

## استفاده از سیستم استنتاج فازی-عصبی (انفیس) در مدل‌سازی استخراج روغن از بادام‌زمینی با پیش‌تیمار مایکروویو

رقیه شیرازی<sup>۱</sup>، حمید بخش آبادی<sup>۲\*</sup>، مسعود بذرافشان<sup>۳</sup>

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد علوم و صنایع غذایی، واحد گنبد کاووس، دانشگاه آزاد اسلامی، گنبد کاووس، ایران

۲- گروه علوم و صنایع غذایی، واحد گنبد کاووس، دانشگاه آزاد اسلامی، گنبد کاووس، ایران

(تاریخ دریافت: ۹۶/۰۲/۲۷ تاریخ پذیرش: ۹۶/۰۵/۲۹)

### چکیده

در این پژوهش مدل‌سازی استخراج روغن بادام‌زمینی با پیش‌تیمار مایکروویو و با استفاده از سامانه استنتاج فازی-عصبی تطبیقی (انفیس) بررسی شد. بدین منظور زمان مایکروویو و سرعت دورانی پرس ماریچی به‌عنوان ورودی و میزان راندمان استخراج روغن، دانسیته، رنگ، اسیدیته و پایداری اکسایشی روغن به‌عنوان خروجی در نظر گرفته شد. سه تابع عضویت گوسی، مثلثی و دوزنقه‌ای با ۲-۲ و ۳-۳ تابع عضویت مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که تابع دوزنقه‌ای با ۳-۳ تابع عضویت برای متغیر خروجی راندمان استخراج روغن به‌عنوان مدل بهینه انتخاب گردید. همچنین برای متغیر خروجی دانسیته، رنگ و پایداری اکسایشی تابع گوسی با ۳-۳ تابع عضویت به‌عنوان مدل بهینه انتخاب شد و در نهایت برای اسیدیته روغن مدل مثلثی با ۳-۳ تابع عضویت انتخاب گردید. از طرفی مشخص شد که با افزایش زمان مایکروویو میزان راندمان استخراج روغن و دانسیته افزایش یافت ولی میزان اسیدیته و رنگ روغن ابتدا کاهش و سپس افزایش یافت. افزایش سرعت دورانی پرس ماریچی نیز منجر به کاهش راندمان استخراج روغن و دانسیته شد ولی میزان اسیدیته، رنگ و پایداری اکسایشی روغن را افزایش داد. در پایان می‌توان بیان داشت که میزان ضرایب همبستگی بالای بین نتایج آزمایشگاهی و خروجی‌های مدل بیانگر دقت قابل قبول و قابلیت استفاده از این مدل‌ها در کنترل فرایند استخراج روغن بادام‌زمینی با پیش‌تیمار مایکروویو است.

**کلید واژگان:** بادام‌زمینی، استخراج روغن، مدل‌سازی، مایکروویو

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

## ۱- مقدمه

وات به‌دست آمد. هم‌چنین زمان استخراج در مقایسه با روش‌های متداول استخراج، ۱۰ برابر کاهش و راندمان ۵۰ تا ۵۰۰ درصد افزایش یافت [۸]. بخش آبدی و همکاران (۲۰۱۷) به منظور بهینه‌سازی فرایند استخراج روغن از دانه‌های سیاه‌دانه به کمک پیش‌تیمار مایکروویو از زمان‌های مختلف فرایند (۹۰، ۱۸۰ و ۲۷۰ ثانیه) و توان‌های مختلف (۱۸۰، ۵۴۰ و ۹۰۰ وات) استفاده کردند و میزان کارایی فرایند استخراج، پایداری اکسیداتیو، اندیس پراکسید و اسیدیته، مقدار توانایی مهار رادیکال‌های آزاد DPPH و ضریب شکست نمونه‌ها را مورد بررسی قرار دادند. نتایج آن‌ها نشان داد که با افزایش توان و زمان مایکروویو کارایی فرایند استخراج، اندیس اسیدیته و پراکسید روغن افزایش ولی میزان پایداری اکسیداتیو در روغن کاهش یافت [۴]. یک مدل آماری که اخیراً توجه بسیاری را به خود معطوف کرده است، سامانه‌های عصبی-فازی تطبیقی (ANFIS) است که از تلفیق ساختارهای فازی با شبکه‌های عصبی مصنوعی حاصل می‌شوند که برای شناسایی سیستم‌ها، پیش‌بینی سری‌های زمانی و موارد متنوع دیگر به کار می‌روند. این مدل مزایای خاص خود را دارد که از آن جمله می‌توان به توانایی شبیه‌سازی سامانه‌های غیرخطی، دقت زیاد و زمان کمتر ساخت مدل و محاسبات آن اشاره کرد [۹ و ۱۰]. در گذشته برخی از محققین اقدام به ارائه مدل‌های مختلف جهت پیش‌بینی پارامترهای کیفی انواع روغن کردند که از آن جمله می‌توان به کارامان و همکاران (۲۰۱۲) در کاربرد و مقایسه سامانه استنتاج فازی - عصبی تطبیقی و هوش مصنوعی برای پیش‌بینی زمان ماندگاری روغن آفتابگردان حاوی آنتی‌اکسیدان [۱۱]، پرزیبلسکی و همکاران (۲۰۰۰) در زمینه امکان استفاده از شبکه‌های عصبی برای پیش‌بینی ثبات اکسایشی روغن گیاهی بر اساس ویژگی‌های شیمیایی روغن گیاهی و تغییرات آن در طی نگهداری [۱۲]، دولت‌آبادی و همکاران (۲۰۱۶) پیرامون بهینه‌سازی و پیش‌بینی استخراج لیکوپین از ضایعات و تفاله گوجه‌فرنگی [۱۳] و بخش‌آبادی و همکاران (۲۰۱۷) که به مدل‌سازی فرایند پخت در حین استخراج روغن از دانه‌های آفتابگردان با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی در مقیاس صنعتی پرداخته بودند [۱۴]، اشاره کرد. با توجه به اینکه تاکنون هیچ گونه پژوهشی در زمینه‌ی استخراج روغن از دانه‌های بادام‌زمینی با پیش‌تیمار مایکروویو و مدل‌سازی آن با استفاده از سامانه انفیس صورت نگرفته

بادام‌زمینی گیاهی از تیره فاباسه بوده که بومی آمریکا جنوبی است [۱] و از جمله گیاهان روغنی ارزشمندی است که بعد از سویا و کلزا سومین زراعت دانه روغنی یک‌ساله جهان به شمار می‌آید. بادام‌زمینی گیاهی است گرما دوست که به هوای گرم و آفتاب فراوان نیاز دارد. دارای ۴۰-۵۵ درصد روغن و ۲۵-۲۸ درصد پروتئین می‌باشد [۲]. روغن بادام‌زمینی از روغن‌های نباتی غیرقابل خشک شدن محسوب می‌شود [۳]. استخراج روغن با پرس روشی است که در مقایسه با روش استفاده از حلال، ساده‌تر، ایمن‌تر و کم‌هزینه‌تر بوده و لذا مزایای این روش آن را نسبت به استفاده از حلال کارتر می‌سازد [۴]. به‌طور کلی پرس مکانیکی یکی از محبوب‌ترین روش‌ها برای استخراج روغن از دانه‌های روغنی گیاهی در سراسر جهان است. افزایش دما سبب استخراج بیشتر و سریع‌تر روغن از دانه و موثر شدن فرایند استخراج می‌گردد [۵]. 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. از دو میدان عمودی نوسانی یعنی میدان الکتریکی و مغناطیسی ساخته می‌شوند. حرارت‌دهی معمولی وابسته به پدیده هدایت-جابجایی بوده و در نتیجه 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 [۴ و ۶]. مومنی و همکاران (۲۰۱۲)، اثر مایکروویو را بر دانه‌های انبه به‌عنوان پیش‌تیمار قبل از استخراج روغن توسط حلال‌مورد بررسی قرار دادند [۷]. در پژوهشی کراوتو و همکاران (۲۰۰۷) استخراج روغن‌های گیاهی تحت فرآیند فراصوت و مایکروویو را بهینه‌سازی کردند. آن‌ها از امواج فراصوت با فرکانس ۱۹، ۲۵، ۴۰ و ۳۰۰ کیلوهرتز استفاده کردند و راندمان استخراج را در دو حالت تحت مایکروویو و فراصوت هر کدام به تنهایی و سپس ترکیبی از هر دو با یکدیگر مقایسه کردند. بهترین راندمان برای دانه سویا در فرکانس ۱۹ کیلوهرتز و توان ۸۰

## ۲-۵- تعیین شاخص رنگ روغن

برای سنجش رنگ که اغلب مخلوطی از رنگ‌های قرمز و زرد است از روش اسپکتروفتومتری استفاده شد. برای این منظور میزان جذب نور، روغن را در طول موج‌های ۴۶۰، ۵۵۰، ۶۲۰ و ۶۷۰ نانومتر اندازه‌گیری و سپس از رابطه ۲ برحسب رنگ زرد لایویناند مقدار رنگ اندازه‌گیری شد [۱۵].

$$\text{رابطه (۲)} \quad A_{670} - 0.57/4 A_{620} + 41/2 A_{550} + 69/7 A_{460} \\ \text{رابطه (۲)} = 1/29 \text{ شاخص رنگ}$$

## ۲-۶- اسیدیته روغن

برای اندازه‌گیری اسیدیته از روش 3-AOCS Cd-63 (۱۹۹۳) استفاده شد و نتایج بر حسب درصد اسید اولئیک گزارش شد [۱۵].

## ۲-۷- 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 [۱۵].

## ۲-۸- مدل‌سازی با استفاده از انفیس

در آموزش ساختار انفیس از روش هیبرید که ترکیب روش حداقل مربعات و روش پس انتشار می باشد، استفاده شد و حد خطا که برای ایجاد یک معیار توقف آموزش مورد استفاده قرار می‌گیرد بر روی صفر تنظیم گردید. برای بهینه‌سازی مدل از انواع و تعداد متفاوتی تابع عضویت استفاده شد تا تعداد و نوع بهینه آن مشخص شود. زمان میکروویو (ثانیه) و سرعت دورانی پرس ماریچی (دور در دقیقه) به‌عنوان ورودی و راندمان استخراج روغن، دانسیته، رنگ، اسیدیته و پایداری اکسایشی به‌عنوان خروجی در مدل انفیس مشخص گردید. از سیستم استنتاج فازی نوع سوگنو استفاده شد و جهت یافتن مدل بهینه، توابع عضویت مثلثی، ذوزنقه‌ای و گوسی و با توجه به دو متغیره بودن ورودی مدل با ۲-۲ و ۳-۳ تابع عضویت مورد بررسی قرار گرفت و کارایی مدل‌های به‌دست آمده به وسیله مقادیر ضریب همبستگی ( $R^2$ ) و میانگین مجذور مربع خطا (MSR) که به ترتیب با استفاده از روابط ۳ و ۴ تعیین می‌شوند، ارزیابی گردیدند [۱۶].

است به‌همین دلیل در پژوهش حاضر مدل‌سازی استخراج روغن با پیش تیمار مایکروویو با استفاده از سامانه انفیس بررسی شده است.

## ۲- مواد و روش‌ها

### ۲-۱- تهیه نمونه

دانه‌های بادام‌زمینی مورد استفاده در این تحقیق از بازار محلی شهرستان مینودشت (گلستان- ایران) و موادشیمیایی، هیدروکسیدسدیم، 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 ماریچی آزمایشگاهی (KernKraft، آلمان)، رنسیمت (Metrohm، سوئیس) و مایکروویو (LG، کره جنوبی)

### 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 مایکروویو (۰، ۹۰ و ۱۸۰ ثانیه) قرار گرفتند. بعد از اعمال این تیمارها، روغن دانه‌ها با پرس ماریچی و با سرعت‌های مختلف (۱۱، ۳۴ و ۵۷ دور در دقیقه) استخراج گردید و روی این روغن‌ها، آزمایشات مختلف، صورت گرفت [۴ و ۲۸].

### 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 به‌دست آمد [۴].

$$\text{رابطه (۱)}$$

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

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

### ۲-۴- دانسیته

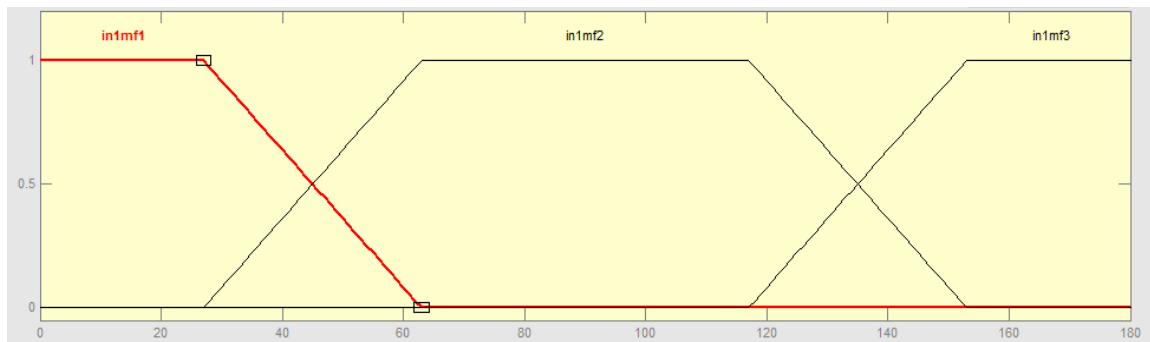
دانسیته روغن‌ها با استفاده از پیکنومتر و طبق روش (AOCS) Cc 10a-25 به‌دست آمد [۱۵].

عضویت امکان‌پذیر می‌باشد. در این مطالعه ۶۰ درصد داده‌ها برای آموزش و تنظیم شبکه و مابقی داده‌ها برای اعتبار سنجی و تست شبکه به کار گرفته شد. لازم به ذکر است در این مطالعه از طرح کاملاً تصادفی در قالب آزمایش فاکتوریل ۳×۳ با سه سطح توان میکروویو و سه سطح سرعت پرس ماریچی و با ۵ تکرار استفاده گردید. در شکل ۱ (a) تابع عضویت دوزنقه‌ای با سه تابع برای متغیر زمان میکروویو و در شکل ۱ (b) تابع عضویت دوزنقه‌ای با سه تابع برای متغیر سرعت دورانی پرس ماریچی به‌عنوان نمونه‌ای از توابع به کار رفته در این تحقیق نمایش داده شده است.

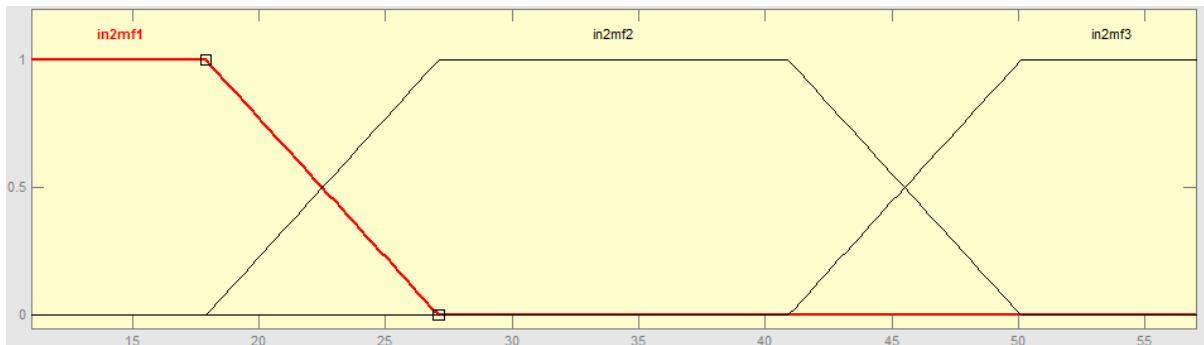
$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (X_{pi} - X_{ei})^2}{\sum_{i=1}^N (X_{pi} - \bar{X})^2}$$

$$MSE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (X_{pi} - X_{ei})^2$$

در این معادلات  $X_{p}$  متغیر پیش‌بینی شده توسط شبکه  $X_{e}$  مقدار واقعی حاصل از انجام آزمایشات و  $\bar{X}$  میانگین مقادیر آزمایشگاهی و  $N$  تعداد کل مشاهدات است. در این پژوهش برای مدل‌سازی از نرم‌افزار متلب استفاده شد. در این نرم‌افزار امکان طراحی انواع و تعداد دلخواه توابع

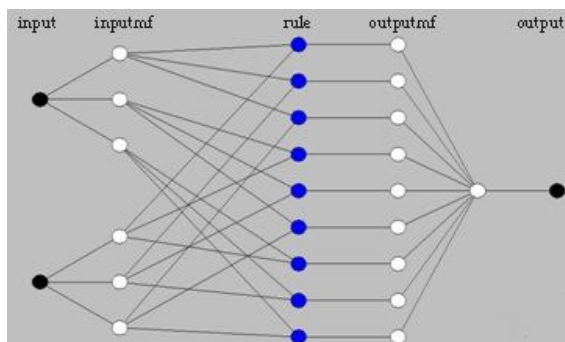


a



B

**Fig 1** The trapezoidal membership function with 3 functions for microwave time (a) and trapezoidal membership function with 3 functions for rotational speed of screw press (b)



**Fig 2** Structure of ANFIS model sample with 2 inputs and 3 membership functions for each input

در شکل ۲ نیز به عنوان نمونه ساختاری از مدل‌انفیس با دو ورودی و با سه تابع عضویت برای هر کدام نشان داده شده است، که با استفاده از آن تعداد قوانین، و ارتباطات توابع عضویت مشخص می‌گردد. همانطور که در این شکل مشخص است هر شبکه انفیس از ۵ لایه تشکیل می‌شود که به ترتیب ورودی‌ها، توابع عضویت مربوط به ورودی‌ها، قوانین، توابع عضویت مربوط به خروجی‌ها و خروجی‌ها را شامل می‌شود.

## ۳- نتایج و بحث

عضویت برای متغیر خروجی راندمان استخراج روغن به عنوان مدل بهینه انتخاب گردید. همچنین برای متغیر خروجی دانسیته، رنگ و پایداری اکسایشی تابع گوسی با ۳-۳ تابع عضویت به عنوان مدل بهینه انتخاب شد و در نهایت برای اسیدیته روغن مدل مثلثی با ۳-۳ تابع عضویت انتخاب گردید.

با توجه به جدول ۱ و مقادیر ضریب همبستگی و میانگین مربعات خطای ارائه شده برای هر یک از متغیرهای خروجی مورد نظر، نوع و تعداد توابع عضویت بهینه برای متغیرهای ورودی تعیین گردید. بدین ترتیب تابع دوزنقه‌ای با ۳-۳ تابع

**Table 1** The comparison of hidden layers and the number of neurons in each hidden layer on the accuracy of output variables prediction.

The type and membership functions of input variables						evaluation criteria	Desirable output
Gaussian	Trapezoidal	Triangular	Gaussian	Trapezoidal	Triangular		
3 3	3 3	3 3	2 2	2 2	2 2		
0.995	<b>0.998</b>	0.996	0.918	0.917	0.917	R <sup>2</sup>	oil extraction
0.0898	<b>0.050</b>	0.0868	0.736	0.737	0.737	MSE	yield
<b>100.00</b>	0.989	0.990	0.762	0.761	0.761	R <sup>2</sup>	oil density
<b>0.003</b>	0.12	0.11	0.709	0.704	0.708	MSE	oil density
<b>100.00</b>	0.997	0.999	0.815	0.815	0.814	R <sup>2</sup>	color index
<b>0.0004</b>	0.0032	0.12	10.52	10.53	10.55	MSE	color index
0.998	0.988	<b>100.00</b>	0.578	0.565	0.557	R <sup>2</sup>	oil acidity
0.0029	0.05	<b>0.00002</b>	0.1163	0.1164	0.1165	MSE	oil acidity
<b>100.00</b>	0.999	0.989	0.656	0.556	0.559	R <sup>2</sup>	oxidative stability
<b>0.00002</b>	0.005	0.005	0.1410	0.1416	0.1416	MSE	oxidative stability

کاهش راندمان استخراج با افزایش سرعت دورانی پرس داشت [۲۳ و ۲۴]. از طرفی نتایج نشان داد که افزایش زمان فرایند میکروویو، افزایش دانسیته را در پی داشت. که احتمالاً این افزایش را می‌توان به تجزیه بیشتر دیواره سلولی دانه و افزایش ذرات ناشی از آن در روغن تحت تأثیر این امواج نسبت داد. افزایش در سرعت دورانی پرس نیز به طور مختصری منجر به کاهش در میزان دانسیته روغن‌ها گردید. نتایج این بخش با نتایج انجوم و همکاران (۲۰۰۶) مطابقت داشت [۲۰]. رنگ‌دانه‌های عمده در روغن‌های خوراکی، کلروفیل (سبز) و کارتوئوئیدها (نارنجی) می‌باشند. روش مرسوم اندازه‌گیری رنگ روغن‌ها استفاده از دستگاه رنگ‌سنج لایویند می‌باشد، ولی این روش برای اندازه‌گیری روغن‌های بسیار تیره یا روغن‌های که دارای رنگ‌دانه‌های به‌جز قرمز و زرد هستند، مناسب نیست ولی سنجش رنگ روغن به‌وسیله‌ی دستگاه اسپکتروفتومتر مشکلات مربوط به روش لایویند را از میان برداشته است [۵]. شکل ۳ C نشان داد که افزایش زمان میکروویو ابتدا منجر به کاهش رنگ روغن و سپس افزایش آن شد، افزایش سرعت دورانی پرس نیز منجر به افزایش رنگ روغن گردید. این

تأثیر پارامترهای زمان میکروویو و سرعت دورانی پرس ماریچی بر روند تغییرات راندمان استخراج روغن، دانسیته، اسیدیته، رنگ و پایداری اکسایشی در جدول ۲ و شکل ۳ نشان داده شده است. نتایج به‌دست آمده از راندمان استخراج روغن نشان داد که با افزایش زمان میکروویو از صفر به ۱۸۰ ثانیه منجر به افزایش میزان راندمان استخراج شد که این افزایش راندمان استخراج روغن با افزایش زمان فرایند می‌تواند به شکستگی بیشتر سلول‌های حاوی روغن در طول تیمار با میکروویو در ارتباط باشد [۱۷]. همچنین محمد و آویاف (۱۹۹۸) گزارش کردند که بهبود راندمان استخراج روغن به‌واسطه حرارت‌دهی با میکروویو می‌تواند ناشی از تخریب ترکیبات پروتئینی نیز باشد [۱۸]. نتایج این بخش با یافته‌های یاشیدا و همکاران [۱۹]، انجوم و همکاران [۲۰]، تراپگر و همکاران [۲۱] و اند و همکاران [۲۲] مطابقت داشت. در حالی که با افزایش سرعت دورانی پرس ماریچی، به علت کمتر شدن میزان فشار وارده بر دانه‌ها، راندمان استخراج به میزان کمی کاهش یافت. مطالعات صورت گرفته توسط اوون و همکاران (۲۰۰۷) و دیلی و همکاران (۲۰۱۱) نیز دلالت بر

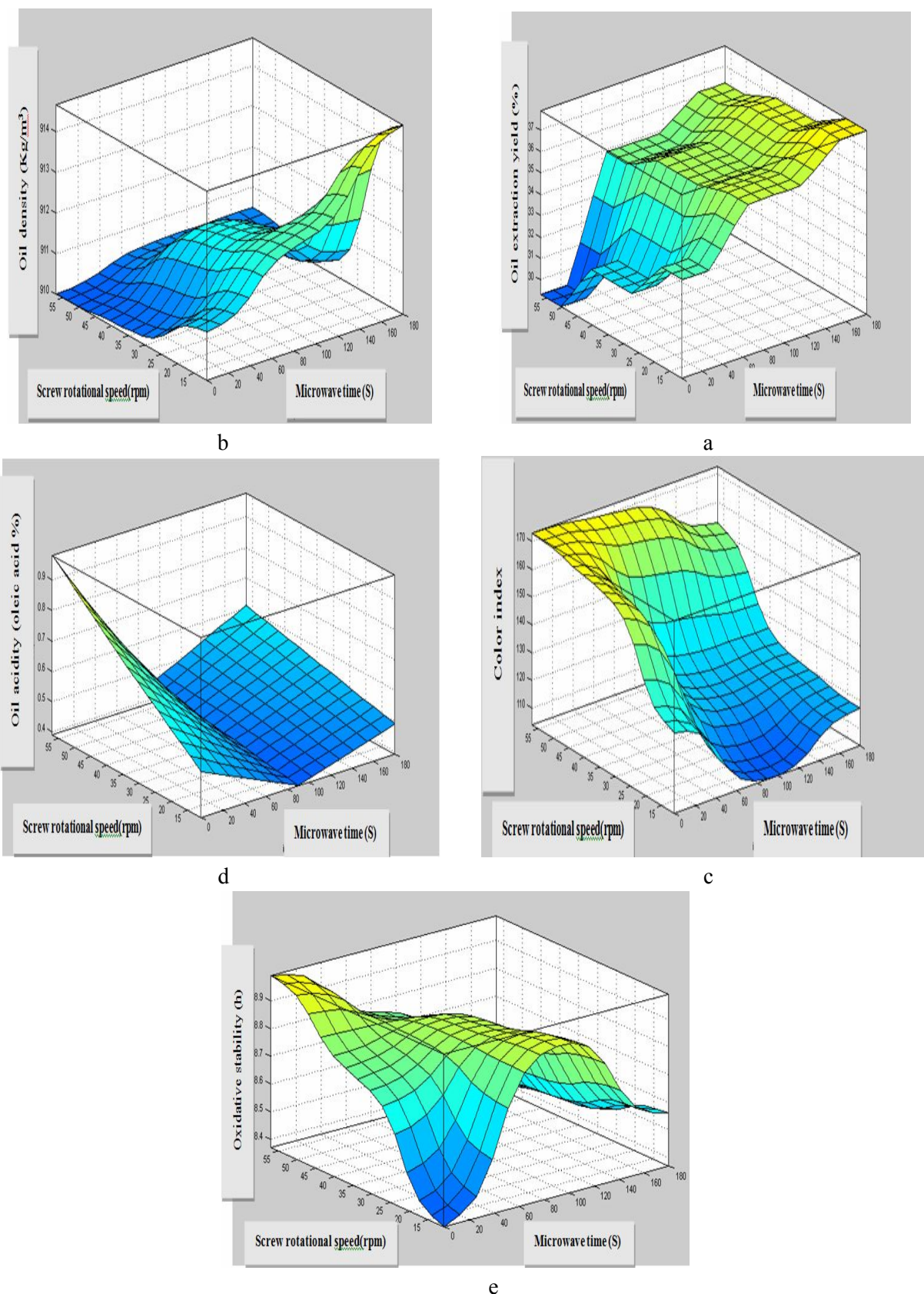
تری‌گلیسریدی ناشی از حرارت‌دهی است [۲۷]. نتایج این بخش با نتایج کیتیفوم و همکاران (۲۰۱۵) و ولنسیک و همکاران (۱۹۹۸) تطابق داشت [۲۸ و ۲۹]. پایداری اکسایشی عبارت است از مدت زمان لازم برای رسیدن به نقطه‌ای که در آن یکی از کمیت‌های اکسایشی مانند عدد پراکسید یا عدد کربونیل پس از طی نمودن روند افزایشی خود به 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 [۲۹]. شکل حاصل از نتایج پایداری اکسایشی روغن نشان داد که با افزایش زمان فرایند مایکروویو و همچنین سرعت دورانی پرس ماریچی میزان پایداری اکسایشی روغن به علت آزاد سازی بیشتر ترکیبات آنتی‌اکسیدانی به داخل روغن افزایش یافت که نتایج این بخش با یافته‌های اسپایلمیر و همکاران (۲۰۰۹) و یکیج و همکاران (۲۰۰۸) تطابق داشت [۱۷ و ۳۱].

افزایش در شاخص رنگ نمونه‌ها را می‌توان به گسیختگی بافت‌های گیاهی در طول تیماردهی و بنابراین افزایش استخراج رنگ‌دانه‌ها نسبت داد. در این راستا لی و همکاران (۲۰۰۴) اثر دماهای مختلف برشته کردن دانه‌های گلرنگ را بر تغییرات رنگ روغن آن مورد بررسی قرار دادند. آنها اظهار داشتند که تشکیل رنگ در روغن، تحت تأثیر دماهای برشته کردن است به طوری که با افزایش دما رنگ روغن حاصله نیز از زرد روشن به قهوه‌ای تیره تغییر کرد [۲۵]. نتایج حاصل از اسیدیته روغن نشان داد که افزایش زمان فرایند و در ابتدا اسیدیته روغن را کاهش و سپس افزایش داد و همچنین با افزایش سرعت دورانی پرس ماریچی اسیدیته روغن افزایش یافت. این افزایش میزان اسیدیته با افزایش درجه حرارت (در اثر استفاده از مایکروویو و سرعت بالاتر پرس)، به اثر تجزیه شیمیایی تری‌گلیسریدها و بالا رفتن میزان اسیدهای چرب آزاد مربوط می‌شود (شکل ۳ d). 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 [۲۶]. افزایش اسیدیته، بدون شک ناشی از شکستن اتصالات استری مولکول‌های

**Table 2** The interaction between microwave time and rotary speed of screw press on the assessed properties

oxidative stability (h)	oil acidity (oleic acid%)	color index	oil density(kg/m <sup>3</sup> )	oil extraction yield (%)	rotary speed of (rpm) screw press	microwave time (S)
8.37 <sup>i</sup>	0.54 <sup>e</sup>	132.78 <sup>e</sup>	911.2 <sup>d</sup>	34.04 <sup>g</sup>	11	0
8.76 <sup>d</sup>	0.75 <sup>b</sup>	167.37 <sup>c</sup>	910.15 <sup>h</sup>	31.98 <sup>h</sup>	34	0
8.99 <sup>a</sup>	0.98 <sup>a</sup>	172.87 <sup>a</sup>	910 <sup>i</sup>	29.42 <sup>i</sup>	57	0
8.91 <sup>b</sup>	0.39 <sup>i</sup>	104.05 <sup>i</sup>	912.64 <sup>b</sup>	36.5 <sup>c</sup>	11	90
8.86 <sup>c</sup>	0.43 <sup>h</sup>	120.94 <sup>g</sup>	911.91 <sup>c</sup>	36 <sup>e</sup>	34	90
8.75 <sup>e</sup>	0.45 <sup>g</sup>	169.19 <sup>b</sup>	910.47 <sup>f</sup>	35 <sup>f</sup>	57	90
8.56 <sup>f</sup>	0.49 <sup>f</sup>	117.4 <sup>h</sup>	914.66 <sup>a</sup>	38 <sup>a</sup>	11	180
8.46 <sup>g</sup>	0.55 <sup>d</sup>	121.64 <sup>f</sup>	910.25 <sup>g</sup>	37 <sup>b</sup>	34	180
8.42 <sup>h</sup>	0.61 <sup>c</sup>	152.54 <sup>d</sup>	910.5 <sup>e</sup>	36.29 <sup>d</sup>	57	180

Numbers with different letters in each column imply significant differences in the 5% level of probability.



**Fig 3** The effect of microwave time and screw rotation speeds on oil extraction yield (a), oil density (b), color index (c), oil acidity (d) oxidative stability (e)

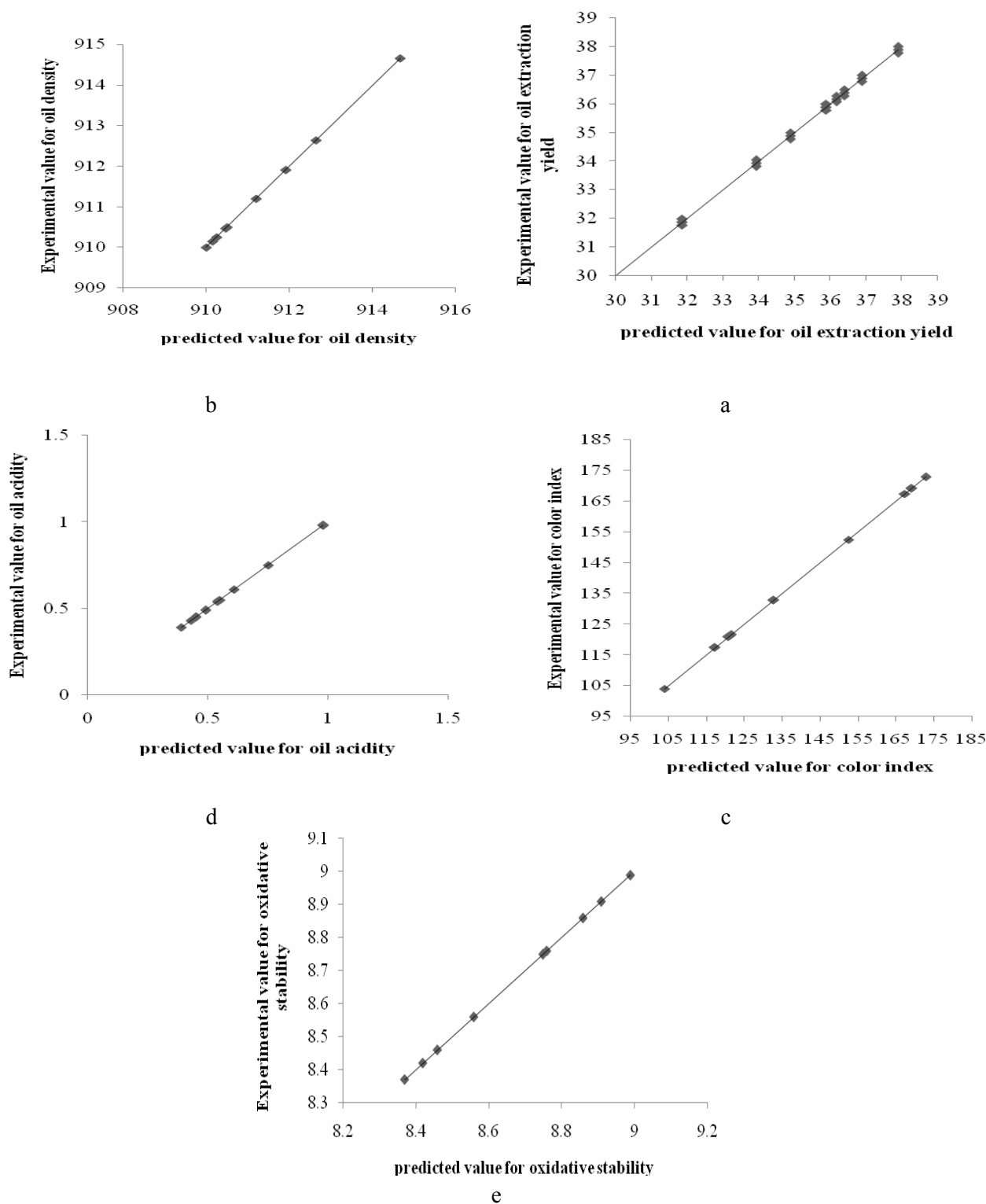
مدل سازی مرحله ی پخت در فرایند صنعتی استخراج روغن کلزا با استفاده از سامانه استنتاج فازی-عصبی تطبیقی پرداختند. در این مطالعه میزان دما و محتوای رطوبت دانه های خروجی از دیگ پخت به عنوان ورودی و میزان مواد ریز نامحلول در روغن، روغن، روغن و رطوبت کنجاله و رطوبت و اسیدیته روغن به عنوان خروجی در نظر گرفته شده بود. سه تابع عضویت گوسی، مثلثی و دوزنقه ای با ۲-۲ و ۳-۳ تابع عضویت مورد بررسی قرار گرفت و تابع دوزنقه ای با ۳-۳ تابع عضویت برای سه متغیر خروجی میزان مواد ریز نامحلول در روغن، اسیدیته روغن و میزان رطوبت کنجاله و همچنین برای متغیر خروجی رطوبت روغن و رطوبت کنجاله به ترتیب تابع عضویت مثلثی با ۲-۲ و ۳-۳ تابع برای هر متغیر ورودی با بالاترین مقدار ضریب همبستگی و کمترین میزان میانگین مربعات خطا به عنوان مدل های بهینه انتخاب شدند. میزان ضرایب همبستگی بالای بین نتایج آزمایشگاهی و خروجی های مدل بیانگر دقت قابل قبول و قابلیت استفاده از این مدل ها در کنترل فرایندهای صنعتی بود [۱۶].

براساس نتایج بدست آمده، اغلب مدل ها از دقت تخمین مناسبی جهت پیش بینی خروجی های مورد نظر برخوردار بودند. ساختار نهایی مدل های استنتاج فازی-عصبی تطبیقی شامل تعداد توابع عضویت برای هر ورودی، تعداد قوانین، تعداد دوره های آموزش و نوع توابع عضویت ورودی و خروجی در جدول ۳ نشان داده شده است. ضریب رگرسیون مقادیر خروجی های مورد نظر محاسبه شده در آزمایشگاه و مقادیر پیش بینی شده توسط مدل در این مطالعه در شکل شماره ۴ آورده شده است. مقادیر ضریب  $R^2$  بالاتر از ۰/۹۹ در این اشکال، نشان دهنده کارایی و دقت مدل های ارائه شده برای پیش بینی پارامترهای مورد نظر می باشد. کارامان و همکاران (۲۰۱۲) گزارش کردند که مدل سیستم های عصبی فازی تطبیقی دارای توانایی بیشتری ( $R^2 = ۰/۸۹۹$ ) نسبت به مدل شبکه عصبی ( $R^2 = ۰/۸۹۹$ ) و رگرسیون چند متغیری خطی ( $R^2 = ۰/۶۳$ ) برای پیش بینی پارامترهای اکسایشی به ویژه عدد پراکسید در روغن آفتابگردان است [۱۱]. در پژوهشی فرزانه و همکاران (۲۰۱۷) به

Table 3 ANFIS optimized models parameters chosen for intended outputs.

Intended parameter	Intended outputs				
	oil extraction yield	oil density	color index	oil acidity	oxidative stability
Number of membership functions for temperature input	3	3	3	3	3
Number of membership function for input containing seeds moisture	3	3	3	3	3
Type of inputs membership function	Trapezoidal	Gaussian	Gaussian	Triangular	Gaussian
Number of laws	9	9	9	9	9
Type of out puts membership functions	Linear	Linear	Linear	Linear	Linear
Number of training course	11	11	11	11	11





**Fig 4** The comparison of laboratory data and amounts predicted by ANFIS model for oil extraction yield (a), oil density (b), color index (c), oil acidity (d) oxidative stability (e)

## ۴- نتیجه گیری

در این پژوهش، امکان پیش بینی خروجی‌های مختلف استخراج روغن بادام‌زمینی با پیش‌تیمار مایکروویو با استفاده از سامانه استنتاج فازی عصبی تطبیقی بررسی شده است. نتایج به دست آمده نشان داد که، سامانه انفیس ابزار مفیدی برای پیش بینی و یافتن نگاهت غیرخطی میان پارامترهای مورد نظر است. همه مدل‌ها کارایی خوبی با مقادیر  $R^2$  بیش از ۰/۹۹ داشته و دارای میانگین مجذور مربع خطای مطلوبی بودند. با توجه به امکان استفاده از این مدل‌ها در طراحی کنترل‌های بر خط می‌توان استفاده از آنها را برای کنترل بهتر فرایندهای صنعتی و کاهش هزینه‌ها و وقت و از طرفی بهبود محصول نهایی توصیه نمود. از طرفی نتایج نشان داد که با افزایش زمان مایکروویو میزان راندمان استخراج روغن و دانسیته افزایش یافت ولی میزان اسیدیته و رنگ روغن ابتدا کاهش و سپس افزایش یافت. با افزایش سرعت دورانی نیز راندمان استخراج روغن و دانسیته کاهش ولی میزان اسیدیته، رنگ و پایداری اکسایشی روغن افزایش یافت.

## ۵- منابع

- [7] 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.
- [8] Cravotto, G., Boffa, L., Mantegna, S., Perego, P., Avogadro, M. and Cintas, P. 2007. Improved extraction of vegetable oils under high-intensity ultrasound and/or microwaves. *Ultrasonics Sonochemistry*. 15(5): 898-902.
- [9] Jyh, S and Jang, R. 1993. ANFIS: Adaptive Network- Based Fuzzy Inference Systems” *IEEE Trans. On Systems, Man and Cybernetics*. 23 (3). 665-685.
- [10] Ashrafi, Kh., Hoshyaripour, Gh., Nadjar Araabi, B and Keshavarzi shirazi, H. 2012. Prediction of daily carbon monoxide concentration using hybrid FS-ANFIS model based on atmospheric stability analysis; case study: city of Tehran. *Journal of Earth and Space Physics*. 38(2):183-201 (In Persian)
- [11] Karaman, S., Ozturk, I., Yalcin, H., Kayacier, A. and Sagdi, O. 2012. Comparison of adaptive neuro fuzzy inference system and artificial neural networks for estimation of oxidation parameters of sunflower oil added with some natural byproduct extracts. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 92(1), 49-58.
- [12] Przybylski, R. and Zambiasi, R. C. 2000. Predicting oxidative stability of vegetable oils using neural network system and endogenous oil components. *Journal of the American Oil Chemists' Society*. 77(9): 925-932.
- [13] Dolatabadi, Z., Elhami Rad, A.H., Farzaneh, V., Akhlaghi Feizabad, S.H., Estiri, S.H and Bakhshabadi, H. 2016. Modeling of the lycopene extraction from tomato pulps. *Food Chemistry*. 190: 968-973.
- [14] Bakhshabadi, H., Vahdani, M., Moghimi, M., Bazrafshan, M., Rashidzadeh, Sh. and Bojmehrani, A. 2017. Modeling the cooking process during the extraction of oil from Sunflower seeds using artificial neural networks on an industrial scale. *Journal of Iranian Food Science and Technology*. 69(14):1-11. (In Persian)
- [15] AOCS. 1993. Official Methods and Recommended Practices of the American Oil
- [1] Safarzadeh vishkaii, M.N. 1999. Peanut. Rasht Branch, Islamic Azad University Publication. 46 p. (In Persian)
- [2] Parry, J.W. 2006. Value-Adding factors in cold-pressed edible seed oils and flours. Thesis for the degree of Doctor of Philosophy. University of Maryland, College Park.
- [3] Bailey, A.E. 2005. Bailey's Industrial Oil and Fat Product. John Wiley & Sons.
- [4] Bakhshabadi, H., Mirzaei, H.O., Ghodsvai, A., Jafari, S.M., Ziaifar, A.M. and Farzaneh, V. 2017. The effect of microwave pretreatment on some hysic-chemical properties and bioactivity of Black cumin seeds' oil. *Industrial Crops and Products*. 97: 1-9.
- [5] Malek, F. 2001. Edible fats and vegetable oils. Farhang-o Ghalam Publication. 464 p. (In Persian)
- [6] Mandal, V., Mohan, Y. and Hemalatha, S. 2007. Microwave Assisted Extraction – An Innovative & Promising Extraction Tool for Medicinal Plant Research. *Pharmacognosy Reviews*. 1: 8-14.

- [23] Evon, P.H., Vandenbossche, V., Pontalier, P.Y. and Rigal, L. 2007. Direct 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.
- [24] 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.
- [25] Lee, Y.C., Oh, S.W., Chang, J. and Kim, I.H, 2004. Chemical composition and oxidative stability of safflower oil prepared from safflower seed roasted with different temperatures. *Food Chemistry* 84: 1–6.
- [26] 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.
- [27] Bruhn, C.M. 1995. Consumer attitudes and market response to irradiated food. *Journal of Food Protection*. 58:175-181.
- [28] 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.
- [29] 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.
- [30] Holser, R.A. 2003. Properties of refined milkweed press oil. *Industrial crops and products*. 18: 133-138.
- [31] Spielmeyer, A., Wagner, A. and Jahreis, G. 2009. Influence of thermal treatment of rapeseed on the canolol content. *Food Chemistry*. 112: 944–948.
- Chemists' Society, AOCS Press, Champaign, IL. 762p.
- [16] Farzaneh, V., Bakhshabadi, H., Gharekhani, M., Ganje, M., Farzaneh, F. and Carvalho, I.S. 2017. Application of an adaptive neuro\_fuzzy inference system (ANFIS) in the modeling of rapeseeds' oil extraction. *Food process engineering*. 125: 1-8.
- [17] 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.
- [18] 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.
- [19] 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.
- [20] Anjum, F., Anwar, F., Jamil, A. and Iqbal, M. 2006. Microwave Roasting Effects on the Physico-chemical Composition and Oxidative Stability of Sunflower Seed Oil. *Journal of the American Oil Chemists' Society*. 83(9): 777-784.
- [21] 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.
- [22] 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.

## Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System (ANFIS) application in modeling the oil extraction from peanut with microwave pretreatment

Shirazi, R. <sup>1</sup>, Bakhshabadi, H. <sup>2\*</sup>, Bazrafshan, M. <sup>2</sup>

1. MSc student Food Science and Technology, Gonbad Kavoods Branch, Islamic Azad University, Gonbad Kavoods, Iran
2. Department of Food science and tecnology, Gonbad Kavoods Branch, Islamic Azad University, Gonbad Kavoods, Iran

(Received: 2017/05/17 Accepted: 2017/08/20)

In this research the modeling of extracting oil from peanut using the adaptive Neuro-Fuzzy Inference System (ANFIS) was studied. For this reason the microwave time and the rotary speed of screw press was considered as the input and the yield of oil extraction, density, color, acidity, and oil oxidative stability was considered as the output. Three Gaussian, triangular and trapezoidal membership functions were considered with 2-2 and 3-3 membership function. The results indicated that the trapezoidal function with 3-3 membership function is chosen for 3 output variables of oil extraction efficiency as the optimum model. Also for the output variable of density, color, and oxidative function the Gaussian function with 3-3 membership function is chosen as the optimum model and at last for the oil acidity the triangular model with 3-3 membership function is chosen. On one hand it was recognized that with increase in the microwave time the amount of oil extraction efficiency and density was increased but the amount of oil acidity and color was decreased at first and was increased later. Also, increase in the rotary speed of screw press led to decrease the oil extraction efficiency and density but the amount of oil color and oxidative stability was increased. In the end it can be said that amount of high correlation coefficients between the laboratory results and outputs of model represent the acceptable accuracy and usability of these models in control the peanut oil extraction process with microwave pre-treatment.

**Key words:** Peanut, Oil Extraction, Modeling, Microwave.

---

\* Corresponding Author E-Mail Address: [h.bakhshabadi@yahoo.com](mailto:h.bakhshabadi@yahoo.com)