparison of geometrical isomerization of unsaturated fatty acids in selected commercially refined oils. *Grasas y Aceites*, 62(3), 284-289.

[30] Aluyor, EO., & Ori-Jesu, M, (2008). The use of antioxidant in vegetable oils-a review. *Afr J Biotechnol*, 7, 4836-4842.

[31] Zingg, JM. (2007). Vitamin E:an overview of major research directions. *Mol Aspects Med*, 28, 400-422. https://doi.org/10.1016/j.mam.2007.05.004

[32] Duthie, GG., Gonzalez, BM., Morrice, PC., & Arthur, JR. (1991). Inhibitory effects of isomers of tocopherol on lipid oxidation of microsomes from vitamin E-deficient rats. *Free Radic Res Common*, 15, 35-40. https://doi.org/10.3109/10715769109049123

[33] Bramley, P. M., Elmadfa, I., Kafatos, A., Kelly, F. J., Manios, Y., Roxborough, H., Schuch , W., Sheehy , PJA., & Wagner, K-H. (2000). Vitamin E: A critical review. *J Science Food Agr*ic, *80*(7), 913-938. https://doi.org/10.1002/(SICI)1097-0010(20000515)80:7<913::AID-JSFA600>3.0.CO;2-3

[34] Zubr, J. (2009). Unique dietary oil from *Camelina sativa* seed. Agro Food industry hi-tech, 20, 42-46.

[35] Abramovic, H., Butinar, B., & Nikolic, V. (2007). Changes occurring in phenolic content, tocopherol composition and oxidative stability of camelina sativa oil during storage. *Food chemistry*, 104(3), 903-909

[36] Verleyen, T., Verhe, R., Huyghebaert, A., Dewettinck, K., & Greyt, W.D. (2001). Identification of Alfa-Tocopherol oxidation products in triolein at Eievated temperatures. *J agric&chem*, 49, 1508-1511.

[37] Ergönül, P.G., & köseoğlu, O. (2013). Changes in α-, β-, γ- and δ-tocopherols contents of mostly consumed vegetable oils during refining process. *CYTA J Food*, 12,199–202.

[38] Piravi-vanak, Z., Azadmard-Damirchi, S., Kahrizi, D., Mooraki, N., Ercisli, S., Savage, G.P., Rostami Ahmadvandi, H., & Martinez, F. (2022). Physicochemical properties of oil extracted from camelina (Camelina sativa) seeds as a new source of vegetable oil in different regions of Iran. *J. Mol. Liq*, 345, 117043.