

## بهینه‌سازی استخراج روغن از بادام‌زمینی با پیش‌ تیمار فراصوت به کمک روش سطح پاسخ

سید محمود میردیلمی<sup>۱</sup>، مهدی فرقانی<sup>۱</sup>، رقیه شیرازی<sup>۲</sup>، حمید بخش آبادی<sup>۲\*</sup>

۱- عضو هیئت مدیره شرکت کشت و صنعت خاوردشت، علی آباد کنول، ایران  
۲- گروه علوم صنایع غذایی، واحد گنبد کاووس، دانشگاه آزاد اسلامی، گنبد کاووس، ایران  
(تاریخ دریافت: ۹۷/۰۶/۲۴ تاریخ پذیرش: ۹۸/۰۴/۰۲)

### چکیده

روش‌های متنوع و متداولی برای کمک به استخراج روغن از دانه‌های روغنی وجود دارد که یکی از این روش‌ها استفاده از امواج فراصوت می‌باشد. در همین راستا به منظور بهینه‌سازی فرایند استخراج روغن از بادام‌زمینی به کمک پیش‌ تیمار فراصوت از سه سطح زمان فراصوت (۰، ۳۰ و ۶۰ دقیقه) استفاده گردید و بعد از اعمال این پیش‌ تیمارها، روغن دانه‌ها با پرس ماریپیچی و با سرعت‌های متفاوت (۱۱، ۳۴ و ۵۷ دور در دقیقه) استخراج شد و میزان راندمان استخراج روغن، اسیدیته، پایداری اکسایشی، پراکسید، ترکیبات فنولی کل و ضریب شکست نمونه‌ها مورد بررسی قرار گرفت. تجزیه و تحلیل آماری و بهینه‌سازی فرایند به روش سطح پاسخ انجام شد. نتایج نشان داد که با افزایش زمان فراصوت میزان راندمان استخراج روغن و ترکیبات فنولی ابتدا افزایش و سپس کاهش یافت. با افزایش سرعت دورانی پرس ماریپیچی نیز میزان راندمان استخراج روغن و پایداری اکسایشی کاهش ولی میزان اسیدیته، پراکسید و ترکیبات فنولی کل افزایش یافت. افزایش زمان فراصوت نیز منجر به افزایش اسیدیته، پایداری اکسایشی و کاهش پراکسید گردید. از طرفی مشخص گردید که پارامترهای مورد مطالعه تأثیری بر میزان ضریب شکست نداشتند و میزان آن برای تمامی نمونه‌های اندازه‌گیری شده برابر ۱/۴۷۱ بود. با توجه به نتایج بهینه‌سازی فرایند می‌توان بیان نمود که ۶۰ دقیقه فراصوت و پرس با سرعت ۲۰/۷۳ دور در دقیقه می‌تواند مطلوبیت ۰/۷۴۶ برای استخراج روغن از بادام زمینی ایجاد نماید.

کلید واژگان: بادام زمینی، استخراج روغن، بهینه‌سازی، فراصوت.

\* مسئول مکاتبات: h.bakhshabadi@yahoo.com

## ۱- مقدمه

استخراج می‌شود [۱۳]. اثر افزایشی امواج فراصوت بر سرعت استخراج مواد گیاهی به شکستن سلول‌ها و انتشار محتویات آنها به محیط استخراج ارتباط دارد [۱۴]. کاربرد فراصوت به طور کلی شامل فرایندهایی می‌شود که می‌توانند باعث افزایش سرعت، بهبود کیفیت و یا ایمنی و کاهش زمان فرایند شود [۱۵]. مزایای فراصوت به حفره زایی صوتی (کاویتاسیون) نسبت داده شده است: حباب‌های کوچک ایجاد شده در یک فاز مایع در هنگامی که یک مخلوط را در معرض فراصوت قرار می‌دهند، رشد نموده و به دلیل تغییرات فشار قبل از بین رفتن به سرعت نوسان می‌کنند [۱۶]. ژانگ و همکاران (۲۰۰۸)، لین و همکاران (۲۰۱۲)، گولا (۲۰۱۳) و مقیمی و همکاران (۲۰۱۸) گزارش دادند که راندمان استخراج روغن با استفاده از فراصوت افزایش می‌یابد [۱۷، ۱۸، ۱۹ و ۲۰]. در پژوهش حاضر خصوصیات روغن استخراج شده از بادام‌زمینی با پیش‌تیمار امواج فراصوت مورد بررسی قرار داده شد.

## ۲- مواد و روش‌ها

### ۲-۱- تهیه نمونه

دانه‌های بادام‌زمینی مورد استفاده در این تحقیق از بازار محلی شهرستان مینودشت (گلستان- ایران) و مواد شیمیایی، هیدروکسید سدیم، فنل فتالین، استن، پترولیوم اتر و دودسیل بنزن سولفونات از شرکت مرک آلمان تهیه شد. تجهیزات مورد استفاده در این تحقیق عبارتند از دسیکاتور، آون آزمایشگاهی (Memert، آلمان)، دستگاه اسپکتروفتومتر (Biochrom، انگلیس)، ترازوی دیجیتال (Gec Avery، ساخت انگلستان)، پرس مارپیچی آزمایشگاهی (KernKraft، آلمان)، رنسیمت (Metrohm، سوئیس) و فراصوت (Elmasonic، آلمان)

### ۲-۲- استخراج روغن

در این تحقیق دانه‌های بادام‌زمینی (با ۴۱/۵ درصد روغن) پس از تهیه، بوجاری شده و در کیسه‌های پلاستیکی مقاوم نسبت به نفوذ هوا و رطوبت تا زمان آزمایشات نگهداری شدند. سپس، آنها تحت تأثیر زمان‌های مختلف فراصوت (۰، ۳۰ و ۶۰ دقیقه) قرار گرفتند. بعد از اعمال این تیمارها، روغن دانه‌ها با پرس مارپیچی و با سرعت‌های مختلف (۱۱، ۳۴ و ۵۷ دور در دقیقه) استخراج گردید و روی این روغن‌ها، آزمایشات مختلف، صورت گرفت [۲۰].

امروزه دانه‌های روغنی مهمترین منابع روغن‌های خوراکی هستند و از جایگاه خاصی در کشاورزی برخوردار می‌باشند که اراضی وسیعی در سراسر جهان به کشت این محصولات با ارزش اختصاص داده شده است و پس از غلات دومین ذخایر غذایی جهان را تشکیل می‌دهند [۱]. از جمله این دانه‌های روغنی، بادام‌زمینی است که به‌طور گسترده در نواحی مختلف دنیا کشت و فراوری آن توسعه یافته است. بادام‌زمینی با نام علمی *Arachis hypogaea* گیاهی از تیره فاباسه (fabace) بوده که بومی آمریکا جنوبی است که بعد از سویا، یکی از مهمترین و اقتصادی‌ترین دانه‌های روغنی در مناطق گرمسیری و نیمه‌گرمسیری می‌باشد [۲ و ۳]. سالانه بیش از ۳۷ میلیون تن بادام‌زمینی در سطح جهان از ۲۴ میلیون هکتار زمین زراعی تولید می‌شود که آسیا با تولید ۲۳/۵ میلیون تن بادام‌زمینی بیشترین مقدار تولید این محصول را در جهان دارد [۴]. روغن بادام‌زمینی برای سرخ کردن و در ساخت صابون، مارگارین و لوازم آرایشی نیز کاربرد دارد. از کنجاله بادام‌زمینی و علوفه آن نیز جهت تغذیه طیور و دام استفاده می‌شود [۵]. روش‌های متنوع و متداولی برای کمک به استخراج روغن از دانه‌های روغنی وجود دارد [۶ و ۷]. اما در مقایسه با روش استفاده از حلال استخراج روغن با پرس روشی ساده‌تر، ایمن‌تر و کم‌هزینه‌تر بوده و لذا مزایای این روش آن را نسبت به استفاده از حلال کاراتر می‌سازد [۸]. حدود یک دهه است که توجه بسیاری به استفاده از روش‌های نوین برای استخراج روغن از دانه‌های روغنی شده است. در این روش‌ها سعی شده فرایند استخراج با سهولت و اثر بخشی بیشتر به گونه‌ای انجام شود که مصرف حلال، زمان و دمای استخراج کاهش و در عین حال بازدهی استخراج افزایش یابد و فرایند به لحاظ هزینه مقرون به صرفه شود [۶]. به کارگیری روش‌های نوین از جمله ریزموج، میدان‌های الکتریکی پالسی و امواج فراصوت غالباً باعث افزایش سرعت و راندمان استخراج روغن می‌شود [۸ و ۹]. فراصوت یک فرایند جدید می‌باشد که در زمینه‌های مختلف علوم تغذیه به کار گرفته شده است [۱۰ و ۱۱]. فراصوت به امواجی گفته می‌شوند که فرکانس آنها بیش از ۲۰-۱۸ کیلوهرتز باشد [۱۲]. روش استخراج با کمک فراصوت به دلیل بهره‌وری بالاتر و مصرف انرژی و آب کمتر، در حال تبدیل شدن به جایگزینی مناسب برای روش‌های سنتی

مدت یک ساعت در دمای اتاق و درجای تاریک قرار داده شد. پس از این مدت، جذب نمونه‌ها در دمای اتاق با دستگاه اسپکتروفوتومتر ماورای بنفش در ۷۶۵ نانومتر قرائت گردید. جهت رسم منحنی استاندارد از اسید گالیک (۰ تا ۱۰۰۰ میکروگرم در میلی لیتر) استفاده شد و محتوای فنولی کل به صورت میلی گرم اسید گالیک در هر کیلوگرم نمونه گزارش شد [۲۲].

## ۲-۸- اندازه‌گیری ضریب شکست

ضریب شکست روغن با دستگاه رفاکتومتر و در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد و مطابق روش AOCs Cd 7-25 تعیین گردید [۲۱].

## ۲-۹- طرح آزمایش و تحلیل آماری

روش‌شناسی سطح پاسخ، با استفاده از یک طرح چرخش‌پذیر مرکب مرکزی برای ارزیابی پارامترهای ثابت مطالعه، زمان فراصوت ( $X_1$ ) و سرعت دورانی پرس ماریچی ( $X_2$ ) بر میزان راندمان استخراج روغن، اسیدیته، پایداری اکسایشی، پراکسید، ترکیبات فنولی کل و ضریب شکست به عنوان 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 بادام زمینی 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. کیفیت و صحت مدل رگرسیونی و مناسب بودن برازش صورت گرفته به وسیله پارامترهای آنالیز مدل، ضعف برازش، و ضریب تعیین مشخص می‌شود و آنالیز آماری توسط نرم افزار Design Expert نسخه 6.0.2 صورت گرفت.

## ۲-۳- راندمان استخراج روغن

برای مشخص کردن راندمان استخراج روغن، ابتدا وزن دانه مصرف شده و وزن روغن حاصل از آن تعیین شد و با استفاده از رابطه ۱ میزان آن به دست آمد [۸].

$$R = Q/X \times 100$$

در رابطه (۱)، R: راندمان روغن‌کشی به درصد، Q: مقدار روغن استخراج شده به گرم، X: وزن دانه‌های اولیه به گرم

## ۲-۴- اسیدیته روغن

برای اندازه‌گیری اسیدیته از روش AOCs Cd 3-63 (۱۹۹۳) استفاده شد و نتایج بر حسب درصد اسید اولئیک گزارش شد [۲۱].

## ۲-۵- آزمون پایداری اکسایشی

میزان پایداری اکسایشی روغن‌ها به وسیله دستگاه رنسیمت و مطابق روش AOCs Cd 12b-92 (۱۹۹۳)، در دمای ۱۱۰ درجه سانتی‌گراد و با سرعت جریان هوا ۲۵ لیتر بر ساعت اندازه‌گیری گردید [۲۱].

## ۲-۶- تعیین اندیس پراکسید

میزان پراکسید روغن‌ها مطابق روش AOCs Cd 8-53 (۱۹۹۳) اندازه‌گیری گردید [۲۱].

## ۲-۷- تعیین میزان ترکیبات فنولی کل

محتوای فنولی کل با روش رنگ‌سنجی و با استفاده از معرف فولین سیوکالتو تعیین شد. به این منظور یک گرم از هر نمونه با سه میلی‌لیتر محلول متانول: آب (به نسبت ۹۰ به ۱۰) مخلوط و به مدت ۴ دقیقه همزده شد و سپس به مدت ۵ دقیقه در سانتریفوژ با دور ۳۰۰۰ دور در دقیقه قرار گرفت و ۲۰ میکرولیتر از فاز بالای استخراج متانولی با ۸/۲ میلی‌لیتر آب و ۰/۵ میلی‌لیتر معرف فولین مخلوط و بعد از ۵ دقیقه یک میلی‌لیتر کربنات سدیم ۱۰ درصد به مخلوط فوق اضافه و به

Table 1 Model selection for dependent (response) variables.

| Models     | Oil extraction yield |          | Oil acidity    |          | Oxidative stability |          | Peroxide Value |          | Phenolic Compounds |          | Refractive indexes |      |
|------------|----------------------|----------|----------------|----------|---------------------|----------|----------------|----------|--------------------|----------|--------------------|------|
|            | Sum of squares       | Pb>F     | Sum of squares | Pb>F     | Sum of squares      | Pb>F     | Sum of squares | Pb>F     | Sum of squares     | Pb>F     | Sum of squares     | Pb>F |
| Intercept  | 21615.03             |          | 9.55           |          | 946.06              |          | 17.70          |          | 428000             |          | 28.13              |      |
| Linear     | 240.3                | 0.0016   | 0.16           | < 0.0001 | 0.80                | 0.0002   | 0.97           | < 0.0001 | 2843               | 0.0405   | 0.00               |      |
| Polynomial | 1.59                 | 0.6994   | 0.0025         | 0.1091   | 0.0049              | 0.6340   | 0.058          | 0.0121   | 313                | 0.3458   | 0.00               |      |
| Quadratic  | 88.78                | < 0.0001 | 0.0004         | 0.9094   | 0.17                | < 0.0001 | 0.044          | < 0.0001 | 2759               | < 0.0001 | 0.00               |      |
| Cubic      | 0.36                 | 0.3637   | 0.014          | 0.029    | 0.0033              | 0.8979   | 0.00233        | 0.5357   | 59.14              | 0.074    | 0.00               |      |
| Residue    | 0.72                 |          | 0.0015         |          | 0.0075              |          | 0.0072         |          | 32.40              |          | 0.00               |      |
| Total      | 21946.79             |          | 9.73           |          | 965.05              |          | 18.78          |          | 464000             |          | 28.13              |      |

**Table 2** Analysis of variance for determined parameters in oil extraction by ultrasonic pretreatment.

| Source                        | Oil extraction yield |         |          | Oil acidity    |         |          | Oxidative stability |         |          | Peroxide Value |         |          | Phenolic Compounds |         |          | Refractive indexes |         |      |
|-------------------------------|----------------------|---------|----------|----------------|---------|----------|---------------------|---------|----------|----------------|---------|----------|--------------------|---------|----------|--------------------|---------|------|
|                               | Sum of squares       | F value | Pb>F     | Sum of squares | F value | Pb>F     | Sum of squares      | F value | Pb>F     | Sum of squares | F value | Pb>F     | Sum of squares     | F value | Pb>F     | Sum of squares     | F value | Pb>F |
| Model                         | 330.68               | 427.22  | < 0.0001 | 0.16           | 37.84   | < 0.0001 | 0.98                | 173.21  | < 0.0001 | 1.07           | 162.68  | < 0.0001 | 5915.8             | 90.48   | < 0.0001 | 0.00               |         |      |
| X <sub>1</sub>                | 226.44               | 1462    | < 0.0001 | 0.043          | 20.03   | 0.0012   | 0.73                | 651.08  | < 0.0001 | 0.086          | 65.72   | < 0.0001 | 341.1              | 26.09   | 0.0014   |                    |         |      |
| X <sub>2</sub>                | 13.86                | 89.55   | < 0.0001 | 0.12           | 55.65   | < 0.0001 | 0.064               | 56.75   | 0.001    | 0.88           | 670.67  | < 0.0001 | 2502.27            | 191.36  | < 0.0001 |                    |         |      |
| X <sub>1</sub> <sup>2</sup>   | 78.74                | 508.62  | < 0.0001 |                |         |          | 0.0084              | 7.45    | 0.0294   | 0.015          | 11.76   | 0.011    | 2712.55            | 207.44  | < 0.0001 |                    |         |      |
| X <sub>2</sub> <sup>2</sup>   | 0.20                 | 1.31    | 0.2905   |                |         |          | 0.12                | 102.99  | < 0.0001 | 0.012          | 8.83    | 0.0201   | 183.27             | 14.02   | 0.0072   |                    |         |      |
| X <sub>1</sub> X <sub>2</sub> | 1.59                 | 10.26   | 0.0150   |                |         |          | 0.0049              | 4.34    | 0.0757   | 0.058          | 4382    | 0.003    | 313.47             | 23.97   | 0.0018   |                    |         |      |
| Residual                      | 1.08                 |         |          | 0.022          |         |          | 0.0079              |         |          | 0.0092         |         |          | 91.53              |         |          | 0.00               |         |      |
| Lack of Fit                   | 0.63                 |         | 0.2832   | 0.021          | 26.01   | 0.0036   | 0.0013              | 0.28    | 0.8363   | 0.0061         | 2.65    | 0.1849   | 87.35              | 27.87   | 0.038    |                    |         |      |
| Pure Error                    | 0.46                 |         |          | 0.0005         |         |          | 0.0065              |         |          | 0.0038         |         |          | 4.18               |         |          | 0.00               |         |      |
| Cor Total                     | 331.76               |         |          | 0.99           |         |          | 0.19                |         |          | 1.08           |         |          | 6007.4             |         |          | 0.00               |         |      |

### ۳- نتایج و بحث

#### ۳-۱- تأثیر پارامترهای عملیاتی بر میزان

#### راندمان استخراج روغن

بهترین مدل انتخابی برای میزان راندمان استخراج روغن از بادام‌زمینی، مدل چند جمله‌ای درجه دوم بود (جدول ۱). نتایج جدول ۲، نشان داد که اثرات خطی زمان فراصوت و همچنین سرعت دورانی پرس بر میزان راندمان استخراج روغن معنی‌دار بود. از طرفی مشخص شد که اثر خطی زمان فراصوت و بعد از آن پارامتر درجه دوم این متغیر بیشترین تأثیر را بر میزان راندمان استخراج روغن داشت. از شکل ۱، می‌توان نتیجه گرفت که افزایش زمان فراصوت منجر به افزایش میزان راندمان استخراج روغن گردید ولی با افزایش بیشتر این متغیر میزان راندمان استخراج احتمالاً به علت تخریب روزنه‌های خروجی روغن کاهش یافت. چان و همکاران (۲۰۰۹) بیان داشتند که در اثر انتشار امواج صوتی در فاز جامد- مایع، چرخه انقباض و انبساط در محیط ایجاد می‌شود که موجب

تشکیل حباب‌ها شده و این حباب‌ها رشد می‌کنند و در نهایت متلاشی می‌شوند. این عمل باعث نوسان ذرات جامد و مایع شده و تحت عمل فراصوت سرعت پیدا می‌کنند در نتیجه مواد حل شونده سریع از فاز جامد به حلال انتشار پیدا می‌کنند. علاوه بر این، اثرات دیگری مثل امولسیفیکاسیون، انتشار و صدمه به بافت نیز به افزایش استخراج اجزای موردنظر از مواد خام کمک می‌کنند [۲۳]. همچنین می‌توان چنین بیان کرد که اثر حلال در زمان تماس طولانی موجب استخراج ترکیبات ناخالص می‌شود با افزایش سرعت دورانی پرس ماریچی نیز میزان راندمان استخراج روغن به علت کمتر شدن میزان فشار وارده بر دانه‌ها کاهش یافت. مطالعات صورت گرفته توسط بخش‌آبادی و همکاران (۲۰۱۷)، اون و همکاران (۲۰۰۷) و دیلی و همکاران (۲۰۱۱) نیز دلالت بر کاهش راندمان استخراج با افزایش سرعت دورانی پرس داشت [۸، ۲۴ و ۲۵]. در جدول ۳ (مدل ۱)، مدل نهایی ارائه شده برای میزان راندمان استخراج روغن به نمایش در آورده شده است.

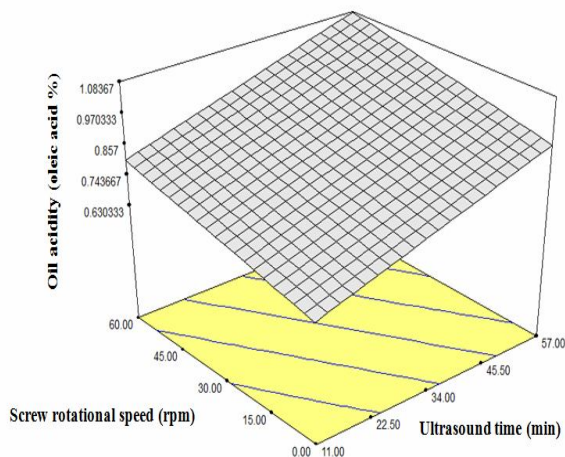


Fig 2 3D graph of ultrasound time and screw press rotational speed on oil acidity.

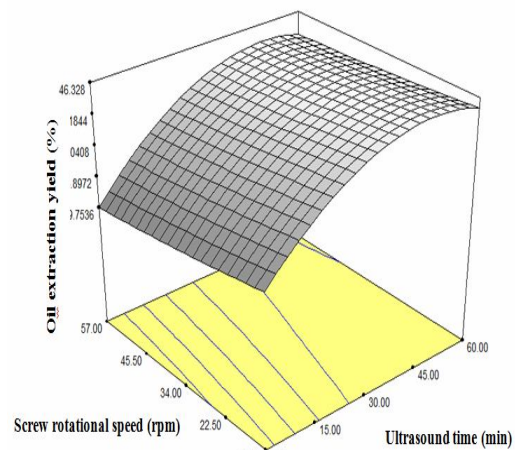


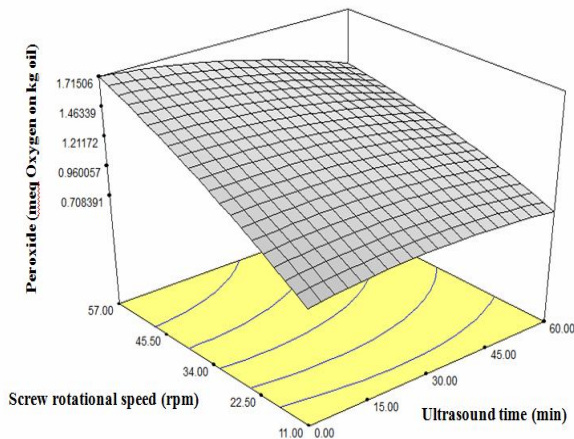
Fig 1 3D graph of ultrasound time and screw press rotational speed on oil extraction yield

### ۳-۳- بررسی روند تغییرات پایداری اکسایشی

پایداری اکسایشی عبارت است از مدت زمان لازم برای رسیدن به نقطه‌ای که در آن یکی از کمیت‌های اکسایشی مانند عدد پراکسید یا عدد کربونیل پس از طی نمودن روند افزایشی خود به طور ناگهانی افزایش می‌یابد و باعث تولید طعم و بوی نامطلوب در روغن می‌شود. اکسایش باعث ایجاد فساد می‌شود که بوی نامطلوب و کاهش کیفیت غذا را به دنبال دارد. روش‌های متعددی برای ارزیابی مواد حاصل از فرایندهای حرارتی که دارای آثار زیادی بر خواص شیمیایی، فیزیکی و تغذیه‌ای روغن هستند، وجود دارد که یکی از مهم‌ترین آن‌ها شاخص پایداری اکسایشی است [۳۰]. با توجه به جدول تجزیه واریانس (جدول ۲)، پارامترهای مورد بررسی به جز اثر متقابل زمان فراصوت و سرعت دورانی پرس ماریچی اثر معنی داری در مدل داشتند و پارامتر خطی زمان فراصوت دارای بیشینه اثرگذاری بر میزان پایداری اکسایشی بود. رابطه زمان فراصوت و سرعت دورانی پرس بیانگر این مطلب بود که با افزایش زمان فراصوت میزان پایداری اکسایشی افزایش ولی با افزایش سرعت دورانی این فاکتور کاهش یافت. این حالت به وضوح در شکل ۳ نشان داده شده است. انفجار حباب‌ها، باعث ایجاد اغتشاشات شدید موضعی و تلاطم‌های گرداب گونه شده که از این طریق انتقال جرم را افزایش می‌دهد و احتمالاً میزان ترکیبات ضد اکسنده را در داخل روغن افزایش می‌دهند [۳۱]. علت کاهش پایداری اکسایشی را احتمالاً می‌توان به کاهش میزان ترکیبات توکوفرولی و ضد اکسنده در اثر افزایش حرارت [۳۲] ناشی از افزایش سرعت پرس نسبت داد.

### ۳-۲- تاثیر متغیرهای مستقل بر میزان اسیدیته روغن‌ها

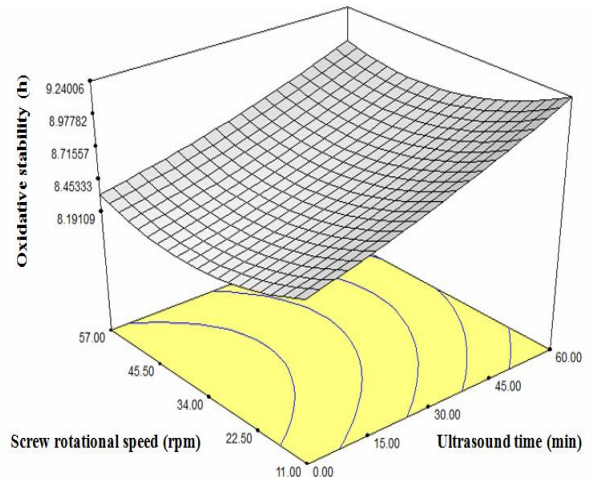
مقادیر موجود در جدول ۲ و همچنین مدل آورده شده برای اسیدیته (جدول ۳) نشان داد که بیشترین تأثیر بر میزان اسیدیته روغن‌ها را سرعت دورانی پرس ماریچی داشت. از طرفی مشخص گردید که افزایش زمان فراصوت و سرعت دورانی پرس ماریچی منجر به افزایش اسیدیته روغن گردید (شکل ۲). علت افزایش اسیدیته با افزایش زمان فراصوت را می‌توان به فعالیت بیشتر آنزیم‌لیپاز نسبت داد که منجر به تولید اسیدهای چرب روغن که ترکیبات نامطلوبی در روغن‌های خوراکی محسوب می‌شوند، می‌گردد [۲۰]. با افزایش سرعت دورانی پرس نیز میزان اسیدیته روغن‌ها احتمالاً به علت افزایش دمای فرایند افزایش یافت. آمیلا کارتیکا و همکاران (۲۰۰۵) و همچنین اسریتی و همکاران (۲۰۱۲)، نیز بیان داشتند که با افزایش سرعت دورانی پرس اسیدیته روغن افزایش می‌یابد [۲۶ و ۲۷]. 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، باعث ایجاد تغییرات فیزیکی در سلول می‌شود این آنزیم‌ها فعالیت خود را آغاز می‌نمایند [۲۸]. افزایش اسیدیته، بدون شک ناشی از شکستن اتصالات استری مولکول‌های تری‌گلیسریدی ناشی از حرارت‌دهی است [۲۹].



**Fig 4** 3D graph of ultrasound time and screw press rotational speed on peroxide.

### ۳-۵- بررسی روند تغییرات فنول کل

جدول ۱ نشان داد که مدل چند جمله‌ای درجه دوم برای بررسی تغییرات فنول کل روغن‌ها بهترین مدل انتخاب گردید از طرفی در جدول ۲، نیز آورده شد که تمامی پارامترهای مورد بررسی بر میزان فنول کل روغن‌ها موثر بود. با افزایش زمان فرایند فراصوت میزان فنول کل روغن‌ها ابتدا کاهش و سپس افزایش یافت در حالی که با افزایش سرعت پرس میزان آن همواره افزایش یافت (شکل ۵). با افزایش زمان تیمار فراصوت، سطح تماس بین حلال و ماده جامد توسعه می‌یابد که خود باعث تخریب دیواره‌های سلولی بیشتر و در نتیجه انتقال جرم بیشتر می‌شود و این به معنای انتشار و افزایش ترکیبات فنولی به حلال می‌باشد. 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 [۳۶ و ۳۷]. در پژوهش دیگر هان و همکاران (۲۰۱۱) و لین و همکاران (۲۰۱۱) به نتایج مشابهی دست یافتند [۳۸ و ۳۹]. کورالس و همکاران (۲۰۰۸)، در پژوهشی آنتوسیانین‌های موجود در ضایعات انگور را توسط فرآیند فراصوت- فشار هیدرواستاتیک بالا و پالس الکتریکی استخراج کرده و راندمان آن را بررسی کردند [۴۰]. نتایج نشان داد بعد از یک ساعت از زمان استخراج، کل میزان ترکیبات فنولی نمونه‌های تیمار شده با روش‌های نوین ۵ درصد بالاتر از نمونه‌های کنترل بود. همچنین با به کارگیری این فرآیندها جهت استخراج، فعالیت آنتی‌اکسیدانی عصاره‌ها نیز افزایش



**Fig 3** 3D graph of ultrasound time and screw press rotational speed on oxidative stability.

### ۳-۴- تأثیر پارامترهای عملیاتی بر میزان

#### پراکسید روغن

نتایج جدول ۱، نشان داد که بهترین مدل برای داده‌های حاصل از پراکسید روغن‌ها، مدل چند جمله‌ای درجه دوم بود از طرفی همانطور که در جدول ۲ آورده شده است، تمام پارامترهای مورد بررسی بر میزان پراکسید روغن‌های استخراجی موثر بوده است. همانطور که در شکل ۴ آورده شده است با افزایش زمان فراصوت و سرعت دورانی پرس ماریچی، میزان پراکسید نمونه‌ها به ترتیب کاهش و افزایش یافت که علت این کاهش احتمالاً به علت تخریب محصولات اولیه اکسیداسیون و عدم اندازه‌گیری آن‌ها توسط این روش اندازه‌گیری بود. علت افزایش میزان پراکسید را نیز می‌توان به اکسیداسیون بیشتر اسیدهای چرب نسبت داد که با افزایش سرعت دورانی بیشتر می‌گردد. نتایج این بخش با نتایج چمت و همکاران (۲۰۰۴) و جلیلی و همکاران (۲۰۱۷) که دریافتند امواج فراصوت باعث ایجاد رایکال آزاد و ترکیبات فرار شده و در نتیجه افزایش عدد پراکسید را به دنبال دارد، مغایرت داشت. هیدروپراکسیدها، محصولات اولیه اتواکسیداسیون مواد چرب هستند و به‌طور کلی هر قدر که درجه غیراشباعی روغن‌ها و چربی‌ها بیشتر باشد آمادگی آن‌ها برای اکسیداسیون بیشتر می‌شود [۳۳ و ۳۴] در ادامه اکسیداسیون روغن‌ها، مواد فرار آلدئیدی، ستونی، الکیلی و ... تولید می‌شود که عامل ایجاد طعم و بوی نامطبوع هستند. گرما، نور، اکسیژن و فلزات از جمله عوامل تشدید کننده اکسیداسیون هستند [۳۵].

ضرب شکست روغن‌ها بی‌تأثیر بود (جدول ۲) و میزان آن برای تمامی نمونه‌های اندازه‌گیری شده برابر ۱/۴۷۱ بود. ضرب 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 ضرب شکست خاص خود را دارند لذا این ویژگی، برای تشخیص هویت و تعیین خلوص روغن‌ها و چربی‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد. ضرب شکست در کنترل پیشرفت واکنش‌ها نظیر هیدروژناسیون و ایزومریزاسیون کاتالیزوری روغن‌ها مفید است. همچنین برای تشخیص اکسایش روغن نیز از ضرب شکست استفاده می‌شود درجه حرارت و اشباعیت از عوامل مؤثر بر ضرب شکست هستند [۴۱]. مقیمی و همکاران (۲۰۱۸)، نشان دادند که امواج فراصوت بر میزان ضرب شکست روغن سیاه دانه تأثیر معنی‌داری نداشت [۲۰]. بخش آبادی و همکاران (۲۰۱۷) نیز که تأثیر پیش تیمارهای میدان الکتریکی پالسی و ریزموج بر برخی از خصوصیات فیزیکوشیمیایی روغن سیاه دانه را مورد بررسی قرار دادند، بیان داشتند که این تیمارها تغییری بر میزان ضرب شکست این روغن ایجاد نمی‌کند [۸].

نشان داد. در جدول ۳ مدل به‌دست آمده از برازش فنول کل روغن تحت تأثیر پیش تیمار فراصوت آورده شده است که حاکی از اثرگذاری بیشتر پارامتر درجه دوم زمان فراصوت بر آن بود.

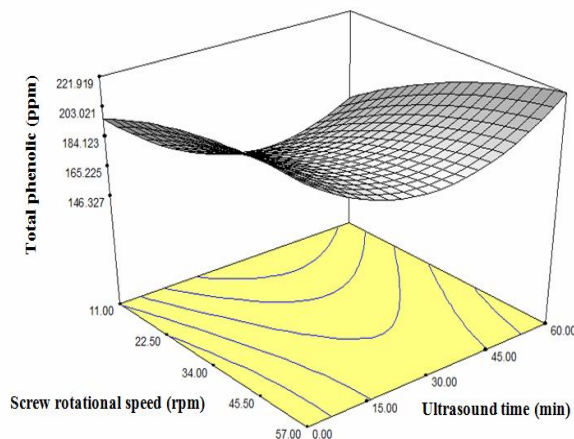


Fig 5 3D graph of ultrasound time and screw press rotational speed on total phenol.

### ۳-۶- تأثیر پارامترهای عملیاتی بر میزان ضرب شکست روغن

جدول (۱) نشان داد که تمامی مدل‌های مورد بررسی برای ضرب شکست روغن‌ها معنی‌دار نبود و تمامی متغیرهای آزمایش (زمان فراصوت و سرعت دورانی پرس ماریچی) بر

Table 3 Designed equation models for dependent variable.

| Number | Dependent variable   | Equation   | R <sup>2</sup> | R <sup>2</sup> -adj | C.V  |
|--------|----------------------|--|----------------|---------------------|------|
| 1      | Oil extraction yield | $y = +43.12 + 6.14 X_1 - 1.52 X_2 - 5.34 X_1^2 + 0.27 X_2^2 + 0.63 X_1 X_2$    | 0.99           | 0.99                | 1.96 |
| 2      | Oil acidity          | $y = +0.86 + 0.085 X_1 + 0.14 X_2$   | 0.88           | 0.86                | 5.43 |
| 3      | Oxidative stability  | $y = +8.49 + 0.35 X_1 - 0.10 X_2 + 0.055 X_1^2 + 0.21 X_2^2 - 0.035 X_1 X_2$   | 0.99           | 0.98                | 0.39 |
| 4      | Peroxide Value       | $y = +1.23 - 0.12 X_1 + 0.38 X_2 - 0.075 X_1^2 - 0.065 X_2^2 - 0.12 X_1 X_2$   | 0.99           | 0.98                | 3.11 |
| 5      | Phenolic Compounds   | $y = +176.99 - 7.54 X_1 + 20.42 X_2 + 31.34 X_1^2 - 8.15 X_2^2 + 8.85 X_1 X_2$ | 0.98           | 0.97                | 1.93 |
| 6      | Refractive indexes   | $y = +1.47$  |                |                     | 0.00 |

به‌منظور یافتن بهترین شرایط استخراج روغن از بادام زمینی با پیش تیمار فراصوت، با توجه به زمان فراصوت که بین ۰ تا ۶۰ دقیقه و سرعت دورانی پرس که بین ۱۱ تا ۵۷ دور در دقیقه

### ۳-۷- بهینه‌سازی فرایند روغن‌کشی از بادام زمینی

- University of Gonbad Kavoods. 121 p. (In Persian).
- [5] Vakili, D. and Sadeghi, S.M. 2013. Peanuts. Shomal Sabz Neda publications. 104 p. (In Persian).
- [6] Sarkis, J.R., Boussetta, N., Tessaro, I.C., Ferreira Marczak, L.D. and Vorobiev, E. 2015. Application of pulsed electric fields and high voltage electrical discharges for oil extraction from sesame seeds. *Journal of Food Engineering*. 153: 20–27.
- [7] Rostami, M., Farzaneh, V., Boujmehrani, A., Mohammadi, M. and Bakhshabadi, H. 2014. Optimizing the extraction process of sesame seeds oil using response surface method on the industrial scale. *Industrial Crops and Products*. 58:160–165.
- [8] Bakhshabadi, H., Mirzaei, H., Ghodsvai, A., Jafari, S. M., Ziaifar, A. M., & Farzaneh, V. 2017. The effect of microwave pretreatment on some physico-chemical properties and bioactivity of Black cumin seeds' oil. *Industrial crops and products*, 97, 1-9.
- [9] Bakhshabadi, H., Mirzaei, H., Ghodsvai, A., Jafari, S. M. and Ziaifar, A. M. 2018. The influence of pulsed electric fields and microwave pretreatments on some selected physicochemical properties of oil extracted from black cumin seed. *Food science & nutrition*, 6(1), 111-118.
- [10] Kadam, S.U., Tiwari, B.K., Álvarez, C. and O'Donnell, C.P. 2015. Ultrasound applications for the extraction, identification and delivery of food proteins and bioactive peptides. *Trends in Food Science & Technology*. Technol. 46: 60–67.
- [11] Samaram, S., Mirhosseini, H., Tan, C.P., Ghazali, H.M., Bordbar, S. and Serjouie, A. 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 Chemiatry*. 172: 7–17.
- [12] Arends, B.J., Blindt, R.A., Janssen, J. and Patrick, M. 2003. U.S. Patent No. 6,630,185. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.
- [13] Shirsath, S.R., Sonawane, S.H. and Gogate, P.R. 2012. Intensification of extraction of natural products using ultrasonic irradiations—a review of current status. *Chemical Engineering and Processing*. 53: 10–23.

تنظیم شده بود، فرایند استخراج روغن در شرایط ذکرشده به‌منظور رسیدن به حداکثر راندمان استخراج، پایداری اکسایشی و فنول کل و کمینه نمودن اسیدیتته و پراکسید بهینه‌یابی گردید. نتایج نشان داد که به‌منظور رسیدن به اهداف ذکرشده، بایستی زمان فراصوت ۶۰ دقیقه و سرعت دورانی پرس ۲۰/۷۳ دور در دقیقه باشد تا مطلوبیت ۰/۷۴۶ حاصل گردید.

#### ۴- نتیجه‌گیری کلی

با توجه به اینکه در فرایند استخراج روغن، تیماردهی مناسب دانه قبل از استخراج یکی از مهمترین و ضروری‌ترین مراحل برای تولید مطالعه محصولی با کیفیت و راندمان بالاست، لذا در این تحقیق اثر پیش‌تیمار فراصوت و همچنین سرعت دورانی پرس ماریجی بر خصوصیات روغن استخراج شده از بادام‌زمینی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج این تحقیق نشان داد که با افزایش زمان فراصوت میزان راندمان استخراج روغن و ترکیبات فنولی ابتدا افزایش و سپس کاهش یافت. با افزایش سرعت دورانی پرس ماریجی نیز میزان راندمان استخراج روغن و پایداری اکسایشی کاهش ولی میزان اسیدیتته، پراکسید و ترکیبات فنولی کل افزایش یافت. افزایش زمان فراصوت منجر به افزایش اسیدیتته، پایداری اکسایشی و کاهش پراکسید گردید. از طرفی مشخص گردید که تمامی متغیرهای آزمایش (زمان فراصوت و سرعت دورانی پرس ماریجی) بر ضریب شکست روغن‌ها بی‌تأثیر بود. در پایان می‌توان بیان داشت که استفاده از فراصوت در استخراج روغن به‌عنوان پیش‌تیمار بسیار مفید است.

#### ۵- منابع

- [1] Malek, F. 2001. Edible fats and vegetable oils. Farhang-o Ghalam Publication. 464 p. (In Persian).
- [2] Maiti, R. and Ebeling, P.W. 2002. The peanut (*Arachis hypogaea* L.) crop. Science Publishev, Inc. 376p.
- [3] Megahad, M.G. 2001. Microwave Roasting of Peanuts: Effects on Oil Characteristics and Composition. *Nahrung*, 45: 255–257.
- [4] Shirazi, R. 2017. Optimization of oil extraction from peanut seeds by using ultrasound waves and microwave pretreatment. M.Sc Thesis in food science & technology, Islamic Azad



- extraction of oil from sunflower seeds by twin-screw extruder according to an aqueous extraction process: Feasibility study and influence of operating conditions. *Industrial Crops and Products*. 26: 351–359.
- [25] Deli, S., Masturah, M.F., Aris, Y.T. and Nadiyah, W.A.W. 2011. The effects of physical parameters of the screw press oil expeller on oil yield from *Nigella sativa* L seeds. *International Food Research Journal*. 18:1367- 1373.
- [26] Amalia Kartika, I., Pontalier, P.Y. and Rigal, L. 2005. Oil extraction of oleic sunflower seeds by twin screw extruder: influence of screw configuration and operating conditions. *Industrial Crops and Products*. 22: 207–222.
- [27] Sriti, J., Msaada, K., Talou, T., Faye, M., Kartika, I.A. and Marzouk, B. 2012. Extraction of coriander oil by twin-screw extruder: Screw configuration and operating conditions effect. *Industrial Crops and Products*. 40: 355– 360.
- [28] 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 I Science*. 9(1): 1-15.
- [29] Bruhn, C.M. 1995. Consumer attitudes and market response to irradiated food. *Journal of Food Protection*. 58:175-181.
- [30] White, P.J. 1991. Methods for measuring changes in deep-fat frying oils. *Food Technology*, 45: 75-80.
- [31] Shotipruk, A and Kaufman, P. B. 2001. Feasibility study of repeated harvesting of menthol from biologically viable *Mentha x piperata* using ultrasonic extraction. *Biotechnol Prog* 17(5): 924-928.
- [32] Giovanna, N. 2010. Thermal oxidative process in extra virgin olive oils. *Journal of food chemistry*, 126, 3: 1226-1231.
- [33] Chemat, F., Grondin, I., Shum Cheong Sing, A. and Smadja, J. 2004. Deterioration of edible oils during food processing by ultrasound. *Ultrasonic Sonochemistry*. 11:13– 15.
- [34] Jalili, F., Jafari, S.M., 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*. 1-16.
- [14] Lingyun, W., Jianhua, W., Xiaodong, Z., Yalin, Y., Chenggang, C., Tianhua, F. and Fan, Z. 2007. Studies on the extracting technical conditions of inulin from Jerusalem artichoke tubers. *Journal of Food Engineering*. 79 :1087–1093.
- [15] Virot, M., Tomao, V., Le Bourvellec, C., Renard, C.M and Chemat, F. 2010. Towards the industrial production of antioxidants from food processing by-products with ultrasound-assisted extraction, *Ultrason. Sonochem*. 17 (6): 1066–1074.
- [16] Jambrak, A.R., Mason, T.J., Lelas, V., Herceg, Z. and Herceg, I.L. 2008. Effect of ultrasound treatment on solubility and foaming properties of whey protein suspensions. *Journal of Food Engineering*. 86: 281–287.
- [17] Zhang, Z.S., Wang, L.J., Li, D., Jiao, S.S., Chen, X.D. and Mao, Z.H. 2008. Ultrasound-assisted extraction of oil from flaxseed. *Separation and Purification Technology*. 62: 192–198.
- [18] Lin, J.Y., Zeng, Q.X., AN, Q., Zeng, Q.Z., Jiang, L.X. and Zhu, Z.W. 2012. Ultrasonic extraction of hempseed oil. *Journal of Food Process Engineering*. 35: 76–90.
- [19] Goula, A.M. 2013. Ultrasound-assisted extraction of pomegranate seed oil – kinetic modeling. *Journal of Food Engineering*. 117: 492–498.
- [20] Moghimi, M., Farzaneh, V. and Bakhshabadi, H. 2018. The effect of ultrasound pretreatment on some selected physicochemical properties of black cumin (*Nigella Sativa*). *Nutrire*. 43(18): 2-8.
- [21] AOCS. 1993. Official Methods and Recommended Practices of the American Oil Chemists' Society, AOCS Press, Champaign, IL. 762p.
- [22] 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.
- [23] Chan, S. W., Lee, C. Y., Yap, C. F. Wan Mustapha, W.A. and Ho. C. W. 2009. Optimisation of extraction conditions for phenolic compounds from limau purut (*Citrus hystrix*) peels. *International Food Research Journal* .16 (2): 203-213.
- [24] Evon, P.H., Vandenbossche, V., Pontalier, P.Y. and Rigal, L. 2007. Direct

- Ultrasonic extraction of hempseed oil. *Journal of Food Process Engineering*. 35: 76–90.
- [40] Corrales, M., Toepfl, S., Butz, P., Knorr, D. and Tauscher, B. 2008. Extraction of anthocyanins from grape by-products assisted by ultrasonics, high hydrostatic pressure or pulsed electric fields: A comparison. *Journal of Innovative Food Science and Emerging Technologies*. 9: 85–91.
- [41] Uquiche, E., Jeréz, M. and Ort, Z.J. 2008. Effect of pretreatment with microwaves on mechanical extraction yield and quality of vegetable oil from Chilean hazelnuts (*Gevuina avellana* Mol). *Innovative Food Science and Emerging Technologies*. 9: 495–500.
- [35] Kadivar, M. and Goli, S.A.H. 2007. *Edible Oil Processing*. Isfahan University of Technology publications. 322p. (In Persian).
- [36] Luque-Garcia, J. L. and Luque de Castro, M. D. 2003. Ultrasound: a powerful tool for leaching. *Trends in Analytical Chemistry*. 22 (1): 41-47.
- [37] Pinelo, M., Fabbro, P. D., Manzocco, L., Nunez, M.J. and Nicoli, M.C. 2005. Optimization of continuous extraction from *Vitisvinifera* by products. *Food Chemistry*. 92: 109-117.
- [38] Han, L., Zhang, H.D., Luo, S.S and Luo, K. 2011. Optimization of ultrasound-assisted extraction of total phenol from betel (*Areca catechu* L.) nut seed and evaluation of antioxidant activity in vitro. *African Journal of Biotechnology*. 10(46): 9289-9296.
- [39] Lin, J. Y., Zeng, Q. X., An, Q., Zeng, Q. Z., Jian, L. X. and Zhu, Z. W. 2011.

## Optimization of oil extraction from peanut with ultrasonic pretreatment by using the response surface method (RSM)

Mirdeylami, S. M.<sup>1</sup>, Forghani, M.<sup>1</sup>, Shirazi, R.<sup>2</sup>, Bakhshabadi, H.<sup>2\*</sup>

1. Member of the Board of Kavardasht Agro-industry company, Aliabad-e- Katul, Iran

2. Department of Food science and Tecnology, Gonbad Kavoos Branch, Islamic Azad University, Gonbad Kavoos, Iran

(Received: 2018/09/15 Accepted: 2019/06/23)

There are various methods available to assist in the oil extraction from oil seeds, one of which is the use of ultrasonic waves. In this research, in order to optimize the process of extraction of oil from the peanut using ultrasound pretreatment, three levels of sonication time (0, 30 and 60 min) were used. After using these pretreatments, the oil of seeds was extracted with screw press with different rotation speeds (11, 34 and 57 rpm), then parameters including oil extraction yield, acidity, oxidative stability, peroxide, total phenolic compounds and refractive index of the samples were studied. Statistical analysis and process optimization was performed with the use of response surface methodology (RSM). The results showed that with increasing sonication time, oil extraction yield and phenolic compounds increased first and then decreased. By increasing the speed of the screw press, the amount of oil extraction yield and oxidative stability decreased, but the acidity, peroxide and total phenolic compounds increased. Increasing the sonication time also resulted in increased acidity, oxidative stability and peroxide reduction. On the other hand, it was determined that the parameters did not affect the rate of refractive index and its rate was 1.471 for all measured samples. According to the results of process optimization, it might be stated that with applying 60 minutes of ultrasound time and screw-rotation speed of the press of 21.73 rpm can provide a 0.766 utility for extracting oil from peanut.

**Keywords:** Peanut, Oil Extraction, Optimization, Ultrasonic.

---

\* Corresponding Author E-Mail Address: h.bakhshabadi@yahoo.com