

## مدل سازی استخراج روغن از دانه کتان با پیش تیمار میدان الکتریکی پالسی با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی

شکوفه غراوی<sup>1</sup>، مسعود بذرافشان<sup>2\*</sup>، معصومه مقیمی<sup>3</sup>

1- دانش آموخته کارشناسی ارشد گروه علوم و صنایع غذایی، واحد گنبد کاووس، دانشگاه آزاد اسلامی، گنبد کاووس، ایران

2- دکتری علوم و صنایع غذایی، اداره کل دامپزشکی استان البرز، ایران

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

تاریخ پذیرش: 97/03/01

تاریخ دریافت: 96/08/17

### چکیده

دانه کتان یکی از منابع تأمین کننده روغن می باشد که به دلیل میزان بالای اسید چرب ضروری امگا3 مورد توجه قرار گرفته است. در تکنولوژی استخراج روغن، تیماردهی مناسب دانه قبل از استخراج یکی از مهمترین مراحل برای تولید محصولی با کیفیت و راندمان بالا می باشد. در تحقیق حاضر به منظور مدل سازی فرآیند استخراج روغن دانه های کتان به کمک پیش تیمار میدان الکتریکی پالسی، از شدت های 0/5، 3/5 و 6/5 کیلوولت بر سانتی متر و سرعت های 11، 22 و 33 دور در دقیقه پرس ماریچی استفاده شد و میزان راندمان استخراج، اسیدیته، دانسیته، رنگ، ضریب شکست، پراکسید و اندیس اسیدی روغن استخراج شده مورد بررسی قرار گرفت. جهت پیش بینی روند تغییرات از ابزار شبکه های عصبی مصنوعی در نرم افزار Matlab R2013a استفاده شد. نتایج نشان داد که با افزایش شدت میدان الکتریکی پالسی و افزایش سرعت دورانی پرس، راندمان استخراج روغن، شاخص رنگ، دانسیته، اسیدیته و اندیس اسیدی افزایش یافت. همچنین افزایش شدت میدان الکتریکی پالسی تأثیر معنی داری بر ضریب شکست و میزان پراکسید نداشت در حالی که با افزایش سرعت پرس میزان پراکسید افزایش یافت. با بررسی شبکه های مختلف، شبکه پیش خور با توپولوژی 7-10-2 با ضریب همبستگی بیش از 0/9843 و میانگین مربعات خطا برابر با 0/0001 و با به کارگیری تابع فعال سازی لگاریتم سیگموئیدی، الگوی یادگیری لونیبرگ -مارکوات و چرخه یادگیری 1000 به عنوان بهترین مدل عصبی مشخص گردید. در نهایت با توجه به نتایج مشخص شد که اعمال پیش تیمار میدان الکتریکی پالسی با شدت 6/5 کیلوولت بر سانتی متر و سرعت پرس 22 دور در دقیقه منجر به تولید محصول با راندمان مناسب و خصوصیات فیزیکی شیمیایی مطلوب تر گردید.

**واژه های کلیدی:** دانه کتان، استخراج روغن، میدان الکتریکی پالسی، شبکه عصبی مصنوعی.

\*مسئول مکاتبات: [Bazrafshan.m4623@yahoo.com](mailto:Bazrafshan.m4623@yahoo.com)

## 1- مقدمه

در جهان امروز، تولید مواد غذایی کافی از مهمترین اهداف بشر به شمار می آید. دانه های روغنی پس از غلات دومین منبع غذایی جهان را تشکیل می دهند. این دانه ها و ترکیبات حاصله از آن ها به دلیل دارا بودن پروتئین ها، ویتامین ها و اسیدهای چرب، از منابع مهم غذایی انسان و دام به شمار می روند. روغن ها در برنامه غذایی انسان نقش به سزایی داشته و در مقایسه با سایر گروه های مواد غذایی از بالاترین سطح انرژی زایی برخوردار هستند. همچنین این ترکیبات حلال ویتامین-های A, D, E و K بوده و تأمین کننده اسیدهای چرب ضروری مانند لینولئیک می باشند که بدن قادر به ساخت آن ها نیست (34). در سال های اخیر همگام با رشد جمعیت و بهبود سطح زندگی، مصرف روغن های نباتی رو به افزایش نهاده است. علاوه بر این، در بسیاری از کشورها، گرانی و کمبود چربی های حیوانی موجب شده است که مصرف روغن های نباتی از منابع مهم تأمین انرژی محسوب گردد. لذا همه این عوامل خود موجب افزایش سطح زیر کشت دانه های روغنی گردیده است (3). یکی از گیاهان روغنی و دارویی که در سطح جهان از اهمیت خاصی برخوردار است، کتان روغنی می باشد. بزرک یا کتان با نام علمی *Linum usitatissimum* گیاهی است یک ساله و چند منظوره و در مناطق گرم و خشک تا معتدله رشد و نمو می کند و از تیره کتان (*Linaceae*) می باشد و به صورت بوته ای رشد می کند (4). روغن دانه کتان غنی ترین منبع اسیدهای چرب غیراشباع امگا 3 در جهان است که مقدار این ترکیبات در آن بیش از دو برابر روغن ماهی (در حجم مساوی) است (19). اسید آلفا لینولئیک موجود در روغن این گیاه اثر محافظت کنندگی در برابر بیماری هایی از قبیل تصلب شرایین و بیماری های قلبی مشابه دارد. همچنین این روغن موجب کاهش سطح کلسترول خون می شود (28). روغن کتان در کشورهای اروپای شرقی به عنوان روغن خوراکی مصرف شده اما نمی توان آن را به صورت مارگارین و شورتنینگ به کار برد. از مهمترین کشورهای تولید کننده

دانه کتان می توان به کشورهای کاندا، چین، روسیه، ایالات منحه و ایتویپی اشاره نمود. امروزه استفاده از پرس جهت استخراج روغن به دلیل عدم وجود باقی مانده حلال مورد توجه قرار گرفته است. این روش به صورت گرم یا سرد می باشد و برای دانه هایی که حاوی مقادیر بالایی از روغن می باشند، به کار گرفته می شود. البته استفاده از این روش به تنهایی ناکافی بوده و میزان زیادی از روغن در خوراک باقی می ماند که سپس از طریق حلال استخراج می گردد. به طور کلی، استخراج روغن با پرس، روشی است که در مقایسه با روش استفاده از حلال، ساده تر و کم هزینه تر بوده و لذا ایمنی و سادگی این روش آن را نسبت به استفاده از حلال عملی تر می سازد. بازده استخراجی روغن در پرس گرم بالاتر از پرس سرد بوده ولی به دلیل حرارت تولید شده در حین فشردن، کیفیت روغن حاصله پایین تر است و این در حالی است که روغن حاصله از پرس سرد خواص طبیعی خود را بهتر حفظ نموده و عاری از مواد شیمیایی می باشد (12). در تکنولوژی استخراج روغن تیماردهی دانه قبل از استخراج یکی از مهمترین و ضروری ترین مراحل برای تولید محصولی با کیفیت و راندمان بالاست. یکی از روش های تیماردهی که امروزه مورد توجه قرار گرفته است استفاده از میدان الکتریکی پالسی می باشد. میدان الکتریکی پالسی یک روش غیر حرارتی مهم است که در آن ماده ی غذایی در محفظه ای بین دو الکترود قرار گرفته و تحت پالس های الکتریکی با ولتاژ بالا و مدت زمان کوتاه قرار می گیرد. کار میدان الکتریکی پالسی عمدتاً در مقیاس میکروسکوپی متمرکز می شود، به گونه ای که روزه ها و منافذی در غشای سلولی ایجاد شده که باعث تسریع خروج ترکیبات میان سلولی می گردند. کاربرد این فرآیند سبب حفظ ویژگی های کیفی، تغذیه ای، کاهش مصرف انرژی و افزایش بهره وری در فرآیندهای تولید مواد غذایی می گردد. در راستای استفاده از میدان الکتریکی پالسی تحقیقات زیادی صورت گرفته که می توان به مواد ذیل اشاره نمود. پوترلوس و همکاران (2015)، سارکیس و همکاران (2015) و شورستکی

کابینتی (ساخته شده در پژوهشکده علوم و صنایع غذایی خراسان رضوی)، پرس ماریچی آزمایشگاهی (Kern Kraft، آلمان)، یخچال (الکترواستیل، ایران) و رفرکتومتر (NAR-2T، ساخت ژاپن).

## 2-2- روش‌ها

### 2-2-1- آماده سازی نمونه و استخراج روغن

در این تحقیق، دانه‌های کتان پس از تهیه بوجاری شده و در کیسه‌های پلاستیکی مقاوم نسبت به نفوذ هوا و رطوبت تا زمان آزمایشات نگهداری شدند. سپس دانه‌ها تحت تأثیر میدان الکتریکی پالسی با سه سطح شدت میدان الکتریکی 0/5، 3/5 و 6/5 کیلوولت بر سانتی‌متر و تعداد پالس 30 عدد، قرار گرفتند. پس از آن روغن دانه‌ها توسط پرس ماریچی که ظرفیت آن 8 کیلوگرم در ساعت بود و با سه سطح سرعت دورانی 11، 22 و 33 دور در دقیقه استخراج گردید و آزمایش‌های مختلف روی آن، صورت گرفت.

### 2-2-2- راندمان استخراج روغن

راندمان استخراج روغن مطابق با استاندارد AOAC (2008) و با استفاده از ترازوی دیجیتال با دقت 0/01 مطابق با رابطه 1 محاسبه گردید (13).

$$R = \frac{Q}{X} \times 100 \quad \text{رابطه (1)}$$

در رابطه‌ی (1) R: راندمان استخراج روغن به درصد، Q: مقدار روغن به دست آمده به گرم، X: مقدار دانه اولیه به گرم

### 2-2-3- اندیس اسیدی و اسیدیته

برای اندازه‌گیری اندیس اسیدی و اسیدیته از روش AOCS Cd 3-63<sup>1</sup> (1993) استفاده شد. ابتدا 5 گرم روغن با 20-30 میلی‌لیتر اتانول یا الکل خنثی دیگری مخلوط و با افزودن چند قطره فنل فتالین با سود 0/1 نرمال تا ظهور رنگ صورتی تیر گردید. میزان عدد اسیدیته و عدد اسیدی به ترتیب از رابطه‌های (2) و (3) به دست آمد (14).

و همکاران (2015) بیان داشتند که استفاده از پیش تیمار میدان الکتریکی پالسی به ترتیب منجر به افزایش راندمان استخراج روغن از زیتون، کنجد و آفتابگردان می‌شود (27، 29 و 31). از طرفی امروزه استفاده از شبکه‌های عصبی به عنوان یک روش سریع بررسی جهت مدل‌سازی و پیش‌بینی روند استخراج روغن از دانه‌های روغنی مورد توجه قرار گرفته است. در گذشته برخی از محققین اقدام به ارائه مدل‌های مختلف جهت پیش‌بینی پارامترهای کیفی انواع روغن نموده‌اند که از آن جمله می‌توان به کارامان و همکاران (2012) در کاربرد و مقایسه روش انفیس و هوش مصنوعی برای پیش‌بینی زمان ماندگاری روغن آفتابگردان حاوی آنتی‌اکسیدان (21)، پریزیبلسکی و زامبازی (2000) در زمینه امکان استفاده از شبکه‌های عصبی برای پیش‌بینی ثبات اکسایشی روغن گیاهی براساس ویژگی‌های شیمیایی روغن گیاهی و تغییرات آن در طی نگهداری اشاره کرد (26). بنابراین با توجه به اینکه تاکنون مطالعه‌ای در زمینه مدل‌سازی استخراج روغن از دانه‌های کتان به کمک پیش تیمار میدان الکتریکی پالسی صورت نگرفته است، هدف از انجام این تحقیق دست‌یابی به مدلی ساده، سریع، دقیق و کارآمد با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی در زمینه استخراج روغن از دانه‌های کتان بود.

## 2- مواد و روش‌ها

### 2-1- مواد

دانه‌های کتان مورد بررسی، از بازار محلی شهرستان گنبد کاووس (با رطوبت 6/4 و روغن 41 درصد) خریداری و مواد شیمیایی، اسید استیک گلاسیال، فنل فتالین و کلروفورم از شرکت مرک آلمان و چسب نشاسته، یدید پتاسیم و تیوسولفات سدیم از شرکت سیگما آلدریج آمریکا تهیه شد. تجهیزات مورد استفاده در این تحقیق عبارتند از: آون آزمایشگاهی (Memert، ساخت آلمان)، اسپکتروفوتومتر (Biochrom، انگلیس)، ترازوی دیجیتال با دقت 0/001 (Gec Avery، ساخت انگلیس)، دسیکاتور و پیکنومتر (ساخت چین)، دستگاه میدان الکتریکی پالسی و خشک‌کن

<sup>1</sup> American Oil Chemists' Society

سپس از رابطه 4 بر حسب رنگ زرد لایباند شاخص رنگ تعیین شد.

$$\text{رابطه (4)} \quad A_{550+41/2A_{620}-56/4 A_{670}} \quad 1/29 A_{460+69/7}$$

شاخص رنگ

### 2-3- مدل سازی با استفاده از شبکه های عصبی مصنوعی

جهت تعیین شبکه عصبی بهینه از ابزار شبکه عصبی نرم افزار مطلب استفاده شد. جهت طراحی این شبکه برای فرآیند استخراج روغن از دو ورودی شدت میدان الکتریکی پالسی و سرعت دورانی پرس ماریچی در یک ماتریس دو سطری و میزان راندمان استخراج روغن، اسیدیته، پراکسید، ضریب شکست، دانسیته، شاخص رنگ و اندیس اسیدی در یک ماتریس 7 سطری به عنوان هدف تعریف گردید. در این راستا شبکه های عصبی مختلف با توابع فعال سازی و یادگیری متفاوت و همچنین تعداد نورون مختلف در لایه ی پنهان طراحی گردید و میزان کارآیی آن ها با استفاده از دو معیار ارزیابی ضریب همبستگی ( $R^2$ ) و میانگین مربعات خطا (MSE) که به ترتیب با رابطه های (5) و (6) تعیین می شوند، مشخص گردید. ابتدا با آزمون شبکه های عصبی مختلف، شبکه عصبی پیش خور با بالاترین کارایی انتخاب گردید و تعداد چرخه های یادگیری نیز 1000 در نظر گرفته شد. با در نظر گرفتن این موارد، شبکه های عصبی مختلف حاوی یک لایه پنهان که تعداد متفاوتی از نورون ها از 1 تا 10 مورد را می توانست داشته باشد، طراحی گردید. جهت اتصال لایه ی ورودی به لایه ی پنهان توابع فعال سازی تانژانت سیگموئید هیپربولیکی، لگاریتمی و خطی در مراحل مختلف آزمون و خطای شبکه ها استفاده گردید. همچنین جهت اتصال لایه ی پنهان به لایه ی خروجی تابع فعال سازی خطی به صورت ثابت استفاده شد. علاوه بر موارد ذکر شده دو الگوی یادگیری متفاوت شامل الگوی لوبرگ - مارکوات<sup>1</sup> و جهنده<sup>2</sup> در

$$\text{رابطه (2)} \quad A = \frac{W_1 \times N \times 100 \times V}{1000 \times W} \times 100$$

$$\text{رابطه (3)} \quad A = \frac{W \times N \times 100 \times V}{W}$$

در رابطه های (2) و (3) N: نرمالیت سود مصرفی، V: حجم سود مصرفی به میلی لیتر، W: وزن نمونه به گرم، A: اسیدهای چرب آزاد بر حسب اسید اولئیک در 100 گرم نمونه و B: اندیس اسیدی روغن بر حسب میلی گرم پتاس در هر گرم روغن می باشد.

### 2-2-4- آزمون پراکسید

میزان پراکسید روغن ها مطابق روش AOCS Cd 8-53 (1993) اندازه گیری گردید. 5 گرم روغن با 300 میلی لیتر حلال اسید استیک-کلروفرم با نسبت 2:3 مخلوط و 0/5 میلی لیتر محلول یدید پتاسیم اشباع به آن اضافه گردید. به محلول حاصل 30 میلی لیتر آب مقطر اضافه و با تیوسولفات سدیم 0/1 مولار تیتیر شد و تیتراسیون تا از بین رفتن رنگ زرد ادامه یافت. سپس 0/5 میلی لیتر معرف شناساگر نشاسته اضافه گردید و تیتراسیون تا از بین رفتن رنگ آبی ادامه یافت (14).

### 2-2-5- ضریب شکست

ضریب شکست روغن با دستگاه رفاکتومتر و در دمای 25 درجه سانتی گراد و مطابق روش AOCS Cc 7-25 (1993) تعیین گردید (14).

### 2-2-6- دانسیته

برای اندازه گیری دانسیته روغن ها (که بر حسب کیلوگرم بر مترمکعب می باشد) از پیکنومتر و روش AOCS Cc 10a-25 (1993) استفاده شد (14).

### 2-2-7- مقدار رنگ

برای سنجش رنگ که اغلب مخلوطی از رنگ های قرمز و زرد است از روش اسپکتروفوتومتری (AOCS Cc 13-92) استفاده شد. برای این منظور دانسیته اپتیک روغن را در طول موج های 460، 550، 620 و 670 نانومتر با اسپکتروفوتومتر اندازه گیری و

<sup>1</sup> Levenberg-Marquardt Learning Algorithm

<sup>2</sup> Resilient Backpropagation (Trainrp)

### 4-2- تجزیه و تحلیل آماری

تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از طرح کاملاً تصادفی در قالب آزمایش‌های فاکتوریل 3×3 با 3 سطح شدت میدان الکتریکی پالسی و 3 سطح سرعت پرس دورانی و در 3 تکرار انجام گردید. از نرم افزار SAS برای تجزیه و تحلیل اطلاعات و از آزمون چند دامنه‌ای دانکن برای مقایسه میانگین داده‌ها استفاده شد.

### 3- نتایج و بحث

نتایج آزمون‌های اندازه‌گیری میزان راندمان استخراج روغن، رنگ، ضریب شکست، دانسیته، پراکسید، اسیدیته و اندیس اسیدی روغن در سرعت‌های متفاوت پرس و پالس‌های متفاوت در جدول (1) آورده شده است.

شبکه‌های مختلف مورد استفاده قرار گرفت و تأثیر آن‌ها بر دقت شبکه‌ها ارزیابی گردید.

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (Y_{pi} - Y_{ei})^2}{\sum_{i=1}^N (Y_{pi} - \bar{Y})^2} \quad \text{رابطه (5)}$$

$$MSE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (Y_{pi} - Y_{ei})^2 \quad \text{رابطه (6)}$$

در رابطه‌های (5) و (6)  $Y_{pi}$  نسبت ویژگی‌های پیش‌بینی شده توسط شبکه،  $Y_{ei}$  نسبت ویژگی‌های حاصل از انجام آزمایشات و  $\bar{Y}$  میانگین نسبت‌های ویژگی‌های آزمایشگاهی و N تعداد کل مشاهدات است.

جدول 1- تأثیر متقابل اعمال شدت میدان الکتریکی و سرعت پرس در سطوح مختلف بر میزان، راندمان استخراج، شاخص رنگ، ضریب

شکست، دانسیته، پراکسید، اسیدیته و اندیس اسیدی روغن

سرعت پرس (دور در دقیقه)	شدت میدان الکتریکی (کیلوولت/سانتیمتر)	راندمان استخراج روغن (درصد)	شاخص رنگ	ضریب شکست	دانسیته (کیلوگرم/مترمکعب)	پراکسید (میلی اکی والان گرم/کیلوگرم)	اسیدیته (اولنیک)	اندیس اسیدی (میلی گرم پتاس)
11	0/5	17/67 <sup>a</sup>	26/19 <sup>a</sup>	1/47 <sup>a</sup>	77/05 <sup>a</sup>	8/53 <sup>a</sup>	0/33 <sup>a</sup>	0/44 <sup>a</sup>
	3/5	18/79 <sup>b</sup>	28/56 <sup>b</sup>	1/48 <sup>a</sup>	77/93 <sup>ab</sup>	8/54 <sup>a</sup>	0/37 <sup>a</sup>	0/53 <sup>ab</sup>
	6/5	19/91 <sup>c</sup>	29/85 <sup>c</sup>	1/48 <sup>a</sup>	78/21 <sup>b</sup>	8/61 <sup>a</sup>	0/47 <sup>b</sup>	0/55 <sup>b</sup>
22	0/5	21/52 <sup>d</sup>	32/94 <sup>d</sup>	1/48 <sup>a</sup>	82/87 <sup>c</sup>	8/94 <sup>b</sup>	0/58 <sup>c</sup>	0/56 <sup>b</sup>
	3/5	23/72 <sup>e</sup>	35/23 <sup>e</sup>	1/48 <sup>a</sup>	83/97 <sup>d</sup>	8/97 <sup>b</sup>	0/62 <sup>c</sup>	0/59 <sup>bc</sup>
	6/5	25/82 <sup>f</sup>	39/52 <sup>f</sup>	1/48 <sup>a</sup>	85/09 <sup>e</sup>	8/97 <sup>b</sup>	0/70 <sup>d</sup>	0/62 <sup>bc</sup>
33	0/5	26/08 <sup>f</sup>	40/61 <sup>g</sup>	1/48 <sup>a</sup>	85/35 <sup>e</sup>	10/29 <sup>c</sup>	0/75 <sup>de</sup>	0/68 <sup>c</sup>
	3/5	28/78 <sup>g</sup>	41/90 <sup>h</sup>	1/47 <sup>a</sup>	86/97 <sup>f</sup>	10/37 <sup>c</sup>	0/80 <sup>e</sup>	0/71 <sup>cd</sup>
	6/5	29/79 <sup>h</sup>	44/27 <sup>i</sup>	1/48 <sup>a</sup>	89/57 <sup>g</sup>	10/38 <sup>c</sup>	0/91 <sup>f</sup>	0/79 <sup>d</sup>

الکتریکی پالسی و افزایش سرعت دورانی پرس، راندمان استخراج روغن، شاخص رنگ، دانسیته، اسیدیته و اندیس اسیدی افزایش یافت. از طرفی افزایش شدت میدان الکتریکی

بررسی تجزیه و تحلیل داده‌های حاصل از آزمایش و مقایسه میانگین‌های آن‌ها (جدول 1) که با روش آزمون دانکن صورت گرفته بود، نشان داد که با افزایش شدت میدان

و چرخه یادگیری 1000، نشان می‌دهد. با توجه به مقادیر میانگین مربعات خطا و ضریب همبستگی ارائه شده در این جداول، شبکه عصبی پیش‌خور با تابع انتقال لگاریتم سیگموئید، تابع یادگیری لونیبرگ-مارکوات و با توپولوژی 7-10-2 (لایه ورودی با 2 نورون - یک لایه پنهان با 10 نورون و لایه خروجی با 7 نورون) با ضریب همبستگی بیش از 0/9843 و میانگین مربعات خطا برابر با 0/0001 به عنوان شبکه عصبی بهینه انتخاب می‌شود که شماتیکی از شبکه بهینه انتخاب شده در شکل (1) آورده شده است. در نهایت با توجه به نتایج مشخص شد که اعمال پیش‌تیمار میدان الکتریکی پالسی با شدت 6/5 کیلوولت بر سانتی‌متر و سرعت پرس 33 دور در دقیقه منجر به تولید محصول با راندمان مناسب و خصوصیات فیزیکوشیمیایی مطلوب تر گردید.

پالسی تاثیر معنی‌داری بر ضریب شکست و میزان پراکسید نداشت در حالی که با افزایش سرعت پرس میزان پراکسید افزایش یافت. به نظر می‌رسد علت بالا بودن راندمان استخراج روغن، شاخص رنگ، دانسیته، اسیدیته و اندیس اسیدی ناشی از تخریب شدیدتر بافت دانه‌ی کتان و خروج بیشتر مواد داخل سلولی به درون روغن می‌باشد. نتایج این بحث با یافته‌های بخش آبادی و همکاران (1395)، گرجی و همکاران (1395)، آکینسو و همکاران (2009)، پورتولاس و همکاران (2015) و شورشکی و همکاران (2015) کاملاً مطابقت داشت (1، 8، 11، 27 و 31). همچنین جدول‌های (2) تا (4) مقایسه اثر تعداد نورون‌های لایه پنهان و نوع الگوی یادگیری را بر دقت پیش‌بینی شبکه‌های عصبی پس انتشار پیش‌خور به ترتیب با توابع انتقال تانزانانت سیگموئید هیپربولیکی، لگاریتمی و خطی

جدول 2- مقایسه اثر تعداد نورون‌های لایه پنهان و نوع تابع یادگیری و تابع فعال‌سازی تانزانانت هیپربولیک سیگموئیدی بر دقت پیش‌بینی

خصوصیات مختلف روغن استخراج شده از دانه کتان با پیش‌تیمار میدان الکتریکی پالسی

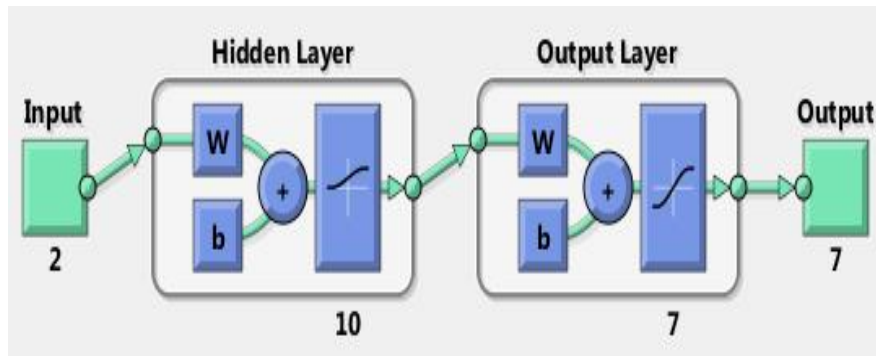
الگوی لونیبرگ-مارکوات		الگوی جهنده		تعداد نورون
R <sup>2</sup>	MSE	R <sup>2</sup>	MSE	
0/6249	0/1072	0/5561	0/0888	2
0/8635	0/0075	0/7459	0/0109	3
0/8410	0/1076	0/6227	0/0288	4
0/8544	0/0378	0/8379	0/0121	5
0/8930	0/0124	0/8516	0/0663	6
0/8454	0/0407	0/6258	0/0176	7
0/7693	0/0102	0/5698	0/0814	8
0/8047	0/0076	0/7799	0/0520	9
0/8996	0/0006	0/4105	0/2276	10

جدول 3- مقایسه اثر تعداد نورون‌های لایه پنهان و نوع تابع یادگیری و تابع فعال‌سازی لگاریتم سیگموئیدی بر دقت پیش‌بینی خصوصیات مختلف روغن استخراج شده از دانه کتان با پیش تیمار میدان الکتریکی پالسی

الگوی لونیبرگ_مارکوات		الگوی جهنده		تعداد نورون
R <sup>2</sup>	MSE	R <sup>2</sup>	MSE	
0/6352	0/1337	0/5439	0/0824	2
0/7293	0/0332	0/7168	0/0712	3
0/8904	0/0326	0/7255	0/1229	4
0/8049	0/0247	0/8257	0/0115	5
0/7232	0/0558	0/8740	0/0019	6
0/8237	0/0163	0/7898	0/0141	7
0/7702	0/0326	0/6322	0/0591	8
0/8541	0/0069	0/9221	0/0116	9
0/7446	0/0104	0/9843	0/0001	10

جدول 4- مقایسه اثر تعداد نورون‌های لایه پنهان و نوع تابع یادگیری و تابع فعال‌سازی خطی بر دقت پیش‌بینی خصوصیات مختلف روغن استخراج شده از دانه کتان با پیش تیمار میدان الکتریکی پالسی

الگوی لونیبرگ_مارکوات		الگوی جهنده		تعداد نورون
R <sup>2</sup>	MSE	R <sup>2</sup>	MSE	
0/6332	0/0876	0/5189	0/1027	2
0/6555	0/0707	0/4510	0/0982	3
0/6849	0/0827	0/5604	0/2291	4
0/6591	0/0456	0/6767	0/0336	5
0/6579	0/0317	0/6609	0/0481	6
0/6213	0/1148	0/6693	0/1401	7
0/4357	0/0494	0/6737	0/0447	8
0/6247	0/0824	0/6438	0/0386	9
0/6590	0/1067	0/6405	0/0537	10



شکل 1- شماتیکی از شبکه بهینه انتخاب شده حاوی 2 نورون در لایه ورودی 10 نورون در لایه پنهان با تابع فعال‌سازی لگاریتم سیگموئید هیپربولیکی و 7 نورون در لایه خروجی با تابع فعال‌سازی تانژانت سیگموئید هیپربولیکی

مقایسه گردیدند. شبکه عصبی مصنوعی نسبت به مدل‌های ریاضی با قدرت بهتری قادر به پیش‌بینی پارامتر مورد نظر بود. شبکه بهینه‌ی انتخاب شده با توپولوژی 2-3-1 با تابع انتقال تانژانت هیپربولیک سیگموئیدی بود. این مدل قادر به پیش‌بینی نسبت رطوبت با ضریب همبستگی بیشتر از 0/998 و میانگین مربعات خطای کمتر از 0/0192 بود. علاوه بر این دولت‌آبادی و همکاران (2016) که به منظور استخراج لیکوپین از ضایعات تفاله گوجه‌فرنگی از مدل‌سازی شبکه عصب استفاده نمودند، بیان داشتند که با توجه به دقت شبکه عصبی به دست آمده و قدرت بالای آن در تخمین و پیش‌بینی میزان استخراج لیکوپین و فعالیت رادیکال گیرندگی به روش DPPH<sup>5</sup> و عنایت به این امر که اندازه‌گیری این خصوصیات در آزمایشگاه، علاوه بر وقت گیر و هزینه‌بر بودن تحت تأثیر اشتباهات محقق می‌باشد، می‌توان از این سیستم‌های هوشمند که با سرعت و دقت بالا خصوصیات مدنظر را تعیین می‌کند، استفاده نمود و بدین طریق صرفه‌جویی قابل توجه‌ای در هزینه و زمان داشت (17). در مطالعه‌ای دیگر پرزیلیسکی و همکاران (2000) ویژگی‌های مختلف روغن کانولا را با استفاده از شبکه عصبی شبیه‌سازی نمودند و نتایج این بررسی نشان داد که مدل ارائه شده می‌تواند جانشین بسیار قدرتمندی برای سایر مدل‌های آماری باشد (26). نورازیان و همکاران (2010) برای بهینه‌سازی فرآیندهای صمغ‌گیری و رنگ‌بری روغن پالم از

همچنین میزان بالای ضرایب همبستگی نمودارهای شکل 2 که مقادیر پیش‌بینی شده توسط این شبکه بهینه در مقابل داده‌های آزمایشگاهی را برای 7 متغیر خروجی مورد نظر نشان می‌دهد را می‌توان دلیلی دیگر بر دقت بالای این مدل دانست. در این راستا مقیمی و همکاران (1396) مدل‌سازی استخراج روغن از دانه کتان به کمک پیش‌تیمار مایکروویو با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی را مورد بررسی قرار داده و بیان کردند که شبکه پساتشار پیش‌خور با توپولوژی‌های 2-8-6 با ضریب همبستگی بیشتر از 0/999 و میانگین مربعات خطای کمتر از 0/001 و با به‌کارگیری تابع فعال‌سازی لگاریتم سیگموئیدی، الگوی یادگیری جهنده و چرخه یادگیری 1000 به عنوان بهترین مدل عصبی مشخص گردید (9). این محققان همچنین نتایج حاصل از مدل‌های بهینه انتخاب شده را ارزیابی و مشاهده کردند که این مدل‌ها با ضرایب همبستگی بالا (بیش از 0/844) قادر به پیش‌بینی روند تغییرات می‌باشد. همچنین خزایی و دانشمندی (2007)، خشک‌کردن لایه نازک یکی از دانه‌های روغنی را با استفاده از مدل‌های ریاضی و همچنین با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی مدل‌سازی کردند (22). مدل‌های ریاضی بررسی شده شامل مدل پیچ<sup>1</sup>، هندرسون و پایس<sup>2</sup>، لگاریتمیک<sup>3</sup> و ویبول<sup>4</sup> بود که با مدل شبکه عصبی

<sup>1</sup> Page

<sup>2</sup> Henderson and Pabis

<sup>3</sup> Logarithmic

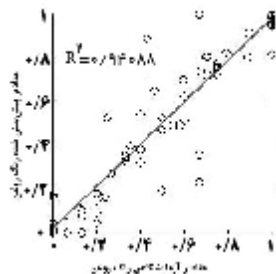
<sup>4</sup> Weibull

<sup>5</sup> 1,1-Diphenyl-2-picryl-hydrazyl

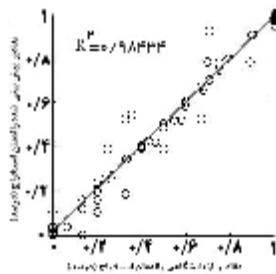


صرفه جویی قابل توجهی را در زمان و هزینه های فرآیند باعث شود. همچنین بهینه سازی فرآیند استخراج روغن های گیاهی خوراکی و کاهش ضایعات حاصل از آن ها با استفاده از شبکه های عصبی مصنوعی توسط محققینی مانند مچاورام و همکاران (2008) با موفقیت انجام شده است (24).

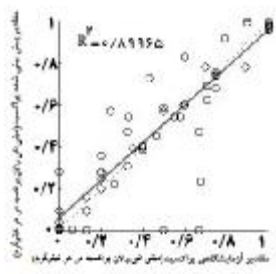
روش شبکه های عصبی استفاده کردند (25). در واقع این محققین از این روش برای بهینه سازی مقدار مصرفی فسفریک اسید (عامل صمغ گیری) و خاک رنگ بر (عامل رنگ بر) استفاده کردند. نتایج این پژوهش بیانگر این امر بود که استفاده از این روش می تواند با بهینه سازی مقدار استفاده از این مواد،



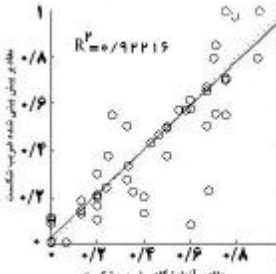
ب



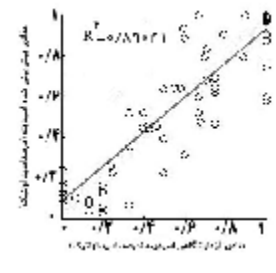
الف



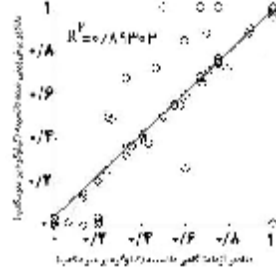
د



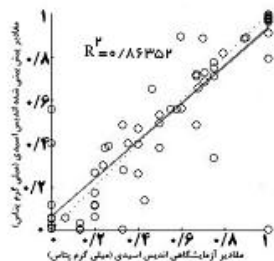
ج



ه



و



ی

شکل 2- تغییرات مقادیر پیش بینی شده توسط شبکه عصبی برای توپولوژی بهینه (7-10-2) در مقابل مقادیر آزمایشگاهی برای راندمان استخراج روغن از دانه کتان با پیش تیمار میدان الکتریکی پالسی (الف)، اندیس پراکسید (ب)، دانسیته (ج)، ضریب شکست (د)، شاخص رنگ (و)، اسیدیته (ه) و اندیس اسیدی (ی)

برای پیش‌بینی پایداری اکسیداسیونی روغن کانولا و تغییرات آن در طی نگهداری پرداختند. آن‌ها در لایه ورودی از ساختار اسیدهای چرب و توکوفرول و در لایه خروجی از میزان اکسیژن مصرفی در طی نگهداری با شرایط تسریع شده استفاده کردند و در پایان بیان داشتند که مدل حاصل از شبکه عصبی از دقت بیشتری برای مدل‌سازی پایداری اکسیداسیونی روغن‌های گیاهی برخوردار است (26). دهقانی و همکاران (2012) به بررسی امکان استفاده از شبکه‌های عصبی برای پیش‌بینی اکسیداسیون روغن کلزا پرداختند. آن‌ها در لایه ورودی از ساختار اسیدهای چرب و در لایه خروجی از زمان القاء توسط دستگاه رنسیمت استفاده کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که مدل شبکه عصبی پایداری اکسیداسیونی روغن کلزا را با دقت مناسبی پیش‌بینی می‌کند (16). ایزدی‌فر و عبدالهی (2006) مقایسه‌ای روی دو روش مدل‌سازی شبکه عصبی و ریاضی بر استخراج اسانس‌های روغنی از فلفل سیاه انجام دادند. این محققین 5 متغیر (دما و فشار دی‌اکسید کربن بحرانی، زمان فرآیند، اندازه ذرات و در نهایت سرعت جریان ورودی) را به عنوان ورودی در نظر گرفتند. با بررسی توابع مختلف مشخص گردید، که تابع فعال‌سازی تانژانت سیگموئید هیپربولیکی و الگوی یادگیری لوبنبرگ-مارکوات به عنوان بهترین مدل عصبی این فرآیند می‌باشد و آن‌ها بیان داشتند که مدل‌سازی با شبکه عصبی نسبت به مدل‌سازی ریاضی با داده‌های تجربی نزدیکی بیشتری دارد (20). با توجه به توپولوژی شبکه عصبی انتخاب شده که به صورت 7-10-2 می‌باشد، ماتریس وزن برای لایه ورودی به لایه پنهان یک ماتریس هسین  $2 \times 10$  (اتصال 2 نورون لایه ورودی به 10 نورون لایه پنهان) و برای لایه پنهان به لایه خروجی یک ماتریس هسین  $10 \times 7$  (اتصال 10 نورون لایه پنهان به 7 نورون لایه خروجی) به ترتیب به صورت ماتریس‌های A و B خواهند بود:

کارامان و همکاران (2012) با استفاده از پارامترهای اسیدیته، عدد یدی و غلظت ترکیبات ضد اکسیداسیون در لایه ورودی و عدد پراکسید در لایه خروجی به مقایسه روش انفیس و هوش مصنوعی برای پیش‌بینی زمان ماندگاری روغن آفتابگردان حاوی ترکیبات آنتی‌کسیدانی پرداختند. نتایج کار آن‌ها نشان از کارایی بالای روش انفیس و شبکه‌های عصبی در پیش‌بینی زمان ماندگاری روغن داشت (21). رفیعی نظری و همکاران (1394) از روش شبکه عصبی پیش‌خور برای پیش‌بینی پایداری اکسیداسیونی روغن زیتون در طی نگهداری استفاده کردند. در ساختار شبکه عصبی پارامترهای اسیدیته، عدد پراکسید، ترکیبات فولی، ضریب خاموشی و ساختار اسیدهای چرب اشباع و غیر اشباع به عنوان ورودی و ضریب خاموشی به عنوان خروجی در نظر گرفته شد. بهترین مدل شبکه عصبی پیش‌خور با استفاده از تابع فعال‌سازی لگاریتم سیگموئید، روش آموزش لوبنبرگ-مارکوات، 10 نورون در لایه پنهان ارائه گردید که دارای کمترین میانگین مربعات خطا و بهترین ضریب رگرسیون بود (5). کلایرادیت و همکاران (2011) از شبکه عصبی برای پیش‌بینی پایداری اکسیداسیونی روغن ماهی با استفاده از روش اسپکتروسکوپی مادون قرمز فوریه استفاده کردند. متغیرهای مورد استفاده آن‌ها شامل طول موج و میزان جذب اسپکتروسکوپی مادون قرمز در لایه ورودی و عدد پراکسید (برای اندازه‌گیری محصولات حاصل از تغییرات اکسیداسیون اولیه) و عدد آنیسیدین (برای اندازه‌گیری محصولات حاصل از اکسیداسیون ثانویه) در لایه خروجی در نظر گرفته شد و در پایان مدل حاصل از شبکه عصبی با دقت مناسبی توانست تغییرات اکسیداسیون روغن ماهی را پیش‌بینی کند. آن‌ها اعلام کردند که عدد آنیسیدین به علت اهمیت بیشتر محصولات ثانویه اکسیداسیون از دقت بیشتری برای مدل‌سازی برخوردار بود (23). پرزیبلسکی و همکاران (2000) به بررسی امکان استفاده از شبکه‌های عصبی

$$A = \begin{bmatrix} -1.1118 & -1.159 & 1.3763 & -0.25126 & -1.485 & -0.27247 & 0.23341 & -2.077 & 1.9257 & -1.7853 \\ -0.40201 & -0.2161 & -1.711 & 0.20091 & 0.080974 & 0.26838 & 0.71094 & 0.53161 & -1.3111 & 1.9021 \\ 2.4286 & -2.6007 & 2.4242 & -2.6625 & -0.12423 & 2.025 & -2.185 & 2.6985 & -0.82573 & -2.2017 \\ -0.81166 & -0.14976 & -1.6251 & -0.24031 & -0.93232 & 1.2242 & -1.3292 & 0.81992 & -1.4362 & 1.9999 \\ 0.69299 & -1.4718 & -1.0722 & -1.2452 & 0.68882 & -1.3667 & -1.4469 & 2.1969 & -0.23733 & -1.8852 \\ -0.28852 & -2.687 & 2.8182 & 2.8102 & 0.16116 & -0.56686 & 1.2456 & 1.5069 & -1.7402 & 1.228 \\ -0.66756 & -2.0922 & 2.0194 & 1.6078 & -0.23819 & -0.59225 & 2.1992 & 2.1855 & -0.80915 & -0.49296 \end{bmatrix}$$

$$B = \begin{bmatrix} -4.0023 & 5.6842 \\ -4.0178 & 7.9803 \\ 2.11218 & 8.7585 \\ -6.5281 & -6.2281 \\ 8.4972 & 2.851 \\ 6.1711 & -6.2776 \\ 8.2706 & -1.9827 \\ -6.4579 & -6.0292 \\ 2.4908 & -8.4562 \\ -5.8155 & -6.2692 \end{bmatrix}$$

به ترتیب دو ماتریس  $10 \times 1$  و  $7 \times 1$  خواهد بود (D) و لایه خروجی (ماتریس C در ضمن ماتریس های بایاس برای لایه پنهان (ماتریس)

$$C = \begin{bmatrix} 10.7272 \\ 7.0309 \\ -5.0462 \\ 2.6616 \\ 0.20814 \\ -1.2989 \\ 4.656 \\ -4.7804 \\ 6.8427 \\ -9.2624 \end{bmatrix}$$

$$D = \begin{bmatrix} 1.9192 \\ 1.0135 \\ 2.8552 \\ 0.77062 \\ 2.6515 \\ 0.95822 \\ 0.0023089 \end{bmatrix}$$

#### 4- نتیجه گیری

به دلیل در دسترس نبودن همه عوامل مؤثر در فرآیند و تسریع روند بررسی کیفیت روغن استخراج شده با کمک پیش تیمار میدان الکتریکی پالسی و همچنین با توجه به نتایج این پژوهش، می توان مدل عصبی ارائه شده را به عنوان مدلی مناسب برای این فرآیند معرفی نمود. با مشخص بودن تابع

فعال سازی در شبکه های عصبی که در این تحقیق تابع لگاریتم سیگموئیدی می باشد و همچنین در اختیار داشتن مقادیر وزن و بایاس، می توان روابط ایجاد شده توسط مدل عصبی را استخراج نمود. با تعریف این رابطه ریاضی ساده ایجاد شده، در یک نرم افزار کامپیوتری مانند اکسل می توان برنامه ای کاربردی، ساده و دقیق برای پیش بینی پارامترهای مورد نظر در

4. خواجه پور، م. ر. 1383. گیاهان صنعتی. انتشارات جهاد دانشگاهی صنعتی اصفهان. 564ص.
5. رفیعی نظری، ر.، عرب عامری، م. و نوری، ل. 1394. مدل سازی و پیش بینی پایداری اکسیداسیون روغن زیتون طی نگهداری در شرایط محیطی با استفاده از مدل شبکه عصبی مصنوعی. مجله علوم تغذیه و صنایع غذایی ایران. 10(1): 71-80.
6. صمدلویی، ح. ر. عزیزی، م. ح. و برزگر، م. 1386. اثر آنتی اکسیدانی ترکیبات فنولیک هسته انار بر روغن سویا. مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی. 14(4): 1-8.
7. کدیور، م.، گلی، س. آ. ح. 1386. فرآوری روغن های خوراکی. انتشارات دانشگاه صنعتی اصفهان. چاپ اول. 322 ص.
8. گرجی، ن.، گلمکانی، م. ت.، مصباحی، غ. ر.، نیاکوثری، م.، اسکندری، م. ه. و مزیدی، س. 1395. بررسی ویژگی های فیزیکوشیمیایی روغن دانه نارنج استخراج شده به روش های مختلف. فصلنامه علوم و صنایع غذایی. 54 (13): 121-133.
9. مقیمی، م. بخش آبادی، ح. بذرافشان، م. 1396. مدل سازی استخراج روغن از دانه کتان به کمک پیش تیمار مایکروویو با استفاده از شبکه های عصبی مصنوعی. نشریه پژوهش و نوآوری در علوم و صنایع غذایی. 6 (2): 199-210.
10. Abenoza, M., Benito, M., Saldaña, G., Álvarez, I., Raso, J. and Sánchez-Gimeno, A.C. 2013. Effects of Pulsed Electric Field on Yield Extraction and Quality of Olive Oil. Food Bioprocess Technology. 6: 1367-1373.
11. Akinoso, R., Raji, A.O. and Igbeka, J.C. 2009. Effects of compressive stress, feeding rate and speed of rotation on palm kernel oil yield. Journal of Food Engineering, 93:427-430.
- فرآیند استخراج روغن داشت. با توجه به دقت بالای مدل عصبی می توان با اطمینان بالا به پیش بینی این مدل ها اعتماد کرده و از این مدل ها برای بهینه سازی و کنترل فرآیند استفاده نمود که این امر می تواند به صرفه جویی در انرژی و زمان منجر شود و از طرف دیگر محصول نهایی مطلوب تری را ایجاد نماید. با استفاده از اطلاعات به دست آمده از این تحقیق می توان بیان داشت که با افزایش شدت میدان الکتریکی پالسی و افزایش سرعت دورانی پرس، راندمان استخراج روغن، شاخص رنگ، دانسیته، اسیدیته و اندیس اسیدی افزایش یافت. از طرفی افزایش شدت میدان الکتریکی پالسی تاثیر معنی داری بر ضریب شکست و میزان پراکسید نداشت در حالی که با افزایش سرعت پرس میزان پراکسید افزایش یافت. در نهایت با توجه به نتایج مشخص شد که اعمال پیش تیمار میدان الکتریکی پالسی با شدت 6/5 کیلوولت بر سانتی متر و سرعت پرس 22 دور در دقیقه منجر به تولید محصول با راندمان مناسب و خصوصیات فیزیکوشیمیایی مطلوب تر گردید.

## 5-منابع

1. بخش آبادی، ح. میرزایی، ح. قدس ولی، ع. جعفری، م. ضیایی فر، ا. 1395. تاثیر سرعت دورانی پرس مارپیچی بر میزان ترکیبات فنلی و خصوصیات فیزیکوشیمیایی روغن سیاه دانه. مجله مهندسی زیست سامانه 5(3): 27-37.
2. پرهیزکار خاجانی، ف. ایران نژاد، ح و امیری، ر. 1391. تاثیر سطوح مختلف نیتروژن، فسفر و پتاسیم بر خصوصیات کمی و کیفی کتان روغنی. مجله الکترونیک تولید گیاهان زراعی. 5(1): 71-82.
3. حبیبی نوده، ف. آزادمرد دمیرچی، ص و حصاری، ج. 1389. تاثیر تیمار دانه کلزا با مایکروویو بر کیفیت روغن استخراجی. مجله پژوهش های صنایع غذایی. 20/3 (1): 19-29.

- some natural byproduct extracts. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 92(1), 49-58.
22. Khazaei, J. and Daneshmandi, S. 2007. Modeling of thin-layer drying kinetics of sesame seeds: mathematical and neural networks modeling. *International Agrophysics*. 21, 335-348
  23. Klaypradit W, Kerdpiboon S, Singh RK. 2011. Application of artificial neural networks to predict the oxidation of menhaden fish oil obtained from Fourier transform infrared spectroscopy method. *Food bioprocess science*, 4 (3):475-80.
  24. Machavaram, R., Jena, P.C. and Raheman, H. 2008. Prediction of optimized pretreatment process parameters for biodiesel production using ANN and GA. *Fuel* 88:868-875.
  25. Noor Azian, M., Rohani, M. Z., Khairiyah Mohd, Y. and Mustafa Kamal, A. 2010. Process Modelling of Combined Degumming and Bleaching in Palm Oil Refining Using Artificial Neural Network. *Journal of the American Oil Chemists' Society*. 87:1381-1388.
  26. 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.
  27. Puertolas, E. Maranon, I. 2015. Olive oil pilot-production assisted by pulsed electric field: Impact on extraction yield, chemical parameters and sensory properties. *Food Chemistry*. 167: 497-502.
  28. Rhee, Y. and Brunt, A. 2011. Flaxseed supplementation improved insulin resistance in obese glucose intolerant people: a randomized crossover design. *Nutrition journal*. 10: 44.
  29. 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.
  12. Anderson, D. 1996. A primer on oils processing technology. In Y. H. Hui (Ed) *Bailey's industrial oil and fat products*. John Wiley and Sons, Inc., New York. Vol. 4: pp: 10-17.
  13. AOAC. 2008. Official methods of analysis of the association of official analytical chemists, Vol. II. Arlington, VA: Association of Official Analytical Chemists.
  14. AOCS. 1993. Official Methods and Recommended Practices of the American Oil Chemists' Society, AOCS Press, Champaign, IL. 762p.
  15. Bernardini, E. 1985. Oilseeds, oils and fats. Publishing House B. E Oil Rome, 89-99.
  16. Dehghani, A.A., Mohammadi, Z.B., Maghsoudlou, Y. and Sadeghi mahoonak, A.R. 2012. Intelligent estimation of the canola oil stability using artificial neural networks. *Food and bioprocess technology*. 5(2):533-40.
  17. 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.
  18. Guderjan, M., Elez-Martínez, P. and Knorr, D. 2007. Application of pulsed electric fields at oil yield and content of functional food ingredients at the production of rapeseed oil. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*. 8: 55-62
  19. Hui, y. H. 1996. *Bailey's industrial oil and fat products*, 1<sup>st</sup> ED, published by Wiley and Sons, Canada, 1: 675-677.
  20. Izadifar, M. and Abdolahi, F. 2006. Comparison between neural network and mathematical modeling of supercritical CO<sub>2</sub> extraction of black pepper essential oil. *The Journal of Supercritical Fluids*. 38(1), 37-43.
  21. 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

30. Schroeder, S., Buckow, R. and Knoerzer, K. 2009. Numerical Simulation of Pulsed Electric Field (PEF) Processing for Chamber Design and Optimization, International Conference on CFD in the Minerads and Process Industries CSIRO, 17th, Australia.
31. Shorstkii, I. Sharifzadeh, M. Koshevoi, E. 2015. Application of pulsed electric field for oil extraction from sunflower seeds: Lab scale parameters optimization.1-4.
32. 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.
33. Wiktor, A., Sledz, M., Nowacka, M., Rybak, K., Chudoba, T., Lojkowski, W. and Witrowa- Rajchert, D. 2015. The impact of pulsed electric field treatment on selected bioactive compound content and color of plant tissue. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*. 30: 69–78.
34. Wong, R., Patel, J. D., Grant, I., Parker, J., Charne, D., Elhalwagy, M. and Sys, E. 1991. The development of high oleic acid canola. In *Proceedings of the Rapeseed Congress. Program and Abstract*. Eds. I. McGregor, Saskatoon. Pp: 53-54.