

## بررسی تأثیر صمغ‌گیری با حمام فراصوت بر ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی و پروفایل اسید چرب روغن کانولا

کبری مرادعلی نیا<sup>۱</sup>، رضا اسماعیل‌زاده کناری<sup>۲\*</sup>، راضیه رضوی<sup>۳</sup>

<sup>۱</sup> دانشجوی کارشناسی ارشد گروه علوم و مهندسی صنایع غذایی، دانشکده مهندسی زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی

ساری، ساری، ایران

<sup>۲\*</sup> استاد گروه علوم و مهندسی صنایع غذایی، دانشکده مهندسی زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ایران

<sup>۳</sup> محقق پسادکتری گروه علوم و مهندسی صنایع غذایی، دانشکده مهندسی زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری،

ساری، ایران

### چکیده

روغن خام کانولا حاوی فسفولیپیدها و ترکیبات نامطلوب است که روغن را ناپایدار می‌سازند و بایستی در فرآیند صمغ‌گیری حذف شوند. صمغ‌گیری به روش متداول در دمای ۸۰ °C و به مدت ۳۰ دقیقه انجام شد درحالی‌که صمغ‌گیری به کمک حمام فراصوت در سه سطح دمایی ۳۰، ۴۰ و ۵۰ و سه زمان ۵، ۱۰ و ۱۵ دقیقه انجام شد. آزمون‌های اندازه‌گیری اندیس پراکسید، اسیدی، یدی، صابونی، آنزیدین، اسیدهای چرب آزاد، پایداری اکسایشی، محتوای فسفولیپید، کلروفیل، کاروتنوئید، توکوفرول، فیتواسترول، ترکیبات فنولی و پروفایل اسیدهای چرب بر روی نمونه‌های صمغ‌گیری شده با هر دو روش انجام و نتایج باهم مقایسه شد. نتایج نشان داد صمغ‌گیری با فراصوت اندیس اسیدی (۱/۲۳-۰/۶٪)، اسیدهای چرب آزاد (۰/۹-۰/۶۲٪)، اندیس پراکسید (۲/۱-۴/۲ meq/kg)، یدی (۱۲۰/۲-۱۰۰/۵ gI<sub>2</sub>/100g)، صابونی (۱۹۰/۵-۱۶۴/۵ mg KOH/g)، آنزیدین (۲/۷-۱/۵)، پایداری اکسایشی (۴/۶-۵/۵ ساعت)، محتوای فسفولیپید (۱۱۶/۴-۵۷/۳ mg/kg)، کلروفیل (۱۶/۳-۱۲/۶ mg/kg)، کاروتنوئید (۷۰/۵-۴۶/۸ mg/kg)، توکوفرول (۵۶۴/۶-۵۳۸/۲ mg/kg)، فیتواسترول (۶۹۸/۶-۶۴۴/۳ mg/kg) و ترکیبات فنولی (۹۷/۸-۱۰۲/۶ mg/100g) را کاهش داد. علاوه بر این فراصوت هیچ تغییر معنی‌دار آماری ( $p < 0.05$ ) در ترکیب و ساختار اسیدهای چرب روغن ایجاد نکرد. نتایج مطالعه حاضر استفاده از

حمام فراصوت در شرایط دمایی  $40^{\circ}\text{C}$  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.

کلمات کلیدی: صمغ گیری، حمام فراصوت، ترکیبات زیست فعال، روغن کانولا

ایمیل نویسنده مسئول: [reza\\_kenari@yahoo.com](mailto:reza_kenari@yahoo.com)

## 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. روش 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 غیرقابل 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.

باتوجه 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 آنجاییکه 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 باهدف 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  $80^{\circ}\text{C}$  پیش گرم شد و سپس اسید فسفریک ۸۵ درصد وزنی/وزنی به میزان ۰/۱۵ درصد (وزنی/وزنی) به روغن اضافه شد. سپس روغن به شدت و با سرعت ۳۰۰ دور بر دقیقه به مدت ۱۰ 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. دما در محدوده  $80^{\circ}\text{C}$  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  $360^{\circ}\text{C}$  جی سانتیفیوژ شد. روغن صمغ گیری شده جدا و سپس در آون خشک شد (۳۶).

#### ۲-۲-۲- صمغ گیری با کمک حمام فراصوت

ابتدا شرایط موردنیاز در حمام فراصوت (Elmasonic S 30 H, Germany)، فرکانس ۲۷۰ وات و ۳۷ کیلوهرتز ایجاد شد و نمونه‌های روغن تا دمای لازم در حمام فراصوت یعنی ۳۰°C، ۴۰°C و ۵۰°C پیش گرم شدند. سپس به میزان ۰/۱۵ درصد (وزنی/وزنی) اسید فسفریک ۸۵ درصد به نمونه‌های روغن اضافه شد و تیمار فراصوت به مدت ۵، ۱۰ و ۱۵ دقیقه برای هر کدام از نمونه‌ها اعمال شد. پس از آن آب مقطر به میزان ۳ درصد وزنی/وزنی به آن‌ها اضافه شد و به مدت ۵ دقیقه با سرعت ۱۰۰۰ دور بر دقیقه بر روی همزن مغناطیسی به هم زده شد. سپس مجدداً نمونه‌ها به مدت ۳۰ دقیقه تحت تیمار فراصوت قرار گرفتند. مخلوط حاصله سپس به مدت ۳۰ دقیقه در ۳۶۰۰ جی سانتریفیوژ شد. روغن‌های صمغ‌گیری شده جدا و توسط آون خشک شدند (۳۳). کدگذاری نمونه‌های روغن در جدول ۱ ارائه شده است.

جدول ۱- کدگذاری نمونه‌های روغن کانولا صمغ‌گیری شده به روش متداول و حمام فراصوت

ردیف	نمونه	کد نمونه	دما (°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

### ۳-۲-۲- آزمون‌های روغن خام

اندیس پراکسید، اندیس اسیدی، اندیس یدی، اسید چرب آزاد، اندیس آنیزیدین، اندیس صابونی و محتوای فسفولید نمونه‌های روغن مطابق با استاندارد AOCS (۲۰۰۹) به ترتیب با شماره Cd 3-25، Cd 18-90، Cd 3d-63، Cd 1d-25، Cd 3d-63، Cd 1d-25 و Ca مطابق با استاندارد 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  $120^{\circ}\text{C}$  اندازه گیری شد (۴).

#### ۲-۲-۵- 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).

#### ۲-۲-۶- تعیین مقدار فیتواسترولها

۲۰۰ میلی گرم روغن با ۴ میلی لیتر محلول اتانولی هیدروکسید پتاسیم ( $2\text{ mol/L}$ ) مخلوط شد و در حمام آب در دمای  $90^{\circ}\text{C}$  صابونی شد. سپس ۵ میلی لیتر هگزان و ۱ میلی لیتر آب مقطر به آن 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  $99^{\circ}\text{C}$  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).

#### ۲-۲-۷- 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 دور بر دقیقه سانتریفیوژ از روغن خارج شدند. سپس نمونه ها 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 (Alpha-1502,100W)، در طول موج ۷۶۵ نانومتر خوانده شد (۱۲).

۲-۲-۸- تعیین مقدار کلروفیل

مقدار کلروفیل با استفاده از طیف‌سنج UV-VIS تعیین شد. ابتدا ۷/۵ گرم روغن در سیکلوهگزان حل و سپس به حجم نهایی ۲۵ میلی لیتر رسانده شد. سپس غلظت کلروفیل نمونه‌های روغن در طول موج ۶۷۰ نانومتر اندازه‌گیری 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 سانتی‌متر).

۲-۲-۹- تعیین مقدار کاروتنوئید

مقدار کاروتنوئید با استفاده از طیف‌سنج UV-VIS (Alpha-1502,100W)، تعیین شد. ابتدا ۷/۵ گرم روغن در سیکلوهگزان حل و سپس به حجم نهایی ۲۵ میلی لیتر رسانده شد. سپس غلظت کلروفیل نمونه‌های روغن در طول موج ۴۷۰ نانومتر اندازه‌گیری 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 سانتی‌متر).

۲-۲-۱۰- آنالیز ترکیب اسیدهای چرب

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

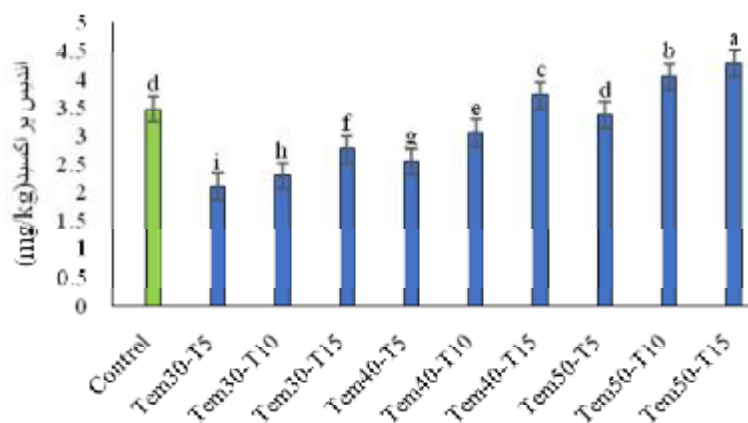
۲-۳- تجزیه و تحلیل آماری

میانگین نتایج حاصله از آزمایشات مختلف در سه تکرار در قالب طرح فاکتوریل با استفاده از نرم‌افزار 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 نرم‌افزار 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  $meq/kg$  ۵/۰۵ 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  $meq/kg$  ۰/۵ تا ۳ گزارش کرده بودند (۲۲). دلیل تفاوت در مقدار بدست آمده می‌تواند مرتبط با شرایط استخراج روغن خام کانولا باشد. شکل ۱ مقادیر اندیس پراکسید نمونه‌های روغن صمغ‌گیری شده با فراصوت و روش متداول نشان می‌دهد. اثرات اصلی و متقابل دما و زمان معنی‌دار ( $p < 0.05$ ) بودند. اندیس پراکسید نمونه‌های صمغ‌گیری شده نسبت به نمونه روغن خام کاهش یافته است. در همه نمونه‌های فراصوت شده به جز دو نمونه در دمای  $50^{\circ}C$  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  $50^{\circ}C$  زمان ۵ دقیقه با نمونه متداول اختلاف معنی‌داری داشتند ( $p < 0.05$ ).

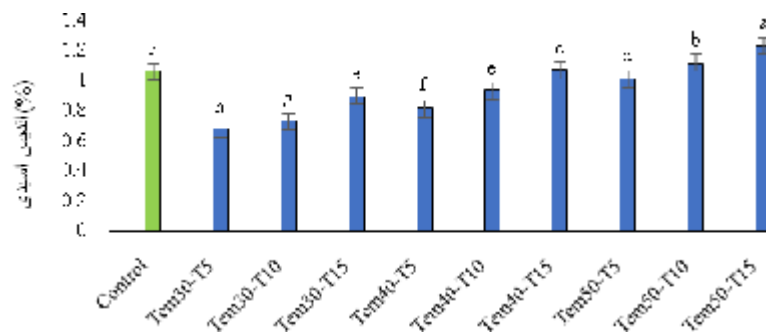


شکل ۱- اندیس پراکسید نمونه‌های مختلف پس از صمغ‌گیری با فراصوت.

حروف غیر مشابه نشان‌دهنده تفاوت آماری معنی‌دار است ( $p < 0.05$ )

شاخص اسیدیته اندازه‌گیری 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. ایمیبی 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، معنی‌دار ( $p < 0/05$ ) بودند. در شکل ۲ همه تیمارها به جز نمونه فراصوت شده در دمای  $40^{\circ}\text{C}$  در زمان ۱۵ دقیقه با نمونه متداول اختلاف معنی‌دار دارند ( $p < 0/05$ ). اندیس اسیدی در همه‌ی نمونه‌های فراصوت شده به جز نمونه‌های فراصوت شده در دمای  $50^{\circ}\text{C}$  در زمان‌های ۱۰ و ۱۵ دقیقه نسبت به نمونه روغن خام کاهش یافت.

افزایش اندیس اسیدی در دمای  $50^{\circ}\text{C}$  در زمان‌های ۱۰ و ۱۵ دقیقه نسبت به نمونه روغن خام می‌تواند به دلیل شکستن اتصالات استری ناشی از حرارت‌دهی در دمای بالاتر با زمان طولانی‌تر نسبت به سایر نمونه‌ها باشد (۲). این نتایج با نتایج اسماعیل‌زاده کناری و مشتاق (۱۴۰۰) (۱) آلوج و همکاران (۲۰۱۵) (۹)، گواهیان و همکاران (۱۴۰۱) (۵) و مور و همکاران (۲۰۱۷) (۳۴) مشابه می‌باشد.



شکل ۲- اندیس اسیدی نمونه‌های مختلف پس از صمغ‌گیری با فراصوت.

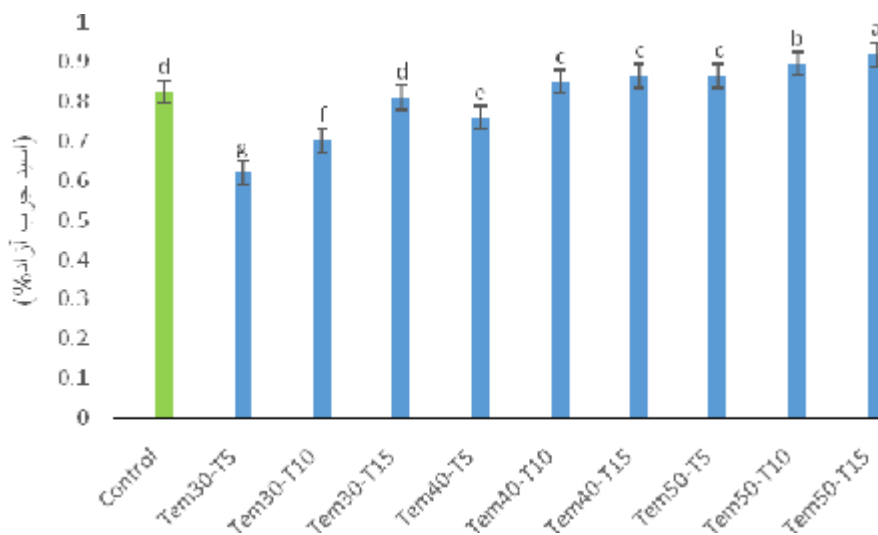
حروف غیرمشابه نشان‌دهنده تفاوت آماری معنی‌دار است ( $p < 0/05$ )

### ۳-۳- اسید چرب آزاد

اندازه‌گیری اسیدهای چرب آزاد یک عامل تعیین‌کننده مهم در کیفیت روغن است به‌ویژه برای اهداف صنعتی مهم است. زیرا اسیدهای چرب آزاد می‌توانند خواص ارگانولپتیک یا فیزیکوشیمیایی روغن را تغییر دهند. اسید چرب آزاد می‌تواند به عنوان پرواکسیدان در روغن‌های 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 نمونه‌های روغن خام کانولا را بین ۰/۳ تا ۱/۲٪ گزارش کردند



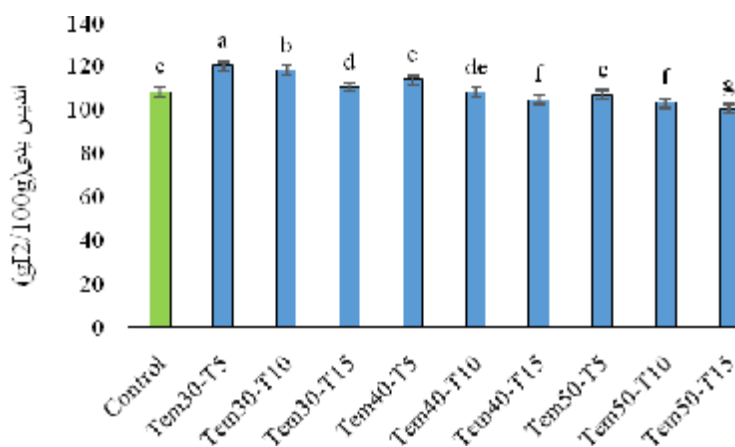
مطابقت دارد. در مورد اسیدهای چرب آزاد، تفاوت معنی داری ( $p < 0.05$ ) بین تمام نمونه‌های مختلف فراصوت شده در دماهای  $30^{\circ}\text{C}$ ،  $40^{\circ}\text{C}$  و  $50^{\circ}\text{C}$  به جز نمونه فراصوت شده در دمای  $30^{\circ}\text{C}$  در زمان ۱۵ دقیقه با نمونه متداول وجود دارد ( $p < 0.05$ ). همان‌طور در شکل ۳ مشاهده می‌شود نمونه‌های مختلف تیمار شده با فراصوت در دمای  $30^{\circ}\text{C}$  با یکدیگر اختلاف معناداری دارند. این اختلاف معنی دار بین نمونه‌های فراصوت شده در دمای  $50^{\circ}\text{C}$  نیز مشاهده می‌شود. میزان اسیدهای چرب آزاد غیر از دمای  $50^{\circ}\text{C}$  در زمان‌های ۱۰ و ۱۵ دقیقه در سایر نمونه‌ها 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 می‌توان هیدرولیز جزئی تری گلیسیریدها 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 می‌شود که می‌تواند منجر به افزایش اسید چرب آزاد در دو نمونه فراصوت شده در دمای  $50^{\circ}\text{C}$  در زمان‌های ۱۵ و ۱۰ دقیقه نسبت به نمونه متداول شود، اما در صورت استفاده از زمان پائین تر این اتفاق خیلی سریع رخ می‌دهد و تغییر زیادی در اسیدهای چرب آزاد رخ نمی‌دهد.



شکل ۳- اسیدهای چرب آزاد نمونه‌های مختلف پس از صمغ‌گیری با فراصوت.

حروف غیر مشابه نشان‌دهنده تفاوت آماری معنی دار است ( $p < 0.05$ )

اندیس یدی معیاری از تعداد پیوندهای غیراشباع در اسیدهای چرب است. به طور کلی این شاخص برای روغن و چربی‌های با منشأ حیوانی تا حدود زیادی کمتر از روغن‌های با منشأ 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  $85$  تا  $106$  گزارش کردند (۱۹). با بررسی نتایج تجزیه واریانس و نیز مقایسه میانگین مقادیر اندیس یدی تیمارهای مختلف، مشاهده شد که اثرات اصلی و متقابل دما و زمان معنی‌دار ( $p < 0/05$ ) بودند. همانطور که در شکل ۴ مشاهده می‌شود، میزان اندیس یدی در نمونه‌های فراصوت شده در دمای  $30^\circ\text{C}$  در زمان‌های ۵ و ۱۰ و ۱۵ دقیقه و دمای  $40^\circ\text{C}$  در زمان ۵ دقیقه افزایش یافته است که نشان‌دهنده تأثیر مثبت افزایش جزئی دما و زمان حرارت‌دهی در افزایش عدد یدی روغن است؛ ولی با افزایش بیشتر دما و زمان فراصوت غیر اشباعیت کاهش می‌یابد. می‌توان این امواج را در دمای پائین که اثر مخرب بر روی اسیدهای چرب حساس به حرارت ندارد استفاده نمود (۳).



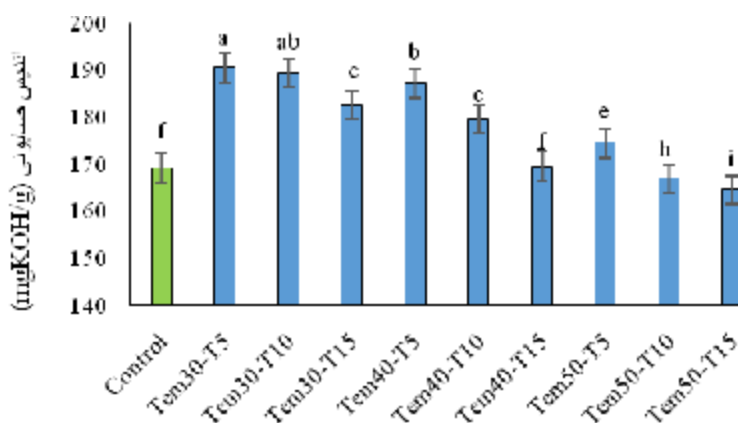
شکل ۴- اندیس یدی نمونه‌های مختلف پس از صمغ‌گیری با فراصوت.

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

### ۳-۵- اندیس صابونی

صابونی شدن میانگین وزن مولکولی اسیدهای چرب در لیپیدها را توصیف می‌کند (۳۹). اندیس صابونی روغن خام کانولا  $187/23$  گزارش شدند میانگین وزن مولکولی اسیدهای چرب در لیپیدها را توصیف می‌کند (۳۹). اندیس صابونی برای روغن خام کانولا را بین  $178$  تا  $187 \text{ mg KOH/g}$  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 فرآیند صمغ‌گیری در همه نمونه‌های فراصوت شده دمای  $40^{\circ}\text{C}$  و  $50^{\circ}\text{C}$  و دمای  $30^{\circ}\text{C}$  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  $30^{\circ}\text{C}$  و زمان ۵ دقیقه به میزان  $190/5\text{mg KOH/g}$  و کمترین مقدار نمونه فراصوت شده در دمای  $50^{\circ}\text{C}$  و زمان ۱۵ دقیقه  $164/5\text{mg KOH/g}$  مشاهده گردید. بین نمونه‌های مختلف فراصوت شده در دمای  $30^{\circ}\text{C}$  با نمونه متداول اختلاف معنی‌داری ( $p < 0/05$ ) وجود دارد.



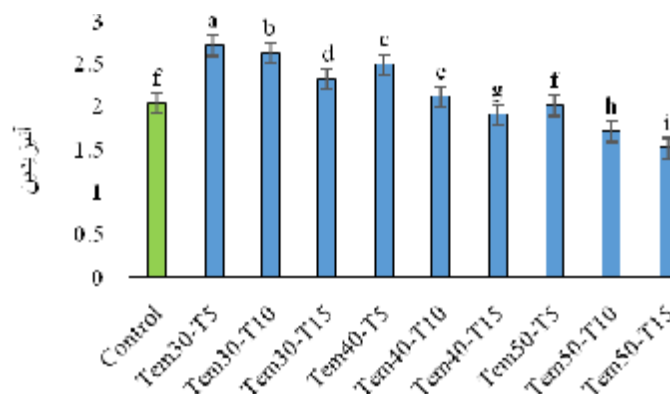
شکل ۵- اندیس صابونی نمونه‌های مختلف پس از صمغ‌گیری با فراصوت.

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

### 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 بدست 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 صمغ‌گیری به روش متداول در دمای  $80^{\circ}\text{C}$  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  $30^{\circ}\text{C}$  و به ترتیب در زمان‌های ۱۰، ۵ و ۱۵ دقیقه، میزان آنیزیدین در این نمونه‌ها به ترتیب ۲/۷، ۲/۶، 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<۰/۰۵) وجود دارد. همان‌طور که ملاحظه می‌شود در دمای ثابت با افزایش زمان موج دهی کاهش میزان آنیزیدین در نمونه‌ها افزایش داشته است. در تیمارهایی که در دمای ۴۰°C به ترتیب در زمان‌های ۵، ۱۰ و ۱۵ دقیقه تحت امواج فراصوت بودند، میزان کاهش آنیزیدین در این نمونه‌ها به ترتیب ۲/۴، ۱/۲، ۹/۱ می‌باشد. در دمای ۴۰°C میان میزان آنیزیدین در تیمارهای مربوط به زمان‌های ۵، ۱۰ و ۱۵ دقیقه اختلاف معناداری (p<۰/۰۵) دارد. در مورد نمونه‌هایی که تحت تیمار فراصوت صمغ‌گیری شده‌اند، در دمای ۵۰°C و به ترتیب در زمان‌های ۵، ۱۰ و ۱۵ دقیقه، درصد کاهش میزان آنیزیدین در این نمونه‌ها به ترتیب ۲، ۵/۷، ۱/۱ می‌باشد. میان نمونه‌های مختلف فراصوت شده در دمای ۵۰°C با یکدیگر و با سایر نمونه‌های فراصوت شده در دمای ۳۰°C و ۴۰°C اختلاف معنی‌داری وجود دارد (p<۰/۰۵). ولی در نمونه فراصوت شده در دمای ۵۰°C و زمان ۵ دقیقه با نمونه متداول اختلاف معنی‌داری وجود ندارد. چمات و همکاران (۲۰۰۴) تولید ترکیبات نامطلوب ناشی از فرآیند اکسیداسیون مانند 4-enal، decadie-2 و hexanal و hept-2-enal را در روغن‌های تیمار شده 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 معنی‌دار اندیس آنیزیدین در طول فرآیند صمغ‌گیری با افزایش زمان در هر کدام از دماهای معین ممکن است به دلیل جذب هیدروپراکسیدها و آلدئیدها توسط صمغ‌های هیدراته باشد (۲۴). با این حال، اسید فسفریک ممکن است در تجزیه و هیدراته شدن محصولات ثانویه اکسیداسیون نقش داشته باشد و به این طریق باعث کاهش آن‌ها در طول فرآیند صمغ‌گیری شود.

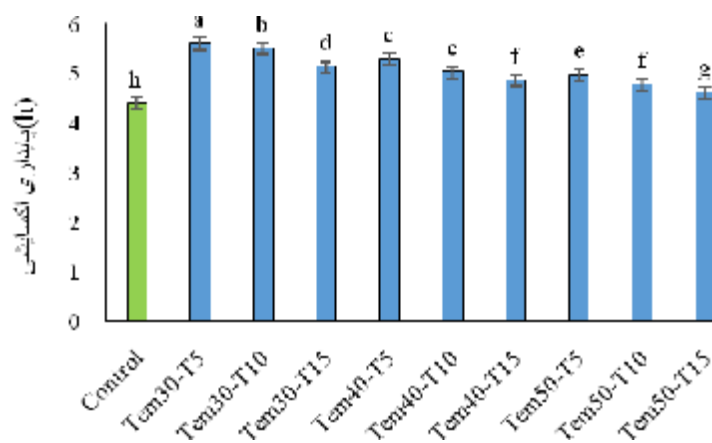


شکل ۶- اندیس آنیزیدین نمونه‌های مختلف پس از صمغ‌گیری با فراصوت.

حروف غیرمشابه نشان‌دهنده تفاوت آماری معنی‌دار است (p<۰/۰۵)

زمان سپری شده تا زمانی که محصولات ثانویه شناسایی شوند، دوره القا نامیده می‌شود و نشان‌دهنده مقاومت روغن در برابر اکسیداسیون است (۷). پایداری اکسیداتیو بالای روغن‌های خام ممکن است به دلیل سطح بالای آنتی‌اکسیدان‌های طبیعی، ترکیبات فنولی و فسفاتیدها باشد که اثرات هم‌افزایی روی آنتی‌اکسیدان‌ها 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 پایداری اکسایشی نمونه‌های مختلف مشاهده شد که اثرات اصلی سطوح مختلف پارامترهای دما، زمان و همچنین اثرات متقابل دما و زمان معنی‌دار ( $p < 0.05$ ) بودند. نتایج مربوط به تغییرات پایداری اکسایشی نمونه‌های مختلف روغن در شکل ۷ نشان داده شده است. همان گونه که مشاهده می‌شود با افزایش دما در نمونه‌های فراصوت شده پایداری اکسایشی روغن کاهش یافته است و نمونه متداول که کمترین پایداری اکسایشی را دارد با نمونه‌های فراصوت شده اختلاف معنی‌دار داشت ( $p < 0.05$ ). در آزمون رنسیمت انجام شده بر روی نمونه‌های روغن همان‌طور که قابل‌پیش‌بینی بود با افزایش دما، 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 شده در دمای  $30^{\circ}\text{C}$  و زمان ۵ دقیقه به میزان ۵/۵۸ ساعت و کمترین مقدار آن برای نمونه فراصوت شده در دمای  $50^{\circ}\text{C}$  و زمان ۱۵ دقیقه  $4/63$  ساعت مشاهده گردید. بین نمونه‌های مختلف فراصوت شده در دمای  $30^{\circ}\text{C}$  با نمونه متداول و با یکدیگر و همچنین با سایر نمونه‌های فراصوت شده در دمای  $40^{\circ}\text{C}$  و  $50^{\circ}\text{C}$  اختلاف معنی‌داری ( $p < 0.05$ ) وجود دارد. در دمای  $40^{\circ}\text{C}$  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 ۴۰ °C و زمان‌های ۱۵ و ۱۰ دقیقه با نمونه‌های فراصوت شده در دمای معین ۵۰ °C و زمان‌های ۱۰ و ۵ دقیقه اختلاف معنی‌داری وجود ندارد. در دمای ۵۰ °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).



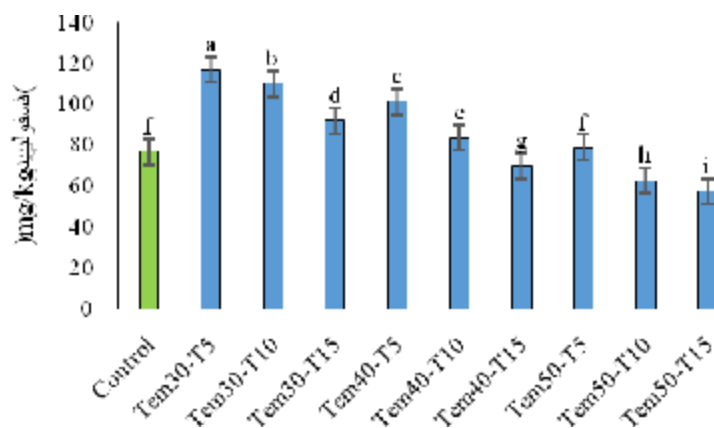
شکل ۷- پایداری اکسایشی نمونه‌های مختلف پس از صمغ‌گیری با فراصوت.

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

### ۳-۸- فسفولیپید

شکل ۸ نشان‌دهنده مقادیر فسفولیپید پس از فرآیند صمغ‌گیری روغن کانولا به دو روش متداول و فراصوت در حضور ۳٪ وزنی-وزنی آب مقطر می‌باشد. میزان فسفولیپید روغن خام کانولا ۱۶۴/۵ mg/kg به دست آمد. پس از صمغ‌گیری به روش متداول در دمای ۸۰ °C، به ۷۶/۵ mg/kg کاهش یافته است. کاهش میزان فسفولیپید در مرحله صمغ‌گیری به روش متداول به دلیل نامحلول شدن فسفاتیدهایی که آب جذب کرده‌اند (هیدراته شده‌اند) بوده که توسط نیروی گریز از مرکز از روغن خام جدا می‌شوند (۱۳). با توجه به شکل ۸ در نمونه‌های صمغ‌گیری شده با فراصوت، در دمای ۳۰ °C و به ترتیب در زمان‌های ۵، ۱۰ و ۱۵ دقیقه، میزان فسفولیپید کاهش یافته 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 معنی دار آماری ( $p < 0.05$ ) 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 (۲۰۱۱) (۵) مور و جوگات (۲۰۱۸) (۳۴) به نتایج مشابهی دست یافتند.



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

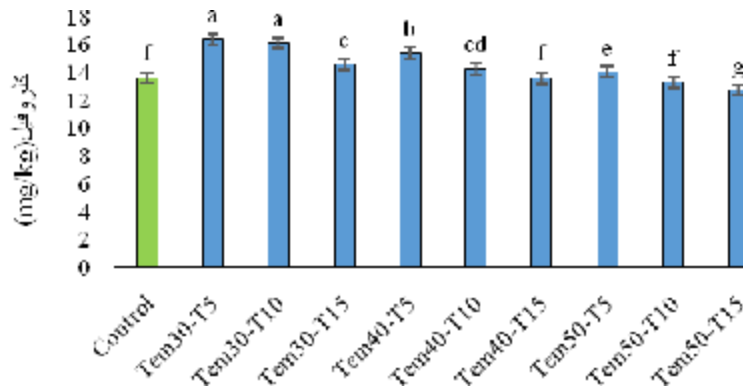
حروف غیرمشابه نشان دهنده تفاوت آماری معنی دار است ( $p < 0.05$ ).

### ۳-۹- کلروفیل

کلروفیل رنگدانه رنگی اصلی موجود در روغن های گیاهی است. اکسیداسیون این رنگدانه باعث تیره شدن روغن می شود (Pereira et al., 2019). بنابراین یکی از نگرانی های موجود در فرآیند تصفیه روغن، کاهش این ترکیبات رنگی در روغن های خام است (۱۶). باتوجه 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 ( $p < 0.05$ ) بودند. کلروفیل روغن خام کانولا  $16/66 \text{ mg/kg}$  است. امیبی و همکاران (۲۰۰۶) (۱۹) میزان کلروفیل را بین  $2$  تا  $55 \text{ mg/kg}$  و قازانی و همکاران (۲۰۱۳) (۲۳) میزان کلروفیل را بین  $4$  تا  $30 \text{ mg/kg}$  در روغن خام کانولا تعیین کردند. میزان کلروفیل روغن بعد از صمغ گیری به طور معنی داری کاهش یافت ( $p < 0.05$ ). مقدار کلروفیل در نمونه های فراصوت شده در هر یک از دماهای ثابت با افزایش زمان فراصوت کاهش یافت و کلروفیل در دمای  $50^\circ\text{C}$  زمان  $15$  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 فنوتین 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  $30^{\circ}\text{C}$  و به ترتیب در زمان‌های ۵، ۱۰ و ۱۵ دقیقه، درصد کاهش میزان کلروفیل در این نمونه‌ها به ترتیب  $16/3$ ،  $14/5\text{mg/kg}$  می‌باشد. بین نمونه‌های مختلف فراصوت شده در دمای  $30^{\circ}\text{C}$  با نمونه متداول اختلاف معنی‌داری ( $p < 0/05$ ) وجود دارد. ولی بین نمونه فراصوت شده در دمای  $30^{\circ}\text{C}$  و زمان‌های ۵ و ۱۰ دقیقه اختلاف معنی‌داری وجود ندارد؛ اما با زمان ۱۵ دقیقه اختلاف معنی‌دار وجود دارد ( $p < 0/05$ ) ولی بین نمونه دمای  $30^{\circ}\text{C}$  زمان ۱۵ دقیقه با تیمار فراصوت شده در دمای  $40^{\circ}\text{C}$  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  $40^{\circ}\text{C}$  به ترتیب در زمان‌های ۵، ۱۰ و ۱۵ دقیقه تحت امواج فراصوت بودند، میزان کاهش کلروفیل در این نمونه‌ها به ترتیب  $15/3$ ،  $14/7$ ،  $13/5\text{mg/kg}$  می‌باشد. در دمای  $40^{\circ}\text{C}$  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  $40^{\circ}\text{C}$  و زمان ۱۵ دقیقه با نمونه متداول اختلاف معنی‌داری وجود ندارد و فقط میان نمونه‌های فراصوت شده در دمای معین  $40^{\circ}\text{C}$  و زمان‌های ۱۰ و ۵ دقیقه یا نمونه متداول اختلاف معنی‌دار است. در مورد نمونه‌هایی که تحت تیمار فراصوت، در دمای  $50^{\circ}\text{C}$  و به ترتیب در زمان‌های ۵، ۱۰ و ۱۵ دقیقه صمغ‌گیری شده‌اند میزان کلروفیل در این نمونه‌ها به ترتیب  $13/9$ ،  $13/2$ ،  $12/6\text{mg/kg}$  می‌باشد. میان نمونه‌های مختلف فراصوت شده در دمای  $50^{\circ}\text{C}$  با یکدیگر اختلاف معنی‌داری وجود دارد ( $p < 0/05$ ). ولی در نمونه فراصوت شده در دمای  $50^{\circ}\text{C}$  و زمان ۱۰ دقیقه با نمونه متداول اختلاف معنی‌داری وجود ندارد فقط میان نمونه‌های فراصوت شده در دمای  $50^{\circ}\text{C}$  و زمان‌های ۱۵ و ۵ دقیقه با نمونه متداول اختلاف معنی‌دار است و نمونه تیمار شده در دمای  $50^{\circ}\text{C}$  در زمان ۱۰ دقیقه با نمونه تیمار شده در دمای  $40^{\circ}\text{C}$  در زمان ۱۵ دقیقه و نمونه متداول اختلاف معنی‌داری وجود ندارد.





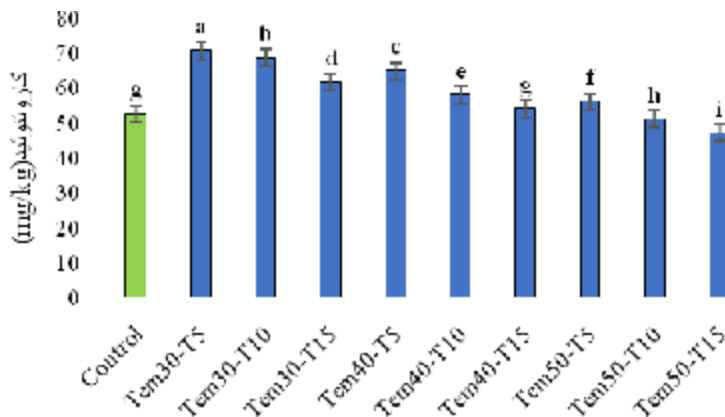
شکل ۹- کلروفیل نمونه‌های مختلف پس از صمغ‌گیری با فراصوت.

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 نمونه‌های فراصوت و متداول پس از صمغ‌گیری نشان می‌دهد. همان‌گونه که مشهود است کاروتنوئید در روغن، بعد از صمغ‌گیری 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 معنی‌دار ( $p < 0.05$ ) بودند. در مورد نمونه‌هایی که در دمای معین  $30^\circ\text{C}$  و به ترتیب در زمان‌های ۵، ۱۰ و ۱۵ دقیقه، فراصوت شدند کاهش میزان کاروتنوئید در این نمونه‌ها به ترتیب  $61/5 \text{ mg/kg}$ ،  $68/4$ ،  $70/5$  می‌باشد. بین نمونه‌های مختلف فراصوت شده در دمای  $30^\circ\text{C}$  با نمونه متداول و با یکدیگر اختلاف معنی‌داری ( $p < 0.05$ ) وجود دارد. همان‌طور که ملاحظه می‌شود در دمای ثابت با افزایش زمان موج دهی میزان کاروتنوئید در نمونه‌ها کاهش یافته است. در این مطالعه که بر روی کاروتنوئید در طی صمغ‌گیری با روش متداول و امواج فراصوت انجام شد، مشخص گردید که میزان کاروتنوئید در طی صمغ‌گیری با افزایش دما و زمان فراصوت روند کاهشی را نشان می‌دهد ( $p < 0.05$ ). این ممکن است به تعداد پیوندهای دوگانه در رنگ‌دانه‌های روغن که تحت تأثیر امواج فراصوت قرار می‌گیرند 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 پایین‌تر در برابر امواج قرار گرفته بودند وجود داشته است که با نتایج به‌دست‌آمده این پژوهش مطابقت دارد. کاریل و همکاران (۲۰۱۵) بیان

کردند که زمان فراصوت و به دنبال آن شدت فراصوت تأثیرگذارترین عواملی هستند که منجر به تخریب کاروتنوئید می‌شوند. احتمالاً به دلیل اثرات کاویتاسیون فراصوت سرعت تجزیه کاروتنوئید، در دماهای بالاتر افزایش می‌یابد (۱۴).



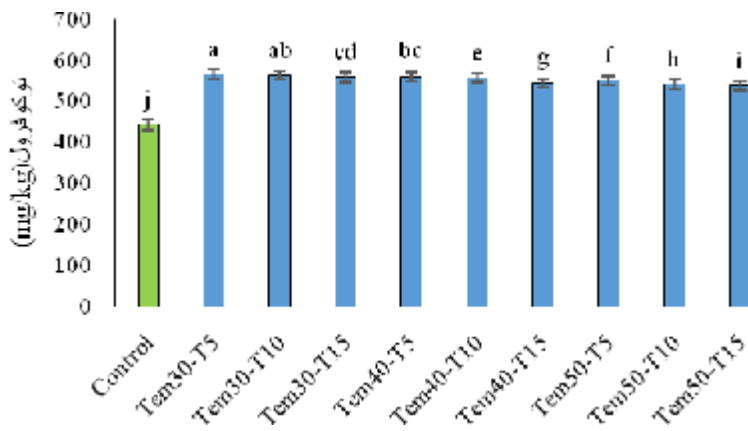
شکل ۱۰- کاروتنوئید نمونه‌های مختلف پس از صمغ‌گیری با فراصوت.

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

### ۳-۱۱- توکوفرول

توکوفرول‌ها گروهی از آنتی‌اکسیدان‌های محلول در چربی هستند (۱۴) که نه تنها از اکسیداسیون روغن‌ها جلوگیری می‌کنند، بلکه ماندگاری روغن‌های خوراکی را طولانی‌تر می‌کنند (۴۴)، بلکه در درمان و پیشگیری از بیماری‌هایی 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 معنی‌دار ( $p < 0.05$ ) 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 صمغ‌گیری به طور معنی‌داری کاهش یافت ( $p < 0.05$ ) به طور معمول در اثر فرآیند صمغ‌گیری اسیدی مقدار توکوفرول کل در روغن‌های گیاهی کاهش می‌یابد همان‌طور که در مشاهدات میرزایی غزنی و همکاران (۲۰۱۳) و کرپس و همکاران (۲۰۱۴) مشاهده می‌شود (۲۲، ۲۹). توکوفرول در نمونه متداول نسبت به نمونه‌های فراصوت شده کاهش بیشتری را نشان داد و همچنین مقدار توکوفرول در نمونه‌های فراصوت شده در هر یک از دماهای معین با افزایش زمان فراصوت کاهش یافت. به‌طور کلی افزایش دمای فراصوت برای هر یک از نمونه‌ها تیمار شده روند افزایشی از میزان کاهش توکوفرول را نشان داد که این امر به دلیل تخریب این مواد در دماهای بالاتر می‌باشد. کپیتانی و همکاران

(۲۰۱۱) گزارش کردند که میزان توکوفرول روغن با افزایش دما کاهش می‌یابد (۱۳). نتایج این بخش با نتایج مطالعات عابدی و همکاران (۲۰۱۵) (۶) و گواهیان و همکاران (۱۴۰۱) (۵) مطابقت دارد.



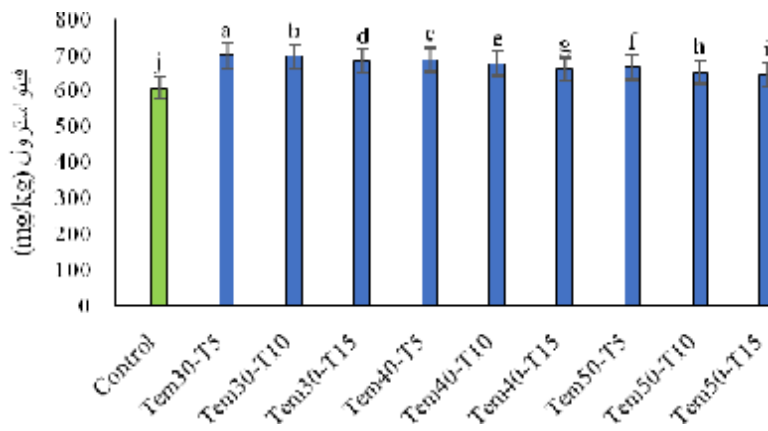
شکل ۱۱- توکوفرول نمونه‌های مختلف پس از صمغ‌گیری با فراصوت.

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

### ۳-۱۲- فیتواسترول‌ها

فیتواسترول‌ها استرول‌های گیاهی طبیعی هستند که در بخش غیر صابونی شونده روغن‌های گیاهی وجود دارند و متعلق به گروه تری‌ترین‌ها هستند همچنین فراوان‌ترین ترکیب غیر صابونی شونده می‌باشد (۴۲). نتایج مقایسه میانگین داده‌های مربوط به تأثیر فراصوت بر میزان استرول تیمارهای مختلف، در شکل ۱۲ نشان داده شده است. مقدار استرول روغن خام کانولا در این پژوهش  $703/8 \text{ mg/kg}$  به دست آمد. با بررسی نتایج آنالیز واریانس و نیز مقایسه میانگین مربوط به مقدار استرول نمونه‌های مختلف مشاهده شد که اثرات اصلی و متقابل سطوح مختلف پارامترهای دما و زمان معنی‌دار ( $p < 0.05$ ) بودند. همان‌گونه که در شکل ۱۲ مشاهده می‌شود با افزایش دما در نمونه‌های فراصوت شده پایداری مقدار استرول کاهش یافته است و نمونه متداول که کمترین مقدار استرول را دارد با نمونه‌های فراصوت شده اختلاف معنی‌دار داشت ( $p < 0.05$ ). بیشترین مقدار استرول برای نمونه‌های فراصوت شده در دمای  $30^\circ\text{C}$  و زمان ۵ دقیقه به میزان  $698/6 \text{ mg/kg}$  و کمترین مقدار آن برای نمونه فراصوت شده در دمای  $50^\circ\text{C}$  و زمان ۱۵ دقیقه  $644/3 \text{ mg/kg}$  مشاهده گردید. بین نمونه‌های مختلف فراصوت شده در دمای  $30^\circ\text{C}$  با نمونه متداول و با یکدیگر و همچنین با سایر نمونه‌های فراصوت شده در دمای  $40^\circ\text{C}$  و  $50^\circ\text{C}$  اختلاف معنی‌داری ( $p < 0.05$ ) وجود دارد. استرول‌ها اجزای زیست فعال حساس به اکسیداسیون هستند کاهش قابل توجه در محتوای کل استرول را می‌توان 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.



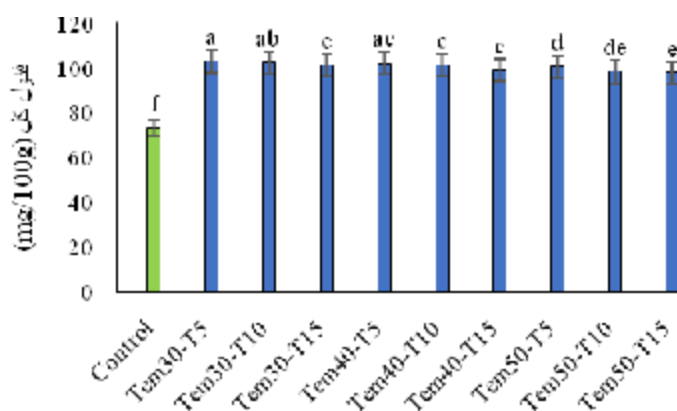
شکل ۱۲- فیتواسترول نمونه‌های مختلف پس از صمغ‌گیری با فراصوت.

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

### ۳-۱۳- ترکیبات فنولی

ترکیبات فنولی به‌عنوان آنتی‌اکسیدان‌های اولیه طبقه‌بندی می‌شوند که عمدتاً از بین‌برنده رادیکال‌های آزاد هستند که مرحله شروع را به تأخیر می‌اندازند یا آن را مهار می‌کنند یا مرحله انتشار اکسیداسیون لیپید را متوقف می‌کنند (۴۰). ترکیبات فنولی دانه‌های روغنی در حال حاضر به دلیل خواص متعدد تقویت‌کننده سلامتی و نیز مصارف صنعتی بسیار مورد توجه قرار گرفته‌اند. نشان داده شده است که آنتی‌اکسیدان‌های طبیعی، تشکیل محصولات اکسیداسیون را به تأخیر می‌اندازند، کیفیت غذایی را حفظ می‌کنند و ماندگاری محصولات را افزایش می‌دهند (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 معنی‌دار ( $p < 0.05$ ) بودند. نتایج آزمون فولین سیوکالتو نشان داد که میزان ترکیبات فنولی در روغن خام کانولا ۱۰۵/۷ میلی‌گرم اسید گالیک بر صد گرم نمونه می‌باشد. همان‌طور که مشاهده می‌شود میزان فنول روغن بعد از صمغ‌گیری 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 قابل‌توجهی 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 در صمغ‌گیری با فراصوت در دمای  $50^{\circ}\text{C}$  و زمان ۱۵ دقیقه بیشترین کاهش را داشت. بالاترین میزان کاهش فنول در دماهای ثابت در نمونه‌هایی حاصل شده است که در زمان‌های بالاتر در برابر امواج قرار گرفته‌اند. کلودوئو و همکاران (۲۰۱۳) کاهش ترکیبات فنولی روغن زیتون بکر استخراج 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).



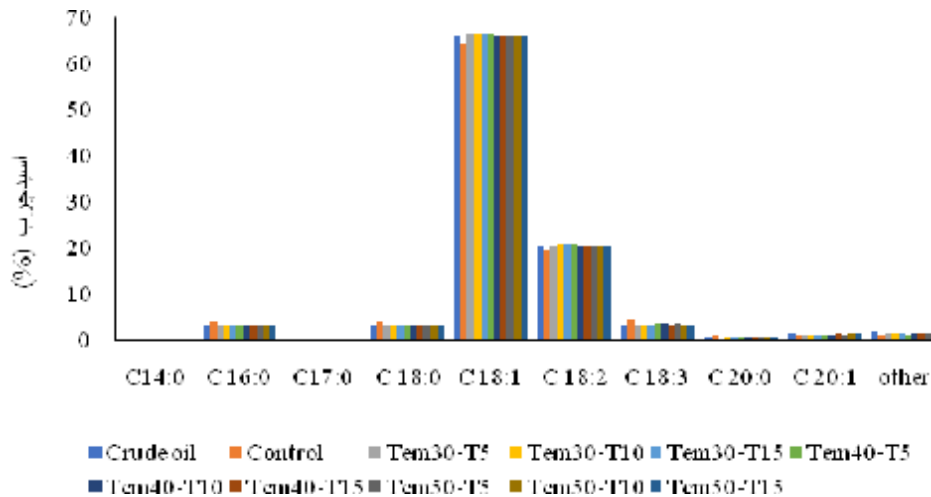
شکل ۱۳- ترکیبات فنولی نمونه‌های مختلف پس از صمغ‌گیری با فراصوت.

حروف غیر مشابه نشان‌دهنده تفاوت آماری معنی‌دار است ( $p < 0.05$ ).

### 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 ترکیب اسیدهای چرب روغن به‌سختی 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).



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

#### ۴- نتیجه‌گیری

کاهش ترکیبات زیست‌فعال و کیفیت تغذیه‌ای روغن یکی از اشکالات اصلی فرآیند سنتی تصفیه است، زیرا بر پایداری روغن‌ها و محصولات غذایی حاوی روغن تأثیر منفی می‌گذارد. در این پژوهش صمغ‌گیری با کمک فراصوت به عنوان جایگزین بالقوه‌ای برای روش‌های متداول صمغ‌گیری معرفی گردید. نتایج نشان داد با استفاده از صمغ‌گیری فراصوت می‌توان با اعمال دمای کمتر و زمان کمتر صمغ‌گیری را انجام داد که در نهایت میزان حفظ ترکیبات زیست‌فعال در روغن کانولا بیشتر است. حذف فسفولیپیدها مهم‌ترین هدف فرآیند صمغ‌گیری روغن است. فراصوت میزان فسفولیپیدها را نسبت به روش متداول در زمان و دمای کمتری و به مقدار بیشتری از روغن حذف می‌کند. در مطالعه حاضر نمونه تیمار شده با فراصوت تحت شرایط دمایی  $40^{\circ}\text{C}$  در زمان ۱۰ دقیقه به عنوان دمای بهینه برای صمغ‌گیری با امواج فراصوت انتخاب شد چرا که در این شرایط نسبت به سایر دماها و زمان‌های استفاده شده، نتایج بهتری از حفظ میزان ترکیبات زیست‌فعال، حذف فسفولیپیدها، پایداری اکسایشی و سایر فاکتورهای کیفی روغن به دست آمد.

#### ۵- منابع

۱. اسماعیل‌زاده کناری، ر.، مشتاق، ن. ۱۴۰۰. تأثیر امواج فراصوت بر خواص شیمیایی روغن کلزا در طی تصفیه. مجله تحقیقات مهندسی صنایع غذایی، جلد ۲۰، شماره ۷۰، ۳۸-۱۹.
۲. حدادی، م.، قراچورلو، م.، غیاثی طرزی، ب. ۱۳۹۸. مقایسه اثر پیش تیمار فراصوت و مایکروویو در استخراج روغن سویا. مجله علوم غذایی و تغذیه، ۱۶. ۴۴-۳۷.
۳. حسینی، ح.، قربانی، م.، صادقی ماهونک، ع.، جعفری، م. ۱۳۹۶. ارزیابی ویژگی‌های روغن به دست آمده از محصولات جانبی ماهی‌های پیش تیمار شده در شرایط مختلف. مجله علوم و صنایع غذایی ایران، دوره ۱۴، شماره ۶۵، ۲۳۷-۲۲۷.
۴. فرحوش، ر.، پژوهان مهر، س.، پورآذرنگ، ه. ۱۳۸۸. مشخصات فیزیکوشیمیایی روغن ارقام رایج کانولا در ایران. مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی، شماره ۱۶، ۱۸۲-۱۹۲.
۵. گواهیان، و.، اسماعیل‌زاده کناری، ر.، رفتنی امیری، ز. ۱۴۰۱. تأثیر شرایط استخراج با کمک فراصوت بر فرآیند صمغ‌گیری و بررسی پارامترهای کیفی روغن سویا. مجله علوم تغذیه و صنایع غذایی ایران، شماره ۲۴، دوره ۱۹، ۲۴۰-۲۳۱.
6. Abedi, E., Sahari, M.A., Barzegar, M. and Azizi, M.H. 2015. 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*, 50(4):857-63.
7. Abu, E.H. and Mahmoud, A.A.T. 2017. Effect of refining process on the quality characteristics of soybean and cotton seed oils. *International Journal of Current Microbiology Applied Science*, 6(1):207-22.
8. Achat, S., Hamiroune, A., Aiche, A., Smail-Benazzouz, L., Madani, K. and Vian, M.A. 2021. Ultrasound to obtain aromatized vegetable oils. Design and Optimization of Innovative Food Processing Techniques Assisted by Ultrasound. *Developing Healthier and Sustainable Food Products*, 169-88.
9. Alouache, B., Khechena, F., Lecheb, F. and Boutkedjirt, T. 2015. Characterization of olive oil by ultrasonic and physico-chemical methods. *Physics Procedia*, 70:1061-5.
10. Aluyor, E.O. and Ori-Jesu, M. 2008. The use of antioxidants in vegetable oils—A review. *African Journal of Biotechnology*, 7(25).
11. AOCS. 2009. Official methods and recommended practices of the AMOS: AMOS press Champaign.
12. Capannesi, C., Palchetti, I., Mascini, M. and Parenti, A. 2000. Electrochemical sensor and biosensor for polyphenols detection in olive oils. *Food Chemistry*, 71(4):553-62.
13. Capitani, M., Mateo, C. and Nolasco, S. 2011. Effect of temperature and storage time of wheat germ on the oil tocopherol concentration. *Brazilian Journal of Chemical Engineering*, 28:243-50.
14. Carail, M., Fabiano-Tixier, A.S., Meullemiestre, A., Chemat, F. and Caris-Veyrat, C. 2015. Effects of high power ultrasound on all-E- $\beta$ -carotene, newly formed compounds analysis by ultra-high-performance liquid chromatography–tandem mass spectrometry. *Ultrasonics Sonochemistry*, 26:200
15. Chemat, F., Grondin, I., Costes, P., Moutoussamy, L., Sing, A.S.C. and Smadja, J. 2004. High power ultrasound effects on lipid oxidation of refined sunflower oil. *Ultrasonics Sonochemistry*. 11(5):281-5.
16. Chew, S.C. and Ali, M.A. 2021. Recent advances in ultrasound technology applications of vegetable oil refining. *Trends in Food Science and Technology*, 116:468-79.
17. Chew, S.C., Tan, C.P., Long, K. and Nyam, K.L. 2016. Effect of chemical refining on the quality of kenaf (*Hibiscus cannabinus*) seed oil. *Industrial Crops and Products*, 89:59-65.
18. Clodoveo, M.L., Durante, V., La, N. D, Punzi, R. and Gambacorta, G. 2013. Ultrasound-assisted extraction of virgin olive oil to improve the process efficiency. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 115(9):1062-9.

19. Embaby, H., Habiba, R., Shattab, A., ElHamamy, M., Morita, N. and Ibrahim, S. 2006. Chemical composition and stability of canola oils from Japan and Egypt. *Agricultural Research Journal*,6:13-9.
20. Galal, S.M. 2008. Ultrasonic degumming of soybean oil. *Journal of Food and Dairy Sciences*, 33(5):3535-43.
21. Gallo, M., Ferrara, L. and Naviglio, D. 2018. Application of ultrasound in food science and technology: A perspective. *Foods*, 7(10):164.
22. Ghazani, S.M., Garcia-Llatas, G. and Marangoni, A.G. 2013. Minor constituents in canola oil processed by traditional and minimal refining methods. *Journal of the American Oil Chemists' Society*,90(5):743-56.
23. Ghazani, S.M. and Marangoni, A.G. 2013. Minor components in canola oil and effects of refining on these constituents: A review. *Journal of the American Oil Chemists' Society*,90(7):923-32.
24. Halim, H. and Thoo, Y. 2018. Effect of ultrasound treatment on oxidative stability of sunflower oil and palm oil. *International Food Research Journal*, 25(5).
25. Hosseini, S., Gharachorloo, M., Tarzi, B.G., Ghavami, M. and Bakhoda, H. 2015. Effects of ultrasound amplitude on the physicochemical properties of some edible oils. *Journal of the American Oil Chemists' Society*,92(11-12):1717-24.
26. Jahouach-Rabai, W., Trabelsi, M., Van Hoed, V., Adams, A., Verhé, R. and De Kimpe, N. 2008. 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*,15(4):590-7.
27. Jiang, X., Chang, M., Wang, X., Jin, Q. and Wang, X. 2014. The effect of ultrasound on enzymatic degumming process of rapeseed oil by the use of phospholipase A1. *Ultrasonics Sonochemistry*, 21(1):142-8.
28. Kalogeropoulos, N., Chiou, A., Mylona, A., Ioannou, M.S. and Andrikopoulos, N.K. 2007. Recovery and distribution of natural antioxidants ( $\alpha$ -tocopherol, polyphenols and terpenic acids) after pan-frying of Mediterranean finfish in virgin olive oil. *Food Chemistry*, 100(2):509-17.
29. Kreps, F., Vrbiková, L. and Schmidt, Š. 2014. Influence of industrial physical refining on tocopherol, chlorophyll and beta-carotene content in sunflower and rapeseed oil. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 116(11):1572-82.
30. Lara-Abia, S., Welti-Chanes, J. and Cano, M.P. 2022. Effect of ultrasound-assisted extraction of carotenoids from papaya (*Carica papaya* L. cv. Sweet Mary) using vegetable oils. *Molecules*, 27(3):638.
31. Lin, Y., Knol, D., Valk, I., van Andel, V., Friedrichs, S. and Lütjohann, D. 2017. Thermal stability of plant sterols and formation of their oxidation products in vegetable oils and margarines upon controlled heating. *Chemistry and physics of lipids*, 207:99-107.
32. Loganes, C., Ballali, S. and Minto, C. 2016. Main properties of canola oil components: A descriptive review of current knowledge. *The Open Agriculture Journal*, 10(1).
33. Mahmood-Fashandi, H., Ghavami, M., Gharachorloo, M., Abbasi, R. and Mousavi Khaneghah, A. 2017. Using of ultrasonic in degumming of soybean and sunflower seed oils: comparison with the conventional degumming. *Journal of food Processing and Preservation*,41(1):e12799.
34. More, N.S. and Gogate, P.R. 2018. Intensified degumming of crude soybean oil using cavitation reactors. *Journal of Food Engineering*, 18:33-43.
35. Moulton, K. and Mounts, T. 1990. Continuous ultrasonic degumming of crude soybean oil. *Journal of the American Oil Chemists Society*. 67(1):33-8.
36. Nekouei, N. and Rezaei, K. 2020. Optimization of the Degumming Process for Aqueous-Extracted Wild Almond Oil. *Journal of the American Oil Chemists' Society*. 97(7):765-78.
37. Nkengurutse, J., Mansouri, F., Bekkouch, O., Moumen, A.B., Masharabu, T. and Gahungu, G. 2019. Chemical composition and oral toxicity assessment of *Anisophyllea boehmii* kernel oil: Potential source of new edible oil with high tocopherol content. *Food Chemistry*, 278:795-804.
38. Özcan, M.M., Duman, E. and Duman, S. 2021. Influence of refining stages on the physicochemical properties and phytochemicals of canola oil. *Journal of Food Processing and Preservation*, 45(2):e15164.
39. Pereira, E., Ferreira, M.C., Sampaio, K.A., Grimaldi, R., de Almeida Meirelles, A.J. and Maximo, G.J. 2019. Physical properties of Amazonian fats and oils and their blends. *Food Chemistry*, 278:208-15.
40. Razavi, R. and Kenari, R.E. 2021. Antioxidant evaluation of *Fumaria parviflora* L. extract loaded nanocapsules obtained by green extraction methods in oxidative stability of sunflower oil. *Journal of Food Measurement and Characterization*,1-10.
41. Seçilmiş, Ş.S., Yanık, D.K., Fadiloğlu, S. and Göğüş, F. 2021. A comparative study on performance of industrial and microwave techniques for sunflower oil bleaching process. *Food Chemistry*, 365:130488.



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

## **Investigation the effect of bath ultrasound degumming on physicochemical and fatty acid profile of canola oil**

Kobra Moradalinia<sup>1</sup>, Reza Esmaeilzadeh Kenari<sup>2\*</sup>, Razie Razavi<sup>3</sup>

<sup>1</sup> MSc student of food Science and Technology, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Department of Food Science and Technology, Faculty of Agricultural Engineering, Sari, Iran

<sup>2</sup> Full professor of Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Department of Food Science and Technology, Faculty of Agricultural Engineering, Sari, Iran

<sup>3</sup> Postdoctoral researcher of Food Science and Technology, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Department of Food Science and Technology, Faculty of Agricultural Engineering, Sari, Iran

### **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 gI<sub>2</sub>/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, bioactive compounds, canola oil

Corresponding Email address: [Reza\\_kenari@yahoo.com](mailto:Reza_kenari@yahoo.com)