



DOI: 10.22034/fr.2021.34241.1678

## بهینه‌سازی استخراج روغن از دانه‌های آفتابگردان با کمک پیش تیمار ریزموج-فراصوت

مرجان سقلی<sup>۱</sup>، حمید بخش آبادی<sup>۲</sup>، راحیل رضایی<sup>۳\*</sup> و محمود فرمانی<sup>۴</sup>

تاریخ دریافت: ۹۸/۴/۱۱ تاریخ پذیرش: ۹۸/۹/۳

<sup>۱</sup>دانش آموخته کارشناسی ارشد علوم و صنایع غذایی، واحد گنبد کاووس، دانشگاه آزاد اسلامی، گنبد کاووس

<sup>۲</sup>دکتری علوم و صنایع غذایی، واحد گنبد کاووس، دانشگاه آزاد اسلامی، گنبد کاووس

<sup>۳</sup>استادیار، گروه علوم و صنایع غذایی، واحد گنبد کاووس، دانشگاه آزاد اسلامی، گنبد کاووس

<sup>۴</sup>مدیرکل سازمان ملی استاندارد استان گلستان

\*مسئول مکاتبه: Email: Rezaei.rahil@yahoo.com

### چکیده

**زمینه مطالعاتی:** محدودیت اصلی استخراج روغن با پرس میزان بالای روغن باقیمانده در کنجاله است. بنابراین اخیراً تکنیک‌هایی از قبیل استخراج با فراصوت و ریزموج در این زمینه مورد توجه قرار گرفته است. هدف: هدف از این مطالعه بررسی کاربرد پیش تیمار ریزموج-فراصوت در استخراج روغن از دانه‌های آفتابگردان بود. روش کار: دانه‌ها در ابتدا تحت تأثیر پیش تیمار ریزموج با زمان‌های مختلف فرایند (۰ تا ۱۲۰ ثانیه) و سپس فراصوت با سه سطح زمان مختلف (۰ تا ۵۰ دقیقه) مورد تیمار قرار گرفتند. بعد از اعمال این تیمارها، روغن دانه‌ها با پرس مارپیچی و با سرعت‌های متفاوت (۱۱ تا ۵۷ دور در دقیقه) استخراج شد و روی این روغن‌ها آزمایشاتی در قالب طرح باکس بنکن از قبیل میزان راندمان استخراج روغن، ضریب شکست، شاخص رنگ، اسیدیته و ترکیبات فنولی کل صورت گرفت و همچنین پروفایل اسیدهای چرب نمونه شاهد و نمونه حاصل از شرایط بهینه تعیین گردید. **نتایج:** با افزایش زمان ریزموج و فراصوت راندمان استخراج روغن افزایش یافت هرچند در زمان‌های بالای فراصوت و یا ریزموج با افزایش این دو پارامتر، مقداری راندمان استخراج روغن کاهش یافت ولی با افزایش سرعت دورانی پرس میزان راندمان استخراج کاهش یافت. با افزایش زمان ریزموج و فراصوت و همچنین سرعت دورانی پرس میزان شاخص رنگ و اسیدیته افزایش یافت. از طرفی مشخص شد که تمامی متغیرهای آزمایش بر ضریب شکست روغن‌ها بی‌تأثیر بود و میزان آن برای تمامی نمونه‌های اندازه‌گیری شده برابر ۱/۰۴۷۱ بود. با افزایش زمان ریزموج و فراصوت فنول کل روغن‌ها ابتدا افزایش و سپس کاهش یافت. بهینه‌سازی فرایند نیز نشان داد که اگر زمان ریزموج ۳۳/۷۱ ثانیه، زمان فراصوت ۲۸/۳۷ دقیقه و سرعت دورانی پرس مارپیچی ۱۱ دور در دقیقه باشد منجر به رسیدن به مطلوبیت ۰/۸۵۱ خواهد شد. نتایج حاصل از بررسی پروفایل اسیدهای چرب نمونه شاهد و نمونه حاصل از شرایط بهینه نیز مشخص نمود، زمانی که از پیش تیمار ریزموج-فراصوت به عنوان پیش تیمار برای استخراج روغن استفاده شده بود، میزان اسید چرب غیراشباع روغن (اسید لینولئیک) افزایش ولی میزان اسیدهای چرب اشباع آن‌ها (اسید پالمیتیک و استئاریک) کاهش یافت ( $P < 0.05$ ).

**واژه‌های کلیدی:** آفتابگردان، پیش تیمار ریزموج-فراصوت، ترکیبات فنولی، ویژگی‌های فیزیکی شیمیایی

## مقدمه

دانه‌های روغنی مهم‌ترین محصولات حاوی روغن‌های نباتی هستند که در کشاورزی جایگاه خاصی دارند و اراضی وسیعی در سراسر جهان به کشت این محصولات با ارزش اختصاص دارد. سویا، کلزا، آفتابگردان، ذرت، پنبه دانه، بادام زمینی، نخل روغنی، زیتون و نارگیل از بزرگترین منابع تامین روغن‌های نباتی هستند (مالک ۱۳۷۹). آفتابگردان با نام علمی *Helianthus annuus* که به صورت بوته‌ای استوار رشد می‌کند. طول دوره رشد آفتابگردان بسته به رقم و کلیه عوامل محیطی از ۹۰ تا ۱۵۰ روز می‌باشد (خواجه پور ۱۳۸۵). دو مصرف اصلی دانه آفتابگردان برای روغن‌گیری و مصارف آجیلی است. انواع آجیلی، دانه درشت‌تری نسبت به انواع روغنی دارند و حدود ۲۰ تا ۲۵ درصد روغن دارد. میزان پروتئین دانه آفتابگردان حدود ۱۷ درصد است (آلیاری و شکاری ۱۳۷۹). در واقع، آفتابگردان یکی از عمده‌ترین دانه‌های روغنی در جهان می‌باشد که به دلیل مناسب بودن نیازهای زراعی، عملکرد بالای روغن، بالا بودن ارزش غذایی و فقدان عوامل ضد تغذیه‌ای، سطح زیر کشت آن افزایش یافته است (کازی و همکاران ۲۰۰۲). سطح زیر کشت آفتابگردان در ایران معادل ۸۲۴۶ هکتار گزارش شده که از این سطح زیر کشت ۸۷۷۶ تن دانه برداشت شده است. متوسط عملکرد محصول آفتابگردان روغنی کشور در اراضی آبی ۱۳۹۳/۳ کیلوگرم در هکتار و در اراضی دیم ۳۷۰/۸ کیلوگرم در هکتار می‌باشد (احمدی و همکاران ۱۳۹۵). روغن آفتابگردان نقش مهمی از نظر تغذیه‌ای دارد و این به علت ویژگی‌هایی از جمله پایداری اکسیداسیونی بالا و وجود اسیدهای چرب با باند دوگانه نظیر لینولئیک اسید آن می‌باشد (موچنز و بیسکاپک کورل ۲۰۰۶).

چهار نوع اسید چرب پالمیتیک اسید (۵/۹ درصد)، استئاریک اسید (۵/۷ درصد)، اولئیک اسید (۲۱/۸ درصد) و لینولئیک اسید (۶۶/۵ درصد) به طور میانگین ۹۹/۹ درصد از کل اسیدهای چرب را در ارقام معمولی

آفتابگردان تشکیل می‌دهند (فرناندز مارتینز و همکاران ۱۹۹۰). یکی از روش‌های استخراج روغن، استخراج مکانیکی (پرس) می‌باشد که معمولاً در مقیاس‌های کوچک استفاده می‌گردد. روش استخراج مکانیکی روغن خود بر دو قسم، پرس گرم و سرد می‌باشد. بازده استخراج روغن در پرس گرم بالاتر از پرس سرد بوده ولی به دلیل حرارت تولید شده در حین فشردن، کیفیت روغن حاصله پایین‌تر است (سینگر و همکاران ۲۰۰۸). در استخراج روغن به روش پرس سرد، عوامل مختلفی از قبیل فشار پرس، سرعت دورانی پرس مارپیچی، رطوبت دانه و درجه حرارت فرایند بر راندمان روغن استخراج شده تأثیر دارد. در این روش عدم استفاده از مواد شیمیایی، منجر به تولید روغن و کنجاله عاری از ترکیبات شیمیایی شده در نتیجه مصرف روغن و کنجاله آن برای انسان و دام بسیار مناسب می‌باشد. محدودیت اصلی استخراج روغن با پرس میزان بالای روغن باقیمانده در کنجاله است که گاهی در برخی از منابع تا ۲۰-۱۰ درصد هم گزارش شده است. در طول این فرایند بایستی میزان رطوبت و دمای ماده اولیه را نیز به شدت کنترل نمود تا پروتئین‌های کنجاله آسیب نیند (آزادمرد دمیرچی و همکاران ۲۰۱۰؛ اندرسون ۱۹۹۶؛ بارگیل و همکاران ۱۹۹۷). بنابراین اخیراً تکنیک‌هایی از قبیل استخراج با فراصوت (لو و همکاران ۲۰۱۰) و ریز موج (بخش آبادی و همکاران ۲۰۱۷) در این زمینه مورد توجه قرار گرفته است. امواج فراصوت به شکلی از امواج مکانیکی گفته می‌شود که فرکانس آنها بالاتر از حد شنوایی انسان است و روشی است که در صنایع غذایی برای فرآوری و آنالیز مواد غذایی مورد استفاده قرار می‌گیرد. امواج فراصوت در فرکانس بیش از ۱۸ کیلوهرتز قرار دارند و در دو محدوده فراصوت با شدت بالا (قوی) در فرکانس ۱۰۰-۱۸ کیلوهرتز و با شدت پایین (ضعیف) در فرکانس ۱۰۰-۱۰۰۰ کیلوهرتز وجود دارند (پوی و ماسون ۱۹۹۸). از محققینی که از فراصوت در استخراج روغن استفاده کردند، می‌توان به شیرازی (۱۳۹۶)، جیمنز و همکاران (۲۰۰۷) و جلیلی و همکاران (۲۰۱۷) اشاره نمود. ریزموج‌ها، امواج الکترومغناطیسی غیریونیزه با فرکانس بین ۳۰۰ مگاهرتز

شرکت‌های معتبر مرک و سیگما تهیه شد. تجهیزات مورد استفاده در این تحقیق عبارتند از دستگاه اسپکتروفتومتر (Biochrom، انگلیس)، ال‌ک آزمایشگاهی، دسیکاتور، آون آزمایشگاهی (Memert، آلمان)، سانتریفوژ (Thermo، ژاپن)، ترازوی دیجیتال (Gec Avery، ساخت انگلستان)، رفاکتومتر (Abbe، کرو، آلمان)، دستگاه ریزموج (LG، کره جنوبی)، دستگاه فراصوت حمام‌دار (طیف‌گستر، ایران) و پرس مارپیچی آزمایشگاهی (Kern Kraft، آلمان).

### اعمال پیش‌تیمار ترکیبی روی دانه‌ها و استخراج روغن

برای این منظور دانه‌ها در ابتدا تحت تأثیر پیش‌تیمار ریزموج برای سه زمان مختلف (۰ تا ۱۲۰ ثانیه) و توان ۵۴۰ وات قرار گرفتند و بعد از این مرحله، آنها با استفاده از دستگاه فراصوت حمام‌دار با سه سطح زمان مختلف (۰ تا ۵۰ دقیقه) با فرکانس ثابت ۲۵ کیلوهرتز مورد تیمار قرار گرفتند (جلیلی و همکاران ۲۰۱۷؛ بخش آبدی و همکاران ۲۰۱۷). بعد از اعمال این تیمارها، روغن دانه‌ها با پرس مارپیچی و با سرعت‌های متفاوت (۱۱ تا ۵۷ دور در دقیقه) استخراج شد (جدول ۱) و روی این روغن‌ها آزمایشات مختلف، صورت گرفت.

**محاسبه راندمان استخراج روغن (راندمان روغن‌کشی)**  
با استفاده از ترازوی دیجیتال با دقت ۰/۰۱ و با استفاده از رابطه ۱ به دست آمد.

رابطه [۱]

$$100 \times \frac{\text{وزن روغن حاصله}}{\text{وزن دانه‌های اولیه}} = \text{راندمان استخراج روغن (درصد)}$$

### اندازه‌گیری ضریب شکست

ضریب شکست روغن‌ها با دستگاه رفاکتومتر و در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد و مطابق روش AOCS Cc 7-25 (۱۹۹۳) تعیین گردید.

### تعیین شاخص رنگ

برای سنجش رنگ که اغلب مخلوطی از رنگ‌های قرمز و زرد است از اسپکتروفتومتر و روش AOCS Cc 13-92 (۱۹۹۳) استفاده شد. برای این منظور دانسیته اپتیک روغن را در طول موج‌های ۴۶۰، ۵۵۰، ۶۲۰ و ۶۷۰

تا ۳۰۰ گیگاهرتز هستند و میان امواج رادیویی و اشعه مادون قرمز در طیف الکترومغناطیسی قرار دارند که از دو میدان عمودی نوسانی یعنی میدان الکتریکی و مغناطیسی ساخته می‌شوند. حرارت‌دهی معمولی وابسته به پدیده هدایت-جابجایی بوده و سرانجام مقدار زیادی از انرژی حرارتی از طریق محیط از دست می‌رود در حالی که با این امواج، حرارت‌دهی در یک مسیر مشخص و انتخابی و بدون اتلاف حرارت به محیط اتفاق می‌افتد، یعنی همانند حرارت‌دهی که در یک سیستم بسته صورت می‌گیرد. اصول حرارت‌دهی با ریزموج‌ها، بر اساس تأثیر مستقیم امواج با حلال و مواد قطبی بوده و به وسیله دو پدیده انتقال یونی و چرخش دوقطبی اثر می‌گذارد که در بیشتر موارد هم‌زمان اتفاق می‌افتد (مندل و همکاران، ۲۰۰۷). این امواج موجب تبخیر آب از ساختار مواد گیاهی و افزایش فشار در محیط داخلی می‌گردد که این مسئله می‌تواند سبب تجزیه مواد، گسیختگی غشاء، افزایش کارایی استخراج روغن با پرس سرد و عبور روغن از غشاء سلولی گردد (آگیلا و استنلی ۱۹۹۹). از مطالعاتی که در آن از ریزموج در استخراج روغن بهره بردند، می‌توان از مطالعات مومنی و همکاران (۲۰۱۲)، ان دی و همکاران (۲۰۱۵) و بخش آبدی و همکاران (۱۳۹۷) نام برد. با توجه به این‌که تاکنون هیچ‌گونه پژوهشی در زمینه‌ی استفاده از پیش‌تیمار ترتیبی استخراج روغن از دانه‌های آفتابگردان صورت نگرفته است به همین دلیل در پژوهش حاضر سعی شد که کاربرد پیش تیمار ریزموج-فراصوت در استخراج روغن از دانه‌های آفتابگردان مورد بررسی قرار گیرد.

### مواد و روش‌ها

جهت انجام این پژوهش دانه‌های آفتابگردان (حاوی ۲۸/۵ درصد روغن) از مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان گلستان تهیه شد. سپس مواد خارجی از قبیل بذر علف‌های هرز، شن و سنگ توسط دست جدا گردید و جهت انجام آزمایشات به آزمایشگاه صنایع غذایی دانشگاه آزاد اسلامی واحد گنبد کاووس منتقل شد. مواد شیمیایی، سود، فنل فتالئین، معرف فولین سیوکالتو، متانول، اتانول، استونیتریل و هگزان از

نانومتر با اسپکتروفتومتر اندازه‌گیری و سپس از رابطه  

$$A_{670} = 0.056 + 0.021 A_{410} + 0.046 A_{690} \quad (1)$$
 شاخص رنگ  
 ۲ برحسب رنگ زرد لایباند شاخص رنگ تعیین شد.  
 رابطه [۲]

جدول ۲- پیش تیمارهای مورد استفاده در تحقیق

Table 2- The pretreatments used in the study

Number	Microwave time(s)	Ultrasound time(min)	Press speed (rpm)
1	0	0	34
2	120	0	34
3	0	50	34
4	120	50	34
5	0	25	11
6	120	25	11
7	0	25	57
8	120	25	57
9	60	0	11
10	60	50	11
11	60	0	57
12	60	50	57
13	60	25	34
14	60	25	34
15	60	25	34
16	60	25	34
17	60	25	34

دما ۵ دقیقه نگهداری شد. دمای درجه تزریق و دمای آشکارساز ۲۱۰ درجه سانتی‌گراد و سرعت جریان گاز حامل (هلیوم) ۱ میلی‌لیتر بر دقیقه بود. در نهایت سطح منحنی حاصل از دستگاه با منحنی استاندارد مقایسه و نوع و مقدار هر اسید چرب سازنده روغن بر حسب درصد تعیین گردید.

#### تجزیه و تحلیل آماری

روش‌شناسی سطح پاسخ، با استفاده از طرح باکس بنکن برای ارزیابی پارامترهای ثابت مطالعه، زمان ریزموج (X<sub>1</sub>)، زمان فراصوت (X<sub>2</sub>) و سرعت دورانی پرس مارپیچی (X<sub>3</sub>) بر میزان راندمان استخراج روغن، ضریب شکست، شاخص رنگ، اسیدیته و ترکیبات فنولی بعنوان پارامترهای متغیر، مورد استفاده قرار گرفت. به کمک این طرح کلیه ضرایب مدل رگرسیون درجه دوم و اثر متقابل فاکتورها قابل برآورد هستند. مهم‌ترین مسئله در این تحقیق بررسی اثر متقابل فاکتورها و یافتن بهترین شرایط فرآیند استخراج روغن از آفتابگردان بود. از این رو طرح آماری سطح پاسخ انتخاب گردید. برای ارزیابی رفتار سطوح پاسخ، یک معادله چند جمله‌ای درجه دوم برای هر متغیر مستقل برازش داده شد. در

#### اندازه‌گیری اسیدیته

برای اندازه‌گیری اسیدیته از روش AOCs Cd 3-63 (۱۹۹۳) استفاده شد.

#### تعیین میزان ترکیبات فنولی کل

محتوای فنولی کل با روش رنگ‌سنجی و با استفاده از معرف فولین سیوکالتو تعیین شد (بیل و همکاران، ۲۰۰۸).

#### مشخص کردن ساختار (پروفایل) اسیدهای چرب

بعد از یافتن بهترین تیمار برای اندازه‌گیری ساختار اسیدهای چرب، ابتدا متیل استر اسیدهای چرب تهیه گردید و آنالیز متیل استر اسیدهای چرب مطابق روش AOCs Ce 2-66 (۱۹۹۳) صورت گرفت. به منظور آنالیز متیل استر اسیدهای چرب، از دستگاه گاز کروماتوگرافی (GC) مجهز به ستون موبینی سیلیکایی ۷۰ با طول ۶۰ متر و قطر ۰/۲۵ میکرومتر با ضخامت فیلم ۰/۲۵ میکرومتر استفاده شد. دمای اولیه ۸۰ درجه سانتی‌گراد بود و با افزایش ۱۵ درجه سانتی‌گراد در دقیقه به ۲۰۰ درجه سانتی‌گراد رسید و در این دما ۱۰ دقیقه نگهداری شد، سپس دمای آن به ۲۲۰ درجه سانتی‌گراد رسید و در این

نهایت برای مقایسه بین پروفایل اسیدهای چرب نمونه‌ی حاصل از شرایط بهینه با نمونه کنترل (تیمار نشده) از نرم‌افزار SAS و آزمون دانکن استفاده شد.

جدول ۲- انتخاب مدل برای فاکتورهای اندازه‌گیری شده

Table 2- Model selection for measured parameters

Models	Extraction efficiency		Acidity (% oleic acid)		Color		Refraction coefficient		Total phenol(ppm)	
	Sum of squares	probability	Sum of squares	probability	Sum of squares	probability	Sum of squares	probability	Sum of squares	probability
Intercept	17071.72		38.4		553600		18.64		66091	
linear	4.09	0.42	1.76	0.0032	10374	0.0001>	0	1	496.81	0.72
2FI	16.51	0.0001>	0.017	0.9801	971.99	0.0001>	0	1	168/99	0.9446
quadratic	0.35	0.4	0.93	0.0001>	6.33	0.2339	0	1	4554.88	0.0001>
polynomial	0.72	0.002	0.031	0.0015	6.81	0.05	0	1	38.5	0.0002
Cubic										
polynomial										
Residue	0.0069		0.009		1.38		0		0.45	
Total	17093.40		41.14		564900		18.64		71351.26	

جدول ۳- جدول آنالیز واریانس فاکتورهای اندازه‌گیری شده

Table 3- Analysis of Variance for measured parameters

Models	Extraction efficiency		Acidity (% oleic acid)		Color		Refraction coefficient		Total phenol (ppm)	
	Sum of Squares	Probability	Sum of Squares	Probability	Sum of Squares	Probability	Sum of Squares	Probability	Sum of Squares	Probability
Model	20.60	<0.0001	2.71	<0.001	11346	<0.001	*/**	-	5220	<0.001
A	1.54	0.004	1.22	<0.001	6319.69	<0.001	-	-	377.16	<0.001
B	1.19	0.007	0.51	<0.001	3941.39	<0.001	-	-	105.42	0.0033
C	1.36	0.005	0.029	0.04	113.55	<0.001	-	-	14.23	0.1538
A2	-	-	0.29	<0.001	-	-	-	-	2071.89	<0.001
B2	-	-	0.59	<0.001	-	-	-	-	2220	<0.001
C2	-	-	0.0027	0.812	-	-	-	-	0.068	0.9150
AB	16.44	<0.001	0.0081	0.2248	586.85	<0.001	-	-	44.09	0.0260
AC	0.026	0.637	0.009	0.2027	7.62	0.0449	-	-	50.77	0.0194
BC	0.04	0.557	0.00025	0.943	372.52	<0.001	-	-	74.13	0.0082
Residue	1.08	-	0.032	-	14.51	-	-	-	38.95	-
Lack of fit	1.07	0.02	0.031	0.015	13.14	0.0574	*/**	-	38.5	0.02
Pure error	0.006	-	0.009	-	1.38	<0.001	*/**	-	0.45	-
Sum of total squares	21.69		2.74		11361.14	<0.001	*/**	-	5259.63	-

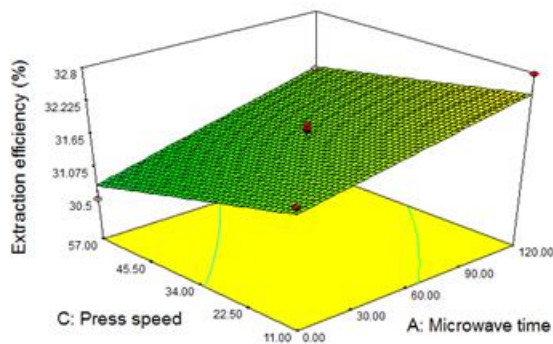
### نتایج و بحث

تاثیر پارامترهای عملیاتی بر راندمان استخراج روغن مدل چند جمله‌ای ساده در مورد راندمان استخراج روغن در برآزش داده‌ها نسبت به سایر مدل‌های پیشنهادی، اختلاف معنی‌داری داشت ( $p < 0.01$ ، جدول ۲). مدل مناسب با توجه به معنی‌دار بودن آزمون  $F$  ( $p < 0.01$ ) و معنی‌دار نبودن مقدار فقدان برآزش ( $p > 0.01$ ) در مورد آن و همچنین مقادیر  $R^2$  و  $R^2$  اصلاح شده و ضریب تغییرات انتخاب شد و در نهایت پارامترهای موثر بر مدل‌های به‌دست آمده با توجه به جدول آنالیز واریانس (جدول ۳) انتخاب و در مدل نهایی جایگذاری شدند. شکل a ۱ نشان داد که با افزایش زمان ریزموج و فراصوت، راندمان استخراج روغن افزایش یافت هرچند در زمان‌های بالای فراصوت و یا ریزموج با افزایش این دو

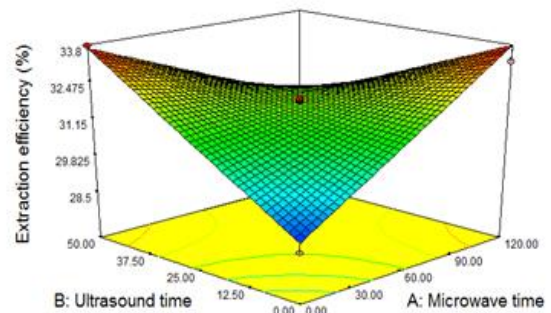
پارامتر مقداری راندمان استخراج روغن به علت تخریب مجاری خروجی روغن کاهش یافت. افزایش راندمان استخراج روغن با افزایش زمان ریزموج می‌تواند به شکستگی بیشتر سلول‌های حاوی روغن یا ناشی از تخریب ترکیبات پروتئینی در طول تیمار با ریزموج در ارتباط باشد (محمد و اواتیف ۱۹۹۸؛ اوکیچ و همکاران ۲۰۰۸). نتایج این بخش با یافته‌های مومنی و همکاران (۲۰۱۲)، ان دی و همکاران (۲۰۱۵) و بخش آبادی و همکاران (۱۳۹۷) مطابقت داشت. اثر اصلی امواج فراصوت فروپاشی و انفجار حباب‌های کائیتاسیون (حفره‌زایی) است. با افزایش زمان فراصوت حباب‌های کائیتاسیونی ایجاد می‌شود که قدرت فروپاشی و انفجار بالایی دارد و نیروی حاصله از انفجار حباب‌ها، باعث افزایش تخریب دیواره سلولی و در نتیجه انتقال جرم

میزان راندمان استخراج به علت کمتر شدن میزان فشار وارده بر دانه‌ها (بخش آبادی و همکاران ۱۳۹۵)، میزان کمی کاهش یافت. در جدول ۳، مدل نهایی ارائه شده برای راندمان استخراج روغن حاکی از اثرگذاری بیشتر متغیر اثر متقابل زمان ریزموج و فراصوت بود.

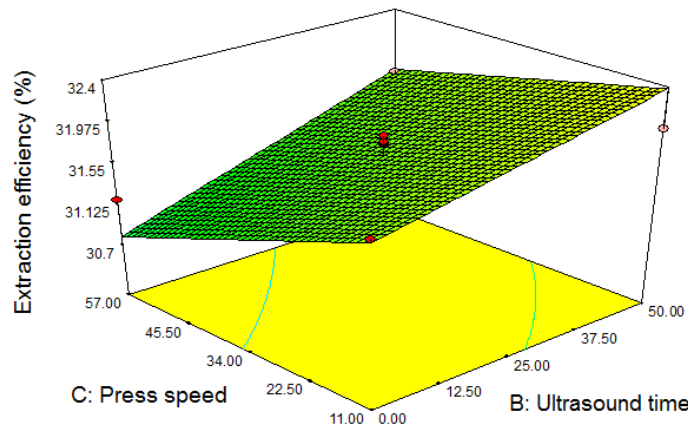
(روغن) بیشتر از دانه به حلال می‌شود (لو و همکاران ۲۰۱۰) و با نتایج جیمنز و همکاران (۲۰۰۷) که اثر امواج فراصوت با قدرت بالا را روی خمیر زیتون جهت استخراج روغن زیتون خام مورد مطالعه قرار داده بودند، هم‌راستا بود. از طرفی در اشکال ۱ b و c به خوبی مشخص است که با افزایش سرعت دورانی پرس



(b)



(a)



(c)

شکل ۱- اثر (a) زمان ریزموج و فراصوت، (b) زمان ریزموج و سرعت پرس و (c) زمان فراصوت و سرعت پرس بر بازدهی استخراج روغن

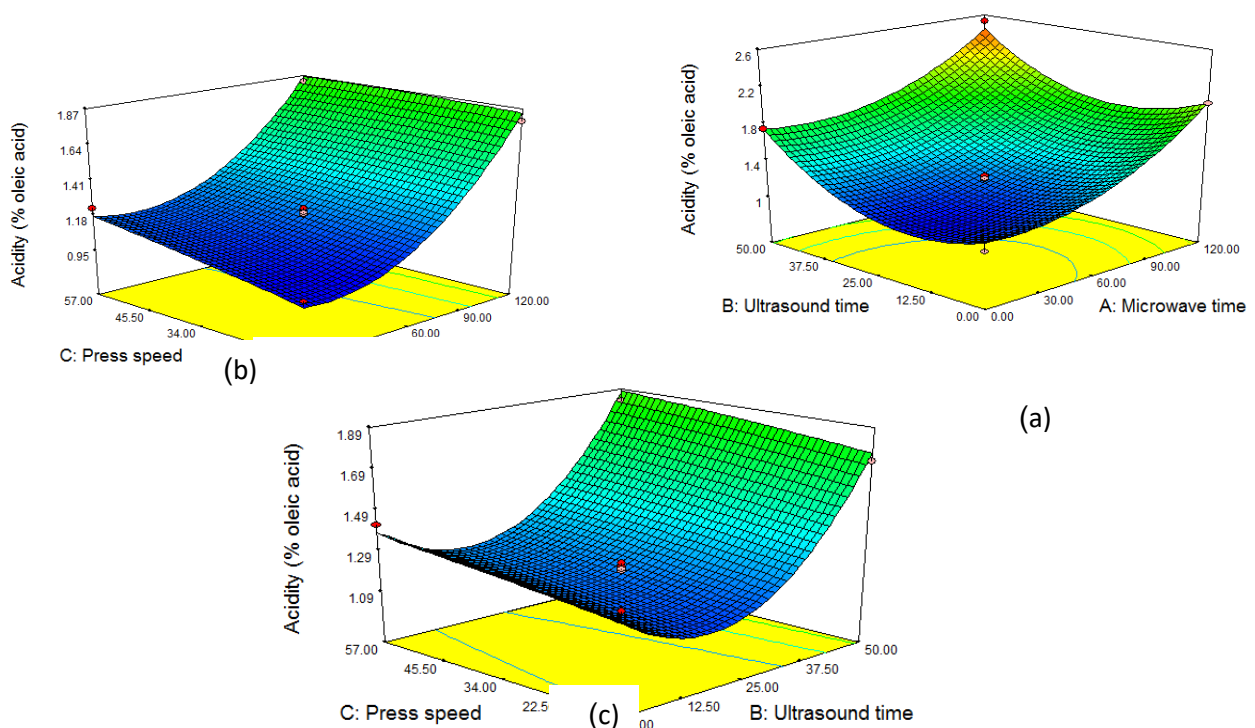
Figure 1- Effect of (a) microwave and ultrasound time, (b) microwave time and press speed and (c) ultrasound time and press speed on oil extraction efficiency

افزایش زمان ریزموج و فراصوت و همچنین سرعت دورانی پرس باعث افزایش اسیدیته روغن گردید. با توجه به تجزیه و تحلیل اطلاعات به دست آمده، مشخص گردید که تغییرات زمان ریزموج و بعد از آن پارامتر درجه دوم زمان فراصوت بیشترین اثرگذاری را در

تأثیر متغیرهای مورد مطالعه بر اسیدیته کمترین مقدار اسیدیته روغن حاصل که بر حسب اسید اولئیک اندازه‌گیری شد، تحت شرایطی به دست آمد که از پیش‌تیماری برای استخراج روغن استفاده نشده بود و سرعت دورانی پرس مارپیچی ۳۴ دور در دقیقه بود.

همچنین پدیده حفره‌زایی، باعث ایجاد تغییرات فیزیکی در سلول می‌شود این آنزیم‌ها می‌توانند، فعالیت خود را آغاز می‌نمایند (قوامی و همکاران ۲۰۰۳). افزایش اسیدیته، بدون شک ناشی از شکستن اتصالات استری مولکول‌های تری‌گلیسریدی ناشی از حرارت‌دهی است (بروهن ۱۹۹۵). نتایج این بخش با نتایج کیتیفوم و همکاران (۲۰۱۵) و کریشنان و همکاران (۲۰۱۵) تطابق داشت.

تغییرات میزان اسیدیته روغن دارا بود (جدول ۴) که این افزایش میزان اسیدیته با افزایش درجه حرارت (در اثر استفاده از ریزموج‌ها و سرعت بالاتر پرس)، به اثر تجزیه شیمیایی تری‌گلیسریدها و بالا رفتن میزان اسیدهای چرب آزاد مربوط می‌شود (شکل ۲). آنزیم‌های لیپولیتیک درست در زیر پوسته نازک دانه واقع شده‌اند و در سلول‌های صدمه ندیده قادر نخواهند بود به چربی‌ها حمله کنند اما از آن‌جایی که دماهای بالا و



شکل ۲ - اثر (a) زمان ریزموج و فراصوت، (b) زمان ریزموج و سرعت پرس و (c) زمان فراصوت و سرعت پرس بر اسیدیته روغن

Figure 2- Effect of (a) microwave and ultrasound time, (b) microwave time and press speed and (c) ultrasound time and press speed on oil acidity

جدول ۴- مدل‌های برازش شده برای فاکتورهای اندازه‌گیری شده

Table 4- Fitted models for measured parameters

Variable	Model	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> adj	CV
Extraction efficiency (%)	$y = +31.69 + 0.44 X_1 + 0.39 X_2 - 0.41 X_3 - 2.03 X_1 X_2 + 0.080 X_1 X_3 + 0.100 X_2 X_3$	0.95	0.92	1.04
Acidity (oleic acid %)	$y = +1.21 + 0.39 X_1 + 0.25 X_2 + 0.06 X_3 + 0.26 X_1^2 + 0.37 X_2^2 - 0.008 X_3^2 - 0.045 X_1 X_2 - 0.047 X_1 X_3 - 0.0025 X_2 X_3$	0.988	0.973	4.50
Color	$y = +180.45 + 28.11 X_1 + 22.20 X_2 + 3.77 X_3 + 12.11 X_1 X_2 - 1.38 X_1 X_3 - 9.72 X_2 X_3$	0.998	0.998	0.67
Refraction coefficient	$y = 1.05$	-	-	0
Total phenol (ppm)	$y = +83.54 - 6.87 X_1 - 3.63 X_2 - 1.33 X_3 - 22.18 X_1^2 - 22.97 X_2^2 + 0.13 X_3^2 - 3.32 X_1 X_2 + 3.56 X_1 X_3 + 4.31 X_2 X_3$	0.993	0.983	3.78

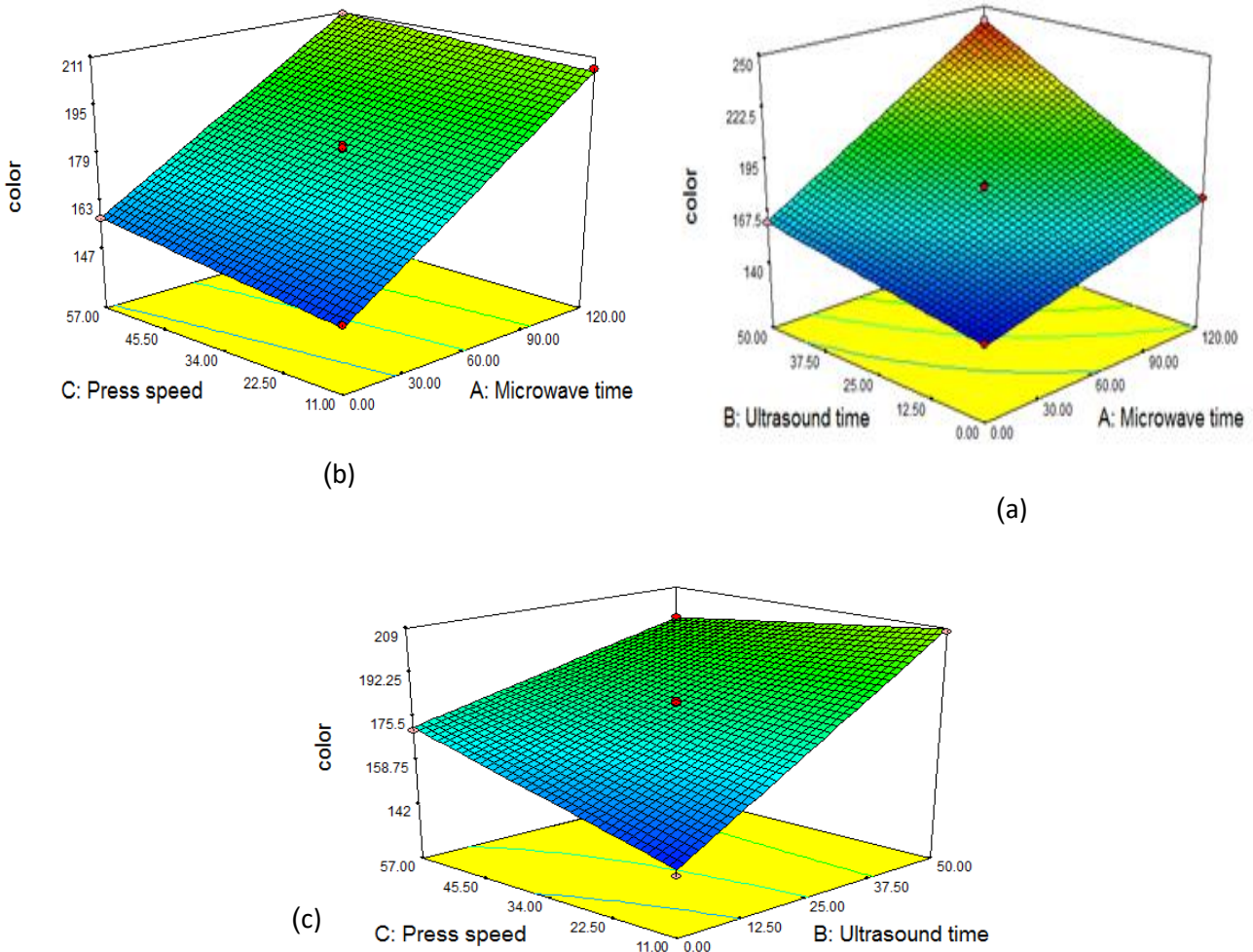
X<sub>1</sub>= Microwave time    X<sub>2</sub>= Ultrasound time    X<sub>3</sub>= Press speed

از میزان مقادیر F و همچنین مدل‌های برازش شده برای میزان شاخص رنگ (جدول ۳) می‌توان متوجه شد که بیشترین اثرگذاری را بر میزان شاخص رنگ زمان ریزموج و بعد از آن زمان فراصوت داشته است. افزایش شاخص رنگ روغن‌ها را می‌توان به گسیختگی بافت‌های گیاهی در طول تیماردهی و بنابراین افزایش استخراج رنگدانه‌ها نیز نسبت داد. در این راستا لی و همکاران (۲۰۰۴)، اثر دماهای مختلف برشته کردن دانه‌های گلرنگ را بر تغییرات رنگ روغن آن مورد بررسی قرار دادند. آن‌ها اظهار داشتند که تشکیل رنگ در روغن، تحت تأثیر دماهای برشته کردن بود به طوری که با افزایش دما رنگ روغن حاصله نیز از زرد روشن به قهوه‌ای تیره تغییر کرد. شیرازی (۱۳۹۶) بیان داشت که تشکیل مواد قهوه‌ای در روغن فرایند شده ممکن است، نتیجه‌ی واکنش‌های قهوه‌ای شدن غیرآنزیمی از نوع میلارد، کاراملیزاسیون و تخریب فسفولیپیدها باشد که می‌توان افزایش شاخص رنگ با افزایش سرعت دورانی پرس مارپیچی را به آنها نسبت داد.

#### تأثیر پارامترهای عملیاتی بر شاخص رنگ روغن

نتایج جدول (۳) نشان می‌دهد که اثرات خطی زمان ریزموج، فراصوت و سرعت دورانی پرس بر میزان شاخص رنگ در سطح ۰/۰۰۱ معنی‌دار می‌باشد. اثرات متقابل پارامترهای مورد بررسی نیز بر میزان شاخص رنگ روغن معنی‌دار بود. جدول ۱ نشان داد که بهترین مدل انتخابی برای تأثیر پارامترهای مورد مطالعه بر میزان شاخص رنگ مدل چند جمله‌ای ساده بود. شکل ۳ تأثیر متقابل پارامترهای مورد مطالعه را بر میزان شاخص رنگ نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود با افزایش زمان ریزموج و فراصوت میزان شاخص رنگ روغن‌ها افزایش می‌یابد. همچنین با افزایش سرعت دورانی پرس نیز بر میزان شاخص رنگ افزوده گشت. علت افزایش میزان شاخص رنگ، با افزایش زمان ریزموج و فراصوت و همچنین سرعت دورانی پرس را می‌توان به آزادسازی بیشتر ترکیبات رنگزا به داخل روغن استخراج شده نسبت داد که نتایج این بخش با نتایج مگاهد (۲۰۰۱) و شیرازی (۱۳۹۶) مطابقت داشت.





شکل ۳- اثر (a) زمان ریزموج و فراصوت، (b) زمان ریزموج و سرعت پرس و (c) زمان فراصوت و سرعت پرس بر شاخص رنگ روغن

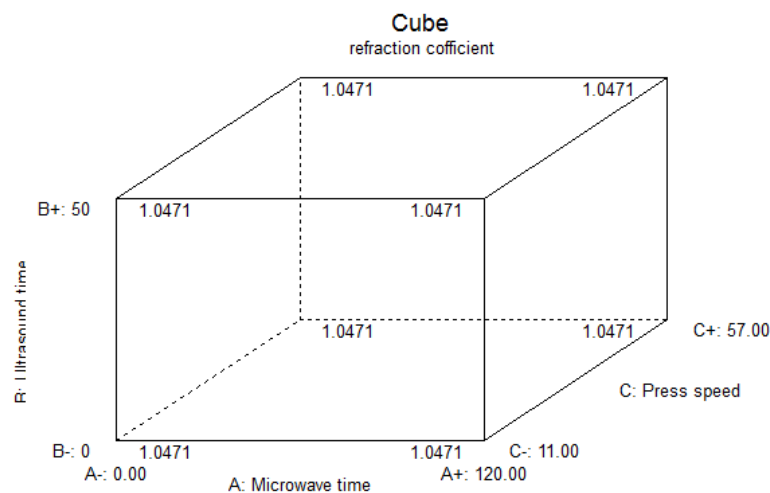
Figure 3- Effect of (a) microwave and ultrasound time, (b) microwave time and press speed and (c) ultrasound time and press speed on oil color index

را دارند لذا این ویژگی، برای تشخیص هویت و تعیین خلوص روغن‌ها و چربی‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد. ضریب شکست در کنترل پیشرفت واکنش‌ها نظیر هیدروژناسیون و ایزومریزاسیون کاتالیزوری روغن‌ها مفید است. همچنین برای تشخیص اکسایش روغن نیز از ضریب شکست استفاده می‌شود درجه حرارت و اشباعیت از عوامل مؤثر بر ضریب شکست هستند (اوکیچ و همکاران ۲۰۰۸؛ بخش آبادی و همکاران ۲۰۱۷). یافته‌های این پژوهش با یافته‌های گرجی و همکاران (۱۳۹۵) که روی ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی روغن دانه نارنج استخراج شده به روش‌های مختلف مطالعه‌ای

تأثیر متغیرهای مورد مطالعه بر ضریب شکست جدول (۲) نشان داد که تمامی مدل‌های مورد بررسی برای ضریب شکست روغن‌ها معنی‌دار نبود و تقریباً تمامی متغیرهای آزمایش (زمان ریزموج و فراصوت و سرعت دورانی پرس ماریچی) بر ضریب شکست روغن‌ها بی‌تأثیر بود و میزان آن برای تمامی نمونه‌های اندازه‌گیری شده برابر ۱/۰۴۷۱ بود (شکل ۴). ضریب شکست اغلب به‌عنوان ملاکی از خلوص روغن استفاده می‌گردد. این پارامتر با افزایش طول زنجیر (گرچه رابطه خطی نیست) و درجه غیراشباعیت افزایش می‌یابد. روغن‌ها و چربی‌های مختلف ضریب شکست خاص خود

ویژگی‌های فیزیکی روغن از جمله ضریب شکست را تغییر دهد، مطابقت داشت.

انجام دادند و بیان داشتند، روش‌های نوین استخراج در مقایسه با روش‌های متداول نمی‌تواند برخی از



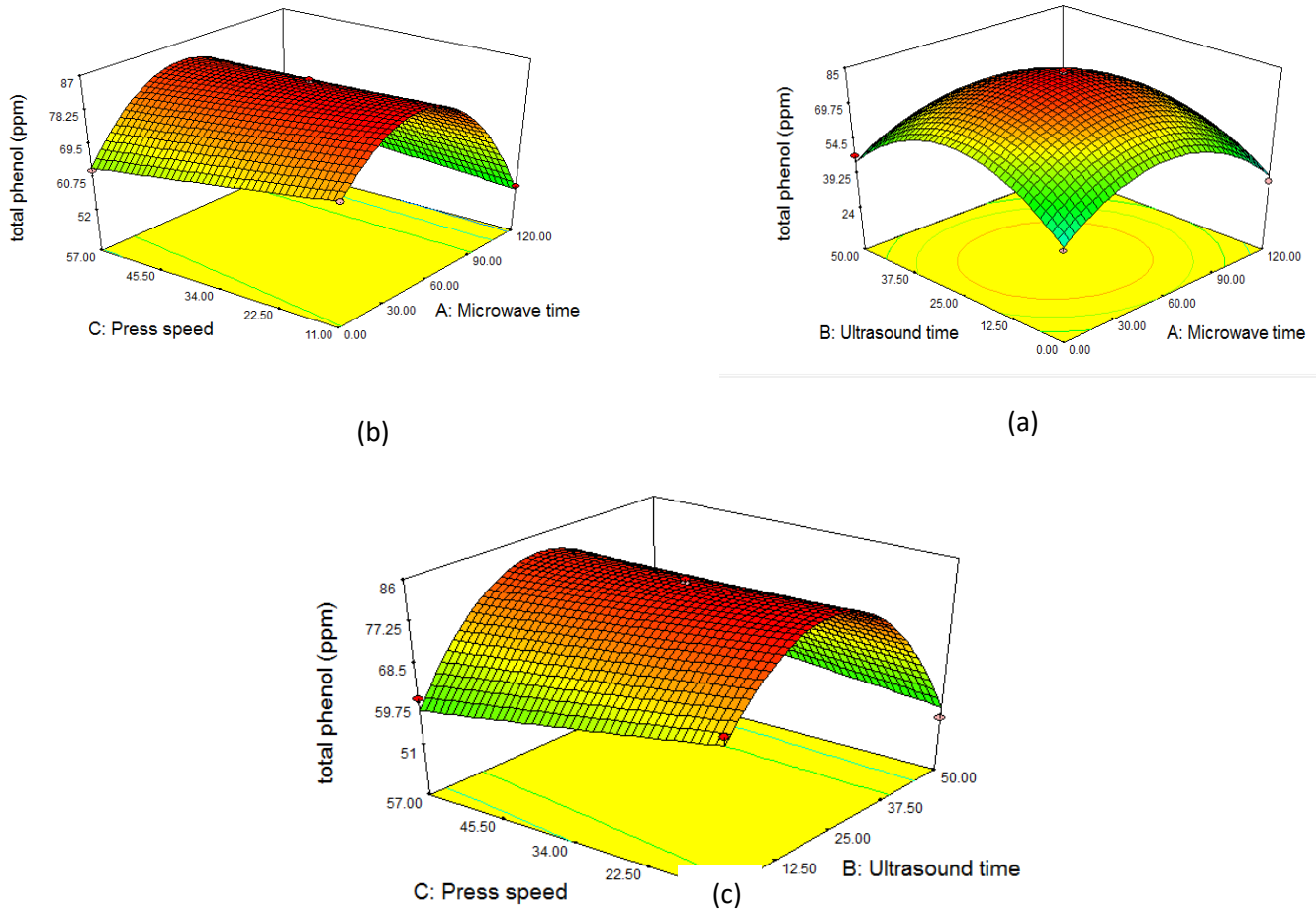
شکل ۴- تغییرات ضریب شکست تحت تاثیر زمان ریزموج، زمان فراصوت و سرعت پرس

Figure 4- changes of refraction index affected by microwave time, ultrasound time and press speed

مولکول‌های قطبی همانند ترکیبات فنولی و محلول‌های یونی انرژی ریزموج را به دلیل داشتن گشتاور دو قطبی به میزان زیادی جذب می‌کنند که منجر به افزایش دما و تکمیل سریع واکنش می‌شود و این امر موجب وارد شدن هرچه بیشتر این ترکیبات به داخل روغن می‌شود (پورستوس و کومایتیس ۲۰۰۸). نتایج این بخش با نتایج بیموهون و همکاران (۲۰۰۷) و جیائو و همکاران (۲۰۱۴)، مطابقت داشت. ولی در زمان‌های بالاتر امواج ریزموج، ممکن است به دلیل تخریب حرارتی میزان این ترکیبات کاهش یابد (پورستوس و کومایتیس ۲۰۰۸). از سوی دیگر امواج فراصوت باعث شروع واکنش‌های پلیمریزاسون در زمان‌های کوتاه شده و ممکن است منجر به افزایش محتوای فنولی در ماده استخراجی شود (لوکو گارسیا و لوکو دکاسترو ۲۰۰۳؛ پینلو و همکاران ۲۰۰۵). نتایج این بخش با نتایج رومبات همکاران (۲۰۱۵) که بیان کردند با افزایش سرعت دورانی پرس میزان ترکیبات فنولی کل افزایش می‌یابد در تضاد بود.

تاثیر پارامترهای عملیاتی بر ترکیبات فنولی کل روغن

ترکیبات فنولی دسته بزرگی از متابولیت‌های ثانویه گیاهی می‌باشند که توانایی آنتی‌اکسیدانی آن‌ها ناشی از حضور گروه‌های هیدروکسیل در ساختارشان است. توجه و کاربرد فنول‌های طبیعی در صنعت غذا رو به افزایش است. زیرا این ترکیبات تجزیه اکسایشی لپیدها را به تأخیر انداخته و از این‌رو کیفیت و ارزش تغذیه‌ای مواد غذایی را بهبود می‌بخشند (ماندا و همکاران ۲۰۱۱). نتایج جدول آنالیز واریانس (جدول ۳) نشان می‌دهد که اثرات خطی فاکتورهای مورد بررسی به جز سرعت دورانی پرس بر میزان ترکیبات فنولی تأثیر کاملاً معنی‌دار داشتند. همان‌طور که در شکل ۵ آورده شده است با افزایش زمان ریزموج و فراصوت فنول کل روغن‌ها ابتدا افزایش و سپس کاهش یافت. اصول حرارت‌دهی با استفاده از انرژی ریزموج به اثرات مستقیم این امواج روی مولکول‌ها با مکانیسم‌های چرخش دو قطبی و انتقال یونی وابسته است.



شکل ۵ - اثر (a) زمان ریزموج و فراصوت، (b) زمان ریزموج و سرعت پرس و (c) زمان فراصوت و سرعت پرس بر فنل کل  
**Figure 5- Effect of (a) microwave and ultrasound time, (b) microwave time and press speed and (c) ultrasound time and press speed on total phenol**

طریق نرم افزار، تحت شرایط بهینه مجدد آزمایش‌ها صورت پذیرفت که اعداد حاصل از آن در جدول ۵ آورده شده است که نشان از دقت بالای مدل‌ها در پیشگویی آزمایشات بود.

بهینه‌سازی فرایند روغن‌کشی از آفتابگردان به‌منظور یافتن بهترین شرایط استخراج روغن از آفتابگردان با پیش‌تیمار ریزموج-فراصوت، با توجه به زمان ریزموج که بین ۰ تا ۱۲۰ ثانیه و زمان فراصوت که در دامنه ۰ تا ۵۰ دقیقه و سرعت دورانی پرس که بین ۱۱ تا ۵۷ دور در دقیقه تنظیم شده بود، فرایند استخراج روغن در شرایط ذکرشده به‌منظور رسیدن به بیشینه راندمان استخراج و ترکیبات فنلی کل و کمینه نمودن اسیدیته بهینه‌یابی گردید. نتایج نشان داد که به‌منظور رسیدن به اهداف ذکرشده، مطلوبیت ۰/۸۵۸ حاصل گردید (جدول ۵). برای اعتبارسنجی داده‌های بدست آمده از

جدول ۵- بهینه سازی استخراج روغن در شرایط مختلف فراوری

Table 5- Optimization of oil extraction in different condition of processing

	Microwave time(s)	Ultrasound time(min)	Press speed (rpm)	Extraction efficiency (%)	Acidity (oleic acid %)	Refraction coefficient	Color index	Total phenol (ppm)
Expected data	33.71	28.37	11	32.103	1.04	1.0471	167.53	84.02
Experimental data	33.71	28.37	11	31	1.05	1.0471	165.00	84.05

(اسید لینولئیک) افزایش ولی میزان اسیدهای چرب اشباع آن‌ها (اسید پالمیتیک و استئاریک) کاهش یافت ( $P < 0.05$ ). نتایج مربوط به تأثیر پیش‌تیمارهای مختلف بر ساختار اسیدهای چرب نشان از تغییرات بسیار جزئی در برخی از اسیدهای چرب بود. برای مثال نتایج این بخش با یافته‌های مورکوویچ و همکاران (۱۹۹۹) که بیان داشته بودند، اسید استئاریک به‌عنوان یکی از پایدارترین اسیدهای چرب شناخته شده می‌شود و در طول فرایند دستخوش تغییر نمی‌شود، در تضاد بود.

تأثیر پیش‌تیمار ریزموج- فراصوت بر پروفایل اسیدهای چرب روغن آفتابگردان ترکیب اسیدهای چرب روغن آفتابگردان تحت تأثیر پیش‌تیمار بهینه و نمونه فاقد تیمار (شاهد) در جدول ۶ نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، در هر دو نمونه حاصل اسید لینولئیک، اسید چرب عمده تشکیل دهنده روغن آفتابگردان بود. همان‌طور که مشخص است زمانی که از پیش‌تیمار ترکیبی ریزموج- فراصوت به عنوان پیش‌تیمار برای استخراج روغن استفاده شده بود، میزان اسید چرب غیراشباع روغن

جدول ۶- ترکیب اسیدهای چرب روغن استخراج شده با استفاده از تیمارهای مختلف

Fatty acids composition of the extrated oil with the use of different treatments-Table 6

Fatty acid	Molecular formulation	Standard	Optimized oil
		Fatty acid (%)	
Palmitic acid	C16	7.04±0.02 <sup>aC</sup>	6.39±0.01 <sup>bC</sup>
Stearic acid	C18	3.95±0.15 <sup>aD</sup>	3.61±0.32 <sup>aD</sup>
Oleic acid ( $\omega$ -9cis)	C18:1(9)	27.91±0.11 <sup>aB</sup>	23.77±0.02 <sup>bB</sup>
Linoleic acid	C18:2(9,12)	61.11±0.60 <sup>bcA</sup>	66.24±0.02 <sup>aA</sup>

The similar capital and small letter in each column and row respectively demonstrating non-significant difference in confidence level of 0.05.

آفتابگردان برابر با ۱/۰۴۷۱ بود که تحت تأثیر نوع پیش‌تیمار قرار نگرفت. نتایج بهینه‌سازی فرایند نیز نشان داد که اگر زمان ریزموج ۳۳/۷۱ ثانیه، زمان فراصوت ۲۸/۳۷ دقیقه و سرعت دورانی پرس مارپیچی ۱۱ دور در دقیقه باشد منجر به رسیدن به اهداف مورد نظر خواهد شد. در پایان می‌توان بیان داشت که استفاده از پیش‌تیمار ریزموج- فراصوت می‌تواند به عنوان یک پیش‌تیمار مناسب در صنعت استخراج روغن مطرح گردد

### نتیجه‌گیری

نتایج این مطالعه نشان داد که با افزایش زمان ریزموج و فراصوت و سرعت دورانی پرس مارپیچی شاخص رنگ و اسیدیته، نمونه‌ها افزایش یافت. با افزایش زمان ریزموج و فراصوت راندمان استخراج روغن افزایش یافت هرچند در زمان‌های بالای فراصوت و یا ریزموج با افزایش این دو پارامتر مقداری راندمان استخراج روغن کاهش یافت. در حالی که ترکیبات فنولی کل ابتدا افزایش و سپس کاهش یافت. میزان ضریب شکست روغن

## منابع مورد استفاده

- احمدی ک، قلی‌زاده ح، عبادزاده ح، حاتمی ف. فضلی‌استبرق م، حسین‌پور ر، کاظمیان ا و رفیعی م، ۱۳۹۵. آمارنامه کشاورزی سال زراعی ۹۴-۱۳۹۳. وزارت جهاد کشاورزی، معاونت برنامه‌ریزی و اقتصادی، مرکز فناوری اطلاعات و ارتباطات. تهران. ۸۹ ص.
- آلیاری ه و شکاری ف، ۱۳۷۹. دانه‌های روغنی، زراعت و فیزیولوژی. انتشارات عمیدی تبریز. چاپ اول. ۱۸۲ ص.
- بخش آبادی ح، میرزایی ح، قدس ولی ع ر، جعفری س م، ضیایی فر ا م و بیگ بابایی ع، ۱۳۹۵. تاثیر سرعت دورانی پرس مارپیچی بر میزان ترکیبات فنلی و خصوصیات فیزیکوشیمیایی روغن سیاه دانه. مهندسی زیست سامانه. دوره پنجم، شماره ۳. صفحات ۱۱ تا ۱۱.
- بخش آبادی ح، میرزایی ح، قدس ولی ع ر، جعفری س م و ضیایی فر ا م، ۱۳۹۷. مدل‌سازی برخی از خصوصیات شیمیایی روغن سیاه‌دانه تحت تاثیر پیش‌تیمار مایکروویو و سرعت دورانی پرس مارپیچی. نشریه پژوهش‌های علوم و صنایع غذایی ایران. دوره چهاردهم، شماره ۱. صفحات ۱۷ تا ۲۶.
- خواجه‌پور م ر، ۱۳۸۳. اصول و مبانی زراعت. انتشارات جهاد دانشگاهی صنعتی اصفهان. چاپ دوم. ۵۶۴ ص.
- رئیزی س، اسماعیلی م، هاشمی س م ب، ۱۳۹۶. تاثیر دامنه فراصوت پالسی و دما بر بازده، سنتتیک و ترمودینامیک استخراج با حلال روغن هسته انگور (رقم سیاه سردشت). نشریه پژوهش‌های صنایع غذایی: دوره ۲۷، شماره ۲. صفحات ۴۱ تا ۵۰.
- شیرازی ر، ۱۳۹۶. بهینه‌سازی استخراج روغن از دانه‌های بادام زمینی به کمک پیش‌تیمارهای امواج فراصوت و مایکروویو. پایان نامه کارشناسی ارشد در رشته مهندسی علوم و صنایع غذایی. دانشگاه آزاد اسلامی واحد گنبد کاووس. ۱۲۱ ص.
- گرچی ن، گلکانی م ت، مصباحی غ ر، نیاکوثری م، اسکندری م ه و مزیدی س، ۱۳۹۵. بررسی ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی روغن دانه نارنج استخراج شده به روش‌های مختلف. فصلنامه علوم و صنایع غذایی. دوره ۵۴، شماره ۱۳. صفحات ۱۲۱-۱۳۳.
- مالک ف، ۱۳۷۹. چربی‌ها و روغن‌های خوراکی (ویژگی‌ها و فرآوری). انتشارات فرهنگ و قلم تهران، چاپ اول. ۴۶۴ ص.
- Aguilera JM and Stanley DW, 1999. Microstructural principles of food processing and engineering. 2nd ed. Gaithersburg, MD: Aspen Publishers Inc. pp. 325-372.
- Anderson D, 1996. A primer on oils processing technology. In Y. H. Hui (Ed) Bailey's industrial oil and fat products. JohnWiley and Sons, Inc., New York. Vol. 4: pp: 10-17.
- AOCS. 1993. Official Methods and Recommended Practices of the American Oil Chemists' Society, AOCS Press, Champaign, IL. 762p.
- Azadmard-Damirchi S, Habibi NF, Hesari J, Nemati M and Fathi AB, 2010. Effect of pretreatment with microwaves on oxidative stability and nutraceuticals content of oil from rapeseed. Food Chemistry 121:1211-1215.
- Bail S, Stuebiger G, Krist S, Unterweger H and Buchbauer G, 2008. Characterisation of various grape seed oils by volatile compounds, triacylglycerol composition, total phenols and antioxidant capacity. Food Chemistry 108, 1122-1132.
- Bakhshabadi H, Mirzaei HO, Ghodsvai A, Jafari SM, Ziaifar AM and Farzaneh V, 2017. The effect of microwave pretreatment on some hysicochemical properties and bioactivity of Black cumin cumin seeds' oil. Industrial Crops and Products 97: 1-9.
- Bargale PC, 1997. Mechanical oil expression from selected oilseeds under uniaxial compression. PhD Thesis, Department of Agriculture and Bioresource Engineering, University of Saskatchewan, Saskatoon. Canada.
- Beejmohun V, Fliniaux O, Grand E, Lamblin F, Bensaddek L, Christen P, Kovensky J, Fliniaux MA and Mesnard F, 2007. Microwave-assisted Extraction of the Main Phenolic Compounds in Flaxseed. Phytochemical Analysis 18: 275-282.
- Bruhn CM, 1995. Consumer attitudes and market response to irradiated food. Journal of Food Protection 58:175-181.

- Bulter FC and King, LD, 1990. Sustainable agriculture in temperate zones. New York. John Wiley and sons. U.S.A, 487p.
- Ghavami M, Gharachorloo M and Ezatpanah H, 2003. Effect of frying on the oil quality properties used in the industry potato chips. *Journal of Agricultural and Science* 9(1): 1-15.
- Jalili F, Jafari SM, Emam-Djomeh Z, Malekjani N and Farzaneh V, 2017. Optimization of Ultrasound-Assisted Extraction of Oil from Canola Seeds with the Use of Response Surface Methodology. *Food analytical methods* 11 (2): 598-612
- Jiao J, Li ZG, Gai QY, Li XG, Wei FU, FuYJ and Ma W, 2014. Microwave-assisted aqueous enzymatic extraction of oil from pumpkin seeds and evaluation of its physicochemical properties, fatty acid compositions and antioxidant activities. *Food Chemistry* 147: 17-24.
- Jiménez A, Beltrán G, and Uceda M, 2007. High-power ultrasound in olive paste pretreatment. Effect on process yield and virgin olive oil characteristics. *Ultrasonics Sonochemistry* 14 (6): 725-731.
- Kazi BR, Oad FC, Jamro GH, Jamali LA and Oad NL, 2002. Effect of water stress on the growth, yield and oil content of sunflower. *Pakistan Journal of Applied Sciences*. 2(5):550-552.
- Kittiphoom S and Sutasinee S, 2015. Effect of microwaves pretreatments on extraction yield and quality of mango seed kernel oil. *International Food Research Journal* 22(3): 960-964.
- Krishnan VCA, Kuriakose S and Rawson A, 2015. Ultrasound Assisted Extraction of Oil from Rice Bran: A Response Surface Methodology Approach. *Journal of Food Process and Technology* 6(6): doi:10.4172/2157-7110.1000454
- Lee YC, Oh SW, Chang J and Kim IH, 2004. Chemical composition and oxidative stability of safflower oil prepared from safflower seed roasted with different temperatures. *Food Chemistry* 84: 1–6.
- Lou Z, Wang H, Zhang M and Wang Z, 2010. Improved extraction of oil from chickpea under ultrasound in a dynamic system. *Journal of Food Engineering* 98: 13-18.
- Luque-Garcia JL and Luque de Castro M D, 2003. Ultrasound: a powerful tool for leaching. *Trends in Analytical Chemistry* 22 (1): 41-47.
- Mandal V, Mohan Y and Hemalatha S, 2007. Microwave Assisted Extraction – An Innovative & Promising Extraction Tool for Medicinal Plant Research. *Pharmacognosy Reviews* 1: 8-14.
- Megahad MG, 2001. Microwave Roasting of Peanuts: Effects on Oil Characteristics and Composition. *Nahrung*. 45: 255–257.
- Mohamed HMA and Awatif II, 1998. The use of sesame oil unsaponifiable matter as a natural antioxidant. *Food Chemistry* 62: 269-276.
- Momeny E, Rahmati S and Ramli N, 2012. Effect of Microwave Pretreatment on the Oil Yield of Mango Seeds for the Synthesis of a Cocoa Butter Substitute. *Journal of Food Processing and Technology* 3(7): 1-7.
- Moschner CR and Biskupek-Korell B, 2006. Estimating the content of free fatty acids in high-oleic sunflower seeds by near-infrared spectroscopy. *European Journal Lipid Science and Technology* 108: 606-613.
- Muanda FN, Soulimani R, Diop B and Dicko A, 2011. Study on chemical composition and biological activities of essential oil and extracts from *Stevia rebaudiana* Bertoni leaves. *LWT- Food Science and Technology* 44: 1865-1872.
- Murkovic M, Hillebrand A, Draxl S, Winkler J and Pfanhauser W, 1999. Distribution of fatty acids and vitamin E content in pumpkin seeds (*Cucurbita pepo* L.) in breeding lines. *Acta Horticulturae* 492:47-55.
- Nde BD, Boldor D and Astete C, 2015. Optimization of microwave assisted extraction parameters of neem (*Azadirachta indica* A. Juss) oil using the Doehlert's experimental design. *Industrial Crops and Products* 65: 233–240.
- Pinelo M, Fabbro PD, Manzocco L, Nunez MJ and Nicoli MC, 2005. Optimization of continuous extraction from *Vitis vinifera* by products. *Food Chemistry* 92: 109-117.
- Proestos C and Komaitis M, 2008. Application of microwave-assisted extraction to the fast extraction of plant phenolic compounds. *Lebensm. Wiss. u. Technology* 41: 652–659.

- Povey MJW and Mason T Jm, 1998. Ultrasound in food processing. Blackie Academic and Professional: London. Uk.
- Rombaut N, Savoie R, Thomasset B, Castello J, Van Hecke E and Lanoisele JL, 2015. Optimization of oil yield and oil total phenolic content during grape seed cold screw pressing. *Industrial Crops and Products* 3: 26-33.
- Singer A, Nogala-Kalucka M and Lampart-Szczap E, 2008. The content and antioxidant activity of phenolic compounds in cold-pressed plants oil. *Journal of Food Lipids* 15: 137-149.
- Uquiche E, Jeréz M and Ort ZJ, 2008. Effect of pretreatment with microwaves on mechanical extractionnyield and quality of vegetable oil from Chilean hazelnuts (*Gevuina avellana Mol*). *Innovative Food Science and Emerging Technologies* 9: 495–500.

*Journal of Food Researches/vol.30 No.4/ 2021/pp 151-167*  
<https://foodresearch.tabrizu.ac.ir>  
DOI: 10.22034/fr.2021.34241.1678

## Optimization of oil extraction from sunflower seeds using the microwave-ultrasound pretreatment

M Saghali<sup>1</sup>, H Bakhshabadi<sup>2</sup>, R Rezaei<sup>3\*</sup> and M Farmani<sup>4</sup>

Received: July 2, 2019 Accepted: November 24, 2019

<sup>1</sup>MSc of Food Science and Technology, Gonbad Kavoods Branch, Islamic Azad University, Gonbad Kavoods, Iran

<sup>2</sup>PhD of Food Technology, Department of Food Science and Tecnology, Gonbad Kavoods Branch, Islamic Azad University, Gonbad Kavoods, Iran

<sup>3</sup>Assistant professor, Department of Food Science and Tecnology, Gonbad Kavoods Branch, Islamic Azad University, Gonbad Kavoods, Iran

<sup>4</sup>General Manager of Institute of Standards and Industrial Research of Iran, Golestan, Iran

\*Corresponding author: Email: Rezaei.rahil@yahoo.com

**Introduction:** Fats and oils are among the most consumed goods in the human food chain. Edible oils are important sources of energy supply for vital processes. Oilseeds serve as the second food reserves, after grains. One of the main oilseeds is sunflower. The sunflower (*Helianthus annuus*) an annual verb from Astraceae genus that is grown as a firm bush. One of the oil extraction methods is the mechanical extraction (press) that is usually used in small scales. Generally, the extraction of oil by the press method is simpler, safer and less costly in comparison with the method of solvent use. Cold pressing involves neither heat nor chemical treatment and doesn't require much energy. By applying cold press, oil keeps its natural properties better and does not have any chemicals. For these reasons, there is increasing demand to use the oils produced through the cold press method. The main limitation of oil extraction using press is the high amount of residual oil in the meal. Therefore, recently some techniques, such as oil extraction using ultrasound and microwave, are taken into consideration in this case. The ultrasonic waves are some types of mechanical waves that have frequencies are higher than human hearing and microwaves are the non-ionized electromagnetic waves with frequencies range between 300 MH to 300 GH that are placed between the radio and infrared ray in the electromagnetic spectrum. Regarding the fact that no research is performed in the case of applying the sequential pretreatment of extracting oil from sunflower seeds, for this reason in the current research it was tried to study the utilization of microwave-ultrasound pretreatment in extracting oil from sunflower seeds.

**Materials and methods:** In performing this research the sunflower seeds (contain 38.5 percent oil) was prepared from Agricultural and Natural Resources Research Centre of Golestan Province. Then external materials such as weed seeds, sand and stones were separated by hand and transferred to the Food Technology laboratory of Azad Islamic University of Gonbad-e-Kavoods to perform experiments. At first the seeds were processed by microwave pretreatment with power of 540 watt and different times of process (0 to 120 seconds) and after this they were treated by an ultrasonic bath device with three different time levels (0 to 50 minutes) with stable frequency of 35 KH. After applying these treatments, the oil of seeds was extracted using the screw press with different speeds (11 to 57 rpm) and some experiments such as the efficiency amount of oil extraction, refractive index, color index, acidity and total phenolic compounds were performed on these oils. The response surface methodology, using the Box-Behnken design, was used to evaluate the constant



parameters of study in comparison to the variable parameters. The fatty acid profiles of the control and optimum sample were evaluated by GC apparatus.

**Results and discussions:** Increase in the microwave and ultrasound time increased the oil extraction efficiency; although in the high ultrasound or microwave times with increase in these two parameters the amount of oil extraction efficiency decreased because of oil outlet ducts destruction. Increase in the oil extraction efficiency with increase in the microwave time can be related to more fracture of oil contained cells or is resulted from decomposition or destruction of protein compounds during treatment with microwave, on the one hand with increase in the ultrasound time some cavitations bubbles are created which have high collapse and explosion power and the force generated from bubbles explosion will lead to an increase in the cell membrane destruction. With increase in the rotational speed of press, the amount of extraction efficiency decreased a little because of reduction in the amount of pressure applied on seeds. The lowest amount of oil acidity that was measured on the basis of Oleic Acid was obtained in the conditions that no pretreatment was used in oil extraction and the rotational speed of screw press was 34 rpm. With increase in the microwave and ultrasound time, the amount of oils color index will increase. Also with increase in the rotational speed of press, the amount of color index increased too. The reason of increase in the amount of color index with increase in the microwave and ultrasound time and also with the rotational speed of press can be attributed to more release of chromogenic compounds in the extracted oil. All of the experiment variables (microwave and ultrasound time and rotational speed of screw press) didn't have any influence on the refractive index of oils and its amount were equal to 1.0471 for all of the measured and evaluated samples. With increase in the microwave and ultrasound time, the total phenol of oils was increased at first and decreased then. Also optimization of this process indicated that if the microwave time is 33.71 seconds, the ultrasound time is 28.38 minutes and the rotational speed of screw press is 11 rpm, they will lead to obtain the regarded aims. At last it can be said that applying the microwave-ultrasound pretreatment can be propounded as an appropriate pretreatment in the oil extraction industry. The results of the fatty acid profile analysis of the control and the optimized sample showed that when the microwave-ultrasonic pretreatment was used to oil extraction, the unsaturated fatty acid content (linoleic acid) increased but the amount of saturated fatty acids (palmitic and stearic acid) decreased ( $P < 0.05$ ).

**Key words:** sunflower, microwave-ultrasound pretreatment, phenol compounds, physicochemical characteristics