

# بهینه‌سازی فرایند استخراج روغن از دانه‌های گلرنگ با پیش تیمار مایکروویو و تخمین پارامترهای فرایند با کمک شبکه‌ی عصبی مصنوعی

زهرا دولت آبادی<sup>1\*</sup>، سید علی مرتضوی<sup>2</sup>، معصومه مقیمی<sup>3</sup>، حمید بخش آبادی<sup>4</sup>، سید حسین استیری<sup>2</sup>

1- باشگاه پژوهشگران جوان ونخبگان، واحد سبزوار، دانشگاه آزاد اسلامی، سبزوار، ایران

2- گروه علوم و صنایع غذایی، واحد سبزوار، دانشگاه آزاد اسلامی، سبزوار، ایران.

3- گروه شیمی، واحد گنبد کاووس، دانشگاه آزاد اسلامی، گنبد کاووس، ایران

4- باشگاه پژوهشگران جوان ونخبگان، واحد گرگان، دانشگاه آزاد اسلامی، گرگان، ایران

تاریخ پذیرش: 1396/08/27

تاریخ دریافت: 1396/02/03

## چکیده

در این تحقیق بهینه‌سازی استخراج روغن از دانه‌های گلرنگ با پیش تیمار مایکروویو با هدف بیشینه نمودن راندمان استخراج روغن، پایداری اکسیداتیو و فنول کل و کمینه نمودن میزان اسیدیته روغن توسط روش سطح پاسخ و در نهایت تخمین این پاسخ‌ها با کمک شبکه عصبی انجام گرفت. اثرات دو فاکتور توان مایکروویو در محدوده‌ی 180 تا 900 وات و زمان مایکروویو در محدوده 90 تا 270 ثانیه با کمک طرح مرکب مرکزی بر پارامترهای راندمان استخراج روغن، اسیدیته، ضریب شکست روغن، پایداری اکسیداتیو و فنول کل نمونه‌ها بررسی گردید. بررسی نتایج نشان داد شرایط بهینه برای فرایند استخراج روغن از دانه‌های گلرنگ با پیش تیمار مایکروویو زمانی ایجاد می‌شود که توان مایکروویو 900 وات و زمان آن 270 ثانیه باشد. افزایش توان و زمان مایکروویو منجر به افزایش تمام پاسخ‌های مورد بررسی به‌جز ضریب شکست گردید ولی روی ضریب شکست تأثیر معنی‌داری نداشت ( $p > 0/01$ ). همچنین نتایج مدل‌سازی شبکه عصبی مصنوعی نشان داد که شبکه‌ای با یک لایه پنهان حاوی 9 نورون یعنی چیدمان 5-9-2 (شبکه‌ای با 2 ورودی، 9 گره (نورون) در لایه پنهان و 5 خروجی)، بهترین نتیجه را در پیش‌بینی خروجی‌های مورد نظر دارد. این شبکه با مقدار ضریب همبستگی 0/989 و میانگین مربعات خطای 0/0002 بالاترین دقت را در بین توپولوژی‌های در نظر گرفته شده از خود نشان داد.

**واژه های کلیدی:** استخراج روغن، گلرنگ، مایکروویو، مدل‌سازی شبکه عصبی.

## 1- مقدمه

امروزه دانه‌های روغنی از مهمترین منابع روغن‌های خوراکی هستند و از جایگاه خاصی در کشاورزی برخوردار می‌باشند. اراضی وسیعی در سراسر جهان به کشت این محصولات با ارزش اختصاص دارد و پس از غلات دومین ذخایر غذایی جهان را تشکیل می‌دهند (5 و 6). طبق آمار فائو<sup>1</sup>، از کل چربی‌ها و روغن‌های تولید شده در جهان، دو سوم آن از دانه‌های روغنی استخراج می‌شود. از میان گیاهان روغنی، پنج گیاه روغنی میوه پالم، سویا، کانولا، پنبه دانه و بادام زمینی دارای بیشترین میزان تولید روغن در سال‌های اخیر بوده‌اند (3). این گیاه قادر است با ایجاد تغییر در محور هورمونی هیپوفیز - گناد در فعالیت‌های تولید مثلی موثر واقع شود. روغن گلرنگ بالاترین مقدار لینولئیک اسید را در میان روغن‌های تجاری موجود دارد و از نظر میزان غیراشباع بودن بین روغن سویا و روغن بزرک قرار می‌گیرد. روغن گلرنگ به دلیل داشتن میزان بالای لینولئیک اسید، اندیس یدی بالا، رنگ زرد روشن و طعم مطبوع ویژه، به عنوان روغن مرغوب به شمار رفته و به صورت روغن سالاد، روغن پخت و پز و نیز در تهیه مارگارین و مایونز قابل استفاده است (15). روش‌های متنوع و متداولی برای کمک به استخراج روغن از دانه‌های روغنی (توسط روش‌هایی مانند سوکسله و روش‌های مکانیکی مانند فشردن) وجود دارد، اما 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 (17). برای استفاده از مزایای ترکیبات مفید موجود در روغن دانه‌ها، باید بافت و پوسته آنها متلاشی

شده و روغن استخراج گردد. به کارگیری روش‌های نوین از جمله مایکروویو، میدان‌های الکتریکی پالسی و امواج فراصوت غالباً باعث افزایش سرعت و راندمان استخراج روغن می‌شود (18). امواج مایکروویو، امواج الکترومغناطیسی غیر یونیزه با فرکانس بین 300 مگاهرتز تا 300 گیگاهرتز هستند و میان امواج رادیویی و مادون قرمز در طیف الکترومغناطیسی قرار دارند. امواج مایکروویو 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 امواج مایکروویو، 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 مایکروویو، 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 (17). مومنی و همکاران (2012)، اثر مایکروویو را بر دانه‌های انبه به‌عنوان پیش‌تیمار قبل از استخراج روغن توسط حلال مورد بررسی قرار دادند. آن‌ها در این مطالعه از زمان‌های مختلف فرایند (70، 90، 130 و 180 ثانیه) و توان‌های مختلف (300 و 400 وات) استفاده کردند. نتایج نشان داد که کارایی فرایند استخراج در هنگام استفاده از این امواج حدود 8/9 درصد نسبت به روش مرسوم استخراج افزایش یافت (20). محققینی اقدام به بهینه‌سازی استخراج روغن از دانه‌های چریش (از خانواده سنجدیان) با کمک مایکروویو نمودند. نتایج این مطالعه نشان داد که استفاده از این امواج، زمان فرایند را کوتاه‌تر می‌نماید و هم‌چنین نتایج مربوط به میکروسکوپ الکترونی روبشی مشخص نمود که تخریب دیواره و ساختمان سلولی دانه‌ها، منجر به افزایش راندمان استخراج روغن می‌شود (23). تقوایی و همکاران (2014) مطالعه‌ای با هدف افزایش راندمان

توان‌های مختلف (180، 540 و 900 وات) قرار گرفتند (9). بعد از اعمال این تیمارها، روغن دانه‌ها با پرس مارپیچی و با سرعت 33 دور در دقیقه استخراج گردید و ویژگی‌های مورد نظر در روغن استحصالی، اندازه‌گیری شد.

#### 2-2-1- 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 1 میزان آن به دست آمد (9).

$$R = \frac{Q}{X} \times 100$$

در رابطه (1)، R: راندمان روغن‌کشی (درصد)، Q: مقدار روغن استخراج شده (گرم)، X: وزن دانه‌های اولیه (گرم).

#### 2-2-2- اندازه‌گیری اسیدیت

برای اندازه‌گیری اسیدیت از روش Cd 3-63 (AOCS, 1993) استفاده شد (7).

#### 2-2-3- تعیین میزان ضریب شکست

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

#### 2-2-4- آزمون پایداری اکسیداتیو

میزان پایداری اکسیداتیو روغن‌ها به وسیله دستگاه رنسیمت و مطابق روش Cd 12b-92 (AOCS, 1993)، در دمای 110 درجه سانتی‌گراد و با سرعت جریان هوا 25 لیتر بر ساعت اندازه‌گیری گردید (7).

#### 2-2-5- فنول کل

محتوای فنولی کل با روش رنگ‌سنجی و با استفاده از معرف فولین سیوکالتو تعیین شد. برای این منظور 0/5 میلی‌لیتر نمونه با آب مقطر به حجم 5 میلی‌لیتر رسید.

استخراج روغن از دانه‌های کتان به کمک مایکروویو و به دست آوردن روغنی با کیفیت بهتر صورت دادند و بیان داشتند که برای رسیدن به این اهداف، بایستی نمونه‌ها برای 3/5 دقیقه در معرض این امواج قرار گیرند (27). هدف از این مطالعه بهینه‌سازی فرایند استخراج روغن از دانه‌های گلرنگ با پیش‌تیمار مایکروویو و پیش‌بینی برخی از خصوصیات روغن تولیدی با استفاده از شبکه‌ی عصبی بود.

#### 2- مواد و روش‌ها

##### 2-1- مواد و تجهیزات

دانه‌های گلرنگ مورد استفاده در این تحقیق از بازار محلی شهرستان گنبد کاووس تهیه و برای تولید روغن به دانشگاه آزاد اسلامی واحد گنبد کاووس انتقال یافتند. مواد شیمیایی مورد استفاده در این تحقیق شامل: هیدروکسیدسدیم، فلن فتالین و الکل اتیلیک از شرکت مرک آلمان تهیه شد. تجهیزات مورد استفاده در این تحقیق عبارتند بودند از دستگاه اسپکتروفتومتر (Biochrom، انگلیس)، الکت آزمایشگاهی، دسیکاتور، آون آزمایشگاهی (Memmert، آلمان)، پیکنومتر، ترازوی دیجیتال (Gec Avery، ساخت انگلستان)، دستگاه مایکروویو (LG، کره جنوبی)، دستگاه رنسیمت (Metrohm، سوئیس) و پرس مارپیچی آزمایشگاهی (Kern Kraft، آلمان).

##### 2-2- آماده‌سازی نمونه و شرایط اعمال

###### پیش‌تیمارهای مختلف قبل از فرایند روغن‌کشی

در این تحقیق، دانه‌های گلرنگ (حاوی 27/3 درصد روغن که توسط روش سوکسله به دست آمده بود) پس از تهیه، بوجاری و در کیسه‌های پلاستیکی مقاوم نسبت به نفوذ هوا و رطوبت تا زمان آزمایش نگهداری شدند. سپس، آن‌ها تحت تأثیر پیش‌تیمارهای مختلف مایکروویو با زمان‌های مختلف فرایند (90، 180 و 270 ثانیه) و

از روش پس انتشار خطا برای آموزش کمک می‌گیرد، می‌باشد. در این شبکه تعداد نورون‌های لایه ورودی برابر با تعداد عناصر بردار ورودی و تعداد نورون‌های لایه خروجی برابر با تعداد عناصر بردار خروجی می‌باشد. آنالیز دقیق و واقعی برای پیدا کردن تعداد نورون‌های لایه میانی در کل بسیار پیچیده است. اما می‌توان گفت که تعداد نورون‌های لایه میانی تابعی از عناصر برداری ورودی و همچنین حداکثر تعداد نواحی از فضای ورودی که به طور خطی از هم جدا پذیرند، می‌باشد. از این رو تعداد نورون‌های لایه مخفی عموماً به‌طور تجربی به‌دست می‌آید. هر نورون توسط خروجی خود به نورون‌های لایه بعد متصل می‌گردد، ولی با نورون‌های لایه خودش ارتباط ندارد (1). خروجی هر نورون توسط رابطه (2) تعریف می‌گردد:

$$a = f\left(\sum_{i=1}^n p_i w_{ji} + b_j\right)$$

در این رابطه  $w_{j,i}$  مقدار وزن اتصال بین نورون  $j$  ام لایه مذکور با نورون  $i$  ام لایه قبل است که بیانگر اهمیت ارتباط بین دو نورون در دو لایه متوالی می‌باشد،  $b_j$  وزن مربوط به بایاس<sup>3</sup> برای نورون  $j$  ام،  $p_i$  مقدار خروجی از نورون  $i$  ام لایه قبل،  $a$  مقدار خروجی از نورون  $j$  ام و  $f$  تابع آستانه نورون  $j$  ام.

توابع زیادی در انتقال اعداد از لایه قبل به لایه بعد ممکن است مورد استفاده قرار گیرند. از جمله می‌توان به توابع تانژانت سیگموئید هیپربولیکی، گوس، تانژانت هیپربولیک، تابع همانی<sup>4</sup> و سکانت هیپربولیک را نام برد. ولی تابع تانژانت سیگموئید هیپربولیکی بیشترین استفاده را در مسائل مهندسی دارد. این تابع به صورت رابطه 3 می‌باشد:

$$f(z) = \frac{1}{1 + \exp(-z)}$$

سپس 0/5 میلی‌لیتر معرف فولین سیوکالتو به نمونه رقیق شده افزوده شد. بعد از 3 دقیقه، 0/5 میلی‌لیتر کربنات سدیم 10 درصد به مخلوط فوق اضافه و به مدت یک ساعت در دمای اتاق و در محلی تاریک قرار داده شد. پس از این مدت، جذب نمونه‌ها در دمای اتاق با دستگاه اسپکتروفوتومتر ماورای بنفش در 760 نانومتر قرائت گردید. جهت رسم منحنی استاندارد از اسید گالیک (0 تا 1000 میکروگرم در میلی‌لیتر) استفاده شد و محتوای فنول کل به صورت ppm گزارش شد (8).

### 2-3- روش تعیین نقشه آزمایش‌ها و مدل‌سازی فرایند استخراج روغن

در این بررسی محدوده‌ی متغیرها با توجه با اهداف مورد نظر یعنی بیشینه نمودن راندمان استخراج روغن، پایداری اکسیداتیو و فنول کل و کمینه نمودن میزان اسیدیته روغن تعیین گردید. در این آزمایش توان مایکروویو در محدوده 180 تا 900 وات و زمان مایکروویو در محدوده 90 تا 270 ثانیه تعیین گردید. نقشه کلی آزمایشات به کمک نرم افزار Design Expert Ver. 6.02 با استفاده از طرح مربع مرکزی<sup>1</sup> (CCD) انجام گردید. جهت تعیین شبکه عصبی بهینه از ابزار شبکه عصب نرم‌افزار مطلب استفاده شد. شبکه عصبی مصنوعی متشکل از مجموعه‌ای از نورون‌ها با ارتباطات داخلی بین یکدیگر می‌باشد که قادر است بر اساس اطلاعات و داده‌های ورودی، جواب‌های خروجی را تخمین بزند. شبکه‌های عصبی معمولاً به‌صورت لایه لایه و منظم ایجاد می‌گردند. اولین لایه که اطلاعات و داده‌های ورودی به آن وارد می‌گردد لایه ورودی نامیده می‌شود. لایه‌های میانی لایه‌های مخفی و آخرین لایه که جواب‌های خروجی از مدل را فراهم می‌نماید لایه خروجی نامیده می‌گردد. ساده‌ترین و معمول‌ترین نوع شبکه عصبی که در تحقیق حاضر استفاده گردید، شبکه عصبی چند لایه پرسپترون<sup>2</sup> همراه با ناظر که

3- Bias

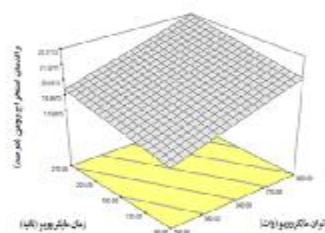
4- Identity function

1- Central Composite Design (CCD)

2- Multilayer Perceptron Neural Network

راندمان استخراج روغن تأثیر معنی‌دار نداشت (جدول 1). به‌همین علت از مدل مورد بررسی حذف گردیدند. همان‌طور که در شکل 1 آورده شده است با افزایش توان و زمان مایکروویو، راندمان استخراج روغن افزایش یافت. بیشترین راندمان استخراج روغن (23/1 درصد) در شرایطی به‌دست آمد که توان و زمان مایکروویو به‌ترتیب 900 وات و 270 ثانیه بود. افزایش راندمان استخراج روغن با افزایش توان و زمان مایکروویو می‌تواند به شکستگی بیشتر سلول‌های حاوی روغن در طول تیمار با مایکروویو در ارتباط باشد (29). محمد و آویاف (1998) گزارش کردند که بهبود راندمان استخراج روغن به‌واسطه حرارت‌دهی با مایکروویو می‌تواند ناشی از تخریب ترکیبات پروتئینی نیز باشد (19). نتایج این بخش با یافته‌های یاشیدا و همکاران (2006)، ترايگر و همکاران (2011)، مومنی و همکاران (2012) و اند و همکاران (2015) مطابقت داشت (20، 23، 18 و 31). مدل نهایی ارائه شده برای راندمان استخراج روغن به‌دست آمده با پیش‌تیمار مایکروویو حاکی از اثرگذاری بیشتر متغیر خطی توان مایکروویو بود.

$$Y_2 = 0.81X_2 + 1.53X_1 + 20.03 = \text{راندمان استخراج روغن}$$



(ب)

برای تعیین بهترین چیدمان شبکه از دو معیار ضریب تبیین ( $R^2$ ) و خطای مربعات میانگین (MRE) استفاده شد، این معیارها توسط روابط (4) و (5) محاسبه می‌شوند.

رابطه (4)

$$MRE = \left( \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \frac{|P_{ANN,i} - P_{exp,i}|}{P_{exp,i}} \right) \times 100$$

رابطه (5)

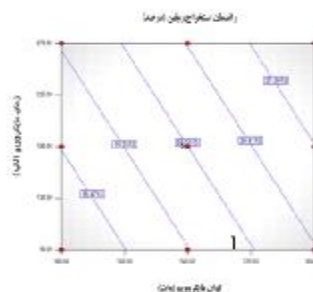
$$R^2 = 1 - \left[ \frac{\sum_{i=1}^N (P_{ANN,i} - P_{exp,i})^2}{\sum_{i=1}^N (P_{ANN,i} - MR_{ANN,i})^2} \right]$$

در این معادلات، مقدار پیش‌بینی شده برای پارامترهای خروجی از شبکه،  $P_E$  مقادیر داده‌های تجربی به‌دست آمده از آزمایش و  $N$  تعداد مشاهدات می‌باشد (24). در این مطالعه 60 درصد داده‌ها جهت آموزش، 15 درصد به منظور اعتبار سنجی و 25 درصد نیز برای تست شبکه طراحی شده به کار گرفته شد.

### 3- نتایج و بحث

#### 3-1- تأثیر متغیرها بر راندمان استخراج روغن

نتایج تجزیه رگرسیون استخراج روغن از دانه‌های گلرنگ با پیش‌تیمار مایکروویو نشان داد که اثرات درجه یک فاکتورهای مورد بررسی بر راندمان استخراج روغن معنی‌دار بود. ولی اثرات درجه دوم و متقابل آنها بر



(الف)

شکل 1- (الف) طرح خطی تغییرات، راندمان استخراج روغن در برابر توان و زمان مایکروویو، (ب) نمودار سطح پاسخ راندمان استخراج روغن.

جدول 1- آنالیز واریانس پارامترهای اندازه گیری شده

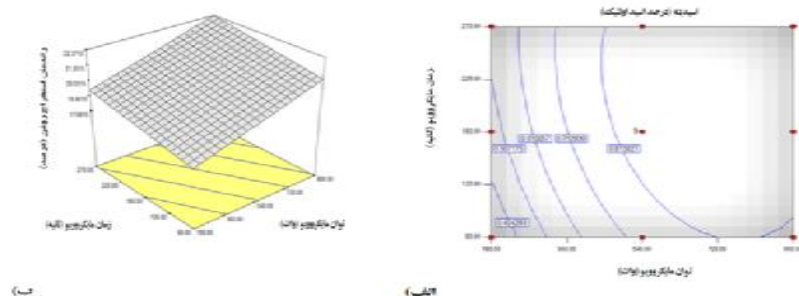
مجموع مربعات کل	خطای خالص	فقدان برداش	باقیمانده	AB	B2	A2	B	A	Model		
		0/079		-	-	-	0/0012	<0/0001	<0/0001	سطح احتمال	راندمان
19/96	0/07	1/89	1/97	-	-	-	3/92	14/08	18	مجموع مربعات	استخراج روغن (%)
		0/051		0/0082	0/0076	<0/0001	0/0005	<0/0001	<0/0001	سطح احتمال	اسیدیته (درصد)
0/44	0/0023	0/00412	0/0041	0/0083	0/0086	0/10	0/023	0/24	0/43	مجموع مربعات	اسید اولئیک
		-		-	-	-	-	-	-	سطح احتمال	ضریب شکست
0/00	0/00	0/00	-	-	-	-	-	-	0/00	مجموع مربعات	
		0/426		0/0053	0/0183	0/0048	<0/0001	<0/0001	<0/0001	سطح احتمال	پایداری اکسیداتیو (ساعت)
6/49	0/00268	0/015	0/017	0/013	0/023	0/041	0/053	5/82	6/47	مجموع مربعات	
		0/11		-	-	-	0/0132	<0/0001	<0/0001	سطح احتمال	فنول کل (ppm)
148/69	0/044	9/91	9/95	-	-	-	9/00	129/79	137/74	مجموع مربعات	

## 3-2- تأثیر توان و زمان میکروویو بر اسیدیته روغن

کمترین مقدار اسیدیته روغن حاصل از پیش تیمار میکروویو که بر حسب اسید اولئیک اندازه گیری شد، تحت شرایطی به دست آمد که توان و زمان فرایند میکروویو در حداقل خود یعنی به ترتیب 180 وات و 90 ثانیه قرار داشتند. افزایش توان از 180 به 900 وات همواره باعث افزایش اسیدیته روغن گردید (شکل 2). این افزایش میزان اسیدیته، به اثر تجزیه شیمیایی تری گلیسریدها و بالا رفتن میزان اسیدهای چرب آزاد مربوط می شود که در اثر افزایش درجه حرارت، در هنگام استفاده از میکروویو اتفاق می افتد. آنزیم های لیپولیتیک درست در زیر پوسته

نازک دانه واقع شده اند و در سلول های صدمه ندیده قادر نخواهند بود به چربی ها حمله کنند اما از آنجایی که دماهای بالا، باعث ایجاد تغییرات فیزیکی در سلول می شود این آنزیم ها فعالیت خود را آغاز می نمایند (12). افزایش اسیدیته، بدون شک ناشی از شکستن اتصالات استری مولکول های تری گلیسریدی، ناشی از حرارت دهی است (11). نتایج این بخش با نتایج کیتیفوم و همکاران (2015) و ولنسیک و همکاران (1999) تطابق داشت (14) و (30). معادله تأثیر توان و زمان میکروویو روی اسیدیته روغن در زیر نشان داده شده است.

$$+0.86+0.20X_1+0.062X_2-0.19 X_1^2-0.056 X_2^2-0.043 X_1 X_2$$



شکل 2- (الف) طرح خطی تغییرات، اسیدیته روغن در برابر توان و زمان مایکروویو، (ب) نمودار سطح پاسخ اسیدیته روغن

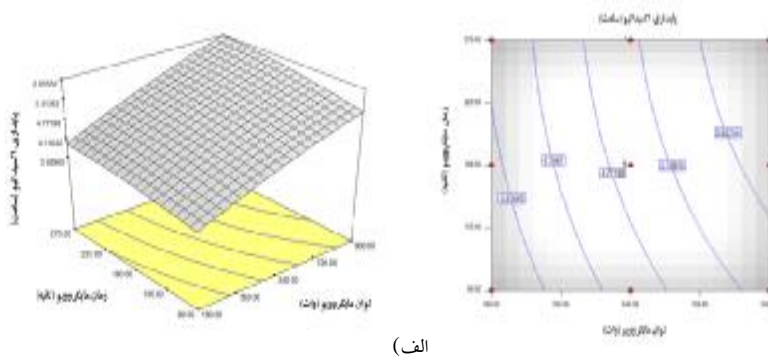
### 3-3- تأثیر متغیرها بر ضریب شکست روغن‌ها

ضریب شکست اغلب به عنوان ملاکی از خلوص روغن استفاده می‌گردد. این پارامتر با افزایش طول زنجیر (گرچه رابطه خطی نیست) و درجه غیراشباعیت افزایش می‌یابد (4). روغن‌ها و چربی‌های مختلف ضریب شکست خاص خود 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 ایزومریزاسیو کاتالیزوری روغن‌ها مفید است. هم‌چنین برای تشخیص اکسایش روغن نیز از ضریب شکست استفاده می‌شود که درجه حرارت و اشباعیت از عوامل موثر بر ضریب شکست هستند (4). نتایج نشان داد که پارامترهای توان و زمان مایکروویو تأثیر معنی‌داری روی ضریب شکست روغن‌ها نداشتند (جدول 1) و ضریب شکست تمامی نمونه‌ها 1/472 بود. حبیبی نوده و همکاران (1389) عدم تغییر در ضریب شکست روغن‌های حاصل از فرایند مایکروویو را به تشابه پروفایل اسیدهای چرب در نمونه‌های تیمار نشده و تیمار شده نسبت دادند (2). نتایج این بخش با نتایج یکیج و همکاران (2008) و بخش‌آبادی و همکاران (2017) مطابقت داشت (9 و 10).

### 3-4- تأثیر توان و زمان مایکروویو بر پایداری اکسیداتیو

آنالیز واریانس مدل سطح پاسخ نشان داد که اثرات خطی پارامترهای، توان و زمان مایکروویو تأثیر معنی‌داری روی پایداری اکسیداتیو روغن‌ها داشت. اثرات متقابل فاکتورهای مورد بررسی نیز تأثیر معنی‌داری در پایداری اکسیداتیو روغن‌ها داشتند (جدول 1). بررسی نتایج نشان داد که در بین اثرات خطی مدل سطح پاسخ، پارامتر توان مایکروویو بیشترین تأثیر را در روند پایداری اکسیداتیو روغن داشت و برای برازش داده‌های پایداری اکسیداتیو مدل چند جمله‌ای درجه دوم انتخاب گردید. رابطه بین توان و زمان مایکروویو، بیان‌گر افزایش پایداری اکسیداتیو بود، این حالت به وضوح در شکل 3 نشان داده شده است. علت افزایش پایداری اکسیداتیو با افزایش توان و زمان مایکروویو را می‌توان به افزایش میزان ترکیبات توکوفرولی و ضد اکسنده در اثر افزایش حرارت ناشی از افزایش توان و زمان مایکروویو و آزاد شدن بیشتر این ترکیبات به درون روغن نسبت داد (11 و 22). نتایج این بخش با یافته‌های اسپالمیر و همکاران (2009) مطابقت داشت (26). مدل برازش داده شده ناشی از تأثیر پیش‌تیمار مایکروویو روی پایداری اکسیداتیو در زیر نشان داده شده است.

$$\text{پایداری اکسیداتیو} = 4.93 + 0.98 X_1 + 0.30 X_2 - 0.12 X_1^2 - 0.092 X_2^2 + 0.058 X_1 X_2$$



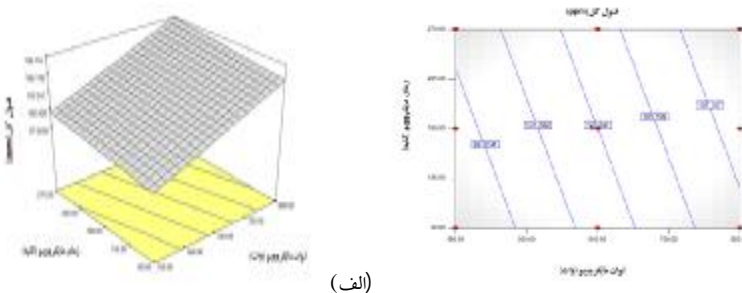
شکل 4- (الف) طرح خطی تغییرات، پایداری اکسیداتیو روغن در برابر توان و زمان مایکروویو، (ب) نمودار سطح پاسخ پایداری اکسیداتیو روغن

همانند ترکیبات فنولی و محلول‌های یونی این انرژی 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 (25). نتایج این بخش با نتایج جیائو و همکاران (2014) مطابقت داشت (13). مدل برازش داده شده ناشی از تأثیر پیش تیمار مایکروویو روی فنول کل در زیر نشان داده شده است. همان‌طور که از آن مشخص است به علت عدم تأثیر درجه دوم و متقابل پارامترهای مورد بررسی بر فنول کل این اعداد از مدل نهایی حذف شدند.

$$\text{فنول کل} = 103.24 + 4.65 X_1 + 1.22 X_2$$

### 3-5- تأثیر متغیرها بر فنول کل

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 اکسیداتیو لیپیدها را به تأخیر انداخته و از این رو کیفیت و ارزش تغذیه‌ای مواد غذایی را بهبود می‌بخشد (21). همان‌طور که شکل 5 نشان می‌دهد با افزایش توان و زمان فرایند مایکروویو، میزان فنول کل در روغن‌ها افزایش یافت. اصول حرارت‌دهی با استفاده از انرژی مایکروویو به اثرات مستقیم این امواج روی مولکول‌ها با مکانیسم‌های چرخش دو قطبی و انتقال یونی وابسته است. مولکول‌های قطبی



شکل 5- (الف) طرح خطی تغییرات، فنول کل روغن در برابر توان و زمان مایکروویو، (ب) نمودار سطح پاسخ فنول کل روغن



### 3-6- بهینه‌سازی فرایند استخراج روغن

به‌منظور یافتن بهترین شرایط استخراج روغن از دانه‌های گلرنگ با پیش‌تیمار مایکروویو، با توجه به اینکه توان مایکروویو در دامنه 180 تا 900 وات و زمان آن بین 90 تا 270 تنظیم شده بود. فرایند استخراج روغن در شرایط ذکر شده به منظور رسیدن به حداکثر راندمان استخراج روغن، پایداری اکسیداتیو و فنول کل و حداقل میزان اسیدیته بهینه‌یابی گردید. نتایج نشان داد که به منظور رسیدن به اهداف ذکر شده، بایستی توان مایکروویو 900 وات و زمان آن 270 ثانیه باشد. تحت شرایط مذکور مطلوبیت 0/783 حاصل گردید.

### 3-7- مدل‌سازی شبکه عصبی مصنوعی

در این پژوهش علاوه بر بهینه‌سازی پارامترهای مؤثر در استخراج روغن از دانه‌های گلرنگ به کمک روش شناسی سطح پاسخ، مقادیر راندمان استخراج روغن، اسیدیته، ضریب شکست، پایداری اکسیداتیو و فنول کل توسط شبکه‌ی عصبی مصنوعی پیش‌بینی گردید. برای انجام این عمل ترکیبی از لایه‌ها و نورون‌های مختلف برای

مدل‌سازی شبکه عصبی پرسپترون مورد استفاده قرار گرفت. شبکه عصبی با یک و دو لایه پنهان، تعداد 2 تا 10 نورون به‌طور تصادفی انتخاب و قدرت شبکه در پیش‌بینی پاسخ‌های مورد بررسی تخمین زده شد. برای ایجاد شبکه پس انتشار پیش‌خور، تابع فعال‌سازی تانژانت سیگموئید هیپربولیکی برای لایه ورودی به لایه پنهان اول و از پنهان اول به پنهان دوم و تابع فعال‌سازی خطی برای لایه خروجی استفاده شد. هم‌چنین الگوی یادگیری لوبنبرگ - مارکوات، چرخه یادگیری 1000 و دو معیار ارزیابی ضریب همبستگی ( $R^2$ ) و میانگین مربعات خط (MSE) برای ایجاد و ارزیابی شبکه استفاده شد. بررسی نتایج به‌دست آمده در خصوص شبکه عصبی نشان داد که شبکه‌ای با یک لایه پنهان حاوی 9 نورون یعنی چیدمان 5-9-2 (شبکه‌ای با 2 ورودی، 9 گره (نورون) در لایه پنهان و 5 خروجی)، بهترین نتیجه را در پیش‌بینی خروجی‌های مورد نظر دارد (جدول 2). این شبکه با مقدار ضریب همبستگی 0/989 و میانگین مربعات خطای 0/0002 بالاترین دقت را در بین توپولوژی‌های در نظر گرفته شده از خود نشان داد.

جدول 2- نتایج شبکه‌ی عصبی پرسپترون در پیش‌بینی پاسخ‌های مورد بررسی

تعداد نورون در لایه‌های پنهان		$R^2$	MSE
اول	دوم		
2	-	0/949	0/0469
3	-	0/968	0/0047
4	-	0/956	0/0099
5	-	0/972	0/0038
6	-	0/808	0/0568
7	-	0/974	0/0046
8	-	0/971	0/00254
9	-	0/989	0/0002
10	-	0/972	0/0063
2	2	0/960	0/0076
3	3	0/959	0/0042
4	4	0/935	0/0094
5	5	0/921	0/0220
6	6	0/971	0/0058
7	7	0/921	0/0021
8	8	0/964	0/0039
9	9	0/968	0/0054
10	10	0/971	0/0036

## 4- نتیجه گیری

روش سطح پاسخ برای تعیین شرایط بهینه پاسخ‌های مورد بررسی نمونه گلرنگ با هدف بیشینه نمودن راندمان استخراج روغن، پایداری اکسیداتیو و فنول کل و کمینه نمودن میزان اسیدیته مورد استفاده قرار گرفت. متغیرهای فرایند استخراج روغن با پیش‌تیمار مایکروویو شامل توان و زمان مایکروویو بود. نتایج نشان داد که شرایط بهینه زمانی ایجاد می‌گردد که متغیرهای مایکروویو یعنی زمان و توان آن، به ترتیب 270 ثانیه و 900 وات باشد. مطلوبیت به دست آمده در شرایط بهینه برای متغیرها و پاسخ‌ها مورد بررسی 0/783 گزارش گردید. هم‌چنین در این پژوهش از شبکه عصبی مصنوعی برای تخمین پاسخ‌های مورد بررسی استفاده گردید. نتایج مدل‌سازی شبکه عصبی مصنوعی نشان داد که شبکه‌ای با یک لایه پنهان حاوی 9 نورون یعنی چیدمان 5-9-2 (شبکه‌ای با 2 ورودی، 9 گره (نورون) در لایه پنهان و 5 خروجی)، بهترین نتیجه را در پیش‌بینی خروجی‌های مورد نظر دارد.

## 5- منابع

1. بخش آبادی، ح.، وحدانی، م.، مقیمی، م.، بذرافشان، م.، رشیدزاده، ش. و بوژمهرانی، ا. 1396. مدل‌سازی فرایند پخت در حین استخراج روغن از دانه‌های آفتابگردان با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی در مقیاس صنعتی. مجله علوم و صنایع غذایی ایران. 14(69): 1-11.
2. حبیبی نوده، ف.، آزادمرد دمیرچی، ص.، حصار، ج.، نعمتی، م.، فتحی آچاچلوئی، ب. و احمدی، ع. 1389. تأثیر تیمار دانه کلزا با مایکروویو بر کیفیت روغن استخراجی. مجله پژوهش‌های صنایع غذایی. 3(1): 19-29.
3. جلیلی، ف. 1391. کاربرد فراصوت در استخراج روغن کلزا. پایان‌نامه کارشناسی ارشد در رشته مهندسی علوم و صنایع غذایی. دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان. 136 ص.
4. گلی، ا. ح.، کدیور، م.، بهرامی، ب. و سبزه‌علیان، م. ر. 1386. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی روغن دانه ماریتیغال. فصلنامه علوم و صنایع غذایی ایران. 4: 241-254.
5. مالک، ف. 1379. چربی‌ها و روغن‌های خوراکی (ویژگی‌ها و فراوری). انتشارات فرهنگ و قلم تهران، چاپ اول. 464 ص.
6. مدد نوعی، ف. 1371. نقش غذایی، دارویی و خطرات روغن‌ها و چربی‌ها، مرکز پژوهشی و مهندسی سازمان ملی ایران.
7. AOCS. 1993. Official Methods and Recommended Practices of the American Oil Chemists' Society.
8. 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. *Journal of Food Chemistry*, 108: 1122-1132.
9. Bakhshabadi, H., Mirzaei, H.O., Ghodsvali, A., Jafari, S.M., Ziaiiifar, A.M. and 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.
10. Bruhn, C.M. 1995. Consumer attitudes and market response to irradiated food. *Journal of Food Protection*. 58:175-181.
11. Farzaneh, V. and Carvalho, I.S. 2015. A review of the health benefit potentials of herbal plant infusions and their mechanism of actions. *Industrial Crops and Products*. 65: 247-258.

- Food Processing & Technology. 3(7): 1-7.
21. Muanda, F.N., 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.
  22. Navarra, G., Cannas, M., D'Amico, M., Giacomazza, D., Militello, V., Vaccaro, L. and Leone, M. 2011. Thermal oxidative process in extra-virgin olive oils studied by FTIR, rheology and time-resolved luminescence. *Food Chemistry*. 126 (3): 1226-1231.
  23. Nde, B.D., 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.
  24. Poonnoy, P., Tansakul, A. and Chinnan, M. 2006. Artificial Neural Network Modeling for Temperature and Moisture Content Prediction in Tomato Slices Undergoing Microwave-Vacuum Drying. *Journal of Food Engineering & Physical properties*. 49: 185-191.
  25. Proestos, C. and Komaitis, M. 2008. Application of microwave-assisted extraction to the fast extraction of plant phenolic compounds. *Lebensm. Wiss. u. Technol* . 41: 652-659.
  26. Spielmeier, A., Wagner, A. and Jahreis, G. 2009. Influence of thermal treatment of rapeseed on the canolol content. *Food Chemistry*. 112: 944-948.
  27. Taghvaei, M., Jafari, S.M., Assadpoor, E., Nowrouzieh, S. and Alishah, O. 2014. Optimization of microwave-assisted extraction of cottonseed oil and evaluation of its oxidative stability and physicochemical properties. *Food Chemistry*. 160: 90-97.
  12. 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.
  13. Jiao, J., Li, Z.G., Gai, Q-Y, Li, X.G., Wei, F.U., Fu, Y.J. 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.
  14. 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.
  15. Kucuk, M. and Arslan, B. 2005. The nutrition value of safflower oil and its effect on human health. 6th International Safflower Conference, Istanbul. 363 - 9.
  16. Li, H., Pordesimo, L. and Weiss, J. 2004. High intensity ultrasound-assisted extraction of oil from soy beans. *Journal of Food Research International*. 37: 731-738.
  17. Mandal, V., Mohan, Y. and Hemalatha, S. 2007. Microwave Assisted Extraction – An Innovative and Promising Extraction Tool for Medicinal Plant Research. *Pharmacognosy Reviews*. 1: 8-14.
  18. Mason, T. J. 1998. Power ultrasound in food processing- The way forward. In: Povey, M.J.W. and Mason, T.J. Eds., *Ultrasound in Food Processing*, Blackie Academic and Professional, London, 105-126.
  19. Mohamed, H.M.A. and Awatif, I.I. 1998. The use of sesame oil unsaponifiable matter as a natural antioxidant. *Food Chemistry*. 62: 269-276.
  20. 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*

30. Veldsink, J.W., Muuse, B.G., Meijer, M.M.T., Cuperus, F.P., van de Sande, R.L.K.M. and van Putte, K.P.A.M. 1999. Heat pretreatment of oilseeds: effect on oil quality. *Fett/Lipid*. 101 (7): 244–248.
31. Yoshida, H., Tomiyama, Y., Hirakawa, Y. and Mizushima, Y. 2006. Microwave roasting effects on the oxidative stability of oils and molecular species of triacylglycerols in the kernels of pumpkin (*Cucurbita* spp.) seeds. *Journal of Food Composition and Analysis*. 19: 330-339.
28. Terigar, B.G., Balasubramanian, S., Sabliov, C.M., Lima, M. and Boldor, D. 2011. Soybean and rice bran oil extraction in a continuous microwave system: From laboratory-to pilot-scale. *Journal of Food Engineering*. 104(2): 208–217.
29. 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.