

(Original Research Paper)

Investigation the Effect of Bath Ultrasound Degumming on Physiochemical and Fatty Acid Profile of Canola Oil

Kobra Morad Alinia¹, Reza Esmaeilzadeh Kenari^{2*}, Raziieh Razavi³

1- MSc Student of Food Science and Technology, Faculty of Agricultural Engineering , Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran.

2- Professor, Department of Food Science and Technology, Faculty of Agricultural Engineering , Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran.

3-Postdoctoral Researcher of Food Science and Technology, Faculty of Agricultural Engineering , Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran.

Received:10/10/2022

Accepted:09/01/2023

Abstract

The canola crude oil contains phospholipids and undesirable compounds that make the oil unstable and must be eliminated in the degumming process. In this study, the effect of ultrasound degumming on qualitative properties and bioactive compounds maintenance of canola oil compared to the conventional method. Degumming was performed as a conventional method at 80 ° C for 30 min, while bath ultrasound degumming was performed at three temperatures of 30, 40 and 50 °C and three times 5, 10 and 15 min. The peroxide value, acid value, iodine value, saponification value, p-anisidine value, free fatty acid, oxidative stability, phospholipid, chlorophyll, carotenoid, tocopherol, phytosterol, and phenolic content and fatty acid profiles of obtained oil samples were measured and the results were compared. The results showed that acid value (0.6-1.23%), free fatty acids (0.62-0.90 %), peroxide value (1.2-2.4 meq/kg), iodine (100.5-120.2 gI₂/100g), saponification (164.5-190.5 mg KOH/g), anisidine value (1.5-2.7), oxidative stability (4.6-5.5 h), the content of phospholipid (57.3 - 116.4 mg/kg), chlorophyll (12.6-16.3mg/kg), carotenoid (46.8-70.5 mg/kg), tocopherol (538.2-564. mg/kg) , phytosterols (698.3 - 698.6 mg/kg) and phenolic compounds (97.8 - 102.6 mg/100g) were decreased. The results of the present study recommend the using of ultrasonic bath at 40°C for 10 min as the optimal conditions for degumming, because at this temperature, more bioactive compounds are preserved and oil oxidation will happen less than other samples.

Keywords: Degumming, Ultrasound Bath, Bioactivecompounds, Canola Oil.

*Corresponding Author: Reza_kenari@yahoo.com

(مقاله پژوهشی)

بررسی تأثیر صمغ گیری با حمام فراصوت بر ویژگی های فیزیکوشیمیایی و پروفایل اسیدچرب روغن کانولا

کبری مرادعلی نیا^۱، رضا اسماعیل زاده کناری^{۲*}، راضیه رضوی^۳

۱-دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده مهندسی زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران.

۲-استاد، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده مهندسی زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران.

۳-دانشجوی پسا دکتری، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده مهندسی زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۷/۱۸

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۰/۱۹

چکیده

روغن خام کانولا حاوی فسفولیپیدها و ترکیبات نامطلوب است که روغن را ناپایدار می سازند و بایستی در فرآیند صمغ گیری حذف شوند. صمغ گیری به روش متداول در دمای 80°C و به مدت ۳۰ دقیقه انجام شد درحالی که صمغ گیری به کمک حمام فراصوت در سه سطح دمایی ۳۰، ۴۰ و ۵۰ و سه زمان ۵، ۱۰ و ۱۵ دقیقه انجام شد. آزمون های اندازه گیری اندیس پراکسید، اسیدی، یدی، صابونی، آنیزیدین، اسیدهای چرب آزاد، پایداری اکسایشی، محتوای فسفولیپید، کلروفیل، کاروتنوئید، توکوفرول، فیتواسترول، ترکیبات فنولی و پروفایل اسیدهای چرب بر روی نمونه های صمغ گیری شده با هر دو روش انجام و نتایج باهم مقایسه شد. نتایج نشان داد صمغ گیری با فراصوت اندیس اسیدی (۱/۲۳-۰/۶٪)، اسیدهای چرب آزاد (۰/۹-۰/۶۲٪)، اندیس پراکسید (۴/۲-۲/۱ meq/kg)، یدی (۱۲۰/۲-۱۰۰/۵ gI₂/100g)، صابونی (۱۹۰/۵-۱۶۴/۵ mg KOH/g)، آنیزیدین (۲/۷-۱/۵)، پایداری اکسایشی (۵/۵-۴/۶ ساعت)، محتوای فسفولیپید (۱۱۶/۴-۵۷/۳ mg/kg)، کلروفیل (۱۶/۳-۱۲/۶ mg/kg)، کاروتنوئید (۷۰/۵-۴۶/۸ mg/kg)، توکوفرول (۵۶۴/۶-۳۸/۲ mg/kg) فیتواسترول (۶۹۸/۶-۶۴۴/۳ mg/kg) و ترکیبات فنولی (۱۰۲/۶-۹۷/۸ mg/100g) را کاهش داد. علاوه بر این فراصوت هیچ تغییر معنی دار آماری ($p < 0.05$) در ترکیب و ساختار اسیدهای چرب روغن ایجاد نکرد. نتایج مطالعه حاضر استفاده از حمام فراصوت در شرایط دمایی 40°C و زمان ۱۰ دقیقه را به عنوان شرایط بهینه صمغ گیری پیشنهاد می نماید چرا که در این دما حفظ ترکیبات زیست فعال بیشتر و اکسایش روغن نسبت به سایر نمونه ها کمتر اتفاق خواهد افتاد.

واژه های کلیدی: صمغ گیری، حمام فراصوت، ترکیبات زیست فعال، روغن کانولا.

۱- مقدمه

در زندگی روزمره روغن خوراکی جزء مهمی از رژیم غذایی انسان برای تأمین انرژی، اسیدهای چرب ضروری و مواد مغذی است (۱۶). کانولا سومین منبع روغن گیاهی در جهان پس از روغن های سویا و پالم است (۳۲). روغن های خام حاوی مواد نامطلوب زیادی هستند و برای تولید روغن های خوراکی با کیفیت بهتر و پایداری اکسایشی بالاتر لازم است که تصفیه شوند. رنگدانه ها، اسیدهای چرب آزاد، صمغ ها، موم ها، فسفات ها، بقایای آفت کش ها، فلزات جزئی و ترکیبات فرار مهم ترین ترکیبات نامطلوب موجود در روغن های خام هستند که بایستی در فرآیند تصفیه جداسازی شوند (۱۶). صمغ گیری اولین مرحله از فرآیند تصفیه روغن های گیاهی برای حذف فسفولیپیدها است. فسفولیپیدها محلول در روغن هستند؛ اما پس از هیدراتاسیون در روغن نامحلول می شوند. فسفولیپیدها در روغن های گیاهی به عنوان پرواکسیدان عمل می کنند و موجب تسریع اکسایش روغن و کاهش کارایی فرآیند تصفیه می شوند. روغن های سنتی صمغ گیری شامل صمغ گیری با آب و صمغ گیری اسیدی است. در طول صمغ گیری با آب، صمغ های هیدراته تشکیل می شوند که در روغن نامحلول هستند و می توان آن ها را با سانتریفیوژ جدا کرد. صمغ گیری اسیدی ترکیبی از آب و اسید (عمدتا اسید فسفریک یا سیتریک) است. در این فرایند، فسفولیپیدهای غیر قابل هیدراتاسیون با افزودن اسید فسفریک ۸۵ درصد حذف می شوند (۱۶). اگرچه فرآیند صمغ گیری بر ترکیب اسیدهای چرب گلیسیریدها تأثیر نمی گذارد؛ اما میزان برخی از ترکیبات زیست فعال مانند استرول ها، توکوفرول ها و ترکیبات فنولی را کاهش می دهد (۴۳). امروزه استفاده از امواج فراصوت باعث پیشرفت صنایع مختلف شده است. فرآوری مواد غذایی به کمک فناوری فراصوت به دلیل انتقال آبی انرژی صوتی به محصول غذایی یک جایگزین بالقوه برای فرآیندهای معمول است که منجر به کاهش کلی زمان فرآوری، توان عملیاتی بیشتر و صرف انرژی کمتر جهت تولید محصول غذایی می شود. همچنین این فناوری سریع و تمیز است و منجر به کاهش از دست رفتن ارزش تغذیه ای محصول،

بهبود کیفیت غذا و حفظ نسبی ویتامین ها می شود (۲۶). فناوری فراصوت می تواند به عنوان یک روش جدید صمغ گیری روغن، جایگزین روش های سنتی شود (۲۱). از پژوهش های پیشین انجام شده در این زمینه می توان به استفاده از فراصوت برای کاهش دما و مدت زمان فرآیند صمغ گیری روغن های خام سویا و آفتابگردان (۲۰، ۳۵، ۴۴)، روغن زیتون، کنجد و آفتابگردان (۲۵) و صمغ گیری به کمک فراصوت حمام و پروب جهت کاهش میزان فسفاتیدهای روغن سویا (۵) اشاره نمود. با توجه به اینکه نوع روش تصفیه روغن تأثیر بسزایی بر کیفیت روغن و حفظ ترکیبات زیست فعال آن دارد، یافتن شرایط بهینه تصفیه روغن ضرورت دارد. از آن جایی که فناوری فراصوت می تواند منجر به محافظت هر چه بیشتر از ترکیبات زیست فعال روغن طی فرآیند تصفیه شود و جایگزین مناسبی برای روش های سنتی تصفیه روغن باشد، لذا این پژوهش با هدف بررسی تأثیر صمغ گیری با حمام فراصوت بر ویژگی های فیزیکوشیمیایی و پروفایل اسید چرب روغن کانولا در مقایسه با روش متداول و همچنین تعیین شرایط بهینه صمغ گیری با فراصوت از نظر زمان و دمای فراصوت برای حفظ فاکتورهای کیفی روغن و با کمترین تخریب ترکیبات زیست فعال انجام شد.

۲- مواد و روش ها

۲-۱- مواد

روغن خام کانولا از کارخانه روغن گنجه رودبار تهیه شد. کلیه مواد شیمیایی دارای درجه تجزیه ای بودند که از شرکت سیگما آلد ریچ آمریکا خریداری شدند.

۲-۲- روش ها

۲-۲-۱- صمغ گیری با روش متداول

۱۰۰ گرم نمونه روغن خام کانولا در حمام آب گرم تا دمای 80°C پیش گرم شد و سپس اسید فسفریک ۸۵ درصد وزنی/وزنی به میزان ۱/۱۵ درصد (وزنی/وزنی) به روغن اضافه شد. سپس روغن به شدت و با سرعت ۳۰۰ دور بر دقیقه به مدت ۱۰

و نمونه های روغن تا دمای لازم در حمام فراصوت یعنی 30°C ، 40°C و 50°C پیش گرم شدند. سپس به میزان ۰/۱۵ درصد (وزنی/وزنی) اسید فسفریک ۸۵ درصد به نمونه های روغن اضافه شد و تیمار فراصوت به مدت ۵، ۱۰ و ۱۵ دقیقه برای هر کدام از نمونه ها اعمال شد. پس از آن آب مقطر به میزان ۳ درصد وزنی/وزنی به آن ها اضافه شد و به مدت ۵ دقیقه با سرعت ۱۰۰۰ دور بر دقیقه بر روی همزن مغناطیسی به هم زده شد. سپس مجدداً نمونه ها به مدت ۳۰ دقیقه تحت تیمار فراصوت قرار گرفتند. مخلوط حاصله سپس به مدت ۳۰ دقیقه در 3600 جی سانتریفیوژ شد. روغن های صمغ گیری شده جدا و توسط آون خشک شدند (۳۳). کدگذاری نمونه های روغن در جدول ۱ ارائه شده است.

دقیقه با استفاده از همزن مغناطیسی به هم زده شد. پس از آن آب مقطر به میزان ۳ درصد وزنی/وزنی به آن اضافه شد و با سرعت ۳۰۰ دور بر دقیقه به مدت ۵ دقیقه به هم زده شد. در محدوده 80°C نگه داشته شد. سپس سرعت به ۱۰۰ دور بر دقیقه کاهش داده شد و ۳۰ دقیقه در این دما به هم زده شد. مخلوط حاصله سپس به مدت ۳۰ دقیقه در 3600 جی سانتریفیوژ شد. روغن صمغ گیری شده جدا و سپس در آون خشک شد (۳۶).

۲-۲-۲- صمغ گیری با کمک حمام فراصوت

ابتدا شرایط مورد نیاز در حمام فراصوت (Elmasonic S 30 H, Germany)، فرکانس ۲۷۰ وات و ۳۷ کیلوهرتز ایجاد شد

جدول ۱- کدگذاری نمونه های روغن کانولا صمغ گیری شده به روش متداول و حمام فراصوت

ردیف	نمونه	کد نمونه	دما ($^{\circ}\text{C}$)	زمان (دقیقه)
۱	متداول	Control	۸۰	۱۰
۲	فراصوت	Tem30-T5	۳۰	۵
۳	فراصوت	Tem30-T10	۳۰	۱۰
۴	فراصوت	Tem30-T15	۳۰	۱۵
۵	فراصوت	Tem40-T5	۴۰	۵
۶	فراصوت	Tem40-T10	۴۰	۱۰
۷	فراصوت	Tem40-T15	۴۰	۱۵
۸	فراصوت	Tem50-T5	۵۰	۵
۹	فراصوت	Tem50-T10	۵۰	۱۰
۱۰	فراصوت	Tem50-T15	۵۰	۱۵

۲-۲-۳- آزمون های روغن خام

اندیس پراکسید، اندیس اسیدی، اندیس یدی، اسید چرب آزاد، اندیس آنیزیدین، اندیس صابونی و محتوای فسفولپید نمونه های روغن مطابق با استاندارد AOCS (۲۰۰۹) به ترتیب با شماره Cd 3d-63، Cd 1d-25، Cd 3d-63، Cd 1d-25، Cd 18-90، Cd 3-25 و Ca 12-55 انجام شد (۱۱).

۲-۲-۴- شاخص پایداری اکسایشی

شاخص پایداری اکسایشی (OSI) با استفاده از دستگاه رنسیمت (Metrohm AG, Herisau, Switzerland) اندازه گیری شد. جریانی از هوای خشک و تمیز با سرعت ۱۵ لیتر بر ساعت به درون ظرف حاوی ۳ گرم نمونه روغن دمیده شد. هوای حامل اسیدهای آلی فرار ناشی از اکسایش نمونه به ظرف اندازه گیری هدایت الکتریکی (حاوی ۶۰ میلی لیتر آب مقطر)

هدایت شدند. شاخص پایداری اکسایشی به طور خودکار در دمای ۱۲۰°C اندازه گیری شد (۴).

۵-۲-۲- تعیین مقدار توکوفرولها

جهت تعیین مقدار توکوفرولها، ابتدا ۰/۲ گرم نمونه روغن در ۵ میلی لیتر متانول حل شد. سپس به مدت ۱۰ دقیقه سانتریفیوژ و مایع رویی (۱۰ میکرولیتر) جدا و به سیستم مجهز به یک آشکارساز ماورای بنفش بر روی ستون تزریق شد. مخلوطی از استونیتریل - آب (۱۰:۹۰ درصد حجمی / حجمی) با سرعت جریان ۰/۱ میلی لیتر در دقیقه به عنوان فاز متحرک استفاده شد. جذب در طول موج ۲۹۲ نانومتر اندازه گیری شد (۴۴).

۶-۲-۲- تعیین مقدار فیتواسترولها

۲۰۰ میلی گرم روغن با ۴ میلی لیتر محلول اتانولی هیدروکسید پتاسیم (۲mol/L) مخلوط شد و در حمام آب در دمای ۹۰°C صابونی شد. سپس ۵ میلی لیتر هگزان و ۱ میلی لیتر آب مقطر به آن‌ها اضافه شد و به سرعت مخلوط شد تا ماده غیر صابونی استخراج شود. مایع رویی مجدداً با همان روش جمع شد. محلول استخراجی با نیتروژن خشک می شود. ۲۰۰ میکرولیتر BSTFA-TMCS با نسبت ۹۹ به ۱ به نمونه اضافه شد و سپس نمونه در حمام آب در دمای ۹۹°C به مدت ۲۰ دقیقه تکان داده شد. در نهایت نمونه با افزودن ۲ میلی لیتر هگزان برای تشخیص رقیق شد. دستگاه کروماتوگرافی گازی، برای شناسایی فیتواسترولها استفاده شد (۲۱).

۷-۲-۲- اندازه گیری ترکیبات فنولی کل

اندازه گیری میزان کل ترکیبات فنولی روغن بر اساس اسید گالیک به عنوان استاندارد و با استفاده از معرف فولین سیوکالتیو مطابق روش توصیف شده کاپانسی و همکاران (۲۰۰۰) تعیین شد. ابتدا ۲/۵ گرم روغن در ۵ میلی لیتر هگزان حل و به مدت یک دقیقه ورتکس شد. ترکیبات فنولی با سه بار افزودن ۲/۵ میلی لیتر محلول متانول: آب (به نسبت ۸۰ به ۲۰ حجمی / حجمی) به روغن و سپس به مدت ۵ دقیقه در ۵۰۰۰

دوربر دقیقه سانتریفیوژ از روغن خارج شدند. سپس نمونه‌ها به بالن حجمی ۵۰ میلی لیتری منتقل و به آن ۲/۵ میلی لیتر محلول فولین سیوکالتیو اضافه و بعد از گذشت ۳ دقیقه میزان ۵ میلی لیتر سدیم کربنات ۷/۵ درصد افزوده شد و پس از واکنش با آب مقطر به حجم ۵۰ میلی لیتر رسانده شد. محلول نمونه‌ها در طول شب نگهداری شدند و در پایان جذب آن‌ها با دستگاه اسپکتروفتومتر (UV-VIS, 100W, Alpha-1502)، در طول موج ۷۶۵ نانومتر خوانده شد (۱۲).

۸-۲-۲- تعیین مقدار کلروفیل

مقدار کلروفیل با استفاده از طیف سنج UV-VIS تعیین شد. ابتدا ۷/۵ گرم روغن در سیکلو هگزان حل و سپس به حجم نهایی ۲۵ میلی لیتر رسانده شد. سپس غلظت کلروفیل نمونه‌های روغن در طول موج ۶۷۰ نانومتر اندازه گیری شد (۴۱). مقدار کلروفیل نمونه طبق رابطه ۱ محاسبه گردید.

$$\text{Chlorophyll (mg/kg)} = A_{670} \times 10^6 / 613 \times 100 \times d \quad (1)$$

A: جذب، d: قطر سل اسپکتروفتومتر (۱ سانتی متر).

۹-۲-۲- تعیین مقدار کاروتنوئید

مقدار کاروتنوئید با استفاده از طیف سنج UV-VIS (Alpha-1502, 100W) تعیین شد. ابتدا ۷/۵ گرم روغن در سیکلو هگزان حل و سپس به حجم نهایی ۲۵ میلی لیتر رسانده شد. سپس غلظت کلروفیل نمونه‌های روغن در طول موج ۴۷۰ نانومتر اندازه گیری شد (۴۱). مقدار کاروتنوئید نمونه از رابطه ۲ محاسبه گردید.

$$\text{Carotenoid (mg/kg)} = A_{470} \times 10^6 / 2000 \times 100 \times d \quad (2)$$

A: جذب، d: قطر سل اسپکتروفتومتر (۱ سانتی متر).

۱۰-۲-۲- آنالیز ترکیب اسیدهای چرب

جهت شناسایی و تعیین مقدار کمی ترکیب اسیدهای چرب از روش متیل استراسید چرب اصلاح شده، و روش کروماتوگرافی گازی استفاده شد. مقدار اسیدهای چرب نمونه‌های روغن بر حسب درصد گزارش شدند (۱۱).

۳-۲- تجزیه و تحلیل آماری

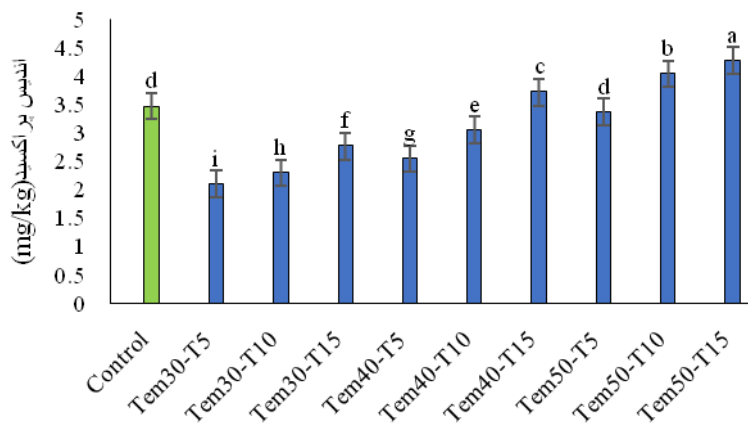
میانگین نتایج حاصله از آزمایشات مختلف در سه تکرار در قالب طرح فاکتوریل با استفاده از نرم افزار SPSS نسخه ۲۴ تجزیه و تحلیل شدند. مقایسه میانگین داده‌های حاصل از تیمار فراصوت با نمونه‌های متداول با استفاده از آزمون دانکن انجام شد. برای رسم نمودارها از نرم افزار اکسل نسخه ۲۰۱۹ استفاده شد.

۳- نتایج و بحث

۳-۱- اندیس پراکسید

اندیس پراکسید یک پارامتر مهم برای ارزیابی کیفیت روغن است (۳۷). پراکسیدها ترکیباتی هستند که در آغاز فرآیند اکسیداسیون تولید می‌شود (۳۹) و مقدار آن منعکس کننده اکسیداسیون اولیه روغن است (۶). مقدار اندیس پراکسید روغن خام کانولا ۵/۰۵ meq/kg به دست آمده است. از کان و همکاران (۲۰۲۰) (۳۸) و قازانی و همکاران (۲۰۱۳) اندیس پراکسید روغن خام کانولا را به ترتیب ۳ و بین ۰/۵ تا ۳ meq/kg گزارش کرده بودند (۲۲). دلیل تفاوت در مقدار به دست آمده می‌تواند مرتبط با شرایط استخراج روغن خام کانولا باشد.

شکل ۱ مقادیر اندیس پراکسید نمونه‌های روغن صمغ گیری شده با فراصوت و روش متداول نشان می‌دهد. اثرات اصلی و متقابل دما و زمان معنی دار ($p < 0/05$) بودند. اندیس پراکسید نمونه‌های صمغ گیری شده نسبت به نمونه روغن خام کاهش یافته است. در همه نمونه‌های فراصوت شده به جز دو نمونه در دمای 50°C در زمان ۱۰ و ۱۵ دقیقه با افزایش دما و زمان فراصوت میزان اندیس پراکسید نسبت به روش متداول کاهش پیدا کرده است که ممکن است به دلیل زمان و دمای کمتر مورد استفاده برای فراصوت و در نتیجه کاهش مدت زمان تماس سطح روغن فراصوت شده با هوا نسبت به نمونه متداول باشد همچنین می‌تواند به دلیل تبدیل پراکسیدهای اولیه به ثانویه و تولید ترکیبات پایدار باشد که با نتایج تحقیقات گواهیان و همکاران (۱۴۰۱) (۵) محمود فشندی و همکاران (۲۰۱۷) و مور و همکاران (۲۰۱۷) (مطابقت دارد (۳۳، ۳۴). تمام نمونه‌های تیمار شده با فراصوت به جز نمونه فراصوت شده در دمای 50°C زمان ۵ دقیقه با نمونه متداول اختلاف معنی داری داشتند ($p < 0/05$).



شکل ۱- اندیس پراکسید نمونه‌های مختلف پس از صمغ گیری با فراصوت.

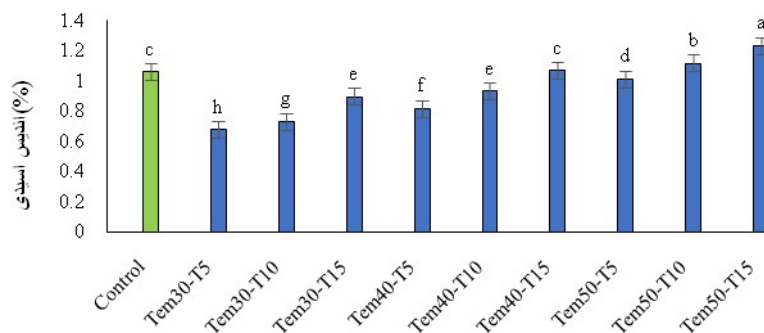
*حروف غیرمشابه نشان دهنده تفاوت آماری معنی دار است ($p < 0/05$)

۳-۲- اندیس اسیدی

شاخص اسیدیته اندازه گیری مقدار گروه‌های کربوکسیلیک اسید در یک ترکیب شیمیایی، مانند یک اسید چرب یا در مخلوطی از ترکیبات است (۲۷). مقدار اندیس اسیدی روغن

خام کانولا ۱/۱۲٪ بدست آمد. ایمبیبی و همکاران (۲۰۰۶) اندیس اسیدی را برای چهار رقم کانولا بین ۰/۱۴ تا ۰/۳۵ درصد گزارش کردند (۱۹). با بررسی نتایج آنالیز واریانس و نیز مقایسه میانگین مشاهده شد که اثرات اصلی و متقابل دما و زمان،

۱۰ و ۱۵ دقیقه نسبت به نمونه روغن خام می تواند به دلیل شکستن اتصالات استری ناشی از حرارت دهی در دمای بالاتر با زمان طولانی تر نسبت به سایر نمونه ها باشد (۲). این نتایج با نتایج اسماعیل زاده کناری و مشتاق (۱۴۰۰) (۱) آلوچ و همکاران (۲۰۱۵) (۹)، گواهیان و همکاران (۱۴۰۱) (۵) و مور و همکاران (۲۰۱۷) (۳۴) مشابه می باشد.



شکل ۲- اندیس اسیدی نمونه های مختلف پس از صمغ گیری با فراصوت.

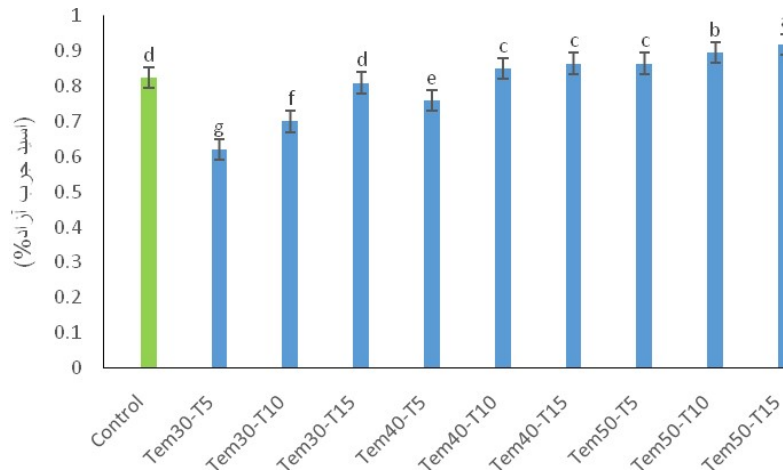
*حروف غیر مشابه نشان دهنده تفاوت آماری معنی دار است ($p < 0.05$)

دمای 30°C با یکدیگر اختلاف معناداری دارند. این اختلاف معنی دار بین نمونه های فراصوت شده در دمای 50°C نیز مشاهده می شود. میزان اسیدهای چرب آزاد غیر از دمای 50°C در زمان های ۱۰ و ۱۵ دقیقه در سایر نمونه ها نسبت به نمونه روغن خام کاهش یافته است ولی روند افزایشی جزئی در درصد اسید چرب آزاد به صورت جداگانه در هر کدام از دماها همراه با افزایش زمان فراصوت مشاهده شد. دلیل این امر را می توان هیدرولیز جزئی تری گلیسریدها با افزایش زمان و دمای فراصوت در حضور رطوبت و در نتیجه تشکیل اسیدهای چرب آزاد دانست (۲۷). همچنین در طی اعمال فراصوت رادیکال آزاد تولید می شود که می تواند منجر به افزایش اسید چرب آزاد در دو نمونه فراصوت شده در دمای 50°C در زمان های ۱۵ و ۱۰ دقیقه نسبت به نمونه متداول شود، اما در صورت استفاده از زمان پائین تر این اتفاق خیلی سریع رخ می دهد و تغییر زیادی در اسیدهای چرب آزاد رخ نمی دهد.

معنی دار ($p < 0.05$) بودند. در شکل ۲ همه تیمارها به جز نمونه فراصوت شده در دمای 40°C در زمان ۱۵ دقیقه با نمونه متداول اختلاف معنی دار دارند ($p < 0.05$). اندیس اسیدی در همه ی نمونه های فراصوت شده به جز نمونه های فراصوت شده در دمای 50°C در زمان های ۱۰ و ۱۵ دقیقه نسبت به نمونه روغن خام کاهش یافت. افزایش اندیس اسیدی در دمای 50°C در زمان های

۳-۳- اسید چرب آزاد

اندازه گیری اسیدهای چرب آزاد یک عامل تعیین کننده مهم در کیفیت روغن است به ویژه برای اهداف صنعتی مهم است. زیرا اسیدهای چرب آزاد می توانند خواص ارگانولپتیک یا فیزیکوشیمیایی روغن را تغییر دهند. اسید چرب آزاد می تواند به عنوان پرواکسیدان در روغن های گیاهی عمل کنند و منجر به عطر و طعم نامطلوب شود (۲۷). اسید چرب آزاد روغن خام کانولا ۰/۸۸٪ است که با نتایج قازانی و همکاران (۲۰۱۳) (۲۳) که میزان اسید چرب آزاد نمونه های روغن خام کانولا را بین ۰/۳ تا ۱/۲٪ گزارش کردند مطابقت دارد. در مورد اسیدهای چرب آزاد، تفاوت معنی داری ($p < 0.05$) بین تمام نمونه های مختلف فراصوت شده در دماهای 30°C ، 40°C و 50°C به جز نمونه فراصوت شده در دمای 30°C در زمان ۱۵ دقیقه با نمونه متداول وجود دارد ($p < 0.05$). همان طور در شکل ۳ مشاهده می شود نمونه های مختلف تیمار شده با فراصوت در



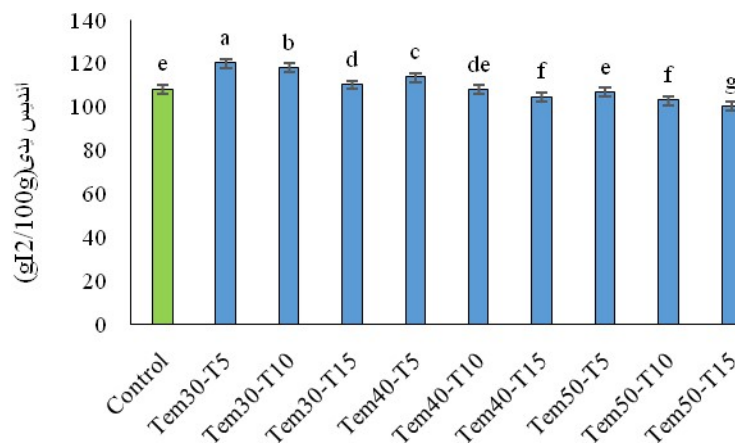
شکل ۳- اسیدهای چرب آزاد نمونه های مختلف پس از صمغ گیری با فراصوت.

*حروف غیر مشابه نشان دهنده تفاوت آماری معنی دار است ($p < 0.05$)

دما و زمان معنی دار ($p < 0.05$) بودند. همانطور که در شکل ۴ مشاهده می شود، میزان اندیس یدی در نمونه های فراصوت شده در دمای 30°C در زمان های ۵ و ۱۰ و ۱۵ دقیقه و دمای 40°C زمان ۵ دقیقه افزایش یافته است که نشان دهنده تأثیر مثبت افزایش جزئی دما و زمان حرارت دهی در افزایش عدد یدی روغن است؛ ولی با افزایش بیشتر دما و زمان فراصوت غیر اشباعیت کاهش می یابد. می توان این امواج را در دمای پائین که اثر مخرب بر روی اسیدهای چرب حساس به حرارت ندارد استفاده نمود (۳).

۳-۴- اندیس یدی

اندیس یدی معیاری از تعداد پیوندهای غیر اشباع در اسیدهای چرب است. به طور کلی این شاخص برای روغن و چربی های بامنشأ حیوانی تا حدود زیادی کمتر از روغن های بامنشأ گیاهی است (۳۹). اندیس یدی روغن خام $118/41 \text{ gI}_2/100\text{g}$ به دست آمد. امیبی و همکاران (۲۰۰۶) مقدار اندیس یدی در روغن خام را بین 106 تا $85 \text{ gI}_2/100\text{g}$ گزارش کردند (۱۹). با بررسی نتایج تجزیه واریانس و نیز مقایسه میانگین مقادیر اندیس یدی تیمارهای مختلف، مشاهده شد که اثرات اصلی و متقابل



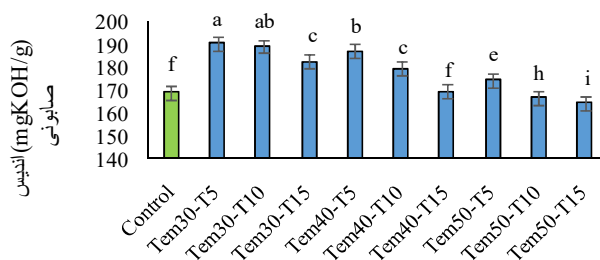
شکل ۴- اندیس یدی نمونه های مختلف پس از صمغ گیری با فراصوت.

*حروف غیر مشابه نشان دهنده تفاوت آماری معنی دار است ($p < 0.05$)

۳-۵-اندیس صابونی

فرآیند صمغ‌گیری در همه نمونه‌های فراصوت شده دمای ۴۰°C و ۵۰°C در زمان ۱۵ دقیقه قابل مشاهده است. این کاهش با صمغ‌گیری روغن قابل درک است، زیرا درصد اسیدهای چرب آزاد و سایر اجزای چرب با وزن مولکولی بالا در روغن در طی صمغ‌گیری کاهش می‌یابد (۴۶). بیشترین اندیس صابونی برای نمونه‌های فراصوت شده در دمای ۳۰°C و زمان ۵ دقیقه به میزان ۱۹۰/۵ mg KOH/g و کمترین مقدار نمونه فراصوت شده در دمای ۵۰°C و زمان ۱۵ دقیقه ۱۶۴/۵ KOH/g مشاهده گردید. بین نمونه‌های مختلف فراصوت شده در دمای ۳۰°C بانمونه متداول اختلاف معنی‌داری ($p < 0/05$) وجود دارد.

صابونی شدن میانگین وزن مولکولی اسیدهای چرب در لیپیدها را توصیف می‌کند (۳۹). اندیس صابونی روغن خام کانولا ۱۸۷/۲۳ mg KOH/g به دست آمد. امیبی و همکاران (۲۰۰۶) اندیس صابونی برای روغن خام کانولا را بین ۱۷۸ تا ۱۸۷ mg KOH/g گزارش کردند (۱۹) که با نتایج پژوهش حاضر مطابقت دارد. با بررسی نتایج آنالیز واریانس و نیز مقایسه میانگین اندیس صابونی نمونه‌های مختلف صمغ‌گیری شده با فراصوت و روش متداول مشاهده شد که اثرات اصلی و متقابل دما و زمان معنی‌دار ($p < 0/05$) بودند. شکل ۵ صابونی شدن را در نمونه‌های روغن صمغ‌گیری شده با روش متداول و فراصوت نشان می‌دهد. کاهش جزئی در مقادیر صابونی شدن پس از



شکل ۵- اندیس صابونی نمونه‌های مختلف پس از صمغ‌گیری با فراصوت.

*حروف غیرمشابه نشان‌دهنده تفاوت آماری معنی‌دار است ($p < 0/05$)

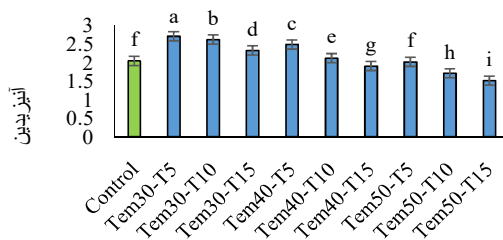
صمغ‌گیری به روش متداول در دمای ۸۰°C به ۲ کاهش یافته است. قازانی و همکاران (۲۰۱۳) (۲۳) میزان آنیزیدین چندین نمونه روغن کانولا را بین ۱ تا ۳ گزارش کردند که با نتایج پژوهش حاضر مطابقت دارد. در مورد نمونه‌هایی که تحت تیمار فراصوت صمغ‌گیری شده‌اند، در دمای ۳۰°C و به ترتیب در زمان‌های ۵، ۱۰ و ۱۵ دقیقه، میزان آنیزیدین در این نمونه‌ها به ترتیب ۲/۷، ۳/۶، ۲/۲ است. بین نمونه‌های مختلف فراصوت شده در دمای ۳۰°C با یکدیگر و با سایر نمونه‌های فراصوت شده در دمای ۴۰°C و ۵۰°C و با نمونه متداول اختلاف معنی‌داری در ($p < 0/05$) وجود دارد. همان‌طور که ملاحظه می‌شود در

۳-۶- اندیس آنیزیدین

شاخص پارا-آنیزیدین نشان‌دهنده فساد ثانویه اکسیداسیون است. این شاخص میزان ترکیبات ثانویه اکسیداسیون (ترکیبات کربونیلی غیرفرار) را نشان می‌دهد (۲۲). مقدار شاخص پارا-آنیزیدین روغن خام کانولا ۲/۵۲ به دست آمد. با بررسی نتایج آنالیز واریانس و نیز مقایسه میانگین مقادیر اندیس آنیزیدین تیمارهای مختلف مشاهده شد که اثرات اصلی سطوح مختلف پارامترهای دما، زمان و همچنین اثرات متقابل دما و زمان معنی‌دار ($p < 0/05$) بودند. شکل ۶ مقادیر آنیزیدین را پس از فرآیند صمغ‌گیری روغن کانولا به روش‌های متداول و فراصوت نشان می‌دهد. میزان آنیزیدین روغن کانولای خام ۲/۵۲ می‌باشد که پس از

معنی داری وجود ندارد. چمات و همکاران (۲۰۰۴) تولید ترکیبات نامطلوب ناشی از فرآیند اکسیداسیون مانند hexanal، 4-enal، decadie-2 و hept-2-enal را در روغن های تیمارشده در فراصوت گزارش کردند (۱۵). حلیم و همکاران (۲۰۱۸) با اعمال تیمار فراصوت هیچ تفاوتی در محصولات اکسیداسیون ثانویه در روغن سویا و پالم در طول نگهداری مشاهده نکردند (۲۴). کاهش معنی دار اندیس آنیزیدین در طول فرآیند صمغ گیری با افزایش زمان در هر کدام از دماهای معین ممکن است به دلیل جذب هیدروپراکسیدها و آلدئیدها توسط صمغ های هیدراته باشد (۲۴). باین حال، اسید فسفریک ممکن است در تجزیه و هیدراته شدن محصولات ثانویه اکسیداسیون نقش داشته باشد و به این طریق باعث کاهش آن ها در طول فرآیند صمغ گیری شود.

دمای ثابت با افزایش زمان موج دهی کاهش میزان آنیزیدین در نمونه ها افزایش داشته است. در تیمارهایی که در دمای ۴۰°C به ترتیب در زمان های ۱۰، ۱۵ و ۲۰ دقیقه تحت امواج فراصوت بودند، میزان کاهش آنیزیدین در این نمونه ها به ترتیب ۲/۴، ۱/۲، ۹/۱ می باشد. در دمای ۴۰°C میان میزان آنیزیدین در تیمارهای مربوط به زمان های ۱۰، ۱۵ و ۲۰ دقیقه اختلاف معناداری ($p < 0.05$) دارد. در مورد نمونه هایی که تحت تیمار فراصوت صمغ گیری شده اند، در دمای ۵۰°C و به ترتیب در زمان های ۱۰، ۱۵ و ۲۰ دقیقه، درصد کاهش میزان آنیزیدین در این نمونه ها به ترتیب ۲/۷، ۱/۵، ۱/۱ می باشد. میان نمونه های مختلف فراصوت شده در دمای ۵۰°C با یکدیگر و با سایر نمونه های فراصوت شده در دمای ۳۰°C و ۴۰°C اختلاف معنی داری وجود دارد ($p < 0.05$). ولی در نمونه فراصوت شده در دمای ۵۰°C و زمان ۵ دقیقه با نمونه متداول اختلاف



شکل ۶- اندیس آنیزیدین نمونه های مختلف پس از صمغ گیری با فراصوت. *حروف غیرمشابه نشان دهنده تفاوت آماری معنی دار است ($p < 0.05$)

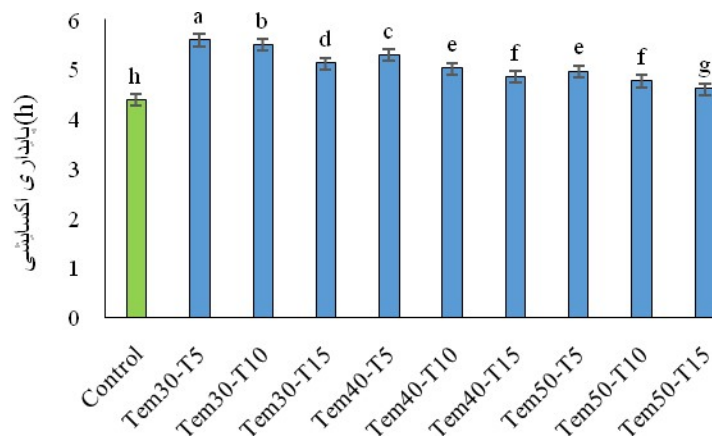
پایداری اکسایشی نمونه های مختلف مشاهده شد که اثرات اصلی سطوح مختلف پارامترهای دما، زمان و همچنین اثرات متقابل دما و زمان معنی دار ($p < 0.05$) بودند. نتایج مربوط به تغییرات پایداری اکسایشی نمونه های مختلف روغن در شکل ۷ شان داده شده است. همانگونه که مشاهده می شود با افزایش دما در نمونه های فراصوت شده پایداری اکسایشی روغن کاهش یافته است و نمونه متداول که کمترین پایداری اکسایشی را دارد بانمونه های فراصوت شده اختلاف معنی دار داشت ($p < 0.05$). در آزمون رنسیمت انجام شده بر روی نمونه های روغن همان طور که قابل پیش بینی بود با افزایش دما،

۳-۷- پایداری اکسایشی

زمان سپری شده تا زمانی که محصولات ثانویه شناسایی شوند، دوره القا نامیده می شود و نشان دهنده مقاومت روغن در برابر اکسیداسیون است (۷). پایداری اکسیداتیو بالای روغن های خام ممکن است به دلیل سطح بالای آنتی اکسیدان های طبیعی، ترکیبات فنولی و فسفاتیدها باشد که اثرات هم افزایی روی آنتی اکسیدان ها دارند (۴۵). پایداری اکسایشی روغن خام کانولا ۵/۲ ساعت به دست آمد که نتایج فرحوش و همکاران (۲۰۰۶) (۴) که بین ۳ تا ۶ ساعت گزارش کردند مشابه است. با بررسی نتایج آنالیز واریانس و نیز مقایسه میانگین مربوط به تغییرات

شده در دمای 30°C و زمان ۵ دقیقه به میزان ۵/۵۸ ساعت و کمترین مقدار آن برای نمونه فراصوت شده در دمای 50°C و زمان ۱۵ دقیقه ۴/۶۳ ساعت مشاهده گردید. بین نمونه‌های مختلف فراصوت شده در دمای 30°C با نمونه متداول و با یکدیگر و همچنین با سایر نمونه‌های فراصوت شده در دمای 40°C و 50°C اختلاف معنی‌داری ($p < 0/05$) وجود دارد. در دمای 40°C پایداری اکسایشی در نمونه‌های فراصوت شده مربوط به زمان‌های ۵، ۱۰ و ۱۵ دقیقه اختلاف معناداری با یکدیگر و با نمونه متداول وجود دارد. ولی میان نمونه‌های فراصوت شده در دمای 40°C و زمان‌های ۱۵ و ۱۰ دقیقه با نمونه‌های فراصوت شده در دمای معین 50°C و زمان‌های ۱۰ و ۵ دقیقه اختلاف معنی‌داری وجود ندارد. در دمای 50°C پایداری اکسایشی در نمونه‌های فراصوت شده در زمان‌های ۵، ۱۰ و ۱۵ دقیقه اختلاف معناداری با یکدیگر و با نمونه متداول وجود دارد. مشاهده می‌شود که با افزایش میزان اسید چرب آزاد در نمونه‌های فراصوت شده در هر دمای معین، زمان پایداری روغن کاهش می‌یابد که می‌توان آن را به خاصیت پرواکسیدان اسیدهای چرب آزاد نسبت داد (۸).

از پایداری اکسایشی کاسته شد به طوری که بالاترین پایداری اکسایشی برای هر دمای معینی مربوط به نمونه‌های زمان ۵ دقیقه هر تیمار، در جایی که در کمترین زمان صمغ‌گیری صورت گرفته بود و کمترین پایداری اکسایشی مربوط به نمونه‌های زمان ۱۵ دقیقه هر تیمار می‌باشد. علت کاهش پایداری اکسایشی همه نمونه‌های صمغ‌گیری شده به روش فراصوت و متداول نسبت به روغن خام به علت خروج فسفولیپیدها و آنتی‌اکسیدان‌های طبیعی مانند توکوفرول‌ها طی صمغ‌گیری است؛ چون فسفولیپیدها خاصیت سینرژیستی دارند و باعث افزایش فعالیت آنتی‌اکسیدانی توکوفرول‌ها می‌شود به این علت خروج آن‌ها از روغن باعث کاهش پایداری اکسیداتیو روغن می‌شود و همچنین علت پایداری اکسیداتیو بالاتر نمونه‌های فراصوت شده نسبت به نمونه متداول به علت کاهش کمتر آنتی‌اکسیدان‌های طبیعی مانند توکوفرول‌ها طی اعمال امواج فراصوت نسبت به روش متداول است. همچنین وجود اسید و آب در فرآیند صمغ‌گیری می‌تواند دلیل دیگری برای اکسیداسیون و کاهش دوره القا پس از فرآیند صمغ‌گیری باشد. بیشترین پایداری اکسایشی برای نمونه‌های فراصوت



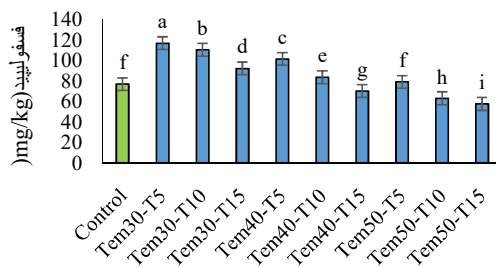
شکل ۷ - پایداری اکسایشی نمونه‌های مختلف پس از صمغ‌گیری با فراصوت.

حروف غیرمشابه نشان‌دهنده تفاوت آماری معنی‌دار است ($p < 0/05$).

۳-۸- فسفولیپید

شکل ۸ نشان دهنده مقادیر فسفولیپید پس از فرآیند صمغ گیری روغن کانولا به دو روش متداول و فراصوت در حضور ۰/۳ وزنی - وزنی آب مقطر می باشد. میزان فسفولیپید روغن خام کانولا ۱۶۴/۵ mg/kg به دست آمد. پس از صمغ گیری به روش متداول در دمای ۸۰°C، به ۷۶/۵mg/kg کاهش یافته است. کاهش میزان فسفولیپید در مرحله صمغ گیری به روش متداول به دلیل نامحلول شدن فسفاتیدهایی که آب جذب کرده اند (هیدراته شده اند) بوده که توسط نیروی گریز از مرکز از روغن خام جدا می شوند (۱۳). با توجه به شکل ۸ در نمونه های صمغ گیری شده با فراصوت، در دمای ۳۰°C و به

ترتیب در زمان های ۵، ۱۰، ۱۵ دقیقه، میزان فسفولیپید کاهش یافته است. بین نمونه های مختلف فراصوت شده در دمای ۳۰°C با یکدیگر و با سایر نمونه های فراصوت شده در دمای ۴۰°C و ۵۰°C و با نمونه متداول اختلاف معنی دار آماری (p<۰/۰۵) وجود دارد. همان طور که ملاحظه می شود در دمای ثابت با افزایش زمان اعمال فراصوت میزان فسفولیپید در نمونه ها کاهش یافته است که در این راستا محمود فشندی و همکاران (۲۰۱۷) (۱۳)، گلال (۲۰۰۸) (۲۰) و گواهیان و همکاران (۱۴۰۱) (۵) مور و جوگات (۲۰۱۸) (۳۴) به نتایج مشابهی دست یافتند.



شکل ۸- مقدار فسفولیپید نمونه های مختلف پس از صمغ گیری با فراصوت.

حروف غیرمشابه نشان دهنده تفاوت آماری معنی دار است (p<۰/۰۵).

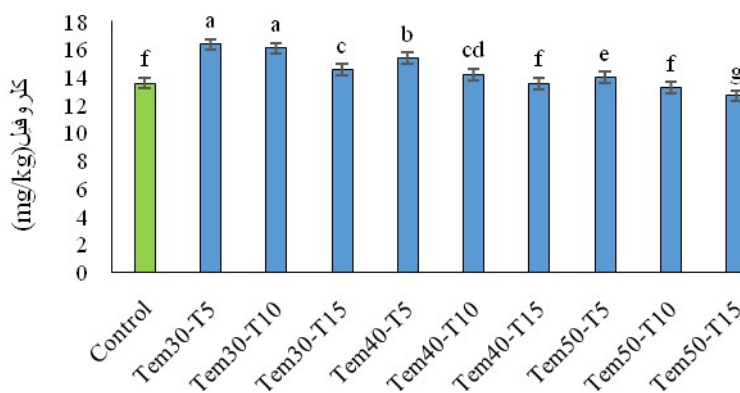
۳-۹- کلروفیل

کلروفیل رنگدانه رنگی اصلی موجود در روغن های گیاهی است. اکسیداسیون این رنگدانه باعث تیره شدن روغن می شود (۳۹). بنابراین یکی از نگرانی های موجود در فرآیند تصفیه روغن، کاهش این ترکیبات رنگی در روغن های خام است (۱۶). با توجه به شکل ۹ و نتایج آنالیز واریانس و نیز مقایسه میانگین میزان کلروفیل تیمارهای مختلف، نشان داد که تأثیر سطوح مختلف پارامترهای دما، زمان و تأثیر متقابل آنها معنی دار (p<۰/۰۵) بودند. کلروفیل روغن خام کانولا ۱۶/۶۶mg/kg است. امیبی و همکاران (۲۰۰۶) (۱۹) میزان کلروفیل را بین ۵۵ تا ۵۵ mg/kg و قازانی و همکاران (۲۰۱۳) (۲۳) میزان کلروفیل را بین ۴ تا ۳۰ mg/kg در روغن خام کانولا تعیین

کردند. میزان کلروفیل روغن بعد از صمغ گیری به طور معنی داری کاهش یافت (p<۰/۰۵). مقدار کلروفیل در نمونه های فراصوت شده در هر یک از دماهای ثابت با افزایش زمان فراصوت کاهش یافت و کلروفیل در دمای ۵۰°C زمان ۱۵ دقیقه بیشترین کاهش را داشت. بالاترین میزان کاهش کلروفیل در دماهای ثابت در تیمارهایی حاصل شده است که در زمان های بالاتر در برابر امواج قرار گرفته اند. به طور کلی افزایش دمای فراصوت برای هر یک از نمونه ها تیمار شده روند افزایشی از میزان کاهش کلروفیل را نشان داد که این امر به دلیل تخریب این مواد در دماهای بالاتر می باشد. به نظر می رسد ممکن است به علت حرارت، تغییر در کلروفیل موجود صورت گرفته و مقدار ایزومرهای آن مثل فتوفتین

۴۰°C میان میزان کلروفیل در تیمارهای مربوط به زمان‌های ۵، ۱۰ و ۱۵ دقیقه اختلاف معناداری ($p < 0.05$) وجود دارد؛ ولی میان تیمار فراصوت شده در دمای ۴۰°C و زمان ۱۵ دقیقه با نمونه متداول اختلاف معنی‌داری وجود ندارد و فقط میان نمونه‌های فراصوت شده در دمای معین ۴۰°C و زمان‌های ۱۰ و ۵ دقیقه یا نمونه متداول اختلاف معنی‌دار است. در مورد نمونه‌هایی که تحت تیمار فراصوت، در دمای ۵۰°C و به ترتیب در زمان‌های ۱۰، ۱۵ و ۱۳ دقیقه صمغ‌گیری شده‌اند میزان کلروفیل در این نمونه‌ها به ترتیب ۱۳/۲، ۱۳/۹، ۱۳/۶ mg/kg می‌باشد. میان نمونه‌های مختلف فراصوت شده در دمای ۵۰°C با یکدیگر اختلاف معنی‌داری وجود دارد ($p < 0.05$). ولی در نمونه فراصوت شده در دمای ۵۰°C و زمان ۱۰ دقیقه با نمونه متداول اختلاف معنی‌داری وجود ندارد فقط میان نمونه‌های فراصوت شده در دمای ۵۰°C و زمان‌های ۱۵ و ۵ دقیقه با نمونه متداول اختلاف معنی‌دار است و نمونه تیمار شده در دمای ۵۰°C در زمان ۱۰ دقیقه با نمونه تیمار شده در دمای ۴۰°C در زمان ۱۵ دقیقه و نمونه متداول اختلاف معنی‌داری وجود ندارد.

افزایش یافته است. حدادی و همکاران (۱۳۹۸) (۲) گزارش کردند که با افزایش زمان و دما در تیمار فراصوت مقدار کلروفیل کاهش یافته است که با نتایج این پژوهش مطابقت دارد. در مورد نمونه‌هایی که با تیمار فراصوت صمغ‌گیری شده‌اند، در دمای معین ۳۰°C و به ترتیب در زمان‌های ۱۰، ۱۵ و ۱۶ دقیقه، درصد کاهش میزان کلروفیل در این نمونه‌ها به ترتیب ۱۶/۳، ۱۶/۱۶، ۱۴/۵ mg/kg می‌باشد. بین نمونه‌های مختلف فراصوت شده در دمای ۳۰°C با نمونه متداول اختلاف معنی‌داری ($p < 0.05$) وجود دارد. ولی بین نمونه فراصوت شده در دمای ۳۰°C و زمان‌های ۵ و ۱۰ دقیقه اختلاف معنی‌دار وجود ندارد؛ اما با زمان ۱۵ دقیقه اختلاف معنی‌دار وجود دارد ($p < 0.05$) ولی بین نمونه دمای ۳۰°C زمان ۱۵ دقیقه با تیمار فراصوت شده در دمای ۴۰°C در زمان ۱۰ دقیقه اختلاف معنی‌داری وجود ندارد ($p > 0.05$) همان‌طور که ملاحظه می‌شود در دمای ثابت با افزایش زمان موج دهی کاهش میزان کلروفیل در نمونه‌ها افزایش یافته است. در تیمارهایی که در دمای معین ۴۰°C به ترتیب در زمان‌های ۱۰، ۱۵ و ۱۶ دقیقه تحت امواج فراصوت بودند، میزان کاهش کلروفیل در این نمونه‌ها به ترتیب ۱۵/۳، ۱۴/۷، ۱۳/۵ mg/kg می‌باشد. در دمای



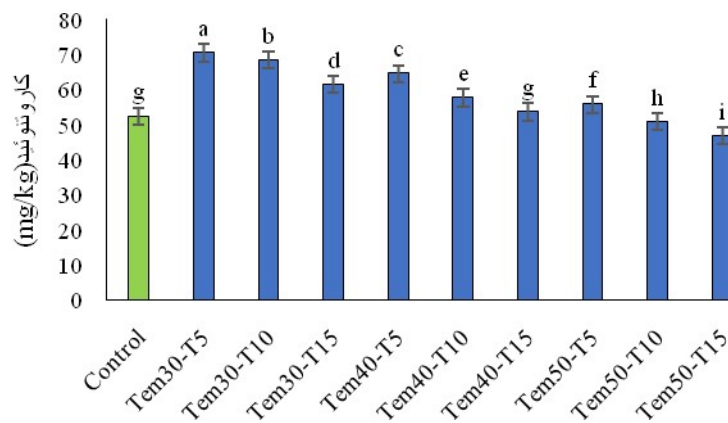
شکل ۹- کلروفیل نمونه‌های مختلف پس از صمغ‌گیری با فراصوت.

*حروف غیرمشابه نشان‌دهنده تفاوت آماری معنی‌دار است ($p < 0.05$).

۳-۱۰- کاروتنوئید

میزان کاروتنوئید روغن خام کانولا $71/27 \text{ mg/kg}$ بود. شکل ۱۰ تغییرات کاروتنوئید را در نمونه های فراصوت و متداول پس از صمغ گیری نشان می دهد. همانگونه که مشهود است کاروتنوئید در روغن، بعد از صمغ گیری با روش متداول به $52/4 \text{ km/mg}$ کاهش یافت. با اساس شکل ۱۰ و نتایج آنالیز واریانس و با مقایسه میانگین مقدار کاروتنوئید در تیمارهای مختلف، مشاهده شد که تأثیر سطوح مختلف پارامترهای دما، زمان و تأثیر متقابل دما و زمان معنی دار بودند. ($p < 0/05$) در مورد نمونه هایی که در دمای معین 30°C و به ترتیب در زمان های ۱۰، ۵ و ۱۵ دقیقه، فراصوت شدند کاهش میزان کاروتنوئید در این نمونه ها به ترتیب $70/5$ ، $68/4$ ، $61/5 \text{ mg/kg}$ می باشد. بین نمونه های مختلف فراصوت شده در دمای 30°C با نمونه متداول و با یکدیگر اختلاف معنی داری ($p < 0/05$) وجود دارد. همان طور که ملاحظه می شود در دمای ثابت با افزایش زمان موج دهی میزان کاروتنوئید در نمونه ها کاهش یافته است. در این مطالعه که بر

روی کاروتنوئید در طی صمغ گیری با روش متداول و امواج فراصوت انجام شد، مشخص گردید که میزان کاروتنوئید در طی صمغ گیری با افزایش دما و زمان فراصوت روند کاهشی را نشان می دهد ($p < 0/05$). این ممکن است به تعداد پیوندهای دوگانه در رنگدانه های روغن که تحت تأثیر امواج فراصوت قرار می گیرند مرتبط باشد. شواهدی وجود دارد که استفاده از فراصوت ممکن است منجر به تخریب و ایزومریزاسیون کاروتنوئیدها شود (۳۰). حدادی و همکاران (۱۳۹۸) (۲) گزارش کردند که با افزایش زمان و دما در تیمار فراصوت مقدار کاروتنوئیدها کاهش یافته و بالاترین میزان کاروتنوئید را در دماهای ثابت در تیمارهایی که در زمان پایین تر در برابر امواج قرار گرفته بودند وجود داشته است که با نتایج به دست آمده این پژوهش مطابقت دارد. کاریل و همکاران (۲۰۱۵) بیان کردند که زمان فراصوت و به دنبال آن شدت فراصوت تأثیر گذارترین عواملی هستند که منجر به تخریب کاروتنوئید می شوند. احتمالاً به دلیل اثرات کوایتاسیون فراصوت سرعت تجزیه کاروتنوئید، در دماهای بالاتر افزایش می یابد (۱۴).



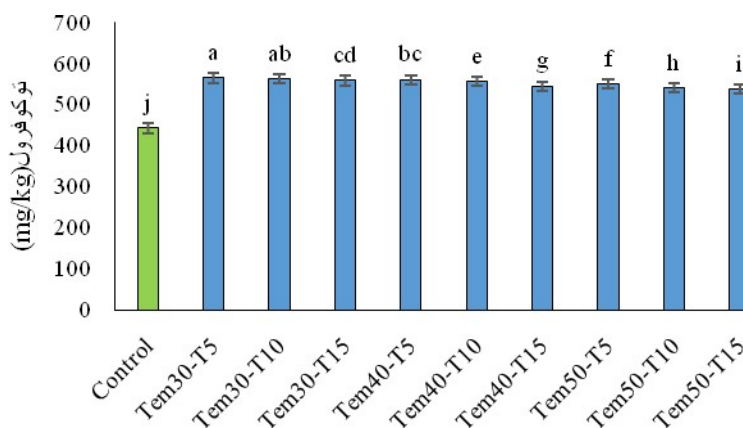
شکل ۱۰- کاروتنوئید نمونه های مختلف پس از صمغ گیری با فراصوت.

*حروف غیرمشابه نشان دهنده تفاوت آماری معنی دار است ($p < 0/05$).

۱۱-۳- توکوفرول

طور معنی داری کاهش یافت ($p < 0/05$) به طور معمول در اثر فرآیند صمغ گیری اسیدی مقدار توکوفرول کل در روغن های گیاهی کاهش می یابد همان طور که در مشاهدات میرزایی غزنی و همکاران (۲۰۱۳) و کرپس و همکاران (۲۰۱۴) مشاهده می شود (۲۲، ۲۹). توکوفرول در نمونه متداول نسبت به نمونه های فراصوت شده کاهش بیشتری را نشان داد و همچنین مقدار توکوفرول در نمونه های فراصوت شده در هر یک از دماهای معین با افزایش زمان فراصوت کاهش یافت. به طور کلی افزایش دمای فراصوت برای هر یک از نمونه ها تیمار شده روند افزایشی از میزان کاهش توکوفرول را نشان داد که این امر به دلیل تخریب این مواد در دماهای بالاتر می باشد. کپیتانی و همکاران (۲۰۱۱) گزارش کردند که میزان توکوفرول روغن با افزایش دما کاهش می یابد (۱۳). نتایج این بخش با نتایج مطالعات عابدی و همکاران (۲۰۱۵) (۶) و گواهیان و همکاران (۱۴۰۱) (۵) مطابقت دارد.

توکوفرول ها گروهی از آنتی اکسیدان های محلول در چربی هستند (۱۴) که نه تنها از اکسیداسیون روغن ها جلوگیری می کنند، بلکه ماندگاری روغن های خوراکی را طولانی تر می کنند (۴۴)، بلکه در درمان و پیشگیری از بیماری هایی مانند سرطان نیز مفید هستند (۱۰). با توجه به شکل ۱۱ و نتایج آنالیز واریانس و نیز مقایسه میانگین مقدار توکوفرول تیمارهای مختلف، مشاهده شد که اثرات اصلی سطوح مختلف پارامترهای دما، زمان و همچنین اثرات متقابل دما و زمان معنی دار ($p < 0/05$) بودند. امیبی و همکاران (۲۰۰۶) (۱۹) و میزان توکوفرول را بین ۴۰۶ تا ۶۵۷ mg/kg در روغن خام کانولا گزارش کردند که با میزان نتایج به دست آمده از پژوهش حاضر (۵۸۴/۹۸ mg/kg) مطابقت دارد. با توجه به مقادیر به دست آمده توکوفرول روغن بعد از صمغ گیری به



شکل ۱۱- توکوفرول نمونه های مختلف پس از صمغ گیری با فراصوت.

*حروف غیرمشابه نشان دهنده تفاوت آماری معنی دار است ($p < 0/05$).

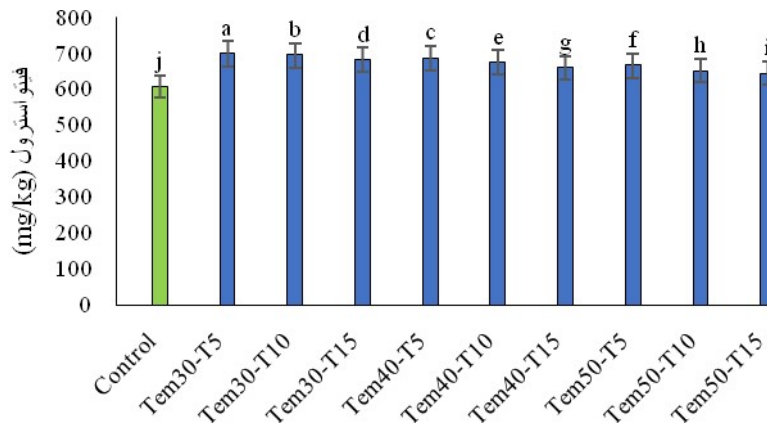
مربوط به تأثیر فراصوت بر میزان استرول تیمارهای مختلف، در شکل ۱۲ نشان داده شده است. مقدار استرول روغن خام کانولا در این پژوهش ۷۰۳/۸ mg/kg به دست آمد. با بررسی نتایج آنالیز واریانس و نیز مقایسه میانگین مربوط به مقدار

۱۲-۳- فیتواسترول ها

فیتواسترول ها استرول های گیاهی طبیعی هستند که در بخش غیر صابونی شونده روغن های گیاهی وجود دارند و متعلق به گروه تری ترپن ها هستند همچنین فراوان ترین ترکیب غیر صابونی شونده می باشد (۴۲). نتایج مقایسه میانگین داده های

شده در دمای ۳۰°C با نمونه متداول و با یکدیگر و همچنین با سایر نمونه های فراصوت شده در دمای ۴۰ و ۵۰ اختلاف معنی داری (p<۰/۰۵) وجود دارد. استرولها اجزای زیست فعال حساس به اکسیداسیون هستند کاهش قابل توجه در محتوای کل استرول را می توان با افزایش نرخ اکسیداسیون استرولها با اثر عملیات حرارتی و تبدیل استرولها به محصولات اکسیداسیون آنها توضیح داد (۳۱). نتایج این بخش با نتایج عابدی و همکاران (۲۰۱۵)(۷) در رنگبری از روغن سویا با اعمال فراصوت تطابق داشت.

استرول نمونه های مختلف مشاهده شد که اثرات اصلی و متقابل سطوح مختلف پارامترهای دما و زمان معنی دار (p<۰/۰۵) بودند. همان گونه که در شکل ۱۲ مشاهده می شود با افزایش دما در نمونه های فراصوت شده پایداری مقدار استرول کاهش یافته است و نمونه متداول که کمترین مقدار استرول را دارد با نمونه های فراصوت شده اختلاف معنی دار داشت (p<۰/۰۵). بیشترین مقدار استرول برای نمونه های فراصوت شده در دمای ۳۰ و زمان ۵ دقیقه به میزان ۶۹۸/۶mg/kg و کمترین مقدار آن برای نمونه فراصوت شده در دمای ۵۰°C و زمان ۱۵ دقیقه ۶۴۴/۳mg/kg مشاهده گردید. بین نمونه های مختلف فراصوت



شکل ۱۲- فیتواسترول نمونه های مختلف پس از صمغ گیری با فراصوت.
*حروف غیرمشابه نشان دهنده تفاوت آماری معنی دار است (p<۰/۰۵).

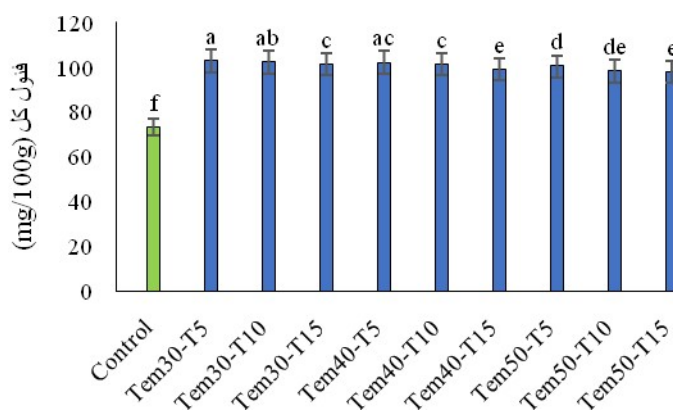
کیفیت غذایی را حفظ می کنند و ماندگاری محصولات را افزایش می دهند (۴۲). با مشاهده شکل ۱۳ نتایج آنالیز واریانس و نیز مقایسه میانگین مقدار فنول تیمارهای مختلف، تأثیر سطوح مختلف پارامترهای دما، زمان و تأثیر متقابل دما و زمان معنی دار (p<۰/۰۵) بودند. نتایج آزمون فولین سیوکالتو نشان داد که میزان ترکیبات فنولی در روغن خام کانولا ۱۰۵/۷ میلی گرم اسید گالیک بر صد گرم نمونه می باشد. همان طور که مشاهده می شود میزان فنول روغن بعد از صمغ گیری

۳-۱۳- ترکیبات فنولی

ترکیبات فنولی به عنوان آنتی اکسیدان های اولیه طبقه بندی می شوند که عمدتاً از بین برنده رادیکال های آزاد هستند که مرحله شروع را به تأخیر می اندازند یا آن را مهار می کنند یا مرحله انتشار اکسیداسیون لیپید را متوقف می کنند (۴۰). ترکیبات فنولی دانه های روغنی در حال حاضر به دلیل خواص متعدد تقویت کننده سلامتی و نیز مصارف صنعتی بسیار مورد توجه قرار گرفته اند. نشان داده شده است که آنتی اکسیدان های طبیعی، تشکیل محصولات اکسیداسیون را به تأخیر می اندازند،

بالاتر در برابر امواج قرار گرفته‌اند. کلودونو و همکاران (۲۰۱۳) کاهش ترکیبات فنولی روغن زیتون بکراستخراج شده تحت فراصوت را مشاهده کردند کاهش فنول‌ها را می‌توان به اکسیژن نسبت داد که اثر آن با افزایش دما در فراصوت افزایش می‌یابد. همچنین به فعالیت آنزیم‌هایی مانند پراکسیداز نسبت داد که هنوز در طول زمان فراصوت در زیتون حفظ می‌شوند با توجه به این ملاحظات، نتایج این پژوهش با نتایج گزارشات آن‌ها مشابه است (۱۸).

به طور معنی‌داری کاهش یافت ($p < 0.05$) در صمغ‌گیری با روش فراصوت روند کاهشی ترکیبات فنولی با شیب کمتری اتفاق افتاده است؛ ولی در صمغ‌گیری با روش متداول مقدار قابل توجهی از ترکیبات فنولی از بین رفته‌اند. کالوگرو پلاس و همکاران (۲۰۰۷) بیان کردند که در اثر حرارت ترکیبات فنولی اکسید می‌شوند و از بین می‌روند (۲۸). میزان فنول صمغ‌گیری با فراصوت در دمای 50°C و زمان ۱۵ دقیقه بیشترین کاهش را داشت. بالاترین میزان کاهش فنول در دماهای ثابت در نمونه‌هایی حاصل شده است که در زمان‌های



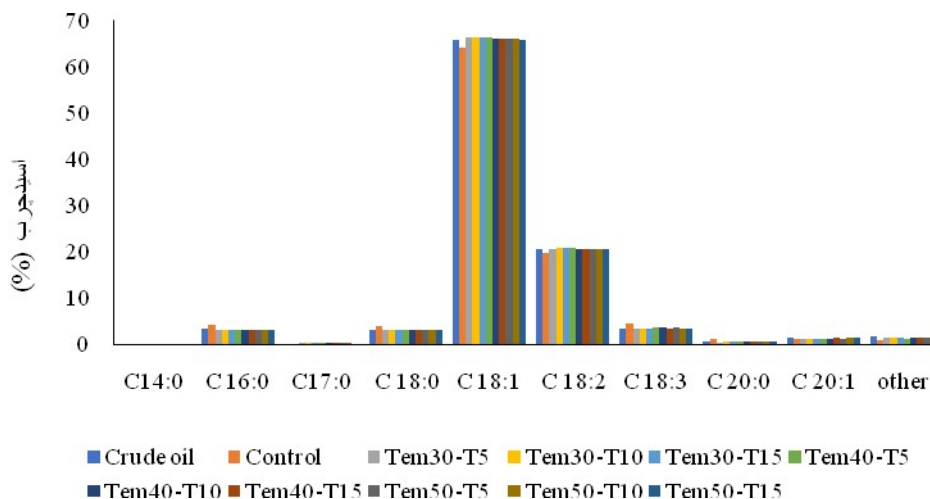
شکل ۱۳- ترکیبات فنولی نمونه‌های مختلف پس از صمغ‌گیری با فراصوت.

*حروف غیرمشابه نشان‌دهنده تفاوت آماری معنی‌دار است ($p < 0.05$).

ترکیب اسیدهای چرب روغن به سختی تحت تأثیر امواج فراصوت قرار می‌گیرد. کاهش یا افزایش جزئی در ترکیب اسیدهای چرب ممکن است ناشی از پارامترهای فیزیکی اعمال شده در مرحله صمغ‌گیری باشد. از این رو، اگر شرایط فراصوت تحت کنترل باشد، می‌توان مطمئن بود که امواج فراصوت هیچ اثر مخربی بر ترکیب اسیدهای چرب نخواهد داشت. پژوهش‌های محمود فشندی و همکاران (۲۰۱۳) (۳۳)، اسماعیل‌زاده کناری و مشتاق (۱۴۰۰) (۱) و همچنین چمات و همکاران (۲۰۰۴) که تأثیر امواج فراصوت را بر روی ساختار و ترکیب اسیدهای چرب در روغن‌های گیاهی مختلف بررسی کرده‌اند در تطابق با این نتیجه است (۱۵).

۳-۱۴- آنالیز اسید چرب

نتایج آنالیز واریانس و نیز مقایسه میانگین تیمارهای مختلف نشان داد، تأثیر سطوح مختلف پارامترهای دما، زمان و تأثیر متقابل دما و زمان معنی‌دار ($p < 0.05$) بودند. تغییرات ترکیب اسید چرب روغن صمغ‌گیری شده به دو روش متداول و فراصوت در دما و زمان‌های متفاوت فرآیند در شکل ۱۴ نشان داده شده است. در این مطالعه ۹ اسید چرب شناسایی شدند در بین اسیدهای چرب؛ اسیدهای اولئیک، لینولئیک و لینولنیک به ترتیب بیشترین مقدار را به خود اختصاص می‌دهند. همان‌طور که مشاهده می‌شود فراصوت هیچ تغییر محسوسی در ترکیب و ساختار اسیدهای چرب روغن ایجاد نمی‌کند ($p < 0.05$). این بدین معنی است که



شکل ۱۴- تغییرات ترکیب اسیدهای چرب روغن کانولا صمغ گیری شده به روش متداول و حمام فراصوت

۴- نتیجه گیری

کاهش ترکیبات زیست فعال و کیفیت تغذیه ای روغن یکی از اشکالات اصلی فرآیند سنتی تصفیه است، زیرا بر پایداری روغن ها و محصولات غذایی حاوی روغن تأثیر منفی می گذارد. در پژوهش صمغ گیری با کمک فراصوت به عنوان جایگزین بالقوه ای برای روش های متداول صمغ گیری معرفی گردید. نتایج نشان داد با استفاده از صمغ گیری فراصوت می توان با اعمال دمای کمتر و زمان کمتر صمغ گیری را انجام داد که در نهایت میزان حفظ ترکیبات زیست فعال در روغن کانولا بیشتر است. حذف فسفولیپیدها مهم ترین هدف فرآیند صمغ گیری روغن است. فراصوت میزان فسفولیپیدها را نسبت به روش متداول در زمان و دمای کمتری و به مقدار بیشتری از روغن حذف می کند. در مطالعه حاضر نمونه تیمار شده با فراصوت تحت شرایط دمایی 40°C در زمان ۱۰ دقیقه به عنوان دمای بهینه برای صمغ گیری با امواج فراصوت انتخاب شد چرا که در این شرایط نسبت به سایر دماها و زمان های استفاده شده، نتایج بهتری از حفظ میزان ترکیبات زیست فعال، حذف فسفولیپید، پایداری اکسایشی و سایر فاکتورهای کیفی روغن روغن به دست آمد.

۵- منابع

۱. اسماعیل زاده کناری ر، مشتاق ن. تأثیر امواج فراصوت بر خواص شیمیایی روغن کلزا در طی تصفیه. *مجله تحقیقات مهندسی صنایع غذایی*. ۱۴۰۰؛ ۲۰(۷۰): ۳۸-۱۹.
۲. حدادی م، قراچورلو م، غیائی طرزی ب. ۱۳۹۸. مقایسه اثر پیش تیمار فراصوت و مایکروویو در استخراج روغن سویا. *مجله علوم غذایی و تغذیه*. ۱۳۹۸؛ ۱۶: ۴۴-۳۷.
۳. حسینی ح، قربانی م، صادقی ماهونک ع، جعفری م. ارزیابی ویژگی های روغن به دست آمده از محصولات جانبی ماهی های پیش تیمار شده در شرایط مختلف. *مجله علوم و صنایع غذایی ایران*، ۱۳۹۶؛ ۱۴(۶۵): ۲۳۷-۲۲۷.
۴. فرحوش ر، پژوهان مهر س، پورآذرنگ ه. مشخصات فیزیکوشیمیایی روغن ارقام رایج کانولا در ایران. *مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی*. ۱۳۸۸؛ ۱۶: ۱۹۲-۱۸۲.
۵. گواهیان و، اسماعیل زاده کناری ر، رفتنی امیری ز. تأثیر شرایط استخراج با کمک فراصوت بر فرآیند

- Veyrat C. Effects of high power ultrasound on all-E- β -carotene, newly formed compounds analysis by ultra-high-performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry. *Ultrasonics Sonochemistry*. 2015; 26:200
15. Chemat F, Grondin I, Costes P, Moutoussamy L, Sing A.S.C, Smadja J. High power ultrasound effects on lipid oxidation of refined sunflower oil. *Ultrasonics Sonochemistry*. 2004; 11(5):281-5.
 16. Chew S. C, Ali M. A. Recent advances in ultrasound technology applications of vegetable oil refining. *Trends in Food Science and Technology*. 2021;116:468-79.
 17. Chew S.C, Tan C. P, Long K, Nyam K. L. Effect of chemical refining on the quality of kenaf (*Hibiscus cannabinus*) seed oil. *Industrial Crops and Products*. 2016; 89:59-65.
 18. Clodoveo M. L, Durante V, La N. D, Punzi R, Gambacorta G. Ultrasound-assisted extraction of virgin olive oil to improve the process efficiency. *European Journal of Lipid Science and Technology*. 2013; 115(9):1062-9.
 19. Embaby H, Habiba R, Shattab A, ElHamamy M, Morita N, Ibrahim S. Chemical composition and stability of canola oils from Japan and Egypt. *Agricultural Research Journal*. 2006; 6:13-9.
 20. Galal S M. Ultrasonic degumming of soybean oil. *Journal of Food and Dairy Sciences*. 2008; 33(5):3535-43.
 21. Gallo M, Ferrara L, Naviglio D. Application of ultrasound in food science and technology: A perspective. *Foods*. 2018; 7(10):164.
 22. Ghazani S. M, García-Llatas G, Marangoni, A. G. Minor constituents in canola oil processed by traditional and minimal refining methods. *Journal of the American Oil Chemists' Society*. 2013; 90(5):743-56.
 23. Ghazani S. M, Marangoni A. G. Minor components in canola oil and effects of refining on these constituents: A review. *صمغ گیری و بررسی پارامترهای کیفی روغن سویا. مجله علوم تغذیه و صنایع غذایی ایران. ۱۴۰۱؛ ۲۴(۱۹): ۲۴۰-۲۳۱.*
 6. Abedi E, Sahari M. A, Barzegar M, Azizi M. H. Optimisation of soya bean oil bleaching by ultrasonic processing and investigate the physico-chemical properties of bleached soya bean oil. *International Journal of Food Science & Technology*. 2015; 50(4):857-63.
 7. Abu EH, Mahmoud, A A.T. Effect of refining process on the quality characteristics of soybean and cotton seed oils. *International Journal of Current Microbiology Applied Science*. 2017; 6(1):207-22.
 8. Achat S, Hamiroune A, Aiche A, Smail-Benazzouz L, Madani K, Vian M. A. Ultrasound to obtain aromatized vegetable oils. Design and Optimization of Innovative Food Processing Techniques Assisted by Ultrasound. *Developing Healthier and Sustainable Food Products*. 2021; 169-88.
 9. Alouache B, Khechena F, Lecheb F, Boutkedjirt T. Characterization of olive oil by ultrasonic and physico-chemical methods. *Physics Procedia*. 2015; 70:1061-5.
 10. Aluyor E.O, Ori-Jesu M. The use of antioxidants in vegetable oils-A review. *African Journal of Biotechnology*. 2008;7(25).
 11. AOCS. 2009. Official methods and recommended practices of the AMOS: AMOS press Champaign.
 12. Capannesi C, Palchetti I, Mascini M, Parenti A. Electrochemical sensor and biosensor for polyphenols detection in olive oils. *Food Chemistry*. 2000; 71(4):553-62.
 13. Capitani M, Mateo C, Nolasco S. Effect of temperature and storage time of wheat germ on the oil tocopherol concentration. *Brazilian Journal of Chemical Engineering*. 2011;28:243-50.
 14. Carail M, Fabiano-Tixier A.S, Meullemiestre A, Chemat F, Caris-

- and margarines upon controlled heating. *Chemistry and physics of lipids*. 2017; 207:99-107.
32. Loganes C, Ballali S, Minto C. Main properties of canola oil components: A descriptive review of current knowledge. *The Open Agriculture Journal*. 2016; 10(1).
33. Mahmood-Fashandi H, Ghavami M, Gharachorloo M, Abbasi R, Mousavi Khaneghah A. Using of ultrasonic in degumming of soybean and sunflower seed oils: comparison with the conventional degumming. *Journal of food Processing and Preservation*. 2017; 41(1):e12799.
34. More N. S, Gogate P. R. Intensified degumming of crude soybean oil using cavitation reactors. *Journal of Food Engineering*. 2018; 18:33-43.
35. Moulton K, Mounts T. Continuous ultrasonic degumming of crude soybean oil. *Journal of the American Oil Chemists Society*. 1990; 67(1):33-8.
36. Nekouei N, Rezaei K. Optimization of the Degumming Process for Aqueous-Extracted Wild Almond Oil. *Journal of the American Oil Chemists' Society*. 2020; 97(7):765-78.
37. Nkengurutse J, Mansouri F, Bekkouch O, Moumen A. B, Masharabu T, Gahungu G. Chemical composition and oral toxicity assessment of *Anisophyllea boehmii* kernel oil: Potential source of new edible oil with high tocopherol content. *Food Chemistry*. 2019; 278:795-804.
38. Özcan M. M, Duman E, Duman S. Influence of refining stages on the physicochemical properties and phytochemicals of canola oil. *Journal of Food Processing and Preservation*. 2021; 45(2):e15164.
39. Pereira E, Ferreira M.C, Sampaio K.A, Grimaldi R, de Almeida Meirelles A.J, Maximo G.J. Physical properties of Amazonian fats and oils and their blends. *Food Chemistry*. 2019; 278:208-15.
40. Razavi R, Kenari R. E. Antioxidant evaluation of *Fumaria parviflora* L. extract loaded nanocapsules obtained by *Journal of the American Oil Chemists' Society*. 2013; 90(7):923-32.
24. Halim H, Thoo Y. Effect of ultrasound treatment on oxidative stability of sunflower oil and palm oil. *International Food Research Journal*. 2018; 25(5).
25. Hosseini S, Gharachorloo M, Tarzi B.G, Ghavami M, Bakhoda H. Effects of ultrasound amplitude on the physicochemical properties of some edible oils. *Journal of the American Oil Chemists' Society*. 2015; 92(11-12):1717-24.
26. Jahouach-Rabai W, Trabelsi M, Van Hoed V, Adams A, Verhé R, De Kimpe N. Influence of bleaching by ultrasound on fatty acids and minor compounds of olive oil. Qualitative and quantitative analysis of volatile compounds (by SPME coupled to GC/MS). *Ultrasonics Sonochemistry*. 2008; 15(4):590-7.
27. Jiang X, Chang M, Wang X, Jin Q, Wang X. The effect of ultrasound on enzymatic degumming process of rapeseed oil by the use of phospholipase A1. *Ultrasonics Sonochemistry*. 2014; 21(1):142-8.
28. Kalogeropoulos N, Chiou A, Mylona A, Ioannou M.S, Andrikopoulos N.K. Recovery and distribution of natural antioxidants (α -tocopherol, polyphenols and terpenic acids) after pan-frying of Mediterranean finfish in virgin olive oil. *Food Chemistry*. 2007; 100(2):509-17.
29. Kreps F, Vrbíková L, Schmidt Š. Influence of industrial physical refining on tocopherol, chlorophyll and beta-carotene content in sunflower and rapeseed oil. *European Journal of Lipid Science and Technology*. 2014; 116(11):1572-82.
30. Lara-Abia S, Welti-Chanes J, Cano M. P. Effect of ultrasound-assisted extraction of carotenoids from papaya (*Carica papaya* L. cv. Sweet Mary) using vegetable oils. *Molecules*. 2022; 27(3):638.
31. Lin Y, Knol D, Valk I, van Andel V, Friedrichs S, Lütjohann D. Thermal stability of plant sterols and formation of their oxidation products in vegetable oils

- the natural bioactive components. *Journal of Oleo Science*. 2016; ess16125.
44. Wu Y, Zhou R, Wang Z, Wang B, Yang Y, Ju X. The effect of refining process on the physicochemical properties and micronutrients of rapeseed oils. *PloS one*. 2019; 14(3):e0212879.
 45. Yang Y, Song X, Sui X, Qi B, Wang Z, Li Y. Rosemary extract can be used as a synthetic antioxidant to improve vegetable oil oxidative stability. *Industrial Crops and Products*. 2016; 80:141-7.
 46. Zhang Y, Zhai X, Gao L, Jin J, Zhong Q, Sun C. Quality of wood-pressed rapeseed oil. *Journal of the American Oil Chemists' Society*. 2017; 94(6):767-77.
 - green extraction methods in oxidative stability of sunflower oil. *Journal of Food Measurement and Characterization*. 2021;1-10.
 41. Seçilmiş Ş.S, Yanık D. K, Fadioloğlu S, Göğüş F. A comparative study on performance of industrial and microwave techniques for sunflower oil bleaching process. *Food Chemistry*. 2021; 365:130488.
 42. Shahidi F, Ambigaipalan P. Phenolics and polyphenolics in foods, beverages and spices: Antioxidant activity and health effects—A review. *Journal of Functional Foods*. 2015;18:820-97.
 43. Sherazi S.T.H, Mahesar, S. A. Vegetable oil deodorizer distillate: a rich source of