



## بررسی اثر استخراج روغن از دانه گلرنگ به کمک اولتراسوند و خواص فیزیکوشیمیایی روغن و کنجاله تولیدی

علی اکبر شاهپهرق<sup>۱</sup>، زینب رفتنی امیری<sup>۲\*</sup>، رضا اسماعیل زاده کناری<sup>۲</sup>

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

### چکیده

### اطلاعات مقاله

تاریخ های مقاله :

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۳/۳۰

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۵/۱۶

کلمات کلیدی:

اوره آز،

اولتراسوند،

روغن گلرنگ،

فسفاتید،

کنجاله.

DOI: 10.52547/fsct.18.119.331

\* مسئول مکاتبات:

[z.raftani@sanru.ac.ir](mailto:z.raftani@sanru.ac.ir)

در بین روش‌های نوظهور جهت افزایش کارایی استخراج روغن از دانه‌های روغنی، استفاده از اولتراسوند توجه دانشمندان را به خود جلب کرده است. در این پژوهش از اولتراسوند حمام با فرکانس ۳۷ کیلوهرتز استفاده شد و متغیرهای مورد استفاده شامل زمان‌های ۳۰، ۶۰ و ۹۰ دقیقه و دماهای ۳۵، ۴۵ و ۵۵ درجه‌ی سانتیگراد بودند. برخی آنالیزهای فیزیکوشیمیایی بر روی روغن و کنجاله حاصل از روغن‌کشی انجام شد و با نتایج مربوط به روش سنتی (سوکسله) مقایسه شد. حداکثر راندمان استخراج روغن به کمک اولتراسوند، ۱۷/۴ درصد به دست آمد. امواج اولتراسوند تاثیر زیادی بر ترکیب اسیدهای چرب، عدد یدی، ضریب شکست و عدد صابونی نداشت، اما میزان اسیدهای چرب آزاد، فسفاتید و پراکسید روغن با افزایش زمان و دمای تیمار افزایش یافت. نتایج بررسی کنجاله نشان داد که خاکستر، فیبر خام و پروتئین کنجاله تحت تاثیر امواج اولتراسوند قرار نگرفت. فعالیت بازدارندگی تریپسین نیز اندازه‌گیری شد و مشخص شد که دانه‌های گلرنگ مورد مطالعه در این تحقیق فاقد بازدارندگی تریپسین بودند. اثر این امواج بر میزان فعالیت آنزیم اوره‌آز معنی‌دار بود و سبب کاهش فعالیت این آنزیم شد که فاکتوری نامطلوب و ضد تغذیه‌ای است. نتایج نشان داد که استخراج به کمک اولتراسوند اثر نامطلوبی بر حلالیت پروتئین نداشت و در شرایط بهینه، موجب افزایش حلالیت پروتئین شد. استفاده از پیش تیمار اولتراسوند در شرایط بهینه، سبب افزایش راندمان و کاهش زمان استخراج روغن، در مقایسه با روش سنتی (سوکسله) شد، بدون آنکه اثر نامطلوبی بر خواص فیزیکوشیمیایی کنجاله و روغن استحصالی داشته باشد.

## ۱- مقدمه

دانه‌ی روغنی گلرنگ حدوداً ۲۳ درصد روغن دارد و ۷۳ الی ۸۵ درصد آن را اسید لینولئیک تشکیل می‌دهد. محتوای اسید لینولئیک موجود در روغن گلرنگ بالاترین مقدار را در مقایسه با سایر روغن‌های نباتی دارد. لینولئیک اسید، از اسیدهای چرب ضروری در رشد انسان است و می‌توان از آن برای حذف کلسترول از رگ‌های خونی و جلوگیری از تصلب شرایین و غیره استفاده کرد. روغن گلرنگ هم‌چنین حاوی ویتامین E است. بنابراین یکی از بهترین روغن‌های خوراکی در نظر گرفته می‌شود [۱]. روش‌های سنتی استخراج روغن از گلرنگ، شامل روش‌های مکانیکی (پرس) و روش پیش پرس کردن و به دنبال آن استخراج با حلال است. معایب روش پرس این است که دمای دانه‌ها در هنگام فشردن، به طور حتم افزایش می‌یابد و برخی از عناصر غذایی مانند فلاونوئیدهای فعال زیستی و ویتامین E اکسید شده، راندمان استخراج روغن نیز کم است، به این معنی که تفاله باقی مانده پس از پرس، هنوز حاوی مقدار زیادی روغن بوده و روغن حاصل ناخالصی‌های زیادی دارد که باید طی یک فرآیند اضافی حذف گردد. در روش استخراج با حلال نیز اجزای فعال زیستی طی فشردن و گرم شدن دانه‌ها، تخریب شده و در مرحله شستشو با حلال، مقدار زیادی حلال آلی مورد نیاز است. اخیراً سطح کشت دانه گلرنگ، طی استفاده از واریته‌های مناسب، افزایش یافته، لذا به منظور توسعه صنعت روغن‌کشی از دانه گلرنگ، نیاز به توسعه فناوری‌های استخراج با بازده بالا بسیار ضروری به نظر می‌رسد [۲]. در بین روش‌های نوظهور برای افزایش کارایی استخراج روغن از دانه‌های روغنی، استفاده از اولتراسوند، به علت مزیت‌های آن از قبیل زمان کمتر فرایند، مصرف کمتر انرژی، کاهش انتشار گازهای مضر به محیط زیست و نیز طراحی ساده تر تجهیزات مورد استفاده، توجه زیادی را به خود جلب کرده است. استفاده از اولتراسوند در بافت‌های گیاهی خام سبب افزایش نفوذ حلال به مواد اولیه شده و سهولت خروج مواد قابل استخراج را در پی خواهد داشت. علاوه بر موارد فوق، کیفیت روغن به دست آمده نسبت به روش‌های سنتی بالاتر بوده و به مقدار زیادی در مصرف حلال صرفه جویی می‌شود [۳]. جهت استخراج روغن با اولتراسوند در مخلوط حلال-دانه، حباب‌های

بسیار ریزی تشکیل شده و به سرعت رشد می‌کند و نهایتاً با انفجار این حباب‌ها مقدار زیادی انرژی آزاد می‌شود. انرژی ایجاد شده به صورت تنش برشی به محیط اعمال شده و ضمن ایجاد تورم در بافت، باعث جذب حلال می‌شود. هم‌چنین این امواج از طریق ایجاد منافذی در دیواره سلول‌ها، باعث خروج ترکیبات از بافت به محیط حلال شده و فرایند استخراج را تسریع می‌کند. ترکیدن حباب‌ها نیز باعث اغتشاش بیشتر توده مایع شده و انتقال جرم تشدید می‌شود. به‌طور کلی برای استخراج روغن از دانه‌های روغنی باید شرایط را طوری در نظر گرفت که حداکثر راندمان استحصال در کوتاه‌ترین زمان ممکن حاصل شود [۴]. همانطور که اشاره شد، تحت شرایط خاص، امواج اولتراسوند می‌توانند اثرات حرارتی، مکانیکی و کاویتاسیون ایجاد کنند. اثر کاویتاسیون می‌تواند منجر به پراکندگی ذرات جامد و افزایش سطح تماس بین ذرات-حلال شده و بهبود سرعت انتقال جرم از فاز جامد به فاز حلال را در پی دارد [۵]. استفاده از اولتراسوند می‌تواند به طور موثری میزان استخراج را افزایش داده و روند استخراج را تسریع کند. در سال‌های اخیر، استخراج به‌کمک این امواج مورد توجه قرار گرفته، به عنوان مثال استخراج روغن از دانه‌های روغنی سویا و بذر کتان، هم‌چنین استخراج عصاره و اجزای عملکردی گیاهان دارویی چینی، که نتایج حاصل نشان داد که اثر استخراج با این روش ایده آل است [۶]. در این مقاله به منظور دستیابی به روشی کارآمدتر جهت استخراج روغن از دانه‌ی گلرنگ و نیز کاهش استفاده از حلال‌های شیمیایی که آلاینده‌ی بالایی داشته و آسیب جدی به محیط زیست می‌رسانند، فناوری استخراج روغن به‌کمک امواج اولتراسوند مورد مطالعه قرار گرفت و سرعت و راندمان استخراج با روش سنتی (سوکسله) مقایسه شد. سایر خواص فیزیکی‌وشیمیایی روغن و کنجاله حاصل نیز آنالیز شد و تاثیر شرایط مختلف تیمار بر روی آن‌ها بررسی شده و با روش سوکسله مقایسه شد.

## ۲- مواد و روش‌ها

## ۲-۱- مواد شیمیایی و تجهیزات

دانه‌های گلرنگ مورد استفاده در این مطالعه از شرکت دانه‌های روغنی شهرستان قم تهیه و برای استخراج روغن و انجام

## ۲-۵- آزمون های فیزیکوشیمیایی روغن

### ۲-۵-۱- راندمان استخراج روغن

جهت تعیین راندمان استخراج روغن، طبق رابطه (۱)، ابتدا وزن دانه مصرف شده و وزن روغن حاصل از آن تعیین و تقسیم میزان روغن استخراج شده بر حسب گرم بر وزن دانه اولیه (گرم) راندمان استخراج روغن تعیین شد [۱۴].

$$R = \frac{Q}{X} \times 100 \quad (1)$$

R: راندمان روغن کشی (درصد)، Q: مقدار روغن استخراج شده (گرم)، X: وزن دانه های اولیه (گرم).

### ۲-۵-۲- میزان اسیدهای چرب آزاد

جهت تعیین محتوای اسیدهای چرب آزاد، از استاندارد AOCS به شماره Cd 3d-63 استفاده شد [۱۵]. ابتدا نمونه های روغن توزین و الکل خنثی برای حل شدن روغن اضافه شد. محتوای اسیدهای چرب آزاد طی تیتراسیون نمونه در برابر محلول هیدروکسید سدیم با استفاده از رابطه (۲) محاسبه شد.

$$FFA(\%) = \frac{V \times N \times 282}{W} \times 100 \quad (2)$$

جاییکه، FFA%: اسیدهای چرب آزاد (g/100g) بر حسب اسید اولئیک، V: حجم سود مصرفی، N: نرمالیت سود، ۲۸۲: جرم مولکولی اسید اولئیک (g/mol) و W: جرم نمونه می باشد.

### ۲-۵-۳- پراکسید روغن

اندازه گیری عدد پراکسید برای ارزیابی محصولات اولیه اکسیداسیون، مطابق استاندارد AOCS با شماره Cd 8b-90 از طریق تیتراسیون روغن به وسیله تیوسولفات سدیم ۰/۰۱ نرمال در حضور یدیدپتاسیم و معرف چسب نشاسته انجام و عدد پراکسید با استفاده از رابطه (۳) محاسبه گردید:

$$PeroxideV(PV) = \frac{(V - B) \times N}{W} \times 100 \quad (3)$$

V: حجم تیوسولفات مصرف شده نمونه، B: حجم تیوسولفات مصرف شده شاهد، N: نرمالیت تیوسولفات و W: جرم نمونه

### ۲-۵-۴- تعیین میزان عدد تیوباریتوریک اسید

برای اندازه گیری میزان عدد تیوباریتوریک اسید به روش رنگ سنجی و مطابق روش AOCS به شماره Cd 19-90 عمل شد [۱۵]. مقدار جذب نمونه (A) و شاهد (B) با دستگاه

آنالیزهای بعدی به دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی ساری انتقال یافت. مواد شیمیایی مورد استفاده در این تحقیق تولیدی شرکت تجاری شارلوی اسپانیا بودند.

## ۲-۲- آماده سازی نمونه و شرایط اعمال پیش

### تیمارهای مختلف قبل از فرایند روغن کشی

در این تحقیق، دانه های گلرنگ پس از تهیه و بوجاری، در کیسه های پلاستیکی مقاوم نسبت به نفوذ هوا و رطوبت تا زمان آزمایش در دمای یخچال (۱۸- درجه سانتیگراد) نگهداری شدند [۷].

### ۲-۳- استخراج به کمک اولتراسوند

جهت استخراج به کمک اولتراسوند، دستگاه اولتراسوند حمام (ELMASONIC S 10H، آلمان) در دماهای ۳۵، ۴۵ و ۵۵ درجه سانتیگراد تنظیم گردید. ابتدا دانه های گلرنگ آسیاب شد و سپس با نسبت ثابتی از حلال هگزان/ نمونه (۱:۱۰) درون ارلن مایر شیشه ای با حجم ۲۵۰ میلی لیتر ریخته شد، به نحوی که سطح دانه و حلال در داخل ظروف از سطح آب دستگاه پایین تر باشد [۸، ۹]. نمونه ها به مدت ۳۰، ۶۰ و ۹۰ دقیقه تحت پیش تیمار اولتراسوند با فرکانس ثابت ۳۷ کیلوهرتز قرار گرفتند [۱۰]. سپس محتوای داخل ظروف با استفاده از قیف بوخنر و کاغذ صافی واتمن شماره ۱، صاف و محلول استخراج شده از باقیمانده های جامد جدا شده و دو مرحله با حلال شسته شد. جهت جداسازی حلال، از تبخیر کننده چرخشی تحت خلا (JKA, HB 10، آلمان) در دمای ۴۵ درجه، استفاده شد [۱۱]. سپس در یک آن (Memmert UFLLO، آلمان) با حرارت ۹۰ درجه سانتیگراد به مدت ۱ ساعت قرار گرفت تا خشک شود و به دسیکاتور منتقل شد. روغن به دست آمده پس از توزین در شیشه های رنگی ریخته شده و در دمای فریزر (۱۸- درجه سانتیگراد) نگهداری شد [۱۲].

### ۲-۴- استخراج روغن با روش سوکسله

جهت استخراج روغن با روش سوکسله، ۱۵ گرم از نمونه خرد شده به طور دقیق توزین و با استفاده از دستگاه سوکسله و ۲۵۰ میلی لیتر حلال ان- هگزان در فلاسک های با وزن مشخص، در دمای ۶۰ درجه سانتیگراد روغن گیری شد [۱۳].

## ۲-۵-۹- تعیین عدد یدی

مقدار عدد یدی از روش AOAC 920-158 تعیین شد [۱۷].  
۰/۵ تا ۱ گرم نمونه در ارلن مایر ۲۵۰ میلی‌لیتری توزین شد. و با استفاده از روش هانوس و تیتراسیون با محلول استاندارد تیوسولفات سدیم طبق رابطه (۶) عدد یدی محاسبه شد.

$$IodineV = \frac{(B - S) \times N \times 126.9}{W} \times 100 \quad (6)$$

B: حجم محلول مصرفی شاهد، S: حجم محلول مصرفی نمونه،  
N: نرمالیه محلول، W: جرم نمونه، ۱۲۶/۹: وزن مولکولی ید

## ۲-۵-۱۰- تعیین پروفایل اسیدهای چرب

برای تعیین پروفایل اسیدهای چرب مطابق استاندارد AOCS، شماره Ce 1b-89 عمل شد [۱۵]. برای انجام این آزمون ابتدا مشتق‌سازی اسیدهای چرب به متیل استر آن‌ها با استفاده از حلال آن-هگزان و محلول پتاس متانولی انجام گرفت. سپس ۱۰۰ میکرولیتر متوکسید سدیم ۰/۵ نرمال به ترکیب حاصل اضافه شد و هم زده شد. در مرحله بعدی، نمونه یک دقیقه به شکل ثابت قرار گرفت تا دو فاز شود. اسیدهای چرب متیله شده در فاز هگزان قرار داشته و فاز رویی به لوله دیگری که حاوی سولفات سدیم بود منتقل و ۱ میکرولیتر از آن به دستگاه کروماتوگرافی گازی (GC-Varian cp3800، آمریکا) با آشکارساز FID تزریق شد. شرایط دستگاه شامل دمای ستون ۱۷۵ درجه سانتیگراد به صورت ایزوترمال، زمان برنامه ۳۰ دقیقه، دمای آشکارساز ۲۷۰ درجه، دمای محل تزریق ۲۵۰ درجه و حجم تزریق ۱ میکرولیتر بود.

## ۲-۶-۲- آزمون های فیزیکوشیمیایی کنجاله

## ۲-۶-۱- میزان پروتئین کنجاله

میزان پروتئین کنجاله گلرنگ با استفاده از روش کج‌لدال و مطابق استاندارد AOCS، روش Ba 4d-90 انجام شد [۱۵]. پس از توزین نمونه، کاتالیزور و اسید سولفوریک غلیظ اضافه شده و مرحله هضم انجام شد. عصاره شفاف حاصل وارد مرحله تقطیر شد و در پایان با اسید سولفوریک ۰/۱ درصد تیترا شد. طبق رابطه (۷) ازت کل محاسبه و با استفاده از ضریب پروتئین (۶/۲۵) میزان پروتئین کنجاله به دست آمد.

$$TotalN = \frac{14 \times V \times N}{W} \times 1000 \quad (7)$$

اسپکتروفتومتر (Alpha-1502، آمریکا) در محدوده ۵۳۲ نانومتر در مقابل آب مقطر خوانده شد [۱۶]. مقدار TBA ( میلی‌گرم مالون دی‌آلدید در کیلوگرم روغن ) از طریق رابطه (۴) محاسبه شد:

$$TBA = \frac{50 \times (A - B)}{W} \quad (4)$$

در این رابطه، A: میزان جذب نمونه، B: میزان جذب شاهد و W: جرم نمونه بر حسب گرم می‌باشد.

## ۲-۵-۵- آزمون فسفاتید روغن

جهت تعیین میزان فسفاتید روغن با استفاده از استاندارد AOCS و شماره Ca 12-25 عمل شد. پس از صفر کردن دستگاه اسپکتروفتومتر (Alpha-1502، آمریکا) در طول موج ۶۵۰ نانومتر، با استفاده از آب مقطر، مقدار جذب نمونه و شاهد را به دست آورده و نهایتاً غلظت فسفر تعیین شد، عدد حاصل را در عدد ۳۰ ضرب کرده و فسفاتید روغن به دست آمد [۱۴].

## ۲-۵-۶- تعیین عدد صابونی

مقدار عدد صابونی روغن با روش AOCS cd 3-25، پس از انجام دقیق مراحل آزمون، از طریق رابطه (۵) تعیین شد [۱۵].

$$SaponificationV = \frac{(B - S) \times N \times 56.1}{W} \quad (5)$$

عدد صابونی: میلی‌گرم پتاس در هر گرم از نمونه، B: حجم اسید مصرفی شاهد (ml)، S: حجم اسید مصرفی نمونه (ml)، N: نرمالیه اسید کلریدریک، ۵۶/۱: وزن مولکولی هیدروکسید پتاسیم، W: جرم نمونه (g)

## ۲-۵-۷- تعیین رنگ لایواند

تعیین رنگ با هدف سنجش رنگ روغن استخراج شده به روش سوکسله و بررسی تغییر رنگ احتمالی طی اعمال اولتراسوند، با دستگاه لایواند (Lovibond-F، انگلیس) و سلیک اینچی، مطابق استاندارد AOCS شماره CeBe-92 انجام شد [۱۵].

## ۲-۵-۸- تعیین ضریب شکست روغن

ضریب شکست روغن با دستگاه رفاکتومتر (OPTECH، آلمان)، در دمای محیط، طبق استاندارد AOCS روش Cc A 7-25 انجام شد [۱۵].

V: حجم اسید مصرفی، N: نرمالیت اسید، ۱۴: وزن مولکولی

نیترژن و W: جرم نمونه

### ۲-۶-۲-۲- خاکستر

#### ۲-۶-۲-۱- خاکستر کل

جهت تعیین میزان املاح معدنی کنجاله و تاثیر اولتراسوند بر آن مطابق استاندارد AOCS و روش Ba 5-49 [۱۵]، پس از سوزاندن نمونه‌ها و قراردادن در کوره با دمای ۵۵۰ درجه، نهایتاً از رابطه (۸) خاکستر کل محاسبه شد.

$$Ash = \frac{W2 - W1}{m} \times 100 \quad (8)$$

W2: وزن ثانویه کروزه چینی، W1: وزن کروزه خالی، m: جرم نمونه

### ۲-۶-۲-۲- خاکستر نامحلول در اسید

نمونه به دست آمده از روش آزمون خاکستر جهت تعیین میزان خاکستر نامحلول در اسید استفاده شد. برای این منظور استاندارد AOCS، شماره Ba 5b-68 به کار برده شد [۱۵].

### ۲-۶-۲-۳- تعیین میزان فیبر خام

جهت تعیین میزان فیبر خام نمونه‌های مورد آنالیز از استاندارد AOCS و روش Ba 6a-05 استفاده شد [۱۵].

### ۲-۶-۲-۴- تعیین ازت فرار کل

جهت سنجش میزان ازت فرار کل از استاندارد AOAC استفاده شد، در این روش از تقطیر نمونه بدون سود، در حضور اکسید منیزیم و جمع‌آوری ازت به شکل گازهای آمونیوم در اسید بوریک عمل شده و در پایان محلول به دست آمده با اسید سولفوریک ۰/۱ نرمال تیتر شد [۱۷]. نتایج طبق رابطه (۹) به دست آمد.

$$TVN = \frac{V \times N \times 14}{w} \times 100 \quad (9)$$

V: حجم اسید مصرفی، N: نرمالیت اسید مصرفی، ۱۴: وزن مولکولی نیترژن و W: جرم نمونه

### ۲-۶-۲-۵- اندازه‌گیری میزان فعالیت اوره‌آز

جهت اندازه‌گیری میزان فعالیت آنزیم اوره‌آز، مطابق استاندارد AOCS و روش Ba 9-58 و بصورت اندازه‌گیری اختلاف pH عمل شد [۱۵].

### ۲-۶-۲-۶- بازدارنده تریپسین

اندازه‌گیری میزان بازدارنده آنزیم تریپسین مطابق استاندارد AOCS، شماره ۴۰-۲۲ انجام شد [۱۸].

### ۲-۶-۲-۷- پروتئین قابل حل در هیدروکسید پتاسیم

برای تعیین میزان حلالیت پروتئین، از تقسیم درصد پروتئین خام نمونه حل شده در هیدروکسید پتاسیم بر پروتئین خام نمونه اولیه میزان حلالیت پروتئین در هیدروکسید پتاسیم به دست آمد و به صورت درصد بیان گردید [۱۹].

### ۲-۶-۲-۸- اندیس پراکندگی پروتئین

جهت بررسی تاثیر تیمارها بر پروتئین کنجاله از تست اندیس پراکندگی پروتئین استاندارد AOCS و روش آزمون Ba 10-65 استفاده شد [۱۵]. مقداری از نمونه کنجاله را با آب مقطر مخلوط کرده و پس از سانتریفوژ کردن، از مایه رویی جهت سنجش پروتئین با روش کجلدال استفاده شد و طی تقسیم آن بر پروتئین کل، اندیس پراکندگی پروتئین به دست آمد.

### ۲-۷- تجزیه و تحلیل آماری

در این تحقیق، بررسی‌های آماری برای داده‌های حاصل، توسط نرم افزار Spss نسخه ۲۳ و توسط طرح کاملاً تصادفی و آنالیز واریانس یک طرفه (ANOVA) انجام شد. مقایسه میانگین‌های حاصل از سه تکرار، توسط آزمون دانکن در سطح اطمینان ۹۵ درصد انجام پذیرفت.

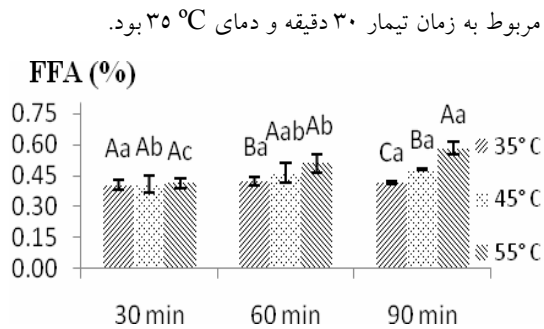
### ۳- نتایج و بحث

#### ۳-۱-۱- اثر استفاده از اولتراسوند بر خواص

##### فیزیکوشیمیایی روغن

#### ۳-۱-۱-۱- راندمان استخراج روغن

یکی از مهمترین فاکتورهای مورد مطالعه در فرایند استخراج روغن از دانه‌های روغنی، بررسی راندمان استخراج به کمک اولتراسوند بود. نتایج حاصل در نمودار شماره (۱) گزارش شد. می‌توان این‌گونه ادعا کرد که استخراج روغن با استفاده از اولتراسوند، در دماها و زمان‌های مورد مطالعه سبب افزایش راندمان شد. حداکثر میزان روغن استحصال، حدوداً (۱۷/۴٪)



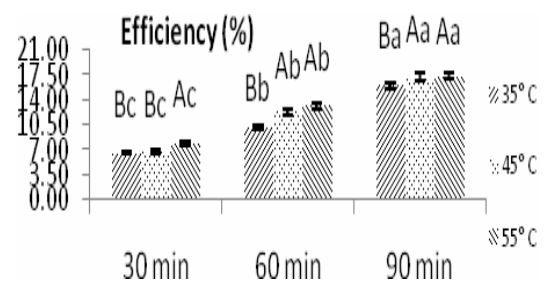
**Fig 2** Change in Free fatty acids of Oil extracted by different ultrasound treatment. Different capital letters in each time and small letters in each temperature indicate significant statistical differences at  $P < 0.05$ .

محتوای اسیدهای چرب آزاد با عنوان عدد اسیدی یا اسیدیته روغن شناخته می‌شود. این فاکتور در زمان نگهداری افزایش می‌یابد و کیفیت نگهداری روغن بستگی زیادی به محتوای اسید چرب آزاد دارد. رادیکال‌های آزاد در طی اعمال اولتراسوند ایجاد می‌شوند که ممکن است منجر به افزایش میزان اسیدهای چرب آزاد در نمونه تحت پیش‌تیمار اولتراسوند در مقایسه با نمونه کنترل شود، اما در صورت استفاده از زمان پایین‌تر، این اتفاق خیلی سریع رخ داده و تغییر زیادی در اسید چرب آزاد ایجاد نخواهد شد. همانطور که دانشمندان در مطالعات قبلی به آن پرداخته و اینچنین گزارش کرده بودند [۲۲]. دانشمندان دیگری نیز به بررسی استخراج روغن از سبوس برنج با استفاده از اولتراسوند پرداخته و این‌گونه عنوان داشتند که استفاده از این امواج موجب افزایش اسیدیته روغن می‌شود. این نتایج با مطالعه فوق مطابقت داشت [۲۳].

### ۳-۱-۳- پراکسید روغن

طبق نمودار (۳)، استفاده از اولتراسوند سبب افزایش پراکسید روغن می‌شود، وقتی زمان‌های پایین‌تر و دماهای کمتر از ۵۵ درجه استفاده شد، تغییرات معنی‌دار نبود. ولی افزایش زمان پیش-تیمار اولتراسوند، تأثیری بیشتری بر این فاکتور داشت، به‌طوری‌که در صورت استفاده از زمان ۹۰ دقیقه، با افزایش دمای تیمار افزایش پراکسید روغن معنی‌دار بود. هم‌چنین وقتی دمای استفاده شده از ۴۵ به ۵۵ درجه افزایش یافت، تغییرات پراکسید معنی‌دار شد.

و مربوط به زمان ۹۰ دقیقه و دماهای ۴۵ و ۵۵ درجه سانتیگراد به‌دست آمد. مطالعات متعددی درخصوص تأثیر امواج اولتراسوند بر راندمان استخراج روغن انجام شده و نتایج حاصل از این تحقیقات نشان داد که بسته به روش مورد استفاده، نتایج حاصل می‌تواند متفاوت باشد. بنابراین، شناسایی کلیه پارامترهای شرکت کننده در حین استخراج مهم است. به‌طوری‌که، علاوه بر اثر مستقیم بر راندمان استخراج، بر خصوصیات و ترکیبات روغن حاصل نیز تأثیر خواهند گذاشت. این پارامترها شامل، روش مورد استفاده، قدرت امواج، زمان و دمای فرآیند می‌باشد [۲۰].



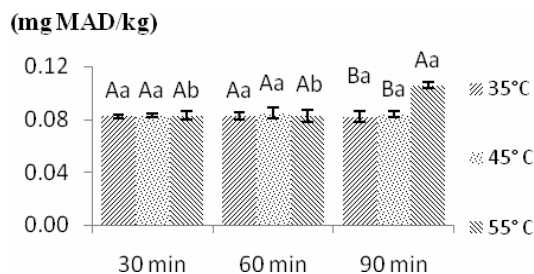
**Fig 1** Oil extraction yield from safflower seed obtained by different ultrasound treatment. Different capital letters in each time and small letters in each temperature indicate significant statistical differences at  $P < 0.05$ .

این نتایج شباهت زیادی با یافته‌های خسروی و همکاران، ۲۰۱۳، داشت که به بررسی استخراج روغن کانولا به‌کمک اولتراسوند پرداخته و راندمان استخراج روغن کانولا را مورد بررسی قرار داده و اعلام کردند که استخراج با کمک این امواج سبب افزایش چشمگیر درصد استخراج روغن کانولا در زمان بسیار کمتر گردید. به‌طوری‌که استفاده از اولتراسوند در شرایط بهینه، سبب افزایش درصد استخراج روغن شد [۲۱].

### ۳-۱-۲- اسیدهای چرب آزاد

نتایج حاصل از مقایسه میزان اسیدهای چرب آزاد در نمودار شماره (۲) آمده است. بررسی این نمودار نشان می‌دهد که افزایش زمان و دمای تیمار سبب افزایش این فاکتور شده و این اثر زمانی معنی‌دار شد که از زمان ۹۰ دقیقه و دمای ۵۵°C استفاده شد. یعنی در زمان ۹۰ دقیقه، افزایش دما سبب افزایش معنی‌دار اسیدهای چرب آزاد شد. در صورت استفاده از دما و زمان‌های پایین‌تر، تغییرات قابل ملاحظه‌ای مشاهده نشد و کم‌ترین مقادیر

بنابراین وجود آزمون‌های تعیین عدد تیوباریتوریک اسید که شاخصی از میزان توسعه اکسیداسیون و تولید محصولات ثانویه است، ضروری است. نتایج آزمون تیوباریتوریک اسید در نمودار شماره (۴) آورده شده است، براساس این نمودار، تغییرات این فاکتور در اکثر شرایط مربوط به پیش تیمار اولتراسوند معنی‌دار نبوده و با نتایج مربوط به پراکسید روغن هم‌خوانی داشت، البته وقتی از زمان ۹۰ دقیقه استفاده شد، مشاهده گردید که با افزایش دمای تیمار تغییرات این فاکتور افزایشی و معنی‌دار بود. همچنین در مورد متغیر دما، استفاده از دمای ۵۵ درجه، سبب تغییرات معنی‌دار TBA شد.



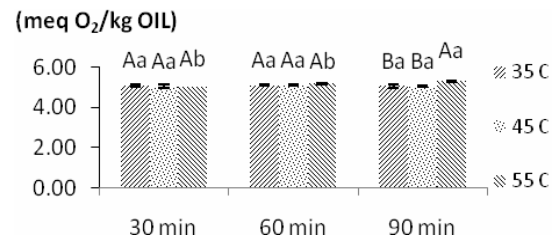
**Fig 4** Change in TBA of Oil extracted by ultrasound treatment.

Different capital letters in each column and small letters in each row indicate significant statistical differences at  $P < 0.05$ .

نتایج این مطالعه با نتایج فریدونی و همکاران، ۲۰۱۶، در فرآیند استخراج از برگ رزماری به کمک امواج اولتراسوند انطباق خوبی داشت. آن‌ها نشان دادند که بیشترین میزان TBA در زمان‌های استخراج بیش از ۸۰ دقیقه حاصل شد. این امر بیانگر آن است که با افزایش زمان استخراج به کمک اولتراسوند، مقدار تیوباریتوریک اسید افزایش یافته است [۲۷].

### ۳-۱-۵- فسفاتید روغن

تفسیر نتایج آزمون فسفاتید که در نمودار شماره (۵) آمده، نشان داد که، استخراج روغن به کمک اولتراسوند در زمان و دماهای پایین سبب افزایش معنی‌دار فسفاتید نشد، با افزایش دما به ۵۵ درجه، تغییرات این فاکتور معنی‌دار شد. از طرفی، وقتی زمان مورد استفاده برای استخراج روغن با اولتراسوند به ۶۰ و ۹۰ دقیقه رسید، افزایش فسفاتید روغن معنی‌دار شد.



**Fig 3** Change in Peroxide value of Oil extracted by ultrasound treatment.

Different capital letters in each time and small letters in each temperature indicate significant statistical differences at  $P < 0.05$ .

نتایج بررسی پراکسید روغن توسط سایر دانشمندان نشان داد که بیشترین میزان پراکسید در روش اولتراسوند در شرایطی به دست آمد که از زمان تیمار ۹۰ دقیقه (زمان طولانی تر) استفاده شد. یعنی با افزایش زمان تیمار، اسیدهای چرب غیراشباع در روغن فرصت می‌یابند تا اکسیژن بیشتری جذب کنند [۲۴]. مطالعات بعدی ضمن تایید این نتایج، گفتند که استفاده از اولتراسوند سبب ایجاد تغییراتی در ساختار محصولات شده و در شدت‌های بالاتر، کاهش کیفیت محصول را در پی دارد، علت این موضوع، به کواپتاسیون نسبت داده شد. در همین راستا و جهت جلوگیری از اکسیداسیون، پیشنهاد شد که فرایند استخراج روغن به کمک اولتراسوند، در غیاب اکسیژن انجام شود [۲۵]. مطالعه انجام شده درخصوص استخراج روغن کانولا به کمک امواج اولتراسوند با مطالعه اخیر مطابقت داشت، این دانشمندان نشان دادند که افزایش دمای تیمار سبب افزایش مقادیر مربوط به پراکسید روغن می‌شود. به طوری که افزایش دما از ۴۰ درجه سانتیگراد به ۵۰ درجه، عدد پراکسید را از ۱/۵ به ۱/۸ افزایش داد [۹]. تحقیق دیگری درخصوص استخراج روغن کنجد با استفاده از اولتراسوند انجام شد. مقادیر به دست آمده در این تحقیق، با حدود قابل پذیرش روغن بکر کنجد به روش پرس سرد مطابقت داشت. لازم به ذکر است که عدد پراکسید برای بیشتر تیمارها با حدود قابل پذیرش روغن پالایش شده (طبق استاندارد) مطابقت داشت [۲۶].

### ۳-۱-۴- تیوباریتوریک اسید

عدد پراکسید به‌تنهایی مشخص کننده اکسیداسیون روغن نیست، زیرا تولید محصولات ثانویه اکسیداسیون را مشخص نمی‌کند.

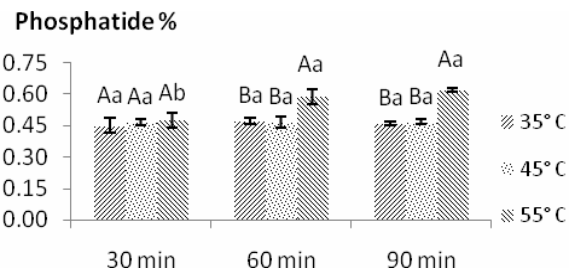
عدد صابونی، نشان‌دهنده میانگین وزن مولکولی اسیدهای چرب در مولکول تری گلیسرید بوده و تحقیق انجام شده بر روی دانه‌ی گوجه فرنگی و استخراج روغن آن به‌کمک اولتراسوند نشان داد که تغییرات عدد صابونی معنی‌دار نبود، تحقیقات قبلی نیز این نتایج را تایید می‌کند [۲۸]. این نتایج با تحقیق انجام شده بر روی دانه پریلا، مطابقت داشت، آنها نشان دادند که مقادیر مربوط به عدد صابونی روغن حاصل از اولتراسوند، بین (۱۹۶/۴۸ تا ۱۹۸/۲۶ میلی‌گرم پتاس در گرم روغن) بود و تغییرات معنی‌داری برای این فاکتور، گزارش نشد [۲۹]. مطالعه‌ی دیگری که به بررسی اثر پیش‌ تیمار اولتراسوند بر فرآیند استخراج روغن از ضایعات گوجه فرنگی پرداخته بودند، دریافتند که این امواج اثری بر عدد صابونی نداشت [۳۰].

### ۳-۱-۷- رنگ لایواند

رنگ روغن یکی از فاکتورهای فیزیکی روغن بوده و خاصیت مهمی برای تعیین میزان پذیرش نوری روغن های گیاهی است. نتایج نشان داد که رنگ قرمز (R) روغن دانه گلرنگ حاصل از پیش‌ تیمار اولتراسوند با افزایش دما و زمان تیمار افزایش یافت، اما این افزایش رنگ در هیچ از بازه‌های زمانی و دمایی معنی‌دار نبوده و در محدوده ۴ الی ۴/۲ بود. علاوه بر این، میزان رنگ زرد (Y) نیز تغییرات چندانی نداشته و معنی‌دار نبود. رنگ روغن تولیدی، ویژگی مهمی است که نقش زیادی در خصوصیات حسی روغن داشته و در پذیرش روغن‌های گیاهی حائز اهمیت است [۳۱، ۳۲]. محققان دیگری نیز پدیده‌ی افزایش رنگ را به واکنش‌های میلارد یا تخریب فسفولیپیدها نسبت دادند که ممکن است باعث شدت رنگ قرمز یا تیره شدن روغن در هنگام گرم- شدن شود [۳۳].

### ۳-۱-۸- عدد یدی و ضریب شکست

نتایج مربوط به ضریب شکست در محدوده ۱/۴۷۴ الی ۱/۴۷۵ به‌دست آمد. نتایج حاکی از این بود که تغییرات این فاکتور معنی‌دار نیست. با توجه به اینکه هر روغن و چربی به‌دست آمده از ریشه‌های مختلف، ضریب شکست خاص خود را دارد، لذا نتایج به‌دست آمده از این تحقیق منطقی به نظر می‌رسد. نتایج بررسی عدد یدی نیز نشان داد که پیش‌ تیمار اولتراسوند سبب افزایش جزئی در مقادیر مربوط به این فاکتور شده و این روند طی



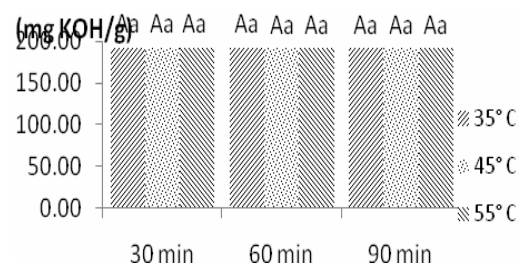
**Fig 5** Change in Phosphatide of Oil extracted by ultrasound treatment.

Different capital letters in each time and small letters in each temperature indicate significant statistical differences at  $P < 0.05$ .

این نتایج تا حدودی مشابه مطالعه انجام شده در سال ۲۰۲۰، بود که بر روی دانه روغنی کتاف انجام شد و محققان نشان دادند که استفاده از اولتراسوند سبب افزایش مقدار پراکسید روغن شد [۱۴]. علت این موضوع می‌تواند این باشد که اولتراسوند سبب شکستن غشای سلولی شده و فسفاتیدهای بیشتری را به درون حلال آزاد می‌کند [۱۴].

### ۳-۱-۶- عدد صابونی

نتایج مربوط به مقایسه عدد صابونی روغن حاصل از روش اولتراسوند در نمودار شماره (۶) آورده شد. بررسی این نمودار نشان داد که در تمام زمان‌های مورد مطالعه، با افزایش دمای تیمار، عدد صابونی افزایش یافت.



**Fig 6** Change in Saponification value of oil extracted by ultrasound treatment.

Different capital letters in each time and small letters in each temperature indicate significant statistical differences at  $P < 0.05$ .

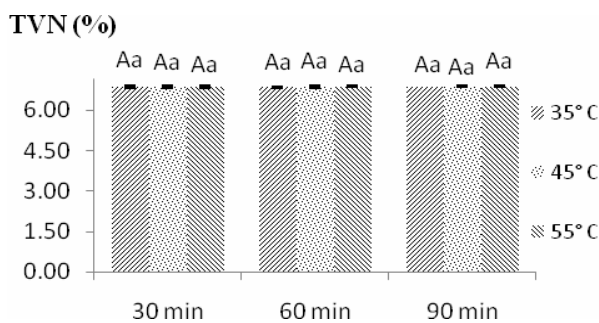
بیش‌ترین مقادیر گزارش شده برای این فاکتور مربوط به دمای ۵۵°C و کم‌ترین مقادیر مربوط به دمای ۳۵°C و زمان ۳۰ دقیقه بود. بررسی داده‌های آماری نشان داد که تغییرات عدد صابونی در مورد روغن استخراج شده با اولتراسوند، هیچ‌گاه معنی‌دار نبود.



دانشمندان اعلام کردند که استفاده از اولتراسوند ممکن است ساختار مولکولی پروتئین را دناتوره کرده و سبب افزایش سطوح آبریز شود [۳۷]. دانشمندان دیگری نیز با تایید نتایج این تحقیق گزارش کردند که میزان پروتئین، فیبر و خاکستر تحت تاثیر امواج اولتراسوند قرار نگرفته و تغییرات این فاکتورها معنی دار نخواهد بود [۳۶].

### ۳-۲-۲-ازت فرار کل

یکی از فاکتورهای نامطلوب در فراورده‌های پروتئینی میزان TVN یا ازت فرار کل می‌باشد که نشان دهنده تجزیه پروتئین و تشکیل آمونیاک یا سایر ترکیبات پایه‌ای پروتئین، در حین فرایند است و کیفیت کنجاله را تحت تاثیر قرار داده و سبب کاهش دسترسی به آمینواسیدها می‌شود [۳۸]. نمودار شماره (۷) مقایسه ای از میزان ازت فرار کل کنجاله حاصل از روش اولتراسوند در زمان‌ها و دماهای مختلف را نشان می‌دهد، بررسی این نمودار مشخص می‌کند که افزایش زمان اولتراسوند سبب افزایش TVN شد اما تغییرات معنی‌داری مشاهده نشد. درخصوص متغیر دما نیز نتایج مشابهی مشاهده شد، به‌طوری‌که بیش‌ترین تغییرات TVN مربوط به دمای ۵۵°C بود. اما افزایش معنی‌داری مشاهده نشد.



**Fig 7** Change in TVN of Meal under ultrasound treatment.

Different capital letters in each time and small letters in each temperature indicate significant statistical differences at  $P < 0.05$ .

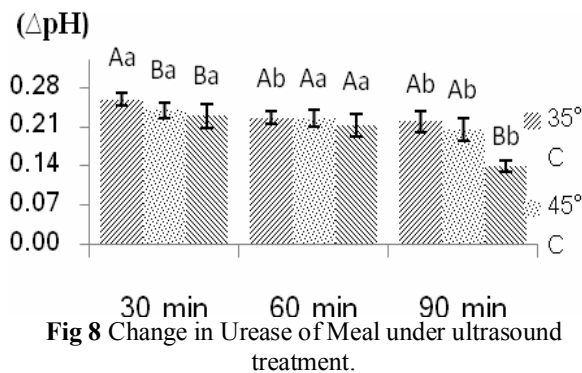
ایگان و همکاران، ۱۹۸۱، اظهار داشتند که TVN مربوط به تجزیه پروتئین است و افزایش مشاهده شده به‌علت تشکیل آمونیاک یا سایر ترکیبات حاصل از تجزیه پروتئین، بر اثر شرایط فرآیند و یا فعالیت آنزیمی است. در تغذیه طیور نیز کیفیت کنجاله اهمیت بالایی دارد و ازت فرار کل (TVN)

افزایش هر یک از متغیرهای دما و زمان، اتفاق افتاد اما تغییرات در هیچ یک از سطوح متغیرها معنی‌دار نبود. مقدار عدد یدی، میزان اشیاعیت و حساسیت اکسیداتیو روغن را نشان می‌دهد [۳۴]. بررسی اثر اولتراسوند بر روغن هسته زردآلو نشان داد که میزان عدد یدی در سطوح بالاتر دما، کمی افزایش می‌یابد. همین امر توسط تحقیقات بعدی نیز گزارش شده است. برای روغن فرآوری شده سنتی، این را می‌توان به دلیل از بین رفتن پیوند دوگانه در روغن، با افزایش دما نسبت داد [۱۴]. نتایج مربوط به این فاکتورها در تحقیق اخیر با یافته‌های مربوط به این محققان شباهت بالایی داشت و مطابقت نشان داد. درمطالعه انجام شده بر روی دانه‌ی پاپایا تفاوت معنی‌داری را بین عدد یدی روغن حاصل از روش سوکسله و روش فراصوت گزارش نکردند و مقادیر مربوط به این فاکتور برای هریک از این روغن‌ها نزدیک هم بود [۳۵].

### ۳-۲-۲- اثر اولتراسوند بر خواص فیزیکوشیمیایی کنجاله

#### ۳-۲-۱- پروتئین، خاکستر و فیبر کنجاله

در خصوص خاکستر، دو نوع خاکستر مورد بررسی قرار گرفت. خاکستر کل برای همگی نمونه‌ها حدوداً ۶ درصد و خاکستر نامحلول در اسید در حدود یک درصد بود که با مقایسه سطوح مختلف متغیرها، تغییرات خاکستر کنجاله معنی‌دار نبود. نتایج فیبر خام در محدوده ۳۳/۸ درصد به دست آمد که تغییرات معنی‌داری را برای نمونه‌های مورد مطالعه نشان نداد. بررسی‌های قبلی نشان داد که محتوای پروتئین و خاکستر، در صورت استفاده از اولتراسوند برای مدت ۱۵ و ۳۰ دقیقه، تفاوت معنی‌داری با نمونه کنترل نداشت. نتایج مشابه با این پژوهش که به بررسی اثر اولتراسوند بر پروتئین ایزوله گلرنگ پرداخته بود، در خصوص کانولا نیز گزارش شد. مشاهده شد که نمونه‌های تیمار شده با امواج اولتراسوند ساختارهای ناهمگن و بزرگتر و بیشتری نسبت به نمونه کنترل داشتند. این نتایج ممکن است ناشی از اعمال اولتراسوند باشد که باعث باز شدن پروتئین‌ها و افزایش گروه‌های آبریز سطحی می‌شود. آنالیز میزان پروتئین و خاکستر نشان داد که تغییرات این فاکتورها جزئی بوده و هیچ‌گاه معنی‌دار نشد [۳۶]. در مطالعه ای که در سال ۲۰۱۷ انجام شد،



**Fig 8** Change in Urease of Meal under ultrasound treatment. Different capital letters in each time and small letters in each temperature indicate significant statistical differences at  $P < 0.05$ .

### ۳-۲-۴- حلالیت پروتئین در هیدروکسید پتاسیم

میزان حلالیت پروتئین در هیدروکسید پتاسیم به منظور تعیین تخریب حرارتی احتمالی اندازه‌گیری شد. در جدول شماره (۱) میزان حلالیت پروتئین کنجاله در محلول ۰/۲ درصد هیدروکسید پتاسیم آمده است.

داده‌های این نمودار، افزایش معنی‌دار حلالیت پروتئین طی روش اولتراسوند را نشان می‌دهد، با افزایش دمای تیمار در زمان‌های ۳۰ و ۶۰ دقیقه، روند تغییرات PS افزایشی شد و بیش‌ترین حلالیت پروتئین مربوط به دمای ۵۵°C بود. اما در صورت استفاده از زمان ۹۰ دقیقه مشاهده شد که با افزایش دما از ۴۵ به ۵۵ درجه، یک‌باره حلالیت پروتئین کاهش یافت.

محققان مختلفی در سال‌های اخیر دریافته‌اند که استفاده از اولتراسوند می‌تواند حلالیت پروتئین را بهبود بخشد. این موضوع به پدیده‌ی کاویتاسیون نسبت داده شد که باعث ایجاد یک جریان آشفته، فشار زیاد و نیروی برشی می‌شود. این عوامل فیزیکی ممکن است پیوندهای هیدروژنی و فعل و انفعالات آب‌گریز را که منجر به ارتباط بین مولکولی پروتئین‌ها می‌شود، مختل کند [۴۱]. تانگ و همکاران، ۲۰۰۹، اشاره کردند که تیمار اولتراسوند سبب تشکیل توده‌های پروتئینی محلول از رسوبات نامحلول می‌شود. از طرفی، این امواج بر ساختار پروتئینی اثر گذاشته، اندازه ذرات را کاهش داده و باعث افزایش فعل و انفعالات پروتئین-آب و در نتیجه افزایش حلالیت پروتئین می‌شود [۴۲]. مطالعات بعدی این‌گونه ادعا کردند که استفاده از اولتراسوند سبب می‌شود که پیوندهای آب‌دوست بیشتری در دسترس قرار گرفته و یا طی

پارامتر خوبی برای مطالعه‌ی استفاده از NPN<sup>1</sup> در رژیم‌های غذایی است. یکی از اصول بسیار مهم در صنعت خوراک طیور ارائه رژیم غذایی مناسب و متعادل است. در این میان پروتئین-های گیاهی یا حیوانی تأثیر مهمی بر رشد و عملکرد طیور دارند، بنابراین امروزه اندازه‌گیری میزان پروتئین در رژیم‌های غذایی پرندگان معمول و متداول است، اما نیازهای غذایی براساس الگوی ایده‌آل اسیدهای آمینه که آمینواسیدهای ضروری را نیز شامل شود، تعیین می‌شود. TVN، معیار مناسبی برای تعیین کیفیت خوراک دام، به‌ویژه اجزای پروتئینی است. علاوه بر این، TVN شاخصی است که برای نشان دادن میزان ترکیبات دارای نیتروژن فرار در مواد غذایی استفاده می‌شود [۳۹].

### ۳-۲-۳- اوره‌آز

بررسی میزان اوره‌آز کنجاله حاصل از روش استخراج با اولتراسوند در نمودار شماره (۸) دیده می‌شود. نتایج این نمودار نشان می‌دهد که اثر متغیرهای زمان و دما موجب کاهش مقادیر مربوط به اوره‌آز کنجاله شد، به نحوی که بیش‌ترین فعالیت اوره-آزی در دمای ۳۵°C و زمان ۳۰ دقیقه به دست آمد و کم‌ترین میزان مربوط به زمان ۹۰ دقیقه و دمای ۵۵°C بود. البته تغییرات گزارش شده برای زمان ۶۰ دقیقه معنی‌دار نبود. در خصوص زمان ۳۰ دقیقه، نتایج نشان داد که با افزایش دما از ۳۵°C به بالا کاهش معنی‌داری در مقدار فعالیت آنزیم دیده شد. در زمان ۹۰ دقیقه هم با افزایش دما از ۴۵ به ۵۵ درجه سانتیگراد کاهش اوره‌آز معنی‌دار بود. از طرفی بررسی تغییرات دما نشان داد که در دمای ۴۵ و ۵۵ درجه سانتیگراد، با افزایش زمان تیمار از ۶۰ به ۹۰ دقیقه کاهش معنی‌داری در اوره‌آز کنجاله به وجود آمد.

مطالعه‌ای که در همین راستا و با استفاده از امواج اولتراسوند انجام شده بود با نتایج فوق مطابقت داشت به‌طوری‌که در صورت استفاده از فرکانس ۲۰ کیلوهرتز، به مدت ۱۰ دقیقه، بازدارندگی پروتئین از بین رفته و فعالیت آنزیم اوره‌آز به دلیل تأثیر حفره‌های ایجاد شده طی پدیده‌ی کاویتاسیون به شدت کاهش یافت [۴۰].

<sup>1</sup>None protein nitrogen

وبا ایجاد پیوندهای جدید، تجمعات بزرگتری ایجاد شده و سبب کاهش حلالیت پروتئین می‌شود [۴۳].

تبدیل تجمعات پروتئینی بزرگ به انواع کوچک‌تر، حلالیت افزایش می‌یابد. هم‌چنین تحقیقات نشان داد که تیمار طولانی اولتراسوند، یا استفاده از امواج با قدرت بالا، پیوندها را شکسته

**Table 1** Change in Protein solubility of Meal under ultrasound treatment.

55°C	45°C	35°C	Time(min) / Temp(C)
95.10 ± 0.02 <sup>Ba</sup>	95.02 ± 0.05 <sup>Cb</sup>	95.01 ± 0.01 <sup>Cb</sup>	30 min
95.19 ± 0.03 <sup>Aa</sup>	95.13 ± 0.02 <sup>Bb</sup>	95.10 ± 0.06 <sup>Bb</sup>	60 min
95.01 ± 0.10 <sup>Ba</sup>	95.27 ± 0.39 <sup>Aa</sup>	95.29 ± 0.01 <sup>Aa</sup>	90 min

Different capital letters in each column and small letters in each row indicate significant statistical differences at  $P < 0.05$ .

۶۰ دقیقه، میزان PDI را افزایش داد اما تغییرات معنی‌دار نبود. در زمان ۹۰ دقیقه نیز وقتی دما از ۳۵ به ۴۵ درجه افزایش یافت تغییر چندانی در میزان PDI رخ نداد. اما با افزایش بیشتر دما، مقادیر این فاکتور کاهش یافت که تغییرات معنی‌دار نبود. بررسی متغیر دما نیز نشان داد که در دمای ۳۵°C با افزایش زمان تیمار، سبب افزایش معنی‌دار PDI کنجاله شد. در مورد دمای ۴۵°C، افزایش زمان اولتراسوند سبب افزایش معنی‌دار PDI در تمام بازه‌های زمانی شد، هم‌چنین در دمای ۵۵°C با افزایش زمان از ۳۰ به ۶۰ دقیقه، افزایش معنی‌داری در مقدار PDI مشاهده شد. ولی افزایش بیشتر زمان، سبب کاهش PDI شد که این تغییرات معنی‌دار نبود.

### ۳-۲-۵- شاخص پراکندگی پروتئین

آزمون شاخص پراکندگی پروتئین (PDI) روش دیگری است که در نشخوارکنندگان و تغذیه انسان، برای نظارت بر شرایط فرایند گرمایی مطلوب، در مورد محصولات پروتئینی استفاده می‌شود. PDI حلالیت پروتئین در آب را به دنبال اختلاط آن‌ها با سرعت بالا اندازه‌گیری می‌کند. جدول شماره (۲) نتایج مربوط به مقایسه PDI کنجاله‌ی حاصل از روش اولتراسوند را نشان می‌دهد. میزان PDI، با افزایش زمان و دمای تیمار بالا رفته و در زمان ۹۰ دقیقه و دماهای ۳۵ و ۴۵ درجه به بالاترین میزان خود رسید، ولی در این بازه‌ی زمانی افزایش بیشتر دما سبب کاهش جزئی PDI شد. افزایش دمای پیش‌تیمار در بازه‌های زمانی ۳۰ و

**Table 2** Change in PDI of Meal under ultrasound treatment.

55°C	45°C	35°C	Time(min) / Temp(C)
13.09 ± 0.03 <sup>Ba</sup>	13.07 ± 0.05 <sup>Ca</sup>	13.06 ± 0.03 <sup>Ca</sup>	30 min
13.16 ± 0.01 <sup>Aa</sup>	13.13 ± 0.03 <sup>Ba</sup>	13.12 ± 0.04 <sup>Ba</sup>	60 min
13.15 ± 0.04 <sup>Aa</sup>	13.19 ± 0.03 <sup>Aa</sup>	13.19 ± 0.01 <sup>Aa</sup>	90 min

Different capital letters in each column and small letters in each row indicate significant statistical differences at  $P < 0.05$ .

روغن از دانه گلرنگ در زمان بسیار کمتر شد. وقتی از اولتراسوند در شرایط بهینه استفاده شد، موجب افزایش میزان روغن استحصالی در حدود ۷/۳٪ بیشتر، نسبت به روش سوکسله شد. جدول شماره (۳) مقایسه روش سوکسله و اولتراسوند را نشان می‌دهد. در تمام بازه‌های زمانی، مقادیر حاصل از روش اولتراسوند بالاتر بود و با افزایش دمای تیمار، راندمان استخراج نیز بالاتر رفت و بیشینه روغن تولیدی در زمان ۹۰ دقیقه و دماهای ۴۵ و ۵۵ درجه سانتیگراد گزارش شد.

مطالعات انجام شده بر روی سبوس برنج نشان داد که افزایش اندیس پراکندگی پروتئین ناشی از تجزیه‌ی دیواره‌ی سلولی است که این امر منجر به افزایش تجزیه‌ی پروتئین و بالارفتن حلالیت می‌شود [۴۴].

### ۳-۳- مقایسه سرعت استخراج روغن با کمک

#### اولتراسوند و روش سوکسله

راندمان استخراج روغن با سوکسله طی ۸ ساعت، حدوداً ۲۷ درصد به دست آمد. نتایج مربوط به استخراج با اولتراسوند نشان داد که اولتراسوند سبب افزایش چشمگیری در میزان استخراج

**Table 3** Oil yield (%) obtained after extraction by different methods.

	SE	UAE (35 °C)	UAE (45 °C)	UAE (55 °C)
30 min	5.98±0.20 <sup>Cd</sup>	6.55±0.05 <sup>Cc</sup>	6.700±0.02 <sup>Cb</sup>	7.85±0.56 <sup>Ca</sup>
60 min	7.85±0.27 <sup>Bd</sup>	10.06±0.23 <sup>Bc</sup>	12.35±0.18 <sup>Bb</sup>	13.25±0.06 <sup>Ba</sup>
90 min	10.10±0.13 <sup>Ac</sup>	16.06±0.09 <sup>Ab</sup>	17.37±0.11 <sup>Aa</sup>	17.41±0.10 <sup>Aa</sup>

Different capital letters in each column and small letters in each row indicate significant statistical differences at  $P < 0.05$ .

### ۳-۴- مقایسه خواص فیزیکوشیمیایی روغن

#### حاصل از اولتراسوند و روش سوکسله

جهت مقایسه خواص فیزیکوشیمیایی روغن به دست آمده با روش سوکسله (بدون تیمار) و روش اولتراسوند، از بین متغیرها، بهترین تیمار از نظر راندمان استخراج را انتخاب کرده و نتایج بررسی شد. طبق داده های آماری، شرایط بهینه ی پیش تیمار از نظر راندمان استخراج روغن، مربوط به زمان ۹۰ دقیقه و دماهای ۴۵ و ۵۵ درجه سانتیگراد بود، لذا بررسی خواص روغن بین نمونه ی کنترل (بدون تیمار) و شرایط بهینه اولتراسوند انجام و نتایج در جدول شماره (۴) آورده شد.

محققان دیگری با بررسی استخراج روغن به روش سنتی (سوکسله) و روش اولتراسوند نشان دادند که تاثیر اولتراسوند بر راندمان استخراج بیشتر از روش سنتی بود. همچنین این نتایج تاییدی بر تحقیقات انجام شده قبلی بود [۳۵]. اخیراً تحقیقی در خصوص امکان استخراج روغن های خوراکی به کمک اولتراسوند انجام شده و گزارش کردند که استفاده از این امواج، نه تنها سبب بهبود راندمان استخراج می شود، بلکه ویژگی های ارگانولپتیک روغن حاصل نیز با روش سنتی شباهت دارد [۹].

**Table 4** Physicochemical properties of safflower oil extracted by different methods.

	SE	UAE (45 °C, 90 min)	UAE (55 °C, 90 min)
FFA	0.429 ± 0.001 <sup>c</sup>	0.480 ± 0.044 <sup>b</sup>	0.580 ± 0.029 <sup>a</sup>
PV	5.000 ± 0.020 <sup>b</sup>	5.053 ± 0.049 <sup>b</sup>	5.320 ± 0.035 <sup>a</sup>
Phosphatide	0.226 ± 0.020 <sup>c</sup>	0.466 ± 0.011 <sup>b</sup>	0.620 ± 0.008 <sup>a</sup>
SV	191.947 ± 0.036 <sup>a</sup>	191.966 ± 0.023 <sup>a</sup>	191.967 ± 0.024 <sup>a</sup>
IV	147.352 ± 0.396 <sup>a</sup>	147.398 ± 0.250 <sup>a</sup>	147.563 ± 0.309 <sup>a</sup>
TBA	0.056 ± 0.003 <sup>c</sup>	0.083 ± 0.002 <sup>b</sup>	0.105 ± 0.002 <sup>a</sup>
LC	R: 4.033 ± 0.057 <sup>a</sup> Y: 33.333 ± 0.577 <sup>a</sup>	R: 4.066 ± 0.115 <sup>a</sup> Y: 33.000 ± 2.000 <sup>a</sup>	R: 4.266 ± 0.230 <sup>a</sup> Y: 33.000 ± 2.645 <sup>a</sup>
RI	1.474 ± 0.001 <sup>a</sup>	1.475 ± 0.001 <sup>a</sup>	1.475 ± 0.001 <sup>a</sup>

Mean ± SD (n = 3). Means within a row with the same letter are not significantly different as indicated ( $P < 0.05$ ).

استفاده از اولتراسوند جهت استخراج روغن موجب افزایش معنی دار فسفاتید شد و این مقادیر برای دمای ۵۵ درجه بسیار بالاتر بود. نتایج آنالیز رنگ نشان داد که رنگ (مقدار قرمز-R) روغن گلرنگ طی روش اولتراسوند در مقایسه با روش سوکسله افزایش یافته است اما این افزایش رنگ در هیچ از بازه های زمانی و دمایی معنی دار نبوده و در محدوده ی ۴ الی ۴/۲ بود. رنگ زرد (Y) نیز برای نمونه های مربوط به روش اولتراسوند نسبت به روش سوکسله تغییرات چندانی نداشته و معنی دار نبود.

میزان اسیدهای چرب آزاد در نمونه کنترل در پایین ترین حد ممکن بود ولی در اثر پیش تیمار اولتراسوند مقادیر اسیدهای چرب آزاد افزایش یافت. این روند در صورت استفاده از دمای ۵۵C بالاتر گزارش شد. پراکسید روغن طی استفاده از اولتراسوند افزایش داشت ولی بین نمونه ی کنترل و تیمار ۴۵C اختلاف معنی داری مشاهده نشد. وقتی برای روش اولتراسوند از دمای ۵۵C استفاده شد، افزایش معنی داری در پراکسید روغن استحصالی نسبت به نمونه کنترل و تیمار ۴۵ درجه سانتیگراد مشاهده شد.

مشابهی دارد. اما پراکسید روغن با افزایش زمان تیمار به آرامی بالا رفت [۴۶]. آرابانی و همکاران، ۲۰۱۵، با بررسی اثر پیش تیمار امواج اولتراسوند بر فرایند استخراج روغن از ضایعات گوجه فرنگی دریافتند که استخراج به روش سنتی (بدون تیمار)، ممکن است بر روی اسیدهای چرب غیر اشباع و عدد یدی اثر گذاشته و آنها را افزایش دهد اما اثری بر عدد صابونی نخواهد داشت. عدد یدی بالا، با درجه‌ی غیراشباعیت مرتبط است [۳۰]. در مطالعه‌ی انجام شده بر روی دانه پریلا تفاوت معنی‌داری را بین عدد یدی روغن حاصل از روش سوکسله و تیمار اولتراسوند گزارش نکردند و مقادیر مربوط به این فاکتور برای هر این روغن‌ها نزدیک به هم بود [۲۹].

جدول شماره (۵) مقایسه ترکیب اسیدهای چرب بین نمونه کنترل و نمونه‌های مربوط به استخراج با اولتراسوند در زمان ۹۰ دقیقه و دماهای ۴۵ و ۵۵ درجه را نشان می‌دهد. میزان اسید لینولئیک در روغن مربوط به پیش تیمارهای اولتراسوند نسبت به نمونه کنترل، افزایش نشان داد ولی تغییرات معنی‌دار نبود. هم‌چنین سایر اسیدهای چرب نیز تغییر معنی‌داری نداشتند. تحقیقات انجام شده بر روی ترکیب اسیدهای چرب روغن سویا و آفتابگردان در سال ۲۰۰۴، هم‌چنین، مطالعه انجام شده بر روی بذر کتان با این نتایج مطابقت داشت. از آنجاییکه ساختار شیمیایی و ترکیب اسیدهای چرب نقش بسیار مهمی در خصوصیات شیمیایی روغن دارد و حالت فیزیکی آن را نیز تحت تاثیر قرار می‌دهد، ثبات در ترکیب اسیدهای چرب، دلیلی بر مفید بودن امواج اولتراسوند جهت استخراج روغن می‌باشد [۶، ۴۷].

داده‌های مربوط به ضریب شکست روغن، نشان از تغییرات ناچیز این ویژگی داشته و هیچ‌گونه تغییرات معنی‌داری دیده نشد. مطالعه انجام شده بر روی دانه پریلا، مقدار عددی پراکسید را برای این روغن، در صورت استفاده از تیمار اولتراسوند، پایین تر از روش سنتی (سوکسله) نشان شد [۲۹]. این دانشمندان بالا بودن پراکسید روغن برای روش سنتی را به فرایند طولانی استخراج و بالابودن دمای فرایند نسبت دادند، که منجر به تسریع اکسیداسیون می‌شود. این مطالعه با نتایج با مطالعات انجام شده ی قبلی مطابقت داشت [۲۹]. تحقیقات دیگری در سال ۲۰۱۵ انجام شده بود و این دانشمندان تفاوت معنی‌داری را در میزان پراکسید روغن حاصل از روش سنتی (سوکسله) و روش استخراج اولتراسوند مشاهده نکردند [۲۳]. نتایج این تحقیق نشان می‌داد که روغن سبوس برنج استخراج شده با روش اولتراسوند از نظر پایداری اکسیداتیو شباهت زیادی با روغن به دست آمده به روش سوکسله داشت. نتایج این تحقیق مشابه کار انجام شده بر روی دانه انگور و دانه روغنی پاپایا بود [۲۳]. مطالعه دیگری که بر روی استخراج روغن از دانه فلفل با اولتراسوند حمام پرداختند. این‌گونه نتیجه گرفتند که روغن حاصل از روش اولتراسوند بسیار شفاف تر بوده و میزان اسید چرب آزاد آن کمتر، عدد پراکسید کمتر و عدد یدی پایین تری نسبت به روش سوکسله داشت [۴۵]. تحقق دیگری با استخراج روغن آوآکادو با اولتراسوند، نتایج نشان داد که روغن حاصل از این روش، عدد یدی بالاتری نسبت به روش سنتی داشت، ولی نقطه ذوب و رنگ روغن پایین تر بود [۴۶]. هم‌چنین محققان گزارش کردند که روغن حاصل از روش اولتراسوند نسبت به روش سنتی، عدد اسیدی

**Table 5** Fatty acid composition (% of total fatty acids) of safflower oil extracted by different methods.

Fatty acid	SE	UAE (45 °C, 90 min)	UAE (55 °C, 90 min)
C16:0	5.367 ± 0.011 <sup>a</sup>	5.366 ± 0.057 <sup>a</sup>	5.333 ± 0.057 <sup>a</sup>
C16:1	0.107 ± 0.012 <sup>a</sup>	0.090 ± 0.005 <sup>a</sup>	0.100 ± 0.005 <sup>a</sup>
C18:0	2.087 ± 0.023 <sup>a</sup>	2.120 ± 0.010 <sup>a</sup>	2.113 ± 0.015 <sup>a</sup>
C18:1	14.137 ± 0.011 <sup>a</sup>	13.950 ± 0.055 <sup>a</sup>	13.896 ± 0.112 <sup>a</sup>
C18:2	77.943 ± 0.038 <sup>a</sup>	78.025 ± 0.051 <sup>a</sup>	78.106 ± 0.153 <sup>a</sup>
C18:3	0.060 ± 0.001 <sup>a</sup>	0.059 ± 0.002 <sup>a</sup>	0.040 ± 0.001 <sup>a</sup>
C20:0	0.077 ± 0.002 <sup>a</sup>	0.061 ± 0.009 <sup>a</sup>	0.063 ± 0.009 <sup>a</sup>

Mean ± SD (n = 3). Means within a row with the same letter are not significantly different as indicated (P<0.05).

جهت بررسی اثر اولتراسوند بر کیفیت کنجاله، خواص فیزیکوشیمیایی دانه کامل گلرنگ و کنجاله حاصل از روغن‌کشی به روش سوکسله و روش اولتراسوند مقایسه شد. نتایج در جدول

۳-۵- مقایسه خواص فیزیکوشیمیایی کنجاله حاصل از روش اولتراسوند و روش سوکسله

دانه کامل گلرنگ و به همین ترتیب برای دمای  $45^{\circ}\text{C}$  اولتراسوند نسبت به روش سوکسله داشت. بیشترین مقدار TVN برای نمونه مربوط به دمای  $55^{\circ}\text{C}$  گزارش شد. البته تغییرات این فاکتور معنی دار نبود.

در خصوص عوامل ضد تغذیه‌ای، میزان بازدارندگی تریپسین و میزان فعالیت اوره‌آزی مقایسه شد. در واریته گلرنگ مورد مطالعه فعالیت بازدارندگی تریپسین مشاهده نشد. طبق جدول شماره (۶)، بیشترین میزان اوره‌آزی برای دانه‌ی گلرنگ گزارش شد و پس از آن به ترتیب کنجاله حاصل از روش سوکسله، دمای  $45^{\circ}\text{C}$  در روش اولتراسوند و نهایتاً کم‌ترین فعالیت آنزیم مربوط به پیش‌تیمار اولتراسوند در شرایط دمایی  $55^{\circ}\text{C}$  و زمان ۹۰ دقیقه بود. تغییرات گزارش شده برای این فاکتور، در تمام موارد مورد مقایسه در جدول شماره (۶) معنی دار بود.

شماره (۶) آورده شد. مقایسه محتوای پروتئین نشان داد که کم‌ترین مقدار پروتئین مربوط به دانه کامل گلرنگ بود و در صورت روغن‌کشی با هریک از روش‌های مورد مطالعه در این تحقیق، مقدار پروتئین در کنجاله حاصل نسبت به دانه گلرنگ افزایش یافت، در بین روش‌های مورد مطالعه، تفاوت معنی‌داری در محتوای پروتئین خام مشاهده نشد. میزان فیبر خام، خاکستر کل و خاکستر نامحلول در اسید نیز مقایسه شد. نتایج در تمام نمونه‌ها نزدیک به هم بود، به‌طوری‌که میزان فیبر خام در حدود ۳۴٪، خاکستر کل در محدوده ۶٪ و خاکستر نامحلول در اسید حدوداً ۱٪ به‌دست آمد و تفاوت معنی‌داری بین نمونه‌های مورد آنالیز مشاهده نشد.

نتایج مربوط به میزان ازت فرار کل (TVN) نشان از افزایش جزئی این فاکتور در کنجاله حاصل از روش سوکسله نسبت به

**Table 6** Physicochemical properties of safflower seed and meal by different methods.

	Safflower seed	SE	UAE ( $45^{\circ}\text{C}$ , 90 min)	UAE ( $55^{\circ}\text{C}$ , 90 min)
Protein	$17.13 \pm 0.05^b$	$22.44 \pm 0.07^a$	$22.88 \pm 0.51^a$	$22.46 \pm 0.03^a$
PDI	$11.51 \pm 0.06^c$	$12.33 \pm 0.17^b$	$13.19 \pm 0.03^a$	$13.15 \pm 0.04^a$
SP	$91.06 \pm 0.83^c$	$93.64 \pm 0.14^b$	$95.27 \pm 0.65^a$	$94.89 \pm 0.10^a$
CF	$33.86 \pm 0.51^a$	$34.02 \pm 0.27^a$	$33.93 \pm 0.18^a$	$33.99 \pm 0.17^a$
Ash	$6.03 \pm 0.01^a$	$5.94 \pm 0.13^a$	$5.97 \pm 0.10^a$	$6.00 \pm 0.11^a$
AIA	$0.96 \pm 0.06^a$	$0.98 \pm 0.04^a$	$0.96 \pm 0.02^a$	$0.97 \pm 0.04^a$
TVN	$6.51 \pm 0.28^a$	$6.73 \pm 0.35^a$	$6.87 \pm 0.65^a$	$6.88 \pm 0.44^a$
Urease	$0.41 \pm 0.03^a$	$0.31 \pm 0.01^b$	$0.20 \pm 0.02^c$	$0.10 \pm 0.01^d$
Trypsin inhibitor	ND	ND	-	-

Mean  $\pm$  SD (n = 3). Means within a row with the same letter are not significantly different as indicated (P<0.05). ND= Not Detected

در مطالعه حاضر استفاده از پیش‌تیمار اولتراسوند جهت استخراج روغن از دانه‌ی روغنی گلرنگ سبب افزایش معنی‌دار در سرعت استخراج نسبت به روش سنتی (سوکسله) گردید. بهترین شرایط تیمار از نظر راندمان استخراج شامل زمان ۹۰ دقیقه و دماهای ۴۵ و ۵۵ درجه تعیین شد. بررسی خواص فیزیکوشیمیایی روغن تولیدی با روش اولتراسوند و مقایسه‌ی آن با روش سوکسله نشان داد که با افزایش زمان و دمای پیش‌تیمار اولتراسوند، میزان اسیدهای چرب آزاد، پراکسید و فسفاتید روغن افزایش یافت. در خصوص پراکسید روغن و میزان اسیدهای چرب آزاد، بیش‌ترین افزایش و تغییرات معنی‌دار مربوط به زمان ۹۰ دقیقه و دمای ۵۵ درجه گزارش شد. هم‌چنین در خصوص فسفاتید روغن،

مقایسه حلالیت پروتئین در محلول ۰/۲ درصد هیدروکسیدپتاسیم و اندیس پراکندگی پروتئین (PDI) نشان داد که کم‌ترین مقادیر، مربوط به دانه‌ی کامل گلرنگ بود و پس از روغن‌کشی با روش سوکسله، افزایش معنی‌داری در این فاکتورها مشاهده شد. در خصوص روش استخراج اولتراسوند نیز نسبت به دانه‌ی گلرنگ و روش سوکسله مقادیر حلالیت پروتئین و PDI افزایش معنی‌داری را نشان داد. بالاترین مقادیر مربوط به زمان ۹۰ دقیقه و دمای  $45^{\circ}\text{C}$  در پیش‌تیمار اولتراسوند بود و با افزایش دما به  $55^{\circ}\text{C}$ ، مقدار این فاکتورها کاهش یافت.

## ۴- نتیجه‌گیری

- [6] ZHANG, Z.S., WANG, L.J. and LI, D. (2008). Ultrasound-assisted extraction of oil from flaxseed. *Sep. Purif. Technology.*, 62, 192–198.
- [7] Farshid Jalili, Seid Mahdi Jafari, Zahra Emam-Djomeh, Narjes Malekjani, Vahid Farzaneh. (2018). Optimization of Ultrasound-Assisted Extraction of Oil from Canola Seeds with the Use of Response Surface Methodology. *Food Anal. Methods.*, 598–612.
- [8] Yuting Tian, Zhenbo Xu, Baodong Zheng a, Y. Martin Lo. (2013). Optimization of ultrasonic-assisted extraction of pomegranate (*Punica granatum L.*) seed oil. *Ultrasonics sonochemistry.*, ELSEVIER.
- [9] Masoumeh Marhamati<sup>1</sup>, Zahra Kheirati Kakhaki<sup>1</sup>, Mitra Rezaie. (2020). Advance in Ultrasound-Assisted Extraction of Edible Oils: A Review. *Journal of nutrition fasting and health.*
- [10] Khosravi, M., Mortazavi, A. A., Karimi, M., Sharayie, P. & Armin, M. (2013). Comparison of ultrasound assisted and Kelavenger extraction methods on efficiency and antioxidant properties of Fennel's oil essence and its optimization by response surface methodology. *International Journal of Agriculture and Crop Sciences.*, 5-21/2521-2528.
- [11] Krishna B. Gutte, Akshaya K. Sahoo and Rahul C. Ranveer. (2015). Effect of ultrasonic treatment on extraction and fatty acid profile of flaxseed oil. *Oilseeds & fats Crops and Lipids.*
- [12] Bazillagayas, gagandeepkaur and khalid gul. (2016). ultrasound-assisted extraction of apricot kernel oil: effects on functional and rheological properties. *Journal OF Food Process Engineering*, Issn 1745–4530.
- [13] Qing-An, ZhangZhi-Qi, ZhangXuan-Feng, YueXue-Hui, FanTao, LiShou-Fen and Chen. (2009). Response surface optimization of ultrasound-assisted oil extraction from autoclaved almond powder. *Food Chemistry*, ELSEVIER.
- [14] Zhen-shan Zhang, Qing-fang Xie, Liming Che. (2020). Synergistic effects of ultrasound and extraction solvent on the bioactive compound in kenaf seed oil. *Journal of Food Science Technology.*

بالاترین مقادیر مربوط به زمان ۹۰ دقیقه و دماهای ۴۵ و ۵۵ دقیقه بود که اختلاف معنی داری را با نمونه کنترل نشان دادند. ترکیب اسیدهای چرب روغن در روش اولتراسوند، نسبت به روش سوکسله، در هیچیک از بازه‌های زمانی و دمایی اختلاف معنی داری را نشان نداد. بررسی خواص فیزیکوشیمیایی تفاله حاصل از روغن‌کشی نشان داد که امواج اولتراسوند، در اکثر بازه‌ها موجب افزایش حلالیت پروتئین شده و اندیس پراکندگی پروتئین را نیز نسبت به نمونه کنترل افزایش داد، بدون آنکه تاثیر نامطلوبی بر مقادیر مربوط به ازت فرار کل بگذارد. این تکنولوژی موجب کاهش اثرات ضد تغذیه ای کنجاله در تمام بازه ها گردید. نهایتاً با بررسی داده‌های مربوط به این تحقیق می‌توان نتیجه گرفت که استفاده از امواج اولتراسوند در شرایط بهینه، باعث افزایش کارایی و سرعت استخراج روغن از دانه گلرنگ شده و کم‌ترین اثر را بر خواص فیزیکوشیمیایی روغن و کنجاله حاصل خواهد داشت، شرایط بهینه در این پژوهش، زمان ۹۰ دقیقه و دمای ۵۵ °C تعیین شد.

## ۵- منابع

- [1] LI, M., ZHANG, L.F. and LI, J.X. (2005). Purification of linoleic acid in safflower seed oil by urea. *Journal of China Natl Cereals Oils*, 20., 105–107.
- [2] Hu AJ, Feng QQ, Zheng J, Hu XH, Wu C, Liu CY. (2012). Kinetic model and technology of ultrasound extraction of safflower seed oil. *Journal of Food Process Engineering.*, 35(2):278–94.
- [3] Haizhou Li, Lester Pordesimo, Jochen Weiss. (2004). High intensity ultrasound-assisted extraction of oil from soybeans. *Food Research International.*
- [4] Kucuk, M. and Arslan, B. (2005). The nutrition value of safflower oil and its effect on human health. *6<sup>th</sup> International Safflower Conference, Istanbul.*, 363–9.
- [5] ZHENG, J. and HU, A.J. (2007). Various Factors in ultrasonic Extraction of DHA and EPA from algae and effect of ultrasound enhancement. *Technology of Acoust.*, 26, 75–79.

- Oil from Rice Bran: A Response Surface Methodology Approach. *Journal of Food Processing Technology*.
- [24] Fariku, S., Ndonga, A.E. and Bitrus, P.Y. (2007). Biofuel characteristics of beniseed (*Sesamum indicum*) oil. *African Journal of Biotechnology*, 6: 2442–2443.
- [25] D. Pingret, G. Durand, A.-S. Fabiano-Tixier, A. Rockenbauer, C. Ginies, F. Chemat. (2012). Degradation of edible oil during food processing by ultrasound: electron paramagnetic resonance, physicochemical, and sensory appreciation. *Journal of Agrican Food Chemistry*, 7761–7768.
- [26] Hasan Ghazali Vardanjani, Somayeh Taghian, Mehdi Amoheidari. (2019). Optimization of ultrasonic-assisted extraction of sesame oil. *Journal of Medicinal Herbs*.
- [27] Fereidoni Nory, T, Fahimdanesh, M, Sahari, M. A. (2016). Investigation extraction of rosemary leaves the phenolic compounds by ultrasonic technique and its effect on organoleptic properties, physicochemical and stability of virgin olive oil. *Journal of food science technology*, No. 53, Vol. 13, Jul.
- [28] N. Ahmadi Kamazani, H. Tavakolipour, M. Hasani, M. Amiri. (2014). Evaluation and Analysis of the Ultrasound-Assisted Extracted Tomato Seed Oil. *Journal of Food Biosciences and Technology*.
- [29] Huizhen LI, Zhijun ZHANG, Dongliang HE, Yaoyao XIA, Qingye LIU, Xiaojun LI. (2017). Ultrasound-assisted aqueous enzymatic extraction of oil from perilla seeds and determination of its physicochemical properties, fatty acid composition and antioxidant activity. *Food Science and Technology*.
- [30] Ali AarabiArabani, Fakhrisadat Hosseini, NavidehAnarjan. (2015). The effects of ultrasound pretreatment processes on oil extraction from tomato wastes. *International Journal of Biosciences*, Vol. 6, No. 4, p. 8-15.
- [31] Emad Karrar., SujitrajSheth., Wei Wei. and Xingguo Wang. (2020). Effect of microwave heating on lipid composition, oxidative stability, color value, chemical properties, and antioxidant activity of gurum (*Citrulluslanatus* var. *Colocynthis*) seed oil. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*.
- [15] AOCS, F. D. (1998). Official methods and recommended practices of the American Oil Chemists' Society. AOCS, 5, 2–93.
- [16] Bahareh Dehghan, Reza Esmailzadeh Kenari, Zeinab Raftani Amiri. (2020). Nano-encapsulation of orange peel essential oil in native gums (*Lepidium sativum* and *Lepidium perfoliatum*): Improving oxidative stability of soybean oil. *Journal of food processing and preservation*.
- [17] Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists (AOAC), 17th ed. (2000). chapter 2, p.16, test method 2.4.07
- [18] Hend Y. G. Mohameda, Eman H. Ismaila, Mahmoud M. Elaasser b, Mostafa M.H. Khalil. (2021). Green Synthesis of Zinc Oxide Nanoparticles Using *Portulaca oleracea* (Regla Seeds) Extract and Its Biomedical Applications. *Egyptian Journal of Chemistry*.
- [19] Erdaw. M, M. Maldonado, R. A. P, Bhuiyan, M.M. Iji, P. A. (2016). Physicochemical properties and enzymatic in vitro nutrient digestibility of full-fat soybean meal. *Journal of Food, Agriculture & Environment*, Vol.14 No.1.
- [20] Vanessa Matilde García-Hernández, Mohammad Hojjati, Ángel Antonio Carbonell-Barrachina, Joaquín Sánchez-Soriano, Enrique Roche, Elena García-García. (2017). Comparison Of Soxhlet and Ultrasound Methods For Oil Extraction From Spanish Flaxseeds. *Journal of microbiology biotechnology and food science*.
- [21] Khosravi, M., Mortazavi, A. A., Karimi, M., Sharayie, P. & Armin, M. (2013). Comparison of ultrasound assisted and Kelavengerextraction methods on efficiency and antioxidant properties of Fennel's oil essence and its optimization by response surface methodology. *International Journal of Agriculture and Crop Sciences*, 5-21/2521-2528.
- [22] Samaram S, Mirhosseini H, Tan CP, Ghazali HM. (2013). Ultrasound-Assisted Extraction (UAE) and Solvent Extraction of Papaya Seed Oil: Yield, Fatty Acid Composition and Triacylglycerol Profile. *Molecules*, 18: 12474-12487.
- [23] Krishnan VCA, Kuriakose S and Rawson A. (2015). Ultrasound Assisted Extraction of



- effect of different levels of diet total volatile nitrogen on hematological parameters in broiler chickens. *Journal of Livestock Science*, 9: 130-139.
- [40] N L Morgunova, F Y Rudik, N A Semilet, S A Bredikhin, A S Bredikhin, D V Makarov and E A Sundukov. (2021). Technologies and technical means of soybean processing, IOP Conference Series: Earth and Environmental Science.
- [41] Hao Hu, Jiahui Wu, Eunice C.Y. Li-Chan, Le Zhu, Fang Zhang, Xiaoyun Xu, Gang Fan, Lufeng Wang, Xingjian Huang, Siyi Pan. (2013). Effects of ultrasound on structural and physical properties of soy protein isolate (SPI) dispersions. *Food Hydrocolloids*, ELSEVIER.
- [42] Arzeni, C., Martínez, K., Zema, P., Arias, A., Pérez, O., & Pilosof, A. (2011). Comparative study of high intensity ultrasound effects on food proteins functionality. *Journal of Food Engineering*, 108(3), 463e472.
- [43] Md Mahfuzur Rahman Buddhi P. Lamsal. (2020). Ultrasound-assisted extraction and modification of plant-based proteins: Impact on physicochemical, functional, and nutritional properties., Wiley.
- [44] SuphatPhongthai., Seung-Taik Lim. and SaroatRawdkuen. (2016). Optimization of microwave-assisted extraction of rice bran protein and its hydrolysates properties, *Journal of Cereal Science*, 70, 146e154.
- [45] Ma Y, Wu X, Zhao L, Wang Y, Liao X. (2019). Comparison of the compounds and characteristics of pepper seed oil by pressure-assisted, ultrasound-assisted and conventional solvent extraction. *Innovative food science & emerging technologies*., 54:78-86.
- [46] Tan CX, Chong GH, Hamzah H, Ghazali HM. (2018). Comparison of subcritical CO<sub>2</sub> and ultrasound-assisted aqueous methods with the conventional solvent method in the extraction of avocado oil. *J Supercrit Fluids*, , 135:45-51.
- [47] J.L. Luque-García, M.D. Luque de Castro. (2004). Ultrasound-assisted Soxhlet extraction: an expeditive approach for solid sample treatment Application to the extraction of total fat from oleaginous seeds. *Journal of Chromatography A*., 237-242.
- [32] Hui Hu., Hongzhi Liu., Aimin Shi., Li Liu., Marie Laure Fauconnier. and Qiang Wang. (2018). The Effect of Microwave Pretreatment on Micronutrient Contents, Oxidative Stability and Flavor Quality of Peanut Oil., *MDPI journal of moleculs*.
- [33] Yen, G.C. (1990). Influence of seed roasting process on the changes in composition and quality of sesame (*Sesame indicum*) oil. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 50 (4), 563-570.
- [34] KNOTHE, G. (2015). Analyzing biodiesel: Standards and other methods. *AOCS*., 83, 823-833.
- [35] ShadiSamaram., Hamed Mirhosseini., Chin Ping Tan., HasanahMohd Ghazali., Sara Bordbar. and Alireza Serjouie. (2015). Optimisation of ultrasound-assisted extraction of oil from papaya seed by response surface methodology: Oil recovery, radical scavenging antioxidant activity, and oxidation stability, *Food Chemistry*. ELSEVIER.
- [36] NitziaThalia Flores-Jiméneza , José Armando Ulloaa,c, Judith Esmeralda UríasSilvasb , José Carmen Ramírez Ramírezd, Petra Rosas Ulloac, Pedro Ulises Bautista Rosalesa,c, Yessica Silva Carrilloe, Ranferi Gutiérrez Leyvad. (2019). Effect of high-intensity ultrasound on the compositional, physicochemical, biochemical, functional and structural properties of canola (*Brassica napus* L.) protein isolate, *Food Research International*. ELSEVIER.
- [37] Resendiz-Vazquez, J. A., Ulloa, J. A., Urías-Silvas, J. E., Bautista-Rosales, P. U., RamírezRamírez, J. C., Rosas-Ulloa, P., & González-Torres, L. (2017). Effect of high-intensity ultrasound on the technofunctional properties and structure of jackfruit (*Artocarpus heterophyllus*) seed protein isolate. *Ultrasonics Sonochemistry*, 37, 436-444.
- [38] FarhadFallah, Yahya Ebrahimnezhad, Naser Maheri-Sis, and Mohammad Ghasemi-Sadabadi. (2016). The effect of different levels of diet total volatile nitrogen on performance, carcass characteristics and meat total volatile nitrogen in broiler chickens, *Archives Animal Breeding*., 59, 191-199.
- [39] M. Ghasemi-Sadabadi., Y. Ebrahimnezhad., N. Maheri-Sis. and B. Eshratkhal. (2018). The



## The effect of ultrasound-assisted extraction of oil from safflower oilseed and physicochemical properties of produced oil and meal

Shahi Chehragh, A.<sup>1</sup>, Raftani Amiri, Z.<sup>2\*</sup>, Esmailzadeh Kenari, R.<sup>2</sup>

1. MSc student of Food Science and Technology, Sari Agriculture and Natural Resources University.

2. Professor, Department of Food Science and Technology, Sari Agriculture and Natural Resources University.

### ABSTRACT

Among of the emerging methods to increase the efficiency of oil extraction from oilseeds, the use of ultrasound has attracted the attention of researchers. In this study, bath ultrasound with frequency of 37 kHz was used and the variables included times of 30, 60 and 90 minutes and temperatures of 35, 45 and 55° C. Some physicochemical analysis were tested on the extracted oil and the remaining meal, and compared with the results of the traditional method (Soxhlet). Maximum oil efficiency in the ultrasound-assisted extraction (UAE) method was 17.4%. Ultrasound pretreatment did not have much effect on the composition of fatty acids, iodine value, refractive index and saponification value of the oil. However, the amount of free fatty acids, phosphatide and peroxide value increased with increasing time and temperature of pretreatment. The results of meal analysis showed that ash, crude fiber and crude protein were not affected by ultrasound. Trypsin inhibitory activity (TIA) was also measured and it was found that safflower seeds studied in this Research did not have TIA. The effect of this pretreatment on the urease activity was significant ( $P < 0.05$ ) and reduced the activity of this enzyme, which is an undesirable and anti-nutritional factor. The results showed that UAE had no adverse effect on protein solubility of meal, and increased it under optimal conditions. The use of ultrasound pretreatment under optimal conditions increased the oil efficiency and reduced the extraction time, compared to the traditional method (Soxhlet), without having an adverse effect on the physicochemical properties of the extracted oil and residue meal.

### ARTICLE INFO

#### Article History:

Received 2021/06/20

Accepted 2021/08/07

#### Keywords:

Meal,  
Phosphatide,  
Safflower oil,  
Ultrasound,  
Urease.

**DOI: 10.52547/fsct.18.119.331**

\*Corresponding Author E-Mail:  
[z.raftani@sanru.ac.ir](mailto:z.raftani@sanru.ac.ir)