

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

زهرا دولت آبادی<sup>۱\*</sup>، سید علی مرتضوی<sup>۲</sup>، معصومه مقیمی<sup>۳</sup>، حمید بخش آبادی<sup>۴</sup>، سید حسین استیری<sup>۲</sup>

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

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

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

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

تاریخ پذیرش: ۹۶/۰۸/۲۷

تاریخ دریافت: ۹۶/۰۲/۰۳

## 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 ۱۸۰ تا ۹۰۰ وات و زمان مایکروویو در محدوده ۹۰ تا ۲۷۰ 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 ۹۰۰ وات و زمان آن ۲۷۰ ثانیه باشد. افزایش توان و زمان مایکروویو منجر به افزایش تمام پاسخ‌های مورد بررسی به جز 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 ۹ نورون یعنی چیدمان ۲-۹-۵ (شبکه‌ای با ۲ ورودی، ۹ گره (نورون) در لایه پنهان و ۵ خروجی)، بهترین نتیجه را در پیش‌بینی خروجی‌های مورد نظر دارد. این شبکه با مقدار ضریب همبستگی ۰/۹۸۹ و میانگین مربعات خطای ۰/۰۰۰۲ بالاترین دقت را در بین توپولوژی‌های در نظر گرفته شده از خود نشان داد.

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

## ۱- مقدمه

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 (۱۸). امواج مایکروویو، امواج الکترومغناطیسی غیریونیزه با فرکانس بین ۳۰۰ مگاهرتز تا ۳۰۰ 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 (۱۷). مومنی و همکاران (۲۰۱۲)، 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 (۷۰، ۹۰، ۱۳۰ و ۱۸۰ ثانیه) و توان‌های مختلف (۳۰۰ و ۴۰۰ وات) استفاده کردند. نتایج نشان داد که کارایی فرایند استخراج در هنگام استفاده از این امواج حدود ۸/۹ درصد نسبت به روش مرسوم استخراج افزایش یافت (۲۰). 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 (۲۳). تقوایی و همکاران (۲۰۱۴) مطالعه‌ای با هدف افزایش راندمان

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 (۵ و ۶). طبق آمار فائو، از کل چربی‌ها و روغن‌های تولید شده در جهان، دو سوم آن از دانه‌های روغنی استخراج می‌شود. از میان گیاهان روغنی، پنبه گیاه روغنی میوه پالم، سویا، کانولا، پنبه دانه و بادام زمینی دارای بیشترین میزان تولید روغن در سال‌های اخیر بوده‌اند (۳). 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، به‌عنوان روغن مرغوب به‌شمار رفته و به صورت روغن سالاد، روغن پخت و پز و نیز در تهیه‌ی مارگارین و مایونز قابل استفاده است (۱۵). 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 (۱۷). برای استفاده از مزایای ترکیبات مفید موجود در روغن دانه‌ها، باید بافت و پوسته آنها متلاشی

توان‌های مختلف (۱۸۰، ۵۴۰ و ۹۰۰ وات) قرار گرفتند (۹). بعد از اعمال این تیمارها، روغن دانه‌ها با پرس ماریچی و با سرعت ۳۳ دور در دقیقه استخراج گردید و ویژگی‌های مورد نظر در روغن استحصالی، اندازه‌گیری شد.

#### ۱-۲-۲- 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 (۹).

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

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

#### ۲-۲-۲- اندازه‌گیری اسیدینه

برای اندازه‌گیری اسیدینه از روش Cd 3-63 (AOCS, ۱۹۹۳) استفاده شد (۷).

#### ۲-۲-۳- تعیین میزان ضریب شکست

ضریب شکست روغن با دستگاه رفاکتومتر و در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد و مطابق روش AOCS Cc 7-25 تعیین گردید (۷).

#### ۴-۲-۲- آزمون پایداری اکسیداتیو

میزان پایداری اکسیداتیو روغن‌ها به وسیله دستگاه رنسیمت و مطابق روش Cd 12b-92 (AOCS, ۱۹۹۳)، در دمای ۱۱۰ درجه سانتی‌گراد و با سرعت جریان هوا ۲۵ لیتر بر ساعت اندازه‌گیری گردید (۷).

#### ۵-۲-۲- فنول کل

محتوای فنولی کل با روش رنگ‌سنجی و با استفاده از معرف فولین سیوکالتو تعیین شد. برای این منظور ۰/۵ میلی‌لیتر نمونه با آب مقطر به حجم ۵ میلی‌لیتر رسید.

استخراج روغن از دانه‌های کتان به کمک میکروویو و به دست آوردن روغنی با کیفیت بهتر صورت دادند و بیان داشتند که برای رسیدن به این اهداف، بایستی نمونه‌ها برای ۳/۵ دقیقه در معرض این امواج قرار گیرند (۲۷). هدف از این مطالعه بهینه‌سازی فرایند استخراج روغن از دانه‌های گلرنگ با پیش‌ تیمار میکروویو و پیش‌بینی برخی از خصوصیات روغن تولیدی با استفاده از شبکه‌ی عصبی بود.

#### ۲- مواد و روش‌ها

##### ۱-۲-۲- 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، فنل فتالین و الکل اتیلیک از شرکت مرک آلمان تهیه شد. تجهیزات مورد استفاده در این تحقیق عبارتند بودند از دستگاه اسپکتروفوتومتر (Biochrom، انگلیس)، الک آزمایشگاهی، دسیکاتور، آون آزمایشگاهی (Memmert، آلمان)، پیکنومتر، ترازوی دیجیتال (Gec Avery، ساخت انگلستان)، دستگاه میکروویو (LG، کره جنوبی)، دستگاه رنسیمت (Metrohm، سوئیس) و پرس ماریچی آزمایشگاهی (Kern Kraft، آلمان).

##### ۲-۲- آماده‌سازی نمونه و شرایط اعمال

###### پیش‌ تیمارهای مختلف قبل از فرایند روغن کشی

در این تحقیق، دانه‌های گلرنگ (حاوی ۲۷/۳ 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 پیش‌ تیمارهای مختلف میکروویو با زمان‌های مختلف فرایند (۹۰، ۱۸۰ و ۲۷۰ ثانیه) و

گردید، شبکه عصبی چند لایه پرسپترون همراه با ناظر که 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 (۱). خروجی هر نورون توسط رابطه (۲) تعریف می‌گردد:

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

در این رابطه  $w_{ji}$  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 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>۴</sup> و سکانت هیپربولیک را نام برد. ولی تابع تانژانت سیگموئید هیپربولیکی بیشترین استفاده را در مسائل مهندسی دارد. این تابع به صورت رابطه ۳ می‌باشد:

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

سپس ۰/۵ میلی‌لیتر معرف فولین سیوکالتو به نمونه رقیق شده افزوده شد. بعد از ۳ دقیقه، ۰/۵ میلی‌لیتر کربنات سدیم ۱۰ 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 اسپکتروفتومتر ماورای بنفش در ۷۶۰ نانومتر قرائت گردید. جهت رسم منحنی استاندارد از اسید گالیک (۰ تا ۱۰۰۰ میکروگرم در میلی‌لیتر) استفاده شد و محتوای فنول کل به صورت ppm گزارش شد (۸).

### ۳-۲- 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 ۱۸۰ تا ۹۰۰ وات و زمان مایکروویو در محدوده ۹۰ تا ۲۷۰ ثانیه تعیین گردید. نقشه کلی آزمایشات به کمک نرم افزار Design Expert Ver. 6.02 با استفاده از طرح مربع مرکزی<sup>۱</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

<sup>۲</sup> Multilayer Perceptron Neural Network

<sup>۳</sup> Bias

<sup>۴</sup> Identity function

<sup>۱</sup> Central Composite Design (CCD)

راندمان استخراج روغن تأثیر معنی‌دار نداشت (جدول ۱). به‌همین علت از مدل مورد بررسی حذف گردیدند. همان‌طور که در شکل ۱ آورده شده است با افزایش توان و زمان مایکروویو، راندمان استخراج روغن افزایش یافت. بیشترین راندمان استخراج روغن (۲۳/۱ درصد) در شرایطی به‌دست آمد که توان و زمان مایکروویو به‌ترتیب ۹۰۰ وات و ۲۷۰ 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 (۲۹). محمد و آویاف (۱۹۹۸) گزارش کردند که بهبود راندمان استخراج روغن به‌واسطه حرارت‌دهی با مایکروویو می‌تواند ناشی از تخریب ترکیبات پروتئینی نیز باشد (۱۹). نتایج این بخش با یافته‌های یاشیدا و همکاران (۲۰۰۶)، ترايگر و همکاران (۲۰۱۱)، مومنی و همکاران (۲۰۱۲) و اند و همکاران (۲۰۱۵) مطابقت داشت (۲۰، ۲۳، ۱۸ و ۳۱). مدل نهایی ارائه شده برای راندمان استخراج روغن به‌دست آمده با پیش‌تیمار مایکروویو حاکی از اثرگذاری بیشتر متغیر خطی توان مایکروویو بود.

$$\text{راندمان استخراج روغن} = 20.03 + 1.53 X_1 + 0 + 0.81 X_2$$

برای تعیین بهترین چیدمان شبکه از دو معیار ضریب تبیین ( $R^2$ ) و خطای مربعات میانگین (MRE) استفاده شد، این معیارها توسط روابط (۴) و (۵) محاسبه می‌شوند.

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

رابطه (۴)

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

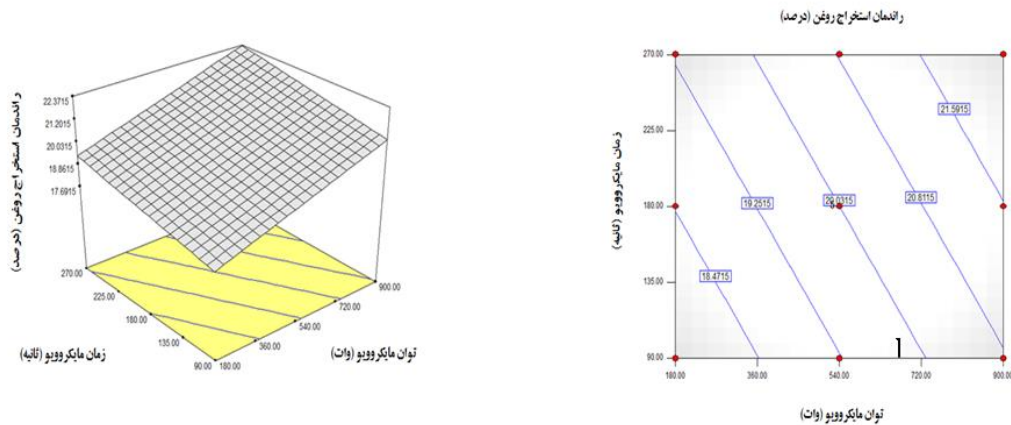
رابطه (۵)

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 (۲۴). در این مطالعه ۶۰ درصد داده‌ها جهت آموزش، ۱۵ درصد به منظور اعتبار سنجی و ۲۵ درصد نیز برای تست شبکه طراحی شده به کار گرفته شد.

### ۳- نتایج و بحث

#### ۳-۱- 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



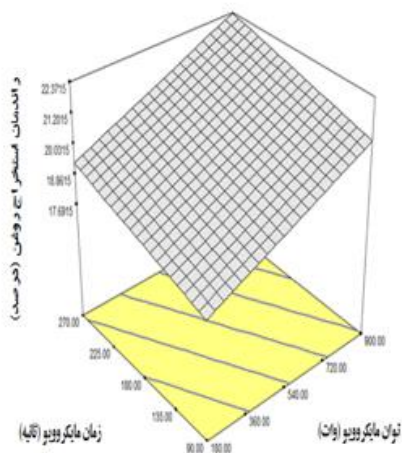
شکل ۱- (الف) طرح خطی تغییرات، راندمان استخراج روغن در برابر توان و زمان مایکروویو، (ب) نمودار سطح پاسخ راندمان استخراج روغن.

جدول ۱- آنالیز واریانس پارامترهای اندازه گیری شده

مجموع مربعات کل	خطای خالص	فقدان برداشش	باقیمانده	AB	B2	A2	B	A	Model		
		۰/۰۷۹		-	-	-	۰/۰۰۱۲	<۰/۰۰۰۱	<۰/۰۰۰۱	سطح احتمال	راندمان
۱۹/۹۶	۰/۰۷	۱/۸۹	۱/۹۷	-	-	-	۳/۹۲	۱۴/۰۸	۱۸	مجموع مربعات	استخراج روغن (%)
		۰/۰۵۱		۰/۰۰۸۲	۰/۰۰۷۶	<۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۵	<۰/۰۰۰۱	<۰/۰۰۰۱	سطح احتمال	اسیدیته (درصد اسید اولئیک)
۰/۴۴	۰/۰۰۲۳	۰/۰۰۴۱۲	۰/۰۰۴۱	۰/۰۰۸۳	۰/۰۰۸۶	۰/۱۰	۰/۰۲۳	۰/۲۴	۰/۴۳	مجموع مربعات	اسید اولئیک
		-		-	-	-	-	-	-	سطح احتمال	ضریب شکست
۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	-	-	-	-	-	-	۰/۰۰	مجموع مربعات	پایداری اکسیداتیو (ساعت)
۶/۴۹	۰/۰۰۲۶۸	۰/۰۱۵	۰/۰۱۷	۰/۰۱۳	۰/۰۲۳	۰/۰۴۱	۰/۰۵۳	۵/۸۲	۶/۴۷	مجموع مربعات	فنول کل (ppm)
		۰/۱۱		-	-	-	۰/۰۱۳۲	<۰/۰۰۰۱	<۰/۰۰۰۱	سطح احتمال	
۱۴۸/۶۹	۰/۰۴۴	۹/۹۱	۹/۹۵	-	-	-	۹/۰۰	۱۲۹/۷۹	۱۳۷/۷۴	مجموع مربعات	

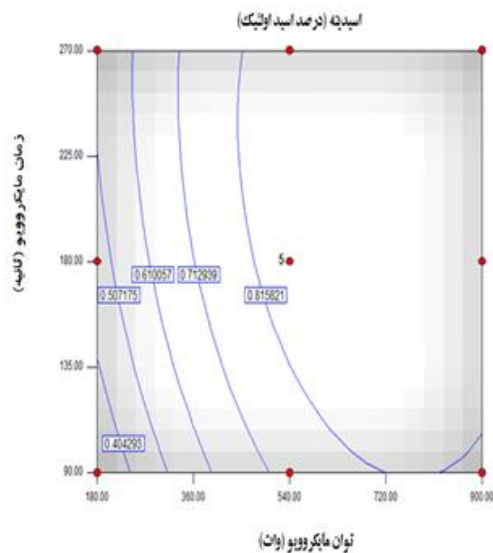
نازک دانه واقع شده‌اند و در سلول‌های صدمه ندیده قادر نخواهند بود به چربی‌ها حمله کنند اما از آنجایی که دماهای بالا، باعث ایجاد تغییرات فیزیکی در سلول می‌شود این آنزیم‌ها فعالیت خود را آغاز می‌نمایند (۱۲). افزایش اسیدیته، بدون شک ناشی از شکستن اتصالات استری مولکول‌های تری‌گلیسریدی، ناشی از حرارت‌دهی است (۱۱). نتایج این بخش با نتایج کیتفوم و همکاران (۲۰۱۵) و ولنسیک و همکاران (۱۹۹۹) تطابق داشت (۱۴) و (۳۰). معادله تأثیر توان و زمان مایکروویو روی اسیدیته روغن در زیر نشان داده شده است.

$$= +0.86 + 0.20X_1 + 0.062X_2 - 0.19X_1^2 - 0.056X_2^2 - 0.043X_1X_2 - 0.046X_1X_2$$



(ب)

۲-۳- تأثیر توان و زمان مایکروویو بر اسیدیته روغن  
 کمترین مقدار اسیدیته روغن حاصل از پیش‌تیمار مایکروویو که بر حسب اسید اولئیک اندازه‌گیری شد، تحت شرایطی به دست آمد که توان و زمان فرایند مایکروویو در حداقل خود یعنی به ترتیب ۱۸۰ وات و ۹۰ ثانیه قرار داشتند. افزایش توان از ۱۸۰ به ۹۰۰ وات همواره باعث افزایش اسیدیته روغن گردید (شکل ۲). این افزایش میزان اسیدیته، به اثر تجزیه شیمیایی تری‌گلیسریدها و بالا رفتن میزان اسیدهای چرب آزاد مربوط می‌شود که در اثر افزایش درجه حرارت، در هنگام استفاده از مایکروویو اتفاق می‌افتد. آنزیم‌های لیپولیتیک درست در زیر پوسته



(الف)

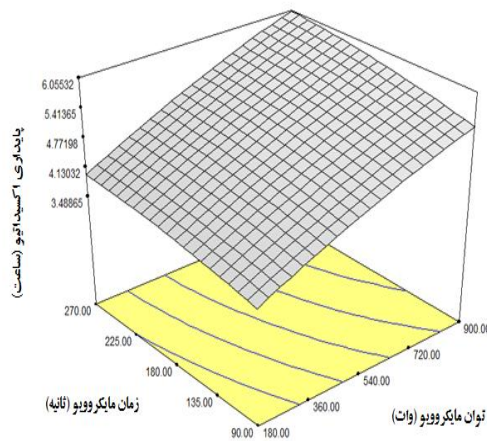
شکل ۲- (الف) طرح خطی تغییرات، اسیدیته روغن در برابر توان و زمان مایکروویو، (ب) نمودار سطح پاسخ اسیدیته روغن

واکنش‌ها نظیر هیدروژناسیون و ایزومریزاسیون 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 (۴). نتایج نشان داد که پارامترهای توان و زمان مایکروویو تأثیر معنی‌داری روی ضریب شکست روغن‌ها نداشتند (جدول ۱) و ضریب شکست تمامی نمونه‌ها ۱/۴۷۲ بود. حبیبی نوده و همکاران (۱۳۸۹) عدم

۳-۳- تأثیر متغیرها بر ضریب شکست روغن‌ها  
 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 (۴). 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

روغن داشت و برای برآزش 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 ۳ 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 (۱۱ و ۲۲). نتایج این بخش با یافته‌های اسپایلمیر و همکاران (۲۰۰۹) مطابقت داشت (۲۶). مدل برآزش داده شده ناشی از تأثیر پیش‌تیمار مایکروویو روی پایداری اکسیداتیو در زیر نشان داده شده است.

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

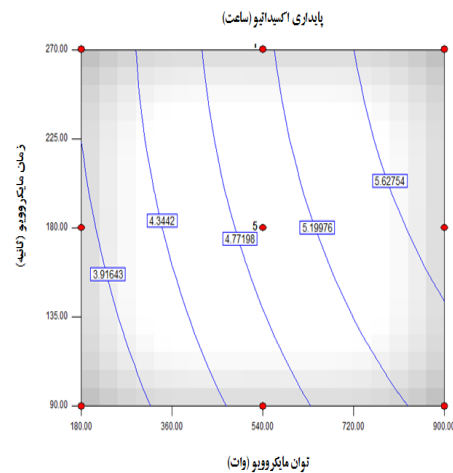


(ب)

تغییر در ضریب شکست روغن‌های حاصل از فرایند مایکروویو را به تشابه پروفایل اسیدهای چرب در نمونه‌های تیمار نشده و تیمار شده نسبت دادند (۲). نتایج این بخش با نتایج یکیج و همکاران (۲۰۰۸) و بخش آبادی و همکاران (۲۰۱۷) مطابقت داشت (۹ و ۱۰).

#### ۳-۴- 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 ۱). بررسی نتایج نشان داد که در بین اثرات خطی مدل سطح پاسخ، پارامتر توان مایکروویو بیشترین تأثیر را در روند پایداری اکسیداتیو



الف

شکل ۴- (الف) طرح خطی تغییرات، پایداری اکسیداتیو روغن در برابر توان و زمان مایکروویو، (ب) نمودار سطح پاسخ پایداری اکسیداتیو روغن

افزایش است. زیرا این ترکیبات تجزیه اکسیداتیو لیبیداها را به تأخیر انداخته و از این رو کیفیت و ارزش تغذیه‌ای مواد غذایی را بهبود می‌بخشند (۲۱). همان‌طور که شکل ۵ نشان می‌دهد با افزایش توان و زمان فرایند مایکروویو، میزان فنول کل در روغن‌ها افزایش یافت. اصول

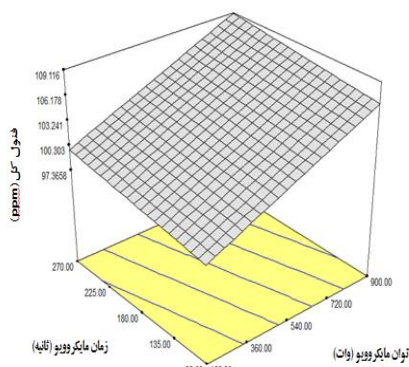
#### ۳-۵- تأثیر متغیرها بر فنول کل

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



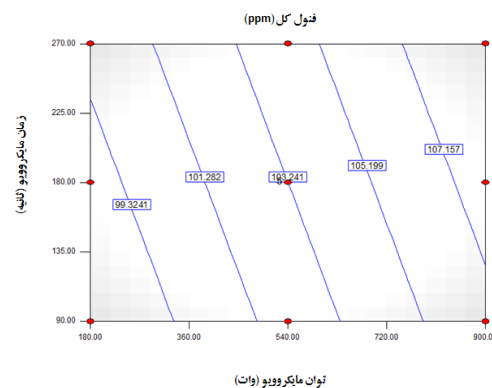
نتایج جیائو و همکاران (۲۰۱۴) مطابقت داشت (۱۳). مدل برازش داده شده ناشی از تأثیر پیش‌تیمار مایکروویو روی فنول کل در زیر نشان داده شده است. همان‌طور که از آن مشخص است به علت عدم تأثیر درجه دوم و متقابل پارامترهای مورد بررسی بر فنول کل این اعداد از مدل نهایی حذف شدند.

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



(ب)

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 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 (۲۵). نتایج این بخش با



(الف)

شکل ۵- (الف) طرح خطی تغییرات، فنول کل روغن در برابر توان و زمان مایکروویو، (ب) نمودار سطح پاسخ فنول کل روغن

### ۳-۷- مدل‌سازی شبکه عصبی مصنوعی

در این پژوهش علاوه بر بهبودسازی پارامترهای مؤثر در استخراج روغن از دانه‌های گلرنگ به کمک روش‌شناسی 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 ۲ تا ۱۰ نورون به‌طور تصادفی انتخاب و قدرت شبکه در پیش‌بینی پاسخ‌های مورد بررسی تخمین زده شد. برای ایجاد شبکه پس‌انتشار 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

### ۳-۶- بهبودسازی فرایند استخراج روغن

به‌منظور یافتن بهترین شرایط استخراج روغن از دانه‌های گلرنگ با پیش‌تیمار مایکروویو، با توجه به اینکه توان مایکروویو در دامنه ۱۸۰ تا ۹۰۰ وات و زمان آن بین ۹۰ تا ۲۷۰ 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 بهبودیابی گردید. نتایج نشان داد که به‌منظور رسیدن به اهداف ذکر شده، بایستی توان مایکروویو ۹۰۰ وات و زمان آن ۲۷۰ ثانیه باشد. تحت شرایط مذکور مطلوبیت ۰/۷۸۳ حاصل گردید.

۲-۹-۵ (شبکه‌ای با ۲ ورودی، ۹ گره (نورون) در لایه پنهان و ۵ خروجی)، بهترین نتیجه را در پیش‌بینی خروجی‌های مورد نظر دارد (جدول ۲). این شبکه با مقدار ضریب همبستگی ۰/۹۸۹ و میانگین مربعات خطای ۰/۰۰۰۲ بالاترین دقت را در بین توپولوژی‌های در نظر گرفته شده از خود نشان داد.

خروجی استفاده شد. هم‌چنین الگوی یادگیری لونیبرگ - مارکوات، چرخه یادگیری ۱۰۰۰ 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 ۹ نورون یعنی چیدمان

جدول ۲- نتایج شبکه‌ی عصبی پرسپترون در پیش‌بینی پاسخ‌های مورد بررسی

تعداد نورون در لایه‌های پنهان		$R^2$	MSE
اول	دوم		
۲	-	۰/۹۴۹	۰/۰۴۶۹
۳	-	۰/۹۶۸	۰/۰۰۴۷
۴	-	۰/۹۵۶	۰/۰۰۹۹
۵	-	۰/۹۷۲	۰/۰۰۳۸
۶	-	۰/۸۰۸	۰/۰۵۶۸
۷	-	۰/۹۷۴	۰/۰۰۴۶
۸	-	۰/۹۷۱	۰/۰۰۲۵۴
۹	-	۰/۹۸۹	۰/۰۰۰۲
۱۰	-	۰/۹۷۲	۰/۰۰۶۳
۲	۲	۰/۹۶۰	۰/۰۰۷۶
۳	۳	۰/۹۵۹	۰/۰۰۴۲
۴	۴	۰/۹۳۵	۰/۰۰۹۴
۵	۵	۰/۹۲۱	۰/۰۲۲۰
۶	۶	۰/۹۷۱	۰/۰۰۵۸
۷	۷	۰/۹۲۱	۰/۰۰۲۱
۸	۸	۰/۹۶۴	۰/۰۰۳۹
۹	۹	۰/۹۶۸	۰/۰۰۵۴
۱۰	۱۰	۰/۹۷۱	۰/۰۰۳۶

و زمان مایکروویو بود. نتایج نشان داد که شرایط بهینه زمانی ایجاد می‌گردد که متغیرهای مایکروویو یعنی زمان و توان آن، به ترتیب ۲۷۰ ثانیه و ۹۰۰ وات باشد. مطلوبیت به‌دست آمده در شرایط بهینه برای متغیرها و پاسخ‌ها مورد بررسی ۰/۷۸۳ گزارش گردید. هم‌چنین در این پژوهش از شبکه عصبی مصنوعی برای تخمین پاسخ‌های مورد

#### ۴- نتیجه‌گیری

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 اسیدیتیه مورد استفاده قرار گرفت. متغیرهای فرایند استخراج روغن با پیش‌تیمار مایکروویو شامل توان

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., Ziaifar, 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 response to irradiated food. and market 58:175-181. *Journal of Food Protection*.

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.

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 safflower oil and its effect nutrition value of International Safflower on human health. 6th 363 - 9. Conference, Istanbul.

16- Li, H., Pordesimo, L. and Weiss, J. 2004. ultrasound-assisted extraction High intensity beans. *Journal of Food of oil from soy Research International*. 37: 731-738.

17- Mandal, V., Mohan, Y. and Hemalatha, S. 2007. Microwave Assisted Extraction -

بررسی استفاده گردید. نتایج مدل‌سازی شبکه عصبی مصنوعی نشان داد که شبکه‌ای با یک لایه پنهان حاوی ۹ نورون یعنی چیدمان ۵-۹-۲ (شبکه‌ای با ۲ ورودی، ۹ گره (نورون) در لایه پنهان و ۵ خروجی)، بهترین نتیجه را در پیش‌بینی خروجی‌های مورد نظر دارد.

## ۵- منابع

۱- بخش آبادی، ح.، وحدانی، م.، مقیمی، م.، بذرافشان، م.، رشیدزاده، ش. و بوژمه‌رانی، ا. ۱۳۹۶. 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*. ۱۴(۶۹): ۱۱-۱.

۲- حبیبی نوده، ف.، آزادمرد دمیرچی، ص.، حصارى، ج.، نعمتی، م.، فتحی آچاچلوئی، ب. و احمدی، ع. ۱۳۸۹. تأثیر تیمار دانه کلزا با مایکروویو بر کیفیت روغن استخراجی. *مجله پژوهش‌های صنایع غذایی*. ۳(۱): ۱۹-۲۹.

۳- جلیلی، ف. ۱۳۹۱. کاربرد فراصوت در استخراج روغن کلزا. پایان‌نامه کارشناسی ارشد در رشته مهندسی علوم و صنایع غذایی. دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان. ۱۳۶ ص.

۴- گلی، ا. ح.، کدیور، م.، بهرامی، ب. و سبزعلیان، م. ر. ۱۳۸۶. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی روغن دانه ماریتیغال. فصلنامه علوم و صنایع غذایی ایران. ۴: ۲۴۱-۲۵۴.

۵- مالک، ف. ۱۳۷۹. چربی‌ها و روغن‌های خوراکی (ویژگی‌ها و فرآوری). انتشارات فرهنگ و قلم تهران، چاپ اول. ۴۶۴ ص.

۶- مددنوعی، ف. ۱۳۷۱. نقش غذایی، دارویی و خطرات روغن‌ها و چربی‌ها، مرکز پژوهشی و مهندسی سازمان ملی ایران.

- Journal of Food Engineering & Physical properties. 49: 185-191.
- 25- Proestos, C. and Komaitis, M. 2008. extraction Application of microwave-assisted to the fast extraction of plant phenolic compounds. *Lebensm. Wiss. u. Technol.* 41: 652-659.
- 26- Spielmeyer, 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.
- 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.
- 30- Veldsink, J.W., Muuse, B.G., Meijer, M.M.T., Cuperus, F.P., van de Sande, and van Putte, K.P.A.M. 1999. R.L.K.M. Heat pretreatment of oilseeds: effect on oil *Fett/Lipid.* 101 (7): 244-248. quality.
- 31- Yoshida, H., Tomiyama, Y., Hirakawa, Y. and Mizushina, 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.
- An Innovative & 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 a natural antioxidant. *Food Chemistry.* 62: as 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 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.